

Identifying the potential target substance of physical developer (PD) for reagent reliability test and a study on storage period of TWEEN[®] 20 based PD working solution

Soo-Jeong Ahn, Ye-jin Lee, and Je-Seol Yu[★]

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

(Received December 18, 2022; Revised January 20, 2023; Accepted February 2, 2023)

Physical Developer(PD)의 신뢰성 테스트(reagent reliability test)를 위한 타겟물질 탐색과 TWEEN[®] 20 기반 PD 작업용액의 보관기간에 관한 연구

안수정 · 이예진 · 유제설[★]

순천향대학교 법과학대학원

(2022. 12. 18. 접수, 2023. 1. 20. 수정, 2023. 2. 2. 승인)

Abstract: Physical developer (PD) is an effective technique that can develop fingerprints even on wet or very old paper. However, it has not been known which substance reacts with PD. Also, the timing of optimization according to the storage period of the PD working solution has not been known. The present research has done a spot test with 7 eccrine components and 5 sebaceous components that known as fingerprint components and figured out the mixture of palmitic acid and lysine gave the strongest positive reaction. Also, paper treated with PD was treated in 1,2-indanedione/zinc (1,2-IND/Zn) working solution and showed lysine was not dissolved in water. To find out the timing of optimization according to the storage period of the TWEEN[®] 20 based PD working solution, the mixture of palmitic acid and lysine was used for the target of reagent reliability test. As the result, working solution of 14 days storage period showed better result than other working solutions.

요약: Physical developer (PD)는 젖었거나 탄화된 종이의 지문, 그리고 매우 오래된 종이의 지문까지도 현출할 수 있는 효과적인 기법이다. 하지만, 어떤 물질과 반응하는지 밝혀지지 않았고 작업용액의 보관 기간에 따른 최적화 시점 또한 알려지지 않았다. PD를 좀 더 효과적으로 활용하기 위해서는 이 두가지 이슈를 해결해야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 지문을 구성하는 것으로 알려진 수용성 물질 7가지와 지용성 물질 5가지로 spot test를 하였고 그 중 palmitic acid와 lysine의 혼합물이 PD와 가장 강하게 반응한다는 것을 알아내었다. 또한, 1,2-indanedione/zinc (1,2-IND/Zn) 용액을 처리하여 lysine이 용해되지 않았음을 확인하였다. 이 두 물질의 혼합물을 PD 작업용액의 지문 현출 성능을 시험하기 위한 신뢰성 테스트

[★] 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.

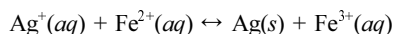
트(reagent reliability test)의 타겟물질로 활용하여 TWEEN[®] 20 기반 PD 작업용액의 보관기간에 따른 최적화 시점을 확인하였다. 그 결과, 14일이 지났을 때 가장 뛰어난 결과를 나타냈으며 그 이후부터는 반응이 점점 약해졌다.

Key words: fingerprint, physical developer, reagent reliability test, storage period

1. 서 론

Physical developer (PD)는 1979년 Morris와 Wells에 의해 개발된 은(silver) 기반의 지문 현출 기법이다.¹ 종이와 같은 다공성 표면에서 지문을 현출하는 기법이며, 젖었거나 높은 습도에 노출되었던 지문, 탄화된 종이의 지문 그리고 50년 이상된 매우 오래된 잠재지문까지도 효과적으로 현출할 수 있다.²

이 기법은 은과 두 종류의 철 이온(Fe^{2+} , Fe^{3+})의 산화-환원 반응을 통해 작용한다. 아래와 같이 2가 철 이온(Fe^{2+})이 은 이온(Ag^+)을 환원시켜 은 입자(Ag)로 만든다.³



이렇게 생성된 은 입자는 작업용액의 산성 환경에서 양전하를 띠는 지문 구성물질에 부착되고 부착된 은 입자가 다른 은 입자를 끌어당겨 잠재지문을 현출해낸다.⁴

PD와 관련해서는 주로 두 가지 큰 이슈가 다루어지는데, 첫 번째는 PD의 타겟물질에 관한 것이고 두 번째는 작업용액(working solution)의 최적화 시점에 관한 것이다. PD가 지문 구성 물질 중에서 어떤 물질과 반응하는지 아직은 정확히 알려져 있지 않다. 과거에는 PD가 지질성분에 반응하는 것으로 알려져 있었지만, spot test를 통해 지문 유류물 중 지질 성분과 선택적으로 결합하는 것이 아니라는 사실이 밝혀졌다.² PD가 콜레스테롤(cholesterol)에 반응했지만 콜레스테롤이 시간이 지남에 따라 분해된다는 점과 PD가 오래된 지문을 현출할 수 있다는 점을 고려하면 콜레스테롤이 PD의 유일한 타겟물질이 아니라는 것을 알 수 있었다.² PD와 1,2-indanediolone/zinc (1,2-IND/Zn)의 결과 비교를 통해 PD가 땀구멍에서 분비되는 유류물에 선택적으로 반응한다는 사실을 보여주는 연구 결과도 있다.⁵ 연구결과에 따르면 아미노산과 반응하는 1,2-IND/Zn과 동일하게 PD도 모공 부분에서 반응이 증가했지만 ethanol로 지질 성분을 제거한 후에는 PD와

반응하지 않았다.⁵ 이를 통해 연구진들은 PD가 지문 유류물의 비수용성 물질에 의해 물에 용해되지 않도록 보호된 eccrine 구성 물질에 반응하는 것일 수 있다고 주장하였다.⁵ 그러나 정확한 PD의 타겟물질을 알아내기 위해서는 추가연구가 필요하다.

두 번째 이슈는 작업용액의 최적화 시점에 관한 것인데, PD는 제조 시 사용하는 계면활성제의 종류에 따라서 사용 보관 기간이 다른 것으로 알려져 있다. 계면활성제로 Synperonic[®] N을 사용한 PD 작업용액은 Fingerprint Visualisation Manual에 따르면 제조 후 5일까지 사용 가능하고⁶ 다른 연구에 따르면 제조 후 10~15일까지도 사용 가능하다고 한다.⁷ 반면, TWEEN[®] 20을 사용한 PD 작업용액은 제조 후 대략 2개월 반 정도까지는 보관하여 사용할 수 있다고 보고된 바 있다.⁷ 또한, TWEEN[®] 20을 사용한 작업용액의 경우 제조 후 24~48시간이 지나야 지문 현출이 가능하다고 알려져 있다.⁷ 다른 연구에서는 TWEEN[®] 20을 사용한 작업용액을 7~8주보다 짧게 보관했다면 지문 현출 시간이 10분보다 짧고, 9~10주 이상 보관했다면 20분 이상 걸린다고 하였다.⁸ 하지만 아직 PD의 작업용액을 얼마나 보관했을 때 최적의 결과를 나타내는데 대한 데이터가 충분하지 않다. 이런 상태에서 연구자들은 PD 작업용액의 성능을 사용 전에 미리 시험해 볼 수 있는 신뢰성 테스트(reagent reliability testing) 방법을 제안하고 있다.⁹ 이러한 예비 테스트는 염화금(gold chloride, $AuCl_3$) 또는 EDTA tetrasodium salt의 spot test를 통해서 이루어지는데 이 물질들이 실제 지문 구성성분과는 전혀 다른 물질이기 때문에 PD와 잘 반응했다고 해서 실제 지문과도 잘 반응할 것이라고 말하기는 어렵다.⁹

본 연구에서는 이 두가지 주요 이슈를 연결하여 PD의 신뢰성 테스트(reagent reliability testing)를 위한 타겟물질을 탐색한 후, 이를 활용하여 시간경과에 따른 TWEEN[®] 20 기반 PD 작업용액의 지문현출 성능을 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

지문 구성물질 중 수용성 물질은 sodium chloride (DAEJUNG, Korea), urea (SIGMA ALDRICH, USA), serine (SAMCHUN, Korea), lysine (SIGMA ALDRICH, USA), glycine (DAEJUNG, Korea), methionine (SHOWA, Japan), glutamic acid (DAEJUNG, Korea)를 사용하였다. 지용성 물질은 stearic acid (SAMCHUN, Korea), palmitic acid (SAMCHUN, Korea), squalene (SIGMA ALDRICH, USA), cholesterol (Alfa Aesar, USA), oleic acid (SAMCHUN, Korea)를 사용하였다. 이 물질들을 용해시키기 위해서 isopropyl alcohol (DAEJUNG, Korea), acetone (DAEJUNG, Korea), ethyl alcohol anhydrous 99.9% (DAEJUNG, Korea)을 사용하였다. PD 작업용액을 처리하는 과정에서 필요한 물질들은 ammonium iron (II) sulfate hexahydrate (DAEJUNG, Korea), iron (III) nitrate nonahydrate (DAEJUNG, Korea), citric acid anhydrous (DAEJUNG, Korea), dodecylamine acetate (TOKYO CHEMICAL INDUSTRY, Japan), TWEEN® 20 (SIGMA ALDRICH, USA), silver nitrate (DAEJUNG, Korea), maleic acid (DAEJUNG, Korea)를 사용하였다. 1,2-Indanedione/zinc (1,2-IND/Zn) 용액을 제조하기 위해서는 1,2-indanedione (SIRCHIE, USA), ethyl acetate (DAEJUNG, Korea), glacial acetic acid (DAEJUNG, Korea), zinc chloride (DAEJUNG, Korea), ethyl alcohol anhydrous 99.9% (DAEJUNG, Korea), petroleum ether (DAEJUNG, Korea)를 사용하였다.

2.2. 방법

지문 구성성분 중 PD 타겟물질이 무엇인지 탐색하고, 이를 활용해 새로운 PD의 신뢰성 테스트 방법을 알아보기 위한 실험과 TWEEN® 20 기반 PD 작업용액의 보관기간에 따른 잠재지문 현출성능을 알아보기 위한 실험을 설계하였다.

2.2.1. Physical developer (PD)의 제조 및 처리

PD 작업용액은 de la Hunty의 연구를 참고하여 제조하고 적용하였다.² 80 g의 ammonium iron (II) sulfate hexahydrate, 30 g의 iron (III) nitrate nonahydrate, 20 g의 citric acid anhydrous를 900 mL의 탈이온수에 용해시켜 산화환원 용액을 제조하였다. 1.5 g의 dodecylamine acetate와 1.5 mL의 TWEEN® 20을 1 L의 탈이온수에 용해시켜 계면활성제 용액을 제조하였다. 10 g의 silver nitrate를 50 mL의 탈이온수에 용해시켜 질산은 용액을 만들었다. 중화과정에 필요한 산성용액은 25 g의 maleic acid를 1 L의 탈이온수에 용해시켜 제조하였다. 작업용액은 산화환원 용액 900 mL, 계면활성제 용액 40 mL 그리고 질산은 용액 50 mL를 섞어 제조하였다.

검체를 탈이온수에 적시고 5분 동안 기다린 후, 15분 동안 maleic acid 용액에 넣어 중화시켜준 후 다시 탈이온수를 사용하여 검체를 씻어냈다. 그 다음 PD 작업용액에 검체를 넣어서 반응 물질이 충분히 현출될 때까지 15~30분 동안 처리했고 이후 탈이온수로 검체를 충분히 세척했다.

2.2.2. PD 타겟물질 탐색을 위한 spot test

PD에 대한 spot test를 위해 지문 구성물질로 알려

Table 1. List of eccrine and sebaceous substances and solvent and concentration of each substance for spot test

	Substance	Solvent	Concentration ^{a)}
Eccrine	Sodium chloride	Deionized water	100 mM – 10 mM – 1 mM
	Urea	Deionized water	100 mM – 10 mM – 1 mM
	Serine	Deionized water	100 mM – 10 mM – 1 mM
	Glycine	Deionized water	100 mM – 10 mM – 1 mM
	Methionine	Deionized water	100 mM – 10 mM – 1 mM
	Lysine	Deionized water	100 mM – 10 mM – 1 mM
	Glutamic acid	Deionized water	50 mM – 10 mM – 1 mM
Sebaceous	Palmitic acid	Isopropyl alcohol	100 mM – 10 mM – 1 mM
	Cholesterol	Acetone	30 mM – 10 mM – 1 mM
	Stearic acid	Ethyl alcohol	50 mM – 10 mM – 1 mM
	Squalene	Ethyl alcohol	100 mM – 10 mM – 1 mM
	Oleic acid	Isopropyl alcohol	100 mM – 10 mM – 1 mM

a) The maximum concentration of the substance is different because of the solubility of each substance in the solvent.

진 물질 중 수용성 물질은 sodium chloride, urea, serine, lysine, glycine, methionine, glutamic acid를 사용하였고, 지용성 물질은 stearic acid, palmitic acid, squalene, cholesterol, oleic acid를 사용하였다. 각 물질에 맞는 용매를 선택하여 용해하였고 물질마다 용해도에 맞춰 최대 농도를 설정하였다. 실험에 사용한 수용성 및 지용성 물질의 용매와 농도는 Table 1과 같다.

먼저, 개별 물질에 대한 PD의 반응을 확인하기 위해 filter paper (F1002 grade, CHMLAB group, Spain)에 100 mM, 10 mM, 1 mM 농도의 수용성 및 지용성 물질을 각각 20 μ L씩 떨어뜨렸다. 혼합 물질에 대한 PD의 반응을 확인하기 위해서는 filter paper에 수용성 물질 10 μ L를 떨어뜨린 후 마르기 전에 동일한 농도의 지용성 물질 10 μ L를 떨어뜨렸다. 그리고 상온에서 하루 동안 건조하였다. 그 후 PD 작업 용액을 처리하여 반응을 관찰하였다.

2.2.3. 1,2-IND/Zn 작업용액의 제조 및 처리

백색 A4 사무용지(Double A, Thailand)에 lysine 20 μ L와 palmitic acid 20 μ L를 각각 떨어뜨렸고 lysine과 palmitic acid를 1:1로 섞은 혼합물도 20 μ L 떨어뜨렸다. 또한, 동일한 세가지 물질을 지문 용선 모양의 도장에 10 μ L씩 묻혀 백색 A4 사무용지에 찍었다. 모두 농도는 100 mM, 10 mM, 1 mM로 동일하게 진행했다. 그리고 상온에서 하루 동안 건조한 후, PD 작업 용액을 처리하여 반응을 관찰하였다.

Spot test를 백색 A4 사무용지에 하는 것은 filter paper에 하는 것보다 부정확할 수 있다. 백색 A4 사무용지는 filter paper와 다르게 다양한 화학적 첨가물이 포함되어 있기 때문이다. 그러나 백색 A4 사무용지를 선택한 이유는 1,2-IND/Zn을 filter paper에 적용하면 배경에서도 형광이 관찰되기 때문에 spot에 대한 반응만을 확인할 수 없었기 때문이다. 또한, PD를 처리할 주된 검체는 filter paper와 같은 순수한 cellulose 표면이 아니며, 백색 A4 사무용지 내에 화학적 혼합물의 존재 및 지문 유류물과의 반응이 PD에 어떤 영향을 미치는지 연구되지 않았기 때문에 이에 대한 영향을 무시하기 어렵다고 판단하여 백색 A4 사무용지를 사용하였다.

1,2-IND/Zn 작업용액은 petroleum ether 기반의 조성으로 제조하였다. 먼저 ethyl alcohol anhydrous 99.9% 10 mL에 zinc chloride 0.4 g을 녹이고 petroleum ether 190 mL과 ethyl acetate 1 mL를 넣어 염화아연 농축 용액을 만들었다. 다음, ethyl acetate 90 mL과 glacial

acetic acid 10 mL에 1,2-indanedione 0.8 g을 용해시켜 petroleum ether 820 mL에 천천히 넣어준 후 염화아연 농축액 80 mL을 넣어 작업용액을 만들었다.¹⁰

PD 용액을 처리한 검체를 상온에 하루 동안 건조시킨 후 1,2-IND/Zn 작업용액에 담갔다가 꺼내어 상온에 건조시켰다. 그 후, 다리미를 사용하여 180 °C에서 10초간 처리하였다.

2.2.4. TWEEN® 20 기반 PD 작업용액의 보관기간에 따른 spot test

이 실험을 위해 PD 작업용액을 만든 후 20-23 °C가 유지되는 실내에서 밀폐된 갈색용기에 시약을 담아 차광시켜 보관하였고, 보관기간(1일, 4일, 7일, 10일, 14일, 17일, 21일)에 맞춰 사용하였다. Spot test를 통해 PD 타겟물질일 것으로 추정되는 동일한 농도의 palmitic acid와 lysine을 1:1로 섞어 백색 A4 사무용지에 20 μ L를 떨어뜨리고 상온에 하루 건조시킨 뒤 실험을 진행했다. 용매와 농도는 Table 1과 동일하며, 이때는 기존 spot test에서 사용한 농도에 0.1 mM, 0.01 mM, 0.001 mM을 추가하여 실험하였다.

2.2.5. 사진 촬영

PD 작업용액을 처리한 검체는 상온에 하루 동안 말린 이후, 백색광 아래에서 촬영하였다. 1,2-IND/Zn 용액을 처리한 검체는 열처리 후 형광을 관찰하기 위해 암실에서 Polilight Flare Plus 2 505 nm 광원 (Rofin, Australia)과 orange barrier filter (Altlight, Korea)를 사용하여 촬영하였다.

LAOWA 60 mm f/2.8 2X ultramicro (Venus optics, China) 접사렌즈를 장착한 NIKON D5100 카메라 (Nikon, Japan)를 사용하여 촬영하였고, 촬영 조건은 f/8, ISO 100으로 설정하였다. Spot이 최대한 선명하게 관찰될 때까지 노출시간을 조절하면서 촬영하였다.

2.2.6. 평가방법

PD 작업용액에 대한 spot의 반응 정도를 측정하기 위해 배경과 spot에서 각각 세 부분을 무작위로 선택하여 ImageJ (1.53e)로 gray scale을 측정하고, 세 부분의 측정값에 대한 평균을 구하였다. ImageJ (1.53e)에서의 gray scale은 어두울수록 낮은 점수(0점), 밝을수록 높은 점수(255점)를 나타낸다. 배경 점수의 평균값에서 spot 점수의 평균값을 빼서 PD 작업용액에 대한 spot의 반응 정도를 점수로 나타냈다.

3. 결과 및 토의

3.1. Spot test를 통한 타겟물질 추정

수용성과 지용성 물질에 대한 spot test 결과, 개별 물질에 대한 PD의 반응은 Table 2와 같다. 수용성 물질의 경우 100 mM의 lysine만 PD에 반응을 보였고, 지용성 물질의 경우 대부분 1 mM의 농도에서도 반응을 보였다. 혼합 물질의 경우, palmitic acid와 lysine의 혼합물, stearic acid와 lysine의 혼합물이 농도가 진해질수록 점점 강한 반응을 보였다(Table 3). 따라서 palmitic acid와 lysine 혼합물은 PD 타겟물질 중 하나

Table 2. Assessment of the reactivity of PD with spot test of eccrine and sebaceous substances^{a)}

	Substance	100 mM ^{b)}	10 mM	1 mM
Eccrine	Sodium chloride	-	-	-
	Urea	-	-	-
	Serine	-	-	-
	Glycine	-	-	-
	Methionine	-	-	-
	Lysine	+	-	-
	Glutamic acid	-	-	-
	Sebaceous	Palmitic acid	++	+
Cholesterol		++	+	+
Stearic acid		+	+	+
Squalene		+	-	-
Oleic acid		+	-	-

a) TWEEN[®] 20 based PD working solution of 7 days storage period was used. ++ denotes strong positive reaction; + denotes positive reaction; - denotes no reaction. b) The maximum concentration of the substance is different because of the solubility of each substance in the solvent (Table 1).

Table 3. Assessment of the reactivity of PD with spot test of mixture of eccrine and sebaceous substances^{a)}

Eccrine	Sebaceous					
	Palmitic acid	Cholesterol	Stearic acid	Squalene	Oleic acid	
Sodium chloride	-	+	-	-	-	
Urea	-	+	-	-	-	
Serine	-	+	-	-	-	
Glycine	-	+	-	-	-	
Methionine	-	+	-	-	-	
Lysine	++	+	++	-	-	
Glutamic acid	-	+	-	-	-	

a) TWEEN[®] 20 based PD working solution of 7 days storage period was used. Measurements were performed at increasing spot concentrations of 1 mM, 10 mM and 100 mM (The maximum concentration of the substance is different because of the solubility of each substance in the solvent.). If the reaction became stronger as the concentration increased, it was determined that the reaction occurred. ++ denotes strong positive reaction; + denotes positive reaction; - denotes no reaction.

로 추정되며 신뢰성 테스트를 위한 새로운 물질로 사용할 수 있을 것이라고 판단하였다. 이는 수용성 및 지용성 물질의 혼합물이 PD와 반응할 것이라는 선행 연구의 결과와도 동일하다.⁵

Stearic acid와 lysine의 혼합물 또한 같은 결과를 보였지만 신뢰성 테스트를 하기에는 부적절하다고 판단했다. 그 이유는 100 mM의 stearic acid와 lysine을 섞으면 서로 뭉쳐 고체로 변해 spot의 형태로 종이에 떨어뜨릴 수 없었기 때문이다. 10 mM 이하의 농도에서는 잘 섞였지만, palmitic acid와 lysine의 혼합물과 반응 경향이 유사했다. 더 넓은 농도 범위에서 PD 반응을 확인하는 것이 더 좋을 것이라 판단하여 palmitic acid와 lysine과의 혼합물을 선택하여 이후 실험에 사용하였다.

3.2. PD 처리 후 1,2-IND/Zn 처리를 통한 타겟물질 추정

일반적으로 수용성 물질은 물과 만나면 용해되기 때문에 선행연구에서는 지용성 물질이 수용성 물질을 보호하여 PD와 반응할 것이라고 추측하였다. 이를 확인하기 위해 lysine, palmitic acid, 그리고 그 혼합물에 대한 PD 반응물에 아미노산 반응 시약인 1,2-IND/Zn을 처리해보았다. PD 작업용액 처리 결과, lysine 단독 spot과 palmitic acid와 lysine 혼합물 spot에서만 PD가 반응하였고, 농도가 진해질수록 반응이 강해졌다(Fig. 1). 1,2-IND/Zn 처리 결과, lysine 단독과 혼합물에 대한 PD 반응물은 1,2-IND/Zn과 반응하였고 농도가 진해질수록 형광도 강하게 나타났다(Fig. 1).

그러나 지문의 형태로 실험했을 경우 lysine과 palmitic acid의 단독으로는 PD와 반응하지 않았고,

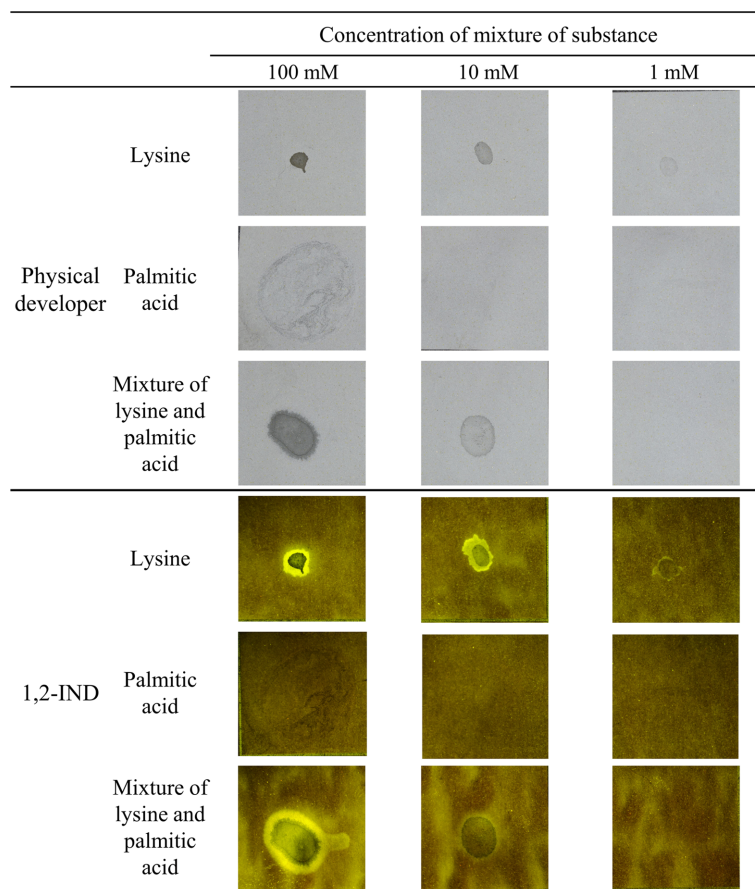


Fig. 1. Images of result of PD treatment and posttreatment of 1,2-IND/Zn depending on the concentration of lysine, palmitic acid and the mixture of palmitic acid and lysine.

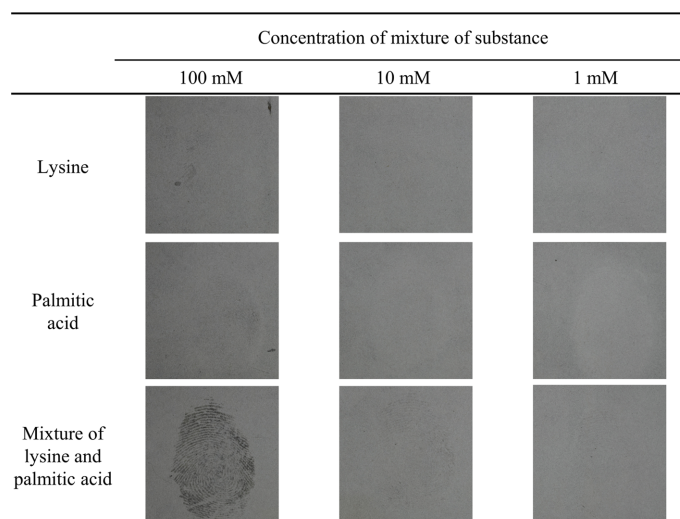


Fig. 2. Images of result of PD treatment depending on the concentration of lysine, palmitic acid and the mixture of palmitic acid and lysine as the shape of fingerprint.

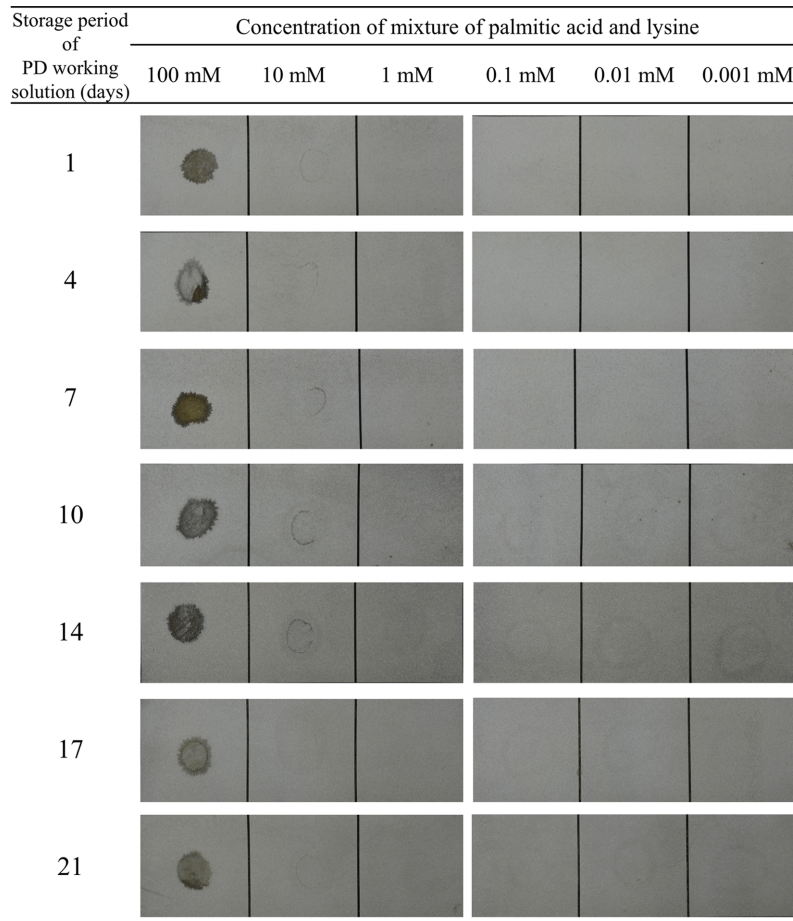


Fig. 3. Images of result of PD treatment depending on the concentration of the mixture of palmitic acid and lysine and the storage period of Tween[®] 20 based PD working solution.

그 혼합물만 PD와 반응하였다(Fig. 2). Lysine은 물기반의 PD에서 어느 정도 용해되어 그 형태를 유지하지 못했고 palmitic acid의 작용에 의해 palmitic acid와 lysine의 혼합물에서는 그 형태를 유지하면서 반응하는 것으로 해석할 수 있다. 이는 PD가 지용성 물질과 단독으로 반응하지 않는다는 선행연구와 동일한 결과를 나타낸 것이다.² 또한, 비수용성 물질에 의해 물에 용해되지 않도록 보호된 eccrine 구성 물질에 반응하는 것일 수 있다는 선행연구와도 동일한 결과를 나타냈다.⁵

3.3. 타겟물질을 사용한 PD의 신뢰성 테스트와 보관기간에 따른 TWEEN[®] 20 기반 PD 작업용액의 지문현출 성능 확인

TWEEN[®] 20 기반 PD 작업용액을 보관기간을 다르

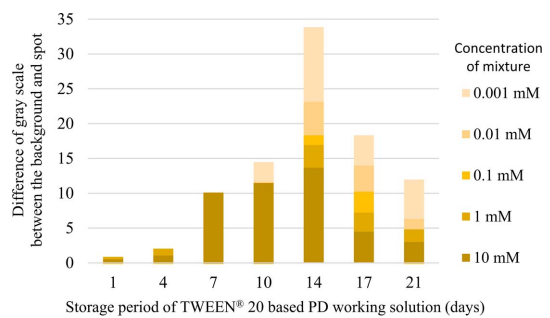


Fig. 4. Result of PD treatment showed by difference of gray scale between background and spot. PD treatment depended on the concentration of the mixture of palmitic acid and lysine and the storage period of Tween[®] 20 based PD working solution (The gray scale value is closer to 0 for darker and closer to 255 for brighter. PD reacted more strongly to mixture of palmitic acid and lysine as the difference of gray scale between the background and spot increased.)

게 하여 palmitic acid와 lysine 혼합물에 반응시킨 결과, 혼합물의 농도가 높아질수록 PD가 강하게 반응한다는 결과가 일정했다. 이 결과로 palmitic acid와 lysine 혼합물을 PD 작업용액에 대한 신뢰성 테스트를 위해 사용 가능하다고 판단하였다.

PD 작업용액 제조 후 10일이 경과했을 때, 낮은 농도의 혼합물과도 반응하기 시작했다. 14일이 경과했을 때는, 가장 뛰어난 결과를 나타냈으며 14일이 지난 후 부터는 점점 반응이 약해졌다(Fig. 3). Fig. 4는 배경 gray scale 점수의 평균값에서 spot gray scale 점수의 평균값을 빼서 PD 작업용액에 대한 spot의 반응 정도를 그래프로 나타낸 것이다. PD 작업용액 속 은 입자의 안정화(stabilization)가 결과에 많은 영향을 미친다.⁷ 이로 보아 PD 작업용액 제조 후 14일 정도 지났을 때는 입자가 지문을 현출하기에 적절하게 안정화된 것이라고 생각된다.

4. 결 론

Physical developer (PD)는 젖었던 적이 있거나 오래 된 종이에서도 지문을 현출할 수 있기 때문에 매우 효과적인 기법이지만 제조과정, 적용과정이 복잡하고 보관상 어려움 때문에 실무적으로 널리 사용되지 못하고 있다. 또한 지금까지 작업용액의 보관기간이 어느 정도인지, 지문을 구성하는 어떤 물질과 반응하는 지 등이 정확히 알려지지 않아서 이미 제조된 작업용액의 지문 현출 효과를 예측하기가 어려웠다. 본 연구에서는 이러한 PD 기법의 문제들을 해결하기 위해서 PD의 타겟물질을 탐색하기 위해서 지문을 구성하는 다양한 혼합물을 대상으로 실험을 수행하였고 그 결과 palmitic acid와 lysine의 혼합물이 주요 타겟물질 중 하나일 것이라고 판단하였다. 이것을 통해서 TWEEN[®] 20 기반 PD 작업용액의 지문현출 성능을 시험하기 위한 신뢰성 테스트를 할 수 있었으며 그 결과로 TWEEN[®] 20 기반 PD 작업용액의 성능 최적

화를 위해 필요한 제조 후 경과시간에 대해서 알아볼 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

References

1. J. R. Morris and J. M. Wells, British Patent: 154014, (1979).
2. M. 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>
3. G. Sauzier, A. Frick, and S. Lewis, *J. Forensic Identif.*, **63**(1),70-89 (2013).
4. A. A. Cantu, *Forensic Science Review*, **13**(1), 29-64 (2001).
5. M. 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>
6. H. Bandey, 'Fingermark Visualisation Manual', 1st Ed., Home Office Centre for Applied Science and Technology, 2014.
7. S. Houlgrave, M. Andress, and R. Ramotowski, *J. Forensic Identif.*, **61**(6), 621-639 (2011).
8. P. Korzeniewski and M. Svensson, *J. Forensic Identif.*, **68**(4), 557-566 (2018).
9. S. Houlgrave, M. Andress, and R. Ramotowski, *J. Forensic Identif.*, **61**(6), 640-651 (2011).
10. R. Ramotowski, 'Lee and Gaensslen's Advances in Fingerprint Technology', 3rd Ed., CRC press, Florida, 2012.

Authors' Positions

Soo-Jeong Ahn : Graduate student
 Ye-jin Lee : Graduate student
 Je-Seol Yu : Professor