

클래드 판재를 사용한 3D 프린터 히팅 블록 개발

원대희

원광대학교 창의공과대학 스마트자동차공학과

Development of 3D printer heating block using clad plate material

Dae-Hee Won

Department of Smart Automobile Engineering, Wonkwang University

요약 이 연구에서는 3D 프린터 히팅 블록의 발열로 인해 가이드로 열이 전달되어 필라멘트가 녹는 문제점을 개선하기 위해 설계 해석과 폭발압접을 융합한 방법으로 클래드 판재를 만들었다. 클래드 판재에 대한 전단 강도 시험을 하였으며, 히팅 블록으로 가공한 다음 열 해석, 열전도도, 열화상 측정 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대하여 3D 모델링 열 해석 한 결과 필라멘트 가이드 부위의 표면온도가 히팅 블록 표면온도 보다 낮은 온도가 예측되었다. 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 다음 전단 강도를 측정 한 결과 평균 195.6MPa 값을 얻었다. 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대하여 열전도도를 3회 측정 한 결과 평균 62.52 W/m · K 값을 나타내었다. 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대하여 열화상 카메라로 표면 온도를 측정 한 결과 최대 107.3℃ 측정되었으며, 필라멘트 가이드 부근에서는 183.2℃ 측정되었다. 기존 필라멘트의 부위의 온도 보다 89℃ 낮은 온도 분포를 보였다.

• 주제어 : 히팅블록, 3D 프린팅, 열전도도, 타이타늄, 융합

Abstract In this study, the design analysis and the explosion welding were made into a clad sheet by the convergence method in order to solve the problem of heat transfer to the guide due to the heating of the 3D printer heating block. The shear strength of the clad plate material was tested and the results were analyzed by thermal analysis, thermal conductivity and thermal imaging. The following conclusions were obtained. 3D modeling of the heating block made of copper and titanium clad plate material The thermal analysis showed that the surface temperature of the filament guide area was lower than the heating block surface temperature. The average shear strength of copper and titanium clad plate material was measured and the average value of 195.6MPa was obtained. The thermal conductivity of the heating block made of copper and titanium clad plate material was measured three times and the average value was 62.52 W / m · K. The surface temperature of the heating block made of copper and titanium clad plate material was measured by a thermal imaging camera at a maximum of 107.3℃ and 183.2℃ at the filament guide. The temperature distribution was 89℃ lower than that of the existing filament.

• Key Words : Heating block, 3D printing, Thermal conductivity, Titanium, Convergence

*Corresponding Author : 원대희(oneday@wku.ac.kr)

Received February 28, 2017

Accepted April 20, 2017

Revised April 3, 2017

Published April 28, 2017

1. 서론

4차 산업혁명은 3D 컴퓨터 그래픽스, 가상현실, 사물 인터넷, 3D 프린팅 등 다양한 융복합 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2,3]. 지구온난화 및 기후 변화에 따른 재난, 이상기온, 질병 등 각종 사회 문제들이 대두됨에 따라, 에너지 절감 및 효율화를 위한 기술 개발이 증대되고 있다[4,5,6]. 이러한 에너지를 절감 및 효율화를 위해 컴퓨터를 활용한 시뮬레이션 방법이 많이 사용되고 있다[7,8].

기존 제조방법은 원료를 용융하여 단조, 주조, 연삭, 절단, 사출, 조립 과정을 거쳐 제품을 제작한다. 그러나 3D 프린팅 방식은 원료를 용융하여 분말로 제조한 다음, 컴퓨터로 3D 디자인된 정보를 3D 프린터에 입력하여 입체적으로 제품을 제작하는 방식이다[9,10,11]. 기존 방법으로 복잡한 형상을 제작하기 위해서는 가공 시간이 오래 걸리고, 부산물이 많이 발생하는 단점이 있다. 그러나 3D 프린팅 방법을 적용하면 복잡한 형상이라도 한 번에 제작할 수 있고, 부산물이 거의 나오지 않는 것이 장점으로 알려져 있다.

3D 프린팅 방식은 1981년 일본 나고야시 공업연구소에 근무하는 히데오 코마다가 빛을 이용하여 액상 광경화 수지를 고체로 만든다는 내용이었다. 히데오 코마다는 이 보고서만 내고 실제 상용화시키지는 못했다. 더불어 특허 출원하기에도 내용이 부족하여 특허가 아닌 그저 기술 문서에 머물고 말았다[12]. 3D 프린팅 방식에 대한 특허 출원은 가구 회사에 다니던 콜로라도 출신의 척 헐(Chuck Hull)을 통해서다. 이 가구 회사에는 자외선을 이용하여 플라스틱판을 경화시키는 공정이 있었는데 그는 여기서 3D프린터의 힌트를 얻었다. 1983년에 시작한 그의 연구는 1986년 입체인쇄술(Stereo-lithography)라는 이름으로 특허 출원되었다[13].

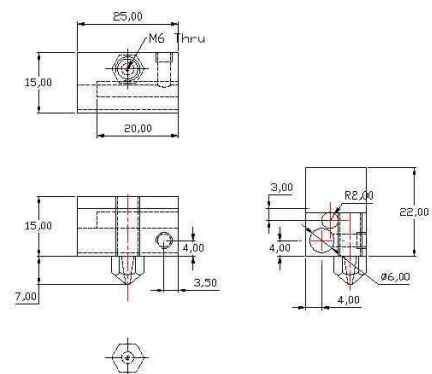
이 연구에서는 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린팅용 히팅 블록 헤드 부의 발열로 인하여 필라멘트 가이드에 열이 전달되고 가열된 가이드 속으로 필라멘트가 젤 상태로 되어 액상 필라멘트를 노즐 밖으로 밀어주는 것을 방해하여 노즐이 막히는 문제점이 발생하고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 히팅 블록 헤드 부분의 가열부는 열전달을 방해하는 구리/타이타늄 이종재료로 클래드 판재로[14,15,16,17,18] 제작하였으며, 클래드 판재에 대한 전단 강도, 열전도도를 측정하였다. 구리와 타이타늄은 열전도도 차이가 크기 때문에 일반적인 방법으로는 두 재료에 대한 용접이

불가능하기 때문에 폭발압접을 적용하여 클래드 재료로 만들었다. 클래드 재료로 설계된 히팅블록에 대하여 3D 모델링 하여 열 해석을 하였으며, 클래드 판재를 가공하여 새로운 3D 프린팅용 히팅 블록을 시제품을 제작하였다. 제작된 시제품에 대한 테스트를 진행할 때 히팅블록에 대하여 열화상 측정을 하였다.

2. 실험방법 및 내용

2.1 히팅 블록 설계

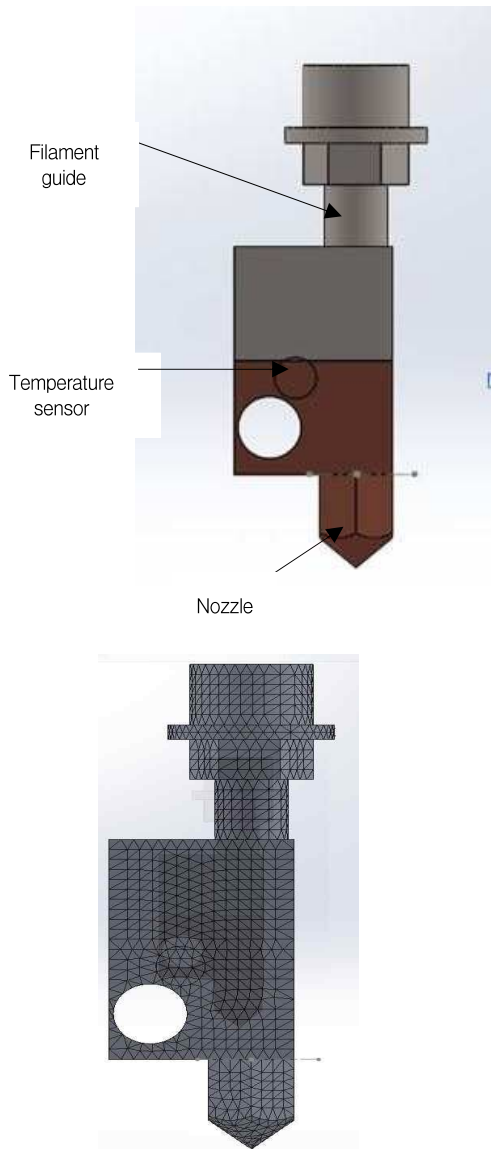
시판되고 있는 3D 프린팅용 히팅 블록은 알루미늄 블록으로 만들어 시중에 유통되고 있다. 그러나 기존에 사용되고 있는 히팅 블록의 문제점을 개선하기 위해 구리와 타이타늄 사용하여 클래드 히팅 블록을 제작하였다. 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대한 전체 크기는 Fig. 1에 나타내었다. 노즐과 히팅 부위는 구리를 사용하였으며, 열이 상부로 전달되는 것을 차단하기 위하여 열전도율이 낮은 타이타늄을 사용하였다. 또한, 필라멘트 가이드 부위는 타이타늄을 사용하여 열전달이 필라멘트에 직접 전달되지 못하도록 설계하였다.



[Fig. 1] Dimension of heating block specimen

2.2 히팅블록 전산해석

히팅 블록에 대한 3D 모델링과 전산해석은 Solid works simulation 2015 프로그램을 사용하였으며[19], 열 해석을 위해 nodes 수는 82,224개로 요소분할 수는 54,537개로 나누어 실시하였다. 히팅 블록에 대하여 3D 형상 모델링과 메시들은 Fig. 2와 같다.

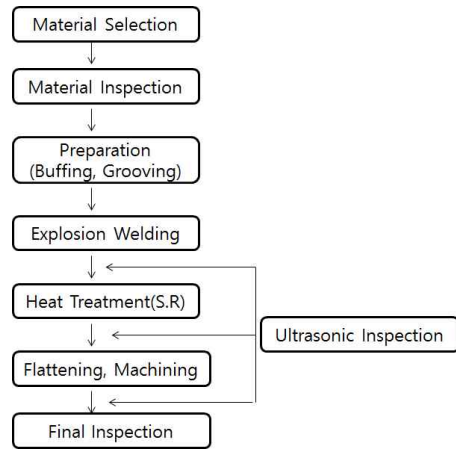


[Fig. 2] 3D modeling and element mesh of heating block

2.3 클래드 압접 제조 절차

이종 재료를 폭발압접 방법으로 클래드 판재를 만드는 순서는 Fig. 3과 같은 절차에 따라 제조하였다.

제일 먼저 재료를 선택한다. 즉 2개의 이종 재료를 선택한 다음, 재료의 이상 유무를 육안으로 확인한다. 폭발 압접하기 위해 연마 및 모서리 부분을 제거한다. 그리고 폭발 압접을 실시한다. 폭발압접이 끝난 클래드 판재는 비파괴 검사법의 하나인 초음파 검사를 실시한다. 그리고 열처리와 평판을 시행 한 다음 다시 초음파 검사를 한다. 최종적으로 클래드 판재를 최종적으로 기계 가공을 한 다음 기계적 성질(전단 강도 등)을 측정한다 다음 출하한다.



[Fig. 3] Manufacturing flow chart

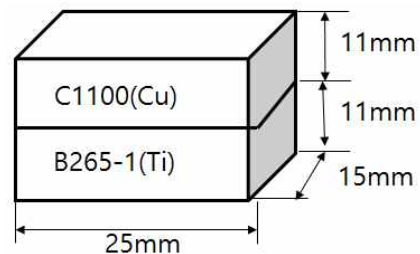
2.4 시편 준비

본 실험에서 사용된 재료는 공업용으로 시판되고 있는 구리(C1100)와 타이타늄(B265-1)을 사용하였다. Table 1에 실험에 사용된 재료에 대한 크기를 나타내었다.

<Table 1> Specification of the materials used in the experiment.

Materials	Length x Width (mm)	Thickness (mm)
Cu(C1100)	650 × 650	11
Ti(B265-1)	650 × 650	11

폭발 압접을 준비하기 위해 표면에 이물질을 제거하기 위해 연마기를 사용하여 미세연마를 한 후 세척하였다. 시험편 표면을 건조한 후 두 판을 포개어서 고운 모래 위에 위치하였다. 모래(C1100) 위에 타이타늄(B265-1)을 올려놓았다. 폭발 압접에 사용된 폭약은 Pure Amatol를 사용하였으며, 폭약과 기폭제를 설치한 후 뇌관을 사용하여 폭약을 폭발시켜 두 금속을 압접하였다. 초음파 검사와 편평도 검사한 후 물 분사를 사용하여 Fig. 4와 같은 크기의 클래드 판재를 절단하였다.

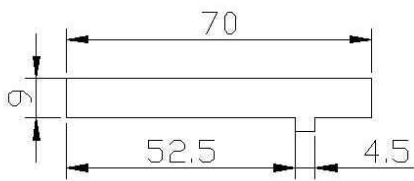


[Fig. 4] The configuration of the clad materials

물 분사로 가공한 클래드 판재 시편을 3D 프린터 히팅 블록용으로 사용하기 위해 Fig. 1과 같이 홀 가공을 하였다.

2.5 클래드 판재 전단 강도 시험

폭발압접에 의해 만들어진 클래드 판재 시험편에 대하여 전단 강도 시험을 시행하였다. 전단강도 시험은 ASTM A264-12 규정 따라서 시험편을 만들어 측정하였다. Fig. 5는 전단 강도 시험을 위한 시험편의 크기를 나타내었다.



[Fig. 5] Drawings of shear strength specimen

2.6 열전도도 측정

이 연구에서 클래드 판재에 대한 열전도 측정을 위해 사용한 열전도도 측정 장비는 Thermal diffusivity measurements(NETZSCH, LFA 447 NanoFlash)를 사용하였다. ASTM E1461 시험 방법은 각각 재료의 밀도, 비열, 열확산율을 알고 있어야 계산할 수 있다. 클래드 판재의 밀도 측정은 ASTM D792 규정에 따라 밀도를 측정하고, 비열은 섬광법을 이용한 비열 측정법을 사용하였다. 열전도도 계산은 다음 식으로 계산된다.

$$\lambda(T) = \alpha(T) \cdot C_p(T) \cdot \rho(T) \quad (1)$$

여기에서, 열 확산율(α), 비열(C_p), 밀도(ρ)를 나타낸다.

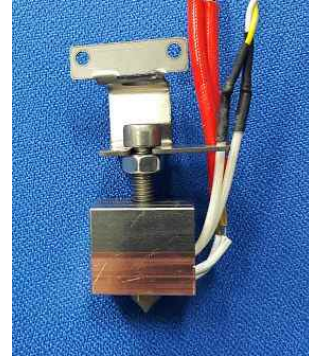
이 연구에서 구리와 타이타늄 클래드 판재에 대한 열전도도 측정은 ASTM E1461 규정에 따라 시험편을 제작하였으며, 클래드 판재에 대한 열전도도 측정은 한국고분자시험 연구소(주)에 의뢰하여 측정하였다.

2.7 히팅블록 제작

구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 히팅 블록의 시제품 사진을 Fig 6에 나타내었다. 블록의 아랫부분을 순수 구리 재료로 하고 윗부분은 타이타늄으로 제작하였다. 고분자 필라멘트 가이드 재질은 타이타늄으로 제작하였

다.

히팅 봉과 온도 센서를 고정하기 위한 고정 장치도 타이타늄으로 제작하였다.

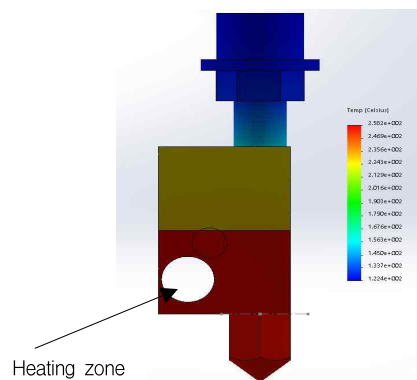


[Fig. 6] Heat block prototype made of Cu/Ti clad material

3. 결과 및 고찰

3.1 헤드부의 모델링 해석

이 연구에서는 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대하여 열 해석을 하였다. 해석 조건은 히팅 봉을 최대 260°C로 설정하여 해석하였으며 결과를 Fig. 7에 나타내었다.



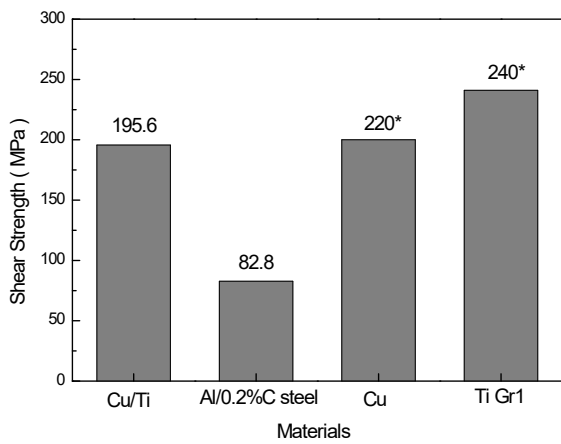
[Fig. 7] Temperature distribution when max 260°C at times

열분석을 실시한 결과 정상상태에서 히팅 블록과 클래드 판재에 대하여 온도가 높았으며 필라멘트 가이드 부인 타이타늄 환 봉에서는 기존 가이드 부 보다 낮은 대략 140°C 부근의 온도 분포를 나타내었다.

3.2 클래드 판재 전단 강도 시험 측정

구리와 타이타늄 클래드 판재에 대하여 전단 강도를 측정한 결과를 Fig.8에 나타내었다. 전단 강도 측정 결과

평균 195.6 MPa 값을 얻었다. Fig.8에 별표(*) 표시된 값은 구리와 타이타늄의 인장강도 값을 나타내었음. 순수 구리를 열간 압연한 인장강도 값은 220 MPa, 타이타늄 Gr.1의 인장강도 값은 240 MPa이다[20]. 이는 구리와 타이타늄 클래드 판재의 전단 강도 값은 순수 구리 인장강도 값의 0.89배, 타이타늄 Gr.1의 인장강도 값은 0.82배의 전단 강도 값을 보였다. 이러한 이유는 재료의 인장강도 값은 금속원소의 결합력과 관련되어 있기 때문에 결합력이 높은 재료를 클래드 판재로 만들면 전단 강도 값이 높게 나타난다고 생각된다.



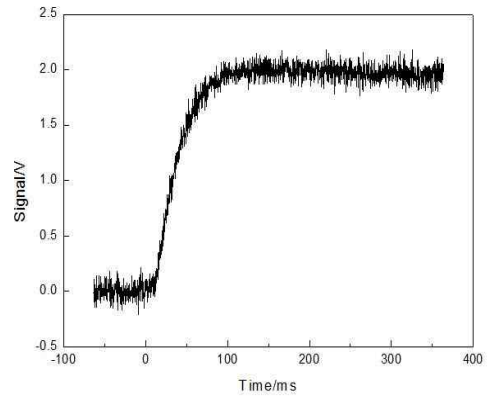
[Fig. 8] Sear strength of clad materials in this study

3.3 열전도도 측정

구리와 타이타늄 판재로 만든 히팅 블록에 대한 열전도도 측정 결과를 Table 2에 나타내었다. 열전도도 측정은 순수 구리를 히팅 부위로 하고 열전달이 타이타늄 쪽으로 흐르게 하여 3회 측정 결과 평균 62.52 W/m·K 값을 얻었다.

<Table 2> Result of thermal conductivity test

No.	Density (g/cm ³)	Specific heat (J/gK)	Thermal diffusivity (mm ² /s)	Thermal conductivity (W/mK)
1	6.872	0.500	18.28	62.43
2	6.872	0.509	18.33	62.62
3	6.872	0.492	18.29	82.49
Average	6.872	0.50	18.30	62.52

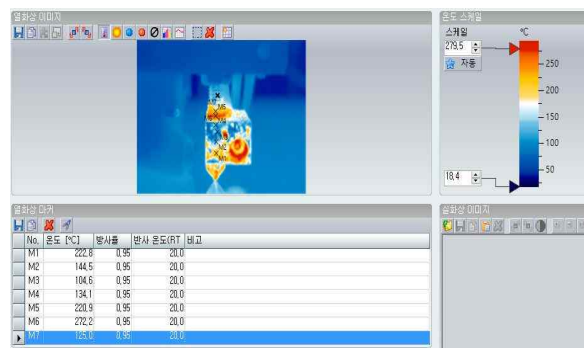


[Fig. 9] Thermal conductivity of clad materials in this study

Fig. 9은 열 확산율(a) 측정을 위해 사용된 시간 대 시그널 그래프이다. 시그널 값이 최대 값의 중간 시그널 값을 사용하여 열전도도 측정을 하였다. 기존의 히팅 블록의 가열부위는 순수 구리와 타이타늄 Gr.1으로 제작한 클래드 판재에 대하여 열전도도 측정 결과 62.52W/m·K 값을 나타내었다. 300K에서 순수 구리의 열전도도는 401W/m·K, 타이타늄의 열전도도는 21.9W/m·K이다 [21]. 이들 열전도도가 다른 두 개의 금속을 클래드 판재로 제작하여 필라멘트 가이드로 열전달이 저하될 것으로 예상된다.

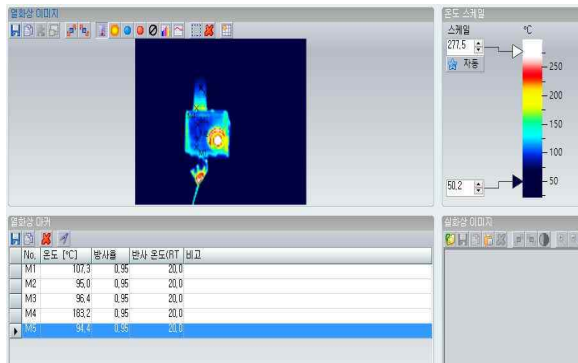
3.4 히팅 블록 표면온도 측정

시판되고 있는 알루미늄으로 만든 히팅 블록에 대한 열화상 카메라(Testo 875-1, Germany) 장비를 사용하여 [22] 측정 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 히팅 블록에 대한 표면 온도 결과 히팅블록 부근에서는 최대 220.9℃가 측정되었으며, 필라멘트 가이드 부위는 최대 272.2℃가 측정되었다.



[Fig. 10] Thermal analysis of heating block made of aluminum material

Fig. 11에 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대한 표면 온도를 열화상 카메라로 측정하였으며, 히팅 블록에 대한 표면 온도 측정 결과 히팅블록 부근에서는 최대 107.3°C가 측정되었으며, 필라멘트 가이드 부위는 최대 183.2°C가 측정되었다. 이는 알루미늄으로 만든 히팅 블록에 비하여 히팅 블록 부근의 표면온도는 103.6°C 낮고, 필라멘트 가이드 부에서는 91.0°C 낮게 측정되었다. 따라서 클래드 판재로 만든 히팅 블록에서 열 전달이 차단 효과가 있는 것을 알 수 있었다.



[Fig. 11] Thermal analysis of heating block made of clad plate material

4. 결 론

이 연구에서는 3D 프린터용 히팅 블록의 발열로 인해 가이드로 열이 전달되어 필라멘트가 녹는 문제점을 개선하기 위해 2개의 금속재료를 폭발압접에 의해 클래드 판재로 만들었다. 클래드 판재에 대한 전단강도 시험을 하였으며, 히팅 블록으로 가공한 다음 열 해석, 열전도도, 열화상 측정 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대하여 3D 모델링 열 해석 한 결과 필라멘트 가이드 부위의 표면 온도가 히팅 블록 표면온도 보다 낮은 온도가 예측되었다.
2. 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 다음 전단 강도를 측정한 결과 평균 195.6MPa 값을 얻었다.
3. 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대하여 열전도도를 3회 측정한 결과 평균 62.52 W/m·K 값을 나타내었다.
4. 구리와 타이타늄 클래드 판재로 만든 히팅 블록에 대하여 열화상 카메라로 표면 온도를 측정된 결과

최대 107.3°C 측정되었으며, 필라멘트 가이드 부근에서는 183.2°C 측정되었다.

이 연구결과 클래드 재료를 사용하여 히팅블록을 개발한 결과 필라멘트에 열이 가해져 녹는 문제가 해결되었다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 연구는 2017년 원광대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과입니다.

REFERENCES

- [1] P. S. Jang, W. H. Jung, J. S. Hyun, "Effect of Abstraction and Realism on Uncanny Valley In 3D Character Model", Journal of Digital Convergence, Vol. 14, No. 10, pp. 277-285, 2016.
- [2] M. J. Kim, "Research trends in rehabilitation program for disabled applying virtual reality technology in Korea", The Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 2, pp. 381-391, 2015.
- [3] Ju-Yang Lee & Phil-Sik Jang, "Effects of Message Polarity and Type on Word of Mouth through SNS (Social Network Service)", The Journal of Digital Policy & Management, Vol. 11, No. 6, pp. 129-135, 2013.
- [4] Y. S. Jeong, Y. T. Kim, G. C. Park, "A Three-dimensional Numerical Weather Model using Power Output Predict of Distributed Power Source", Journal of Convergence Society for SMB, Vol. 6, No. 4, pp.93-98, 2016.
- [5] H. J. Lee, J. S. Han, Y. K. Jeong, I. W. Lee and S. H. Lee, "A Technology of Context-aware based Building Management for Energy Efficiency", Journal of Convergence Society for SMB, Vol. 2, No. 1, pp.69-75, 2016.
- [6] C. H. Jin, X. Li, K. I. Kim, M. Y. Hwang, S. Y. Kim, K. D. Kim, K. H. Ryu, "Filtering Method for Analyzing Renewable Energy Stream Data", Journal of Convergence Society for SMB, Vol. 1, No. 1,

- pp.39-44, 2011.
- [7] J. H. Lee, J. U. Cho, "Convergence Technique Study of Model Tie Rod End by Configuration through Simulation Analysis", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 7. No. 1, pp. 161-166, 2016.
- [8] J. H. Lee, J. U. Cho, "Convergence Technique Study through CAE due to the Shape of Lift for Car", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 5, pp. 49-54, 2015.
- [9] E. Shellshear, R. Berlin, and J. S. Carlson, "Maximizing Smart Factory Systems by Incrementally Updating Point Clouds", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 35, No. 2, pp. 62-69, 2015.
- [10] T. S. Jeong, "The Suggestion for Successful Factory Converging Automation by Reviewing Smart Factories In German", Journal of the Korea Convergence Society Vol. 7. No. 1, pp. 189-196, 2016.
- [11] http://navercast.naver.com/magazine_contents.nhn?rid=1697&contents_id=30687
- [12] <http://it.donga.com/20408>
- [13] Chuck Hull, Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography, 1986(Pat. No.: US4575330A)
- [14] J. J. Kim, D. H. Won, J. S. Gook, "Manufacture of Clad Titanium Alloy Artificial Hip Joint by Explosive Welding", Jou. of Korean Soc. of Mechanical Technology, Vol. 16, No. 1, pp. 1075-1082, 2014.
- [15] S. M. Hong, J. H.H wang, J. W. Sim, W. J. Chung, M. S. Joun, "Causes of Fracture Occuring in Plate Forging of Clad Plate", Proceedings of the Korean Society for Technology of Plasticity, Vol. 2015, No. 5, pp.165-168, 2015.
- [16] J. K Mun, "A Study on the explosive Cladding of Heterogeneous Materials", Hongik University, Ph. D. thesis, 1993.
- [17] M. G. Kim, "Impact pressure range and explosion pressure", Journal of Basic Sciences, Vol. 9, No.1, pp. 41-65, 1999.
- [18] J. J. Kim, D. H. Won, J. S. Gook, "Manufacture of Clad Titanium Alloy Artificial Hip Joint by Explosive Welding", Jou. of Korean Soc. of Mechanical Technology, Vol. 16, No. 1, pp. 1075-1082, 2014.
- [19] S. B. Cho, "A Study on The Parameters For Stress Intensity Factors of An Interface Crack in Anisotropic Dissimilar Materials", Symposium, Vol. 11, No. 1, pp.33-39, 1999.
- [20] J. B. Lee, D. H. Yang, S. Y. Kim and K. S. Kim, "A Study on Flow Analysis of the Blast Valve for Anti-aircraft Shelter", J. Korean Soc. Mech. Technol, Vol. 17, No. 5, pp.1107-1115, 2015.
- [21] W. D. Callister. Jr, "Materials science and engineering an introduction 6th edition", John and Wiley & Sons, pp. 781-785, 2004.
- [22] P. Incropera, D. P. Dewiti, "Introduction To Heat Transfer", John Wiley & Sons, Inc. 1993.

저자소개

원 대 희(Dae-Hee Won)

[정회원]



- 1996년 2월 : 전북대학교 일반대학원 금속공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 전북대학교 일반대학원 금속공학과 (공학박사)
- 2007년 7월 ~ 2012년 3월 : 순천대학교 산학협력전담교수

• 2017년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 스마트자동차공학과 조교수

<관심분야> : 생체재료, 타이타늄, 석재 기계, 3D 프린팅