

광원에 따른 아미노산 반응 형광시약 처리지문의 증강 효과성 비교

Comparison of Enhancing Fingerprints Treated with Two Fluorescence Amino Acid Reactive Reagents in Accordance with Laser and LED Light Sources

김채원, 기진영, 김규연, 김지연, 전소영, 유제설
순천향대학교 법과대학원

Chae-Won Kim(chaewon0805@naver.com), Jin-Young Ki(jinyoung1220@naver.com),
Kyu-Yeon Kim(starholic93@naver.com), Ji-Yeon Kim(rainbow0856@naver.com),
So-Young Jeon(soyoung6753@gmail.com), Je-Seol Yu(haplf@naver.com)

요약

법광원(Forensic Light Source)은 증거물을 훼손하지 않는 비파괴적 방법으로 증거물을 증강하기 위해 주로 사용된다. 현장에 유류된 지문 증거는 사건 해결과 개인 식별을 하는데 있어 매우 중요하다. 다양한 파장 대역의 광원을 사용하면 형광분말이 처리된 지문과 형광시약이 처리된 지문을 증강할 수 있어 실무에서 널리 활용되고 있다. 본 연구에서는 널리 사용되고 있는 아미노산 반응 형광시약인 DFO(1,8-Diazafuoren-9-one)와 1,2-IND(1,2-Indanedione)을 처리한 표준 지문에 레이저 광원과 LED광원을 조사하여 증강 효과를 비교하여 보았다. 비교 결과, 전반적으로 레이저 광원이 LED 광원에 비해 더 나은 지문 증강 효과를 보였다. 하지만, 각 광원은 성능과 휴대의 측면에서 장단점을 가지므로 연구자들은 감식환경과 상황에 따라 레이저 광원과 LED 광원을 상호 보완적으로 사용하는 것을 권고한다.

■ 중심어 : | 법광원 | DFO | 1,2-IND | 레이저 | LED | 지문 |

Abstract

Forensic light source is commonly used for enhancing evidence in a nondestructive way. Latent fingerprints play an important role in an aspect of crime scene investigation. In this study, researchers compared enhancement of standard fingerprints treated with DFO and 1,2-IND in accordance with laser and LED light sources. As a result, laser light source has a better effect rather than LED light sources. However, each light source has strengths and weaknesses in terms of performance and portability. Therefore, researchers recommend that crime scene investigators need to use laser and LED light sources depending on the situation.

■ keyword : | Forensic Light Source | DFO | 1,2-IND | Laser | LED | Fingerprint |

I. 서론

법과학 분야에서 광원은 물질이 빛을 흡수, 방출하는

광냉광 (photoluminescence) 특성과 사광(斜光) 등의 기술을 이용하여 증거물을 증강하기 위해 주로 사용된다. 또한, 다양한 파장 대역의 광원을 사용하면 형광분

* 본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

접수일자 : 2017년 01월 02일

수정일자 : 2017년 02월 15일

심사완료일 : 2017년 02월 15일

교신저자 : 유제설, e-mail : haplf@naver.com

말이 처리된 지문과 형광시약이 처리된 지문을 증강할 수 있어[1] 실무에서 널리 활용되고 있다.

초기에는 눈에 보이는 지문을 백색광으로 더 명확히 관찰하거나, 눈에 보이지 않는 잠재지문을 흑색 분말이나 순간접착제 훈증(cyanoacrylate fuming)으로 현출한 지문을 증강하기 위하여 법광원이 사용되었다.

1970년대에 이르러 캐나다의 제록스(xerox) 사가 아르곤 이온 레이저(argon ion laser) 광원을 수사에 처음으로 도입하면서 법광원의 역할은 중요한 전환점을 맞게 된다. 이 레이저 광원은 다투던 현출문에 금속염을 처리한 다음 극저온 상태에서 특정 파장을 조사(照射)하여 형광 반응을 이끌어내는 데 종종 사용되었지만[2], 크기가 크고 가격이 비싸 실무적으로 널리 사용되지 못했다. 이후, 제논 램프 기반의 법광원(Alternative Light Source, ALS)이 개발되었다[3]. 이 법광원은 백색광 앞에 다양한 파장의 필터를 장착할 수 있게 제작되어 자외선부터 적외선까지의 빛을 방출할 수 있다. 기존의 레이저 기반 광원에 비해 무게는 가벼워졌으나 필터의 투과도 때문에 광손실이 발생한다는 단점이 있었고, 큰 배터리와 광원을 들고 다녀야 하는 부담이 따랐다[4]. 최근에는 견고성, 긴 수명, 높은 출력 등의 장점을 가진 발광 다이오드(Light Emitting Diode, LED) 광원이 만들어졌고, 현장에서 손쉽게 들고 다닐 수 있는 크기로 제작되어 사용되고 있다[5]. LED를 기반으로 한 광원은 특정영역의 파장이라 명시되어 있어도 주변부 파장을 많이 포함하고 있다. 이는 하나의 광원을 널리 활용할 수 있다는 장점을 제공함과 동시에 반사광과 불필요한 형광 반응을 차단하기 위하여 차폐필터(barrier filter)가 필요하다는 단점이 되기도 한다. 이러한 단점을 보완하기 위해 파장 대역이 좁은 소형 레이저 광원이 개발되고 있다.

현장에 유류된 지문 증거는 사건 해결과 개인 식별을 하는데 있어 매우 중요하다[6]. 감식 기술의 발전에 따라 다양한 지문 증강 기법들이 개발되었고, 이러한 기법들은 피부의 분비물과 지문이 유류된 표면 간의 차이를 활용하여 이루어진다[7]. 손이나 발에 존재하는 에크린선 분비물에는 아미노산이 포함되어 있다. 아미노산은 섬유질과 결합하는 성질이 강하므로 종이류와 같은

표면에서 빠르게 흡수된다[8]. 따라서 아미노산 반응 시약을 사용하면 종이에 유류된 지문을 현출 및 증강할 수 있다.

과학수사요원이 지문을 현출하기 위해 사용하는 아미노산 반응 시약 중 대표적인 시약으로는 1,8-Diazaffluoren-9-one(DFO)와[9][10] 1,2-Indanedione (1,2-IND)[11]을 들 수 있다. 색상 변화 이외에 추가적으로 형광을 내는 시약으로, 현출된 지문을 광원과 필터를 사용하여 확인한다. 이러한 형광시약을 처리한 다음 광원을 조사하면 지문이 들뜸 파장(excitation wavelength)이라고 하는 특정 파장의 빛을 흡수하고 그보다 긴 파장의 빛을 방출하는데 이에 해당하는 파장 대역을 방출파장(emission wavelength)이라 한다. 조사한 광원이 넓은 파장대역을 가질 경우, 들뜸 파장을 차단할 수 있는 적절한 차폐필터를 사용하더라도 지문 증강의 효과가 감소할 수 있다. 따라서 지문을 잘 보이도록 하기 위하여 시약을 처리한 지문의 들뜸 파장에 맞도록 불필요한 파장대역이 배제된 광원을 사용해야 한다. 본 연구에서는 광원에 따른 형광 지문 증강의 효과성 비교를 위해 좁은 파장 대역을 가지는 단색광(monochromatic source)인 레이저 광원과 실무에서 사용되고 있는 광대역 파장의 광원(broadband source)인 LED 광원을 선정하였다.

광원을 통한 비교를 진행하기에 앞서, 인위적으로 지문을 유류할 경우 누르는 압력이나 표면 재질에 따라 유류되는 지문의 세기와 분비물의 양이 다르기 때문에 이를 일정하게 통제해야 한다. 홍성욱 등(2015)은 잉크젯 프린터 카트리지에 인공땀 용액을 넣고, 포토샵을 사용하여 농담을 다양하게 조정한 지문 이미지를 인쇄하는 방법을 개발하였다[12]. 따라서 본 연구에서는 다양한 색상의 종이에 농담이 조정된 표준지문을 잉크젯 프린터기로 출력하여 유류된 지문의 세기와 분비물의 양을 일정하게 만든 다음, 형광 아미노산 반응 시약을 처리하여 현출된 지문을 LED 광원과 레이저 광원으로 증강시킨 것을 점수화하여 두 광원을 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료 및 기구

인공땀은 홍성욱 등(2015)이 제조한 방식대로 제조하였으며, 인공지문을 출력하기 위해 Epson 잉크젯 프린터기(L310, Japan)를 사용하였다. 실험 검체는 빨간색, 노란색, 초록색, 파란색, 검정색, 흰색 색지(두성페이퍼, Korea)로, 평량 120g/m²의 종이를 선정하였다.

1.1 인공땀 제조

. 아미노산

L-Serine (S2447, SAMCHUN, Korea), Glycine (G0286, SAMCHUN, Korea), DL-Alanine (A0306, SAMCHUN, Korea), L-Leucine (L0741, SAMCHUN, Korea), L-Threonine(T2938, SAMCHUN, Korea), L-Histidine(H0162, SAMCHUN, Korea), L-Valine(V0088, SAMCHUN, Korea), L-(+)-Asparagine Anhydrous (1121-4125, Daejung, Korea), L-Lysine(L5501-5G, Sigma-Aldrich, U.S.A)

. 무기염류

sodium chloride(S0476, SAMCHUN, Korea), calcium chloride(C0102, SAMCHUN, Korea), magnesium chloride(M0038, SAMCHUN, Korea), zinc chloride anhydrous(1.93623.0500, Merck, Germany)

표 1. 인공땀의 조성[11]

구성 성분	양(mg)	농도(mM)
Serine	490	9.3
Glycine	294	7.8
Alanine	147	3.3
Lysine	195	27
Threonine	73	1.2
Asparagin acid	73	1.1
Histidine	73	0.9
Valine	49	0.8
Leucine	49	0.7
Sodium chloride	3300	113
Magnesium chloride	4	0.4
Calcium chloride	16	1.4
Zinc chloride	2	0.14

2. 시약 제조

DFO는 분말 500 mg을 methanol 100 mL, ethyl acetate 100 mL, acetic acid 20 mL가 용해된 hydrocarbon

formulation 용액에 완전히 녹인 후, petroleum ether 780 mL를 넣어 DFO 용액을 제조하였다. 1,2-IND/Zn는 분말 0.8 g을 ethyl acetate 90 mL와 glacial acetic acid 10 mL에 먼저 용해시킨 다음, zinc chloride stock solution (zinc chloride 0.4 g, absolute ethanol 10 mL, ethyl acetate 1 mL, petroleum ether 190 mL) 20 mL를 넣고 petroleum ether 820 mL를 첨가하여 제조하였다.

3. 표준 지문 인쇄

9×6.5 cm 크기로 색지를 잘라 실험실의 습도와 맞추기 위해 24시간 동안 두었다. 습기를 머금은 종이의 무게를 잰 다음, 마스터 지문을 Output level 50부터 230까지 30 씩 간격을 두고 각각 3개씩 종이에 인쇄하여 인쇄된 종이의 무게를 재고 그 차이를 기록하여 표준 지문이 균질하게 인쇄되는 지 확인하였다. (Output level은 인공땀용액으로 이루어진 인공지문의 농도로 0에서부터 250까지 조절이 가능하다. 숫자가 작을수록 이미지가 진하고, 클수록 흐리게 나타난다.)

4. 광원과 필터 선정

형광 시약을 적용한 표준 지문을 관찰하기 위해 LED 광원은 Rofin 사의 Polilight Flare Plus 2 505nm 광원 (Cat No. FL2.1444)을 사용하였고, 레이저 광원은 Bright Beam Laser사의 Ultra 8707-G7 525nm 광원을 사용하였다. 두 광원 모두 진한 주황색 색상의 차폐필터(Cat No. AS1306BFO)를 사용하여 촬영하였다.

5. 사진 촬영

사진 촬영은 모두 암실 조건에서 촬영하였으며, 종이의 색상에 따라 노출값을 조정하였다. 카메라는 Nikon D90을 사용하였으며, 렌즈는 Nikon AF-S MICRO NIKKOR 105mm 1:2.8G ED을 사용하였다.

6. 지문의 평가

아미노산 반응 시약이 처리된 지문이 광원을 통해 얼마나 증강되었는지 평가하기 위해 아래의 [그림 1]과 같이 기준을 설정하였다. 지문을 평가하는데 있어 0에

서 4점까지 점수를 매기는 Bandey의 평가체계를 주로 사용하고 있다[13]. 프린트기를 이용해 인쇄한 지문은 유류된 지문과는 달리 용선이 고르게 남겨지므로 일반적인 기준을 적용하기 어렵다고 판단하여 Bandey의 평가체계를 간소화하여 3개의 기준으로 지문을 평가하였다.

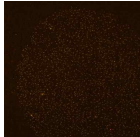
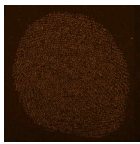
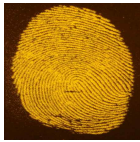
점수	예시	세부 사항
0		전혀 지문이 보이지 않음
1		지문의 형태는 보이나 지문 용선은 보이지 않음
2		지문에서 대부분의 용선과 특징 점들이 관찰됨

그림 1. 지문 평가 기준

과학수사 관련 교육을 받은 5명의 연구자들이 촬영된 지문을 육안으로 관찰한 후 설정한 기준대로 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

[그림 2-8]은 각 색상의 종이에 남겨진 지문을 DFO, 1,2-IND로 처리하고 각각을 레이저, LED 광원을 조사하여 지문의 증강정도를 연구자들이 [그림 1]에서 제시한 평가 기준에 따라 지문 평가 점수의 평균을 낸 결과이다. 평가를 통해 같은 output level의 표준 지문이라도 두 가지 광원을 이용하여 촬영하였을 때, 종이의 색상과 시약에 따라 관찰되는 정도가 다름을 확인할 수 있었다.

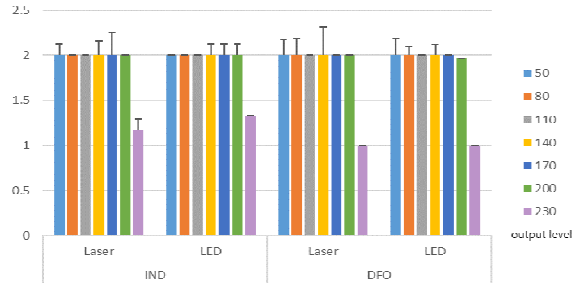


그림 2. 흰색 색지에 인쇄된 인공지문에 형광시약 처리 후 광원을 조사하여 촬영한 결과의 지문 평가 점수 그래프

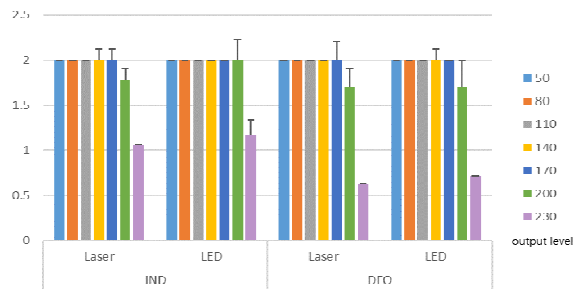


그림 3. 파란색 색지에 인쇄된 인공지문에 형광시약 처리 후 광원을 조사하여 촬영한 결과의 지문 평가 점수 그래프

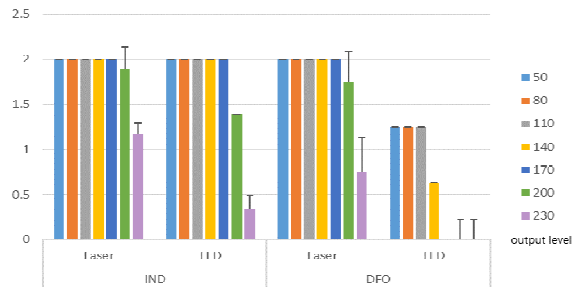


그림 4. 초록색 색지에 인쇄된 인공지문에 형광시약 처리 후 광원을 조사하여 촬영한 결과의 지문 평가 점수 그래프

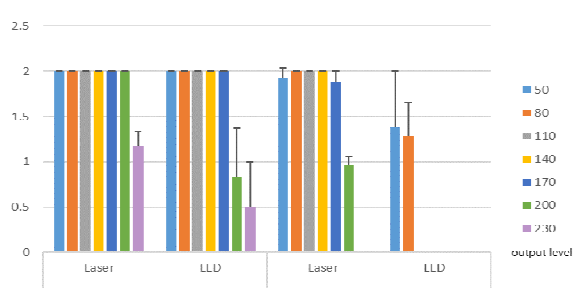


그림 5. 노란색 색지에 인쇄된 인공지문에 형광시약 처리 후 광원을 조사하여 촬영한 결과의 지문 평가 점수 그래프

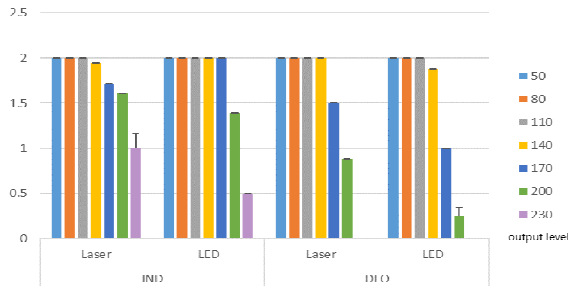


그림 6. 빨간색 색지에 인쇄된 인공지문에 형광시약 처리 후 광원을 조사하여 촬영한 결과의 지문 평가 점수 그래프

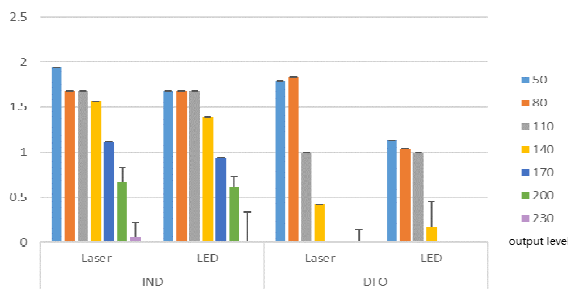


그림 7. 검정색 색지에 인쇄된 인공지문에 형광시약 처리 후 광원을 조사하여 촬영한 결과의 지문 평가 점수 그래프

IND를 처리한 표준지문을 두 광원으로 관찰하였을 때, 둘 다 output level이 커질수록 지문 평가 점수가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 output level 230을 비교해보면 레이저를 사용하였을 때 점수들은 검은색 종이를 제외하고는 지문 형태는 보이나 지문 용선을 확인할 수 없는 정도의 평균 점수를 유지한 것에 비해 LED광원을 사용하였을 때에는 레이저를 사용하였을 때보다 대체적으로 낮은 점수들을 얻을 것을 확인할 수 있었다. 이러한 점으로 미루어 볼 때, 종이의 색상과 관계없이 형광 시약 처리된 표준 지문을 레이저 광원을 사용하여 촬영하였을 때가 LED 광원을 사용하여 촬영하였을 때 보다 더 효과적으로 지문을 촬영할 수 있다고 생각된다. LED 광원의 경우 파장의 폭이 넓기 때문에 조사하는 빛의 파장이 형광지문으로 인해 방출되는 파장과 겹쳐질 수 있어 차폐필터로 효과적인 차단이 불가능하다. 이에 반해 레이저의 경우 파장의 폭이 좁기 때문에 형광지문으로 인해 방출되는 파장과 겹치지 않고 차폐필터로 레이저의 파장을 효과적으로 차단할 수 있다. 따라서 레이저 광원이 LED 광원에 비해 형광 지

문을 촬영하는 데 더 좋은 결과를 나타낸 것이라 판단된다.

[그림 2]와 [그림 3]의 흰색, 파란색 종이의 경우 시약과 광원의 종류에 관계없이 약 Output level 200의 지문까지 그 용선과 형태가 확인되었다. 두 색상의 종이에서 모두, IND를 처리한 지문이 DFO를 처리한 지문에 비해 output level 230에서 조금 더 좋은 평가 점수를 얻었고, 같은 시약을 처리하였을 때 광원 간 증강정도의 차이는 거의 보이지 않았다.

[그림 4]에서 알 수 있는 바와 같이 초록색 색지에 인쇄된 인공지문에 IND를 처리한 후 광원을 조사하였을 때, output level 200 이상의 지문의 경우 레이저 광원이 LED 광원에 비해 효과적이었다. DFO를 처리한 지문에 LED 광원을 조사한 경우, 지문이 진하게 남겨진 경우에도 용선을 정확히 확인하기 어려웠다.

[그림 5]에서 알 수 있는 바와 같이 노란색 색지의 경우, 전체적으로 DFO를 처리한 지문에 비해 IND를 처리한 지문의 증강이 더 효율적이었음을 확인할 수 있었다. IND를 처리한 지문에 레이저 광원을 조사했을 때는 output level 200의 지문까지 용선 형태가 확인되었으나, LED 광원을 사용한 경우 output level 200으로 인쇄된 지문의 형태만 확인되는 것으로 평가되었다. DFO를 처리한 지문에서도 레이저 광원이 LED 광원에 비해 지문의 증강하는데 더 효과적이었다. [그림 6]에서 빨간색 색지에 IND를 처리한 경우, Output level 170까지는 LED 광원의 증강정도가 더 좋았으나, Output level이 더 커질수록 레이저 광원을 비취준 결과의 평가 점수가 더 높았다. DFO를 처리한 경우 역시 Output level 140보다 커질수록 레이저 광원의 효과가 더 좋음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 현상은 사용한 형광지문 시약의 형광이 붉은 계열의 색으로 나타나기 때문에 발생한 것으로 생각된다. 파란색 색지의 경우는 빨간색, 노란색 색지보다 형광지문과 색상 대비가 극명하게 나타나 전체적으로 지문 평가 점수가 높게 나타난다. [그림 7]과 같이 광원의 종류와 형광시약의 종류와 상관없이 전체적으로 지문 평가 점수가 낮았던 검은색 종이의 경우에는 배경색이 가시영역 파장의 빛을 흡수하기 때문에 형광 지문이 잘 촬영되지 않았을 것이라 생각된다. 반면,

흰색 종이에서는 배경이 빛을 반사하기 때문에 지문 평가 점수가 높게 나온 것이라고 판단된다.

IV. 결 론

검체의 색상 및 시약의 종류에 따라 약간의 차이가 있었으나 대체적으로 좁은 파장 대역을 가진 레이저를 이용하여 형광시약을 처리한 지문을 증강한 경우 LED 광원에 비해 더 나은 효과를 보였다. 그러나 현재 상용화 되어 있는 레이저 광원은 휴대하기에는 부피가 크기 때문에 현장용 광원으로 활용하기에는 어려움이 있다. 한편, LED 광원은 레이저 광원의 효과와 다소 차이는 있지만, 부피가 작아 현장에서 휴대하여 사용할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 감식환경과 상황에 따라 레이저 광원과 LED 광원을 상호 보완적으로 사용하는 것이 바람직하다[14]. 현재 우리나라 과학수사 요원들에게 제공되어 있는 차폐 필터의 종류가 적으므로 본 연구자들은 일선에서 가장 흔히 사용되고 있는 차폐필터를 선정하여 지문 감식을 효과적으로 할 수 있도록 방향을 제시하고자 하였다.

참 고 문 헌

- [1] 조형우, 고현서, 한상균, 유제설, "법광원을 이용한 복잡한 배경의 잠재지문 시각화 및 증강에 관한 연구," 한국콘텐츠학회논문지, 제16권, 제3호, pp.72-80, 2016
- [2] H. J. Kobus, M. Stoilovic, and R. N. Warener, "A simple luminescent post-ninhydrin treatment for the improved visualisation of fingerprints on documents in cases where ninhydrin alone gives poor results," Forensic Science International, Vol.22, No.2-3, pp.161-170, 1983.
- [3] D. L. Exline, C. Wallace, C. Roux, C. Lennard, M. P. Nelson, and P. J. Treado, "Forensic applications of chemical imaging: latent fingerprint detection using visible absorption and luminescence," Journal of forensic sciences, Vol.48, No.5, pp.1047-1053, 2003.
- [4] D. D. Wilkinson and J. E. Watkin, Comparison of the Forensic Light Sources; Polilight, Luma Light and Spectrum 9000, Canada Research center, 2005.
- [5] A. E. Moe, S. Marx, N. Banani, M. Liu, B. Marquardt, and D. M. Wilson, "Improvements in LED-based fluorescence analysis systems," Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.111, pp.230-241, 2005.
- [6] 김아람, 김우중, 정혜영, "배경에 따른 혈문증강시약(Fuchsin Acid, Eosin-Y, Acid Yellow 7) 적용의 현출도 비교실험," 한국콘텐츠학회논문지, 제13권, 제6호, pp.194-201, 2013.
- [7] 기진영, 김다운, 김청, 신은영, 유제설, "아미노산 반응 시약을 이용한 의복 안쪽에서의 족적 현출," 한국콘텐츠학회논문지, 제17권, 제1호, pp.92-99, 2017.
- [8] M. Stoilovic and C. Lenard, 김덕후 역, *지문검출과 증강*, 6th edition, 알트라이트, pp.68-70,
- [9] C. A. Pounds, R. Grigg, and T. Mongkolaussavaratana, "The use of 1, 8-diazafluoren-9-one (DFO) for the fluorescent detection of latent fingerprints on paper. A preliminary evaluation," Journal of Forensic Science, Vol.35, No.1, pp.169-175, 1990.
- [10] D. Wilkinson, "Study of the reaction mechanism of 1, 8-diazafluoren-9-one with the amino acid, l-alanine," Forensic science international, Vol.109, No.2, pp.87-103, 2000.
- [11] M. M. Joullié, J. Currano, and D. Hauze, *1, 2-Indanedione, e-EROS Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis*, 1990.
- [12] S. Hong, I. Hong A. Han, J. Y. Seo, and J. Namgung, "A new method of artificial latent fingerprint creation using artificial sweat and

