

RP part 표면정도 향상을 위한 후처리 공정 개발 -왁스 코팅과 연삭 후처리 공정 이용-

안대건*, 김호찬(부산대 지능기계공학과 대학원), 최홍태(경남정보대 자동차과),
이석희(부산대 기계공학부)

Development of Post-process for Improving the Surface Roughness of Stereolithography parts - Using Wax Coating and Grinding Post-process -

Dae-Keon Ahn, Ho-Chan Kim(Dept. of mechanical and intelligent systems engineering, Pusan National University), Hong-Tae Choi(Dept. of Automotive, KIT), 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 brings about excessive surface roughness and requires additional post-process finishing such as abrasive techniques that are detrimental to part geometry and time consuming. Hence a wax coating and grinding post-process is proposed to improve the surface quality of SL part. The wax that has suitable properties for the proposed post-process 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 results, This approach is considered to be very practical for die casting with RT(Rapid Tooling) techniques.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Rapid Tooling(신속 툴링), Pattern(패턴), SL parts(광조형물), Wax(왁스), Coating(코팅), Grinding(연삭), Surface Roughness(표면거칠기)

1. 서론

쾌속(신속) 시작 및 제조(rapid prototyping and manufacturing ; RP&M)기술은 도입 초기에 설계 평가 및 기능 검사를 위한 시작품 제작에 주로 이용되었다. 물리적 실제 3차원 시작품을 신속히 제작함으로써 기존 CAD 이미지에 의한 3차원 형상 인식 및 검토의 한계를 극복할 수 있으며, 조립성 검토 및 기구학적 성능 평가도 보다 실제적으로 수행함으로써 설계단계에서 한층 다양한 소비자의 요구에 신속히 부합할 수 있는 기술로 각광 받고 있으며 기술 확장 및 이점에서 무한한 잠재성을 가지고 있다. 최근 쾌속시작 및 제조 기술은 이러한 제품 설계단계에서

더 나아가 생산 단계에서 특히 금형제작에서 패턴(pattern)을 RP&M 시스템으로 제작하는 소위 신속 툴링(rapid tooling ; RT)기술로 집중되고 있다.[1] 몰드(mould)나 다이(die) 제작을 위한 이러한 신속 툴링 기술의 적용에서 가장 중요한 요소중의 하나는 패턴의 표면 정도일 것이다. 그러나 RP&M 시스템으로 제작된 대부분의 제품(RP part)들은 적층 공정에 기인한 계단형상으로 과도한 표면 거칠기를 가지므로 패턴용으로 이용하기에는 적절하지 않다. 광조형물(Stereolithography Part ; SL part)의 경우 수평 방향에서 정밀도와 표면 거칠기가 다른 신속시작품에 비하여 우수하지만 역시 표면에 계단형상으로 최대 적층 두께만큼 거칠기 값을 가지므로 패턴

용으로 사용하기는 부적합하다. 따라서 RT 기술 적용의 이점을 극대화시키기 위하여 신속 시작품 표면의 계단 형상 제거 및 처리를 위한 별도의 후처리 공정이 필수적으로 요구된다.

이러한 광조형물의 표면 거칠기를 줄이기 위한 많은 연구들이 최근에 시도되고 있다. 광조형물 제작 단계에서 Narahara와 Reeves 등은 광조형물 표면 거칠기를 수학적으로 표현하여, 광조형물 형상에서 층두께, 표면각도, 윤곽각도 등의 인자가 표면 거칠기에 미치는 영향을 분석 및 예측하는 이론적 근거를 제시하였으며, 한번 경화된 층을 다시 올려서 계단 형상부위만 재조사하는 방법으로 계단형상을 줄이는 meniscus smoothing 방법을 제안하였으나 [2],[3] 각 층을 재조사하므로 제작시간(build time)이 두 배 가까이 증가하며, 계단 부위 표면장력으로 인하여 거칠기 저감엔 한계가 있다. 또한 Hagihara 등은 레이저 조사를 층의 윤곽에 따라 경사지게 함으로써 계단 부위를 줄이려는 시도[4]를 하였으나 레이저 빔과 수지의 물리적 특성으로 한정된 조사 각도 범위에서만 미미하게 거칠기 개선이 가능하다. 그밖에 층 두께를 줄이거나 표면 경사도에 따라 조정하는 시도들이 있으나 역시 과도한 제작시간이 요구된다.

또한, 광조형물이 제작되고 난 후 후처리 단계에서 표면거칠기를 줄이는 연구들로서는 Spencer 등은 수지 모델의 배럴 연마(barrel tumbling)나 진동 다듬질(vibration finishing)에 관하여 발표하였으나 [5] 광조형물의 원래 형상을 훼손할 수 있고, 원하는 표면 정도를 얻기에는 많은 시간이 소요된다.

한편, Ahn 등은 광조형물 표면 정도 향상을 위하여 광조형물 표면을 파라핀으로 코팅한 후 광조형물 경도보다 작고 코팅재 보다 경도가 큰 재료의 연삭재로 광조형물의 표면 경계 부위를 원래 CAD형상을 기준으로 수작업으로 연삭 및 연마를 수행하여 가공면을 얻는 파라핀코팅연삭후처리 공정을 제안[6]하였다. 이 연구는 후처리 시 광조형물 훼손이 수반되지 않는 특징을 가지고 있으나 연삭 공정이 수작업으로 수행되므로 계단 부위 내부로 가공되는 경우가 빈번히 발생하고, 파트의 스타일 라인(style line)과 같은 좁은 홈이 길게 파인 부분과 형상의 각진 구석 부위를 가공하기에는 한계를 가진다.

이에 기존 본 저자가 개발한 파라핀코팅연삭후처리 공정에서 아래 Fig. 1의 c)보이는 것처럼 수작업으로 이루어진 연삭공정을 개선한 광조형물후처리시스템 개발에 관한 연구를 제안하며, 실리콘 고무형(silicon rubber mold)으로 자동차 변속기어 레버 커버인 노브(knob)형상의 광조형물을 대상으로 최종 가공물(cast part)을 제작(tooling)하고,

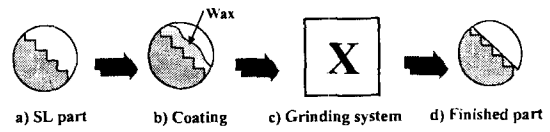


Fig. 1 Schema of RP part Post-process system

이로부터 얻어진 표면 윤곽 데이터로부터 금형 제작에서 신속툴링의 적용성을 검토한다.

2. 세부 공정

2.1 광조형물의 표면 정도

광조형물의 후처리 공정에서 계단 형상을 줄여 표면정도를 높이기 위한 본 연구에서 제안한 왁스 코팅 후처리 공정은 Fig. 1에 나타나 있다. 우선 RP 시스템에서 제작(build)이 끝난 광조형물(SL part)은 Fig. 1 a)처럼 RP 시스템의 적층 공정으로 파트 표면에 계단형상을 가진다. 이 계단 현상으로 아래 Fig. 2와 식 (1)로부터 최대 계단 두께만큼의 표면 거칠기 값을 가지며, 파트 표면경사각(Surface angle)이 40° , 윤곽각도(Profile angle)이 5° , 적층 두께(Layer thickness) $150 \mu\text{m}$ 일 경우 계단 현상으로 인한 표면 정도의 편차는 $123.34 \mu\text{m}$ 의 값을 가진다.

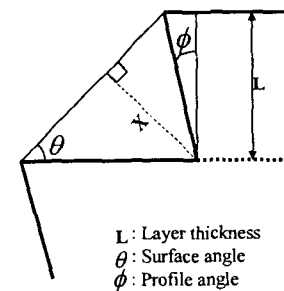


Fig. 2 Theoretical model for quantifying surface quality of SL part

$$X = L(\sin \theta \tan \phi + \cos \theta) \quad (1)$$

이러한 표면 정도를 가진 파트는 신속툴링을 위한 패턴으로 이용하기 부적합하므로 본 연구에서는 Fig. 1의 b) c)단계의 왁스코팅과 연삭 공정을 거쳐 계단 부위를 메워서 가공하여 광조형물 표면 정도를 높인다. 세부 공정은 다음과 같다.

2.2 Wax Coating

계단형상을 가진 광조형물의 표면을 메우기 위하여 왁스 코팅을 한다. 코팅재료는 파라핀계 왁스로서 본 연구와 관련한 특성은 다음과 같다. 용점 온도범위는 $45 \sim 70^\circ\text{C}$ 정도이고 휘발성이 없으며 쉽게 연소한다. 용융상태에서 점도는 100°C 에서 10cSt 이

하로 극히 작고 방수 방식의 성질을 가지고 있으며 쉽게 연소한다. 그리고 상온에서 경화 시간이 10여 분 이내로 짧고, 광조형물에 접착성이 좋으며 가격이 저렴한 이유 등의 장점을 가지고 있다.

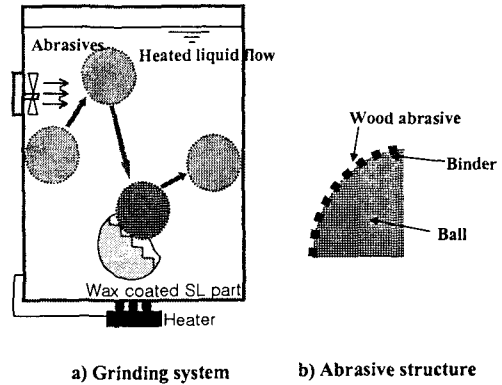
먼저 왁스를 약 5분 동안 70-90℃ 정도로 가열한다. 이 용융 왁스에 광조형물 표면 전체에 걸쳐 열이 고루 분포 되도록 약 5분 정도 침지시킨 후 상온에서 5분 동안 냉각시키면 광조형물 표면에 1-2mm 정도의 두께로 왁스 코팅이 된다. 상온이 아닌 저온에서 급냉시키면 코팅표면에 균열이 쉽게 발생한다.

2.3 Grinding System

왁스 코팅된 광조형물 파트 표면의 계단형상을 제거하기 위한 개발된 시스템의 개념도는 fig. 3의 a)와 같다. 균일한 가공을 위하여 왁스의 용융점보다 조금 낮게 가열된 액체 유동의 용기에 코팅된 광조형물을 적당한 위치에 고정하고, 연삭 입자를 투입한다. 그리고 유동을 야기 시켜, 왁스의 용융점과 광조형물의 용융점 사이의 온도로 가열된 연삭입자들을 광조형물 표면에 충돌시킴으로써 가공이 수행된다. 즉 물리적 충돌과 열에 의한 용융으로 왁스 표면이 가공된다. 원활한 가공과 양호한 가공면을 얻기 위하여, 연삭입자의 온도를 왁스 용융점 이상 일정하게 유지시킬 수 있도록 온도 조절 및 유동제어가 요구된다. 연삭 입자가 왁스입자와 결합으로 눈매움(loading)이 발생하여 연삭 능력이 줄어들면, 드레싱(dressing)작업은 광조형물을 들어낸 후 왁스 용융점 이상의 온도를 가지는 물을 용기에 넣으면 왁스가 연삭 입자로부터 쉽게 분리된다.

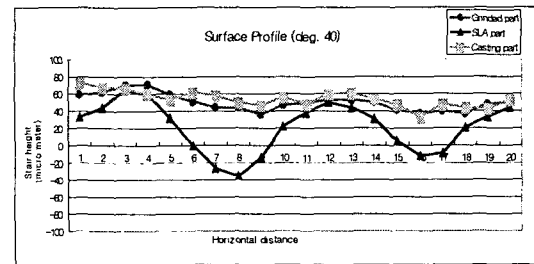
연삭 입자는 fig. 3의 b)처럼 광조형물 표면의 계단형상 틈새보다 충분히 큰 반경을 가지는 강재의 불에 미세의 우드(wood) 입자를 결합시켜 만든다. 이것은 연삭 입자가 계단형상 내부로 파고들지 않으면서 코팅된 왁스만 원래 CAD모델의 경계부위를 기준으로 가공하기 위함이다. 우드 입자의 입도 지수는 50이상의 미세 입자를 사용하며, 우드입자를 연삭불 표면에 붙이기 위하여 수지를 유기용매에 녹인 용제 증발형 접착제를 연삭불 표면에 아주 얇게 입히고 그 위에 우드 입자를 결합시킨다. 그리고 fig. 3의 b)처럼 연삭 입자들 사이에 기공을 뚫음으로써 연삭작용이 적절히 수행될 수 있도록 한다. 이렇게 함으로써 기존의 배럴 연마나 진동 다듬질과 달리 원래 파트는 훼손되지 않으면서 경계 표면에서 계단형상이 매워지고 제거되면서 광조형물의 표면 정도가 향상된다.

Fig. 3 Grinding system and Abrasives

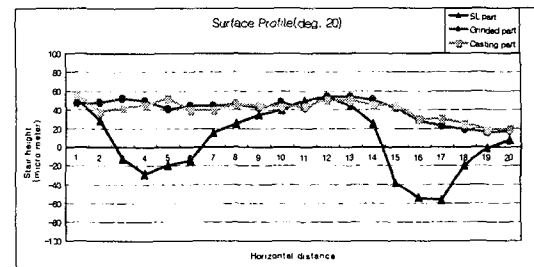


3. 적용결과 및 검토

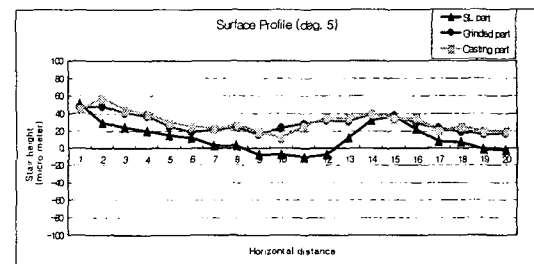
3.1 표면정도



a) Surface angle of 40°



b) Surface angle of 20°



c) Surface angle of 5°

Fig. 4 Surface deviation profile

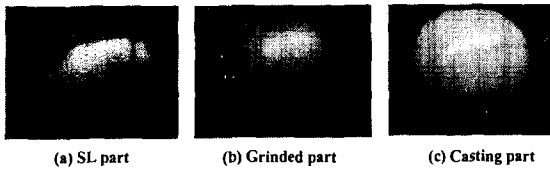


Fig. 5 Moulding test result for knob head model

실험대상물은 SLA350 장비에서 Exact-X build style로 SL5510 수지를 재료로 하여 0.15mm 층 두께(layer thickness)로 가공된 자동차 변속기어 레버 커버인 노브(knob)형상의 광조형물의 헤드부위 파트이다.

표면정도 측정값은 Fig. 5의 a), b), c)에 보이는 것처럼 각각 광조형물, 개발된 광조형물후처리시스템으로 처리된 파트, 캐스팅 파트를 대상으로 표면경사각도에 따라 Fig. 4와 같이 얻어졌다. 측정은 LDI사(社)의 SURVEYOR-1200 삼차원 디지털라이저(digitizer)로 수행하였으며, 측정된 표면의 윤곽 데이터는 SURFACER 9.0으로 처리하여 얻었다. 측정결과, 본 연구에서 제안한 광조형물 후처리 공정으로 수행된 파트와 캐스팅 파트 표면의 거칠기 값 범위는 30~40 μm 정도로, 앞 식(1)의 이론적인 계단 깊이 값 및 Fig. 4의 계단형상을 가진 광조형물의 표면에서 측정된 100 μm 이상의 계단 깊이 값과 비교하여 표면정도가 50% 이상 개선된 것을 알 수 있다.

또한 실험대상물과 같은 크기의 재료와 형상에 대하여 광조형물 후처리 숙련공이 기존의 사포나 연마의 방법으로 위 표면정도를 얻는데 소요되는 시간은 통상 2~3시간이지만, 본 실험실에서는 후처리 소요 시간은 왁스 코팅 공정을 포함하여 약 1시간 정도다.

3.2 신속틀링 적용성 검토

개발된 후처리 시스템으로 가공된 파트 표면은 왁스 코팅으로 계단 부위에 용융점이 낮은 왁스가 메워져 있기 때문에, 신속 틀링 테스트를 위한 주형(mold)은 왁스 용융점을 고려하여 비교적 저온에서 제작 가능한 실리콘고무형을 선정하여 35℃에서 16시간 정도 건조시켜 제작되었다. 에폭시수지에 알루미늄 분말을 첨가한 재료를 이 주형에서 주조하여 최종 주형물(casting part)을 Fig. 5의 (c)처럼 만들었으며, Fig. 4에 보이는 것처럼 측정된 주형물의 표면정도 값이 후처리된 파트 표면 정도 값과 비슷한 분포를 가지므로 열에 의하여 표면이 훼손되는 영향은 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 광조형물후처리 공정으로 가공된 파트 즉, 패턴을 사용하여 금형 제작이 가능함을 알 수 있다.

4. 결론

광조형물의 표면 정도를 높이기 위하여 왁스 코팅과 연삭공정으로 이루어진 광조형물후처리시스템을 개발하였다.

개발된 광조형물후처리시스템의 특징은 기존의 배럴 연마나 진동 다듬질 또는 사포를 이용한 후처리 작업들과는 달리 원래 파트 형상을 훼손하지 않으면서 파트표면에서 계단형상만 제거하여 광조형물 표면 정도를 향상시킨다. 그리고 후처리소요 시간도 50% 이상 단축시킨다.

노브형상 광조형물을 대상으로 실험한 결과 얻어진 표면정도 측정값과 주형테스트로부터 실제 금형 제작에 본 연구에서 개발한 공정이 적용 가능함을 알 수 있다.

추후 보다 높은 정도를 가진 표면을 얻기 위하여 연삭공정에서 열과 연삭 입자 거동에 따른 가공특성 파악과 좀 더 적절한 코팅재료 및 연삭 재료의 발견 및 개발이 요구된다.

참고문헌

- Jacobs, P.F., 1996, Stereolithography and other RP & M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, SME, Dearborn, MI, ISBN 0-07-032433-6.
- Narahara, H., 1995, A new method for improving performance and surface roughness in stereolithography, Proceedings of The 2nd Korea-Japan Die & Mold workshop, Pusan National University, Pusan, Korea, 28-30 June.
- Reeves, P.E. and Cobb, R.C., 1997, Reduction the surface deviation of stereolithography using in-process technique, Rapid Prototyping Journal, Vol. 3 No 1, pp. 20-37.
- Hagihara, S., 2000, Laser lithography for making jewelry -A concept of diagonal irradiation-, Proceedings of The 8th International Conference on Rapid Prototyping, Tokyo, Japan, 12-13 June.
- Cobb, R.C., Spencer, J.D. and Dickens, P.M., 1993, 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.
- Ahn, D.K., Kim, H.C. and Lee, S.H. 2002, Improving the Surface Roughness of Stereolithography Parts Using Paraffin Coating and Grinding Post-process, Proceedings of The 35th CIRP International Seminar on Manufacturing, Korea, 13-15 May.