

◆특집◆ 쾌속조형공정 및 쾌속생산

쾌속조형공정의 원리 및 동향

안동규*, 양동열**

Principle of Rapid Prototyping and Its Trends

Dong-Gyu Ahn* and Dong-Yol Yang**

Key Words : Principle of rapid prototyping (쾌속조형원리), International trends of rapid prototyping (쾌속조형의 국제적 동향)

1. 서론

오늘날 수요자의 다양한 기호에 따라 제품 모델이 다양화되고, 국내의 시장에서 경쟁이 치열해지면서 제품의 개발기간과 시작기간 및 비용의 단축이 절실하게 요구되고 있어 모든 산업분야에서 제품의 시장도입시기, 즉 제품의 납기를 앞당기려는 여러 가지 시도를 경주하고 있다. 특히, 세계적으로 경쟁이 치열한 자동차, 가전, 전자산업 및 건축 등의 분야에서는 제품 모델 다양화 및 빈번한 제품 설계 변경이 필수적으로 요구된다. 이러한 시장의 요구에 효과적으로 대처하고, 제품의 경쟁력을 제고하기 위해서는 제품의 설계에서부터 시작품 생산에 이르는 제품 개발에 소요되는 비용과 시간을 절감하여 신속하고 저렴하게 제품을 시장에 출하하는 것이 필수적이라 할 수 있다.

기존의 제품 개발 방식에서는 제품의 설계에서부터 시장에 제품을 출하하기까지 대부분의 개발과정이 순차적으로 진행되어 각 단계에서 소요되는 시간이 누적되어 총 제품 개발 기간이 되므로 자연히 제품 개발 기간이 길어지게 된다. 또한,

제품 개발 초기 단계에서 제품에 대한 정보 부족으로 인하여 오류가 발생하는 경우에 오류의 원인이 발생한 단계로 되돌아가서 오류를 수정하고 이후의 작업을 반복 수행해야 하는 시행착오가 빈번히 발생하여 제품 개발에 많은 시간, 인력 및 경비를 소모하게 된다.

따라서, 시작품 설계 및 개발의 동시공학 추구가 가능하고, 소요 비용 및 시간을 획기적으로 단축함으로써 제품의 다양성, 납기 등과 같은 시장의 요구를 만족시키고, 제품 적응력을 제고할 수 있는 시작품 제작기법으로 쾌속조형기술 (rapid prototyping technology)이 도입되었다.¹⁻⁶

1987년 미국의 3D Systems사에서 처음으로 개발된 쾌속조형공정은 제품의 CAD 데이터로부터 플라스틱, 종이, 광경화성 수지 및 금속 등의 재료를 이용하여 제품을 직접 만들 수 있는 새로운 개념의 공정이다. 즉, 쾌속조형기술은 3 차원의 형상을 2 차원의 얇은 판의 집합으로 변환하여 순차적으로 한 층씩 적층해 나감으로써 복잡한 3 차원 형상을 빠른 시간에 조형 가능한 기술이다.

쾌속조형기술은 개발 초기에는 주로 자동차와 항공산업에서 주로 응용되었으나, 현재는 전자, 가전 산업, 중공업, 건축 및 의료산업 등 거의 모든 산업에서 설계된 제품의 디자인 검증 (design verification)과 2 차공정을 위한 원형제작에 응용되어 제품개발에 소요되는 시간과 비용을 절감하는 필수적인 공정으로써 사용되고 있다.

* 조선대학교 기계공학과

Tel. 062-230-7043, Fax. 062-230-7234

Email smart@mail.chosun.ac.kr

쾌속조형/쾌속틀링/쾌속생산, CAD/CAM/CAE 및 레이저 응용 가공에 관심을 두고 연구활동을 수행하고 있음.

** 한국과학기술원 기계공학과

본 특집에서는 주요 패속조형공정의 원리 및 패속조형공정 관련 국내외 시장동향에 대하여 기술하고자 한다.

2. 패속 조형 공정의 원리

일반적으로 패속 조형 공정의 기본 원리는 Fig. 1 과 같이 솔리드 모델링과 .stl 파일로의 변환을 수행하는 모델링 단계와 최적조형경로를 생성하는 최적조형경로생성단계 및 이들 데이터들을 이용하여 3 차원 형상을 패속 제작하는 제품제작단계의 3 단계로 구성된다.

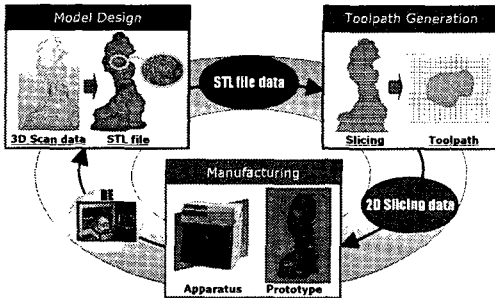


Fig. 1 Principle of rapid prototyping process

모델링 단계에서는 CAD 를 이용하여 제작하고자 하는 제품을 3 차원 솔리드 모델링 한 후, 이 CAD 데이터의 표면만을 삼각형 격자로 나타내는 ASCII 또는 Binary 파일 형태의 .stl 파일로 변화시킨다. 이때 생성되는 삼각형 격자는 3 개의 꼭지점 좌표와 방향 벡터를 가진다.

최적 조형경로 생성단계 모델링 단계에서 생성된 .stl 파일을 이용하여 패속조형 장치가 최적의 조건에서 조형할 수 있도록 모델링 데이터를 이용하여 공정 계획을 수립하는 단계이다. 이 단계에서는 모델링 데이터의 조형 방향 (orientation) 결정, 필요한 경우에 지지대 위치 (supports) 와 갯수 결정, 슬라이싱 (slicing) 방법 결정 및 이동 경로 결정(path planning)을 수행한다.

모델링 생성 방향은 조형 높이, 조형 속도, 지지대 (supports) 생성, 표면 조도 및 수축 공차에 현저한 영향을 미친다. 지지대 생성은 제품의 조형시 안정성을 고려하여 지지대의 위치와 갯수를 결정하여야 한다. 슬라이싱에서는 모델링 데이터 조형 방향과 지지대 생성이 완료된 .stl 파일 데이

터를 한층의 조형 두께 만큼 수직 방향으로 나눈다. 이 때 형성된 각 층의 데이터를 이용하여 레이지, 노즐 등 투사/절단 장비, XYZ 이동 테이블 및 적층/접착 장치의 이동 경로를 결정한다.

3 차원 제품 제작단계는 최적 조형경로 생성단계에서 생성된 데이터를 패속조형장치에 입력하여 실제 제품을 조형하는 단계이다. 각 공정의 특징에 따라 조형 방법에 조금씩 차이가 있으나, 슬라이싱 된 한 층에 대하여 형상을 생성하고 동시에 이전 층 (previous layer)에 접착하는 과정을 반복하여 제품을 제작한다.

3. 패속 조형 공정

3.1 패속 조형 공정의 일반적 분류

1987 년 Stereolithography (SL) 공정이 미국 3D System 사에 의하여 산업시장에 나타난 후, 30 여 종 이상 패속조형공정들이 개발되었으며, 현재에서 새로운 공정의 개발을 위한 많은 연구들이 수행되고 있다. 패속조형공정은 Fig. 2 와 같이 층의 두께에 따라 박판 적층식 패속조형공정 (thin layered RP technology)과 후판 적층식 패속조형공정 (thick layered RP technology) 로 구분될 수 있다.^{7,8}

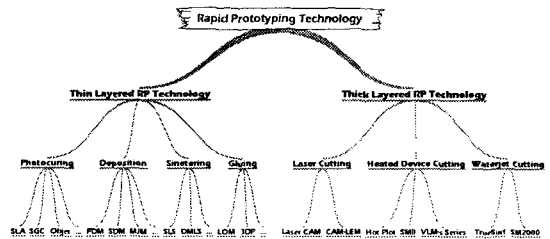


Fig. 2 Classification of rapid prototyping technologies

일반적인 패속조형공정은 0.5-0.6 mm 이하의 얇은 층 두께와 수직력을 갖은 박판 적층식 패속조형공정을 의미한다. 이들 박판 적층식 패속조형공정은 접착 방법에 따라 광경화방식, 용착방식, 소결방식 및 접착제 방식으로 나누어진다. 박판 적층식 패속조형방식은 층 두께가 매우 얇기 때문에 정밀형상을 얻을 수 있으나, 조형시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 박판 적층식 패속조형방식은 재료를 비금속, 금속 모듈을 사용할 수 있어 다양한 재질을 제품을 제작할 수 있다. SLA, SGC,

Objet 공정 등은 광경화수지를 재료로 사용하고 있으며, FDM, MJM 공정등은 ABS/WAX 등 고분자 재료를 사용하고 있다. 또한, LOM, Kira 공정등은 종이를 재료로 사용하며, SLS/DMLS/DMT 공정등은 금속/비금속 분말을 재료로 사용한다. 최근에는 직접적으로 실물 시작품 (true prototype) 을 제작할 수 있는 직접식 패속조형방법에 대하여 많은 연구가 수행되고 있다.⁹ 또한, 제품을 저렴한 비용으로 신속히 제작할 수 있는 Objet, Z-Corp, Thermojet 과 같은 3 차원 프린터에 대한 연구가 두드러지고 있다.⁶

후판 적층식 패속조형공정은 두께 1 mm 이상의 재료를 측면 경사각을 가지도록 절단하여, 연속적으로 적층함으로써 3 차원 형상을 제작한다. 후판 적층식 패속조형공정은 절단 방식에 따라 레이저절단 방식(LaserCADM, CAM-LAM), 열선 절단 방식(ShapeMakerII, VLM-s 등) 및 워터젯 절단 방식 (TrueSurf, ShapeMaker 2000)으로 나눌 수 있다. 이 방법은 층 두께가 두꺼워 조형시간이 매우 단축될 수 있는 장점이 있으나, 경사가 매우 급격한 부분에서는 형상을 조형하기 어려운 단점이 있다. 후판 적층식 패속조형공정은 1 m³ 이상의 크기를 가지는 대형 시작품을 제작할 경우 전체 조형 시간과 제작 비용을 현저히 감소 시킬수 있어, 국내외 연구기관에서 활발히 연구를 진행하고 있다.

3.2 광경화수지 경화를 이용하는 공정

3.2.1 광조형법 (SL : Stereolithography)¹⁰

광조형법 (SL) 은 액체상태의 광경화성 수지 (photo sensitive liquid polymer) 에 레이저광을 선택적으로 조사하여 한 층씩 적층해 나가는 방법이다. 광조형법의 제작원리는 Fig. 3 과 같다. 평판 형태의 받침대가 들어 있는 용기 안에 광경화성 수지를 채운다. 이때 수지의 표면과 받침대의 표면은 서로 일치하게 된다. 공정이 시작되면, 받침대가 수지 표면에서 일정한 간격만큼 수지 안으로 잠긴다. 그결과 받침대 위에 얇은 한 층의 광경화성 수지가 생성 된다. 그후 그 층위로 레이저 광선을 제작 하고자 하는 제품의 단면 형상대로 조사하면 레이저 광선이 조사된 부분은 경화되면서 받침대에 붙게 된다. 레이저 광선이 조사되지 않은 나머지 부분은 액체상태로 잔존하고 있다. 한 층에 대한 레이저 광선의 조사가 끝나면, 다시 받침대가 일정한 간격만큼 내려가서 앞서 경화된 층위로 같

은 두께의 액체 수지가 도포된 후, 이전과 같이 레이저 광선을 해당하는 단면의 형상대로 조사하면 레이저 광선이 조사된 부분만 경화되면서 아래 층과 접촉 된다. 이때 사용되는 단면 정보는 제품의 .stl 파일로부터 얻어진다. 이 과정을 반복하여 원하는 제품을 제작할 수 있다.

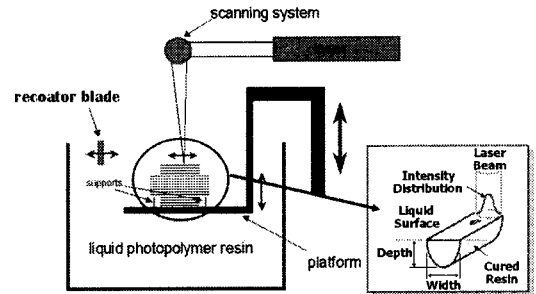


Fig. 3 Principle of stereolithography process

적층이 끝난 제품은 아직 완전히 경화 (curing) 가 끝난 상태가 아니기 때문에 가열로에 넣어 일정시간 동안 경화를 시키게 되며 이 과정 중에 광경화 수지의 특성상 휨이나 비틀림이 발생하여 제품의 치수 정밀도가 떨어질 수 있다. 광조형법으로 제작된 제품은 정밀도가 우수하고, 얇고 미세한 형상도 잘 표현할 수 있는 특징이 있다. 1999 년 개발된 SLA-7000 에서는 층 두께를 0.025 mm 까지 제작할 수 있어서 후처리 공정에 소요되는 노력이 절감될 수 있다. 또한 SLA-7000 의 최대 부품 제작 크기는 500×500×600 mm 이다. Fig. 4 는 SLA 공정 적용예이다.



Cylinder block Manifold

Fig. 4 Applications of SL process

3.2.2 Solid Ground Curing (SGC) 공정

SGC 공정은 Fig. 5 와 같이 제작하고자 하는 형상이 인쇄된 포토마스크를 만들어 광경화성 수지 위로 이송 시킨다. 그후, UV 광선을 포토마스크 위로 조사하면 광선이 마스크를 통과하여 마스

크 아래의 광경화성 수지를 일시에 단면의 형상대로 경화 시키게 된다. 레이저 광선이 조사되지 않은 수지는 흡입하여 제거하고 그 부분은 왁스를 채워 경화 시킨다. 경화가 되면 밀링공정을 이용하여 원하는 두께를 가지도록 윗면을 가공한다. 밀링 가공이 끝나면 다시 광경화성 수지를 깔고, 다음 단면의 형상대로 포토마스크를 만든 다음 같은 공정을 반복함으로써 3 차원의 형상을 만들어 낸다. SGC 공정에서는 한번에 여러 가지 형상을 만들 수 있으며, 적층 방향으로 비교적 양호한 정밀도를 가지는 장점이 있다. 반면 한번에 여러 가지 형상의 마스크를 제작하여야 하는 단점이 있다.

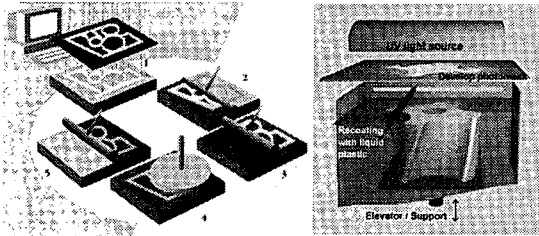


Fig. 5 Principle of SGC process

3.3 플라스틱 용착을 이용한 공정 (용착조형 공정 : FDM)¹¹

1991 년 미국의 Stratasys 사에 의해서 상용화된 FDM(Fused Deposition Modeling) 은 용착조형공정이라 불리며 공정 원리는 다음과 같다. Fig. 6 에서와 같이 선 (filament) 형태의 열경화성 수지 재료가 가열된 노즐을 통과하는 동안 용융되며, 이때 노즐이 제품의 CAD 모델의 단면 데이터를 따라 이동하면서 용융재료를 압출하여 용착시키는 방식으로 입체 형상을 제작하는 공정이다. FDM 공정에서는 레이저를 이용하지 않기 때문에 기계장치가 간단하고, 사무실 환경에서도 사용할 수 있는 이점이 있다. 최근에는 치수가 큰 제품의 제작을 위해 대형 장비가 개발되어 시판되고 있으며, 공정 속도를 개선하기 위해 자력을 이용하여 노즐을 이송함으로써 노즐의 이송 속도를 크게 증가시켰다.

2000 년에 개발된 FDM Maxum 의 경우, FDM 공정으로 제작된 ABS 부품의 지지대를 손쉽게 제거할 수 있게 되었다. 'WaterWorks'로 명명된 이 지지대 (support) 제거 방법을 이용하면 FDM 장비에서 제작된 ABS 부품을 수용성 용액에 담그기만 하면

지지대가 화학적으로 분해되며, 또한 지지대가 닿았던 부분도 깨끗하고 매끈하게 유지되는 장점이 있다. FDM Maxum 의 노즐의 최대 직경은 0.635mm 이고 층 두께는 0.25 mm 이며, 최대 부품 제작 크기는 600×500×600 mm 이다. Fig. 7 은 FDM 공정의 적용예이다.

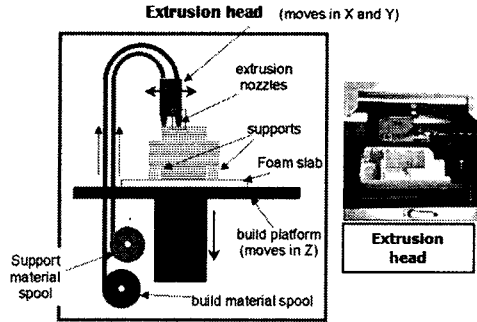


Fig. 6 Principle of FDM process

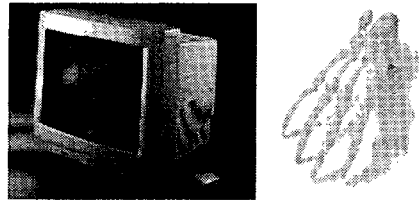


Fig. 7 Applications of FDM process

3.4 분말 재료 소결을 이용하는 공정

3.4.1 선택적 레이저 소결 공정 (SLS : Selective Laser Sintering)¹⁰

Fig. 8 과 같이 1992 년 미국의 DTM 사에서 개발한 SLS 공정은 선택적 레이저 소결 공정으로 균일한 크기의 고체분말을 한층씩 균일하게 도포한 후, 제품 단면의 형상대로 레이저 광선을 조사하여 고체분말을 용융 결합시켜 3 차원 형상을 제작하는 공정이다. 광조형법의 경우와 같이 레이저 광선이 조사되지 않은 부분의 분말은 재사용이 가능하다. 사용하는 분말의 크기가 표면의 조도를 결정하게 되며, 고분자/금속 재료 분말을 사용하기 때문에 기능성 부품을 직접 제작 할 수 있다는 장점이 있다. 다양한 종류의 재료가 개발되어 있으며, 고분자가 표면에 코팅된 금속분말을 사용하여 시작금형을 직접 제작할 수도 있다. 이 경우에는 소결 (sintering) 과 용침 (infiltration) 의 다소 번거

로운 후처리 공정을 거치게 된다.

1998 년 개발된 Sinterstation 2500Plus 의 경우, 최대 부품 제작 크기는 375×330×450 mm 이다. SLS 공정에서는 소결재로 코팅된 재료를 사용하기 때문에 금속분말이나 모래 등도 재료로 사용할 수 있다. 금속분말이나 모래등으로 성형된 파트는 수지나 왁스 등의 재료보다 강도면에서 좋은 특성을 가지고 있기 때문에 툴링으로 응용이 가능하다.

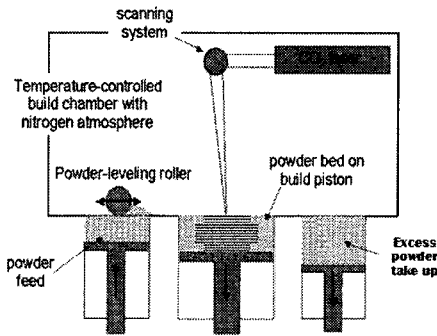
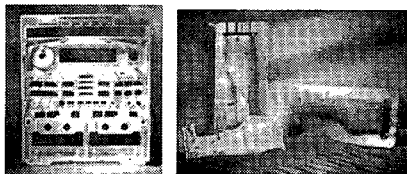


Fig. 8 Principle of SLS process



Audio : front panel Mold (Rapid steel 2.0)

Fig. 9 Applications of SLS process

또한, 소결된 조형물의 주위에 소결되지 않는 분말이 충전된 상태이어서 광 조형과 같이 서포트가 필요하지 않다. 조형 후 미소결 분말이 용이하게 제거되어 서포트제거 작업이 없다. 그리고 의장부품이 아닌 기능부품으로써 시험할 수 있는 시제품을 만들 수 있다. SLS 공정은 사용되는 재료에 따라서 다양한 분야에 적용되고 있다. DTM Nylon (polyamides) 은 엔지니어링 플라스틱으로 만들어져 있으며, RapidSteel 2.0 Metal 은 Fig. 9 와 같은 내구성 금속재료의 사출금형 인서트를 제작하는데 사용된다.

3.4.2 직접식 금속 레이저 소결 공정 (DMLS : Direct Metal Laser Sintering)¹²

직접식 금속 레이저 소결 공정은 독일 EOS

GmbH 사에서 개발된 공정이다. 이 공정은 Fig. 10 와 같이 저용융점 금속 분말과 고용점 금속 분말을 혼합하여 전체 분말 풀을 생성한 후, 레이저로 한층씩 소결시킴으로써 제작된 제품의 밀도를 95-98 % 까지 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러므로, DMLS 공정에서는 SLS 공정에서 요구되는 용침공정이 요구되지 않는다. EOS 공정의 가장 큰 장점은 Fig. 11 과 같은 금속 시작품을 후공정 없이 CAD 데이터로부터 직접적으로 제작할 수 있다는 것이다.

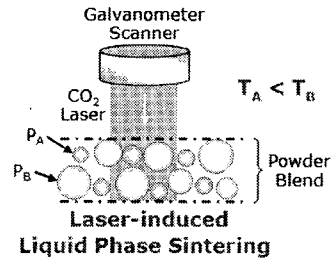
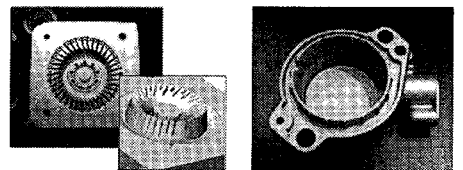


Fig. 10 Principle of DMLS process

EOS 공정에서 사용되는 분말은 철 또는 동기반의 재료이며, 제품 제작후 H_R 40 까지의 경도를 얻을 수 있다. EOS 공정의 적층 간격은 20 μm 이고 표면조도는 슛피닝 후 3 μm 까지 얻을 수 있으며 제품 정밀도는 최대 5.0 μm ±0.07% 정도까지 얻을 수 있다.



Mold inserts Camshaft sensor cover

Fig. 11 Applications of DMLS process

3.5.3 차원 프린터용 공정

3.5.1 다중 분사 노즐과 UV 램프 경화를 이용한 3 차원 프린팅 공정 (Objet)¹³

Objet 공정은 2000 년 이스라엘의 Objet Geometries 사에 의해 개발된 공정이다. 이 공정에서는 Fig. 12 와 같이 1,536 개의 미세한 잉크젯 노즐이 아래쪽에 장착된 프린터 헤드에서 CAD 상의 한층 데이터와 일치하도록 선택적으로 광경화

성 수지 또는 지지대 재료가 도포 한 후, 프린터 헤드의 양쪽 끝에 부착되어 있는 2 개의 UV 램프 중에서 프린터 헤드 이송방향의 반대쪽에 있는 UV 램프에서 UV 자외선이 조사되어 도포된 재료를 경화 시키게 된다. 프린터 헤드가 완전히 한 쪽 끝으로 이송되면 한 층이 완성되며, 이를 반복 하여 원하는 부품을 제작하게 된다.

Objet 공정은 2000 년에 개발된 Quadra 와 2003 년에 개발된 EDEN 330 공정이 상용화 되었다. EDEN330 의 최대 부품 제작 크기는 340× 330× 200 mm 이며 층두께가 16 μm, XY 평면 해상도가 600dpi 인 층의 도포가 가능하여, 제작된 부품의 표면 거칠기가 매우 우수하다. 또한, 한가지 주목할 만한 것은 이 공정의 지지대 생성 방식이다. 부품을 지지하기 위해 왁스와 유사한 재료를 도포하는데 이 재료는 다른 쾌속조형공정의 경우와는 달리 부품에 붙거나, 파괴되지 않을 뿐만 아니라, 지지대가 물에 녹기 때문에 제거하기도 쉽고 지지대를 제거한 표면도 비교적 깨끗하다. 그리고 광경화성 수지를 사용하는 다른 공정들과는 달리 경화된 부품의 표면에 광경화성 수지 찌꺼기가 남지 않는다. Fig. 13 은 Objet 공정의 적용예이다.

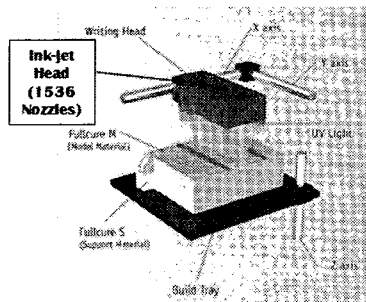


Fig. 12 Principle of objet process

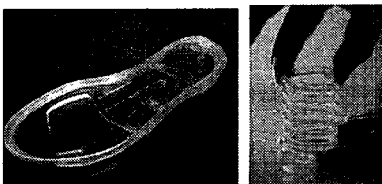


Fig. 13 Applications of EDEN 330

미국 MIT 공대에서 개발된 이 공정은 Fig. 14 에서 보여진 바와 같이 분말을 한 층 도포한 후 그 위에 점도가 낮은 액상의 접착제(binder)를 잉크젯 방식으로 제품의 CAD 모델의 단면형상을 따라 분사하여 입체 형상을 만든다. 경우에 따라서는 접착제가 분사되어 결합된 형상은 후공정으로 소결공정을 거치게 된다.

ExtrudeHone사와 Z-Corp.사가 3DP 공정을 구현한 쾌속조형기계를 판매하고 있다. 1998 년 ExtrudeHone사가 개발한 ProMetal 공정은 도포된 스테인레스강 또는 공구강 분말 위에 중합 접착제를 도포하여 그린파트 (green part) 를 만든 후 소결하고 구리합금을 용침시켜 부품을 제작한다.

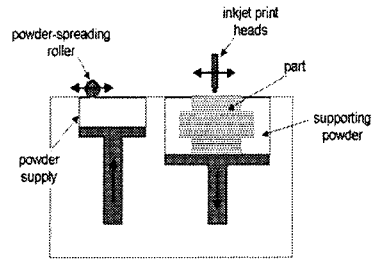


Fig. 14 Principle of 3DP process

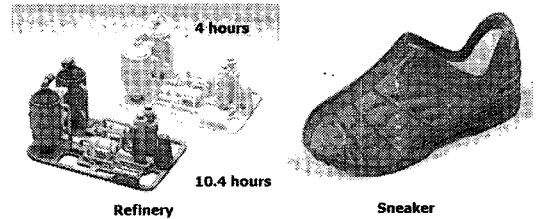


Fig. 15 Applications of 3DP process

1996 년 Z Corp.사가 Z400 을 개발하였으며 2001 년에는 Z406 을 개발하였다. Z406 은 석고나 전분 분말에 수용성 용액을 분사하여 입체형상을 제작한다. 분말을 사용하는 공정이므로 지지대가 필요 없으며 빠른 조형속도를 가지며, 장비 가격도 저렴하여 그 활용도가 부각되고 있다. 제작 가능한 제품의 최대크기는 203× 254× 203 mm 이고, 적층 두께는 0.076 - 0.254 mm 까지 조절 가능하다.

Fig. 15 과 같이 3DP 공정은 색상을 가진 형상에 대한 조형이 가능하기 때문에 수치해석의 시각화 모델이나 바이오 모델에 대한 조형이 가능하다.

3.5.2 3 차원 프린팅 공정 (3DP : Three-Dimensional Printing)¹⁴

3.5.3 다중 제트 분사 공정 (MJM : Multi-Jet Modeling)¹⁰

본 공정은 용착 조형 공정의 일종으로 용착 조형 공정에서는 1 개의 노즐을 사용하여 조형을 수행하나, 다중 제트 분사 공정에서는 수십에서 수백개의 노즐을 사용하여 선택적으로 재료를 분사한 후 용착 시키는 방식을 사용한다. 그러므로, 폭 방향 이동의 경우 수 회 미만의 이동으로 제품을 조형할 수 있어 기존 용착 조형 공정에 비하여 조형 속도가 매우 빠르다. 다중 제트 분사 공정의 대표적인 장치는 Fig. 16 과 같이 1999 년 미국의 3D Systems 사에서 개발한 Thermojet 을 들 수 있다. 이 장치의 경우 352 개의 제트를 분사하여 한 층에 해당되는 폭을 한번에 조형함으로써 한번의 노즐 세트 이동으로 한 층을 조형할 수 있다. 시작품 제작에 사용되는 소재는 열가소성수지이며 황토색의 자연색상과 검정, 회색의 세가지 색상의 재료가 쓰인다. 장비 가격도 기존의 중대형 장비에 비하여 매우 저렴하고, 사용이 편리하며 사무실 환경에서 사용할 수 있을 만큼의 정숙성과 빠른 시간에 시제품을 만들 수 있는 특징을 갖고 있다. Thermojet 의 층 두께는 50 μm 이고, 최대 부품 제작 크기는 250×190×200 mm 이다. Fig. 17 은 Thermojet 공정 적용예이다.

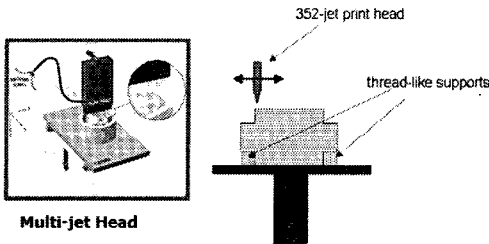


Fig. 16 Principle of MJM process

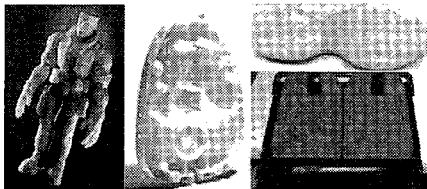


Fig. 17 Applications of MJM process

3.5.4 단속형 가변 적층 쾌속 조형 공정 (VLM-st)^{15,16}

VLM-st 공정은 Fig. 18 과 같이 단속적으로 공급되는 여러 가지 두께를 가진 판재 형태의 재료를 실시간으로 동시 4 축 제어되는 4 자유도 열선 절단기를 사용하여 CAD 형상과 일치하도록 가변 폭, 가변 경사 및 가변 길이로 절단하여 단위형상층 (unit shape layer : USL) 을 생성한 후 파일럿 구멍 (pilot hole) 과 적층 보조 장치 (building board) 를 사용하여 반자동으로 적층함으로써 임의 3 차원 형상의 제품을 쾌속 조형 한다.

VLM-st 공정의 적층 두께는 4 mm 내외이며, 재료는 판재형 발포 폴리스티렌 폼을 사용한다. 그러므로, 조형시간이 매우 짧고 운영비가 매우 저렴하며 후처리가 매우 용이하다. Fig. 19 와 같이 VLM-st 공정은 Z 축 방향으로 적층한계가 존재하지 않기 때문에 다른 공정에 비해 대형 형상을 제작하는데 유리하다. 또한, VLM 시제품의 표면 처리 과정을 개발 및 적용함으로써 실제 제품에 가까운 표면 조도를 얻을 수 있다.

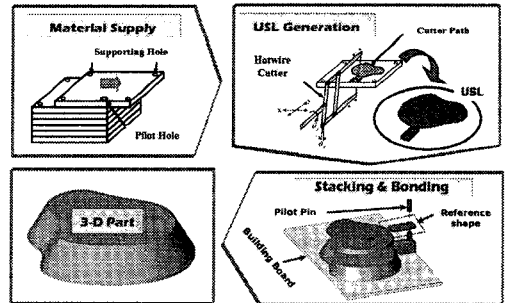


Fig. 18 Principle of VLM-st process

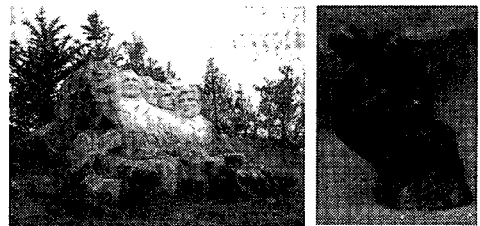


Fig. 19 Applications of VLM-st process

4. 쾌속 조형 기술 및 시장 동향

쾌속 조형 기술은 Fig. 20 와 같이 엔지니어링을 위한 가시화용, 기능성 모델 제작, 시제품 제작을 위한 패턴 제작용, 구조를 위한 패턴 등 다양한 분야에 활용되고 있다.

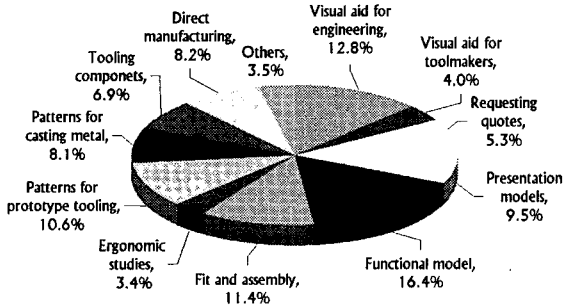


Fig. 20 Application area of RP technologies

Table 1 Variation of application area for RP technologies

Year	Motor vehicles (%)	Academic Institutions (%)	Consumer products and electronics (%)	Medical (%)
2002	23.8	6.7	25.5	10.1
2003	26.6	8.6	24.5	10.4
2004	19.4	10.4	27.7	13.0

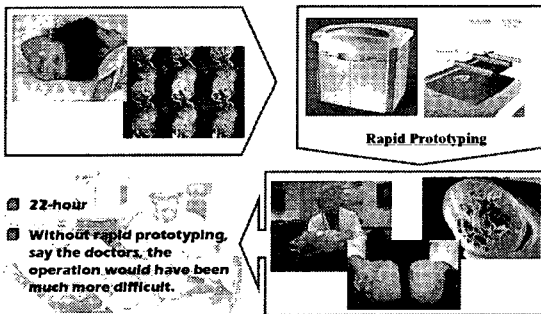


Fig. 21 Applications of Objet process for twin's surgery

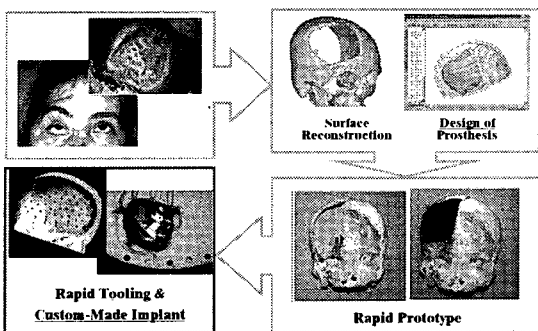


Fig. 22 Applications of Ink-jet and FDM process to manufacture the custom-made implants

최근 3 년간의 쾌속조형공정의 주요 적용 분야의 변화는 Table 1 과 같다. 자동차 산업과 소비자/전자산업 분야에서는 쾌속조형공정의 활용도 감소하거나 변화가 없는 정도이다. 그러나, 의학분야와 교육/연구분야에서는 쾌속조형공정의 활용도가 조금씩 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히, 의학분야의 경우 Fig. 21, 22 와 같이 삼 쌍둥이 수술, 안면기형 형상 수정, 수술계획 수립 및 인체적응형 임플란트 제작등 의공학분야 전반에 폭넓은 활용이 이루어지기 시작하였다.¹⁷⁻¹⁹

1988 년 미국의 3 D Systems 사에 의해 처음으로 상용화된 SLA 장비 이후에 2004 년말 까지 전세계에 14,144 대의 쾌속조형장비가 설치되었고, 이 중에서 거의 78%인 11,032 대가 미국의 쾌속조형장비 제조업체에 의해서 전세계에 판매 되었고, 약 10.3%인 1,457 대가 일본의 쾌속조형 장비 제조 업체에 의해서 판매 되었다. 현재 쾌속조형장비들의 가격은 점점 더 저렴해지고 조형속도는 더욱더 빨라지고 있다. 또한, 개념/프리젠테이션 모델 개발에 관련된 시장이 급격하게 확대되고 있다.

Table 2 Overall market size of rapid prototyping

Year	2000	2001	2002	2003	2004
Market (million)	\$1,137	\$923.9	\$798.2	\$851.9	\$1,087

쾌속조형공정 및 응용기술관련 전세계시장규모는 2000 년대 초반에 약 10 억불을 돌파 하였다. 하지만, Table 2 와 같이 전세계적인 경기침체의 여파로 2002 년도에는 2001 년도 대비 13.6%가 감소하였으나 반등현상으로 2003 년도에는 2002 년도 6.7% 증가하여 8 억 5 천 1 백만불이 되었으며, 2004 년도에는 27.6 % 성장한 10 억 9 천만불이 되었다. 이와 함께, RP 관련 Service Bureaus 들도 2003 년도 대비 16.3 %의 매출이 증가하였다. RP 장치 판매는 2003 년도 판매량 1,871 대에서 2004 년도에는 판매량이 2,936 대로 1,065 대가 증가하여 점점 시장이 증가함을 알 수 있다. 국내 기업으로는 유일하게 (주) 메닉스 엔지니어링이 2004 년에 2 대의 VLM-300 장비를 판매한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 장치 가격이 저렴하고 사용법이 간편한 3D Printer (Dimension, Objet, Z40x series 등)의

보급이 급증하였기 때문이다. 이러한 3D Printer 시장의 성장 추세는 향후에도 지속적으로 계속될 것으로 사료되며, 향후 각각의 RP 장비 제조사들은 고속저가의 3D Printer 개발에 더욱 박차를 가할 것으로 사료된다.

최근 패속조형공정기술의 두드러진 특징은 Fig. 23 과 같이 단순 설계 검증용 가시화 모델 제작과 조립성 테스트를 위한 시작품 제작 등에 그치지 않고, 점차 직접 생산에까지 적용할 수 있는 패속 생산에 대한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다는 것이다. 이와 병행해서 기존의 개념 모델 제작용 고속저가 3D Printer 시장도 꾸준히 확대 될 것으로 전망된다. 또한, 패속 조형 공정을 유연 생산 방식의 구성요소로 사용하는 혼합 생산 시스템 (hybrid manufacturing system) 개발과 이종 재료를 가지는 제품 생산을 위한 패속 조형 공정 개발등도 주요 개발 방향이 될 것으로 사료된다.

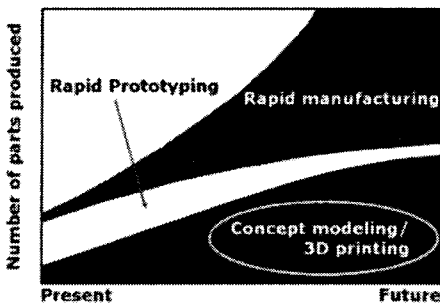


Fig. 23 Future of RP industry

패속조형관련 국내 연구동향으로는 1992 년 한국과학기술원과 한국금형기술주식회사의 공동연구로 “레이저 stereolithography 공정을 이용한 금형제작의 CAD/CAM 기술개발에 관한 연구” 를 효시로, 1996 년부터 패속시작연구회가 결성되어 패속조형공정, 패속틀링공정 및 패속조형관련 CAD/CAM 기술 개발에 대하여 학술단위 연구가 시작되었다.

1998 년부터 2003 년까지는 국가 중점 연구개발사업으로 “주문적응형 패속 제품개발 시스템 사업단”²⁰ 이 운영되어 Fig. 24 와 같은 지능형설계시스템, 패속 시작 시스템 개발, 컴퓨터 원용 역엔지니어링/측정/평가 기술개발 및 이들 기술들을 인터넷 환경에서 관리하는 주문적응형 패속제품개발의

시스템 통합 기술들이 연구되었다. 특히, 패속 시작 시스템 개발에서는 패속조형장치 개발, 고속가공시스템 개발 및 패속조형품을 이용한 2 차공정 개발등 패속조형관련 원천기술개발에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 주문적응형 패속제품개발 시스템 사업단 연구개발결과로 KAIST 의 VLM-ST 공정과 (주)인텍 플러스의 3 차원 측정기가 상용화된 바 있다.

2003 년도부터 현재까지 한국기계연구원 주관으로 3 차원 실물형상시스템 개발 사업이 진행되고 있으며, 오피스용/산업용 패속조형시스템, 3 차원 측정기술 및 이에 관련된 기술들이 개발되고 있다.

또한, 1998 년에는 서울대와 한국과학기술연구원 공동 연구로 이중 절단된 스틱커를 적층하여 3 차원 형상을 제작하는 패속조형공정이 개발된 바 있다.²¹ (주)인텍에 의하여 레이저 클레딩 공정을 이용한 DMT 공정이 개발되어 3 차원 금속제품 제작과 금형 보수공정에 활용되고 있다.²²



Fig. 24 Order adaptive rapid product development system

5. 결론

Stereolithography 공정에 의해 패속 조형 공정이 산업 시장에 출현한지 17 년이 지난 지금 많은 패속 조형 공정들이 개발되어 상용화되었다. 패속조형 시장도 10 억불 시장으로 성장하였다. 그러나, 시장내에서의 경쟁은 점점 치열해지고 있다. 이러한 시장에서 생존하고 발전하기 위해서는 기존 시장외에 새로운 시장으로 눈길을 돌려야 하며, 기

존 시장과 새로운 시장을 점유할 수 있는 혁신적인 쾌속조형 기술 개발, 서비스 방법 개선 및 생존 전략이 필요할 것으로 사료된다.

혁신적인 쾌속조형 기술 개발의 경우 Objet 와 같이 저가, 고속, 소형 및 고정밀도 장비와 이에 따른 2 차 공정의 개발이 시장의 주요 흐름일 것으로 사료된다. 또한, 실제 시작품 또는 제품의 쾌속생산을 쾌속조형공정에서 직접적으로 수행하는 금속재료를 이용한 직접식 쾌속생산방식에 대한 시장의 요구가 확대될 것으로 사료된다.

기존의 쾌속조형의 공업적 활용외에도 의학분야, 교육분야, 나노 기술분야 및 의류분야등으로 활용 영역이 넓어질 것으로 생각된다. 특히, 쾌속조형기술의 의학분야, 나노 기술분야로의 진출은 학제간 연구를 수행함으로써 서로의 분야에서 Win-Win 할 수 있는 학문적/산업적 열쇠를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 쾌속 조형 공정을 유연 생산 방식의 구성요소로 사용하는 혼합 생산 시스템 (Hybrid Manufacturing System) 개발과 이종 재료를 가지는 제품 생산을 위한 쾌속 생산 공정 개발등도 주요 개발 방향이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kruth, J. P., "Material in-process manufacturing by rapid prototyping techniques," *Annals of the CIRP*, Vol.30, No.2, pp.603-614, 1991.
2. Jacobs, P. F., "Stereolithography and other RP&M technologies from rapid prototyping to rapid tooling," ASME Press, 1996.
3. Pham, D.T. and Gault, R.S., "A comparison of rapid prototyping technologies," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.38, pp.1257-287, 1997.
4. Yang, D. Y. and Sohn, H. K., "Recent state of rapid prototyping techniques for rapid product manufacturing," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 17, No. 10, pp. 5-10, 2000.
5. Kulkarni, P., Marsan, A. and Dutta, D., "A review of process planning techniques in layered manufacturing," *Rapid Prototyping Journal*, Vol.6, No.1, pp.18-35, 2000.
6. Wohler, T. T., "Wohler's report 2005, rapid prototyping & tooling state of the industry," Wohler's Associates Inc., 2005.
7. Ahn, D. G., "Investigation into development of variable lamination manufacturing using expandable polystyrene foam," KAIST, Ph.D Thesis, Korea, 2002.
8. Yang, D. Y., Ahn, D. G., Lee, S. H., Kim, H. C. and Park, S. K., "Investigation into development of automatic VLM-ST process and its apparatus," *Journal of Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No.4, pp. 109-119, 2004.
9. Simchi, A., Petzoldt, F., Pohl, H., "On the development of direct metal laser sintering for rapid tooling," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 141, pp. 319-328, 2003.
10. <http://www.3dsystems.com>
11. <http://www.stratasy.com>
12. <http://www.eos-gmbh.de>
13. <http://www.2objet.com>
14. <http://www.zcorp.com>
15. Ahn, D. G., Lee, S. H. and Yang, D. Y., "Development of transfer type variable lamination manufacturing (VLM-ST) process," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, pp. 1577-1587, 2002.
16. <http://www.rapidshaper.com>
17. Webb, P. A., "A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector," *Journal of Medical Engineering & Technology*, Vol. 24, No.4, pp. 149-153, 2000.
18. Gopakumar, S., "RP in medicine : a case study in cranial reconstructive surgery," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 10, No.3, pp. 207-211, 2004.
19. <http://www.materialise.com>
20. <http://oarpd.kaist.ac.kr>
21. Cho, I., Lee, K., Choi, W. and Song, Y., "Development of a New Sheet Type Rapid Prototyping System," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, pp. 1813-1829, 1999.
22. <http://www.insstek.com>