Printed in the Republic of Korea
ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 30, No. 6, 303-311, 2017
https://doi.org/10.5806/AST.2017.30.6.303

# Development of latent footwear impression on porous surfaces using DL-alanine solution and 1,2-indanedione solution

**Sungwook Hong★, Euna Kim, Miseon Park, and Eunhye Lee**
*Graduate School of Forensic Science, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea*
(Received June 23, 2017; Revised October 25, 2017; Accepted October 27, 2017)

# DL-alanine과 1,2-indanedione을 이용한 종이에 남은 족적의 증강

**홍성욱★ • 김은아 • 박미선 • 이은혜**
순천향대학교 법과학대학원
(2017. 6. 23. 접수, 2017. 10. 25. 수정, 2017. 10. 27. 승인)

**Abstract:** A new method for obtaining the photoluminescence of footwear impression by using 1,2-indandione (1,2-IND) solution, which is a latent fingerprint-developing reagent, was studied. A binary complex of DL-alanine and 1,2-IND was prepared by spraying a DL-alanine solution and the 1,2-IND solution (an amino acid sensitive reagent) onto dry or wet origin footwear impression deposited on the surface of printed A4 paper. This binary complex reacts with the trace metal component in the footwear impression to form a ternary complex that exhibits photoluminescence. However, when 5-methylthioninhydrin (5-MTN) solution was used instead of 1,2-IND, no consistent photoluminescence was observed even under identical treatment conditions. In addition, when footwear impressions treated with DL-alanine and 1,2-IND solutions were stored under various temperature conditions (30, 40 and 50 °C) and various humidity conditions (30 %, 40 %, 50 % and 60 % RH), the contrast between the footwear impression and the background decreased. Optimal footwear impression photoluminescence was obtained when the footwear impressions treated with DL-alanine and 1,2-IND solutions were stored at 30 °C and 30 % RH for 1 h. The sensitivity of the developed method was ccompared with the sensitivities of three known methods - black gelatin lifting, 2,2'-dipyridyl treatment, and 8-hydroxyquinoline treatment. The results showed that the sensitivity of the developed method was worse than that of the black gelatin lifting method but better than that of 2,2'-dipyridyl or 8-hydroxyquinoline treatment method.

잠재지문 증강시약인 1,2-indandione (1,2-IND) 용액을 사용하여 종이에 유류된 족적의 형광을 얻는 방법을 연구하였다. 인쇄물이 출력된 A4 용지에 유류된 dry origin 및 wet origin 족적에 아미노산의 일종인 DL-alanine 용액과 아미노산 검출시약인 1,2-IND 용액을 뿌려서 DL-alanine-1,2-IND 이성분착물을 만들었다. 이 이성분착물은 족적에 있는 미량의 금속성분과 반응하여 광발광을 내는 삼성분착물을 형성함으로써 족적의 형광을 관찰할 수 있었다. 그러나 1,2-IND 용액 대신 5-methylthioninhydrin (5-MTN) 용액을

★ Corresponding author
Phone : +82-(0)41-530-4756 Fax : +82-(0)41-530-4755
E-mail : swhong524@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.

이용하면 처리 조건을 동일하게 유지해도 족적의 형광이 일정하게 관찰되지 않았다. DL-alanine 용액과 1,2-IND 용액으로 처리한 족적을 다양한 온도조건 (30, 40, 50 °C)과 다양한 습도조건 (30, 40, 50, 60 % RH)에서 보관한 결과 온도와 습도가 높을수록 족적과 바탕면의 대조비가 감소하였다. DL-alanine 용액과 1,2-IND 용액으로 처리한 족적을 30 °C, 30 % RH에서 1 h 동안 보관하면 족적의 최적 형광을 얻을 수 있었다. 저자들이 개발한 방법의 감도를 black gelatin lifting, 2,2'-dipyridil 용액 처리 방법, 8-hydroxyquinoline 용액 처리방법의 감도와 비교하였다. 그 결과 저자가 개발한 방법의 감도는 gelatin lifting 방법보다는 떨어졌으나 2,2'-dipyridil 용액 혹은 8-hydroxyquinoline 용액 처리방법보다는 우수하였다.

**Key words:** 1,2-indanedione, DL-alanine, footwear impression, photoluminescence, enhancement

## 1. 서 론

족적은 범인의 신원에 대한 정보뿐 아니라 침입구와 도주로에 대한 정보, 범인의 수와 위치에 대한 정보, 범행 당시의 이동 경로 등에 대한 정보를 주는 중요한 증거물이다.[1] 이 중 평면 (2-dimentional) 족적은 찍힌 양 및 표면의 색상에 따라서 눈으로 보이지 않는 latent 형태로 존재할 수 있고 이런 경우에는 족적을 가시화하거나 증강할 필요가 있다.[2] 따라서 법과학자들은 족적을 광학적,[3] 물리적,[4-6] 화학적으로[7-15] 증강하는 다양한 방법을 개발해 왔다.

족적은 색상이 있는 표면이나 다양한 색상으로 구성된 표면에도 찍힐 수 있다. 이런 경우 바탕면 색의 영향을 배제하고 족적을 관찰할 수 있는 방법을 사용해야 한다. 배경면의 색상과 무관하게 족적을 얻는 대표적인 방법으로는 electrostatic lifter (ESL)나 gelatin lifter로 전사 (lifting)하는 방법이 알려져 있다.[1] 그러나 ESL은 dry origin 족적에는 사용할 수 있지만 wet origin 족적에는 사용하지 못하는 단점이 있고, gelatin lifter 방법은 dry origin 및 wet origin 족적 모두를 전사할 수 있지만 가격이 비싸다는 단점이 있다.[5] 배경면의 색상과 무관하게 족적을 관찰하는 또 다른 방법으로는 족적의 형광을 얻는 방법이 있다. 그 방법으로는 gelatin lifter로 족적을 activation 시킨 후 1,8-diazafluoren-9-one (DFO) 용액으로 처리하는 방법,[9] 족적을 gelatin lifter로 전사한 후 safranine O 용액으로 처리하는 방법[1,14]을 들 수 있다. 그러나 이 방법 역시 gelatin lifter로 족적을 전사한 후 gelatin lifter를 다시 화학 시약으로 처리하는 간접적인 방법이기 때문에 사용하기 불편하고, 값비싼 gelatin lifter를 사용해야 하는 문제점이 있다. 족적의 형광을 얻는 또 다른 방법으로는 8-hydroxyquinoline 용액으로 처리하고 자외선 (UV)을 비추는 방법이 알려져 있다.[1,11,14,15] 그러나 8-hydroxyquinoline 용액으로 처리한 족적을 관찰하려면 자외선을 비추어야 하므로 바탕면이 형광을 낼 경우 족적을 관찰할 수 없고, 사용자의 눈이나 피부를 상하게 할 수 있으며, 현장에 있는 DNA를 파괴하기 때문에 현장에서 함부로 사용하지 못하는 문제가 있다.[16]

5-methylthioninhydrin (5-MTN) 용액이나 1,2-indanedione (1,2-IND) 용액은 종이와 같은 다공성 표면에 유류되어 있는 잠재지문을 현출하는데 이용되는 시약이다.[17-21] 이러한 시약들은 피지선분비물 (eccrine grand secretion)에 포함된 amino acid와 반응하여 착물을 형성하고. 이 착물에 미량의 다가 양이온 (multivalent cation)을 첨가시키면 광발광 (photoluminescence) 현상을 나타낸다고 알려져 있다.[21-24] Hong 등은 이 반응을 역으로 이용하면 미량의 금속을 검출할 수 있다고 발표하였다. 즉, 다가 양이온이 존재하는 표면에 미리 준비한 ninhydrin 용액과 L-alanine 용액 혹은 5-MTN 용액과 L-alanine 용액을 분무하여 다가 양이온을 검출한 바 있다.[25]

거의 대부분 족적의 주성분은 토양이고, 토양은 다양한 금속산화물 혹은 금속염의 혼합물로 구성되어 있다.[1,4,6,14] Hong 등은 비다공성 표면에 유류된 잠재족적에 5-MTN과 L-alanine의 착물용액을 뿌려준 결과 이 착물이 족적의 주요 구성성분인 multivalent cation과 반응하여 광발광 현상을 나타낸다는 것을 보인 바 있다.[26] 이러한 반응은 비다공성 표면뿐 아니라 다공성 표면에서도 비슷하게 일어날 것으로 생각되나 다공성 표면에서는 연구된 결과가 발표되어 있지 않다. 따라서 본 논문의 저자들은 대표적인 다공성 표면인 종이 위에 족적을 남기고, *Fig.* 1에서 보인 것처럼 이 족적을 amino acid로 처리하고 이어서 amino acid sensitive reagent인 5-MTN 용액 혹은 1,2-IND 용액으로 처리하면, 족적이 찍혀있는 부위에서 광발광현상을 나타내는

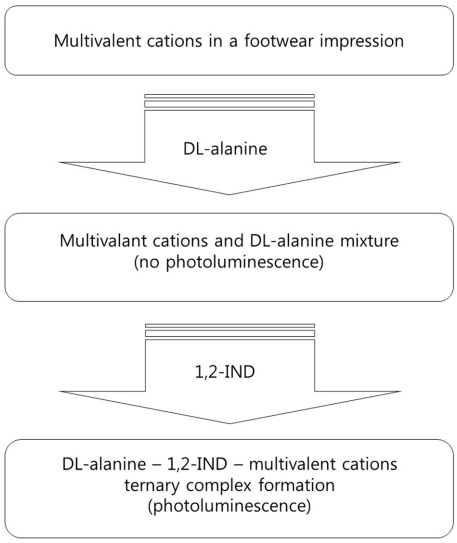


*Fig.* 1. Schematic diagram showing the process of obtaining a photoluminescence by treating a footwear impression with DL-alanine and 1,2-IND.

amino acid – amino acid sensitive reagent – multivalent cation의 삼성분착물 (ternary complex)이 만들어지고, 이 반응을 이용하면 다공성 표면에서도 족적의 형광을 얻을 수 있을 것으로 생각하고 본 실험을 기획하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

DL-alanine은 SAMCHUN (Korea)사 제품을 사용하였고, 5-MTN과 1,2-IND는 BVDA (Netherlands)사의 제품을 사용하였다. 2,2'-dipyridil과 8-hydroxyquinoline은 JUNSEI (Japan)사 제품을 사용하였고 black gelatin lifter는 BVDA (Netherlands)사 제품을 사용하였다. 모든 시약은 SIRCHIE (USA)사의 spray power unit을 사용하여 분무하였다. 온도와 습도는 국제티에스 (Korea)사의 항온항습챔버를 사용하여 조절하였다. 365 nm 및 505 nm 광원으로는 Polilight Flare Plus 2 (ROFIN, Australia)를 사용하였으며 백색광으로는 CombLite (ALTLIGHT, Korea)를 사용하였다. 사진은 Nikon D90 카메라와 AF-S DX NIKKOR 18-55mm F3.5-5.6G VR 렌즈를 사용하여 촬영하였다.

### 2.2. Working solutions

DL-alanine 0.45 g을 deionized water 500 mL로 희석하여 0.01 M 작업용액을 조제하였다. 5-MTN 3.4 g을 acetic acid 10 mL, isopropanol 25 mL, ethyl acetate 145 mL에 녹인 후 methyl-tert-butylether 100 mL와 petroleum ether 720 mL로 묽혀서 작업용액으로 사용하였다.[27] 1,2-IND 작업용액은 1,2-IND 0.2 g을 ethyl acetate 72 mL와 glacial acetic acid 8 mL 혼합용액에 녹인 후 petroleum ether 800 mL로 희석하여 조제하였다.[28] 2,2'-dipyridil 4 g과 ascorbic acid 1 g을 ethanol 100 mL에 녹인 후 hydrochloric acid 3 mL을 넣어 2,2'-dipyridyl 작업용액으로 사용하였다. 8-Hydroxyquinoline 작업용액은 acetone 90 mL와 deionized water 10 mL에 8-hydroxyquinoline 0.5 g을 넣어 조제하였다.

### 2.3. 족적의 유류

실험에서 사용한 모든 족적은 한 명의 여성 실험자가 신발을 신고 만들었다. Dry origin 족적은 신발 바닥이 마른 상태에서 콘크리트로 포장된 인도를 100걸음 걸은 후 종이 위에 올라서서 만들었고, wet origin 족적은 5 cm 깊이로 물을 채운 tray (32.5 cm × 26.5 cm)에 신발을 신고 올라서서 신발 바닥을 물로 적신 후 콘크리트로 포장된 인도를 50 걸음 걸은 다음, 출력물이 인쇄된 A4 용지를 밟아서 만들었다. 모든 실험은 5회씩 반복하였다.

### 2.4. 족적의 처리 및 촬영

스프레이를 이용하여 DL-alanine 작업용액을 약 30 cm 거리에서 족적에 골고루 1회 분무하고 상온에서 건조한 다음, 스프레이를 이용하여 5-MTN 작업용액 혹은 1,2-IND 작업용액을 약 30 cm 거리에서 족적에 골고루 1회 분무하였다. 이렇게 처리한 족적은 암실환경에서 505 nm의 법광원 (forensic light source)을 비추며 카메라 렌즈 앞에 orange filter를 장착하여 ISO 400, f 11, 셔터스피드 1 s로 촬영하였다.

2,2'-dipyridil 작업용액으로 증강할 경우, 스프레이를 이용하여 2,2'-dipyridil 작업용액을 약 30 cm 거리에서 족적에 골고루 1회 분무하고 형광등 아래에서 관찰하였다. 8-hydroxyquiloline 작업용액으로 증강할 경우 스프레이를 이용하여 8-hydroxyquiloline 작업용액을 약 30 cm 거리에서 족적에 골고루 1회 분무하고 암실환경에서 족적에 UV를 비추며 ISO 400, f 11, 셔터스피드 1/15 s로 촬영하였다.

족적을 전사할 경우, black gelatin lifter로 족적을 덮은 후 10 s 동안 눌러주어 족적을 전사하고 암실환경에서 전사된 족적을 CombLite를 사용하여 사광으로 비추

*Table* 1. The grading system to determine the contrast between footwear impression and background

| Grading | Definition |
|---|---|
| 0 | No footwear impression detail. |
| 1 | Partial footwear impression detail present. |
| 2 | Partial footwear impression detail present only can observe their site. |
| 3 | Full footwear impression detail present but probably cannot be used for identification. |
| 4 | Full footwear impression detail present; identifiable footwear impression. |
| 5 | Footwear impression detail present very clearly; identifiable footwear impression. |

며 ISO 400, f 11, 셔터스피드 1/15 s로 촬영하였다.

### 2.5. 족적의 형광 세기의 평가

*Table* 1과 같이 평가기준을 만들고, 이 표에 근거하여 바탕면과 족적의 형광 대조비(contrast)를 평가하였다.[11,29]

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 예비시험

먼저 5-MTN 용액 혹은 1,2-IND 용액을 이용하면 족적을 증강할 수 있는지를 시험하였다. 인쇄물이 출력된 A4 용지에 dry origin 및 wet origin 족적을 만들고, 이 족적에 DL-alanine 용액을 분무하고 이어서 amino acid sensitive reagent인 5-MTN 용액 혹은 1,2-IND 용액을 분무하여 amino acid – amino acid sensitive reagent – multivalent cation (족적성분) 삼성분착물이 만들어지도록 하였다. 삼성분착물이 강한 형광을 내기 위해선 열이 필요하므로[17-21] 다리미를 이용하여 180 ºC로 10 s 동안 종이를 다려주고, 이어서 505 nm의 광원을 비추며 orange filter를 통해 형광을 관찰하였다. 그 결과 *Fig.* 2에서 보인 것처럼 종이 전체에서 형광이 나타났으나 족적과 바탕면의 형광을 구분할 수 없었다. 열을 가해 주면 amino acid와 1,2-IND 용액의 이성분착물도 형광을 내는 것으로 알려져 있는 점으로 보아, 족적이 찍히지 않은 부위에 과량으로 남아있는 amino acid와 1,2-IND 용액의 착물이 열을 받아 형광을 냈기 때문에 이런 현상이 나타났다고 생각된다.[30] Dry origin 및 wet origin 족적 모두에서 이런 현상이 관찰되었다. 1,2-IND 용액 대신 족적과 반응하여 형광을 낼 것으로 예상되는 또 다른 시약인 5-MTN

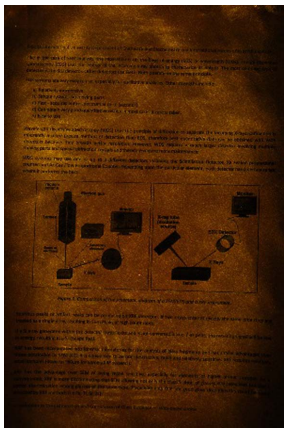

*Fig.* 2. Photoluminescence of dry origin footwear impression bearing printed A4 paper. The paper was sprayed with DL-alanine solution and 1,2-IND solution, and illuminated with a 505 nm forensic light source and photographed under an orange filter.

용액을 이용하여 동일한 시험을 하였다. 그러나 처리조건을 일정하게 유지하였음에도 불구하고 형광이 나타나기도 하고 안 나타나기도 할 뿐 아니라(나타날 경우) 형광의 세기도 1,2-IND 용액을 처리한 경우에 비해 약했기 때문에 5-MTN 용액에 대해서는 더 이상 실험하지 않았다.

### 3.2. 족적을 처리하는 실내 온도 및 습도의 영향

Section 3.1의 실험을 통해, 시약으로 처리한 족적을 다리미로 다려주면 족적의 형광을 관찰할 수 없다는 결과를 얻었으므로, DL-alanine 용액 및 1,2-IND 용액으로 처리한 족적을 다리미로 다리는 대신 실험실 조건에서 1 h 동안 보관한 후 형광을 관찰하였다. 그 결과 *Fig.* 3에서 보인 것처럼 족적을 처리할 당시의 실험실 온도/습도조건에 따라 족적의 형광이 다르게 나타났다. *Fig.* 3의 (a), (b), (c)는 각각 19 ºC - 22 % RH (relative humidity), 28 ºC - 33 % RH, 35 ºC - 69 % RH인 실험실에서 족적을 DL-alanine 용액과 1,2-IND 용액으로 처리한 후 505 nm의 법광원을 비추며 orange filter를 통해 족적의 형광을 관찰한 결과이다. *Fig.* 3을 보면 19 ºC - 22 % RH로 유지되는 실험실에서 처리하면 형광 세기가 매우 약하게 나타났고, 35 ºC - 69 % RH로 유지되는 실험실에서 처리하면 족적의 형광 세기가 증가하였지만, 바탕의 형광 세기도 강해져서 오히려 족적과 바탕면의 대조비가 감소하는 결과가 나타났다. 28 ºC - 33 % RH로 유지되는 실험실에서 처리했을 때 족적의 형광이 가장 잘 나타났다. 이 결과를 통해

*Fig.* 3. Effect of laboratory temperature and relative humidity on the enhancement of footwear impression. DL-alanine and 1,2-IND solutions were sprayed on the footwear impression in the laboratory maintained at 19 ℃ - 22 % RH (a), 28 ℃ - 33 % RH (b) and 35 ℃ - 69 % RH (c) and left for 1 h. The reagents treated foot impressions were illuminated with a 505 nm forensic light source and photographed under an orange filter.

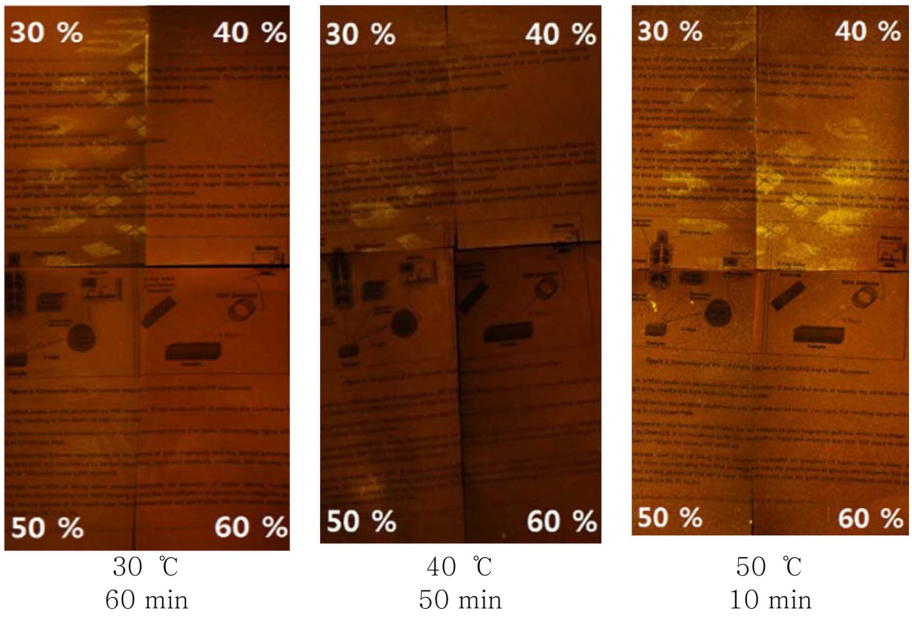


*Fig.* 4. Effect of temperature and relative humidity on the enhancement of footwear impression. Temperature and humidity were controlled in a thermos-hygrostat chamber. The reagents treated foot impressions were illuminated with a 505 nm forensic light source and photographed under an orange filter. The numbers in the figure represent relative humidity.

상온에서 실험하더라도 실험실의 온도/습도조건에 따라 족적의 형광 세기가 달라진다는 것을 알 수 있었고, 이는 선행연구와 일치하는 결과이다.[31]

### 3.3. 족적의 형광을 얻기 위한 최적의 온도 및 습도 조건

Section 3.2의 실험결과에서 보인 것처럼 실험실의

온도/습도조건에 따라 족적의 형광이 다르게 나타났으므로, 항온항습챔버에 족적을 보관하며 형광을 관찰하였다. 먼저 인쇄물이 출력된 A4 용지에 하나의 dry origin 및 wet origin 족적을 남기고, 이 종이를 DL-alanine 용액 및 1,2-IND 용액으로 처리하였다. 이렇게 처리한 종이를 사등분하여 각 조각을 다양한 온도 (30, 40, 50 ℃) 및 습도 (30, 40, 50, 60 % RH)로 설정한 항온항습챔버에 10~60 min 동안 보관한 후 족적의 형광을 관찰하였고, 그 결과를 *Fig.* 4에 나타내었다. *Fig.* 4를 보면 30 ℃에서 60 min 간, 40 ℃에서 50 min 간 보관한 경우에는 30 % RH 조건에서만 족적의 형광을 관찰할 수 있었고, 다른 습도 조건에서는 보관 시간을 늘려도 족적의 형광이 나타나지 않았다. 반면 50 ℃에서 10 min 동안 보관한 경우에는 30 % RH와 40 % RH조건에서 족적의 형광을 관찰할 수 있었다. 이 때 40 % RH로 보관한 경우에는 30 % RH에서 보관한 경우에 비해 배경의 형광이 증가하여 족적의 대조비가 감소하였다. 이런 결과는 dry origin 및 wet origin 족적에서 동일하게 관찰되었다. 이 실험 결과를 통해 족적을 DL-alanine 용액 및 1,2-IND 용액으로 증강할 때에는 30 % RH조건이 적절하고, 습도가 같을 경우 온도를 높이면 족적이 빨리 현출된다는 것을 알 수 있었다.

### 3.4. 시간 경과에 따른 족적과 바탕면의 대조비 변화

종이에 dry origin 족적을 Section 2.3에 보인 방법으로 5회 연속하여 남기고 (diminishing series), 이를 건조시킨 후 이 족적에 DL-alanine 용액 및 1,2-IND 용액을 분무하였다. 이렇게 처리한 족적을 삼등분하여 각각을 30 ℃ - 30 % RH, 40 ℃ - 30 % RH, 50 ℃ - 30 % RH로 유지되는 항온항습챔버에 넣고 시간 경과에 따른 형광의 변화를 관찰하였다. 족적을 항온항습챔버에서 꺼내면 온도와 습도를 일정하게 유지할 수 없다. 따라서 족적은 항온항습챔버에서 꺼내지 않고 투명 window를 통해 관찰하며 3명의 실험자가 *Table* 1의 기준에 따라 평가하여 평균으로 나타내었다.

*Fig.* 5는 시간 경과에 따른 diminishing series의 첫 번째 ($1^{st}$) 및 다섯 번째 ($5^{th}$) 족적의 평균 형광 대조비의 점수이다. *Fig.* 5를 보면 30 ℃ - 30 % RH 조건에서 보관한 경우에는 40 ℃ - 30 % RH 혹은 50 ℃ - 30 % RH로 보관한 경우에 비해 족적과 배경 간의 대조비가 최대치에 도달하는데 많은 시간이 소요되었으나, 족적과 배경 간의 대조비가 강한 상태로 유지되는 시간이 길었고 족적과 배경 간의 대조비가 줄어드는 시간 간격도 길었다. 반면 항온항습챔버의 온도를 40 ℃ 혹은 50 ℃로 높이면 최대 대조비에 빨리 도달했지만, 배경의 형광도 빠르게 증가하여 족적과 배경 간의 대조비가 급속하게 나빠졌다. 이러한 결과는 wet origin 족적에서도 동일하게 관찰되었다.

족적과 바탕면의 형광 대조비가 최대로 유지되는 시간이 짧으면 대조비가 최대로 유지되는 시간 이내에 족적의 형광을 촬영하지 못할 수도 있다. 이런 일은 여러 개의 족적을 한꺼번에 처리할 때 더 잘 일어날 수 있다. 따라서 실제 증거물 족적을 처리할 때에는 족적과 바탕면의 형광 대조비가 오래 유지되는 30 ℃ - 30 % RH조건에서 족적을 1 h 동안 보관한 뒤에 촬영하는 것이 좋다고 생각된다.

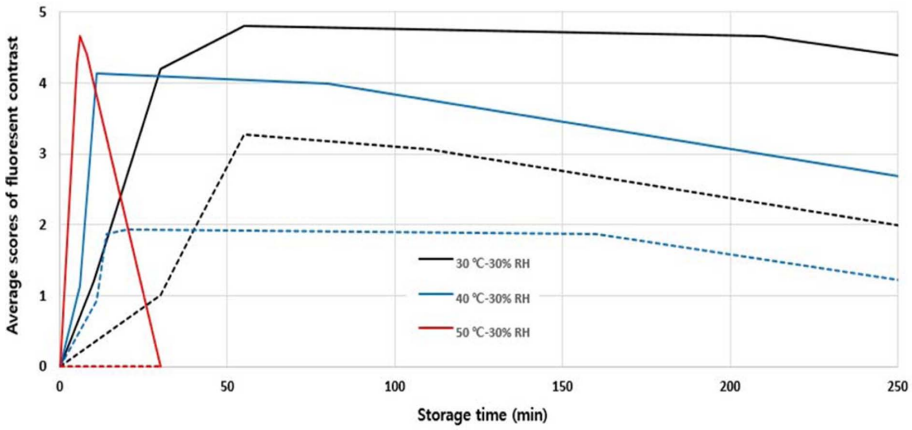


*Fig.* 5. Changes in contrast between footwear impression and background over time. The solid line denotes the $1^{st}$ dry footwear impression of a diminishing series, the dotted line denotes the $5^{th}$ dry footwear impression of a diminishing series.

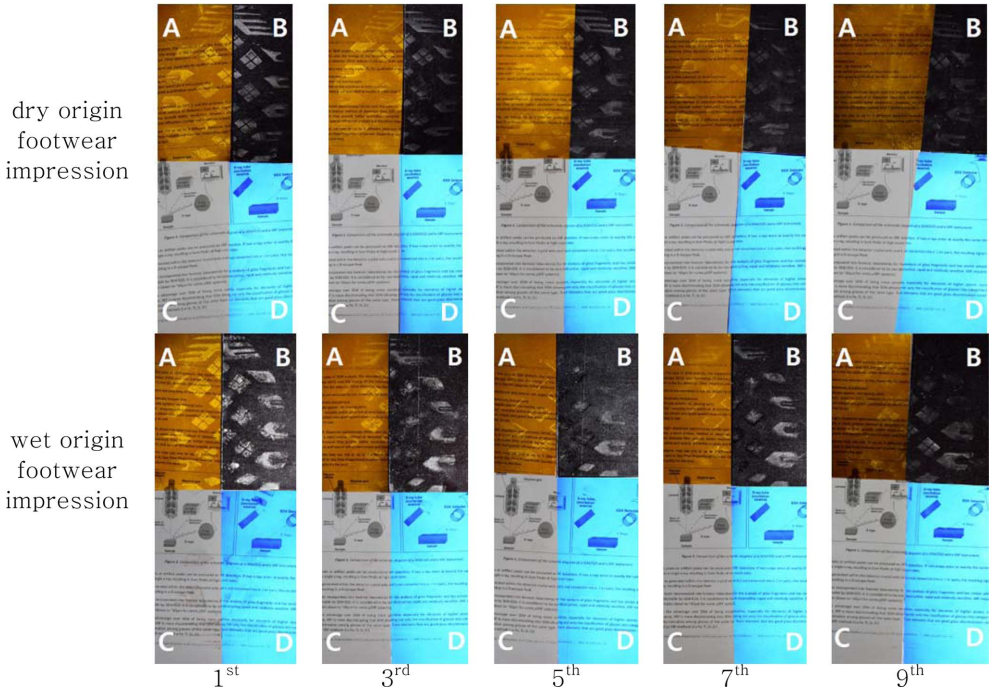


*Fig.* 6. The 1st, 3rd, 5th, 7th, 9th dry and wet footwear impression of a diminishing series on printed A4 paper treated with 4 different techniques: (A) Authors' method, (B) lifting with a black gelatin lifter, (C) 8-hydroxyquinoline treatment, (D) 2,2'-dipyridil treatment.

### 3.5. 다른 기법과의 비교

본 방법은 족적의 형광을 관찰하는 방법이기 때문에 배경의 영향을 받지 않고 족적을 관찰할 수 있다. 현재 배경의 영향을 받지 않고 족적을 관찰하는 방법으로는 물리적으로 족적을 lifting하는 방법과,[5] 8-hydroxyquinoline 용액을 뿌린 후 UV를 쪼여줘서 형광을 관찰하는 방법이 알려져 있다.[1,11,14,15] 따라서 gelatin lifting 및 8-hydroxyquinoline 용액을 사용하는 방법과 본 방법의 감도를 비교하였다. 또한 족적에 2,2'-dipyridil 용액을 사용하는 방법은 형광을 내는 방법은 아니지만 족적을 증강하는 대표적인 방법 중 하나이므로 2,2'-dipyridil 용액을 사용하는 방법도 비교 대상에 포함시켰다.[14,15]

종이에 dry origin 및 wet origin 족적을 Section 2.1에 보인 방법으로 9회 연속하여 남기고 건조시킨 후, 사등분하고 각 조각을 DL-alanine 용액 및 1,2-IND 용액을 뿌린 후 30 °C - 30 % RH로 설정한 항온항습챔버에 보관하는 방법과 (저자들이 개발한 방법), black gelatin lifter를 사용하는 방법, 8-hydroxyquinoline 용액을 뿌리는 방법, 2,2'-dipyridil 용액을 뿌리는 방법으로 각각 처리하여 증강한 결과를 *Fig.* 6에 나타내었다. *Fig.* 6을 보면 dry origin 및 wet origin 족적 모두에서 저자가 개발한 방법은 8-hydroxyquinoline 용액이나 2,2'-dipyridil 용액으로 처리한 경우보다 우수한 증강 효과를 보이는 것을 알 수 있다. gelatin lifter는 1ea가 약 5천원으로 대단히 비싼 전사도구이다. 따라서 현장에 있는 여러 개의 족적을 gelatin lifter로 처리하면 경제적인 부담이 발생할 수밖에 없다. 이런 점을 감안하면 감도는 gelatin lifter보다 다소 떨어지지만 본 방법은 배경무늬가 있는 다공성 표면에 부착된 족적을 채취하는 대체수단이 될 수 있다고 생각된다.

## 4. 결 론

Dry origin 및 wet origin 족적에 amino acid sensitive reagent인 1,2-indandion 용액과 amino acid의 일종인 DL-alanine 용액을 분무한 결과, amino acid - 1,2-indandion - 족적에 포함된 금속성분의 삼성분착물이 만들어져 족적의 형광을 관찰할 수 있었다. 이렇게 처리한 족적을 다리미로 다리는 방법으로 가열하면 바탕면에 과량으로 존재하는 1,2-indandion 용액과 DL-alanine 용액의 착물의 형광과 삼성분착물의 형광이

구분되지 않아 족적을 관찰할 수 없었다. 그러나 항온항습챔버를 이용하여 온도와 습도를 조절한 결과 30 % RH 조건일 때 최적의 족적 형광을 얻을 수 있었다. 항온항습챔버의 온도를 높여주면 족적의 최대 형광이 나오는 시간이 짧아졌으나 족적이 빨리 사라지는 현상이 관찰되었다. 실제 사건 현장에서 여러 개의 족적을 처리해야 하는 상황을 고려하면 족적을 DL-alanine 용액 및 1,2-indandion 용액으로 처리한 후 30 °C, 30 % RH로 유지되는 항온항습챔버에서 1 h 동안 보관한 후 촬영할 때 가장 좋은 족적의 형광을 얻을 수 있었다. 본 연구에서 개발한 방법과 바탕면의 영향을 받지 않고 족적을 관찰할 수 있는 다른 세가지 방법을 비교한 결과, 본 연구에서 개발한 방법은 gelatin lifter로 전사하는 방법보다는 족적 현출 감도가 떨어졌지만 8-hydroxyquinoline 용액이나 2,2'-dipyridil 용액을 이용해 증강하는 방법보다는 족적 현출 효과가 우수하였다.

## 감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

## References

1. W. J. Bodziak, '*Footwear Impression Evidence: Detection, Recovery and Examination*', 2nd Ed. CRC Press, 2000.
2. M. Birzer and C. Roberson, '*Introduction to Criminal Investigation*', CRC Press, 2011.
3. R. J. Davis, A Systematic Approach to the Enhancement of Footwear Marks, *Can. Soc. Forensic Sci. J.*, **21**(3), 98-105 (1988).
4. A. W. Dutelle, '*An Introduction to Crime Scene Investigation*', Jones & Bartlett Publishers, 2016.
5. S. Wiesner, T. Tsach, C. Belser and Y. Shor, *J. Forensic Sci.*, **56**(S1), S58-S62 (2011).
6. C. L. Craig, B. M. Hornsby and M. Riles, *J. Forensic Sci.,* **51**(4), 819-826 (2006).
7. B. Glattstein, Y. Shor, N. Levin and A. Zeichner, *J. Forensic Sci.*, **41**(1), 23–26 (1996).
8. K. McNeil and W. Knaap, *J. Forensic Identif.*, **62**(2), 143-153 (2012).
9. M. J. M. Velders, 82nd Educational Conference of the International Association for Identification, Danvers, MA (1997).
10. J. H. Froude, *J. Forensic Identif.*, **48**(6), 718-724 (1998).
11. A. B. E Teeuwen, S van Barneveld, J. W. Drok, I. Keereweer, B. Lesger, J. C. M. Limborgh, W. M. Naber, R. Schrok and T. Velder, *Forensic Sci. Int.*, **119**(1), 57-67 (2001).
12. E. Ross and M. Gorn, *J. Forensic Identif.*, **60**(5), 532-546 (2010).
13. S. Someha, International Symposium on the Forensic Aspects of Footwear and Tire Impression Evidence, FBI, Quantico, VA (1994).
14. K. J. Farrugia, H. Bandey, L. Dawson and N. N. Daeid, *Forensic Sci. Int.*, **219**(1-3), 12-28 (2012).
15. K. J. Farrugia, H. L. Bandey, L. Dawson and N. Nic Daéid, *J. Forensic Sci.*, **58**(6), 1472-1485 (2013).
16. R. C. Shaler, '*Crime Scene Forensics: A Scientific Method Approach*', CRC Press, 2011.
17. R. S. Ramotowski, A. A. Cantu, M. M. Joullié and O. Petrovskaia, *Fingerprint Whorld.,* **23**, 131-140 (1996).
18. D. B. Hauze, O. Petrovskaia, B. Taylor, M. M. Joullié, R. Ramotowski and A. A. Cantu, *J. Forensic Sci.*, **43**(4), 744-747 (1998).
19. J. Almog and H. Glasner, *J. Forensic Sci.*, **55**(1), 215-220 (2010).
20. J. Almog, A. Hirshfeld, A. Frank, H. Grant, Z. Harel and Y. Ittah, *J. Forensic Sci.*, **37**(3), 688-694 (1992).
21. J. Almog, A. Klein, I. Davidi, Y. Cohen, M. Azoury and M. Levin-Elad, *J. Forensic Sci.*, **53**(2), 364-368 (2008).
22. R. Jelly, E. L. T. Patton, C. Lennard, S. W. Lewis and K. F. Lim, *Analytica Chimica Acta. Anal. Chem.*, **652**(1), 128-142 (2009).
23. C. Wallace-Kunkel, C. Lennard, M. Stoilovic and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **168**(1), 14-26 (2007).
24. D. E. Bicknell and R. S. Ramotowski, *J. Forensic Sci.*, **53**(5), 1108-1116 (2008).
25. S. Hong and A. Han, *Forensic Sci. Int.,* **266**, 86-90 (2016).
26. S. Hong, Y. Kim, J. Park and H. Lee, *Anal. Sci. Technol.*, **30**(2), 75-81 (2017).
27. M. T. Miller and P. Massey, '*The Crime Scene: A Visual Guide*', Academic Press, 2015.
28. Bvda international, http://www.bvda.com/EN/down-

load/ind_en, cataloge no. B-78100.
29. Marriott, Callie, National Centre for Forensic Studies, University of Canberra, Australia, ACT 2601 (2013).
30. I. M. Alaoui, T. Troxler and M. M. Joullié, *J. Forensic Identif.*, **62**(1), (2012).
31. X. Spindler, R Shimmon, C. Roux and C. Lennard, *Forensic Sci. Int.*, **212**, 150-157 (2011).