

# Rapid Prototyping 기술에 대한 고찰

이 관 행

광주과학기술원 기전공학과

Rapid Prototyping(RP)이란 짧은 시간 내에 CAD 그래픽 데이터로부터 3차원 형상의 시제품을 만들어 내는 기술을 일컫으며, 1986년에 3D Systems라는 회사에 의하여 상용화된 SLA(Stereolithography Apparatus) 방식을 선두로 하여 지난 10년간 급속한 발전을 해왔다. 원하는 형상의 부품을 만들 때 기존의 machining은 원자재에서 재료를 깎아내면서 만드는 반면에, RP는 재료를 한 층씩 차례로 쌓아서 부품을 만드는 가산적인 공정 특징을 가지고 있다. 액체, 고체, 심지어 기체 상태의 재료까지 다양한 재료를 사용하고 있으며 또한 여러 가지 적층 방법으로 부품을 제작하고 있다. 성공적인 RP 기술의 창출에는 RP 기계제작에 직접 관계되는 기술뿐만 아니라, 재료 기술, RP 제작에 적합한 CAD 데이터 생성기술, 후처리 및 가공 기술 등이 모두 관건이 된다. 여기서는 RP 기술의 주요 파트 제작방법과 RP에 쓰이는 재료, RP의 용도 및 그 한계성 등에 대하여 생각하여 보았다. RP 기술은 3차원 CAD 모델이 없으면 실현이 불가능하다. 3차원(3D)화는 제품을 설계하고 만드는 대부분의 회사가 경쟁력을 갖기 위하여 싫든 좋든 이루어야 하는 목표 중의 하나라고 할 수 있는데, RP 기술 도입은 이러한 3차원화를 단축시키는 촉매제의 역할을 할 수 있다고 생각한다. RP 기술이 부분적으로 정확도의 문제와 제작 가능한 재료의 종류 및 성능에 제한이 있지만, 현재로서도 여러 응용분야에 성공적으로 이용되고 있으며 향후에는 더욱 그 응용 범위를 넓혀갈 것으로 전망된다.

## 1. RP파트 제작 방법

RP 기술을 이용하여 파트를 제작하는 방법은 RP 기술의 종류에 따라서 다양하지만 대체로 그 제작공

정을 4단계로(전공정, 주공정, 후공정, 후가공) 분류하여 생각할 수 있다. 첫째로 전공정에서는 3차원 CAD 모델로부터 RP 기계에서 적층작업을 할 수 있도록 단면화된 파일(slice file)을 생성해낸다. 3차원 CAD 모델은 surface나 solid를 모두 사용할 수 있으나, surface간에 틈이 없는 water-tight한 모델을 사용하여야 한다. 준비된 3차원 CAD 모델은 그 표면을 많은 수의 삼각형으로 근사한 형태의 STL 파일로 변환된다. STL 파일은 3차원 CAD 모델을 단면화 할 수 있는 가장 쉬운 형태로서 현재로서는 모든 RP 기계 vendor들이 수용하고 있는 실질적인 industry standard라고 할 수 있겠다. STL 파일은 적층시 한 층씩 차례로 적층될 수 있도록 보통 한 층이 0.1 mm 정도의 두께의 단면으로 나뉘어져 slice 파일로 변환된다.

여기까지를 RP 파트 제작에 있어서 전공정으로 간주하면, 주공정은 slice 파일로부터 각 공정에 필요한 scan 데이터를 생성시켜서 재료를 한 층씩 적층해서 실제로 파트를 제작하는 과정을 일컫는다. scan 데이터는 주어진 단면을 레이저빔으로 가공하는데 필요한 가공경로로서 NC 밀링데이터와 유사하다고 생각하면 된다. scan 방법은 주로 vector 또는 raster 방식이며, contour를 미리 먼저 scan 해주는 경우도 있다. 제작 방법에 따라서 단면 전체를 한꺼번에 curing하는 경우는(예: Solid Ground Curing 방식) 따로 단면파일로부터 scan 데이터를 생성해 낼 필요가 없다. 실제 파트 제작과정은 한층이 완성이 되면 platform이 내려가고, 또 한 층의 재료가 공급된 후 이 재료가 part geometry에 따라서 잘 curing이 되어 완성이 되면 또 다시 platform이 내려가고 그 다음 층의 재료가 공급되는 과정이 파트 전체가 완성될 때까지 반복이 된다. 이 때 적층방법은 RP 기술의

종류에 따라 아주 다양하다. 가장 많이 상용화 되어 있는 SLA의 경우 액체 상태의 광경화성 수지를 기존의 완성된 층위에 일정한 두께로 얇게 신속히 깔아준 후 laser beam으로 part geometry에 해당하는 부분을 고쳐나가는 방법으로 적층을 한다. SLS(Selective Laser Sintering)의 경우는 분말 상태의 재료를 roller로 밀어 얇게 깔아준 후 laser beam을 사용하여 경화시킨다. LOM(Laminated Object Manufacturing)의 경우는 접착처리가 된 종이를 공급한 후 파트 형상 부분을 laser로 잘라서 구분해 주고 나머지 불필요한 부분은 laser로 잘게 잘라서 후에 쉽게 떼어버릴 수 있도록 하면서 적층해 나간다. FDM(Fused Deposition Modeling)의 경우는 열가소성 플라스틱 재료가 필라멘트의 형태로 nozzle에서 분출되어서 파트 형상을 만드는 데 필요한 단면을 그려주는 방법으로 적층을 해나간다. 이때 nozzle에서 나오는 수지는 액체 상태지만 파트에 적층되면서 곧바로 경화되어진다. BPM(Ballistic Particle Manufacturing)의 경우는 열가소성 수지를 nozzle을 통해서 spray식으로 필요한 단면에 분사하는 방법을 통해서 적층을 해나간다. LCVD(Laser Chemical Deposition Method)의 경우는 vapor 상태의 재료를 laser를 사용하여 원하는 단면에 붙여서 적층을 한다. 이외에도 다른 많은 방법들이 있는데 주로 재료의 종류에 따라서 공정방법도 다양한 특징을 보인다고 하겠다.

이렇게하여 파트 제작 주공정이 완료된 후에도 대부분의 경우 후공정을 필요로 한다. 후공정의 종류는 물론 RP 제작방법에 따라 다르지만 지지대의 제거, 완성된 수지파트의 추가 경화작업, 경화되지 않는 powder의 제거, 필요없는 paper 조각들의 제거, 지지물로 사용했던 wax의 제거 등이다. 후공정을 거치면서 대체로 원하는 파트형상이 만들어지지만, RP파트의 정밀도나 surface finish를 높이기 위하여 대부분의 경우 후가공을 필요로 한다. 후가공시 주로 sanding 또는 polishing 작업을 많이 하지만 wax나 wood filler 등의 재료로 coating 해주기도 하며 최근에는 chemical이나 금속을 coating하여 주는 방법도 도입되고 있다.

## 2. RP 재료

RP 제작 공정이 어느 정도 안정화 되었다고 가정

할 때 RP 파트의 질(정밀도, 표면조도, 기능성 등)은 많은 부분 재료의 특성에 좌우되므로, RP 파트 제작에 있어서 재료의 역할은 다른 무엇보다도 가장 중요하다고 할 수 있다. RP 파트 제작에 사용되는 재료들은 RP 방식에 따라 조금씩 차이는 있지만 공통적으로 몇 가지 특성들이 요구되어진다. 첫째는 얇고 균일하게 퍼지는 특성을 가져야 한다. 파트의 근본적인 정밀도가 얼마만큼 얇은 층을 만들 수 있는가에 달려 있으므로 재료가 신속하게 또한 얇고 균일하게 퍼질 수 있는 성질은 무척 중요하다. 둘째로 적층시 층간에 원활한 접착이 이루어져야 한다. 아무리 얇게 퍼져도 층간의 접착이 충분하지 못하면 적층 방향의 수직 방향으로 힘이 가해졌을 때 파트가 쉽게 부식지게 된다. 세째로 빠른 반응 속도가 요구된다. 화학반응이든 열반응이든 경화속도가 느려서는 많은 층을 적층해야 하는 RP 제작 공정에는 부적합하기 때문이다. 네째로 경화 시 수축률이 작아야 한다. 물론 수축률이 일정할 경우 scale factor를 STL 파일에 적용하여 제작하면 정확한 파트를 만들 수 있다. 하지만 많은 실험결과들은 수축률이 클수록 파트의 정밀도가 떨어지는 것을 보여주고 있으므로 수축률이 작은 재료를 개발하는 것이 중요하다고 하겠다. 또한 이제는 RP 파트로부터 presentation이나 design review 이상의 역할을 기대하는 상황이 늘어감으로서 이에 따른 높은 기계적 강도 및 기능성, 정밀성을 갖는 재료의 개발이 요구되고 있다. 기존의 재료를 살펴보면 광경화성 수지, 열가소성 수지, 왁스, 종이 등이 있다. 광경화성 수지는 laser로 액체 상태의 수지를 curing하는 방식인 SLA, SOMOS, EOS 및 ultra violet light을 사용하는 SGC(Solid Ground Curing) 방식에서 사용되어오고 있다. 열가소성 수지는 nozzle을 통해서 재료가 분출되는 방식(FDM 등)에서 사용되어 왔으며, 종이는 박판형상의 재료를 사용하는 LOM 및 KIRA 방식에서 사용되어 왔다. 광경화성 수지계열을 사용하는 RP 방식들은 epoxy resin 등 새로운 광경화성 수지들을 개발해가고 있다. RP 방식 중 powder나 박판을 재료로 하는 방식, 또는 nozzle을 통하여 print하거나 spray하는 방식 등은 재료를 여러가지로 다양하게 개발하여 사용할 수 있는 장점이 있다.

이러한 경우 ABS 수지, 폴리에스테르, 나일론, 또는 복합수지들이 계속해서 개발되고 있다. 특히 주

목할 사항은 세라믹과 금속 재료 쪽의 개발 노력이라고 할 수 있다. 세라믹은 깨어지기 쉬워 기존의 절삭 가공이 어려워면서도 가장 많이 쓰이는 재료 중의 하나이므로 세라믹 재료로 만든 RP 파트는 많은 주목을 받고 있다. LOM에 세라믹 paper를 사용하는 연구와 FDM에 세라믹 polymer를 사용하여 기능성 부품을 만드는 연구 등이 발표되었으며, DSPC(Direct Shell Production Casting)의 경우는 세라믹 분말을 사용하여 casting shell을 만들고 있다. 금속재료는 산업체에서 원하는 가장 궁극적인 재료라고 할 수 있는데 이에 대한 개발노력이 한창이며 앞으로도 더욱 활발할 것으로 예상된다. 특히 금형을 만드는데 있어서 rapid tooling을 이루기 위하여는 금속재료가 관건이 되는데 이를 위한 개발 노력들이 활발히 진전되고 있다.

### 3. RP의 용도

RP 기술을 이용하여 제작한 파트는 첫째로 design review나 presentation 목적으로 쓰이고 있다. 제품 설계 부서에서 design review를 하거나 또는 설계된 제품을 다른 부서나 하청업체에게 보여주기 위하여 RP 파트를 사용하는 경우는 외관만 만족하면 된다. 그럼에도 불구하고, 이와 같은 3차원 실제 모형을 design review에 잘 이용하는 경우 제품 개발 기간을 줄이는데 크게 기여할 수 있다. 예를 들어 설계 부서에서 설계한 제품의 양산 금형이 만들어지기 전까지 보통 여러 번의 설계 변경이 있게 되는데 이러한 설계 변경 작업이 완결되지 않고 양산 금형을 제작하였을 경우 이미 제작된 금형을 변경시키기 위해서는 많은 비용과 시간이 들어가게 된다. RP 기술로 만든 3차원 실제 모형은 설계 변경 작업기간을 단축함과 동시에 설계 변경 오류를 최소화해주는 역할을 한다. 또한 금형을 실제로 만드는 부서나 하청업체는 대부분 2차원 금형 설계 도면을 사용하는데, 숙련된 금형 기술자도 종종 오류를 범하는 것이 현실이다. RP로 만든 3차원 실제 모형은 이러한 경우에도 금형을 잘못 제작하는 오류를 최소화해준다.

둘째로 RP로 제작한 파트가 form, function, fit 등의 기능 검증 목적으로 사용이 된다. RP를 처음 외관만 만족하면 되는 목적에 사용했던 경우와 비교하면 많은 상황이 바뀌게 된다. 이제는 정확한 치수와

기계적 강도가 요구되기 때문에 예전에는 만들어진 RP 파트에 만족했던 사용자도 더 이상 만족하지 못하는 경우가 많이 생기게 된다. 그러나 다수의 RP 기술이 현재 0.2mm 정도의 오차 범위를 만족시킬 수 있는 것을 감안하면 제한적이기는 하지만 기능 검증 목적으로 충분히 사용될 수 있음을 보여준다. 또한 기능성 검증 목적으로는 파트의 기계적 강도가 크게 중요시되므로 재료에 따라서 용도가 많이 좌우된다고 할 수 있다. Nylon이나 ABS 수지 또는 epoxy 수지 등으로 만든 RP 파트는 이러한 기능 검증 목적에 훌륭히 쓰일 수 있으며, 왁스나 전통적인 광경화성 수지로 만든 파트는 기계적 강도가 약해서 이러한 목적에 제한적으로 밖에 사용할 수 없다고 보아야 할 것이다.

세째로는 RP로 제작한 파트를 금형 제작에 이용하는 경우인데 보통 rapid tooling이라고 일컫는다. 앞에서 언급한 설계 검증 목적이나 기능성 test보다도 훨씬 RP 기술을 깊이 제품 개발에 이용하는 경우라고 할 수 있다. Rapid tooling은 크게 나누어서 direct tooling과 indirect tooling의 두 가지로 구별할 수 있는데, direct tooling의 경우는 금형 자체를 RP 파트로 제작하는 경우이고, indirect tooling의 경우는 금형의 pattern 부분을 RP 파트로 만든 후 음각으로 이를 복제하는 2차 공정(secondary process)을 거쳐서 금형을 제작한다. 물론 이제까지의 rapid tooling은 대부분이 indirect tooling이었다고 할 수 있다. 최근에 들어서 기계적 강도가 아주 우수한 수지들이 개발되고 또한 금속 재료들이 성공적으로 RP 기술에 이용될 수 있게 됨에 따라 direct tooling을 통한 금형 제작이 시도되고 있다.

기존의 indirect tooling을 통한 금형 제작 방법에는 silicone, epoxy, metal spray, plaster, investment casting 등이 있다. 물론 RP 기술로 제작한 pattern 위에 parting line을 설정한 후 위에 언급된 재료들을 부어 반쪽씩 mold를 만들어 붙인 후 polyethylene이나 polyurethane과 같은 수지를 부어 파트를 만들어낸다. 가장 많이 쓰이는 silicone rubber molding과 같은 경우 만들어진 mold에 수작업으로 수지를 붓는 방법과 vacuum을 통해서 수지를 채우는 방법이 있다. 이러한 방법을 사용하면 보통 20개 정도의 시작품을 만들 수 있다. Investment casting의 경우는 시작품이 5개 이하로 필요할 때 사용하며, metal spray의 경우

는 얇게 파트면에 spray한 재료를 지지해주는 재료가 또 필요하다. 특히 최근에는 다양하고 신속한 metal spray 방법들이 소개되고 있다. 위에 언급한 방법으로 rapid tooling을 하는 경우 제작된 RP 파트를 coating 또는 polishing 등의 방법을 통해서 표면처리를 잘해야 하는 것은 물론이다.

RP 기술을 이용한 direct tooling은 상대적으로 최근에 시작이 되었는데 DTM社의 RapidTool 공정, 3D Systems의 ACES, 그리고 Soligen社의 DSPC 공정 등이 있다. DTM社의 RapidTool 공정은 기존의 RP기계(Sinterstation)에서 polymer를 입힌 금속 분말을 sintering시켜 green 파트를 만든 후, 아크릴 계통의 수지formula를 사용하여 건조한 후 노(furnace)에서 polymer를 녹여내고 금속 분말 사이의 간격을 구리로 메꾸어 직접 금형을 만들어 낸다. 3D Systems社의 ACES의 경우는 알루미늄이 다량 함유된 epoxy 계열 수지를 사용하여 직접 금형을 만들어 낸다. RapidTool 공정과 같은 경우는 500개 이상의 사출물을 제작할 때 추천되며 5,000개까지도 제작한 예가 보고되고 있다. 물론 이렇게 direct tooling을 하는 경우에도 RP로 제작된 금형 파트를 수작업으로 표면처리를 해주어야 한다. 이외에도 외국의 Sandia National Lab에서 고출력의 laser를 사용하여 금속재료를 직접 RP 파트를 제작하는 LENS(Laser Engineering Net Shaping) 방법이나, 독일의 Fraunhofer Institute for Production Technology에서 개발하고 있는 laser deposition welding 방법 등은 연구 단계에 있으나 direct tooling의 향후 전망을 밝게 해주는 방법들이라고 할 수 있다.

마지막으로 RP의 용도가 desktop manufacturing에 쓰일 수 있는 경우라고 할 수 있는데, 이는 우리가 현재 사용하는 레이저 프린터에서 문서를 프린트하는 것처럼 원하는 기능과 성능을 갖춘 삼차원 형상의 파트를 프린트해낼 수 있는 단계를 일컫는다. 아직은 RP 기술이 이러한 단계에 와 있지는 않지만 지난 10년 동안의 RP 기술의 발전 속도를 볼 때 여러 가지 재료를 섞어 사용하여 RP 파트를 color print할 수 있는 시점도 먼 미래의 얘기는 아닌 것 같다.

#### 4. RP기술의 한계성

현재의 RP 기술은 여러 가지로 한계성을 가지고

있고 따라서 현기술로 제작한 RP 파트도 그 용도에 있어서 많은 제약이 있다고 할 수 있겠다. 가장 많이 언급되고 또 실감되는 것은 RP로 제작한 파트의 정밀도와 재료의 특성 문제이다. RP로 제작한 파트의 정밀도에 영향을 미치는 주요 원인을 보면 다음과 같다.

- ① 재료 자체의 특성, 특히 재료가 녹거나 curing 될 때의 수축 현상이 정밀도에 영향을 미친다. 분말을 사용하는 경우는 입자의 크기나 모양 모두가 영향을 준다.
- ② 기계 자체의 positioning 시스템 또는 scanning 시스템의 위치 error 또는 레이저의 dynamic error가 존재한다.
- ③ 적층 공정에서 생기는 단층(stair-stepping) 효과에 의한 오류는 항상 존재한다.
- ④ STL format으로 근사할 때도 원래의 정확한 파트 형상과 차이가 발생한다.
- ⑤ 후경화 과정, support제거時, 또는 열의 영향으로 warpage나 curl 등이 발생한다.
- ⑥ 레이저 beam diameter의 크기 때문에 발생하는 오류도 있다.
- ⑦ Operating parameter(레이저 power, 작업대의 온도)나 operator의 경험도 통상 정밀도에 큰 영향을 미친다.

위와 같이 많은 오류 요인이 존재하기 때문에 실제로 RP 기술은 정밀도에 있어서 기존의 machining을 이용한 정밀 가공에 비교하면 10~100배 정도의 차이가 난다.

재료의 문제 또한 심각하다. 가장 많이 쓰이는 기존의 광경화성 수지의 경우 깨지기 쉽고 보관이 용이하지 않을 뿐만 아니라(온습도에 예민함) 가격 또한 고가이다. 기능성 부품을 제작하기 위해서는 다양한 재료가 필요한데 아직 사용 가능한 재료의 종류가 아주 적다. RP 기술에 따라서 재료를 다양하게 개발하여 사용할 수 있는 경우가 있고 또 그렇지 못하기도 하다. 예를 들어 광경화성 수지를 써야하는 RP 방식의 경우 광경화성 수지 외의 다른 수지나 금속 등을 사용할 수 없어 재료 선택의 폭이 좁다고 할 수 있다. 또한 대부분의 재료가 수축률이 너무 크거나 불균일한 수축률을 가지고 있어서 이로 인한 정밀도의 문제를 안고 있다.

파트 제작 속도 또한 느리다고 할 수 있다. 대부분

의 RP 공정은 각 층을 굳혀 나아갈 때 화학반응이나 열 반응을 필요로 하기 때문에 다수의 층으로 된 파트를 제작하는 데는 많은 시간을 요한다. 파트의 크기나 RP 방식에 따라 다르지만 보통 10시간 정도는 쉽게 소요된다. 상용화 된 RP 방식들의 경우 제작 속도가 계속해서 향상되고는 있으나 아직 느리다고 볼 수 있다. 제작할 수 있는 파트의 크기도 제한이 되어 있다. 파트 크기는 물론 RP 기계의 vat이나 part bed의 크기에 좌우된다. 파트 전체를 한꺼번에 만들지 못하는 경우 파트를 분할해서 제작하여 접착제를 이용하여 붙일 수는 있으나 접착 및 정밀도 등의 문제로 쉬운 방법은 아니다. 비행기 내부의 외관 부품을 만들어내는 한 회사의 경우 그들이 RP로 제작한 모든 파트가 적어도 한 dimension이 46 cm 이상이었다는 보고가 있는데 이러한 경우 build envelope은 중요한 요소가 된다고 할 수 있다. SLA 모델 중 가장 큰 SLA 500모델의 build volume이 500(500(500 mm 정도인 것을 생각하면 대부분의 RP기계가 build volume의 문제를 안고 있는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

현재의 RP 기술은 위에서 설명한 것처럼 많은 한계성을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 최근의 RP 기술의 발전은 RP 기술이 desktop manufacturing으

로 발전할 수 있다는 가능성을 보여준다. RP 기술을 도입하여 제품 개발 주기를 단축하고 concurrent engineering 체계를 한꺼번에 이루겠다는 생각은 1970년대 초에 산업용 로봇을 구입하면 공장 자동화를 할 수 있는 것으로 잘못 생각했던 것에 비유된다고 할 수 있다. 따라서 RP 기술의 사용에 있어서도 기존의 이미 검증된 생산 기술과 소프트웨어 기술을 잘 조합하여 사용하는 것이 제품 개발 주기를 단축시키는데 효과적이라고 할 수 있겠다. 예를 들어 현재의 RP를 이용한 rapid tooling 방법은 그 기계적 특성 및 정밀도 등에 한계가 있어서 현 기술 수준으로는 시양산 금형의 제작에도 부적합하다고 할 수 있다. 그러나 소량의 시작품을 제작하는 목적으로는 성공적으로 사용할 수 있다. 그러므로 machining방법만 사용한다든지 또는 RP 방법으로만 해결하겠다는 식의 사고 보다는 두 방법을 상호 보완되게 사용할 수 있는 길을 찾는 것이 필요하다. 또한 3D CAD 환경은 RP 기술의 실현에 있어서 불가결하기 때문에, 제품설계, 해석, 금형제작에 이르기까지 3D CAD의 확산이 되어야 한다고 생각한다. RP 기술은 그 자체가 목적이 아니고 3차원화를 도와서 효율적인 concurrent engineering 체계를 이루는 하나의 도구에 불과하다고 볼 수 있다. 그렇지만 실제 파트를 3차원 CAD 파일로부터 곧바로 제작할 수 있다는 장점 때문에 concurrent engineering의 실현에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.