

통계적 분석에 의한 금융통장 인식용 광학필터 최적 조합 선정에 관한 연구

유형근¹, 이강원^{1,a}

¹ 서울과학기술대학교 산업정보시스템공학과

Determination of Optimal Combination of Optical Filter for Recognizing Financial Account Using Statistical Analysis

Hyeung Keun Yu¹ and Kang Won Lee^{1,a}

¹ Department of Industrial Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

(Received April 18, 2014; Revised April 24, 2014; Accepted April 24, 2014)

Abstract: The object of this paper is to develop optimal optical filter, which can be used to identify the financial account and read the information. The five factors which affect the performance of the optical filter are identified as optical glass type, existence of Fe, Photo pic coating type, and coating form. In this study we seek to determine the optimal combination for the best design of the optical filter. For each combination, the performances of optical filter are investigated using the proper experimental equipments and methods. White-state voltage, black-state voltage, and black-state error rate are used for the performance measures. Through the statistical analysis of the performance data collected, we have determined the optimal design of the optical filter.

Keywords: Optical filter, White-state voltage, Black-state voltage, Black-state error rate, ANOVA, T-test, Experiment design

1. 서 론

금융통장 정보를 인식하고, 기록된 정보를 판독하는 것은 자동화 업무에서 가장 핵심적인 요소 기술이다 [1-3]. 금융통장 정보를 인식하고 정보 판독을 위해서 기존의 금융자동화기기에 적용된 기술은 밀착형 이미지 센서를 이용한 형태와 전자 결합소자를 이용

한 형태, 그리고 광센서를 이용한 3가지 형태로 구분된다 [4-10]. 그런데 참고문헌 [11]에서는 이들 기술을 적용하여 생산된 부품을 금융자동화기기에 장착하였을 때 발생하는 여러 문제점들을 찾아내고 이들을 요약 정리하였다. 그리고 이들 여러 문제점들을 해결하기 위한 기술적 대안으로 반도체 광학필터를 제안하고 이를 통해 기존 기술들의 사용 시 나타나는 여러 문제점들을 해결할 수 있음을 보여 주었다.

Section 2에서 언급할 내용인 반도체 광학필터의 성능에 영향을 미치는 인자는 크게 5가지로 알려져 있다. 첫째 광학유리 종류, 둘째 철 (Fe) 포함 유무, 셋째 광학 계열, 넷째 코팅 형태, 그리고 마지막 다섯

a. Corresponding author; kwlee@snut.ac.kr

깨 광학유리 두께다. 본 연구에서 고려하는 광학유리 종류는 4가지이며 칠 포함 유무 2가지, 광학 계열 3가지, 코팅 형태 3가지, 그리고 광학유리 두께 5가지이다. 이럴 경우 총 가능 조합의 수는 모두 360 (= 4×2×3×3×5)이다. 따라서 금융통장 정보 인식을 위해 최적의 반도체 광학필터를 구현하기 위해서는 이들 다섯 가지 인자들의 최적 조합을 찾아내야 하는데 각 인자들 간의 교호작용 (interaction)을 고려해야 하기 때문에 그리 간단한 문제는 아니다.

본 연구에서는 적절한 광학필터 실험 장비와 실험 방법, 그리고 본 연구에 맞게 고안된 실험 계획을 통하여 각 조합별로 광학필터의 성능을 조사하였다. 금융사마다 특수하게 제작된 금융통장에서 전압을 측정하는 포인트는 금융통장 내부의 White 부분과 Black 부분 2가지로 구분되며 White 전압과 Black 전압이 광학필터의 성능을 결정하는 핵심 요소다. 실험을 통해 추출된 White와 Black 전압 데이터를 토대로 적절한 통계 분석 과정을 거쳐 의미 있는 결과를 도출하고자 하였다. 다음 그림 1은 실험 계획법 [12]을 이용한 최적의 광학필터를 구현하는 일련의 과정을 보여 준다.

본 논문의 목적은 가장 좋은 성능을 갖는 광학필터를 구현하기 위하여 성능에 영향을 미치는 5가지 인자들의 최적 조합을 찾아내는데 있다. 이를 위해 Section 2에서는 반도체 광학필터의 성능에 영향을 미치는 인자들을 살펴보았다.

Section 3에서는 실험 방법과 실험 계획을 논하였으며 아울러 성능 측정값인 Black 전압과 White 전압에 대하여 살펴보았다. Section 4에서는 추출된 데이터를 토대로 통계처리 과정과 이에 대한 분석을 시행하였다. 최종 결론은 Section 5에 다루었다.

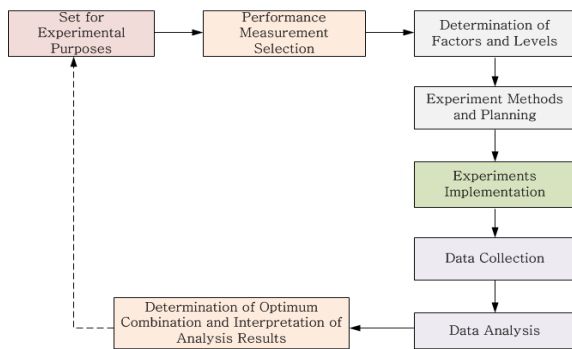


Fig. 1. The process of determining optimal optical filter using the design of experiment.

2. 실험 방법

2.1 반도체 광학필터 성능에 영향을 미치는 인자들과 성능 측정값

본 section에서는 반도체 광학필터 성능에 영향을 미치는 인자들에 관하여 조사하였으며 성능 측정값에 관해 살펴보았다. 본 연구에서 최적 광학필터 구현을 위해 사용한 인자들과 그들의 수준을 다음 표 1에 요약 정리하였다. 성능에 영향을 미치는 인자들의 결정과 수준 결정은 해당 분야 전문가들을 활용한 델파이 기법을 이용하였는데 이 부분에 선행 연구에서 논하였다 [11,13].

Table 1. The main factors and their levels used in the experiment.

Optical Glass Types	The Presence of Fe	Photo Pic Coating Type	Coating Form	Optical Glass Thickness
1. Optical Glass Barium			Front Side A Section	0.70 mm
				1.00 mm
				1.50 mm
				1.90 mm
2. Optical Glass B207	1. Contained Fe	1. HEA		2.00 mm
				0.70 mm
				1.00 mm
3. Potash -Lime Glass	2. Not Contained Fe	2. VLR	Back Side B Section	1.50 mm
				1.90 mm
		4. Soda -Lime Glass		3. VLRW
0.70 mm				
				1.00 mm
				1.50 mm
				1.90 mm
				2.00 mm

2.1.1 성능 측정값

금융자동화기기 또는 텔러 전용프린터에 금융통장 페이지를 펼쳐서 투입구에 투입하면 이송장치의 메카니즘에 따라 통장을 고속으로 이송하여 자동화기기 내부에 금융통장의 유무를 판단한다. 이 과정에서 금융통장 내부의 정보 기록 페이지를 인식하게 되는데 금융통장이 자동화기기 내부에 있고 페이지를 정상적으로 인식할 때를 정상적인 White상태라 한다.

이와는 반대의 경우로 금융자동화기기 내부에 금융통장이 없고 감지 신호가 없을 때는 정상적인 Black 상태이다. 그러나 자동화기기 내부에 통장이 있으나 금융통장 정보가 Black으로 검출되면 자동화기기는 '통장 걸림' 에러 메시지를 보내고 정상적인 상태로 feed back되길 기다리면서 대기 상태로 들어가게 된다.

Table 2. White, black state and guideline of voltage measurement.

Item	White	Black	Detailed Description
Automation Equipment State	Sensing Account	No Bank Account (Not Detected)	After the Account is Automatically Transferred, Whether the Account Exists in the Automatic Teller Machine (Detected / Not Detected, Divide Into Two Classes)
Optimal Voltage	DC4.95 V	0 V	As Close as Possible to The 0V and 4.95 V Voltage
Standard Voltage	More Than 2.45 V	Less Than DC0.45V	-The Voltage of More Than DC2.45V is Judged as "1" in Digital Signal and Recognizing That the Account is Detected -The Voltage of Less Than DC0.45V is Judged as "0" and Recognizing That the Account is not Detected
Error Voltage	Less Than 2.45 V	More Than DC0.45 V	-

이렇게 자동화기에서 동작되는 상태에 따라 측정되는 전압이 Black 전압과 White 전압의 2종류다. Black상태에서 오동작이 없을 경우 최적 전압 측정값은 DC 0 V를 이지만 DC 0.45 V 이하면 오동작이 없는 기준 값으로 설정하였다. 그리고 White상태에서 최적 전압 측정값은 DC 4.95 V이지만, DC 2.45 V 이상이면 정상적인 것으로 하였다. 다음 표 2는 White, Black상태와 전압측정 가이드라인을 보여준다.

2.2 광학필터 규격 및 실험 장비

광학유리 가공 시 필터의 가공편차를 줄이기 위해서 laser를 이용하여 허용오차 범위 내에서 가공을 실시하였다. 광학유리 설계 규격은 가로 21.5 mm (허용오차 - 0.2 mm), 세로 14.7 (허용오차 - 0.2 mm)이고, 두께는 0.70 mm, 1.00 mm, 1.50 mm, 1.90 mm, 2.00 mm 다섯 가지로 하였다. 그림 2는 반도체 광학필터를 제작하기 위한 설계규격 도면이다.

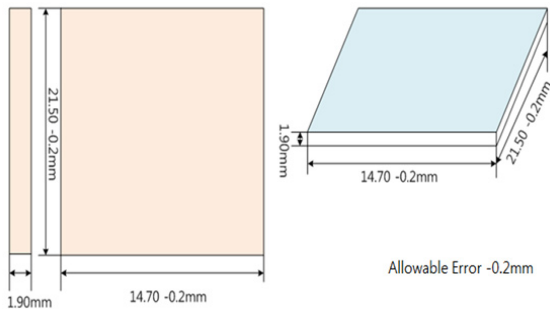


Fig. 2. Optical filter design dimension.

개발된 광학필터의 성능을 측정하기 위한 핵심적인 장비로 크게 2종류를 사용하였다. 첫 번째 장비는 금융기관 텔러가 사용하는 전용 단말장치인 AF2100이다. 두 번째 장비인 digital test equipment는 Tektronix TDS744A Digital Storage Oscilloscopes를 사용하였다. 또한 정확한 금융통장을 판독하기 위해 실제 금융기관에서 사용하는 금융통장과 동일한 규격으로 제작된 금융통장을 시험통장으로 적용하였다. 금융자동화기기의 입력 전원은 교류전압 AC 220 V, 교류 주파수는 60 Hz이고, switching power supply를 통해서 직류전원 전압으로 변환된 직류전원 DC 5 V가 금융통장 검출부 main logic으로 공급되었다.

2.3 실험 방법

실험은 다음의 과정을 걸쳐 실시되었다. 표 2의 광학유리 종류, 철의 유무, 광학계열, 코팅 형태, 그리고 광학유리 두께의 가능한 조합 중 하나의 조합을 선정한다. Filter module에 특수 접착제를 사용하여 광학필터를 부착하고 움직임이 없도록 고정된 후 수평 평탄도 (surface flatness)를 맞추는 작업을 진행한다.

AF2100 내부에 optical filter module assembly를 장착하고, main CPU Logic과 함께 정상적으로 작동하는지 시험한다. 위 시험에서 이상이 없을 경우 AF2100 금융통장 투입구에 제작된 시험용 금융통장을 진입시켜 Black과 White 전압을 측정한다.

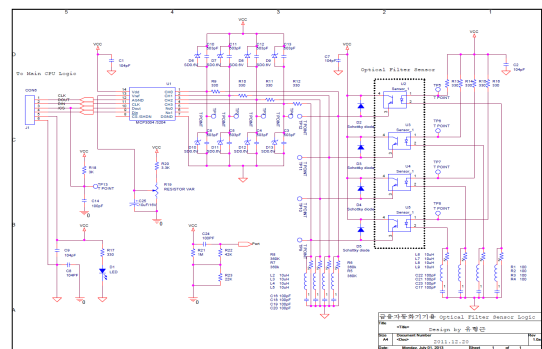


Fig. 3. Logic for financial account information analysis.

금융통장이 AF2100 투입구에 정상적으로 감지되면 자체 구동 메카니즘에 의해 빠른 속도로 금융통장이 이송되는데 광학필터는 Black상태에서 White상태로 전환을 감지하면서 전압을 측정하게 된다. AF2100은

금융통장 투입구에 감지 신호가 없으면 Black상태로 감지한 전압을 나타낸다. 금융자동화기기에 탑재되어 금융통장 정보를 인식하기 위한 회로 설계도는 아래의 그림 3과 같다. 전압 측정은 그림 3에 나타나 있는 test point를 이용하여 Black상태 전압과 White상태 전압을 측정한다.

2.4 반도체 광학필터 모듈과 실험 사진

다음 그림 4는 금융자동화기용 반도체 광학필터와 금융통장 정보인식용 설계 회로도의 인쇄회로기판 PCB (printed circuit board)를 기구 금형 케이스에 최종 조립한 상태의 실제 모양이고 실험을 위한 최종 단계 사진이다.

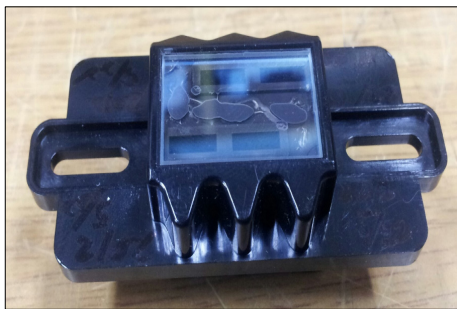


Fig. 4. Semiconductor optical filter module for the automatic teller machine.

위 그림 4에서와 같이 광학필터와 정보 분석회로 PCB를 기구 금형 케이스에 장착한 뒤 텔러 전용프린터에 반도체 광학필터 모듈을 장착하였다. 다음 그림 5는 모듈을 금융자동화기 금융통장 투입 메카니즘 셋트로 구성한 사진이다.



Fig. 5. Semiconductor optical filter module assembly for financial account information recognition.



Fig. 6. Financial account recognition and experimental photo of optical filter module.

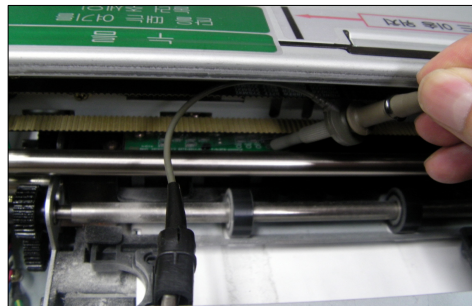


Fig. 7. Financial account detection state and experimental photo of optical filter voltage measurement.



Fig. 8. Experimental photo of voltage measurement OSC screen.

그림 6과 그림 7은 금융자동화기인 텔러 전용프린터에 반도체 광학필터 모듈을 장착시킨 뒤 금융통장 감지 상태에 따라 광학필터 모듈에서 발생된 신호인 전압을 측정된 실험 사진이다.

그림 8은 측정된 전압을 계측장치인 digital storage oscilloscopes를 사용하여 측정하는 실제 실험 사진이다. 측정된 데이터는 excel file로 저장하였다.

2.5 실험 계획

표 1에 나타나는 가능한 모든 조합의 수는 360개 인데 각각에 대하여 실험을 수행하였다. Black과 White상태에서 표 2에서 제시된 정상적인 전압이 나오는 조합에 대해서는 20회 반복 측정하였으며 비정상적인 전압이 나오는 경우는 13회 측정 후 실험을 중단하였다. 각 조합의 Black과 White 전압 값은 이들의 산술 평균값을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

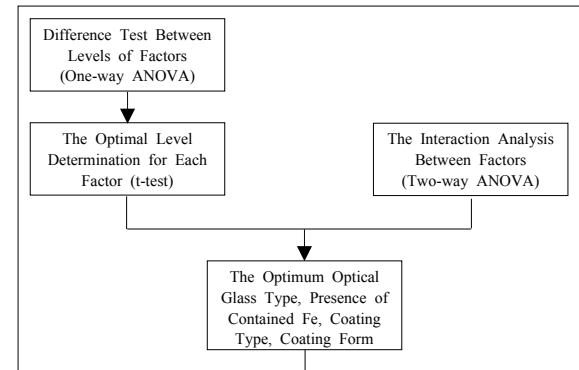
일반적으로 광학유리 두께는 다른 요인들, 광학유리 종류, 철 포함 유무, 광학계열, 그리고 코팅 면과 교호작용이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 또한 5개의 요인 모두를 한 번에 분석한다는 것은 통계적으로 복잡할뿐더러 교호작용의 의미 해석에도 여러 어려움이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 실험 결과 분석을 다음의 두 단계로 나누어서 진행하였다.

1단계 분석: 두께는 빼고 광학유리 종류, 철 포함 유무, 광학계열, 그리고 코팅면의 4가지 인자만을 고려하였다. One-way ANOVA (analysis of variance) 분석을 통하여 인자별 수준 간 유의성 검증을 실시하였다. 유의성이 있다고 판단되는 인자에 대해서는 t-test를 통해서 수준별 성능 차이를 검증하였다. 그리고 인자 간 교호작용 존재 여부를 검증하기 위하여 two-way ANOVA 분석을 실시하였다. 최종적으로 분석 결과들을 토대로 최적의 조합을 결정하였다. 1단계 분석은 White 측정 전압만을 토대로 실시하였다. 금융통장이 자동화기기 내부에 있고 페이지를 인식할 때가 White상태고 금융자동화기기 내부에 금융통장이 없고 감지 신호가 없을 때가 Black상태인데 실험 결과 값을 살펴보면 인자 간에 Black상태에서 측정 전압 값은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

2단계 분석: 1단계 분석에서 결정된 최적의 조합 (광학유리 종류, 철 포함 유무, 코팅 계열, 코팅 면)하에서 최적의 두께를 결정하는 단계다. 2단계 분석에서는 White와 Black상태에서의 측정 전압 모두를 사용하였다. 각 성능 측정값 하에서 ANOVA 분석과 t-test를 통해 분석을 수행하였으며 양 결과를 취합하여 최적의 두께를 결정하였다.

다음 그림 9는 1단계와 2단계로 구성된 본 연구의 실험 결과 분석 과정을 보여준다.

Step 1 Analysis



Step 2 Analysis

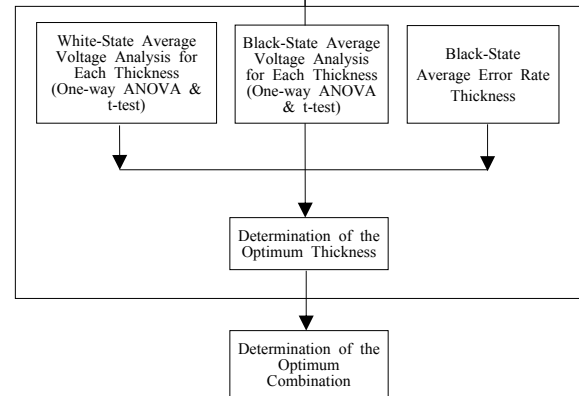


Fig. 9. The process for the experimental result analysis.

본 연구의 1단계 분석에서 사용한 White상태 전압 측정값은 기준인 DC 2.45 V~DC 4.95 V에 훨씬 못 미치는 값들로 이루어져 있다. 그 이유는 2단계 분석에서 알 수 있듯이 최적이지 아닌 두께에서는 White상태 전압 측정값이 아주 낮게 나오는데 1단계에서는 모든 두께들의 평균치를 사용하기 때문에 평균 전압 측정값이 낮게 나온다.

3.1 1단계 분석

4가지 인자들, 광학유리, 철 포함 유무, 광학 계열, 그리고 코팅 면의 최적 조합을 구하는 단계다.

3.1.1 인자별 수준 간 유의성 검증

광학유리, 철 포함 유무, 광학 계열, 그리고 코팅 면의 4가지 인자들에 대해서 인자들의 수준 간 차이

Table 3. Difference test between levels for each factor.

Factor	F	Significance Probability
Optical Glass Types (Glass)	674.213	.000
Presence of Contained Fe (Fe)	36.957	.000
Photo Pic Coating Type Based Optical (Coating)	184.169	.000
Coating Form / Side (Side)	29.363	.000

가 있는지를 one-way ANOVA test를 통하여 검증하였다. 다음 표 3은 검증 결과를 나타낸다.

4가지 인자 모두 White 측정 전압에 대해 수준 간 유의한 효과를 나타냈다. 다시 말해 모든 인자의 수준별 White상태 측정 전압 값은 통계적으로 서로 다르게 나타남을 말한다. 예로 광학유리의 경우 유리 종류는 바륨, B207, 칼륨석회, 그리고 석회나트륨 모두 4가지 종류가 있는데 이들 각각의 White상태 측정 전압 값의 차이가 통계적으로 유의하다. 따라서 이들 중 가장 성능이 우수한 유리 종류를 결정하는 과정이 뒤 따라야 한다.

3.1.2 인자별 최적 수준 결정

1) 광학유리

광학유리의 4가지 종류별 평균과 표준편차 그리고 95% 신뢰 구간을 다음 표 4에 요약 정리하였다.

Table 4. The statistics for types of optical glass.

Optical Glass Types	Average Voltage(V)	95% Confidence Interval	
		Lower Limit Value	Upper Limit Value
Optical Glass Barium	2.070	2.054	2.086
Optical Glass B=207	1.658	1.642	1.674
Potassium-Lime Glass	1.803	1.787	1.819
Soda-Lime Glass	1.615	1.599	1.631

표 4의 평균 전압 값을 살펴보면 광학유리 바륨의 White상태 전압 값이 2.070으로 가장 우수한 것으로 나타났으며, 그 다음으로 칼륨 석회 유리의 전압 값이 1.803으로 나타났다. 이러한 결과는 물리학 분야의 여러 관련 실험과 렌즈 및 필터 응용 분야에서 널리 활용되고 있는 광학유리 바륨 특성의 장점이 반영된 것으로써 빛의 분산과 굴절률이 균일하다는 특성에

Table 5. The voltage measurement difference test for barium and potassium-lime glass.

Item	t-test for Equality of Average					95% Confidence Interval of Difference	
	t	Degrees of Freedom	Significance Probability (Both Sides)	Average Difference	Standard Deviation of Difference	Lower Limit	Upper Limit
Equal Variance Assumption	12.937	1798	.000	.2669343	.0206342	.2264649	.3074038
Not Equal Variance Assumption	12.937	1704.002	.000	.2669343	.0206342	.2264634	.3074053

기인한 것으로 해석된다. 칼륨 석회 유리는 이화학용의 경질 유리로 사진기의 필터, 안경 등에 활용도가 매우 높다. 특히 투명도가 높아 안경과 사진 필터에서 높은 신뢰성을 보이고 있다. 다음은 가장 좋은 특성을 나타내는 광학유리 바륨과 칼륨 석회 유리 2종류에 대하여 White상태 전압 측정값 차이가 통계적으로 유의한지 검증하기 위하여 paired t-test를 사용하였는데 결과는 표 5에 나타나 있다.

등 분산에 대한 가정과 무관하게 두 광학유리 종류에 따른 전압의 차이는 유의확률 0.000으로 매우 유의하게 나타났다. 즉 광학유리 바륨이 칼륨 석회 유리는 물론 다른 광학유리 종류에 비해 우수한 성능을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로 ANOVA 분석을 통해서 광학유리의 종류별로 전압 측정값에 차이가 있음을 확인하였고 paired t-test 검증을 통해서 광학유리 바륨이 가장 좋은 성능을 갖는다는 것을 확인하였다.

2) 철 포함 유무

철 포함 유무에 따른 White 측정 전압의 평균과 95% 신뢰 구간을 표 6에 정리하였다.

Table 6. The statistic by the presence of Fe.

Fe	Voltage Average(V)	95% Confidence Interval	
		Lower Limit Value	Upper Limit Value
Not Contained	1.754	1.743	1.765
Contained	1.819	1.808	1.831

위 표에 따르면 철 미포함 시 평균 전압은 1.754 그리고 철 포함 시 평균 전압은 1.819로 나타났다. 일

Table 7. The voltage difference test by the presence of Fe.

Item	t-test for Equality of Average						
	t	Degrees of freedom	Significance Probability (Both Side)	Average Difference	Standard Deviation of Difference	95% Confidence Interval of Difference	
						Lower Limit	Upper Limit
Equal Variance Assumption	4.576	3598	.000	.0653605	.0142822	.0373584	.0933626
Not Equal Variance Assumption	4.576	3558.937	.000	.0653605	.0142822	.0373583	.0933627

반적으로 철의 함량이 높으면 가시광선 투과율 저하, 난반사 증가 및 투과율을 저하시키는 직접적인 원인이 된다. 따라서 광학유리에서 가시광선, 자외선 등의 광선 투과율을 효율적으로 높이고, 난반사를 줄이기 위해서 철분 함량을 최대 0.015%로 제한하였다. 다음은 철 포함 유무에 따라 White상태 전압 측정값 차이가 통계적으로 유의한지 검증하기 위하여 paired t-test를 사용하였는데 결과는 다음 표 7에 나타나있다.

등 분산에 대한 가정과 무관하게 철 포함 유무에 따른 전압의 차이는 유의확률 0.000으로 매우 유의하게 나타났다. 즉, 철 포함이 미포함에 비해 우수한 성능을 갖고 있다고 말할 수 있다.

3) 코팅 종류

금융 통장 정보를 인식하기 위한 반도체 광학필터에 핵심적인 기능을 발휘하는 코팅 [14,15]의 성능에 대하여 분석하고자 한다. 난반사 비율을 균일하게 유지하며 가시광 투과율을 향상시켜 금융자동화기기의 정보인식 단계인 White상태에서 안정적인 전압을 도출하여 에러 발생률을 극소화하기 위한 특수 기법 코팅 종류는 HEA, VLR, 그리고 VLRW 3가지 종류가 있다. 이들의 평균과 표준 편차 그리고 95% 신뢰 구간을 다음 표 8에 요약 정리하였다.

Table 8. The statistic by the photo Pic coating type.

Photo Pic Coating Type	Voltage Average (V)	95% Confidence Interval	
		Lower Limit Value	Upper Limit Value
HEA	1.717	1.703	1.731
VLR	1.683	1.669	1.697
VLRW	1.960	1.946	1.974

Table 9. The voltage difference test between VLRW and HEA.

Item	t-test for Equality of Average						
	t	Degrees of Freedom	Significance Probability (Both Side)	Average Difference	Standard Deviation of Difference	95% Confidence Interval of Difference	
						Lower Limit	Upper Limit
Equal Variance Assumption	14.080	2398	.000	.2431917	.0172717	.2093226	.2770607
Not Equal Variance Assumption	14.080	2236.906	.000	.2431917	.0172717	.2093214	.2770619

Table 10. The statistics by coating form.

Coating Form	Voltage Average (V)	95% Confidence Interval	
		Lower Limit Value	Upper Limit Value
Front Side	1.767	1.753	1.781
Back Side	1.762	1.748	1.776
Both Front and Back Sides	1.830	1.816	1.844

표 8의 평균 전압 값을 살펴보면 광학 계열 VLRW의 전압이 1.960으로 가장 높고, 그 다음으로 HEA, VLR 순으로 나타났다. 다음은 가장 좋은 특성을 나타내는 VLRW와 두 번째로 좋은 성능을 갖는 HEA 2종류에 대하여 White상태 전압 측정값 차이가 통계적으로 유의한지 검증하기 위하여 paired t-test를 사용하였는데 결과를 표 9에 정리하였다.

등 분산에 대한 가정과 무관하게 두 광학 계열 포토픽 코팅 종류에 따른 전압의 차이는 유의확률 0.000으로 매우 유의하게 나타났다. 즉, VLRW가 VLR은 물론 HEA 보다 우수한 성능을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 결론적으로 ANOVA 분석을 통해서 코팅 종류별로 전압 측정값 차이가 있음을 확인할 수 있었고 paired t-test 검증을 통해서 광학유리 바륨이 가장 좋은 성능을 갖고 있음을 확인하였다.

4) 코팅 면

코팅 면은 앞면, 뒷면, 그리고 앞뒤 양면 3가지가 있다. 이 3가지 종류별 평균과 표준편차, 그리고 95% 신뢰 구간을 다음 표 10에 요약 정리하였다.

표 10의 평균 전압 값을 살펴보면 앞뒤 양면의 전압 값이 1.830으로 가장 높으며 그 다음으로 앞면의 전압 값이 1.767, 그리고 뒷면 1.762로 나타났다. 이제 가장 좋은 특성을 나타내는 앞뒤 양면과 앞면 2종류에 대하여 White상태 전압 측정값 차이가 통계적으로

Table 11. The voltage difference test for both sides coating and front side coating.

Item	t-test for Equality of Average						
	t	Degrees of Freedom	Significance Probability (Both Side)	Average Difference	Standard Deviation of Difference	95% Confidence Interval of Difference	
						Lower Limit	Upper Limit
Equal Variance Assumption	3.607	2398	.000	.0631403	.0175072	.0288094	.0974711
Not Equal Variance Assumption	3.607	2392.812	.000	.0631403	.0175072	.0288094	.0974712

유의한지 검증하기 위하여 paired t-test를 사용하였는데 결과는 표 11에 나타나 있다.

등 분산에 대한 가정과 무관하게 두 코팅 면의 종류에 따른 전압의 차이는 유의확률 0.000으로 매우 유의하게 나타났다. 즉 앞뒤 양면 코팅이 뒷면은 물론 앞면 코팅보다 우수한 특성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 결론적으로 ANOVA 분석을 통해서 코팅 면별로 전압 측정값 차이가 있음을 확인할 수 있었고 paired t-test 검증을 통해서 앞뒤 양면 코팅이 가장 좋은 성능을 갖고 있음을 확인하였다.

3.1.3 인자 간 교호작용 검증

앞서 언급된 광학유리 종류, 철 포함 유무, 코팅 종류, 코팅 면의 인자별 분석은 측정 전압 값에 대한 인자들의 영향력이 독립적이라는 토대 위에서 이루어졌다. 그러나 각 인자들의 영향력이 독립적이지 않을 수 있기 때문에 교호작용을 고려한 각 인자들의 영향력을 분석할 필요가 있다. 두 개 이상의 인자들 사이에 발생하는 교호작용을 two-way ANOVA 분석을 통해서 분석한다. 인자 간 교호작용이 발생되어 시너지 효과를 일으켜 더욱 더 좋은 성능이 나타날수도 있고 반대로 서로 간섭 효과를 일으켜 에러를 유발할 수도 있다. 예로 광학유리 바륨의 경우 광학적으로 우수한 특성을 갖는 유리지만 철 성분이 추가됨으로써 바륨의 광학적 특성을 결정하는 주요 성분인 산화바륨이 증가하여 필터의 수차 (aberration)에 영향을 끼치는데 이것이 성능 저하의 원인이 되는지 살펴볼 필요가 있다.

1) Two-way ANOVA 분석

인자들 간 교호작용을 검증하기 위하여 two-way ANOVA 분석을 실시하였다. 결과는 다음 표 12에 나와 있는데 광학유리 종류와 철 포함 유무, 광학유리

Table 12. The interaction test by two-way ANOVA.

Factor	Fe	Significance Probability	Partial Eta Square
Optical Glass Type * Presence of Fe	83.299	.000	.072
Optical Glass Types * Photo Pic Coating Type	19.071	.000	.034
Optical Glass Types * Coating Form	4.114	.000	.008
Presence of Contained Fe * Photo Pic Coating Type	7.610	.001	.005
Presence of Contained Fe * Coating Form	1.011	.364	.001
Photo Pic Coating Type * Coating Form	1.188	.314	.001

Table 13. The average and 95% confidence interval for the combination of optical glass type and presence of Fe.

Optical Glass Types	Presence of Fe	Voltage Average (V)	95% Confidence Interval	
			Lower Limit Value	Upper Limit Value
Optical Glass Barium	Not Contained Fe	2.125	2.103	2.148
	Contained Fe	2.015	1.993	2.038
Optical Glass B-207	Not Contained Fe	1.572	1.549	1.594
	Contained Fe	1.743	1.721	1.766
Potassium-Lime Glass	Not Contained Fe	1.802	1.780	1.825
	Contained Fe	1.804	1.782	1.827
Soda-Lime Glass	Not Contained Fe	1.516	1.493	1.539
	Contained Fe	1.714	1.691	1.736

종류와 코팅 종류, 광학유리 종류와 코팅 면, 그리고 철 포함 유무와 코팅 종류 간에 교호작용이 발견되었다. 반면에 철 포함 유무와 코팅 면, 그리고 코팅 종류와 코팅 면 간에는 교호작용이 존재하지 않는 것으로 나타났다. 이제 각 인자들 간의 좀 더 심층적으로 분석해 보기로 한다.

2) 광학유리 종류와 철 포함 유무의 교호작용 분석
 광학유리 종류와 철 포함 유무의 교호작용을 분석하기 위하여 광학유리 종류 4가지와 철 포함 유무 2가지의 조합 모두 8가지 경우의 평균과 95% 신뢰 구간을 구하여 표 13에 나타났다.

위 표 13에 따르면 B-207, 칼륨 석회, 석회 나트륨 유리는 철 포함이 우수한 것으로 나타났지만 광학유리 바륨은 철 미포함이 DC 0.11 V 더 높게 나타났다. 이는 철 포함 유무 인자의 최적 수준을 단독으로 결정했을 때의 '철 포함'과 상반되는 결과로 바륨과 철의 교호작용으로 인한 것으로 생각된다.

앞에서 이미 언급 한대로 광학유리 바륨의 경우 광학적으로 우수한 특성을 갖는 유리지만 철 성분이 추

Table 14. The average and 95% confidence interval for the combination of optical glass type and photo pic coating type.

Optical Glass Types	Photo Pic Coating Type	Voltage Average (V)	95% Confidence Interval	
			Lower Limit Value	Upper Limit Value
Optical Glass Barium	HEA	1.911	1.883	1.939
	VLR	1.893	1.865	1.921
	VLRW	2.407	2.379	2.435
Optical Glass B-207	HEA	1.643	1.616	1.671
	VLR	1.617	1.589	1.644
	VLRW	1.713	1.685	1.741
Potassium-Lime Glass	HEA	1.759	1.732	1.787
	VLR	1.737	1.709	1.765
	VLRW	1.914	1.886	1.941
Soda-Lime Glass	HEA	1.554	1.526	1.581
	VLR	1.484	1.457	1.512
	VLRW	1.807	1.779	1.835

Table 15. The average and 95% confidence interval for the combination of optical glass type and photo pic coating type.

Optical Glass Types	Coating Form (Side)	Voltage Average (V)	95% Confidence Interval	
			Lower Limit Value	Upper Limit Value
Optical Glass Barium	Front Side	2.015	1.987	2.042
	Back Side	2.054	2.026	2.082
	Front and Back Side, Both Sides	2.142	2.115	2.170
Optical Glass B-207	Front Side	1.654	1.626	1.682
	Back Side	1.617	1.589	1.645
	Front and Back Side, Both Sides	1.702	1.674	1.730
Potassium-Lime Glass	Front Side	1.801	1.774	1.829
	Back Side	1.795	1.767	1.823
	Front and Back Side, Both Sides	1.813	1.786	1.841
Soda-Lime Glass	Front Side	1.598	1.571	1.626
	Back Side	1.583	1.556	1.611
	Front and Back Side, Both Sides	1.663	1.635	1.691

가됨으로써 바륨의 광학적 특성을 결정하는 주요 성분인 산화바륨이 증가하여 필터의 수차에 영향을 끼친 것으로 보인다. 한편 광학유리 바륨은 철 포함 유무에 상관없이 가장 우수한 유리로 나타났다. 이는 광학유리 인자를 단독으로 분석했을 때의 결과와 일치한다.

3) 광학유리 종류와 코팅 종류의 교호작용 분석

광학유리 종류와 코팅 종류의 교호작용을 분석하기 위하여 광학유리 종류 4가지와 코팅 종류 3가지의 조합 모두 12가지 경우의 평균과 95% 신뢰 구간을 구하여 표 14에 나타났다. 표 14에 따르면 모든 종류의 유리에서 VLRW 코팅이 가장 좋은 것으로 나타났고 이는 코팅 종류 인자를 단독으로 분석하여 구한 결과와도 일치한다. 이 중 광학유리 바륨과 VLRW의 조

Table 16. The average and 95% confidence interval for the combination of presence of Fe and coating type.

Presence of Contained Fe	Photo Pic Coating Type	Voltage Average (V)	95% Confidence Interval	
			Lower Limit Value	Upper Limit Value
Not Contained Fe	HEA	1.675	1.655	1.694
	VLR	1.673	1.653	1.693
	VLRW	1.914	1.894	1.934
Contained Fe	HEA	1.759	1.740	1.779
	VLR	1.692	1.673	1.712
	VLRW	2.006	1.987	2.026

Table 17. The result of interaction analysis.

Item	Optical Glass Type	Presence of Contained Fe	Photo Pic Coating Type	Coating Form
Optical Glass Type		○ X	○ ○	○ ○
Presence of Contained Fe			○ ○	
Photo Pic Coating Type				
Coating Form				

합은 다른 광학유리들의 조합보다 월등하게 높은 2.407의 평균 전압 값을 나타내는데 이는 광학유리 바륨과 VLRW의 교호작용에 기인한 것으로 보인다.

4) 광학유리 종류와 코팅 종류의 교호작용 분석

광학유리 종류와 코팅 면 종류의 교호작용을 분석하기 위하여 광학유리 종류 4가지와 코팅 종류 2가지의 조합 모두 8가지 경우의 평균과 95% 신뢰 구간을 구하여 표 15에 나타났다. 표 15에 따르면 모든 종류의 유리에서 앞뒤 양면 코팅이 가장 좋은 것으로 나타났고 이는 코팅 면 인자를 단독으로 분석해 구한 결과와도 일치한다. B-207, 칼륨 석회, 그리고 석회 나트륨 유리의 경우 코팅 면에 따른 차이가 거의 미미하지만 광학유리 바륨의 경우에는 앞뒤 양면 코팅이 앞면이나 뒷면 코팅에 비해 뚜렷하게 우수한 것으로 나타났다. 이는 광학유리 바륨과 앞뒤 양면의 교호작용에 기인한 것으로 보인다.

5) 철 포함 유무와 코팅 종류의 교호작용 분석

철 포함 유무와 코팅 종류의 교호작용을 분석하기 위하여 철 포함 유무 2가지와 코팅 종류 4가지의 조합 모두 8가지 경우의 평균과 95% 신뢰 구간을 구하여 표 16에 나타났다. 위 표 16에 따르면 모든 종류의 코팅에서 철 포함이 좋은 것으로 나타났고 이는 철 포함 유무 인자를 단독으로 분석해 구한 결과와도 일치한다. 코팅 VLR의 경우에는 철 포함 유무가 전압 값에 거의 무관하지만 코팅 HEA와 VLRW의 경

Table 18. The average voltage comparison of two combinations.

Optical Type	Presence of Fe	Photo Pic Based Optical	Coating Side	White Average Voltage
Optical Glass Barium	Contained Fe	VLRW	Front and Rear, Both Sides	2.7950
	Not Contained Fe	VLRW	Front and Rear, Both Sides	2.6890

우에는 철을 포함하는 경우가 뚜렷하게 높은 전압 값을 나타낸다. 이는 광학 코팅 HEA와 VLRW의 철과 교호작용에 기인한 것으로 보인다.

6) 교호작용 분석 결과

교호작용 분석 결과를 다음 표 17에 요약 정리하였다.

표 17에서 OO는 교호작용을 고려하여 선택된 조합이 각 인자를 단독으로 분석했을 때의 최적 조합과 같은 경우이며 OX는 좌측 (행)과는 일치하는데 우측 (열)과는 일치하지 않는 경우다. 즉, 광학유리와 코팅 방법 그리고 코팅 면은 교호작용을 고려했을 때 결과가 단독으로 분석했을 때의 결과와 일치한 반면에 철은 다른 결과를 나타낸다. 광학유리는 단독으로 분석했을 때나 교호작용 고려 시 모두 바륨이 가장 우수한 것으로 나타났다. 그런데 철 성분이 추가될 경우 바륨의 광학적 특성을 결정하는 주요 성분인 산화바륨이 증가하여 필터의 수차에 영향을 끼쳐 광학유리의 경우에는 철 비포함이 더 높은 전압 값을 보여준다. 이는 철을 단독으로 분석했을 때의 결과인 철 포함과 상반된 결과다. 또 철은 코팅 종류와도 교호작용을 갖는데 이 경우에는 철 포함이 가장 우수한 코팅 방법으로 검증된 VLRW과 교호작용을 일으켜 더 높은 전압을 보여준다.

철은 바륨과 교호작용으로 인해 ‘비 포함’이 코팅 방법인 VLRW와는 교호작용으로 인해 ‘포함’이 더 좋게 나타났다. 철 포함 여부를 결정하기 위하여 두 개의 조합 (바륨, 철 포함, VLRW, 앞뒤 양면 코팅)과 (바륨, 철 비 포함, VLRW, 앞뒤 양면 코팅)의 평균 전압 값을 표 18에 비교하였다. 표 18에 따르면 두 개의 조합 중 (바륨, 철 포함, VLRW, 앞뒤 양면 코팅)이 더 높은 평균 전압 값을 나타내고 통계적으로 두 조합 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 철 포함을 선택하는 것이 더 우수한 조합으로 보인다.

3.1.4 1단계 분석 결과

첫째, one-way ANOVA test를 통하여 광학유리, 철 포함 유무, 코팅 계열, 그리고 코팅 면 4가지 인자들에 대해서 인자들의 수준 간 차이가 있는지를 검증하였는데 모든 인자들의 수준별 White상태 측정 전압 값은 통계적으로 서로 다르게 나타났다.

둘째, 인자별 최적 수준을 결정하기 위하여 수준별 통계량과 t-test를 통해서 각 인자별 최적 수준을 결정하였다. 광학유리는 바륨, 철은 포함, 코팅 방법은 VLRW, 코팅 면은 앞뒤 양면으로 나타났다.

셋째, two-way ANOVA를 통해 인자 간 교호작용을 검증하였다. 철을 제외한 다른 모든 인자들은 교호작용 분석 결과가 인자 단독으로 분석했을 때의 결과와 일치하였다. 철은 교호작용으로 인해 바륨과는 비 포함이 코팅 VLRW와는 포함이 우수한 것으로 나타났다. 표 18의 2가지 조합의 비교를 통해 철 포함으로 최종 결정하였다. 다음 표 19에 1단계 분석 결과를 최종 정리하였다.

Table 19. Step 1 analysis result.

Factors	Selected Value
Optical Glass	Optical Glass Barium
Presence of Fe	Contained Fe
Photo Pic Coating Type	VLRW
Coating Form	Both Sides

3.2 2단계 분석

2단계 분석은 1단계 분석에서 결정된 4가지 인자를 기준으로 정한 후 최적 두께를 결정하는 단계다. 금용자동화기기에 탑재될 광학필터의 두께가 중요한 이유를 간략히 정리하면 다음과 같다.

첫째, 광센서에서 발생된 660 nm 가시광 파장을 난반사 없이 통과시켜야 한다.

둘째, 두께가 너무 두꺼우면 광센서의 out focusing 영역이 달라져 White상태의 전압 및 Black상태의 전압 측정값이 불안정해진다. 그리고 가시광선 투과에 난반사가 많이 발생하고 투과효율도 낮기 때문에 많은 오류가 발생한다.

셋째, 광학필터 제품생산 시 1단계로 레이저 가공 작업을 완료한 뒤, 2단계의 후 가공 작업이 필요한데 두께가 너무 얇으면 2단계에서 절단면 주변 깨짐 (laser cutting side crumble) 불량 발생 하는 문제가

있다. 그리고 금융자동화기기 양산 시 광학필터 모듈을 결합하는 단계에서도 광학필터가 깨지는 문제가 있다. 위에서 언급한 3가지 요인을 바탕으로 두께를 규격 0.7 mm, 1.00 mm, 1.50 mm, 1.90 mm, 그리고 2.00 mm의 5종류로 정하고 이중 최적의 두께를 결정하고자 한다. 실험은 1단계 분석에서 결정한 4가지 인자를 기준으로 설정한 후 진행하였으며 광학필터의 두께를 달리하여 Black상태의 전압과 White상태의 전압을 측정하였다. 앞에서 언급했듯이 Black상태의 전압은 DC 0.00~DC 0.45 V가 기준이며 검출 전압이 DC 0.10 V에 가까우면 매우 양호하다. 또한 White상태에서 측정 전압 기준은 DC 2.45~4.95 V이며 검출 전압이 DC 2.80 V 이상이면 매우 양호한 상태이다.

3.2.1 White상태 측정 전압

전압 측정은 그림 3에 나와 있는 test point를 이용하였고 결과를 그림 10에 나타냈다. 측정은 0.7 mm와 1.00 mm에서 10회, 1.50 mm에서 20회, 1.9 mm에서 16회, 2.0 mm에서 10회로 모두 66회 실시하였다.

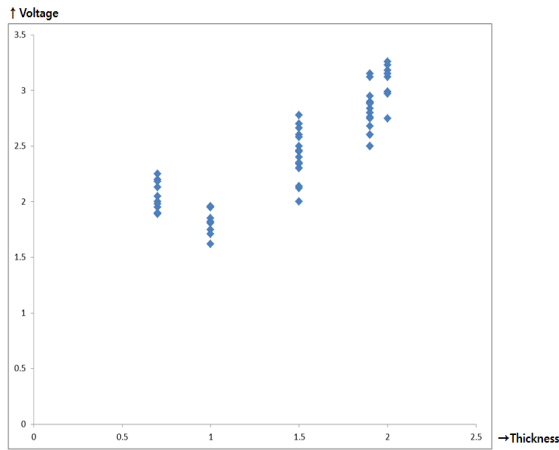


Fig. 10. The result of the white voltage measurement by thickness of the optical filter.

분석 결과 두께 1.9 mm와 2.0 mm에서 가장 높은 White상태 전압이 측정되었는데 각 두께에서 통계량을 표 20에 정리하였다.

이 두 두께에서 측정된 전압 차이가 통계적으로 유의 한지를 검증하기 위하여 t-test를 수행하여 표 21에 요약 정리하였다.

Table 20. The voltage measurement statistics of 1.9 mm and 2.0 mm.

Thickness	Average Voltage(V)	Standard Deviation
1.90	2.7950	.19176
2.00	3.0790	.15402

Table 21. T-test for the white voltage difference between 1.9 mm and 2.0 mm.

Item	t-test for Equality of Average						
	t	Degrees of Freedom	Significance Probability (Both Sides)	Average Difference	Standard Deviation of Difference	95% Confidence Interval of Difference	
						Lower Limit	Upper Limit
Equal Variance Assumption	-3.946	24	.001	-.28400	.07197	-.43255	-.13545
Not equal Variance Assumption	-4.156	22.318	.000	-.28400	.06834	-.42561	-.14239

등 분산 가정에 무관하게 두께 2.0 mm에서 전압과 1.9 mm에서 전압 차이는 통계적으로 유의한 것으로 나타나서 두께 2.0 mm에서 White상태 전압측정 값이 가장 높다고 결론내릴 수 있다.

3.2.2 Black상태 측정 전압

금융자동화기기 내부에 금융통장이 없고 감지 신호가 없을 때를 Black상태라 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 DC 0.00 V~DC 0.45 V가 기준이며 Black상태에서 검출 전압이 DC 0.10 V에 가까우면 매우 양호하다. 즉 0 V에 가까울수록 매우 안정된 상태로 동작 하지만 전압을 정확하게 측정 못하면 금융통장이 있는 것으로 판단하여 금융자동화기기를 오동작시키는 요인이 되고, 자동화기기의 신뢰성 저하 및 금융 전산망 트래픽에 부하가 과중되어 금융 업무에 막대한 지장을 초래한다. 각 두께별로 측정된 전압들의 통계량을 표 22에 정리하였다.

Table 22. The voltage measurement statistics by thickness.

Thickness of the Optical Filter	Average Voltage (V)	The standard Deviation (V)
.70	.5370	.18087
1.00	.5910	.13119
1.50	1.0220	.34006
1.90	.2988	.09966
2.00	.3450	.14089

위 표에 따르면 1.9 mm와 2.00 mm에서 Black상태 전압 측정값이 가장 낮게 나타난다. 이 두 두께에서

Table 23. T-test for the black voltage difference between 1.9 mm and 2.0 mm.

Item	t-test for Equality of Average						
	t	Degrees of Freedom	Significance Probability (Both Sides)	Average Difference	Standard Deviation of Difference	95% Confidence Interval of Difference	
						Lower Limit	Upper Limit
Equal Variance Assumption	-.982	24	.336	-.04625	.04710	-.14346	.05096
Not Equal Variance Assumption	-.906	14.649	.380	-.04625	.05105	-.15528	.06278

측정된 전압 차이가 통계적으로 유의한지를 검증하기 위하여 t-test를 수행하여 표 23에 요약 정리하였다.

등 분산 가정에 무관하게 두께 2.0 mm에서 전압과 1.9 mm에서 전압 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 즉, 두께 1.9 mm와 2.0 mm에서 Black상태 전압 측정값은 뚜렷한 차이가 발견되지 않았다.

3.2.3 Black상태 측정 전압

앞에서 언급했듯이 Black상태에서 전압을 정확하게 측정 못하면 금융통장이 있는 것으로 판단하여 금융 자동화기기를 오동작시키는 요인이 되고, 자동화기기의 신뢰성 저하 및 금융 전산망 트래픽에 부하가 과중되어 금융 업무에 막대한 지장을 초래한다. 본 연구에서는 Black상태 전압이 DC 0.45 V 이상인 경우를 예러로 처리하여 광학필터 두께별로 평균 에러율을 계산하였다.

Table 24. The average error ratio of black state voltage measurement.

Thickness of the Optical Filter	Average Error (V)	The Standard Deviation of the Error
.70	.4000	.51640
1.00	.9000	.31623
1.50	1.0000	.00000
1.90	.0000	.00000
2.00	.2000	.42164

표 24에 따르면 두께 1.90 mm에서 평균 에러율은 0, 2.0 mm에서는 0.20으로 가장 낮게 나타났다. 이 차이가 통계적으로 유의한지를 살펴보기 위하여 t-test를 수행하였다.

Table 25. T-test for the average error rate difference between 1.9 mm and 2.0 mm.

Item	t-test for Equality of Average						
	t	Degrees of Freedom	Significance Probability (Both Sides)	Average Difference	Standard Deviation of Difference	95% Confidence Interval of Difference	
						Lower limit	Upper limit
Equal Variance Assumption	-1.922	24	.067	-.20000	.10408	-.41482	.01482
Not Equal Variance Assumption	-1.500	9.000	.168	-.20000	.13333	-.50162	.10162

표 25에 따르면 1.9 mm와 2.0 mm의 평균 에러율 차이는 유의하지 않은 것으로 나타나 두 개의 평균 에러율에 차이가 있다고 결론내릴 수가 없다.

3.2.4 2단계 분석 결과

White와 Black상태 평균 전압 측정값과 Black상태 평균 에러율을 토대로 분석한 결과 두께 1.9 mm와 2.00 mm에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 다음 표 26에 따르면 White상태 평균 전압 측정값은 2.0 mm가 더 우수하게 나타났으며 Black상태 평균 전압 측정값과 평균 에러율은 1.9 mm가 더 좋게 나타났다. 차이가 통계적으로 유의한지에 대한 검증 결과는 White상태 평균 전압 차이만 유의한 것으로 나타났고 Black상태 평균 전압 측정값과 Black상태 평균 에러율 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

Table 26. Performance summary of thickness 1.90 mm and 2.00 mm.

Thickness	White State Average Voltage Measurement	Black State Average Voltage Measurement	Black State Average Error Rate
1.90mm	2.7950	0.2988	0.00
2.00mm	3.0790	0.3450	0.20

위의 결과 1.9 mm와 2.00 mm 중 어느 것이 더 우수하다고 단정적으로 말하기는 어려워 보인다. 가능한 분석 결과는 다음과 같이 두 가지로 나누어 생각해 볼 수 있다.

1) 일단 위 표 26의 세 개 성능 지표의 중요도가 모두 같다고 하자. White상태 평균 전압 측정값은 1.90 mm가 2.7950, 2.00 mm가 3.0790으로 나타났는데

이 둘 사이에 차이는 유의한 것으로 나타나 2.00 mm가 더 우수한 것으로 보인다. 반면 Black상태 평균 전압 측정값은 1.90 mm는 0.2988, 2.00 mm는 0.3450으로 1.9 mm가 더 우수 (더 낮은 전압 측정값)하게 나타 낮지만 통계적으로 유의한 차이는 발견되지 않았다. Black상태 평균 에러율을 보면 1.90 mm는 16번의 실험 중 단 한 번의 에러 (전압 측정값 DC 0.45 V 이상)도 없었지만 (에러율 0) 2.00 mm는 10번의 실험 중 2번의 에러가 발생되었다 (에러율 0.20). 하지만 이 두 가지 두께에서 Black상태 평균 에러율 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서 2.00 mm가 1.90 mm에 비해 White상태 평균 전압 측정값은 더 우수하고 Black상태 평균 전압 측정값과 Black상태 평균 에러율은 2.00 mm와 1.90 mm 사이에 유의한 차이가 없기 때문에 2.00 mm를 최적의 두께로 선정할 수 있다.

2) Black상태 전압의 측정 오류가 중요한 이유는 앞에서 언급한 바 있다. 즉, Black상태에서 전압을 정확하게 측정 못하면 금융통장이 있는 것으로 판단하여 금융자동화기기를 오동작시키는 요인이 되고, 자동화기기의 신뢰성 저하 및 금융 전산망 트래픽에 부하가 과중되어 금융 업무에 막대한 지장을 초래한다. 따라서 위 세 가지 성능 지표 중 Black상태 평균 전압 측정값과 평균 에러율에 조금 더 가중을 둘 수도 있다. Black상태 평균 전압 측정값을 보면 1.90 mm가 0.2988, 2.00 mm가 0.3450으로 차이가 있고 평균 에러율도 1.90 mm는 0.00 2.00 mm는 0.20으로 차이가 난다.

T-test 검증에서 통계적으로 유의한 차이가 없다는 것의 실제적 의미는 두 개의 차이를 유의하다고 볼충분한 증거가 없다는 뜻일 뿐 두 개가 동일한 모집단에서 나왔다는 것을 뜻하지는 않는다. 특히 Black상태 평균 에러율의 경우 등 분산 가정 시 유의확률은 0.067 (본 연구에서는 유의확률 기준으로 0.05 사용)로 충분히 낮음에도 불구하고 1.90 mm와 2.00 mm의 Black상태 평균 에러율에 차이가 없다고 선불리 결론 내릴 수는 없다. 1.90 mm에서 White상태 평균 측정 전압 값은 2.7950으로 2.00 mm의 3.0790보다 낮지만 White상태 전압 측정값의 기준이 되는 DC 2.45 V보다는 높아서 양호한 결과를 보인다. 따라서 1.90 mm가 2.00 mm에 비해 White상태 측정 전압 값은 낮지만 Black상태 평균 전압 측정값과 평균 에러율이 더 우수한 (비록 통계적으로 유의한 차이는 발견되지 않았지만) 1.90 mm를 선택할 수도 있다.

3.3 최종분석 결과

3.1의 1단계 분석과 3.2의 2단계 분석을 토대로 다음의 2가지 최적 조합을 도출할 수 있었다.

- 최적 조합 1: 광학유리 바륨, 철 포함, 코팅 VLRW, 앞뒤 양면 코팅, 두께 1.90 mm
- 최적 조합 2: 광학유리 바륨, 철 포함, 코팅 VLRW, 앞뒤 양면 코팅, 두께 2.00 mm

최적 조합 1,2 성능의 우수함을 보기 위하여 표 27에서 전체 평균값과 비교하여 보았다.

Table 27. Comparison of two optimum combinations.

Item	White State Average Voltage Measurement	Black State Average Voltage Measurement	Black State Average Error Rate
Average	1.787	0.565	0.61
Optimum Combination 1	3.079 (72%)	0.345 (39%)	0.20 (67%)
Optimum Combination 2	2.795 (56%)	0.299 (47%)	0.00 (100%)

표 31에 따르면 최적 조합 1은 White상태 평균 전압 측정값이 72% ($= (3.079 - 1.787) / 1.787$) 증가하였으며 Black상태 평균 전압 측정값은 39% ($= (0.565 - 0.345) / 0.565$) 감소, Black상태 평균 에러율은 67% ($= (0.61 - 0.20) / 0.61$) 감소하였다. 최적 조합 2는 White상태 평균 전압 측정값이 56% 증가하였으며 Black상태 평균 전압 측정값은 47% 감소, Black상태 평균 에러율은 100% 감소하였다.

4. 결론

본 연구의 목적은 금융통장 정보를 인식하고 판독하는 최적의 광학필터를 구현하는데 있다. 광학필터의 성능에 영향을 미치는 인자들을 광학유리 종류, 철 포함 유무, 코팅 방법, 코팅 면, 두께 5가지로 정하고 이들의 최적 조합을 찾고자 하였다. 적절한 광학필터 실험 장비와 실험 방법을 통하여 각 조합별로 광학필터의 성능을 조사하였고 데이터를 습득하였다. 그리고 본 연구의 목적에 부합하는 통계 분석 과정을 통하여 광학필터를 위한 최적의 조합을 선정하였다.

본 연구에서는 두 개의 최적 조합을 선정하였는데 광학필터 모든 조합의 평균치에 비해 White상태 평균 전압 측정값은 각각 72%와 56% 높고 Black상태 평균 전압 측정값은 각각 39%와 47% 낮고 Black상태 평균 에러율은 각각 67%와 100% 낮게 나타났다.

본 연구의 통계 분석은 2단계로 나누어 수행되었는데 1단계에서는 광학유리 종류, 철 포함 유무, 코팅 방법, 코팅 면의 최적 조합을 결정하고 2단계에서 최적 두께를 결정하였다. 따라서 본 연구에서는 두께와 다른 인자들의 교호작용은 고려하지 않았다. 주된 이유는 두께를 포함해서 한꺼번에 분석할 경우 인자 간 고려해야 할 교호작용의 수는 모두 10개로 분석에 상당한 무리가 따른다. 아울러 각 인자들의 수준을 결정하기 위해서 본 연구의 선행 연구에서는 해당 분야 전문가들을 활용한 델파이 방법을 이용하였는데 두께가 다른 인자들과 교호작용이 가장 없는 것으로 선택되었다. 보다 더 정확한 분석을 위해서는 모든 인자들을 한 번에 다 고려하는 것이 필요한데 이 부분은 추후 연구 과제로 남긴다.

감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] *Global ATM Market and Forecasts to 2015* (Retail Banking Research, 2010).
- [2] Y. H Gwon, *The World ATM Market Situation and Outlook* (The Bank of Korea, 2010).
- [3] B. R Kim, *The Domestic and Foreign ATM Status and Implications* (2011).
- [4] B. H Jeon, H. Y Lee, and H. G Rhee, *Korean Journal of Optoelectronics and Photonics*, 19 (2008).
- [5] M. Hayama, *IEEE Trans. Elec. Dev.*, **37**, DOI10.1109/16.108189, 1271 (1990).
- [6] M. Acuna, Marcelo Enrique University, The University of Arizona (2005).
- [7] H. S. Chung, Sogang University, Seoul (2011).
- [8] H. J. Kim, *Journal of Korean Oil Chemist Society*, **22**, 77 (2005).
- [9] S. W. Kim, C. S. Cho, J. W. Nam, B. H Kim, and J. H. Lee, *J. IEEK*, 47SD (2010).
- [10] H. Kim, *Physics & High Technology* (2005).
- [11] H. K. Yu and K. W. Lee, *KIMME*, **27**, 61 (2014).
- [12] S. H. Park and J. W. Kim, *Design of Experiment* (Minyoungsa, Seoul, 2011) p. 12.
- [13] N. R. Kim and S. J. Joo, *KIASS*, 18 (2013).
- [14] Y. S. Kim, K. M. Shong, S. B. Bang, C. M. Kim, and M. I. Choi, *KIIEIE*, **26**, 35 (2012).
- [15] J. K. Park, S. H. Park, and H. S. Oh, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, **28**, 71 (2009).