

길이방향 지폐계수기 투입구의 최적 설계

윤준일*·김권희**

Design of a Feeding Mechanism for Longitudinal Banknote Counters

Jun-ill Yoon*, Kwon-hee Kim**

Key Words : optimization(최적화), feeding mechanism(급지 기구), banknote counter(지폐 계수기), Taguchi method(다구찌 방법), orthogonal array(직교 배열표), smaller the better(망소특성), inner array, outer array

Abstract

A new approach to the design of bank note counters is suggested. Modern bank note counters are equipped with several types of sensors for counting and detection of counterfeit bank notes. To achieve higher speed of counting while maintaining the sensing capability, longitudinal feeding scheme is proposed. Several merits of longitudinal feeding are discussed. Taguchi method is used for the optimization of the feeding mechanism.

1. 서론

위조지폐 감별기술의 발전과 함께 위조지폐의 제조기법도 고도화되고 있다. 위조지폐 감별은 고액권의 경우처럼 1 장씩 감별하는 경우와 대량으로 지폐를 계수 하면서 감별하는 경우로 나누어 볼 수 있다. 위조지폐의 감별을 위해서 보통 여러 종류의 센서와 실시간 실행 알고리즘이 사용된다. 실시간 위조지폐 감별을 위해서는 지폐가 여러 종류의 센서를 통과하는 시간을 충분히 확보할 필요가 있다. 1 장씩 감별하는 경우에는 충분한 시간적 여유가 있지만 고속으로 계수 하는 경우에는 실시간으로 위조지폐 여부를 판단하

는 것이 쉽지가 않다. 지폐계수기는 점차 고속화 추세에 있으므로 위조지폐의 실시간 감별은 점점 더 어려워지게 된다. 지폐가 폭 방향으로 이송되는 기존의 지폐계수기에서는 지폐가 센서를 통과하는 시간이 짧으므로 본 연구에서는 지폐가 길이방향으로 이송되는 새로운 개념의 설계를 추구하였다.

길이방향 투입 지폐계수기 개발의 첫 단계로 다구찌법을 이용한 투입구의 최적 설계를 실시하였다. 다구찌법을 이용하여 시간적, 재정적 비용을 최소화하면서 원하는 결과를 얻은 많은 사례들이 보고된 바 있다[1~8].

지폐계수기에 대하여 발표된 학문적인 연구결과는 매우 드문 실정이다. 유사한 기능을 갖는 프린터 급지 장치의 최적설계에 대한 연구결과가 발표된 바 있으나[9], 지폐계수기 관련 자료는 특허가 대부분이다.

공개된 특허는 위조지폐 감별, 서로 다른 종류의 지폐 판독 및 증첩된 지폐의 확인[10~15], 마찰 계수식 지폐계수기[16], 프린터나 복사기의 급

* 고려대학교 대학원 기계공학과
(Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Korea University)

** 고려대학교 기계공학과
(Department of Mechanical Engineering, Korea University)

지 방식[17,18,19] 등에 대한 것들이 있다. 복사기나 프린터의 급지 기구는 고속으로 계수 해야하는 지폐계수기에 적용하기에는 부적당하다고 판단된다. 현재 보급되어 있는 대부분의 지폐계수기들은 지폐를 폭 방향으로 이송시키는 기존 특허의 범위에 머물고 있다.

본 연구에서는 고속으로 계수가 가능하며 지폐가 길이 방향으로 투입되는 지폐계수기의 투입구를 좀더 체계적으로 연구하여 기존 계수기의 한계 성능을 극복하고자 한다.

2. 길이방향 지폐계수기의 설계

2.1 문제 정의

현재 가장 널리 보급된 계수기들은 지폐를 폭 방향으로 투입하도록 되어 있다(Fig. 1 참고). 지폐계수기에는 계수 센서(counting sensor)와 위조 지폐 감별, 금액 인식 등을 위한 별도의 센서들이 지폐의 이송 경로에 장착된다. 현재의 계수기들은 지폐가 세로 방향으로 투입되어 짧은 이송 경로를 가지고 있다. 또한 기구 내 회전체들이 지폐 길이보다 긴 회전축(shaft)들을 가지고 있다. 지폐이송경로가 짧기 때문에 각 지폐가 센서를 통과하는 시간도 짧아진다. 각 센서가 지폐를 길이방향 감지해야 하므로 센서의 설치공간도 커지게 된다.

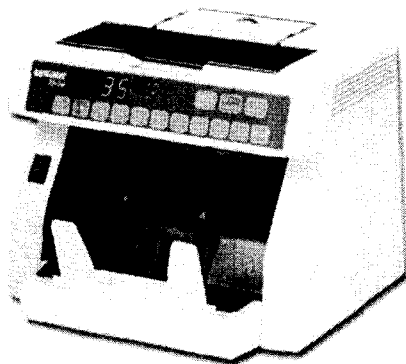


Fig. 1 A high speed banknote counter

회전축들이 길어짐에 따라 축의 진동과 소음을 억제하기가 어렵게 된다. 즉 폭 방향으로 지폐를

투입하는 경우 고속화의 한계가 있게 된다. 반면에 지폐를 길이 방향으로 투입하게 되면 지폐의 이송경로가 길어지고 축의 길이가 짧아지므로 폭 방향으로 투입하는 경우에 비해서 고속화에 유리하게 된다. 수명이나 내구성 측면에서도 유리할 것으로 생각된다.

길이방향 지폐계수기가 장점만 가지고 있는 것은 아니다. 폭 방향으로 이송되는 지폐계수기의 경우 이송 경로가 짧고, 그 구조 또한 간단하기 때문에 현재 가장 많이 보급된 것이다. 이에 비하여 길이방향 지폐계수기는 이송경로가 길어질 수밖에 없으며 지폐 걸림이 발생할 가능성이 높아진다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 기존의 이송기구보다 더 효율적인 기구가 필요하게 된다.

본 연구는 지폐계수기의 전체 시스템을 설계하기에 앞서 투입구의 성능 개선을 목표로 하고 있기 때문에 논의를 투입구 부분에 국한하기로 한다.

2.2 설계인자

지폐 적재함(스태커)에서 투입구로 이송하기 위해 공급장치(피드롤)가 필요하다. 투입구까지 공급된 지폐는 한 장씩 분리하는 장치(브러시)를 거쳐서 센서들이 설치된 경로로 이송장치(드라이브롤)에 의하여 이송된다. 이번 설계의 주안점은 투입구에서 지폐를 한 장씩 분리하는 브러시에 두기로 한다.

따라서 주요 설계인자는 피드롤, 브러시, 드라이브롤 등과 이들의 지지구조 및 동력전달 구조에서 도출된다.

2.3 개념설계

설계인자들 중 이 연구에서 핵심이 되는 부분은 피드롤, 브러시, 드라이브롤로 구성되는 급지 기구이다.

세 부분 모두 마찰력을 이용하는 방법을 채택했다. 마찰력을 이용하는 것이 가장 저렴하며 기구의 복잡성도 최소화할 수 있다고 판단하였다.

피드롤은 스태커에서 드라이브롤까지 지폐를 이송하는 역할을 하며 가능한 한 한 장씩의 지폐를 이송하도록 한다. 피드롤의 마찰재를 편심 회

전시켜 지폐다발에 충격을 가함으로써 지폐의 분리를 유도하도록 한다.

드라이브롤은 브러시와 함께 지폐를 이송시키는 역할과 함께 겹쳐진 지폐를 분리하는 역할을 담당하게 된다. 여러 차례 브레인스토밍을 통해 얻은 결론은 드라이롤에 홈을 내고 홈 사이로 브러시가 통과하여 브러시가 지폐를 누르고 이 힘으로 드라이브롤의 마찰재에 의해 마찰력을 받은 지폐가 이송되게 하는 구조이다. 따라서 지폐를 서로 분리하기 위해서는 드라이브롤과 지폐 사이의 마찰력이 지폐와 지폐 사이의 마찰력보다 커야하며 지폐와 브러시 사이의 마찰력이 지폐와 지폐 사이의 마찰력보다 크고 브러시와 지폐 사이의 마찰력이 드라이브롤과 지폐 사이의 마찰력보다 작아야 지폐가 투입될 수 있다.

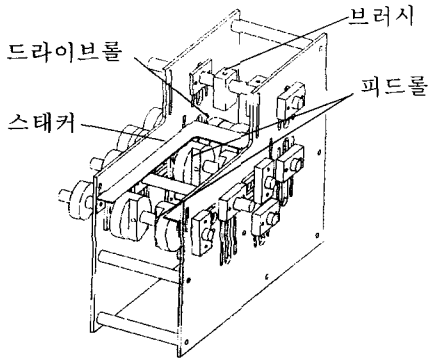


Fig. 2 Experimental apparatus

Fig. 2는 개념설계를 통하여 제작된 실험 장치이다. 피드롤은 지폐가 길이방향으로 투입되는 것을 고려하여 두 개를 설치하였으며, 서로의 상대위치가 조정되게 하였다. 드라이브롤과 브러시의 높이도 조절되게 하였다. 따라서 브러시가 드라이브롤에 닿는 접촉각을 변화시킬 수 있으며 지폐가 투입되는 각도도 변화시킬 수 있다. 피드롤, 드라이브롤, 브러시에는 각각 마찰재를 바꿔서 실험할 수 있게 하였다.

3. 지폐계수기 투입구의 최적화

3.1 설계변수

Table 1 Control factors

Control Factor	Description	1	2
FM	Feedroll Material	Latex	SR
DM	Driveroll Material	Latex	SR
FDD	Distance between Feedroll and Driveroll	45mm	40mm
DH	Height of Driveroll	11mm	7mm
BDD	Distance between Brush and Driveroll	24mm	26mm
DD	Depth of Driveroll	2mm	1mm
F	Brush Force	3.9N	2.9N

Table 2 Noise factors

Noise Fator	Description	1	2
NW	지폐 구겨짐 상태	Good	Bad
NS	지폐 표면 거칠기	Good	Bad
NA	지폐 초기 정렬 상태	Good	Bad

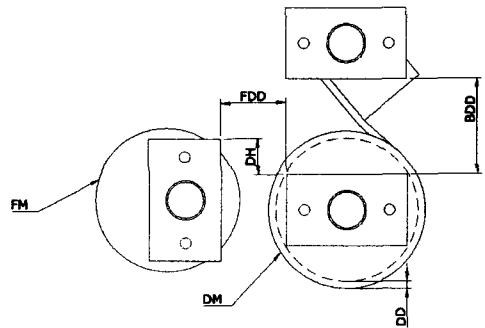


Fig. 3 Control factors

설계 변수를 Table 1에 다구찌법 개념의 제어 변수로 나타내었다. Table 2에는 지폐의 상태나 지폐투입 상태 등 설계자가 선택할 수 없는 잡음 변수를 수록하였다. 제어변수로 피드롤 마찰재와 드라이브롤 마찰재를 Latex와 SR (Synthetic Rubber)의 두 레벨로 설정하였다. 이 외의 제어 변수는 Fig. 3에 나타난 것처럼 FDD는 피드롤과 드라이브롤의 수평 거리, DH는 드라이브롤의 스태커와의 높이, BDD는 드라이브롤과 브러시의 상대거리, DD는 드라이브롤의 홈 깊이 등이다.

BDD로 드라이브롤과 브러시 사이의 투입 각도가 결정된다.

한편 설계 변수의 설정 값들은 예비 실험을 통하여 확인 된 값들을 사용하여 범위를 제한하였다.

3.2 직교 배열표

제어 변수로 inner array(L8)를 구성하고 잡음 변수로 outer array(L4)를 구성하였다. Outer array는 잡음 변수의 영향을 알아보기 위하여 구성되었으며 기여도 분석을 통하여 각 잡음 변수의 영향을 분석할 수 있다. Table 3은 구성된 직교 배열표를 나타내고 있다.

Table 3 Orthogonal array with test results

Run	FM	DM	FDD	DH	BDD	DD	F	Control Factors				
								NA	G	B	G	
1	L	L	45	11	24	2	3.9	NS	G	B	G	B
2	L	L	45	7	26	1	2.9	NS	G	B	G	B
3	L	S	40	11	24	1	2.9	실험 결과	G	G	B	B
4	L	S	40	7	26	2	3.9		G	G	B	B
5	S	L	40	11	26	2	2.9		1	2	1	2
6	S	L	40	7	24	1	3.9		3	2	2	1
7	S	S	45	11	26	1	3.9		2	0	1	4
8	S	S	45	7	24	2	2.9		2	2	1	0
									1	1	3	1
									0	2	0	1

실험결과 : Number of overlaps for 30 counted banknotes

3.3 실험 결과

Table 3의 결과는 1000원 권 지폐 30매가 계수기를 통과하여 나올 때 한 장 이상이 연결되어 나오는 겹침수(number of overlapped banknotes)를 센 것이다. 예를 들면 3장이 연결되어 나왔다면 겹침수는 2 매가 된다. 또, 겹침이 반복된 경우 각각의 경우를 모두 합친 개수가 된다. 예를 들면 2장이 겹쳐 나오고 이후 3장이 겹쳐 나왔다면 1 + 2 = 3 매가 된다. 겹침수의 관측은 드라이브롤 뒤에 설치된 계수센서 신호를 오실로스코프로 받아 분석하였다. 지폐계수기의 특성상 한 장이라도 겹쳐서는 안되므로 겹침수의 목표치는 0 매이다.

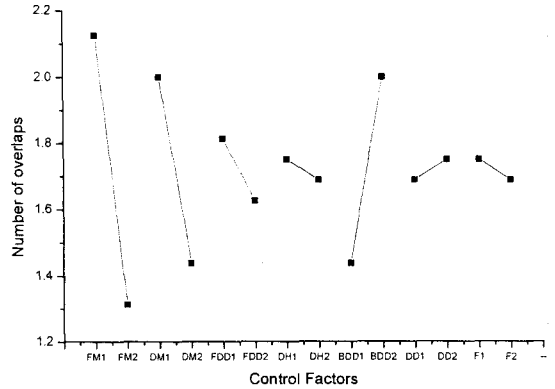


Fig. 4 Mean value analysis for control factors

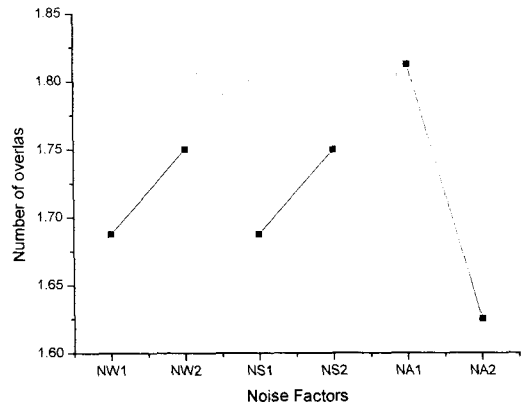


Fig. 5 Mean value analysis for noise factors

3.4 결과 분석

위조지폐 감별용 센서가 작동하기 위하여는 지폐가 겹쳐서 이동되어서는 안 된다. 따라서 지폐 투입구의 최적화는 겹침수에 대한 망소특성(smaller the better)의 문제로 볼 수 있다.

기여도가 큰 제어 변수는 첫째 피드롤의 마찰재 재료(FM)였으며 다음은 드라이브롤 마찰재 재료(DM), 브러시와 드라이브롤 사이의 거리(BDD)가 같은 기여도를 가지고 있었다. 나머지 변수의 기여도는 위에 나열한 세 개의 변수에 비해 상대적으로 작게 나타났다.

제어 변수의 기여도 분석을 바탕으로 한 최적의 실험 조건은 FM2, DM2, FDD2, DH2, BDD1,

DD1, F2이며 이 조건은 Run 8의 FDD를 2로 바꾼 것과 동일하다. 이 조건으로 실험할 경우 예상되는 겹침수는 100 매 계수에 대해서 1.87 매이며 목표치 0 매에 근접하는 값이다. 위의 최적 조건으로 확인실험을 한 결과 100 매 계수에 대해서 0.83 매라는 겹침수를 얻을 수 있었다.

잡음 변수의 영향 분석을 실시한 결과 잡음 변수 세 개 모두 제어변수의 기여도 분석에서 낮은 기여도를 얻은 나머지 네 개의 변수(FDD, DH, DD, F)의 기여도와 같거나 더 작은 값을 가졌다. 따라서 잡음 변수의 영향은 무시해도 될 것으로 판단된다.

4. 결론

지폐계수기의 특성상 겹침은 없어야 한다. 다구찌법을 이용한 실험을 통하여 길이방향 지폐계수기가 기존 고속 지폐계수기를 대체할 수 있는 정도의 수준으로 개발될 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다.

이번 연구로 길이방향 지폐계수기 투입구의 피드롤, 드라이브롤, 브러시 등의 배치, 형상에 대한 최적값을 얻을 수 있었다.

지폐계수기가 사용되는 실제 상황에는 지폐의 상태가 더욱 다양하므로 더 많은 잡음 변수를 가지고 있다고 보아야한다. 지속적인 연구로 기존 계수기의 한계성능을 극복하기 위한 설계기술을 확립하는 것이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

- (1) Glen Stuart Peace, "Taguchi Methods" Addison-Wesley, 1993
- (2) W.Y.Fawlkes et al., "Engineering Methods for Robust Product Design - Using Taguchi Methods in Technology and Product Development", Addison-Wesley, 1995
- (3) 권이석, 박선용 외 4인, "다구찌기법을 이용한 에스컬레이터의 소음저감에 관한 연구", 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, 1996
- (4) Hsiang Simon, McGorry Ray, "Use of Taguchi's methods for the evaluation of industrial knife design", Ergonomic Volume 40, Issue 4, 1997
- (5) 김명업, 이두호, "다구찌 직교배열을 이용한 승용차의 실내소음 분석 및 개선", 한국소음진동공학회지 제 9권 5호, 1999
- (6) 윤용일, 김추호 외 2인, "다구찌 방법을 이용한 굴삭기 소음저감 및 열평형 개선", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, 1999
- (7) 차경준, 진정언, "다구찌 방법과 비제어인자를 이용한 흡기계의 저소음화 최적 설계", 품질경영학회지 제 28권 1호, 2000
- (8) 오재용, 조용구 외 1인, "다구찌법을 이용한 자동차 흡기계의 저소음화에 대한 연구", 한국소음진동공학회지 제 11권 2호, 2001
- (9) Do Yun Goo et al., "An object-oriented configuration design method for paper feeding mechanisms", Expert Systems with Applications, 1998
- (10) Pearce et al., "Multiple Sheet Detecting Apparatus", U.S. Patent No.4066969, 1978
- (11) Mazumder, "Double Document Detection System", U.S. Patent No.4243216, 1981
- (12) Raterman et al., "Method and Apparatus for Currency Discrimination and Counting", U.S. Patent No.5692067, 1997
- (13) Graves et al., "Method and Apparatus for Discrimination and Counting Documents", U.S. Patent No.5870487, 1999
- (14) Jones et al., "Method and Apparatus for Discrimination and Counting Documents", U.S. Patent No.5966456, 1999
- (15) Raterman et al., "Method and Apparatus for Currency Discrimination and Counting", U.S. Patent No.6073744, 2000
- (16) Calverley et al., "Sheet Feeding Apparatus and Method", U.S. Patent No.4968015, 1990
- (17) Hatanaka, "Paper Feed Mechanism", U.S. Patent No.5954328, 1999
- (18) Wakana et al., "Paper Feeding Mechanism", U.S. Patent No.5975518, 1999
- (19) Padget, "Automatic Sheet Feeding Mechanism", U.S. Patent No.6135444, 2000