

Washing effect of fingermark contaminated with flammable liquids

Ho-Won Jang, Ji-Yun Kwon, Hyo-Mi Kim, Seung-Ju Yoo, and Sungwook Hong[★]

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

(Received February 28, 2022; Revised April 18, 2022; Accepted May 16, 2022)

인화성액체에 오염된 지문의 세척 효과

장호원 · 권지윤 · 김효미 · 유승주 · 홍성욱[★]

순천향대학교 법과학대학원

(2022. 2. 28. 접수, 2022. 4. 18. 수정, 2022. 5. 16. 승인)

Abstract: The effect of washing fingerprints deposited on glass that were contaminated with a flammable liquid (gasoline, kerosene, diesel, and thinner) was studied by washing with hexane or heptane. The fingerprints were visualized using fuming cyanoacrylate, followed by basic yellow 40 staining. After comparing the washing effect, by dividing one fingerprint into four sections, it was confirmed that the ridge detail was damaged by dissolving the fingerprints in flammable liquid. As a result of washing fingerprints contaminated with flammable liquids using hexane or heptane, fingerprints contaminated with gasoline, kerosene, and thinner did not show a washing effect because the ridge detail was damaged at the time of contamination, and only fingerprints contaminated with diesel exhibited improved ridge detail quality. Because hexane and heptane washing damage the ridge detail, it was found that fingerprints contaminated with gasoline, kerosene, and thinner were better enhanced directly without the washing process. In addition, it was found that the amount of the washing solvent and contact time should be minimized when washing fingerprints contaminated with diesel.

요약: 유리 표면에 부착된 지문을 인화성액체(휘발유, 등유, 경유 혹은 신너)로 오염시킨 후 hexane 혹은 heptane으로 세척하였을 때의 세척 효과를 연구하였다. 이 때 지문은 cyanoacrylate fuming 후 basic yellow 40으로 염색하는 방법으로 가시화하였다. 한 지문을 4등분하여 세척 효과를 비교한 결과 지문 성분이 인화성액체에 용해되어서 융선이 훼손된다는 것을 확인할 수 있었다. 이렇게 인화성액체로 오염된 지문을 hexane이나 heptane으로 세척한 결과 휘발유, 등유 및 신너로 오염되었던 지문은 오염 당시에 융선이 훼손되어서 세척 효과가 나타나지 않았고, 경유로 오염되었던 지문에서만 세척 효과가 나타나 융선의 품질이 향상되었다. 오히려 세척용액으로 사용한 hexane과 heptane은 융선을 훼손시키기 때문에 휘발유, 등유 및 신너로 오염된 지문은 세척과정을 생략하고 바로 증강하는 것이 오히려 낫다는 것을 알 수 있었다. 또한 경유로 오염된 지문을 세척할 때에는 세척용액의 양과 접촉 시간을 최소로 해야 한다는 것을 알 수 있었다.

Key words: fingermark #1, flammable liquid #2, contamination #3, washing #4

[★] Corresponding author

Phone : +82-(0)41-530-4758 Fax : +82-(0)41-530-4755

E-mail : swhong524@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

지문(fingermark)은 지난 100년 동안 신원확인(personal identification)의 강력한 수단으로 사용되어져 왔다.^{1,2} 따라서 사건현장에서 지문 증거를 확보하는 것은 범죄자의 신원을 확인하기 위한 대단히 중요한 수단 중 하나이다.³ 현장에서 발견된 지문이 육안으로 확인할 수 있는 현재지문(patent fingermark)이라면 추가적인 현출(development)이나 증강(enhancement) 과정 없이도 신원확인에 사용할 수 있다.⁴ 하지만 현장에 남겨지는 지문의 대부분은 육안으로 관찰할 수 없는 잠재지문(latent fingermark)이므로⁵ 이런 경우에는 현장에 지문이 남아 있어도 신원확인이 불가능하다. 따라서 전 세계 법과학자들은 잠재지문을 가시화시키는 다양한 광학적(optical),⁶ 물리적(physical),⁷ 화학적(chemical)⁸ 기법을 개발해 왔고, 그 결과 어느 정도 성공적으로 잠재지문을 가시화시킬 수 있었다.

사건 현장에 있는 지문은 범죄자/피해자의 행위, 강우(rain) 등 여러 요인에 의해 오염될 수 있고, 인화성 액체(flammable liquid)에 오염될 수도 있다. 지문이 남겨진 표면에 인화성액체가 뿌려지는 경우, 인화성액체로 오염된 표면에 지문이 남겨지는 경우, 인화성액체가 묻은 손으로 물체를 만지는 경우 등이 그런 경우이다.

대부분의 인화성액체는 석유계 탄화수소(hydrocarbon)로 구성되어 있다.⁹ 따라서 인화성액체가 지문과 접촉하면 지문을 구성하는 amino acids, squalene, palmitic acid, stearic acid 등¹⁰과 반응하여 융선(ridge detail)을 손상시킬 수 있다. 또한 인화성액체는 공기와 굴절률이 다르기 때문에 인화성물질로 오염된 지문을 광학적으로 관찰하면 지문이 잘 관찰되지 않을 수도 있다.¹¹ 더구나 인화성액체는 지문 현출 시약과 반응하여 시약의 성능을 변화시킬 가능성도 있다. 따라서 잠재지문이 인화성액체에 오염된 경우 적절한 방법으로 인화성물질을 제거하지 않으면 지문 관찰 및 증강이 불가능해질 수도 있다.

Daniel은 비다공성(non-porous) 표면에 남겨진 groomed fingermark (기름지문, 인위적으로 이마나 코를 문질러서 피지 성분을 묻힌 손가락으로 어떤 표면을 만져서 만든 지문)가 휘발유로 오염된 경우에는 heptane으로 휘발유를 세척한 후 Sudan black, small particle reagent (SPR), cyanoacrylate (CA) 혹은 흑색분말로(현출 정도가 좋은 순서대로 적용) 처리하는 방법으로 증강할 수 있다고 보고하였다.¹² 그러나 휘발유 이외에도 등유, 경

유, 신너 등은 방화 등 사건에 흔히 사용되에도 불구하고 이들의 세척 방법에 대해서는 언급하지 않았다는 문제가 있다. 더구나 groomed fingermark는 natural fingermark (자연지문, 일상생활을 하면서 자연스럽게 남겨지는 지문)와 구성 성분이 다른 반면¹³ 실제 사건 현장에는 natural fingermark가 부착되기 때문에 Daniel의 연구 결과를 실제 증거물에 적용시키기에는 어려움이 있다.

따라서 저자들은 비다공성 표면에 부착된 groomed fingermark 및 natural fingermark를 휘발유, 등유, 경유, 신너로 오염시킨 후 hexane 및 heptane으로 세척했을 때의 세척 효과를 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료 및 장비

휘발유, 등유, 경유는 S-OIL (Korea), 신너는 KCC (Korea)에서 구입하여 사용했다. 순간접착제는 412 (Amos, Korea)를, Basic Yellow 40 분말은 Sirchie (USA) 제품을, Photo-Flo는 B&H (USA) 제품을 사용했다. CA fuming chamber는 HEVA1410 (Altlight, Korea)를, DSLR 카메라는 D5600 (Nikon, Japan)을, 범광원은 Polilight Flare Plus 2 (Rofin, Australia)를, 차폐 필터는 OG 515 Yellow (Hasselblad, Sweden)를 사용하였다.

2.2. Basic Yellow 40 용액(BY40) 제조

Basic Yellow 40 분말 1 g과 Photo-Flo 2 mL, 탈이온수 1 L를 섞어 제조하였다.

2.3. 지문 유류 방법

20대 남녀 총 3명에게 코와 이마를 문지른 손가락으로 표면을 만지도록 하여서 기름지문을, 그리고 손을 씻은 후 30 min 동안 일상생활을 한 후 손가락으로 표면을 만지도록 하여서 자연지문을 만들도록 하였다. 유류한 모든 지문은 평균온도 24 °C, 평균 상대습도 66%인 실험실 내 직사광선이 없는 곳에서 24시간 동안 보관한 후 실험에 사용했다.

2.4. 지문의 증강 및 촬영

지문이 부착된 표면을 순간접착제와 함께 CA fuming chamber에 넣고 120 °C, 80% 상대습도 조건에서 25분간 훈증하여 지문을 현출했다.¹⁴ 현출된 지문을 상온에서 24시간 동안 보관하여 안정화시킨 후 BY40을 지문에 분무하여 반응시켰고, 반응하지 않고 남아있는

Table 1. Grading system to determine the enhancement level of fingermarks

Grades	Definitions
0	No enhancement in quartered fingermark
1	Signs of contact but less than 1/3 of continuous ridges in quartered fingermark, poor contrast
2	1/3~2/3 of continuous ridges in quartered fingermark, adequate contrast
3	More than 2/3 of continuous ridges in quartered fingermark but not quite a 'perfect' fingermark, good contrast
4	Full enhancement in quartered fingermark, excellent contrast

BY40은 흐르는 수돗물로 씻어준 후 충분히 건조시켜서 지문을 증강하였다. 이 지문은 450 nm 범광원을 비추고 차폐필터를 통해 관찰 및 촬영하였다(F/11, 셔터스피드 1/5 s, ISO 100).

2.5. 지문의 품질 판단

법과학을 1년 이상 공부한 10명의 학생들이 Table 1에 보인 기준에 따라 지문의 현출정도를 평가한 이후 평균값을 산출하여 지문의 품질을 판단하였다.

3. 결과 및 고찰

유리 표면에 기름지문 혹은 자연지문을 남기고 이들을 인화성액체로 오염시킨 후 hexane 혹은 heptane으로 세척하여 지문의 품질 변화를 관찰하였다. CA로 혼증한 후 BY40으로 염색하여 증강하는 방법은 비다공성 표면에 부착된 지문을 증강하는 가장 일반적인 방법 중 하나라고 알려져 있다.¹⁵ 따라서 본 연구에서는 모든 지문을 이 방법으로 증강하여 세척 정도를 관찰하였다.

3.1. 인화성물질에 의한 용선의 훼손

4장의 슬라이드 글라스 가운데에 지문을 찍어서 하나의 지문을 4 조각으로 분할하였다. 이 표면을 휘발유, 등유, 경유, 신너에 각각 30 s 동안 담가서 오염시켰다. 이 표면을 꺼낸 후 heptane 1 mL를 약 5 s 동안 흘려주어 인화성액체를 세척하고, 30 min 동안 말린 후 CA로 혼증하고 다시 BY40으로 염색하여 용선의 훼손 정도를 관찰하였다. Fig. 1은 그 증강 결과를 보인 것으로서 신너와 접촉했던 지문이 가장 많이 훼손되고 경유에 접촉하였던 지문이 가장 적게 훼손된 것을 볼 수 있다. 휘발유 및 등유와 접촉하였던 지문은 그 중간 정도로 훼손되었다. 원유의 분별증류 생성물 중 경유는 탄소 수가 10~20 개인 탄화수소(hydrocarbon) 화합물의 혼합물이다. 반면 휘발유는 탄소 수가 4~12 개, 등유는 탄소 수가 10~16 개인 탄화수소 화합물의

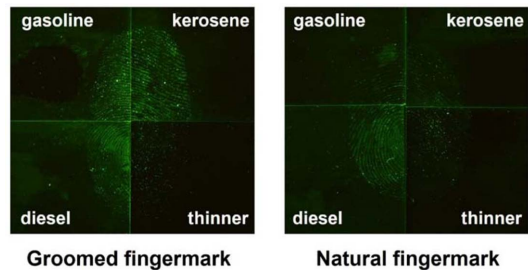


Fig. 1. Results of enhancing the fingermarks deposited on the glass surfaces. The fingermarks were pre-contaminated by immersion in flammable liquids for 30 s, washed with hexane or heptane, and enhanced with CA fuming followed by BY40 staining.

혼합물이고, 신너류는 경우에 비해 탄소 수가 훨씬 적은 탄화수소 화합물을 총칭하는 말이다. 일반적으로 탄화수소의 탄소 수가 적어지면 유기화합물을 녹이는 성질도 증가하기 때문에¹⁶ 접촉한 시간이 같을 경우 신너로 오염되었던 지문은 많이 훼손되고 경유로 오염된 지문은 가장 적게 훼손된 것으로 판단된다.

3.2. 세척용매에 의한 용선의 훼손

세척용매로 사용할 hexane 및 heptane은 각각 탄소 수가 6 개 및 7 개인 석유계 탄화수소 화합물로서 이들은 인화성물질을 세척하는 역할을 함과 동시에 지문 용선을 훼손시키는 역할도 할 것으로 예상된다. 이들이 용선을 훼손시키는지 확인하기 위해 기름지문 및 자연지문을 준비한 후 이들을 각각 hexane 및 heptane 용액에 5 min 동안 담가서 오염시켰다. 그리고 이들을 건조시킨 후 CA로 혼증하고 BY40으로 염색하여 그 결과를 Fig. 2에 보였다. Fig. 2에 나타난 결과를 보면 세척용매인 hexane 및 heptane은 지문을 용선을 훼손한다는 것을 알 수 있다.

3.3. 세척의 효과

3.1항 및 3.2항의 실험 결과를 지문의 용선은 인화성액체 및 세척용액 모두에 의해 훼손된다는 점을 확

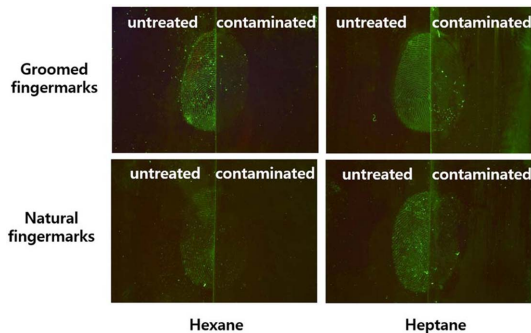


Fig. 2. Results of enhancing the groomed fingermarks and natural fingermarks deposited on the glass surfaces. These fingermarks were contaminated with hexane or heptane, and enhanced with CA fuming followed by BY40 staining (The left halves are untreated fingermarks. The right halves are fingermarks contaminated with hexane or heptane).

인할 수 있다. 반면 Daniel은 휘발유에 오염된 기름지문은 heptane으로 세척한 후 Sudan black, SPR, CA 혹은 흑색분말 방법으로 현출할 수 있다고 보고하였다.¹² 따라서 hexane 및 heptane의 세척 효과를 정밀하게 검토할 필요가 있다. 이를 확인하기 위해 4개의 유리판 가운데에 지문을 찍어서 4등분한 지문을 만들었다.

4장의 슬라이드 글라스 가운데에 하나의 지문을 찍어서 지문을 4조각을 분할하였고 이 네 조각을 하나의 세트로 하였다. 이렇게 분할한 지문을 9세트 준비한 후 9개 세트를 다시 3개 그룹으로 나누어 한 그룹 당 3세트의 분할된 지문이 들어가도록 하였고, 한 그룹은 동일한 실험을 3회 반복하는데 사용하였다.

이런 방법으로 준비한 기름지문 혹은 자연지문이 찍힌 슬라이드 글라스를 비스듬히 세워 두고, 거기에 인화성액체 1 mL씩을 흘려주어 지문을 오염시켰다. 이들을 실온에서 30 min 동안 건조시킨 후, 이 중 한 그룹은 hexane, 다른 한 그룹은 heptane 1 mL씩을 흘려주어 세척한 후 실온에서 30 min 건조하였고, 다른 그룹은 세척 과정 없이 실온에서 30 min 동안 건조하였다. 이렇게 처리한 모든 지문을 CA로 혼증한 후 BY40으로 염색하였다. 그리고 염색 정도를 2.5항의 기준에 의해 평가하여 지문의 grade를 결정하였다.

Fig. 3은 세척용매로 세척한 지문의 grade에서 세척하지 않은 지문의 grade를 뺀 값을 나타낸 것이다. 따라서 이 차이 값이 양(+)의 값을 갖는다는 것을 세척에 의해 지문의 grade가 향상되었다는 것을 의미한다. 이 그림을 보면 휘발유, 등유 혹은 신너로 오염시켰

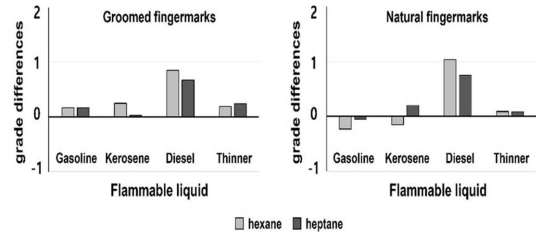


Fig. 3. The difference in fingermark quality grade on the glass surface. The grade difference was calculated that subtract the grade that fingermark contaminated with flammable liquids from fingermark that was washed with hexane or heptane after contamination.

던 지문은 hexane이나 heptane 중 어느 것으로 세척해도 세척효과가 나타나지 않았다는 것을 알 수 있다. 반면 경유로 오염시켰던 지문은 세척 효과가 뚜렷하게 나타났다는 것을 알 수 있다. 이는 휘발유에 오염된 기름지문은 heptane으로 세척할 수 있다는 Daniel¹²의 연구 결과와 일치하지 않는 결과이다. 이처럼 다른 결과가 나타난 이유를 찾기 위해 Daniel의 연구 결과를 재검토한 결과 Daniel은 본 연구자들과 달리 heptane으로 세척하기 전의 지문 상태를 확인하지 않고 단지 세척 후의 상태만 기록했다는 점을 발견했다. 이로 미루어 보아 Daniel은 오염 및 세척 과정에서 용선이 훼손된다는 것을 인지하지 못했다고 판단된다.

3.4. 세척의 필요성에 대한 검토

이상의 실험 결과에 의하면 휘발유, 등유, 신너에 오염된 지문을 hexane이나 heptane으로 세척하면 지문이 추가로 훼손된다는 것을 알 수 있다. 따라서 인화성액체에 오염되었다고 무조건 세척하지 말고 어느 인화성액체에 오염되었는지 확인하는 과정이 선행되어야 한다는 것을 알 수 있다. 반면 경유에 오염되었던 지문은 hexane이나 heptane으로 세척해야 한다는 것을 알 수 있다. 그러나 일반적으로 용매의 양이 늘어나고 용매와 접촉하는 시간이 길어질수록 용해되는 용질의 양도 증가하므로, 경유에 오염된 지문을 세척할 경우에는 세척용매의 양과 세척 시간을 최소한으로 해야 한다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

지문을 인화성액체(휘발유, 등유, 경유 및 신너)로 오염시킨 결과 지문 성분이 인화성액체에 용해되어서 용선이 훼손된다는 것을 확인할 수 있었다. 인화성액

체로 오염된 지문을 hexane이나 heptane으로 세척한 결과 경유로 오염되었던 지문에서만 세척 효과가 나타났고 휘발유, 등유 및 신너로 오염되었던 지문에서는 세척 효과가 나타나지 않았다. 오히려 세척용액으로 사용한 hexane과 heptane은 용선을 훼손시키기 때문에 휘발유, 등유 및 신너로 오염된 지문은 세척과정을 생략하고 바로 증강하는 것이 오히려 낫고, 경유로 오염된 지문을 세척할 때에는 세척용매의 양 및 접촉하는 시간을 최소로 해야 한다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

References

1. A. Sankaran, M. Vatsa, and R. Singh, *IEEE Access*, **2**, 982-1004 (2014).
2. C. Fairley, S. M. Bleay, V. G. Sears, and N. NicDaeid, *Forensic Sci. Int.*, **217**(1), 5-18 (2012).
3. S. Cadd, M. Islam, P. Manson, and S. Bleay, *Science & Justice*, **55**(4), 219-238 (2015).
4. S. H. James, J. J. Nordby, and S. Bell, 'Forensic Science: An Introduction to Scientific and Investigative Techniques', 4th Ed., CRC press, 2002.
5. V. D'Elia, S. Materazzi, G. Iuliano, and L. Niola, *Forensic Sci. Int.*, **254**, 205-214 (2015).
6. D. L. Exline, C. Wallace, C. Roux, C. Lennard, M. P. Nelson, and P. J. Treado, *J. Forensic Sci.*, **48**(5), 1047-1053 (2003).
7. G. S. Sodhi and J. Kaur, *Forensic Sci. Int.*, **123**(3), 172-176 (2001).
8. C. Wallace-Kunkel, C. Lennard, M. Stoilovic, and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **168**(1), 14-26 (2007).
9. R. P. Benedetti, 'Inspecting Flammable Liquids', p9, Jones & Bartlett Learning, 2005.
10. R. S. Croxton, M. G. Baron, D. Butler, T. Kent, and V. G. Sears, *Forensic Sci. Int.*, **199**, 93-102 (2010).
11. P. R. Bhattacharjee, *Optik*, **240**, 2-4 (2021).
12. R. Daniel, *J. Forensic Identif.*, **63**(2), 165 (2013).
13. L. S. Ferguson, F. Wulfert, R. Wolstenholme, J. M. Fonville, M. R. Clench, V. A. Carolan, and S. Francese, *ANALYST*, **137**, 4686-4692 (2012).
14. M. Paine, H. L. Bandey, S. M. Bleay, and H. Willson, *Forensic Sci. Int.*, **212**, 130-142 (2011).
15. S. Bleay, V. Sears, R. Downham, H. Bandey, A. Gibson, V. Bowman, L. Fitzgerald, T. Ciuksza, J. Ramadani, and C. Selway, 'Fingerprint Source Book v2.0', Home Office, 2018.
16. J. Tolls, J. van Dijk, EJM. Verbruggen, J. L. Hermens, B. Loeprecht, and G. Schüürmann, *J. Physical Chem. A*, **106**(11), 2760-2765 (2002).

Authors' Positions

Ho-Won Jang	: Graduate Student
Ji-Yun Kwon	: Graduate Student
Hyo-Mi Kim	: Graduate Student
Seung-Ju Yoo	: Graduate Student
Sungwook Hong	: Professor