

광섬유 센서를 이용한 50,000원 지폐 위조 판별에 관한 연구

강대화*, 홍준희⁺

(논문접수일 2011. 08. 23, 수정일 2011. 12. 14, 심사완료일 2011. 12. 14)

A Study about the Discrimination of Counterfeit ₩50,000 bills Using Optical Fiber Sensor

Dae-Hwa Kang*, Jun-Hee Hong⁺

Abstract

The authenticity of bank note is threatened by increasing a counterfeit note with development of the information industry, recently. The importance of counterfeit discrimination is stressed, but there is a limits to popularization. Because usually, the existing counterfeit discriminator uses invisible ray zone like UV, IR, etc. The purpose of this paper is the construction of counterfeit discrimination system for ₩50,000 bills. This system is used optical fiber sensor with excellent confidence as well as easy way of using in wave length of a visible ray zone. The light was altered by lightening optical fiber sensor to particular part of bank notes in order displacing response of optical fiber sensor. The experiment was processed with data of 100 bank notes on manufacture optical fiber, probe, jig. As a result, the discrimination conuterfeit was verified when the experiment was processing with hologram or CSI on the bank notes with three kinds of color printer.

Key Words : Counterfeit discrimination(위폐 감별), Optical Fiber Sensor(광섬유 센서), Non-Contact(비 접촉), CSI(Color shifting ink; 색변환 잉크)

1. 서론

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

최근 정보산업의 급속한 발달로 저렴한 가격의 뛰어난 성능과 사용이 간편한 첨단 복사장비 및 인쇄장비가 대중화 되면서 화폐의 신뢰성에 위협을 주고 있다⁽¹⁾.

1만원 권은 슈퍼노트 수준의 정밀 위폐를 만들기에 높은

제작단가에 비해 액면가치가 낮아 전문 위폐범들에게 인기가 없었다. 그러나 고액권인 5만원권이 출시되면서 사정이 달라졌다. 또한 최근에는 위·변조 수법이 첨단화 되어 일반인 및 전문가들도 속을 정도로 그 정교함에 따라 고액권 출시와 더불어 새로운 사회 문제로 떠오를 수 있다.

이러한 위폐 감별을 위한 많은 연구가 있었다.

2003년 정보통신부의 “임베디드 및 실시간 OS를 응용한 지능형 위조지폐 감별단말기 개발” 보고서에는 광스펙트럼 분석을 통한 지폐의 자외선 반사, 투과, 흡수에 대한 분석을 이용하여 위조지폐를 판별하였다⁽²⁾.

채승훈 등은 2009년 “UV정보를 이용한 지폐의 진위 판별에

* 충남대학교 기계공학과
⁺ 교신저자, 충남대학교 공과대학 기계공학과 (hongjh@cnu.ac.kr)
주소: 대전광역시 유성구 대학로 99

대한 연구”에서는 우리나라 지폐의 특수 형광 빛이 발광하는 가느다란 섬유를 용지 속에 삽입하는 형광색사 부분을 자외선 광에 노출 시킨 후 얻은 형광영역을 이용하여 위폐를 감별하였다⁽³⁾.

한국조폐공사에서 개발하여 2009년부터 시중에 공급한 수표진위식별기(KCD-100: KOMSCO Counterfeit Detector-100)는 적외선(IR), 자외선(UV), 자성(MG), MICR 등의 기기 감응요소를 정밀 분석한 판독 알고리즘과 최적 설계한 위폐 감별 센서가 적용되었다⁽⁴⁾.

이와 같이 기존의 위조지폐 판별기는 주로 UV(자외선), IR(적외선)등 광학과 마그네틱 기술을 기반으로 개발된 제품이 주를 이루고 있다. 진폐의 특징을 분석하여 자료화를 하고 이를 토대로 위조지폐를 판별하는 방법을 사용한다. 광학센서에서 UV(자외선) 센서와 IR(적외선) 센서는 지폐의 지질특성에 의한 흡수, 반사, 투과를 이용한다. 또한, 마그네틱 센서는 지폐에 분포되어 있는 자기 잉크에 의해 감지되는 자기 성분을 검출하여 위조지폐를 감별한다.

반면 VIS(가시광선) 센서는 지폐 표면에 인쇄 안료 및 염료에 의한 반사를 이용하였기에 위조지폐 판별이 용이하지 않은 단점으로 많은 사용이 없었다.

본 연구에서는 가시광 영역의 파장만을 사용하여 광강도 변조방식의 광섬유 센서를 이용해 위조지폐 판별 방법을 제안하고 시스템을 구성하여 실험적으로 확인하고자 하였다. 기존의 자외선, 적외선 센서 및 자성 센서는 상대적으로 고가이며, 눈에 보이지 않는 비 가시광 영역을 사용하여 특수한 장치를 통해 위폐 감별이 이루어졌다. 따라서 일반인들이 손쉽게 사용하는데 본 논문의 목적이 있다. 가시광 센서는 지폐 표면의 인쇄 안료 및 염료에 의한 반사를 이용할 수 있으나, 현재까지는 지폐의 노후와 색상에 따른 출력 특성으로 위폐 감별에 용이하지 않았다.

그러나 우리나라 신권 은행권에 여러 가지 광학적 위조방지 기술이 적용되어 가시광 센서의 위폐 감별 가능성을 확인할 수 있었다⁽⁵⁾. 또한, 광섬유 센서는 측정신호를 전송하는 역할 뿐만 아니라 측정프로브 자체가 되기 때문에 프로브의 크기가 작고 경량이며 저가로 구성이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 광섬유 센서를 이용하여 가시광 영역의 파장에서 위폐를 감별하는 방법을 제안하고 위폐 감별 프로브를 설계 제작하여 위폐 감별 시스템을 구성하였다. 그리고 오만원권 위조지폐를 판별 실험하여 위폐 감별 시스템의 신뢰성이 우수하다는 것을 입증하였다.

2. 광섬유 센서의 위폐 감별 원리

Fig. 1은 본 연구에 사용된 광섬유 변위 센서의 기본 구성 개략도를 보여주고 있다. 광원인 레이저 다이오드(Laser diode,

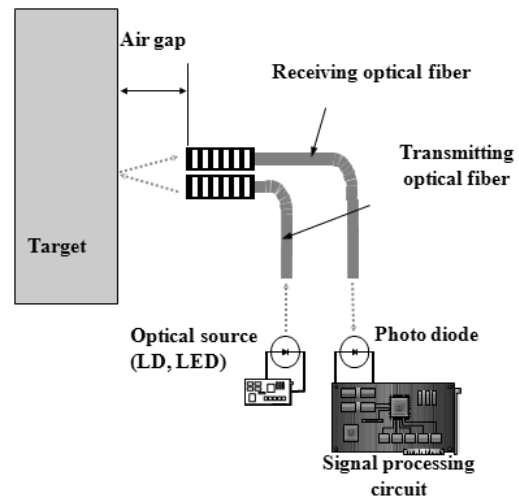


Fig. 1 Schematic of optical fiber sensor

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 끝 단면과 지폐 측정면의 공극 크기에 따라 수광섬유 내로 입사되는 반사광속이 변하게 된다. 이 광속 변화는 수광섬유를 통해 포토 다이오드(Photodiode, PD)로 전송된다. 포토다이오드는 광 신호를 전기 신호로 변환하는 기능을 하며 변환된 전기 신호는 신호 처리회로(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⁽⁶⁾.

그러나 변위를 고정하면 광섬유 변위 센서는 측정물의 표면 상태(표면 거칠기, 색 및 형상)에 따라 수광섬유의 센싱 반사강도가 다르게 된다. 따라서 변위를 고정하고 5만원 지폐의 표면 거칠기도 일정하다고 가정하면 색이나 형상 등에 의해 광섬유 센서의 출력량이 달라지므로 이 원리를 지폐의 위폐 감별에 이용하는 것을 제안한다.

3. 위폐 감별 센서 프로브 제작

3.1 광섬유 변위 센서의 제작과 성능 평가

Fig. 2는 본 연구에 사용된 플라스틱 광섬유로 투광섬유와 수광섬유 하나씩으로 구성된 평행형 광섬유 프로브의 단면 형상을 나타낸다. 플라스틱 광섬유는 근거리 광전송 분야에서 폭넓게 응용되고 있으며, 개구수 NA(Numerical Aperture)가 높아서 접속 효율이 좋다. 광섬유 입력 끝단이 공기라고 할 때 플라스틱 광섬유의 개구수는 다음과 같다.

$$NA = \text{Sin}\alpha_o = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1)$$

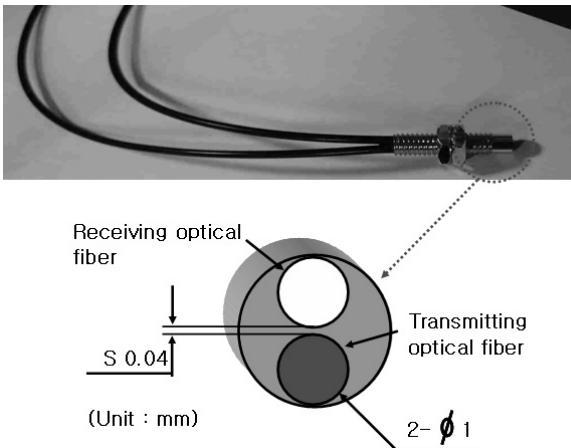


Fig. 2 Optical fiber displacement sensor probe

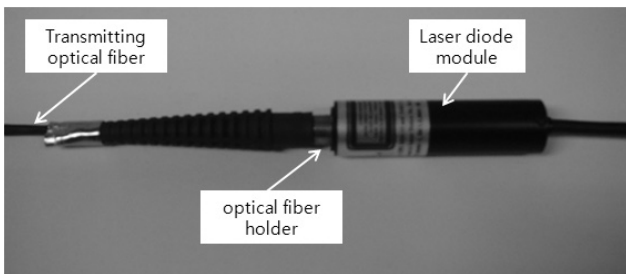


Fig. 3 Light emitting part of optical fiber displacement sensor

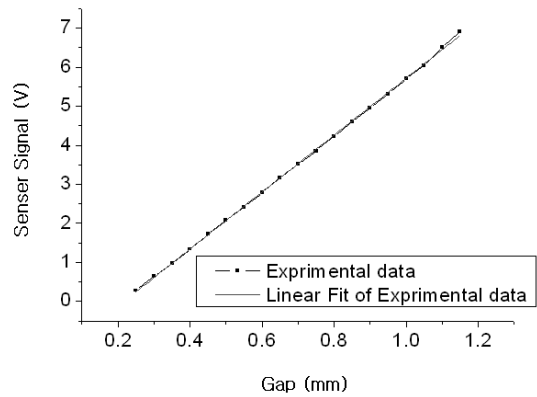


Fig. 4 Linearity of optical fiber sensor

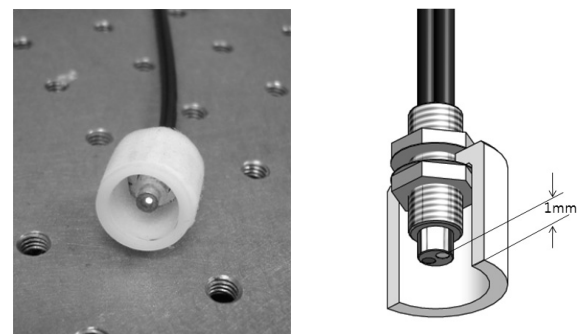


Fig. 5 Counterfeit discrimination sensor probe

여기서 α_0 는 광섬유의 수광 허용각, n_1, n_2 는 각각 코어와 클래드의 굴절률을 나타낸다⁽⁷⁾.

Fig. 2에서 보여주듯이 본 연구에 사용한 광섬유 센서 프로브는 매우 간단한 구조를 하고 있다.

광섬유 변위 센서 프로브는 직경 1mm의 플라스틱 광섬유는 Autonics Corp.의 FD 620-10를 사용하였으며, 레이저다이오드 모듈은 Lanics Co. Ltd의 LM-6505NG를, 포토다이오드는 THORLABS INC.의 DET B36/A/M을 사용하였다.

Fig. 3는 발광부로서 투광섬유(코어 직경 1mm), 광섬유홀더, 레이저다이오드 모듈(Lanics Co. Ltd LM-6505NG)로 구성되어 있다. 레이저다이오드 모듈은 레이저다이오드와 드라이버가 일체화된 것으로 파장 650nm 광출력 5mw의 레이저를 방출한다. 레이저다이오드의 광출력은 구동전류에 민감하게 반응하기 때문에 안정적으로 전류를 공급해 줄 필요가 있는데 드라이버 내에는 ACC(Auto Current Control)회로가 있어 레이저다이오드로 안정한 전류를 공급할 수 있다.

발광부는 구조상 광 손실에 가장 큰 영향을 미친다. 레이저다이오드와 광섬유는 광 손실을 줄이기 위하여 레이저 다이오드 모듈과 광섬유홀더를 나사 체결로 고정하여 레이저 다이오드와 광섬유가 섬유 흔들림이나 외력에 영향을 적게 받을 수 있도록 제작되었다.

본 연구에 사용된 광섬유 변위 센서는 Fig. 4와 같은 선형성을 나타내고 있다.

센서의 선형성을 알기 위해 선형 회귀 곡선식을 구하였으며 다음과 같다.

$$Y = -1.57691 + 7.29X \quad (2)$$

이를 근거로 센서의 선형성은 2.54% FSO로 평가되었으며 5% 미만이면 상당히 좋은 성능을 발휘한다고 평가할 수 있으므로 편차 2.54%는 매우 신뢰성이 있다.

3.2 위폐 감별 광섬유 센서 프로브 제작

광섬유 센서의 취약점인 진동 문제를 최소화시키고, 센서 단면에서 측정대상물에 수직하게 빛이 조사되면서 일정한 공극(Air gap)으로 변위를 유지할 수 있도록 위폐 감별 광섬유 센서 프로브 제작을 해야 한다. 따라서 최적의 공극을 적용하기 위해 제작에 앞서 정밀 마이크로미터를 장착한 스테이지를 이용하여 광섬유 센서의 기본 출력 값을 측정하고 결과 공극 1mm에서 반사광 조도가 우수하였으므로 지폐 표면으로부터 거리가 1mm가 항상 유지되도록 Fig. 5와 같이 위폐 감별 광섬유 센서 프로브를 제작하였다.

4. 시스템 구성

4.1 기구부

Fig. 6은 제작된 기구부를 3차원 형상으로 모델링한 모습이다. 신권 지폐는 구겨지지 않고 형상이 비교적 평탄하여 감지하기가 용이하지만 시중에서 사용 중인 지폐는 구겨지거나 굴곡이 형성되어 감지하기가 용이하지 않다. 따라서 Fig. 6 (A)와 같이 상판과 밑판을 제작하여 그 사이에 지폐를 넣어 구겨지거나 굴곡이 있는 지폐도 평탄한 상태에서 감지할 수 있도록 설계, 제작하였다.

4.2 정적 측정을 위한 위폐 판별 시스템

제작된 광섬유 센서, 프로브, 기구부 등을 조합하여 위폐감별 시스템을 Fig. 7과 같이 구성하였다. 레이저 모듈에 전원을 공급하면 투광 광섬유를 통해 프로브 끝 단면의 투광 광섬유를 통해 빛이 지폐 표면에 조사되고 조사된 빛은 지폐 표면의 색, 형상 등에 반응한다. 광량의 변화된 빛이 다시 수광 광섬유로 입사되면서 포토다이오드로 전달되며 전달된 빛은 전기적인

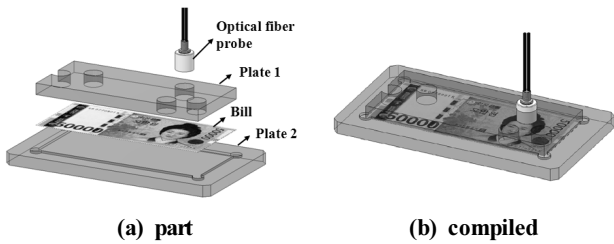


Fig. 6 Modeling of experiment Jig

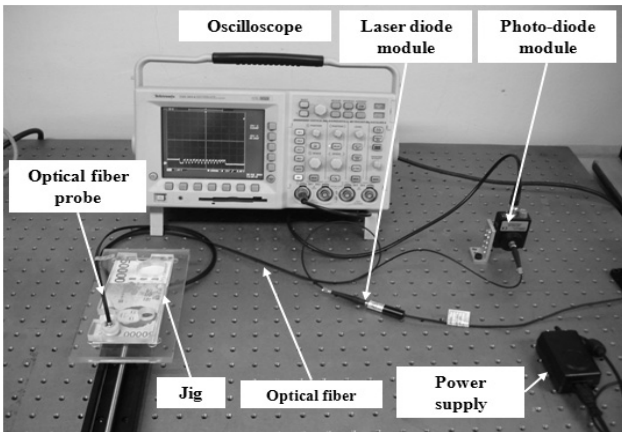
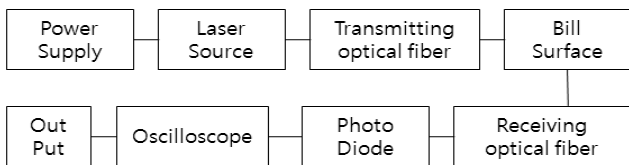


Fig. 7 Static sensing system for the discrimination of counterfeit ₩50,000 bills

값으로 변환되어 오실로스코프를 통해 출력된다. 이 출력된 값을 분석하여 위폐 감별을 할 수 있도록 간단하고 저렴한 시스템으로 구성하였다.

4.3 동적 측정을 위한 위폐 판별 시스템

Fig. 8은 Fig. 7의 위폐감별 시스템에 LM(Linear Motor) 시스템을 추가하여 자동화의 가능성을 실험하기 위해서 동적 측정을 하였다. 광섬유 센서 프로브를 고정시키고 LM를 이용하여 지폐를 이송시켜 색변환 잉크 부분 전체를 스캔하는 방식으로 실험하였다. 광섬유 센서의 갭은 1mm로 고정시키고, 이송 속도는 4mm/s로 색변환 잉크부분 전체를 스캔하는데 걸리는 시간은 8.5초이었다.

5. 실험 결과와 고찰

5.1 측정부위 선정

본 연구에서 제작한 위폐감별 광섬유 센서는 가시광 영역을 사용하므로 컬러프린터나 복사에 의해 제작된 위조지폐는 이런 광

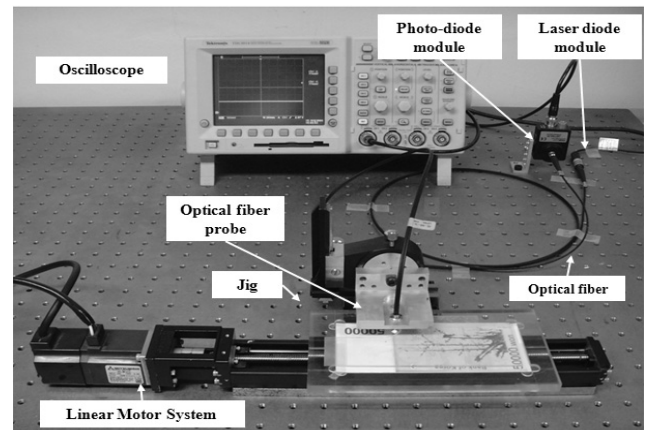


Fig. 8 Dynamic sensing system for the discrimination of counterfeit ₩50,000 bills



Fig. 9 Measuring parts of ₩50,000 bills

학적 요소가 작동하지 않는 점을 고려하였다. Fig. 9와 같이 측정 부위를 선정하였고, 선정된 측정 부위는 한국은행⁽⁸⁾ 및 조폐공사⁽⁴⁾ 홈페이지에 공개된 위변조 장치 중 가시광 영역을 사용하여 위변조 여부를 판별 할 수 있는 보안요소를 선정하여 실험하였다.

5.2 기준값 선정

선정한 측정 부위에 대해 위폐 측정의 기준값을 선정하기 위해 시중은행에서 현재 유통 중인 오만원권 100장 실험 대상으로 위폐감별 광섬유 센서를 이용하여 측정하였다. Fig. 10은 측정 출력값이다. 실험 조건은 지폐표면과 위폐감별 광섬유 센서의 끝단거리(Air gap)는 1mm, 광 파워는 5mV를 적용하였다.

Fig. 10의 그래프에서 보는 바와 같이 유통 중인 오만원권 은행권은 사용빈도에 따라서 측정부위로 선정된 색변환 잉크와 홀로그램부위의 측정값을 확인 할 수 있었다.

5.3 정적 측정에 의한 실험 결과

실험용 샘플을 만들기 위해 사용된 프린터는 Fuji XEROX Docuprint C 3,055(1번), HP Color Laserjet CP 3,505n(2번), 삼성 CLP-611NDK(3번)를 사용하였고, 해상도는 600, 1,000dpi를

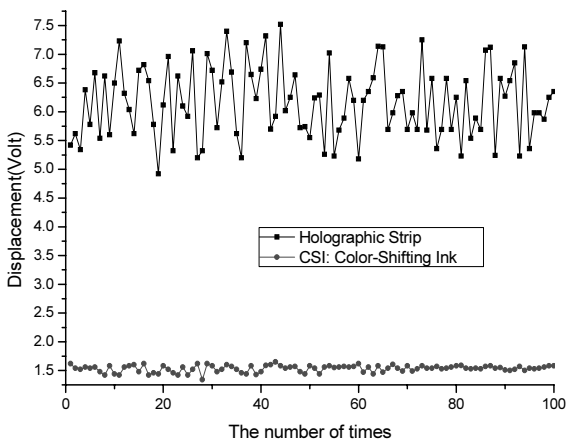


Fig. 10 Sensing results of ₩50,000 bills

Table 1 Experimental result of counterfeit note (parts of hologram and color shifting ink)

using printer	resolution (dpi)	Hologram	Color Shifting Ink
Minimum References		4,920	1,340
Fuji	600	290	330
	1000	320	350
Hp	600	260	350
	1000	280	320
Sam sung	600	200	290
	1000	180	320

적용하였다. 샘플 재질은 쉽게 구할 수 있는 A4 용지를 사용하였다.

Table 1은 기준값과 위조지폐의 각각의 부분을 비교한 데이터이다. Table 1에서 볼 수 있듯이 홀로그램과 색변환 잉크는 프린터 된 위조지폐에서는 진폐와 달리 광학적 반사요소가 없어서 측정값이 낮은 것을 볼 수 있다. 즉, 광섬유 센서를 이용한 위조지폐의 판별이 가능하였다.

5.4 동적 측정에 의한 실험 결과

Fig. 11의 화살표 ①과 ②를 LM시스템과 광섬유 센서를 이용하여 측정을 하였다. 진폐는 현재 시중에 유통되고 있는 오만원권을 사용하였고, 위폐는 앞서 실험한 Fuji XEROX Docuprint

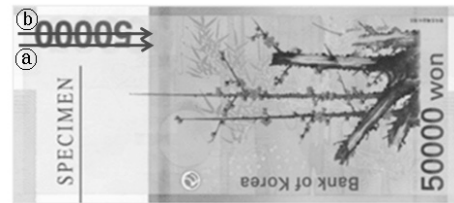
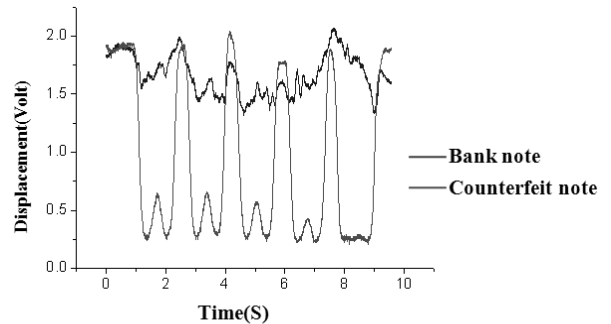
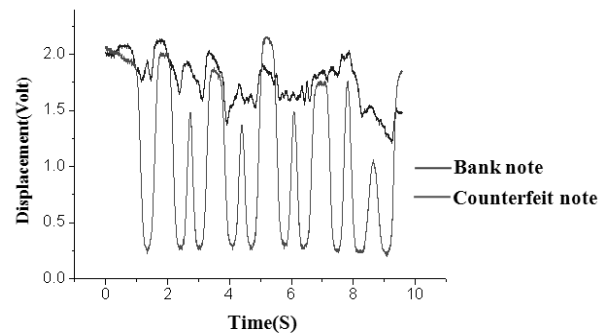


Fig. 11 Measuring sections of the 50,000 number in ₩50,000 bills



(a) Upper part of 50,000 number



(b) Middle part of 50,000 number

Fig. 12 Comparison between ₩50,000 bill signal and counterfeit note signal

C 3055 1000dpi로 프린트 된 샘플을 하였다.

실험 결과는 Fig. 12와 같이 측정되었다. 진폐와 위폐 모두 “50,000” 숫자가 적힌 부분에서 측정값이 낮았지만, 오만원권 진폐에 대해서는 최하 전압 값이 1.4V이고, 위폐에서는 0.1V로 확인한 구분이 가능한 것을 알 수 있다.

측정 위치 ㉑와 ㉒에서 색변환 잉크의 임의의 부위를 측정을 하여도 위폐 감별은 가능하였으며, 색변환 잉크 또는 일반 잉크가 많이 인쇄된 부분에서 보다 정확한 확실한 차이를 구별해 낼 수 있었다.

6. 결론

본 연구는 광섬유 센서를 이용하여 위조지폐 감별 시스템을 제안하고 그의 성능과 유용성을 확인하였다. 실험은 오만원권의 위조방지 장치 중 선정된 홀로그램 및 색변환 잉크 2가지를 대상으로 진행하였다. 시중에 유통되는 오만원권 진폐 100장을 표본으로 데이터를 수집 하였으며, 실험 샘플은 시중에서 일반적으로 사용되는 컬러프린터 3종류를 이용하여 총 12장의 샘플을 프린팅 하였다. 그리고 위조지폐 판별 여부는 미리 수집된 진폐 100장의 출력 값과 제작된 시험 샘플의 출력 값을 비교 분석 하였다.

그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 홀로그램과 색변환 잉크가 적용된 부분에서 정적 측정으로 오만원권의 위조지폐 감별은 100% 가능하였다.
- (2) 자동화의 가능성을 확인하기 위해 동적 측정으로 오만원권의 50,000 숫자의 위조지폐 감별을 실험하였으며 이것 역시 100% 정확하게 위폐감별이 가능하였다.

결과적으로 이는 홀로그램과 색변환 잉크가 적용된 외국의 은행권도 위조지폐 감별이 가능하다고 사료된다. 향후 추가 실험과 연구를 통해 본 논문에서 제안한 위폐감별시스템을 좀더

쉽고 저렴하게 제작한다면 일반인들도 용이하게 고액권의 위폐 판별이 가능하리라 사료된다.

참고 문헌

- (1) Lee, J. H., 2008, “A Study on Policy Against Counterfeit Currency,” *Journal of KAPOL*, Vol. 6, No. 1, pp. 235~236.
- (2) Park, H. K., 2003, *Multi Functional Counterfeit Detection Bank note Counter with Embeded and RTOS Technology*, Ministry of Information and Communication, pp. 15~20.
- (3) Chae, S. h., Seo, Y. T., and Pan, S. B., 2009, “The Study for Authenticity Distinguish of Bank Note using UV Information,” *Summer Conference of KI-IT*, pp. 753~756.
- (4) Korea Minting Security Printing & ID Card Operating Corp, n.d., viewed 12 November 2011, <<http://www.komsco.com/business/cognizance/overview.asp>>.
- (5) Jeong, H. Y., Hong, J. H., Kang, D. H., and Song, D. S., 2010, “A Study of Optical Fiber Sensor in Counterfeit Discrimination,” *Journal of KSMTE Fall Conference*, pp. 194~199.
- (6) Shin, W. C., 2006, *Design of Multi-mode Optical Fiber Displacement Sensor by Transmitting Light Irradiance Distribution Modeling*, A Thesis for a Doctorate, Chungnam National University Republic of Korea, pp. 9~11
- (7) Kjell, J. G., 1995, *Optical metrology*, John Wiley & Sons, New York, pp. 277~278.
- (8) THE BANK OF KOREA, n.d., viewed 12 November 2011, <<http://www.bok.or.kr/broadcast.action.menuNavild=2027>>.