

A study on the distribution of latent fingerprints on paper knife sheaths

Hyo-Mi Kim, Gi-Hyun Park, Su-Bhin Lee, and Je-Seol Yu[★]

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

(Received July 20, 2021; Revised September 30, 2021; Accepted October 7, 2021)

간이 칼집에서의 잠재지문 분포에 관한 연구

김효미 · 박기현 · 이수빈 · 유제설[★]

순천향대학교 법과대학원

(2021. 7. 20. 접수, 2021. 9. 30. 수정, 2021. 10. 7. 승인)

Abstract: Knives are most frequently used as weapons in violent crimes. Criminals leave behind knife sheaths made of paper and tape at crime scenes. It is difficult to develop fingerprints using tape attached to a porous surface, resulting in the need to explore effective techniques for identifying fingerprints as well as the distribution of fingerprints on each surface, when evidence such as paper knife sheaths are found. In this study, 50 knife sheaths were prepared. The cyanoacrylate fuming (CA fuming) method was applied to develop fingerprints on the non-adhesive side of the tape, and a dual-purpose 1,2-indanedione/Zn (1,2-IND/Zn) reagent was used to separate tape from paper while simultaneously developing fingerprints on the paper. The fingerprints on the adhesive side of the tape were developed using Wet Powder Black[®]. Using the R statistical analysis program (The R Foundation for Statistical Computing), we used a heat map to indicate the location of fingerprints developed from each surface. More fingerprints were detected at the ends than in the center of the adhesive side of the tape, and although the non-adhesive sides of tape and paper did not present clear distribution patterns, many fingerprints were developed that had sufficient clarity for personal identification. The results of this study may be applicable for processing evidence when paper sheaths are found at crime scenes.

요 약: 현재까지 강력 사건에서 범인들은 칼을 흉기로 가장 많이 사용하였으며 범죄 현장에 범인이 직접 종이와 테이프로 제작한 간이 칼집이 남아있는 경우가 있다. 다공성 표면에 테이프가 붙어있는 검체는 지문을 현출하기 어려우므로 간이 칼집과 같은 증거물이 발견되었을 때 각 표면에서 지문을 현출하는 적절한 기법과 지문의 분포 위치를 확인하는 실험이 필요하다. 본 연구는 이를 확인하기 위해 간이 칼집 50개를 만들어 테이프 비접착면에 cyanoacrylate fuming (CA fuming)을 사용하여 지문을 현출하고 이중목적 1,2-indanedione/Zn (1,2-IND/Zn) 시약으로 종이와 테이프를 박리함과 동시에 종이에 있는 지문을 현출하였다. 테이프 접착면은 Wet Powder Black[®]을 사용하여 지문을 현출하였다. R program을 이용

[★] 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.

하여 heatmap으로 각 표면에서 지문이 현출된 위치를 표시한 결과, 테이프 접착면의 중간 부분보다 양 끝에 지문이 많이 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었으며 비접착면과 종이는 뚜렷한 분포 패턴이 나타나지는 것이 아니라 개인식별에 이용할 수 있을 정도의 선명도를 가진 지문이 다수 현출된 것을 확인하였다. 범죄 현장에서 간이 칼집이 발견되었을 때 이러한 연구 결과를 참고하여 증거물을 처리할 수 있을 것이다.

Key words: knife sheath, fingerprint, distribution, heatmap

1. 서 론

강력 사건에서 범인은 다양한 흉기를 이용해 범행을 저지른다. 2019년 범죄통계자료에 의하면 흉기를 이용한 범죄 총 205,590건 중 흉기로 칼을 선택한 범죄가 9,174건으로 가장 많은 비율을 차지했다.¹ 범인이 우발적으로 범행을 저지른 경우 현장에 있던 칼을 범행도구로 이용하지만, 계획된 범죄의 경우 범인은 범행을 위해 미리 칼을 준비해 현장에 나타난다. 후자의 경우 범인이 범행 장소까지 칼을 소지하기 위해 직접 종이와 테이프를 이용해 간이로 칼집(간이 칼집)을 제작하고 범행 후 현장에 간이 칼집을 남기고 떠나는 사건들이 종종 있다.

간이 칼집은 특성이 다른 표면(테이프의 접착면, 테이프의 비접착면, 종이)이 존재하는 검체로 각각의 표면에 다양한 형태의 지문이 유류될 수 있다. 이러한 검체는 각 표면에서 지문을 훼손없이 고품질로 현출하기 위해 지문 현출 기법의 순서를 확립하는 것이 선행되어야 한다. 우선 간이 칼집의 가장 바깥쪽 표면인 테이프의 비접착면은 테이프를 분리하지 않아야 지문이 유류된 모양을 그대로 유지할 수 있기 때문에 박리에 앞서 테이프의 비접착면에 남겨진 지문을 먼저 현출하는 것이 중요하다. 이후 종이에 붙어있는 테이프를 성공적으로 분리해야 테이프 접착면과 종이 모두에서 지문을 현출할 수 있다.² 모든 절차에서 박리 과정이나 각 표면에 사용하는 기법이 후속 기법이나 다른 표면에 부착된 잠재지문에 영향을 주어서는 안된다.

테이프 비접착면에 유류된 지문은 비다공성 표면에 사용할 수 있는 대표적인 기법인 cyanoacrylate fuming (CA fuming)으로 현출 가능하다.³ 테이프 접착면에 사용할 수 있는 여러 기법을 비교한 연구 결과 Wet Powder Black[®]이 가장 좋은 현출력을 나타냈다.⁴ 1998년 미국 Secret Service에서 제시한 1,2-indanedione/Zn(1,2-IND/Zn) 시약은 다공성 표면에서 잠재지문을 현출할 때 사용할 수 있는 가장 좋은 시약으로 알려

Table 1. Composition of 1,2-IND/Zn working solution (USA Secret Service)^{5,6}

Zinc stock solution	1,2-IND working solution
Zinc chloride 0.04 g	1,2-IND 0.8 g
Ethanol 10 mL	Ethyl acetate 90 mL
Ethyl acetate 1 mL	Acetic acid 10 mL
Petroleum ether 190 mL	Petroleum ether 820 mL
	Zinc stock 80 mL

져 있다(Table 1).^{5,6,7,8} 본 실험과 같이 다공성 표면에 테이프가 붙어있는 경우 기존의 1,2-IND/Zn 시약의 조성을 변경한 이중목적 1,2-IND/Zn 시약을 사용하면 테이프와 종이를 박리하면서 동시에 다공성 표면에 부착된 지문을 현출할 수 있다.⁹

간이 칼집의 각 표면에서 손상 없이 고품질의 잠재 지문을 현출하는 것과 더불어 각 표면에 부착된 잠재 지문의 분포 위치를 파악하는 것이 중요하다. 지문 현출 전 간이 칼집의 잠재지문 분포 위치를 알고 있다면 지문 현출 과정에서 인적, 물적 요인 등에 의해 의도치 않게 발생하는 손상을 최소화할 수 있다. 하지만 이러한 용도로 활용할 수 있는 지문 분포에 관한 통계적 자료를 제시한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 연구자들은 본 연구를 간이 칼집의 어느 위치에 잠재 지문이 많이 분포하는지를 알아보고자 한다. 연구 결과는 통계 계산과 자료 분석에 이용되는 R program의 heatmap 기능으로 잠재지문의 분포를 시각적으로 표현하였다.¹⁰ 이를 바탕으로 실제 사건에서 간이 칼집이 증거물로 발견될 경우 증거물 수집 및 처리 방법 전반에 걸쳐 어느 부분을 주의 깊게 다루어야 하는지 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료 및 장비

실생활에서 자주 등장하며 현장에서 접할 수 있는

박스테이프(3M, USA)와 백색 A4 사무용지 (Double A, Thailand)를 사용하여 칼집을 제작하였다.

테이프의 비접착면에서 지문을 현출하기 위해 순간 접착제(Loctite, USA)와 HEVA1410 heating/vacuum convertible CA fuming chamber (Altlight, Korea)를 사용하였고, 접착면에는 Wet Powder Black® (BVDA, Netherlands)을 사용하였다. 종이에 지문을 현출하기 위해 1,2-IND/Zn를 사용하였다. 1,2-IND/Zn는 1,2-IND (Sirchie, USA), petroleum ether (DAEJUNG, Korea), ethyl acetate (DAEJUNG, Korea), acetic acid (DAEJUNG, Korea), zinc stock으로 제조하였고, zinc stock은 zinc chloride (DAEJUNG, Korea), ethanol (DAEJUNG, Korea)을 이용하여 제조하였다. 종이에 시약을 처리하여 테이프를 박리한 후 Digital Steam Press (Sienna, SSP-3208, USA)로 열처리를 하였다.

칼집에 있는 지문을 촬영하기 위해 DSLR 카메라 (Nikon D5600, Japan)와 LAOWA 60 mm f/2.8 2X ultramicro (Japan) 접사렌즈를 사용하였다. 테이프에 유류된 지문은 백색광 아래에서 촬영하였고, 1,2-IND/Zn 처리한 종이는 형광을 관찰하기 위해 암실에서 Polilight Flare Plus 2 505 nm 광원 (Rofin, Australia)과 orange barrier filter (Altlight, Korea)를 사용하였다.

종이와 테이프의 접착면에 분포한 지문의 위치를 표시하기 위해 R program을 사용하였다.

2.2. 방법

2.2.1. 시약제조

예비 실험을 통해 1,2-IND/Zn의 최적 비율을 찾는 결과를 참고하여 1:5의 비율로 1,2-IND stock solution과 petroleum ether (PE)를 섞어 제조하였다(Table 2).⁹

2.2.2. 칼집 제작 방법

20~30대 성인 남녀에게 손을 씻지 않고 일상생활을 한 후 칼집을 제작하도록 요청하였다. 칼집을 만드는 방식에 대한 사전 정보의 유입을 막기 위해 칼집을 만드는 동안 참여자와 연구자 외에는 실험실 출입을

Table 2. Composition of dual-purpose 1,2-IND/Zn working solution⁷

1,2-IND stock solution	1,2-IND working solution (PE based, 1:5)
1,2-IND 0.125 g	
Ethyl acetate 45 mL	
Acetic acid 5 mL	1,2-IND stock solution 50 mL
Zinc stock 0.25 mL	Petroleum ether 250 mL
(Zinc chloride 0.2 g + Ethanol 5 mL)	



Fig. 1. Example of a paper knife sheath.

금하였다. 또한 참여자가 원하는 모양으로 칼집을 만들 수 있도록 A4 용지와 박스테이프만 제공하고 제작을 요청하였다(Fig. 1). 칼집은 한 명당 1개씩 총 50개를 제작하여 실험을 진행하였다.

2.2.3. 연구 방법

칼집을 만든 직후 International Fingerprint Research Group (IFRG) 가이드라인에 따라 검체를 상온에서 이틀 동안 보관하였다.¹¹ 이후 테이프의 비접착면에 유류된 지문을 현출하기 위해 CA fuming chamber의 내부 상대습도를 80%로 맞춘 상태에서 160 °C에서 25분간 CA fuming을 진행하였다.³ 박리를 하면 비접착면에 CA fuming으로 현출한 지문이 훼손될 수 있으므로

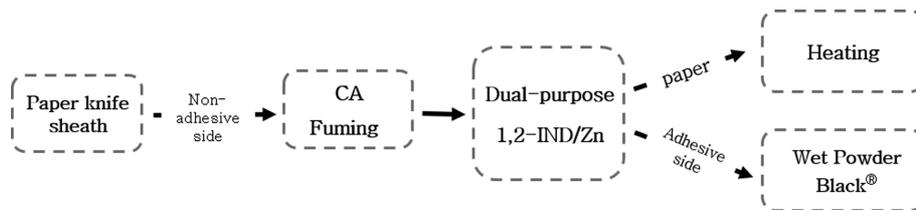


Fig. 2. Overview of fingerprints development process.

로 카메라로 지문을 촬영하고 지문의 위치를 기록하였다. 이후 1,2-IND/Zn 용액에 간이 칼집을 담가 테이프를 박리하고, 종이는 180 °C에서 10초간 열처리를 하였다.⁹ 박리한 테이프의 접착면에서 Wet Powder Black[®]을 이용하여 지문을 현출하였다.³ 종이에서 현출된 지문은 505 nm 광원과 orange barrier filter를 이용하여 촬영한 후 위치를 기록하였다.³ 테이프의 접착면은 테이프 전체 길이를 10등분하여 각 구간에서 현출된 지문의 위치를 기록하고 백색광 하에서 촬영하였다 (Fig. 2). 현출된 지문 사진을 이용하여 지문의 특징점 개수를 세어 선명도를 평가하였다.

2.2.4. 지문 위치 표기 방법

테이프의 비접착면, 접착면, 종이에서 현출한 지문의 위치를 나타내기 위해 구역을 나누었다. 비접착면은 연구 참여자마다 사용한 테이프의 길이나 테이프를 감은 모양이 다르기 때문에 테이프를 마지막으로 붙인 부분이 있는 면을 뒷면으로 하여 앞뒤를 구분하였다. 테이프 접착면의 전체 길이를 10등분 하여 구간을 나누었고 종이에 가장 처음으로 붙인 구간을 1번으로 정하였다. 종이를 접는 방법에 따라 아래 그림과 같이 가로, 세로, 대각선으로 검체를 분류한 후 (Fig. 3) 종이의 안쪽 면, 바깥쪽 면을 세로 20칸, 가로 15칸으로 나누었다.¹⁰ 이때 종이는 칼과 닿은 면을 안쪽 면으로, 칼과 닿지 않은 면을 바깥쪽 면으로 정하였다.

2.2.5. 지문 평가 방법

본 연구는 지문 현출 기법의 민감도를 평가하는 것이 아니라 간이 칼집에서 개인식별에 사용할 수 있을 정도의 일정 품질 이상의 지문이 얼마나, 어느 위치에 분포하는지 확인하는 것이 목적이다. 여기서 일정 품질 이상의 지문은 여러 국가의 지문 일치 판정을 위한 최소 수량적 기준¹²과 Edmond Locard의 3범칙¹³을 고려하여 특징점(분기점, 끝점)이 8개 이상 (Table 3의 high, medium quality)이면서 땀구멍과 같은 용선의 세

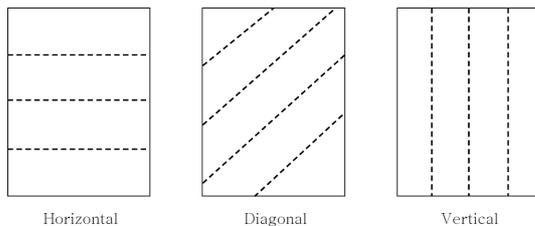


Fig. 3. Classification according to paper folding way.

Table 3. The standard of developed fingerprints' quality

Standard (count of minutiae)	
High	over 11
Medium	8 to 11
Low	under 8

부특징을 가지는 것으로 선정하였다 (Table 3). 만약 지문이 정해진 구역의 여러 구역에 겹치는 경우 코어(또는 델타)가 있는 곳으로, 코어(또는 델타)가 없거나 둘 다 있는 경우 특징점이 많이 나온 곳으로 선택하였다. 1년 이상 법과학 교육을 받은 평가자 3명이 촬영한 지문 사진을 육안으로 관찰하여 평가하였고 해당 구역의 지문 개수를 heatmap을 이용하여 나타냈다.¹⁰

3. 결 과

3.1. 종이

Fig. 4는 이중목적 1,2-IND/Zn로 종이에서 지문을 현출한 것이다. 종이를 접는 방법과 관계없이 공통적으로 칼에 닿아 있던 안쪽 면보다 바깥쪽 면에서 지문이 많이 관찰되었다 (Fig. 5-7). 대부분의 연구 참가자들이 칼을 종이 위에 올려놓고 종이의 바깥쪽 면을 만지면서 칼집을 제작하였기 때문이다 (Fig. 8). 지문의 위치에 따라 특정 패턴이 나타나는 것은 아니었으나 총 1061개의 지문 중 개인식별에 사용할 수 있을 만한 품질을 가진 지문은 725개로 다른 표면에 비해 약 4배 이상 많은 수의 지문을 관찰할 수 있었다 (Table 4).

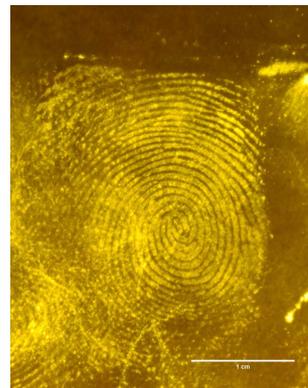


Fig. 4. Fingerprint on paper treated with 1,2-IND/Zn. Fingerprints were photographed using 505 nm forensic light source and orange filter.

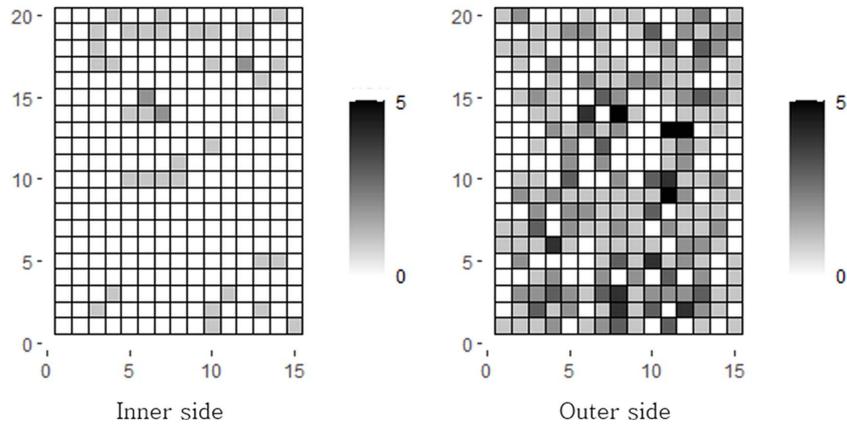


Fig. 5. Heatmap of developed fingerprints on inner and outer side of horizontally folded paper.

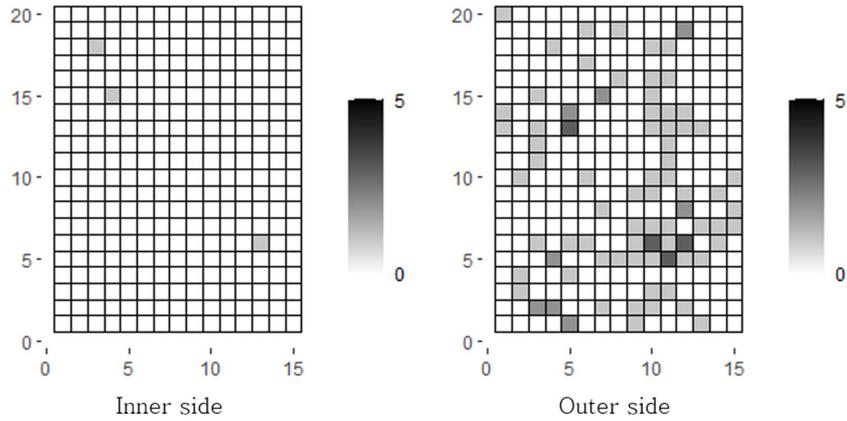


Fig. 6. Heatmap of developed fingerprints on inner and outer side of vertically folded paper.

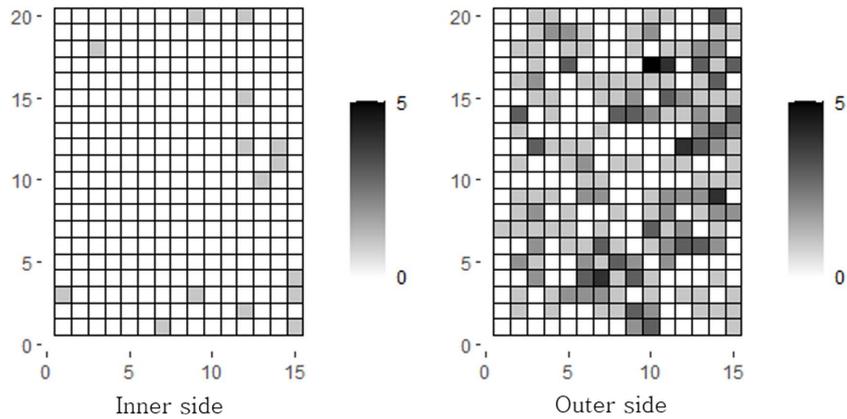


Fig. 7. Heatmap of developed fingerprints on inner and outer side of diagonally folded paper.

3.2. 테이프의 접착면

Fig. 9는 테이프의 접착면에서 Wet Powder Black[®]으로 지문을 현출한 것이다. 테이프 하나당 총 길이를

10등분하여 각 구간 내에 있는 지문의 개수를 확인해 본 결과, 테이프 롤에서 테이프를 뜯어낼 때 만지게 되는 시작 부분(1, 2번)과 테이프를 모두 붙인 후 잘

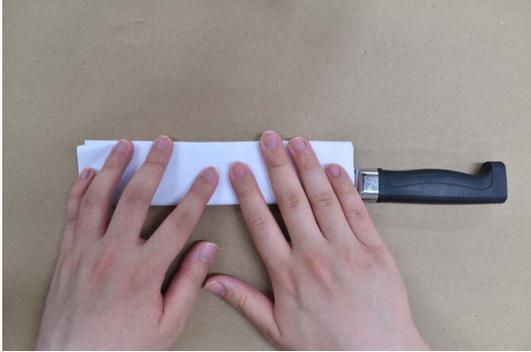


Fig. 8. Example of making a paper knife sheath.

Table 4. The count of developed fingerprints on paper, non-adhesive side and adhesive side of tape

	Non-adhesive side	Adhesive side	Paper
High	130	95	470
Medium	59	79	255
Low	134	123	336
Total	323	297	1061



Fig. 9. Fingerprint on adhesive side of tape treated with Wet Powder Black[®]. Fingerprints were photographed under white light.

라낼 때 만지게 되는 끝부분(9, 10번)에서 상대적으로 많은 수의 지문이 관찰되었다(Fig. 10, Table 5). 특히 시작 부분에서 다른 부분보다 월등히 많은 69개의 지문이 현출되었고 테이프를 뜯어내는 모서리 부분(1번)에서 부분지문이 많이 관찰되었다. 접착면에서 현출된

Table 5. The number of developed fingerprints on adhesive side of tape in each section

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Number	69	21	7	11	5	5	9	5	14	28

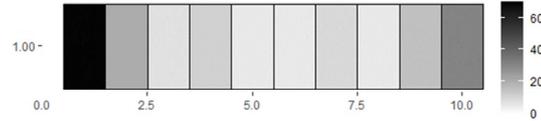


Fig. 10. Heatmap of developed fingerprints on adhesive side of tape.

지문은 297개였으나 개인식별에 사용할 수 있을 만한 품질을 가진 지문은 174개로 세 표면 중 가장 적었다(Table 4).

3.3. 테이프의 비접착면

Fig. 11은 테이프의 비접착면에서 CA fuming으로 지문을 현출한 것이다. 테이프의 비접착면에서는 연구 참여자마다 사용한 테이프의 길이나 테이프를 감은 모양에 따라 현출된 지문 개수의 차이는 있었지만 전반적으로 선명한 지문을 관찰할 수 있었다. 테이프 비접착면에서 총 323개의 지문을 현출할 수 있었다. 개인식별에 사용할 수 있을 만한 품질을 가진 지문은 테이프 비접착면의 앞면에서 97개, 뒷면에서 92개로 총 189개로 관찰되었다. 그러나 지문의 분포에 일정한 규칙성은 관찰되지 않았다(Table 4).



Fig. 11. Fingerprint on non-adhesive side of tape treated with CA fuming. Fingerprints were photographed under white light.

4. 결론

간이 칼집을 현장에서 수집한 경우 테이프의 비접착면, 접착면, 종이 등에서 많은 수의 지문이 발견될

수 있기 때문에 여러 기법들을 순서에 맞게 적용해야 한다. 이 모든 표면은 각각이 중요한 증거물이므로 많은 단계를 거치지 않고 훼손을 최소화할 수 있는 기법을 적용하여 식별 가능한 지문을 최대한 많이 얻어야 한다. 본 연구에서 제시하는 최소한의 기법으로 최대 효율을 내기 위한 최적의 순서는 다음과 같다. 먼저 테이프 비접착면에 cyanoacrylate fuming (CA fuming) 처리하여 현출된 지문을 기록한 후 간이 칼집에 이중 목적 1,2-indanedione/Zn (1,2-IND/Zn) 시약을 적용하여 종이에 붙은 테이프를 박리하고 종이는 따로 열처리하여 지문을 현출한다. 박리한 테이프의 접착면에 있는 지문은 Wet Powder Black[®]을 이용하여 현출하고 모든 지문을 기록한다.

연구 결과, 각 표면에서 특징점을 8개 이상 가져 개인식별에 사용할 수 있는 고품질의 지문이 현출된다는 점과 공통적으로 지문이 많이 분포하는 위치를 확인할 수 있었다. 종이, 테이프 비접착면, 테이프 접착면 순으로 현출된 지문의 수가 많았는데, 이는 종이가 면적이 넓고 만드는 과정에서 제작자의 손이 더 자주 접촉되기 때문이라 추측할 수 있었다. 또한 종이는 다공성 표면으로 지문을 견고하게 흡수하는 특성을 가지고 있어 온전한 지문이 많이 남아있었다. 반면에 테이프 접착면에서 현출된 지문의 수는 세 표면 중 가장 적었지만 특이적으로 테이프의 양 끝 부분에서 지문이 많이 현출되는 패턴이 나타났다. 테이프 비접착면은 통제된 환경에서 실험을 진행하였기 때문에 외부 요인에 의한 영향이 적어 지문이 많이 현출되었지만 실제 사건에서는 간이 칼집을 다루는 추가적인 행위에 의해 훼손될 가능성이 높을 것으로 추측된다(Table 5).

따라서 테이프의 비접착면, 접착면, 종이 3가지 표면 모두 개인식별에 이용할 수 있을 만큼 충분한 정보를 가진 지문을 다수 확보할 수 있었기 때문에 간이 칼집 처리 시 모든 표면에 지문 현출을 시도하는 것이 중요하다. 또한 테이프 접착면의 양 끝부분에는 지문이 많이 분포하는 패턴이 보이기 때문에 지문 현출 기법을 적용할 때 집기류 사용에 의한 지문 훼손을 주의해야 한다. 추가적으로 테이프에서 마지막으로 뜯긴 끝부분(10번)은 테이프 롤에 뜯겨진 부분과 파단면을 확인하여 동일 테이프인지 식별하고 사건재구성에 이용할 수 있으므로 수집 시 테이프 끝부분을 잘 보존해야 한다.

결론적으로 저자들은 간이 칼집에서 현출된 지문의 분포와 개수를 통해 증거물을 다룰 때 유의해야 할 사항을 제시할 수 있었고, 이러한 사항은 간이 칼집과 비슷한 특성을 가지는 검체에 동일하게 적용할 수 있

으므로 이와 같은 증거물이 현장에서 발견되면 지문의 분포 위치를 참고하여 적절한 방법과 순서를 적용하여 잠재지문 현출을 시도할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

References

1. Korean National Police Agency, https://www.police.go.kr/www/open/public/public03_2019.jsp, Assessed 11 July 2021.
2. M. Y. Choudhry and R. D. Whritenour, *J. Forensic Sci.*, **35**, 1373-1383 (1990).
3. H. C. Lee and R. E. Gaensslen, 'Lee and Gaensslen's Advances in Fingerprint Technology', 3rd Ed., CRC press, Boca Raton, 2013.
4. 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.
5. H. C. Lee and R. E. Gaensslen, 'Lee and Gaensslen's Advances in Fingerprint Technology', 3rd Ed., CRC press, Boca Raton, 2013.
6. D. B. Hauza, O. Petrovskaia, B. Taylor, M. M. Joullie, R. Ramotowski and A. A. Cantu, *J. Forensic Sci.*, **43**(4), 744-747 (1998).
7. A. Luscombe and V. Sears, *Forensic Sci. Int.*, **292**, 254-261 (2018).
8. V. D'Elia, S. Materazzi, G. Iuliano and L. Niola, *Forensic Sci. Int.*, **254**, 205-214 (2015).
9. Y. H. Seo, Y. J. Kim, M. S. Shin and J. S. Yu, *The Journal of the Korea Contents Association*, **19**(1), 463-471 (2019).
10. A. de Ronde, M. van Aken, C. J. de Poot and M. de Puit, *Forensic Sci. Int.*, **315** (2020).
11. International Fingerprint Research Group(IFRG), *J. Forensic Identif.*, **64**(2), 174-197 (2014).
12. C. Champod, C. J. Lennard, P. Margot and M. Stoi-lovic, 'Fingerprints and other ridge skin impressions', 2nd Ed., p107-108, CRC press, Boca Raton, 2017.
13. C. Champod, *Forensic Sci. Int.*, **45**(2), 136-163 (1995).

Authors' Positions

Hyo-Mi Kim : Graduate Student
Gi-Hyun Park : Graduate Student
Su-Bhin Lee : Graduate Student
Je-Seol Yu : Professor