산학기술성공학회논문지
Vol. 3, No. 4, pp. 280-284, 2002

임의형상가공시스템의 적층 및 이송장치 동특성연구

엄태준* · 주영철* · 민상현** · 김승우*** · 공용해*** · 천인국*** · 방재철****

A Study of Dynamic Characteristics of Stacking and Transferring System for the Solid Freeform Fabrication System

Taijoon Um*, Youngcheol Joo*, SangHyun Min, Seungwoo Kim***, Yonghae Kong***, Ingook Chun*** and Jaecheol Bang******

요 약 본 논문에서는 임의형상제작시스템을 위한 적층 및 이송장치의 컴퓨터 시뮬레이션을 보여주고 있다. 적층 및 이송장치는 임의형상제작시스템의 필수적인 요소로서 절단된 슬라이스의 일관된 적층을 위해 안정된 작동을 하는 것이 매우 중요하다. 적층 및 이송장치는 공압장치로 모델링될 수 있다. 공압장치는 공압컴푸레서, 제어밸브 및 실린더 등으로 구성되어 있다. 설계변수를 변화시켜가면서 행한 시뮬레이션 결과로부터 시간응답을 예측할 수 있다. 결과에서 알 수 있는 것은 일부 설계변수를 변화시키면 안정된 동특성을 얻을 수 있다는 것이다.

Abstract This paper presents computer simulations of the stacking and transferring system for the fast freeform fabrication system. The stacking and transferring system is essential for the fast freeform fabrication system and its stable motion is very important for consistent stacking of the cut slices. The stacking and transferring system can be modeled as a pneumatic system. The system consists of air compressor, the control valve, and the cylinder. The governing parameters have been changed and the simulation results are shown to predict the time response of the system. The results show some parameters should be correctly tuned to obtain stable system response.

Key Words : stacking and transferring system, solid freeform, pneumatic system, stable response

1. 서 론

임의형상제작시스템은 1989년에 상업적으로 개발된 이후 급속히 발전되어 왔고, 현재 임의형상제작시스템은 모든 산업의 전반에 걸쳐 유용하게 쓰이고 있다 [1, 2]. 임의형상가공시스템은 제품을 개발하는 단계에서 미리 prototype의 모델을 제작하여 문제점을 보안하고, 이를 수정하여 최상의 품질의 제품을 제작하기 위해 개발되었고, 응용분야의 하나로서 의공학 분야에서는 손상된 인체의 골격부분을 복구하기 위해 사용되거나, 수술에 앞서 최적의 수술방법을 찾기 위해 사용되고 있다.

그림 1은 임의형상가공시스템의 제작 원리를 나타내는 그림으로 임의형상가공시스템의 기본원리는 3차원

*순천향대학교 기계공학과
**순천향대학교 전기전자공학과
***순천향대학교 정보기술공학부
****순천향대학교 신소재화학공학부
Tel: 041-530-1368, e-mail: tjoonum@sch.ac.kr

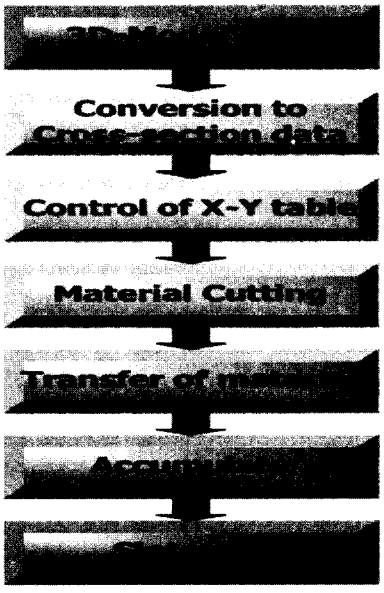

그림 1. 임의형상가공의 제작원리.

의 CAD 데이터를 2차원의 얇은 층으로 분할하고, 2차원의 데이터를 각각 층으로 가공한 다음 이를 적층하여 대상물을 제작하는 방식이다. 본 논문에서는 적층 및 이송 작업 시 오차가 없는 정확한 임의형장제작 가공품을 제작하기 위하여, 임의형상가공시스템의 자동화를 위해 개발된 적층 및 이송장치에 대해 이를 모델링하고, 동특성을 지배하는 주요 파라미터 값을 변화시켜가면서 시뮬레이션 하여 적층 및 이송장치의 동특성을 파악하고, 안정된 시간동안의 최적의 파라미터를 찾고자 한다.

2. 적층 및 이송장치

그림 2는 본 논문에서 사용하는 적층 및 이송장치이다. 적층 및 이송장치는 모두 3개의 실린더로 구성되어 있으며 수직 축에 실린더 1과 실린더 2가 연결되어 있다. 실린더 3은 적층이나 슬라이드를 이송할 때 슬라이드를 흡착하기 위해 사용되었다. 그리고 감압용 바이패스 온/오프 밸브가 4개 사용되었다. 감압밸브의 사용목적은 실린더가 정해진 위치에 도달할 때 감압밸브를 사용하여 실린더의 관성 및 목표지점에 도착하여 발생하

그림 2. 적층 및 이송장치.

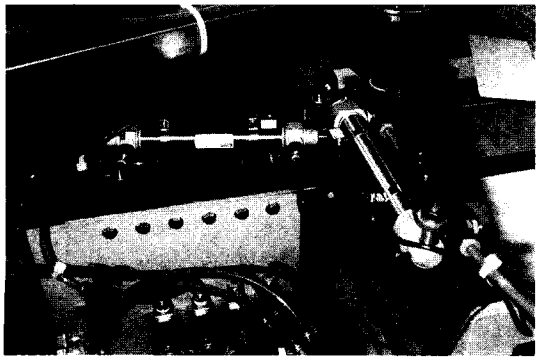

그림 3. 이송용 실린더.

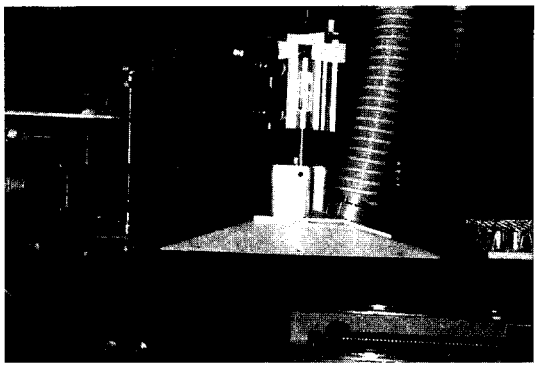

그림 4. 적층 및 흡착용 실린더.

는 반동의 효과를 최소화 시키는 것에 목적을 두고 있다. 그림 2의 감압밸브로 사용된 4개의 바이패스 on/off 밸브는 실린더 구동에서 실린더의 속도 패턴이 총 3부분으로 나뉘는데, 속도증가와 속도감소 부분에서는 on/off 밸브를 닫아 압력을 작은 관으로 바이패스 시키고, 등속도 부분에서는 on/off 밸브를 열어 실린더에게 압축된 공기 전부를 전달시키게 한다. 그림 3는 이송장치에 사용되는 실린더에 대한 사진이다. 실린더 1과 실린더 2는 적층 및 이송장치의 수직 축에 연결되어 있고, 각각의 실린더가 구동될 때 각 위치마다 작업영역(슬라이드 공급위치, 슬라이드 레이저 절단위치, 슬라이드 적층위치)이 정해져 있다. 또한 실린더가 정해진 위치에 도달할 때 실린더에 부착된 위치센서는 실린더의 위치를 감지하여 제어기에게 신호를 주고, 제어기는 밸브를 PWM 구동과 제동모드로 바꾸어 실린더를 부드럽게 정지시킬 수 있게 한다. 그림 4는 적층용 실린더를 보여준다. 적층용 실린더는 흡입판에 연결되어 있으며, 실린더는 수직으로 상하운동을 하게 제작하였다. 이는 원재료 슬라이드를 흡착할 때, 절단된 슬라이드를 적층할 때에는 아래쪽으로 흡입판을 구동시키고, 이송이나 적층 후에는 흡입판을 위쪽으로 구동시켜 이동시킬 목적으로 사용되었다. 그림 5에서는 적층 및 이송의 공압장치의 회로도를 보여주고 있다. 그림에서 실린더 1과 실린더 2는 이송에 쓰이는 실린더이며, 이를 구동시키기 위한 밸브는 밸브 1과 밸브 2이다. 밸브 4와 밸브 5는 감압용 바이패스 on/off 밸브이다. 실린더 3은 단지 적층에 사용되는 실린더로써 스트로크가 매우 짧고, 관성 모멘트가 매우 작기 때문에 이번 모델링에서는 제외 시켰다. 또한 이송에 쓰이는 공압장치(실린더 1, 실린더 2)는 아래의 식으로 모델링 하였다[3].

컴프레서를 통과하는 공기의 온도변화에 관한 식:

$$T_c = T_r\left(\frac{P_s}{P_r}\right)^{(k-1)/k} \quad (1)$$

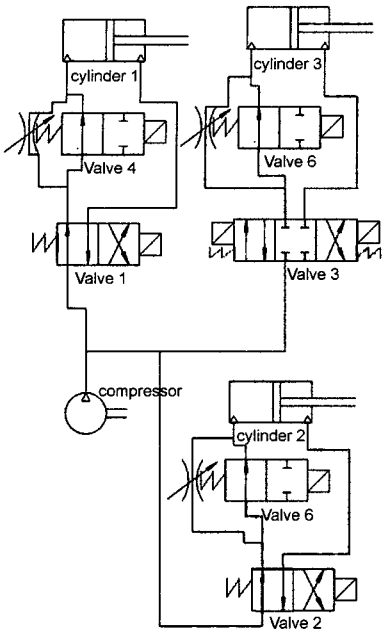

그림 5. 공압 장치.

T_c : 컴프레서 압축후의 공기의 온도(절대온도)
T_r : 컴프레서 압축전의 공기의 온도(절대온도)
P_s : 컴프레서 압축후의 공기의 압력
P_r : 컴프레서 압축전의 공기의 압력
k : 공기의 polytropic 상수

공압제어밸브를 통과하는 유량에 관한 식:

$$Q = C_d A_0 \frac{P_s}{\sqrt{T_c}} \left(\frac{P_c}{P_s}\right)^{1/k} \sqrt{1-\left(\frac{P_c}{P_s}\right)^{(k-1)/k}} \qquad (2)$$

Q : 밸브통과 유량
C_d : 밸브계수
A_0 : 밸브 opening 면적
P_c : 실린더 내의 압력

실린더 내의 피스톤의 운동방정식(뉴턴의 제2법칙):

$$m_p \frac{d^2x}{dt^2} + B_p \frac{dx}{dt} + F_c = a_p P_c \qquad (3)$$

m_p : 피스톤의 질량
x : 피스톤의 변위
B_p : 피스톤의 점성마찰계수
F_c : 쿨롱 마찰력
a_p : 피스톤 면적

$\frac{dx}{dt}$: 피스톤의 속도

관로 내의 기체의 연속방정식:

$$\frac{dP_c}{dt} = \frac{1}{\upsilon}\left(RmT_c P_c a_p - \frac{dx}{dt}\right) \qquad (4)$$

υ : 압축되는 공기의 체적
R : 기체상수
m : 단위시간당 유입되는 공기량(단위:mol)

3. 동특성 시뮬레이션

시뮬레이션은 공압 장치의 동특성에 변화를 줄 수 있는 요인이 되는 몇 가지 파라미터에 대해 시뮬레이션 하였다. 그림 6은 식(3)의 외부의 쿨롱 마찰력이 $1N$ 일 때의 실린더의 속도를 나타내는 그래프이며, 논문에서 사용된 다른 시뮬레이션은 $Fc = 1N$ 일 때의 값을 기준 파라미터로 가정하고 시뮬레이션 하였다. 그러나 외부

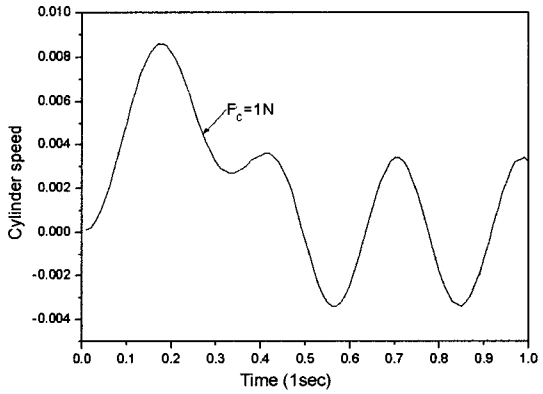

그림 6. 쿨롱마찰력 $Fc = 1N$일 때의 실린더의 속도.

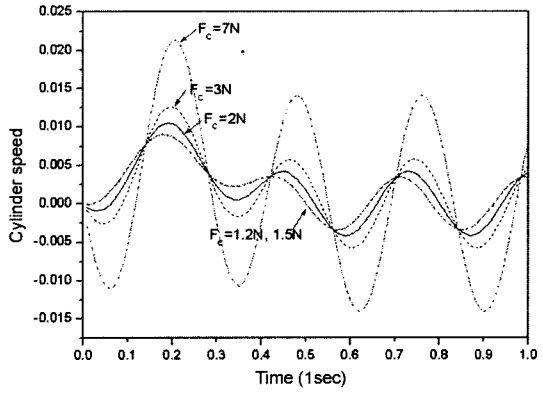

그림 7. 쿨롱마찰력(F_c) 변화에 따른 실린더의 속도.

의 쿨롱 마찰력은 외란이나 기타 환경적 요인이 되는 적층용 슬라이드의 재질이나 무게, 이송에 쓰이는 수직축의 오염으로 인한 마찰력 증가 등, 쿨롱마찰력이 추가로 생성될 수 있으므로 쿨롱마찰력을 변화시키면서 파라미터의 변화에 따른 시뮬레이션이 불가피 하다. 그림 7은 외부의 쿨롱마찰력의 파라미터를 변화시키면서 시뮬레이션 한 결과로써 쿨롱 마찰력의 증가는 실린더의 속도에 영향을 주게 되는데, 마찰력이 증가할수록 실린더의 속도가 일정하게 유지되지 않고 큰 진동을 초래함을 알 수 있다. 따라서 시뮬레이션 된 결과에 따라 적층과 이송 시 쿨롱변화에 따른 실린더의 속도에 맞추어 실린더를 구동 시키거나 정지시킬 때의 가장 최적화된 파라미터 값으로 구동시킬 수 있다. 또한 실린더의 속도 패턴을 보고, 외부의 외란의 요소나 쿨롱마찰력을 증가시키는 요인을 제거할 수 있는 근거를 제시한다. 그림 8은 컴프레서의 압축후의 공기의 압력변화에 따른 실린더의 속도변화를 나타내는 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 압축공기의 압력에 따라 실린더의 속도의

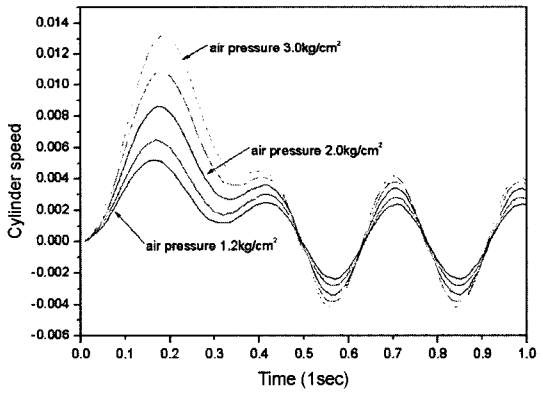

그림 8. 압축후 공기의 압력변화에 따른 실린더의 속도 변화.

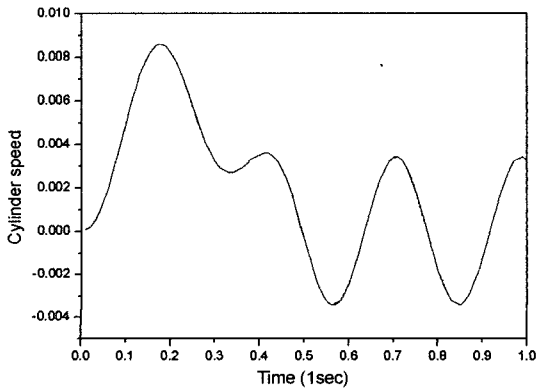

그림 9. 실린더 점성마찰 계수 변화에 따른 실린더의 속도.

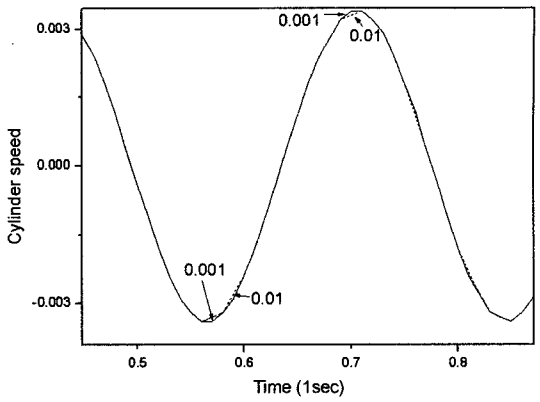

그림 10. 그림 9의 0.5~0.8초 구간 확대.

변화를 볼 수 있는데, 컴프레서의 압축후의 공기의 압력변화에서 압축공기의 압력은 초기 시점에만 영향을 주는 것을 알 수 있다. 그러나 높은 압축 공기에 의해 실린더가 초기에 빠른 속도로 구동된다면 관성의 영향을 피할 수 없게 된다. 이는 흡착판에 흡착된 슬라이드에 큰 정지관성을 초래할 수 있으며, 이로 인한 슬라이드 적층 시 오차를 발생시킬 수 있다. 또한 실린더의 속도가 빠를수록 실린더를 초기 구동이나 정지 시 이에 따른 안정도에 영향을 줄 수 있다. 그림 9는 식 (3)의 실린더의 점성마찰 계수(B_p) 변화에 따른 시뮬레이션의 결과 그래프이다. 시뮬레이션은 점성 마찰 계수를 0.001, 0.01, 0.1로 하였는데 결과에서 알 수 있듯이 계수를 변화시켜도 속도변화는 모두 일치함으로 실린더의 점성마찰계수가 실린더의 속도에 영향을 주지 못함을 알 수 있었다. 그림 10은 그림 9의 0.5초~0.8초 구간을 확대 시킨 것으로 점성마찰계수가 변화해도 실린더의 속도는 거의 일치함을 보인다.

4. 결 론

임의형상시스템의 주요부분인 공압장치로 구성된 적층 및 이송장치는 쿨롱마찰력에 의해서 실린더의 속도 특성이 변하므로 안정성을 향상할 수 있는 적절한 값을 선택하는 것이 필요하다. 또, 출구의 공기압을 적절하게 선정하는 것도 필요함을 알 수 있다. 그리고 실린더의 점성마찰계수의 변화는 시스템의 상태를 변화시킬 수 없음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호:

R01-2000-000-00299-0(2002))지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] P. Kulkarni, A. Marsan, D. Dutta, "A review of process planning techniques in layered manufacturing", Rapid Prototyping journal, vol.6, no. 1, pp. 18-35, 2000.

[2] 안동규, 이상호, 양동열 외 3인, "발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속조형 공정설계 및 개발", 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 759-762, 2000.

[3] 김동조, "공기압공학," 북스힐, pp. 181-186, 2001.

[4] J. D. Cawley, Z. E. Liu, W. S. Newman, B. B. Mathewson, and A. H. Heuer, "Al_2O_3 Ceramics Made by CAM-LEM Technology", Solid Freeform Symposium Proceedings., 9, Austin TX, 1995.

[5] A. Dolence and I. Makela, "Slicing Procedures for Layed Manufacturing Technique", Computer Aided Design, Vol 26, pp. 119-126, 1994.

[6] 엄태준, 주영철, 민상현, "쾌속제작을 위한 적층 및 이송장치 개발", 산학기술성공학회논문지, Vol.3, No.2, pp. 126-130, 2002.

[7] Taijoon Um, Youngcheol Joo, Sehyung Park, Sanghyun Min, "Agile Fabrication of a Sample by a Solid Freeform Fabrication System", The 2002 International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, Vol. 3, pp. 1740-1743, Phucket, Thailand, July 16-19, 2002.