

Evaluation of fingerprints enhanced fluorescent using contrast index

Soyoung Jeon¹, Jinyoung Ki¹, Kyuyeon Kim¹, Jiyeon Kim², Chaewon Kim¹, and Jeseol Yu¹ ★

¹Graduate school of Forensic Science, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea

²Seoul Metropolitan Police Agency, Seoul 03169, Korea

(Received May 23, 2018; Revised October 3, 2018; Accepted October 4, 2018)

Contrast Index를 이용한 형광지문 증강 정도의 수치적 판단

전소영¹ · 기진영¹ · 김규연¹ · 김지연² · 김채원¹ · 유제설¹ ★

¹순천향대학교 법과학대학원, ²서울지방경찰청

(2018. 5. 23. 접수, 2018. 10. 3. 수정, 2018. 10. 4. 승인)

Abstract: Researchers have used the visual criteria to compare the effectiveness of fingerprint enhancement techniques. However, since the visual criteria is subjective, bias can occur. Therefore, many researchers have tried to make the criteria objective using the contrast index (CI). However, there is a constraint that the CI was only validated on inked fingerprints or color-change fingerprints. In this study, we compared enhancement of fluorescence fingerprints on colored papers using the CI. The CI values differ according to the color of the background, reagent, and light source, even though the same standard fingerprints were used. Through the comparison of values, we could compare the enhancement of fluorescence fingerprints according to these factors. When visual evaluation criteria were used, the same peak score was obtained regardless of the reagent and light source. However, we could get a more detailed score comparison in this study using the CI. Therefore, it is confirmed that for comparison of enhancement of fluorescence fingerprints, the CI can be used as a basis for determining which light source and reagent are appropriate according to the background.

요 약: 연구자들은 지문 증강 기법에 대한 효과성을 비교하기 위하여 시각적인 판단기준을 이용해왔다. 그러나 시각적인 판단기준은 연구자의 주관적 판단이기 때문에 편향이 생길 수 있다. 따라서 많은 연구자들은 Contrast Index를 이용하여 지문 증강 기법에 대해 객관적인 판단을 하고자 하였다. 하지만 선행 연구에서는 잉크지문 또는 정색반응을 통해 현출한 지문에서만 Contrast Index를 검증했다는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 Contrast Index를 이용하여 표준지문의 농도에 따라 색지별 형광지문의 증강 정도를 비교하였다. Contrast Index의 값은 표준지문의 농도, 배경의 색, 사용 시약 및 광원에 따라 같은 표준지문을 이용하였음에도 각기 다른 값을 나타내었고, 수치 비교를 통하여 배경의 색, 사용 시약 및 광원에 따른 형광지문의 증강 정도를 비교할 수 있었다. 시각적 평가기준을 이용하였을 때에는 시약과 광원에 상관없이 같은 최고점의 점수를 얻은 것과 달리 Contrast Index값을 이용한 본 연구에서는 좀 더 세

★ Corresponding author

Phone : +82-(10)-9343-7823 Fax : +82-(0)41-530-4755

E-mail : haplf@naver.com

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.

제한 점수 비교를 할 수 있었다. 결론적으로 Contrast Index를 이용하여 형광시약의 증강 정도를 비교한 다면 배경색에 따라 광원과 시약을 선택하는 판단 근거로 사용할 수 있음을 확인하였다.

Key words: fluorescent fingerprints, contrast index, contrast ratio, DFO, 1,2-IND/Zn

1. 서 론

범죄현장에서 발견되는 지문은 주로 잠재지문의 형태로 남아있기 때문에 이를 효과적으로 증강시키기 위한 물리적, 화학적 방법이 발달하고 있다.^{1,2} 지문이 유류된 표면과 지문의 유류물질에 따라 배경과의 대조비를 향상시킬 수 있는 기법이 다르기 때문에 상황에 따라 어떤 기법을 이용하는 것이 효율적으로 잠재지문을 증강할 수 있는가에 대한 연구들이 많은 연구자들을 통해 진행되어 왔다.³ 이러한 기법간의 효과성 비교 연구들을 진행하기 위해서 선행연구자들은 지문유류 방법을 통제한 다음 어떤 기법을 사용하였을 때에 지문이 더 잘 증강되었는지를 판단해왔다.

선행연구에 따르면 시약이나 기법을 적용하고 비교할 지문들을 통제하기 위하여 주로 여러 명의 donor로부터 지문을 얻거나, depletion series, split fingerprints, alternate depletions, multiple depletions 등의 방법을 이용하였다.⁴ 또한 같은 압력으로 유류된 잠재지문을 얻기 위해서 저울을 사용하기도 하였다.⁵ 하지만 앞선 방법으로 통제된 지문이 동일한 지문인가에 대한 의문은 여전히 남아있다. 그리하여 선행연구자들은 기계적으로 동일한 지문을 만드는 방법을 연구하였고, 최근 종이에 잠재지문을 동일하게 유류시키기 위해서 인공땀을 만들고 잉크젯 프린트기로 프린트하는 방법이 연구되었다.^{6,7}

하지만 기법 비교를 위한 연구에서 중요한 것은 지문의 통제뿐만 아니라 기법 적용 후의 지문의 증강

수준을 평가하는 것도 중요한 문제이다. 따라서 선행 연구자들은 시각적 판단 기준을 만들어 활용하고 있다.⁴ Table 1은 영국 내무성(Home office)에서 제시한 지문 판단 기준이다.

이런 시각적 판단기준은 실험여건에 따라서 선행 연구자들이 단계를 세분화하거나 수정해서 사용하고 있다.⁸ 그러나 이는 연구자의 주관적 판단이기 때문에 편향이 생길 수 있다. 따라서 선행연구자들은 주관적 판단으로 인한 편향을 줄이기 위해 다수의 평가자가 지문을 판단하게 하고 그 판단한 값의 평균을 내는 통계적인 방법을 이용하고 있다. 하지만 통계적인 방법을 사용한다 하더라도 증강된 지문을 시각적인 단계별로 판단하는 것은 여전히 주관적인 판단이다.

이를 해결하기 위해서 Humphreys와 2명은 분광광도계를 이용하여 잉크지문과 시약을 이용해 증강된 지문의 용선과 골의 광도를 측정하여 Contrast Index를 계산하여 대조비를 수치적으로 판단하는 방법을 제안하였다.⁹ Vanderwee와 3명은 다양한 분광광도계를 이용하여 잉크지문들의 Contrast Index를 계산하였다. 분광광도계 별로 계산한 Contrast Index의 값은 차이가 있지만 지문의 depletion에 따른 경향성은 일치하였다. 따라서 Contrast Index가 절대적인 기준은 될 수 없지만 각 기계별로 판단하기에 효과적인 수치적 기준임을 확인하였다.¹⁰ Matuszewski와 1명은 스캐너와 포토샵을 이용하여 앞선 연구들 보다 좀 더 쉽게 Contrast Index를 계산하는 방법을 제안하였고, 기구에 따른 Contrast Index의 값의 차이는 있지만 같은 이미지에 대한 평가자 간의 차이는 거의 없음을 확인하였다.¹¹ 이와 같이 지문을 판단하는 데에 있어 Contrast Index를 이용하여 객관적인 평가를 하고자 하는 연구들이 진행되고 있다.

지문 기법에는 분말이나 닌히드린 시약과 같이 정색반응을 통한 현출기법 외에도 형광시약이나 형광 분말을 통한 현출 기법이 있다. 하지만 선행연구에서는 잉크지문 또는 정색반응을 통해 현출된 지문만을 이용하여 Contrast Index를 계산하여 평가에 사용하였다는 한계가 있다. 정색반응 시약과 달리 광원을 사용하여 증강하는 형광시약에서도 Contrast Index를 사용

Table 1. Criteria for enhancing fingerprint of Home Office

Grade	Fingermark Characteristic
0	No development
1	No continuous ridges; all discontinuous or dotted
2	One third of mark comprises continuous ridges; remainder shows no development or is dotted
3	Two thirds of mark comprises continuous ridges; remainder shows no development or is dotted
4	Full development; whole mark comprises continuous ridge detail

할 수 있는지 검증이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 프린터기로 지문의 유류법을 통제하고 시약과 광원을 이용하여 잠재지문을 형광지문으로 증강하였다. 그런 다음 Contrast Index를 계산하여 형광지문과 배경과의 대조비를 수치화할 수 있는 지 알아보고자 한다. 또한 선행연구와 비교하여, 증강된 형광 지문에 대해 Contrast Index를 이용한 수치적 판단기준의 타당성을 알아보고자 한다.

2. 실험 재료 및 실험 방법

2.1. 재료 및 기구

인공땀은 Hong 등이 제조한 방식대로 제조하였으며,⁷ 인공지문을 출력하기 위해 Epson 잉크젯 프린터기(L310, Japan)를 사용하였다. 실험 검체는 빨간색, 노란색, 초록색, 파란색, 검정색, 흰색 색지(두성페이퍼, Korea)로, 평량 120 g/m²의 종이를 선정하였다.

2.1.1. 인공땀 제조

아미노산은 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)을 사용하였다.

무기염류는 sodium chloride (S0476, SAMCHUN, Korea), calcium chloride (C0102, SAMCHUN, Korea),

magnesium chloride (M0038, SAMCHUN, Korea), zinc chloride anhydrous (1.93623.0500, Merck, Germany)을 사용하였다.

인공땀은 Table 2의 조성으로 제조하였다.

2.2. 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.

2.3. 표준 지문 인쇄

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

2.4. 광원과 필터 선정

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

2.5. 사진 촬영

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

Table 2. Composition of artificial sweat

Constituent	Concentration (mM)
Serine	9.3
Glycine	7.8
Alanine	3.3
Lysine	27
Threonine	1.2
Asparagin acid	1.1
Histidine	0.9
Valine	0.8
Leucine	0.7
Sodium chloride	113
Magnesium chloride	0.4
Calcium chloride	1.4
Zinc chloride	0.14

2.6. 광도 측정 및 contrast index 계산

형광 지문의 광도는 Adobe Photoshop CS6의 막대 그래프를 이용하여 측정하였다. Jill D. Humphreys의 2명은 잉크지문의 용선과 골 부분의 광도를 측정하였지만,⁹ 본 연구에서는 형광지문의 광도 측정법을 고려하여 형광지문 사진의 지문부분의 광도와 대조군(control)로 지문이 인쇄되지 않은 색지에 시약을 적용하고 촬영한 사진의 광도 측정값을 사용하였다. 측정된 광도를 이용하여 지문마다 contrast index를 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Contrast Index} = \log_{10} \left(\frac{\text{형광지문의 광도}}{\text{대조군의 광도}} \right)$$

본 연구에서는 5명의 연구자들이 contrast index를 계산하고 그 평균값을 결과 데이터로 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1-4는 각 색상의 종이에 잉크젯 프린트기를 사용하여 인쇄한 지문에 DFO나 1,2-IND/Zn를 처리하고 레이저, LED 광원을 이용하여 촬영한 사진에서 광도를 측정하여 Contrast Index를 계산한 결과를 시약과

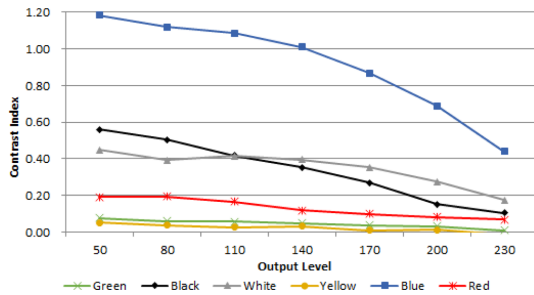


Fig. 1. Contrast index value according to the output level of the fingerprint image enhanced by 1,2-IND / Zn and LED on each color paper.

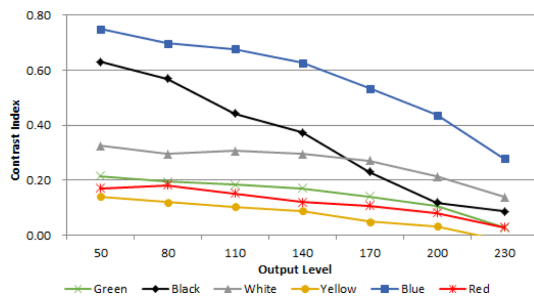


Fig. 2. Contrast index value according to the output level of the fingerprint image enhanced by 1,2-IND / Zn and Laser on each color paper.

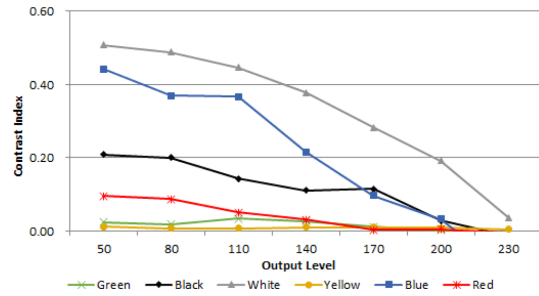


Fig. 3. Contrast index value according to the output level of the fingerprint image enhanced by DFO and LED on each color paper.

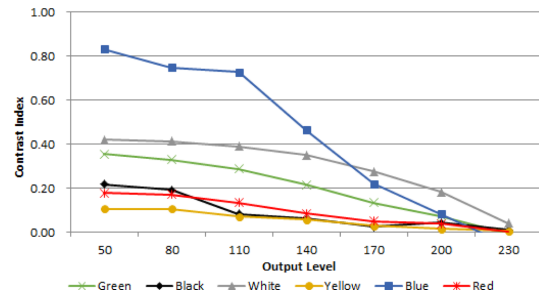


Fig. 4. Contrast index value according to the output level of the fingerprint image enhanced by DFO and Laser on each color paper.

광원 조합별로 나타낸 그래프이다.

표준지문의 Output Level이 커질수록 종이의 색상이나 시약의 종류, 광원의 종류와 상관없이 Contrast Index의 값이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 표준지문의 농도에 따라 형광지문의 증강 정도가 달라짐을 알 수 있었고, 표준지문의 농도가 진할수록 배경과의 대조비가 높은 형광 지문을 얻고, 표준지문의 농도가 옅을수록 배경과의 대조비가 낮은 형광 지문을 얻었다는 것을 확인하였다.

인쇄된 표준지문에 DFO를 처리하고 레이저 광원으로 관찰한 경우를 제외하고는 대체적으로 파란색, 흰색, 검은색 종이에서의 Contrast Index값이 높았고, 초록색, 노란색, 빨간색 종이에서의 Contrast Index의 값이 낮았다. 인쇄된 표준지문에 DFO와 1,2-IND/Zn를 처리하고 505 nm, 525 nm의 광원과 주황색 차폐필터를 사용하여 증강한 지문은 노란색의 형광지문으로 나타나기 때문에 보색인 파란색 종이에서 가장 높은 대조비를 보인 것으로 생각된다. 낮은 Output Level의 표준지문에서 1,2-IND/Zn를 처리한 지문의 경우, 검은색 종이의 Contrast Index의 값이 흰색 종이에서의 값

보다 높게 나타났다. 이는 흰색 종이보다 검은색 종이에서 배경에 의한 빛의 흡수가 더 잘 되었기에 더 좋은 대조비를 보인 것으로 판단된다. 하지만 Output Level이 커질수록 흰색 종이에서의 Contrast Index의 값이 검은색에서의 값보다 커졌다. 이는 강하게 유류된 지문의 경우 즉, Output Level이 작은 경우에는 어두운 색의 배경에서의 형광지문의 대조비가 좋게 나타나지만 약한 지문 즉, Output Level이 큰 경우에는 어두운 색의 배경에 의한 광원의 빛의 흡수 때문에 형광지문의 대조비가 약하게 나타남을 확인하였다. 또한 이 결과는 Kim 외 5명의 광원과 색지에 따른 지문의 시각적 평가 연구에서 다른 색지에 비해 검은색 종이에서 Output Level에 따른 지문의 평가 점수가 급격히 떨어진 것과 같은 결과이다.¹² 초록색 종이와 빨간색 종이는 노란색의 인접색이므로 보색인 파란색 종이보다는 대조비가 약하지만 노란색 종이보다는 높은 대조비를 보인 것으로 판단된다.

Fig. 5는 Output Level 50으로 인쇄된 지문을 증강하였을 때, 시약과 광원에 관계없이 대체적으로 높은 Contrast Index 값을 낸 파란색, 흰색 종이에서의 시약과 광원별 Contrast Index를 나타낸 그래프이다. Kim 외 5명의 연구에서 Output Level이 50인 표준지문을 인쇄한 파란색, 흰색 종이에 DFO, IND/Zn로 증강하고 광원들을 사용하여 관찰하였을 때, 자체적인 평가 기준에서 가장 높은 점수인 2점을 얻었다.¹² 하지만 본 연구에서는 파란색 종이에 인쇄된 표준지문을 IND/Zn로 증강하고 LED 광원으로 관찰하였을 때 가장 높은 Contrast Index값인 1.18을 얻었고, DFO로 증강하고 LED 광원으로 관찰 하였을 때 가장 낮은 Contrast Index값인 0.44를 얻었다. 그리고 흰색 종이에 인쇄된 표준지문의 경우, DFO로 증강하고 LED

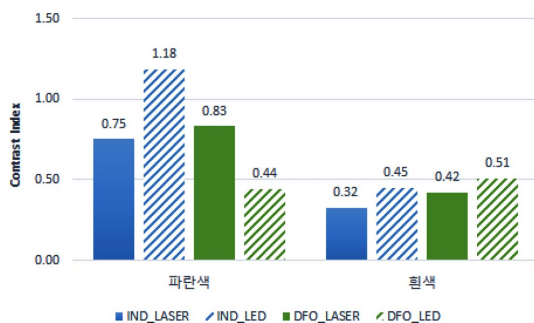


Fig. 5. Contrast index value of fingerprint image printed output level 50 on a blue and white paper enhanced by 1,2-IND / Zn and DFO and observed by LED and Laser.

광원으로 관찰하였을 때 가장 높은 Contrast Index 값인 0.51을 얻었고, IND/Zn로 증강하고 Laser로 관찰하였을 때 가장 낮은 Contrast Index값인 0.32를 얻었다. 즉, 본 연구에서는 앞선 선행연구와 다르게 Contrast Index를 이용하여 좀 더 세세한 값 비교를 할 수 있었다. 따라서 Contrast Index를 이용하여 형광시약의 증강 정도를 비교한다면 배경에 따른 광원과 시약 선택의 근거가 될 것이다.

본 연구에서 제시한 Contrast Index의 계산을 이용한다면 배경과의 대조가 좋도록 형광지문의 광도만 강하다면 Contrast Index 값이 높게 나올 것이다. 하지만 잉크나 비형광지문과 달리 형광지문은 촬영과정에 있어서 노출정도에 따라 촬영된 지문의 품질이 달라질 수 있다. 따라서 연구자들은 이를 방지하기 위하여 지문 용선의 특이점을 잘 관찰 할 수 있을 정도로 노출값을 조정하여 사진을 촬영하였다. 그러나 형광지문 촬영에 있어 적절한 노출값을 설정하는 것에도 연구자의 주관적인 판단이 개입될 수 있다. 따라서 형광지문에 대한 지문 판단 기준으로 Contrast Index가 통용되기 위해서는 반복적 실험을 통한 신뢰도 연구와 노출값에 따른 경향성 연구 등의 후속연구들이 필요할 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 Contrast Index를 이용하여 표준지문의 농담(濃淡)에 따라 색지별 형광지문의 증강 정도를 비교하였다. 실험결과 표준지문의 Output Level에 따라 Contrast Index값이 다르게 나타났다. 이를 통해 형광지문의 증강 정도에 따라 Contrast Index의 값이 변한다는 것을 확인하였다.

같은 시약과 광원을 사용하여 실험한 결과 대체적으로 파란색과 흰색 종이에서 높은 Contrast Index를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 통해 Contrast Index를 이용하여 여러 배경에 따른 형광지문의 대조비 비교를 할 수 있음을 확인하였다.

파란색, 흰색 종이에 Output Level이 50인 표준지문을 인쇄하고 시약과 광원을 사용해 증강한 형광지문의 Contrast Index값들을 계산하였다. 파란색 종이에서는 IND/Zn와 LED 광원을 사용하였을 때 가장 높은 값을 보였고, 흰색 종이에서는 DFO와 LED 광원을 사용하였을 때 가장 높은 값을 보였다. 선행연구와는 달리 Contrast Index값을 이용한 본 연구에서는 좀 더 세세한 점수 비교를 할 수 있었다. 따라서 Contrast

Index를 이용하여 형광시약의 증강 정도를 비교한다면 어떠한 배경에서는 어느 광원을 사용하고 시약을 사용할지를 판단할 수 있는 근거로 사용할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 형광지문의 증강 정도를 배경에 따른 형광지문의 대조비인 Contrast Index를 이용하여 수치화 할 수 있었다. Contrast Index의 값은 표준지문의 농담, 배경의 색, 사용 시약 및 광원에 따라 같은 표준지문을 이용하였음에도 각기 다른 값을 나타내었고, 수치 비교를 통하여 배경의 색, 사용 시약 및 광원에 따른 형광지문의 증강 정도를 비교할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행되었음.

References

1. D. L. Exline, C. Wallace, C. Roux, C. Lennard, M.P. Nelson, and P.J. Treado, *Forensic Sci. J.*, **48**(5), 1047-1053 (2003).
2. G. S. Sodhi and J. Kaur, *Forensic Sci. Int.*, **120**(3), 172-176 (2001).
3. C. Marriott, R. Lee, Z. Wilkes, B. Comber, X. Spindler, C. Roux, and C Lennard, *Forensic Sci. Int.*, **236**, 30-37 (2014).
4. V. G. Sears, S.M. Bleay, S. M., H.L. Bandey, and V.J. Bowman, *Sci. Justice*, **52**(3), 145-160 (2012).
5. M. de la Hunty, S. Moret, S. Chadwick, S., C. Lennard, X. Spindler, and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **257**, 481-487 (2015).
6. L. Schwarz, *Forensic Sci. J.*, **154**(6), 1323-1326 (2009).
7. S. Hong, L. Hong, A. Han, J. Y. Seo, and J. Namgung, *Forensic Sci. Int.*, **257**, 403-408 (2015).
8. C. M. Girell, B. J. Lobo, A. G. Cunha, J. C. Freitas, and F. G. Emmerich, *Forensic Sci. Int.*, **250**, 17-26 (2015).
9. J. D. Humphreys, G. Porter, and M. Bell, *Forensic Sci. Int.*, **178**(1), 46-53 (2008).
10. J. Vanderwee, G. Porter, A. Renshaw, and M. Bell, *Forensic Sci. Int.*, **204**(1-3), 74-79 (2011).
11. S. Matuszewski and M. Szafałowicz, *Forensic Sci. J.*, **58**(5), 1310-1313 (2013).
12. C. W. Kim, J. Y. Ki, K. Y. Kim, J. Y. Kim, S. Y. Jeon, and J. S. Yu, *Korea Contents Assoc.*, **17**(4), 569-575 (2017).

Authors' Positions

Soyoung Jeon : Research Scientist
 Jinyoung Ki : Research Scientist
 Kyuyeon Kim : Research Scientist
 Jiyeon Kim : Police Officer
 Chaewon Kim : Graduate Student
 Jeseol Yu : Professor