

소비자 지향 3차원 헬멧제품 제작을 위한 UV레이저 기반의 폴리머/금속적층에 대한 기초연구

강보석*, 안동규**, 신보성***,#, 신종국****,##

*부산대학교 첨단정밀공학협동과정, **조선대학교 기계공학과, ***부산대학교 광메카트로닉스공학과, ****부산대학교 경영학과

A Fundamental Study on Polymer/Metal Additive Method using a UV Laser for Consumer-oriented 3D Helmet Products

Bo-Seok Kang*, Dong-Gyu Ahn**, Bo-Sung Shin***,#, Jong-Kuk Shin****,##

*Engineering Research Center for Net Shape and Die Manufacturing, Pusan National University,

Department of Mechanical Engineering, Chosun University, *Department of Optics and Mechatronics Engineering, Pusan National University, ****Department of Business Administration, Pusan National University

(Received 21 November 2016; received in revised form 28 November 2016; accepted 30 November 2016)

ABSTRACT

Consumer orientation requires that companies understand consumer needs and produce products that meet their expectations. This study proposes a new additive method that creates a polymer/metal bonding layer and thus can lighten the weight of helmets to develop a consumer-oriented 3D printing helmet. The composite solution is experimentally prepared with copper formate and a photopolymer resin. Stereolithography apparatus and photothermal reactions are introduced to fabricate an adhesive hybrid layer of copper metal and polymer. A UV pulse laser with a 355 nm wavelength was installed to simplify this process. Resistance, adhesion, and accuracy were investigated to evaluate the properties of the layer produced.

Key Words : 3D Printing(3D 프린팅), Copper Formate(구리 포메이트), UV Pulse Laser(UV 펄스 레이저), Composite Solution(혼합 용액), Helmet(헬멧)

1. 서 론

Corresponding Author : bosung@pusan.ac.kr
Tel: +82-51-510-2789, Fax: +82-51-512-1722

Corresponding Author : shinjk@pusan.ac.kr
Tel: +82-51-510-2576, Fax: +82-51-512-1722

3D 프린트 산업은 지속적으로 발전해 왔으며 이에 점점 다양한 소재를 이용한 3D 프린트 방법들이 등장하고 있다. 3D 프린트 산업은 기존산업과의 융합이 이루어지고 있으며 더욱 3D 프린트의 재료 및 공정 등에 대한 연구도 관심이 높아지고 있다. 산업용 3D 프린트는 가공과 적층을 동시에 할 수 있는 제품도 있으며, 마이크로 단위의 정밀가공이 가능하다. SLA(Stereolithography Apparatus)프린트 방

식에서는 최근 층이 없는 구조체를 만들 수 있는 3D 프린터가 등장했을 뿐만 아니라 세라믹과 같은 새로운 소재도 만들 수 있게 되었다. 이러한 발전을 기반으로 3D 프린트는 요즘 의료, 군수, 우주항공 등 개인 맞춤을 하는 분야나 필요한 부품을 직접 조달하는 산업에서 각광받고 있다. 나아가 앞으로 3D 프린트 산업은 웨어러블(Wearable)과 플랫폼(Platform)화에 관심이 점점 더 높아질 것으로 보이며, 현재 활발하게 이루어지고 있는 개개인의 다양한 독립적 생산도 더 늘어나게 될 것이다.

이러한 기술의 평준화가 이뤄지고 있는 오늘날, 제품 품질의 향상만으로는 소비자의 선택을 받을 수 없는 상황이 흔하게 나타난다. 무한경쟁에서 기업이 경쟁우위를 확보하고 생존해 나가기 위해서는 제품 품질 중심의 사고에서 벗어나 소비자 지향적 사고로의 패러다임 전환이 필요하다^[1]. 기업이 소비자 지향적 사고로 무장하고 소비자 중심 경영을 전사적으로 수행하여야만 고객 만족을 통해 지속적인 고객관계를 발전시켜 나갈 수 있기 때문이다^[1]. 소비자 지향성(consumer orientation)이란 기업이 수행하는 모든 활동의 중심을 소비자에게 맞추어 소비자의 필요와 욕구를 충족시키고자 지향하는 사고를 말한다^[2]. Christensen(1997)은 혁신 기술이 적용된 제품 개발의 상업적인 성공 여부를 결정하는 핵심요인은 바로 소비자의 욕구를 얼마나 잘 이해하고 이를 제품 개발 과정에 반영하는가에 달려있다고 주장함으로써 소비자 지향성의 중요성을 강조한 바 있다^[3].

그러므로 혁신 제품의 개발에 앞서 소비자의 니즈를 파악하고 이를 충족시키기 위한 방향으로 제품 개발이 이뤄져야 할 것이다. 소방 헬멧 개발을 위해 실제 소방 헬멧 사용자들을 대상으로 실시된 최근 연구에서 응답자들은 소방용 안전모의 속성 중 내충격성, 중량감, 내열성, 사용용이성, 개인맞춤성 순으로 중요도를 높게 인식하고 있었으며, 중요도가 높은 속성 중 소방모의 중량감에 대한 불만족이 가장 큰 것으로 나타나 향후 신제품 개발 시에 헬멧의 경량화를 위한 노력이 우선적으로



Fig. 1 Typical helmet cross section structure

필요한 것으로 나타났다^[4].

Fig. 1에 나타나 있는 바와 같이 플라스틱, 금속, 세라믹 및 다공체등의 다양한 재료를 복합적으로 이용함으로써 복합재의 헬멧을 한 공정으로 제조할 수 있다면 착용감을 향상시키면서 동시에 경량화에 대한 소비자 니즈를 충족시킬 수 있을 것이다.

폴리머 구조체와 금속 패딩을 3차원적으로 프린트 하는 경우에, 이들의 구조물은 단순히 독립된 폴리머, 금속의 구조물이 아니라 복합소재가 접합된 3차원 구조를 이룰 수 있는 장점이 있다^[5,6].

따라서 본 연구에서는 소비자가 지향하는 헬멧을 3D 프린트 기법으로 맞춤 제작하고자, 레이저기반으로 금속을 적층하는 기존연구를 바탕으로 SLA(Stereolithography Apparatus)방식에서 금속과 폴리머의 복합소재 적층공정에 필요한 두 개의 다른 소재에 대한 접합공정을 실험적으로 연구하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 구리는 일반적으로 쓰이는 도선뿐만 아니라 광학적인 특성을 이용하여 반사 필름의 소재로도 대표적으로 이용되고 있으며, 신에너지 산업에 많이 이용되는 태양광산업의 부품의 전기 전극과 같이 특별한 물성이 필요한 많은 분야에서 이용되고 있다^[7,8].

또한 광경화로 만들어지는 폴리머의 물성은 광경화성액상수지를 어떠한 구성으로 만들었는가에 따라 결정된다.

광경화성액상수지는 올리고머(Oligomer)라는 베이스 수지에 모노머(Monomer)는 반응성 희석제, 그리고 광중합 개시제를 기본으로 이외에 각종 첨가제를 넣어 만들게 된다^[9,10]. 여기서 올리고머인 베이스 수지에 아크릴의 비율이 올라가게 되면 내열성이 증가하게 되며, 광중합 개시제의 종류에 따라 최대 흡수 파장이 200~400nm인 광경화성액상수지를 선택적으로 만들 수 있다^[11]. 위와 같은 방법으로 만들어진 광경화성액상수지에 자외선을 쬐어 이루어지는 라디칼 중합은 다음단계로 진행된다. 광에 의하여 중합 개시제가 분해하여 활성 라디칼이 발생하며, 활성라디칼이 모노머와 프리폴리머의 2중 결합을 활성화 한다. 성장한 라디칼 무리가 결합하여 라디칼을 형성하면 반응이 종료된다. 이러한 자외선에 경화되는 수지는 나무, 플라스틱, 금속의 표면처리 및 투명체의 접착분야에 쓰인다. SLA(Stereolitho-graphy Apparaus) 방식의 특성을 생각해 볼 때 위에서 이용하는 반응으로 이중재료를 접합시키면서 복합소재 적층 및 3D 프린트가 가능하다.

2.1 폴리머/금속 혼합용액

이 실험에서 쓰이는 혼합용액은 구리 포메이트(copper formate)와 광경화성액상수지를 섞어 제조하였다. 구리 포메이트는 안정적이고 인체에 무해한 물질이다. 또한 비교적 낮은 온도인 190~210°C에서 구리로 분해되는 성질이 있다^[12,13]. 이를 이용하여 이 실험에서는 구리 용액에 레이저를 조사하여 구리 패턴을 형성하며 화학식은 다음과 같다^[14].

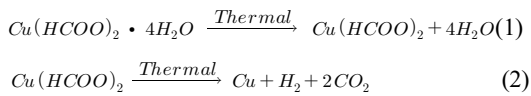


Fig. 2(a)와 같이 이용한 구리 포메이트는 광경화성액상수지에 비교적 잘 녹을 수 있는 제품을 선정하였고, Alfa Aesar사의 Copper(II) formate tetrahydrate, 98%(HCO_2)₂Cu · 4H₂O 을 이용하였다. Fig. 2(b)와 같이 광경화성액상수지는 FSL3D의



(a) copper formate (b) Photopolymer resin

Fig. 2 Solutions for experiment with two materials of metal and polymer

투명 수지(clear resin)를 이용하였다. 이 수지는 라디칼 중합계의 아크릴 계열 레진이고, UV파장대에서 광경화가 일어나며 광경화가 일어나 만들어진 폴리머 구조는 ABS와 유사한 물성을 가지기 때문에 실험에 이용하는 UV레이저에 의해 잘 경화되며 copper formate를 잘 용해할 것으로 판단되어 선정하였다. 이 두 물질을 섞어 각 물질의 부피비와 구리 포메이트 입자의 크기(particle size)를 실험 변수로 사용하였다.

2.2 폴리머/금속 복합소재 프린트 절차

Fig. 3에서 보는 바와 같이 본 실험에 이용한 레이저 발진기는 미국의 DPSS사의 355nm파장의 펄스 레이저를 사용하였다. 이 제품은 광경화성액상수지를 경화시킬 수 있으며 파워 조절과 목표한 형상을 비교적 쉽게 만들 수 있도록 프로그램 확장자에 대하여 호환이 좋아 3D프린트를 위한 기초연구에 적합하여 선정하였다. 펄스폭은 20ns의 TEM00 모드이며 펄스 반복율은 30.303kHz이다. 에너지 분포는 가우시안 빔의 레이저이다. 실험은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 이 레이저를 이용하여 기존 SLA 방식의 프린터와 같이 수조에 광경화성액상수지를 채운 후 레이저를 조사하여 패턴을 만들어 이 위에 용합소재접합 실험을 수행하였다. Fig. 4와 같이 제작 패턴은 2D CAD 데이터를 이용하여 임의의 형상을 제작 가능하다. 이후 수조의 레진을 제거 한 후, 금속면을 필요로 하는 부분에 제조한 용액을 입힌다. 이후 이 용액에 레이저를 조사하여 190~210°C의 온도를 가해주면 구리표면이 형성된 폴리머/금속 접합면이 적

Table 1 Pulse laser specification

Parameter	Value
Wavelength(nm)	355
Pulse length(ns)	25
Repetition rate(kHz)	30.30
Mode	TEM ₀₀

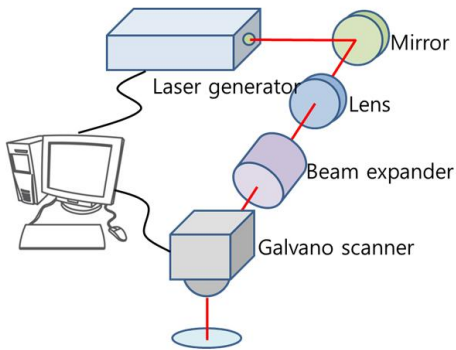


Fig. 3 Photo and schematic diagram of 355nm DPSS UV laser system

층된다.

여기서 용액 내의 각 재료인 구리 포메이트와 광경화성액상수지의 부피비, 구리 포메이트의 입자 크기, 구리를 가공하는 파워를 조정해 주기 위하여 조정된 레이저의 조사속도를 조작변수 설정하였으며, 이에 따라 재료간의 접착성, 목표한 형상과 일치하는지를 알기 위한 정밀도, 전도성을 알기 위한 저항, 3D 프린트시 필요할 가공되어 구리가 되는 가공 깊이를 종속변수로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 수지 내 구리 포메이트의 부피 비에 따른 저항의 변화 및 접착력 변화에 대한 결과 그래프이다. 섞은 용액에서 석출된 구리이기 때문에 성분 분석을 이용하여 순수구리를 확인하기보다 얼마나 구리와 접합하기 적합한지 알기 위해 Fig. 5의 ○그래프와 같이 저항을 측정하여 위에 다시 구리를 적층 시에 적합한지를 확인하였다. 보통은 C-O 기의 증가에 따라 표면에서의 접착력이 증가하는 결과가 나왔다. 접착력은 Fig. 5의 △그래프와 같이 3M의 Brabd 9070테이프를 기준으로 접착력 실험하였다.

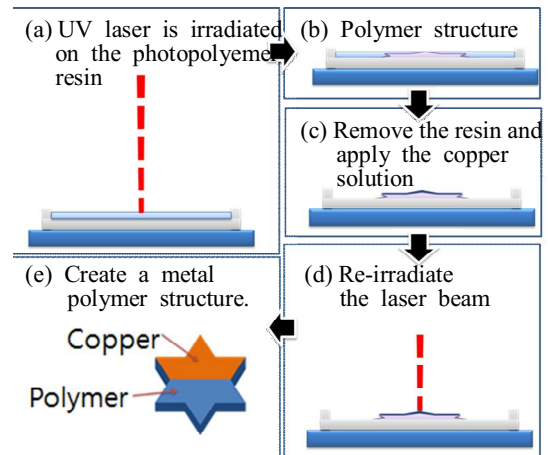


Fig. 4 Polymer/metal additive procedure

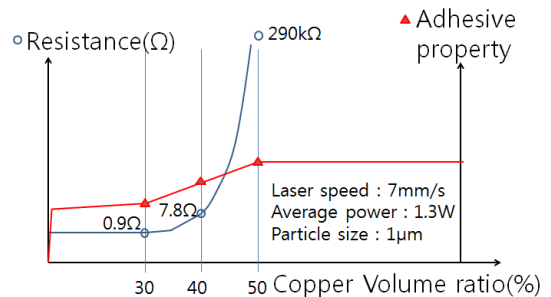


Fig. 5 Resistance of copper layer and adhesive property with respect to different ratio of copper formate volume

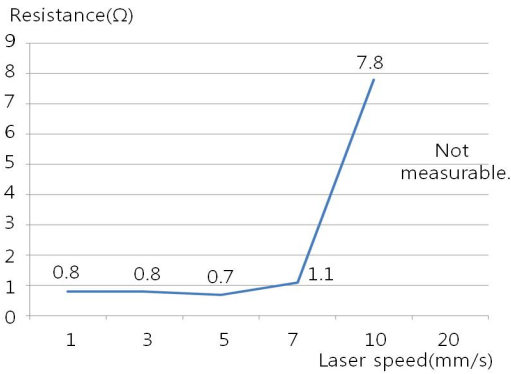


Fig. 6 Resistance of copper layer with respect to different laser speed

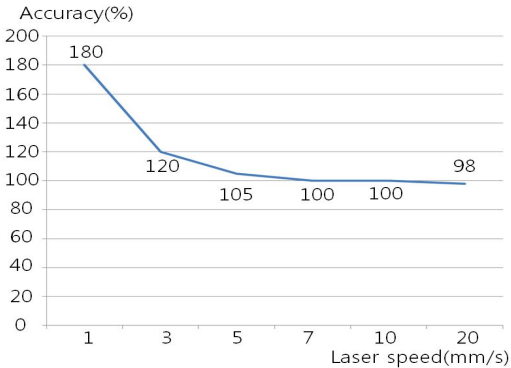


Fig. 7 Dimension accuracy of copper layer with respect to different laser speed

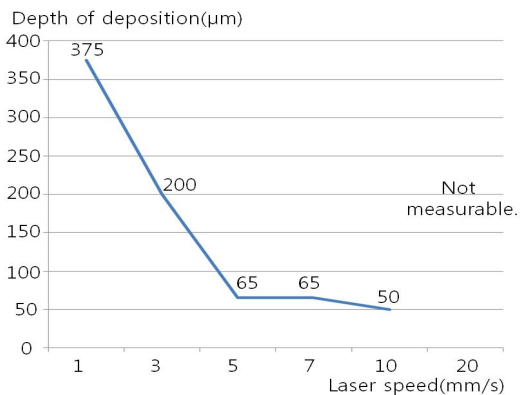


Fig. 8 Depth of copper layer with different laser speed

테이프의 접착력은 180도 SUS 기준으로 1700g/25.4mm이다.

Fig. 6 을 보면 용액을 가공하였을 경우 멀티미터로 잰 저항은 기본적으로 0.7~0.8Ω을 유지한다. 그러나 레이저로 인해 받는 에너지가 감소하면 구리로 변하는 비율이 줄어들게 되어 저항이 기하급수적으로 늘어나게 된다.

이 수치까지 저항이 증가하게 되면 접착력은 좋지만 접합하기 위한 금속체로서의 화학적 물성은 거의 잃게 되는 것을 의미한다. 또한 레이저 속도에 따른 형상의 정밀도는 파워가 1.3W, 구리 포메이트 입자가 1μm, 레진부피비가 0.6일 경우에 정밀도는 Fig. 7과 같다. 레이저 조사 스피드에 따라서 받는 에너지가 달라지게 조정하였고, 이에 따라 선풍이 원하는 형상 비에 따라 180% ~ 98%까지 변하는 결과를 얻었다. 형상이 180%까지 증가하게 되는 원인은 가공되어지는 혼합 용액이 레이저로부터 받는 에너지가 옆으로 전도될 만큼 컸기 때문이며, 이 전도되는 에너지를 가지는 속도 이하로 레이저를 조사하였을 경우 라인 패턴이 일정한 것으로 나타났다. 그리고 레이저 속도에 따른 가공되어 나오는 구리의 깊이는 접착성과 원하는 정밀도를 목표로 하면, Fig. 8과 같이 약 65μm가 나오는 것을 알 수 있었다. 이는 제품을 만들 때 접합면으로 사용하기에 충분히 얇은 μm 사이즈의 두께이다.

4. 결 론

본 연구에서는 소비자의 요구에 따른 경량의 헬멧제품을 만들기 위해 한 공정으로 이중재료 간 접합하는 공정을 제안하였다. 또한 폴리머와 금속 접합 층을 만드는 기초 실험을 하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. UV 레이저를 이용하여 3차원 폴리머/금속 구조를 만들었으며, 미세 입자의 구리 포메이트를 이용하여 190~210℃의 조건에 맞도록 레이저를 조사할 경우 접합 층이 생기는 것을 확인하였다.

2. 1μm 사이즈의 구리 포메이트, 구리포메이트와 레진의 부피비는 0.6~1:1, 레이저 조사속도는

1.3W출력 기준으로 초점거리에서 5~10mm/s이 최적이며, 이 때 얻어지는 접합면의 두께는 약 65 μ m의 두께를 가지며 저항은 약 0.7 Ω 을 가졌다.

3. 접착력과 구리의 순도는 반비례 관계를 가지며 접합면 자체의 전기 전도도로는 구리의 높은 수준의 전도도를 나타내지 못하였지만 금속과의 접착성을 높이기에는 충분함을 확인하였다.

향후에는 본 공정을 안정화시키기 위하여 UV레이저를 CW레이저로 대체하여 표면의 정밀도를 향상시킨 금속과 폴리머의 3차원 복합소재 적층에 대하여 추가연구를 수행하고자 한다.

후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2015R1A5A7036513). 그리고 본 논문은 개인안전용 융합제품 개발을 위한 이공계와 비이공계(경영·디자인·심리학)간의 초학제간 융합연구 결과이며, 그에 따른 공동교신저자의 기여도는 각자 50%로 균등하므로 공동명기 한다.

REFERENCES

1. Armstrong, G. and Kotler, P., *Marketing: An Introduction*, Pearson, pp. 37-40, 2011.
2. Christensen, C. M., *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press, Boston, pp. 108-167, 1997.
3. Hwang, E. A. and Lee, S. S., "The Effect of the Consumer Information Orientation of the Corporate Website on Decision-Making Thinking Cost", *Journal of Consumer Studies*, Vol. 16, No. 1, pp. 33-53, 2004.
4. Oh, M. O., Shin, J. K., Kang, M. C., Shin, B. S., and Moon, M. K., "Effects of Convergence Firefighter Helmet Attributes on Consumer Response," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 33, No. 5, pp. 349-356, 2016.
5. Kim, U. S, Park, J. W., "Machining Characteristics according to Electrochemical Polishin(ESP) conditions of Stainless Steel Mesh", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 6, pp.41-48, 2015.
6. Shin, B. S., Hong, S. M., KR Patent No. 10-1611566, 2016.
7. Lee, J. Y., Kim, C. H., Sea C. W., "Plating hardness and its effect to the form accuracy in shaping of corner cube on cu-plated steel plate using a single diamond tool", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 13, No. 5, pp64-69, 2014.
8. Kim, K. W., Kim S. H., Cho, H. Y., "Analytic Study on Pulsed-Laser Polishing on Surface of NAK80 Die Steel" *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 6, pp136-141, 2015.
9. Schilling, M.L., Colvin, V. L., Dhar, L., Harris, A. L., Schilling, F. c., Katz, H. E., Wysocki, T., Hale, A., Blyler, L. L, Boyd, C., "Acrylate oligomer-based Photopolymers foir optical Storage Applications." *Chem. Mater.*, 11, pp. 247-254, 1999.
10. Oster, G., Yang, N. L, "Photopolymerization of vinyl monomers." *Chemical reviews*, Vol 68, No. 2, pp. 125-151, 1968.
11. Criveollo, J. V., Lam, J. H. W., " Diaryliodonium Salts. A New Class of Photoinitiators for Cationic Polymerization." *General Electric Corporate Research and Development*, Vol. 10, No. 6, pp. 1307-1315, 1977.
12. Galeway, A. G., Jamieson, D. M., Brown, M. E. *J. Phys. Chem.* 78, p. 2664, 1974.
13. Kim, D. Y., "Laser Surface Treatment for Adhesion Improvement of Silicon" *The Korean Physical Society*, Vol.45, No. 4, pp.248-251, 2002
14. Kim, J. H., "Direct Micro Fabrication of Copper Patterns Using 355nm UV Laser", M.Sc Thesis, School of Mechanical Engineering, Pusan National University, 2008.