

Preliminary semi-quantitative evaluation of developed latent fingerprints on non-porous surface with natural powders using a densitometric image analysis

Eun-Mi Kim, Bo-Reum Heo, Yun-Seok Ok, Jin-Kyung Kim, In-Nam Joung, 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 October 18, 2016; Revised December 11, 2016; Accepted December 11, 2016)

비 다공성 표면에서 천연분말로 현출된 잠재지문의 농도계 이미지분석을 이용한 예비적인 반 정량적 평가

김은미 · 허보름 · 옥윤석 · 김진경 · 정인남 · 최성운^{1, *}

충남대학교 평화안보대학원 과학수사학과,

¹충남대학교 신약전문대학원 신약개발학과

(2016. 10. 18. 접수, 2016. 12. 11. 수정, 2016. 12. 11. 승인)

Abstract: Conventional fingerprint powders used during crime scene investigations pose potential health hazards. Thus, multiple natural replacement powders, including squid ink powder, indigo and rice powder were used to develop (visualize) latent fingerprints on non-porous surfaces (e.g., glass, plastic and tile). Fingerprints developed using the natural powders were compared using the Automatic Fingerprint Identification System (AFIS) with those developed with traditional black powder. The peak areas of ridges were also compared using densitometric image analyses. Collectively, objective and quantitative evaluation methods were developed. The effectiveness of natural powders varied depending on the surface but, in general, squid ink powder performed well on most surfaces. Indigo powder performed well on tile surfaces, while rice powder performed well on glass surfaces. Plastic was the most difficult surface from which to develop fingerprints. Image analysis using Field Emission Scanning Electron Microscopy (SEM) demonstrated the importance of the size and shape of natural powder particles to properly adhere to the ridges. Although densitometric image analyses did not correlate the number of minutiae and ridge peak areas, an unbiased, objective evaluation method would be possible using image analyses with a reference image. Additional experimentation will yield safe and cost-effective natural powders with which adequate fingerprint development can be performed.

요 약: 범죄현장조사에 사용되는 인체에 유해할 수 있는 일반분말에 대한 대체수단으로 천연분말(오징어 먹물분말, 청대분말, 쌀분말)을 이용하여 비 다공성표면(유리, 플라스틱, 타일)상의 잠재지문을 현출

★ 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.

(가시화)하였다. 현출된 잠재지문을 Automatic Fingerprint Identification System (AFIS)으로 분석한 특징점의 수를 흑색분말을 사용한 결과 특징점 수와 비교하였으며 또한 객관적이고 계량적인 평가방법의 개발을 위하여 각 분말로 가시화된 지문의 이미지를 농도계 이미지분석(densitometric image analysis)을 이용한 결과 값인 용선 피크의 면적값을 비교하였다. 천연분말들의 현출효과는 표면에 따라 다양하게 나타났다. 일반적으로 오징어 먹물분말은 대부분의 표면에서 좋은 현출을 보였으며 청대분말은 타일표면에서 그리고 쌀분말은 유리표면에서 최고의 현출을 보였다. 그러나 플라스틱 표면은 천연분말에 의한 지문현출이 가장 어려운 표면이었다. Field Emission Scanning Electron Microscope (SEM)를 이용한 이미지 분석에서 용선에 적절한 흡착력을 가지는 조건으로 천연분말 입자의 크기와 형태가 중요한 인자임을 확인할 수 있었다. 비록 기술적인 어려움으로 특징점의 수와 용선 피크의 면적값과의 상관관계를 볼 수는 없었으나 공평하고 객관적인 지문의 평가방법으로 기준 이미지의 사용을 통한 이미지 보정을 통하여 가능하리라고 사료된다. 저가의 저독성 천연분말은 추가적인 실험을 통하여 적절한 잠재지문 현출제로서의 가능성을 보일 것으로 사료된다.

Key words: Latent fingerprint, Natural powders, Densitometric image analysis, Quantitative fingerprint analysis

1. 서 론

분말법(powder method, "dusting")은 주로 비 다공성 표면에 존재하는 잠재지문(latent fingerprint)의 가시화에 사용되는 저렴하고 용이하며 효과적인 현출방법 중의 하나로 다양한 종류의 분말(일반분말, 형광분말, 금속분말 등)이 사용된다.^{1,2} 일반적으로 분말법은 지문분말(fingerprint powder) 입자(particles)가 표면에 남겨진 용선(skin ridge) 성분 중의 수분과 기름성분 등에 대한 물리화학적 흡착을 기반으로 작용한다.³ 이들의 용선 성분에 대한 흡착에 영향을 미칠 수 있는 요소(factor)로는 분말입자의 표면적, 형상, 입자크기 및 전하(charge) 등으로 알려져 있다. 대부분의 상용 분말은 이러한 흡착에 중요한 두 가지의 성분으로 색소와 결합제(binder)로 구성되어 있다. 색소는 표면과 지문의 대비(contrast)를 제공하며 결합제는 표면에 비하여 선택적인 용선과의 접착기능을 보유한다. 그러므로 이상적인 지문분말은 지문 용선에 접합하여 최대의 대비를 나타내므로 높은 감도를 제공할 수 있다.^{2,4} 그러나 국내외에서 사용하는 상용 잠재지문 현출 분말은 Al, Mg, Ni, Ti, Fe 등의 다양한 금속 산화물과 송진, 탈크, 전분, 고령토 등의 배합제의 혼합으로 이루어져 있다. 이러한 분말제제는 잠재지문 현출 시 가루날림이 있어 주변 환경의 오염은 물론, 장기간 사용 시 과학수사 업무 종사자들의 호흡기를 통한 유입 및 피부접촉으로 인하여 건강에 악영향을 줄 수 있으며^{5,6} 흑색 탄소 분말의 경우 진폐증 및 호흡기질환에 유해하다는 논란이 미국에서 논의된 바 있다.⁷ 또한 현재

국내 과학수사 요원들이 사용하는 잠재지문 현출 분말의 인체 유해성에 대한 추적 연구가 부족한 실정이며,^{6,8,9} 특히 현장 감식업무 종료 후 현장의 실내공기의 오염 및 가전제품과 가구 훼손 등에 관한 불만이 감식 업무의 능률을 저하시키는 원인으로 작용한다는 문제점이 있을 수 있다.^{6,10} 이 같은 기존 상용분말의 인체 유해성 및 감식 현장 오염 등의 불편으로 인해 기존의 잠재 지문 현출 분말과 그 대안으로 제시되는 천연 분말을 이용한 현출정도 비교 연구가 진행되고 있으며 새로운 잠재지문 현출제로서 식용색소 분말의 효율성에 대한 연구 등 인체에 유해성이 일반분말에 비하여 낮을 것으로 예측되고 있다. 또한 증거물품에 대한 훼손이 상대적으로 적은 천연분말, 식용색소 분말 그리고 유기형광분말 등을 활용한 연구들이 보고되어 있다.¹⁰⁻¹³ 기존의 상용 잠재 지문 현출 분말의 대체 제제로서의 다양한 천연 분말에 대한 다수의 발표가 있었으나 천연 분말의 적용에 의한 현출정도에 관한 객관적이고 정량적인 비교 연구는 특징점(minutia) 수의 비교 이외에는 아직까지 미미한 현실이다.

일반적으로 서로 다른 방법으로 현출된 지문의 현출정도를 비교하는 방법은 크게 3 가지로 알려져 있다. 두 개의 현출된 전체지문을 양옆에 두고 육안으로 선명도를 비교하거나 자동지문식별시스템(Automatic Fingerprint Identification System, 이하 AFIS)을 사용하여 특징점 수를 비교하는 방법과 1/2로 나눈 시료지문을 각각 다른 방법을 통하여 가시화하여 두 개를 붙여 육안으로 비교평가를 하는 방법, 마지막으로 지문 용선에 구체적으로 점수 가치를 주고 평가하는 방

법이 있다. 첫 번째와 두 번째 방법은 지문의 용선 비교 시 배경색과 관련하여 주관적으로 더 나은 선명함을 평가하고 있으며, 세 번째 방법은 전체적인 현출이 좋으면 4점, 연속적으로 2/3의 용선이 좋으면 3점, 연속적으로 1/3이 좋으면 2점, 현출은 되었으나 용선이 전체적으로 연속적이지 못하면 1점, 미 현출 시에는 0점의 점수가치를 주어 계량화하는 방법이다.^{14,15} 그러나 제시된 방법으로는 지문 용선의 현출 정도의 차이에 따른 비교-평가가 객관적이지 못하며 결과 데이터가 계량적이지 않다는 단점이 있고, AFIS를 사용한 특징점 수의 비교는 미세한 현출 정도에 대한 차이를 나타낼 수 없으며 통상 경찰이나 관련 종사자가 아닌 일반 연구자들은 쉽게 접근할 수 없는 프로그램으로 다른 현출된 잠재지문의 비교 평가방법에 대한 지속적인 연구가 되어야 할 것이다.

일반 실험실에서 잠재지문의 현출 정도를 정량적으로 판단하기 위해서는 현출된 지문의 용선의 강약이나 배경색과의 대비를 수치적으로 변환할 수 있는 방법이 필요하다. 즉, 용선의 분포에 따라 각기 다른 색상 농도값을 정량적인 그래프 혹은 표로 나타내 줄 수 있는 이미지 농도계가 필요하다고 볼 수 있다. 농도계 이미지 분석(densitometric image analysis)은 생물, 의료 분야 등에서 쉽고 빠르게 사용할 수 있는 분석법이며 젤(gel) 분석으로 분리된 각 밴드(bands)나 TLC 이미지 상의 spot면적을 측정하여 정량적 결과를 도출하는 방식이다.¹⁶ 현출된 지문의 정량적인 비교-평가를 위한 방법으로 농도계 이미지 분석법의 이용에 대한 최근 연구에 따르면 현출된 지문의 특징점 수가 많을수록 이미지 분석 결과값인 면적이 크게 나타나 용선 이미지의 면적값의 비교를 통한 가시화된 지문에 대한 상호비교 가능성을 보였다.¹⁷

본 연구에서는 비 다공성 표면에 유류된 잠재지문을 현재 사용되는 상용 흑색분말과 3가지 천연분말로 현출한 후 현출된 지문을 AFIS와 농도계 이미지 분석 프로그램인 CP Atlas 2.0으로 각각 분석하여 특징점의 개수와 지문 용선의 면적값 간의 상호비교를 통해 각 분말의 현출 효율에 대한 반 정량적인 비교-평가를 하여 객관적이고 계량적인 평가방법으로서의 가능성을 평가하고, 각 천연분말의 표면별 현출 정도를 평가하여 이들의 기존분말에 대한 대체 가능성을 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 기구, 재료 및 일반방법

지문시료는 로드셀(KERN KB1200-2, Germany)을 이용하여 3.0 kg/f 압력으로 5초(sec.)동안 유류 한 성인 남성의 지문을 상온에 1시간, 1일, 3일의 시간적 변수를 두고 보존한 후 실험에 사용하였다. 천연분말로는 청대분말(indigo powder), 쌀분말(rice powder), 오징어 먹물분말(squid ink powder)을 사용하였으며 이들 분말의 건조 및 수분 흡수를 방지하기 위하여 건조오븐(HYSC, KOR)에서 건조하였다.

천연분말의 현출효율성 비교를 위해 현재 상용되고 있는 흑색분말(ID TECH, Korea)을 사용하여 현출하였고 모든 분말은 다람쥐 털 붓(CSI Brush (ID TECH사))을 사용하여 현출하였다. 현출된 지문의 이미지를 디지털 카메라 (NIKON D5300), 마이크로 렌즈 (NIKON-AF-S Micro NIKKOR 60 mm 1:2.8G)를 사용하여 얻은 후, Automated Fingerprint Identification System (AFIS, Suprema HQ, Korea)을 이용해 특징점의 개수를 파악하였고 CP Atlas 2.0 (Lazarsoftware, USA)로 지문 용선의 면적값을 알아내었다.¹⁷ 또한 Field

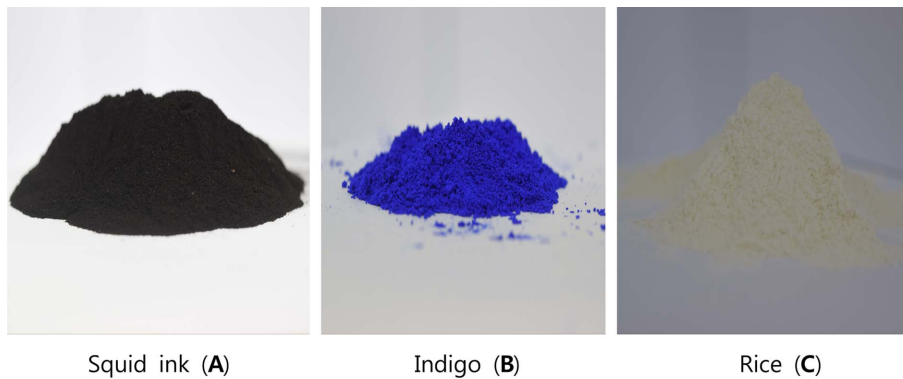


Fig. 1. Colors and shapes of three natural powders (A-C).

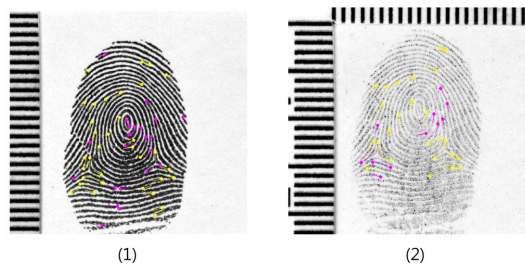


Fig. 2. Images of fingerprints analyzed by AFIS with minutiae points and ridge patterns, (1) inked fingerprint, (2) developed with squid ink powder on the tile.

Emission Scanning Electron Microscope (SEM, JSM-7000F, Japan, 이하 SEM)를 이용하여 분말입자의 크기 및 분포 그리고 표면의 특성을 확인하였다.

2.2. 표면 및 천연분말재료

비 다공성 표면 재료로는 유리 슬라이드(Microscope slides glass, Marienfeld), 플라스틱 슬라이드(Microscope slides, 성도상사), 타일(중앙테크무역, China oem)을 이용하였고, 천연분말 재료로는 검은색의 오징어 먹물 분말(squid ink powder)(A), 푸른색의 쪽 분말(Persicaria tinctoria H. Gross (마디풀과, Polygonaceae)(B)과 흰색의 쌀(rice)(C)분말을 사용하였고 비교를 위한 흑색분말은 상용화되어 있는 흑색분말(Samhwa, Korea)을 사용하였다.

오징어 먹물(squid ink)분말은 오징어 생물을 구입하여 먹물주머니를 분리한 후 190 °C 오븐에서 3시간 동안 건조시킨 다음 분쇄기에 갈아 분말 화 하였으며, 쪽 분말(Persicaria tinctoria H. Gross)은 F&C(중국산), 쌀(Rice)분말은 일반적으로 우리나라에서 주식으로 쓰이는 멥쌀(당진 해나루쌀)을 구입하여 분쇄기에 갈아 사용하였다. 천연분말 재료들의 색상과 외형을 Fig. 1에 제시하였다.

2.3. 잠재지문시료 유류방법 및 현출실험

지문시료는 20대 후반 연령 남성의 우측 검지로와 상문 형태이며(Fig. 2, 좌측), 잠재지문 시료는 외부요인과 실험의 오차를 감소시키기 위해 12회 반복 실험하였고 천연분말을 건조한 상태로 유지시켜 현출능력을 유지시키기 위하여 실험 2시간 전에 70 °C인 건조오븐에 천연분말을 보관하여 사용하였다. 잠재지문 시료의 유류는 먼저 손을 비누로 세척한 후 70% 소독용 에탄올로 분무하고 손 전체를 문질러 세척하고 실온에서 건조한 다음 온도 24~26 °C 그리고 습도 53~63%의 조건에서 얼굴의 이마와 볼을 각 1회씩 만져 신체를 접촉한 후 유리, 플라스틱, 타일에 우측 검지의 전체 지문이 나타날 수 있도록 동일한 압력으로 압착하여 유류시켰으며 한 번의 신체 접촉 후 4회를 연속적으로(depletion series) 일정한 압력으로 유류시켰다.¹⁷

Table 1. The mean number of minutiae identified in developed fingerprints with natural powders analyzed by AFIS (N=12)

		Surface type												Time(h)
		Glass				Plastic				Tile				
		Depletion series				Depletion series				Depletion series				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Natural powder	A	18	15.1	18.5	13.9	5.7	3.2	3.3	4.8	23.3	19.3	20.7	12.1	1
		23.8	13.9	20.8	18.3	0	0	0	0	34.1	23.8	22.2	18	24
		17.4	15.6	28.3	16.9	0	0	0	0	21.3	27.6	27.1	19.5	72
	B	17.2	11.3	11.4	2.7	1	0.3	0.1	0.5	40.7	29.7	17.5	12.7	1
		27.9	5.4	5.1	7.2	0.89	0	0	0	37.2	28.5	27.3	23.8	24
		7.8	5.1	7.4	3.3	0	0	0	0	27.9	31.6	24.6	21.4	72
	C	27.9	21.5	16.7	10.6	14	5.6	11.9	3.3	17.7	7.5	8.4	8.6	1
		25.6	16.3	33.5	8.8	6	1.11	1.67	0.56	20.5	10.6	12.8	12.1	24
		19.1	10.9	12.9	7.4	2.2	1.4	0.3	0	23.2	17.1	14.5	15.5	72
	D	42.8	42.1	45.1	39.6	17.2	23.9	18.2	12	45.4	43.9	48.4	49.3	1
		48.2	48.3	47.1	46.8	2.45	3	0.29	1.14	51.1	51.3	49.8	50.7	24
		31.4	29.8	33.1	32.9	0	0	0	0	42.2	41.9	42.8	34.5	72

(A)=Sepia ink powder, (B)=Indigo powder, (C)=Rice powder, (D)=Black powder, (± S.D.) not shown

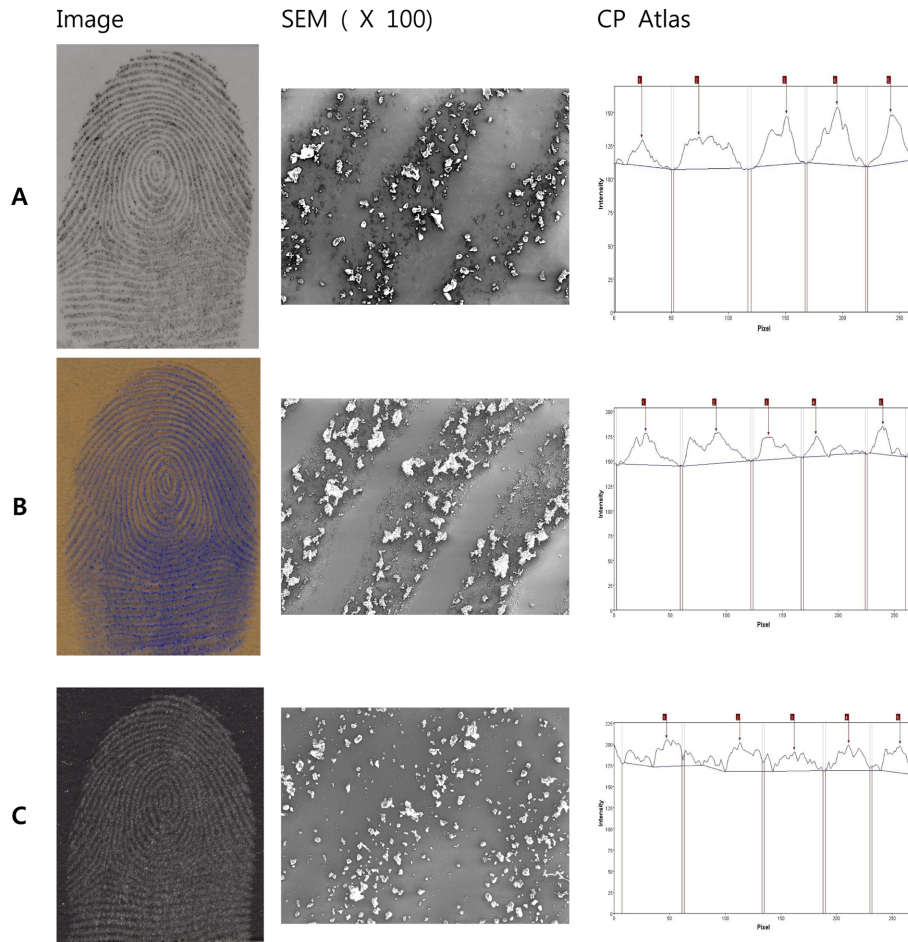


Fig. 3. Image analysis of developed fingerprints with natural powders using CP Atlas 2.0 and SEM images (X 100), (A) squid ink powder on the tile, (B) indigo powder on the glass, (C) rice powder on the plastic.

3. 결과 및 고찰

3.1. 표면에 따른 천연분말의 현출 비교

현재 사용 중인 분말의 인체에 대한 유해 가능성은 앞으로 계속적으로 연구가 필요하다. 비록 직접적인 현출분말에 의한 위해성은 보고된 바 없으나 이들이 함유한 다양한 종류의 중금속, 유해물질 등의 존재는 그 가능성을 시사하고 있다.^{5-7,18} 이러한 분말의 대체를 위한 일환으로 인체에 유해성이 낮을 것으로 예측되는 천연분말을 사용한 현출결과를 표면, 시간 그리고 사용 천연분말종류에 대하여 발견된 특징점 수의 평균치로 Table 1에 정리 하였다(표준편차 미 제시). 이는 연속적으로 4 회 유류한(depletion series) 지문시료를 12 회 반복하여 실험한 결과의 AFIS을 통한 평

균 특징점 수를 보인 것이다.

그리고 서로 다른 방법으로 현출된 지문의 객관적이고 계량적인 비교를 위한 방법의 개발을 위하여 이들 현출지문 이미지에 대한 농도계 이미지 분석(densitometric image analysis)을 실시한 결과를 Table 2에 제시하였다(표준편차 미 제시). 이는 연속감소의 형태로 4 회 연속 압인한 시료지문의 처음 1회 지문의 현출 후 얻은 이미지의 특정 용선 부분에 대하여 CP Atlas 2.0으로 이용한 분석결과 피크 면적값의 평균을 정리한 것이다(Fig. 3, 우측). 연속감소형태(depletion series)의 지문은 순차적으로 적은 양의 지문성분을 표면에 유류하여 그 양이 적을 경우의 현출 정도를 연구하는 방법으로 본 실험의 경우 전이되는 지문의 양이 지속적으로 감소되어 특징점의 수 또한

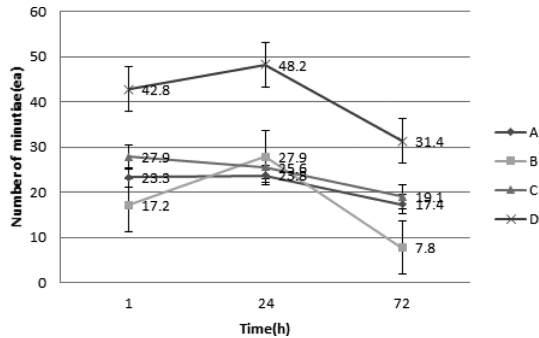


Fig. 4. Mean number of minutiae found on the glass (± SD), (A)=squid ink powder, (B)=Indigo powder, (C)=Rice powder, (D)=Black powder.

감소되는 경향을 보일 것으로 예측되었으나 실제의 경우 그 경향에 따르지 않았고 혼합된 경향을 나타냈다(Table 1). 이는 다공성표면에서의 실험과는 다른 결과로 비 다공성표면에서 연속감소형태의 지문에 대한 실험에서 주의를 요한다.¹⁷ 즉 비 다공성 표면의 경우 지문시료는 지문성분의 전이정도가 다공성표면에 비하여 매우 적은 소량으로 전이되므로 다수의 연속 감소형태의 시료(10 회 이상)를 준비하여 실험하여야 한다고 사료된다. 이러한 이유로 결과부분에서는 주로 연속감소형태 지문의 처음 1회 유류한 지문을 중심으로 논의하였다.

3.1.1. 유리 표면

천연분말의 현출효과는 먼저 비교를 위하여 준비된

잉크지문(inked fingerprint)의 특징점(56 개) 수를 기준으로 흑색분말은 연속감소형태의 지문 1회에서 76.4 % (1h), 86.1 % (24h), 56.1 % (72h)로 유리 및 다른 표면에서도 가장 높은 현출효과를 보였다(Table 1). 쌀 분말의 경우 49.8 % (1h), 45.7 % (24h), 34.1 % (72h), 오징어 먹물분말은 32.1 % (1h), 42.5 % (24h), 31.1 % (72h), 그리고 청대분말은 30.7 % (1h), 49.8 % (24h), 13.9 % (72h)였다. 전반적으로 천연분말 중에서 쌀가루(19~28 개)가 유리표면에서는 가장 현출효과가 우수하였으나 72시간이 경과된 지문의 경우에는 오징어 먹물분말(16~28 개)의 현출이 우수하였다(Table 1). Glass상에 연속감소형태 시료지문의 제1회 압인시킨 잠재지문이 가시화되어 발견된 특징점 수의 변화를 분말별 그리고 시간별로 그래프에 제시하였다(Fig. 4).

흑색분말의 경우 1일, 1시간, 3일차 지문의 순서로 특징점의 개수가 감소함을 확인 할 수 있었다. 즉 특징점과 농도계 이미지 분석의 면적값에서 흑색분말과 비슷한 경향을 보인 분말은 오징어 먹물 분말과 청대 분말 이었으며, 쌀 분말의 경우 천연분말 중에 높은 특징점 개수가 나왔으나 면적값이 흑색분말에 비하여 비정상적으로 높음을 확인 할 수 있었다(Table 1, 2). 24시간이 경과된 지문에서의 높은 특징점 수의 발견은 1시간이 경과된 지문의 경우 주로 유류 지문의 성분은 다량의 수분과 지방성분의 혼합물로 24시간이 경과하면서 수분과 저분자 유기물의 증발과 함께 주로 지방성분이 잔류하여 사용 접착 분말의 흡착이 증가된 이유로 사료된다. 그러나 72시간이 지나면서 유

Table 2. The average of area value using CP Atlas 2.0

	Surface type			Time(h)	
	Glass	Plastic	Tile		
Natural powder	A	167.6	139.6	496.6	1
		311.6	183.6	179.2	24
		369.2	220.2	366.8	72
	B	287	81.2	333.4	1
		171	333.8	742.4	24
		302	175.2	387.2	72
	C	873.4	685.6	767.8	1
		1007.2	346.2	705.4	24
		818	563.4	1336	72
D	358.6	229.2	1369.8	1	
	486	191.4	1293.2	24	
	468.6	209.8	1037.4	72	

(A)=Sepia ink powder, (B)=Indigo powder, (C)=Rice powder, (D)=Black powder

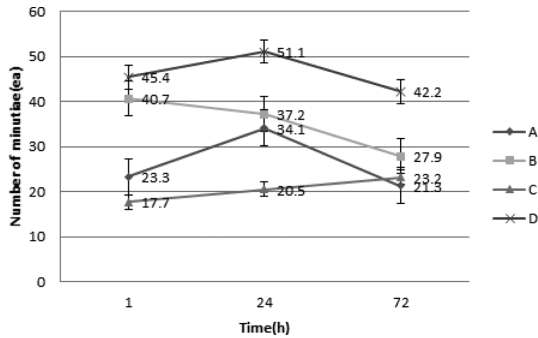


Fig. 5. Mean number of minutiae found on the tile (\pm SD), (A)=squid ink powder, (B)=indigo powder, (C)=rice powder, (D)=black powder.

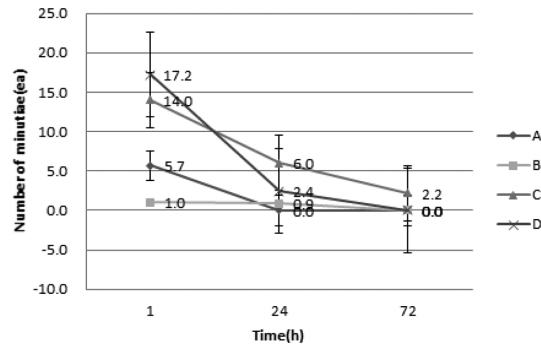


Fig. 6. Mean number of minutiae found on the plastic (\pm SD), (A)=squid ink powder, (B)=indigo powder, (C)=rice powder, (D)=black powder.

류 지문성분의 변화가 진행되어 전체적으로 흡착력이 감소되어 발견 특징점수의 개수도 감소되는 경향으로 사료된다.¹⁹ 유리 표면상 가시화된 잠재지문의 이미지에 대한 농도계 이미지분석의 결과는 다공성표면에서의 분석결과와는 다르게 나타났다.¹⁷ 즉 발견 특징점수의 증가 혹은 감소에 따른 용선 피크의 농도계 분석결과 값인 면적값의 비례적인 관계는 발견되지 않았다. 이는 다공성 표면에서 시료지문의 가시화 이후의 이미지 취득과정에서 각 표면별로 보정이 이루어지지 않은 결과로 이미지 취득 시에 기준이 되는 불변의 고정이미지를 동시에 촬영하여 고정이미지의 이미지 취득시의 변화에 따른 취득 이미지에 대한 보정이 필요하다. 농도계 이미지분석 방법은 미세한 초점 혹은 주변광원의 변화에 예민하여 분석결과인 면적값이 변동이 되므로 세심한 주의를 요한다. 실제로 동일한 표면에서 가시화된 잠재지문을 상이한 날에 재촬영을 한 경우에 두 가지의 용선 이미지의 면적값은 큰 차이를 나타냈다(자료 미 제시). 추후 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

3.1.2. 타일 표면

타일표면에서 천연분말의 현출효과는 잉크지문의 특징점(56개)수에 비교하여 흑색분말은 81.1% (1h), 91.3% (24h), 75.4% (72h)로 높은 현출효율을 보였으나 쌀분말은 31.6% (1h), 36.6% (24h), 42.5% (72h), 오징어 먹물분말은 41.6% (1h), 60.9% (24h), 38.0% (72h)이었고 청대분말의 경우 72.7% (1h), 66.4% (24h), 49.8% (72h)로 청대분말의 특징점 발견효율이 가장 우수하였다(Fig. 5).

Glass표면에서의 흑색분말의 경우와 유사하게 오징어 먹물분말은 24시간이 경과한 지문에서 최대의 특

징점을 현출한 반면 청대분말은 시간 증가에 따른 지속적인 감소 그리고 쌀분말은 지속적인 증가의 혼합된 경향을 나타내어 유리표면에서의 현출효율과 다른 양상을 보였다. 농도계 이미지 분석에서 역시 흑색분말의 경우 면적값은 1369.8이었으며 특징점의 개수가 45.4개였다(Table 1, 2). 그에 비하여 쌀의 면적값은 1336이었고 특징점의 개수는 23.8개로 타일 표면 또한 쌀 분말이 면적값과 특징점의 상관관계가 성립하지 않음을 알 수 있었다. 이는 이미 전기한 대로 이미지에 대한 보정의 작업이 없었던 이유로 사료된다(결과 및 고찰 3.1.1.).

3.1.3. 플라스틱 표면

플라스틱표면에서의 현출효과는 잉크지문의 특징점(56개)을 기준으로 흑색분말은 30.7% (1h), 4.4% (24h), 0.0% (72h)이었고 쌀분말의 경우 25.0% (1h), 10.7% (24h), 3.9% (72h), 오징어 먹물분말은 10.2% (1h), 0% (24h), 0% (72h) 그리고 청대분말 1.8% (1h), 1.6% (24h), 0.0% (72h)로 쌀분말의 현출효과가 사용된 천연분말 중에서 가장 우수하였다. 그리고 대부분의 지문시료에서 시간이 경과된 지문에서 발견되는 특징점의 수도 역시 감소하였다(Fig. 6). 그러나 유리 와 타일의 표면에 비하여 모든 분말의 현출효과가 감소한 것은 플라스틱 표면의 특성상 시료지문 채취 시 적은양의 지문이 전이 되었거나, 전이된 지문의 성분의 표면에 비하여 분말에 대한 상대적으로 낮은 흡착력, 유기 중합체로 다양한 다른 유기 및 무기물질을 함유한 표면과 지문성분의 상호작용 결과로 인한 분해, 경시변화 등에 기인한 분말의 낮은 현출력으로 사료된다. 특히 플라스틱은 제조과정에서 용도에 맞는

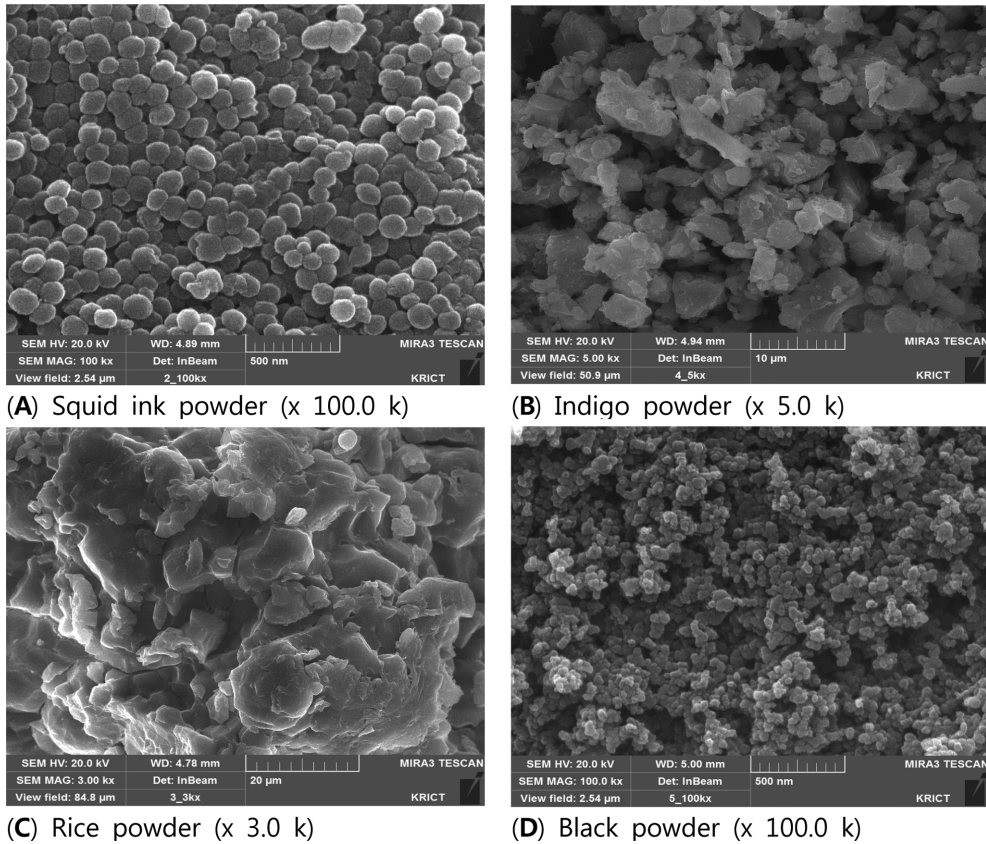


Fig. 7. SEM images of powders.

추가적인 다양한 물질의 첨가 및 표면처리가 되는 이유로 플라스틱의 종류 및 표면처리 여부에 따른 분말의 현출에 대한 연구가 필요하다.²⁰

3.2. 현출표면 및 분말의 SEM 이미지비교

표면별 각 천연분말의 현출효과는 상이하였다. 이미 논의한 바와 같이 유리표면에서는 쌀분말이 그리고 타일표면에서는 청대분말이 높은 현출을 그리고 전반적인 면에서는 오징어 먹물분말의 현출효과가 비교적 높은 현출결과를 보였다. 이러한 차이를 가지적으로 확인하기 위하여 SEM이미지를 저배율($\times 100$)로 확인하였다(Fig. 3, 중간). 각 표면 상 지문의 융선에 접합된 천연분말의 이미지를 볼 수 있다. 타일표면에서의 오징어 먹물분말(Fig. 3, 중간 위), 유리표면에서의 청대분말, 그리고 플라스틱에서의 쌀가루의 접합 분포양상을 볼 수 있다. 오징어 먹물분말과 청대분말은 비교적 융선 주위에 분말이 분포됨을 볼 수 있었으나 쌀가루의 경우 융선이 아닌 표면에도 분포함을 볼 수

있다. 또한 대부분의 표면에서 각 분말은 대부분 융선 상에 분말입자들이 뭉친 상태로 존재함이 확인되었다. 일반적으로 알려진 분말의 효과적인 현출을 위해서는 분말의 크기와 형상이 중요한데 특히 작고 미세한 입자는 크고 조악한(coarse)입자에 비교하여 융선에 대한 선택적인 집착이 높다 하였으며, 통상(conventional)의 분말은 둥근 구형으로 크기는 $1\sim 10\ \mu\text{m}$ 로 알려져 있다.²¹ 이러한 측면에서 분말자체의 형상을 알아보기 위하여 분말자체의 SEM영상을 확인하였다(Fig. 7). Fig. 7에서 오징어 먹물분말의 경우 분말의 모양이 흑색분말과 유사한 구형모양이었으며 다른 천연분말에 비하여 크기 또한 작음을 확인하였다. 또한 Fig. 3에서 오징어 먹물과 청대분말의 경우 분말이 주로 융선 부분에만 붙어있어 이랑과 골의 구분이 다소 명확하여 흑색분말과 유사한 경향을 보였다. 그러나 입자크기가 흑색분말에 비교하여 큰 이유로 현출력이 감소함으로 조심스럽게 추측을 해보며 추후 입자크기를 감소시킨 오징어 먹물분말을 사용한 추가적인 실험이

필요하다.

청대분말과 쌀 분말의 경우 입자크기가 오징어 먹물분말보다 전반적으로 크며 일정하지 않고 각 입자의 서로에 대한 흡착성으로 인해 뭉쳐있음을 Fig. 7을 통해 볼 수 있었다. 이는 추후 분말의 형태와 크기에 따른 분말의 수분함유율이 현출에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다. 그러나 Fig. 3에서 지문 용선상에 주로 분말이 잘 흡착되어 있음을 볼 수 있고 그 결과 청대 분말 또한 현출력이 높은 이유라 사료 되었다. 농도계 이미지분석법으로 현출된 잠재지문의 이미지 분석 시 비 다공성 표면에서의 시약법(chemical method)과¹⁷ 다르게 분말법의 경우 지문의 용선에 접착되는 분말의 양이 동일하지 않고, 접착분말의 크기가 크게 다르고, 실험하는 기간이 긴 이유로 모든 이미지를 동일한 환경에서 취득하기 어렵고 또한 이미지의 품질은 빛이나 주변 환경에 민감한 이유로 오차의 가능성을 배제 할 수 없었다. 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다(결과 3.1.1.). 유리, 플라스틱, 타일의 표면에서 타일의 특징점과 면적값이 가장 높게 나타난 이유로 타일의 표면이 유광으로 코팅처리 되어있어 빛 반사로 인한 대조비가 명확했기 때문이라 판단 된다. 플라스틱 표면의 경우 잠재지문이 표면에서 빠르게 번지는 효과로 인하여 특징점과 면적값의 결과가 저조하였으리라 사료되며 플라스틱의 재료 및 표면의 코팅재료가 지문에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구가 필요함을 확인하였다.

4. 결 론

호흡기 독성 등의 인체에 유해할 수 있는 기존의 분말의 대체 가능성을 타진하기 위하여 3종의 천연 분말(오징어 먹물분말, 청대분말, 쌀분말)을 사용하여 표면(유리, 플라스틱, 타일)별, 시료지문의 남겨진 시간(1, 24, 72 h)별로 현출효과를 흑색분말과 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오징어 먹물분말의 분말 형태와 크기가 흑색 분말과 가장 유사하였고 이에 따른 현출 효과 또한 사용된 천연분말 중 평균적으로 가장 뛰어났다.

2. 청대분말의 경우 타일표면(흑색분말의 90%)에서 쌀분말은 유리표면에서 높은 현출력을 나타내어 대체 분말로써의 가능성을 보였다.

3. 모든 분말의 플라스틱 표면에서의 낮은 현출력은 플라스틱 표면에 대한 추가적인 실험이 필요함을 보였다.

4. 현출된 지문의 용선에 대한 농도계 이미지 분석의 결과와 발견된 특징점 수와의 상관관계는 여러 가지 조작상의 이유로 성립되지 않았다. 그러나 추가적인 실험을 통하여 객관적이고 계량적인 지문의 평가 방법은 지속적으로 개발되어야 한다고 사료된다.

References

1. B. Wilshire, *Endeavour*, **20**(1), 12-15 (1996).
2. H. C. Lee and R. E Gaensslen, 'Advances in Fingerprint Technology', Elsevier, New York, 1994.
3. H. C. Lee and R. E Gaensslen, 'Advances in Fingerprint Technology', 2nd Ed., CRC Press, Washington D.C., 2001.
4. B. Yamashita and M. French, 'Chapter 7, The Fingerprint Sourcebook, U.S. Dept. of Justice, Office of Justice Program', National institute of Justice, Washington D.C., 2011.
5. G. S. Sodhi and J. Kaur, *Forensic Sci. Intl.*, **120**(3), 172-176 (2001).
6. C. V. Netten, K. E. Teschke and F. Souter, *Arch. Environ. Health*, **45**(2), 123-127 (2010).
7. M. F. Carrick, *Chesapeake Examiner*, fingerprint Powder-Safety Considerations, **24**(2), 7-9 (1986).
8. S. W. Park, *Korean J. Sci. Criminal Investigation*, **1**(1), 1-7 (2007).
9. F. C. G. Souter, C. Van Netten and R. Brands, *Intl. J. Environ. Health Res.*, **2**(2), 114-119 (1992).
10. S. Kim and M. Choi, *Korean J. Sci. Crim. Invest.*, **7**(1), 33-41 (2013).
11. H. Kumari, R. Kaur and R. K. Garg, *Egypt. J. Forensic Sci.*, **1**, 133-139 (2011).
12. R. K. Garg, H. Kumari and R. Kaur, *Egypt. J. Forensic Sci.*, **1**, 53-57 (2011).
13. G. S. Sodi and J. Kaur, *Defense Sci. J.*, **50**(2), 213-215 (2000).
14. H. L. Bandey and A. P. Gibson, The powders process, study 2: Evaluation of fingerprint powders on smooth surfaces. *HOSDB Fingerprint Development and Imaging Newsletter*, **(08/06)**, 7 (2006).
15. J. W. Bond, *J. Forensic Sci.*, **59**(2), 485-489 (2014).
16. S. Jovanovic, M. Barac, O. Macej, T. Vucic, and C. Lacnjevac, *Sensors*, **7**(3), 371-383 (2007).
17. J. Cho, H. Kim, M. Kim and S. Choi, *Anal. Sci. Tech-*

- mol.*, **29**(3), 142-153 (2016).
18. A. J. Reynolds, B. J. Jones, V. Sears and V. Bowman, *J. of Phys: Conference Series*, **126**, 012069, (2016).
19. S. Cadd, M. Islam, P. Manson, and S. Bleay, *Sci. and Justice*, **55**, 219-238 (2015).
20. How Plastics Are Made, <https://plastics.americanchemistry.com/How-Plastics-Are-Made/>, Assessed 5 Oct. 2016.
21. M. J. Choi, A. M. McDonagh, P. J. Maynard, R. Wuhler, C. Lennard and C. Roux, *J. of Forensic Identification*, **56**(5), 756-768 (2006).