

◆특집◆ 쾌속 제품 개발

쾌속 금형 조형 기술 현황

송용억*

State of the Art in Rapid Tooling

Yong-Ak Song*

Key Words : Rapid Tooling (쾌속 금형 조형 기술), Indirect Tooling (간접식 금형 조형 기술), Direct Tooling (직접식 금형 조형 기술), SLS (레이저 분말 소결 조형 기술), 3D Welding and Milling (3차원 용접과 밀링 조형 공정)

1. 서론

현재 산업체에서 동시공학적 제품 개발 도구로서 각광을 받고 있는 쾌속 조형기술은 이미 제품 개발에서 없어서는 안 될 중요한 기술로서 인식 되어 가고 있다. 설계 시 신속하게 시제품을 제공하여 제품 품질 개선에 큰 공헌을 하고 있는 쾌속 조형기술은 이제 단순히 시제품 제작뿐만 아니라 금형제작에도 응용이 되고 가고 있는 추세이다¹⁾. 이와 같은 추세에 따라 쾌속조형기술에 사용되고 있는 소재도 종이나 플라스틱 뿐만 아니라 금속까지 확대되어가고 있다. 하지만 금속은 종이나 플라스틱보다 훨씬 더 높은 용융점을 가지고 있기 때문에 공정 개발상 많은 어려움이 뒤따른다.

이와 같은 문제로 인해 현재까지는 금형을 직접 제작하는 방식보다는 쾌속 조형 기술로 제작된 마스터 패턴으로부터 여러 번의 반전 공정을 통해 금형을 제작하는 간접식 방식이 더 널리 사용되고 있다. 세계 쾌속금형 시장은 1999년 34.6%의 높은 성장률을 보였으며 99년 시장 규모

는 약 5억 7백만불 정도이다²⁾.

현재 전 세계적으로 20 가지 이상의 새로운 쾌속 금형 조형 기술이 개발되었으며 그 수는 점점 늘어가고 있는 추세이다. 이 기술들을 크게 두 가지 그룹으로 분류하면 금속 분말이나 와이어 상태의 소재를 용융하여 적층하는 공정과 금속 판재를 적층하는 공정으로 구분할 수 있다. 분말이나 와이어를 용융 시킬 경우 단면을 제작하는 시간이 오래 걸리나 단면과 단면을 접합하기 쉬운 이점이 있다. 반면에 금속 판재를 사용하면 각 단면의 제작 시간은 많이 소모되지 않으나 단면과 단면을 접합할 때 문제가 발생한다. 이 두 가지 방법은 다시 직접식 방법과 간접식 방법으로 구분할 수 있다. 직접식 방법에서는 금속 소재를 직접 용융시키는 반면 간접식 방법에서는 바인더를 사용하여 먼저 형상을 제작한 후 로에서 후처리 작업을 통해 최종 강도를 얻는다.

본 논문에서는 간접식 쾌속 금형 조형 기술의 현황과 문제점을 조사하며, 간접식 방식의 문제점들을 해결하기 위해 현재 개발중인 직접식 금형 제작 방법들과 문제점들을 소개하고자 한다.

2. 간접식 금형 조형 기술

* 한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터

Tel. 02-958-5638, Fax. 02-958-5649

Email: yongak@kist.re.kr

쾌속조형기술 및 CAD/CAM 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

쾌속 금형 조형 기술은 크게 간접식 방식과 직접식 방식으로 구분할 수 있다. 간접식 방식은 먼저 쾌속 조형 기술로 마스터 패턴을 제작한 뒤 이를 사용하여 금형을 제작하는 기술이며, 직접식 방식은 마스터 패턴 없이 직접 금형 인서트를 제작하는 기술이다. 간접식 방식은 이미 산업체에 널리 알려져 있으며, 수십 개의 시제품부터 수만 개 까지 이르는 시제품 제작에 활용되고 있다.

대표적인 간접식 쾌속 금형 조형 방법에는 실리콘을 사용하여 몰드를 제작하는 실리콘 주형 기술, 에폭시에 알루미늄 파우더를 혼합하여 몰드를 제작하는 에폭시 틀링, 용사 방법을 이용한 spray metal tooling, 분말 소결 방식을 이용한 3D Keltool, 흑연 패턴에 니켈과 구리 표면을 도금하는 Express Tool, 전기 도금 방식을 이용 패턴 표면에 니켈이나 구리를 도금하는 CEMCOM 방식 등이 있다. Table 1 에는 현재 보편적으로 사용되는 간접식 금형 제작 기술의 성능이 비교되어 있다.

Table 1. comparison of different indirect rapid tooling techniques ¹²⁾

	실리콘 주형	에폭시 틀링	Spray metal tooling	3D Keltool
제작 시간 (주)	0.5~2	2~4	2~4	3~6
가격 (1000\$)	1~5	2.5~10	2~15	3.5~10
제작 가능한 파트 수	10~50	50~1000	50~1000	50~1 백만
파트 소재	우레탄, 에폭시, 왁스	플라스틱	플라스틱	플라스틱
금형 오차	0.05/25 mm	0.05/25 mm	0.05/25 mm	0.05/25 mm

간접식 방식의 가장 큰 문제점으로는 아직까지 낮은 정밀도와 강도를 들 수 있다. 기존의 절삭 가공으로 제작한 알루미늄 금형의 경우 Tab. 1 에 나열된 금형보다 두배 정도 적은 오차를 가지고 있다. 이렇게 간접식 방식의 정밀도가 낮은 이유는 마스터 패턴으로 사용되는 쾌속 조형 시제품이 오차를 가지고 있으며, 이를 사용하여 반전 시

킬 때 각 반전 공정의 오차가 시제품 오차에 추가적으로 누적되기 때문이다. 또한 간접식 방식에서 주로 사용하는 수지가 경화 되면서 발생하는 수축 현상도 금형 정밀도를 감소시키는 주 요인이라 할 수 있다. 따라서 가장 바람직한 방법은 마스터 패턴 없이 직접 금형 인서트를 제작하는 것이다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 쾌속 조형 기술로 마스터 패턴 없이 직접 금형 인서트를 제작하는 직접식 쾌속 금형 조형 방법들이 개발되고 있다.

3. 직접식 금형 조형 기술

1986 년 미국 텍사스 오스틴 대학원생 Carl Deckard 에 의해 개발되어 현재 미국 DTM 사에 의해 상용화된 SLS(Selective Laser Sintering) 방법은 CO₂ 레이저를 사용하여 부분적으로 분말을 소결 또는 용융하여 시제품을 제작하는 쾌속조형 기술이다.

사용되는 레이저의 출력은 50W 정도이고 소재는 나일론 종류의 플라스틱과 금속 및 주조용 모래등이 있다. 소재의 특성상 나일론 분말은 용융 시 낮은 표면 장력으로 쉽게 비드가 생성되고 단면이 만들어지지만 금속의 경우 표면 장력이 높아 용융된 후 구 형태로 응고되기 때문에 비드 생성이 상대적으로 어렵다. 이를 해결하고자 DTM 사에서 상용화된 RapidTool 공정에서는 45 μm 크기의 스테인레스 금속분말을 직접 용융하지 않고 플라스틱 바인더와 혼합하여 먼저 레이저로 바인더만을 녹여 green 파트를 생성시킨다 ¹³⁾. 그 후 강도를 향상시키기 위하여 바인더를 로에서 제거한 후 청동을 침투하여 소결하는 방법을 사용한다. 이렇게 제작된 파트는 P-20 금속에 유사한 강도를 가지고 있다. 하지만 로에서 후처리 시 형상이 뒤틀리거나 수축으로 인하여 정밀도가 떨어지는 단점이 있어 현재 정밀도가 많이 요구되지 않는 금형 인서트 제작용으로 사용되고 있다 (Fig. 1). 현재 국내에서도 여러 제조업체들이 이 기술을 금형 제작에 활발히 응용하고 있다.

바인더를 사용하지 않고 직접 금속을 SLS 방식으로 소결 또는 용융하는 방법들도 일부 상용화되었다. 독일 EOS 사는 bronze nickel 분말과 스테인레스 금속분말을 바인더 없이 소결하여 금형 인서트를 제작하는 SLS 장비를 1996 년 상용화 하였다 ¹⁴⁾. 하지만 이 방법에서도 아직까지 100% 밀도를 얻

지 못하기 때문에 로에서 청동 칩투 작업과 표면 후처리 가공이 추가적으로 필요하다. 미국 텍사스 오스틴 대학에서는 High Temperature SLS 방식으로

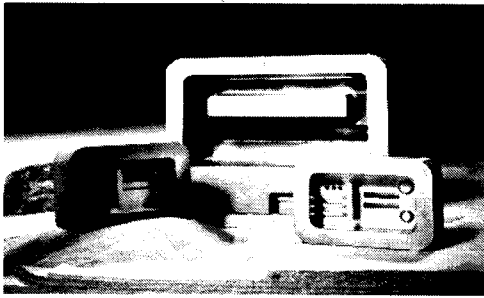


Fig. 1 Mold inserts made by RapidTool of DTM

직접 금속 시제품을 제작하는 방법을 연구하고 있으나 온도 1000도까지 미리 분말을 예열하는 장비의 제작 문제와 낮은 정밀도 및 표면 품질로 상용화에 어려움을 겪고 있다¹⁵⁾.

SLS 공정과 달리 분말이 미리 플랫폼 위에 도포 되어 있지 않고 금속 분말 또는 와이어를 노즐을 통해 공급하며 레이저로 동시에 용융 시키는 CMB(Controlled Metal Build-Up)과 LENS(Laser Engineered Netshaping) 공정이 독일 프라운호퍼 연구소(IPT)와 미국 샌디아 연구소에 의해 각각 독자적으로 개발되었다¹⁶⁾. LENS 기술은 1998년 미국 Optomec 사에 의해 상용화 되어 이미 일부 미국 연구소와 학교에 장비가 납품된 상태이다. 레이저 표면처리 기술인 Laser Cladding 으로부터 발전된 이 방식의 특징은 고 출력 레이저를 사용하여 노즐을 통해 공급되는 금속 분말을 용융 시켜 비드를 생성하는 것이다 (Fig. 2).

주로 사용되는 소재는 Stellite21 와 304 & 316 스테인레스 금속 계열이지만 이밖에 Iron-Nickel Alloys, H13 & MM10 Tool Steels, 625, 690 & 718 Inconel, Titanium alloys, Tungsten, Haynes 230, Nickel Aluminide 등이 있다. 금속 분말 용융에 필요한 레이저 출력은 300-1000W, 테이블 이송 속도는 0.3-1 m/min 정도이다.

비드의 적층 두께는 레이저 출력과 분말 이송량로 조절되며 0.1 mm 까지 가능하다. 분말 이송량은 0.2g/min 까지 미세 조절이 가능하며 반복 정밀도는 +/-0.1%이다. 비드의 폭은 레이저 빔의 지름에 의해 결정되며, 이는 레이저 광학렌즈와 파트와의 간격을 이용하여 정밀하게 조절이 가능하다.

현재 제작 가능한 비드의 폭은 0.5-1 mm 정도이다.

분말 이송장치와 함께 장비의 핵심 부품인 노즐은 제품의 정밀도를 크게 좌우한다. 개발 초기

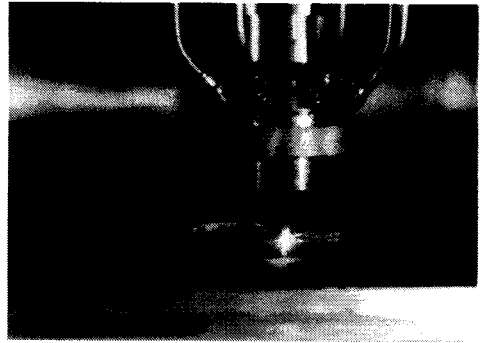


Fig. 2 CMB Process

에는 옆에서 분말을 공급하는 사이드 노즐이 사용되었지만 현재는 Fig. 2 에 나타나 있는 레이저 빔축과 분말의 분사 방향이 일치하는 coaxial nozzle 이 사용되고 있다. 이 노즐을 사용하면 용접 결과가 노즐과 제품이 생성되는 테이블의 상대적 이송 방향에 의해서 영향을 받지 않는 장점이 있다. Fig. 3 에는 CMB 공정으로 제작한 파트가 나타나 있다. 크기는 폭 50mm, 높이 40mm 이며 사용된 소재는 316L 스테인레스 금속이다. 제작 시간은 20 분 정도이다¹⁸⁾.

제작된 파트의 내부 단면은 금속 냉각 시 발생하는 dendritic 조직을 보이고 있으며 크랙이나 기포가 없다. 완성된 시제품의 정밀도는 바깥쪽 면이 수직선으로부터 +/- 0.1mm 정도이며, 표면 조도는 $R_p-v=50 \mu m$ 이다.

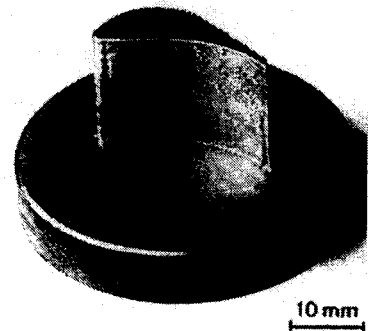


Fig. 3 Turbine blade fabricated by CMB

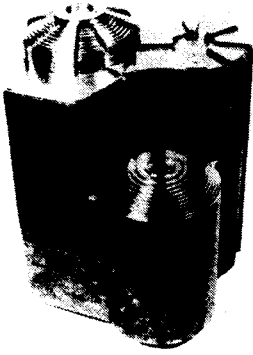


Fig. 4 Deep drawing punch fabricated by lamination of metal sheets

분말이나 와이어 상태의 소재를 사용하지 않고 판재 형태의 소재를 사용하면 각 단면을 생성하기 위해 일일이 비드를 적층할 필요가 없기 때문에 단면 제작 시간이 대폭 단축된다. 하지만 완성된 단면들을 접합 시키기 어려운 문제가 발생한다. 현재 미국 Lone Peak Engineering 사는 기존의 LOM(Laminated Object Manufacturing)장비에서 종이 대신에 바인더와 혼합된 스테인레스 금속 테이프를 사용하여 금속 시제품을 제작하는 간접식 방법을 상용화 시켰다. 금속 테이프에 혼합된 바인더를 통해 가열된 판재와 판재가 서로 접합되어 green shape 이 완성되면 이를 다시 로에 넣어 바인더를 제거하고 구리 칩투 작업을 수행한다. 이때 앞서 RapidTool 공정 설명시 언급한 열변형과 수축이 발생하여 정밀도가 감소되는 문제가 발생한다.

바인더를 사용하지 않고 직접 금속 판을 레이저로 절단하여 brazing 으로 접합하는 방식은 이미 오래 전부터 사용되었다¹⁹⁾. 일본 동경대 Nakagawa 교수는 1970 년도에 이러한 방식을 사용하여 Deep drawing 펀치를 제작하였다 (Fig. 4). 각 절단된 판들을 brazing 방식으로 접합 시키기 어려운 경우 제작된 단면들을 볼트로 한꺼번에 체결하는 방식을 사용할 수 있다. 두꺼운 철판을 적층할 경우 단면과 단면 사이에 계단식 표면이 발생

하기 때문에 3 축 NC 가공으로 후처리 가공 해주어야 한다.

4. 직접식 쾌속 금형 조형 기술의 문제점 및 해결 방안

현재 직접식 방법 중 금속을 레이저로 용융하여 시제품을 제작하는 기술이 가장 앞서가고 있으나 아직까지 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다. 예를 들어 용융된 금속의 표면 장력으로 인하여 예리한 각을 얻을 수 없으며, 표면 품질이 일반 절삭 가공 제품에 비해 많이 떨어진다. 이와 같은 문제는 공정의 특성상 해결할 수 없기 때문에 다른 추가적인 후처리 방법으로 해결되어야 한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 현재 시도되는 방법중의 하나가 현재 한국과학기술연구원과 한국기계연구원, 홍익 대학교가 공동으로 개발중인 용접과 절삭 가공을 결합시킨 3D Welding and Milling 공정이다. 금속 단면 적층 시에는 일반 아크용접이나 CO₂ 레이저가 사용되며 절삭공정에는 3축 밀링기가 사용된다. 이 공정에서는 먼저 용접으로 한 층을 적층 한 후 윗면을 밀링 가공하여 높이를 정확히 맞추어준 후 가공된 면 위에 다시 용접하는 작업을 반복하여 최종 시제품에 가장 가까운 형상(near net-shape)을 생성한다. 적층 작업이 종료된 후 제품의 정밀도와 표면 조도를 향상시키기 위하여 추가적인 정삭 가공을 수행하여 준다.

이 방식은 별도의 쾌속조형장비 구입이 필요 없으며 기존에 사용하는 3축 가공기와 용접장치를 결합만 하면 작업을 수행할 수 있기 때문에 다른 쾌속 조형 기술에 비해 매우 경제적이다 할 수 있다. 적층 시 지지대를 생성하지 않기 때문에 2 1/2 형상만을 제작할 수 있으며, 이에 따라 가장 유력한 응용 분야는 사출 성형 금형 인서트 제작이다. Fig. 5 에는 3D Welding and Milling 으로 제작한 팬 금형 인서트가 나타나 있다. 인서트 코어 제작시 사용한 적층 두께는 1mm 이며, 제작에는 후처리 정삭가공을 포함하여 총 4 시간이 소모되었다.

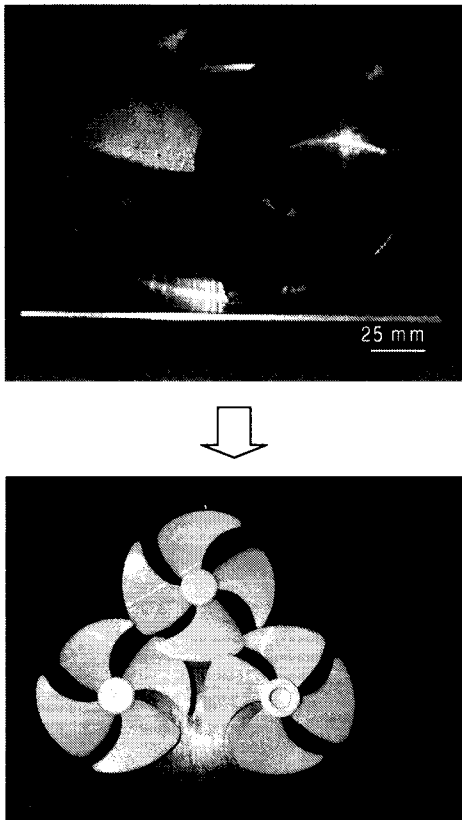


Fig. 5 Fan insert fabricated by 3D Welding and Milling and injected plastic parts

적층식 방법과 절삭 방법을 결합시키면 일반 절삭 방법으로 제작할 수 없는 형상을 제작할 수 있는 이점이 있다. 일반 절삭 가공으로 제작이 불가능한 형상의 예로는 금형 내부의 냉각수 통로를 들 수 있다. 일반적으로 냉각수 통로는 드릴공구로 가공하기 때문에 직선 형태로만 가능하지만 적층식 방식을 사용하면 냉각수 통로를 케비티나 코어 형상에 가장 적합하게 냉각수 통로를 삽입시킬 수 있다. 이와 같은 냉각수 통로는 사출성형 시 냉각을 효율적으로 수행할 수 있어 냉각 시간을 단축시키고 사출 성형 시 불 균일한 온도 분포로 인한 제품의 휨을 최소화시킬 수 있다¹⁰⁾.

5. 결론

새로운 설계 검증 도구로써 각광을 받고 있는

쾌속 조형 기술은 현재 단순한 디자인 검증용 시제품 제작기술에서 금형 조형 기술로 발전해 가고 있다. 금형 제작용 소재 중 금속은 높은 용융온도 때문에 쾌속 금형 조형 기술의 개발은 더욱 어려운 실정이다. 현재 금속을 바인더와 혼합하여 금형 인서트를 제작하는 간접식 방법은 상용화되었으나 후처리에 많은 시간이 소모되며 후처리 작업 시 정밀도가 저하된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 직접 금속 소재를 용융하여 금속 금형 인서트를 제작하는 방법들이 연구되고 있으며, 이 중 일부는 이미 상용화되었다. 현재 한국과학기술연구원에서는 한국기계연구원과 홍익대와 공동으로 적층식 방식과 절삭 가공을 결합한 3D Welding and Milling 공정을 금형 인서트 제작용 및 수정용으로 개발하고 있다.

참고문헌

1. Kruth, J.-P., Leu, M., Nakagawa, T., Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping, Annals of the CIRP, Vol. 47/2, pp. 525-540, 1998.
2. Wohlers, T., Rapid Prototyping and Tooling State of the Industry, 2000.
3. McAlea, K., et al., Materials and applications for the Selective Laser Sintering Process, Proc. 7th Int. Conf. On Rapid Prototyping, pp. 23-33, 1997.
4. Behrendt, U., Shellabear, M., The EOS rapid prototyping concept, Computers in Industry, 28:57-61, 1995.
5. Das, S., et al., Direct Laser Fabrication of a Gas Turbine Engine Component - Microstructure and Properties, Proceedings of Solid Freeform fabrication Symposium, pp. 1-18, 1998.
6. Klocke, F., Clemens, U., An RP network for product development, Prototyping Technology International '97, UK & International Press, UK, pp. 57-60, 1997.
7. Swann, T., Keicher, D., Laser Engineered Net Shaping(LENS) technology Commercialization, Rapid Prototyping and Manufacturing '98, pp. 739-757, 1998.
8. Koenig, W., Celiker, T., Song, Y., Rapid Prototyping of Metallic Parts, Proc. Of the 3rd European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing,

pp. 245-256, 1994.

9. Nakagawa, T., Application of laser beam cutting to manufacturing of forming tools, Proc. LANE'94, pp. 871-882, 1994.
10. Xu, X., Sachs, E., et al., Designing conformal cooling channels for tooling, Proc. of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 131-146, 1998.