

Enhancement of cyanoacrylate-developed marks using p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) on semi-porous surfaces and analysis of the influence factors on fluorescence intensity

Je-Sul Yu and Ju-Hah Kim*

Soonchunhyang Univ. Graduate School of Forensic Science, Asan, Chungnam 336-745, Korea

(Received March 17, 2014; Revised July 15, 2014; Accepted July 15, 2014)

반다공성 재질에 유류된 지문의 CA 훈증 후 p-dimethylaminobenzaldehyde(DMAB) 형광시약 적용 시 표면적과 주변 온도, 기압이 형광착색에 미치는 효과에 관한 연구

유제설 · 김주하*

순천향대학교 법과학대학원

(2014. 3. 17. 접수, 2014. 7. 15. 수정, 2014. 7. 15. 승인)

Abstract: It is very important to minimize the damage of latent fingerprints at enhancing the contrast. This study proves the enhancement effects of cyanoacrylate-fumed latent fingerprints using p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) on semi-porous surfaces and the influence factors. The latent fingerprints in experiment were developed for cyanoacrylate treatment in a vacuum chamber and used after drying at room temperature for 24 hours. For fluorescence staining, the cyanoacrylate-developed marks using DMAB were sublimated during 48 hours under the different conditions of surface area, temperature, atmospheric pressure. First experiment showed how surface area effects on the sublimation rate and fluorescence intensity by DMAB of particle size and container size. In addition, the fluorescence staining using DMAB with solvent-free contact method had the greatest fluorescence intensity after 36 hours and a low fluorescence intensity over a certain size of surface area. Second experiment showed that the evaporation of DMAB solid crystals got a satisfying result in a temperature of 20 °C and reduced time to get the greatest fluorescence intensity. It took a long time to get a optimum level of fluorescence intensity at 30 °C or more and it was less effective in fluorescence intensity. Third experiment on the pressure indicated that the fluorescence intensity of vacuum was weaker than nonvacuum but it was inapplicable to very high variations in pressure.

요약: 잠재지문이 유류된 배경과 지문과의 대조비를 높이기 위한 증강작업 시에 잠재지문의 훼손을 최소화하는 것은 매우 중요하다. 본 실험은 반다공성 표면에 유류된 잠재지문을 시아노아크릴레이트 훈증 처리 후 p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) 증강시약을 사용하여 그 효과를 확인하고, 증강효과에 미

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)41-530-4756 Fax : +82-(0)41-530-4755

E-mail : hah71@naver.com

치는 환경적 요인을 분석한 것이다. 실험에 사용된 모든 지문은 시아노아크릴레이트 진공 훈증 후 실온에서 24 시간 건조해 사용하였다. 시아노아크릴레이트 훈증물의 DMAB 형광염색을 위해 표면적, 온도, 기압을 달리한 조건에서 12 시간 단위로 48 시간 동안 승화시켰다. 표면적 영향에 대한 실험에서 물질의 입자크기와 용기의 크기는 DMAB의 승화속도와 형광세기에 영향을 주었다. 또한 무용매접촉법을 적용한 DMAB 형광염색은 36 시간 승화 후 최대 형광세기를 보였고, 일정 표면적 이상에서는 형광세기에 미치는 영향이 저조하였다. 온도에 관한 실험에서 DMAB는 20 °C의 실온에서 가장 잘 승화하였고, 최대형광세기를 얻을 수 있는 승화시간이 48 시간에서 36 시간으로 단축되었다. 또한 30 °C이상의 상온에서는 오히려 적정 형광세기를 나타내는 승화시간이 길어지고, 형광세기에 미치는 영향도 미약했다. 또한 압력에 관한 실험에서는 압력의 변화가 매우 크지 않는 이상 형광세기가 비진공상태에서의 형광세기보다 약했다.

Key words: p-dimethylaminobenzaldehyde, cyanoacrylate fuming, vapor-phase staining, enhancement, semi-porous

1. 서 론

범죄현장에서 용의자를 결정할 수 있는 가장 중요한 요소로 작용하는 것은 바로 현장에 유류된 잠재지문이다. 이처럼 지문의 중요성은 법과학계의 전문가들이 잠재지문의 시각화를 위한 새로운 기법들을 지속적으로 개발하고 있다는 사실에서 살펴볼 수 있다.

지문이 위치한 손가락과 손바닥에는 피지선이 존재하지 않으므로 다량의 지질물질은 생성되지 않는다. 또한 손에서 분비되는 에크린 선의 물질은 주로 수분으로 구성되어 있고, 이 밖에 염분, 아미노산, 젖산나트륨, 요소, 점액단백질, 암모니아 등을 포함한다. 그러나 현장에서 발견되는 잠재지문의 구성성분은 주로 피지선에서 분비되는 지질성분이다.¹ 따라서 손가락 또는 손바닥의 지질성분은 피지물질을 생성하는 신체 부위와의 접촉을 통해 생성되었다고 볼 수 있다.

잠재지문의 현출기법 중의 하나인 시아노아크릴레이트 훈증법은 플라스틱, 절연테이프, 쓰레기봉투, 스티로폼, 탄소종이(떡지), 알루미늄 호일, 나무, 고무, 구리, 금속, 셀로판, 고무줄, 매끄러운 표면의 돌 등과 같은² 비다공성 표면에 유류된 잠재지문 현출에 사용된다.³

순간접착제(alkyl-2-cyanoacrylate ester)를 사용하여 잠재지문을 현출하는 이 기법은⁴ 일본경찰청 산하 범죄수사부에서 1978년 처음으로 창안되었고, 이후 1982년 일본에 주둔해 있던 미군과학수사 실험실과 주류·담배·화기및폭발물단속국 실험실에 근무하던 연구자들에 의해 지문현출용으로 개발되었다. 그 후 미국에 소개된 시아노아크릴레이트 훈증법은 많은 연구자들에 의해 그 기능성이 평가되었고, 더 나아가 감

응도의 향상, 적용범위확장 등의 추가적인 연구도 진행되었다. 현재까지도 시아노아크릴레이트 훈증법의 근본적인 원리와 반응성에 관한 논의는 계속 진행 중이다.²

시아노아크릴레이트는 무색의 단량체이다. 한 입자의 시아노아크릴레이트가 공기 중에 노출되면 증발과 중합반응이라는 두 가지 반응이 경쟁적으로 일어난다. 지문현출을 위해서는 시아노아크릴레이트 증기를 생성해야 하는데, 액상의 시아노아크릴레이트 단량체가 중합반응을 일으키기 전에 증발시켜야 한다. 시아노아크릴레이트 한 방울이 공기 중에 노출되면 바로 증발이 시작되고, 동시에 중합반응이 일어나 시아노아크릴레이트 액상의 경계와 기상에서 흰색의 얇은 고분자막이 형성된다.⁵ 이 고분자막은 미세한 크기의 선 또는 덩어리와 같은 형태로 생성되는데, 이는 잠재지문과 배경사이의 시각적인 대조를 제공하여 지문을 가시화한다.³ 그러나 중합반응으로 생성된 고분자의 막이 두꺼워지게 되면 시아노아크릴레이트 단량체의 공기 중의 증발속도는 감소한다. 따라 일정 시간이 경과하면 액상의 시아노아크릴레이트는 고체덩어리로 변환되어 더 이상은 증발하지 않는다.⁵ 이처럼 시아노아크릴레이트 훈증법은 반응성에 있어 한계치를 갖는데, 이러한 문제점은 1980년대 후반 캐나다 왕립기마경찰 산하 증거분석부 소속의 왓킨(Watkin) 연구원에 의해 일부 개선되었다. 그는 진공챔버를 이용한 시아노아크릴레이트 훈증법을 개발하였다. 이 진공훈증법은 챔버 안의 기압을 조절하여 시아노아크릴레이트의 기화를 가속화시키고, 따라 지문에 지속적인 기체의 흡착을 가능케 한다. 이로 인해 지문 용선은 세밀하게 현출되고, 과훈증 되는 부작용을 갖지 않는다. 그러나 일반

적으로 혼증물이 희미하게 현출되므로 증강작업이 필요하다.² 이를 토대로 본 연구에서는 진공챔버를 활용하여 얻은 시아노아크릴레이트 혼증물을 바탕으로 DMAB 형광염색 실험을 진행하려 한다.

모든 물질의 표면을 다공성과 비다공성의 두 가지의 기준에만 국한되어 분류하기란 쉽지 않다. 따라서 다양한 특성을 지닌 표면에 유류된 지문을 효과적으로 현출하기 위해서는 다공성과 비다공성의 특성을 모두 반영하는 반다공성의 특성 또한 고려해야 한다. 반다공성 표면재질은 액체상 또는 기체상의 물질이 통과하기는 하나, 쉽게 또는 완전히 빠져나가지 않고 지문의 유류물질을 밀어내는 동시에 흡수하는 성질을 가진다. 또한 수용성 성분을 흡수하기는 하나 다공성 표면에서의 흡수보다는 느리며, 지용성 성분이 표면에 흡수되거나 또는 흡수되지 않는다는 특성을 가진다.⁵ 이는 표면재질의 흡수성과 지문 유류물질의 다양한 점성차이에서 비롯된다. 따라서 반다공성 표면에서의 잠재지문 현출은 반드시 비다공성과 다공성의 특성을 모두 고려하여 진행되어야 한다. 이러한 반다공성 표면재질에는 광택의 카드와 광택재질의 잡지커버, 마감 처리 된 목재, 셀로판 등이 있다.⁶

시아노아크릴레이트 혼증법을 통해 만들어진 시아노아크릴레이트 혼증물을 증강하는 경우는 크게 두 가지에 해당한다. 첫째, 혼증 결과가 좋지 않아 선명한 문양을 관찰하기 어려운 경우와 두 번째로는 배경의 밝은 색상으로 인해 지문에 생성된 흰색의 시아노아크릴레이트 중합체가 배경색과 구별되지 않거나, 바탕의 복잡한 문양이 시아노아크릴레이트 혼증물의 문양과 뒤섞여 선명한 문양 관찰이 어려운 경우이다. 이러한 경우에는 주로 강한 형광을 발하는 염색시약을 이용하여 시아노아크릴레이트 혼증물을 증강하는 것이 일반적이라 할 수 있다. 현재 시아노아크릴레이트 혼증물을 증강시키기 위해 후처리로 적용되는 형광시약에는 Rhodamin 6G, Basic Yellow 40, Ardrex, Thenoyltrifluoroacetato Europium Complex (TEC) 등이 있다.⁵ 이와 같은 형광염색시약은 극성 용매에 용해된 후, 최종적으로 이송용매(Carrier Solvent)를 추가하여 제작된다. 이 시약들의 유기용매로 쓰이는 methanol, water, Tergitol 등은 비다공성의 표면에서는 무난하나 반다공성의 재질의 혼증물에서는 배경에 초과적으로 적용되어 대조비를 낮추거나 검체 표면을 녹이고 지워버리는 부작용을 갖는다.⁷ 이와 같은 부작용은 염색제가 액체의 상태로 적용되었기 때문에 발생한다.⁸

본 연구는 시아노아크릴레이트 혼증 후 액체시약을

통한 염색기법의 부작용을 완화하고, 지문의 훼손을 최소화할 수 있는 승화기법을 통해 형광염색이 가능한 DMAB 물질을 소개하고, 이 DMAB 물질의 승화속도와 형광세기에 영향을 미치는 환경적인 요인을 분석하여 DMAB 물질의 적절한 적용법을 제시하고자 한다.

2. 이 론

2.1. DMAB(p-Dimethylaminobenzaldehyde)

액체 상태의 염색시약들을 반다공성 재질의 표면에 적용할 때 발생하는 문제를 해소하기 위한 방법으로 고체상태의 DMAB를 승화시켜, 시아노아크릴레이트 혼증지문을 기체의 형태로 염색하는 방법을 생각할 수 있다. p-Dimethylaminobenzaldehyde(DMAB)는 실온에서 강한 휘발성을 가지며, DMAC에 비해 휘발성이 높다. 또한 DMAB 혼합물은 광냉광 물질을 생산하는데, DMAB가 무색으로 염색되므로 형광관찰을 위해서는 반드시 UV Lamp로 조사하여 관찰해야 형광반응을 볼 수 있다.⁹ 이러한 특성에 따라 DMAB 물질은 이미 조직화학 연구에서 염색과 광냉광 특성 모두를 적용하여 아미노산과 다른 아민류를 시각화하기 위한 염색제로 활용되었다.¹⁰ 이 점을 바탕으로 DMAB 물질은 잠재지문의 형광염색제로 적용될 수 있었다.

이 혼합물의 광냉광 물질은 지문의 용선 사이 공간에 영향을 미치지 않으므로 배경과의 대조비를 높여, 지문 식별에 필수적인 분석을 용이하게 한다. DMAB 분자구조는 벤젠고리에 치환체가 결합해 있어 형광효율을 가진다. DMAB는 분자량 149.19 g/mol의 연한 노란색을 띠는 고체결정이며, 최대 형광도 350 a.u., 최대 반응시간이 48시간이다.¹¹

2.2. 선행연구 분석

Masahisa Takatsu 등은 논문에서 DMAB 물질을 시아노아크릴레이트 혼증지문에서의 기체상 염색시약으로 처음 적용하였고, 용매에 민감한 재질 및 무광택의 거친 표면에 유류되어진 지문에 적용할 수 있는 형광시약임을 발표했다. 또한 DMAB 물질이 시아노아크릴레이트에만 선택적으로 반응한다는 사실도 알아냈다. 또한 실온에서 DMAB의 승화작용을 통한 최대 형광세기는 48시간 적용이 최대임을 실험을 통해 증명했다.⁹

Masahisa Takatsu의 논문이 발표된 직후, Patrick Fritz 등은 DMAB가 아미노산에 반응한다는 논문에 의거하여 종이류에 유류된 잠재지문의 증강시약으로

사용하였다. 고체의 DMAB를 유기용매인 ethyl acetate에 녹여 수용액으로 제조한 뒤, 열처리 또는 자연승화방식을 통해 지문을 현출하였다. 또한 감열지에도 DMAB 염색을 적용하여 현출문을 얻어냈다.¹²

이전의 연구들에서는 DMAB가 형광염색제로서 표면에 따른 적용가능여부와 기존에 사용되었던 시약들과의 비교를 통해 DMAB가 비교적 훼손이 적고 안정적인 염색시약임을 알렸다. 하지만 최대 형광세기를 얻기 위한 형광작용물질의 속도결정단계가 48시간이라는 한계점 또한 시사했다. 따라서 본 연구에서는 이미 선행연구가 이루어진 다공성 및 비다공성 표면이 아닌, 반다공성 표면에 유류된 잠재지문의 시아노아크릴레이트 혼중물에서 DMAB가 형광염색제로 적용가능한지의 여부를 살펴보고자 한다. 또한 최대 발광세기를 얻을 수 있는 반응시간의 축소 여부가 환경적인 요인에 의해 변이될 수 있는지 알아보기 위해 표면적, 온도, 기압 조건을 달리한 실험을 진행하려고 한다.

3. 실험

3.1. 시약

본 실험에서 잠재지문을 현출할 때 사용한 시아노아크릴레이트는 The Finder (Sirchie, USA)로서 ethyl cyanoacrylate 함량이 89.5%, 기타 성분이 9.5%인 제품이다. 시아노아크릴레이트 혼중 후 염색제로 사용한 것은 DMAB (Merck, Germany)이다.

3.2. 장비

진공 챔버 내의 습도와 온도 변화를 측정하기 위해 온습도계(TECPEL 550, TAIWAN)를 사용했으며 장비의 오차율은 온도 ± 0.5 °C, 습도 $\pm 2.5\%$ 이다. 진공챔버에서 시아노아크릴레이트 혼중지문을 현출하기 위해 사용한 진공챔버는 DS-510VS (Daewon Science, Korea)를 사용했고, 장비오차율은 온도 ± 1.5 °C이다. 챔버의 용적은 약 27 L, 최대 진공도는 750 mmHg이다. 또한 시아노아크릴레이트 혼중물에 도포된 DMAB염색제의 형광을 관찰하기 위해 Polilight PL500sc Forensic light source 광원을 사용했다.

3.3. 지문의 유류 및 시아노아크릴레이트 혼중

시아노아크릴레이트는 습도에 민감하게 반응하므로 지문 주변부의 시아노아크릴레이트 흡착을 방지하기 위해 반다공성인 광택재질의 종이에 남아있는 습기를

제거하고, 습도 50~60%, 온도 20~25 °C의 환경에서 지문을 유류하였다. 유류된 지문은 20~25 °C의 적정 실내온도에서 24 시간 보관 뒤, 진공 챔버 안의 상대 습도가 50%인 조건에서 시아노아크릴레이트 혼중하였다. 혼중을 마친 샘플들은 시아노아크릴레이트 중합체가 견고하게 굳어질 수 있도록 실온에서 24 시간 동안 보관 후, 실험에 사용하였다.

3.4. 시약의 제조 및 사용

DMAB 물질 자체의 표면적 차이에 따른 승화도의 차이도 알아보려고 진행한 실험은 DMAB 5 g을 각각 고체결정(crystal), 분말(powder), 용액(liquid)으로 제조하여 실험하였다. 분말은 DMAB 고체결정을 도기로 된 막대사발에 갈아서 제조하였고, 용액은 젖은 표면에 적용할 수 있는 Wet contact용, 젖지 않은 표면에 적용할 수 있는 Dry contact용 용액을 제조하였다.

Wet contact용 시약은 stock solution과 working solution 2 가지를 제조하여 적용 시 섞어서 사용하였다. 우선 ethyl acetate 22 mL에 1 g의 DMAB를 녹인 것에 3 mL의 acetic acid를 추가하여 stock solution을 제조한 후, HFE-7100 9 mL에 1 g의 stock solution을 희석하여 working solution을 제조하였다. Dry contact용 시약은 유기용매인 ethyl acetate 125 mL에 녹여 수용액을 제조하였다.¹² 온도와 기압에 따른 시약은 분말형태의 DMAB를 5 g 사용하였다.

3.5. 사진촬영

각각의 DMAB 염색샘플들은 Rofin Polilight®PL500 (Rofin, Australia)의 방출광(Excitation) 350 nm에서 filter 없이 촬영하였다.

3.6. 표면적에 따른 DMAB 승화도가 지문현출에 미치는 영향

DMAB 물질의 승화속도와 형광세기에 영향을 미치는 환경적인 요인을 분석하기 위하여 온도와 기압에 따른 실험은 분말형태의 DMAB 5 g을 표면적 8 cm²의 유리용기에 담아 실험하였다. 또한 표면적에 따른 DMAB의 승화도의 차이를 알아보기 위하여, DMAB 시료를 각각 크기가 다른 용기에 5 g씩 배분하여 세 번에 걸쳐 실험하였다. DMAB 5 g을 담은 용기의 표면적은 각각 2.45 cm², 8 cm², 18 cm²이다.

첫 번째 실험에서는 고체결정인 DMAB 물질을 그

대로 사용하여 12 시간 단위로 관찰을 진행하였다. 두 번째 실험에서는 고체결정인 DMAB를 미세한 분말로 제조하여 12 시간 단위로 관찰하였다. 세 번째 실험에서는 Wet contact용의 DMAB는 210×297 mm 크기의 A4용지 1 장, 2 장, 3 장을 각각 제조한 2 개의 수용액에 적셔 말린 후, Zip-lock bag에 보관하여 사용하였다. 이 두 종류의 수용액들은 표면적이 승화에 미치는 영향을 알아보기 위한 DMAB 형광염색 시에 사용하였으며, 무용매접촉법을 적용하여 사용했다. Dry contact용은 5 g의 DMAB를 125 mL의 ethyl acetate에 용해한 후 제조하였는데, 이 두 용액 모두 시아노아크릴레이트 혼중물에 무용매접촉법을 적용하여 A4용지의 용지 수를 늘려가며 12 시간 단위로 DMAB 형광세기의 변이를 관찰하였다.

모든 실험진행 시의 온도는 20~25 °C, 습도조건은 50~60%로 통제하였다. 또한 관찰시간은 12시간 단위로 48 시간을 최대로 설정하였다. 모든 DMAB 승화의 용적률을 통일하기 위해 2 L 부피의 밀폐용기에서 실험하였고, 자외선을 차단하여 반응도를 높였다.

3.7. 온도에 따른 DMAB 승화도가 지문현출에 미치는 영향

온도에 따른 DMAB의 승화도 차이를 알아보기 위해 기압조건을 통제한 상태로 분말형태의 DMAB 5 g을 담은 표면적 8 cm² 유리용기를 2 L 부피의 밀폐용기에 혼중물과 같이 넣은 후, 20~60 °C로 설정한 항온항습기에서 실험하였다. 20~60 °C까지 20 °C별로 나누어 총 3 번의 실험을 진행하였고, 각각의 실험은 12 시간 단위로 나누어 48 시간까지 관찰하였다. 또한 모든 DMAB 승화의 용적률을 통일하기 위해 2 L 부피의 밀폐용기에서 실험하였고, 자외선을 차단하여 반응도를 높였다. 그리고 각각의 온도 조건에서 현출된 지문을 Polilight 350 nm의 자외선 광원으로 촬영했다.

3.8. 기압에 따른 DMAB 승화도가 지문현출에 미치는 영향

기압에 따른 DMAB의 승화도 차이를 알아보기 위해 온도조건을 비통제한 상태로 0.00 MPa부터 -0.01 MPa(-75 mmHg)씩 -0.06 MPa(-450 mmHg)까지의 기압으로 총 7번의 실험을 진행하였고, 12 시간 단위로 48 시간까지 관찰하였다. 또한 모든 DMAB 승화의 용적률을 통일하기 위해 2 L 부피의 밀폐용기에서 실험하였고, 자외선을 차단하여 반응도를 높였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 표면적에 의한 영향

4.1.1. 실험결과(1)

Table 1은 DMAB 입자의 상태를 고체결정형과 분말형태로 분류하여 각기 다른 표면적 크기를 가진 용기에서 자연 승화시켰을 때의 DMAB의 형광세기를 보여준다. 첫 번째로 결정형 입자상태의 DMAB 물질을 2.45 cm²의 표면적을 지닌 용기에서 48 시간동안 승화시켰다. 그러나 48 시간이 경과한 후에도 육안으로 관찰하였을 때, 별다른 변화의 차이가 없는 약한 형광세기를 보였다. 표면적이 8 cm²인 용기에서는 48 시간이 경과한 후 밝은 형광세기를 보였다. 또한 표면적 18 cm² 용기에서는 36 시간동안에는 별다른 변이를 보이지 않다가, 48 시간이 지난 후에 매우 밝은 형광세기를 보였다.

두 번째로 분말형 입자상태의 DMAB 물질은 2.45 cm²와 8 cm²의 표면적을 지닌 용기에서 관찰한 결과, 결정형 입자상태의 형광세기와 마찬가지로 48 시간이 경과한 후에도 미미한 형광세기를 보였다. 그러나 18 cm²의 표면적을 가진 용기에서 승화시킨 DMAB 물질은 36 시간이 경과된 후, 48 시간동안 결정형 상태의 DMAB를 18 cm² 표면적의 용기에서 승화시킨 혼중물에서 보이는 형광세기와 같은 형광세기를 보였다. 그리고 48 시간이 경과한 후에는 최대 형광세기를 보였다. 따라서 물질의 입자크기와 용기의 크기에 따른 표면적이 DMAB의 승화속도와 형광세기에 영향을 주는 요인이란 점을 실험 결과를 토대로 확인할 수 있었다.

4.1.2. 실험결과(2)

Table 2는 DMAB 물질을 유기용매에 녹여 입자의

Table 1. Comparison of fluorescence intensity in different surface area(1)

Contact method	Time	Surface area		
		2.45 cm ²	8 cm ²	18 cm ²
Crystal DMAB	12 h	-	*	*
	24 h	-	*	*
	36 h	*	*	*
	48 h	*	**	***
Powder	12 h	*	*	*
	24 h	*	*	*
	36 h	*	*	***
	48 h	*	*	****

fluorescence intensity ****, excellent ; -, none.

Table 2. Comparison of fluorescence intensity in different surface area(2)

Contact method	Time	Surface area 1 sheet of A4 paper	2 sheets of paper	3 sheets of paper
dry contact	12 h	*	*	-
	24 h	*	*	-
	36 h	***	**	**
	48 h	*	*	-
wet contact	12 h	*	-	-
	24 h	*	*	*
	36 h	*	***	*
	48 h	*	**	*

fluorescence intensity ****, excellent; -, none. A4 210 × 297 mm.

상태를 액체화하여 실험하였다. 물질을 액체화하는 과정에 있어 각각 다공성의 젖지 않은 표면, 젖은 표면에 적용할 수 있는 DMAB solution 제조법에 따라 2가지로 분류하여 실험하였다. 우선적으로 2 L부피의 밀폐용기에 빛을 차단하여 시아노아크릴레이트 혼증물에 젖지 않은 표면에 적용할 수 있는 시약이 적용된 A4용지를 무용매접촉법으로 적용하였는데, 표면적이 A4용지 1장인 경우 미미한 형광세기를 보이다가 36 시간이 경과한 후에는 밝은 형광세기를 나타내었다. 그러나 48 시간이 경과한 후에는 다시 형광세기가 감소하는 현상을 보였다. 이는 표면적이 A4용지 2장인 경우와 A4용지 3장으로 표면적이 증가한 경우에도 마찬가지로 결과를 나타내었다. 두 번째로 Wet contact 용 시약을 적용한 무용매접촉법의 경우, A4용지 1장에서는 48 시간이 경과하여도 약한 형광세기를 보였으나 A4용지 2장의 경우 36 시간 경과 후에 밝은 형광세기를 나타내었으며, Dry contact용 시약 적용 시와 마찬가지로 36 시간 이후에서는 다시 형광세기가 감소하는 모습을 보였다.

이로써 무용매접촉법을 적용한 DMAB 형광염색은 36 시간에 최대 형광세기를 보이며, 일정 표면적 이상에서는 형광세기에 미치는 영향이 저조함을 보였다. 이는 DMAB 입자가 승화할 수 있는 용기의 부피가 2 L로 한정되어 있어 입자의 크기 및 입자가 흡수된 표면적이 넓어진 조건과 부합하지 않아 한계점이 발

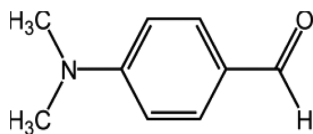


Fig. 1. The structure of p-dimethylaminobenzaldehyde.⁹

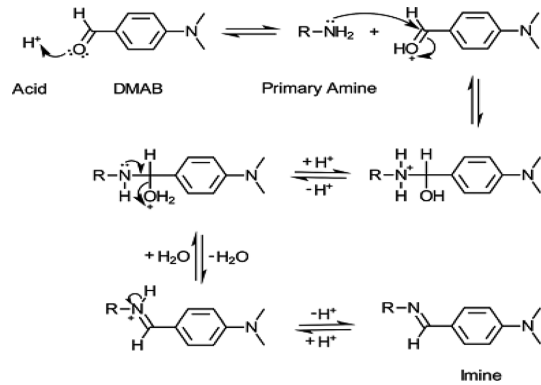


Fig. 2. General reaction mechanism of primary amines and DMAB for the imine formation.¹³

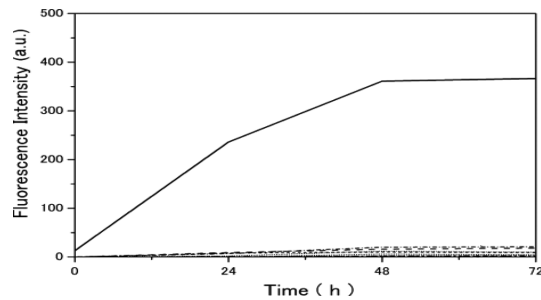


Fig. 3. Increase in fluorescence intensity with p-dimethylaminobenzaldehyde exposing time.⁹

생한 것으로 추정된다. 마지막으로 Dry contact용 시약과 Wet contact용의 각기 다른 시약 적용은 형광세기에 큰 영향을 미치지 않음을 실험결과를 통해 알 수 있었다.

Fig. 4는 DMAB 염색 전 시아노아크릴레이트(CA) 혼증물을 UV 350 nm로 촬영한 것과 DMAB 입자상태에 따라 분류된 결정형, 분말형, 액체형의 각각의 실험에서 가장 밝은 형광세기를 나타낸 혼증물을 촬영한 것이다. A에서 E까지 관찰한 결과, 가장 밝은 형광세기를 나타내는 혼증물은 바로 E이다. 이로써 DMAB의 입자상태가 분말인 형태로 18 cm²의 표면적을 갖는 용기에서 승화하였을 때, 가장 밝은 형광세기를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

4.2. 온도에 의한 영향

Table 3은 DMAB를 각기 다른 온도에서 승화시켰을 때 시간별 DMAB의 형광세기를 보여준다.

20 °C의 온도에서는 24 시간이 경과할 때까지 약한 형광세기를 보이다가 36 시간이 경과했을 때에는 최

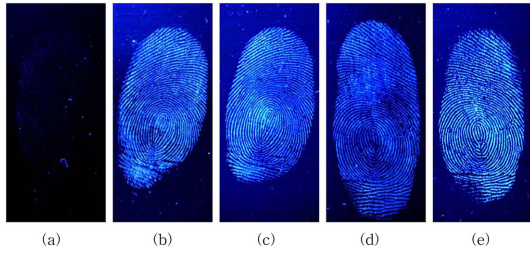


Fig. 4. Latent fingerprint treated with p-dimethylaminobenzaldehyde vapor staining at room temperature after cyanoacrylate fuming and fluorescence observation under UV irradiation (350 nm), (a) latent finger print treated by cyanoacrylate fuming only, (b) fingerprint treated with the dry contact DMAB method for 48 h, (c) fingerprint treated with the wet contact DMAB method for 48 h, (d) fingerprint treated with crystal DMAB vapor staining for 36 h, (e) fingerprint treated with powder DMAB vapor staining for 48 h.

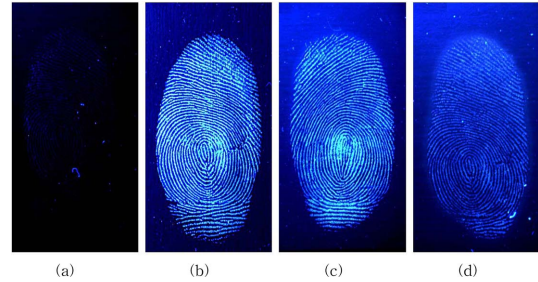


Fig. 5. Latent fingerprint treated with p-dimethylaminobenzaldehyde vapor staining in different temperature after cyanoacrylate fuming and fluorescence observation under UV irradiation (350 nm) (a) latent finger print treated by cyanoacrylate fuming only at 20 degrees celsius, (b) fingerprint treated DMAB vapor staining for 36 h at 20 degrees celsius, (c) fingerprint treated DMAB vapor staining for 48 h at 30 degrees celsius, (d) fingerprint treated DMAB vapor staining for 36 h at 40 degrees celsius.

Table 3. Comparison of fluorescence intensity in different temperature

Temperature Time	20 °C	30 °C	40 °C
12 h	*	*	*
24 h	*	*	*
36 h	****	*	*
48 h	*	**	-

fluorescence intensity ****, excellent; -, none.

대 형광세기를 보였다. 그러나 48 시간 후에는 다시 형광세기가 급감하였다. 30 °C에서는 36 시간 동안 형광세기가 약했다가 48 시간 이후에 약한 형광세기를 보였다. 그러나 40 °C에서는 오히려 48 시간 이후 형광을 나타내지 않았다.

이로써 DMAB는 20 °C의 실온에서 가장 잘 승화하고, 최대형광세기를 얻을 수 있는 승화시간이 48 시간에서 36 시간으로 단축되었다. 또한 30 °C이상의 상온에서는 오히려 적정 형광세기를 나타내는 승화시간이 길어지고, 형광세기에 미치는 영향도 미미함을 알

수 있었다.

Fig. 5는 DMAB 염색 전 시아노아크릴레이트(CA) 혼증물을 UV 350 nm로 촬영한 것과 DMAB를 온도에 따라 분류하여 20 °C, 30 °C, 40 °C의 각각의 실험에서 가장 밝은 형광세기를 나타낸 혼증물을 촬영한 것이다. A에서 D까지 관찰한 결과, 가장 밝은 형광세기를 나타내는 혼증물은 바로 B이다. 이로써 DMAB가 20 °C의 실온에서 승화하였을 때, 가장 밝은 형광세기를 나타낸다는 것을 알 수 있다.

4.3. 기압에 의한 영향

Table 4는 DMAB를 비진공상태인 0.0 MPa의 압력부터 -0.01 MPa단위로 -0.06 MPa까지 압력을 주어 각각 0 mmHg에서부터 -450 mmHg까지의 진공상태별 DMAB의 형광세기를 보여준다.

비진공상태인 0 mmHg에서는 36 시간이 경과한 후 가장 밝은 형광세기를 보였고, 48 시간이 경과한 후에는 형광반응을 보이지 않았다. -75 mmHg(-0.01 MPa)

Table 4. Comparison of fluorescence intensity in different atmospheric pressure

Pressure Time	0 mmHg	-75 mmHg	-150 mmHg	-225 mmHg	-300 mmHg	-375 mmHg	-450 mmHg
12 h	-	-	-	-	*	*	***
24 h	*	*	*	-	*	*	*
36 h	****	**	*	*	**	*	*
48 h	-	*	*	*	*	-	*

fluorescence intensity ****, excellent; -, none.

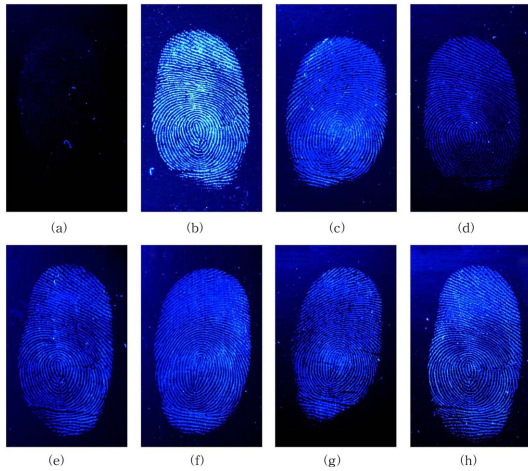


Fig. 6. Latent fingerprint treated with p-dimethylaminobenzaldehyde vapor staining at vacuum container in different pressure after cyanoacrylate fuming and fluorescence observation under UV irradiation(350 nm), (a) latent finger print treated by cyanoacrylate fuming only, (b) latent finger print treated DMAB staining for 36 h at 0 mmHg, (c) latent finger print treated DMAB staining for 36 h at -75 mmHg, (d) latent finger print treated DMAB staining for 36 h at -150 mmHg, (e) latent finger print treated DMAB staining for 36 h at -225 mmHg, (f) latent finger print treated DMAB staining for 36 h at -300 mmHg, (g) latent finger print treated DMAB staining for 36 h at -375 mmHg, (h) latent finger print treated DMAB staining for 12 h at -450 mmHg.

에서는 12 시간이 경과한 후에 형광반응을 관찰할 수 없었다. 그러나 36 시간이 경과한 후에는 밝은 형광세기를 나타냈다. 그리고 48 시간 이후에는 형광세기가 감소하는 현상을 보였다. 이는 -300 mmHg(-0.04 MPa)와 -375 mmHg(-0.05 MPa)의 진공에서도 같은 결과를 보였다. 그러나 -450 mmHg(-0.06 MPa)의 진공에서는 반응 12 시간 만에 밝은 형광세기를 나타내었고, 24 시간 이후에는 형광세기가 감소하였다.

위와 같은 결과를 토대로 DMAB는 압력의 변화가 매우 크지 않는 이상 형광세기가 비진공상태에서의 형광세기보다 약하다는 사실을 알 수 있었다. 또한 적정 형광세기를 얻을 수 있는 승화시간을 단축하기 위해서는 -450 mmHg(-0.06 MPa)이상의 진공상태에서의 승화조건이 적절하다고 판단된다.

Fig. 6는 DMAB 염색 전 시아노아크릴레이트(CA) 혼증물을 UV 350 nm로 촬영한 것과 DMAB를 기압에 따라 분류하여 각각 0 mmHg, -75 mmHg, -150

mmHg, -225 mmHg, -300 mmHg, -375 mmHg, -450 mmHg의 진공상태에서 가장 밝은 형광세기를 나타낸 혼증물을 촬영한 것이다. A에서 H까지 관찰한 결과, 가장 밝은 형광세기를 나타내는 혼증물은 바로 B이다. 이는 DMAB가 비진공상태에서 승화하였을 때, 가장 밝은 형광세기를 나타내므로 DMAB의 형광세기에는 진공압력이 미치는 영향이 크지 않음을 시사했다. 또한 H는 12 시간이라는 매우 단축된 시간 안에 -450 mmHg(-0.06 MPa)의 진공압력으로 비교적 밝은 형광세기를 얻을 수 있음을 보여주었다.

5. 결 론

일반적으로 시아노아크릴레이트 혼증 후, 혼증물의 증강을 위해 사용되는 형광시약은 모두 액체상태의 시약으로 지문을 훼손시킨다. 그러나 자연승화로 형광염색을 하는 p-dimethylaminobenzaldehyde (DMAB)는 지문의 훼손이 적었고, 본래 고체결정성의 입자보다는 분말입자 상태에서 높은 형광세기를 가졌다. DMAB는 승화 48 시간이 경과된 후부터 최대형광세기를 갖는데, 승화조건을 온도를 20 °C로 하였을 때에는 최대형광세기를 36 시간이 경과된 후에 얻을 수 있었다. 그러나 진공상태인 환경에서의 승화는 비진공상태에서의 승화보다 DMAB 형광세기에 별다른 영향을 주지 않았다. 그러나 최대형광세기를 얻을 수 있는 시간의 단축 면에서는 -450 mmHg(-0.06 MPa)의 진공상태에서 12 시간 이상 24 시간 이하 염색 시에 적정 형광세기를 관찰할 수 있었다.

결론적으로 DMAB 형광염색 시 형광세기에 가장 큰 영향을 미치는 환경적인 요인은 온도이며, 두 번째로는 표면적임을 알 수 있었다. 또한 기압은 승화시간을 단축시킬 수는 있으나 최대형광세기를 얻는 조건에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

본 실험에서는 반다공성 표면에 유류된 잠재지문의 시아노아크릴레이트 혼증물에서 DMAB가 형광염색제로 적용가능한지의 여부와 최대발광세기를 얻을 수 있는 반응시간의 축소 여부가 환경적인 요인에 의해 변이될 수 있는지 실험결과를 통해 확인하였다. 그러나 입자크기에 따라 넓어진 표면적이 승화가 일어날 수 있는 공간의 크기와 부합하지 않아 한계점이 발생하였는데, 이는 DMAB 입자가 승화할 수 있는 용기의 부피를 고려하지 않았기 때문이라 추정된다. 따라서 이에 대한 추가연구가 필요할 것으로 생각된다.

Reference

1. L. A. Lewis, R. W. Smithwick, G. L. Devault, B. Bolinger and S. A. Lewis, *J. Forensic Sci.*, **46**(2), 241-246 (2000).
2. H. C. Lee and R. E. Gaensslen, 'Advances in Fingerprint Technology', 2nd Ed., CRC, Washington DC, 2001.
3. M. D. Dadmun, 'Cultivating methods to enhance the quality of aged fingerprints developed by cyanoacrylate fuming', University of Tennessee, Tennessee, 2009.
4. H. C. Lee and R. E. Gaensslen, 'Cyanoacrylate fuming : Theory and procedures', University of New Haven, New Haven, 1984.
5. M. Stoilovic and C. Lennard, 'Fingerprint detection & enhancement: Incorporating the application of optical enhancement techniques in forensic science', Australian Federal Police, Australia, 2005.
6. E. Himpton, L. O. Robinson and J. H. Laub, 'Latent Print Development', U. S. Department of Justice, Washington DC, 2011.
7. E. R. A. Lock, W. D. Mazzella and P. Margot, *J. Forensic Sci.*, **40**(4), 654-658 (1995).
8. J. Brennan, S. Bramble, S. Crabtree and G. Wright, *J. Forensic Ident.*, **45**(4), 373-380 (1995).
9. M. Takatsu, O. Shimoda and H. Teranishi, *J. Forensic Sci.*, **57**(2), 515-520 (2012).
10. F. F. Spot, 'Spot Tests in Organic Analysis', 5th Ed., Elsevier, New York, 1956.
11. Science lab.com Safety Data Sheet, <http://www.sciencelab.com/msds.php/msdsId=9927156/>, Accessed 7 Nov 2013.
12. P. Fritz, W. Bronswijk and S. W. Lewis, *Anal. Methods*, **5**, 3207-3215 (2013).
13. O. A. Adegoke and C. E. Nwoke, *J. Iranian Chemical Society*, **5**, 316-323 (2008).