진공상온분사 공정을 이용한 세라믹 도료 분말의 장식용 코팅 및 패터닝 제조

박형권·김진영·권한솔·이승태·이창희*

한양대학교 신소재공학부

Fabrication of Decorative Coating/Patterning of Ceramic Pigment Powder Using Vacuum Kinetic Spraying Process

Hyunkwon Park, Jinyoung Kim, Hansol Kwon, Seongtae Lee, and Changhee Lee*

Kinetic Spray Coating Laboratory (NRL), Division of Materials Science and Engineering,
Hanyang University, Seoul 04763, Republic of Korea

Abstract: Vacuum kinetic spraying (VKS) is a relatively advanced process, by which a dense film can be fabricated at room temperature. Various materials including ceramic, metal, polymer and composite can be used as the substrate and coating materials. In this research, red and blue color films were successfully fabricated on glass substrates using $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ and $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ ceramic pigment powders in a VKS system. Although the deposition behavior of each powder differed according to particle size and/or materials, it was confirmed that the brightness and transmittance of the color film could be easily changed by controlling the process parameters. Furthermore, using masking technology, design color patterns were fabricated. As a result, it is cautiously expected that the VKS process can be utilized to produce decorative coating/patterning for product design.

(Received January 6, 2016; Accepted March 17, 2016)

Keywords: vacuum kinetic spray (aerosol deposition), decorative coating, optical property, ceramics, patterning system.

1. 서 론

디자인이란 주어진 목적을 조형적으로 실체화하는 것으로, 조형 작품의 설계나 도안을 말한다. 현대사회에서 여러 상품화된 제품들의 기술이 평준화됨에 따라 같은 기능을 갖는 제품이라 할지라도 제품 외관 상의 회사 로고 또는 외관의 장식된 형태에 따라서 소비자의 기호나 그 상품의 가치가 다르게 평가된다. 따라서 기능성, 심미성, 상징성 등의 다양한 목적을 갖는 디자인의 가치가 지속적으로 증대되고 있다. 나아가 때로는 소비자들에 의하여 제품의 디자인이 기능적 가치보다 중요하게 평가되기도 한다.

디자인에 중요한 영향을 미치는 시각요소는 주로 색채나 재질 등으로, 일반적으로 간편히 사용될 수 있는 기술로는 페인팅법이 있다. 페인팅법은 대상 물체 표면에 페인트나 에나

멜과 같은 도료를 칠하는 것으로, 다양하고 손쉽게 원하는 색상을 원하는 위치에 부여할 수 있는 장점이 있는 반면, 페인팅 층과 물체 사이에 접합력이 약하기 때문에 쉽게 박리가 되거나, 손상되기 때문에 지속적인 유지 및 보수가 필요하다는 문제점이 있다. 또 다른 방법으로는 도금법을 생각해볼 수 있다. 도금은 물체의 표면을 개선할 목적으로 다른 물질의 얇은 층을 입히는 방법으로, 주로 금속 표면에 다른 금속을 입히는 방법이다. 여러 도금법 중 통상적으로 전기도금법이 주로 사용된다. 전기도금법은 도금하고자 하는 금속을 음극으로 하고, 표면에 코팅될 금속을 양극으로 사용하여, 전해액 상에서 전해하여 음극의 금속 표면을 코팅하는 방법을 일컫는다. 하지만 이러한 전기도금법으로는 금속 물질만 도금처리할 수 있으며, 피막층의 색감 및 투과도를 제어하기 힘들기 때문에 물체의 심미성 측면에서 자유로운 표현이 곤란하다. 그 외에 화학기상증착법(chemical vapor deposition, CVD), 물리증착법(physical vapor deposition, PVD)나 스퍼터링(sputtering)

*Corresponding Author: Changhee Lee

[Tel: +82-2-2220-0388, E-mail: chlee@hanyang.ac.kr]

Copyright © The Korean Institute of Metals and Materials

Fig. 1. Schematic image of vacuum kinetic spraying system.

등의 방법으로 물체의 심미성과 기능성 측면을 동시에 만족시킬 수 있는 공정이 있다 [1-3]. 이러한 박막 공정의 경우, 우수한 품질의 코팅층을 제조할 수 있다는 장점이 있으나, 느린 적층속도에 의하여 공정 단가가 높을 뿐 아니라, 공정 온도 또는 사용될 수 있는 소재 물질의 제한 등으로 장식용 코팅으로서 그 활용도가 떨어진다.

진공상온분사(vacuum kinetic spraying 또는 aerosol deposition) 공정은 단시간에 치밀한 박막 또는 후막 제조가 가능한 공정이다 [4]. 일반적으로 서브마이크론 크기의 취성이 강한 세라믹 분말이 사용되나, 몇몇 연구에서는 금속 또는 금속, 세라믹, 고분자 분말의 복합 재료가 코팅 소재에 사용된 것으로 보고 되고 있기 때문에 비교적 성막 재료의 사용이 자유롭다고 할 수 있다 [5-7]. 또한 무엇보다 공정이 상온에서 진행되기 때문에 모재 물질의 제한이 없으며, 추가적인 열원이나 전기적인 과정이 없기 때문에 공정 중 상변태가 발생하지 않는다 [4,5]. 더하여 단순한 공정조건 변화에 따라 수십 나노의 박막에서 수백 마이크론의 후막까지의 두께 제어가 용이하며, 적층률 또한 1 ~ 3 $\mu\text{m}/\text{min}$ 으로 기존의 박막 공정에 비하여 우수하기 때문에 낮은 공정단가를 기대해볼 수 있다. 뿐만 아니라, 보고된 바에 의하면 제조된 필름은 공정 조건에 따라 40 N 이상의 우수한 접합력의 결과를 보이므로 높은 필름 수명을 기대할 수 있다 [8].

본 연구에서는 이러한 공정적 장점에 주목하여, 상용적으로 사용되는 세라믹 도료인 $\text{Co}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ 와 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$

분말을 사용하여 적층공정을 수행하였다. 붉은색의 $\text{Co}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ 분말과 푸른색의 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말은 각각 원료 분말의 크기와 소재적 차이로 인하여 각기 다른 적층거동을 보였으며, 공정조건에 따라 다른 색의 밝기와 투과도가 결정되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 제품 디자인의 목적에 만족하는 필름 또는 패터닝 구현의 가능성을 평가하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 상용적으로 사용되는 세라믹 도료인 $\text{Co}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ 와 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말을 공정 원료로 사용하였다. $\text{Co}(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ 와 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말은 각각 붉은색과 푸른색을 띠고 있으며 상품의 데이터시트에 표기된 바로는 대략 0.6과 1.0 μm 의 평균입도(d_{50}), 5.0과 4.6 g/cm^2 의 밀도를 갖기 때문에 본 적층 공정에 적합한 것으로 판단된다. 원료 분말은 공정 전에 수분을 최소화하기 위하여 120 $^{\circ}\text{C}$ 의 오븐에서 1시간 이상 건조처리를 진행하였다. 모재는 상용적으로 사용되며 투과도 측정이 용이한 일반적인 $76 \times 26 \times 1 \text{ mm}^3$ 크기의 소다 석회 유리 기판을 사용하였으며, 오염 물질 제거를 위하여 코팅 공정 전 초음파세척기를 통하여 세척을 진행하였다.

본 연구에서는 그림 1에 나타난 진공상온분사 공정이 사용되었으며, 본 공정에 관한 자세한 설명은 선행연구 결과를 통하여 쉽게 찾아볼 수 있다 [5]. 이번 실험에서 사용된 자세한 공정 조건은 다음과 같다. 먼저 공정 가스의 경우, 넓은 입자 속도 범위 조절이 가능한 헬륨(He) 가스가 사용되었으며, 가스압은 공정 중에 0.6 MPa로 고정되도록 설정하였다. 입자의 속도를 결정하는 가스 유량의 경우 2~18 L/min 사이에서 제어되었으며, 노즐(nozzle)과 기판 사이 거리와 기판의 이동속도는 각각 10 mm와 1.0 mm/s로 고정하였다. 적층 실험은 테포지션 챔버(deposition chamber) 내의 압력이 6.0×10^{-2} Torr 일 때 시작하였으며, 총 10 pass의 적층을 실시하였다. 코팅 방법은 크게 단순한 필름 형태의 코팅과 마스크(mask)를 이용한 패턴 코팅 두 가지로 나뉘어 진행되었다. 두 방법에서는 동일한 공정 조건을 사용하였으며, 동일한 convergent-barrel의 슬릿(slot) 형태의 노즐을 사용되었지만, 단순 필름 코팅에서는 상대적으로 $5.0 \times 0.4 \text{ mm}^2$ 의 작은 출구를 갖는 노즐이 사용되었고, 패터닝의 경우에는 유리 기판의 폭 길이에 적합한 $27.0 \times 0.4 \text{ mm}^2$ 의 상대적으로 넓은 출구의 노즐이 자체 제작한 철강 소재의 마스크와 함께 사용되었다. 마스크는 모재 위에 고정되어 패턴 적층을 실시하였다.

Fig. 2. Photographs of (a) $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ (red color) and (b) $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ (blue color) powders, and FE-SEM micrographs of (c) $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ and (d) $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ powders.

Fig. 3. Photographs of $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ films fabricated at (a) 2, (b) 6, and (c) 10 L/min, and $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ films fabricated at (d) 6, (e) 10, and (f) 14 L/min gas flow rates.

분말 및 제조된 필름의 표면과 단면은 전계방출형 주사전자현미경(field emission scanning electron microscopy, FE-SEM, s4300, Hitachi, Japan)을 사용하여 관찰하였으며, 코팅층의 두께는 surface profiler (Dektak XT, Bruker, Germany)를 이용하여 측정하였다. 필름의 광투과도는 (자외선-가시광선 분광 광도계, UV-vis spectrophotometer, Libra S70, Biochrom, England)를 사용하여 측정하였으며, 광투과도 변화는 550 nm길이의 파장을 기준으로 약 5회 코팅된 지

역을 고르게 측정 후 투과도 값을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2(a)와 2(b)는 각각 붉은색의 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 와 푸른색의 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 세라믹 도료 분말 사진이다. 매우 미세한 입자로 이루어져 있기 때문에 입자들끼리 뭉쳐 큰 덩어리를 형성하고 있는 것을 곳곳에서 확인할 수 있다. 그림 2(c)와

Fig. 4. Deposition behaviors of (a) Co(Al, Cr)₂O₄ and (b) C₉H₁₃CdN₂O₄SSe coating layers with various gas flow rates.

Fig. 5. FE-SEM micrographs of coating surface morphology fabricated at 18 L/min gas flow rate: (a) Co(Al, Cr)₂O₄ and (b) C₉H₁₃CdN₂O₄SSe films, and (c), (d) higher magnification images of (a), (b).

2(d)는 각 분말의 FE-SEM 형상 사진을 나타내고 있다. 각 사진을 통해, 두 분말은 모두 불규칙하고 각진 형상을 갖는다는 것을 알 수 있다. 하지만 Co(Al, Cr)₂O₄ 분말의 경우 C₉H₁₃CdN₂O₄SSe 분말보다 상대적으로 입자의 크기가 더 크며 조금 더 작다는 것을 현미경 사진을 통하여 확인할 수 있다. 다만, FE-SEM 사진 상으로는 Co(Al, Cr)₂O₄ 분말의 크기가 0.6 μm 보다 더 작은 것으로 판단되었으나, 두 분말 모두 에어로졸화에 적합한 서브마이크론 사이즈로 확인된다.

그림 3은 각 분말을 사용하여 여러 가스유량 조건에서 제조된 필름을 나타내고 있다. 필름은 좌, 우 방향으로 왕복 10 pass를 한 결과이다. 그림 3(a-c)는 각각 붉은색의 Co(Al, Cr)₂O₄ 분말을 가스유량 2, 6, 10 L/min 조건에서 적층된 필름을 나타내고 있다. 전체적으로 필름은 성공적으로 유리 기판 상에 육성되었으나, 2, 6 L/min의 가스유량에서 투과도가

현저히 떨어지는 결과를 얻었으며, 10 L/min 가스유량에서는 필름의 넓이가 노즐 폭에 비하여 상당히 넓어진 것을 알 수 있다. 또한 필름의 모서리가 고르지 않고, 부분적으로 코팅층의 박리가 일어났다. 이러한 현상은 10 L/min 이상의 가스유량에서는 더욱 심각하게 발생되었다. 그림 3(d-f)는 각각 6, 10, 14 L/min의 가스유량에서 제조된 푸른색의 C₉H₁₃CdN₂O₄SSe 필름이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 C₉H₁₃CdN₂O₄SSe는 Co(Al, Cr)₂O₄ 필름에 비하여 가스유량 변화에 따른 코팅층 형상의 변화가 적었다. 게다가 필름의 폭이 높은 가스유량에서도 일정하게 유지되었으며, 무엇보다 투과도가 가스유량 증가에 따라 점진적으로 낮아지는 결과를 얻었다. 이는 선행연구의 Al₂O₃ 필름에서도 나타나는 일반적인 현상으로, 입자 속도에 따라 형성된 필름 두께와 미세 구조에 따른 영향인 것으로 사료된다 [9].

Fig. 6. Cross-sectional FE-SEM micrographs of coatings formed using (a) $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ and (b) $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ powders at 18 L/min gas flow rate.

Fig. 7. Optical transmittance changes of $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ and $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ coating layers fabricated using various gas flow rates.

그림 4(a)와 4(b)는 각각 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 와 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말의 가스유량에 따른 적층거동을 나타내고 있다. 두 분말 모두 가스유량에 따라 민감하게 적층률이 향상되는 것을 볼 수 있으며, 특히 10 L/min 이상에서 코팅층의 두께가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 분말은 수십 마이크로미터의 두꺼운 필름이 형성된 반면에 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말은 14 L/min의 가스유량에서도 1 마이크로미터 이하의 박막층이 형성된 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 그림 3에서의 필름의 투과도와 잘 일치한다.

이러한 적층거동의 차이는 그림 5의 필름의 미세구조에서도 잘 드러난다. 그림 5(a)와 5(b)는 각각 18 L/min 가스유량에서 제조된 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 와 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 코팅층의 표면 FE-SEM 사진을 나타내고 있다. 두 표면 형상은 상당한 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 필름의 표면은 매우 고르지 못하고, 다수의 구멍이 형성된 것을 볼 수 있는 반면, $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 필름의 표면은 다소 거친 형상을

띠지만 전체적으로 균일한 형상을 볼 수 있다. 그림 5(c)와 5(d)는 각각 그림 5(a)와 5(b)의 특정 지역을 확대한 사진이다. 그림 5(c)의 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 필름은 앞서 언급하였듯이 적층 과정 중 형성된 구멍(A 지역)과 비교적 매끈한 표면(B 지역)으로 구성된 것을 확인할 수 있다. 특히, A 지역의 구멍 주변은 굉장히 작은 파편들로 이루어져 있는 것을 확인할 수 있다. 반면, 그림 5(d)의 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 필름 표면은 하나의 거친 표면으로만 구성되어 있다. 이러한 특징들은 그림 6의 코팅 단면 현미경 사진에서도 두드러진다. 그림 6(a)와 6(b)는 각각 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 와 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 코팅층의 단면 FE-SEM 사진을 나타내고 있다. $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 필름 단면에서는 상대적으로 기공들이 많이 관찰되며, $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 필름보다 치밀화현상이 덜 진행된 것으로 판단된다. 따라서 입자 충돌 후 형성된 파편 간에 결합력이 낮은 채로 적층이 진행된 것으로 보인다. 반면, $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 필름의 단면은 굉장히 치밀한 코팅층의 미세구조가 두드러지며, 이러한 코팅층의 미세구조는 전형적인 진공상온분사 필름의 특성으로 여겨지고 있다.

그림 7은 각 분말을 사용하여 제조된 필름의 가스유량에 따른 광학적 투과도 변화를 나타내고 있다. 전반적으로 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 필름은 상당히 높은 투과도를 나타내고 있으며, 투과도는 가스유량 증가에 따라 점차적으로 감소하는 일정한 거동을 나타내고 있다. 반면, $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 필름은 2 L/min 이후에 투과도가 급격히 감소하여 6 L/min 이후에는 거의 0에 가까운 투과도가 측정되었다. 이러한 투과도 경향은 그림 3의 가스유량에 따른 필름 사진과 잘 일치한다. 18 L/min에서는 투과도가 다소 높아진 것을 볼 수 있는데, 이 것은 필름의 투과도가 좋아졌다기 보다는 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 분말의 적층 특성상 일부 부분이 박리되면서 그 부분에서 투과도가 측정된 결과로 판단된다. 따라서 여러 번의 광투과도 측정 중 상대적으로 다른 시편보다 높은 편차를 보이는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8. Photographs of 'HY' patterns on glass substrates using (a) $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ and (b) $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ powders at 10 L/min gas flow rate.

전체적으로 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 와 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말은 상당한 적층거동 차이를 드러낸 것을 확인할 수 있다. 정리하자면, $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 분말은 매우 높은 적층률을 나타내고 있으나, 필름의 표면이 고르지 못하고 구멍주변 지역과 매끈한 지역으로 구별되고 있다. 또한, 필름 내부를 살펴보면 코팅층이 치밀하지 못하고, 기공이 많으며 파편 간에 약하게 결합된 채로 필름이 형성된 것을 관찰할 수 있었다. 반면, $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말은 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 분말에 비하여 적층률이 상당히 낮은 것을 볼 수 있다. 하지만 필름 표면은 거칠지만 균일한 미세구조를 갖고 있으며, 단면 역시 굉장히 치밀한 전형적인 진공상온분사 필름의 미세구조를 갖는다.

이러한 두 세라믹 도료 분말의 적층거동 차이는 크게 두 가지 요인으로 판단된다. 첫째는 분말 입자 크기 차이에 의한 효과로 볼 수 있다. 보고된 바에 의하면 수십 나노 크기의 작은 세라믹 입자를 사용하여 적층 공정을 진행하였을 시에는 입자가 제대로 치밀화가 되지 않고, 단순히 'pressed compact'된 채로 입자가 쌓여있는 것을 볼 수 있다 [5]. 이는 비행입자의 수직충돌 속도가 충분하지 못하여 상온 충돌 응고화(room temperature impact consolidation, RTIC) 현상이 충분히 발생되지 못했기 때문에 파편간 결합력이 충분하지 못한 채 약한 결합으로 쌓여있는 구조가 형성된다고 보고되고 있다. 더하여 입자 크기에 따른 적층 기구의 측면에서 고려해보면, 진공상온분사 공정에서 세라믹 입자의 소성변형과 동적파쇄가 주요한 입자 적층 기구로 보고되고 있는데 [9,10], 입자의 크기가 작아질수록 높은 표면 에너지로 인하여 입자는 더 높은 표면에너지가 생성되는 파쇄과정보다는 소성변형 또는 탄성변형이 우세해지게 된다. 따라서 진공상온분사 공정에서 입자의 크기가 어느 이상으로 작아지게 되면, 동적파쇄보다는 소성 혹은 탄성 변형이 더욱 우세하게 되며, 적절한 분쇄가 이루어지지 않은 상태에서는 다공성의 접합력이 낮은 필름이 제조되는 것으로 판단된다 [10]. 따라서

$\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말은 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 분말에 비하여 치밀한 코팅 미세구조를 보이며, 상대적으로 박리된 부분이 없는 강한 결합력을 나타내는 것으로 사료된다. 두번째 요인은 분말 입자의 재료적 특성으로 볼 수 있다. $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 테이터 시트에 따른 크기는 평균 $0.6 \mu\text{m}$ 로 보고되었다. 하지만 Al_2O_3 소재 입자의 경우 $0.5 \mu\text{m}$ 의 크기의 분말을 사용하여 필름을 제조하였을 때, 본 실험에서 관찰된 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 과 같은 치밀한 코팅층이 형성되었다 [11]. 또한 입자소재의 파괴강도(breaking strength)가 적층에 영향을 미친다는 보고에 따라 소재에 따른 입자의 강도에 따라 적층거동이 변화되는 것을 알 수 있다 [12]. 더하여 단순히 취성이 강한 소재보다 취성과 동시에 소성변형이 동반되는 소재일수록 다공성의 파편간 접합력이 낮은 필름이 형성된다는 사실을 선행연구를 통해 확인할 수 있다 [10].

결과적으로 제품에 적합한 색감과 투과도 제어를 위해서는 입자의 크기와 소재적 특성을 고려한 분말 입자의 크기를 선택하는 것이 적합하다는 것을 유추할 수 있다. 즉, 푸른색의 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 분말의 경우 2에서 18 L/min 사이의 가스유량에서도 제품 디자인에 적합한 색감과 투과도를 선택할 수 있지만, 붉은색의 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 분말의 경우에는 투과도를 향상시키기 위하여 보다 큰 입자를 선택하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단되며, 이 외에는 2 L/min 이하의 가스유량을 선택하거나 또는 기관의 이동속도를 증가시켜 더욱 얇은 필름을 형성하여 적합한 투과도를 확보하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 그림 8은 가스유량 10 L/min에서 마스킹 기술을 적용하여 좌, 우 10 pass의 패턴링을 실시한 예시이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 'HY' 문자를 명확히 확인할 수 있으며, 이러한 패턴은 입자의 크기 선택 혹은 가스유량과 같은 공정변수 조절을 통하여 제품에 적합한 패턴 디자인을 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 진공상온분사 공정은 상온에서 진행되는 공정

으로 열영향이 없기 때문에 기판의 소재적 제한이 없다. 따라서 고분자나 유리 소재의 용접이 낮은 모재의 사용이 가능하여 다양한 제품군에 사용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서 사용된 붉은색과 푸른색의 도료 분말 이외에 다른 색감의 분말을 사용할 경우, 다양한 색감과 투과도의 필름 및 패터닝이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 이러한 기술을 활용하여 다양한 제품에서의 디자인 표현에 유효할 것으로 판단되며, 나아가 최근 재료연구소 등에서 개발된 대면적 적층 기술을 고려해보면 그 활용도는 더욱 넓어질 것을 예측할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 진공상온분사 공정을 활용하여 상용적으로 구할 수 있는 붉은색의 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 와 푸른색의 $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 도료 분말을 사용하여 필름을 제조하였다. 두 분말은 모두 성공적으로 적층되어 필름을 형성하였으나, 적층거동 측면에서는 약간의 차이를 보였다. 평균 $0.6\ \mu\text{m}$ 의 작은 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 분말의 경우, 수십 마이크론의 매우 높은 적층률을 보였으나, 기공이 많으며 균일하지 않은 필름이 형성되었다. 반면, $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 의 경우 $1.0\ \mu\text{m}$ 의 분말이 사용되었으며, $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 분말에 비하여 1 마이크론 전후의 낮은 적층률을 보였으며, 다소 거친 표면을 갖지만 균일하고 치밀한 필름이 제조되었다. 붉은색의 $\text{Co(Al, Cr)}_2\text{O}_4$ 필름은 낮은 광투과도를 보였으나, $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{CdN}_2\text{O}_4\text{SSe}$ 필름은 가스유량에 따라 광투과도가 점차적으로 낮아지는 결과를 얻었다. 따라서 적합한 도료 분말 크기 선정, 가스유량 등의 공정변수 최적화를 통하여 필름 및 패터닝의 색감과 투과도 변화가 가능함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 토대로, 진공상온분사 공정을

활용하여 향후 다양한 제품 및 구조물 등에 디자인 코팅 및 패터닝 기술 활용을 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(NRF-2014R1A2A2A05007633).

REFERENCES

1. R. Constantin and B. Miremad, *Surf. Coat. Tech.* **120**, 728 (1999).
2. B. Navinšek, P. Panjan and I. Milošev, *Surf. Coat. Tech.* **116**, 476 (1999).
3. J. Lee, *Surf. Coat. Tech.* **200**, 31 (2005).
4. J. Akedo, *J. Am. Ceram. Soc.* **89**, 1834 (2006).
5. J. Akedo, *J. Therm. Spray Technol.* **17**, 181 (2008).
6. Y. -H. Kim, J. -W. Lee, H. -J. Kim, Y. -H. Yun and S. -M. Nam, *Ceram. Int.* **38**, S201 (2012).
7. O. -Y. Kwon, H. -J. Na, H. -J. Kim, D. -W. Lee and S. -M. Nam, *Nanoscale Res. Lett.* **7**, 1 (2012).
8. F. Cao, H. Park, J. Heo, J. Kwon and C. Lee, *J. Therm. Spray Technol.* **22**, 1109 (2013).
9. J. Kim, H. Park, J. -S. Nam, K. S. Son, Y. T. Im, J. W. Lee, B. G. Chung and C. Lee, *Korean J. Met. Mater.* **54**, 15 (2016).
10. H. Park, J. Kwon, I. Lee and C. Lee, *Scripta Mater.* **100**, 44 (2015).
11. J. Kwon, H. Park, I. Lee and C. Lee, *Surf. Coat. Technol.* **259**, 585 (2014).
12. D. W. Lee, H. J. Kim, Y. H. Kim, Y. H. Yun and S. M. Nam, *J. Am. Ceram. Soc.* **94**, 3131 (2011).
13. S. Baba, H. Sato, L. Huang, A. Uritani, R. Funahashi and J. Akedo, *J. Alloy. Compd.* **589**, 56 (2014).