

ATM 게이트 모듈의 동특성 해석

Dynamic Analysis of ATM Gate Module

서준호* · 최연선** · 정중기*** · 백윤길*** · 윤준현***

Jun-Ho Suh, Yeon-Sun Choi, Joong-Ki Jeong, Yoon-Kil Baek, Jun-Hyun Yoon

Key Words : ATM(환류식 지폐 입출금기), Gate(게이트), FEM(유한 요소 해석), SAMCEF(삼세프), Solenoid(솔레노이드) Dynamic Analysis(동특성 해석), Numerical Analysis (수치 해석).

ABSTRACT

ATM(Automated-Teller Machine) is a machine that receives and pays money directly. The gate module of an ATM separates forgeries from bills and changes the transfer direction of bills. In this paper, the dynamic behavior of the gate was analyzed numerically and experimentally. The moment of inertia of the gate lever, the suction force of the solenoid and the spring force were measured, respectively. And the displacements of the plunger, the vibration of the bracket, the input voltage and current were measured experimentally. The measured dynamic behaviors were simulated numerically using SAMCEF program, which can accommodate the kinematics and vibrations of flexible bodies. Through the analysis, the design factors were found to make a fast and reliable new ATM machine.

1. 서 론

ATM(환류식 지폐 입출금기)은 화폐를 직접 입출금 처리하는 금융자동화 기기로서 각 요소 부품의 신뢰성이 높아야 한다. 특히 게이트(gate) 모듈은 ATM 기기에서 지폐가 연속적으로 이송되는 과정에서 위폐를 걸러내고, 지폐의 이송방향을 바꾸는 장치로서 고속운전 상황에서도 확실히 작동하여야 한다.

이를 위하여 본 연구에서는 게이트 모듈의 동특성을 실험적으로 측정하고, 상용 프로그램인 SAMCEF를 사용하여 분석하였고, 해석 모델의 운동방정식을 유도하여 설계변수에 따른 운동 특성을 이해하고자 하였다.

2. 실험

게이트 모듈의 운동특성을 이해하고자 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 게이트모듈을 나타내었다. 센서가 위폐 또는 겹쳐진 지폐로 판별 할 경우, 해당 지폐를 특정 경로로 이송하기 위해 솔레노이드에 신호가 가해지면 Fig. 2 (a)와 같이 플런저가 흡입된다. 이때 레버는 반시계 방향으로 회전하며 지폐는 화살표 방향으로 이송 된다. 반대로 솔레노이드에 신호가 끊어지면 Fig. 2 (b)와 같이 솔레노이드의 흡입력은 없어지고 스프링의 힘에 의해 플런저가 복귀하여 지폐는 원래 방향으로 이송된다. 이와 같이 게이트 모듈은 플런저의 병진운동이 게이트 레버의 회전운동으로 바뀌어 지폐의 이송방향을 결정하며 빠른 응답 특성이 요구된다.

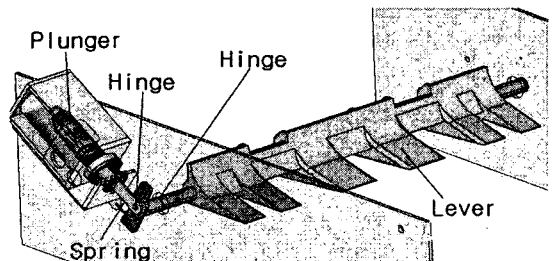


Fig. 1 Gate Module

* 정회원, 성균관대학교 대학원

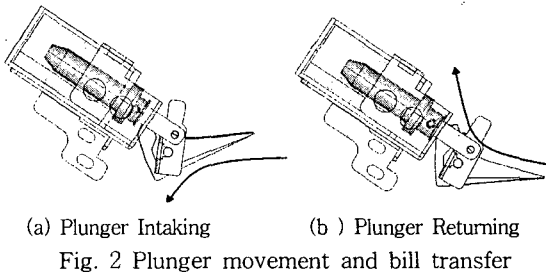
** 책임저자, 정회원, 성균관대학교 기계공학부

E-mail : yschoi@yurim.skku.ac.kr

Tel : (031)290-7440 , Fax: (031)290-5849

*** 전자부품연구원

*** 노틸러스효성(주)



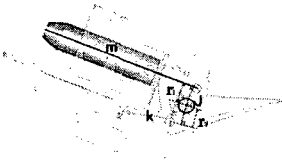
(a) Plunger Intaking (b) Plunger Returning
Fig. 2 Plunger movement and bill transfer

2.1 시스템 특성

시스템의 특성을 파악 하고자 게이트 레버의 회전축에 대한 질량관성 모멘트, 스프링 상수, 각 부품의 질량을 측정하였다. 질량관성모멘트는 비틀림 진자법을 이용하여 계산하였으며, 스프링 상수는 여러 크기의 질량 추를 매달아 측정하였다.

게이트 모듈의 특성을 파악하고자 게이트 레버를 손으로 당겼다 놓는 실험을 10회 실시하였고, 플런저 변위는 레이저변위센서를 이용해 측정하였으며 결과는 Fig. 4의 점선과 같다.

다음으로 게이트 모듈을 모델링하기 위해 Fig. 3과 같이 나타내었으며 식 (2.1)의 운동방정식으로 나타내었다. Fig. 4는 실험으로부터 구한 물성치를 식 (2.1)에 대입 후 해석한 결과를 실험 결과와 비교한 것이다. 이를 통해 게이트 운동시 마찰력은 무시할 수 있음을 알 수 있었다.



$$\begin{aligned} r_1 &= 7.9 \text{ mm} \\ r_2 &= 6.9 \text{ mm} \\ m &= 42 \text{ g} \\ J &= 15.906 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 \\ k &= 576 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Fig. 3 FBD of the gate module

$$\begin{aligned} (m+m')\ddot{x}+c\dot{x}+k(x+l) &= 0 & (0 \leq t \leq t_0) \\ (m+m')\ddot{x}+C\dot{x}+K(x+l) &= 0 & (t_0 \leq t) \end{aligned} \quad (2.1)$$

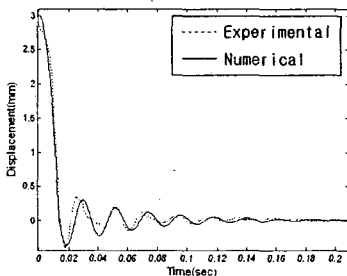


Fig. 4 Free vibration of the plunger

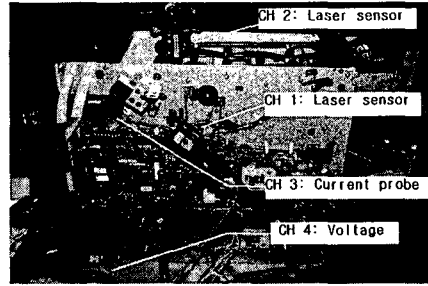


Fig. 5 Experimental set-up

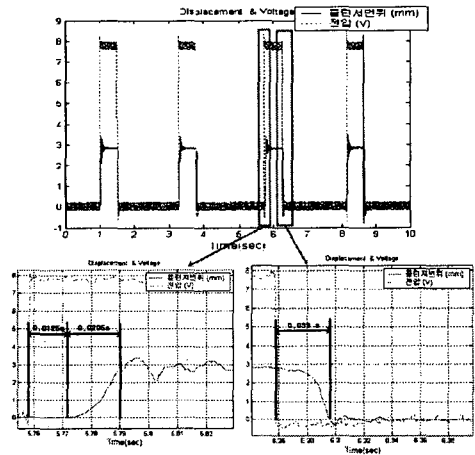


Fig. 6 Variations of the input voltage and displacement

2.2 게이트 운전실험

게이트 모듈의 운전상황을 파악하기 위해 Fig. 5와 같은 실험 장치를 구성하였다. 레이저변위센서를 이용해 플런저 변위를 측정하였고 솔레노이드에 입력되는 전압 및 전류를 측정하였다.

Fig. 6은 측정된 전압과 플런저 변위를 나타낸다. 전압 입력 후 플런저가 움직이기 시작하는 시간은 0.0125초이며 0.033초 후, 최종 변위로 이동함을 알 수 있었다. 또한 전압이 끊어진 후 0.039초 후 플런저가 원 위치로 복귀함을 알 수 있었다.

Fig. 7은 ATM기 내에서 지폐의 이송상황을 나타내며 Table 1은 지폐 이송시 각 부분의 길이를 나타낸다. 지폐의 이송방향을 바꾸기 위해서는 지폐와 지폐 사이에서 플런저가 동작해야 하며 지폐 사이의 시간은 0.068초이다. Fig. 8의 실험으로부터 구한 그래프를 통해 플런저가 흡입되는 시간과 복귀하는 시간이 각각 0.0205초 0.039초임을 알 수 있었으며 이를 통해 지폐의 이송방향을 안전하게 바꾸는데 문제가 없음을 확인하였다.

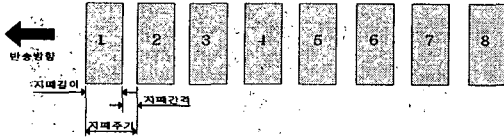


Fig. 7 Transfer of the bills

Table 1 The length of the bills

| | 길이 (mm) | 시간 (sec) |
|----|---------|----------|
| 길이 | 76 | 0.083 |
| 간격 | 62 | 0.068 |
| 주기 | 138 | 0.151 |

(반송속도: 916 mm/s)

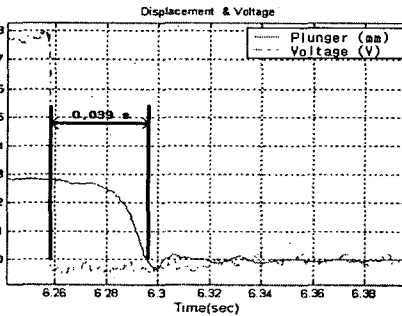
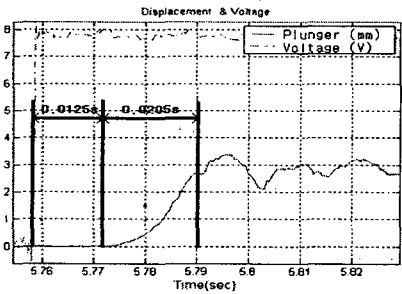


Fig. 8 Delay time of the plunger

3. 수치해석

Fig. 3의 자유물체도에서는 플런저의 병진운동과 게이트 레버의 회전운동이 동시에 일어난다. 이를 Fig. 9와 같이 병진운동계로 변환하여 등가 모델링하였으며 운동방정식은 식 (3.1)과 같다.

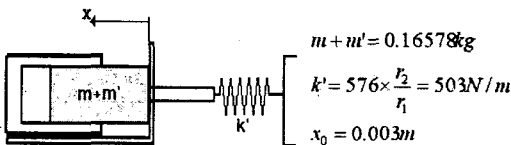


Fig. 9 Transformed FBD of the gate module

$$(m+m')\ddot{x} + c\dot{x} + k(x+l) = F(x) \quad (3.1)$$

3.1 플런저 흡입시

Fig. 10은 로드셀(load cell)을 이용해 솔레노이드의 흡입력을 스트로크 길이별로 측정한 결과이며 식 (3.1)의 $F(x)$ 는 솔레노이드의 흡입력이며 변위의 함수로 표현하였다. 식 (3.1)의 계산결과와 전산해석 결과 그리고 실험 결과를 비교하면 Fig. 11과 같다. 이를 통해 플런저 고속 운동시 정적인 힘 이외에 전류와 자기장, 인덕턴스의 변화 등을 고려해야 함을 알 수 있었다.

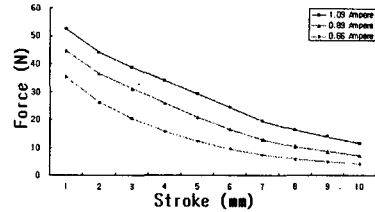


Fig. 10 Static force of the solenoid

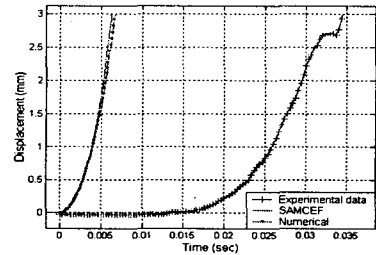


Fig.11 Motion during intaking

3.2 지연시간과 응답시간

솔레노이드 작동시 흡입력은 식 (3.2)와 같이 나타낼 수 있다. 최초 전압 인가 후 플런저가 움직이기 시작하는 지연시간(waiting time)은 식 (3.3)과 같이 나타낼 수 있으며 플런저가 흡입 완료되는 응답시간(rising time)은 식 (3.4)와 같이 나타낼 수 있다. [3] 초기 인덕턴스(L_0)값은 수치해석을 통해 2.25임을 알았다. 식 (3.3)으로부터 지연시간(t_w)은 0.0125초로 실험결과와 일치했으며, 응답시간(t_r)은 0.0187초로 실험결과와 10% 이내의 오차를 보였다.

게이트 설계시 요구되는 응답특성을 정한 후 아래의 수식을 통해 적당한 솔레노이드의 사양을 분석 하면 제품 제작시 시행착오 없이 솔레노이드를 선택 할 수 있다.

$$F_m = \frac{AB^2}{2\mu_0} = \frac{\Theta^2 \mu_0 A_i}{2\delta^2} \quad (3.2)$$

$$t_w = \frac{L_0}{R} \ln \frac{1}{1 - \frac{R}{U} (2F_{mech} \frac{\delta_0}{L_0})^{\frac{1}{2}}} \quad (3.3)$$

$$t_r = \left(\frac{3\delta_0 m}{U \left(\frac{F_{mech}}{2\delta_0 L_0} \right)^{1/2} - R \frac{F_{mech}}{L_0}} \right)^{1/3} \quad (3.4)$$

4. 전산해석

플런저 흡입 및 복귀시 발생하는 진동은 레버의 진동으로 이어지며 지폐의 잘못된 이송을 초래한다. Fig. 12 는 플런저 흡입 및 복귀시 플런저의 변위와 브라켓의 좌우진동을 나타낸다. 플런저 흡입 및 복귀시 브라켓과 충돌하여 진동이 발생했으며, 충돌 후 플런저가 브라켓과 함께 진동하는 것을 알 수 있었다.

브라켓의 진동을 줄이고자 Fig. 14 와 같은 브라켓 보강 모델을 고안하였으며 상용 소프트웨어인 SAMCEF를 이용하여 전산해석을 수행하였다. Fig. 13 에서는 브라켓 보강 전후의 플런저 변위를 나타내었다. 브라켓 보강 후 브라켓 자체의 진동은 감소했지만 플런저의 진동은 오히려 증가하는 것을 알 수 있었다. 플런저 및 레버의 진동을 줄이기 위해서는 브라켓의 진동이 필요함을 알 수 있었다.

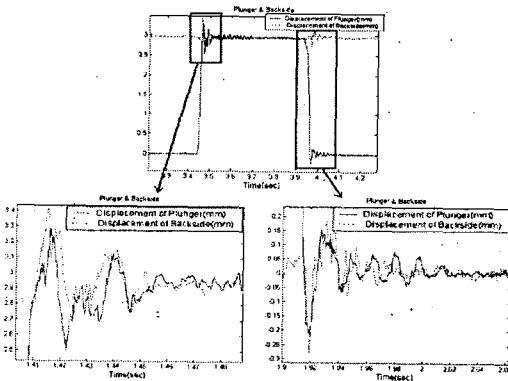


Fig. 12 Comparison the displacements between plunger and bracket

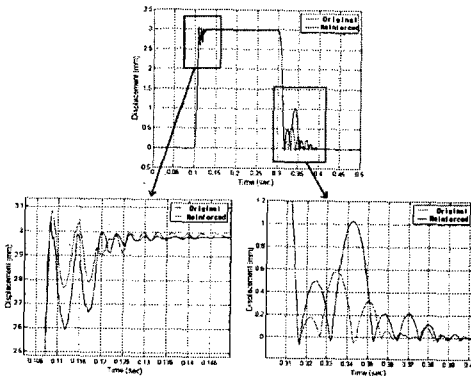


Fig 13 Comparison the plunger displacements between original model and reinforced model

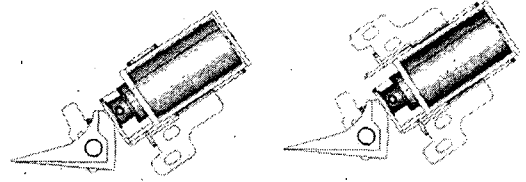


Fig 14 Original and reinforced model

5. 결론

본 연구는 수입에 의존하고 있는 ATM기의 국산화를 위한 연구로써 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 게이트 운전실험을 통해 입력전압, 전류, 플런저 변위를 측정하여 지폐의 이송속도를 고려한 게이트의 신뢰성을 확보 할 수 있었다. 또한 플런저의 자유 응답실험을 통해 게이트 내 마찰력은 무시할 수 있었다.
- 2) 정적으로 측정된 슬레노이드의 힘은 플런저 고속 운동시 적용하기 어려움을 실험과 수치해석 결과를 통해 확인하였고, 지연시간(t_w)과 응답시간(t_r)을 수식 계산을 이용해 구했으며, 제품 제작시 시행착오 없이 슬레노이드를 선택할 수 있었다.
- 3) 전산해석 프로그램인 SAMCEF를 이용하여 게이트 운전시 발생하는 진동을 해석하였으며 진동을 억제하기 위한 브라켓 보강이 오히려 플런저의 진동을 크게 만드는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 부품소재기술개발사업으로 지원, 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 황재원, 갈한주, 박재근, 채지우, 1999, "고속용 슬레노이드 설계를 위한 수치해석적 연구," 한국자동차공학회는문집, 제 7권, 제 3호, pp. 94-102.
- (2) 권기태, 한화택, 2002, "비정상 유한요소법을 이용한 고속응답 슬레노이드 밸브의 동적거동 해석," 대한기계학회는문집B, 267, pp. 959-965.
- (3) 채재우, 정영식, 이상만, 황재원, 양이진, 장석채, 1996, "디젤엔진 유닛인젝터용 고속응답 슬레노이드 밸브 설계," 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, 2호, pp. 31~38