

## Effect of silver (Ag) deposition before physical developer to develop latent fingerprints on wet paper

Wonyoung Lee, Min-Jeong Kang, Yoo-Jung Lee, and Je-seol Yu<sup>★</sup>

Graduate School of Forensic Science, Soonchunhyang University, 22-3,  
Soonchunhyang-ro, Asan, 31538, Korea

(Received October 5, 2022; Revised April 20, 2023; Accepted July 10, 2023)

### 젖은 종이류에서 잠재지문을 현출하기 위한 physical developer 전 은 (Ag) 증착의 효과

이원영 · 강민정 · 이유정 · 유제설<sup>★</sup>

순천향대학교 법과학대학원

(2022. 10. 5. 접수, 2023. 4. 20. 수정, 2023. 7. 10. 승인)

**Abstract:** Latent fingerprints on wet paper cannot be developed using amino acid reaction reagents. Therefore, physical developer (PD) or lipid staining reagents like oil red O (ORO) should be utilized. However, ORO is not very effective in developing fingerprints that are older than approximately 4 weeks. On the other hand, PD performs well in developing older fingerprints, but it cannot do so for relatively fresh fingerprints. Additionally, PD has the disadvantage of taking a long time to develop fingerprints. In this study, in order to overcome the limitations of PD, we attempted to increase its reactivity by applying Ag-PD, which involves depositing silver onto paper using vacuum metal deposition (VMD), and compared this with fingerprints developed using ORO and PD. As a result, Ag-PD showed superior fingerprint development compared to ORO and PD on wet paper stored for 2~8 weeks, and the fingerprint development time for PD was significantly reduced to 90~150 seconds.

**요약:** 젖은 종이류에서는 아미노산 반응 시약으로 지문을 현출할 수 없어 oil red O (ORO)와 같은 지질 염색 시약 또는 physical developer (PD)를 적용해야 한다. 그러나 ORO는 4주 이상 된 오래된 지문에서 효과적이지 않다. 반면 PD는 오래된 지문을 잘 현출하지만 비교적 최근에 남겨진 지문에서는 효과적이지 아니며, 지문 현출에 오랜 시간이 소요된다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 PD의 한계를 해결하기 위해 vacuum metal deposition (VMD)으로 은을 증착한 후 PD를 적용하여(Ag-PD) PD의 반응성을 높이 고자 하였고, 이를 ORO, PD로 현출한 지문과 비교하였다. 그 결과, Ag-PD는 2~8주 동안 보관된 젖은 종이에서 ORO, PD보다 우수한 지문 현출력을 보였으며 PD의 지문 현출 시간은 90~150 초로 대폭 감소하였다.

**Key words:** physical developer, Ag deposition, fingerprints, wet paper, forensic sciences

<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

종이류는 범죄 현장에서 발견할 수 있는 표면 중 하나이다. 종이류에서 지문을 현출하기 위해서는 일반적으로 ninhydrin,<sup>1</sup> 1,2-indanedione/zinc,<sup>2</sup> 1,8-diazafluoren-9-one<sup>3</sup>과 같은 아미노산 반응 시약을 사용한다.<sup>4</sup> 그러나 종이류가 물에 젖었다면 아미노산이 용해되어 위와 같은 시약으로 지문을 현출할 수 없으므로 물에 용해되지 않는 지질을 염색하는 시약의 사용이 권고된다.<sup>1</sup>

Oil red O (ORO)와 Nile red (NR)은 지질을 염색하는 시약으로, 잠재지문의 기름이나 피지 성분과 반응할 수 있어 젖은 종이류에서 지문을 현출할 때 사용할 수 있다.<sup>5,7</sup> 그러나 지질은 공기에 노출되는 시간이 길어질수록 산화되고 분해되므로 지질 염색 시약은 남겨진 지 4주 이상 된 지문에 효과적이지 않다.<sup>6,8</sup> 또한 NR로 현출한 지문은 시약 처리 후 1시간 이내에 형광이 소실되어 지문을 더 이상 관찰할 수 없다는 단점이 있다.<sup>6</sup>

Physical developer (PD) 또한 젖은 종이류에서 지문을 현출하기 위해 사용하는 시약이다.<sup>9</sup> PD가 어떤 물질과 반응하여 지문을 현출하는지 정확히 알려진 바가 없지만,<sup>10,11</sup> PD 시약 내에 포함되어 있는 은(Ag)이 용선 부위에 선택적으로 침전되어 지문을 회색으로 현출하는 것으로 알려져 있다.<sup>12</sup> PD는 ORO와 NR보다 젖은 종이류에서 지문을 현출하는 데 효과적이라 여겨진다.<sup>6,13</sup> 다만 지문이 남겨진 시간을 고려하여 PD의 효과성을 분석한 연구에서는 남겨진 지 4주 이내의 지문의 경우 ORO보다 현출력이 떨어진다고 보고하였다.<sup>8,14</sup> 또한 PD는 지문을 현출하기 위해 약 10~30분 동안 시약을 처리해야 하며, 처리 중 지문이 과현출되지 않도록 검체를 지속적으로 지켜보아야 하는 문제가 있다.<sup>10</sup>

본 연구는 4주 이내의 지문에서 PD가 ORO보다 지문을 높은 품질로 현출하고 시약을 오랫동안 처리해야 하는 불편함을 해결하기 위해 PD의 반응성을 개선하는 것에 초점을 맞추었다. PD는 은이 부착된 부위에 빠르게 침전되는 특성을 가진다.<sup>15</sup> 이러한 특성을 이용하여 vacuum metal deposition (VMD)으로 종이에 은을 증착시켜 PD의 반응성을 개선하고자 하였다. 이후 ORO, PD와 비교하여 Ag-PD의 효과성을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시약 및 기구

Silver (I) nitrate, ammonium iron (II) sulfate hexahy-

drate, iron (III) nitrate nonahydrate, citric acid anhydrous는 대정(Korea) 제품을, Tween<sup>®</sup> 20은 Sigma (Germany) 제품을, dodecylamine acetate는 Tgi (Japan) 제품을, oil red O powder는 Sirchie (USA) 제품을, sodium hydroxide beads, sodium carbonate는 덕산(Korea) 제품을 사용하였다. VMD system은 더원과학(Korea)의 The1-VMD를, 은(Ag)은 99.99% 순도를 가진 제품을 사용하였다. 카메라는 Nikon (Japan)의 D5300에 Nikon (Japan)의 AF micro nikkor, 105 mm, 1:2.8 D lens를 장착하여 사용하였다.

### 2.2. 지문 유류 및 보관

성인 여성 2명이 지문을 유류하였다(IRB number: 1040875-202204-SB-053). 지문 공여자는 지문을 남기기 전 손을 씻은 다음 이마나 코를 문질러 지문을 유류하였다. 지문을 유류한 표면으로는 복사용지(Double A, Thailand), 갱지(Sangwoo art, Korea), 모조지(Youngsin paper, Korea), 크라프트지(Youngsin paper, Korea)를 사용하였다. 지문은 겹치지 않게 연속적으로 6회 유류하여 depletion series를 만든 후 증거물을 적실 수 있는 액체 중 가장 흔하게 접할 수 있는 수돗물에 침지하였다. 침지 시간은 예비실험에서 아미노산 반응 시약으로 지문을 현출할 수 없었던 1분으로 설정하였다. 복사용지는 실험실 환경에서 1시간(fresh), 2주, 4주, 6주, 8주 동안 상온 보관하였고, 갱지(newsprint paper), 모조지(vellum paper), 크라프트지(kraft paper)는 1주간 상온 보관하였다.

### 2.3. 시약 제조 및 기법의 적용

ORO working solution은 oil red O powder 1.54 g을 methanol 770 mL에 먼저 녹이고, 그 용액에 sodium hydroxide 9.2 g을 RO-DI water 230 mL에 녹인 용액을 첨가하여 제조하였다. ORO buffer solution은 sodium carbonate 26.5 g과 nitric acid 18.3 mL를 RO-DI water 2.5 L에 녹여서 제조하였다. ORO는 ORO working solution에 검체를 60~90분간 적용한 후, ORO buffer solution에 2분간 침지하는 방법으로 적용하였다.<sup>5</sup>

PD working solution은 redox solution 900 mL에 detergent solution 40 mL, silver nitrate solution 50 mL를 첨가하여 제조하였다. Redox solution은 은 이온을 환원시키는 역할을 하며, iron (III) nitrate nonahydrate 30 g과 ammonium iron (II) sulfate hexahydrate 80 g, citric acid anhydrous 20 g를 RO-DI water 900 mL에 녹여 제조하였다. Detergent solution은 은 이온이 지문

유류물 이외에 다른 물질들과 반응하지 않도록 하기 위해 첨가하며, dodecylamine acetate 1.5 g과, Tween® 20 1.5 mL을 RO-DI water 1 L에 녹여서 제조하였다. Silver nitrate solution은 silver nitrate 10 g을 RO-DI water 50 mL에 녹여서 제조하였다. Acid prewash solution은 maleic acid 25 g을 RO-DI water 1 L에 녹여서 제조하였다. PD는 검체를 3차 증류수에 10분간 washing하고 10분간 acid prewash solution을 처리한 후에 PD working solution으로 최대 30분간 적용하였다. 지문의 용선이 적절히 현출되거나 표면이 어두워져 용선과의 대조비가 낮아질 경우 PD 적용을 중단하였다.<sup>10</sup> 이후 RO-DI water로 PD working solution이 완전히 제거되도록 검체를 회당 10분씩 2번 세척하였다.<sup>16</sup>

Ag-PD는 VMD 챔버 내의 압력을  $1.0 \times 10^{-4}$  torr 이하로 낮추어 종이 표면에 은 0.5 mg 또는 1.0 mg을 증착한 후 위와 동일한 방법으로 PD를 적용하였다. PD 적용 시간은 표면에 은이 침전되지 않고 용선이 적절히 현출되도록 60초에서 450초간 적용하였다.<sup>10,12</sup>

#### 2.4. 지문 촬영

현출한 잠재지문은 24시간 건조 후 백색 형광등 아래에서 촬영하였다. 카메라는 M mode에서 F/11, ISO 감도 400, 노출 시간 1/5 초로 설정하였다.

#### 2.5. 지문 품질 평가

현출한 지문의 품질은 3명의 평가자가 scientific working group on friction ridge analysis, study and technology (SWGFAST)의 가이드라인에서 제시한 방법을 사용하여 평가하였다(Table 1).<sup>17</sup> SWGFAST지문

Table 1. Standards for examining fingerprints recommended by SWGFAST<sup>17</sup>

Grade	Comments
0	No visible print;
1	Level 1 may not be distinct;
(Low)	Most of the Level 2 details are indistinct; There are no distinct Level 3 details
2	Level 1 is distinct;
(Medium low)	Few of the Level 2 details are distinct; There are minimal distinct Level 3 details
3	Level 1 is distinct;
(Medium high)	Most of the level 2 details are distinct; There are minimal distinct Level 3 details
4	Level 1 is distinct;
(High)	Level 2 details are distinct; There are abundant distinct Level 3 details

평가법은 지문의 특징을 세 단계(Level)로 구분하여 각 단계에 해당하는 특징이 관찰되는 여부에 따라 점수를 부여한다. 각 단계는 지문 용선의 전반적인 흐름 및 문형이 관찰되는지(Level 1), 분기점, 끝점 등과 같은 지문의 특징점(minutiae)이 관찰되는지(Level 2), 지문 용선의 가장자리 형태, 땀구멍, 주름, 흉터 등과 같은 작은 특징들이 관찰되는지(Level 3)로 구분되며, 관찰되는 Level에 따라 0~4점으로 부여한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 은 증착 후 PD의 반응성

PD는 은이 부착된 부위에 빠르게 침전된다.<sup>15</sup> 이러한 특성을 활용하여 검체에 VMD로 은을 증착하였을 때 PD의 반응성이 높아질 것이라 가정했다. 이를 검증하기 위해 종이에 지문을 남긴 후 반으로 나누어 각각 은 0.5 mg과 1.0 mg을 사용하여 증착한 후 1분간 PD를 처리하는 실험을 5회 반복하였다. 실험 결과, 1.0 mg보다 0.5 mg의 은을 증착하였을 때 더 높은 품질의 지문을 현출하였으며, 1.0 mg의 은을 사용한 경우 용선뿐만 아니라 표면에서도 PD가 빠르게 침전하여 용선을 식별하기 어려웠다. 이를 통해 은을 먼저



Fig. 1. Fingerprints left on wet paper developed by Ag-PD (left: 0.5 mg of silver deposited, right: 1.0 mg of silver deposited.).

증착할 경우 PD의 반응성이 높아지는 것을 확인하였다. 반면, 은을 과량 증착할 경우 PD의 반응성이 너무 높아져 용선을 적절히 현출하지 못하였다(Fig. 1). 이 결과를 바탕으로 이후 실험에서는 은의 사용량을 0.5 mg으로 제한하였다.

지문과 표면에 동시에 은을 증착했음에도 불구하고 PD가 지문에서 강한 은 침전반응을 한 이유는 증착된 은 입자 크기에 따른 반응속도의 차이로 추정된다. 은이 증착된 표면에서 PD가 지문을 현출하는 원리를

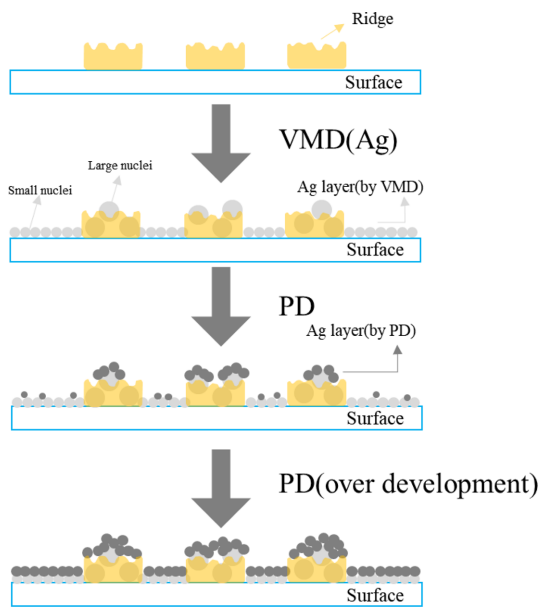


Fig. 2. Schematic representation of the development of fingerprints on wet paper using Ag-PD.

Fig. 2에 제시하였다. VMD를 이용하여 표면에 금속을 증착할 경우 작은 핵(nuclei)이 형성되지만, 지문 유류물 내에서는 그보다 더 큰 핵이 형성된다.<sup>18</sup> 이후 PD를 처리하면 큰 핵에서 은이 더 빠르게 침전되어 용선이 표면보다 더 짙은 회색을 띠는 잠재지문이 현출된다.

### 3.2. 은 증착 후 PD 적용 시간

일반적으로 PD의 적정 적용 시간은 10분에서 30분 사이이다.<sup>10</sup> 그러나 은을 증착하면 PD가 더 빠르게 침전되므로 기존의 PD 적용 시간을 그대로 사용할 수 없다. 처리 시간이 길어질수록 용선이 아닌 표면에서도 은의 침전이 발생하였으며, 300초 이상 적용한 경우 표면의 일부에서 은이 침전되어 얼룩이 관찰될 뿐만 아니라 표면이 전체적으로 어두워져 용선과의 대비가 좋지 않았다. 또한, 450초 이상 적용한 경우 표면에 상당량의 은이 침전되어 용선과 표면을 적절히 구분할 수 없었다(Fig. 3). 이를 고려하여 본 실험에서는 은을 증착한 후 PD 적용 시간을 달리하여 적정 시간을 탐색하였다.

실험 결과, 은을 증착한 후 용선을 선명하게 현출하기 위한 적정 PD 적용 시간은 90~150초였다. 이는 은의 증착량 및 잠재지문의 상태, 지문의 보관환경에 따라 변동될 수 있으나, 기존의 PD 적용 시간인 10~30분보다 단축된 적용 시간이다.

### 3.3. Ag-PD와 타 기법과의 비교

물에 젖은 종이류에서 Ag-PD가 효과적으로 지문을 현출할 수 있는지 확인하기 위해 젖은 다공성 표면에

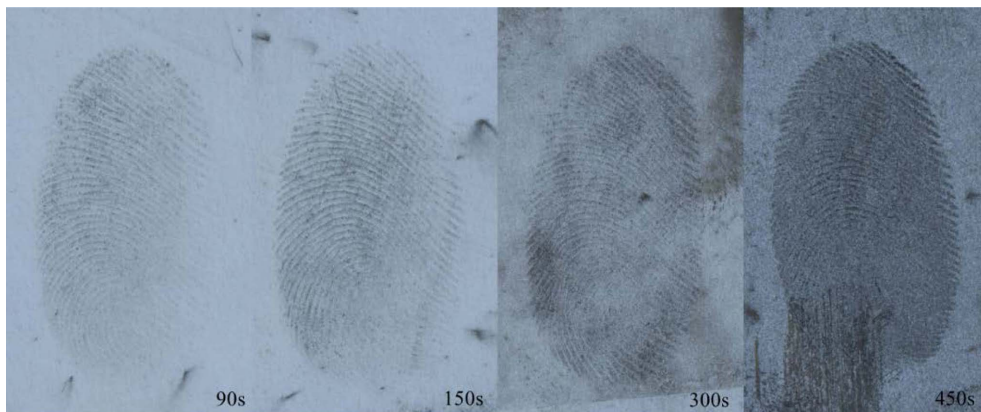


Fig. 3. Changes in the quality of fingerprints on wet paper developed with increasing PD processing time in Ag-PD. The fingerprints were treated for different durations (90 seconds, 150 seconds, 300 seconds, and 450 seconds from the left).

서 적용할 수 있는 기법인 ORO, PD와 비교실험을 진행하였다. 세 가지 기법을 동일한 지문에서 비교하기 위해 하나의 지문을 삼등분하여 각 기법을 적용하였고, 이를 8회 반복하였다.

Fig. 4는 depletion과 노화 수준의 구분 없이 각 기법이 현출한 지문의 평균 품질 점수에 대한 그래프이다. 실험 결과, Ag-PD로 현출한 지문은 평균적으로 ORO, PD보다 높은 품질을 보여주었다.

PD로 현출한 지문의 품질은 Level 1을 식별할 수 없을 정도로 낮았다. PD로 지문을 적절하게 현출하기

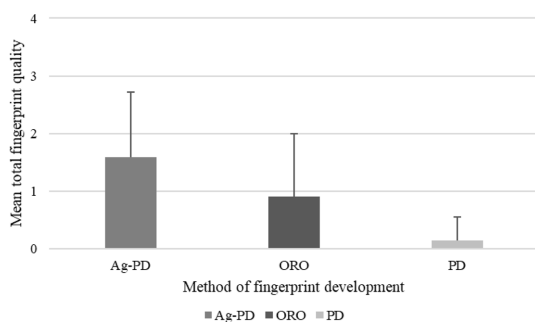


Fig. 4. Average quality scores evaluated after developing Ag-PD, ORO, and PD for fingerprints left on wet paper.

위해서는 약 17 °C 이상의 대기온도를 필요로 한다.<sup>19,20</sup> 본 연구 기간 동안 실험실 내부의 온도는 15 °C, 상대 습도는 20 % 내외였다. 따라서 PD가 충분히 반응하기 위한 온도에 도달하지 못하여 낮은 현출력을 보인 것으로 추측된다. 반면, Ag-PD는 동일한 PD 용액을 사용하였음에도 불구하고 더 좋은 현출력을 보였다. 이를 통해 은을 증착할 경우 PD의 반응성이 높아져 낮

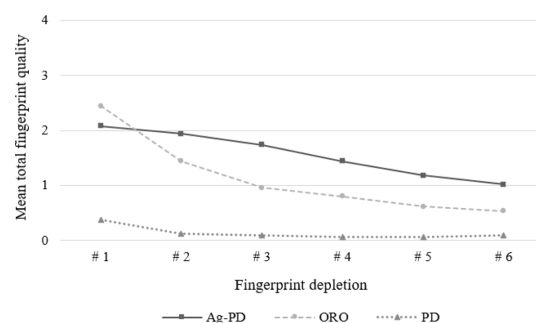


Fig. 5. The mean quality score of fingerprints on wet paper developed using different techniques was analyzed and classified based on their respective depletion numbers. The analysis excluded fingerprint age as a variable to see only the effect on the amount of fingerprint residue.

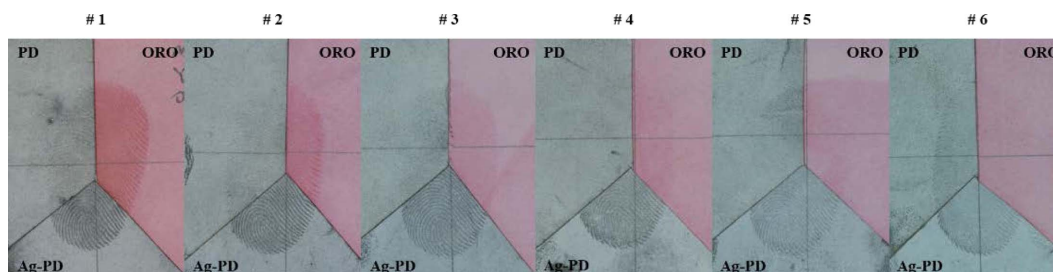


Fig. 6. Fingerprints aged for 8 weeks on wet paper were split into three part and developed by ORO, PD, and Ag-PD. #number means depletion number.

Table 2. After categorizing the fingerprints as depletions, the quality of fingerprints obtained by different techniques was statistically analyzed within each depletion. ANOVA analysis showed that the results were all significant with a p-value of less than 0.05, and the equal variance test also showed a p-value of less than 0.05. Therefore, Dunnett T3 post hoc analysis was conducted

Method (I) - (J)	Depletion	Mean Difference (I-J)					
		#1	#2	#3	#4	#5	#6
Ag-PD - ORO		-.186	.876*	1.062*	.943*	.805*	.619*
Ag-PD - PD		1.790*	1.895*	1.652*	1.390*	1.100*	.867*
ORO - PD		1.976*	1.019*	.590*	.448*	.295*	.248*

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

은 온도에서도 지문을 현출할 수 있음을 확인하였다.

3.3.1. 지문 유류물의 양

지문 유류물의 양에 따른 반응성을 평가하기 위해, 위에서 현출했던 지문들을 depletion에 따라 분류한 후 그 품질을 분석하였다. Fig. 5는 지문 보관 기간을 고려하지 않고 depletion에 따른 지문의 품질 점수를 평균값으로 나타낸 그래프이고, Fig. 6은 1<sup>st</sup>~6<sup>th</sup> depletion의 지문을 각 기법으로 현출한 결과 중 일부이다. 1<sup>st</sup> depletion에 해당하는 지문의 품질 평균값은 ORO가 가장 높았지만, Ag-PD와는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.186$ , Table 2). 반면 2<sup>nd</sup>~6<sup>th</sup> depletion에 해당하는 지문에서는 Ag-PD가 가장 높은 현출력을 보였으며 ORO, PD와 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ). ORO는 1<sup>st</sup>~6<sup>th</sup> depletion에서 PD와 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ). 결과적으로 Ag-PD는 지문 유류물이 감소함에 따라 ORO와 PD보다 더 높은 품질의 지문을 현출하는 것을 확인하였다.

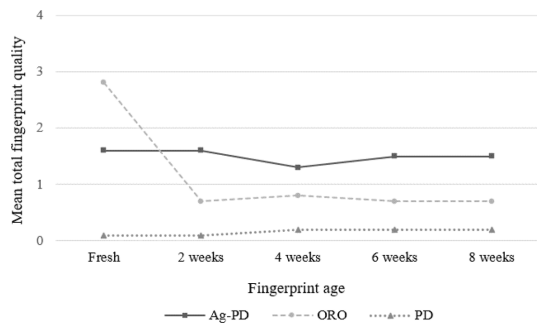


Fig. 7. The mean quality score of fingerprints on wet paper developed by different techniques was analyzed and classified based on their aging. The analysis excluded depletion number as a variable to see only the effect on the aging of fingerprints.

3.3.2. 지문의 노화

Ag-PD가 현출하는 지문의 품질이 지문 노화 수준에 따라 변화하는지 확인하기 위해, 보관 기간에 따라 지문을 분류하여 분석하였다. Fig. 7은 depletion을 고려하지 않고, 지문 보관 기간에 따른 지문의 품질 점수를 평균값으로 나타낸 그래프이고, Fig. 8은 남겨진 지 1시간 된 신선한 지문과 8주 동안 보관된 지문을 각 기법으로 현출한 결과 중 일부이다. 신선한 지문에서는 ORO가 가장 높은 품질 점수를 보였으며 Ag-PD, PD와 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ , Table 3). 반면 남겨진 지 2주에서 8주 동안 보관된 지문에서는 Ag-PD가 가장 높은 평균 품질 값을 보였으며 ORO, PD와 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ). ORO는 모든 보관 기간에 대해 PD와 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ). 결과적으로 남겨진 지 1시간 이내의 신선한 지문에서는 ORO가, 노화된 지문일수록 Ag-PD가 우수한 품질의 지문을 현출

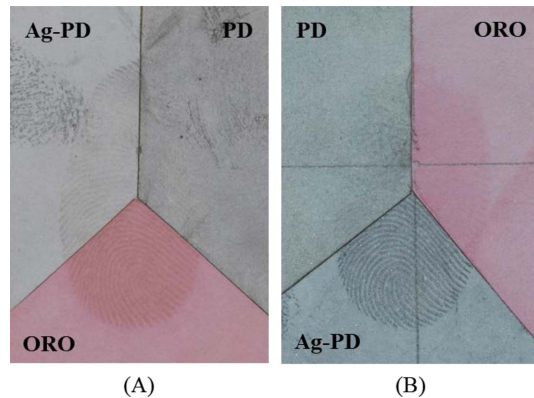


Fig. 8. Fresh fingerprints (A) and fingerprints aged for 8 weeks (B) left on wet paper were split into three parts and developed by ORO, PD and Ag-PD. The fingerprint shown above was selected from one of the samples classified with 3<sup>rd</sup> depletion.

Table 3. After categorizing the fingerprints as aging, the quality of fingerprints obtained by different techniques was statistically analyzed within each depletion. ANOVA analysis showed that the results were all significant with a p-value of less than 0.05, and the equal variance test also showed a p-value of less than 0.05. Therefore, Dunnett T3 post hoc analysis was conducted.

		Mean Difference (I-J)				
Fingermark age		Fresh	2 weeks	4 weeks	6 weeks	8 weeks
Method (I) - (J)	Ag-PD - ORO	-1.222*	1.375*	.503*	.778*	.806*
	Ag-PD - PD	1.463*	2.056*	1.090*	1.292*	1.354*
	ORO - PD	2.685*	.681*	.587*	.514*	.549*

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

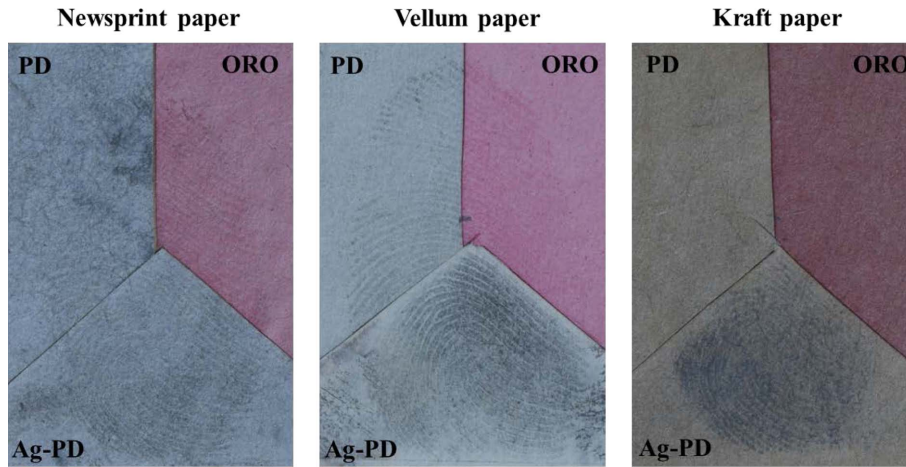


Fig. 9. Fingerprints immersed in water left on different type of wet papers were split into three parts and developed by ORO, PD, and Ag-PD. The fingerprint shown above was selected from one of the samples that had been aged for one week and classified with 3<sup>rd</sup> depletion.

하는 것을 확인하였다.

### 3.4. 지문이 남겨진 종이의 종류

위 실험 결과들을 통해 젖은 종이에서 Ag-PD가 ORO, PD보다 지문 현출력이 높음을 확인했다. 그러나 위의 실험 결과들은 모두 복사용지에 한정되어 있다. 범죄 현장에서는 다양한 재질의 종이류가 채증될 수 있으므로, 다른 종이류에서도 동일한 결과가 재현되는지 확인하고자 하였다. 이를 검증하기 위해 갱지, 모조지, 크라프트지에도 동일하게 지문을 유류하여 실험하였으며, 실험 결과 Fig. 9와 같이 복사용지 외에도 갱지, 모조지, 크라프트지에서 Ag-PD가 ORO와 PD보다 더 좋은 품질의 지문을 현출하는 것을 확인하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 젖은 종이류에서 oil red O (ORO)를 대체하기 위해 physical developer (PD)의 감도를 높이기 위한 방법으로 은을 증착하고 PD를 처리하는 방법 (Ag-PD)을 제안하였고, 기존의 PD보다 다양한 이점이 있음을 확인하였다.

첫째, 2~8주 동안 노화된 지문에서 Ag-PD가 ORO, PD보다 높은 품질로 지문을 현출하였다. 이는 지문이 남겨진 후 4주라는 기점으로 이전에는 ORO, 이후에는 PD를 사용해야 하는 기존의 한계를 해결할 수 있다. 둘째, 10~30분이 소요되던 PD 처리 시간이 90~150초 내외로 대폭 감소하였다. 물론 vacuum metal deposition

(VMD)으로 은을 증착하는 시간을 포함한다면 처리에 소요되는 시간은 비슷할 수 있다. 그러나 PD 용액을 처리한 후부터는 지문의 과현출이 발생하지 않도록 지속적으로 관찰해야 하는, 꼭 필요하지만 시간 소모적이었던 절차가 짧아졌다는 점에 의의가 있다. 또한 VMD는 다량의 검체에 동시에 은을 증착할 수 있으므로 여러 검체를 처리할 경우 그 이점이 두드러진다. 셋째, 유류물이 적은 지문도 ORO, PD보다 높은 품질로 현출할 수 있었으며 넷째, 17 °C 이하의 환경에서도 Ag-PD로 지문을 현출할 수 있음을 확인하였다. 기존의 PD는 17 °C 이하의 환경에서 지문을 적절히 현출할 수 없다. 이전의 PD 연구들은 PD가 반응하기에 적합한 온도에서 수행된 것으로, 우리나라의 겨울과 같이 환경적인 문제로 충분한 온도를 갖출 수 없다면 본 연구의 PD 결과처럼 지문이 현출되지 않는다. 그러나 은을 증착하면 반응성이 높아져 동일한 PD 용액으로도 온도에 영향을 덜 받고 지문 현출이 가능함을 확인하였다.

Ag-PD는 지문의 노화 수준 및 처리 환경과 무관하게 일관된 품질로 지문을 현출할 수 있으므로, 지문이 남겨진 시기나 유류물의 양, 실험실의 온도에 대한 고민 없이 사용할 수 있는 좋은 선택지가 될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

## References

1. A. Becue, S. Moret, C. Champod, and P. Margot, *Bio-tech. Histochem.*, **86**(3), 140-160 (2011). <https://doi.org/10.3109/10520290903462838>
2. X. Spindler, R. Shimmon, C. Roux, and C. Lennard, *Forensic Sci. Int.*, **212**(1-3), 150-157 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.06.005>
3. V. D'Elia, S. Materazzi, G. Iuliano, and L. Niola, *Forensic sci. Int.*, **254**, 205-214 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.07.036>
4. R. S. Croxton, M. G. Baron, D. Butler, T. Knet, and V. G. Sears, *Forensic Sci. Int.*, **199**, 93-102 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.03.019>
5. A. Beaudoin, *J. Forensic Identif.*, **54**(4), 413-421 (2004).
6. K. Braasch, M. de la Hunty, J. Deppe, X. Spindler, A. A. Cantu, P. Maynard, C. Lennard, and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **230**, 74-80 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.03.041>
7. A. A. Frick, P. Fritz, S. W. Lewis, and W. van Bronswijk, *J. Forensic Identif.*, **62**(6), 623-641 (2012).
8. J. Salama, S. Aumeer-Donovan, C. Lennard, and C. Roux, *J. Forensic Identif.*, **58**(2), 203-237 (2008).
9. J. L. Coulston, V. Sears, S. Bleay, and A. R. Hilman, *Forensic Sci. Int.*, **333**, 111-195 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111195>
10. M. de la Hunty, S. Moret, S. Chadwick, C. Lennard, X. Spindler, and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **257**, 481-487 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.06.034>
11. M. de la Hunty, S. Moret, S. Chadwick, C. Lennard, X. Spindler, and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **257**, 488-495 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.08.029>
12. S. A. Hardwick, 'User Guide to physical developer - A reagent for detecting latent fingerprints', HOSDB User Guide No. 14/81 (1981).
13. R. K. Simmons, P. Deacon, and K. J. Farrugia, *J. Forensic Identif.*, **64**(2), 157-173 (2014).
14. A. Rawji and A. Beaudoin, *J. Forensic Identif.*, **56**(1), 33-54 (2006).
15. H. C. Lee and R. E. Gaensslen, 'Advances in fingerprint technology', 2nd Ed., CRC Press, Boca Raton, U.S.A. (2001). <https://doi.org/10.1201/9781420041347>
16. R. Ramotowski, 'Lee and Gaensslen's advances in fingerprint technology', 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton, U.S.A., 2013. <https://doi.org/10.1201/b12882>
17. Scientific Working Group on Friction Ridge Analysis, Study and Technology, 'Document #10: Standards for Examining Friction Ridge impressions and resulting conclusion (Latent/Tenprint)', Ver. 2.0, 2013.
18. T. Szczepański, U. Więckiewicz, B. Konior, and P. Puculek, *Issues of Forensic Science*, **308**(2), 5-11 (2020). <https://doi.org/10.34836/pk.2020.308.1>
19. S. Bleay, V. Sears, R. Downham, H. Bandey, V. Bowman, L. Fitzgerald, T. Ciuksza and C. Selway, 'Fingerprint Source Book v2.0', 2nd Ed., Home Office, London, 2017.
20. S. Wright, 'Replacement of Synperonic®-N within Physical Developer', HOSDB Student Placement Internet Report (2006).

---

**Authors' Positions**

Wonyoung Lee : Graduate Student  
 Min-Jeong Kang : Graduate Student  
 Yoo-Jung Lee : Graduate Student  
 Je-seol Yu : Professor