

Evaluation of the consistency and homogeneity of artificial latent fingerprint printed with artificial sweat

Ingi Hong and Sungwook Hong[★]

Graduate School of Forensic Science, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

(Received November 21, 2014; Revised January 12, 2015; Accepted January 12, 2015)

인공땀으로 출력한 인공지문의 균질성 평가

홍인기 · 홍성욱[★]

순천향대학교 법과학대학원

(2014. 11. 21. 접수, 2015. 1. 12 수정, 2015. 1. 12 승인)

Abstract: The consistency and homogeneity of repetitive printing of artificial fingerprint were evaluated using a visual minutiae comparison method and an Automated Fingerprint Identification System (AFIS). The standard latent fingerprint pattern was prepared by the printing of a master digital fingerprint pattern with an inkjet printer cartridge case filled with artificial sweat. The master digital fingerprint pattern was prepared with a scanning of an inked fingerprint pattern of a living subject. The intensities of the master digital fingerprint pattern were adjusted by changing the 'output level' values of the Adobe Photoshop CS 5 software. Number of standard latent fingerprint patterns were printed and then developed with conventional latent fingerprint developing methods; ninhydrin treatment method and 1,2-indandion(1,2-IND)/ZnCl₂ treatment method. The ridge details of the latent fingerprint patterns developed with the reagents were visually compared with the inked fingerprint pattern and could confirm that the minutiae of both patterns are visually identical. The ridge detail of the inked fingerprint and reagent developed standard latent fingerprint patterns were compared with an AFIS. The average number of minutiae searched by the AFIS was 52.4±2.4 (range = 48~56) for 50 ninhydrin developed latent fingerprint patterns, and 50.2±1.9 (range = 47~53) for 50 1,2-IND/ZnCl₂ developed latent fingerprint patterns. These low standard deviation values over 50 repetitive printing demonstrated that the 50 standard latent patterns were printed with consistent and homogeneous manner.

요 약: 육안검사, 지문용선의 특징점 비교 및 자동지문식별시스템의 특징점 검색기능을 이용해 잉크젯 프린터로 인공잠재지문을 반복적으로 출력해도 인공잠재지문이 균질하고 일관성 있게 출력된다는 것을 입증하였다. 표준잠재지문 출력용 master fingerprint pattern은 살아있는 사람의 지문을 종이에 찍은 후 이를 스캐너로 스캔하여 만들었고 Adobe Photoshop CS 5의 output level 조절기능을 이용해 이 master fingerprint pattern의 세기를 조절하였다. 인공 표준잠재지문은 master fingerprint pattern을 인공땀으로 채운 잉크젯 프린터 카트리지로 출력하는 방법으로 만들었다. 인공땀으로 출력한 표준잠재지문은 ninhydrin

[★] Corresponding author

Phone : +82-(0)41-530-4927 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.

과 1,2-Indandion(1,2-IND)/ZnCl₂로 처리하여 현출하였다. 두 시약으로 현출한 지문을 육안으로 검사한 결과 잉크를 묻혀 찍은 원지문에 있는 특징들이 표준잠재지문에서도 동일하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 인공땀을 이용하여 표준잠재지문 100 점을 출력한 후 이 중 50점은 ninhydrin으로, 나머지 50 점은 1,2-IND/ZnCl₂로 처리하여 현출한 후 AFIS의 연산기능을 이용해 특징점을 검색한 결과 ninhydrin으로 현출한 지문은 52.4±2.4 개(range = 48~56), 1,2-IND/ZnCl₂로 처리한 지문은 50.2±1.9 개(range = 47~53)의 특징점이 검색되었다. 이처럼 표준편차가 적게 나타난 점으로 보아 인공적으로 만든 표준잠재지문은 반복적으로 균질하게 출력된다는 것을 알 수 있었다.

Key words: latent fingerprint, artificial sweat, AFIS, evaluation, minutiae

1. 서 론

지문(fingerprint)은 지난 100여년 동안 중요한 신원확인 수단으로 사용되어 왔고¹ 최근 DNA 등의 다른 신원확인 방법이 개발되었음에도 그 중요성은 전혀 감소하지 않았다.^{2,3} 다공성(porous) 물질인 종이는 영수증, 지폐, 신문, 각종 문서작성 등 일상생활에 많이 사용되는 물질이기 때문에 범죄사건의 증거물로 제시되는 경우가 많고 따라서 종이에 부착된 잠재지문(latent fingerprint)을 현출하여 육안으로 보이게 만드는 것은 법과학적으로 대단히 중요한 일이다.³⁻⁶ 전 세계의 많은 법과학자들은 종이 부착된 잠재지문을 현출하기 위해 많은 광학적(optical),⁶ 물리적(physical)⁷ 및 화학적(chemical)² 방법을 개발해 왔다. 이렇게 새로운 잠재지문 현출기법을 개발하거나 과거의 기법과 새로 개발된 기법의 장단점을 비교하려면 둘 이상의 표준 잠재지문이 있어야 한다. 현재까지 종이에 표준 잠재지문을 만드는 유일한 방법은 실험자가 종이에 잠재지문을 직접 유류시키는 방법뿐이었다. 그러나 이 방법을 사용하면 종이에 유류되는 잠재지문의 세기는 환경조건, 지문을 유류시키는 사람의 신체상태 및 정신상태, 지문을 누르는 압력 및 시간, 누르는 방법 등에 따라 달라지기 때문에^{1,6} 동일한 지문을 두 개 이상 만드는 것은 불가능하였다. 이에 대한 보완책으로 지문 연구자들은 종이에 하나의 지문을 남긴 후 이 지문을 둘 이상으로 분할해서 여러 조각으로 만들고 분할된 지문들이 동일한 세기로 유류된 지문이라고 가정할 후 분할된 지문을 각기 다른 방법으로 처리하여 처리방법의 장단점을 비교하는 방법을 사용해 왔다.^{1,2,8-10} 그러나 하나의 지문이라 할지라도 손가락 끝의 부위에 따라 땀의 양이나 누르는 압력이 달라질 수 있기 때문에 이런 방법으로 만든 지문 역시 동일한 지문이라고 단정할 수 없는 문제점이 있다.^{1,6} 이런 문제점을 보완하는 유일한 방법은

수없이 많은 지문을 만들어 실험한 후 그 결과를 통계적으로 분석하는 것인데 이 방법은 많은 시간과 노력이 필요한 단점이 있다.¹⁰ 또한 하나의 지문을 다섯 개 이상으로 분할하면 지문의 크기가 지나치게 작아져서 4 가지 이상 기법을 동시에 정확하게 비교하기 어려워지는 것도 이 방법의 문제라고 할 수 있다.

인위적으로 남긴 표준지문을 이용할 경우에는 한 현출기법의 절대적 감도를 감도를 평가하는 경우에도 심각한 문제가 발생한다.^{2,11} 한 현출기법의 절대적 감도를 평가하려면 다양한 농도로 부착된 표준 잠재지문이 필요한데 이 경우 실험자들은 한 손가락으로 검체를 연속적으로 만져서 농도가 진한 지문부터 약한 지문을 순차적으로 만드는 depletion set 방법을 사용해 왔다.^{1,11-19} 그러나 depletion set 방법을 사용하면 손가락으로 검체를 누르는 힘을 항상 일정하게 유지할 수 없고, 첫 번째 검체에 손가락을 대는 순간 땀의 대부분이 검체로 전이되고 두 번째 검체부터는 첫 번째 검체에 비해 상대적으로 적은 양의 땀이 부착되기 때문에 손가락으로 검체를 누르는 횟수가 증가할수록 지문 세기가 직선적이 아니라 지수함수적으로 감소한다는 문제가 있다.¹ 이런 단점을 보완하기 위한 방법으로서 스포이드를 이용해서 농도가 다른 인공땀(artificial sweat) 용액 소량씩을 검체에 점적(spotting)한 후 이 땀을 현출시약으로 현출하는 방법을 사용하고 있다.¹ 그러나 현출된 잠재지문에서 나오는 색은 바탕면의 색과 상호작용(interaction)하여 다르게 보일 수 있는데 이 방법을 이용하면 실제 지문의 융선(ridge detail)모양을 만들 수 없기 때문에 시약으로 현출된 잠재지문 융선모양이 바탕면과 상호작용하는 현상을 관찰할 수 없는 단점이 있다.

표준잠재지문을 인위적으로 유류시키는 방법을 사용할 경우 나타나는 또 다른 문제는 부착시간이 다른 동일한 두 개 이상의 지문을 얻는 것이 불가능하기

때문에 시간경과에 따른 지문현출특성을 비교할 수 없고^{1,20,21} 그 결과 지문의 노화(aging)에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

그러던 중 Schwarz는 땀의 주성분인 아미노산(amino acid) 및 무기염으로 인공땀(artificial sweat) 용액을 조제하고 이 땀을 잉크젯 프린터 카트리지(cartridge)에 채워 인공땀으로 지문용선 모양을 인쇄하는 기법을 개발함으로써 지문연구의 새로운 길을 제시했다.¹² 이 때 Schwarz는 인공땀이 채워진 카트리지로 여러 개의 표준잠재지문을 반복적으로 출력한 후 인공땀이 들어있는 카트리지의 무게가 일정하게 감소한다는 것을 입증함으로써 잉크젯 프린터에서 인공땀이 균질하게 출력된다고 결론 내렸다. 그러나 이 방법은 표준잠재지문을 인쇄할 때 카트리지에 들어있는 인공땀이 균질하게 종이로 분사된다는 것을 입증한 결과에 불과할 뿐 인공땀이 원래 지문 모양대로 종이에 균질하게 인쇄되었다는 것을 입증한 결과가 아니기 때문에 이에 대한 추가적인 검증이 필요한 실정이다.

지문자동식별시스템(Automated Fingerprint Identification System: AFIS)은 컴퓨터의 검색 연산 기능을 이용하여 지문마다에 특징적으로 존재하는 단점(ridge ending), 분기점(bifurcation), 삼각점(delta) 등의 상대적 위치나 방향, 기하학적 특징 등을 자동으로 비교함으로써 사건현장에서 찾아낸 지문이 데이터베이스에 입력되어 있는 지문 중 어느 것과 일치하는지를 자동으로 찾아주는 장치이다.²² 지문자동식별시스템은 미리 입력한 연산명령에 따라 지문에 존재하는 특징점(minutiae)을 자동으로 추출하여 주기 때문에 사람의 주관을 배제하고 지문을 기계적으로 비교할 수 있는 장점이 있다.²² 본 연구에서는 지문자동식별시스템이 사람의 주관을 배제하고 지문이 갖고 있는 특징점을 기계적으로 평가할 수 있는 장비라는 점에 착안하여, 인공땀으로 표준잠재지문 출력하고 이 잠재지문을 아미노산에 특징적으로 반응하는 화학시약으로 현출한 후 이 지문에 나타난 특징들을 지문자동식별시스템으로 자동으로 추출하여 원래 지문과 표준잠재지문에서 동일하게 추출되는지 여부를 비교하는 방법으로 표준잠재지문 제조기법의 신뢰성을 확인하였다. 또한 육안 검사(visual inspection)와 특징점 비교도 병행하였다.

2. 실험

2.1. 시약 및 재료

인공땀 조제에 사용한 L-serine, glycine, DL-alanine,

Table 1. Formulation of artificial sweat solution

Constituents	Concentrations (mM)
Serine	9.3
Glycine	7.8
Alanine	3.3
Lysine	2.7
Threonine	1.2
Asparagin acid	1.1
Histidine	0.9
Valine	0.8
Leucine	0.7
Sodium chloride	113
Magnesium chloride	0.4
Calcium chloride	1.4
Zinc chloride	0.14

L-leucine, L-threonine, L-histidine, L-valine, L-(+)-asparagin, L-lysine, sodium chloride, calcium chloride, magnesium chloride, zinc chloride는 순도 99.8% 이상인 Sigma-Aldrich (Gillingham, Dorset, UK) 제품을 사용했다. 잠재지문 현출에 사용한 Ninhydrin과 1,2-indandione (1,2-IND) 및 zinc chloride (ZnCl₂) working solution은 미국의 Sirchi사에서 생산하는 완제품을 그대로 사용하였다.

잉크젯 프린터는 일본의 EPSON K100을, 스캐너는 일본의 EPSON V33 제품을 사용하였다. 잉크 공(empty)카트리지는 EPSON i300 잉크 카트리지를 구입한 후 인공땀으로 5회 세척한 후 인공땀을 주입하여 사용하였다. 법과학광원(forensic light source)으로는 호주 Rofin 사의 Poliview PL-500 제품을 사용하였고 사진은 Nikon D7000 DSLR카메라로 촬영하였다. 다리미는 Digital Steam Press SSP-3208 (Sienna, USA)을 사용하였다. AFIS는 00 경찰서의 협조를 얻어 대한민국 경찰청에서 사용하는 시스템을 사용하였다.

2.2. 인공땀의 조제

인공땀 용액은 Ramotowski²³와 Schwarz¹²가 제안한 조성에 따라 아미노산과 무기염을 탈이온수에 녹여 조제하였고 그 조성은 Table 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Master fingerprint pattern의 제작 및 표준잠재지문의 인쇄

25세 한국인 남성 피실험자의 엄지손가락에 검은색

잉크를 골고루 묻힌 후 이를 하얀색 A4 복사용지에 찍어 현재지문을 얻은 후 scanner를 이용하여 black & white image (resolution=1200 dpi)로 scan하였다. Scan한 지문의 용선과 용선 사이에 있는 바탕면은 Adobe Photoshop CS 5 software를 이용해 투명하게 만들어 준 후 이를 master fingerprint pattern으로 사용하였다. 이 master fingerprint pattern을 컴퓨터에서 연 후 Adobe Photoshop CS 5의 'output levels' 조절 기능을 이용하여 다양한 세기의 master fingerprint pattern을 만들었다. Adobe Photoshop CS 5 software에서는 output levels을 0~250까지 조절할 수 있는데(이 숫자가 작을수록 image가 진하게 나타나고 클수록 흐리게 나타난다) 본 연구에서는 master fingerprint pattern의 output level을 0, 50, 100, 150, 200, 250으로 설정하였다. 이렇게 얻은 다양한 세기의 master fingerprint pattern은 카트리지에 인공땀을 채운 잉크젯프린터로 하얀 A4 용지에 출력하여 표준잠재지문을 얻었다.

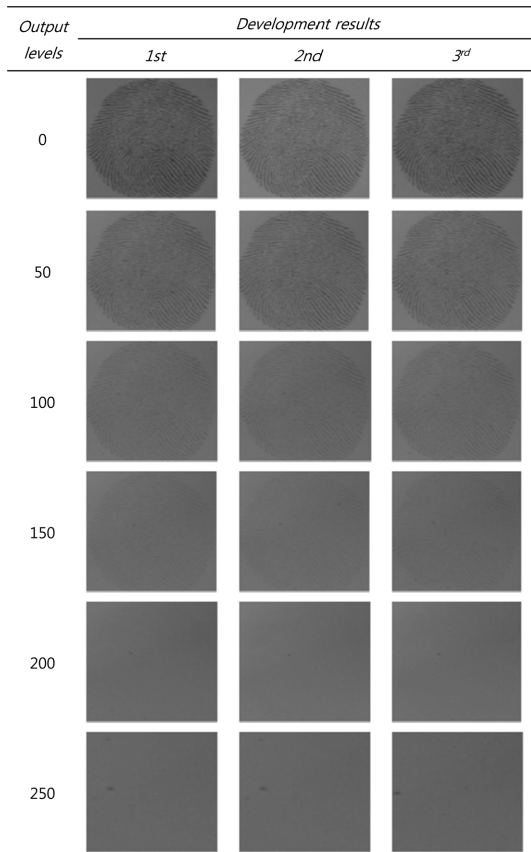


Fig. 1. Visual comparisons of three artificial latent fingerprint sets developed with ninhydrin.

3.2. 표준 잠재지문의 현출

A4 용지에 출력된 표준잠재지문은 ninhydrin과 1,2-IND/ ZnCl₂로 처리하여 현출하였다. Ninhydrin의 경우에는 표준잠재지문이 인쇄된 종이를 ninhydrin working solution에 2분간 담근 후 말려서 현출하였다. 1,2-IND로 처리할 경우에는 표준잠재지문이 인쇄된 종이를 1,2-IND working solution에 2분간 담근 후 꺼내 말린 후 zinc chloride working solution을 분무하고 160 °C 다리미로 10 s 동안 다리서 현출하였다. 이렇게 처리한 지문은 forensic light source를 이용해 555 nm의 빛으로 들뜨게 한 후 모두 610 nm의 band pass filter를 통해 형광 mode로 관찰하였다.

3.3. 육안검사에 의한 표준잠재지문 출력의 신뢰성 확인

Master fingerprint image의 Output level을 0, 50, 100, 150, 200, 250으로 각각 설정하여 준비한 지문을 인공

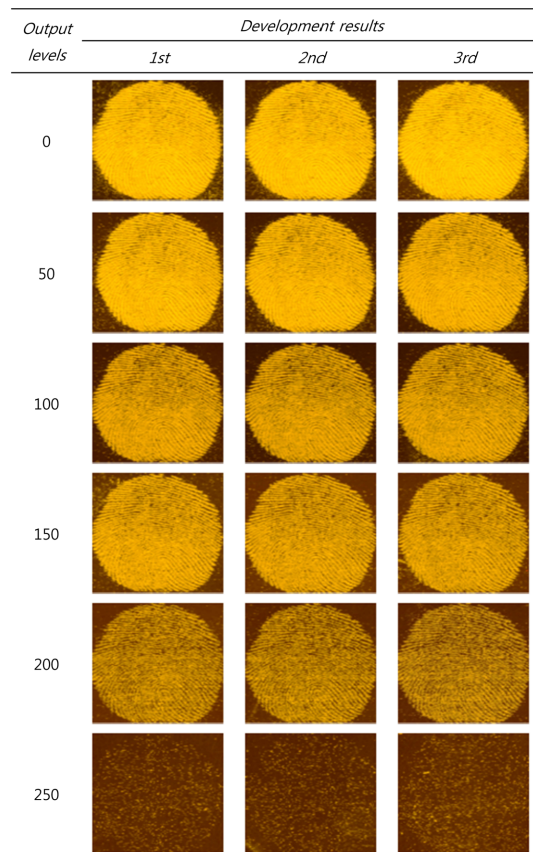


Fig. 2. Visual comparisons of three artificial latent fingerprint sets developed with 1,2-IND/ZnCl₂.

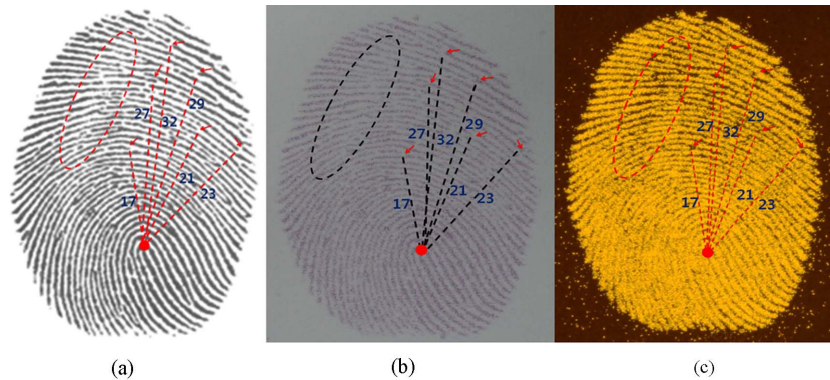


Fig. 3. Minutiae comparisons of inked fingerprint and standard latent fingerprints. The uneven impression of the ridge detail (dotted circle), number of ridge detail (dotted lines) between the core point (dot) and minutiae (arrows) are the same. (a) Inked fingerprint, (b) Standard latent fingerprint developed with a ninhydrin treatment, (c) Standard latent fingerprint developed with an 1,2-IND/ZnCl₂ treatment.

땀으로 출력한 표준잠재지문을 ninhydrin과 1,2-IND/ZnCl₂로 현출하여 현출된 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 한 현출시약 당 3회씩 현출하여 비교한 결과 output level을 높여 출력한 표준잠재지문일수록 약하게 현출된 것을 볼 수 있었고 동일한 output level로 출력하여 동일 시약으로 현출한 육안상 잠재지문의 세기의 차이가 관찰되지 않았다. 이로 미루어 output level을 조절하는 것은 표준지문의 세기를 조절하는 좋은 방법이라는 것을 알 수 있었다. 또한 ninhydrin으로 처리한 지문은 output level 100으로 출력한 지문까지, 1,2-IND/ZnCl₂로 현출한 지문은 output level 200으로 출력한 지문까지 선명한 용선이 관찰되는 점으로 보아 1,2-IND/ZnCl₂로 처리하는 방법이 ninhydrin으로 처리하는 방법보다 감도가 좋은 방법이라는 것을 알 수 있다.

3.4. 특징점 비교에 의한 표준잠재지문 출력의 균질성 확인

표준잠재지문이 잉크를 묻혀 찍은 지문(inked fingerprint)과 동일하게 출력되었다는 것을 입증하기 위해, master fingerprint pattern의 output level을 0으로 설정하고 출력한 잠재지문에 나타난 특징점과 잉크를 묻혀 찍은 지문(inked fingerprint)에 나타난 특징점을 육안으로 비교하였다. Fig. 3에서 보인 것과 같이 잉크를 묻혀 찍은 실제지문에 나타난 특징점과 특징점 사이의 용선의 수 및 용선이 희미하게 찍히는 형상(실선)이 동일하게 관찰되었다. 이를 표준잠재지문은 잉크를 묻혀 찍은 지문과 동일하게 출력된다는 것을 확

인할 수 있었다.

3.5. 지문자동식별시스템에 의한 표준잠재지문 출력의 신뢰성 확인

지문자동식별시스템을 이용하여 잉크를 묻혀 찍은 지문과 이 지문으로 만든 표준잠재지문의 특징점의 수를 비교하여 표준잠재지문 출력의 신뢰성을 확인하였다. Adobe Photoshop CS 5에서 연 master fingerprint pattern의 output level을 100으로 설정하여 표준잠재지문 100점을 출력한 후 이 중 50점은 ninhydrin으로 처리하고 나머지 50점은 1,2-IND/ZnCl₂로 처리하여 잠재지문을 현출하였다. 이렇게 가시화시킨 표준잠재지문을 digital camera로 촬영한 후 이 image들을 자동지문식별시스템에 입력하고 자동지문식별시스템에 내장되어 있는 검색엔진을 이용하여 현출된 지문에 있는 특징점을 자동으로 추출하였고 추출결과는 Fig. 4 및 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 ninhydrin으로 처리한 지문의 경우 평균 52.4±2.4 개(range = 48-56), 1,2-IND/ZnCl₂로 처리한 지문의 경우 평균 50.2±1.9 개(range = 47-53)의 특징점이 자동으로 추출된 것을 볼 수 있다. Ninhydrin으로 처리한 결과보다 1,2-IND/ZnCl₂로 처리한 경우 특징점이 추출되는 숫자의 변위 및 표준편차가 약간 크게 나타났다. Ninhydrin은 한 번의 시약처리 과정을 거치지만 1,2-IND/ZnCl₂의 경우 두 번의 시약처리 과정을 거치기 때문에 이 과정에서 지문의 용선이 손상될 가능성이 높아졌기 때문에 이런 결과가 나타났다고 판단된다. 그러나 특징점이 추출되는 숫자의 표준편차(standard deviation)는

Table 2. Number of Minutiae detected by an AFIS searching

Ninhydrin treated latent fingerprints				1,2-IND/ZnCl ₂ treated latent fingerprints			
Latent fingerprint	No. of Minutiae	Latent fingerprint.	No. of Minutiae	Latent fingerprint	No. of Minutiae	Latent fingerprint	No. of Minutiae
1	56	26	50	1	53	26	51
2	54	27	55	2	51	27	49
3	52	28	51	3	52	28	48
4	50	29	51	4	47	29	49
5	51	30	48	5	50	30	48
6	54	31	52	6	53	31	50
7	55	32	53	7	52	32	52
8	50	33	52	8	51	33	49
9	49	34	49	9	52	34	49
10	51	35	54	10	53	35	49
11	52	36	54	11	48	36	52
12	48	37	48	12	48	37	48
13	56	38	55	13	50	38	48
14	56	39	56	14	53	39	49
15	56	40	52	15	50	40	53
16	51	41	50	16	51	41	53
17	56	42	49	17	48	42	49
18	54	43	52	18	53	43	48
19	56	44	51	19	48	44	51
20	52	45	51	20	49	45	51
21	50	46	53	21	51	46	48
22	52	47	56	22	50	47	49
23	54	48	53	23	50	48	53
24	53	49	52	24	49	49	48
25	52	50	53	25	53	50	49
Average		52.4		Average		50.2	
Standard deviation		±2.4		Standard deviation		±1.9	

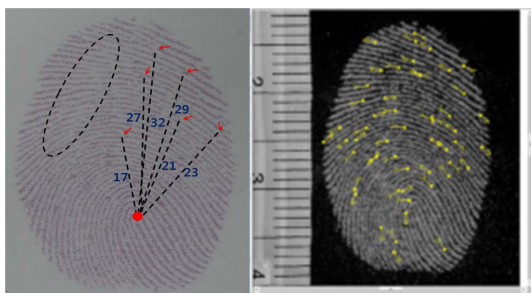


Fig. 4. Ninhydrin treated fingerprint (left) and an AFIS searching result (right).

ninhydrin으로 처리한 경우 1.9개, 1,2-IND/ZnCl₂로 처리한 경우 2.4 개로 대단히 작게 나타나는 점으로 보아 인공땀이 채워진 잉크젯 프린터로 master fingerprint pattern을 인쇄해도 표준잠재지문이 일관성있게 출력

된다는 것을 알 수 있다.

Master fingerprint pattern을 자동지문식별시스템으로 100 회 검색한 결과 100 회 모두 53 개의 특징점이 추출되었다. 이로 미루어 인공땀으로 출력한 지문은 master fingerprint pattern에 비해 선명도는 다소 떨어진다는 것을 알 수 있고 이는 잉크젯 프린터가 갖는 기계적인 한계라고 생각된다.

4. 결 론

인공땀을 조제한 후 인공땀을 잉크젯 카트리지의 검은색 잉크 대신 사용하여 A4 용지에 인공 표준잠재지문을 출력하였고, 출력된 표준잠재지문이 포함된 A4 용지를 지문현출시약인 ninhydrin과 1,2-IND/ZnCl₂로 처리하여 현출하는 방법으로 표준잠재지문이 균질

하게 출력되었는지 확인하였다. 표준잠재지문은 Adobe Photoshop CS 5 software를 이용해 제작하였고 표준잠재지문의 세기는 동일 software의 output level을 변화시켜 조절하였다.

한 현출시약 당 3 회씩 현출하여 비교한 결과 output level을 높여 출력할수록 표준잠재지문의 출력 세기는 약해지는 것을 확인할 수 있었고, 동일한 output level로 출력한 표준잠재지문 3 점씩은 육안상 잠재지문 세기의 차이가 관찰되지 않았다. 또한 잉크를 묻혀 찍은 실제지문에 나타난 특징이 표준잠재지문에서도 동일하게 나타나 표준잠재지문은 잉크를 묻혀 찍은 지문과 동일하게 출력된다는 것을 확인할 수 있었다.

표준잠재지문 100 개를 만들어 50 개는 ninhydrin으로, 나머지 50 개는 1,2-IND/ZnCl₂로 현출한 후 자동지문식별시스템으로 특징점을 추출한 결과 추출되는 특징점의 개수의 변위는 ninhydrin으로 처리한 지문의 경우 평균 52.4±2.4 개(range = 48~56), 1,2-IND/ZnCl₂로 처리한 지문의 경우 평균 50.2±1.9 개(range = 47~53)로서 표준편차가 2.4 개 미만으로 나타났고 이로 미루어 표준잠재지문이 균질하게 출력되었다는 것을 알 수 있었다.

육안검사 및 자동지문식별시스템으로 특징점을 비교한 결과를 종합해 볼 때 인공땀을 이용해 잉크젯프린터로 인공지문을 반복하여 출력하여도 인공 표준잠재지문은 균질하게 출력된다는 것을 알 수 있고, 이 결과는 향후 지문을 연구할 때 표준지문을 쉽게 얻을 수 있는 방법을 제시한 것이라고 평가된다.

감사의 글

본 연구는 순천대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

References

1. V. Sears, S. M. Bleay, H. L. Bandey and V. J. Bowman, *Science and Justice*, **52**(3), 145-160 (2012).
2. C. Wallace-Kunkel, C. Lennard, M. Stoilovic and C. Roux, *Forensic Science International*, **168**(1), 14-26 (2007).
3. C. Fairley, S. M. Bleay, V. G. Sears and N. NicDaeid, *Forensic Sci. Int.*, **217**(1), 5-18 (2012).
4. R. S. Croxton, M. G. Baron, D. Butler, T. Kent, and V. G. Sears, *Forensic Sci. Int.*, **199**(1), 93-102 (2010).
5. C. Marriott, R. Lee, Z. Wilkes, B. Comber, X. Spindler, C. Roux and C. Lennard, *Forensic Sci. Int.*, **236**, 30-37 (2014).
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. O. P. Jasuja, M. A. Toofany, G. Singh and G. S. Sodhi, *Science and Justice*, **49**(1), 8-11 (2009).
9. L. A. Lewis, *J. Forensic Sciences*, **46**(2), 241-246 (2001).
10. J. W. Bond, *J. Forensic Sci.*, **53**(4), 812-822 (2008).
11. R. Jelly, S. W. Lewis, C. Lennard, K. F. Lim and J. Almog, *Chem. Commun.*, **30**, 3513-3515 (2008).
12. L. Schwarz, *J. Forensic Sci.*, **54**(6), 1323-1326 (2009).
13. A. A. Cantu, D. A. Leben, M. M. Joulie, R. J. Heffner and R. R. Hark, *J. Forensic Identif.*, **43**(1), 44-66 (1993).
14. M. Azoury, R. Gabbay, D. Cohen and J. Almog, *J. Forensic Sci.*, **48**(3), 564-570 (2003).
15. O. P. Jasuja and G. Singh, *Forensic Sci. Int.*, **192**(1), e11-e16 (2009).
16. M. Y. Choudhry and R. D. Whritenour, *J. Forensic Sci.*, **35**, 1373-1383 (1990).
17. C. Roux, N. Jones, C. Lennard and M. Stoilovic, *J. Forensic Sci.*, **45**(4), 761-769 (2000).
18. Y. P. Luo, Y.-B. Zhao and S. Liu, *Forensic Sci. Int.*, **229**(1), 75-79 (2013).
19. J. W. Bond, *J. Forensic Sci.*, **59**(2), 458-489 (2014).
20. A. Rawji and A. Beaudoin, *J. Forensic Identif.*, **56**(1), 33 (2006).
21. L. Schwarz and I. Klenke, *J. Forensic Sci.*, **52**(3), 649-655 (2007).
22. N. M. Egli, C. Champod, P. Margot, *Forensic Sci. Int.*, **167**(2-3), 189-195 (2007).
23. R. Ramotowski, 'Lee and Gaensslen's Advances in Fingerprint Technology', 3rd Ed. CRC Press, 2012.