

자동 충전 공정을 이용한 쾌속 제작 공정 개발

신보성*, 양동열**, 최두선***, 이응숙***, 황경현***

Development of Rapid Manufacturing Process by Machining with Automatic Filling

B. S. Shin*, D. Y. Yang**, D. S. Choi***, E. S. Lee***, K. H. Whang***

ABSTRACT

In order to reduce the lead-time and cost, recently the technology of rapid prototyping and manufacturing (RPM) has been widely used. Machining process is still considered as one of the effective RPM methods that have been developed and currently available in the industry. It also offers practical advantages such as precision and versatility. Some considerations are still required during the machining process. One of the most important points is fixturing. There should be an effective method of fixturing since the fixturing time depends on the complexity of geometry of the part to be machined.

In this paper, the rapid manufacturing process has been developed combining machining with automatic filling. The proposed fixturing technique using automatic filling can be widely applicable to free surface type of product such as a fan. In the filling stage, remeltable material is chosen for the filling process. An automatic set-up device attachable to the table of the machine has also been developed. The device ensures the quality during a series of machining operations. This proposed process has shown to be a useful method to manufacture the required products with the reduced the response-time and cost.

Key Words : Rapid Prototyping and Manufacturing(RPM, 쾌속 조형 및 제작), Rapid Product Development(쾌속 제품 개발), Machining(절삭 가공), Automatic Filling(자동 충전), Set-up Equipment(셋업 장치)

1. 서론

최근의 각종 산업분야에서는 소비자의 다양한 욕구에 따라 소량의 다양한 제품이 생산되는 한편, 빈번하게 변경되는 소비자의 기호도 및 기능의 개선 등으로 인하여 제품의 사이클은 점점 짧아지고 설계 또한 신속히 이뤄질 필요성이 대두되고 있다. 따라서 제품 개발에 있어서 가장 큰 비중을 차지하는 시작품 모형 제작과 시작 금형 제작을 비롯

하여 최종적으로는 양산 금형 제작의 비용과 시간을 가능한 한 단축하지 않으면 안되게 되었으며, 최근 국내의 경우도 여러 가지의 쾌속 조형을 통한 쾌속 조형 및 제작(RPM, Rapid Prototyping & Manufacturing)기술이 도입되어 활발히 연구가 이루어지고 있다.

현재까지 대부분의 시작품은 고가의 외국산 RP 시스템에 의해서 제작되고 있으나, 본 논문에서는 Fig.1 에서 보는 바와 같이 기존의 전통적인

2001년 2월 26일 접수

* 한국기계연구원, 한국과학기술원 대학원

** 한국과학기술원 기계공학과

*** 한국기계연구원 자동화연구부

절삭과 함께 자동 충전(Automatic Filling) 공정을 이용한 쾌속 시작품 제작 공정을 개발하였다. 절삭 공정은 전통적인 가공 방법 중의 하나로서 가공면의 정밀도가 우수하고 가공시간이 짧으며 가공 방법이 다양하다는 잇점 등이 있다⁽¹⁾. 그러나, 절삭 공정에 의한 복잡한 3 차원 형상을 직접 가공하는 경우 임의 형상에 맞는 치공구(Jig & Fixture) 제작이 필수적으로 요구되며 이를 극복해야만 한다. 즉, 전체 제작 공정시간 중에서 치공구 설치 제작은 가장 시간이 많이 소모되고 자동화 또한 어려운 문제이다.

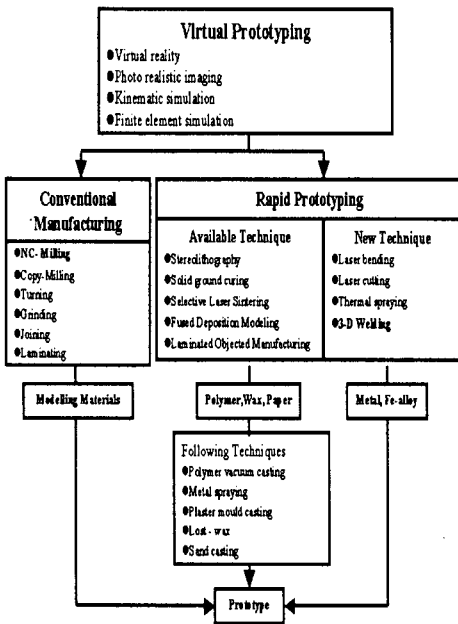


Fig. 1 Virtual prototyping, conventional machining, rapid prototyping and following techniques in manufacturing

미국 MIT 대학의 S. E. Sarma 등이 저융점 금속을 이용한 사출 장치로 금속가공물을 고정하고 일반 밀링 기계를 사용하여 임의의 3 차원 금속 가공물을 제작한 바가 있고⁽²⁾, 일본 이화학연구소(RIKEN)의 I. Takahashi 등이 연구한 고속 가공 기술을 이용한 프라스틱, 핸드폰 케이스의 쾌속 제작한 예 등이 최근 들어 발표되고 있다⁽³⁾. 또한 D. S. Choi 등은 절삭 공정과 용접 공정을 결합한 Hybrid RP 공정을 개발하여 직접적으로 기능성 쾌

속 금속 시작품을 제작한 바가 있다⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

따라서 본 논문에서는 일반적인 기존의 3 축 밀링 장비를 사용하여 절삭가공하고, 알루미늄 재질로 복잡 형상 쾌속 시작품 제작시 치공구를 대신할 자동 충전 공정을 제시한다. 또한 이때 사용된 충전 재료는 저융점 금속 합금(Metal Alloys)을 사용한다.

그리고 상하면을 순차적으로 가공하는 2 단 절삭(Two-Step Machining) 가공에 필수적인 셋업 장치(Set-up Equipment)를 설계 제작하고 이를 가공 테이블에 장착 사용함으로써 가공제품의 가공 위치 정밀도를 보장하도록 한다.

2. 가공 공정의 절차

2.1 2 단 절삭 공정

여기서 2 단 절삭 공정이란 Fig. 2 와 같이 본 연구에서는 임의의 3 차원 제품을 상하면(혹은 상면 배면) 가공 공정에 자동 충전 공정을 추가한 공정을 말한다. 앞서 설명한 바와 같이 이 때의 자동 충전 공정은 임의의 가공면에 대한 치공구 역할을 하게 되어 가공이 획기적으로 단축되어진다.

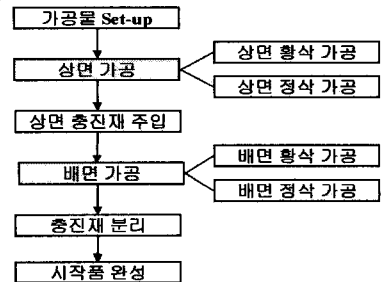


Fig. 2 Two-step machining process

Fig. 3 은 3 차원 형상을 가지는 팬의 가공 예를 보여 주는 2 단 밀링 공정의 예시이다.

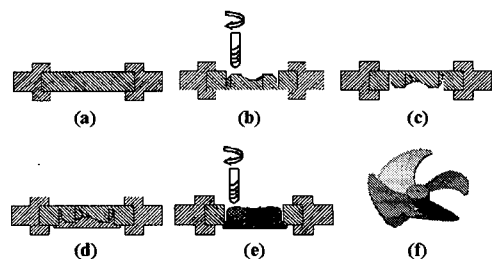


Fig. 3 Process flow for a Fan example

2.2 자동 충전 공정

하면 가공시 상면의 빈 공간을 지지할 목적으로 충전한다. 여러가지 가공 재질에 따라 충전 재료를 선택적으로 사용할 수 있다⁽⁶⁾⁽⁷⁾. 즉, 알루미늄 금속 팬의 경우는 Table 1 과 같이 가능한 열변형 효과를 무시할 수 있는 저융점 금속 합금을 사용한다. Fig. 4 와 같이 본 공정에 사용된 자동 충전 공정은 최대 충전 압력이 1,000kgf 인 인젝트 피스톤에 의해 상면 가공된 가공면의 빈 공간만이 게이트 판(Gate Plate, 최대크기 : 240x240mm²)의 여러 개의 미세 노즐을 통해 자동적으로 선택되어 충전된다. 즉 가공된 부분의 노즐은 열려서 충전재가 흐르게 되고, 가공이 되지 않은 부분은 노즐이 막혀 충전이 되지 않게 된다⁽⁸⁾. 이러한 충전공정에 대한 자세한 논의는 다음 논문에서 자세히 기술할 예정이다.

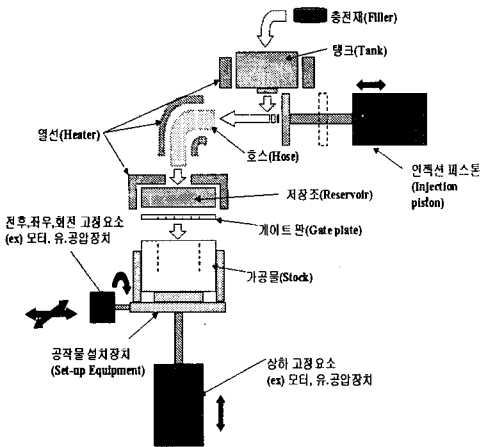


Fig. 4 Block diagram of automatic filling apparatus

Table 1 Material property of filling material

저융점 금속 (Bi-Sn)	밀도 (비중)	8.58 g/cm ³
	경도	23 (Hb)
	인장강도	62.3 MPa
	압축강도	46.7 MPa
	용융점	135 °C

2.3 셋업(Set-up) 공정

절삭 실험 장비로는 본 연구원에서 보유한 일반적인 3 축 밀링 장비(화천기계)를 사용하여 절삭 가공한다. Fig. 5 에서는 본 실험을 위하여 자체

설계 제작하여 이송 테이블에 장착한 셋업장치를 보여준다.

따라서 사용가능한 가공물의 크기는 테이블에 장착된 셋업장치의 크기에만 관계되게 된다. 모든 동작은 공정 순서에 따라 자동적으로 동작되며, 전후 좌우 그리고 상하방향 각각의 고정(Clamp)이 가능하고, 회전축에 따라 공작물은 상면 가공 후 충진을 위해 회전하도록 되어 있으며 이때 가공물의 위치 정밀도가 보장되는 구조를 가지고 있다. 특히 셋업 장치의 기계적 강성은 절삭 가공력에 충분히 견디는 구조로 설계되었다. 가공 재질 또한 본 논문에서는 알루미늄 재질로만 국한되어 사용한다.

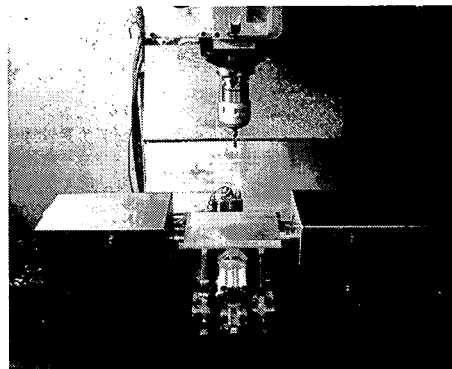


Fig. 5 Set-up equipment

3. 적용 사례

본 공정의 유용성을 입증하기 위하여 임의의 차원 형상을 갖는 팬(Fan)형상 제품을 선택하였다. 저융점 금속 충전 장치와 3 축 밀링 머신을 이용하여 직접적으로 절삭과 충전함으로써 금속 시작품을 제작한다.

이때 총 제작 소요 시간의 단축을 목표로 두 가지 사양의 황, 정삭 가공용 엔드 밀 공구를 사용하여 지그재그(Zig-Zag) 및 Z-레벨(Z-Level) 가공 경로의 조합으로 가공한다⁽⁹⁾. 이 때 가공물의 중간면을 이등분한 상면을 1 차적으로 먼저 가공한 후, 충전재로 채운 다음 하면 가공을 순차적으로 수행함으로써 시작품을 제작하는 방식의 2 단식 공정을 선택한다. 즉 상면가공과 하면가공이 각각 독립적인 CAM 프로그램에 의해 가공 절차를 분리하여 수행한다. Table 2 에서는 가공한 실험장비 제원, 가공공구, 가공 조건 및 총 가공시간을 보여

준다. 이때 가공 기준면이 유지되기 위해서 앞에서 설명한 셋업장치가 이용되었다. Fig. 6 과 7 에서와 같이 가공물을 밀링 머신의 테이블위에 셋업 장치를 고정하고 상면,하면 순차적으로 가공과 충전한 다음 최종 팬 제품을 완성한다.

Table 2 Process specifications

시스템	Hi-Super 2X	3 축 NC 밀링기계 최대주축회전수 : 4,500rpm
공구	블 엔드밀 황삭/정삭	초경합금 직경 6.0 mm/3.0mm , 2 날형
조건	황삭/정삭	Spindle : 2,500/2,500 (rpm) Feed : 250/400 (mm/min)
가공 시간	황삭/정삭	130(min)/130(min) : 총 260(min)

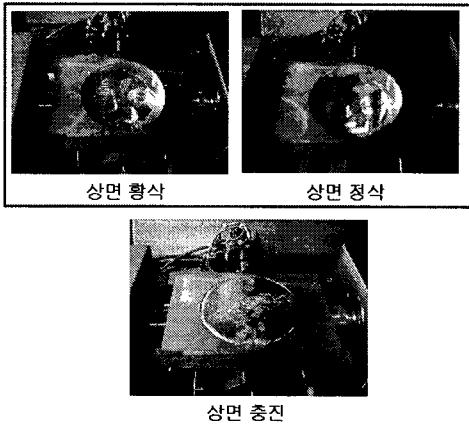


Fig. 6 Finished shape after milling and filling of the upper-face

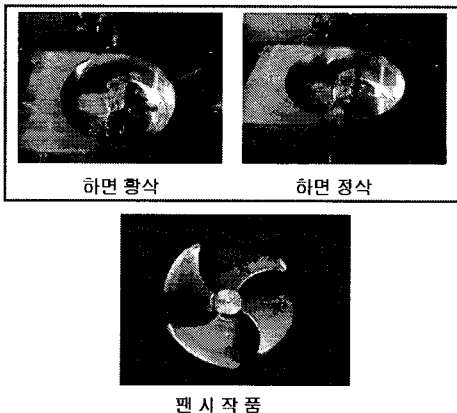


Fig. 7 Finished shape after milling of the lower-face and final Fan

4. 결론

본 논문을 통하여 금속 팬과 같은 임의의 3 차원 금속 시제품을 대상으로 직접 밀링 가공과 충전공정을 이용하여 빠른시간내에 특별한 치공구없이 제작 가능한 기법을 제시하고 이의 유용성을 실험적으로 규명하였다.

이러한 시작품 제작 방식이 다른 RP 장비 보다 실 소요 시간 측면에서 획기적이고 장비 가격 또한 매우 저렴하였다. 즉 본 논문에서 제시한 방식으로도 각종 형상의 금속 시제품 제작함에 있어서, 기존의 밀링 기계와 가공재질에 따른 적절한 충전재 선택 및 셋업 장치만으로도 금속 쾌속 시제품을 제작 가능하다.

현재 상용화된 SLS, LENS 와 같은 금속 분말을 이용한 금속 시제품 제작 RP 장비에 비하면 본 연구에서 제안한 장비 가격은 10% 정도로 월등히 저렴할 뿐만 아니라 제작시간 또한 10% 이내로 매우 짧다. 또한, 저용점 충전재 가격은 1kg 당 20,000 원 정도로 비싼 편이나 이 또한 재활용이 가능하기 때문에 경제적인 잇점이 있다 할 수 있다.

그러나 이러한 공정은 기본적으로 3 축 절삭공정을 이용하기 때문에 제작 형상의 한계가 아직 많이 남아있다. 예를 들면 내부에 구멍이 있는 냉각 채널(Cooling Channel)과 같은 제품은 직접 제작이 어려운 한계가 있다.

그리고 본 논문의 결과를 바탕으로 향후 보다 복잡한 형상의 3 차원 시작품 쾌속 제작을 효율적으로 처리할 수 있는 다기능성 자동 셋업장치의 개발이 필요하다. 또한 절삭 공정의 고속화, 자동 충전 장치의 최적화 및 가공 소재의 다양화 등에 대한 추가 연구가 진행될 예정이다.

참고문헌

1. E. W. Kreutz, G. Backes, A. Gasser and K. Wissenbach., "Rapid prototyping with CO2 laser radiation," Applied Surface Science, Volume 86, Issues 1-4, pp. 310-316, February 1995.
2. B.S. Shin, D.S. Choi, D.Y. Yang, S.H. Lee, K.K. Yoon, K.H. Whang, S.E. Sarma, E. Lee, "Rapid Prototyping System Using Universal Automated Fixturing Technology," 8th European Conference on RP, May 2000.
3. Ichiro Takahashi, Masahiro Anzai, Makito Arai, "Applications of ultra high speed milling to rapid

- fabrication of 3D products,” the 8th International Conference on RP, pp. 469-474, June 2000.
4. 최두선, 이수홍, 신보성, 윤경구, 황경현, 박진용, “레이저 용접공정과 밀링공정에 의한 쾌속 금속 시작품,” 한국 정밀 공학회지 제 18 권 제 1 호, pp. 104-110, 2000 년 1 월.
 5. Yong-Ak, Sehyung Park, Heaseong Jee, Doosun Choi, Bosung Shin, “3D welding and milling,” Solid Freeform Fabrication Proceedings, pp. 793-800, August 1999.
 6. 신보성, 최두선, 강재훈, 이찬홍, 이종현, “절삭 가공에 의한 쾌속 시작품 제작 기술,” 한국 정밀 공학회 추계 학술 대회, pp. 918-921, 1999.
 7. 신보성, 최두선, 이응숙, 이동주, 이종현, “절삭 가공에 의한 금속 쾌속 시작품 제작기술,” 한국 정밀 공학회 춘계 학술 대회, pp. 759-762, 2000.
 8. 절삭과 충전공정을 이용한 3 차원 제품의 쾌속 제조방법 및 제조장치, 특허 출원번호 10-2000-0062849, 2000.
 9. 이종현, 이동주, 신보성, 최두선, 이응숙, 이득우, 김석원, “고속 가공을 이용한 자동차부품 시작 금형 가공,” 한국공작기계학회 추계학술 대회 논문집, pp. 355-360, 2000.