

## Comparison of vacuum metal deposition (VMD) and powder method for developing latent fingerprint on plastic envelope surface

Chaewon Kim, Narae Lee, Taewon Kim, and Jeseol Yu<sup>★</sup>

Graduate school of Forensic Science, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea

(Received March 6, 2020; Revised April 22, 2020; Accepted May 6, 2020)

### 플라스틱 봉투 표면에서 지문을 현출하기 위한 Vacuum Metal Deposition (VMD)과 분말법의 비교

김채원 · 이나래 · 김태원 · 유제설<sup>★</sup>

순천향대학교 법과학대학원

(2020. 3. 6. 접수, 2020. 4. 22. 수정, 2020. 5. 6. 승인)

**Abstract:** Vacuum metal deposition (VMD) is effective to develop latent fingerprints on non-porous and semi-porous surfaces. VMD can be used in cases when fingerprints that can not be developed by generalized techniques or deposited on difficult surfaces. The recommended surfaces for VMD techniques include vinyl, polymer bills, magnetic coated tickets, etc. In this study, the minimum amount of gold input was explored for developing fingerprints from at least 12 hours to up to 28 days after deposit fingerprint on the pink high density polyethylene envelope (HDPE) and low density polyethylene envelope (LDPE), which are mainly used as delivery envelopes. And the results were compared with the effects of black powder and fluorescent powder. In addition, delivery envelopes used for delivery were collected, then classified as HDPE and LDPE and pseudo-operation test was performed. As a result, VMD method developed good quality of fingerprints.

**요 약:** 진공금속증착법(vacuum metal deposition, 이하 VMD)는 비다공성과 반다공성 표면의 잠재지문을 현출하는데 효과적이다. VMD는 일반적인 기법으로 현출할 수 없거나 어려운 표면에 유류된 지문을 현출하는 경우에서 활용할 수 있다. VMD 기법이 권장되는 표면은 비닐, 폴리머 지폐, 마그네틱 코팅 처리가 된 티켓 등이 있다. 본 연구에서는 택배 봉투로 주로 사용되는 분홍색 고밀도 폴리에틸렌 봉투(HDPE)와 저밀도 폴리에틸렌 봉투(LDPE)에 지문을 유류한 뒤 최소 12시간부터 최대 28일이 경과한 지문을 현출하기 위한 금의 최소 투입량을 탐색하였다. 그리고 그 결과를 흑색분말, 형광분말의 효과와 비교하였다. 또한, 실제로 배송에 사용된 택배 봉투를 수거한 다음 HDPE와 LDPE로 분류하고 pseudo-operation test를 시행하였다. 그 결과, VMD는 HDPE와 LDPE 표면에서 비교적 일관된 지문 현출 결과를 보여주었다.

**Key words:** vacuum metal deposition (VMD), high density polyethylene (HDPE), low density polyethylene (LDPE), powder method

<sup>★</sup> Corresponding author

Phone : +82-(0)41-530-4756 Fax : +82-(0)41-530-4755

E-mail : haplf@naver.com

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

진공상태에서 물체의 표면에 금속을 증착시키는 것은 전자, 반도체 분야 등에서 일반화된 기법이다. 이 방법이 지문 분야로 넘어오게 된 계기는 영국의 Tolansky 교수(1963)가 간섭필터를 제작하던 중에 유리에 남아있던 지문이 은(Ag) 증착에 의해 현출된 것을 발견하고 영국 내무성(Home Office)에 지문 현출 기법으로 소개한 것이다.<sup>1</sup> 이후 연구자들은 지문 현출에 알맞은 금속들과 그 조합, 지문 현출이 가능한 표면 등에 대해 연구하였다.<sup>2-5</sup>

진공금속증착법(vacuum metal deposition, 이하 VMD)는 비다공성과 반다공성 표면의 잠재지문을 현출하는데 효과적이다.<sup>13</sup> 하지만 VMD는 다른 기법에 비해 많은 소요 시간과 초기 비용, 사용자의 숙련도 등이 요구되므로 일반적으로 사용되는 기법은 아니다. 오히려 순간접착제 훈증법과 분말법 등으로 대표되는 전통적인 기법들이 합리적인 선택이 될 것이다. VMD는 일반적인 기법으로 현출할 수 없거나 어려운 표면에 유류된 지문을 현출하는 경우에서 활용할 수 있다.

VMD는 다른 기법들보다 감도가 뛰어나다고 알려져 있으며, 매우 오래된 지문과 극한환경에 노출된 지문에서도 효과적이라는 연구 결과가 있다.<sup>14, 6-10</sup> 현출 효과가 큰 이유는 바로 금속 입자의 크기에 있다. VMD에서 가장 많이 사용되는 금속은 금(Au)과 아연(Zn)이다. 금은 이론적으로 지문분말 입자 한 개의 1/500,000 크기의 상태로 증착된다. 이는 금속 입자가 매우 미세하여 표면에 지문 구성물질이 적게 남아있더라도 지문을 현출할 수 있다는 의미이다. 1차 금속(primary metal) 입자인 금은 지문이 있는 곳에서는 지문 구성물질 안으로 파고들어 증착되며, 지문이 없는 곳에서는 표면에 노출된 형태로 증착된다. 2차 금속(secondary metal)인 아연의 증착 특성(deposition characteristics)은 금속이 있는 곳에만 선택적으로 증착된다는 것이다.<sup>11, 12</sup> 이렇게 금과 아연을 순차적으로 증착하면 지문 용선은 투명하고 메탈릭 아연에 의해 배경은 은회색 또는 암회색을 띄게 된다(Fig. 1, 2).

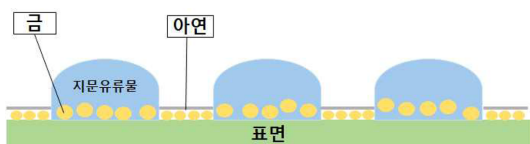


Fig. 1. Principle of developing fingerprint for Au/Zn vacuum metal deposition.



Fig. 2. Photographs of deposited fingerprint on HDPE surfaces in Au/Zn vacuum metal deposition.

금과 아연을 증착하는 과정에서 고려해야 할 것은 바로 금의 투입량을 잘 통제해야 한다는 것이다.<sup>10</sup> 금막(layer)이 최대한 얇고 일정한 상태로 증착되어야 배경에 아연의 증착을 유도할 수 있기 때문이다. 따라서 증착하고자 하는 검체의 표면에 필요한 적정 투입량이 어느 정도인지 미리 조사해야 한다.

VMD 기법이 권장되는 표면은 비닐, 폴리머 지폐, 마그네틱 코팅 처리가 된 티켓 등이 있다.<sup>2-5, 9</sup> 하지만 최근 들어 금/아연 VMD 방법은 플라스틱 재질의 표면에서 효과가 떨어지는 것으로 보고되고 있다.<sup>14</sup> 이에 대해 지문 연구자들은 표면을 가공하는 과정에서 첨가되는 다양한 물질들이 VMD의 감도를 떨어뜨리는 결과를 초래한 것으로 추측하고 있다.

선행연구자들에 의해 제시된 프로토콜을 따라 금속을 투입해도 플라스틱 표면에 남겨진 지문을 효과적으로 현출할 수 없다는 것이 본 연구의 출발점이다. 본 연구에서는 택배 봉투로 주로 사용되는 분홍색 고밀도 폴리에틸렌 봉투(HDPE)와 저밀도 폴리에틸렌 봉투(LDPE)에 지문을 유류한 뒤 최소 12시간부터 최대 28일이 경과한 지문을 현출하기 위한 금의 최소 투입량을 탐색하였다. 그리고 그 결과를 흑색분말, 형광분말의 효과와 비교하였다. 비교를 위해 분말을 선택한 이유는 과학수사요원이 많이 사용하는 기법이기 때문이다. 또한, 실제로 배송에 사용된 택배 봉투를 수거한 다음 HDPE와 LDPE로 분류하고 pseudo-operation

test를 시행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

검체는 HDPE, LDPE 재질의 분홍색 폴리에틸렌 봉투를 사용하였다. 실험에 사용한 분말로는 vacuum metal deposition은 VMD-system (더윈과학)을 사용하였으며, VMD에 사용한 금속은 99.99% 순금, 아연 (SAMCHUN)을 사용하였다. 분말은 Swedish black powder (BVDA), Dazzle orange powder (SIRCHIE)을 사용하였으며, 브러시는 황새깃털브러시와 마그네틱 자석봉(Altlight)을 사용하였다.

### 2.2. 방법

세 가지 기법의 효과성을 비교하기 위하여 본 연구에서는 두 가지 실험을 설계하였다.

#### 2.2.1. 실험 1

실험에 사용된 폴리에틸렌 봉투는 모두 3 cm × 5 cm 크기로 잘라서 사용하였다. 지문을 구성하는 물질의 개인 차이에 따라서 기법의 결과가 변할 만큼 기법이 약간의 구성성분 차이에 의해 영향을 받지 않고, 특히 VMD는 물리적인 원리를 갖고 있는 기법이기에 때문에 지문의 제공자에 따른 결과의 차이가 거의 없다. 따라서 지문은 20대 남성 한 명의 우수 무지를 사용하였다. 지문을 유류 할 때에는 비누로 손을 닦은 후, 1시간 동안 일상생활을 한 뒤, 전자저울에 잘라 놓은 폴리에틸렌 봉투를 올려놓고 30 ± 5 g의 압력으로 지문을 유류하였다. 지문을 유류한 후 12시간, 1일, 3일, 7일, 14일, 21일, 28일 동안 직사광선이 없는 실온에서 보관한 뒤 각각 금/아연 VMD, Swedish black powder, Dazzle orange powder로 처리하였다. 실험 1은 총 3

Swedish black	VMD	VMD	Dazzle orange
VMD	Dazzle orange	Swedish black	VMD

Fig. 3. (Left) the type of technique to be treated on the front of a polyethylene envelope, (right) the type of technique to be treated on the back of a polyethylene envelope.

Table 1. The diameter and length of gold used in the experiment

	HDPE*	LDPE**
12 시간	0.25 Ø, 1 mm	0.25 Ø, 1 mm
1 일	0.25 Ø, 1 mm	0.25 Ø, 1 mm
3 일	0.25 Ø, 1 mm	0.25 Ø, 1 mm
7 일	0.15 Ø, 1 mm	0.25 Ø, 1 mm
14 일	0.15 Ø, 0.5 mm	0.25 Ø, 4 mm
21 일	0.15 Ø, 0.5 mm	0.25 Ø, 4 mm
28 일	0.15 Ø, 0.5 mm	0.25 Ø, 4 mm

\*High density polyethylene

\*\*Low density polyethylene

회의 반복 실험을 진행하였다.

#### 2.2.2. 실험 2

실제 배송에 사용된 봉투를 수거하여 Pseudo operational test를 진행하였다. 기법을 골고루 적용하기 위해 아래 그림과 같이 기법을 적용하였다(Fig. 3).

#### 2.2.3. 기법 처리 방법

Swedish black은 황새깃털브러시로 적용하였으며, Dazzle orange는 자석봉으로 적용하였다. 금/아연 VMD는 금을 최대한 천천히 증착시킨 후 아연을 증착시켜 처리하였으며, 처리한 금의 양은 Table 1과 같이 사용하였고 아연은 약 10 drop씩 사용하였다.

#### 2.2.4. 사진 촬영

VMD, Swedish black, Dazzle orange를 적용한 검체는 NIKON AF-S MICRO NIKKOR 105 mm 1:2.8G ED (Nikon, Japan) 렌즈를 장착한 NIKON D5600 카메라(Nikon, Japan)를 사용하여 촬영하였다. 촬영 조건은 f/11, ISO 100이며, 지문 융선이 최대한 선명하게 관찰될 때까지 노출시간을 조절하면서 촬영하였다. VMD로 처리한 검체는 백색광을 사광으로 비추어 촬영하였고, Dazzle orange로 처리한 검체는 Polilight flare plus 2 505 nm (Rofin) 광원을 조사하고 진한 주황색 차폐필터(Altlight)를 통해서 촬영하였다.

#### 2.2.5. 평가방법

현출된 지문의 디테일을 평가하기 위해서 지문 관련 과목을 이수한 법과학 전공 대학원생 18명을 평가자로 선정하였다. 평가자들은 현출된 지문의 품질을 Scientific Working Group on Friction ridge Analysis Study and Technology (SWGFAST)에서 제시한 지문

Table 2. Fingerprint Evaluation Standard<sup>a)</sup>

Quality (품질)	
Low (1점)	지문의 Level 1 문형이 잘 구분되지 않는다. 대부분의 Level 2 특징점이 모호하다. Level 3 디테일은 구분되지 않는다.
Medium low (2점)	지문의 Level 1 문형이 구분된다. Level 2 특징점이 거의 나타나지 않는다. Level 3 디테일은 거의 보이지 않는다.
Medium high (3점)	지문의 Level 1 문형이 뚜렷하게 구분된다. 대부분의 Level 2 특징점이 구분된다. 극소수의 Level 3 디테일이 보인다.
High (4점)	지문의 Level 1 문형과 Level 2 특징점이 뚜렷하게 구분된다. Level 3 디테일까지 충분히 나타난다.

<sup>a)</sup>Standards for examining friction ridge impressions and resulting conclusions (latent/tenprint) v. 2.1, www.swgfast.org, Assessed 2013.

평가방법을 사용하여 평가하였다(Table 2).

### 3. 결 과

#### 3.1. HDPE 결과

Table 3은 HDPE 표면에 유류된 지문을 VMD, Swedish black powder, Dazzle orange powder를 사용

Table 3. Results of developing fingerprints on high density polyethylene (HDPE) surfaces using vacuum metal deposition, Swedish black, and Dazzle orange

유류 시간	12시간	24시간	3일	7일	14일	21일	28일
VMD							
Swedish black							
Dazzle orange							

하여 현출한 결과이다. 금/아연 VMD를 적용한 결과 유류한 지 12시간된 지문부터 28일이 경과한 지문까지도 용선의 세부형태가 잘 현출되었다. Swedish black 분말을 적용한 결과 유류한 지 12시간된 지문부터 7일된 지문까지는 용선을 관찰할 수 있었으나 14일 이상 경과한 지문부터는 지문의 문형과 용선의 디테일을 관찰하기 어려웠다. Dazzle orange 분말을 적용한 결과 유류한 지 12시간된 지문부터 28일이 경과한 지문까지도 지문 용선의 디테일이 관찰되었으나, VMD로 현출한 지문보다는 전체적으로 디테일이 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다. Fig. 2는 평가자들이 SWGFAST에서 제시한 평가방법으로 현출된 지문을 평가한 결과의 평균점수와 표준편차를 나타낸 것이다. VMD결과의 평균 평가점수는 12시간 된 지문부터 14일 경과한 지문까지 Dazzle orange와 비슷한 점수로 평가되었으나, 21일된 지문부터 VMD는 3.11 점, Dazzle orange는 2.17 점으로 1점 정도의 차이를 나타내기 시작하였다. Swedish black은 전반적으로 VMD와 Dazzle Orange보다 낮은 점수를 나타내었다.

#### 3.2. LDPE 결과

Table 4는 LDPE 표면에 유류된 지문을 VMD, Swedish black powder, Dazzle orange powder를 사용하여 현출한 결과이다. 금/아연 VMD를 적용한 결과

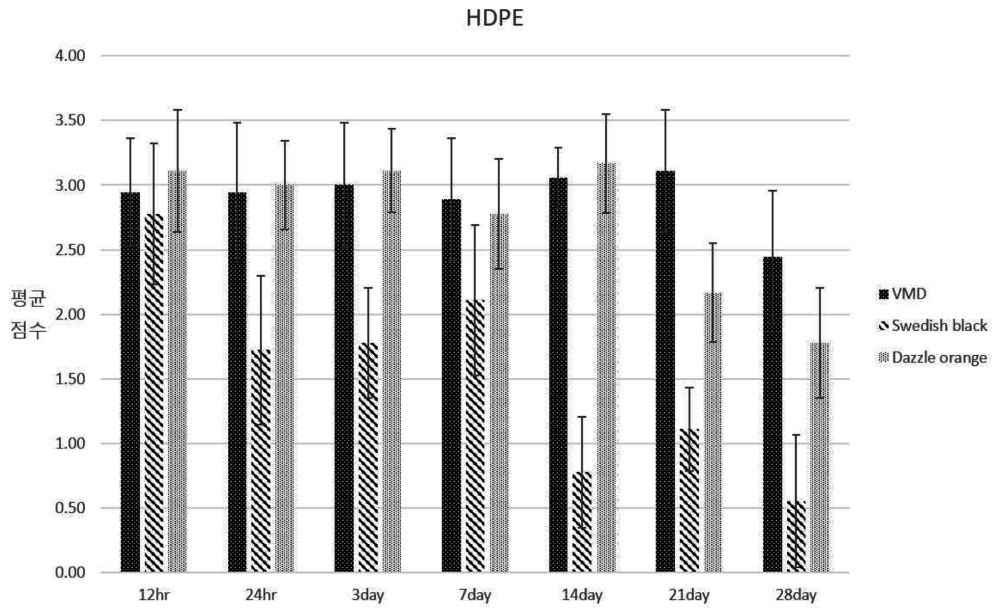


Fig. 4. he results of an evaluation of the quality of developed fingerprints on the high density polyethylene (HDPE) surface with vacuum metal deposition, Swedish black, and Dazzle orange, respectively.

Table 4. Results of developing fingerprints on low density polyethylene (LDPE) surfaces using vacuum metal deposition, Swedish black, and Dazzle orange

종류 \ 시간	12시간	24시간	3일	7일	14일	21일	28일
VMD							
Swedish black							
Dazzle orange							

유류한 지 12시간 경과한 지문부터 28일 경과한 지문 까지도 융선 세부형태가 잘 관찰되었다. Swedish black 분말을 적용한 결과 유류한 지 12시간된 지문부

터 7일된 지문까지는 융선을 관찰할 수 있었으나 14일 이상 경과된 지문부터는 지문의 문형과 융선 세부 형태를 관찰하기 어려웠다. Dazzle orange 분말을 적

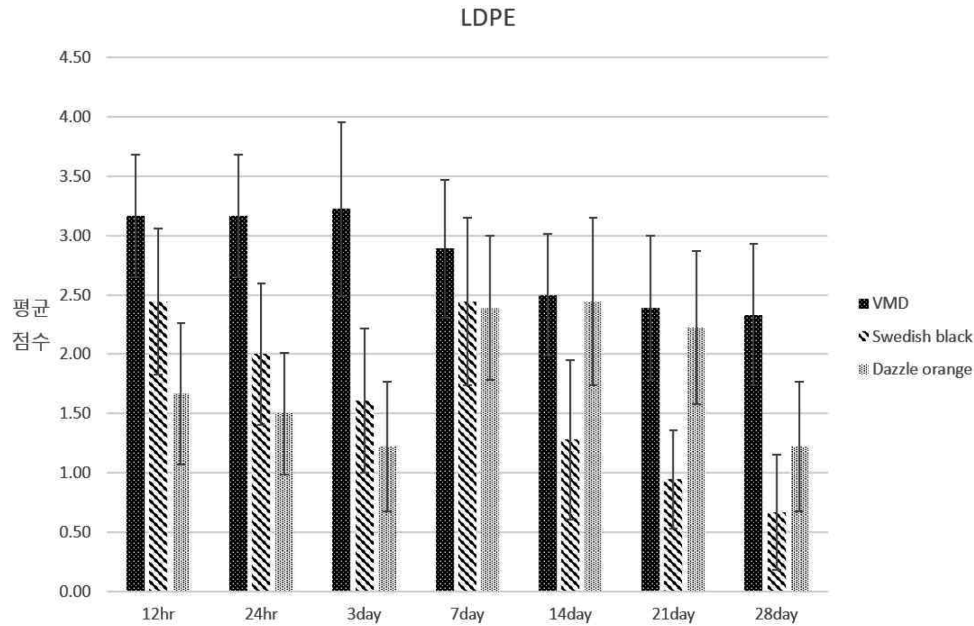


Fig. 5. The results of an evaluation of the quality of developed fingerprints on the low density polyethylene (LDPE) surface with vacuum metal deposition, Swedish black, and Dazzle orange, respectively.

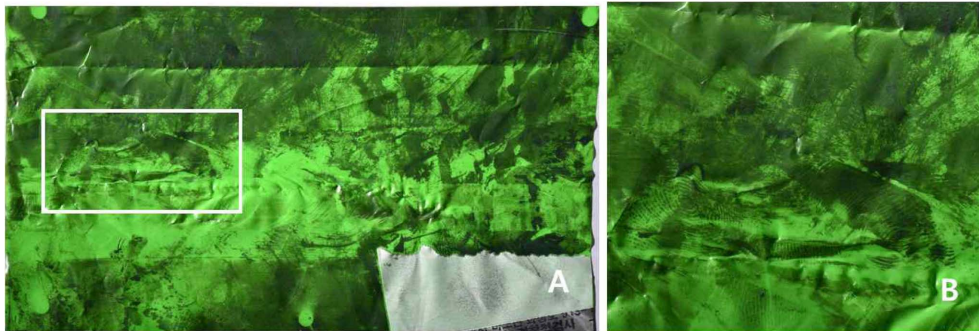


Fig. 6. Results of developed fingerprints using vacuum metal deposition on the surface of a polyethylene envelope of high density polyethylene (HDPE). (A) Full picture. (B) an enlarged image of the part marked in A.

용한 결과 유류한 지 12시간 경과한 지문부터 21일 경과한 지문까지는 지문의 문형과 융선이 관찰되었으나 28일이 경과한 지문은 문형을 구별할 수 없고 융선도 부분적으로 관찰되었다. Fig. 3은 평가자들이 SWGFAST에서 제시한 평가방법으로 현출된 지문을 평가한 결과의 평균점수와 표준편차를 나타낸 것이다. 전반적으로 VMD의 평균 평가점수가 가장 높았다. 12시간 경과한 지문부터 3일 경과한 지문까지는 Swedish black이 Dazzle orange보다 높은 평균 평가점수를 나타내었고, 7일 경과한 지문에서는 비슷한 점수를 나타내었으며, 14일 경과한 지문부터는 Dazzle orange가

Swedish black보다 높은 점수를 나타내었다.

### 3.3. Pseudo operational test 결과

HDPE와 LDPE 재질의 폴리에틸렌 봉투 표면을 설정한 구역에 따라 VMD, Swedish black powder, Dazzle orange powder로 처리해 본 결과 두 가지 표면 모두에서 Swedish black으로는 지문을 현출할 수 없었고, VMD와 Dazzle orange powder로는 지문을 현출할 수 있었다(Figs. 6-9). 그러나 VMD로 현출한 지문의 품질 보다 Dazzle orange powder로 처리한 지문의 품질이 떨어지는 것을 관찰할 수 있다.



Fig. 7. Results of developed fingerprints using Dazzle orange powder on the surface of a polyethylene envelope of high density polyethylene (HDPE).



Fig. 8. Results of developed fingerprints using vacuum metal deposition on the surface of a polyethylene envelope of low density polyethylene (LDPE). (A) Full picture. (B) an enlarged image of the part marked in A.

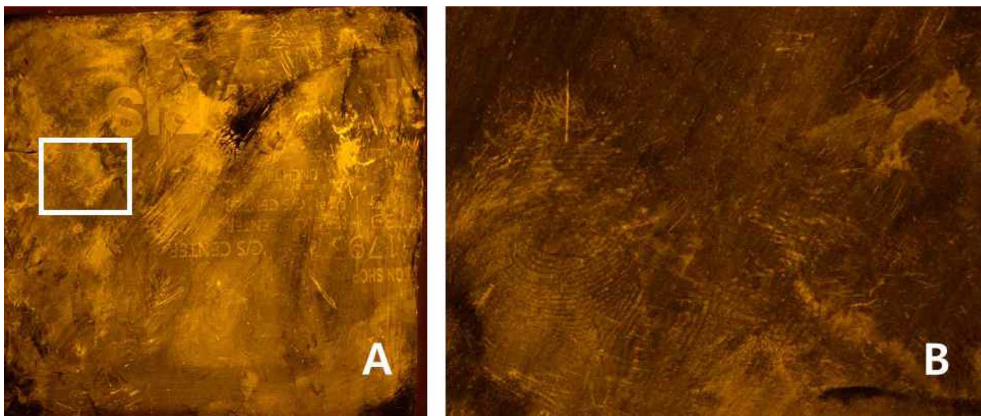


Fig. 9. Results of developed fingerprints using Dazzle orange powder on the surface of a polyethylene envelope of low density polyethylene (LDPE). (A) Full picture. (B) an enlarged image of the part marked in A.

#### 4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 금/아연 VMD, 형광분말, 흑색분말을 사용하여 분홍색 고밀도 폴리에틸렌 봉투(HDPE)

와 저밀도 폴리에틸렌 봉투(LDPE)에 유류된 지문의 현출 효과를 비교하였다. 먼저 VMD 기법 적용을 위하여 실험 검체에 알맞은 금의 최소 투입량을 탐색하였다. Table 1과 같이 HDPE 분홍색 택배봉투의 최소 금

투입량은 지름 0.15 Ø 0.5 mm이며, LDPE 분홍색 택배 봉투의 최소 금 투입량은 지름 0.25 Ø 1 mm이다.

지문이 유류된 HDPE 검체와 LDPE 검체를 최소 12시간부터 최대 28일간 실온에 보관한 뒤 금/아연 VMD, 형광분말, 흑색분말을 적용해본 결과 금/아연 VMD는 지문 Aging 기간 및 소재와 상관없이 우수한 현출 결과를 보였다. 하지만 Swedish black 분말의 경우 HDPE 봉투 표면에 유류된 지 2 주 경과된 검체부터 낮은 품질의 지문이 현출되었고 LDPE 봉투 표면에서는 전반적으로 좋은 품질의 지문을 얻어낼 수 없었다. Dazzle orange 분말은 HDPE 표면에서 전반적으로 좋은 현출 결과를 보였으나 28 일이 경과한 검체에서는 낮은 품질의 지문이 현출되었다. Pseudo-operation test 결과에서도 마찬가지로 Swedish black 분말로는 지문을 현출할 수 없었으나 금/아연 VMD, Dazzle orange 분말로는 식별 가능한 정도의 지문을 현출할 수 있었다.

서론부에서 서술한 바와 같이 VMD 증착에 사용되는 금속 입자는 매우 미세하기 때문에 표면에 지문 구성물질이 적게 남아있더라도 지문을 현출할 수 있다. 또한 Dazzle orange는 Swedish black에 비해 끈적이는 성질이 강하여 오래된 지문도 현출할 수 있었던 것으로 생각된다. 현장에서 발견되는 HDPE, LDPE 표면은 매우 다양하기 때문에 본 연구에서 확인한 금의 최소 투입량과는 맞지 않을 수 있다. 따라서 금/아연 VMD를 적용하기 전에 충분한 실험을 거쳐 표면에 맞는 금의 투입량을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 분말법만을 비교 대상으로 하였다. 비닐표면에 적용할 수 있는 다른 지문 현출 기법인 CA 훈증법과의 비교 연구도 필요할 것으로 보인다.

### 감사의 글

이 논문은 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행되었음.

### References

1. P. Durussel, E. Stauffer, A. Becue, C. Champod and P. Margot, *J. Forensic Ident.*, **59**(1), 80-96 (2009).
2. N. Jones, M. Stoilovic, C. Lennard and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **115**(1-2), 73-88 (2001).
3. N. Jones, D. Mansour, M. Stoilovic, C. Lennard and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **124**(2-3), 167-177 (2001).
4. H. Grant, E. Springer and Z. Ziv, 'Vacuum metal deposition inhibition on polythene bags. In: Almog J, Springer E, Eds., Proceedings of the International Symposium on Fingerprint Detection and Identification', Hemed Press, 1996.
5. N. Jones, M. Stoilovic, C. Lennard and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **123**, 5-12 (2001).
6. N. E. Masters and J. D. DeHaan, *J. Forensic Ident.*, **46**(1), 3245 (1996).
7. A. H. Misner, *J. Forensic Ident.*, **42**(1), 26-33 (1992).
8. G. W. Batey, J. Copeland, D. L. Donnelly, C. L. Hill, P. L. Laturmus, C. H. McDiarmid, K. J. Miller, A. H. Misner, A. Tario and A. B. Yamashita, *J. Forensic Ident.*, **48**(2), 165-175 (1998).
9. J. Flynn, M. Stoilovic and C. Lennard, *J. Forensic Ident.*, **49**(6), 594-612 (1999).
10. R. Ramotowski, 'Lee and Gaensslen's Advances in Fingerprint Technology', 3rd Ed., CRC Press, 2013.
11. P. T. Stroud, 'Some Comments on Finger Print Development by Vacuum Deposition', AWRE report Nuclear Research Note, 5/71 (1971).
12. P. T. Stroud, 'Further Comments on Finger Print Development by Vacuum Deposition' AWRE report Nuclear Research Note, 10/72 (1972).
13. CAST 'Fingerprint Source Book v2.0', 2nd ed., CAST Publication, 2017.
14. CAST 'Fingermark Visualisation Manual', 1st ed., VMD.21, CAST Publication, 2014.

### Authors' Position

Chaewon Kim	: Graduate Student
Narae Lee	: Graduate Student
Taewon Kim	: Graduate Student
Jeseol Yu	: Professor