

세라믹스의 Solid Freeform Fabrication



박 동 수

(KIMM 재료기술연구부)

- '78 - '82 연세대학교 금속공학과(학사)
- '84 - '86 미국 U.I.C 재료공학과(석사)
- '87 - '90 미국 U.I.C 재료공학과(박사)
- '90 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



한 병 동

(KIMM 재료기술연구부)

- '90 - '94 고려대학교 재료공학과(학사)
- '94 - '96 고려대학교 재료공학과(석사)
- '96 - 현재 한국기계연구원 연구원

1. 서 론

지난 수 십 년간의 연구와 개발에 의해 세라믹스의 특성은 현저히 향상되었다. 또 기계 시스템을 비롯한 제반 산업기술의 발달에 따라 Advanced Ceramics의 적용이 확대되고 있다. 이러한 세라믹스의 적용은 열기관 등의 에너지 관련 기기의 부품, 화학펌프 등의 내화학성 부품, 절삭공구 등의 내마모성 부품 등 다양한 산업분야에서 이미 이루어지고 있거나 검토되고 있다. 현재의 세라믹스 소재의 기술적인 수준은 이미 여러 가지 부품에 세라믹스를 적용하는 데 무리가 없을 만큼 진전되어, 이제 세라믹스의 실용화에 가장 큰 걸림돌은 경제성, 즉 제품의 단가가 되고 있다. 세라믹스 제품의 단가를 결정하는 요인 중에 가장 큰 것으로 부품의 가공비를 들 수 있다. 특히 제품이 복잡한 형상을 갖을수록 기하급수적으로 증가하는 세라믹스의 가공비는 경우에 따라서는 제품 단가의 50-60% 이상을 차지하기도 한다. 세라믹스의 가공비가 이렇게 고가인 것은 고경도이며 취성이 강한 세라믹스의 특성 때문이다. 즉, 경도가 매우 높기 때문에 고가인 다이아몬드 공구를 사용할 수밖에 없고, 소성변형이 불가능한 취약성 때문에 생산성이 낮은 연삭 가공을 이용할 수밖에 없기 때문에 가공비는 고가가 될 수밖에 없고 또 가공량이 증가할수록 가공비도 급격하게 증가하게 된다. 더욱이 형상에 따라서 기계적 가공이 불가능한 경우도 있어서, 부품제조 공정 단계인 성형공정에서 제품의 형상을 이루어내는 Near-net Shaping의 기술은 매우 중요한 생산기술이 된다. Near-net

Shaping의 대표적인 기술로는 사출성형법이 있다. 복잡한 형상의 부품을 대량으로 생산하기에 적합한 사출성형법은 지금도 상당히 많은 현장에서 사용되고 있다. 그러나 사출성형법은 금형 가격이 매우 고가이므로 금형가격을 정당화할 수 있는 수량의 제품이 생산되어야 한다. 따라서 형상이 복잡하고 필요한 수량이 적은 경우(다품종 소량생산)에는 보다 경제적인 성형공정이 개발되어야 할 필요가 있다.

Solid Freeform Fabrication(SFF)기술은 일명 Rapid Prototyping(RP)이라고도 불리우는 성형 기술의 하나이다. SFF는 구체적인 적용방법에 따라 몇 가지의 기술로 나누어져 있지만, 기본적인 원리는 공통적인 것으로서 Computer Aided Design(CAD)를 이용하여 3차원 형상의 제품을 Computer에 작성하고, 이를 적절한 두께로 분할한 후, 그 단면을 작성하여 이 단면에 상응하는 실 제품을 제작하고 이들을 적층하여, Computer상의 3차원 형상을 실제로 구현하는 것이다. 이때, 각 단면에 상응하는 실 제품을 제조하는 방법과 이를 적층하는 방법에 따라 구체적인 기술이 나뉘게 된다.

SFF는 복잡형상을 고가의 금형을 사용하지 않고 세라믹스 부품을 제작하게 됨으로써 다품종 소량생산에 적합한 성형공정으로 주목되고 있다. 또, Rapid Prototyping의 개념을 적용하면, 대량생산 공정을 적용하기 전에 시작품으로써 설계자의 의도가 잘 반영되어 있는 지를 검토할 수 있는 방법으로써 활용될 수 있다. 여기에서는 세라믹스에 적용되고 있는 몇 가지의 SFF에 대하여 알아보고자 한다.

2. Laminate Object Manufacturing (LOM)

LOM은 Helysis 라는 미국의 회사에서 개발된 방법이다. 주로 종이를 이용하여 시작품을 제조하는 RP의 방법으로 알려져 있으나, 적용대상은 시트(Sheet)로 된 것이면 어떤 재질의 것이라도

적용이 가능하므로 최근에는 세라믹스와 금속 판재에도 적용되고 있다. Helysis는 1985년 구 소련에서 망명한 Michael Feygin박사가 설립한 중소기업으로, 미국정부의 연구비 지원으로 개발한 공정을 상업화 한 것이다. 1988년-94년 사이에 3번의 미국 특허를 등록하였고, 현재는 유럽 특허도 등록하였다^[1].

2.1 LOM 공정

LOM의 공정은 Computer Program을 중심으로 하는 Preprocessing, 실제 절단과 적층 공정으로 이루어진 Building, 그리고 적층 성형 후에 제작된 제품을 추출하는 Postprocessing공정으로 나누어진다^[2]. 아직 세라믹스에 대한 적용의 체계적인 공정이 확립되어 있지 않으므로, 우선 종이를 사용하여 작업하는 공정을 알아보고 이를 세라믹스에 응용하는 것을 알아본다.

2.1.1 Preprocessing

이 과정은 Computer에 작성된 3차원 형상의 제품을 절단하여 단면도(STL 파일)를 작성하고, 이들을 정리하며, 다시 필요한 제2차 data를 작성하는 등의 작업으로 구성된다. 여기서 제2차 data는 Orienting, Merging, Transformation, Mirroring, Scaling등에 의해 작성된 data가 된다. 일반적으로 이를 위한 전용 Software가 있으며, LOM장비와 함께 판매된다.

2.1.2 Building

Software에 의해 작성된 단면도에 따라, 시트(Sheet)상의 소재를 CO2 Laser를 이용하여 절단하고, 적층하는 공정으로 다음의 4단계로 나누어 지는데, 그림 1은 이 공정을 보이고 있다.

1. 3차원 제품을 적절한 두께로 절단하고, 평면상에 절단면을 작성한다. 작성된 절단면의 외주부분을 정의하고 제품의 단면에 포함되지 않는 부분은 제품의 지지부로 활용한다.

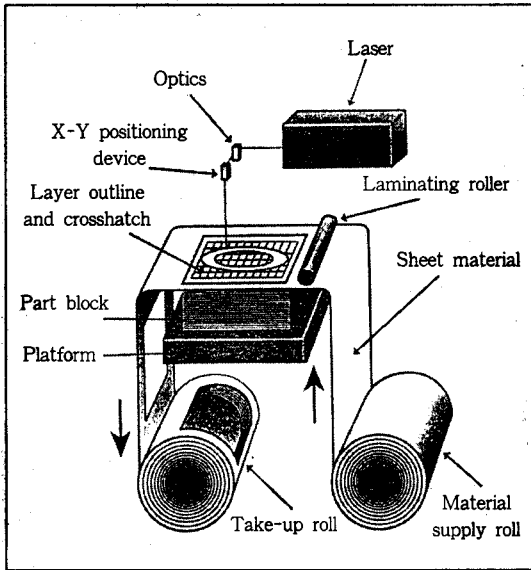


그림 1. LOM 공정의 적층성형 과정(building)의 개략도

2. 부품의 외주경계선을 Laser를 이용하여 절단하고, 다시 Postprocessing 단계에서의 작업을 위하여 제품 지지부를 바둑판과 같이 절단한다. 이때, Laser의 강도를 조절하여 시트의 한 장 두께만을 절단하도록 한다. 이렇게 절단이 끝나면, 절단되고 남은 부분들은 자유롭게 이동이 가능하게 된다.

3. 이미 만들어진 적층체가 시트의 두께만큼 아래로 이동하고 이미 절단된 부분은 회수 roll 쪽으로 이동하며, 새로운 부분의 시트가 적층체의 윗면에 위치한다. 이때, 가열된 롤러가 새로운 부분의 시트를 가열 압착하여 아래 부분의 적층체에 접착시킨다.

4. 수직방향의 이동을 감지하는 Encoder가 적층체의 현재 높이를 Software에 입력하면, Software에서는 이를 기초로 다음 단면을 작성한다. 작성된 단면에 따라 1의 공정을 수행하고, 1-4의 공정이 반복된다. 이렇게 하여 제작된 LOM 제품은 일반적으로 육면체의 형상으로, 그 내부에 원하는 제품을 포함하게 된다. 이렇게 함으로써 부품 중에 지지가 필요한 부분들도 별도의 지지를 위한 노력을 하지 않고서 제작할 수 있다.

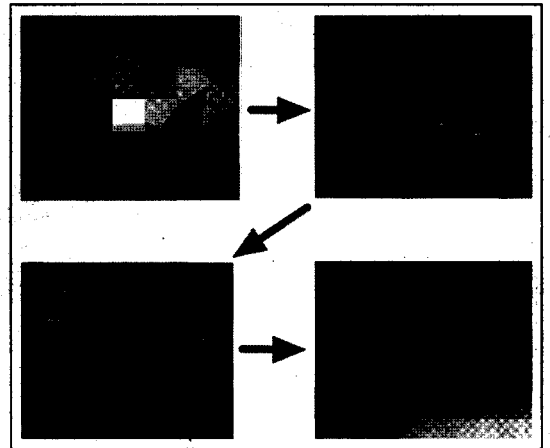


그림 2. LOM 공정의 성형품 추출과정(postprocessing)

2.1.3 Postprocessing

Building 공정을 통해 제작된 육면체의 LOM 제품으로부터 원하는 3차원 형상의 제품을 추출하는 공정인 Postprocessing은 그림 2에 보이는 바와 같이 간단한 손도구를 이용하여 이루어진다.

1. 만들어진 육면체의 제품과 LOM Platform을 작업대에 옮긴다.

2. 정과 흙갈, wire등을 이용하여 Platform로부터 육면체의 LOM제품을 분리한다.

3. 주위벽 부분을 조각칼 등을 이용하여 제거하고, 이미 바둑판 모양으로 절단하여 놓은 지지부를 제거한다. 이때, 제품이 손상되지 않도록 주의한다.

현재의 LOM 장치의 오차는 X-Y 평면상에서는 25 마이크로, Z방향으로는 그보다 약간 더 큰 것으로 알려져 있다. 제품의 정확성을 높이기 위해서는 Software의 개발과 Laser beam의 직경을 감소시키는 것 등이 중요하다. 이상은 종이를 이용한 RP로써의 LOM을 중심으로 설명한 것이기 때문에, 세라믹스로의 적용을 위하여는 기존 기술의 응용이 필요하다.

2.2 LOM의 세라믹스로의 응용

미국의 Case Western Reserve University 에서

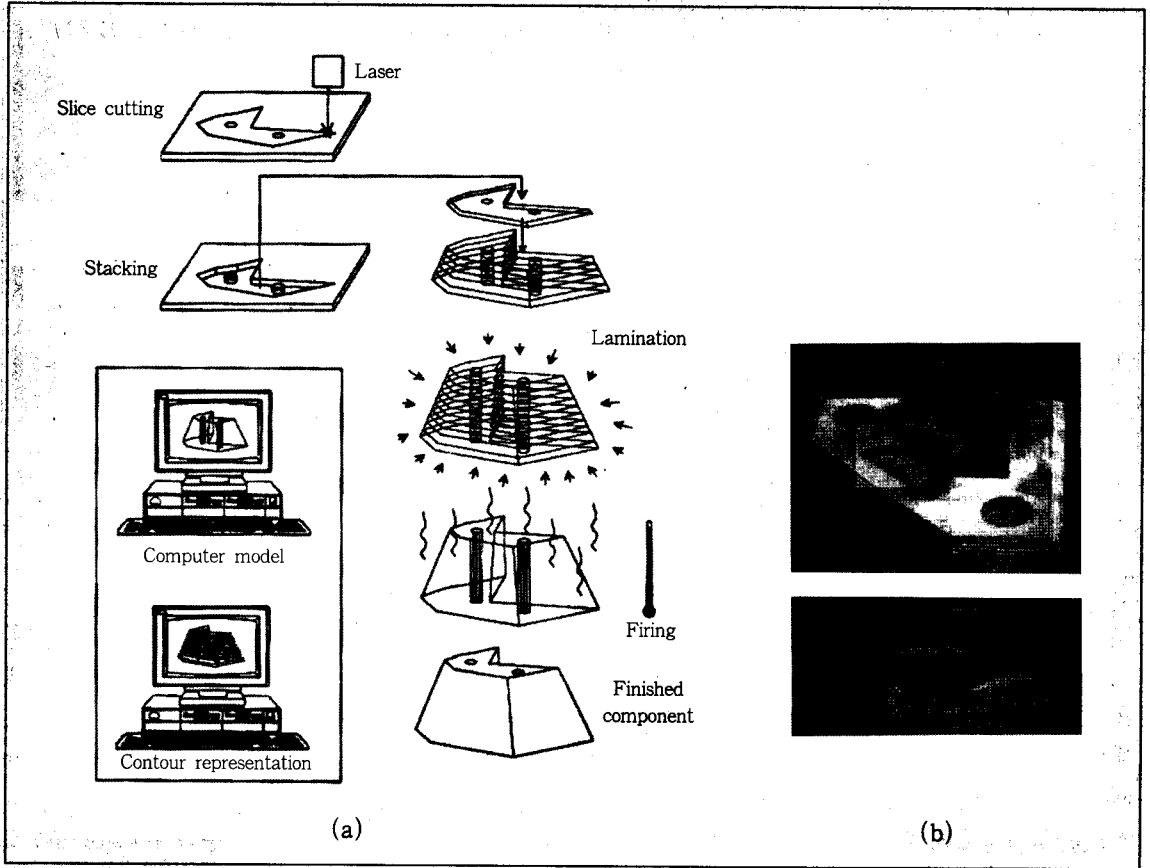


그림 3. CAM-LEM 공정의 개략도(a)와 이에 의해 제작된 부품(b).

는 1994년 미국 과학재단(NSF : National Science Foundation)과 ONR(Office of Naval Research)의 지원을 받아 CAM-LEM기술을 개발하였다.^[3] 이것은 LOM과 매우 유사하지만, Laser 로 절단한 후에 진공흡착 장치를 이용하여 절단된 시트 형상의 제품을 적층체로 이동시키는 것이 다르다. 그림 3.은 CAM-LEM공정의 개략도와 제작된 부품의 사진을 보여준다. Laser 절단시에 적절한 각도로 절단함으로써 SFF공정에 의해 제작된 제품의 문제점인 계단식 표면을 제거할 수 있다는 장점을 갖는다. 또 필요한 부분만을 절취하여 적층함으로써 적층 후에 불필요한 부분을 제거하는 별도의 공정이 필요하지 않다. 서로 다른 종류의 재질로 된 시트라도 용이하게 적층되며, 부분적으로 다른 재질로 구성

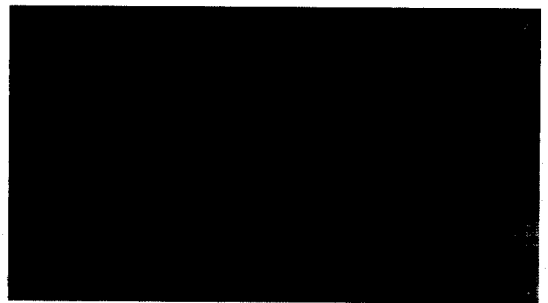


그림 4. 3층으로 구성된 알루미늄 부품 : 중앙의 층에는 총 길이 2m의 4굴곡된 연결구멍(직경 0.5mm)이 있음.

된 제품도 제작이 가능하다. 그림 4.는 CAM-LEM공정에 의해 제작된 알루미늄 판으로써 판재내부에 직경 0.5 mm의 zig-zag형태의 channel이 만들어진 것이다.

미국의 Lone Peak Engineering사에서는 LOM공정을 세라믹스에 적용한 CerLOM공정을 개발하고^[4], 이를 세라믹스에 적용함에 있어서, 2종류의 세라믹스 시트를 이용하여 새로운 특성의 세라믹스 소재의 개발도 동시에 시도하였다. 그림 5.는 CerLOM공정에 의해 제작된 fastner로써 알루미늄과 알루미늄-50% Ce-ZrO₂ 층을 교대로 적층한 후에 유기물 제거공정 (binder burnout)을 거쳐, 소결 치밀화된 제품이다. 이 제품의 미세조직을 그림 6.은 보여준다. 그림에서 보면 각층간의 결합이 견고하게 잘 이루어져 있으며, 20 N (약 2kg의 하중) 하중의 Vickers경도 시험에서도 균열이 발생하지 않음을 알 수 있다. 표 1.과 2.는 제작된 알루미늄-지르코니아 복합체의 물성을, 보인다.

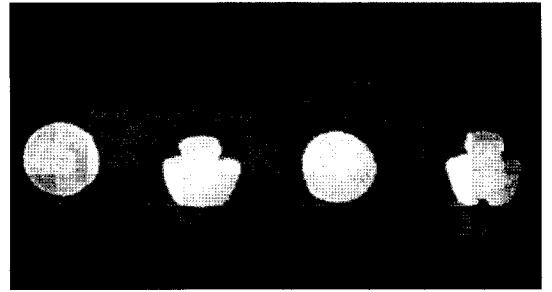


그림 5. CerLOM 공정을 이용하여 제작된 세라믹스 fastner의 사진

이러한 LOM공정은 비단 알루미늄과 지르코니아 간의 복합체에만 적용되는 것은 아니며, 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 질화규소와 질화붕소,^[5] 탄화규소와 흑연^[6] 등의 층상복합재

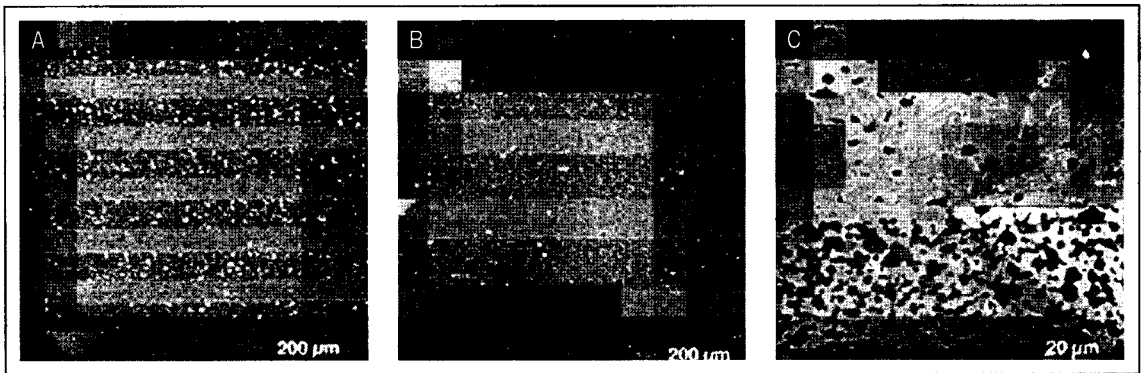


그림 6. CerLOM 공정에 의해 제작된 알루미늄과 알루미늄-Ce-ZrO₂ 층상 복합재료의 미세구조 사진 ; (a) 시트두께가 58미크론인 경우, (b) 시트두께가 116미크론인 경우, (c) 20N 하중의 Vickers 경도 측정 후의 SEM 사진

표 1. CerLOM 공정에 의해 제작된 알루미늄과 알루미늄-Ce-ZrO₂ 복합재료의 물리적 특성 및 단상 알루미늄의 특성

Ceramics	시트두께 (미크론)	성형밀도 (g/cc)	무게감소 (%)	선수축율 (%)	소결밀도 (g/cc)	open porosity (%)
복합재료	58	2.8	20.3	23.8	5.39	0.7
복합재료	116	2.89	19.2	26.7	5.41	0.8
단상재료	116	2.77	19.2	23.6	5.92	0.9

표 2. CerLOM 공정에 의해 제작된 알루미늄과 알루미늄-Ce-ZrO₂ 복합재료의 기계적 특성 및 단상 알루미늄의 특성

조 성	시트두께 (미크론)	꺾임강도(MPa)		파괴인성 (MPa.m)
		시트와 수직방향	시트와 평행방향	
복합재료	58	688	570	9.9
복합재료	116	653	632	10.5
단상재료	116	548	552	6.7

료를 제작하는 공정으로써 시도될 수 있을 것으로 생각된다. Helysis사는 LOM을 세라믹스에 적용하는 기술개발을 위하여 1994년부터 3년간 ARPA로부터 350만불의 project를 받아 미국 공군의 Wright Patterson 연구소, Univ. of Dayton Research Institute, Advanced Refractory Technologies Inc. 등과 세라믹스 기지 섬유강화 복합재료 제품개발을 연구하였다. 이러한 노력에도 불구하고 아직 세라믹스의 LOM을 위하여 몇가지 해결되어야하는 문제점이 있다. 우선 고가의 장비이다. LOM장비의 가격은 95,000불-180,000불 정도로 중소기업들이 활용하기에는 고가의 장비이다. 또, 기술적인 문제로써 post-processing과정에서의 제품의 추출과정이 종이에서와는 달리 세라믹스에서는 상당히 어려워지게 된다. 이것은 세라믹스 시트의 특성이 강도는 약하고 접착성은 강하기 때문인데, 이를 해결하기 위하여는 세라믹스 시트 제조공정과 LOM 제조공정의 공동연구 개발을 통하여 적절한 특성을 갖는 세라믹스 시트의 사용이 요구된다. 세라믹스 시트의 제조공정도 개선하여 공해를 최대한 억제하고 첨가 유기 결합제의 사용을 최소화하는 등의 노력이 요구된다. Helysis는 세계 각국에 대리점을 갖고 있으며(국내 : RP Korea), 일본의

Toyoda Machine Tool과도 사업동맹을 맺고 있다.

3. Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM은 열가소성 수지나 왁스 등으로 만들어진 filament를 사용하여 복잡한 형상의 제품을 제작하는 것이다. 그림 7.은 FDM공정의 개략도이다. Filament는 nozzle을 통하여 공급되며, nozzle에 장치된 가열기(heater)를 이용하여 filament의 용점보다 약간 높은 온도로 filament를 녹이게 된다. 용융된 filament는 이미 형성된 성형체에 쌓이면서 곧 응고되는 과정이 계속되어 성형체가 제작되어 진다. Filament의 공급과 용융, 이동 등은 computer에 의해 동시에 제어된다. FDM은 미국 Minnesota주에 있는 Stratasys Inc.에서 개발 상용화한 장비를 이용하여 이루어진다.

FDM을 세라믹스에 응용하는 것은 FDC (Fused Deposition of Ceramics)라고 부르는데, filament를 단순한 열가소성 수지나 왁스를 사용하여 제작하는 대신에, 세라믹스 분말과 적절한 유기 결합제, 가스제등을 사용하여 제작하고 이것을 용융하여 쌓음으로써 성형체를 제작하고, 사출성형체와 비슷한 공정을 통하여 유기물을

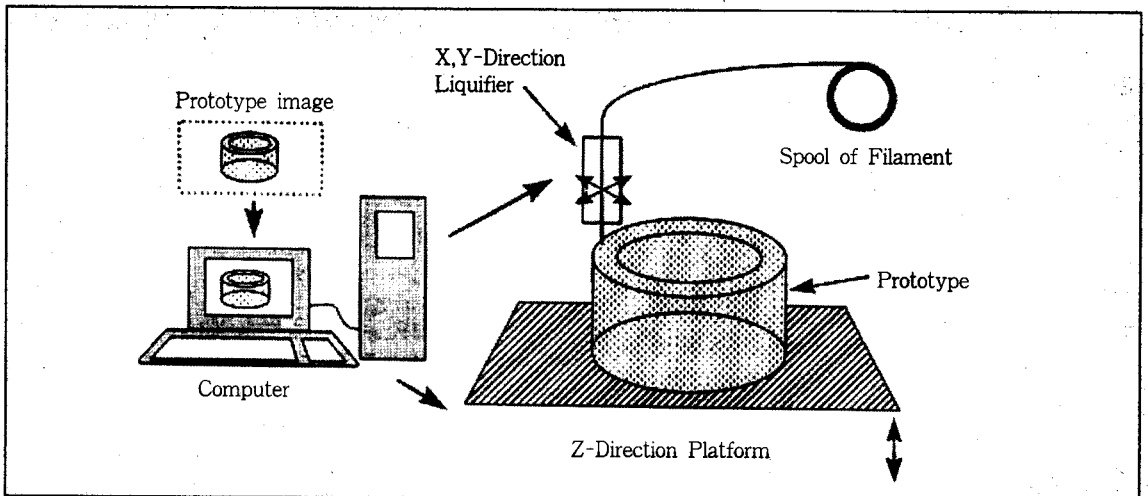


그림 7. FDC 공정의 개략도

제거한 후, 소결 치밀화하는 것으로 이루어진다. 표 3은 FDC를 통하여 제작된 성형체를 소결한 결과를 보인다. 소결체의 밀도가 97% 정도로 높은 것을 알 수 있다. 그림 8은 FDC에 의해 성형되고, 다시 소정의 공정에 따라 소결된 알루미늄 재질의 nozzle bracket 부품을 보인다. 이 부품은 소결 후, 균열이 없고 층간 결합이 완벽하게 이루어져 있으며, 치밀도가 98.5%로 고밀도를 나타내었다고 보고되었다.^[7] 최근 미국의

표 3. FDC에 의해 성형된 세라믹스의 소결밀도^[7]

조 성	소결밀도(g/cc)	상대밀도(%)
C-Shape	3.79	97.2
Gear	3.81	97.7
Disk	3.80	97.4

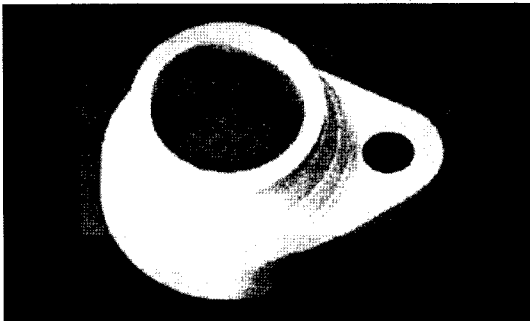


그림 8. FDC 공정을 이용하여 제작한 세라믹스 nozzle bracket

Rutgers University에서는 FDC를 이용하여 다양한 형상의 압전체를 제작하여 보고한 바 있다(그림 9).^[8] FDC는 wire형상의 filament를 이용하기 때문에 다공질의 성형체와 LOM에서보다 미세하게 제어된 조성의 변화를 갖는 성형체를 제작하는 것이 가능하다. 이것은 multi-filament를 통하여 제작이 가능하며, 최근에 개발된 FDC 장비는 이러한 기능을 갖도록 제작된 것도 있다. 압출체를 사용하는 공정이므로 제작된 소결체내의 미세조직 제어도 가능하여 다기능화된 부품을 제조할 수 있는 가능성을 보이는 공정이지만, filament의 제조가 까다롭고 적정 공정조건(nozzle 가열온도, filament 공급속도, 적층속도 등)을 잘 찾아야 하는 번거로움이 있다. 또, 성형체의 제작속도도 빠르지 못한 것도 생산성의 입장에서 고려해야할 점으로 생각된다.

Stratasys의 FDM 장비는 50,000불-65,000불이고 최근에 개발된 고성능 다기능화 된 장비는 100,000불 이상이지만, 이를 세라믹스에 응용하려면, 열간 혼합기와 압출기등이 추가로 요구되므로 이보다 많은 투자가 요구된다. Stratasys는 질화규소, 탄화규소 부품의 개발을 위하여 Rutgers University, Allied Signal Ceramics Research Inc., Argonne National Lab., University of Michigan 등과 공동으로 ARPA/ONR로부터 3년간 420만

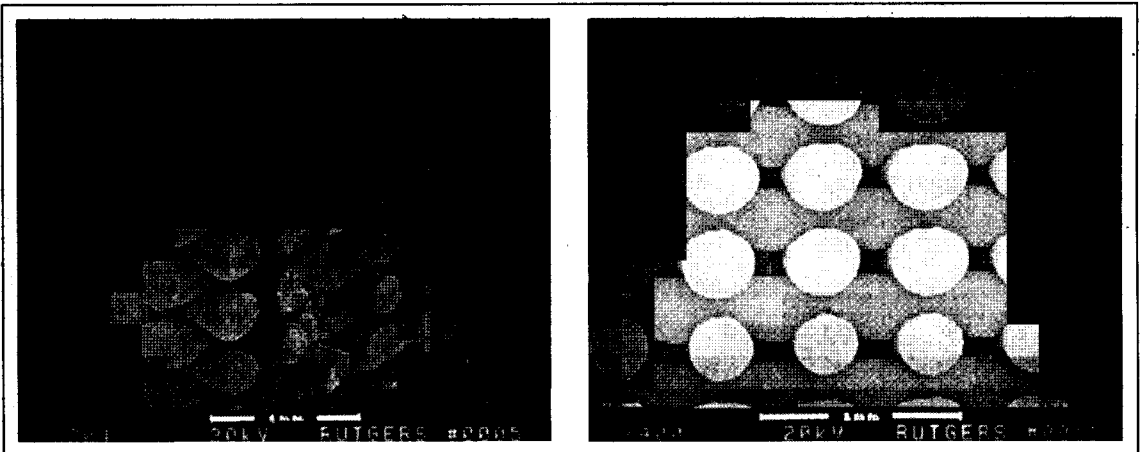


그림 9. FDC 공정을 이용하여 제작한 세라믹스 압전체의 SEM 사진

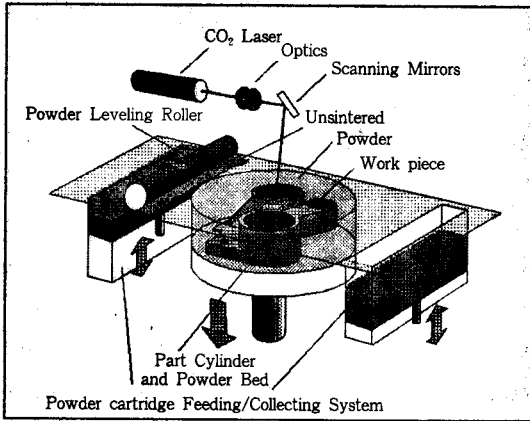


그림 10. SLS 공정의 개략도

불의 project를 받아 수행하였다.

4. Selective Laser Sintering (SLS)

SLS는 미국 Texas주 Austin에 소재한 DTM사에서 개발한 system을 이용하여 성형 또는 반소결체를 제작하는 것이다. 그림 10.은 SLS공정의 개략도이다. 여기에서는 roller에 의해 얇은 층의 세라믹스 분체들이 이미 만들어진 성형체의 위에 형성되고 난 후에, computer에 의해 제어된 Laser가 세라믹스층에 빔을 출력하면, 빔에 의해 가열 또는 용융된 세라믹스 분체들이 소결된다. 한층이 끝나면, 받침대가 일정량만큼 하강하고 다시 새로운 층의 세라믹스 분체가 roller에 의해 만들어진다. 이러한 과정을 반복함으로써 3차원형상의 제품이 제조된다. 일반적으로 세라믹스 분체를 그대로 사용하면, 소결이나 용융을 위하여 대단히 고온이 필요하고, 따라서 고출력의 Laser가 요구된다. 일반적으로, 세라믹스 분체를 준비할 때 세라믹스 분체와 유기 결합제를 함께 milling 하여 세라믹스 분체 표면에 유기물을 코팅하고, Laser에 의해 이 유기물을 용융시켜 서로 결합하게 하는 방법을 사용한다. 이때, 유기물이 코팅된 세라믹스 알갱이 (granule)의 크기는 50-100미크론 정도로 한다. 따라서, SLS에 의해 제작된 성형체도 유기물 제거 공정을 거쳐

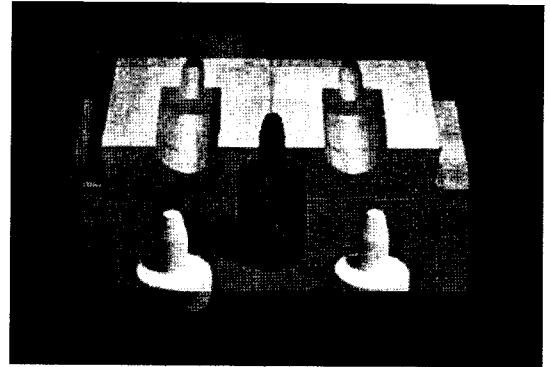


그림 11. SLS 공정에 의해 제작된 세라믹스 core pin(백색)과 기존의 주물사를 이용하여 제작한 core pin(흑색)

소결 치밀화를 이루게 된다. SLS 성형체는 보통 53-65% 정도의 상대밀도를 갖게되는데, 고밀도를 위하여는 소결 치밀화 공정을 거쳐 90-99%의 치밀도에 이르게 된다. 그림 11.은 SLS공정에 의해 제작된 알루미늄 core pin들 (앞쪽의 백색 2개)과 주물사를 이용하여 통상적인 방법으로 만들어진 core pin (중앙의 흑색) 및 이를 제조하기 위한 목형을 보인다.^[7] SLS는 세라믹스를 Laser 빔을 통하여 직접 소결할 수 있다는 장점도 있지만, 장비의 가격이 고가이고 (340,000불), 매번 만들어지는 세라믹스 층의 두께의 균일성과 소결 특성 제어 등의 어려움이 있다. 특히 사용되는 세라믹스 알갱이의 유동성이 우수하여야만 형성되는 층의 두께가 균일하게 되고, Laser에 의한 성형체 형성도 신뢰성을 갖게 될 것으로 생각된다.

5. 3D Printing

3D Printing 공정은 MIT (Massachusetts Institute of Technology)에서 개발된 공정이다. 작동 원리는 SLS와 유사하지만, Laser대신에 ink jet을 사용하여 액상의 유기 결합제를 분사하므로써 세라믹스 분체들이 서로 결합되게 하는 것이다. 따라서, 공정 후에는 유기 결합제에 의해 서로 결합된 세라믹스 성형체가 만들어진

다. 그림 12.은 3D Printing 공정의 개략도이고, 그림 13.은 3D Printing 공정에 의해 제작된 세라믹스 성형체이다. 3D Printing은 분체로 된 것이면 어떤 소재이든지 적용이 가능하며, jet의 속도를 늘리면 생산성이 매우 높아질 수 있다. 그러나, 표면 거칠기와 정밀 칫수제어 등을 위하여는 후가공을 하여야 할 것으로 생각된다. MIT에서는 3D Printing 공정을 이용하여 최근에 m-ZTA와 t-ZTA간의 적층 복합재료를 개발하여 보고한 바 있다.^[9] 산업으로의 응용으로는, 몇 개의 회사에 특허 사용권을 주어 금속 주조산업에 응용하거나 (investment casting의 부품으로 사용하여, 신제품 개발시간을 크게 단축), 의료기기 산업에 응용하고 있다. 특히, 이들 사용회사에서는 jet의 수를 1280개 까지 사용하기도 한다.

6. Stereolithography (STL)

Stereolithography는 주로 특정 파장의 Laser 빔에 의해 응고되는 특수한 액상의 유기물을 사용하여 3차원 형상의 시작품을 제작하는 공정으로 RP에서는 가장 잘 알려진 공정의 하나이다. 세라믹스로의 응용은 다른 SFF (또는 RP) 공정에 비하여 용이하지 않은 편이다. 그동안 액상의 유기물에 세라믹스 분체를 분산시켜 공정을 진행함으로써 유기물이 응고될 때, 세라믹스 분체를 같이 적층시키는 방법을 이용하여 세라믹스

성형공정으로의 적용이 시도된 바 있지만,^[10] 액상 유기물의 가격등이 고가이고, 성형품의 변형이 발생하는 등이 문제점이 있다.

7. 결론 및 향후의 연구 방향

몇 가지의 SFF공정을 통하여 복잡한 형상의 세라믹스 제품을 제조하는 기술에 대하여 개략적으로 알아보았다. 세라믹스의 SFF를 포함한 RP의 시장규모는 미국에서만 1995년에 이미 318 million 불에 달하였으며, 그 시장은 더욱 커질 것으로 생각된다. RP의 주요한 수요처를 보면, 육상교통에 관련된 업체가 24%, 항공기 관련 업체가 23%, 전자산업 분야가 14%, 사무기기 관련 분야가 11%등을 차지한다. 이들 중 상당수가 주요 분야에 RP를 사용하고 있으며, 미국의 항공기 엔진 제작사인 Pratt & Whitney 사에서는 RP의 사용으로 새로운 부품 개발의 비용을 1/10로 줄이고, 시간도 80 - 90% 절약하는 효과를 얻었다고 보고한 바 있다.^[11] 그림 14.은 터빈 부품의 구조에 사용되는 정밀 세라믹스 core를 보인다. 이러한 core를 제조하기 위하여 종래에는 금형의 가공에만 몇 달의 시간과 많은 경비가 소요되었으나, SFF(RP)의 방법을 채용함으로써 몇 일 또는 몇 주의 시간이 소요되었고 경비도 절감되었다고 보고되었다.^[7]

SFF 또는 RP는 아직 몇 가지의 개선되어야

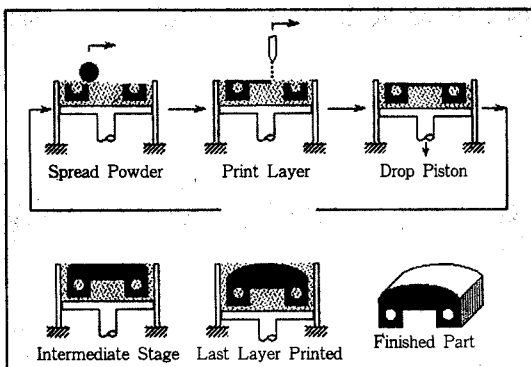


그림 12. 3D Printing 공정의 개략도

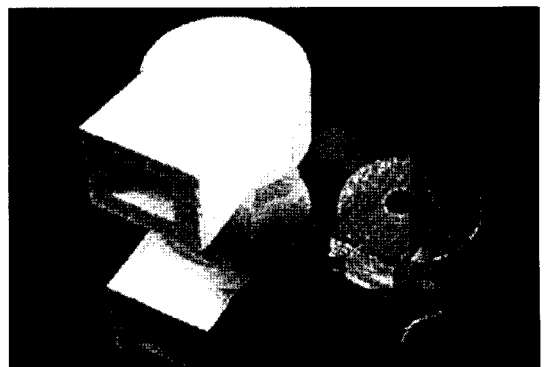


그림 13. 3D Printing을 이용하여 제작한 세라믹스 부품

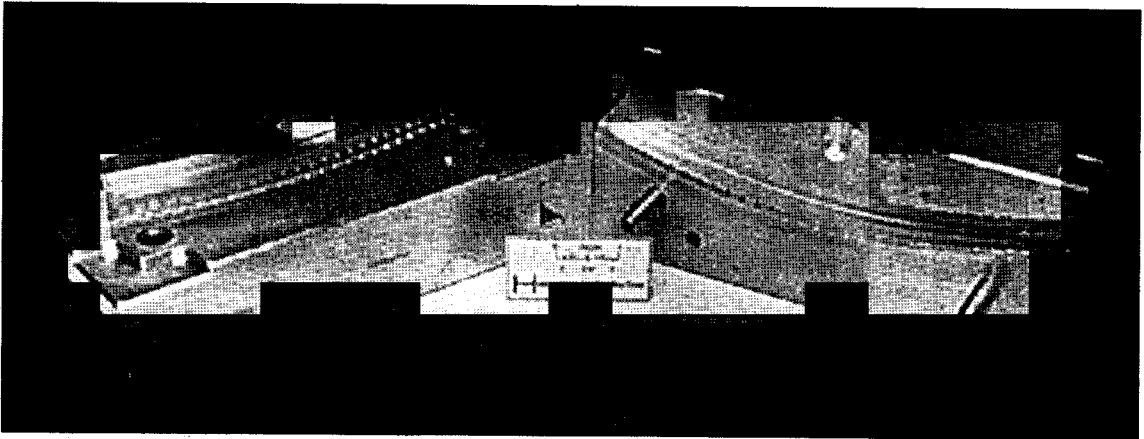


그림 14. SFF(PR)공정을 세라믹스 core를 제작에 응용한 경우

할 문제점도 있다. 우선, 장비의 가격이 너무 고가라는 것이다. 또, 아직 제작된 성형품의 정밀도에 대한 확신이 부족하고 표면 거칠기의 개선이 요구된다. 그러나, SFF가 computer 제어에 의한 자동화 공정이고, 고가의 금형 제작이 별도로 요구되지 않는 다품종 소량생산의 공정이라는 점에서 21세기에는 더욱 많은 적용이 기대되는 공정이라고 생각된다. 또, 이미 몇몇 연구 그룹에서 보고한 바와 같이 SFF를 이용함으로써 제작할 수 있는 새로운 세라믹스 소재의 개발도 기대되어 향후에 더욱 활발한 연구 개발이 이루어 질 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Feygin, M., U.S. Pat. 5,354,414, 1994.
- [2] S.Pak, G.Nisnevich, J.Maher, and M.Feygin, pp.367-384 in rapid Prototyping & Manufacturing: Advancedments and Applications, Society of Manufacturing Engineers, 1995.
- [3] J.D.Cawley, A.H.Heuer, W.S.Newman and B.B.Matheson, Am. Ceram. Soc. Bull., 75 [5], pp.75-79, 1996.
- [4] E.A.Griffin, D.R.Mumm and D.B.Marshall, Am. Ceram. Soc. Bull., 75 [7], pp.65-68, 1996.
- [5] H.Liu and S.M.Hsu, J. Am. Ceram. Soc., 79 [9], pp.2452-57, 1996.
- [6] A.J.Phillip, W.J.Clegg and T.W.Clyne, Acta Metall., 41 [3], pp.805-17, 1993.
- [7] A.Griffin, Ceram. Ind., pp86-86, April, 1997.
- [8] A.Bandyopadhyay, R.K.Panda, V.F.Janas, M.K.Agarwala, S.C.Danforth and A.Safari, J. Am. Ceram. Soc., 80 [6], pp.1366-72, 1997.
- [9] J.Yoo, K.-M. Cho, W.S.Bae, M.Cima and S.Suresh, J. Am. Ceram. Soc., 81 [1], pp.21-32, 1998.
- [10] M.J.Griffith and J.W.Halloran, J. Am. Ceram. Soc., 79 [10], pp.2601 - 8, 1996.
- [11] S.Ashley, Mech. Eng., 117 [7], pp.62-68, 1995.