

화학반응을 이용한 일반 프린트용지의 잠재지문 현출에 관한 연구

노승찬 · 최미정 · 김만기 · 이오택¹ · 박성우[★]

충남대학교 과학수사학과, ¹국방조사본부 과학수사연구소
(2007. 2. 16. 접수, 2007. 4. 9. 승인)

The studies of developing latent fingerprint in general print papers by chemical reaction

Seung-Chan Roh, Mi-Jung Choi, Man-Ki Kim, Oho-Taick Lee¹ and Sung-Woo Park[★]

Dept. of Scientific Criminal Investigation, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

¹Physics and Chemistry Div., Laboratory of Scientific Investigation,

Ministry of National Defense, Seoul, 140-701, Korea

(Received February 16, 2007; Accepted April 9, 2007)

요 약: 다공성 지류의 증거물은 문서위조, 유괴, 사기와 테러 등의 범죄현장에서 발견된다. 본 실험은 다공성 지류인 일반 프린트 용지와 신문의 잠재지문 현출에 Ninhydrin, 1,8-diazafluoren-9-one (DFO) 그리고 Iodine fuming의 효과를 평가하고 지류에 따른 적절한 방법을 확인하고자 하였다. 일반 프린트 용지의 경우 Ninhydrin과 DFO의 처리보다 Iodine fuming법으로의 처리가 현출효율이 증대되었다. 신문의 경우 Iodine fuming 법으로의 현출이 효과적이었으며 DFO로의 재처리와 blue light 광원에서 orange red filter의 사용으로 현출의 증가를 보였다. 또한 현출영상의 개선을 위해 Digital Imaging System(DIS)를 이용한 결과 효율의 증가를 확인할 수 있었다.

Abstract: Porosity paper evidence is encountered in case of forgery, kidnapping, fraud and terrorist activity. The present study was designed to evaluate the effect of three chemical reagents (Ninhydrin, 1,8-diazafluoren-9-one (DFO), Iodine fuming) to the quality of developed latent fingerprints on porosity printing papers and newspaper. In case of printing papers, print quality was better with Iodine fuming method than Ninhydrin and DFO treatment to developing latent fingerprints. Developing latent fingerprint on newspapers was achieved with Iodine fuming processing. The processing of Iodine fuming followed by DFO and by using blue light (orange red filter) exhibited better results with Iodine fuming. Enhancement of latent fingerprint detection image using Digital Imaging System was achieved.

Key words : latent fingerprint, general print paper, newspapers, Ninhydrin, DFO, Iodine fuming

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)42-821-5240 Fax : +82-(0)42-822-5236

E-mail: swpark05@cnu.ac.kr

1. 서 론

과학수사에 있어서 종이는 각종 위조 범죄의 주된 수단이며 현장에서 증거물로 채택되는 중요한 단서이다. 종이는 사용용도에 따라 백상지류, 미색백상지, 코트지류, 골판지류, 벽지원지류, 특수지류 등으로 나뉘며, 재질에 있어서도 원료인 펄프를 비롯하여 첨가제인 알루미늄, 클레이, 탄산칼슘, 라텍스 등의 농축, 희석과 같은 재질 공정에 따라 다양하기 때문에 범인의 잠재지문을 효과적으로 현출하여 추적수사를 함에 있어 종이 재질에 따른 현출방법의 구축은 필수적이라 하겠다.

범피현장에서 발견되는 지문 중 잠재지문(latent fingerprint)은 손의 땀이나 여러 유기물이 현장 증거물에 묻은 것으로 육안으로는 식별이 어려워 여러 가지 방법으로 현출하고 있다. 잠재지문이 발견되는 표면의 성질이 흡수성이 없는 비다공성 표면인 경우에는 분말법이나 접착제를 사용하고 부드럽거나 지류와 같은 다공성인 경우는 화학약품 처리에 의해 현출시킨다.¹ 화학적 방법으로는 Ninhydrin, 1,8-diazafuoren-9-one (DFO) 그리고 Iodine fuming법이 있으며 Ninhydrin의 경우 현출된 잠재지문의 안정성이 높아 번지거나 증발되지 않고, 감식용 광원으로 선명도 개선이 가능하고 zinc나 cadmium의 금속염이나 physical development (PD법) 법으로 재처리하여 현출을 개선할 수 있다고 알려져 있다.^{2,3} 최근에는 Ninhydrin으로 현출된 잠재지문에서 DNA를 추출하여 개인을 인식하는 방법, luminescence chemical imaging을 이용하여 선명도를 개선시키는 방법들이 소개되고 있으며^{4,5} Azoury 등은 지문의 수분 보유율과 현출시의 습도에 따른 화학적 현출법에 관한 연구도 소개하고 있어 효율적인 현출법에 관한 연구는 다각적으로 진행되고 있다.⁶ DFO는 530 nm에서 강한 형광의 잠재지문 현출을 나타내며 Ninhydrin법을 보완하는 방법으로 사용되고 있다.^{7,8} Wilkinon^{9,10}을 비롯한 연구자들은 DFO로의 현출의 개선을 위해 mass spectrometry, nuclear magnetic resonance (NMR), X-ray crystallography 등을 이용하여 반응구조 분석과 그 생성물들의 파악에 주력하고 있다. Iodine fuming법은 지문의 지방 성분과 결합하여 현출이 이루어진다고 알려져 있으며, 현출된 잠재지문은 쉽게 기화하기 때문에 현출 후 즉시 고정시키는 데 고정시키는 방법에도 녹말법, benzoflavone 용액법, silver plate transfer 법 등이 있다.⁹

본 실험은 다공성 재질인 일반 프린트용지와 신문

지에 존재하는 잠재지문의 현출에 화학적 방법과 광원(blue light 와 pale yellow, yellow, orange, orange red filter)을 사용하여 현출효율을 비교하고 Digital Imaging System (DIS)을 이용하여 현출영상의 개선을 시도하여 종이 재질에 따른 적합한 잠재지문 현출방법과 개선을 조사하고자 실시하였다.

2. 실험

2.1. 기구 및 시약

발색 시약은 Ninhydrin, DFO (Sirchie), Iodine fuming gun (Fumette Disposable Iodine fuming gun)을 사용했으며, 형광광원으로는 blue light 광원(430-470 nm, foster + freeman, UK)과 filter (pale yellow, yellow, orange, orange red)를 사용하였다. 영상기록은 카메라 (D70S, Nikon)를 사용하였다. 잉크지문은 Basic Postmortem Fingerprint Kit (Sirchie Fingerprint Laboratories, INC, USA)를 사용하여 수사자료표(별지 제2호 서식)에 기록하였으며, 특징 점의 확인은 Automated Fingerprint Identification System(AFIS)를 이용하였다.

지류 표면의 형태 및 특성분석은 Field Emission Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (FE-SEM-EDS, JSM-700F model1)를 이용하여 분석하였고 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR, Thermo, Nicolet 380) 분광기를 사용하여 지류의 투과율을 분석하였다.

2.2. 시료

다공성 표면의 지류는 HS제조사의 일반프린터 용지인 백상지, 미색백상지, 아트지, 매트지, 중질지와 신문지(J, C, H, S)를 선택하였고 그 분류는 Table 1과 같다. 지문시료는 29세 남자의 것으로 22°C, 습도 24%의 환경에서 제공받았으며 왼쪽 엄지에 표준지문용 잉크를 고르게 묻힌 다음 수사자료표에 압착하여 표준지문으로 사용하였다(Fig. 1).

2.3. 실험방법

2.3.1. 온도에 따른 종이 재질의 변화

Ninhydrin법과 DFO법의 경우 온도 60°C~110°C의 변화에 따른 지류의 표면변화를 조사하였다.

2.3.2. 화학반응에 의한 잠재지문 현출

Ninhydrin법, DFO법은 지류에 지문을 압착한 후 발색시약을 충분히 분무하고 자연건조 후 100°C에서 10

Table 1. Descriptions of the general print papers

Sample No.	General Print Papers			
	Brand of print paper	Code	Used	Description
1	HS(new woodfree printing paper)	NWT	Diary	Woodfree printing paper
2	HS(pale yellow woodfree printing paper)	YWT	Catalog	Pale yellow woodfree printing paper
3	HS(Hi-Q duo art)	ATD	Calendar, magazine	Art paper
4	HS(Hi-Q duo mat)	MAT	Calendar, magazine	Matte paper
5	HS(middle grade paper)		Textbook	Middle grade paper

Sample No.	Newspapers	
	Brand of newspapers	Description
1	J	Web
2	C	Web
3	H	Web
4	S	Web

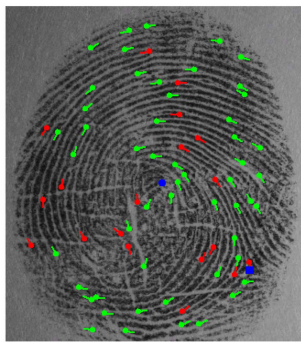


Fig. 1. Ink standard fingerprint by AFIS.

분 현출하였다. 발색된 지문의 특징 점을 표준지문과 비교하였다. DFO의 처리 후에는 현출된 지문을 자연광과 blue light 광원에 pale yellow, yellow, orange, orange red filter로 특징 점을 관찰하여 영상 기록하였다. Iodine fuming법은 Iodine 시약으로 잠재지문을 현출시키고, 현출 즉시 잠재지문을 영상 기록하였다.

2.3.3. Digital Imaging System(DIS)을 이용한 현출영상의 개선

화학반응 후의 현출영상을 Adobe photoshop을 이용하여 영상처리 메뉴인 레벨(level), 곡선(curve), 채널혼합(channel mixer) 그리고 색상/채도변환(Hue & saturation)을 조정하여 영상을 얻은 후 AFIS를 이용하여 특징 점의 수를 확인하였다.

2.3.4. 지류 표면 형태 및 특성분석

FE-SEM(15 kV)을 이용하여 다양한 확대범위에서

표면의 미세구조 특성을 관찰하였고 FT-IR 분광기를 사용하여 500~4000 cm⁻¹의 주파수 범위에서 ZnSe crystal ATR(attenuated total reflectance)법으로 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 온도에 따른 종이 재질의 변화

Ninhydrin과 DFO의 반응 시 100 °C에서 10분 후 재질의 변화를 관찰하였으나 지류의 표면 변화는 관찰되지 않았다.

3.2. AFIS에 의한 잉크지문의 특징 점 관찰

AFIS는 자동지문검색시스템으로 컴퓨터를 이용하여 지문을 이미지화 한 후 그 결과를 디지털 코드화 하여 각 지문의 특징 점을 대조하여 판독하는 장치이다. 본 실험의 표준지문은 표준지문용 잉크로 왼손 엄지지문을 채취하여 AFIS에 의해 나타난 특징 점을 Fig. 1에 나타내었다. 잉크지문을 이용한 표준 특징 점은 5회 실시하여 평균 71개의 특징 점을 얻었고 이를 표준 특징 점으로 하였다. 본 실험 지문 제공자의 지문형태는 말발굽 모양의 제상선으로 형성되고 융선이 흐르는 반대 측에 섬모양의 삼각도가 1개 있는 지문인 제상문에 속하며 특징 점의 상세 분류는 Table 2와 같다.

3.3. 화학반응에 의한 잠재지문 현출의 비교

일반 프린트용지와 신문지 종류별 화학적 현출방법에 따른 특징 점 개수는 Table 3, Table 4와 같다.

Table 2. Identification of minutiae in standard fingerprint

	Total point	Dot	Independent ridge	Delta	Bifurcation	Crossover	Spur	Ridge ending
Minutiae	71±7	1	3	1	18	14	16	18

Table 3. Comparison of latent fingerprints developing on general print papers using chemical reactions

General Print Papers							
Sample No.	Ninhydrin	DFO	DFO-Ninhydrin	Iodine fuming	Iodine fuming -DFO	Iodine fuming-DFO-Ninhydrin	
		V					
1	0	39	54	49	51	54	
		B/G-O/R					
2	1	16	21	46	46	47	
Total minutiae		B-Y					
3	11	4	12	64	65	65	
4	16	0	34	61	61	61	
5	0	0	0	49	49	49	

DFO: 1,8-diazafluoren-9-one

V: visual light, B/G-O/R: blue green light-orange red filter,

B-Y: blue light - yellow filter

Table 4. Comparison of latent fingerprints developing on newspapers using chemical reactions

Newspapers							
Sample No.	Ninhydrin	DFO	DFO-Ninhydrin	Iodine fuming	Iodine fuming-DFO	Iodine fuming -DFO-Ninhydrin	
		B-O/R			B-O/R		
1	0	10	10	11	14	14	
					B-O/R		
2	0	0	0	0	28	28	
		B-O/R			B-O/R		
3	0	7	7	0	23	23	
		B-O/R			B-O/R		
4	0	11	11	10	23	23	

DFO: 1,8-diazafluoren-9-one

B-O/R: blue light-orange red filter

3.3.1. 일반 프린트 용지

가장 흔히 사용하는 일반 프린트용지인 백상지의 경우 Ninhydrin법으로의 현출은 전혀 이루어지지 않았고, DFO처리 시 자연광에서 39개, DFO처리 후 Ninhydrin으로 재처리 시 54개로 현출이 관찰되었다. Iodine fuming으로의 현출은 49개이며, Iodine fuming 처리 후 Ninhydrin이나 DFO로의 재처리시 현출은 개선되지 않음을 알 수 있었다.

미색백상지는 백상지에 미색의 color가 혼합되어 보이는 지류이며 백상지와는 달리 DFO처리 후 blue light광원의 orange red filter 처리 시 16개의 특징점이 현출되고 Ninhydrin으로의 재처리 시에는 약간의 개

선이 관찰되었다. 그러나 Iodine fuming 처리로의 현출이 46개로 가장 효율적임을 알 수 있었다. Iodine fuming 처리 후 DFO와 Ninhydrin으로의 재처리시 현출에 영향을 미치지 않았다.

아트지류는 달력이나 잡지류에 주로 사용되며 잉크 지면을 코팅 처리하여 윤택이 나게 한 지류이다. Ninhydrin, DFO 그리고 DFO 처리 후 Ninhydrin으로의 재처리로의 현출은 이루어졌으나 특징 점 12~15개의 수에 미치지 못하였고, Iodine fuming법으로의 현출은 64개의 특징 점을 보여 효율이 양호함을 알 수 있었고 특히 DFO시약의 처리로는 지류의 표면재질의 변화가 관찰되고 지문이 훼손되는 현상을 보여 DFO로의 처리

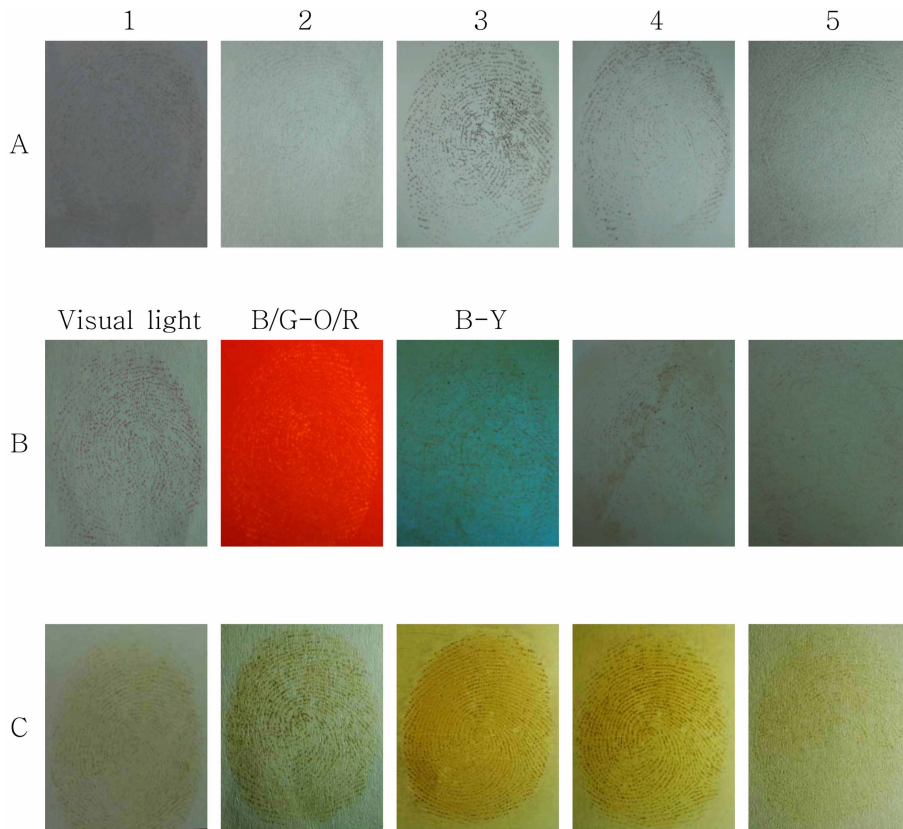


Fig. 2. Photography of developing latent fingerprint in general print papers by chemical reactions.
 A) Ninhydrin B) DFO C) Iodine fuming
 1) Woodfree printing paper 2) Pale yellow woodfree printing paper 3) Art paper 4) Matte paper 5) Middle grade paper
 V: visual light, B/G-O/R: blue/green light-orange/red filter, B-Y: blue light-yellow filter

는 적절하지 못함을 알 수 있었다(Fig. 2).

매트지류는 아트지류와 재질은 같으나 잉크지면을 코팅처리 하지 않은 것으로, Iodine fuming의 처리로 특징 점 개수 61개가 관찰되었고, DFO로의 처리로 매트지류의 재질변화를 육안으로 확인할 수 있어서 매트지의 화학적 방법으로서의 DFO처리는 지문 보존이 되지 않는 것을 확인하였다(Fig. 2).

일반 서적에 쓰이는 중질지류의 경우 Ninhydrin이나 DFO로의 현출은 이루어 지지 않았고 Iodine fuming처리가 가장 큰 현출 효율을 보였다.

3.3.2. 신문지류

신문지의 경우 프린트 용지로 쓰이는 지류 중 중질지보다 하위급이다.

J사 용지의 경우 DFO로 처리하고 blue light 광원에 orange red filter로의 현출이 이루어졌으나 그 특징 점

수가 미약하여 현출에 어려움이 예상되고 Iodine fuming 역시 큰 효과를 나타내지 못하였다.

C사 용지의 경우에는 Ninhydrin과 DFO 그리고 Iodine fuming 처리로 전혀 현출이 되지 않았으나 Iodine fuming 처리 후 DFO로 재처리하고 blue light 광원에 orange red filter에서의 관찰로 현출이 이루어졌다.

H사 용지는 DFO, Iodine fuming으로의 현출은 이루어졌으나 Iodine fuming 처리 후 DFO로의 재처리 후 blue light 광원에 orange red filter의 사용으로 현출이 크게 증가됨이 관찰되었다.

S사 용지의 경우에는 DFO처리 후 blue light 광원에 orange red filter의 사용으로 약간의 현출이 이루어졌고 Iodine fuming 처리 후 DFO로 재처리하고 blue light 광원에 orange red filter 사용으로 현출이 크게 개선됨을 알 수 있었다(Fig. 3).

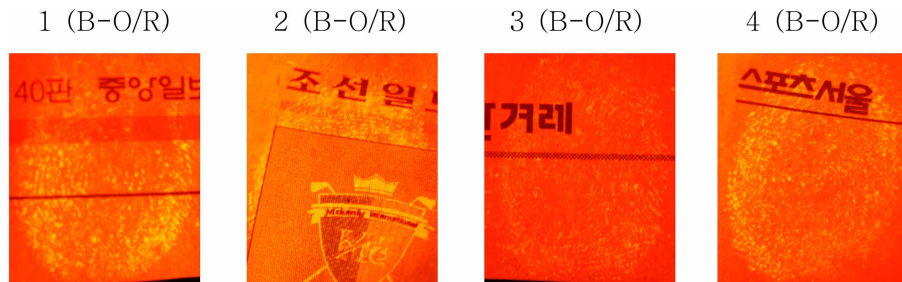


Fig. 3. Photographs of developing latent fingerprint in newspapers by DFO reaction.
1) J 2) C 3) H 4) S company newspaper
DFO: 1,8-diazafluoren-9-one
B-O/R: blue light-orange red filter

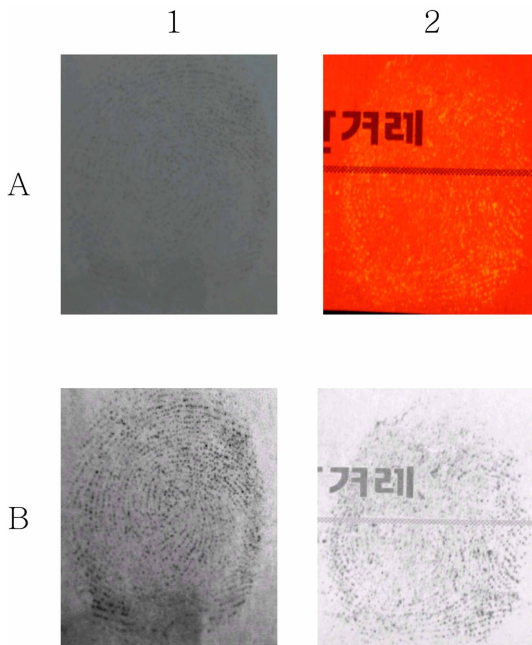


Fig. 4. Enhancement of latent fingerprint detection using Digital Imaging System.
A) Before B) After
1) Woodfree printing paper with Ninhydrin reaction
2) H company newspaper with DFO reaction
DFO: 1,8-diazafluoren-9-one

3.3. Digital Imaging System(DIS)을 이용한 현출영상의 개선

Adobe photoshop을 이용하여 현출영상의 개선을 시도한 결과는 Fig. 4와 같다. 일반 프린트용지 중 백상지의 경우 Ninhydrin의 처리로 현출이 전혀 이루어지지 않았으나 DIS를 사용하여 17개의 특징점을 얻을 수 있었으며 신문의 경우 DFO 처리 후 blue light 광원에 orange red filter 사용으로 특징 점 수의 증가

를 관찰할 수 있었다.

3.4. 지류의 표면 형태 및 특성분석

일반 프린트용지의 FE-SEM-EDS를 이용한 지류 표면의 형태 및 성분분석은 Fig. 5, Fig. 6과 같다.

백상지, 미색백상지와 중질지는 섬유 짜임의 밀도가 다소 낮고 아트지와 매트지의 경우는 코팅처리로 인해 펄프섬유의 세포벽과 세포벽속 내강의 구조가 보이지 않을 정도로 밀도가 매우 높음을 알 수 있어서 지류의 표면 형태 분석에 의한 식별이 가능하였다.

신문지류의 경우 일반프린트지류인 백상지, 미색백상지, 중질지와 유사한 섬유 짜임의 형태를 볼 수 있었다.

FE-SEM-EDS를 이용하여 지류 표면의 주요 원소성분을 분석해 본 결과 구성 비율에 있어서 백상지, 미색백상지, 중질지의 경우 90~99% 정도가 O, C로 구성되어 있었고 아트지, 매트지의 경우 73~79%가 O, Ca이며 15% 정도가 C로 구성되어 있었으며 그 외에는 Mg, Si, Al이 극소수 차지하였다.

신문용지의 경우 J, C, H, S 사 모두가 90~96%가 O, C로 이루어졌으며 Si, Ca, Al의 순으로 나타났다.

일반 프린트용지의 FT-IR로의 특성실험의 결과는 Fig. 5, Fig. 6과 같다.

백상지, 미색백상지와 중질지의 경우 1029 cm^{-1} 에서 potassium phosphate에 의해 강한 흡수스펙트럼을 나타내는 유사한 특성파장을 보여주었고, 아트지, 매트지의 경우에는 1398 cm^{-1} 에서의 강한 흡수스펙트럼과 1030 cm^{-1} 와 1006 cm^{-1} 에서 doublet가 확인되고 872.4 cm^{-1} , 711.7 cm^{-1} 의 calcium carbonate에 의한 흡수가 주로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

신문지류의 경우 1029 cm^{-1} 의 potassium phosphate에 의한 강한 흡수스펙트럼을 나타내는 백상지, 미색

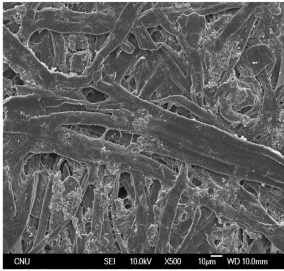
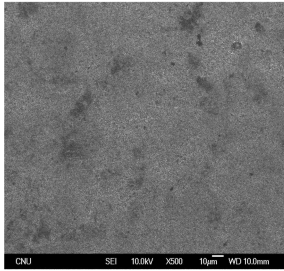
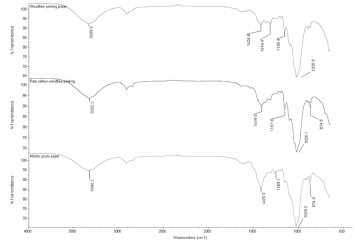
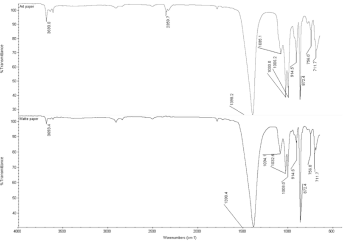
Surface	General print papers	
	Woodfree printing paper, Pale yellow woodfree printing paper, Middle grade paper	Art paper, Matte paper
SEM image (500x)		
SEM-EDS major peaks (elemental composition)	O 58% C 37~46% Ca 3~8% Mg Si Al	O 47% Ca 26~32% C 15% Si Al
FT-IR spectra		

Fig. 5. SEM images and FT-IR analysis in general print papers.

백상지, 중질지의 스펙트럼과 유사하였다.

4. 결 론

범죄현장에서 빈도 높게 채택되는 증거물인 일반프린트 용지, 신문용지와 같은 다공성지류에서의 잠재지문 현출은 과학수사에 있어 큰 의미가 있다. 본 연구는 일반 프린터용지인 백상지, 미색백상지, 아트지, 매트지, 중질지와 신문용지를 Ninhydrin법, 1,8-diazafluoren-9-one (DFO)법, DFO 처리 후 Ninhydrin으로의 재처리법, Iodine fuming법, Iodine fuming 처리 후 DFO법 그리고 Iodine fuming법 후 DFO로의 재처리

후 Ninhydrin법 등 다양한 방법으로 현출효과를 비교하여 지류에 따른 효과적인 화학적 현출방법을 구축하고 또 Digital Imaging System을 이용하여 현출영상의 개선을 시도하였다.

일반 프린터 용지의 경우 백상지, 미색백상지와 중질지는 Ninhydrin법으로의 현출은 이루어지지 않았고 Iodine fuming으로의 현출효율은 컸다. 백상지와 미색백상지의 경우 DFO, DFO 처리 후 Ninhydrin으로의 재처리로 현출이 이루어졌으나 Iodine fuming으로의 현출효율에는 미치지 못하였다. 아트지와 매트지의 경우 DFO로의 처리는 지류의 재질변화가 관찰되고 지문보존이 이루어지지 않아 그 사용이 적절하지 않음

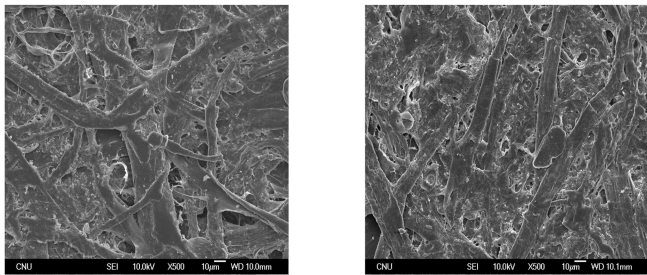
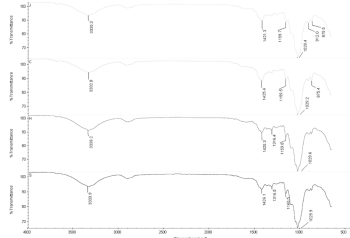
Surface	Newspapers(J, C, H, S)
SEM image (500x)	
SEM-EDS major peaks (elemental composition)	O 51~53% C 39~45% Ca Si Al
FT-IR spectra	

Fig. 6. SEM images and FT-IR analysis in newspapers.

을 확인할 수 있었으며 코팅처리로 인한 지류의 표면 재질의 밀도가 높아 백상지, 미색백상지와 증질지에 비해 Ninhydrin, Iodine fuming법으로의 현출이 증가하는 결과를 확인할 수 있었다.

신문지의 경우 섬유 밀도가 낮고 수분흡수성이 높아 Ninhydrin으로의 현출은 이루어지지 않았고 Iodine fuming처리 후 DFO로의 재처리와 blue light 광원에 orange red filter의 사용에서 가장 큰 현출효과를 확인하였다.

범죄현장에서 증거물로 채택되는 지류의 화학적 방법으로의 현출에 있어서는 먼저 지류의 성분과 형태 분석에 의한 동일성 확인 실험이 선행되어야 하며 그에 따른 적절한 화학적 방법으로의 현출이 이루어져야 하겠다. 본 실험의 경우 종이 분류에 있어서 재질의 대분류로의 화학적 현출방법을 조사하였으나 보다 많은 지류와 더 구체화된 화학현출방법이 절실하며 또 DIS 등을 이용한 현출영상의 개선에도 지속적인

연구가 필요하다 하겠다.

감사의 글

본 연구는 대한민국 과학기술부(MOST)와 한국과학재단(KOSEF)의 특정연구개발사업 프로그램(M10640010004-06N4001-00410)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

1. N. E. Archer, Y. Charles, J. A. Elliott and S. Jickells, *Forensic Sci. intenal*, **154**, 224-239 (2005).
2. D. W. Herod, E. R. Menzel, *J. Forensic Sci.*, **27**, 513-518 (1982).
3. M. Stoilovic, H. J. Kobus, P. A. Margot, R. N. Warren, *J. Forensic Sci.*, **31**, 432-445 (1986).

4. A. Liberti, GI Calabro, M. Chiarotti, *Forensic Sci. Internal*, **72**, 161-169 (1995).
5. M. M. Schulz, H. D. Wehner, W. Reichert, M. Graw, *J. Clinical Forensic Medicine*, **11**, 202-204 (2004).
6. M. Azouny, R. Gabbay, D. Chen and J. Almog, *J. Forensic Sci.* **48**, 564-570 (2003).
7. D. Wilkinson, *Forensic Sci. Internal*, **109**(2), 87-103 (2000).
8. G. Payne, B. Reedy, C. Lennard, B. Comber, D. Exline, C. Roux, *Forensic Sci. Internal*, **150**, 33-51 (2005).
9. O. P. Jasuja, G. D. Singh, G. S. Sodhi, *Forensic Sci. Internal*, **156**, 237-241 (2006).
10. Rozan. P, Kuo Y. H, Lambein F, *J. Agric. Food chem.* **48**, 716-723 (2000).