

## 계층적 분석 과정을 이용한 다중 속성의 금융통장 인식용 광학 필터의 최적 설계

유형근<sup>1</sup>, 이강원<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 서울과학기술대학교 산업정보시스템공학과

### Optimal Design of Optical Filter Recognizing Financial Account with Multiple Attribute Using Analytic Hierarchy Process

Hyeung Keun Yu<sup>1</sup> and Kang Won Lee<sup>1,a</sup>

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

(Received April 28, 2014; Revised May 16, 2014; Accepted May 20, 2014)

**Abstract:** Five factors are identified, which affect the performance of optical filter: 1) type of optical glass, 2) existence of Fe, 3) photo pic coating type, 4) coating form, and 5) coating thickness. If we consider all the levels of five factors, there are 360 possible candidates. We determined five evaluation criteria, which can be used to evaluate possible candidates. For the performance measures we selected white-state average voltage, black-state average voltage, and black-state error rate. And we added economic criterion and quality and maintenance criterion. Through the two-step statistical analysis of white-state average voltage, black-state average voltage, and black-state error rates, we selected final four candidates. Based on the five criteria we finally determined optimal optical filter using AHP.

**Keywords:** Delphi, AHP (analytic hierarchy process), Black voltage, White voltage, HEA (high efficiency), VLR (value low reflector), VLRW (value low reflector wide)

#### 1. 서론

반도체 광학 필터는 금융통장 정보 인식을 위해 기존에 사용되어온 기술 CIS (contact image sensor)나 CCD (charge coupled device), 그리고 광센서들에서 나타나는 여러 문제점 [1-7]들을 해결할 수 있는 새

로운 대안으로 부각되고 있다. 가장 효율적이고 최적의 광학 필터를 구현하기 위해서는 먼저 금융 정보를 정확하게 인식할 수 있는 기술적 측면, 구현 방법, 단가, 제조 공정에서의 안정된 품질과 유지보수의 용이성 등을 고려해야 한다. 이에 맞추어 참고 문헌 [8]에서는 반도체 광학 필터의 성능에 영향을 미치는 성능 인자들을 도출하고 해당 분야 전문가들을 활용한 델파이 방법을 통하여 각 인자들의 적정 수준 값들을 설정하였다.

최적의 반도체 광학 필터를 설계 구현하기 위한 성능 인자 도출을 위해 여러 차례의 전문가 회의를 통해 전문가들 사이에 합의된 의견을 이끌어내는 델파이

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

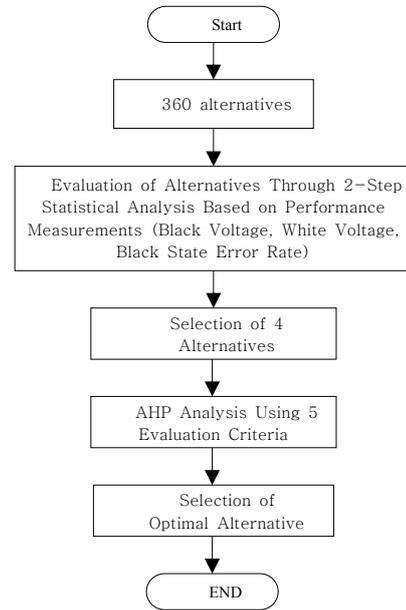
**Table 1.** Performance index and level decision using Delphi method.

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

기법은 처음에는 구현 가능한 기술에 대한 전문가의 제안을 수집한 후 결과를 종합하여 참여한 전문가에게 판단을 다시 생각하도록 피드백을 주는 반복적인 절차를 따른다. 1라운드에서 제시한 견해를 수정하고 새로운 제안, 협의, 추가하는 델파이 과정에서 라운드의 회수는 최소 두 번에서 최대 다섯 번까지의 값을 갖는다 [8,9].

다음 표 1은 델파이 방법을 통하여 나온 결과인데 성능 인자들은 첫째, 광학유리 종류, 둘째, 철 포함 유무, 셋째, 포토 픽 광학 코팅 기법, 넷째, 코팅 형태, 그리고, 다섯째, 광학유리 두께다. 광학유리 종류는 바륨 (optical glass barium), B207 (optical glass B207), 칼륨석회 (potash lime glass), 그리고 석회나트륨 (natrium/soda lime glass)으로 모두 4종류로 선정되었다. 철 포함은 유무 두 종류고 포토 픽 광학 코팅 기법은 HEA (high efficiency), VLR (value low reflector), VLRW (value low reflector wide)로 세 종류로 결정되었다. 코팅 형태는 앞면, 뒷면, 그리고 앞뒷면 세 종류로 결정되었고, 두께는 0.7 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, 1.9 mm, 그리고 2.0 mm로 다섯 개로 결정하였다.

이들 다섯 인자들의 수준 수를 고려하면 가능한 대안의 수는 모두 360 (=4×2×3×3×5)개다. 이들을 평가하여 최적의 대안을 도출하기 위해서는 먼저 이들을 평가할 수 있는 평가 기준이 확립되어야 한다. 본 연구에서는 평가 기준을 크게 성능, 경제성, 그리고 품질과 유지보수성 세 가지로 삼았다. 먼저 성능은 통장 정보 인식을 위한 White 전압 수준과 금융통장이 존재하지 않음을 판단하는 Black 전압 수준, 그리고 금융통장이 존재하지 않는데 있다고 판단하는 Black



**Fig. 1.** Selection process of optimized optical filter.

상태 에러율, 세 가지를 측도로 삼았다. 경제성은 대안 광학 필터의 단가를 측도로 삼았으며 품질과 유지보수성은 대안의 품질 수준과 유지보수 용이성을 측도로 택하였다. 가능한 대안의 수는 모두 360가지인데 이들 모두를 위에서 언급한 5가지 기준 (3개의 성능 측도와 경제성 그리고 품질 및 유지보수성)으로 평가한다는 것은, 효율적으로 분석 과정을 수행할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 우선 성능 기준치만을 토대로 통계 분석 과정을 통해 가능한 대안의 수를 4가지로 줄여나갔다. 이를 위하여 적절한 실험 계획과 방법을 구축한 후 실험 데이터들에 대한 통계 분석을 실시하였다. 이제 가능 대안 네 가지를 다섯 가지 기준을 토대로 평가하였는데 이를 위하여 AHP (analytic hierarchy process) 모형을 사용하였다. 그림 1. Thomas Saaty [11]에 의하여 개발된 AHP 모형은 의사결정의 여러 주관적 요소와 객관적 요소를 모두 고려할 수 있고 계산 과정이 복잡하지 않아 다기준 의사결정 분야에서 많이 활용되고 있는 모형이다.

Section 2에서는 광학필터의 여러 대안을 평가하는 5가지 기준에 대하여 살펴보았다. Section 3에서는 모든 대안 수 360개로부터 평가 가능한 4개의 대안으로 줄여나가는 과정에 대하여 논하였으며 section 4에서는 AHP 모형을 토대로 최적 대안을 선정하는 과정을 설명하였다. 그리고 section 5에 최종 결론을 다루었다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 광학필터 인자 특성 분석

#### 2.1.1 광학유리

광학유리의 종류별 특성 및 성능 관련 특성을 표 2에 요약 정리하였다. 표 2에서 볼 수 있듯이 유리 종류별로 사용처가 다르며 굴절률과 분산 값이 상이함을 보여 준다. 아울러 각 유리 종류별 성능에 영향을 미치는 요인들을 볼 수 있다.

Table 2. Characteristics and performance of optical glass type.

Optical Glass Type	Composition and Function	Performance Affecting Factor
1. Optical Glass Barium	-Used for Optics and Physics Related With Light -Have Same Refractive Index and Degree of Dispersion -Have a Minimum Refractive Index	-Influence on Aberration due to Increasing Barium Oxide -Influence on Refractive Index and Degree of Dispersion
2. Optical Glass B207	-Have a Quartz Type Glass Ingredient, Not Include Fe, and Used for Optical Communication and Laser Beam -Used for Optical Filter and Have a Good Durability -Have a Chemical Stability -Have Same Refractive Index and Degree of Dispersion	-Influence on Aberration due to Changing the Coefficient of Heat Expansion -Produce Light Sensing Error due to Increasing the Diffused Reflection in Silicon Dioxide and Fe
3. Potash -Lime Glass	-Hard Glass in a Physical and Chemical Applications and Used for Photo Filter, Fluorescent Light Lamp and Glasses -Have High Degree of Transparency and Produced Through High Temperature Heat Treatment Process -Have Low Refractive Index and Degree of Dispersion	-Degrade Reflexibility due to Stone Phenomenon Produced by Fusion Problem -Decrease Efficiency in Light Penetrating the Glass and Increase Diffused Reflection due to Changing the Glass Color into Bluish Green
4. Natrium/Soda -Lime Glass	-Widely Used for Industry, Architecture, etc. as a General Glass -Have High Refractive Index and Degree of Dispersion -Include Lead Silicate and Fe	-Appear Defection on Glass due to Increasing Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> in Silicon -Decrease Efficiency due to Dispersion, Diffused Reflection and Low Light Penetration Rate

#### 2.1.2 철 포함 유무

철은 금융통장 White와 Black 상태 전압을 효율적으로 측정할 수 있게 하며 이로 인해 전압 측정 오류를 감소시킨다. 그러나 철 성분은 가시광선 투과율 저하, 난반사 증가 및 열선 투과율을 떨어뜨리는 직접적인 원인이 된다. 따라서 광학유리에서 가시광선, 자외선 등 광선 투과율을 높이고 난반사를 줄이기 위해서는 최소 철분 함량을 미소량으로 조절하는 것이 가장 중요하다. 보통 일반적인 판유리의 경우 철분함량이 대

략 0.08%~0.15% (800 ppm~1,000 ppm) 정도이고, 광학 필터, 특수 렌즈, 그리고 태양광 산업에 사용되는 저철분 유리의 경우에는 0.015%~0.02% (150 ~200 ppm) 정도로 낮다. 난반사 (0.3%), 투과율 (광원 660 nm과장 45° 범위로 투과될 때 92~93%), 조건에 적합한 Fe 함량 (0.015%)을 최적 조건을 갖는 계수 값으로 설계하여 본 연구에서는 철분 함량을 0.015%로 하였다.

#### 2.1.3 광학 계열 종류

금융 자동화기기 내부에 탑재된 반도체 광학 필터에서 금융통장 정보를 에러 없이 검출하기 위해 필요한 것으로 데이터를 취득하는 선명도 계수를 결정하는 단계다. 첫 번째 고효율 HEA는 AR이 0.20% 이하의 포토 픽 밝기 (높은 시력과 맑고 높은 시각적 해상도, 암순응)를 갖는 계열이다. 포토 픽은 조명이 없는 어두운 곳에서 색상 인식을 명확하게 하기 위한 포토 픽 또는 암 순응의 원리를 광학 필터 코팅에 적용하여 White와 Black 상태의 감지 편별 오차를 줄이도록 적용한 기술적 방법이다. 둘째, 저 반사체 VLR은 AR이 0.75% 이하의 포토 픽 밝기를 갖는 계열이다. 셋째, 저반사체인 VLR을 이중화시키는 방법을 특별하게 고안하여 반경 폭을 개선시킨 저 반사체 VLRW를 추가적으로 적용하였다.

#### 2.1.4 코팅 형태

난반사 방지를 위해 난반사 비율이 0.3%를 넘지 않도록 AR 특수 코팅을 하였다. 코팅 형태는 코팅을 앞면에만 적용한 앞면 코팅, 뒷면에만 적용한 뒷면 코팅, 그리고 앞뒤 양면에 적용한 양면 코팅 세 가지로 하였다.

#### 2.1.5 광학유리 두께

금융 자동화기기에 탑재될 광학필터의 두께는 필터의 성능 및 품질에 영향을 미치는 중요한 요소다. 먼저 광센서에서 발생된 660 nm 가시 광 파장을 난반사 없이 통과 시켜야 한다. 이때 두께가 너무 두꺼우면 광센서의 out focusing 영역이 달라져 White 상태의 전압 및 Black 상태의 전압 측정값이 불안정해진다. 그리고 가시광선 투과에 난반사가 많이 발생하고 투과 효율도 낮기 때문에 많은 오류가 발생한다. 반대로 두께가 너무 얇으면 절단면 주변 깨짐 (laser cutting side crumble) 불량 발생하는 문제가 있다. 그리고 금융 자동화기기 양산 시 광학 필터 모듈을 결합하는 단계에서도 광학 필터가 깨지는 문제가 있다.

**2.2 광학필터 선정 기준**

광학 필터 선정기준은 크게 성능, 경제성, 그리고 품질 및 유지보수 측면에서 살펴보았는데 성능은 White 상태 측정 전압과 Black 상태 측정 전압 그리고 Black 상태 에러율로 세분된다.

**2.2.1 성능**

금융 자동화기기 또는 텔러 전용프린터에 금융통장 페이지를 펼쳐서 투입구에 투입하면 이송장치의 메카니즘에 따라 통장을 고속으로 이송하여 자동화기기 내부에 금융통장의 유무를 판단한다. 이 과정에서 금융통장 내부의 정보기록 페이지를 인식하게 되는데 금융통장이 자동화기기 내부에 있고 페이지를 정상적으로 인식할 때를 정상적인 White 상태라 한다. 이와는 반대의 경우로 금융 자동화기기 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 feedback되길 기다리면서 대기 상태로 들어가게 된다. 이렇게 자동화기기에서 동작되는 상태에 따라 측정되는 전압이 Black 전압과 White 전압의 2종류다. Black 상태에서 오동작이 없을 경우 최적 전압 측정값은 DC 0 V를 이지만 DC 0.45 V 이하면 오동작이 없는 기준 값으로 설정하였다. 그리고 White 상태에서 최적 전압 측정값은 DC 4.95 V이지만 DC 2.45 V 이상이면 정상적인 것으로 하였다. 다음 표 3은 White, Black 상태와 전압측정 가이드라인을 보여준다. 전압은 금융통장 정보를 인식하기 위한 회로 설계도에 나타나 있는 test point를 이용하여 측정한다.

**Table 3.** White and black state and voltage measurement guideline.

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 0 V and DC 4.95 V Voltage
Standard Voltage	More Than 2.45 V	Less Than DC0.45 V	-The Voltage of More Than DC 2.45 V is Judged as "1" in Digital Signal and Recognizing That the Account is Detected -The Voltage of Less Than DC 0.45 V is Judged as "0" and Recognizing That the Account is Not Detected.
Error Voltage	Less Than 2.45 V	More Than DC0.45 V	-

**2.2.1.1 White 상태 측정 전압**

금융통장이 텔러가 사용하는 전용단말장치 투입구에 정상적으로 감지되면 자체 구동 메카니즘에 의하여 빠른 속도로 이송되는데 광학 필터는 Black 상태에서 White 상태로 전환을 감지하면서 전압을 측정한다. 전압 측정은 측정 오차 등을 고려하여 모든 조합에 대하여 최소 10회에서 최대 16회까지 실시하였는데 이들의 평균을 White 상태 측정 전압 값으로 삼았다.

**2.2.1.2 Black 상태 측정 전압**

금융통장 투입구에 감지 신호가 없으면 Black 상태로 감지한 전압을 나타낸다. 전압 측정은 측정 오차 등을 고려하여 모든 조합에 대하여 최소 10회에서 최대 16회까지 실시하였는데 이들의 평균을 Black 상태 측정 전압 값으로 삼았다.

**2.2.1.3 Black 상태 에러율**

금융 자동화기기 내부에 금융통장이 없고 감지 신호가 없을 때를 Black 상태라 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 DC 0.00 V~DC 0.45 V가 기준이며 Black 상태에서 검출 전압이 DC 0.10 V에 가까우면 양호하다. 즉 DC 0 V에 가까울수록 매우 안정된 상태로 동작하지만 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 초래 한다. 본 연구에서는 Black 상태 측정 전압이 DC 0.45 V 이상인 경우를 에러로 처리하였다. 에러 발생 10회 측정 중 DC 0.45 V 이상이 2회라면 평균 에러율은 0.2가 된다.

**2.2.2 경제성**

본 연구에서 광학 필터의 선정 기준 중 경제성은 다음 표 4를 바탕으로 평가하였다.

**Table 4.** Evaluation index for economic criteria.

Optical Filter Selection Criteria	Evaluation Index
Economic Aspect	1. Optical Filter Manufacturing and Rapid Delivery 2. Optical Filter Price and its Stability 3. Technology Power of Supply Company and its Scale to Properly Respond to Exchange Rate Change

### 2.2.3 품질 및 유지보수

본 연구에서 광학 필터의 선정 기준 중 품질 및 유지보수성은 다음 표 5를 바탕으로 평가하였다.

Table 5. Evaluation index for quality and support and maintenance criteria.

Optical Filter Selection Criteria	Evaluation Index
Quality and Support and Maintenance	1. Stability of Purchasing Optical Filter Product
	2. Stability of Acquiring Optical Glass Raw Material
	3. Producing Technology Level and Completeness of Optical Filter Supply Company
	4. Exclusiveness Right of Optical Filter Supply Company for Manufacturing Technology
	5. Reliability and Quality Level for Optical Filter

### 2.3 성능치 통계분석 과정

가능한 대안의 수는 360개인데 이를 위에서 기술한 5가지 기준을 사용하여 모두를 평가한다는 것은 효율적으로 분석 과정을 수행할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 다음의 기준을 가지고 평가 대상 대안의 수를 줄여 나갔다.

- 위에서 언급한 5가지 기준 중 우선 성과 관련된 기준만 사용하여 평가를 진행하였다.

- 처음 단계에서는 (광학유리 종류, 철 포함 유무, 포토 픽 코팅 종류, 코팅 형태) 4가지 인자만을 고려하였으며 평가 기준으로는 White 상태 측정 전압 값을 사용하였다. 5가지 인자를 모두 고려하면 교호작용 경우의 수가 10개나 되어서 분석하기가 간단하지 않다. White 상태 측정 전압 값을 사용한 이유도 모두 72개 (=4×2×3×3)의 대안을 3개의 기준으로 분석 하는 것이 쉽지 않기 때문이다.

- 둘째 단계에서는 첫 단계에서 결정된 (광학유리 종류, 철 포함 유무, 포토 픽 코팅 종류, 코팅 형태) 조합들을 가지고 두께별로 성능 값을 구했다. 이 단계에서는 White 상태 측정 전압 값뿐만 아니라 Black 상태 측정 전압 값, 그리고 Black 상태 평균 에러율을 평가 기준으로 삼았다.

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.

## 3. 결과 및 고찰

본 분석 및 결과는 선행 연구 [13]을 요약하였다. 이는 1, 2단계 분석을 통해 최종 평가 대안을 과정을 설명하는데 필요한 사항이라 간략하게 요약하였다.

### 3.1 1단계 분석 결과

분석에 적용한 방법은 one-way ANOVA 일원배치 분산분석은 두 집단 이상의 평균의 차이를 분석하는 방법을 적용하였고, two-way ANOVA 이원분산 분석은 두 개의 인자들 사이에 교호작용이 존재하는지 검증하고, t-test를 통해 두 집단 또는 두 상관적인 표본의 평균치가 동일한 모집단에서 추출되었는지를 검증하는 모수치 통계 기법을 적용하여 분석, 검증을 실시하였다. 처음 단계 분석은 one-way ANOVA와 t-test 그리고 two-way ANOVA를 사용하여 실시하였다 [13]. 분석 결과는 다음과 같다.

- 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 White 상태 측정 전압 값은 통계적으로 서로 다르게 나타났다. 예로 광학 유리는 모두 4가지 종류가 있는데 이 종류 별로 White 상태 측정 전압 값의 차이가 통계적으로 유의함을 나타낸다.

- 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.

- Two-way ANOVA를 통해 인자 간 교호작용을 검증하였다. 철을 제외한 다른 모든 인자들은 교호작용 분석 결과가 인자 단독으로 분석했을 때의 결과와 일치하였다. 철은 교호 작용으로 인해 바륨과는 비포함이 코팅 VLRW와는 포함이 우수한 것으로 나타났다. 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.

1단계 분석결과 광학유리는 바륨, 포토 픽 코팅 방법은 VLRW, 코팅 형태는 앞뒤 양면으로 결정할 수 있다. 철은 바륨과는 비포함이 좋고, VLRW와는 포함이 좋게 나타났기 때문에 1단계에서는 다음의 두 조합을 대안으로 선정하였다.

- 1) (광학유리 바륨, 철 포함, VLRW, 앞뒤 양면)
- 2) (광학유리 바륨, 철 비포함, VLRW, 앞뒤 양면)

### 3.2 2단계 분석

2단계 분석에서는 1단계에서 선정한 각 대안들의 두께별 성능 값 (White 상태 측정 전압 값, Black 상태 측정전압 값, Black 상태 에러율)을 측정하여 t-test를 실시하였다. 분석 결과는 다음과 같다 [13].

- White 상태 평균 전압 값과 Black 상태 평균 전압 측정치, Black상태 평균 에러율은 두께 1.9 mm와 2.0 mm에서 우수하게 나타났다.

- White 상태 평균 전압 측정값은 두께 2.0 mm가 높게 나타났으며 Black 상태 평균 전압 측정값과 Black 상태 평균 에러율은 1.90 mm에서 더 좋게 나타났다. 1, 2단계 분석 결과 모두 4개의 평가 대상 대안을 선정할 수 있었는데 대안별 성능 측정치를 표 6에 정리하였다.

- 대안 1: 바륨유리, 철 포함, VLRW, 양면코팅, 1.9 mm
- 대안 2: 바륨유리, 철 포함, VLRW, 양면코팅, 2.0 mm
- 대안 3: 바륨유리, 철 비포함, VLRW, 양면코팅, 1.9 mm
- 대안 4: 바륨유리, 철 비포함, VLRW, 양면코팅, 2.0 mm

**Table 6.** Performance comparison for final four alternatives.

Alternative	Average Voltage in White State	Average Voltage in Black State	Error Rate in Black State
1	2.7950	0.2988	0.00
2	3.0790	0.3450	0.20
3	2.6890	0.3500	0.30
4	3.0900	0.3860	0.30

### 3.3 AHP모형을 이용한 최적 광학 필터 설계

#### 3.3.1 AHP모형

**Table 7.** Definition of each number in pairwise comparison matrix.

Definition of Each Number in Pairwise Comparison Matrix	
Number for Importance	Definition
1	Criteria i and j are Equally Important.
2	Importance is Located Between 1 and 3.
3	Criterion i is Little More Important than Criterion j.
4	Importance is Located Between 3 and 5.
5	Criterion i is More Important than Criterion j.
6	Importance is Located Between 5 and 7.
7	Criterion i is Far More Important than Criterion j.
8	Importance is Located Between 7 and 9.
9	Criterion i is Absolutely More Important than Criterion j.

AHP기법은 합리적인 의사결정을 지원하기 위해 Thomas L. Saaty [11]에 의해 개발되었다. 의사결정에 필요한 정보는 평가 기준과 대안을 기준으로 계층적으로 분해하여 얻는다. 대안의 상대적 중요도를 결정하기 위하여 평가 지표에 대한 가중치를 구한 후 개별평가 지표별로 대안의 쌍대비교로 가중치를 계산하고 우선순위를 도출한다. 객관성을 확보하기 위하여 정량적 기준을 함께 사용하는 특징이 있다 [12]. AHP 모형은 다음의 단계로 이루어진다.

#### 1) 쌍비교 행렬 작성

쌍비교 행렬을 작성하여 동일한 계층 안에 있는 기준들 간의 가중치를 계산한다. 이를 위해 먼저 기준들을 두 개씩 쌍비교를 한다. 즉, 기준 i가 j보다 얼마나 더 중요한가를 결정해서 쌍비교 행렬의 i행 j열에 수치로 표시한다. 표 7에 쌍비교 행렬에 필요한 우선순위를 나타냈다.

#### 2) 표준행렬 및 가중치 계산

쌍비교 행렬로부터 표준행렬을 도출하고 가중치를 계산한다. 표준행렬은 쌍비교 행렬의 각 열에 속해 있는 값들을 각 열별 합으로 나눈다.

#### 3) 기준별 가중치 계산

표준행렬에서 각 행별로 평균값을 구한다. 이 평균값이 기준들의 중요도를 나타내는 가중치가 된다. 기준들을 쌍비교할 때 쌍으로 비교할 개수가 많아지면 상대적 중요도 평가에 일관성이 결여될 수도 있다. 일관성이 없으면 AHP 모형의 분석결과는 의미가 없다. 따라서 쌍비교 행렬에 대한 일관성 검사를 할 필요가 있다.

#### 4) 각 기준에 의한 평가 대안의 점수 평가

각 기준별로 각 대안의 중요도 점수를 계산한다.

즉, 기준별로 평가 대안 간의 쌍비교를 통해서 상대적 중요도를 평가 대안 간 쌍비교 행렬로 작성한다. 쌍비교 행렬로부터 각 대안의 중요도 점수 계산은 앞에서 행한 각 기준들의 가중치 계산 과정과 동일하다. 이 단계에서도 쌍비교 행렬에 대한 일관성 검사를 수행할 필요가 있다.

5) 점수모형의 적용

기준들의 상대적 가중치와 각 기준별 평가 대안의 중요도 점수를 토대로 평가 대안의 최종 점수를 계산한다. 쌍대비교 행렬  $A = (a_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n$ 에서  $a_{ij}$ 는  $i$ 의  $j$ 에 대한 상대적 중요도로서 9등급 척도로 나타낸다. 그리고 표준 행렬의 상대적 중요도는 행렬의 가장 큰 고유값의 고유 벡터 (perron vector)를 정규화 (normalize)한 것이다.

3.4 최적 광학필터 선정을 위한 AHP모형 적용

3.4.1 평가 기준과 평가 대안

3.4.1.1 평가기준

평가 기준은 앞 2장에서 언급한 것처럼 다음의 5가지다.

- a. White 상태 평균 측정 전압값
- b. Black 상태 평균 측정 전압값
- c. Black 상태 평균 에러율
- d. 경제성
- e. 품질 및 유지보수성

3.4.1.2 평가 대안

평가 대상 대안은 앞의 표 6에 나와 있는 4가지로 하였다. 각 대안에 대한 성능관련 지표 (White 상태 평균 측정 전압 값, Black 상태 평균 측정 전압 값, Black 상태 평균 에러율)들은 표 6에 이미 정리되었다. 이제 각 대안별로 경제성과 품질 및 유지보수성에 관하여 살펴보면 다음과 같다. 먼저 대안 4개의 차이는 철 포함 유무와 유리 두께 1.9 mm와 2.0 mm에 기인한다. 먼저 철 포함 유무에 따른 경제성이나 품질 및 유지보수성 차이는 철 포함 유리의 단가가 불 포함 유리에 비해 2 \$ 정도 높은 것을 제외하고는 거의 미미한 수준이다. 반면에 유리 두께에 따른 경제성이나 품질 및 유지 보수성 차이는 커 보인다. 바륨계열의 1.9 mm 광학유리는 미국의 원천기술로 생

Table 8. Comparison between 1.9 mm and 2.0 mm optical glasses.

Category	Optical Glass 1.9 mm Thick	Optical Glass 2.0 mm Thick
Production Method	Immediately Produced After Order	Customer Order Production
Delivery	At Last 7 Days	At Least 45 Days
Production Price	- 52.08 \$ -Low Production Price	-88.54 \$ -High Production Price
Optical Glass Quality	-Applying Standard Production Technology -Low Defection Rate and Good Quality	-Difficult to Achieve Good Quality due to Customer Order Production Method -High Defection Rate

Table 9. Evaluation of 4 alternatives.

Alternative	Average Voltage in White State	Average Voltage in Black State	Error Rate in Black State	Economic	Quality and Support and Maintenance
1	2.7950	0.2988	0.00	8	9
2	3.0790	0.3450	0.20	5	4
3	2.6890	0.3500	0.30	8	9
4	3.0950	0.3823	0.30	5	4

산된 유리로 국내외에서 가격과 기술 경쟁력을 갖도록 개발되었다. 그러나 2.0 mm의 광학유리는 국내에서 제조할 수 없기 때문에 부득이 미국, 독일, 일본의 특수 광학유리 전문회사로 특별 주문하여 생산을 해야만 한다. 2.0 mm 광학유리를 주문 생산할 경우 국내에서 제조하는 비용보다 많은 추가 비용이 발생하고, 광학유리 품질도 확보하기 어렵다. 또한 납기에 필요한 일자가 최소 45일 이상 소요되기 때문에 긴급으로 제품이 필요할 경우 심각한 생산 및 공급 문제가 발생되어 고객의 불만족으로 인한 금융사 거래처와 단절될 수 있는 현실적 문제가 초래된다.

표 8은 광학유리 1.9 mm와 2.0 mm를 경제성과 품질 및 유지보수 측면에서 비교하였다. 이제 3.4.1.1에서 언급한 기준별로 4개의 대상 대안을 평가하면 다음 표 9와 같다. 경제성과 품질 및 유지보수성 평가는 1(매우 낮음)에서 9(매우 높음) 사이의 값을 갖도록 하였으며 아래 표 10의 전문가들에 의해 수행되었다.

표 9를 보면 대안 3은 대안 1에 비해 모든 평가 지표에서 열세이거나 같으므로 향후 분석대상에서 제외하였다. 따라서 최종 평가 대안으로 다음의 3가지 조합을 선정하였다.

- 대안 1: 바륨유리, 철 포함, VLRW, 양면코팅, 1.9 mm
- 대안 2: 바륨유리, 철 포함, VLRW, 양면코팅, 2.0 mm
- 대안 3: 바륨유리, 철 비포함, VLRW, 양면코팅, 2.0 mm

표 7은 금융통장 정보 인식을 위한 새로운 대안기술인 반도체 광학필터의 핵심 기술 사항으로 해상도와, 가시광 투과율, 그리고 난반사 조건 등을 고려한 요건이다.

### 3.4.2 평가 기준의 가중치 계산

표 5를 이용한 쌍비교 행렬을 작성은 전문가들을 활용한 델파이 기법을 통해 이루어졌는데 이들에 관한 정보를 표 10에 정리하였다.

Table 10. Expert information.

No	Academic Background	Company	Task	Professional Field	Carrer (Year)
A	University Graduate	SG	R&D	Automation Equipment Design, F/W Development	23
B	University Graduate	SG	R&D	Automation Equipment Design	15
C	University Graduate	SG	R&D	Automation Equipment Design, H/W Development	18
D	University Graduate	SG	Business Support	Component Procurement	20
E	University Graduate	SG	Product Production	Optical Filter Production	20
F	University Graduate	SJ	Filter Development	Optical Filter Development	18
G	University Graduate	SJ	Product Production	Optical Filter Production	15
H	University Graduate	AS	R&D	Automation Equipment Development	15

쌍비교 행렬의 각 수치는 전문가 8인의 응답을 평균한 값인데 다음 표 11에 정리하였다.

Table 11. Pairwise comparison matrix for each criterion.

Category	Voltage in White State	Voltage in Black State	Error Rate in Black State	Economic	Quality and Support and Maintenance
Voltage in White State	1	3	1	4	6
Voltage in Black State	1/3	1	1/3	2	3
Error Rate in Black State	1	3	1	3	5
Economic	1/4	1/2	1/3	1	2
Quality and Support and Maintenance	1/6	1/3	1/5	1/2	1

위 표 11의 쌍비교 행렬로부터 표준행렬을 작성하고 각 기준별 가중치를 구해 표 12에 정리하였다.

Table 12. Standard matrix and weight for each criterion.

Category	Average Voltage in White State	Average Voltage in Black State	Average Error Rate in Black State	Economic	Quality and Support and Maintenance	Weight
Average Voltage in White State	0.364	0.383	0.349	0.381	0.353	0.366
Average Voltage in Black State	0.121	0.128	0.116	0.190	0.176	0.146
Average Error Rate in Black State	0.364	0.383	0.349	0.286	0.294	0.335
Economic	0.091	0.064	0.116	0.095	0.118	0.097
Quality and Support and Maintenance	0.061	0.043	0.070	0.048	0.059	0.056

표 8을 보면 각 기준별 중요도는 White 상태 평균 전압이 36.6%로 가장 높고 그 다음으로 Black 상태 평균 에러율이 33.5%, Black 상태 평균 전압이 14.6%, 경제성 9.7% 그리고 품질 및 유지보수성이 5.6%로 나타났다. Satty는 기준들에 상대적 중요도 평가에 일관성이 있는지의 여부를 판단하기 위하여 일관성 비율 (consistency ratio) [11]을 제시하였는데 이 값이 0.1 이하일 경우 의사결정자의 일관성 정도는 만족할만한 수준인 것으로 제안하고 0.1 이상일 경우 일관성이 결여된 것으로 보았다. 표 7의 쌍비교 행렬에 대한 일관성 검사 결과 일관성 비율 (consistency ratio)은 0.013로 기준들에 대한 상대적 중요도 평가에 일관성이 있는 것으로 판단된다.

### 3.4.3 각 기준별로 평가대안의 중요도 계산

먼저 첫 번째 기준인 White 상태 평균 측정 전압 값 측면에서 평가 대상 대안들의 점수를 계산하였다. 대안 간의 쌍비교 행렬은 표 6의 전문가들을 활용한 델파이 방법을 통해 구하였으며 일관성 검사를 거친 후 사용하였다.

Table 13. Pairwise comparison matrix of each alternative with respect to white-state average voltage.

Category	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Alt. 1	1	1/2	1/3
Alt. 2	2	1	1/2
Alt. 3	3	2	1

Table 14. Evaluation result with respect to white-state average voltage.

Alt.	Pairwise Comparison Matrix			Standard Matrix			Result
	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	
Alt.1	1	1/2	1/3	0.167	0.143	0.182	0.164
Alt.2	2	1	1/2	0.333	0.286	0.273	0.297
Alt.3	3	2	1	0.500	0.571	0.545	0.539

Table 15. Evaluation result with respect to Black state average voltage.

Alt.	Pairwise Comparison Matrix			Standard Matrix			Result
	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	
Alt. 1	1	2	3	0.545	0.571	0.500	0.539
Alt. 2	1/2	1	2	0.273	0.286	0.333	0.297
Alt. 3	1/3	1/2	1	0.182	0.143	0.167	0.164

Table 16. Evaluation result with respect to Black state average error rate.

Alt.	Pairwise Comparison Matrix			Standard Matrix			Result
	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	
Alt. 1	1	3	5	0.652	0.667	0.625	0.648
Alt. 2	1/3	1	2	0.217	0.222	0.250	0.230
Alt. 3	1/5	1/2	1	0.130	0.111	0.125	0.122

Table 17. Evaluation result with respect to economic criterion.

Alt.	Pairwise Comparison Matrix			Standard Matrix			Result
	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	
Alt. 1	1	5	5	0.714	0.714	0.714	0.714
Alt. 2	1/5	1	1	0.143	0.143	0.143	0.143
Alt. 3	1/5	1	1	0.143	0.143	0.143	0.143

Table 18. Evaluation result with respect to quality and support and maintenance.

Alt.	Pairwise Comparison Matrix			Standard Matrix			Result
	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	
Alt. 1	1	6	6	0.750	0.750	0.750	0.750
Alt. 2	1/6	1	1	0.125	0.125	0.125	0.125
Alt. 3	1/6	1	1	0.125	0.125	0.125	0.125

이제 쌍비교 행렬로부터 표준행렬을 구하고 표준행렬의 행별로 평균값을 구함으로써 각 대안의 중요도 점수를 얻는다.

표 15에서 표 19는 위와 같은 방법을 사용하여 구한 각 기준별로 각 대안들의 중요도 점수를 구한 결과다.

### 3.4.4 각 대안별 최종 점수

기준들의 상대적 가중치와 각 기준별 평가 대안의 중요도 점수를 토대로 평가 대안의 최종 점수를 계산하는데 대안 1의 최종 점수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{대안 1의 최종 점수} &= 0.366 \cdot 0.164 + \\ & 0.146 \cdot 0.539 + 0.335 \cdot 0.648 + 0.097 \cdot 0.714 \\ & + 0.056 \cdot 0.750 = 0.467 \end{aligned}$$

대안 2와 3의 최종 점수도 같은 방식으로 계산하여 표 19에 정리하였다.

Table 19. Final result for each alternative.

Alternative	Final Result
1	0.467
2	0.250
3	0.283

### 3.5 AHP 분석 결과

AHP 분석 결과 대안 1 (바륨유리, 철 포함, VLRW, 양면코팅, 1.9 mm)이 최종 점수 0.467로 가장 높은 점수를 획득하였다. 대안 1의 White 상태 평균 전압은 2.795로 가장 낮지만 Black 상태 평균 전압과 Black 상태 에러율에서 가장 좋은 성능을 보여주고 있으며 경제성, 그리고 품질 및 유지보수성에서도 가장 높은 평가를 받았다. 한편 대안 3은 White 상태 평균 전압이 3.0950으로 가장 높지만 Black 상태 에러율과 경제성, 그리고 품질 및 유지보수성에서 낮은 점수를 받아 최종 점수 0.283으로 두 번째에 올랐다. 대안 2는 White 상태 평균 전압, Black 상태 평균 전압, Black 상태 에러율에서 모두 중간 정도의 성능을 보여주고 있으나 경제성과 품질 및 유지보수성에서 가장 낮은 점수를 받아 최종 점수 0.250으로 세 번째에 그쳤다.

## 4. 결론

금융통장 정보 인식에 사용되는 광학 필터의 성능에 영향을 미치는 인자들은 첫째, 광학유리 종류, 둘째, 철 포함 유무, 셋째, 포토 픽 광학 코팅 기법, 넷

깨, 코팅 형태, 그리고 다섯째, 광학유리 두께다. 광학유리 종류는 바륨, B207, 칼륨석회, 그리고 석회나트륨으로 모두 4종류로 선정되었다. 철 포함은 유무 두 종류이고, 포토 픽 광학 코팅 기법은 HEA, VLR, VLRW 세 종류로 결정되었다. 코팅 형태는 앞면, 뒷면, 그리고 앞뒷면 세 종류로 결정되었고, 두께는 0.7 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, 1.9 mm, 그리고 2.0 mm로 다섯 개로 결정하였다. 이들 다섯 인자들의 수준 수를 고려하면 가능한 대안의 수는 모두 360개다.

본 연구에서는 먼저 대안들을 평가할 평가 기준을 선정하였다. 먼저 성능 관련해서 White 상태 평균 전압, Black 상태 평균 전압, Black 상태 에러율 세 가지 기준을 선정하였으며 여기에 경제성과 품질 및 유지보수성을 추가해 모두 5가지 기준을 선정하였다. 먼저 White 상태 평균 전압, Black 상태 평균 전압, Black 상태 에러율을 토대로 1단계와 2단계 통계적 분석을 통하여 평가 대상 대안 수를 4개로 줄였다. 이제 5가지 평가 기준을 토대로 4가지 대안을 AHP 모형으로 분석하여 최종 대안을 선정하였다. 광학유리는 바륨, 철은 포함, 코팅 방법은 VLRW, 코팅 형태는 앞뒤 양면, 그리고 두께는 1.9 mm일 때 최적의 광학필터를 구축할 수 있다.

### 감사의 글

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

### REFERENCES

- [1] B. H. Jeon, H. Y. Lee, Y. W. Lee, and H. G. Rhee, *Korean Journal of Optical and Photonics*, **19** (2008).
- [2] M. Hayama, *IEEE Trans. Elec. Dev.*, **37**, 1271 (1990).
- [3] M. Mochizuki, H. Hayashi, T. Chiba, and K. Fukuda, *Simulation of Semiconductor Processes and Devices, 2008. SISPAD 2008. International Conference* (Hakone, 2008). p. 369.
- [4] X. Zhao, A. Bermak, and F. Boussaid, *Biomedical Circuits and Systems Conference, 2008. BioCAS 2008. IEEE* (Baltimore, 2008). p. 145.
- [5] H. J. Kim, *Journal of Korean Oil Chemist' Society*, **22**, 77 (2005).
- [6] S. W. Kim, C. S. Cho, J. W. Nam, B. H. Kim, and J. H. Lee, *J. IEEK*, 47SD (2010).
- [7] H. Kim, *Physics & High Technology* (2005).
- [8] H. K. Yu and K. W. Lee, *J. KIMME*, **27**, 61 (2014).
- [9] N. R. Kim and S. J. Joo, *KIIS*, 18 (2013).
- [10] S. H. Park and J. W. Kim, *Modern Experiments Design* (Minyoungsa, Korea, 2011).
- [11] T. L. Satty, *Int. J. Services Science*, **1**, 1 (2008).
- [12] K. H. Park, H. S. Song, and J. Y. Won, *Management Science* (Kyobo Book, Korea, 2013) p. 407-418.
- [13] H. K. Yu and K. W. Lee, *J. KIMME*, **27**, 328 (2014).