

## 광섬유 센서를 이용한 지폐 계수 장치에 관한 연구

강대화\*, 홍준희<sup>+</sup>, 신우철<sup>++</sup>, 송두상<sup>+++</sup>, 장탁순<sup>+++</sup>

(논문접수일 2007. 9. 7, 심사완료일 12. 6)

### A Study of the Non-Contact Bill Counter using Optical Fiber Sensor

Dae-Hwa Kang\*, June-Hee Hong<sup>+</sup>, Woo-Cheol Shin<sup>++</sup>, Doo-Sang Song<sup>+++</sup>, Tak-Soon Jang<sup>+++</sup>

#### Abstract

In this paper, we studied the possibility of non-contact bill counting method using optical fiber sensor instead of traditionally used friction counting method. To implement non-contact counting, we designed and made optical fiber sensor and related parts. optical fiber sensor is made of optical fiber of 1mm diameter, photo diode and laser diode. Based on the conclusion which derived from preliminary experiment, instrument part is designed to make unevenness on the surface of bill paper and to stay parallel with optical fiber section. By analyzing the signal of optical sensor, we made counting program. Experimental instrument is composed of sensor part, instrument part, signal handling part. We checked the possibility of non-contact counting method after implementing experiment by using optical fiber sensor and instrument part.

**Key Words** : Bill Counter(지폐 계수기), Optical Fiber Sensor(광섬유 센서), Non-Contact(비 접촉)

### 1. 서론

화폐란 교환경제 사회에서 상품의 교환·유통을 원활하게 하기 위한 일반적 유통수단이다. 실제로 경제생활에 있어서는 화폐의 매개작용에 의하여 비로소 원하는 상품을 얻을 수 있다는 것은 틀림없는 사실이다. 이러한 화폐의 가장 중요한

요건은 신뢰성이다. 화폐는 생산에서 폐기까지 계수의 연속이다. 또한 사람을 떠나는 화폐는 반드시 계수를 해서 다른 사람에게 전달된다. 계수의 중요함은 화폐의 존재 근간이라 말할 수 있다. 본 연구에서 다루는 지폐계수기(Bill counter)란 조폐공사, 은행, 개인 등이 화폐를 계수하기 위해 사용하는 장치를 말하며 일정매수 이상의 지폐를 계수 하는데 매우 편

\* 충남대학교 기계공학과 대학원

+ 교신저자, 충남대학교 기계공학과 BK21 메카트로닉스 사업단 (hongjh@cnu.ac.kr)  
주소 : 305-764 대전광역시 유성구 궁동 대학로 79

++ 한국기계연구원 지능기계연구센터

+++ 충남대학교 기계공학과 대학원

리하여 널리 사용되고 있다. 기존의 계수기는 마찰식(Roller Type) 지폐계수기 형태와 흡입식지폐계수기(Vacuum Type) 형태이다. 이러한 흡입식 및 마찰식 지폐계수기는 롤러와 지폐의 마찰로 수량을 감지하는 형식이기 때문에 흡입이나 마찰에 의해 먼지가 발생하고 소음이 발생 하여 환경 및 위생 상태가 취약한 단점이 있다. 실제로 마찰식이나 흡입식 계수기에는 계수시 발생하는 오염된 먼지 등을 제거하기 위해서 정화기능을 추가로 장착하는 실정이며 그에 대한 연구도 활발히 진행중이다<sup>(1)</sup>. 그러나 이러한 정화기능이나 집진 장치를 장착하여서는 본래의 문제인 각종 미세 먼지나 소음에 대한 원천적인 문제해결이 이루어질 수 없다.

광학식 측정방식은 측정시 마찰이 발생하지 않고 전기신호로 측정결과가 출력되기 때문에 고속측정 및 측정 자동화에 용이한 장점을 지니고 있다<sup>(2)</sup>. 본 논문에서 다루고 있는 광섬유 센서는 광을 매개체로 하여 응답성이 뛰어나고 센서 구조가 간단하다<sup>(3)</sup>. 또한 광파이버 끝단이 곧 측정 프로브가 되므로 그 외형 크기가 타 센서에 비해 상대적으로 작고 경량이다<sup>(4)</sup>. 광섬유 센서는 피측정량이 초래한 빛의 세기변화, 광섬유의 굴절률 및 길이변화, 그리고 편광상태의 변화를 이용하여 피측정량을 추정하는 센서로서, 이를 이용하여 측정할 수 있는 측정량으로는 전압, 전류, 온도, 압력, 스트레인, 회전율, 음향, 가스농도, 등 거의 모든 종류에 적용 및 연구되고 있다<sup>(5)</sup>. 이에 본 논문은 광학식 계수기의 상용화를 목적에 두지 않고 광섬유 센서와 기구부를 제작하여 비접촉식 변위 측정 방법을 적용, 기존 계수기의 문제점인 지폐의 품질 저하를 방지하는 등 지폐를 계수할 수 있는 가능성에 대해 실험적으로 확인하고자 한다.

## 2. 광학식 지폐 계수 측정 원리

Fig. 1은 본 연구에 사용된 광섬유 변위 센서를 이용한 비접촉 지폐 계수기의 기본 구성 개략도를 보여주고 있다. 광섬유 형태의 센서는 측정 대상체의 변위에 의해 변하는 광량 변화를 수광소자를 통해 전기신호를 나낸다<sup>(6)</sup>. 광원인 레이저 다이오드(Laser diode, LD) 또는 LED를 통해 발생한 빛은 투광섬유(Transmitting optical fiber)를 통해 측정부로 전송되어 지폐 측정면에 조사되고 그 반사광은 투광섬유와 나란히 배치된 수광섬유(Receiving optical fiber) 내부로 일부 입사된다. 이때 두 광섬유 끝단면과 지폐 측정면의 공극 크기에 따라 수광섬유 내로 입사되는 반사광속이 변하게 된다. 이 광속 변화는 수광섬유를 통해 포토다이오드(Photodiode,

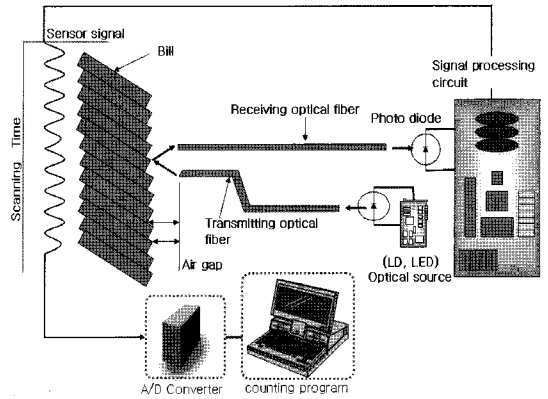


Fig. 1. Schematic of the non-contact bill counter system

PD)로 전송된다. 포토다이오드는 광 신호를 전기 신호로 변환하는 기능을 하며 변환된 전기 신호는 신호처리회로(Signal processing circuit)를 통해 센서 신호로서 적당한 전압 신호로 출력된다. 즉, 광섬유 변위 센서의 변위 응답 특성은 변위와 수광섬유의 검출된 강약의 크기로 고찰할 수 있다.

## 3. 광학식 지폐 계수 장치 설계

### 3.1 센서부

Fig. 2는 본 연구에 사용된 플라스틱 파이버로 투광섬유와 수광섬유 하나씩으로 구성된 쌍형(Pair Type) 광섬유 프로브의 단면 형상을 나타낸다. 플라스틱 파이버는 근거리 광전송 분야에서 폭넓게 응용되고 있으며, 개구수(NA(Numerical aperture))가 높아서 접속 효율이 좋다. 수광 허용각을 광섬유 입력 끝단이 공기라고 할 때 개구수는 다음과 같다.

$$NA = \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1)$$

여기서  $\alpha_0$ 는 광섬유의 수광 허용각,  $n_1$ ,  $n_2$ 는 각각 코어와 클래드의 굴절률을 나타낸다. Fig. 2에서 보여주듯이 본 연구에 사용한 광섬유 센서는 매우 간단한 구조를 하고 있으며 레이저 다이오드모듈과 포토다이오드를 사용하여 경제적이면서 비교적 고사양의 비접촉 센서를 제작, 구현할 수 있다. 이러한 이유에서, 직경 1mm의 플라스틱 광섬유(Autronics Corp., FD 620-10)를 사용하였으며, 레이저 다이오드 모듈(Lanics Co. Ltd LM-6505NG), 포토 다이오드는 PIN 포토 다이오드(THORLABS INC. SM05-PD1A)를 적용하였다.

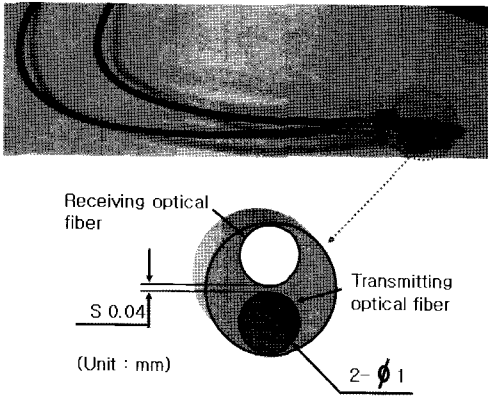


Fig. 2. Section of optical fiber displacement sensor probe

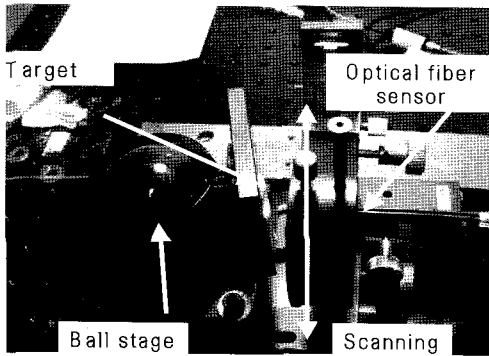


Fig. 3. Preliminary experimental set up for uneven scanning

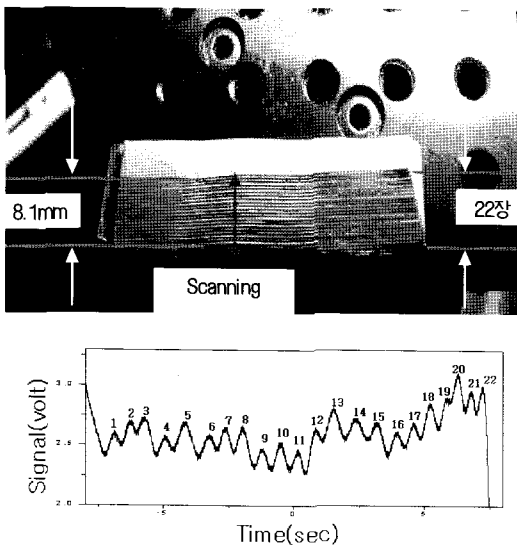


Fig. 4. Signal of preliminary experiment

### 3.2 계수 가능성 고찰

제작된 광섬유 변위 센서의 표면 요철에 대해 기본적인 스캐닝 성능 실험을 실시하였다. Fig. 3은 실험에 사용한 실험장치를 보여주고 있다. 광학식 계수 기초실험에 적용한 실험장치로서는 XYZ스테이지와 볼(ball) 스테이지를 이용하여 측정면과 광섬유 프로브가 수직으로 위치할 수 있도록 하였다.

첫번째로 종이에 요철을 주지 않고 적층되어 있는 상태로 실험을 하였는데, 그 결과 얻은 신호의 파형은 계수하기에 불가능 하였다. 두번째로 종이표면에 요철을 주기위해 Fig. 4에서 보여주듯이 종이를 한 장씩 단차를 두어 쌓아 고정시킨후 실험을 진행하였다. 22장의 종이 타겟에 단차를 두어 요철에 스캐닝 하였을 때 변위에 따른 광섬유 센서의 응답 파형을 Fig. 4에서 보여주고 있다. 종이의 개수와 출력된 신호가 정확히 일치 하였다. 종이간격을 측정된 결과 0.37mm임을 알 수 있었다. 따라서 광학식 계수 장치 설계에 종이와 종이 사이의 간격을 줄 수 있는 구조로 설계해야 함을 알 수 있다.

### 3.3 기구부

기초실험을 통해 얻은 결과를 토대로 지폐표면에 요철을 주는 원리는 Fig. 5로 설명이 가능하다. 그림에서 보는 바와 같이 높이가  $h$ 인 두 개의 같은 직사각형 보에 힘  $P$ 를 가하면 각 지폐의 독립된 휨이 일어난다. 각각의 보를 지폐로 보면 광학식 계수시 필수 요건인 표면에 요철을 만들어 광섬유 센서의 신호 응답을 가능하게 해준다.

Fig. 5에서 보여준 원리와 같이 지폐의 표면에 단차를 주기 위해 Fig. 6과 같이 기구부를 구성하였다. 간극조절 나사에 의력을 가하면 적재된 지폐다발에 양쪽으로 요철 부분이

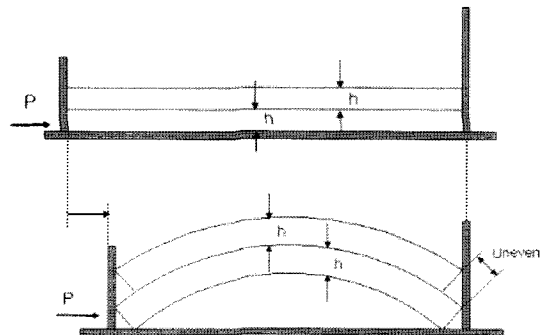


Fig. 5. Basic concept of uneven formation

생성되는 구조이다. 제작된 기구부는 지폐가 20매 이상 거치시 지폐 표면의 요철이 겹치거나 정렬상태가 계수가 어려워 최대 20매를 거치하고 실험을 진행하였다. 생성된 지폐의 요철면에 광섬유 변위 센서를 스캐닝하여 광학식 계수를 할 수 있도록 설계 제작 하였다.

지폐 표면 요철의 크기와 힘을 최적화 하기 위해 기구부에 Fig. 6과 같이 눈금자를 설치하였다. 최대 20매 거치후 간극 조절나사를 0mm에서 38 ~ 40mm 전진했을 때 계수할 수

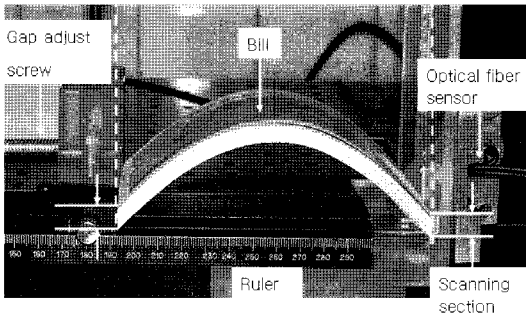
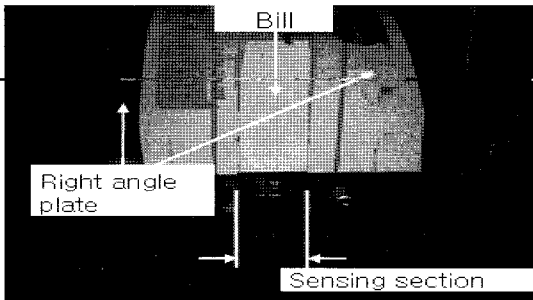
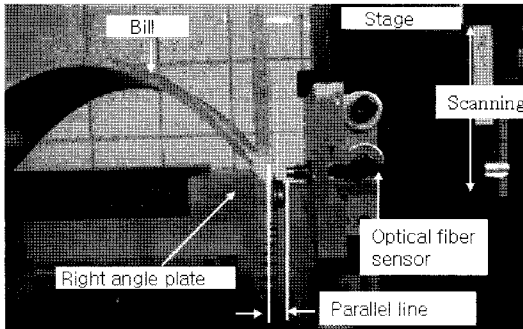


Fig. 6. Jig of non-contact bill counter



(a) front view



(b) side view

Fig. 7. Parallel line between optical fiber sensor and bill surface

있는 최적의 요철이 생성됨을 알 수 있었다.

Fig. 7은 제작한 기구부의 핵심사항인 전면에 홈을 가공한 직각판을 제작, 지폐 거치시 광섬유 프로브가 지폐표면과 자연스럽게 평행하게 스캐닝 할 수 있도록 설계하였는데 이유는 광섬유 센서의 특성상 측정 대상물과 평행을 이루기 위해서이다.

### 3.4 카운터 프로그램

광학식 계수기는 투광부, 수광부, 신호처리부로 구성되어 있고 광원으로는 레이저 소스를 사용하여 빛을 발생시켜 투광용 광섬유를 통해 지폐 표면까지 전달시킨다. 반사된 광은 수광용 광섬유를 통해 입사되며 입사된 광량을 전기신호인 전류로 변환하는 A/D converter를 통하여 계수프로그램에 입력된다. 입력된 신호의 피크점을 찾아내어 수치화하여 합산 할 수 있게 계수프로그램을 개발 하였다. Fig. 8은 본 연구에 적용한 계수 알고리즘을 보여주고 있다.

$$((A[i+2]<A[i+1])\&\&(A[i+1]>A[i])) \quad (2)$$

샘플링에 의해 나타나는 신호의 최고 피크값을 기준으로 각각 전·후 신호의 크기 변화를 비교하여 프로그래밍된 식 (2)를 만족하면 1개씩 카운팅 되는 알고리즘이다. 그러나 식 (2)로 실험하여 본 결과 입력되는 불필요한 노이즈의 피크값까지 합산되어 계수가 부정확하였다. 따라서 조건문을 다음과 같이 개선하였다.

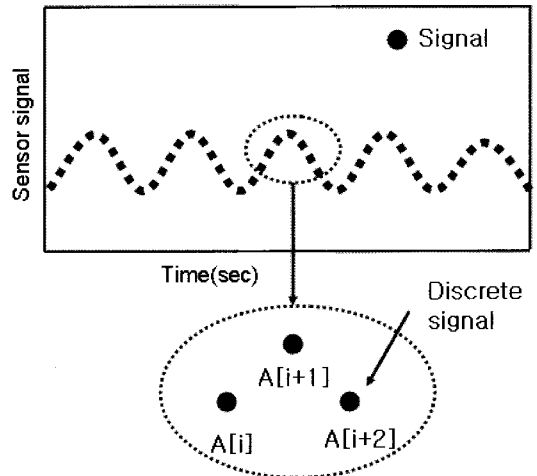


Fig. 8. Algorithm of non-contact bill counting

조건문(1)  
 $((\text{signal}[i+2] < \text{signal}[i+1]) \&\& (\text{signal}[i+1] > \text{signal}[i]))$  (3)

조건문(2)  
 $(\text{filtered\_signal}[i] > x)$  (4)

조건문(3)  
 $((\text{filtered\_signal}[i+1] - \text{filtered\_signal}[i] > x) \&\& (\text{filtered\_signal}[i+2] - \text{filtered\_signal}[i] < -x))$  (5)

조건문(4)  
 $((\text{filtered\_signal}[i+2] < \text{filtered\_signal}[i+1]) \&\& (\text{filtered\_signal}[i+1] > \text{filtered\_signal}[i]))$  (6)

식(3)에서는 A/D보드를 통해 입력되는 신호에 조건문을 적용하고 식(4)에서는 식(3)에서 통과된 신호의 일정값 이상을 통과시킨다. 식(5)에서는 신호의 부호가 바뀌는 구간이 노이즈에서는 값이 적으므로 정상적으로 발생하는 지폐표면의 단차의 신호만 통과 시킨다. 식(6)의 x, -x는 불필요한 노이즈 신호값의 구간이다. 식(6)을 통과한 신호들만 계수에 합산된다. 노이즈의 필터링은 계수 프로그램내 디지털 저역통과필터를 장착 하였으며 또한 외부의 카운터 없이 계수 결과를 실시간으로 디스플레이 할 수 있게 프로그래밍 하였다. 여기에서 조건문에 트리거되는 값들은 지폐표면과 광섬유 센서 사이의 함수 값이므로 계수 조건에 따라서 변화한다.

Fig. 9는 위에서 제시한 알고리즘을 적용하여 개발한 광학식 계수 프로그램을 보여주고 있다. 프로그램은 크게 세부분으로 나누어 개발하였다.

Part1 신호부, Part2 디지털 필터부, Part3 카운트부로 나뉜다. 개발된 계수프로그램은 National Instruments사의 Lapwindows를 사용하였다.

#### 4. 실험결과

Fig. 10은 본 연구에 사용한 광학식 계수기의 시스템을 보여주고있다. 제작된 광학식 계수 장치에 Lap windows로 개발된 계수 프로그램을 적용하여 광학식 계수기의 성능 및 신뢰성을 확인하였다.

20장의 지폐를 거치하고 50회의 상향과 50회의 하향으로 총 100회의 반복성 실험을 하였다. 최고속도 1mm/sec의 속도를 내는 스테이지를 사용하였다. 20매를 거치하고 지폐에 힘을 가하면 최적조건외의 요철이 발생하는 지폐 표면은 약 10 ~ 13mm이었다. 따라서 20매를 계수하는데 걸리는 시간은 10초에서 13초 정도 소요되었으며 이는 기존 마찰식 계수기가 평균 800매/min임을 감안하면 기존 계수기의 계수속도가 본 연구에서 제작된 계수기보다 우수했다. 이는 본 연구에 사용된 광섬유 센서의 컷오프 주파수가 6.3kHz이므로 이 문제는 속도가 빠른 스테이지를 사용함으로써 충분히 해결될 것으로 판단된다.

반복성 실험 결과를 Fig. 11 및 Fig. 12에서 보여주고 있다. 상·하로 스캐닝 하여 광학식 계수 프로그램에 적용한 결과 100회 에러율이 0(Zero) 이었다.

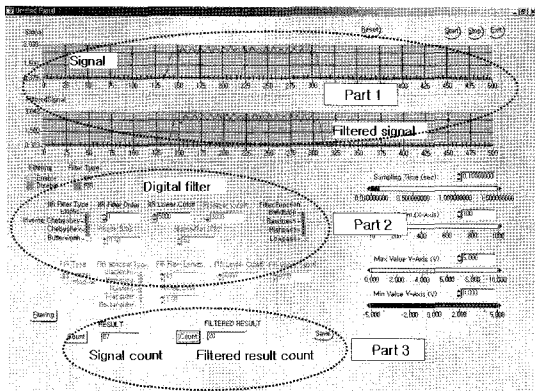


Fig. 9. Developed program for non-contact bill counting

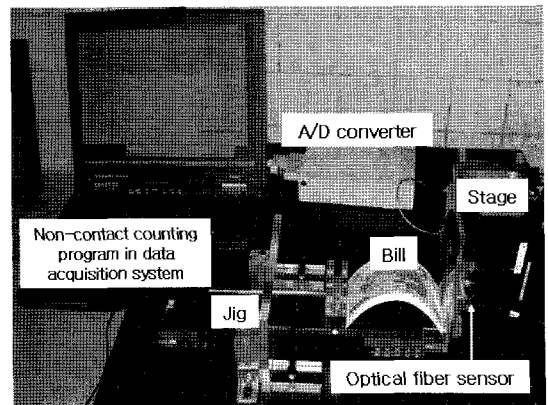


Fig. 10. The non-contact counter system

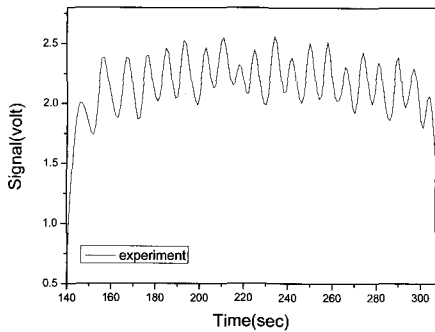


Fig. 11. The signal of repetition experiment

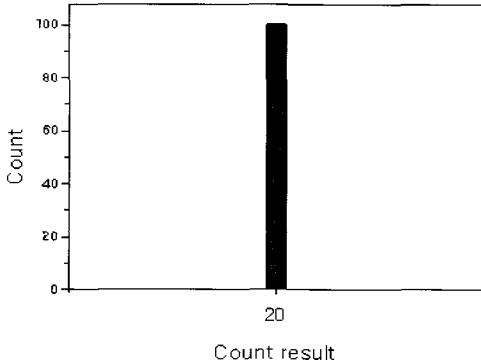


Fig. 12. Repeatability

## 5. 결론

본 연구는 기존 마찰식 계수 방법을 탈피, 비접촉식 계수가 가능한가에 대하여 실험적으로 확인하고자 하였다. 따라서 상용화는 고려하지 않고 광섬유 변위 센서가 다양한 형태와 기능으로 응용되는 특성을 이용하여 지폐 계수에 적합한 광섬유 센서와 기구부를 제작하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제작한 광섬유 센서와 기구부를 광학식 지폐계수에 적용하여 광학식 계수가 가능함을 확인하였다.
- (2) 제작된 기구부의 지폐 최대 거치 매수는 20장임을 알 수 있었고 20장을 계수하는데 소요되는 시간은 현재까지는 기존 계수기가 우위에 있다.
- (3) 본 연구에 제작된 광학식 지폐 계수장치의 신뢰성 검증

- 실험을 통하여 광학식 계수기의 신뢰성을 입증하였다.
- (4) 기존 기계식 지폐계수기의 문제점인 흡입이나 마찰에 의한 먼지와 소음발생을 획기적으로 개선하고 지폐의 품질 및 수명연장이 가능함을 확인하였다.

## 참고 문헌

- (1) Kim, J. T., 2000, "Currency-counter with cover for preventing dust, noise and currency-blowing," The Korean Intellectual Property Office.
- (2) Hong, J. H. and Kim, H. C., 2001, "Easy to Know measurement engineering," Interscience, pp. 48~55.
- (3) Shin, W. C., Hong, J. H. and Park, C. G., 2005, "Fabrication and Performances Test of the Optical Fiber Position Sensor for Application to Spindle to State Monitoring," *KSMTE Vol. 14, No. 6* pp. 37~44.
- (4) Lee, B., 2003, "Review of the present status of optical fiber sensors," *Optical Fiber Technology*, Vol. 9, pp. 57~79.
- (5) Giallorenzi, T. G. and et al., 1982, "Optical fiber sensor technology," *IEEE J. Quantum Electron.*, QE-18, pp. 626-665.
- (6) Park, C. G., Shin, W. C., Pea, W. S., Hong, J. H. and Lee, D. J., 2003, "A Study on the Performance of Optical Fiber Displacement Sensor for Monitoring High Speed Spindle According to Properties of Optical Fiber," *KSMTE Fall Conference*, pp. 385~389.