

정전기 방식을 이용한 박판 적층형 쾌속조형장비를 위한 접착 시스템 설계

김강연*, 박정욱, 이관행 (광주과학기술원 기전공학과)

Design of a new gluing system for the Freeform Master I –a desktop RP machine based on a new sheet lamination process

K. Y. Kim*, Jung. Wook. Park and Kwan. H. Lee (Department of Mechatronics, K-JIST)

ABSTRACT

This study focuses on designing a new gluing system for the FM-I (Freeform Master I), which is a new rapid prototyping machine using a sheet lamination technique. To design the system, we firstly verify the required parameters of the proposed gluing system. Then we analyze the electro-magnetic system by using ANSYS and the mechanical system by using numerical methods. The gluing system can contribute to reduce the cost of the machine since it can be applied to low cost materials such as a plain paper.

Key Words : Rapid prototyping , solenoid valve, gluing system,

1. 서론

3 차원 조형 기술(Rapid Prototyping process : 이하 RP)이란 CAD 모델 정보를 이용하여 한 층씩 차례로 재료를 적층하여 실제 파트 형상을 만들어내는 일련의 기술로 정의할 수 있다. 기존의 다른 제조 방법에 비해 빠른 시간에 시작품을 제작이 가능하여 제품개발 기간을 크게 단축시키는 장점이 있으나 장비가 고가라는 점과 가공비용이 많이 든다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고 컴퓨터 주변 장치인 프린터처럼 개인용 쾌속 장비화 하고자 적층형 쾌속조형 장비인 FM-I 이 제시 되었다[1].

아래에 FM-I 은 박판재료(종이)를 낱장 공급하는 공급부, 절단과 접착제를 뿌려주기 위해 X-Y 스테이지(stage)까지 이동시켜주는 이송부, 절단-분사부 그리고 적층부 이렇게 네 개의 모듈로 구성되어져 있다. (그림 1).

Freeform Master I 의 제작 공정은 다음 순서를 따라 진행된다. 공급 위치에 있는 박판 재료 중에 한 장을 정전판에 흡착하여 가공위치로 이송한다. 이송된 박판 재료를 커터로 아래에서부터 위로 절단하고 이전에 적층된 재료 위에 위로부터 접착제를 도포한다. 그리고 접착제가 도포된 박판 재료를 아래에서 위로 적층부를 이송하여 압착 후, 적층부는

초기 위치로 복귀한다. 전체 제품이 완성될 때까지 이러한 과정을 반복 수행한다.

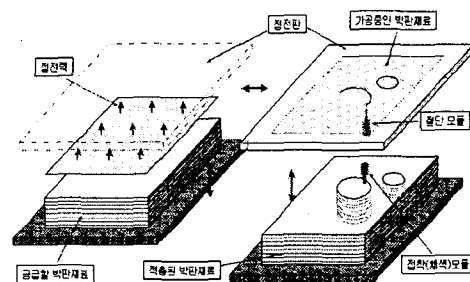


그림 1 FM-I 의 공정 개략도

이러한 적층형의 조형방식이란 특성에 의해 조형 파트의 품질 향상을 위해서는 종이 적층에 사용되는 접착제 분사량의 미세 조적이 요구된다.

본 논문에서는 개인용 쾌속조형 장비의 개념을 보여준 FM-I 의 접착제 분사 시스템을 제안하고 효율성을 높이기 위한 연구로 수행하였다. 이로써 상용 적층 재료와 상용화된 접착제를 사용할 수 있는 시스템 개발에 있다.

2. 접착 시스템 전체 개념 설계

본 연구에서 사용된 피착재로 종이를 사용하였다. 표면에 많은 다공을 지니고 있어서 액체 및 습기를 쉽게 흡수한다. 또한 흡수된 액체에 의해 대해 뒤 틀림, 수축 및 팽창과 같은 변형이 쉽게 발생한다. 본 연구처럼 연속된 작업을 하고 연속된 작업에 대한 반복정도가 필요한 경우 재료의 변형은 중요한 문제가 된다. 가공과정에서 이러한 문제점을 내포한 부분이 접착 하는 과정이기 때문에 접착제 선정이 중요하다. 그러므로 종이 가 쉽게 흡수하지 않거나 흡수하더라도 변형이 적고, 접착력이 우수한 접착제를 선정하여야 한다. 또한 접착제 미소량 분사가 용이 해야 한다. 이러한 특징을 만족하는 상용화된 접착제로서 본 연구에서는 스프레이 타입의 스티렌 부타디엔(SBR) 접착제¹를 사용하였다.

접착 시스템의 기본 구성은 스프레이형 접착제와 분사제어를 위한 밸브와 노즐 그리고 접착제와 밸브를 연결한 관으로 이루어 졌다. 개념 설계에서는 요구되어지는 유량 ($V_{desired}$, Volume) 과 분사되어지는 유량의 속도 (Q , Volume flow) 를 계산하여, 요구 되어지는 밸브의 개폐시간(ΔT , Switching Time) 을 구할 것이다.

$$V_{desired} = Q\Delta T \quad (1)$$

2.1 Desired resolution 결정

요구 되어지는 성능을 정량적으로 표현하기 위하여 다음과 같이 4 가지의 요소를 정의 한다.

- Glue 비율(이하 : Glue%) :** 주어진 접착제는 이전에 언급한 바와 같이 스프레이 압력을 주기 위한 LPG gas(31%)와 접착 고형 물질인 SBR(26%) 그리고 접착제가 굳는 것을 방지 하고 잘 섞이기 위한 용제(이소hex산 28% & 시물로hex산 15%)로 구성되어져 있다. 용제는 휘발성이 강하여 대기중에 노출이 되면 휘발된다. 여기서 Glue%는 접착제의 부피 대 고형물질의 부피비를 말한다.
- Jetted Area :** 접착제가 노즐을 통하여 종이에 분사되어진 넓이를 말하여, 분사되어진 형태는 원으로 가정한다. 그리고 그 지름은 D_{JA} 로 표기한다. ($JettedArea = \pi D_{JA}^2 / 4$)
- Jetted Depth :** 접착제가 종이에 분사되어져 도포된 두께를 말한다.
- Density Factor :** 노즐을 통과하기 직전의 액체

상태의 넓이(노즐의 넓이) 대 종이에 분사되어진 넓이 비를 말한다.

그림 2 는 노즐을 통과하여 분사되어지는 형태를 개략화 하여 그린 것이다. Jetted Area 와 Density Factor 는 퍼져나가는 접착제의 각도(θ)와 노즐과 종이 사이의 거리 (L) 에 관계된다.

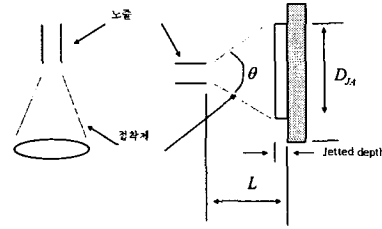


그림 2 분사되어진 접착제 형태의 개략도

그러면 노즐을 통과하기 직전의 액체 상태의 접착제 부피(V)는 다음과 같다.

$$V = \frac{V}{glue\%} \times JettedArea \times JettedDepth \times DensityFactor \quad (2)$$

여기서, 사용되어진 접착제의 glue%는 0.65 이고, Jetted Depth 는 0.01 mm 으로 선택하였다. Jetted Depth 의 수치는 손으로 이상적으로 뿌려 졌을 때 측정 한 값이다. Jetted Area 는 한층 가공시간(60 sec)을 고려 하여 0.1964 Cm^2 ($D_{JA} = 0.5 Cm$)으로 설정하였고, Density Factor 는 0.0064 이다.

따라서, 요구되어지는 접착제 부피는 식 (2)에 의해 다음과 같다.

$$V_{desired} = \vec{V}_{out} \times A_{nozzle} = 0.19 \times 10^{-4} ml \quad (3)$$

여기서 \vec{V}_{out} 는 접착제가 밸브를 지나기 직전 노즐에서 액체상태 일 때 속도이고, A_{nozzle} 는 노즐의 넓이 이다.

2.2 유체속도

그림 3 은 접착시스템의 개략도 이다. 접착시스템 은 상용 스프레이 접착제 부분(B)과 첨가된 관, 밸브, 노즐 부위(C)로 이루어져 있다. 접착 유체는 고형물질과 용제 그리고 LPG 가스로 이루어져 있다.

¹ 3M사의 77 스티렌 부타디엔(SBR) 접착제 또는 Super 77spray adhesive. 본 연구에서 고려된 접착제는 다양하지만, 상용화되어 있고 본 연구 목적에 맞는 접착제로 SBR 접착제를 사용하였다. 접착제의 특성은 appendix F에 첨가하였다.

² 실험적으로 θ 는 대략 30° 이고, L은 4.3 Cm 으로 설정하였다.

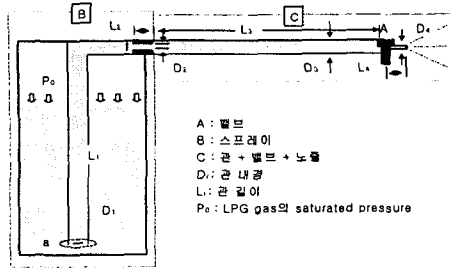


그림 3 전체 개략도

다음과 같은 가정 하에 예상되어지는 노즐 직전에서 정상상태의 접촉제 분사속도 V_4 는 다음과 같다[2].

assumption

1. 유체는 고형물질과 용제가 완벽히 섞여있어서, 단일유체로 간주한다.
2. 관의 굽음등의 Minor Loss 는 무시한다.

$$V_4 = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 + \alpha\gamma}}{\alpha} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{D_1^4}{4D_2^4} + \frac{21}{100} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right) \frac{D_1^4}{D_2^4} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)^2 \left(\frac{D_1^4}{D_2^4}\right) + \frac{21}{100} \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right)$$

$$\beta = 32 \mu \left(\sum_1^3 \frac{L_i D_i^2}{D_1^5} + \frac{L_4}{D_1^5} \right)$$

$$\gamma = \frac{P_0 - P_{atm}}{\rho}$$

스프레이의 내부 압력 P_0 은 접촉제를 80% 사용까지 500 Kpa ~ 300 Kpa 이다. 노즐의 내경 D_1 은 실험적으로 접촉제 분사입자가 미세 분사되는 0.2 mm 으로 정하였다. 예측되는 최고 분사유량은 ($P_0 = 500$ Kpa , $D_1 = 0.4$ mm 일때) 1.49×10^{-4} ml/sec 이고, 식(1)과 (3)에 의해 요구되어지는 밸브 개폐 최소 시간(ΔT , switching)은 0.13 sec 이다.

3. 밸브 설계

접착제 분사를 위해 밸브 구동 방법으로 솔레노이드 타입을 선정하였다. 솔레노이드 밸브는 구조가 간단하고 경제적이며 고속 응답성이 가능하기 때문이다.

3.1 솔레노이드 밸브 구조

그림 은 기본적인 솔레노이드 밸브 단면도이다. 솔레노이드는 내부코일에 전류가 인가되면 자속 경로를 만들어 주는 케이스와 코어 그리고 자기력을

받아서 움직이는 플런저로 이루어져 있다. 1 차적인 기본적인 형상은 플런저의 변위가 0.2 mm 일때, magnetic static 해석으로 trial error 방법으로 자기력이 좋은 값이 나온 것을 선택하였다.

3.2 밸브 성능 해석

고속응답 솔레노이드 밸브는 정확한 구동을 모사하기 위해서는 빠른 자화와 와전류(eddy current)와 같은 동적 효과를 고려한 시변계 유한 요소 해석을 해야 하지만 솔레노이드 작동 미커니즘이 전기, 자기, 기계시스템으로 이루어져 해석이 용이하지 않다. 본 논문에서는 기존 연구된 데이터를 바탕으로 다음과 같은 근사 방법으로 밸브를 설계한다[3,4].

1. 대상 유체가 고점도 이므로 유체 반력을 고려하지 않고, 유체를 고려하지 않는 상태에서 밸브 성능을 50Hz 이상의 성능을 목표로 한다[6].
2. 플런저에 가해지는 자기력은 플런저와 코어가 가까울수록 크기 때문에 코어와 플런저의 거리 0.1 mm일때의 자기력을 기준으로 성능을 판단한다. (Low boundary를 준다.)

3.2.1 전자기 해석

그림 4 는 유한 요소 해석을 위해 솔레노이드 단면을 622 개의 노드와 1136 개의 요소로 이루어진 격자 모델이다.

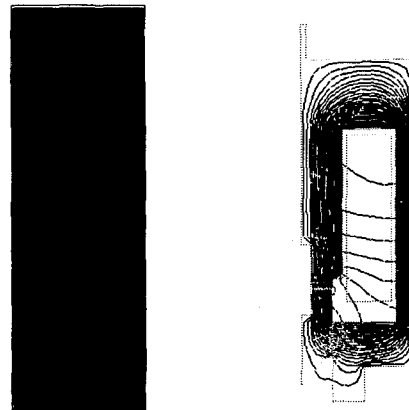


그림 4 전자기 해석 : (좌) 격자 요소, (우) flux flow at $t=0.004$ sec

3.2.2 기계적 거동 모델링

플런저의 거동은 그림의 동적 모델과 같이 z축에 대한 1자유도계 운동 방정식으로 모델링 하였다. K_2 ,

C_2, K_3, C_3 는 금속 충돌을 모사하기위한 등가 강성, 등가 댐핑 이다.

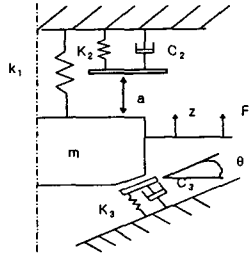


그림 5 운동 모델

그러면 운동방정식은 식 (5)와 같고, Runge-kutta 4th order algorithm 으로 계산하였다[5,7]

$$m\ddot{z} + (c_2 + c_3 \cos\theta)\dot{z} + (k_1 + k_2 + k_3 \cos\theta)z = F - k_1 z_0 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{단, } z < 0 & : k_2 = c_2 = 0 \\ 0 \leq z \leq a & : k_2 = k_3 = c_2 = c_3 = 0 \\ z > a & : k_3 = c_3 = 0 \end{aligned}$$

3.3 해석 결과

그림 6 은 70 Hz 클럭 15 Volt 를 가하였을 때, 코어와 플런저 거리가 0.12 mm 로 고정된 상태에서의 자기력을 나타낸 것이고, 그림 7 은 이 힘을 기준으로 하였을 때의 플런저의 운동을 그린 것이다.

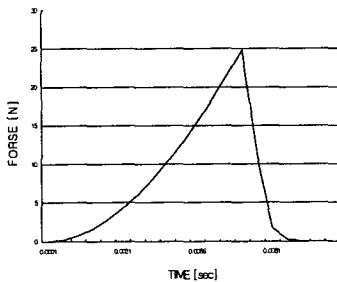


그림 6 Magnetic force

그림 6 에서 자기화가 포화 상태가 되지 않았음을 알 수 있다. 높은 자기력과 제작이 용이한 기계가 공을 위해 밸브 전체 크기가 외경 27 mm, 길이 50 mm 으로 설계했기 때문에 자화되는 시간이 걸리기 때문으로 생각 되어 진다. 그림 7 에서 유체 반력을 고려하지 않았기 때문에 플런저 와 코어사이의 충돌 후에 바운드 현상이 나타났다. 하지만 대상 유체가 높은 점성이므로 바운드 현상이 나타나지 않을 것으로 예상된다.

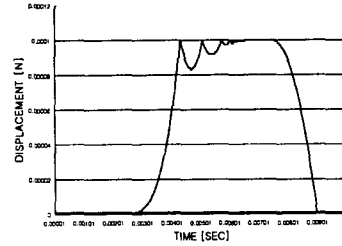


그림 7 Plunger motion

4. 결론과 향후 연구

본 논문에서는 개인용 접착 시스템 개발을 위하여 접근 방법을 제시 하였다.

1. 기초 실험을 통하여 적합한 접착 시스템 선정
2. 시스템에 요구되는 거시적 성능 분석
3. 기존 연구 데이터와 근사적 해석을 통한 시스템 상세 설계

본 연구는 앞에서 제시된 설계에 따라 제작 실험 단계에 있다. 좀 더 정밀한 분사를 위하여서는 분사 형태에 대한 실험과 분사 제어에 대한 연구가 요구 된다.

참고문헌

1. Joung Ook, Park, A desktop RP machine based on a new sheet lamination process, MS thesis, Department of Mechatronics, K-JIST, 2000.
2. Frank, M. White, Fluid Mechanics, McGRAW-HILL, 1994.
3. 채재우, 정영석, 이상만 “디젤엔진 유닛 인젝터용 고속응답 솔레노이드 밸브 설계, 한국자동차 공학회 추계학술대회, 96380250, 1997.
4. 권기태, 유한요소법을 이용한 고속응답 솔레노이드 밸브의 거동해석, MS thesis, 자동차 전문대학원, 국민대학교, 2001.
5. Joe D. Hoffman, Numerical methods for engineers and scientists, McGRAW-HILL, 1993.
6. David H. Smith, David A Spinweber, “ A General Model for Solenoid Fuel Injector Dynamics”, USA SAE 800508, 1980
7. William T, Thomson, Theory of Vibration with applications 5th edition, Prentice-Hall Inc. 1998.