

광조형물의 표면 조도 향상에 관한 연구 -파라핀 코팅과 연삭 후처리 공정 이용-

안대건*, 김호찬(부산대 지능기계공학과 대학원) , 이석희(부산대 기계공학부)

A Study on Improving the Surface Roughness of Stereolithography Parts -Using Paraffin Coating and Grinding Postprocess-

Dae-Keon Ahn, Ho-Chan Kim (Dept. of mechanical and intelligent systems engineering, Pusan National University) Seok-Hee Lee(School of Mechanical Engineering, Pusan National University)

ABSTRACT

SL(Stereolithography) part is made by piling up thin layers which causes the stair stepping effect at the surface of SL parts. This effect causes excessive surface roughness and requires additional postprocess finishing such as abrasive blasting which is detrimental to part geometry and time consuming. Hence paraffin coating and grinding postprocess is proposed to raise the surface quality of SL part. The paraffin which has suitable properties for the proposed postprocess is coated all over the part surface. By grinding the thin layer of coated on the SL part only, the surface roughness can be improved without any damage on the part. From the experimental result, It is verified as very practical for die casting with silicon rubber mold.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), SL Part(광조형물), Surface Roughness(표면거칠기), Stair Stepping(계단형상), Grinding(연삭), Coating(코팅), Paraffin(파라핀)

1. 서론

광조형물(SL part)은 주로 CAD 모델의 단면 데이터로부터 얇은 두께의 재료를 적층하여 제작하기 때문에 각 층 사이에 계단 형상이 생긴다. 이러한 계단 부위는 광조형물의 표면을 과도하게 거칠게 하여 특히 금형 제작을 위한 마스터 모델로서 실용적인 사용 가치를 저하시키므로 별도의 추가적인 사상작업 등이 필요하다. 최근에 이러한 계단 형상을 줄이기 위하여 여러 가지 기술들이 심도 있게 연구되고 있다. Reeves 등은 광조형물의 표면거칠기를 수학적으로 표현하여 조형물 형상에서 각도 등의 인자가 표면거칠기에 미치는 영향을 시뮬레이션 및 실험적 분석으로부터 "meniscus smoothing"과 같은 계단 형상을 줄이는 연구를 제안하였으며 [3], Narahara 등은 한번 경화된 층을 다시 올려서 계단 부위만을 재조사하는 방법을 제안했으나[4] 이것들은 여전히 제작 시간(build time)을 매우 크

게 증가시킬 뿐만 아니라, 수지의 높은 표면장력과 점성으로 re-coating이 어려워 구조적인 적층 문제를 일으킨다. 그리고 레이저 조사각도를 경사지게 하여 조사함으로써 조형물 윤곽(profile) 각도를 필요한 크기만큼 조정하여 계단 부위를 최대한 줄이는 Hagihara 등의 시도[5]는 레이저빔과 수지의 물리적 특성으로 인하여 한정된 조사각도 범위에서만 가능성이 있다. 또, 모델이 만들어진 후 연삭 등의 방법에 관한 일부 연구들이 수행되었으며 Spencer 등은 수지 모델의 배럴 연마(barrel tumbling)나 진동 다듬질(vibration finishing)에 관하여 발표했으나[6] 조형물의 형상을 훼손할 수 있고, 원하는 표면 정도를 얻기에는 많은 시간이 소요된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 가공성 및 접착성이 우수하며 가격이 저렴한 파라핀(paraffin) 재료로 간단히 조형물을 코팅(coating)시켜 조형물의 형상 훼손 없이 코팅된 파

라핀 부위만을 신속히 제거 및 연마함으로써 광조형물의 계단 형상을 매워서 필요한 표면 정도를 용이하게 얻을 수 있는 파라핀 코팅 연삭 후처리 공정(Paraffin Coating and Grinding Postprocess)을 제안한다. 또한 실리콘 고무형(silicon rubber mold)으로 노브(knob)형상의 최종 가공물(cast part)을 제작(tooling)하여 표면 조도 등의 검토로부터 제안된 방법의 효용성을 제시한다.

2. 세부공정

2.1 파라핀 코팅 연삭 후처리 공정

광조형물의 후처리 공정에서 계단 형상을 줄여 표면 조도를 높이기 위한 본 연구에서 제안한 파라핀 코팅 연삭 후처리 공정은 Fig. 1의 쾌속 조형(Rapid Prototyping) 전체 공정에서 d), e), f)에 해당한다. 즉 용기에 일정량의 파라핀을 넣고 가열하여 파라핀을 완전히 용융시킨다. 여기에 쾌속 조형 작업을 통해 제작한 계단형상을 가진 광조형물을 용융상태의 파라핀에 침지(浸漬)시키고 몇 분 후 꺼내면 Fig 1 d)처럼 파라핀이 광조형물에 코팅되어 계단 부위가 매워지게 된다. 이것을 상온에서 약 10여분 동안 냉각시키면 파라핀이 경화되면서 광조형물에 완전히 접촉된다. 경도가 광조형물 보다 작고 파라핀 보다 큰 연삭제를 이용하여 Fig. 1 e)처럼 코팅된 파라핀을 연삭하여 잉여분의 파라핀을 제거함으로써 필요한 최종 마스터 모델을 얻게 된다. 이때 코팅된 파라핀만을 연삭하기 때문에 연삭제 보다 경도가 큰 광조형물의 형상을 그대로 유지하면서 신속히 필요한 표면을 얻을 수 있게 된다.

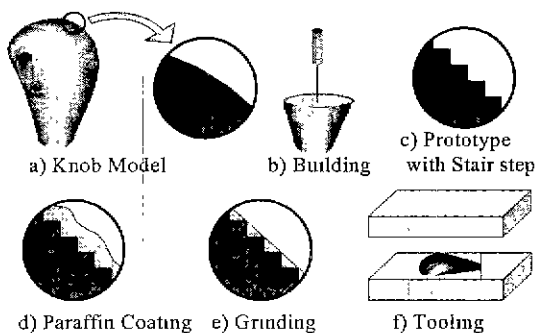


Fig 1 Over all process

2.2 파라핀 코팅

2.2.1 파라핀 코팅제의 특성

파라핀은 원유의 감압 증류 유출물로부터 상온에서 분리 정제한 왁스의 일종으로 탄소가 선형으로

연결되어 있는 직쇄형 탄화수소의 구조로 구성되어 있고 평균 탄소수는 20~35, 분자량은 300~500 정도의 탄화수소 혼합물이다. 일반적인 특성은 유분이 적고 경도가 비교적 높으며 상온에서 백색 고체 상태다. 용점 온도 범위는 45~70℃ 정도이고 휘발성이 없으며 쉽게 연소한다. 용융상태에서 점도는 100℃에서 10cSt 이하로 극히 작고 방수 방식의 성질을 가지고 있으며 해로운 가스 발생 없이 쉽게 연소한다. 그리고 상온에서 경화 시간이 10여분 이내로 짧고, 다른 재료에 비하여 가공성과 광조형물에 접착성이 좋으며 가격이 저렴한 이유 등으로 본 연구의 코팅 재료로 선정하였다.

2.2.2 코팅 방법

스프레이 코팅 방식은 파라핀 분사시 쉽게 고화되는 특성 때문에 본 연구에서는 용융된 파라핀 속에 광조형물을 침지시켜 코팅한다. 즉 파라핀을 용기에 넣고 가열하여 파라핀을 완전히 용융시킨다. 이때 가열 온도는 실험으로부터 광조형물에 영향을 주지 않고 파라핀이 기화되기 전의 온도인 약 70~90℃가 적당하다. 가열시간은 광조형물의 크기에 따라 결정되는 파라핀의 사용량에 따라 다르나 부피가 100 mm³ 인 경우 위에서 제시한 온도로 파라핀이 완전히 용융되기까지 약 5~7분 정도 소요된다. 용융된 파라핀에 광조형물을 2~3분 동안 침지시키고, 용기에서 끄집어내어 상온에서 2분 정도 서냉시키면 계단 부위에 거의 파라핀이 채워진다. 초벌로 코팅된 것을 다시 파라핀이 광조형물 표면 위까지 완전히 입혀지도록 용기 속 용융 파라핀에 침지시키고 상온에서 5~10분 동안 서냉시키면 광조형물에 0.5~2mm 두께로 견고하게 코팅된다.

2.3 파라핀 연삭

2.3.1 연삭제

코팅된 파라핀만을 신속히 연삭하기 위하여 먼저 연삭제의 경도는 광조형물 보다 작고 파라핀 보다 커야한다. 그리고 파라핀 연삭성이 우수해야 하며, 연삭면의 표면 거칠기도 일정 수준 이상 유지시킬 수 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키면서 가격도 저렴한 재료로 현재까지 연삭 시험 결과로부터 경질의 우드(wood)를 선택하였다. 우드 연삭 입자에 의한 표면 가공 상태는 Fig. 2와 같다.



Fig. 2 Paraffin grinded surface

2.3.2 연삭 방법

본 연구에서는 핸드 그라인더(hand grinder)로 파라핀을 연삭하였으며, 연삭숫돌에 우드 연삭입자를 수준별로 크기를 다르게 하여 순간 접착성이 강한 본드 결합체를 이용하여 연삭공구를 제작하였다.

우드 입자를 결합시킨 연삭 숫돌의 모양은 연삭 가공 부위에 따라 Fig. 3과 같은 모양의 여러 가지 공구가 사용된다. 노브의 스타일 라인(style line)과 같은 좁은 굴이진 부분과 형상의 각진 부위를 연삭하기 위하여 가공상 주의가 요구되며, 계단 부위 안쪽으로 과도한 절삭이 되지 않도록 계단 형성 방향과 수직으로 공구를 위치시켜 연삭하는 것이 좋다.

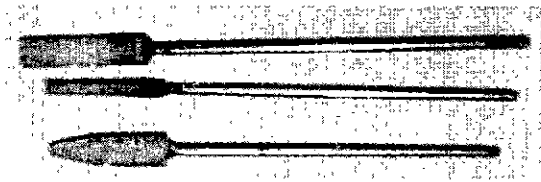


Fig. 3 Cutter for paraffin grinding

3. 적용결과 및 검토

3.1 표면 조도

표면 조도향상을 위해 파라핀 코팅 연삭 후처리 공정의 적용 결과 검토를 위하여 SLA350 장비에서 Exact-X 가공형태(build style)에 의하여 SL5510수지로써 0.15mm 층 두께(layer thickness)로 가공된 노브(knob) 형상의 광조형물을 대상으로 적용해 보았다. Fig. 4는 노브 광조형물 헤드(head)부분에서 표면각도(surface angle)가 30~35° 인 부위의 적용 결과 전후 표면 상태를 현미경에서 50배 확대한 사진으로 보여주고 있다. 즉 계단 형상으로 인해 표면 거칠기가 매우 나빠지는 상향면에 본 연구에서 제안한 공정을 적용한 결과 표면거칠기가 상당히 개선되었음을 알 수 있다.

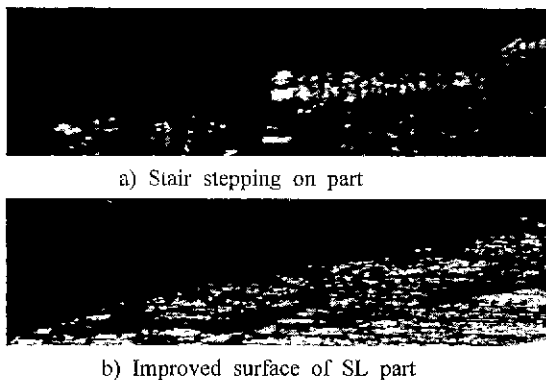


Fig. 4 Surface geometry of knob

3.2 후처리 소요시간

본 연구에서 테스트 모델로 사용한 노브 형상의 마스터 모델과 크기와 형상에서 유사한 광조형물의 경우 표면조도 향상을 위한 연삭 및 연마작업 소요 시간은 작업자의 숙련도에 따라 다르나 일반적으로 4~5 시간 정도로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서 제안한 파라핀 코팅 연삭 후처리 공정으로 동일한 노브 광조형물에 대하여 거의 유사한 표면 조도로 비숙련자에 의한 표면처리에 소요된 시간은 약 1시간 정도였다. 이것은 광조형물의 형상 유지에 대한 고려를 하지 않고 가공성이 좋은 코팅된 파라핀만 연삭 작업하기 때문에 가능하다.

3.3 마스터 모델의 실용성 검토

금형 제작 가능성 검토를 위한 테스트용 마스터 모델로 광조형물의 상향면(up facing)의 완만한 각도를 가지는 부위에서 계단 형상이 심하게 발생하는 점과, 몰딩(molding)작업의 용이성 등을 고려하여 Fig. 5 a)에 보이는 것처럼 Fig. 1 a)의 CAD 모델에서 노브 헤드 부위만 절단하여 사용하였다. 그리고 마스터 모델의 계단 부위에 파라핀이 매워져 있기 때문에 몰드(mold)는 파라핀의 용융점을 고려하여 비교적 저온에서도 제작 가능한 실리콘 고무형을 선정하여 35℃에서 16시간 정도 건조시켜 Fig. 5의 c)와 같이 제작하였다.

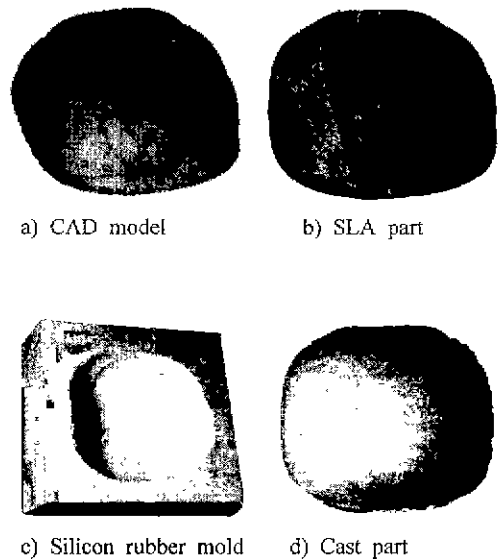


Fig. 5 Test for knob model

실리콘 고무형으로 에폭시수지에 알루미늄 분말을 첨가제로 하여 Fig. 5 d)에 보이는 것처럼 최종 노브 사출 성형물을 만들었으며, 최종 가공물 표면에서 외관상 광조형물의 계단 형상에 기인한 흔적은 관찰하기 어렵고, Fig. 5 b)의 계단 형상을 가진 광조형물과 비교해볼 때 표면거칠기가 많이 개선되었음을 알 수 있다. 그리고 최종 성형물은 표면 경사각도에 따라 Fig. 6과 같은 표면거칠기 값을 갖는다. 같은 표면 경사각을 가지는 부위에서 코팅 연삭 공정이 적용된 마스터 모델과 최종 성형물의 거칠기 값의 범위는 $\pm 140 \mu\text{m}$ 로 계단 형상을 가진 광조형물의 $\pm 60 \mu\text{m}$ 편차 값과 비교하여 50% 이상 개선된 것을 알 수 있으며, Fig. 6에서 a), b), c) 순으로 상향면 표면 경사각이 커질 수록 이러한 거칠기 편차 값이 전체적으로 작아지므로 측정된 데이터에 대한 신뢰성을 가질 수 있다. 곡률을 가진 노브 형상 가공물의 표면거칠기 데이터는 표면조도기로 측정하기 곤란하여 레이저 스캐너(laser scanner)로 얻었다.

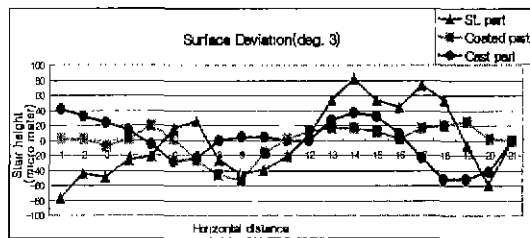
4. 결론

광조형물의 계단 형상을 제거하기 위하여 파라핀 코팅과 우드 재료를 이용한 연삭 공정을 개발하였다. 파라핀은 높은 가공성과 낮은 가격 그리고 광조형물과의 접착성을 고려하여 선정되었으며, 우드 입자를 이용한 연삭은 광조형물의 원형을 훼손하지 않고 여분의 파라핀만을 제거 및 연삭함으로써 제품의 정확도 저하를 방지하면서 단 기간내에 표면이 매끄러운 마스트 모델을 제작할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다. 그리고 실리콘 고무형을 제작하여 사출품을 만들었으며, 사출품의 표면 조도 측정을 통하여 본 연구에서 제안된 방법이 금형 제작을 위하여 적용될 수 있음을 보였다.

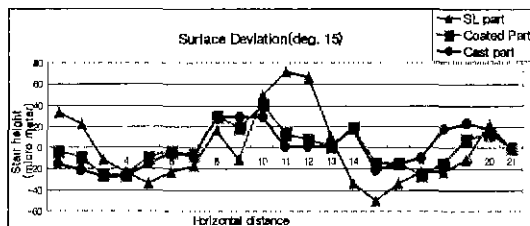
추후 보다 복잡한 형상의 후처리를 위하여 적절한 연삭공구와 연삭재의 개발이 필요하며, 제안된 방법으로 후처리된 광조형물의 마스터 모델에 적합한 금형 제작기술 개발을 위한 연구를 수행할 필요가 있다. 마지막으로 본 연구에서 제안된 방법의 공정 자동화 기술 개발이 요구된다.

참고문헌

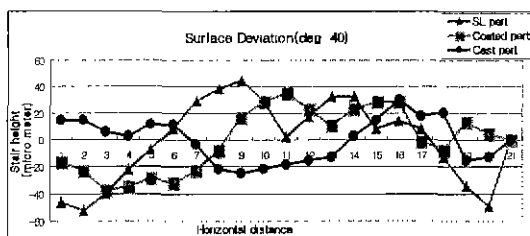
1. Jacobs, P.F., Stereolithography and other RP & M Technologies, ASME Press, pp. 273-292, 1996.
2. 中川 威雄, 丸谷 洋二 지, 정해도 역, 적층조형 시스템, 성안당, 1998.
3. Reeves, P.E. and Cobb, R.C., "Reduction the surface deviation of stereolithography using in-process technique", Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, pp. 20-37, 1997.
4. Narahara, H., "A new method for improving performance and surface roughness in stereolithography ", Proceedings of The 2nd Korean-Japan Die & Mold workshop, Pusan National University, Pusan, Korea, 28-30 June 1995.
5. Hagihara, S., "Laser lithography for making jewelry -A concept of diagonal irradiation-", Proceedings of The 8th International Conference on Rapid Prototyping, Tokyo, Japan, 12-13 June 2000.
6. Cobb, R.C., Spencer, J.D. and Dickens, P.M., "Better surface finishing techniques for the RPT is a must". Proceedings of the 2nd Scandinavian Rapid Prototyping Conference, Danish Technological Institute, Aarhus, Denmark. 4-6 October 1993
7. 김동규, 남원우, 이상조. "평면 연삭 가공시 발생하는 연삭 열에 관한 연구-해석적 모델-", 한국정밀공학회지, 제 18권, 1호, pp 187-194, 2001



a) Surface angle of 3°



b) Surface angle of 15°



c) Surface angle of 40°

Fig. 6 The surface deviation of knob part