

ATM 2매검지부의 동적해석

Dynamic Analysis on the Double Bill Detector of ATM

서준호* · 최연선** · 백윤길***

Jun-Ho Suh, Yeon-sun Choi and Yoon-Kil Baek

Key Words : ATM(환류식 지폐 입출금기), DBD(2매검지부), FEM(유한 요소 해석), Bill(지폐), Vector Equation(벡터방정식)
Dynamic Analysis(동특성 해석), Numerical Analysis (수치 해석)

ABSTRACT

ATM(Automated-Teller Machine)은 자폐를 직접 입출금 처리하는 금융자동화 기기로서 각 요소 부품의 신뢰성이 높아야 한다. 그 중에서 자폐 인식 모듈은 은행권의 권종 구분, 진위 식별, 상태 확인을 할 수 있는 ATM 기기의 핵심 부품으로서 크게 센서모듈, 구동장치, 내장프로그램으로 구성되어 있다. 구동장치 중 하나인 게이트 모듈은 자폐가 연속적으로 이송되는 과정에서 위폐를 걸러내고, 자폐의 이송방향을 바꾸는 장치로서 고속운전 상황에서도 확실히 작동하여야 한다. 이에 대한 연구로 게이트 모듈의 동특성을 실험적으로 측정하고, 상용 프로그램을 사용하여 분석하였고, 해석 모델의 운동방정식을 유도하여 설계변수에 따른 운동 특성을 이해하고자 하였다.^{(1),(2)}

센서모듈인 2매검지부(double bill detector)는 자폐의 두께를 검지하는 슬릿(slit)이 있어서 레버 디텍터(lever detector)로 자폐 이송 시 회전각도를 검지한다. 회전각도는 자폐의 종류 및 상태, 이송속도, 벨트장력, 레버 디텍터의 형상 등에 따라 달라지며 적절한 설계변수 선정으로 이매 통과 시 오류 없이 정확히 검지해 내는 것이 중요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 2매검지부 모듈의 동특성을 실험적으로 측정하고, 해석 모델의 벡터방정식⁽³⁾ 및 운동방정식을 유도하여 설계변수에 따른 운동 특성을 이해하고자 하였다.

2. 구동실험

2.1 작동원리

2매검지부의 작동원리는 Fig. 1과 같다. 자폐가 화살표 방향으로 이동하면서 2매검지 레버(Double bill lever)와 접촉하고 레버가 회전축을 중심으로 회전한다. 이 때 회전중심부에 달려있는 슬릿센서(slit sensor)에서 회전 변위를 측정하여 2매 여부를 판단한다.

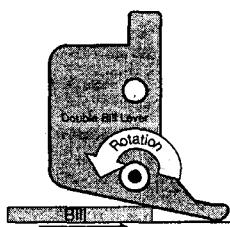


Fig. 1 Motion of double bill lever

* 정회원, 성균관대학교 대학원

** 책임저자, 정회원, 성균관대학교 기계공학부

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

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

*** 노틸러스효성(주)

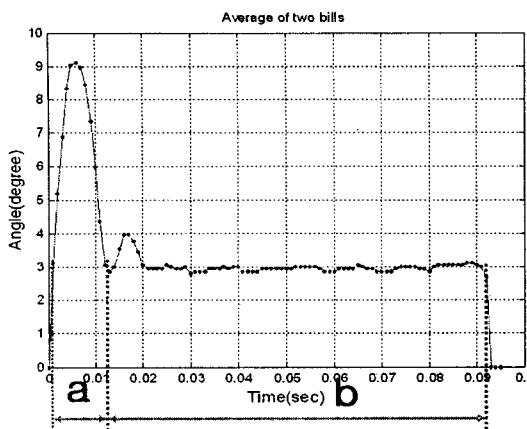


Fig. 2 Signal at slit sensor

Fig. 2 는 슬릿센서에서 측정한 레버의 회전변위를 나타낸다. Fig. 2 에서 a는 레버가 지폐와 접촉 후 뛰어 오르는 구간이며 b는 레버가 지폐와 맞닿으며 이동하는 구간이다. 지폐가 레버를 완전히 통과 후 레버는 제자리로 돌아간다. 동일한 지폐의 경우 구간 a와 b의 길이는 일정하며 구간 b의 변위를 이용해 2배 여부를 측정한다. 그러므로 b의 길이가 길수록 2배 여부를 판단하기 쉬워진다.

2.2 실험

이매검지부의 응답 특성을 알기 위해 Fig. 3 과 같은 실험장치를 제작하였다. 다양한 두께의 지폐에 대해 실험하고자 Table 1 과 같이 다양한 두께를 지닌 지폐를 제작하여 실험하였다. Fig. 4 는 실험결과를 나타낸다. 지폐의 두께에 따른 레버의 변위를 알 수 있다.

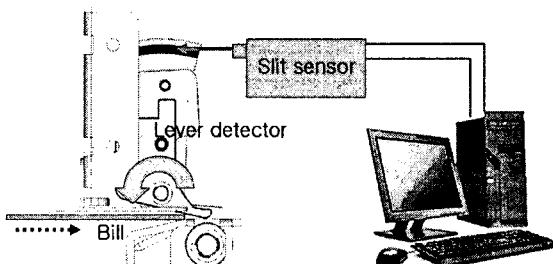


Fig. 3 Experimental set-up

Table 1 Bills for DBL experiments

Bills	Thickness of the bill (mm)
bill 1	0.09
bill 2	0.11
bill 3	0.145
bill 4	0.16
bill 5	0.18
bill 6	0.22
bill 7	0.27
bill 8	0.33
bill 9	0.38
bill 10	0.44

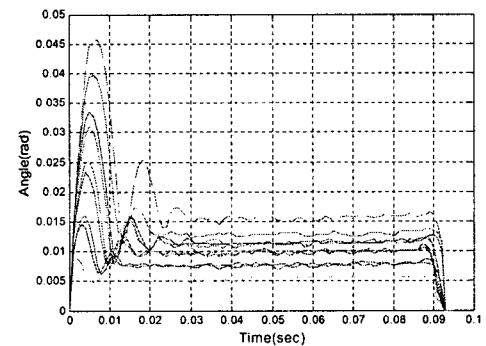


Fig. 4 Slit sensor signals of various bills

3. 2매 검지 모델

3.1 수치해석 모델

(1) 기구학 모델

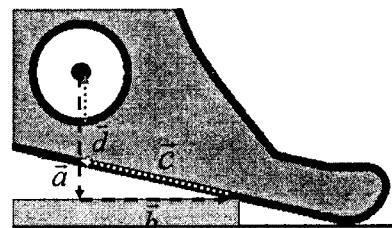


Fig. 5 Double bill lever

$$\vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d} = 0 \quad (1)$$

$$ae^{\frac{3}{2}\pi} + b + ce^{i\theta_1} + de^{i\theta_2} = 0 \quad (2)$$

$$b = d\cos\theta_2 + \frac{-a - d\sin\theta_2}{\tan(\theta_2 + 1.356)} \quad (3)$$

지폐와 레버 접촉 시 레버의 회전 변위를 계산하기 위해 Fig. 5 와 같이 2매검지부 단면의 지폐 접촉부위와 회전부위를 벡터로 표현하였다. 식 (1)은 Fig. 5의 벡터를 이용하여 만든 벡터방정식이다.

\vec{a} 는 고정되어 있으며 \vec{b} 는 지폐의 변위를 나타낸다. 지폐속도 \vec{b} 는 일정하다고 가정한다. \vec{c} 는 레버의 회전과 지폐와의 접촉에 따라 길이와 각도가 동시에 변하며 \vec{d} 는 레버의 회전에 따라 길이는 변하지 않고 각도만 변한다. 지폐와 레버를 강체로 가정하였으며 접촉 직후 지폐는 레버의 표면에서 마찰 없이 미끄러진다고 가정하였다.

식 (2)에서 미지수는 \vec{d} 의 방향 θ_2 , \vec{b} 의 길이 b , \vec{c} 의 길이 c 이며 식 (2)를 정리하면 실수부와 허수부가 0이 되므로 연립방정식이 성립된다. 이때 c 는 b 로 표현되고 θ_2 와 b 의 관계식 (3)이 성립된다. 식 (3)으로부터 b 의 길이변화에 따른 θ_2 를 알 수 있으며 미분하여 속도, 가속도와의 관계를 구할 수 있다.

(2) 수치해석

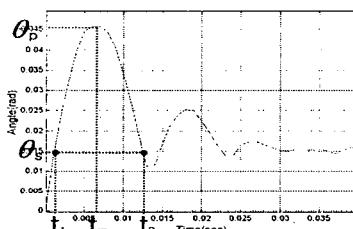


Fig. 6 Response of DBL

Table 2 Parameters

Constant	
J	5.399 kg · m ²
c	0.0002 kg/sec
k	0.0075 N · m/rad
F_{init}	0.01148 N · m

$$J\ddot{\theta} + c\dot{\theta} + k\theta + F_{fric} = F_{init} \quad (4)$$

$$\therefore \dot{\theta}_0 = \theta_p, \quad \theta_0 = 0 \quad (5)$$

Fig. 6에서 시간 $0 \sim t_1$ 는 지폐와 레버가 접촉하는 순간이며 $t_1 \sim t_2$ 는 접촉력에 의해 레버가 튀어 오르는 안정시간이다.

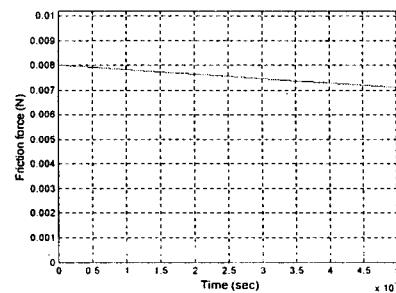


Fig. 7 Friction force

레버 회전 시 마찰력을 알기 위해 실험을 통해 구한 레버의 질량관성모멘트(J)와 스프링상수(k)를 이용하여 식 (5)와 같은 초기변위를 가지는 모델에 대한 식 (4)를 구했으며 Fig. 4 의 그래프를 이용하여 마찰계수(c)를 구하였다. 계산된 마찰력(F_{fric})은 Fig. 7에서 나타낸다.

Fig. 8 ~10 은 여러 두께의 지폐에 대한 실험 결과와 식 (1)의 결과를 나타낸다. Fig. 8 은 지폐의 두께변화에 따른 접촉순간 레버 회전속도를 나타낸다. 식 (1)의 결과는 지폐의 두께가 증가함에 따라 초기속도가 크게 변하지 않는다. 그러나 실험결과에서는 지폐의 두께가 일정 값 이상이 되기 전까지 벡터방정식의 결과와 차이를 보인다. 이는 지폐의 두께가 작을 경우 레버의 형상에 따른 지폐와 레버의 접촉각변화로 인함을 예상 할 수 있다. Fig. 9 는 식 (1)에서 계산한 초기속도를 이용해 구한 레버의 최대 변위(θ_p)와 실험을 통해 구한 레버의 최대 변위를 비교한다. Fig. 8과 마찬가지로 일정 두께 이하에서는 실험결과와 차이를 보임을 알 수 있다.

Fig. 10 은 식 (1)로부터 구한 지폐 통과 중 정상상태의 레버 변위(θ_p)와 실험을 통해 구한 레버 변위를 나타낸다. 벡터방정식 결과와 실험결과가 일정한 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 레버의 스프링력($F_{fric} + k\theta_s$)에 의해 지폐가 압축되고 있음을 나타낸다.

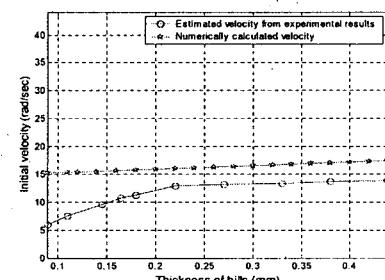


Fig. 8 Initial velocity of slit

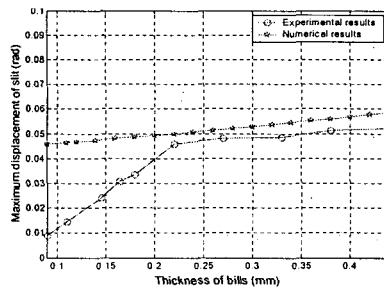


Fig. 9 Maximum displacement of slit

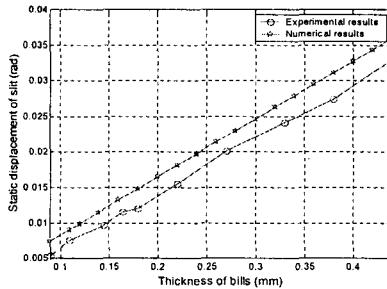


Fig. 10 Static displacement of slit

(3) 응답특성

2매 여부를 정확하고 빠르게 판단하기 위해서는 안정시간이 짧아야 한다. 이는 레버의 초기속도와 최대변위(θ_p)가 작아야 함을 의미한다.

이를 위해서는 지폐와 레버의 접촉각이 작아야 한다. 그러나 접촉각이 지나치게 작을 경우 Fig. 10 의 그래프 기울기가 작아지고 2매 여부를 판단할 수 있는 변위의 경계영역이 좁아져 2매검지의 정확도가 떨어진다. Fig. 11은 식(3), (4)를 이용해 계산한 접촉각의 변화에 따른 마찰력과 초기속도의 변화를 나타낸다. 변위의 경계영역을 크게 하기 위해 접촉각을 높일 경우 마찰력과 초기속도가 동시에 증가함을 알 수 있다.

또한 스프링 상수가 커야 최대변위가 작아지며 안정시간이 짧아진다. 그러나 스프링 상수가 지나치게 클 경우 지폐가 받는 저항력이 커져 지폐의 구겨짐이 발생 할 수 있다. Fig. 12는 식(3), (4)를 이용해 계산한 스프링상수(k)에 따른 마찰력과 최대변위(θ_p)의 변화를 나타낸다. 최대변위를 줄이기 위해 스프링 상수를 지나치게 높일 경우 최대변위는 작아지만 마찰력이 커짐을 알 수 있다.

2매 여부를 정확하고 빠르게 판단하기 위해서는 여러 요소의 변화에 따른 마찰력과 안정시간의 변화를 고려하여 설계해야 한다.

5. 고찰 및 결론

(1) 2매검지부 구동실험을 통해 지폐의 두께에 따른 응답특성 변화를 알 수 있었다.

(2) 지폐와 레버 접촉 시 레버의 회전 변위를 계산하기

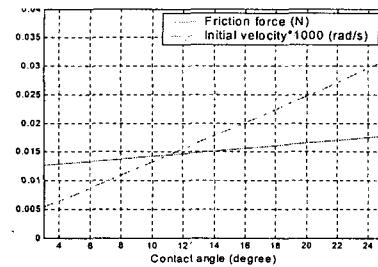


Fig. 11 F_{resist} and v_0 with contact angle (θ)

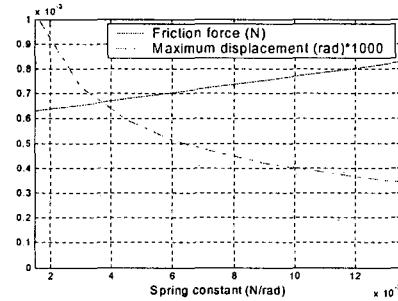


Fig. 12 F_{resist} and θ_p with spring constant

위해 벡터방정식을 이용하였으며 실험결과와 비교하였다. 지폐의 두께가 작을 경우 실험결과와 일정한 차이를 보였으며 두께가 클 경우 실험과 유사한 결과를 보였다. 이는 레버의 형상에 따른 접촉각의 변화로 인한 것임을 알 수 있었다. 또한 정상상태의 레버 변위의 수치 해석과 실험결과의 비교를 통해 지폐가 압축되고 있음을 확인하였다.

(3) 정확하고 빠른 2매검지를 위해 접촉각과 스프링 상수의 변화에 따른 마찰력, 초기속도, 최대 변위를 계산하였다. 이를 통해 여러 요소의 변화에 따른 마찰력과 안정시간 변화를 고려한 설계가 필요함을 알 수 있었다.

후기

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

참고문현

- (1) 서준호, 최연선, 정중기, 백운길, 윤준현, 2005, "ATM계이트 모듈의 동특성 해석", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집
- (2) 황재원, 갈한주, 박재근, 채재우, 1999, "고속용 솔레노이드 설계를 위한 수치해석적 연구," 한국자동차공학회 논문집 제 7권 3호, pp.94-102
- (3) G. Erdman, N. Sandor, S. Kota, 2002, "Mechanism Design," pp. 133~221