

ATM 게이트 모듈의 응답속도 개선

Reduction of the Response Time of an ATM Gate Module

서준호*·최연선†

Jun-Ho Suh and Yeon-Sun Choi

(2005년 11월 29일 접수 ; 2006년 3월 10일 심사완료)

Key Words : ATM(현금 자동 처리기), Gate(게이트), Maxwell(맥스웰), Solenoid(솔레노이드), Plunger(플런저), Rising Time (상승시간), Falling Time (하강시간)

ABSTRACT

ATM is a machine that receives and pays money. The gate module of 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 driving force of the solenoid and the spring force were measured, respectively. And the displacements of the plunger, the input voltage and current were measured experimentally. The measured dynamic behaviors were simulated numerically using Maxwell program which can accommodate the electromagnetic problem of the solenoid. Through the analysis, the design factors were found to make a fast and reliable new ATM gate module.

1. 서 론

ATM(auto teller machine)은 화폐를 직접 입출금 처리하는 금융자동화 기기로서 각 부품의 신뢰성이 높아야 한다. 특히 게이트(gate) 모듈은 ATM에서 지폐가 연속적으로 이송되는 과정에서 위폐를 걸러내고, 지폐의 이송방향을 바꾸는 장치로서 고속운전 상황에서도 확실히 작동하여야 한다. 고속으로 지폐가 이송되는 ATM에서 지폐의 이송방향을 확실히 바꾸기 위해서는 게이트 모듈의 액추에이터인 솔레노이드의 빠른 응답 특성이 요구된다.

솔레노이드(solenoid)는 전기에너지를 기계적 직선운동으로 변환하는 장치로써 비교적 간단한 제품이지만 경제적이면서도 정밀제어가 가능하기 때문에 스위치, 릴레이, 밸브 등의 요소 부품으로 다양하게

사용되고 있다. 그러나 성능향상을 위해서는 높은 기술력이 필요로 하여 많은 연구가 지속되고 있다.

권기태⁽¹⁾는 솔레노이드 밸브에 대한 유한요소 해석 결과를 솔레노이드 밸브의 고속 응답특성을 측정할 수 있는 실험장치를 사용하여 얻은 실험결과와 비교해 해석기법의 타당성을 검증하였다. 황재원⁽²⁾은 고속용 솔레노이드 설계를 위해 솔레노이드에 전압이 인가된 후, 지연시간과 응답시간에 대해 연구하였으며, 안수길⁽³⁾은 디젤엔진 분사기용 솔레노이드 형상에 따른 동특성을 연구하였다. Henry⁽⁴⁾는 솔레노이드의 과도응답에 대하여 연구하였으며, Gollee⁽⁵⁾는 유한요소법을 이용한 솔레노이드의 동적 거동 해석을 수행하였다.

이 연구에서는 솔레노이드의 고속 응답특성에 관한 연구를 위하여 ATM기 게이트 모듈의 동특성을 실험적으로 측정하고, 전자기장 유한요소 해석프로그램인 맥스웰(Maxwell)을 이용하여 게이트의 설계인자에 따른 응답속도를 해석하였다. 또한, 전산해석을 통하여 최적 응답속도를 가지는 설계인자를 찾고 실제 모델에 대하여 실험을 수행하여 해석의 타당성

† 책임저자; 정회원, 성균관대학교 기계공학부

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

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

*. 정회원, 성균관대학교 대학원 기계공학과

을 검증하였다.

2. 게이트

2.1 게이트 작동 상황

게이트 모듈은 솔레노이드 플런저의 병진운동이 게이트 레버의 회전운동으로 바뀌어 지폐의 이송 방향을 바꾸어 주는 역할을 한다. Fig. 1 에서 플런저는 질량(m)을 가지며 레버는 회전축에 대한 질량관성모멘트(J)를 가진다. 정상상태일 경우 솔레노이드의 흡입력(F_1)은 작용하지 않고, 레버가 스프링력(F_2)에 의해 아래 방향으로 고정되어 있으므로 지폐는 레버의 윗부분으로 이송된다. 그러나 센서가 위폐 또는 겹쳐진 지폐로 판별할 경우, 해당 지폐를 특정 경로로 이송하기 위해 게이트에 전압이 입력된다. 이때 솔레노이드의 흡입력이 스프링력을 이기고 플런저를 당기게 되며, 레버가 반시계방향으로 회전하여 지폐는 레버의 밑 부분을 통해 반송된다. 특정 경로 이송 완료 후, 게이트 입력 전압이 끊어지면 솔레노이드의 흡입력이 사라져 스프링력에 의해 플런저와 레버가 원래 위치로 복귀한다.

Fig. 2는 해석시간 기준을 나타낸다. 상승지연시간(w_r)은 초기 전압 입력부터 플런저가 흡입되기 시작하는데까지 걸리는 시간을 나타내며, 하강지연시간(w_f)은 전압 차단 시부터 플런저가 복귀하기 시작하기까지 걸리는 시간을 나타낸다. 상승시간(t_r)은 플런저가 움직이기 시작하여 정상상태까지 도달하는데 걸리는 시간을 말하며, 하강시간(t_f)은 전압 해제 후 플런저가 움직이기 시작하여 초기 위치까지 복귀하는데 걸리는 시간을 말한다. 전체 상승시간(T_r)은 w_r 과 t_r 의 합을 나타내며, 전체 하강시간

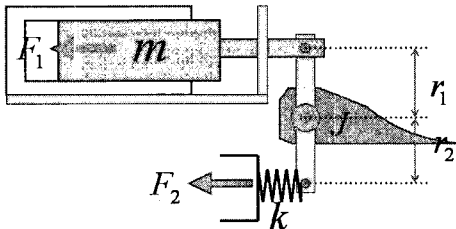


Fig. 1 Schematic diagram of the gate module
 $(r_1=7.9 \text{ mm}, r_2=5.5 \text{ mm}, m=42 \text{ g}, J=15.906 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2, k=576 \text{ N/m})$

(T_f)은 w_f 과 t_f 의 합을 나타낸다. 게이트의 고속 응답을 위해서는 레버가 실제 움직이는 시간인 t_r 와 t_f 가 짧아야 한다.

2.2 게이트 작동 실험

ATM기 내 게이트 모듈의 작동상황을 파악하기 위해 Fig. 3과 같은 실험장치를 구성하였고, 레이저 변위센서(graham & white instruments, M5L/20)를 이용하여 플런저 변위를 측정하였다. 입력신호와 변위 응답시간의 차이를 알기 위해 솔레노이드에 입력되는 전압 및 전류를 동시에 측정하였다.

Fig. 4는 ATM기 내에서 지폐 이송상황을 나타낸다. Table 1은 지폐 이송 시 각 부분의 길이 및 통과시간을 나타내며, 지폐 이송속도는 916 mm/sec이다. 지폐의 이송방향을 안전하게 바꾸기 위해서는 지폐와 지폐 사이의 시간 간격인 G 를 통과하는 시간 0.068초 이내에 플런저가 완전하게 작동해야 한다.

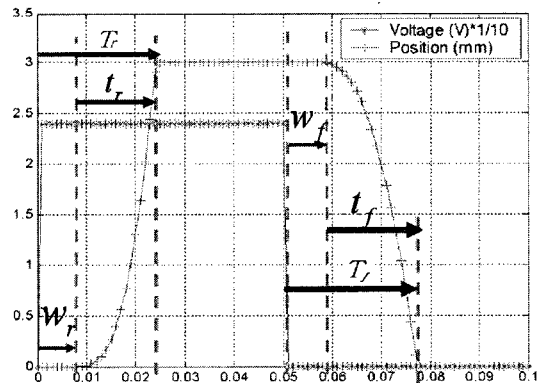


Fig. 2 Definition of the response times

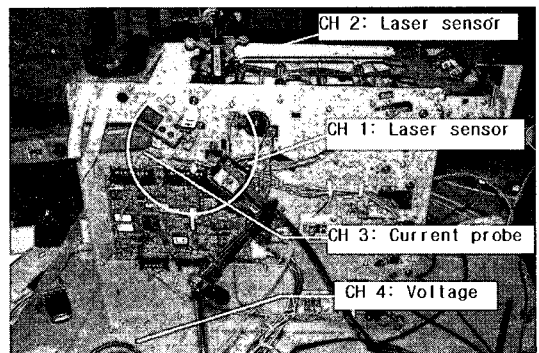


Fig. 3 Experimental set-up

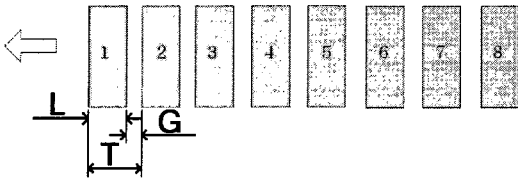
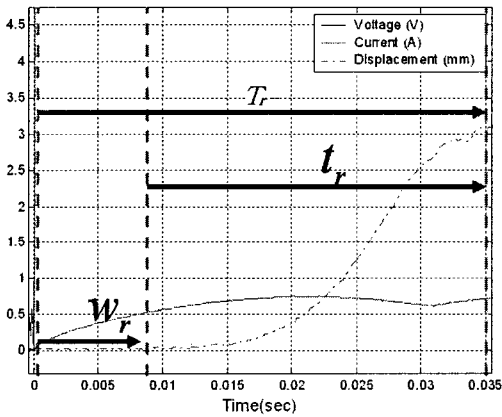


Fig. 4 Transfer of the bills

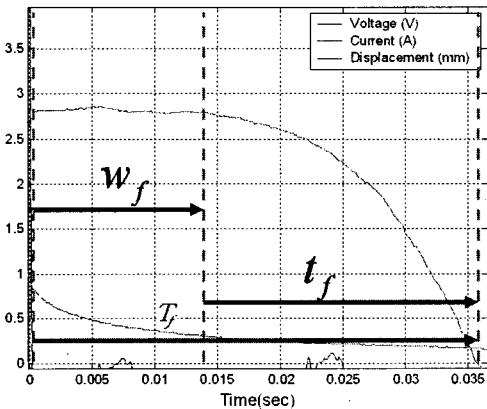
Table 1 The length and passing duration of the bill

	Length (mm)	Duration (sec)
One bill (<i>L</i>)	76	0.083
Gap between the 2 bills (<i>G</i>)	62	0.068
Total (<i>T</i>)	138	0.151

(Bill flow velocity : 916 mm/sec)



(a) Plunger suction



(b) Plunger return

Fig. 5 Variations of the input voltage, current and displacement

Fig. 5는 실험을 통해 측정된 전압, 전류, 플런저 변위를 나타낸다. 솔레노이드에 전류가 들어가서 플런저가 모두 흡입되기까지 T_r 에서 t_r 는 0.0263 초이며 전류가 차단되어 플런저가 복원되는 시간인 T_f 에서 t_f 는 0.021초로써 지폐 사이의 시간간격인 0.068초 보다 작으므로 지폐의 방향을 안전하게 바꿀 수 있음을 알 수 있다.

실험에 사용된 ATM기는 초당 6.3매의 지폐를 이송 및 처리 가능하다. 단위 시간당 더 많은 지폐를 보다 안전하게 처리 위해서는 게이트 모듈의 고속화가 필요하며 이를 위해서 게이트 모듈의 응답시간을 최소화할 수 있는 방법을 찾아야 한다.

3. 솔레노이드 응답시간

3.1 해석 모델

솔레노이드 구동 시, 코어와 아마추어 간에 서로 작용하는 힘은 중요한 요소이며, 솔레노이드의 작동 흡입력은 식 (1)과 같다. 또한 솔레노이드의 지연시간과 작동시간을 계산하면 식 (2)와 식 (3)과 같다.⁽²⁾

$$F_1 = \frac{B_g^2 A_g}{2\mu_0} \quad (1)$$

여기서, A_g : 공극부의 단면적 (mm^2)

N : 코일턴수 (winding number)

I : 전류 (A)

μ_0 : 공기의 투자율

$$w_r = \frac{L_0 l}{R} \frac{1}{1 - \frac{R}{U} (2F_{mech} \frac{\delta_0}{L_0})^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

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

여기서, F_{mesh} : 아마추어의 저항력

L_0 : 초기 인덕턴스

R : 저항

δ_0 : 초기 플런저의 위치

위 식의 유도과정은 자기회로를 이루는 연자성체의 자기 특성과 흡입력은 상관없이 없는 것으로 가정하여 누설자속은 없고 철심의 자기저항을 무시하였다. 그러나 철심의 자기저항을 무시할 수 있는 조건은 자성체의 자화가 BH 곡선의 선형구간에서만 가능하다. 실제로 솔레노이드 작동 시 상대적으로 면적이 좁은 코어 부분의 자화는 BH 곡선의 선형구간을 지나서 자기포화구간이 되며 자성체의 투자율은 자계의 세기(H) 값을 증가시켜도 자속밀도(B)가 거의 증가하지 않는 공기의 투자율과 비슷하게 된다. 결국, 자성체가 자기포화가 되면 철심의 자기저항을 무시한다는 가정이 성립될 수 없게 되어 위 식만으로는 정확한 지연시간의 계산이 불가능하게 된다.

이 연구에서는 Maxwell을 이용하여 과도응답 해석을 수행하였다. Maxwell 프로그램은 모터, Magnetic head 등의 전자기장 유한요소 해석 소프트웨어이다.

전산해석에 앞서 식 (4) 와 같이 게이트의 병진운동과 회전운동의 조합을 Maxwell에서 해석 가능한 병진운동계로 표현하였다. 질량 m' 는 레버의 질량 관성모멘트 J 를 플런저의 병진운동계로 표현한 것이다. 또한 스프링상수 k 는 Fig. 1의 스프링상수 k 을 플런저 병진운동에 관한 스프링 상수로 변환한 것이다. F_1 은 솔레노이드 흡입력이며, F_2 는 스프링력에 의한 초기장력을 나타낸다.

전산해석에 필요한 정확한 설계변수들을 알기 위해 레버의 힌지 회전축에 대한 질량관성모멘트(J)는 비틀림 진자법을 이용하여 구하였다. 플런저질량(m), 스프링상수(k), 초기장력(F_{init})을 직접 측정하였다.

플런저 이동에 따른 에너지 손실은 점성 감쇠운동으로 모델링 하였다. 점성 감쇠계수(c)는 Fig. 5의 실험 결과로부터 식 (4) 와 같이 정의하였다. 플런저 흡입시의 감쇠력이 복귀시의 감쇠력보다 커져 각

각 다른 값의 감쇠계수가 되어야 했다.

$$(m+m')\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_1 + F_{init} \quad (4)$$

$$m = 42 \text{ g}, J = 15.906 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2, m' = \frac{J}{r^2}$$

$$m + m' = 0.16578 \text{ kg}, k = 401 \text{ N/m}$$

$$\dot{x} > 0, c = 57.20 \text{ N} \cdot \text{sec/m}$$

$$\dot{x} < 0, c = 0.2 \text{ N} \cdot \text{sec/m}$$

앞에서 구한 설계변수를 이용하여 Fig. 6과 같이 2D 모델을 구성하였다. 솔레노이드 내에는 자기밀도가 높지만 주위로 갈수록 밀도가 낮아지므로 자기밀도를 고려하여 매쉬의 크기를 정하였다. 여러 설계변수의 변화에 따른 플런저 흡입력, 전류, 플런저 변위 등을 Maxwell로 계산하였다.

Table 3은 식 (2) 와 식 (3) 에 Table 2의 데이터를 대입하여 구한 실험과 Maxwell 해석 결과이다. 수치해석 결과는 수식으로 구할 수 있는 w_r 과

Table 3 Comparison between numerical result and experimental result (winging 1900, and 400 N/m spring constant (k)) (unit : sec)

	Experiment	Maxwell	Analytical
w_r	0.0087	0.0085	0.0033
t_r	0.0263	0.0265	0.0116
w_f	0.015	0.015	
t_f	0.021	0.021	

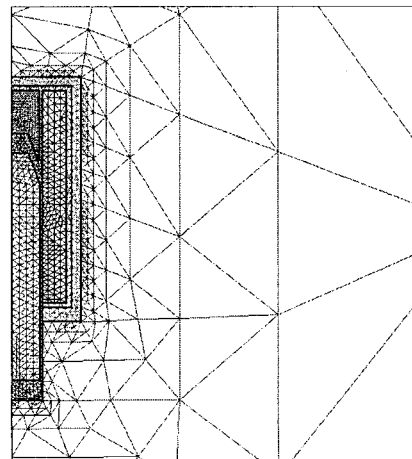
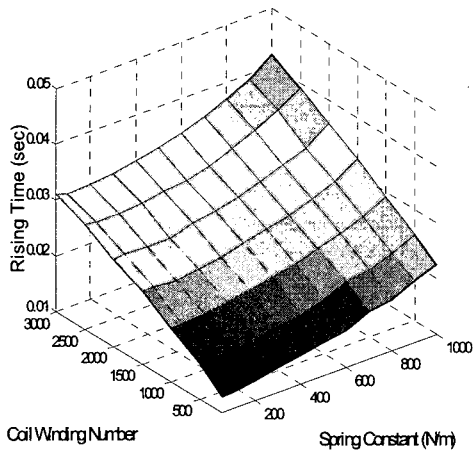


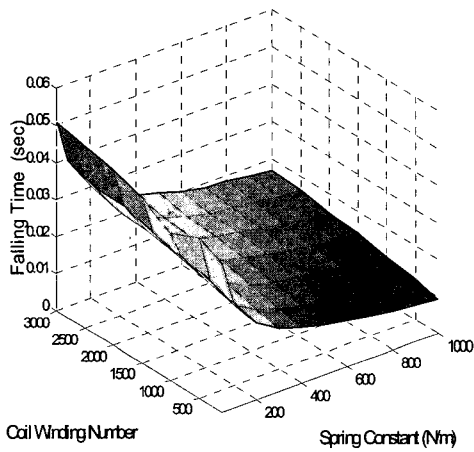
Fig. 6 2D mesh Maxwell

Table 2 Specification of the solenoid

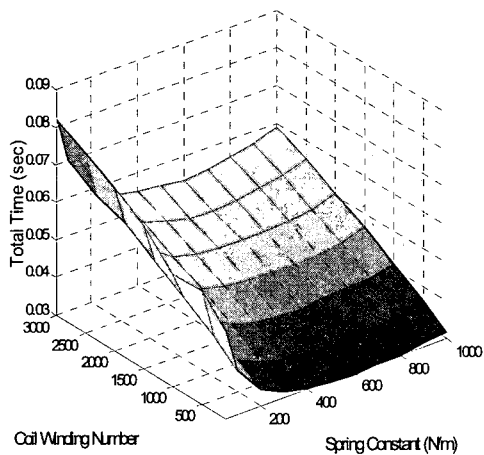
Notation	Numerical data
F_{mesh}	4.1 (N)
L_0	0.1566 (H)
R	24 (Ω)
δ_0	3 (mm)



(a) Rising time, t_r



(b) Falling time, t_f



(c) Total time

Fig. 7 Response times (Maxwell)

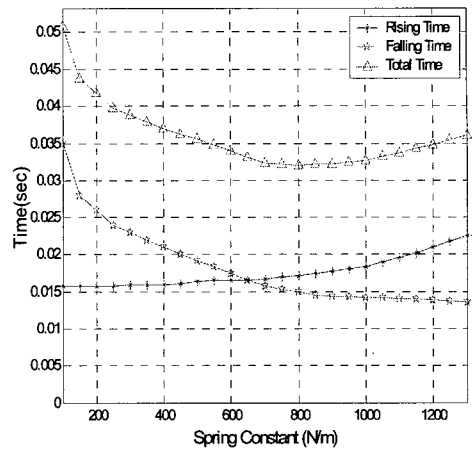
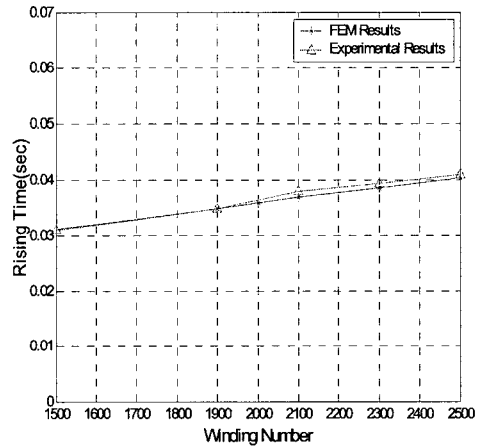
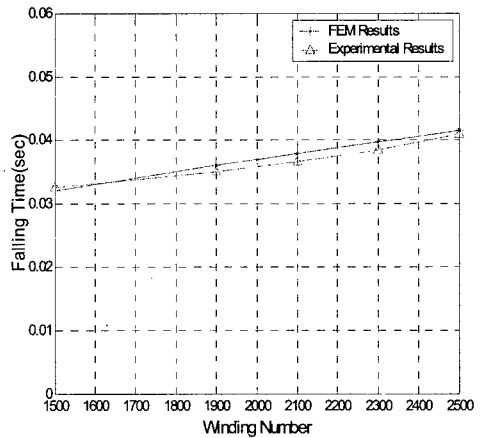


Fig. 8 Response time (N=1900)



(a) Rising time, T_r



(b) Falling time, T_f

Fig. 9 Comparison between Maxwell result and experimental results ($k=400$ N/m)

Fig. 8은 Fig. 7(a)~(c) 에서 코일턴수(winding number)가 1900회 일 때의 그래프 단면을 나타낸 것이다. 스프링 상수(k')가 800 N/m일 때 전체 응답속도가 가장 작아짐을 알 수 있다.

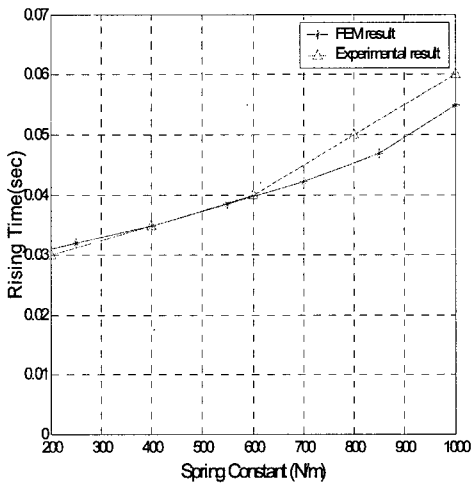
3.3 실험 및 검증

앞에서의 전산해석 결과를 검증하기 위해 먼저 솔레노이드의 코일턴수를 변화시키며 실험하였다. Fig. 9(a), (b)는 400 N/m의 스프링에서 T_r 와 T_f 의 코일턴수 변화에 따른 전산해석 결과와 실험결과를

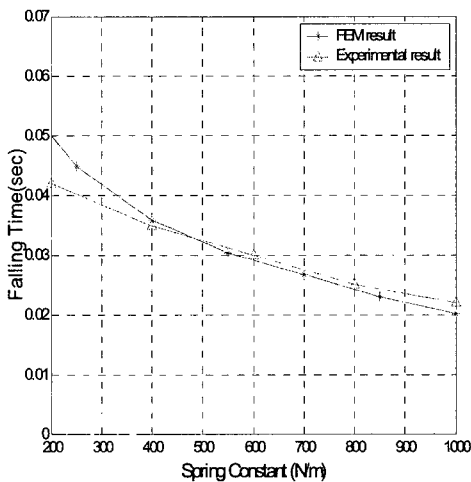
비교하였다. 전산해석결과와 마찬가지로 실험에서도 코일턴수가 커질수록 응답시간이 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 10(a), (b)는 스프링상수(k)를 각각 200, 400, 600, 800, 1000 (N/m)으로 변화시켰을 때의 실험결과와 전산해석 결과로써 서로 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

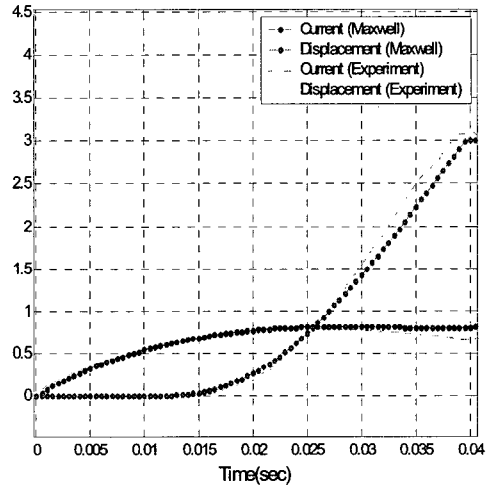
Fig. 11에서는 Maxwell 해석에서 구한 코일턴수 1900회에서의 최적의 응답속도를 스프링 상수(k) 800 N/m에 대한 실험결과와 전산해석 결과로써



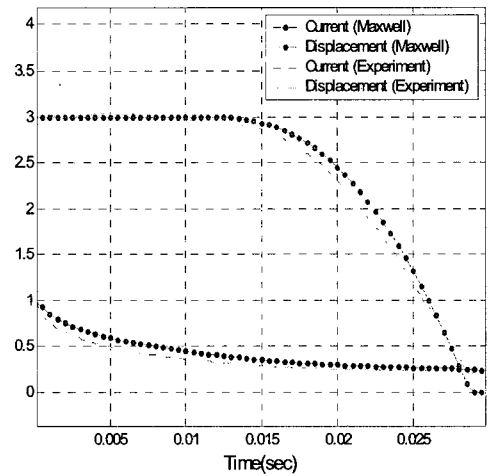
(a) Rising time, T_r



(b) Falling time, T_f



(a) Plunger suction



(b) Plunger return

Fig. 10 Comparison between Maxwell result and experimental result ($N=1900$)

Fig. 11 Comparison between Maxwell result and experimental result ($k=800$ N/m)

서로 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 스프링 상수 외에도 Fig. 7(c)에서 코일턴수가 감소함에 따라 응답시간이 감소하고 있다. 그러나 코일턴수의 감소는 발열량과 전류가 증가하여 기기 회로에 무리를 줄 수 있기 때문에 코일저항이 24Ω 이 되어 전류가 1A가 되는 코일턴수 1900회를 기준으로 정하였다.

결국, Maxwell 해석을 통하여 구한 스프링의 상수 변환으로 4.9 ms의 응답시간을 단축 할 수 있었다.

4. 결 론

게이트 모듈의 신뢰성 여부를 판단하기 위하여 작동 실험을 수행하였으며 초당 6.3매의 지폐를 처리하는데 문제가 없음을 확인하였다. 고속으로 지폐가 이송되는 ATM에서 신뢰성을 높이고 속도를 높이기 위해서는 게이트의 응답속도를 줄여야 한다. 본 연구에서는 현재의 상황보다 고속의 처리를 위하여 솔레노이드의 코일턴수와 게이트의 스프링 상수를 찾아내었다. 그리고 실험을 통하여 이를 증명하였으며 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

(1) 게이트 운전실험을 통해 입력전압, 전류, 플런저 변위를 측정하여 지폐의 이송속도를 고려한 게이트의 신뢰성을 확인하였다.

(2) 설계변수에 따른 응답특성을 구하고 최적의 응답속도를 보이는 설계변수를 찾기 위해 전자기장 유한요소 해석 프로그램인 맥스웰(Maxwell)을 이용하였다. 코일턴수와 스프링 상수의 변화에 따른 응답시간을 해석하였고 고속응답을 위한 설계변수를 구하였다.

(3) 스프링 상수가 작을수록 솔레노이드의 흡입력에 대한 저항력이 작아져 상승시간이 짧은 반면, 복원력이 약해져 하강시간이 긴 것을 확인하였다.

(4) 일정 코일턴수에서 스프링상수의 변화에 따른 상승시간과 하강시간의 변화를 계산하여 최적의 응답속도를 보이는 스프링 상수를 구할 수 있었으며 이를 실험으로 확인하였다.

후 기

이 연구는 산업자원부 부품소재기술개발사업(0302-DD2-034)으로 지원, 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) Kwon, K.-T. and Han, H.-T., 2002, "Dynamic Analysis of Fast-acting Solenoid Valves Using Finite Element Method," KSME Spring Conf. Proceedings, pp. 927~932.

(2) Hwang, J.-W., Kil, H.-J., Park, J.-K. and Chae, J.-O., 1999, "A Numerical Study for the Design of Fast Solenoid," The Transactions of the KSAE, Vol. 7, No. 3, pp. 94~102.

(3) Cho, K.-H., Rha, J.-H. and Ahn, S.-K., 2002, "Characteristics of Solenoid on the Shape for Electric Control Injector in Diesel Engine," KSAE Spring Conf. Proceedings, p. 438.

(4) Henry, J. P. and Dennis, D. S., 1987, "Predicting Solenoid Transient Performance," SAE 870473, pp. 93~99.

(5) Gollee, R., Roschke, Th. and Gerlach, G., 1999, "A Finite Element Method Based Dynamic Analysis of a Long-stroke Linear Actuator," Journal of Magnetism and Magnetic Materials 196~197, pp. 943~945.