

## EMP시뮬레이션을 활용한 $Sb_2O_3/Na_3AlF_6/Sb_2O_3/Cr$ 다층박막의 광 특성

### The Optical Properties of $Sb_2O_3/Na_3AlF_6/Sb_2O_3/Cr$ Multi Layered Thin Films by EMP Simulation

김준식<sup>1</sup>, 장건익<sup>1,a</sup>

(Jun-Sik Kim<sup>1</sup> and Gun-Eik Jang<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

The optical properties of multi layered thin films with  $Sb_2O_3/Na_3AlF_6/Sb_2O_3/Cr$  were simulated by using EMP(Essential Macleod Program). EMP is a comprehensive software package to design and analyse the optical characteristics of multi-layered thin film.  $Sb_2O_3$  and  $Na_3AlF_6$  were selected as a high refractive index and low refractive index material respectively. Additionally Cr was chosen as mid reflective material. Optical properties including color effect were systematically studied in terms of different optical thickness of low refractive index material. The optical thickness of  $Na_3AlF_6$  was changed as 0.25, 0.5, 0.75 and 1.0  $\lambda$ . The film with 0.25, 0.5, 0.75 and 1.0  $\lambda$  of optical thickness showed mixed color range between purple and red range, yellowish green and bluish green, purple and mixed color range of green and purple respectively.

**Key Words** : EMP, Multilayered film, Optical thickness, Color

#### 1. 서론

고 굴절 진주발색 광 기능 물질은 현재 전 세계적으로 자동차, 화장품 및 모든 산업제품에 대한 디자인의 고급화 추세에 따라 수요가 나날이 증가하고 있는 고급 첨단 재료이다.

진주 안료 시장은 연평균 약 20 %의 지속적인 빠른 성장 추세에 있다. 고 굴절의 진주발색 광 기능성 물질의 제조 조건은 진주광택 효과를 낼 수 있는 얇고 균일한 표면을 가져야 하며 20 이상의 각형비(aspect ratio)를 가지고 무색으로 빛을 투과할 수 있어야 하며, 15~20  $\mu m$  범위의 굴절률을 갖고 내열성 및 기계적 강도가 우수해야 한다. 이를 위해서는 원료의 선정 및 원료의 합성, sol-gel코

팅, 결정성장 및 제어, 쌍정 억제 그리고 응집 방지를 위한 첨가제 선정과 투명도 향상에 대한 기술개발 및 균일한 표면제어 등이 선행되어야 한다. 진주발색 광 기능 화학 물질은 현재까지 비교적 수급과 제조가 용이한 천연운모, 합성운모, lead carbonate 및  $BiOCl$ 을 주로 사용하였다[1]. 그러나 이들 물질은 굴절률이 낮고 면이 평탄하지 못하며 입도분포가 균일하지 못해 금속 및 금속산화물 코팅 시 진주광택이 뛰어나지 못하다는 문제를 가지고 있다. 따라서 최근에는 수열법, Flux법, sol-gel법, 고분자액정 제조법, 진공증착법 등을 이용하여 입도 및 표면균일성등 기질의 성능을 고급화하기 위한 연구가 미국, 독일, 일본 등에서 활발히 진행되고 있다[2-4].

본 연구에서는 기존 수열 합성법과는 다른 진공 증착 공정을 통하여 새로운 물질의 층상 구조가 다른 다층 박막형 진주안료를 제조하고 광학적 특성을 예측 평가하고자 하였다. 진공증착에 의한 막의 입자는 기존 안료 입자보다 작은 나노 크기를

1. 충북대학교 재료공학과

(충북 청주시 흥덕구 개신동 12)

a. Corresponding Author : gejang@chungbuk.ac.kr

접수일자 : 2008. 2. 4

1차 심사 : 2008. 3. 10

심사완료 : 2008. 3. 13

가져 색상 구현이 탁월하다고 알려져 있다. 실험에 앞서 EMP(Essential Macleod Program) 시뮬레이션 프로그램을 이용,  $Sb_2O_3/Na_3AlF_6/Sb_2O_3/Cr$  다층 박막을 설계 및 반사에 따른 광 특성을 예측하였다. 특히 색상 변화의 주된 역할을 하는 것으로 알려진  $Na_3AlF_6$  저 굴절물질의 광 두께 변화를 통하여 색 구현 효과 및 광 특성을 평가, 실제 진주안료로의 적용 가능성을 분석하고자 하였다.

## 2. 실험

EMP시뮬레이션은 물질의 고유 물리계수인 굴절률, 광학적 두께, 물리적 두께 등을 활용하여 단층 및 다층 박막의 광학적, 물리적 특성을 예측, 평가 가능한 프로그램이다. 시뮬레이션에 활용된 물질은 굴절률 값이 2.1이며 고 굴절률 물질인  $Sb_2O_3$ 와 굴절률 값이 1.35로 저 굴절률 물질인  $Na_3AlF_6$ 을 사용하였다. 또한 중간 반사를 위한 금속 층은 Cr을 사용하여 색 구현 및 반사 효율을 높이고자 하였다. 시뮬레이션의 실행은  $Na_3AlF_6$ 의 광학적 두께를 가시광선 파장대의 중간이 되는 입사기준 파장 510 nm로 하여 0.25, 0.5, 0.75 그리고 1.0  $\lambda$ 로 분류하여 가시광선 영역대인 350~750 nm 범위 내에서 실시하였다. 그리고 각 설계 박막의 시뮬레이션 결과는 예측 색 구현 값의 수치화가 가능한 CIE  $L^*a^*b^*$  색공간과 실제 시각적으로 인식하게 되는 색을 나타내는 color patch의 활용으로 각 결과의 분석과 색 구현 비교, 그리고 추후 시뮬레이션의 생산 적용에 있어서 효과적인 진행을 하고자 하였다.

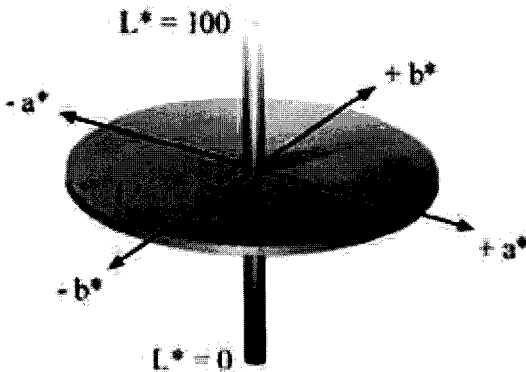


그림 1. CIE  $L^*a^*b^*$  색공간.  
Fig. 1. The CIE  $L^*a^*b^*$  color space.

표색계 좌표상의 +a\*값은 빨간색방향, -a\*값은 초록색방향, +b\*값은 노란색방향, -b\*값은 파란색방향으로 각각  $\pm$ 값은 서로 보색계열 색상을 표시하게 되며 각 값의 증가에 따라 채도 값이 증가하여 더 선명하게 인식된다. 이에 따라 중앙부는 아주 낮은 채도 값으로 무색이다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 설계 다층 박막의 개괄적 구조를 나타낸 그림이다. 그림 2는 고굴절률 물질인  $Sb_2O_3$ 와 중간금속 반사층인 Cr을 고정하고 각각 저굴절률 물질인  $Na_3AlF_6$ 의 두께를 0.25, 0.5, 0.75 그리고 1.0  $\lambda$ 로 변화시켰다.

|   |
|---|
| $Sb_2O_3(61.58 \text{ nm})$                       |
| $Na_3AlF_6$<br>(94.44, 188.89, 283.33, 377.78 nm) |
| $Sb_2O_3(61.58 \text{ nm})$                       |
| Cr(70 nm)   |
| $Sb_2O_3(61.58 \text{ nm})$                       |
| $Na_3AlF_6(94.44 \text{ nm})$                     |
| $Sb_2O_3(61.58 \text{ nm})$                       |
| glass(substrate)                                  |

그림 2. 설계 다층 박막의 개괄적 구조.

Fig. 2. A schematic sequence of multi-layered thin films with different thickness(0.25, 0.5, 0.75 and 1.0  $\lambda$ ) of low-refractive index material,  $Na_3AlF_6$ .

그림 3과 4는 설계에 따라 EMP시뮬레이션을 활용하여 예측한 색 구현 결과이다. 그림 3에서 광학 두께별 색 구현 변화를 CIE  $L^*a^*b^*$  색 공간에 나타내었다.  $Na_3AlF_6$  저 굴절물질의 0.25, 0.5, 0.75 그리고 1.0  $\lambda$  각각의 두께에서 purple, red, yellowish green, bluish green, green등의 다양한 색 구현을 나타내며 0~90° 범위의 관찰각도에 따

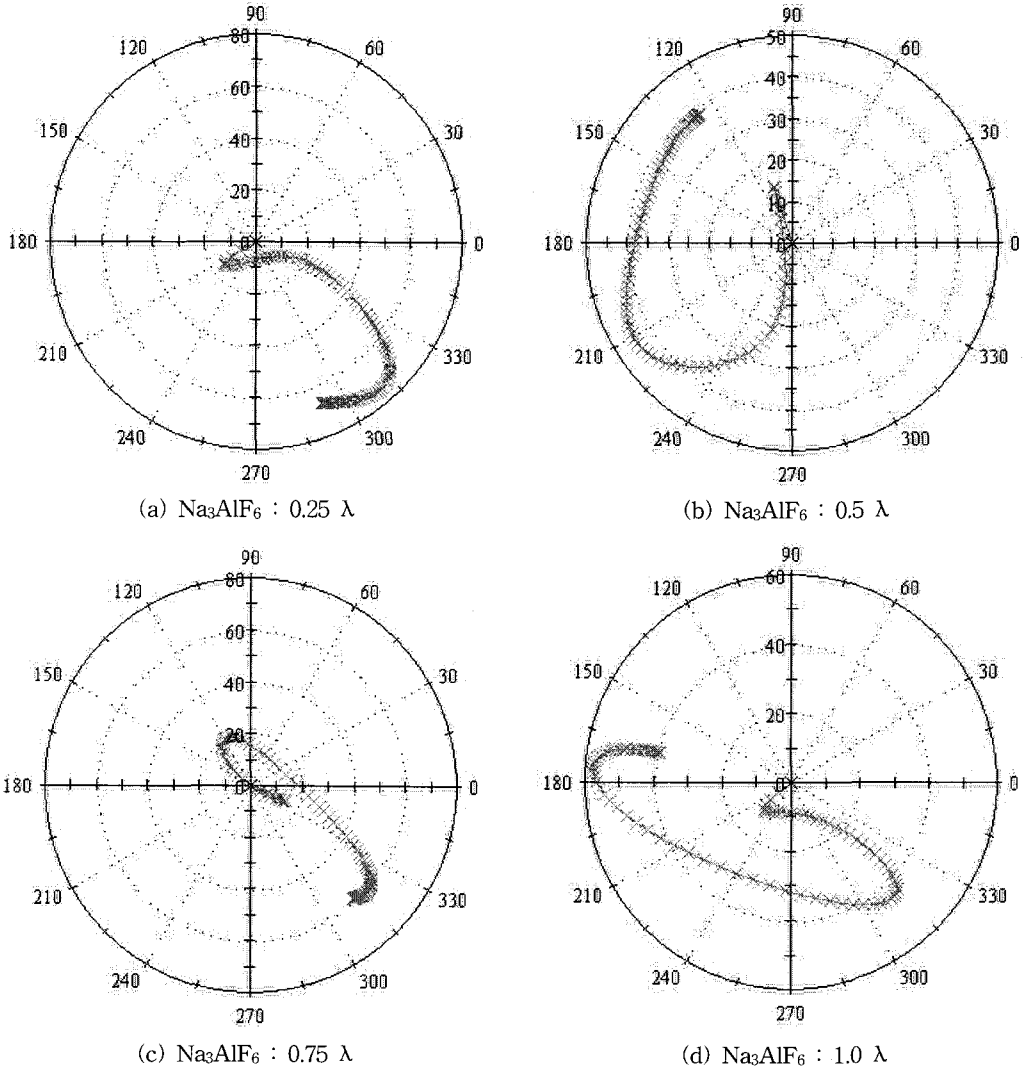


그림 3. 광학 두께별 색구현 변화를 CIE L\*a\*b\* 색공간에 나타냄.

Fig. 3. The EMP simulation results shown on CIE L\*a\*b\* color space depending on different optical thickness of  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  : (a)  $0.25 \lambda$ , (b)  $0.5 \lambda$ , (c)  $0.75 \lambda$  and (d)  $1.0 \lambda$ .

라서 확연한 색 구현 변화를 나타내었다. 그림 4는 실제 시각적으로 인식하게 되는 color patch 결과이다.

그림 5는 EMP시뮬레이션을 통한 관찰각도  $0^\circ$ 에서의 반사율 예측 값이다.  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$   $0.25 \lambda$ 의 경우 blue color의 425 nm에서 약 80%, red color의 700 nm에서 약 50%의 반사율로 purple의 색 구현을 나타내었다.  $0.5 \lambda$ 일 때는 400 nm이하의 자외선영역과 약 525 nm의 높은 반사율로 bluish green의 색

을 나타내었다.  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ 의 광학적 두께가  $0.75 \lambda$ 였을 때는  $0.25 \lambda$ 의 경우와 유사한 반사율 형태로 주 색은 purple을 나타내지만 450 nm일 때 80%와 625 nm일 때 65%로 반사율 면에서 차이를 나타내어 color patch 상에서 관찰 할 수 있었던 뚜렷한 색상차이를 보였다.  $1.0 \lambda$ 일 때는 525 nm대역의 높은 반사율로 green을 나타내었다. 이런 색상 변화는 실제 진주안료로의 적용 시에 양질의 박막 제작을 통한 다양한 색 구현이 가능하리라 판단된다.

#### 4. 결 론

새로운 진주안료의 다층색상을 구현하기 위하여 고 굴절률 물질로는  $Sb_2O_3$ 와 저 굴절률 물질은  $Na_3AlF_6$  그리고 중간 금속 반사 층은 Cr을 선정하였다. EMP 시뮬레이션을 통한 단/다층 안료와 차별화 되는 설계 형태와 증착 두께로 입사광 및 관찰 각도에 따른 반사율 및 색구현을 측정하였다. 시뮬레이션 결과 관찰각도를  $0\sim 90^\circ$ 로 변화함에 따라 purple, yellow, green, blue등의 다양한 색 구현을 나타냈고, 파장대별 중첩에 따라 혼합된 다양한 색상을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 결과임.

#### 참고 문헌

- [1] H.-J. Wagner and Ronald H. H. Kröger, "Adaptive plasticity during the development of colour vision", *Progress in Retinal and Eye Research*, Vol. 24, Iss. 4, p. 521, 2005.
- [2] D. M. Braun and R. L. Jungerman, "Broadband multilayer antireflection coating for semiconductor laser facets", *Optics Lett.*, Vol. 20, No. 10, p. 1154, 1995.
- [3] Y. Suzuki, S Nagaoka, and Y Uenishi, "Direct monitoring of thickness and refractive index of optical thin film deposited on fiber end-face", *Optical review*, Vol. 6, No. 1, p. 77, 1999.
- [4] A. Duparre "Light scattering of thin dielectric films", in *handbook of Optical Properties*, Vol. I, R. E. Hummel and K. H. Gunther Eds, Boca raton, CRC, 1999.
- [5] T. Tani, "Matal oxide powder synthesis by the emulsion combustion method", *J. Mat. Res*, Vol. 13, No. 5, p. 1099, 1998.
- [6] S. Bertaux, P. Reynders, J. M. Heintz, and M. Lerch, "New (oxy)nitride pearlescent pigments", *Materials Science and Engineering B*, In Press, Corrected Proof, Available online, 4, 2005.

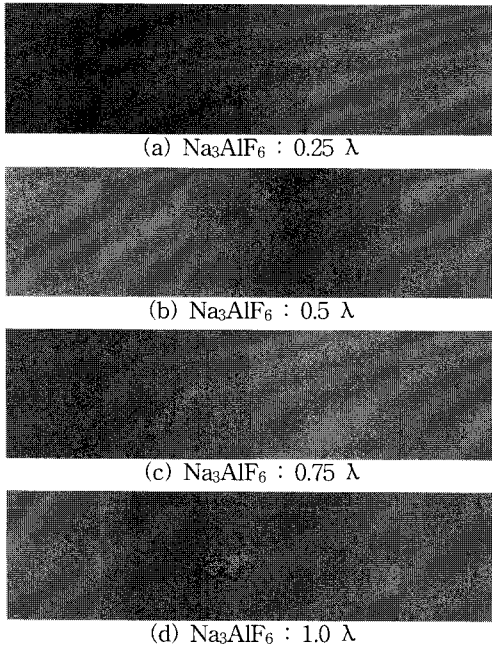


그림 4. 실제 시각적으로 인식하게 되는 color patch 결과 : (a)  $0.25 \lambda$ , (b)  $0.5 \lambda$ , (c)  $0.75 \lambda$ , and (d)  $1.0 \lambda$ .

Fig. 4. The EMP simulation results on color patch depending on different optical thickness of  $Na_3AlF_6$  : (a)  $0.25 \lambda$ , (b)  $0.5 \lambda$ , (c)  $0.75 \lambda$ , and (d)  $1.0 \lambda$ .

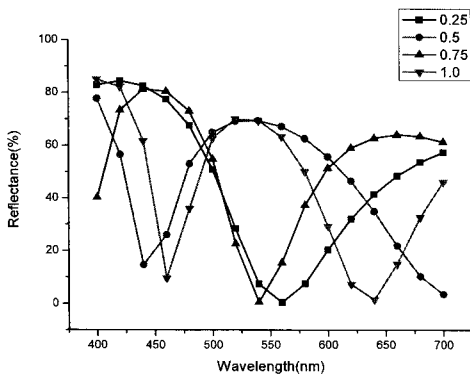


그림 5. EMP 시뮬레이션을 통한 관찰각도  $0^\circ$ 에서의 반사율 예측 값.

Fig. 5. The EMP simulation result on reflectance depending on different optical thickness of  $Na_3AlF_6$  : (a)  $0.25 \lambda$ , (b)  $0.5 \lambda$ , (c)  $0.75 \lambda$  and (d)  $1.0 \lambda$ .

- [7] M. Ohring, "The Material Science of Thin Films", San Diego, Academic, 1992.
- [8] H. A. Macleod, "Thin film optical filter", Adam Higer, London, 1969.
- [9] 조재홍, 장 수, 황보창권, 조두진, "광학", 두양사, 2002.
- [10] 한국광학회 대구 경북지회, "광학의 기초", 두양사, 2003.