

## 웹기반 쾌속조형물후가공 선정시스템 개발에 관한 연구

이상호\*(부산대 지능기계공학 대학원), 안대건(부산대 기계기술연구소), 양화준, 장태식,  
이일엽(현대자동차), 정해도, 이석희(부산대 기계공학부)

A Study on Determining Post-machining System for RP parts with Web-based Interface Tool

S. H. Lee(Dept. of mechanical and intelligent systems engineering, PNU), D. K. Ahn(Research Int. Mecha. & Tech., PNU), H. J. Yang, T. S. Jang, I. Y. Lee(Hyundai Motor Company), H. D. Jung, S. H. Lee(School of Mechanical Engineering, PNU)

### ABSTRACT

Rapid Prototyping technology has many advantages such as Rapid Tooling. However, Using the RT technique is limited by the poor surface quality of the RP part. Thus, additional post-machining is required for improving the surface roughness by the sanding, grinding and polishing etc. But, these traditional finishing techniques are time and labor cost consuming. Hence, improving and formulation the finishing technique is inevitably necessary for the RP part. A new post-machining methodology for RP part is presented by the SLS part is used for automobile components in this research. Also, a web based interface tool that user requirements are rapidly ordered for post-machining RP part is developed.

**Key Words** : Rapid prototyping(RP : 쾌속조형), Post-machining(후가공), Rapid Tooling(쾌속툴링), Surface roughness(표면거칠기), Sanding(사상), Web-based interface(웹기반 사용자환경)

### 1. 서론

제품의 다양화와 개발 기간의 단축화로 대표되는 오늘날 제조업의 상황은 품질과 가격 경쟁력 뿐만 아니라 제품개발의 신속성이 성공 여부에 많은 영향을 주게 되었다. 이에 대응하기 위하여 제조업체들은 'Rapid to the Market'이라는 슬로건 아래 신제품을 신속하게 개발하여 신속히 고객에게 제공하려는 노력을 기하게 되었고, 제품생산에서 총 소요시간(Total Lead Time, or Total Cycle Time)을 단축시키고 비용을 줄이기 위해 RP<sup>(1)</sup>(Rapid Prototype)의 적용은 점차 확대 되어가고 있다.

최근 자동차 산업에서의 RP의 적용은 많은 성장을 거듭해 왔다. 특히 시작개발에 RP를 적용한 툴링 시스템(Tooling System), 즉 기존의 전통적인 금형 제작이 아닌 RP가 제공하는 정확하고 신속한 마스터 모델(Master Model)이나 패턴(Pattern)을 이용한 소프트 툴링(Soft Tooling)<sup>(2)</sup> 기술에 관심이 집중되고 있다.

그러나, 이러한 RP로 제작된 파트는 삼차원형상

의 높이 방향의 이차원 단면을 쌓아 가공하는 적층 공정을 이용하므로 그 표면에 단차를 발생시키는 계단현상으로 인해 실제로 소프트툴링을 하기에 부적합한 표면거칠기를 가지고 있어 별도의 후가공이 필요하다. 일반적으로 가장 많이 쓰이는 쾌속조형물 후가공 작업으로는 사상(Sanding)이나 연삭(Grinding), 연마(Polishing) 등이 있다. 이러한 후가공은 주로 수작업으로 이루어지며 많은 시간과 숙련도를 요구한다.

이에 본 연구는 SLS 쾌속조형물을 대상으로 쾌속조형물의 체계적 후가공 방안을 제시하며 또한 웹 환경을 구축하여 납기, 용도등 사용자의 요구조건을 신속히 반영할 수 있는 후가공 선정시스템을 구축하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험계획

본 연구에서는 여러가지 후가공 방법중에 실제로 쾌속조형물에 적용할 수 있고, 장비가 갖춰져있는 수작업을 기본으로 하였고, 공정관점에서 보았을 때

크게 두가지로 나누어 생각하였다. 첫 번째는 사포 등의 마찰성 소재를 이용하여 부품을 사상하는 것이고, 또 다른 하나는 레진을 제품 표면에 도포하여 성형 부품의 전체적인 굴곡을 전체적으로 덮은 후 사상하는 것이다. 전자의 경우 일반적으로 성형 부품의 전단강도가 약한 SLA, FDM 등에 잘 적용될 수 있으며 후가공 공정후의 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 후가공을 위한 도구 및 코팅 소재 측면에서 접근해 보기로 한다. 후가공 공정에서 그라인딩을 위해 사용되는 주된 도구는 사포이며, 이 경우 사포가 표면 조도를 결정하는 중요한 요소가 된다. 하지만 자동차 램프 등과 같이 우수한 표면을 요구하는 경우 사포로는 이러한 요구수준의 구현이 불가능하므로 다른 사상도구의 활용이 필요하고, 이러한 변화에 따라 코팅소재 및 사상 방법의 선택에 영향을 미치게 된다.

## 2.2 후가공방안 연구

### 2.2.1 Sanding Tool

샌딩하는 도구로는 사포(sandpaper), 비드(bead), 샌드(sand), 면(cotton), 양털패드(furpad) 등의 것들이 있는데, 사포는 입자의 크기에 따라 종류가 여러 가지로 나뉘는데 처음부터 너무 고운사포로 사상할 경우 시간이 많이 걸릴뿐아니라 사포에 눈막힘 현상이 일어나서 연삭이 잘 이루어지지 않는다. 따라서 거친사포로부터 사상을 시작하고 점점 고운사포로 하는 것이 이상적이다. 그리고 좀더 좋은 면을 얻고자 할 때는 면이나, 양털패드를 이용하여 사상작업을 하는데, 면은 일종의 형질같은 것으로 사포보다 더 좋은 표면을 얻을수 있으며, 양털패드는 모피같은 부드러운 패드를 사용하여 면보다도 좋은 면을 가질 수 있다. Fig. 1은 샌딩도구에 따른 표면조도를 나타낸다.

### 2.2.2 Sanding Method

샌딩의 방법으로는 오직 샌딩만을 할 때와 샌딩과 그라인딩을 혼합하여 하는 경우로 생각할 수 있는데, 물론 그라인딩을 이용하면 더 빠른 시간에 표면가공을 할 수 있지만 파트의 형태에서 그라인딩을 할 수 없는 것들이 있기 때문에 서로의 장단점을 생각해서 결정해야 한다.

### 2.2.3 Coating Material

코팅재료로 쓰이는 것은 여러 가지가 있을 수 있지만 본 연구에서는 레진(resin), 컴파운드(compound), 락커(lacquer)를 사용하였다. 레진은 코팅후 완전히 건조시킨 다음 사포나 그라인딩을 이용하여 사상을 하

며, 좀더 좋은 표면을 얻고자 할 때는 컴파운드로 다시 코팅하여 사상작업을 하는데 여기서 코팅재료의 차이는 미세입자의 사용과 점도가 낮으므로 해서 표면에 더욱 넓게 퍼지며 거친표면의 공간을 채워주는데 있다. 컴파운드로 코팅한후에는 더 이상 사포로는 표면조도를 개선하기 어렵기 때문에 면을 이용한다. 다음으로 더욱더 좋은 표면을 얻기 위해서 자동차의 램프같은 부품처럼 광택이 필요한 경우는 좀더 미세한 입자와 저점도의 성질을 가진 락커를 사용하여 코팅한 후 양털패드를 이용하여 사상작업을 마무리한다. Fig. 2는 코팅재료의 점성을 비교한 것이다.

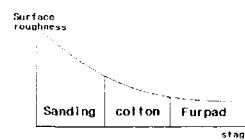


Fig. 1 Surface roughness of Sanding Tool

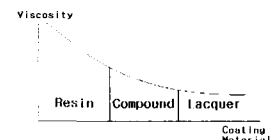


Fig. 2 Viscosity of Coating Material

### 2.2.4 Sanding Condition

샌딩은 건식과 습식이 있는데 본 연구에서는 습식을 사용하였다. 습식에 사용되는 물은 일반적으로 절삭기계의 윤활유 역할을 하게되는데, 파트를 냉각하여 치수정밀도의 저하를 방지하고, 파트의 연삭되어 나가는 분말을 제거해 주므로 연삭체를 더 오래 동안 사용할 수 있으며 파트와 연삭제 사이의 공간에 어느 정도 스며들어 더 좋은 표면조도를 낼 수 있도록 한다.

### 2.3 표준시편의 준비

후가공 공정에 따른 표면조도의 값을 얻기 위해서 본 논문에서는 50mm×25mm의 평판을 30°기울여서 5개를 제작하였다. 이것은 사상작업을 하지 않은 파트에서 sanding, coating&sanding, coating&grinding, coating&polishing의 4단계까지의 실험을 위한 것이다.

### 2.4 사상작업

후가공된 파트의 표면조도를 얻기 위해서 위에서 제안한 것과 같이 표준시편을 준비하고, 4단계의 실험을 실시하여 Table 1과 같이 각각의 표면조도를 구하였다.

Table 1 Overall Procedure and Surface Roughness of suggested postprocess finishing method.

Step	Finishing Method	Surface Roughness(Ra)
1	Sanding	5.32 $\mu\text{m}$
2	Coating & Sanding	1.45 $\mu\text{m}$
3	Coating & Grinding	0.30 $\mu\text{m}$
4	Coating & Polishing	0.20 $\mu\text{m}$

## 2.5 자동차부품의 표면거칠기 측정

자동차부품은 표면거칠기 측면에서 볼 때 크게 Exterior Parts, Interior Parts, Switch, Lamp의 4가지로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 웹상에서 클라이언트가 필요한 단계의 후가공방법과 시간, 비용을 산출하기 위한것이므로 소비자가 원하는 표면조도의 수치가 필요한데, 이것을 위해서 실제로 자동차에 쓰이는 사상이 완료된 부품의 표면거칠기를 각각 측정하였다. 위에서 언급한 분류에 해당되는 자동차 부품의 종류와 필요한 표면거칠기를 측정하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Classification of Automobile Parts and Requirement of Surface Roughness

Distribution	A Class of Automobile Parts	A Requirement of Surface Roughness(Ra)
Exterior Parts	Bumper, Windshield Wipe Holder, Out Side Rear View Mirror Bracket etc.	0.32 $\mu\text{m}$
Interior Parts	Ashtray, Foot Pedal, Door Handle etc.	1.02 $\mu\text{m}$
Switch	Back up, Combination, Oil pressure, Power window Switch etc.	1.13 $\mu\text{m}$
Lamp	Front, Rear, Head Lamp etc.	0.249 $\mu\text{m}$

## 2.6 실험결과 및 분석

본 논문에서는 여러 가지 실험을 통하여 자동차 부품의 종류에 따른 필요한 표면거칠기를 구하였고, 그 값에 따라서 Exterior Parts의 경우는 Step 3 까지, Interior Parts는 Step 2, Switch는 Step 3, Lamp는 Step 4 까지 사상작업을 수행해야 함을 알 수 있다. 실질적으로 자동차 부품의 경우 RP로 제작된 파트를 이용하는 경우는 최소한 Step 2 이상은 사상작업을 수행해야 하며, 이러한 결과로부터 부품의 종류에 따른 시간 및 비용을 산출할 수 있게 되었다.

## 3. 시간 및 비용의 계산

위의 실험에서는 부품의 종류에 따른 표면거칠기의 필요치를 바탕으로 수행해야할 단계를 구했으며, 이제 각각의 단계별로 필요한 시간 즉, 코팅하는데 걸리는 시간, 경화하는데 걸리는 시간, 샌딩하는데 걸리는 시간들을 고려한 조건들을 여러 가지 실험을 통하여 필요한 계산식을 구했으며 비용 또한 각각의 경우에 적합한 조건을 이용하여 산출하였다.

### 3.1 시간의 계산

시간을 산출하기 위해 파트의 형상 복잡도에 따

른 요소들을 규정하고 그에 따른 가중치를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Classification and Weighting Factors of Part Geometry

Classification of Part Geometry	Weighting Factors
General Geometry	Panel Type : 1 Bulk Type : 1.5
Number of Style Line	$1+0.x(x=\text{number of Style Line})$
Convex/Concave	Convex = 1 Concave = 1.2
Number of Hole	$1+0.x(x=\text{number of Hole})$
Number of Protruded Geometry	$1+0.x(x=\text{number of Protruded Geometry})$
Round of Style Line	$1+0.x \times 0.3(x=\text{index of Round})$
Average Length of Style Line	$1+0.x(x=\text{average Length of Style Line}/100)$

Index of Round는 스타일라인의 곡률반경에 따라 나눈 것으로 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Round of Style Line and Index of Round

Index	Round of Style Line(mm)
1	15 ~ 40
2	8 ~ 15
3	3 ~ 8
4	0 ~ 3

그리고 전체 파트의 크기가 클 경우는 그에따른 시간도 비례하겠지만 만약 작을 경우에는 큰 경우와 똑같은 식을 사용하게 되면 너무 적은 시간을 소요하게되는데 사상작업에는 작은 파트의 경우라고 하더라도 일정이상의 시간이 필요하므로 이때에는 시간을 표면적의 제곱근에 비례하도록 하였으며 Table 5에 표현하였다.

Table 5 Classification and Weighting Factors of Part Area

Classification of Part Area	Weighting Factors(hr)
Small Part	$(1+\sqrt{\text{Surface Area}/100}) \times 0.5$
Large Part	$(\sqrt{\text{Surface Area}/10000}) \times 0.5$
Work Time	Small Part + Large Part

### 3.2 비용의 계산

비용은 작업자의 노동시간(Work Time)에 의한 비용과 재료(Material)에 의한 비용으로 구분하였으며 각각 여러 가지 실험을 통해 적절한 해를 찾아 Table 6, Table 7에 노동시간과 재료에 따른 비용을

산출하였다.

Table 6 Cost of Work Time

Step	Work Time(hour)	Cost/Hour(Won)
1	Sanding	7,400
	Coating	7,400
2	Oven Curing	1,000
	Sanding	7,400
	Coating	7,400
3	Curing	0
	Sanding	7,400
	Coating	7,400
4	Coating	7,400
	Curing	0
	Sanding	7,400

Table 7 Cost of Material

step	Material	Material Amount	Cost/Unit (Won)
1	Sandpaper	Area×0.6/10000	130
2	Coating Material	Area×0.5×1.5 /1000000	30,000
	Sandpaper	Area×0.3/10000	130
3	Coating Material	Area×0.2×1.5 /1000000	30,000
	Cotton	Area×0.15/10000	200
4	Coating Material	Area×0.2×1.5 /1000000	30,000
	Wool Pad	Area×0.08/10000	1,200

#### 4. 웹기반 선정시스템

본 논문에서는 Windows XP 환경에서 위의 비용, 시간 산출식을 이용하여 웹상에서 클라이언트가 원하는 작업을 할 수 있도록 시스템을 구축하고 웹상에서 필요한 입력값을 주었을 때 요구되는 사상작업과 시간, 비용을 산출할 수 있도록 한다. Fig. 3은 웹상에서의 입력창을 나타낸다.

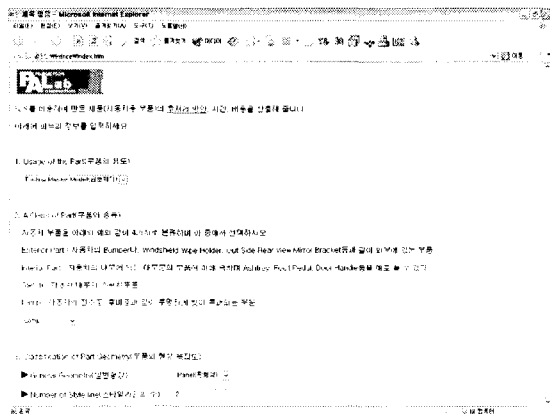


Fig. 3 User Input Configure

Fig. 4 Result Screen

Fig. 4는 Fig. 3의 입력화면에 값을 넣었을 때의 엑셀에서의 결과값을 나타낸다. 실노동시간(Actual Work Time)은 Table 3, 4, 5의 산출식을 이용하여 계산되도록 하였고, 실노동비용(Actual Labor Cost)과 실제재료비용(Actual Material Cost)는 Table 6, 7의 산출식으로 구하였다. 잉여시간비용(Extra Time Cost)는 실제 작업간의 소요되는 여분의 시간을 여러 가지 실험데이터를 바탕으로 실제시간비용의 12%로 잉여재료비용(Extra Material Cost)은 코팅작업시 폐속조형물 외부로 뿌려지는 재료의 비용을 말하며, 실제재료비용의 5%로 설정하였다. 따라서 총비용(Grand Total Cost)은 총노동비용과 총시간비용의 합으로 계산할 수 있으며, 또한, Table 2를 이용하여 부품종류에 따른 필요한 후가공 단계를 결과값으로 나타내었다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 폐속조형물의 후가공 방안을 연구하고 최적의 방안 및 시간, 비용을 구하기 위해 여러 가지 실험을 통한 우선식을 이용하여 원하는 값을 찾을 수 있었으며, 웹상에서 구하고자하는 파트의 입력값이 주어지면 필요한 시간 및 비용과 폐속조형물 후가공에 필요한 단계를 산출할 수 있도록 하였다.

Fig. 3에서와 같이 필요한 시간과 비용을 산출하기 위해 자동차의 후가공 대상 부품의 정보가 입력되었고, Fig. 4는 이를 바탕으로 최적의 후가공방안으로 Table 1에서 명시한 4단계까지의 사상작업이 필요함을 나타내는 후가공 선정시스템을 보여주고 있다.

#### 참고문헌

1. Paul F. Jacobs, Ph.D. "Rapid Prototyping & Manufacturing" Fundamentals of StereoLithography, 1992
2. Whitward, Lane "Getting to metal quicker with RP patterns." Design Engineering, p39, 3p. 1 diagram, 2c, 1996
3. 양수정, 진성래 "전자상거래관리사", 2001