Printed in the Republic of Korea
ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 29, No. 3, 142-153, 2016
http://dx.doi.org/10.5806/AST.2016.29.3.142

A preliminary study and its application for the development of the quantitative evaluation method of developed fingerprints on porous surfaces using densitometric image analysis

Jae-Hyun Cho, Hyo-Won Kim, Min-Sun Kim 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 April 17, 2016; Revised June 12, 2016; Accepted June 13, 2016)

다공성 표면에서 현출된 지문의 정량적인 평가방법 개발을 위한 농도계 이미지 분석을 이용한 선행연구 및 응용

조재현, 김효원, 김민선, 최성운[1,★]

충남대학교 평화안보대학원 과학수사학과, [1]충남대학교 신약전문대학원 신약개발학과
(2016. 4. 17. 접수, 2016. 6. 12. 수정, 2016. 6. 13. 승인)

Abstract: In crime scene investigation, fingerprint identification is regarded to be one of the most important techniques for personal identification. However, objective and unbiased evaluation methods that would compare the fingerprints with diverse available and developing methods are currently lacking. To develop an objective and quantitative method to improve fingerprint evaluation, a preliminary study was performed to extract useful research information from the analysis with densitometric image analysis (CP Atlas 2.0) and the Automated Fingerprint Identification System (AFIS) for the developed fingerprints on porous surfaces. First, inked fingerprints obtained by varying pressure (kg.f) and pressing time (sec.) to find optimal conditions for obtaining fingerprint samples were analyzed, because they could provide fingerprints of a relatively uniform quality. The extracted number of minutiae from the analysis with AFIS was compared with the calculated areas of friction ridge peaks from the image analysis. Inked fingerprints with a pressing pressure of 1.0 kg.f for 5 seconds provided the most visually clear fingerprints, the highest number of minutiae points, and the largest average area of the peaks of the friction ridge. In addition, the images of the developed latent fingerprints on thermal paper with the iodine fuming method were analyzed. Fingerprinting condition of 1.0 kg.f/5 sec was also found to be optimal when generating highest minutiae number and the largest average area of peaks of ridges. Additionally, when the concentration of ninhydrin solution (0.5 % vs. 5 %) was used to compare the developed latent fingerprints on print paper, the best fingerprinting condition was 2.0 kg.f/5 sec and 5 % of ninhydrin concentration. It was confirmed that the larger the average area of the peaks generated by the image analysis,

★ Corresponding author
Phone : +82-(0)42-821-5294 Fax : +82-(0)42-822-5236
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.

the higher the number of minutiae points was found. With additional tests for fingerprint evaluation using the densitometric image analysis, this method can prove to be a new quantitative and objective assessment method for fingerprint development.

요 약: 범죄수사에서 지문인식은 개인 식별을 위한 가장 중요한 기술 중 하나이다. 그러나 다양한 방법으로 각각 현출된 지문을 비교하는 객관적이고 공정한 평가 방법은 존재하지 않는다. 따라서 객관적이고 정량적인 방법의 개발을 위하여 농도계 이미지 분석(densitometric image analysis) 프로그램(CP Atlas 2.0)과 Automated Fingerprint Identification System (AFIS)을 이용하여 다공성 표면에서 현출된 지문을 비교, 평가하였다. 먼저 시료지문 채취 상 최적의 압력과 유류시간 조건을 찾기 위하여 두 가지 조건을 변화시켜 날인을 한 비교적 균일한 품질을 가진 잉크지문(Inked fingerprint)을 분석하였다. AFIS 분석을 통해 얻은 특징점(minutia)수와 이미지 분석을 통해 얻은 융선 peaks의 면적 결과를 계산하여 비교한 결과 1.0 kg.f 의 압력으로 5초(sec.) 동안 유류 한 잉크지문이 육안 상 가장 선명한 융선을 보였으며 가장 많은 수의 특징점 수, 가장 넓은 융선의 peaks 면적을 갖는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 잠재지문 현출에 응용하기 위하여 감열지에 날인 된 잠재재문을 iodine fuming법으로 현출시켜 분석한 결과 1.0 kg.f/5 sec의 조건에서 특징점 수가 가장 많고 융선의 peaks 면적도 가장 넓게 나오는 것을 확인하였다. 추가적으로 프린트 용지에 날인한 잠재지문을 0.5 %와 5 %의 ninhydrin용액으로 현출하여 비교한 결과 2.0 kg.f/5 sec의 조건으로 날인하여 5 %의 ninhydrin용액으로 현출하였을 때 가장 좋은 결과를 갖는 것을 확인하였다. 전반적으로 이미지분석을 통하여 얻은 peaks의 평균면적이 클수록 AFIS를 통해 확인되는 특징점수가 많아진다는 것이 확인되었으며 농도계 이미지 분석을 이용한 지문 평가의 추가적인 연구를 통해 본 방법은 지문 현출 평가에 대한 객관적이고 정량적인 새로운 시험방법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

Key words: latent fingerprint, fingerprint evaluation, densitometric image analysis, AFIS

1. 서 론

시대가 변할수록 범죄 기법이 다양해지고 이와 동시에 지능적인 범죄가 증가함으로써 범죄자들은 사건 현장에 흔적을 남기지 않으려고 최선의 노력을 한다. 그러나 범죄와 관련된 사실을 밝혀주는 증거물들은 자주 발견되고 있고 최근 과학수사 분야의 발전과 함께 이들 증거물에 대한 중요성이 커지고 있으며, 특히 개인식별을 통한 신원 확인의 중요성이 높아지고 있다. 개인식별을 가능하게 하는 증거물에는 사람이나 동식물에서 유래된 유형물을 의미하는 생체 증거물(DNA fingerprint)과 범죄현장 또는 물건에 남은 흔적 증거물 중 대표적인 지문이 있다.[1,2] 현장에서 채취된 지문은 개인마다 다른 특성을 갖고 있기에 등록되어 있는 데이터에서 용의자의 지문과의 특징점(minutia) 등의 일치 여부로 개인 식별을 가능하게 해준다.[3] 이들 중 잠재지문(latent fingerprint)은 가시화(visualization)가 필요한 흔적지문으로 주로 남겨진 표면에 의거하여 가시화를 위한 다양한 현출작업을 실행한다. 다공성 표면에서의 현출은 주로 ninhydrin이나 $AgNO_3$ 등의 화학적인 방법으로 그리고 비 다공성 표면에서는 분말법(powder method), 고성능 순간접착제(cyanoacrylate)를 사용하는 등의 적절한 방법을 통하여 현출의 극대화를 시도한다.[1,3] 이러한 현장에서 사용하는 방법은 다양한 연구를 통하여 증명된 최상의 방법을 현장에서 사용한다.

현출된 지문에 대한 분석은 일반적으로 3단계로 나누어 진행한다. 1 단계는 지문의 전체적인 모양과 패턴 및 형상을 확인하며, 2 단계는 특징점을 통한 자세한 분석을, 마지막 3 단계는 융선(ridges) 자체의 형상과 땀구멍(pores)의 위치 및 다른 미세적인 형상을 평가하게 된다. 통상적으로 2 단계까지 분석하며 비교하려는 지문과 상호분석 하여 충분한 일치점이 존재하면 동일한 지문으로 판명한다.[1,3] 그러나 현장에서 발견되는 잠재지문은 떡(smudged)지문, 부분(partial)지문, 겹(overlapped)지문, 기형(distorted)지문 등의 여러 형태로 발견되거나 이들이 조합되어 발견되는 경우가 있어 가시화하기 어려울 수 있으며, 가시화 이후에도 타지문과의 비교 시 불일치 등과 같은 오류를 일으킬 수 있다.[4] 이러한 이유로 배경으로부터 증강된 잠재지

문을 정확하고 선명하게 가시화하는 것은 매우 중요한 문제이다. 서로 다른 방법을 통하여 가시화된 잠재지문 융선에 대한 비교 평가 방법은 크게 세 가지가 알려져 있다. 첫 번째는 두 개의 지문을 옆에 위치시켜 육안으로 선명도 및 특징점 수를 비교하는 방법, 두 번째는 지문을 정확히 1/2로 나누어(half prints) 각각의 서로 다른 방법으로 가시화한 뒤에 다시 접합시켜 육안으로 비교평가를 하는 것이다. 이 두 방법은 비교하는 지문에 대한 배경과 관련하여 주관적으로 보다 나은 선명함 및 특징점의 수 등을 평가하게 된다. 마지막 세 번째 방법은 다소 객관적인 지문 평가 방법으로 지문 융선에 대하여 점수를 부여하고 그에 따른 구체적으로 평가하는 방법이다. 전체적으로 좋은 현출로 인해 전체 융선이 연결되도록 현출된 경우 4점, 2/3의 융선이 연속적일 때 3점, 1/3이 연속적일 경우 2점, 융선이 현출은 되었으나 전체적으로 연속적이지 못하면 1점 그리고 미 현출 시에는 0점을 부여하여 계량화한다.[5,6]

그러나 이러한 방법 역시 지문 융선의 증강된 부분에 대하여 정량적이지 못하며 현출정도의 차이가 매우 적을 경우 비교 평가가 객관적이지 못하다는 단점이 있다. 다양한 표면 및 유류조건에서 남겨진 잠재지문을 가시화한 이후 지문 평가를 위해서는 융선의 품질이 매우 중요하며,[7] 그에 따른 현출된 잠재지문에 대한 비교, 평가방법의 개발은 앞으로 다양하게 연구되어야 할 사안이다. 자동으로 특징점 수를 산출하는 AFIS의 경우 주로 법의 집행 분야인 경찰에서 신원확인 등의 목적으로 사용하며 일반 지문연구자 들은 쉽게 접근하지 못하는 단점이 있다. 이에 반하여 농도계 이미지 분석(densitometric image analysis)은 의료, 생물 등의 다양한 분야에서 사용되는 분석법으로 특히 전기영동으로 분리된 각 밴드(bands)의 농도 강약에 의거한 빠르고 용이한 정량적인 계산이 가능한 분석법이다.[8] 이는 영상에 기록된 화상농도를 규격에 따라 정해진 방법으로 엄밀하게 측정을 하는 방법으로 다양한 종류의 프로그램이 무료로 사용이 가능하다. 현출된 지문의 융선은 농도를 갖는 선으로 이들 융선의 배경에 대한 선명도 또는 현출정도는 농도계 이미지 분석원리인 융선의 화상농도에 대한 정량적인 분석을 통하여 상대비교가 가능하다 사료되나 아직 이러한 목적으로 연구가 된 예는 찾을 수 없다.

본 연구[9]에서는 개인식별을 위하여 다양한 방법으로 현출하여 사용되는 지문의 현출정도의 비교 및 평가가 현실적으로 어려운 과제이므로 근본적인 문제를 개선하기 위해 농도계 이미지 분석(densitometric image analysis)을 이용하여 객관적인 정량 평가를 위한 선행연구를 진행하게 되었다. 실험실에서 다양하고 서로 다른 방법으로 가시화(visualization)된 잠재 지문을 객관적으로 평가하기 위해 각각의 압력(kg.f)과 시간(second)을 변화시켜 유류 한 잉크지문을 사진 촬영하여 융선과 배경과의 선명성(clearness)을 농도계(densitometric) 이미지 분석을 통하여 연관성과 각 표면별 잠재지문 유류 시의 적절한 압력과 시간을 확인하였고, 이를 Automated Fingerprint Identification System(이하 AFIS)를 이용해 일치하는 특징점 수를 확인하였다. 이를 통해 유류 시 최적의 조건(압력과 시간)과 현출된 지문의 선명도를 간접적으로 확인하였다. 그리고 선행실험을 통해 얻은 결과의 응용측면에서 잠재지문 현출법인 iodine fuming 및 ninhydrin을 적용한 후, 동일한 과정을 거쳐 지문 융선에 대한 객관적이고 정량적인 평가가 가능한지 여부와 농도계 이미지 분석 방법의 현출 지문에 대한 또 다른 평가방법으로서의 활용 가능성을 타진하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시약, 기구 및 일반방법

잉크지문(inked fingerprint)은 PrintMatic Impeccable Ceramic Fingerprint Pad (Sirchie, U.S.A)를 사용하여 지문전사대지에 기록하였다. 선행 실험으로부터 확인한 결과를 응용하기 위한 잠재지문 유류는 미사용 감열지(thermal paper)의 특수 코팅 처리된 부분과 A4 size 프린트 용지(Double A, Thailand)에 각 실험 별 동일한 조건으로 유류하였다.[10,11] 잉크지문과 잠재지문 유류는 미니저울(CAP. 5 kg, GRAD 40 g)을 이용하여 일정한 압력으로 유류 시켰으며, 잉크지문과 현출된 잠재지문의 이미지는 Canon Inc.사의 디지털카메라(CANON EOS 500D, Japan)를 사용하여 얻었다. 또한, 잉크지문의 연속적 감소(depletion series) 실험은 Firefly Global.에서 나온 digital microscope (GT700, USA)를 이용하여 15 배율로 촬영을 하였다. 잉크지문과 현출된 잠재지문의 이미지 분석을 위하여 농도계 이미지 분석 프로그램인 CP Atlas 2.0 (CP Atlas 2.0, Lazarsoftware, USA)을 사용하여 조건 별 이미지를 분석하였으며 잉크지문과 현출된 잠재지문의 특징점 수에 대한 확인은 AFIS를 이용하였다. 잉크지문의 이미지 분석을 통해 얻은 결과를 응용한 잠재지문 실험은 25 × 78 mm 크기의 미사용 감열지(종합전자, POS 롤

영수증, KOR)의 앞면(감열 부분)을 사용했으며 현출에 사용된 iodine crystals (99.8 %)은 SAMCHUN Pure Chemical (KOR)사에서 ninhydrin은 Showa Chemical (JAPAN)사에서 구매하였다. Ninhydrin은 acetone (SK Chemicals, KOR)에 0.5 %와 5 % 농도로 사용하였으며, 제조한 ninhydrin용액은 냉장 보관하고 사용 전 한 시간 전에 상온에서 방치한 후 사용하였다. Iodine fuming법은 높이 12 cm인 뚜껑이 있는 일반 비이커를 휴대용 챔버로 사용하였으며, 휴대용 챔버의 온도를 일정하게 유지하기 위해 drying oven DO-81 건조 오븐(HYSC, KOR)을 사용하였다. 이 장비의 오차율은 온도 ± 2 ºC이다.[12] 또한 ninhydrin 처리는 일반적인 침지법(dipping method)으로 처리하여 공기 중에서 몇 분간 건조시킨 후 신속한 현출을 위해 PHILIPS (Netherlands)사의 스팀다리미(Comfort 1000)를 이용하였다.[13]

2.2. 잉크 및 잠재지문 유류방법

잉크지문을 이용한 특징점 및 이미지 분석을 통한 지문 평가 실험에 사용된 지문은 30대 남성으로서 일정한 힘을 유지하여 오른손 검지로 종이(지문 전사 용지)에 시간(3, 5, 10 sec), 압력(0.5, 1.0, 2.0 kg.f) 조건을 동일시하여 잉크 패드를 사용하여 지문을 유류 시켜 시료로 사용하였으며, 다양한 외부적인 요인과 실험의 오차를 감소시키기 위해 10회 반복 시행하였다. 잠재지문 시료는 잉크지문을 통해 얻은 조건 중 일부 조건을 이용하여 유류 시켰으며, 사용된 잉크지문과 잠재지문 유류 방법에 관한 정보는 다음과 같다.[14]

1) 사용될 지문의 손가락은 물과 에탄올의 혼합용매로 전체적으로 세정하고 실온에서 건조시켰다.

2) 잉크지문 시료는 지문 채취용 잉크 패드를 동일한 오른손 검지에 고루 묻혀 지문전사대지에 각각의 압력 조건에 맞춰 10번 압착하여 동일한 영역을 잉크지문으로 사용하였다.

3) 잠재지문 시료는 세정 후 상온에서 평상시 접촉 가능한 자신의 신체 부위인 얼굴, 머리카락 등을 5회 접촉하여 각각의 재료 표면에 지문 유류 후 상온에서 보관하였다.

또한, 연속적 감소(depletion series) 실험에서 잉크지문은 A4 size 프린트 용지를 이용하였으며, 미니저울을 이용하여 압력(1.0 kg.f), 시간(5 sec) 조건으로 오른손 검지로 연속 3회에서 4회 시행하여 지문을 유류하였다.

2.3. 잠재지문 유류 및 현출방법

Iodine fuming을 적용한 잠재지문의 현출 과정은 일반적으로 사용되는 미 사용된 감열지에서 특수 코팅 처리된 부분에 잉크지문의 지문채취 조건을 기준으로 지문 3 개 씩 유류 시킨 뒤, 상온에서 3 시간 보관 후 iodine crystals 250 mg을 담은 밀봉이 가능한 휴대용 챔버인 투명 비이커에 지문이 유류된 감열지를 넣고 50 ºC로 유지되는 건조 오븐에서 1 분 동안 현출시켰다.[15] Ninhydrin을 적용한 잠재지문 현출은 일반적으로 사용되는 프린트 용지에 잉크지문에서 사용된 조건으로 유류하여 상온에서 24 시간 보관 후 사용하였다. 지문 유류 시 잉크지문 및 iodine fuming법에서 적용한 압력 및 시간 조건을 적용하였으며, 연속적인 감소(depletion series) 지문에서의 현출 결과를 확인하기 위해 신체 접촉 후 연속해서 3번 날인하는 것을 1 set로 하여 지문을 유류하였다. 잠재지문 현출 시 사용한 ninhydrin은 acetone 용매에 녹여 각각 0.5 %와 5 %의 ninhydrin용액으로 제조하여 사용하였으며, ninhydrin 농도와 상관없이 미사용 프린트 용지를 현출하려는 지문의 상부에 덮고 표면 온도 170 ± 5 ºC의 스팀다리미를 이용하여 신속한 현출이 이루어지도록 하였다.

2.4. Image 분석프로그램을 이용한 분석 방법 및 특징점 판독

일정 압력과 시간의 조건에서 유류 시킨 잉크지문과 현출된 잠재지문은 동일한 위치에서 조명과 디지털카메라(모델명 CANON EOS 500D, 초점거리 55 mm, F 5.6, 노출 1/25초, ISO는 Auto)를 이용하여 눈금자가 보이도록 촬영한 뒤 JPEG 파일로 저장하였다. 이어 각각의 이미지분석을 위한 전 단계로 Adobe photoshop CS6 (64 bit)을 이용하여 농도를 분석할 융선의 위치, 크기를 동일하게 맞출 수 있도록 지문을 정확하게 반으로 자르고 이미지 품질 유지를 위해 최대로 설정하여 저장했다. 농도계 이미지 분석은 프로그램은 CP Atlas 2.0을 사용하였다. Background를 dark on light로 설정한 후 이미지를 불러내어 동일한 구역에 lane을 설정한 뒤 면적을 측정할 융선 부분을 선택하고 아랫부분에 baseline을 설정하였다. 이후 peaks의 면적 값을 평균을 내어 결과 값으로 사용하였다. 모든 이미지에 lane의 설정 방법, 측정할 융선들의 선택 방법, baseline의 설정 방법 등 조작 방법상의 미세한 차이가 있을 뿐 전체적인 분석 방법은 동일하게 진행하였다.[16] 농도계 이미지 분석을 통하여 지문 융

선(peaks)의 높이(면적 값) 및 모양(sharp or broad)에 대한 농도 및 형상의 분석을 통하여 지문 융선을 확인하였고 지문 분석을 통해 나온 결과는 각각의 조건에 따라 평균값을 구하여 결과를 도출했다. 잉크지문과 현출된 잠재지문의 특징점 확인은 일정 시간과 압력을 가하여 유류 시킨 잉크지문과 iodine fuming, ninhydrin용액을 이용하여 현출된 잠재지문의 결과를 눈금 스티커를 붙여 동일한 위치에서 사진 촬영(CANON EOS 500D, Digital Microscope)을 통해 이미지화(JPEG)한 후에 AFIS를 통한 특징점 수를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

잠재지문에 대한 연구에서 가장 어려운 사안 중의 하나는 동일한 품질을 보유하는 다수의 잠재지문 시료를 얻는 것이다. 이를 위한 선행적 실험으로 잠재지문 시료 채취 상 가장 중요한 변수로 예상되는 압인 시의 압력과 접촉시간을 평가하여 유사한 품질을 보유하는 지문 시료의 채취를 위한 조건을 시험하기 위하여 먼저 잉크지문(inked fingerprint) 채취 시의 압력과 접촉시간을 비교 평가하였다. 잉크지문에 대한 AFIS 분석결과의 예를 *Fig.* 1에서, 압인 시 압력과 유류 시간에 따른 AFIS를 통해 발견된 특징점 수에 대한 결과를 *Table* 1에서 볼 수 있다. 이는 AFIS를 통한 분석결과 발견된 특징점 수를 비교를 위한 기준으로 본 실험에서 압인 조건의 최종 평가 기준으로 정하였다(*Fig.* 1). 현재의 잉크지문 채취 조건에서는 발견된 특징점의 숫자는 42.0~48.8 개 정도가 파악되었으며(*Table* 1), 가장 많은 특징점 수(48.8 개)가 발견된 조건은 1.0 kg.f/5 sec으로 확인되었다. 상식적으로 지문을 유류하는 손가락은 둥근 구형으로 압력을 높여서 압인 할 경우 표면에 닿는 면적이 넓어져 지문 부분이 더 많이 남겨지기 때문에 추가적인 특징점이 발견될 수 있다. 이러한 경향은 본 실험에서도 관찰되었다. 즉 지문 유류 압력(0.5 kg.f에서 2.0 kg.f)이 높아질수록 AFIS를 통한 발견 특징점 수는 증가하는 경향을 보였다(*Table* 1). 발견된 특징점 수를 평가기준으로 하는 현출지문의 비교 평가는 압력에 매우 민감함을 보이므로 유류시간 이외에 동일압력 하에서 시료지문을 얻는 것이 중요하다. 그러나 유류 시간 변화(3 초, 5 초 및 10 초)의 경우 혼합된 경향을 보였다. 이는 지문용 잉크로 사용되는 성분의 물리적인 특성으로 여겨지며 추가로 더욱 많은 수의 잉크지문을 사용하여 분석하는 실험이 필요하다.

Fig. 1. An image of inked fingerprint analyzed by AFIS with minutiae points and ridge patterns (5 sec/1.0 kg.f).

Table 1. The number of minutiae identified in inked fingerprints analyzed by AFIS (N=10)

Mean(±SD)

Pressure[b)]	Pressing time[a)]		
	3[c)]	5[c)]	10[c)]
	Number[d)]	Number[d)]	Number[d)]
0.5	44.5 (± 2.17)	42.3 (± 2.87)	42.0 (± 5.06)
1.0	43.9 (± 3.96)	48.8 (± 2.35)	43.6 (± 2.95)
2.0	48.1 (± 6.23)	48.3 (± 3.34)	51.7 (± 5.14)

[a,c)]Second, [b)]kg.f, [d)]Number of minutiae identified by AFIS.

AFIS에서 얻은 결과와 잉크지문의 선명도를 연계 평가하기 위하여 잉크지문의 특정한 부분을 일정하게 선택한 뒤, 농도계(densitometric) 이미지 분석 프로그램에서 선택하여 생성된 bands에 대한 이미지 분석(peaks의 면적)을 통해 잉크지문 융선의 선명도를 확인하였다. 즉, 선명한 이미지의 경우 흑백의 차이 혹은 융선 색과 바탕색의 차이가 극대화되어 농도계 이미지 분석에서 높은 면적 값을 보인다. AFIS 분석에 사용된 잉크지문의 이미지를 이미지 분석 프로그램인 CP Atlas 2.0을 사용하여 융선의 면적 값을 구하여 비교하였다. 지문 채취 시의 압력과 유류 시간에 의거한 잉크지문의 이미지 분석 예를 *Fig.* 2 그리고 결과를 *Table* 2에 제시하였다. 융선의 선명도를 확인한 결과 0.5 kg.f, 1.0 kg.f 조건에서는 3 sec, 10 sec 보다는 5

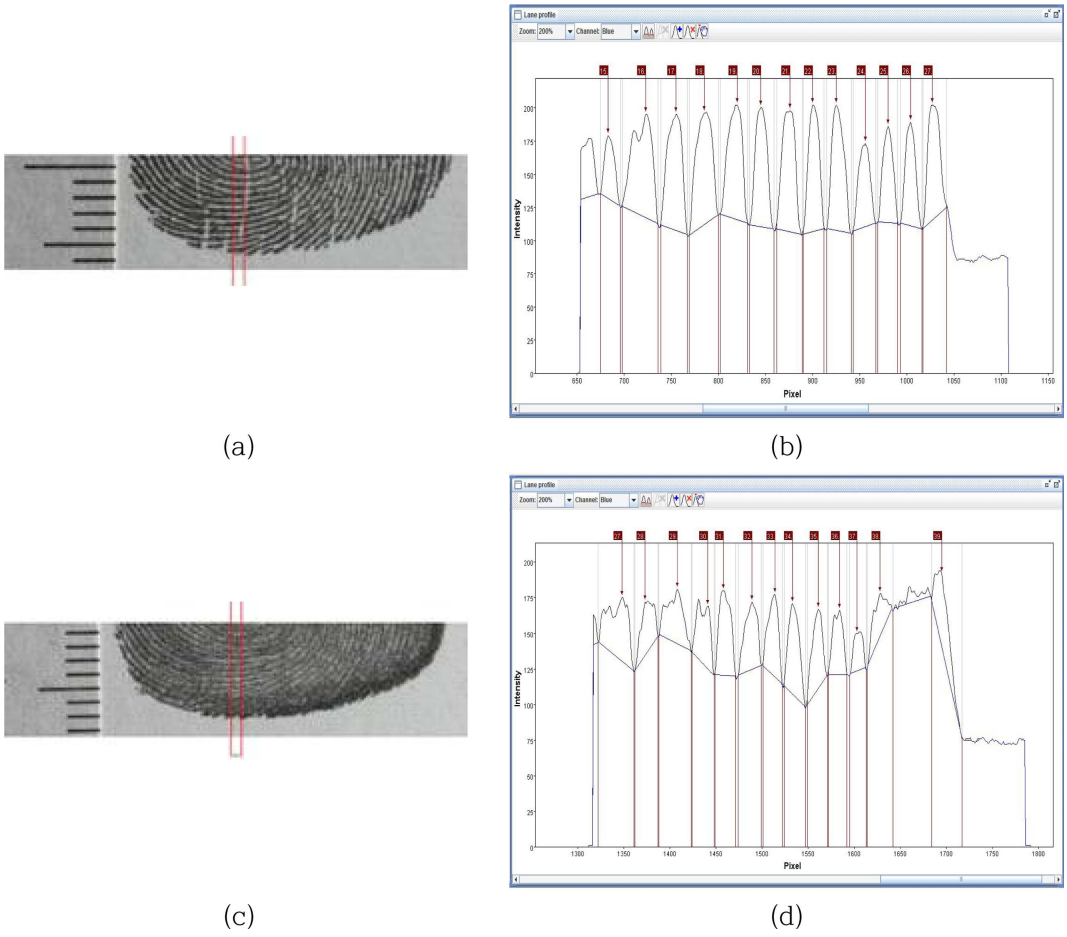


Fig. 2. Image analysis of inked fingerprints using CP Atlas 2.0. (a) Image of inked fingerprint (1.0 kg.f/5 sec), (b) Lane profile of (a), (c) Image of inked fingerprint (2.0 kg.f/10 sec), (d) Lane profile of (c).

Table 2. Statistical data of inked fingerprints analyzed with CP Atlas 2.0 (N=10)

Mean(±SD)

Pressure[b]	Pressing time[a]		
	3[c]	5[c]	10[c]
	Area	Area	Area
0.5	1,093.26 (± 149.40)	1,138.32 (± 203.76)	1,069.00 (± 147.77)
1.0	1,086.37 (± 155.16)	1,169.90 (± 162.76)	1,032.76 (± 195.10)
2.0	939.66 (± 110.42)	797.75 (± 89.99)	740.75 (± 94.43)

[a,c]Second, [b]kg.f.

sec에서 가장 넓은 면적 값이 확인되었으나, 2.0 kg.f에서는 5 sec, 10 sec 보다 3 sec 조건에서 넓은 면적 값이 확인되었다(*Table* 2). 이는 육안으로 확인하였을 경우에도 융선의 선명도 차이를 보였으며(*Fig.* 2), 분석을 통해 0.5 kg.f 와 1.0 kg.f 조건에서는 압력보다는 시간에 영향을 받는다는 점을 확인하였다. 총 9개의 조건에서 가장 넓은 면적을 나타낸 조건은 1.0 kg.f/5 sec 이었으며 이 조건은 다른 조건보다 융선의 높낮이가 균등하고 peaks의 끝도 부드러운 모양이라는 것을 알 수 있었다(*Fig.* 2).

지문 융선의 선명도(농도계 이미지 분석에 따른 융선의 면적 값)에 따른 특징점 수의 상관관계를 확인하기 위하여 잉크지문을 연속적인 감소(depletion series)의 형태로 유류하여 지문 융선의 선명도를 변화시켰다. 즉, 손가락으로부터 전이되는 지문(잉크)양을 일정하게 감소시켜 시료지문을 채취하는 알려진 방법으로, 압인 시의 압력과 시간을 변화시킨 잉크지문의 AFIS

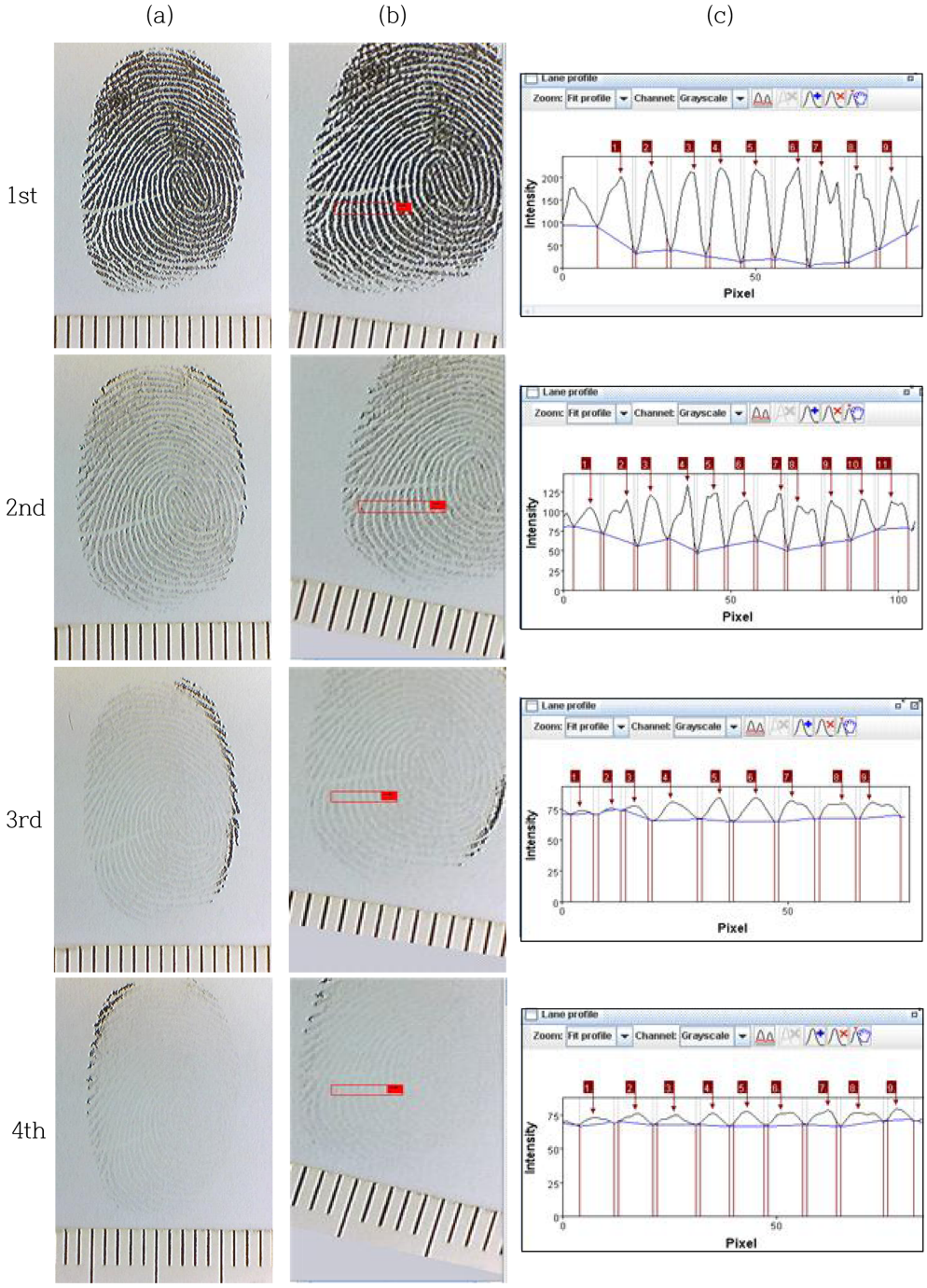


Fig. 3. Image analysis of a depletion series of inked fingerprints using CP Atlas 2.0 (1.0 kg.f/5 sec).

판독과 이미지 분석프로그램을 통해 확인한 지문 유류 최적의 조건인 1.0 kg.f/5 sec으로 잉크지문을 유류하였으며 그 결과 지문 날인이 연속될수록 잉크지문의 선명도는 급격히 떨어졌으며 평균 4번째까지 유류되는 것을 육안 확인할 수 있었다(*Fig.* 3). 선명도를 정량적으로 평가하기 위하여 CP Atlas 2.0을 사용하여

Table 3. The average area of inked fingerprints analyzed with CP Atlas 2.0 in depletion series

Mean(±SD)

	1st	2nd	3rd	4th
Average area	870.94 (± 12.82)	249.28 (± 16.42)	76.40 (± 2.45)	33.56 (± 0.09)

융선의 면적 값을 계산한 결과 융선의 면적 값이 초기 870.94에서 연속될수록 249.28, 76.40, 33.56 으로 크게 감소하는 것을 확인 할 수 있었다(*Table* 3). 연속으로 감소시킨 형태로 유류한 지문을 AFIS를 통해 특징점수를 분석(*Fig.* 4)한 결과를 *Table* 4에서 볼 수 있다. 이로부터 지문 융선의 면적 값이 줄어들수록 즉 선명도가 감소할수록 AFIS를 통한 발견 특징점 수 또한 감소하는 경향이 있는 것을 확인할 수 있었다. 융선의 면적과 특징점 수와는 서로 상관관계가 있음을 간접적으로 확인한 결과로 이들의 정확한 상관관계는 추후 좀 더 세밀한 압력변화에 의한 특징점수의 변화에 대한 연구가 필요하다.

3.2. 감열지 상 iodine fuming법으로 현출된 잠재지문 판독 및 이미지 분석

전기의 잉크지문에 대한 AFIS와 이미지 분석프로그램을 통하여 찾은 선명도가 높은 지문 유류의 조건을 사건 현장에서 자주 발견되는 영수증으로 사용되는 감열지에 응용시켜 iodine fuming법으로 현출하였다(*Fig.* 5).[10] 감열지는 보통 감열표면에 류코 색소(leuco dye, 건염 염료)와 다른 반응물이 도포되어있어 외부의 열에 의해 주로 검은 색을 나타내며 이러한 성질로 인하여 통상의 다공성 표면에 사용하는 시약과 용매를 사용한 현출은 문제를 일으키나 iodine fuming법을 이용한 현출방법이 알려져 있다.[10] 실험결과 iodine fuming법으로 현출한 조건별 지문을 AFIS

Table 4. Number of minutiae of the inked fingerprints found in depletion series[a)]

Mean(±SD)

	1st	2nd	3rd	4th
Number of minutiae	101 (± 9.90)	86 (± 5.66)	54 (± 25.46)	39 (± 38.18)

[a)]AFIS.

Fig. 5. An image of developed fingerprint with iodine fuming method analyzed by AFIS with minutiae points and ridge patterns.

Table 5. Number of minutiae identified from developed fingerprints by iodine fuming method

Mean(±SD)

Pressure[b)]	Pressing time[a)]		
	3[c)]	5[c)]	10[c)]
	Number[d)]	Number[d)]	Number[d)]
0.5	36.0 (± 2.00)	40.7 (± 2.52)	42.7 (± 2.08)
1.0	57.3 (± 10.50)	47.3 (± 1.53)	28.7 (± 24.91)
2.0	0	0	0

[a,c)]Second, [b)]kg.f, [d)]Minutiae identified by AFIS.

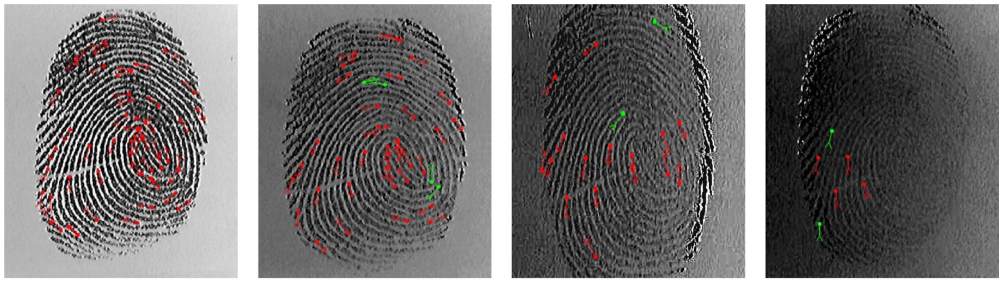


Fig. 4. Images of a depletion series of inked fingerprints analyzed by AFIS with minutiae points and ridge patterns.

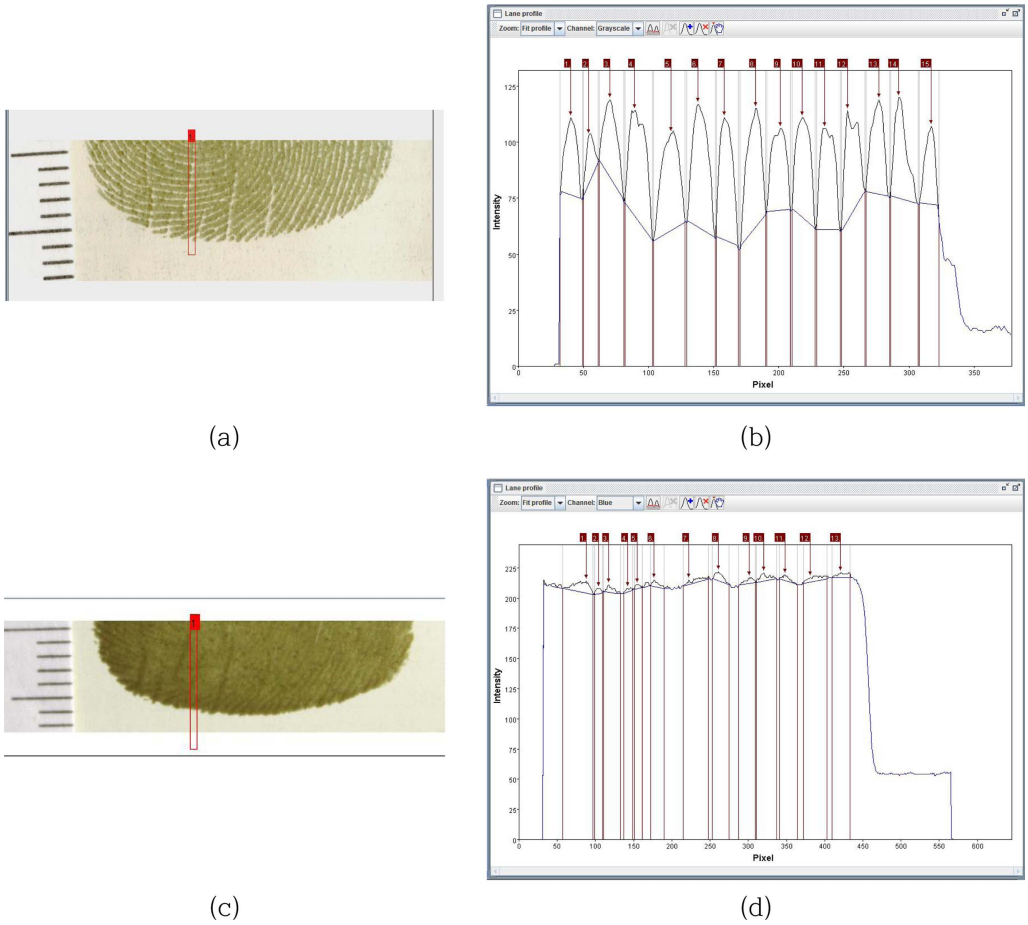


Fig. 6. Image analysis of developed fingerprints with iodine fuming method using CP Atlas 2.0. (a) 1.0 kg.f/5 sec, (b) Lane profile of (a), (c) 2.0 kg.f/10 sec, (d) Lane profile of (c).

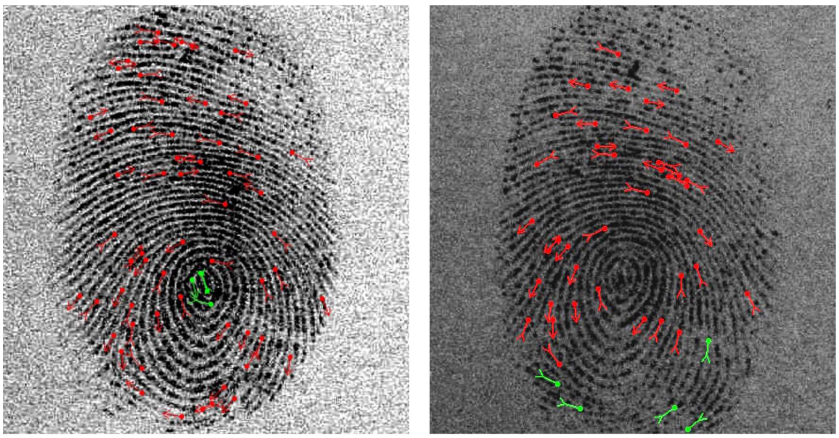
판독한 결과 1.0 kg.f에서 3 sec 및 5 sec일 경우에 가장 많은 특징점 수(57.3 개, 47.3 개)를 확인할 수 있었으며(*Table* 5) (*Fig.* 5), 1.0 kg.f에서 5 sec의 조건에서 이미지 분석 결과 peaks의 면적 값(474.97)이 다른 조건에 비해 월등히 높다는 것도 알 수 있었다(*Table* 6). 이미지 분석 결과의 자료를 *Table* 6과 *Fig.* 6에 제시하였다. 비록 가장 많은 특징점이 발견된 지문은 가장 넓은 면적 값을 보여주지는 못하였으나 전체적으로 특징점이 발견된 지문은 역시 넓은 평균 면적 값을 보이는 경향을 보였다. 특히, 본 실험으로부터 잉크지문을 이용한 분석을 하였을 경우와는 다른 점을 확인할 수 있었다. 현출 후 먼저 육안으로 확인하였을 경우 융선의 모양을 모든 조건에서 확인할 수가 있었다. 그러나 AFIS를 이용하여 지문의 특징점을 탐색하였을 경우에 압력조건 0.5 kg.f 와 1.0 kg.f일 경우에는 특징점 확인이 가능하였지만, 2.0 kg.f로 유류 시킨 경우 떡(smudged)지문과 유사한 형태로 현출되어 특

Table 6. Statistical data of developed fingerprints by iodine fuming analyzed with CP Atlas 2.0

Mean(±SD)

Pressure[b)]	Pressing time[a)]		
	3[c)]	5[c)]	10[c)]
	Area	Area	Area
0.5	272.84 (± 16.37)	287.76 (± 2.18)	288.91 (± 31.07)
1.0	229.01 (± 27.22)	474.97 (± 48.38)	155.34 (± 32.49)
2.0	164.28 (± 10.10)	241.01 (± 46.91)	71.03 (± 1.05)

[a,c)]Second, [b)]kg.f.



(a) (b)

Fig. 7. Latent fingerprint images in gray scale developed with 0.5 % ninhydrin (a) and 5 % ninhydrin (b) (2.0 kg.f/5 sec) analyzed by AFIS.

징점 확인이 불가능하였다(*Table* 5). 이후 이미지 분석을 한 결과로부터 융선 자체 형상에 대한 평가를 한 결과 육안으로 관찰 시 선명한 경우 peaks의 모양은 sharp 하며, 배경과 구분되는 일정한 높이로 인해 높은 면적 값을 나타냈으나, 뚜렷하지 않은 경우에 배경과의 높낮이 차이가 거의 없으므로 인해 면적 값이 낮았으며 peaks의 끝 모양이 매우 불규칙하다는 것을 확인할 수 있었다(*Fig.* 6). 또한 충분치 못한 시료의 수는 다소 높은 수치의 표준편차를 나타내어 추가적인 실험이 필요하다.

Table 7. Number of minutiae[a] identified from developed fingerprints by ninhydrin (2.0 kg.f/5 sec) in depletion series

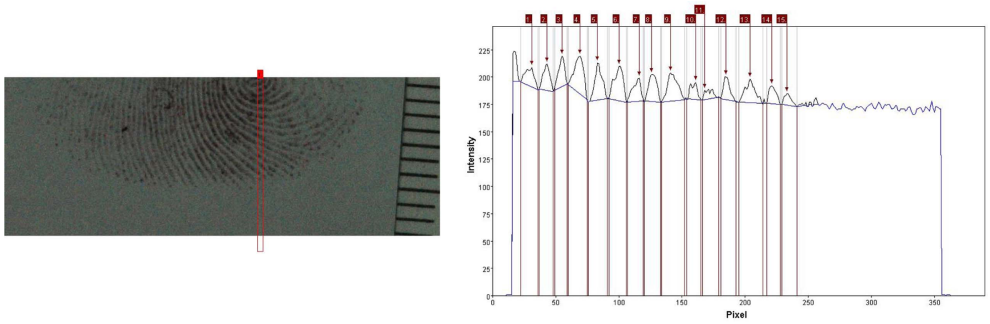
Mean(±SD)

Concentration[b]	1st	2nd	3rd
0.5	64 (± 90.51)	0	0
5	93 (± 4.24)	46 (± 53.74)	1 (± 1.41)

[a]AFIS, [b]% in acetone.

3.3. Ninhydrin으로 현출된 잠재지문 판독 및 이미지 분석

Ninhydrin은 아미노산 및 단백질과 반응하여 발색을 나타내어 주로 과학수사 분야에서 다공성 표면에서의 잠재지문 가시화에 많이 사용되고 또한 ninhydrin과 유사한 유도체들이 개발되어왔다.[17] 잉크지문과 감열지상 iodine fuming법으로 현출된 잠재지문에 대한 분석결과를 흔히 접할 수 있는 다공성 표면에서의 잠재지문의 현출에 적용하였다. 잠재지문을 손가락으로부터 전이되는 지문의 양을 일정하게 감소시키는 연속적인 감소(depletion series)의 형태로 다공성 표면에 유류한 후, 가시화에 사용되는 일반적인 시약 ninhydrin의 농도를 2가지(0.5 %와 5 %)로 나누어 각각의 현출정도를 AFIS(발견 특징점의 수)와 농도계 이미지 분석을 실시하여 상관관계를 비교 평가하였다. 통상 높은 농도의 ninhydrin은 저 농도에 비교하여 다공성 표면의 배경에 대한 착색으로 선명한 가시화가 어려울 것으로 예측되었다. 먼저 지문 유류 조건을 잉크지문 및 iodine fuming법에 적용한 조건과 동일하게 유류시킨 결과, 전기한 2가지 지문 유류 조건에서 가장 효율적으로 나타난 1.0 kg.f/5 sec의 조건에서는 지문의 융선이 비연속적이고 선명하지 못하여 CP Atlas 2.0으로 분석하였을 경우 융선의 면적 값의 편차가 심하게 나타났으며 AFIS를 통한 분석에서 적은 수의 특징점이 탐색 되었다(결과 미제시). 그러나 2.0 kg.f/5 sec의 조건에서는 ninhydrin의 농도와 관계없이 비교분석이 가능한 면적 값과 특징점수를 확인할 수 있었으며, 1.0 kg.f/ 5 sec 조건에서보다 균질의 peaks를 보였다(결과 미제시). 또한, 0.5 % ninhydrin 용액으로 현출했을 때보다 5 % ninhydrin 용액으로 현출했을 때 배경은 더욱 강하게 변색되었지만 지문 융선에 존재하는 성분 역시 상대적으로 고농도의 ninhydrin과 더욱 반응하여 강한 발색을 하는 이유로 배경에 의한 방해가 감소하는 것을 확인할 수 있었다(*Table* 7, 8) (*Fig.* 7, 8). 이는 *Table* 7과 8에서 5 % 농도의 ninhydrin 용



(a) (b)

Fig. 8. Image analysis of developed fingerprint with 5 % ninhydrin solution using CP Atlas 2.0 ((a), 2.0 kg.f/5 sec) with lane profile (b).

액이 상대적으로 0.5%에 비하여 다수의 특징점 수가 확인되는 현출효과가 뛰어남을 알 수 있고 또한 이미지 분석결과 값인 융선의 면적 값도 높음을 알 수 있다. 연속적으로 감소시킨 지문의 선명도 차이를 평가하기 위해 1회, 2회, 3회 차의 지문을 비교한 결과 지문 유류 차수가 늘어날수록 지문의 선명도가 전이되는 지문의 양이 감소함으로 떨어지는 경향을 확인하였으나, 0.5 % 농도로 현출하였을 경우 간혹 2회 차 지문보다 3회 차의 지문이 더 선명한 결과를 보여 작은 면적 값의 차이(36.54 대 34)를 보였다. 또한 낮은 농도의 현출액 에서는 전반적으로 높은 표준편차(43.07~51.67)를 보였으며 높은 농도의 현출액에서도 지문 유류 차수가 늘어날수록 표준편차가 높아지는 것을 확인 할 수 있었다. 이것은 배경에 비해 지문 성분 중 아미노산과 ninhydrin의 반응이 미약하게 이루어져 이미지 분석 시 지문 융선의 peaks 모양이 균일하지 않고 S/N (signal/noise)비도 낮게 나타나는 것으로 판단하였으나 정확한 원인을 알아보기 위해서는 다수의 시료 지문을 사용한 유류 조건에 대한 추가적인 연구가 필요하다(*Table* 8). 또한 지문시료 채취 시 표면의 종류에 따른 압인조건 역시 변경되어야 함이 관찰된 이유로 추후 적절한 지문 연구를 위해서는 표면에 따른 압인조건이 선행적으로 연구되어야한다. 이로부터 앞서 제시한 지문연구의 어려움인 동일한 품질(지문 량)을 가지는 잠재지문의 획득이 어려움을 알 수 있었고 또한 지문유류시의 압력과 접촉시간 이외의 다른 변수들이 작용함을 확인하였다. 역시 이에 대한 추가적인 연구가 진행되어야한다.

Table 8. Statistical data of developed fingerprints by ninhydrin analyzed with CP Atlas 2.0 in depletion series

Mean(±SD)

Concentration[a)]	1st	2nd	3rd
	Area	Area	Area
0.5	83.73(± 43.07)	36.54(± 51.67)	34(± 48.08)
5	141.45(± 8.04)	72.73(± 20.93)	32.21(± 45.56)

[a)]% in acetone.

이상의 다공성 표면에서의 잉크지문과 현출된 잠재지문에 대한 AFIS를 이용한 특징점 판독과 융선에 대한 농도계 이미지 분석결과를 평가해보면, 지문의 선명도에 따라 이미지 분석에서 융선 peaks의 면적 값과 모양이 밀접한 관련이 있다는 것을 간접적으로 확인하였다. 즉, 가시화된 지문의 융선에 대한 이미지 분석 결과로의 면적 값은 AFIS를 이용한 발견된 특징점 수에 관계가 있음을 보였다. 이러한 정량적인 평가 방법은 기존의 평가 방법에 비해 더욱 세밀한 계량화가 가능하여 다양한 현출 방법에 대하여 정확한 상호 비교를 제공할 수 있다고 사료되며, 먼저 특징점 수의 비교 방법에 대한 보조적인 역할로 사용하여 추가적으로 충분한 데이터가 축적이 되면 단독으로 사용이 가능할 것으로 사료된다. 이를 위하여 융선의 면적계산을 위한 선택부분 결정, 선택 부분에 대한 면적의 기준 등에 대한 실험이 추가적으로 요구된다. 이후 다양한 물질들의 표면에서의 반응정도, 범죄현장에서 다수 수거되는 증거물 표면에서의 반응성에 대한 실험을 통하여 지문에 대한 정량적이고 객관적인 평가가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

4. 결 론

지문에 대한 객관적이고 계량적인 비교평가 방법의 개발을 위하여 지문의 선명도를 다양하게 나타낸 잉

크지문, iodine fuming 및 ninhydrin으로 가시화한 잠재지문에 대한 농도계 이미지 분석과 AFIS를 이용한 발견 특징점 수의 비교로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 잉크지문을 시간과 압력 조건에 따라 유류 시킨 뒤, AFIS 및 농도계 이미지 분석을 한 결과 잉크지문에서 발견된 특징점 수는 시간과 압력 조건에 따라 일정한 차이가 나며 유류 조건 1.0 kg.f/5 sec에서 융선의 면적 값이 가장 높았고 발견 특징점 수가 최상에 근접함을 알 수 있었다.

2. 연속적으로 감소된(depletion series) 지문에서 잉크지문과 ninhydrin으로 현출된 잠재지문의 융선(peaks)의 면적 값은 지문이 연속될수록 줄어드는 결과를 보였으며 면적 값이 줄어듦에 따라 특징점 수도 역시 줄어드는 경향을 확인할 수 있었다.

3. Iodine fuming법으로 현출된 감열지 상의 잠재지문 비교평가에서 면적 값이 가장 크게 나온 1.0 kg.f/5 sec의 유류조건에서 다수의 특징점이 발견된 것은 아니지만 전체적으로 특징점이 발견된 지문의 면적 값이 높게 나온 것을 확인하였다.

4. Ninhydrin 용액의 농도를 상대적으로 평가한 결과 저농도인 0.5 %의 ninhydrin 용액에 비하여 고농도인 5 %의 ninhydrin 용액에서 다수의 특징점이 발견되었고 또한 높은 면적 값을 보여 더욱 선명한 현출효과를 보인다는 것을 확인하였다.

이상의 연구 결과로부터 지문에 대한 농도계 이미지 분석의 결과(면적값)는 AFIS를 이용하여 발견되는 특징점 수에 밀접한 관계를 갖고 있음을 발견하였고 이미지 분석결과인 면적 값은 가시화된 지문에 대한 상호비교에 사용될 수 있다는 가능성을 보였다. 즉, 지문에 대한 이미지 분석 결과 값인 면적 값이 클수록 더욱 선명한 지문이고 이로부터 발견될 수 있는 특징점수 역시 상대적으로 더욱 많은 수가 발견되어 지문에 대한 정량적인 비교평가가 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 2015년도 충남대학교 학술 연구비에 의해 지원되었으며 도움을 주신 경기북부지방경찰청과 대전지방경찰청에 감사드립니다.

References

1. P. R. De Forest, R. E. Gaensslen and H. C. Lee, 'Forensic science: an introduction to criminalistics', McGraw-Hil, New York, USA, 1983.
2. S. H. James, J. J. Nordby and S. Bel, In 'Forensic Science', 3rd Ed., p303-326, CRC Press, USA, 2014.
3. S. H. James, J. J. Nordby and S. Bel, In 'Forensic Science', 3rd Ed., p355-375, CRC Press, USA, 2014.
4. S. L. Zabell, *JL & Pol'y.*, **13**(143), 143-179 (2005).
5. H. L. Bandey and A. P. Gibson (2006), The powders process, study 2: Evaluation of fingerprint powders on smooth surfaces. *HOSDB Fingerprint Development and Imaging Newsletter* 08/06: 7.
6. J. W. Bond, *J. Forensic Sci.*, **59**(2), 485-489 (2014).
7. R. Bansal, P. Sehgal and P. Bedi, *Int. J. of Computer Sci.*, **8**(5), 74-85 (2011).
8. S. Jovanovic, M. Barac, O. Macej, T. Vucic and C Lacnjevac, *Sensors*, **7**(3), 371-383 (2007).
9. J. H. Cho, 'A Preliminary Study for the Development of the Quantitative Evaluation Method of Developed Fingerprints Using Densitometric Image Analysis and its Application', Master's thesis, Chungnam National University, Daejeon, 2016.
10. O. P. Jasuja and G. Singh, *Forensic Sci. Int*., **192**(1), e11-e16 (2009).
11. P. F. Kelly, R. S. P. King, S. M. Bleay and T. O. Daniel, *Forensic Sci. Int*., **217**(1), e27-e30 (2012).
12. J. S. Yu, J. S. Jung, S. Lim and S. W. Park, *Anal. Sci. Technol*., **25**(3), 164-170 (2012).
13. O. P. Jasuja, M. A. Toofany, G. Singh and G. S. Sodhi, *Sci. Justice*, **49**(1), 8-11 (2009).
14. M. K. Kim, S. W. Park and Y. Ohgami, *Anal. Sci. Technol*., **22**(2), 166-171 (2009).
15. H. C. Lee and R. E. Gaensslen, 'Advances in Fingerprint Technology', 2nd Ed., 105-176, CRC Press, USA, 2001.
16. Y. S. Kim and S. W. Choi, *Korean J. Sci. Crim. Invest*., **7**(4), 272-278 (2013).
17. J. Almog, A. Hirshfeld and J. T. Klug, *J. Forensic Sci.*, **27**(4), 912-917 (1982).