

감열지에 남겨진 잠재지문 현출을 위한 1,2-Indanedione 시약 Advanced Application of 1,2-Indanedione for Latent Fingerprint Development on Thermal Paper

남궁주영, 배경희, 유제설, 장윤식
순천향대학교 법과대학원

Joo-Yeong Namgoong(ng4985@naver.com), Kyunghee Bae(5amos24@naver.com),
Jeseol Yu(haplf@naver.com), Yunsik Jang(ccismem@gmail.com)

요약

감열지는 열과 극성용매에 민감하여 검게 흑화하기 때문에 일반 종이에 사용하는 지문 현출 시약을 적용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 감열지에 적용할 수 있는 1,2-Indanedione 용액의 제조비율을 제시하고 염화아연의 효과성에 대해 검증하였다. 0.06% 농도의 1,2-Indanedione 용액에서 극성용매의 비율이 3% 이하인 경우, 감열지에 손상을 주지 않으면서 좋은 지문 현출 결과를 얻을 수 있었다. 일반 종이용 1,2-Indanedione 용액에서 염화아연용액은 형광과 지속성을 증강시키는 데 사용되지만, 감열지에서는 염화아연용액을 넣지 않은 용액에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

■ 중심어 : | 1,2-Indanedione | 감열지 | 지문 |

Abstract

It is impossible to use general latent fingerprint developing reagents with thermal paper because it is very sensitive to change its color when exposed to heat and polarized solvents. The present study set up the applicable ratio of 1,2-Indanedione solution demonstrating the effect of zinc chloride. There is no difference in results and the term of validity in solution containing under 3% of polarized solvent. And the solution without zinc chloride has better result in fluorescence.

■ keyword : | 1,2-Indanedione | Thermal Paper | Latent Fingerprint |

1. 서론

현대 사회가 점차 정보화 사회가 되어감에 따라 각종 정보를 신속하게 전달할 수 있는 감열지의 사용이 증가하고 있다. 감열지는 ATM 명세표, 슈퍼마켓 영수증, 버스 티켓, 고속도로 요금소 영수증, 부동산 거래 계약서 등과 같이 일상생활에서 높은 사용빈도와 그 내용으로 인해 범죄를 재구성하는 데 중요한 증거물로 많이 취급된다. 그러나 감열지는 열과 극성용매를 가했을 때 검게 변하는 성질 때문에 일반적으로 종이류에 사용하

는 지문 현출 시약을 적용할 수 없는 증거물이다. 그러므로 감열지에 닌히드린, 요오드, Iodine 시약을 혼증하여 잠재 지문을 현출하는 방법이 사용되고 있으나[1-3] 혼증법을 적용하여 얻은 지문의 대조비가 담금법을 적용하여 얻은 것보다 좋지 않다는 연구 결과가 있다[3].

1,2-Indanedione 시약은 지문 속에 포함되어 있는 아미노산과 반응하는 형광 시약으로 종이류에서 잠재지문을 현출하는데 많이 사용되고 있다. 호주의 National Centre for Forensic Studies(NCFS)에서는 극성용매의 비율을 4%로 한 감열지용 IND-Zinc 제조법을[4], 미국

FBI에서는 극성용매의 비율을 7%로 한 감열지용 IND-Zinc 제조법을 제시하고 사용하고 있다. 그러나 이 제조법으로 제조한 시약을 우리나라의 감열지에 적용했을 때, 감열지가 모두 검게 변하는 것을 관찰할 수 있었다[5]. 각 나라마다 사용되는 감열지의 종류가 다르기 때문에 외국에서 제시하는 IND-Zinc 제조법을 적용시키는데 문제가 있으므로 우리나라 감열지에 적합한 1,2-Indanedione 시약의 제조법이 필요하다.

이 연구에서는 극성용매의 종류와 비율을 적절히 선택하여 우리나라 감열지를 흑화시키지 않는 시약을 제조하는 것을 목표로 하였다. 또한 염화아연의 유무에 따른 효과성도 알아보고자 한다.

II. 연구재료 및 방법

1. 지문

지문은 25세 여성의 지문을 사용했으며, 이마와 코를 문지르지 않은 순수한 땀 지문을 사용하였다.

2. 감열지

감열지는 우리나라에서 가장 많이 사용하는 종류 두 가지를 선택하였다. 슈퍼마켓 영수증과 은행 번호표 등에 쓰이는 포스용지와, ATM 명세표를 사용하였다.

감열지는 열에너지에 의하여 기록을 얻는 용지로 무색물감과 페놀계의 현색제의 조합에 의한 발색 반응을 이용한 로이코 염료 등을 일반원지에 도포하여 만들어지는 특수 용지이다[6]. 감열지는 여러 개의 코팅층으로 이루어져 있으며 각각의 층마다 서로 다른 특징을 가지고 있다.

감열지의 active 코팅 층은 열 프린트 head로 열을 가했을 때 글자가 새겨지는 층으로 염료, 감광제, 안정제 등이 포함되어 있다. 감열지에 열을 가하게 되면 active 코팅 층의 감광제와 무색 염료 및 반응물들이 함께 반응하게 된다. active 코팅 층에 포함되어 있는 안정제는 이러한 반응에서의 가역성을 방지하고 새겨진 글자를 보존해주는 역할을 한다[7].

감열지의 매끈한 윗면에 있는 top 코팅 층은 환경적

인 영향으로부터 active 코팅 층을 보호해주는 역할을 하는 층으로 지문이 남겨지는 층이기도 하다[7]. 감열지의 맨 뒷면에 있는 back 코팅 층은 열 프린트에서의 기계적 이동에 도움을 주는 정전기 방지제가 포함되어 있으며 top 코팅 층과 마찬가지로 지문이 남겨지는 층이다[7].

열에 민감한 구조로 이루어져 있는 감열지에는 스템 열처리를 필요로 하는 지문 현출 시약을 사용할 수 없다. 또한 시약 속에 들어있는 에탄올이나 에틸 아세테이트와 같은 극성용매도 코팅 층의 성분들과 반응하여 감열지를 흑화시키는 주요 원인이 된다[5].

3. 극성용매의 종류와 비율

1,2-Indanedione(IND)는 미국 펜실베이니아 대학의 Madeleine Joullie 교수와 그 연구팀에 의해 발견된 닐히드린의 유도체이다[4]. 1,2-IND는 지문 속에 포함되어 있는 아미노산과 반응하여 Joullie's Pink(JP)를 형성하며, 강한 형광을 나타내기 때문에 종이류의 잠재 지문 현출에 많이 사용되고 있다[8].

이전의 연구들을 통해서 1,2-IND의 반응은 습도와 같은 환경 조건에 영향을 많이 받는다는 사실과 적은 양의 염화아연을 1,2-IND 용액에 첨가하면 형광성과 지속성이 증가한다는 결과가 일반적으로 받아들여지고 있다[9][10]. 1,2-IND와 염화아연의 경우 극성을 띄기 때문에, 일반적인 1,2-IND 시약에서는 이를 무극성 용매에 용해시키기 위해 에탄올이나 에틸 아세테이트와 같은 극성 용매를 중간 용매로 사용한다. 하지만 극성 용매는 감열지를 흑화시키는 주된 원인이 되므로 본 연구에서는 극성용매를 아예 넣지 않거나 감열지에 영향을 주지 않는 범위를 설정하였다.

1,2-IND를 비롯한 닐히드린 유도체에 가장 적합한 무극성 용매로 환경적으로 안전하며 독성이 낮은 용매인 HFE-7100을 추천하는 논문이 다수 발표되었다[5][7][9]. 이스라엘의 카잘리 응용화학 연구소와 이스라엘 경찰 법과학부서는 3M 사의 HFE-7100을 용매로 한 1,2-IND 용액을 사용하고 있으며, 석유에테르와 같은 다른 무극성 용매와 비교하였을 때, HFE-7100을 용매로 사용하였을 경우, 지문의 형광성이 더 높다는 결

과도 발표되었다[5][7].

우리나라에서 주로 사용되는 감열지에 최소한으로 영향을 미치는 극성용매의 종류와 비율을 찾기 위하여 에탄올(JUNSEI, Japan), 에틸 아세테이트(JUNSEI, Japan), 아세트산(JUNSEI, Japan) 용매의 비율을 1%부터 4%까지 설정하여 감열지용 시약에 가장 적합한 극성용매를 선정하였다.

4. 염화아연유무에 따른 1,2-IND 시약제조

1,2-IND(SIRCHIE, USA)의 농도는 호주의 NCFS에서 제시한 일반 종이용 1,2-IND 농도와 같은 0.06%로 하고, 염화아연은 0.004%로 하였다. 설정한 부피만큼의 에틸 아세테이트에 1,2-IND만을 녹인 용액과, 1,2-IND와 염화아연(DUKSAN, Korea)을 함께 녹인 용액을 만들어 HFE-7100(3M)에 녹이고 총 부피가 500ml이 되게 제조한 후 1,2-IND의 용해도를 증가시키기 위해 초음파세척기(Ultra200H, 신한초음파)로 90분씩 초음파를 가해주었다.

5 감열지에 시약 적용

25세 여성의 지문을 4장의 슈퍼마켓 영수증과 4장의 ATM 명세표에 찍어준 후 지문을 반으로 잘라 오른쪽은 염화아연을 처리한 극성용매 비율 0%, 1%, 2%, 3%의 1,2-IND 용액을 왼쪽은 염화아연을 처리하지 않은 극성용매 비율 0%, 1%, 2%, 3%의 1,2-IND 용액을 처리하였다. 5시간 후 현출된 지문을 poliview(Rofin, Australia)의 555nm 밴드패스 필터에서 505nm 파장으로 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 초음파 세척기를 이용한 1,2-IND 분말의 용해

초음파란 사람의 귀로는 느낄 수 없는 주파수인 약 20,000 Hz 이상의 음파를 말하며 초음파의 진동은 인간이 지각할 수 있는 이 범위를 넘어서 시작된다. 초음파의 성질은, 정상적인 청력을 가진 사람이 들을 수 있는 범위의 음파와 본질적으로는 같지만, 파장이 짧고 주파

수가 높기 때문에 강한 진동과 흐름을 수반하게 된다[11]. 초음파 세척기의 원리는 초음파의 음파에 의해 생기는 압력과 공동현상 효과를 이용하는 것이다. 여기서 공동현상 효과란 세척액에 초음파를 발사하여 얻어지는 진동에 의하여 미세 알갱이의 기포가 형성되고 소멸되는 현상으로 순간작용으로 인해 진공상태를 유지함과 동시에 세척물에 부딪히면서 매우 큰 압력과 고온을 동반하는 작용을 말한다[12]. 액체는 높은 초음파 에너지를 전도할 수 있으며 진동과 흐름을 깨끗하게 하는 효과를 가속시킬 수 있다. 그러므로 액체가 들어 있는 수조 안에 초음파를 발생시키면 음파의 에너지와 공동현상으로 인해 수많은 기포 알갱이들이 흔들리고 퍼지면서 모든 세척물의 표면을 비롯하여 미세 구멍까지 효과적으로 세척할 수 있는 것이다[11].

이러한 초음파의 특성은 세척뿐만 아니라 시약의 용해도를 높이는 데에도 효과적일 수 있는데, 일반 유기용매에 잘 녹지 않는 폴리피롤을 용해하는데 초음파 세척기를 이용했다는 연구도 발표된 바 있다[13]. 본 연구에서는 극성을 띄는 1,2-IND 분자를 최소한의 극성용매 또는 극성용매 없이 효과적으로 무극성 용매에 용해시키기 위해서 초음파 세척기를 사용하여 강한 물리적인 자극을 추가하였다.

무극성용매인 HFE-7100에 극성용매인 에틸 아세테이트의 비율을 0%, 1%, 2%, 3%로 첨가한 0.06% 1,2-IND 용액을 준비하여, 반으로 나눈 뒤에 한 세트에는 염화아연을 넣지 않고, 다른 세트에는 염화아연을 추가한다. 모든 용액은 초음파 세척기에 90분간 처리하여 분말을 충분히 녹여주었다. 그 결과 극성용매를 넣어준 용액은 물론 극성용매가 전혀 첨가되지 않은 용액에서도 1,2-IND 분말이 용액에 용해된 것을 확인할 수 있었다.

2. 극성용매 비율에 따른 형광성 비교와 염화아연의 효과성

에틸 아세테이트는 4%의 비율 이상에서 흑화현상이 관찰되었고 에탄올과 아세트산은 2%의 비율에서부터 흑화현상이 관찰되었다.

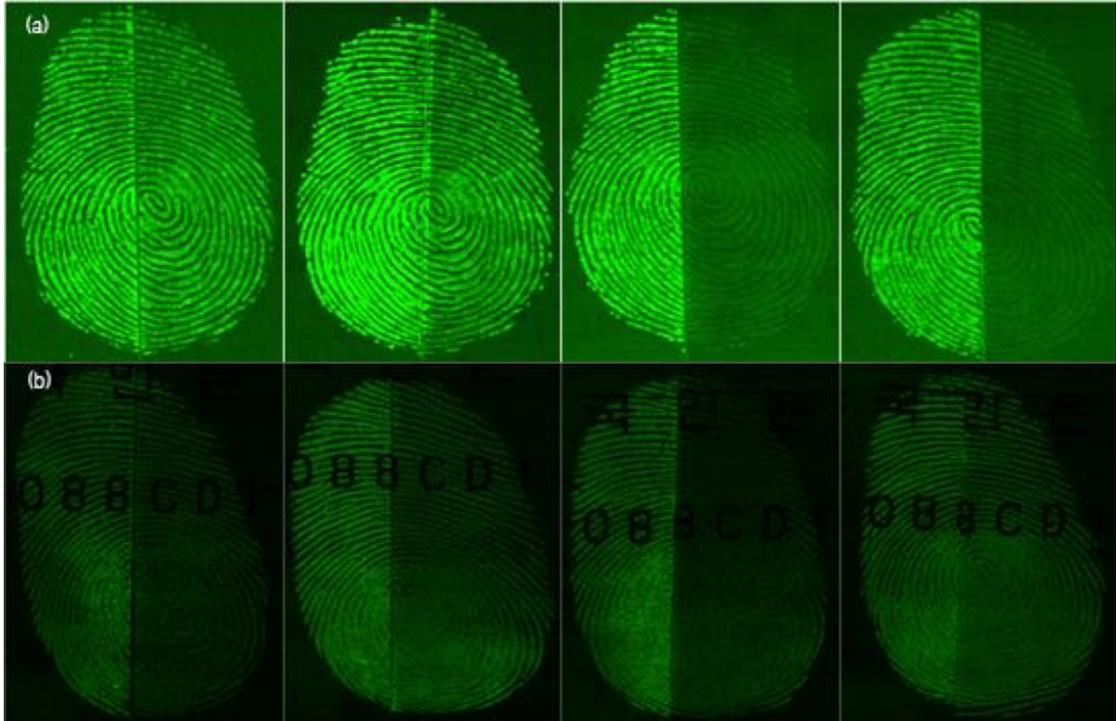


그림 1. 극성용매 비율에 따른 형광성 비교

(a)일반 영수증에 사용되는 포스용지. (b)ATM 명세표

왼쪽부터 극성용매 비율 0%,1%,2%,3%. 지문의 왼쪽; 염화아연을 처리하지 않음. 지문의 오른쪽; 염화아연을 처리함

표 1. 염화아연을 넣지 않은 0.06% IND 용액

| | 0% | 1% | 2% | 3% |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| IND | 0.3g | 0.3g | 0.3g | 0.3g |
| Ethyl acetate | - | 5ml | 10ml | 15ml |
| HFE-7100 | 500ml | 495ml | 490ml | 485ml |

표 2. IND와 염화아연을 함께 넣은 0.06% IND 용액

| | 0% | 1% | 2% | 3% |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| IND | 0.3g | 0.3g | 0.3g | 0.3g |
| ZnCl ₂ | 2ml | 2ml | 2ml | 2ml |
| Ethyl acetate | - | 5ml | 10ml | 15ml |
| HFE-7100 | 500ml | 495ml | 490ml | 485ml |

극성용매에 민감한 감열지의 특성 때문에 감열지에 적합한 시약을 제조함에 있어서 극성용매의 비율을 매우 중요하다. 우리나라에서 사용되는 감열지는 극성용매인 ethyl acetate 농도 4%부터 흑화현상을 보이기 때

문에 극성용매의 비율을 4%미만으로 시약을 제조하여 실험하였고, 그 결과는 아래 제시된 사진에서 확인할 수 있다. 극성용매를 넣지 않은 가장 왼쪽의 지문과 극성 용매의 농도를 최대로 한 가장 오른쪽의 지문 사이의 형광성의 차이는 보이지 않으며 지문 윤선의 해상도도 비슷하다. 극성용매의 비율이 1%인 경우와 2%인 경우에도 역시 극성용매를 넣지 않았을 경우와 최대로 넣은 3%인 경우와 비슷한 결과를 보였다.

또한 염화아연을 넣은 용액과 넣지 않은 용액을 비교하여 지문을 현출해 본 결과, 일반종이에서는 염화아연을 넣었을 경우 형광성이 높다는 보고가 있었으나[9][10], 본 연구 결과를 통해 감열지에서는 염화아연을 넣지 않았을 경우에 형광성이 더 강하게 현출된다는 것을 확인할 수 있었다. [그림 1][그림 2]에서 지문의 왼쪽은 염화아연을 넣지 않은 경우이며 오른쪽은 염화아연을 넣은 경우이다.

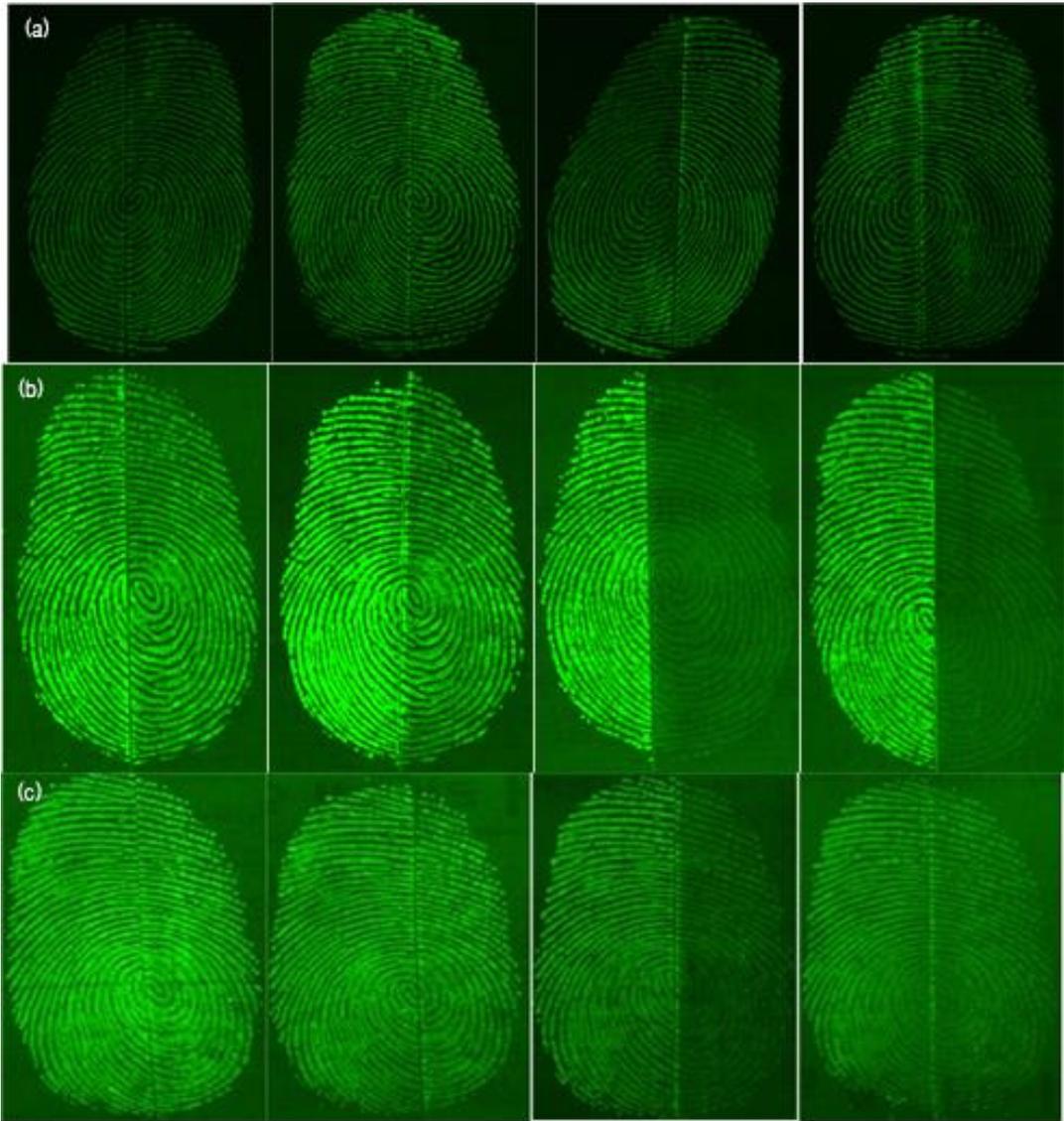


그림 2. 시약의 효과 지속성 비교

(a)시약 제조 후 바로 현출한 지문, (b)제조 후 1개월 후에 현출한 지문, (c)제조 후 2개월 후에 현출한 지문
 왼쪽부터 극성용매비율 0%, 1%, 2%, 3%. 시약 제조 후 지문과 시약 제조 1개월 후 지문간의 형광성의 차이는 빛의 세기와 위치의 차이로 인함이다

3. 시약의 유효기간

감열지용 1,2-IND 용액의 효과 지속기간을 알아내기 위하여 시약을 제조한 날로부터 한 달 단위로 감열지에서 잠재 지문을 현출하는 실험을 수행하였다. 위의 사진에서 볼 수 있듯이 제조한 날로부터 1개월이 지난 시

약으로 지문을 현출해 본 결과 시약의 형광성이 유지되었으나, 2개월이 지난 시약에서는 지문이 현출되었으나 형광성은 감소하였다. 3개월이 지난 시약에서는 지문이 현출되지 않았으며 이는 일반중이용 1,2-IND 용액의 유효기간과 비슷하다[4]. 극성용매의 비율 0%와 1%, 2%, 3%에서 모두 비슷한 유효기간을 가지므로 극성용

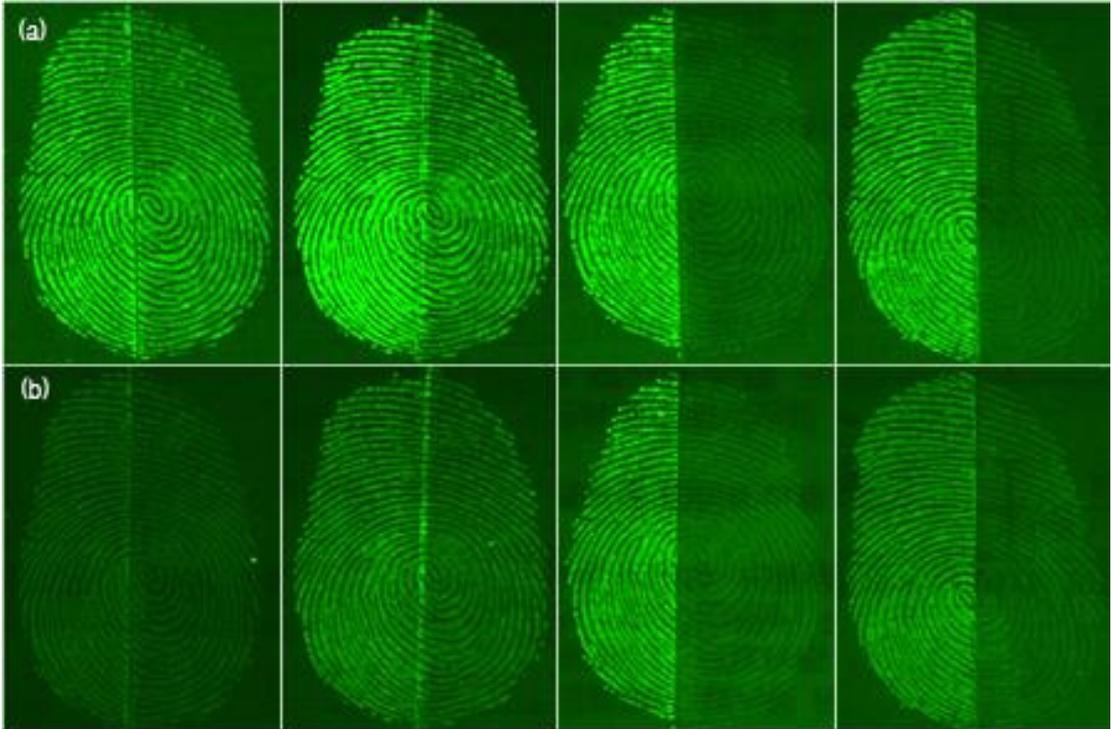


그림 3. 현출한 지문의 형광 지속성 비교
 (a)현출 후 24시간 지난 지문, (b)현출 후 3개월 지난 지문의 형광성 차이
 왼쪽부터 극성용매 비율 0%, 1%, 2%, 3%

매의 비율에 따른 유효기간의 차이는 없다고 본다.

4. 현출한 지문의 형광 지속성

시약을 적용하여 현출된 지문의 형광 지속 기간은 범정에 현출된 지문이 증거물로 제출될 때 중요한 의미를 가질 수 있다. 닌히드린 시약으로 현출된 지문의 발색 지속 기간은 약 6개월 정도이며 일반 종이용 1,2-IND 시약으로 현출된 지문은 약 3개월정도 지문의 형광성이 유지된다. 감열지에 적합한 1,2-IND 시약으로 감열지 표면의 지문을 현출하여 형광 지속성을 측정해본 결과 약 3개월 정도로 일반 종이용 1,2-IND 시약과 비슷한 형광 지속 기간을 가졌다. [그림 3]에서 보여지듯이 시약 적용 후 24시간이 지난 지문과 3개월이 지난 지문을 비교해 보았을 때 3개월이 지난 지문에서 형광성이 떨어진 것을 볼 수 있다. 극성용매를 넣지 않은 1,2-IND 용액으로 처리한 지문과 극성용매의 비율 1%

로 처리한 지문, 2%로 처리한 지문, 3%로 처리한 지문 모두 비슷한 형광성 및 형광 지속 기간을 가졌다.

IV. 결론

감열지에 적합한 1,2-IND 용액을 제조함에 있어서 초음파 세척기의 사용은 극성용매를 아예 넣지 않거나 4%미만으로 설정한 용액에 1,2-IND 분말을 녹이기에 효과적이었으며, 극성용매의 비율은 지문의 형광성과 지속성에 영향을 미치지 않았다. 극성용매를 아예 넣지 않은 1,2-IND 용액과 1%, 2%, 3% 비율로 넣은 각각의 1,2-IND 용액으로 현출된 지문을 비교해보았을 때, 모두 비슷한 형광성을 가졌으며 지문 현출 속도에도 차이가 없었다. 하지만 용액에서의 염화아연 유무에 따른 지문의 형광성에서는 차이가 있어 염화아연을 넣지 않

은 1,2-IND 용액으로 현출한 지문이 염화아연을 넣었을 경우보다 형광성이 높았다. 이 또한 4가지 용액에서 동일한 결과를 얻었다.

제조한 1,2-IND 용액의 유효기간은 약 3개월 정도로 극성용매 비율에 따른 차이 없이 모두 비슷한 유효기간을 나타냈다. 시간이 지남에 따라 극성용매를 넣지 않은 용액과 1%,2%,3% 비율로 넣은 용액 모두 형광성과 지문 현출 속도가 떨어졌고 3개월이 지난 용액에서는 지문을 현출하기 어려웠다.

시약을 적용하여 현출된 지문의 형광 지속 기간은 약 3개월로 4가지 용액 모두 동일한 형광 지속 기간을 가졌으며 시간이 지남에 따라 4가지 용액으로 처리한 지문 모두 형광성이 점차 떨어지는 결과가 관찰되었다.

참 고 문 헌

- [1] O. P. Jasuja, "Development of latent fingerprints on thermal paper: Preliminary investigation into use of iodine fuming," *Forensic Science International*, Vol.192, pp.11-16, Nov. 2009.
- [2] R. Ma, "Chemical Fuming: A Practical Method for Fingerprint Development on Thermal Paper," *Journal of Forensic Identification*, Vol.56, No.3, p.364, 2006.
- [3] L. Schwarz, "Advanced Solvent-Free Application of Ninhydrin for Detection of Latent Fingerprints on Thermal Paper and Other Surfaces," *Journal of Forensic Science*, Vol.47, No.6, pp.1274-1277, 2002.
- [4] M. Stoilovic, *Fingerprint Detection & Enhancement*, National Centre for Forensic Studies.
- [5] J. T. Stimac, "Thermal paper: Latent Friction Ridge Development via 1,2-Indanedione," *Journal of Forensic Identification*, Vol.53, No.3, p.265, 2003.
- [6] http://www.shinsong.co.kr/htm/shinsong_01.html
- [7] J. T. Stimac, "Thermal & Carbonless Papers: A Fundamental Understanding for Latent Friction Ridge Development," *Journal of Forensic Identification*, Vol.53, No.2, p.185, 2003
- [8] X. Spindler, "The effect of zinc chloride, humidity and the substrate on the reaction of 1,2-indanedione-zinc with amino acids in latent fingerprint secretions," *Forensic Science International*, Vol.212, pp.150-157, 2011.
- [9] C. Wallace-Kunkel, "Optimisation and evaluation of 1,2-indanedione for use as a fingerprint reagent and its application to real samples," *Forensic Science International*, Vol.168, pp.14-26, 2007.
- [10] S. E. Russell, "Modification to the 1,2-Indanedione/Zinc Chloride Formula for Latent Print Development," *Journal of Forensic Identification*, Vol.58, No.2, p.182, 2008
- [11] <http://www.hucom.kr/>
- [12] <http://www.nksys.co.kr>
- [13] 홍장우, "높은 전기 전도성을 갖는 가용성 폴리 피롤 합성 및 특성", *Korean Ind. Eng. Chem.*, 제 18권, 제3호, pp.234-238, 2007.
- [14] 김아람, 김우중, 정혜영, "배경에 따른 혈문증강 시약(Fuchsin Acid, Eosin-Y, Acid Yellow 7) 적용의 현출도 비교실험", *한국콘텐츠학회논문지*, 제13권, 제6호, pp.194-201, 2013.

저 자 소 개

남궁주영(Juyoung Namgoong)

준회원

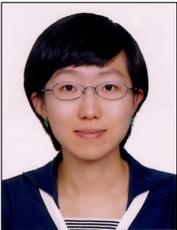


- 2013년 2월 : 대전대학교 임상병리학과(임상병리학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 법과학 대학원 재학 중

<관심분야> : 지문, Police & Law

배 경 희(Kyunghee Bae)

준회원



- 2012년 8월 : 고려대학교 생명과학부(이학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 법과학 대학원 재학 중

<관심분야> : 지문, Police & Law

유 제 설(Jeseol Yu)

정회원



- 1998년 : 경찰대학 법학과(법학사)
- 2007년 : 경북대학교 법의학교실 수사과학대학원 과학수사전공(석사)
- 2014년 : 경기대학교 범죄학과(박사 수료)

- 2009년 ~ 2011년 : 국립경찰대학 경찰학과 교수
- 2012년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 법과학대학원 교수

<관심분야> : 지문, Police & Law

장 윤 식(Yunsik Jang)

정회원



- 1994년 : 경찰대학 행정학과(행정학사)
- 2001년 : 고려대 법무대학원 경찰법학과(법학석사)
- 2014년 : 고려대 정보경영공학 전문대학원(공학박사)

- 2005년 ~ 2014년 : 국립경찰대학 경찰학과 교수
- 2014년 ~ 현재 : 순천향대학교 법과학대학원 초빙교수

<관심분야> : Digital Forensics, 사이버 범죄, 법과학