

쾌속조형 부품의 후처리 방안에 관한 연구

양화준, 김성준, 장태식, 이일엽(현대자동차 울산시작팀), 이석희(부산대학교 기계공학부)

A research on Postprocess Finishing Method of The Rapid Prototyping Parts.

H. J. Yang, S. J. Kim, T. S. Jang, I. Y. Lee(Ulsan Prototype Manufacturing Team, Hyundai Motor Company),
S. H. Lee(School of Mechanical Engineering, PNU)

ABSTRACT

Even as many methods and technologies have been introduced on data generation, parts orientation and layer slicing to acquire the rapid prototyping(RP) parts that have useful surface to satisfy customers' needs such as styling/design verification direction/indirect tooling directly from the RP machine, these trials continue to suffer from the surface roughness due to the build characteristics of RP technology. A new postprocess finishing method is suggested in this paper to overcome the surface roughness problem on the surface of the RP parts. To prevent deterioration of dimensional accuracy from the conventional grinding-only, and coating-grinding methods, 4-step surface finishing process is applied. To satisfy the various requirements from the RP oriented industrial fields, effective procedure, coating material, grinding tools and methods are employed.

Key Words : Rapid prototyping(RP : 쾌속조형), Surface roughness(표면 거칠기), Postprocess finishing(후처리 공정) Dimensional accuracy(치수 정밀도), Grinding tools (사상 도구), Coating Material (코팅소재)

1. 서론

CNC 가공과 비교했을 때 쾌속조형 기술의 가장 큰 장점 중의 하나는 언더컷이 있는 3 차원 형상을 셋업 변화 없이 짧은 기간에 제작하는 데 있으며, 성형 기술 및 소재에 따라 금형의 직접 제작, 인베스트먼트 주조 등과 같은 특정분야에 효과적으로 적용할 수 있다는 것이다. 그러나 부품의 제작 및 후처리 등에서는 최근 연구된 바 있는 고분자 소재 캐를 이용한 CNC 가공 보다 열세에 있는 것이 사실이다. 최근 몇 년 사이 국내에서도 학계, 산업계를 중심으로 쾌속조형 장비가 많이 도입되어 이런 문제점 들에 대한 체계적 연구와 효과적인 활용방안에 대한 논의가 활발히 진행되고 있다.

쾌속조형기술의 초기 단계에서는 레이저를 비롯한 기계장치의 제어 정밀도 및 성형 소재의 한계에 의해 주로 디자이너가 생각했던 형상의 확인을 위한 목적에 사용되었으나, 이런 문제점 들이 점차 개선되면서, 설계 부품의 기능적 확인 및 몰드 제작을 위한 마스터모델, 직접적인 몰드의 제작 등으

로 그 활용분야가 다양해 지고 있는 추세이다.

이러한 다양한 활용 목적에 있어서 공통적으로 요구되는 특성중의 하나는 성형 부품의 표면 거칠기에 관한 것이다. 일반적으로 쾌속조형 기술에서는 성형 기구 특성상 3 차원 데이터를 여러 개의 2 차원 데이터로 분할한 후 각 층을 성형하고, 적층하는 방식으로 부품을 제작하는데, 이 과정에서 각 층 사이에는 계단현상이 발생하게 되며, 이러한 계단현상은 전체적인 제품 표면의 품질을 저하시키게 된다. 이를 개선 하기 위해 다양한 방안들이 제시되었는데, Reeves 등은 SLA 공정에 있어 성형 부품의 조도를 수학적으로 표현하고, 표면 거칠기에 영향을 주는 인자들을 규명하려는 노력을 하였고^[1], Hope 등은 분할된 각 층 내부 각각에 기울기를 부여하여 성형 부품의 표면 거칠기를 줄이려는 시도를 하였으며^[2], Williams 등은 성형 부품의 내부에 있는 관통형상에 있는 단차를 효과적으로 제거하기 위해 마찰성 입자를 이용하는 AFM(Abrasive Flow Machining)의 실용성을 검증하였다^[3]. 그러나 이러한 연구들에 있어서도 개선 수준의 한계, 성형 시

간의 증가, 후처리 가능 영역의 제한이 있어 아직 실질적인 적용은 이루어지지 않고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 극복하기 위하여, 사상-코팅-사상의 공정을 단계적으로 수행함으로써 성형 부품의 치수 정밀도를 최대한 유지하고 기능적으로 우수한 표면을 생성할 수 있는 후처리 방법을 제시하고자 한다.

2. 본문

2.1 후처리 공정의 요소 분석

앞서 언급한 바와 같이 쾌속조형 부품의 다양한 적용 영역에 있어서 공통적으로 요구되는 품질요소의 중의 하나는 성형 부품의 표면 조도이다. 디자인 제품의 감성적 확인을 위해서는 물론이고, 조립 및 실제품 장착 등에 있어도 마찰의 최소화는 필수적이다. 그리고 쾌속 조형 부품을 이용한 몰드의 제작에 있어서는 표면 처리의 중요성이 한층 더해지는데, 실리콘을 이용한 진공주형 몰드나, 에폭시를 이용한 림 및 사출 몰드의 경우 성형 및 열처리 공정에서 100℃ 이상 까지 온도가 상승하게 되므로, 마스터 모델의 표면 조도가 불량할 경우 성형 부품과 몰드간의 마찰력이 과도하게 증가하게 되어 몰드 수명을 단축시키는 원인이 되기도 하며, 몰드에 의해 복제된 제품의 수정을 유발한다. 쾌속 조형 부품의 표면 품질을 결정하는 인자를 합리적으로 추출하기 위해 Table 1 에 쾌속 조형부품이 적용될 수 있는 분야와 각각에 대한 표면 요구 특성을 나타내었다.

Usages of RP Parts		Required surface characteristics
Design, Styling verification		Painting, Surface roughness
Fitness Check		Dimensional accuracy, Hardness, Thermal resistance, Durability, ...
Functional test		Dimensional accuracy, Hardness, Thermal resistance, Durability, ...
Tooling	RTV tooling	Dimensional accuracy, Thermal resistance, Surface roughness, Painting
	Epoxy mold	Dimensional accuracy, Thermal resistance, Surface roughness
	Casting	Dimensional accuracy

Table 1 Usage of RP master models and required surface characteristics for each usage

Table 1 에서 언급된 쾌속 조형 부품의 표면 요구 특성은 도장성, 치수정밀도, 표면 경도, 표면 조

도, 내열성, 내구성 등의 여섯 가지 요소로 다시 정리할 수 있으며, 각각의 특성에 영향을 미치는 후처리 공정에서의 인자는 다음과 같다.

Surface characteristics	Determination factors
Paintability	Coating materials
Dimensional accuracy	Grinding methods, Postprocess procedure, Coating thickness
Surface Hardness	Coating materials
Surface Roughness	Grinding methods, Postprocess procedure, Grinding conditions, Grinding tools
Thermal resistance	Coating materials
Durability	Coating materials

Table 2 Required surface characteristics and determination factors for each characteristics.

Table 2 에서 나타난 결과를 보면, 쾌속조형 부품의 효과적 이용을 위한 후처리 공정의 결정요소는 최적의 작업순서, 사상도구, 후처리 소재, 작업조건의 4 가지로 압축될 수 있으며 이러한 관계를 Fig. 1 에 나타내었다.

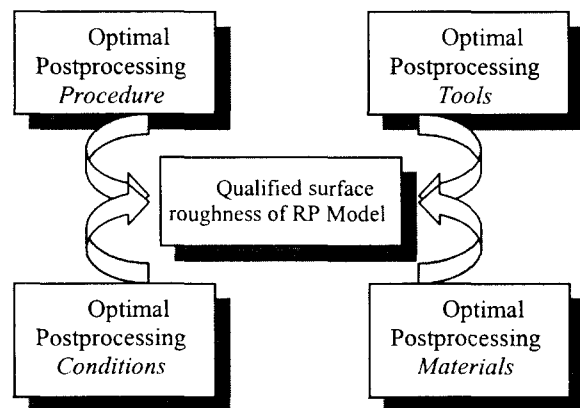


Fig. 1 Relations between surface quality of RP model and its determination factors.

후처리 방법은 공정관점에서 두 가지로 나뉘는데, 첫 번째는 사포 등의 마찰성 소재를 이용하여 부품을 사상하는 것이고, 또 다른 하나는 레진을 제품 표면에 도포하여 성형 부품의 전체적인 굴곡을 전체적으로 덮은 후 사상 하는 것이다. 전자의 경우 일반적으로 성형 부품의 전단강도가 약한 SLA, FDM 등에 잘 적용될 수 있으며 후처리 공정 후의 치수는 성형 치수보다 약간 작아지는 경향이

있다. 후자의 경우는 소재 자체의 마모 가공이 어려운 SLS 와 같은 성형 부품에 적합하나, 레진 사상면이 최초 성형면 보다 돌출되므로 코팅 두께에 따라 완성된 제품이 다소 두꺼워지는 경향이 있다.

다음으로 후처리를 위한 도구 및 코팅 소재 측면에서 접근해 보기로 한다. 후처리 공정에서 그라인딩을 위해 사용되는 주된 도구는 사포이며, 이 경우 사포의 표면 조도를 결정하는 중요한 요소가 된다. 그러나 자동차 램프 등과 같이 우수한 표면을 요구하는 경우 사포로는 이러한 요구수준의 구현이 불가능하므로 다른 사상 도구의 활용이 필요하고, 이러한 변화에 따라 코팅소재의 및 사상 방법의 선택에도 변화가 수반된다.

2.2 표면 조도 향상과 치수 정밀도 유지를 위한 후처리 방안

본 논문에서는 앞서 언급된 요소들을 고려한 4 단계의 후처리 공정을 제안하며, 그 작업 순서는 Fig. 2 와 같다. 본 논문에서 제안한 방법에 의해 만들어진 각종 데이터는 숙련된 작업자에 의해 수행된 것을 기준으로 한 것이다.

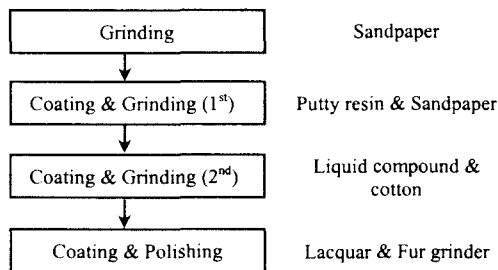


Fig. 2 Overall Procedure of newly suggested postprocess finishing method.

우선 계단 현상에 의해 왜곡되어 있는 쾌속조형 부품의 형상을 원래의 연속적 형상으로 환원시키고, 이어질 레진 코팅 및 그라인딩 공정에서 예상되는 두께의 증가를 미리 보정하며, 사상량 결정을 용이하게 하기 위해 사포를 이용한 그라인딩 공정을 먼저 수행한다. 작업의 편의를 위해 사상 초기에는 거친 사포를 사용하고, 거친 표면이 제거되면 보다 고운 사포를 이용하여 사상 하는데, #400 ~ #600 정도이면 다음 단계를 수행할 수 있는 수준이 된다. 이 때, 흐르는 물에 부품을 대고 사상을 하는 습식법의 선택이 중요한데, 습식법에서 물은 사상 공정에서 발생하는 분말 칩을 배출하고, 사포에 소재가 응착되는 것을 방지하며, 연속적인 작업에 의해 발생하는 마찰열을 감소시키는 역할을 수행한다.

1 차 사상공정이 완료되면 본격적인 표면 조도

향상을 위해 코팅과 그라인딩 공정을 병행한다. 코팅 공정에 사용되는 2 액형 Putty 레진이다. Putty 레진은 혼합 후 화학적 반응에 의해 경화되는 2 액형과 도포 후 건조에 의해 경화되는 1 액형이 있는데, 1 액형 레진의 경우 건조 시간은 비교적 짧지만, 표면의 내구성이 우수하지 못하므로 본 논문에서는 2 액형 레진을 도포 한다. 레진의 도포 두께가 두꺼울 경우 사상 공정에서 원래의 제품면을 찾기 어려워 두께의 외곡을 유발하는 요인이 될 수 있으므로 1 차 사상 후 잔존해 있는 표면의 굴곡을 닦을 수 있는 최소 두께로 작업한다. 사상 도구는 앞선 공정과 마찬가지로 사포를 사용하는데, #220 부터 #600 까지 순차적으로 교체해 가며 사상하고, 쾌속조형 부품의 표면이 느껴지기 시작하면 사상을 멈추고 다음 단계를 수행한다. 이 공정이 후처리 완료된 부품의 치수 정밀도를 결정 하므로, 두께 관리에 세심한 주의를 기울여야 한다.

Putty 레진을 이용한 사상이 완료되면 더 이상 사포를 이용한 방법으로 표면 조도를 개선하기 어렵다. 따라서 보다 고운 표면을 가진 소재로 사상해야 하며, 이를 위해서는 코팅 되는 소재의 선택도 달라져야 한다. 본 논문에서는 사상을 위한 도구로 면을 사용하며, 코팅을 위한 도구로 미세 입자가 저점도의 액상으로 분포되어 있는 컴파운드를 사용한다. 이 공정에서도 사상은 습식조건 하에서 진행되어야 하며, 특히 사상 도구인 면에 이물질이 묻어 있을 경우 앞선 몇 단계 공정을 거쳐 비교적 우수한 조도 수준을 유지하고 있는 성형 부품의 표면을 훼손할 수 있으므로, 사상 작업전 사상 도구에 대한 세밀한 조사가 필요하다.

사용자가 감성적으로 느끼기에 우수한 수준까지 부품이 사상 되기 위해서는 한 가지 공정이 더 필요한데, 이 공정에서는 코팅소재로 라커를, 사상 도구로는 양털 패드가 부착된 그라인더를 사용한다. 부품을 코팅 또는 사상하여 광택을 얻기 위해서는 제품 표면에 입사 되는 빛이 정밀하게 사상된 제품 표면에 정반사 되어야 하는데, 입사된 빛이 제품 표면에 반사되어 여러 방향으로 흩어지는 난반사가 일어나면 부품의 광택이 줄어들게 된다.

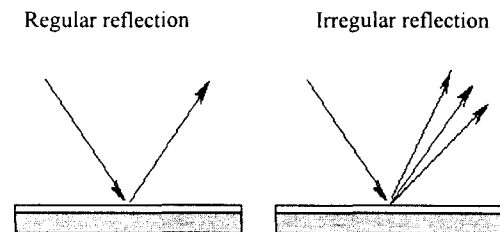


Fig. 3 Reflection mode on the polished RP parts

2.3 실험 결과

본 논문에서 제안된 후처리 방안의 표면 조도 개선 효과와 치수 정밀도를 확인하기 위해 125 mm 길이의 평판을 30 도의 기울임 각을 부여하여 제작한 후 25 mm 씩 다섯 개의 구간으로 나누어 각각의 사상 공정을 수행하고, 각 구간에서의 표면 조도 및 높이를 측정 하였다. 정확한 높이의 측정을 위해 시편 사상면의 반대편을 가공하여 평편도를 유지할 수 있도록 한 다음, 아크릴 블록에 접촉 시킨 후 후처리 작업을 수행하였다. Fig 4.는 단계별 표면 형상 및 조도 변화를 나타낸 것이며, Fig. 5 는 단계별 높이 변화를 나타낸 것이다.

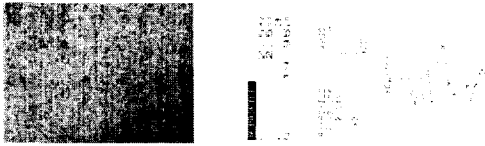


Fig. 4(a) Surface feature and measured roughness of SLS parts.



Fig. 4(b) Surface feature and measured surface roughness of SLS parts after grinding(step1)

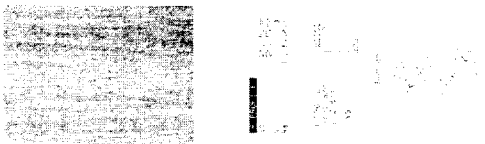


Fig. 4(c) Surface feature and measured surface roughness of SLS parts after coating & grinding(step2)



Fig. 4(d) Surface feature and measured surface roughness of SLS parts after coating & grinding(step3)



Fig. 4(e) Surface feature and measured surface roughness of SLS parts after coating & polishing(step4)

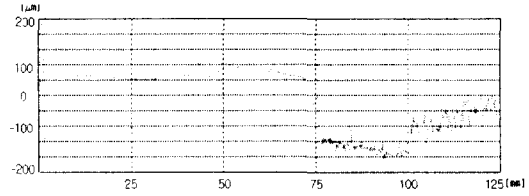


Fig. 5 Measuring results of surface height for each step.

3. 결론

본 논문에서는 쾌속조형 부품의 효과적인 활용을 위한 후처리 방안에 관하여 살펴보았으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫 째, 쾌속조형 부품의 효과적인 활용을 위해서는 적절한 후처리 공정이 필수적이며, 코팅재질, 작업순서, 작업조건, 사상도구가 유기적으로 결합될 때 우수한 부품을 얻을 수 있음을 알 수 있었고, 이러한 내용들을 조합하여 합리적인 후처리 공정을 제안하였다.

둘 째, 본 논문에서 제안된 후처리 방법을 통해 단계별로 조도가 향상되었으며, 최종적으로 0.2 μm 정도의 우수한 표면 조도를 얻을 수 있었다.

세 째, 본 논문에서 제안된 방법에 의해 후처리된 표면의 측정결과를 통해 성형된 쾌속조형 부품을 기준으로 0.1 mm 이내 범위에서 후처리가 가능함을 알 수 있었으며, 이러한 오차 범위는 제품 형상의 난이도에 따라 차이가 있겠지만 실제 사례에서의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

시험편 측정에 많은 도움 주신 ㈜스타메카트로닉스 유재명, 백상흠씨와 대동금속 양남준 차장님께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Philip E. Reeves, Richard C. Cobb, "Reducing the surface deviation of stereolithography using in-process techniques" Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No.1, pp. 20 - 31, 1997.
2. R. L. Hope, P.A. Jacobs, R.n. Roth, "Rapid prototyping with slope surfaces" Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No.1, pp. 12 - 19, 1997.
3. Robert E. Williams, Vicki L. Melton, "Abrasive flow finishing of stereolithography prototypes" Rapid Prototyping Journal, Vol. 4, No.2, pp. 56 - 67, 1998.