

마이크로 가공시스템을 위한 언로딩 매니플레이터 개발

윤덕원*, 신동익⁺, 김진호⁺, 한창수⁺⁺, 이낙규⁺⁺⁺, 이해진⁺⁺⁺, 류영선⁺⁺⁺

(논문접수일 2007. 6. 26, 심사완료일 2007. 8. 30)

Development of an unloading manipulator for micro manufacturing system

Deok-won Yun*, Dong-ik Shin⁺, Jin-ho Kim⁺, Chang-soo Han⁺⁺,
Nak-kyu Lee⁺⁺⁺, Hye-jin Lee⁺⁺⁺, Young-sun Ryuh⁺⁺⁺

Abstract

In this paper we present a 3-DOF manipulator of which task is to unload the product from a micro factory. The micro factory developed by KITECH presses sheet metal to produce a micro valve that is used for micro pump. Our research is focused on the development of a small-sized unloading manipulator which works in the narrow workspace between the dies. We have implemented pick-and-place task with vacuum pressure and 3-DOF motion with stepping motors. We present the design procedures and analysis required in each module.

Key Words : micro factory, unloading manipulator, micro press system, micro valve, task analysis

1. 서론

MEMS(Micro Electrical Mechanical System) 기술의 발달로 인하여 초소형, 고기능성의 가속도계, 마이크로 펌프, 압력 센서, 가스 감지 센서 등의 제품들이 개발되고 있다. 이러한 제품들이 원활한 그 기능을 수행하고 높은 신뢰성을 유지하기 위하여 이를 가공 생산하는 기술이 발전되어 졌다. 초기에는 주로 실리콘 웨이퍼를 이용한 마이크로 머시닝 기술이 발달하였는데, 이는 소형의 부품을 대량생산 할 수 있

는 장점이 있는 반면에 주로 3차원 형태의 구조물이 아닌박막 형태의 구조물 밖에 제작할 없다는 치명적 한계가 있다. 또한 앞서 예를 든 제품의 경우 실제 효율성이 있는 부품의 크기가 수 mm에서부터 수백 μm 이므로, 웨이퍼 공정으로 제작하기에는 효율이 떨어진다. 이러한 배경으로 비교적 큰 크기의 마이크로 제품 생산이 가능한 가공기술의 필요성이 대두되고 있다.

이러한 필요성에 의해 한국과 미국, 일본, 유럽 등에서 마이크로/메소 생산시스템(micro/meso-scale mechanical

* 한양대학교대학원 기계공학 (enoch@hanyang.ac.kr)
주소: 425-791 경기도 안산시 상록구 사 1동 한양대학교 공학대학 기계공학과
+ 한양대학교 대학원 기계공학과
++ 한양대학교 기계공학과
+++ 한국생산기술연구원

manufacturing system)이나 마이크로 팩토리(micro factory)와 같은 초소형, 초정밀 생산 시스템이 연구 개발되고 있다⁽¹⁾. 초소형, 초정밀 생산 시스템은 마이크로 선반, 마이크로 밀링머신, 마이크로 프레스, 마이크로 방전가공 등이 있으며 기존 기계가공의 개념을 도입하였다. 이러한 생산 시스템으로 크기가 수 mm에서 수백 μm 크기의 시편을 가공할 수 있으며 가공 정밀도는 수 μm 에서 수백 nm를 달성 하였다.

마이크로 생산 시스템의 가공품이나 가공물의 특성상 가공 장비에 부품을 투입하고 가공이 끝난 부품을 언로딩하는 것을 사람의 손으로 직접 수행하기에는 시편의 크기가 너무 작고 취급의 어려움이 있어 이러한 역할을 수행해야 하는 매니플레이터가 필요하다. 부품을 조작하는 매니플레이터는 가공 대상물과 가공품에 적절하게 설계 되어야 하며 요구되는 성능 또한 가공 대상물과 가공품에 맞게 설계되어야 한다.

본 연구에서는 최근에 연구되어지고 있는 마이크로 펌프의 마이크로 밸브를 생산하게 되는 마이크로 프레스에 적합한 언로딩 매니플레이터를 개발 하였다. 마이크로 프레스는 수 μm 에서 수십 μm 두께의 알루미늄 박막이나 스테인리스 박막을 펀칭하는 장비 이므로 이에 적절한 설계를 위하여 가공 장비에 대한 작업분석과 가공시편에 대한 분석을 수행 하였으며 이러한 분석을 통한 매니플레이터를 설계하였다. 개발되어진 매니플레이터를 마이크로 프레스에 장착하여 마이크로 생산 시스템에 적용하였다.

2. 작업 분석

2.1 마이크로 밸브

Fig. 1의 (a) 마이크로 프레스에서 생산 되어질 마이크로 펌프의 밸브이다. 밸브의 크기는 가로 19mm 세로 3mm 두께 50 μm 이며 박막의 재료는 스테인리스이다. 가공이 되기 전 원재료로 쓰이는 스테인리스 박막의 크기는 두께 50 μm 이며 폭

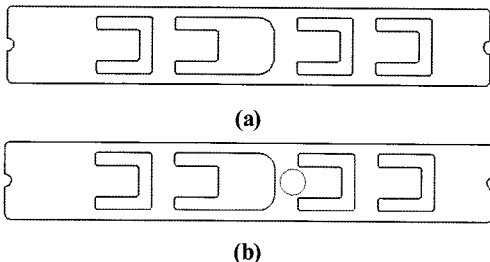


Fig. 1 Micro valve

12.7mm 길이는 약 1m의 재료가 프레스에 공급이 된다.

시편을 토출할 장치는 금형간 간격이 좁고 시편의 두께가 얇은 박막이므로 기구적으로 집어 올리는 그리퍼를 사용하는 것 보다 진공을 이용한 흡착판이 적절하다. 박막을 흡착할 흡착공의 크기는 시편의 특성상 직경 1mm의 원형이며 이의 위치는 원의 중심이 시편의 좌측면 기준으로 가로 11.2mm 세로 1.5mm에 위치하는 것이 적절하며 이는 Fig. 1의 (b)와 같다. 시편의 무게는 약 16.38mg이며 흡착 부위의 위치가 무게중심에서 약 1.82mm 벗어난 곳에 위치하게 된다.

2.2 작업 환경

마이크로 프레스에 재료를 언로딩하는 매니플레이터의 동작은 다음과 같다. 재료를 로딩 하는 매니플레이터에서 마이크로 프레스에 박막이 공급되어 지면 프레스에서 펀칭을 수행한다. 펀칭이 끝나고 나면 시편을 언로딩하는 매니플레이터에서 펀칭 금형 가운데의 가공된 박막을 토출하여 다음 공정을 위한 팔레트에 옮겨놓게 된다. 그 후에 다음 펀칭 작업을 위해 롤러에 의해 재료를 이송하고 펀칭 공정을 수행할 때까지 대기하게 된다.

마이크로 생산 시스템의 레이아웃은 Fig. 2과 같다. 560×600mm 크기의 베이스에 260×340mm 크기의 프레스가 뒤쪽 벽면에 밀착되어 가운데 놓여 있다. 프레스 금형은 □80mm 크기로 프레스 중간에서 앞쪽으로 다소 치우친 위치(프레스 전면에서 금형 중심까지 거리 100mm)에 놓여 있는데, 금형이 존재하는 위치는 프레스 바닥에서부터 약 95~100mm인데, 이 차이는 하부 금형의 형상에 따라 변동이 발생할 수 있음을 말한다. 상부와 하부 금형의 틈이 5~10mm 정도로 매우 협소하므로 언로딩 매니플레이터의 팔(arm)의

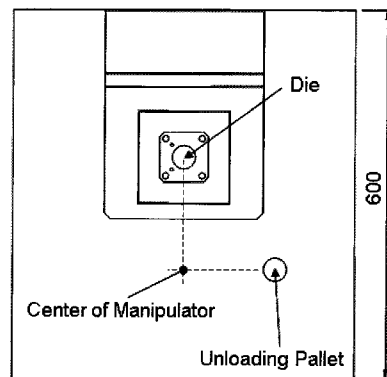


Fig. 2 Layout of micro factory(top view)

하였다.

$$P = (F_g + F_f)v \quad (1)$$

여기서 v 는 각 축의 속력을 나타낸다. 중력의 영향을 받는 축은 Z 축 밖에 없으며, 마찰력은 선형적으로 정량화하기 어려워 실제 축을 구성한 후 실험적으로 결정하였다.

3.3 공압 설계

매니플레이터 팔(arm)의 끝단 50mm는 바깥 지름 2mm, 안 지름 1mm의 중공 샤프트(hollow shaft)로 구현하여서 5mm라는 작업 공간에서 물어서 들어올리기 위한 1mm의 Z-축 운동을 가능하게 할 뿐만 아니라 공압 배관의 역할을 하도록 하였다. 엔드 이펙터(end effector)는 $3 \times 3 \times 3\text{mm}^3$ 정육면체에 지름 1mm의 원형 구멍이 뚫어 공압 배관이 90도 꺾이도록 하고 시편과의 접촉 면적을 넓혔다.

암의 단면적이 그 길이에 매우 작은 캔틸레버(cantilever) 형태이므로 (Fig. 5), 처짐에 대한 해석을 하였다.

$$\delta = \delta_w + \delta_p = \frac{wL^4}{8EI} + \frac{PL^3}{3EI} \quad (2)$$

계산 결과는 $\delta = 0.2\mu\text{m}$ 로서 Z-축 정밀도 0.01mm에 비해 무시할 수 있었다.

진공 발생기는 이젝터(ejector) 형태의 사용품 중에서 선정하였으며, 0.4~0.5MPa 공급압(feed pressure)에서 진공압 -90kPa은 쉽게 구현할 수 있다.

흡착에 필요한 압력은 무게중심에서 벗어난 위치를 흡착하는 모멘트를 고려하여 최소 약 255.6Pa이 되므로 누설(leakage)이나 충격 따위의 외란을 고려하더라도 90kPa은 충분한 압력이 된다. 오히려 압력이 너무 높아서 매우 얇은 시편의 소성 변형을 일으키지 않을지를 고려해야 한다. 이를 위해 유한요소해석 소프트웨어를 이용하였다. Fig. 6은 진공압 90kPa이 지름 1mm 원형 홀을 통해 작용할 때 폰미세스(Von Mises) 응력 분포를 나타낸 것이다. 최대 응력은 2.27MPa로

서 폰 미세스에 의한 스테인레스강의 항복 강도(yield strength)인 176MPa보다 충분히 낮음을 확인하였다.

파괴압(blow pressure) p 와 파괴유량(blow flow rate) Q 는 서로 상관관계가 있는데, 진공기(밸브)에서 노즐 팁까지의 부피 V 를 산출하여 식 (3)에 따라 적절한 양수 ϵ 과 밸브 오픈 시간 Δt 를 결정하면 된다.

$$V = pQ\Delta t - \epsilon \quad (3)$$

p 와 Q 가 높으면 빠른 응답을 기대할 수 있는 반면에 오차에 민감하여 릴리즈 시 부품이 날릴 수 있으므로, 실험적으로 결정할 필요가 있다.

3.4 제작 및 실험

박막소재의 토출을 위한 매니플레이터에 대해 고찰하고 설계하여 제작하였다. 설계 되어진 매니플레이터는 Fig. 7이며 제작 하여 마이크로 프레스에 장착된 매니플레이터는 Fig. 8과 같다. 매니플레이터의 구동은 독립형 형태의 마이크로프로세서가 담당을 하며 마이크로프로세서의 역할은 매니플레이터의 위치 제어와 구동 시퀀스의 동작, 마이크로 프레스와의 통신등을 담당한다. 제작되어진 매니플레이터의 실제 동작과 실험을 수행 하였다.

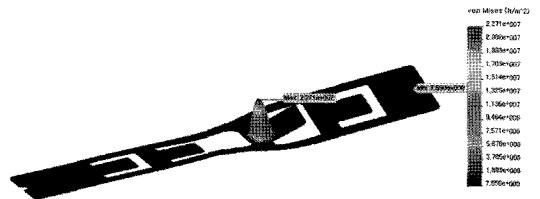


Fig. 6 Result of FEM analysis

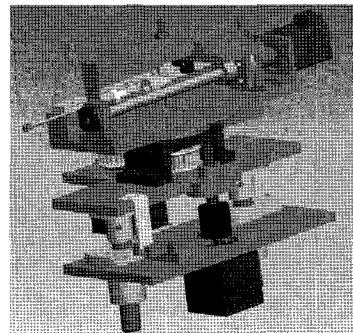


Fig. 7 Designed system

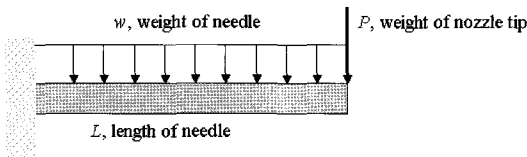


Fig. 5 Deflection model for needle arm

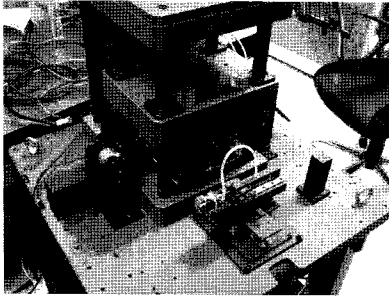


Fig. 8 Assembled manipulator

Fig. 9는 실험한 결과를 정리한 사진이다. 먼저 (a)는 프레스 동작중이나 유휴상태의 언로딩 매니플레이터의 위치이다. 이 상태는 프레스 동작과 외부의 로봇동작에 영향을 미치지 않는 상태로 설정이 가능하다. (b)는 매니플레이터가 가공이 끝난 소재를 토출하기 위해 접근한 사진이다. (c)는 언로딩 해야 하는 위치에 매니플레이터가 접근하여 소재를 언로딩 하며 (d)는 다시 유휴상태로 복귀한 그림이다. 이와 같은 위치들은 마이크로프로세서에서 설정이 가능하다.

4. 결론

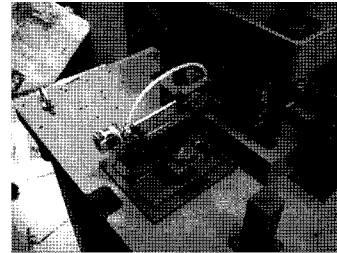
본 연구는 마이크로 프레스의 가공물인 박막소재의 토출을 위한 매니플레이터에 대해 고찰하고 설계하며 제작하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 마이크로 밸브와 작업환경에 대해 분석함으로써 특정한 시스템에 최적화 되도록 설계 사양을 결정하였다. 제안되어진 매니플레이터의 기구적 결합은 PRP형이며 각 축별로 최소 분해능을 결정하였으며 모터로 기구를 구동함에 있어서 필요한 모터의 출력을 계산하였다.
- (2) 시편의 적절한 토출 작업을 위해 시편에 대한 분석을 수행 하였다. 토출해야 하는 시편은 두께가 얇은 박막이므로 진공을 이용하여 토출하도록 설계하였으며 이에 생성 가능한 최대 압력을 설정한 후 FEM해석을 통하여 시편에 작용하는 최대 응력을 계산하여 항복강도와 비교함으로써 설계압력이 적절함을 판단하였다.

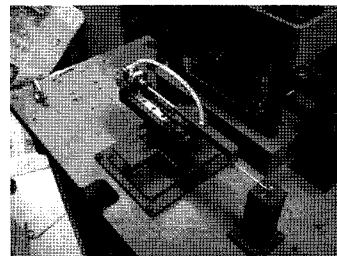
제작되어진 매니플레이터를 마이크로프레스 시스템에 장착하여 구동 작업을 수행 하였고 다른 마이크로 팩토리 장비와 시스템 통합에 성공하여 마이크로 펌프를 제작하는 공정에 적용되어졌다.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 9 Operation diagram of unloading manipulator

후기

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 차세대 신기술 개발 사업 중 차세대 지능형 마이크로팩토리 기술개발 사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) Park, J. S., 2002, "Technical report of Micro Factory", *KISTI Technical, Trend Report*, Vol. 1, pp 1~27.
- (2) Islam, A., 2004, *Literature Survey Report On Microfactory, IPL, DTU*, pp. 1~52.
- (3) Okazaki, Y., Mishima, N. and Ashida, K., 2004, "Microfactory-Concept, History and Development", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 126, No. 4, pp. 837~844.
- (4) Verretas, I., Clavel, R. and Codourey, A., 2003, "Microfactory: Desktop Clean rooms for the Production of Microsystems", *Proceedings of the 5th IEEE, International Symposium on Assembly and Task Planning*, Vol. 10-11, pp. 18~23.
- (5) Park, J. S., Bae, Y. M. and Park, J. H., 2003, "Research trends of microfactory in some countries and measurement for Korea", *Journal of technical innovation special issue*, Vol. 12, pp. 429~ 446.
- (6) Yun, D. W., Shin, D. I., Kim, J. H., Han, C. S., Lee, N. K. and Lee, H. J., 2007, "Development of a loading-unloading manipulator for micro manufacturing system", *Proceedings of KSMTE spring conference*, Vol. 1, 263~267.
- (7) Park, J. K. and Lee, D. W., 2004, "Micro-factory ; Next generation manufacturing system", *KSMTE*, Vol. 13, No. 1, pp. 18~24.
- (8) Lee, N. K., Choi, T. H., Lee, H. J., Choi, S. O., Park, H. J. and La, W. K., 2005, "Development of micro metal forming manufacturing system", *Proceeding of KSMTE spring conference*, Vol. 1, pp. 383~388.
- (9) Lee, C. W., Song, J. Y. and Ha, T. H., 2007, "Control platform design of micro factory for micro pump", *Proceeding of KSMTE spring conference*, Vol. 1, pp. 273~279.