

광조형물의 표면조도 향상에 관한 연구

안대건*, 김호찬**, 정해도***, 이석희#

A Study on Improving the Surface Roughness of Stereolithography Parts

Dae Keon Ahn*, Ho Chan Kim**, Hae Do Jeong***, Seok Hee Lee#

ABSTRACT

SL(Stereolithography) part is made by piling up thin layers which causes the stair stepping effect at the surface of SL parts. The effect brings about excessive surface roughness and cuts down the merits of using SL part. Hence, additional post-machining finishing such as traditional grinding is required. But the traditional post-machining is detrimental to part geometry and time consuming. In this study, therefore, a paraffin coating and grinding post-machining is newly proposed to improve the surface quality of SL part. The paraffin which has suitable properties for the proposed post-machining is coated all over the part surface. By grinding the only over-coated paraffin based on boundary of the SL part surface, the surface roughness can be improved without any damage on the part. Also, it is verified that SL part finished by the proposed post-machining process can be applied for rapid tooling as pattern through manufacturing silicon rubber molding and casting test.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Rapid Tooling(신속툴링), Stereolithography Part(광조형물), Surface Roughness(표면거칠기), Paraffin(파라핀), Coating(코팅), Grinding(연삭)

1. 서론

쾌속조형(Rapid Prototyping: RP)기술은 제품 형상의 CAD 모델로부터 단면데이터를 추출하여 아래에서부터 한 단면씩 수직 방향으로 쌓아서 최종적인 형상을 얻는 적층제조(Layered Manufacturing) 공정을 이용하므로, 복잡한 3 차원 형상도 쾌적하고 빠르게 제작할 수 있다. 가공시 별도의 공구(tool)가 사용되지 않아 지그(jig)나 고정구(fixture)가 필요하지 않으며, 적층제조 공정을 이용하므로

공구가 접근할 수 없는 조형물의 내부까지도 형상 복잡도에 관계없이 자동으로 가공이 가능하다. 이러한 쾌속조형기술은 기존 NC 기술과 비교하여 제품생산에서 소요되는 시간과 비용을 50~90%까지 절감 할 수 있는 장점을 가진다.¹

그러나 쾌속조형기술은 적층제조 공정을 이용하므로 필연적으로 제작물의 표면에 계단현상(stair-stepping effect)이 발생한다.² 이러한 계단현상으로 쾌속조형물(RP part)의 표면이 과도하게 거칠게 되므로, 쾌속조형물을 패턴(pattern)으로 사용하

접수일: 2004년 3월 16일; 게재승인일: 2004년 6월 11일

* 부산대학교 기계기술연구소

** 영남대학교 기계공학부

*** 부산대학교 기계공학부

교신저자: 부산대학교 기계공학부

E-mail: sehlee@pusan.ac.kr, Tel: (051)510-2327

여 공구나 금형을 제작하는 신속툴링(Rapid Tooling: RT)과 같은 기술에 적용하기에 어려움이 있다. 따라서, 쾌속조형물의 표면을 부드럽게 하기 위하여, 연삭이나 사포작업과 같은 별도의 후가공(post-machining)이 요구될 경우가 많다. 그러나, 이러한 후가공 작업은 쾌속조형물의 형상을 왜곡시킬 수 있으며, 숙련된 가공기술자의 장시간 수작업을 요한다.

따라서, 쾌속조형물의 표면품질 개선을 위하여 여러 가지 기술들이 심도 있게 연구되고 있다. Reeves³ 등은 광조형물의 표면거칠기를 수학적으로 표현하여 조형물 형상에서 각도 등의 인자가 표면거칠기에 미치는 영향을 시뮬레이션과 실험으로 분석하고, 계단부위에 반달모양으로 수지를 채워 표면 거칠기를 개선하는 방법(meniscus smoothing)을 제안하였으며, Narahara⁴ 등은 한번 경화된 층을 다시 올려서 계단 부위만을 다시 레이저로 조사(照射)하는 방법을 제안하였다. 그러나, 이러한 연구들은 여전히 제작 시간(build time)을 매우 크게 증가시킬 뿐만 아니라, 수지의 높은 표면장력과 점성으로 재코팅(re-coating)이 어려워 구조적인 적층 문제를 일으킨다.

레이저 조사각도를 경사지게 하여 조사함으로써 표면경사 각도에 따라 조형물 윤곽각도(profile angle)를 필요한 크기만큼 조정하여 계단 부위를 최대한 줄이는 Hagihara⁵ 등의 시도는 레이저빔에 대한 수지의 물리적 특성 즉 한정된 난반사각도로 인하여 특정범위의 레이저 조사각도에서만 표면거칠기의 개선이 가능하다. 또한, 모델이 만들어진 후 연삭 등의 방법에 관한 일부 연구들이 수행되었으며 Spencer⁶ 등은 쾌속조형물에 대한 배럴 연마(barrel tumbling)나 진동 다듬질(vibration finishing)에 관하여 발표하였으나 조형물의 형상을 훼손할 수 있고, 원하는 표면 정도를 얻기에는 많은 시간이 소요된다.

본 연구는 쾌속조형 기술에서 가장 널리 이용되는 광조형(Stereolithography: SL)기술로 제작된 광조형물(SL part)을 대상으로 표면거칠기를 개선하는 광조형물 후가공 공정을 제안한다. 즉, 가공성 및 접착성이 우수하며, 가격이 저렴한 파라핀(paraffin) 재료로 간단히 조형물을 코팅(coating)시켜 조형물의 형상 훼손 없이 코팅된 파라핀 부위만을 신속히 제거 및 연삭함으로써 광조형물의 계단 형상을 메워서 필요한 표면 정도를 용이하게

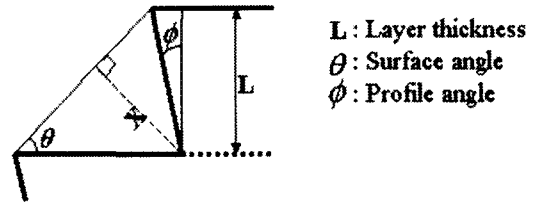


Fig. 1 Surface profile schema of SL part

얻을 수 있는 파라핀코팅연삭 후가공 공정(Paraffin Coating and Grinding Post-machining process for SL parts)을 개발한다. 또한 실리콘고무형(silicon rubber mold)으로 노브(knob)형상의 최종 성형물(casting part)을 제작하여 표면조도(surface roughness)를 측정하고, 이를 검토 분석함으로써 제안된 방법의 효용성을 보인다.

2. 세부공정

2.1 광조형물 표면거칠기 분포 특성

계단현상에 의한 쾌속조형물의 표면거칠기 분포에 영향을 미치는 인자들로는 적층두께(layer thickness), 성형 형태(build style), 사용되는 수지 특성(material property), 표면경사각도(surface angle), 경화윤곽(layer profile) 등이 있다. 일반적으로 성형이 끝난 광조형물의 표면은 Fig. 1에 보이는 것처럼 계단형상을 가진다. 이처럼 단순화된 표면윤곽형상으로부터 표면 경사각도에 따라 계산된 계단 깊이(X)값의 분포는 기하학적 관계로부터 식(1)과 같

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

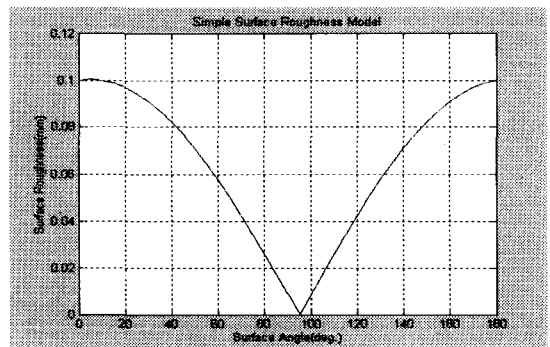


Fig. 2 Theoretical surface deviation curve for SL part

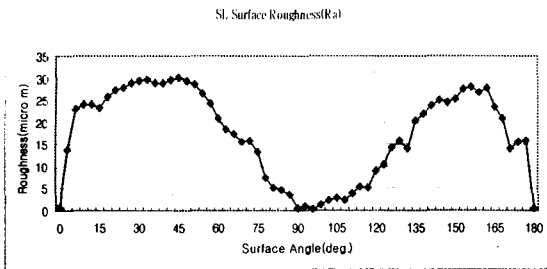


Fig. 3 Measured surface roughness data of the SL part

이 유도할 수 있으며, 이로부터 Fig. 2 와 같은 표면경사각도에 따른 광조형물의 이론적인 표면거칠기 분포곡선을 얻을 수 있다. 여기서 적층두께는 0.1mm, 경화윤곽각도는 5 도이다. 그러나 원뿔형, 원통형 등과 같은 경화윤곽의 이론적 단순화 형태에 따라 표면거칠기 분포도 조금씩 달라진다.

실제적인 경우에, 성형형태(build style)에 따라서도 거칠기 분포 특성 역시 모두 달라지게 된다.⁷ 또한 광조형물의 각 표면의 법선벡터가 아래로 향하는 하향면의 경우에 계단현상에 의해 생긴 골에 중력과 표면장력에 의한 수지의 매움 현상(print through effect)이 발생하게 되어 표면거칠기가 감소하는 경향이 있다. 따라서, 표면거칠기 결정인자들은 서로 종속적이면서 비선형적이므로 Fig. 2의 이론 그래프는 실제측정 데이터인 Fig. 3 과는 큰 차이가 있다.

Fig. 3 은 광조형물의 표면정도 개선의 기준으로 활용하기 위하여 측정된 것으로서, 전형적인 평균표면거칠기(Ra) 분포 그래프이며 0.1 mm 의 적층두께로 성형한 광조형물에 대하여 0 도에서 180 도까지의 표면경사각도에 따라 표면거칠기를 측정하여 얻은 것이다. 표면경사각도 0, 75~120, 180 도(degree) 근방을 제외한 곳에서는 아주 불량한 표면거칠기를 가지는 것을 알 수 있다. 일반 선삭 기계 가공면이 0.5~10 μm 의 평균표면거칠기 값을 가지는 것과 비교할 때, 광조형물에 대하여 별도의 후가공 없이 금형 제조분야에서 패턴 등으로 사용하기는 어렵다.

2.2 파라핀 코팅 연삭 후처리 공정

쾌속조형기술로 하나의 제품을 생산하는 공정에서 공정단계별 표면상태는 Fig. 4 과 같이 나타낼 수 있다. 이때, 제작할 부품의 CAD 모델표면은 쾌속조형기술에서 표준입력데이터 형식인 STL 화

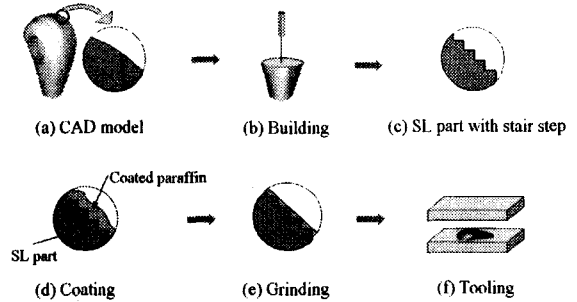


Fig. 4 The schema of rapid tooling using paraffin coating and grinding post-process

일(StereoLithography file)의 삼각형 메시(mesh) 표면으로 Fig. 4(a)와 같다. 이로부터 성형방향결정, 단면데이터생성, 단면에서 성형경로생성과 같은 일련의 CAD 데이터 가공공정을 거친 뒤 Fig. 4(b)처럼 쾌속조형물을 제작하고 나면, 표면에 Fig. 4(c)처럼 계단현상이 발생하며, 앞 2.1 절에서 설명한 바와 같은 표면거칠기 분포 특성을 가진다. 본 연구에서는 이러한 광조형물의 표면거칠기를 개선을 위하여 Fig. 4(d)처럼 일차적으로 파라핀 코팅으로 계단 부위를 메우고, 이로부터 원래 모델의 경계를 넘는 부위의 파라핀만을 연삭 및 제거함으로써 Fig. 4(e)에 보이는 것처럼 개선된 광조형물 표면을 얻는다. 표면 거칠기가 개선된 광조형물을 패턴으로 하여 Fig. 4(f)처럼 형(mold)을 제작하여 최종 성형물을 얻을 수 있다. 이러한 쾌속조형기술로 신속툴링을 실험함에 있어 Fig. 4(d), Fig. 4(e) 단계에서 후가공 정도와 신속성이 무엇보다 중요하다.

2.3 코팅공정

파라핀은 원유의 감압 증류 유출물로부터 상온에서 분리 정제된 왁스의 일종으로 탄소가 선형으로 연결되어 있는 직쇄형 탄화수소의 구조로 구성되어 있고, 평균 탄소수 20~35, 분자량 300~500 정도의 탄화수소 혼합물이다. 일반적인 특성은 유분이 적고 경도가 비교적 높으며 상온에서 백색 고체 상태다. 융점 온도 범위는 45~70℃정도이고 휘발성이 없으며 쉽게 연소한다. 용융상태에서 점도는 100℃에서 10cSt 이하로 극히 작고 방수 방습의 성질을 가지고 있으며 해로운 가스 발생 없이 쉽게 연소한다. 그리고 상온에서 경화 시간이 10 여분 이내로 짧고, 다른 재료에 비하여 가공성

Table 1 Paraffin coating conditions for the SL test part

	1-st Condition		2-nd Condition	
	Temp. (°C)	Time (min)	Temp. (°C)	Time (min)
Melting	70~90	5~7	60~70	1~2
Dipping	70~90	2~3	60~70	1~2
Cooling	18~20	2~3	18~20	5~10

*Coating thickness 1mm, Paraffin volume 100mm³, SL test part volume 50mm³

과 플라스틱류에 대한 접착성이 우수하며 가격이 저렴한 이유 등으로 본 연구에서 코팅 재료로 선정하였다.⁸

코팅공정은 이러한 파라핀 재료를 이용하므로 스프레이 코팅 방식으로는 용융 파라핀 분사시 공기 중에서 쉽게 고화되는 특성 때문에 본 연구에서는 용융된 파라핀 속에 광조형물을 디핑(dipping)시켜 코팅한다. 코팅 공정은 초벌과 본 공정의 두 단계로 실시되며, 각 단계에서 다시 세부적으로 파라핀 용융(melting), 광조형물 디핑(dipping), 그리고 냉각(cooling)의 세 과정으로 이루어진다. 파라핀을 1mm 두께로 코팅하기 위하여 가열온도와 시간에 대한 다수의 반복실험을 통하여 결정된 각 단계별 적정 온도 및 공정소요시간을 Table 1 과 같이 얻었다. 여기서 사용된 파라핀과 광조형물의 부피는 각각 100 mm³, 50 mm³이다. 광조형물 표면에 충분하고 견고한 코팅을 위하여 코팅공정은 초벌과 본 코팅으로 이루어진다. 우선, 초벌코팅의 용융단계에서 파라핀을 용기에 넣고 가열시킨다. 이때 가열 온도는 실험으로부터 광조형물에 영향을 주지 않고 파라핀이 기화되기 전의 온도인 약 70~90°C가 적당하다. 가열시간은 광조형물의 크기에 따라 결정되는 파라핀의 사용량에 따라 다르나 여기서 제시한 기준 부피가 100 mm³인 경우 위의 온도로 파라핀이 완전히 용융되기까지 18~20°C의 실내에서 약 5~7 분 정도 소요된다. 광조형물을 용융된 파라핀 용액에 2~3 분 가량 디핑한다. 디핑 완료 후 용융 파라핀이 얇게 덮힌 광조형물을 상온에서 2 분 정도 서냉시키면 계단 부위에 파라핀이 채워진 상태에서 냉각된다. 이렇게 초벌 코팅 된 것을 60~70°C의 용융 파라핀에 1~2 분 정도 다시 디핑시키고, 상온에서 5~10 분

정도 서냉시키면 광조형물 표면에 파라핀이 0.5~1.5mm 두께로 견고하게 코팅된다.

2.4 연삭공정

앞 Fig. 4 (e)에서 보이 바와 같이 광조형물의 형상 훼손 없이 코팅된 파라핀만을 용이하게 제거하기 위하여, 파라핀의 연삭에 사용되는 공구의 정도는 파라핀보다 높고 광조형물 재료보다는 낮아야 된다. 또한, 파라핀에 대한 연삭성이 우수하여야 하며, 연삭면의 표면 거칠기도 일정 수준 이상 유지시킬 수 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키는 재료로 현재까지 다수의 연삭 실험으로부터 우드(wood)와 천(rubbing cloth)을 선택하였다.

연삭작업 수행은 우드로 만든 연삭공구를 핸드그라인더(hand grinder) 축에 부착시켜 일차적으로 파라핀을 연삭한다. 이 때 파라핀 칩이 연삭입자의 탈락한 부위를 채우는 눈매움/loading 현상이 자주 발생할 수 있는데, 60°C 이상의 열을 이 우드 툴(tool)에 가함으로써 쉽게 드레싱(dressing)을 할 수 있다. 후가공 대상 부품의 형상에서 스타일 라인(style line)과 같은 좁고 굵이진 부분과 각이진 부위를 가공하기 위하여 다시 부드럽고 두꺼운 천으로 연마를 수행하여 보다 깨끗하고 개선된 광조형물 표면을 얻을 수 있다.

3. 실험 및 검증

자유곡면을 가지면서 계단현상이 뚜렷이 나타나는 자동차 변속기어 손잡이(노브: knob)의 윗부분 모델을 대상으로 SLA350 광조형장비(StereoLithography Apparatus)에서 가공형태(build style) Exact-X, 사용수지 SL5510, 층두께(layer thickness) 0.10mm 의 성형조건들로 하여 테스트용 광조형물을 Fig. 5 (a)와 같이 제작하였다. 이 광조형물에 대하여 Fig. 5 (b)는 Table 1에서 제시한 조건으로 약 15 분이 소요된 코팅작업의 결과를 보인

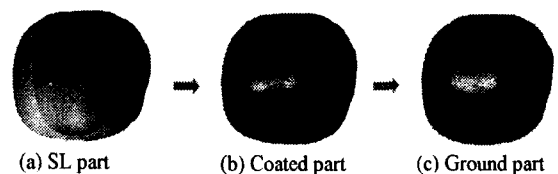


Fig. 5 Processed SL test part according to the proposed post-machining

다. 코팅공정으로 평균 1mm 정도의 두께로 파라핀이 메워져 계단부위와 끝이 진 부위가 외관상 보이지 않게 된다. 이렇게 파라핀으로 코팅된 광조형물에 대하여 2.4 절에서 제시한 방법으로 약 15 분간의 연삭 작업후에 얻어진 쾌속조형물을 Fig. 5 (c)에 보인다. 노브 모델의 표면경사 각도(surface angle) 30~35° 인 부위에서 개발한 광조형물 후가공 적용 결과 전과 후의 표면 상태를 광학현미경(CK40M, Olympus)으로 200 배 확대 촬영한 사진인 Fig. 6로부터 본 연구에서 제시한 광조형물 후가공기술로 표면품질 향상 정도를 확인할 수 있다. Fig. 6 (a)는 후가공 되기 전의 광조형물의 표면으로 계단 형상이 뚜렷하게 나타나 있음을 보이고 있다. 이러한 광조형물의 표면이 파라핀 코팅 및 연삭 광조형물 후가공 공정으로 Fig. 6 (b)에 보인 바와 같이 현저하게 개선될 수 있음을 보였다.

본 연구에서 제안하는 기술과 기존의 일반적인 후가공의 소요시간 비교를 위하여 반지름이 30mm 인 구(sphere) 형상의 광조형물을 위의 노브모델과 같은 조건으로 제작하여 후가공 시간을 측정하였다. 사포나 연마포를 이용한 기존의 후가공 방법으로 가로 세로 10mm 의 평면 표면을 1 μ m의 평균 표면조도로 가공하는데 약 30 초의 작업시간이 소요되었다. 이를 기준으로 구 형상의 전체 표면의 경우 기존의 후가공방법으로 최소 1시간 이상 경

과될 것으로 예상되었으며, 실제로 구면의 곡면가공으로 2 시간 정도 소요되었으며, 광조형물의 형상이 다소 왜곡됨을 피할 수 없었다. 그러나 본 연구에서 개발된 후가공 공정을 같은 구형상의 광조형물에 적용하여 후가공에 소요된 총 시간은 코팅과 연삭을 공정을 합하여 0.5 시간 정도였으며, 형상의 경계 또한 원래 CAD 모델의 형태를 그대로 유지하고 있다. 이러한 결과는 연삭 공구의 경도가 파라핀보다 높고 광조형물 재료보다는 낮아 광조형물의 경계형상이 후가공중에 훼손되지 않아 신속한 후가공이 가능하기 때문이다.

4. 신속틀링 적용

4.1 신속 틀링 실험

신속 틀링은 쾌속조형기술을 이용하여 어떤 공구나 금형을 신속하게 제작하는 기술이며, 최근에 고속절삭(HSC)이나 쾌속조형제작(RP&M: Rapid Prototyping and Manufacturing) 관련 기술들까지 포함하여 일컫는 용어로 사용된다.² 이러한 신속 틀링 기술을 적용할 경우, 인베스트먼트 주조공정(investment casting)의 경우 종래의 방법대로 왁스 패턴을 제작하는 사출성형기술 대신 쾌속조형기술로 패턴을 제작하게 되면 복잡한 형상에 대한 최종 성형물(casting part)의 완성에 이르는 총 제작시간을 기존 10~20 주(weeks)에서 4 주 정도로 대폭 줄일 수 있는 장점이 있다.⁹ 이러한 신속 틀링에 사용되는 쾌속조형물은 표면정도 개선이 필수적이며, 이에 대한 후가공 공정시간 역시 단축이 필요하다.

광조형물을 이용하여 신속틀링에 대한 적용성을 확인하기 위하여 본 연구를 통하여 개발된 광조형물 후가공 기술로 처리된 패턴을 이용하여

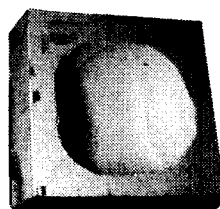


(a) Before

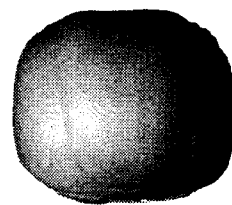


(b) After

Fig. 6 Photograph of the surface of the SL test part



(a) Silicon rubber mold



(b) Casting part

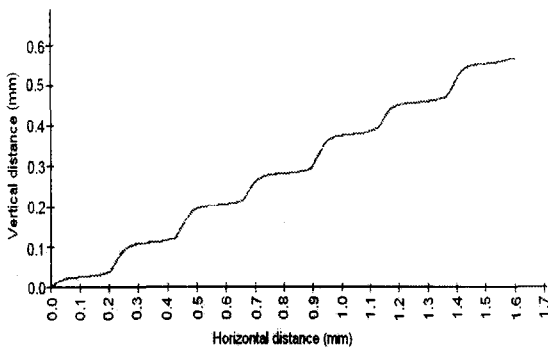
Fig. 7 Silicon mold and final cast of the SL test part

Fig. 7 에 보이는 바와 같이 형(mold)을 제작하여, 표면의 계단 부위에 파라핀이 메워져 있기 때문에 몰드(mold)는 파라핀의 용융점을 고려하여 비교적 저온에서도 제작 가능한 실리콘고무형(silicon rubber mold)을 선정하여 35℃에서 16 시간 정도 건조시켜 제작하였다.¹⁰ 그리고, 에폭시수지에 알루미늄 분말을 첨가재로 한 슬러리를 실리콘 고무형에 채워 최종 성형물을 만들었다.

4.2 신속 툴링 적용성 평가

광조형물의 표면품질 개선 정도와 상태를 파악하기 위하여 윤곽형상측정기(Mitotoyo Contracer CBH-400)를 이용하여 노브모델의 표면윤곽형상을 측정한 결과를 Fig. 8 에 보인다. 측정 장비의 측정 범위는 x, y 축 방향으로 각각 100mm, 50mm 그리고 분해능이 각각 0.1 μm, 0.2 μm로서 노브모델에 대한 본 연구의 적용 전후 표면상태를 잘 파악할 수 있다.¹¹ Fig. 8 의 (a)와 (b) 그리고 (c)와 (d)는 각각 표면경사각 15, 45 도에서 후가공전의 광조형물과 앞질의 신속툴링 실험으로부터 제작된 최종성형물을 대상으로 측정하여 얻은 표면윤곽형상이다. 가로 및 세로축의 눈금 단위는 mm 이다. 표면경사각 15, 45 도에서 후가공 처리 전의 광조형물의 표면형상 (a), (c)와 최종성형물의 표면윤곽 (b), (d)의 비교를 통하여 표면 품질이 상당히 향상되었음을 쉽게 확인할 수 있다. 이것은 광조형물 최외곽 형상을 기준으로 경계를 초과하는 코팅된 부위만을 연삭 가공함으로써 가능하였다.

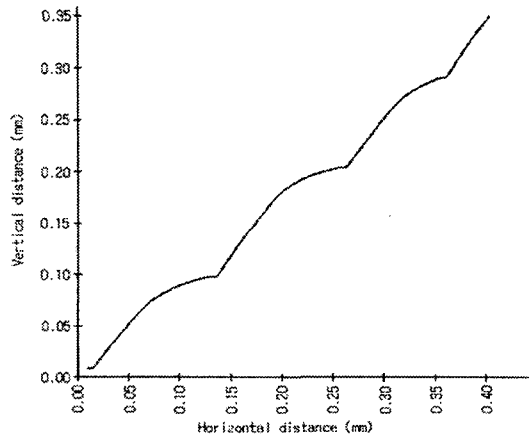
또한, 적용 전후의 표면조도 변화량을 보다 정확히 알기 위하여 표면조도측정기(Surfest SV-414)



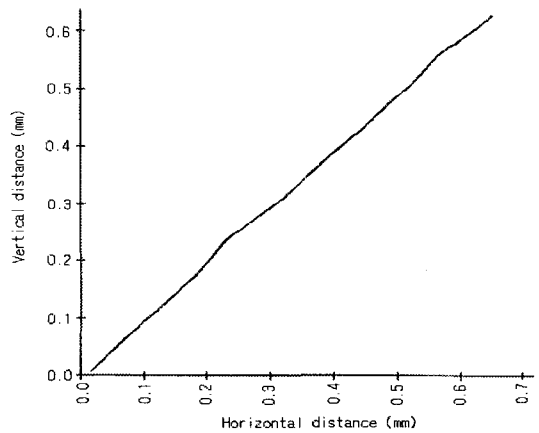
(a) Measured surface profile of the SL part at 15 deg.



(b) Measured surface profile of the casting part at 15 deg.

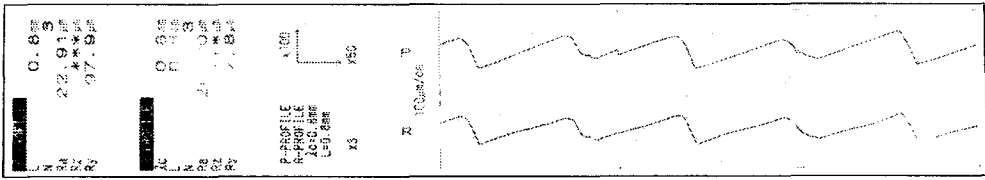


(c) Measured surface profile of the SL part at 45 deg.

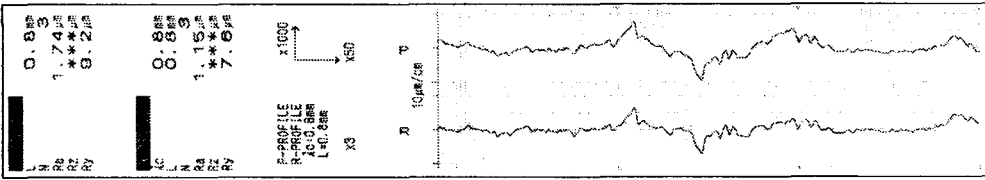


(d) Measured surface profile of the casting part at 45 deg.

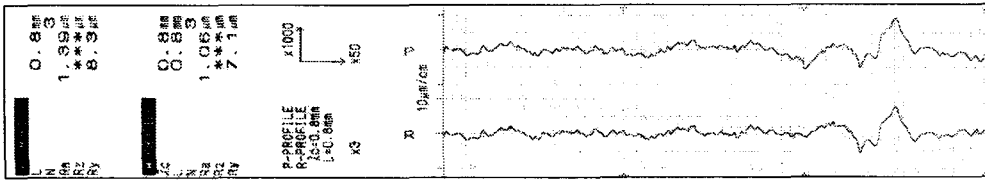
Fig. 8 Measured surface profile curves of the SL and casting part for knob test model



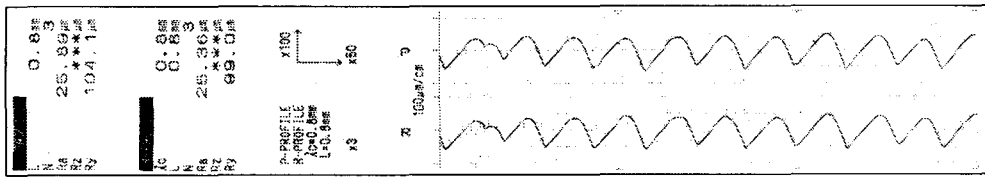
(a) Measured surface roughness of the SL part at 15 degree surface angle



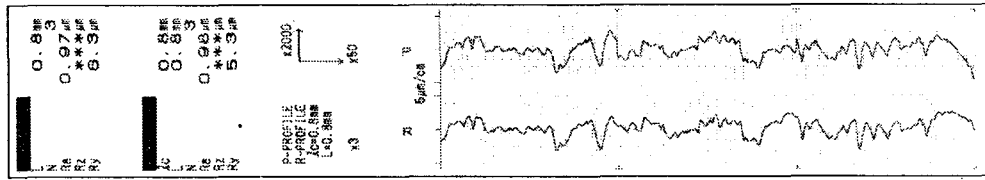
(b) Measured surface roughness of the pattern at 15 degree surface angle



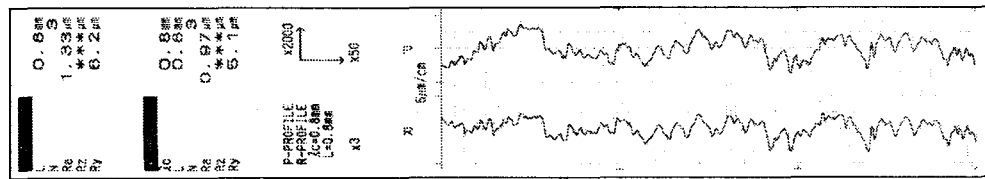
(c) Measured surface roughness of the casting part at 15 degree surface angle



(d) Measured surface roughness of the SL part at 45 degree surface angle



(e) Measured surface roughness of the pattern at 45 degree surface angle



(f) Measured surface roughness of the casting part at 45 degree surface angle

Fig. 9 Measured surface roughness data of the SL, pattern, casting part for the knob test model

를 이용하여 평균표면조도값을 Fig. 9 에 보이는 것처럼 얻었다. 표면경사각도 15, 45 도에서 (a)와 (d), (b)와 (e) 그리고 (c)와 (f)는 후가공 되기 전 계단현상이 그대로 남아 있는 광조형물, 후가공 처리된 패턴, 그리고 신속툴링 실험으로 성형된 최종파트의 표면을 각각 측정하여 얻은 평균표면조도값이다. 패턴인 (b)와 (d)의 비교로부터 본 연구에서 개발한 후가공으로 평균표면조도값이 20 μm 이상에서 거의 1 μm 수준으로 대폭 개선되었음을 확인할 수 있다. 또한 (b)와(c), (e)와(f)의 비교로부터 최종 성형물의 평균표면조도값이 패턴과 거의 동일한 수준이므로 실리콘고무형을 이용한 신속툴링 실험에서 열에 의한 영향을 거의 받지 않았음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서 광조형물의 표면조도 향상을 위하여 파라핀 코팅과 연삭을 이용한 광조형물 후가공 공정을 개발하였다. 이것은 파라핀 코팅으로 표면에서 계단부위를 메우고, 우드소재의 연삭공구를 이용하여 오버코팅(over-coating)된 파라핀만을 선택적으로 연삭하여 제거함으로써 표면 품질을 개선하는 광조형물 후가공 방법이다. 따라서 기존의 광조형물 후가공 방법과 비교하여 표면 품질을 대폭 개선할 수 있음은 물론이고, 광조형물의 원형을 훼손시키지 않으면서 후가공 공정 소요 시간을 두 배 이상 단축할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다. 그리고 실리콘 고무형을 제작하여 사출성형물을 만들었으며, 이 최종 성형물의 표면조도를 측정하여 본 연구에서 개발한 광조형물 후가공 공정이 광조형물을 패턴으로 사용하는 신속툴링에 활용될 수 있음을 보였다.

추후 코팅소재와 연삭재의 추가적인 개선이 요구되며, 본 연구에서 제안된 광조형물 후가공 방법에 대한 공정 자동화 기술 개발이 필요하다.

후 기

본 연구는 부산대학교 교내학술연구비 및 해외과건연구로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kochan, D., Chua, C. K., "State-of-the-art and future trends in advanced rapid prototyping and manufacturing," *International Journal of Information Technology*, Vol. 1, pp. 173-184, 1995.
2. Jacobs, P. F., "Stereolithography and other RP & M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling," SME, Dearborn, MI, ISBN 0-07-032433-6, pp. 279-301, 1996.
3. Reeves, P. E., Cobb, R. C., "Reduction the surface deviation of stereolithography using in-process techniques," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 3, No. 1, pp. 20-31, 1997.
4. Narahara, H., "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. 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., 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. Kim, H. C., Ahn, D. K., Lee, S. H., "Reduction of Post-processing Time for Stereolithography Parts by Selection of Build Direction," *Proceedings of The 35th CIRP International Seminar on Manufacturing*, Seoul, Korea, 13-15 May, 2002.
8. http://www.imperialoil.com/CanadaEnglish/Files/Products_Lubes/IOCAENWPOESSlack_wax.pdf, August, 2002.
9. Lee, K. W., "Principles of CAD/CAM/CAE systems, Addison-Wesley," MA, ISBN 0-201-38036-6, pp. 392-410, 1999.
10. Jeong, H. D., Chung, S. I., "A Study of Rapid Tooling of Porous Metal Mold," *J. of KSPE*, Vol. 20, No. 1, pp. 91-98, 2003.
11. Mitotoyo Contracer CBH-400 User's Guide 1997.