

A preliminary study to determine the order of the latent fingerprint deposition on thermal paper – A short term study –

Dong-A Lim, Yun-Seok Ok, Bo-Reum Heo, and Sung-Woon Choi^{1, *}

Department of Scientific Criminal Investigation, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

¹*Graduate School of New Drug Discovery and Development, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea*

(Received January 10, 2017; Revised April 12, 2017; Accepted April 19, 2017)

감열지상 잠재지문의 남겨진 순서결정에 대한 예비적 연구 – 단기연구 –

임동아 · 옥윤석 · 허보름 · 최성운^{1, *}

충남대학교 평화안보대학원 과학수사학과, ¹충남대학교 신약전문대학원 신약개발학과

(2017. 1. 10. 접수, 2017. 4. 12. 수정, 2017. 4. 19. 승인)

Abstract: Determination of the order of latent fingerprints deposition on the surface of thermal paper, often found in crime scenes, is related to the study of time course and aging of fingerprints and can provide additional information in criminal investigations. A preliminary study was performed to determine the deposition order of fingerprints left with two different conditions of deposition pressure and time (in seconds) after 1 day intervals for 7 days on thermal paper (receipt and fax thermal paper) using an iodine fuming method. The resultant images of the visualized fingerprints were analyzed with densitometric image analysis to measure the changes in the areas of the ridges, which can be correlated to the deposition order. No significant variation was found with the different types of thermal paper. The average areas of the friction ridges increased gradually or were similar to the values from day 1 for 3 days, and then a continual decrease was shown from day 4 through day 7. The area values from day 6 and day 7 were less than half of those from day 1. Furthermore, the test with overlapped fingerprints showed the possibility of differentiation between fingerprints that are 1-3 and 6-7 days old based on the clarity visible to the naked eye. Additional experiments with the deposition conditions can prove that the current method is valuable for the determining the order of fingerprint deposition on thermal paper.

요 약: 범죄현장에서 자주 발견되는 감열지의 표면에 남겨진 잠재지문의 압인순서 결정은 지문의 경시 변화 및 지문 나이의 연구와 밀접한 관계가 있으며, 수사에 있어서 추가적인 정보를 제공할 수 있다. 이를 위한 예비실험으로 2가지의 압인 압력과 시간(second)으로 감열지(일반 영수증과 팩스종이)상에 유류

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)42-821-5294 Fax : +82-(0)42-821-8927

E-mail : schoi@cnu.ac.kr

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.

한 시료지문을 1~7일의 경과 후에 일(day)별로 iodine fuming법으로 현출하였다. 가시화된 지문의 이미지를 농도계 이미지 분석을 통하여 압인순서와 상관관계가 있을 수 있는 용선의 평균 면적값의 변화를 분석하였다. 감열지 용지의 종류에 따른 큰 차이는 나타나지 않았으나 3일차까지는 지문 용선의 면적값은 점점 증가하거나 유사한 경향을 보였고 4일에서 7일차까지 점진적으로 감소하였다. 6일과 7일차 지문의 면적값은 1일차의 대략 1/2 이하였다. 또한 겹 지문을 실험 한 경우 6일차, 7일차 경우에는 1~3일차의 지문과의 큰 선명도 차이를 보여 육안 구별가능성을 보였다. 추후 압인 조건에 대한 추가적인 실험은 현재의 방법이 지문의 감열지상 압인순서 결정에 가치 있는 방법임을 증명할 수 있을 것이다.

Key words: thermal paper, latent fingerprint, deposition order determination, iodine fuming, densitometric image analysis

1. 서 론

지문은 범죄수사에 있어서 가장 중요한 물리적인 증거물 중의 하나로 전 세계적으로 가장 흔하게 그리고 자주 이용되는 과학수사의 증거물로 이는 생체증거물에서의 DNA와 함께 개인 식별을 가능하게 하는 중요한 수단이기 때문이다.^{1,2} 최근 사건현장 증거물 지류 중 감열지가 많이 발견되고 있으며 이들에게서 발견되는 인쇄정보와 잠재지문으로 부터의 개인 식별 그리고 추가적인 이들의 남겨진 순서의 결정은 수사에 추가적인 정보를 제공할 수 있다. 지문감식은 주로 가시화된 지문의 이미지로 부터 특징점(minutia)을 추출하여 용의자의 지문과 비교하거나 데이터베이스(database)에 저장된 지문과의 비교로부터 개인 식별을 목적으로 한다.¹⁻³ 현재까지의 지문에 관련된 연구는 기존 현출방법의 개량 및 적정화 혹은 새로운 현출 증강방법의 개발에 많은 연구가 집중되어왔으며^{4,5} 그 이외의 분야로 남겨진 지문의 자체 내부구성성분연구를 통한 지문을 남긴 사람의 성별, 나이 등의 결정을 하며 외부구성요소의 분석으로 약물, 화장품, 타 음식오염물 등에 대한 존재여부에 대한 연구가 진행되어왔다.⁶⁻¹⁰ 또한 추가적으로 지문의 나이(fingerprint age) 즉, 지문이 남겨진 시기 결정에 대한 연구로 현재까지는 법정에서 받아들여지는 지문의 나이 결정을 위한 분석방법은 없는 실정이다.¹¹⁻¹³ 그러나 지문이 남겨진 시기의 결정은 실제 범죄수사에 있어서 매우 중요한 사안으로 실제 범죄발생 당시에 남겨진 지문은 용의자나 변호인에 의해 범죄발생 이전의 합법적인 방문 혹은 접촉으로부터 남겨진 것이라고 주장되어질 수 있다.¹² 이러한 사안에 대해서 최근 제안된 가능한 방법들로는 지문의 시간경과에 따른 물리화학적 변화와 이들 변화를 분말법이나 화학적인 방법으로 지문현출 증강 시의 경시변화에 대한 현출효과에

관련되는 방법들이 있다. 이들 방법들은 주로 성공적인 물리적인 현출에 의존하고 지문의 구성성분 혹은 지문 공여자간의 차이 그리고 다른 영향요소들을 고려하지 않은 이유와 주로 성공적인 현출정도의 차이에 의존한 것으로 확실성이 낮은 방법으로 여겨진다.^{14,15} 추가적으로 시간에 따른 지문의 정전기적(electrostatic),¹⁶ 형광성(fluorescence)¹⁷의 변화에 대한 연구가 알려져 있으며 다소 용이한 방법으로 용선 외형의 특징에 대한 연구로 시간에 따른 용선 특징의 퇴행(degeneration), 용선 산과 골의 간격 변화, 개개 띠구멍의 변화 등에 관한 연구가 있으나 모든 다양한 환경적인 변수를 고려할 수 없으며 육안 상 혹은 현미경 하에서의 차이에 의존하여 이 또한 신뢰도가 낮은 방법이라 볼 수 있어 추가적인 실험이 필요하다.¹⁸ 위조, 사기 및 보안문서 등을 포함한 수사에 있어서 문서상의 내용외에 문서에 남겨진 잠재지문을 통한 문서에 접근한 사람에 대한 확인과 다수의 지문이 존재할 경우 이들의 남겨진 순서의 결정은 거시적으로 지문의 나이에 대한 연구의 일부분으로 수사에 많은 도움을 줄 수 있다. 이와 유사한 연구로 인쇄(print) 전과 후에 남겨진 잠재지문을 보유한 문서에서 지문의 날인(deposition)이 프린트 이전인지 이후인지를 잉크부분에 겹쳐진 지문용선을 분석하여 결정하는 연구가 알려져 있다.¹⁹ 그러나 다수의 지문이 존재하는 다공성 표면에서의 지문의 압인된 순서결정에 대한 사안은 알려진바 없다. 최근 경제적, 신속, 저소음 등의 장점을 가진 다공성의 감열지(thermal paper)를 사용한 인쇄기술이 발전하면서 사회전반에 걸쳐 사용이 증가하였고²⁰ 이로 인하여 사건, 사고현장에서 빈번히 접하는 증거물이 되었다. 그러나 감열지 상의 잠재지문의 가시화는 극성이 있는 용매를 사용하는 기존의 방법에 표면변색으로 인한 문제를 야기하여 조절된 열을 가하거나,²¹ “Thermanin®” 등을 사용한 화학

적 방법,²² iodine fuming을 이용한 가시화 등이 알려져 있다.²³ 이전의 현출된 지문에 대한 정량적인 평가방법의 개발을 위한 연구에서 iodine fuming 방법으로 감열지 상에서 가시화된 잠재지문의 용선에 대한 농도계 이미지 분석(densitometric image analysis)의 결과인 면적값은 지문 이미지의 Automatic Fingerprint Identification System (AFIS)을 통하여 발견되는 특징점(minutia)의 수와 비례하는 경향을 보여 새로운 반정량적인 지문의 평가방법으로서의 가능성을 보인바 있다.²⁴

본 연구에서는 일반적으로 많이 사용되는 두 종류의 감열지(팩스와 일반 영수증용지)의 표면에 남겨진 잠재지문들의 압인순서(지문의 나이)를 결정하기 위한 예비실험이다. 관찰된 신선한 지문은 비록 낮은 압력과 짧은 압인시간의 조건에서 남긴 경우에도 상대적으로 더욱 강하게 압인하고 압인시간이 긴 오래된 지문보다 빠르게 가시화가 되는 현상이 육안으로 관찰된 결과에 기인한다. 각기 서로 다른 압력(kg.f)과 시간(second)으로 압인된 잠재지문을 단기간인 1일~7일 동안 방치한 후 iodine fuming 방법으로 가시화하여 취득된 이미지들을 농도계 이미지 분석을 이용하여 압인순서를 결정하는 시도를 실험하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 기구, 시약 및 일반방법

지문시료는 로드셀(KERN KB1200-2, Germany)을 이용하여 유류하였으며 실험에 사용된 미사용 감열지(8 cm × 5 cm)는 두 종류로써 일반 영수증 감열지(종합전자, POS 롤영수증, KOR)의 앞면(감열부분), 팩스 영수증(한솔, KOR)의 앞면(감열부분)을 사용하였다. 또한 요오드(Iodine, 99.8%)의 경우 Samchum chemicals사에서 구입하여 사용하였으며 지문현출 시 사용된 챔버(8 cm × 8 cm × 12 cm, 600 mL)는 원형의 뚜껑이 있는 밀봉 가능한 휴대용 챔버를 사용하였다. 현출 지문 촬영 기기로는 디지털카메라(NIKON, D5300)와 마이크로렌즈(NIKON-AF-S Micro NIKKOR 60 mm 1:2.8G)를 사용하여 촬영하였고 촬영 후 분석은 농도계 이미지 분석(densitometric image analysis) 프로그램 CP Atlas 2.0 (Lazarsoftware, USA)을 사용하여 잠재지문 용선의 면적값을 도출하였다.

2.2. 잠재지문 유류방법 및 현출실험

지문시료는 20대 남성의 지문으로 상온 20~25 °C

그리고 습도 25~30 % 조건에서 손가락을 에탄올로 세정하고 실온에서 건조를 시킨 조건에서 이마와 코를 각 2 회 접촉한 후 지문유류 성분이 균일하게 분포되도록 3 회 rolling 한 후 각각의 감열지에 유류하였다. 또한 유류압력과 시간(초)에 따른 차이를 알아보기 위하여 각기 다른 압력(0.5 kg.f/5 sec, 0.3 kg.f/2 sec)으로 지문을 유류하였으며 1~7일의 시간적 변수를 두고 유류하였다. 각 조건별 상이한 날에 3회 반복 실험을 하였다. 현출방법은 밀봉된 챔버(chamber)안에 동일한 양의 요오드(150 mg)를 바닥에 넣은 후 유류된 감열지를 챔버 바닥으로부터 8 cm의 높이에서 30분 동안 현출시켰다.

2.3. 농도계 이미지 프로그램 분석방법

현출된 잠재지문은 디지털카메라(1/2 sec, F22, ISO 400)로 촬영한 후 동일한 구간을 설정하여 3명의 실험자가 용선의 면적값을 알아내기 위해 농도계 이미지 분석 프로그램인 CP Atlas 2.0 (Dark on Light, Channel; Blue, Zoom; 100 %)을 사용하여 동일한 3개의 위치에서 면적값을 각각 도출하여 평균을 얻었으며 iodine fuming법으로 현출된 지문의 이미지와 분석을 위한 선정부위를 Fig. 1에 제시하였다. 이는 가시화 이후에 취득된 이미지의 육안 확인 결과 지문의 용선이 전체적으로 비교적 균질의 용선 선명도를 나타내어 부분적인 차이를 보이지 않고, 분석의 일관성을 위하여 지문의 중심 부분을 선택하여 농도계 이미지 분석을 실행하였다. 전체적으로 도출된 값은 Microsoft Office Excel 2016을 이용하여 잠재지문의 평균값과 표준오차를 넣은 그래프로 작성하였다.

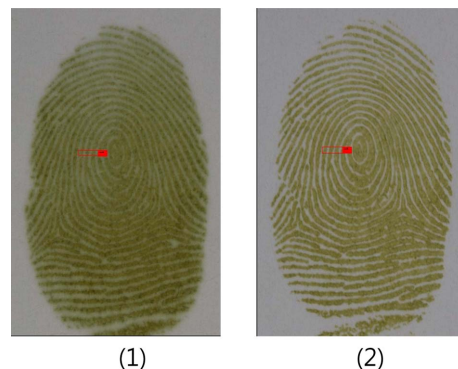


Fig. 1. Images of fingerprints with selected area analyzed by CP Atlas 2.0 under the deposition condition of 0.3 kg.f/2 sec, (1) receipt paper, (2) fax paper.

3. 결과 및 고찰

잠재지문의 감열지상 압인순서 결정은 지문의 나이 추정에도 관련된 연구로 이에 대한 연구는 알려진 바 없다. 따라서 본 예비실험은 낮은 압력(0.3 kg.f/2 sec)의 신선한(1~2일) 지문과 높은 압력(0.5 kg.f/5 sec)의 오래된 지문(6~7일)을 비교하였을 때 각각의 면적값이 630과 229로, 낮은 압력으로 단시간 유류시계 지문이 적게 전이된 경우에도 신선할 경우에는 지문의 현출 정도가 높은 압력으로 비교적 많은 양이 전이된 경우보다 상대적으로 선명하게 가시화되는 간단한 선행실험 결과를 바탕으로 실험을 실시하였다. 일반적으로 감열지는 특수 염료와 유기화합물들이 여러 층으로 코팅된 것으로 가시화를 위하여 극성이 있는 일반 용매를 사용하거나 열을 가하게 되면 검게 변하게 되어²⁵ 본 연구에서는 잠재지문을 iodine fuming법을 선행적으로 요오드의 양과 가시화 시간에 대한 적정화 없이 실험하였고, 현출된 지문의 선명도의 차이를 비교하기 위하여 용선을 농도계 이미지 분석 프로그램인 CP Atlas 2.0을 이용하여 용선의 면적값을 비교 분석하였다(Fig. 2).²⁴ 즉, 감열지상에서 압인조건과 시간 경과에 따른 용선의 면적값의 변화로부터 지문의 유류 순서 결정의 가능성에 대해서 알아본 것이다.

3.1. Iodine fuming법으로 감열지 상 현출된 잠재 지문 이미지 분석

영수증과 팩스 감열지 상에서 1일, 3일, 7일이 경과된 시료지문을 iodine fuming법으로 현출하여 얻은 지문 이미지와 이에 대한 농도계 이미지 분석(densitometric image analysis)을 실시한 결과 피크를 Fig. 2, 3에 제시하였다. 객관적이며 재현성이 높고 반정량적인 비교를 위하여 지문의 중심부분을 일정하게 선택하여 면적값을 도출하였다(Fig. 1). 그러나 7일이 경과된 고압(0.5 kg.f/5 sec)으로 남겨진 지문의 경우 Fig. 2의 7 day의 (A)에서와 같이 피크와 배경표면(background)의 차이가 감소하여 면적값 계산에 주의를 요하였으며 결국은 낮은 면적값으로 산출이 되었다(Fig. 4, 5). 지문용선 피크들의 모양은 일반 영수증 감열지보다 팩스 용지가 다소 구형이고 배경이 더욱 흰색을 나타내는 이유로 결과 면적값은 높게 나타났다. 이로부터 각각 감열지의 감열부분을 구성하는 성분 혹은 추가적인 표면처리가 다르다고 여겨지며 영수증에서의 결과는 팩스 용지에서의 결과와는 절대적인 비교가 불가능하다 사료된다.

3.2. 감열지 종류 및 유류시기에 따른 농도계 이미지분석 결과

먼저 각각의 압력에서 남긴 시료지문의 일별(1일~7

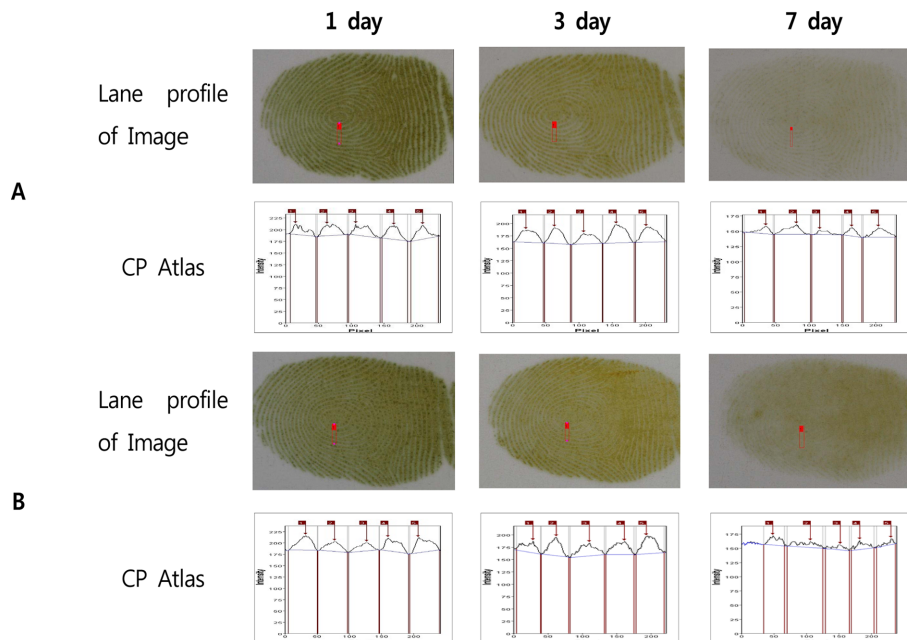


Fig. 2. Images of fingerprints with Lane profile and Peaks selection after visualized with iodine fuming and analyzed by CP Atlas 2.0 on receipt paper, (A) 0.3 kg.f/2 sec, (B) 0.5 kg.f/5 sec.

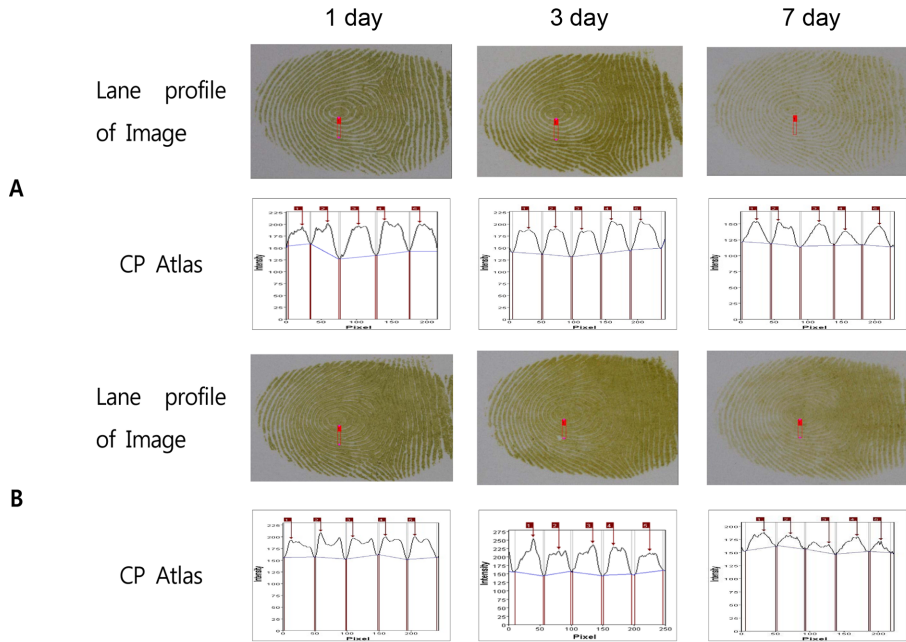


Fig. 3. Images of fingerprints with Lane profile and Peaks selection after visualized with iodine fuming and analyzed by CP Atlas 2.0 on fax paper, (A) 0.3 kg.f/2 sec, (B) 0.5 kg.f/5 sec.

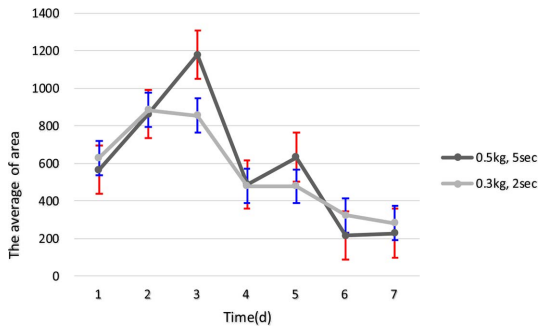


Fig. 4. The daily changes of average value of area using CP Atlas 2.0 on receipt paper (\pm SD).

일) 면적값의 변화를 알아보았다. 일반 영수증용 감열지에서는 1일에서 7일까지 두 가지 유류조건(0.5 kg.f/5 sec, 0.3 kg.f/2 sec)에서 상이한 날짜에 3회 반복 실험한 결과들을 이미지 분석 프로그램을 통해 도출된 용선의 유류일자별 평균 면적값의 변화를 Fig. 4에 제시하였다. 강한 압력 즉 0.5 kg.f/5 sec의 경우 유류 3일차까지 면적값이 상승하였으나 4일차 유류 지문의 면적값은 유류 1일차와 유사한 면적값이 나타남을 볼 수 있었고, 6~7일차 지문에서는 1일차의 절반에 근접하여 면적값이 감소함을 확인할 수 있었다. 반면 낮은

압력 0.3 kg.f/2 sec인 경우 3일차에서 다소 감소하였지만 7일차 지문에서는 1일차의 절반에 가깝게 면적값이 감소하는 유사한 경향을 보였다(Fig. 4). 이는 높은 압력에서 전이된 지문의 성분이 낮은 압력에 비하여 다소 많은 양이 전이되어 결국 이들이 감열부분을 구성하는 성분과의 반응이 3일 정도까지 서서히 지속적인 반응을 하여 그 결과성분이 요오드와 반응하여 강한 발색을 보인 것으로 사료되며 이에 정확한 기전(mechanism)에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 이는 Fig. 5에 제시한 팩스 용지에서의 양상과는 다른 결과로 서로의 감열부분을 구성하는 부분이 다름을 추측할 수 있다. 결국 이 결과로부터 영수증 용지에 남겨진 잠재지문은 1일에서 5일까지는 상호 구별이 불가능하지만 1일에서 3일이 경과된 지문은 6일이나 7일이 경과된 지문과는 구별이 가능하리라 조심스럽게 제안을 한다.

영수증과 동일한 조건에서 얻은 시료지문의 팩스 용지 상에서의 변화를 Fig. 5에 제시하였다. 이는 영수증 용지에서의 결과와는 다소 다르게 약한 압력의 경우에도 3일차까지는 지속적인 증가를 보였으나 유사하게는 4일차에서 역시 감소하는 경향을 보였다. 차후 강한 압력의 경우 5일차에서 그리고 약한 압력일 경우 6일차에서 다시 약간 증가하는 경향을 보였으나

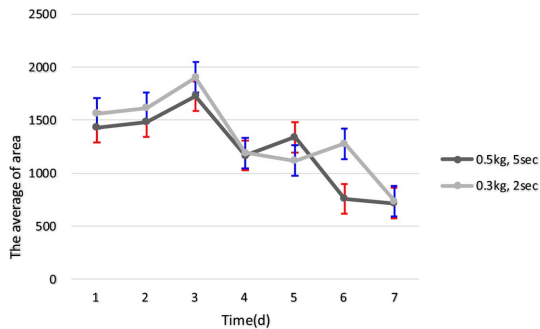


Fig. 5. The daily changes of average value of area using CP Atlas 2.0 on fax paper (\pm SD).

7일차에서는 1일차의 절반에 해당하는 정도로 두 조건 모두 면적값이 유사한 정도로 감소하였다. 이러한

면적값의 변화 양상은 지문의 성분과 감열부분을 구성하는 화합물질의 상호반응의 변화로 추측되며 전기한 바와 같이 추가적인 실험이 필요하다. 영수증 감열지에서의 경우와 유사하게 4일차에서는 유사한 면적값을 보였지만 두 가지 조건 모두 7일차의 평균 면적값이 1일차의 절반정도의 면적값을 나타내어 이로부터 역시 1일~3일차 지문은 7일차 지문과는 차별성이 보여 구별이 가능하리라 사료된다. 즉 결과적으로 7일 이후에는 지문 용선의 fuzzy화가 심화하여 농도계 분석에서 낮은 면적값을 보인다고 사료된다. 그러나 본 실험을 현장에 적용하기 위해서는 다양한 유류 조건에서 현장에 남겨진 초기의 모든 지문은 fuzzy화 되어 있지 않다는 점과 그리고 감열지 상에서 현출된 모든 fuzzy화 된 지문은 오랜 시간이 지난 지문인 것을 중

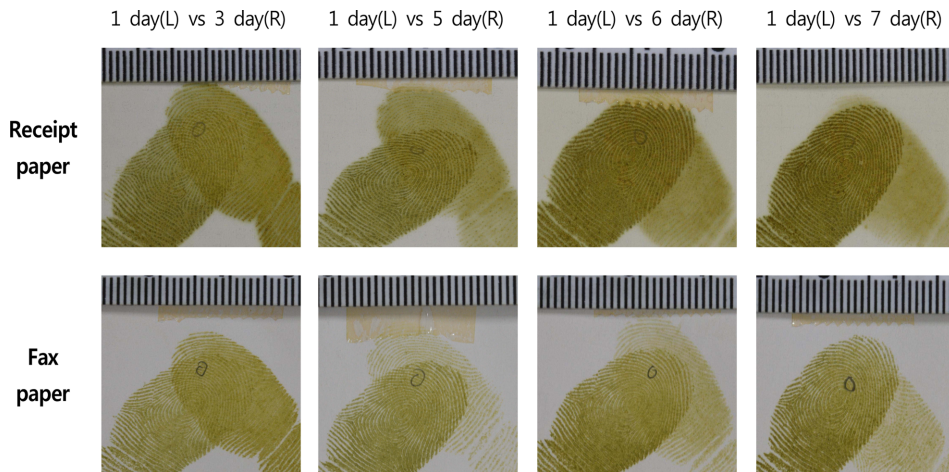


Fig. 6. Images of overlapped fingerprints visualized with iodine fuming (0.5 kg.f/5 sec). (L) = left, (R) = right.

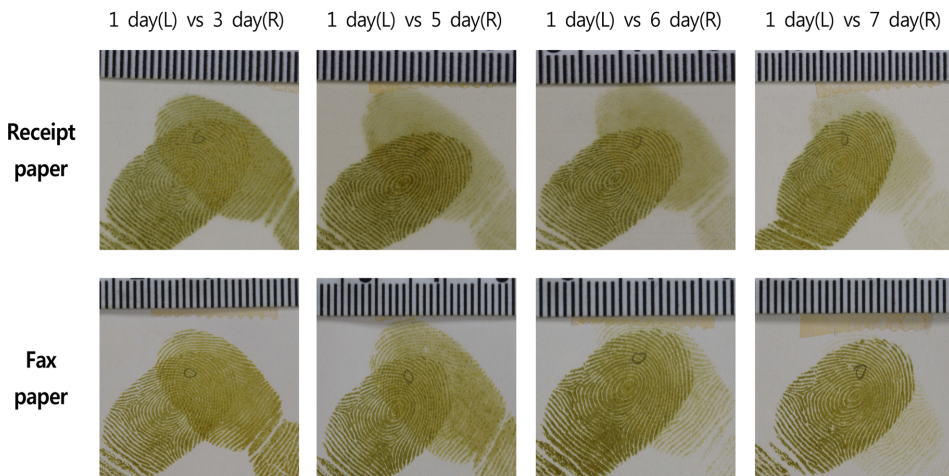


Fig. 7. Images of overlapped fingerprints visualized with iodine fuming (0.3 kg.f/2 sec), (L) = left, (R) = right.

명하여야 한다. 이는 현재까지 진행된 연구에서 사용된 지문유류 방법으로는 증명에 한계가 있으므로 추후 지문 유류 방법의 체계적인 실험을 통한 연구가 필요할 것이라 사료된다.

3.3. 겹 지문의 육안 확인

신선한(1~3일) 지문은 상대적으로 장시간(6~7일)이 경과된 지문에 비해서 강하게 iodine fuming법으로 가시화되어 높은 면적값을 나타낸다는 결과를 겹 지문의 형태로 육안확인을 시도하였다. 신선한 지문은 1일차(겹 지문의 좌측지문, Fig. 6, 7) 그리고 우측에 겹쳐진 지문은 3, 5, 6, 7일차로 동일한 압력에서 압인한 후에 동일한 방법으로 현출시킨 지문을 Fig. 6, 7에서 볼 수 있다. 강한 압력의 경우는 Fig. 6에서 그리고 약한 압력의 결과를 Fig. 7에 제시하였다. 예측한 대로 신선한 1일차 지문은 두 종류의 감열지에서 강하게 가시화되어 6일과 7일차의 지문과는 육안으로 명확히 구분이 되었다. 1일차와 3일차의 겹 지문은 구분이 다소 용이하지 않았으나 1일차와 5일차에서도 미약하나마 구분이 가능하다 사료된다. 이는 팩스 용지에서의 결과와 유사하였다. 추후 다양한 압력으로 얻은 다수의 겹 지문시료를 실험하여 결과의 재현성을 높이는 추가적인 연구가 필요하다. 약한 압력으로 실험한 겹 지문의 경우에도 이와 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 이러한 육안확인만으로는 주관적일 수 있어서 농도계 이미지 분석을 사용하여 그 차이 값을 수치로 나타내는 객관적이고 반 정량적인 방법에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 감열지상 지문의 압인순서를 결정하기 위하여, 단기간(1일 ~ 7일)이 지난 시료지문을 iodine fuming법을 이용하여 압인조건과 시간에 따른 가시화 정도를 농도계 이미지 분석으로 용선 면적값의 변화와의 상관관계를 예비적으로 알아보았다.

1일에서 3일까지 경과된 지문은 압인 당시의 압력에 무관하게 그 면적값이 증가하거나 유사하였고 6일과 7일차의 지문은 그 면적값이 1일 혹은 4일차에 비교하여 1/2이하의 값으로 감소하였다. 이러한 경향은 두 가지 영수증과 팩스 감열지에서 유사하였고 이를 통하여 결과적으로 1-3일차의 지문은 6~7일차의 지문에 비하여 농도계 이미지 분석을 통한 용선의 면적값의 차이로 구별이 가능하다는 선행적인 결론을 얻

었다. 그리고 이는 겹 지문의 형태로 남겨진 지문의 경우에도 iodine fuming법으로 가시화된 지문의 육안 확인으로도 가능함의 가능성을 보였다. 그러나 범죄현장에서 수집된 지문의 경우 초기에 지문이 압인된 세기와 지문의 smudged된 정도를 판단 할 수 없고 또한 본 실험과 같이 일정한 조건으로 유류된 지문이 아니므로 아직 현장에 적용하기는 미흡한 부분이 있다. 추후 다양한 압력과 타 압인조건의 장기간이 지난 시료 지문에 적용하여 확인을 하는 추가실험을 통하여 현장 과학수사에서 감열지 상 유류지문의 남겨진 우선순위의 결정에 있어 도움이 될 수 있다고 사료된다.

감사의 글

이 연구는 충남대학교 학술 연구비에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. S. Adebisi, *Internet J. Biol. Anthropol.*, **2**(2), 3 (2008).
2. S. H. James, J. J. Nordby and S. Bel, In 'Forensic Science', 3rd Ed., p303-326, CRC Press, USA, 2014.
3. P. R. De Forest, R. E. Gaensslen and H. C. Lee, 'Forensic science: an introduction to criminalistics', McGraw-Hill, New York, USA, 1983.
4. J. Almog and H. Glasner, *J. Forensic Sci.*, **55**(1), 215-220 (2010).
5. C. Nixon, M. Almond, J. Baum and J. Bond, *J. Forensic Sci.*, **58**(2), 508-512 (2013).
6. E. Brunelle, C. Huynh, A. M. Le, L. Halámková, J. Agudelo and J. Halámek, *Anal. Chem.*, **88**(4), 2413-2420 (2016).
7. K. Asano, C. Bayne, K. Horsman and M. Buchanan, *J. Forensic Sci.*, **47**(4), 805-807 (2002).
8. K. Antoine, S. Mortazavi, A. Miller and L. Miller, *J. Forensic Sci.*, **55**(2), 513-518 (2010).
9. M. West and M. Went, *Forensic Sci. Int.*, **174**(1), 1-5 (2008).
10. P. Ronnie, S. Walker, M. Tahtouh and B. Reedy, *Anal. Bioanal. Chem.*, **394**(8), 2039-2048 (2009).
11. K. Wertheim, *J. Forensic Identif.*, **53**(1), 42-49 (2003).
12. J. Alcaraz-Fossoul, C. Patris, A. Muntaner, C. Feixat and M. Badia, *Int. J. Legal Med.*, **127**(4), 857-870 (2013).
13. C. Midkiff, *J. Forensic Identif.*, **43**(4), 386-396 (1993).

14. P. Barnett and R. Berger, *J. Forensic Sci. Soc.*, **16**(3), 249-254 (1976).
15. P. Watson, R. J. Prance, S. T. Beardsmore-Rust and H. Prance, *Forensic Sci. Int.*, **209**(1-3), e41-e45 (2011).
16. A. Van Dam, J. C. V. Schwarz, J. De Vos, M. Siebes, T. Sijen, T. G. Van Leeuwen, M. C. G. Aalders and S. A. G. Lambrechts, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **53**(24), 6272-6275 (2014).
17. G. Popa, R. Potorac and N. Preda, *Rom. J. Legal Med.*, **18**(2) 149-154 (2010).
18. N. J. Bright, R. P. Webb, S. Bleay, S. Hinder, N. I. Ward, J. F. Watts, K. J. Kirkby and M. J. Bailey, *Anal. Chem.*, **84**(9), 4083-4087 (2012).
19. Facts about Thermal Paper, <http://thermalpaperfacts.org>, Accessed 15 Nov. 2016.
20. J. W. Bond, *J. Forensic Sci.*, **58**(3), 767-771 (2013).
21. J. W. Bond, *J. Forensic Sci.*, **59**(2), 485-489 (2014).
22. O. P. Jasuja and G. Singh, *Forensic Sci. Int.*, **192**(1-3), e11-e16 (2009).
23. J.-H. Cho, H.-W. Kim, M.-S. Kim and S.-W. Choi, *Anal. Sci. Technol.*, **29**(3), 142-153 (2016).
24. C.-C. Chen, Y.-C. Yu, H. C. Lee, Y.-S. Giang and S.-M. Wang, *J. Forensic Sci.*, **61**(1), 219-225 (2016).