

## The study on the penetration and washing features of blood on the surface of fabric

Yeounjeung Kim, Jaehee Lim, and Sungwook Hong<sup>★</sup>

*Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea*

(Received October 25, 2016; Revised June 27, 2017; Accepted July 11, 2017)

## 천에 혈액이 침투되는 특성 및 침투된 혈액이 세탁되는 특성 연구

김연정 · 임재희 · 홍성욱<sup>★</sup>

순천향대학교 법과학대학원

(2016. 10. 25. 접수, 2017. 6. 27. 수정, 2017. 7. 11. 승인)

**Abstract:** The absorption of blood onto the surfaces of white cotton, polyester, rayon, and nylon fabrics was studied. Different categories of fabrics (woven and knitted) with diverse thickness, were manually folded twice to obtain four fabric layers, and 100  $\mu$ L of human blood was dropped onto the surface of the fabrics. The amount of blood that penetrated the fabric layer and the shape of bloodstain observed on the fabrics were influenced by the chemistry, thickness, and texture of the fabric. The blood bearing fabrics were left to dry for 3 days, washed by hand using tap water, and Lumiscene was then sprayed onto the fabrics to enhance the latent bloodstain for comparison of the shape of the bloodstain before and after washing by hand. The features of the bloodstain after washing varied greatly with the recipient fabrics. Additionally, stronger luminescence was observed at the surface where the blood was deposited compared to the background. However, it was confirmed that physical contact during the washing can deform the original shape of the bloodstain. The effect of the drying time on the bloodstain after hand washing was also studied. 100  $\mu$ L of blood was dropped on the surfaces of the fabrics and dried for 0, 1, 12, 24, 72 h, and 7 days, then washed by hand, before the bloodstain was enhanced with Lumiscene. The results of this experiment indicated that the increased drying time induces stronger chemiluminescence of Lumiscene. However, after drying of the bloodstain for 7 days, the luminescence of the bloodstain was decreased at the blood deposited site and increased around the blood deposited site.

**요 약:** 흰색 면(cotton), 폴리에스터(polyester), 레이온(rayon), 나일론(nylon) 천(fabric)에 혈액이 흡수 및 침투되는 특성을 연구하였다. 두께와 직조방법(직물 및 편물)이 다양한 천을 두 번 접어서 천이 4 개 층으로 되도록 한 후 여기에 100  $\mu$ L의 혈액을 떨어뜨리고, 이 혈액이 천으로 침투되는 특성을 관찰하였다. 그 결과 혈액이 침투되는 천의 층 수 및 혈액의 모양은 실험에 사용한 천의 섬유 성분, 두께, 직조방법에 따라 달라진다는 것을 알 수 있었다. 혈액을 묻힌 천을 3일 동안 건조한 후 수돗물을 이용해 손빨래하고, 천에

<sup>★</sup> Corresponding author

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

E-mail : [swhong524@naver.com](mailto: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.

남아있는 잠재혈흔을 Lumiscene으로 증강하여 혈액이 천에 부착되었던 모습과 대조하였다. 그 결과 천의 종류에 따라 혈흔이 세탁되는 특성이 다르게 나타났다. 또한 혈액이 침투되었던 곳의 형광이 주변의 형광보다 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 세탁 과정에서 혈액이 물리적으로 문질러져서 원래 혈액이 부착된 모습과 다른 모습의 형광을 관찰할 가능성이 있다는 것을 알 수 있었다. 천에 부착된 혈흔을 건조시키는 시간에 따른 세탁특성도 관찰하였다. 다양한 천에 100  $\mu$ L의 혈액을 떨어뜨린 후, 0, 1, 12, 24, 72시간 및 7일 동안 건조하고, 이 천을 세탁한 후 Lumiscene으로 혈흔을 증강하였다. 그 결과 폴리에스터를 제외한 모든 천에서 혈액을 건조하는 시간이 길어질수록 혈흔의 형광이 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 천에 따라서는 혈흔을 7일 동안 건조하면 혈액이 부착되었던 곳보다 그 주변에서 형광이 더 강하게 나타나는 현상을 관찰할 수 있었다.

**Key words:** bloodstain, fabric, penetration, wash, Lumiscene

## 1. 서 론

강력범죄 현장에는 혈액이 남는 경우가 종종 있다. 혈액은 생물의 유전적 정보를 포함하고 있는 물질로서 피해자-가해자-현장을 연결하는 중요한 증거로 사용될 수 있다.<sup>1</sup> 이러한 사실을 아는 범죄자는 혈흔 증거를 은폐하기 위하여 혈액이 부착된 의복을 폐기하거나 세탁하기도 한다.<sup>2,3</sup> 범죄자가 혈액이 부착된 의복을 세탁하면 대부분 혈액은 물에 씻겨 나가고, 그 결과 의복에는 눈으로 잘 보이지 않는 잠재혈흔(latent bloodstains)만 남는 경우가 대부분이다. 그러나 이 잠재혈흔도 범행을 입증하는 중요한 증거로 사용할 수 있다. 따라서 법과학자들은 luminol, Bluestar 등의 다양한 혈흔증강시약으로 잠재혈흔을 찾아내는 방법을 연구해 왔다.<sup>4,7</sup> 그러나 천에 혈액이 묻어 있어도 천을 세탁하는 방법이나 혈흔의 부착 양에 따라서 잠재혈흔 검출시약을 사용했어도 천에서 혈액이 검출되지 않을 수 있다. 따라서 천에 부착된 혈액이 세탁되는 특성을 아는 것 역시 법과학적으로 중요한 의미가 있다.

이런 문제를 해결하기 위해 법과학자들은 혈액을 유류시킨 다양한 천을 세탁하여 잠재혈흔으로 만든 후 천에 부착된 잠재혈흔을 검출하는 방법을 연구해 왔다. Spector 등은 혈흔을 부착시킨 면(cotton) 또는 셀룰로오스 아세테이트(cellulose acetate) 천을 물로 세탁하고, 이를 혈흔검출시약인 benzidine으로 처리하였을 때, 혈흔을 잡아두는 능력이 더 강한 면(cotton)에서 셀룰로오스 아세테이트보다 혈흔이 더 자주 검출되는 결과를 보인다고 발표하였다.<sup>8</sup> Cox는 혈흔이 묻은 12 가지 혼방 천을 세탁한 후에 혈흔 검출 시약인 phenolphthalein과 o-tolidine으로 처리한 결과, 혈흔의 검출 여부는 혈흔이 부착된 후 세탁되기 전까지 건

조되는 시간에는 영향을 받지 않고 천을 구성하는 섬유에 따라 달라진다고 발표하였다.<sup>9</sup> Mushtaq 등은 혈흔이 묻은 12가지 천(100% cotton, cotton polyester, Keti, Tarawere, Wash and wear, Lawn, Bosky, Polyester, Khaddar, Wool, Silk, Silk polyester)를 세탁시간을 달리 하며 6 가지 세제로 세탁한 후에 leucomalachite green (LMG), tetramethylbenzidine(TMB), Hemastix로 증강하는 실험을 하였다.<sup>10</sup> 그 결과 천을 구성하는 섬유가 혈흔을 흡수하는 정도에 따라 낙하혈흔의 직경이 변하고, 천이 혈흔을 잘 흡수할수록 혈흔에비시약에 양성반응을 나타내는 경우가 증가했다고 발표하였다.<sup>10</sup> 또한 세탁방법이 동일하여도 사용한 세제의 종류에 따라 세탁물에서 혈흔이 검출되는 결과가 달라진다고 하였다.<sup>10</sup> Mushtaq 등은 다양한 혈흔검출시약으로 세탁물에 부착된 혈흔을 검출한 결과 Hemastix, TMB, LMG 순으로 양성반응이 더 잘 나타났다고 발표했다.<sup>10</sup> 그러나 저자가 아는 한, 같은 섬유 종류 중에서도 직조방법이나 두께에 따라 일정한 혈액을 전부 흡수시켰을 때, 혈액이 천에 침투되는 특성과 세탁되는 특성을 함께 비교한 연구결과는 발표되어 있지 않다.

앞서 소개한 모든 논문의 저자들은 실험의 일관성을 기하기 위하여 천에 유류하는 혈액의 양만을 일정하게 유지했고 천의 두께, 직조방법, 짜임새 등에 의해 달라지는 혈액의 흡수되는 양과 세탁되는 특성은 고려하지 않았다.<sup>8-10</sup> 그러나 본 논문의 저자들은, 천에 유류하는 혈액의 양이 일정하더라도 천에 흡수되는 혈액의 양은 달라질 수 있으며 이는 혈액이 천에서 세탁되는 정도에 영향을 미칠 것으로 생각하였다. 또한 혈액이 천에 흡수 및 침투되는 정도는 섬유의 성분뿐만 아니라 천의 두께, 직조방법, 짜임새 등의 영향도 받을 것으로 예상하였다. 따라서 본 연구에서

는 혈액이 천에 흡수 및 침투되는 특성 그리고 천에 흡수된 혈흔이 세탁될 때 천의 두께와 직조방법에 따라 어떻게 영향을 받는지 연구하였다.

선행연구자들은 혈흔검출시약으로 benzidine,<sup>8</sup> phenolphthalein과 o-tolidine,<sup>9</sup> leucomalachite green, tetramethylbenzidine, Hemastix<sup>10</sup>를 사용하였다. 그러나 이런 시약들은 잠재혈흔을 증강하는 목적으로 사용하는 시약이 아니며 luminol보다 감도가 낮은 시약으로 알려져 있다.<sup>11,12</sup> 혈흔검출시약의 감도가 낮을 경우 자칫 혈흔이 있음에도 불구하고 검출하지 못하거나, 혈흔의 양 변화에 따른 응답값의 변화가 크지 않을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 혈흔과 가장 예민하게 반응하는 시약 중 하나라고 알려진 luminol보다도<sup>11,12</sup> 감도가 높은 Lumiscene을<sup>13</sup> 혈흔증강에 이용함으로써 혈흔을 세탁했을 때 천 표면에서 일어나는 형광의 변화를 보다 정밀하게 관찰하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 천의 선정 및 identification code의 부여

100% 면, 폴리에스터, 레이온 천은 직물(woven)과 편물(knitted)을, 나일론 천은 편물을 시장에서 구입하여 사용하였다. 100% 편물 레이온 천은 실생활에서의 의복 재료로 거의 사용되지 않아<sup>14</sup> 구할 수 없었기 때문에 실험 대상에서 제외하였다. 이 천은 10 × 10 cm<sup>2</sup> 크기로 재단하여 실험에 사용하였다.

결과 해석 및 실험 결과 이해의 편의성을 도모하기 위해 준비한 천에는 ‘천을 구성하는 섬유의 성분 - 직조 방법 - 천의 두께’를 의미하는 코드를 부여하였다. 코드에서 CO는 면, PE는 폴리에스터, RA는 레이온, NY는 나일론을 각각 의미한다. 또한 WV는 직물(woven fabric)을 의미하고 KN은 편물(knitted fabric)을 의미한다. 그리고 코드 끝에 있는 숫자는 천의 두께(mm)를 의미한다. 예를 들어 CO-WV-0.25는 두께가 0.25 mm인 직물 면(cotton)을 의미한다.

### 2.2. 혈액 채취, 유류 및 건조

네 명의 자원자로부터 혈액을 채취하였다. 항응고제인 EDTA는 혈액 건조시간에 영향을 미치지 않고, luminol이나 Bluestar와 같은 혈흔증강시약 반응에도 영향을 미치지 않는다는 선행연구 결과를 참고하여<sup>15,16</sup> 혈액은 EDTA가 포함된 채혈용기에 담아 냉장 보관하였다. 실험에 사용한 혈액은 모두 채혈 한 지 7일 이내의 것만 사용하였다. 천을 두 번 접어서 4겹으로 만든 후, 천

으로부터 30 cm의 높이에서 혈액 100 µL를 떨어뜨렸다. 천에 묻힌 혈액은 각각 0, 1, 12, 24, 72시간 및 7일 동안 자연건조하였다. 모든 실험은 3회씩 반복하였다.

### 2.3. 세탁

1 L 비커에 수돗물 500 mL와 세제인 Act'z(피죤, Korea) 1 mL를 넣은 물로 혈흔이 묻은 천을 세탁하였다. 사전조사 결과 한국에서 시판되는 세제의 주성분 및 혼합비율은 큰 차이가 없었기 때문에 세제는 한 가지만 사용하였다. 또한, 실제로 사건과 관련된 의복은 탈이온수가 아닌 수돗물로 세탁하는 점을 고려하여 수돗물을 사용하였다. 이 비커에 혈흔이 부착된 천을 넣고 15 s 동안 손으로 주물러 준 후 이 용액 속에 10 min 동안 방치하였다. 10 min 후 다시 15 s 동안 손으로 주물러 준 후 깨끗한 물 500 mL가 담긴 비커에서 헹궈주었다. 헹구는 과정은 물을 바꾸어가며 5회 반복하였다.

### 2.4. 시약 제조 및 사용

탈이온수 120 mL에 Lumiscene field kit(Loci Forensics B.V., Netherlands)의 Lumiscene 원액 5 mL와 과산화수소 tablet 1 개를 넣어서 Lumiscene 작업 용액을 제조하였다. 작업용액은 스프레이를 이용하여 천으로부터 30 cm 떨어진 거리에서 짧게 3~4번 분사하는 방법으로 천에 적용하였다.

### 2.5. 사진

사진은 Nikon D5300 카메라(Nikon, Japan)를 사용하여 암실에서 촬영하였다. 발광강도를 일정하게 비교하기 위하여 카메라의 촬영조건은 (검체로부터의 거리, 노출, f-stop 등) 모두 동일하게 유지하였다. 천 표면의 구조는 scanning electron microscope (SNE-3000M, SEC, Korea)을 이용해 촬영하였다. 또한 섬유 두께는 digital vernier caliper를 이용하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 천의 표면 특성

먼저 전자현미경으로 실험에 사용한 모든 천의 표면 특성을 관찰하였고, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림을 보면 나일론 천은 다른 천에 비해 매끄럽고 조밀하게 짜인 것을 볼 수 있다.

### 3.2. blank test

혈흔을 묻히지 않은 천을 section 2.3에 보인 방법으

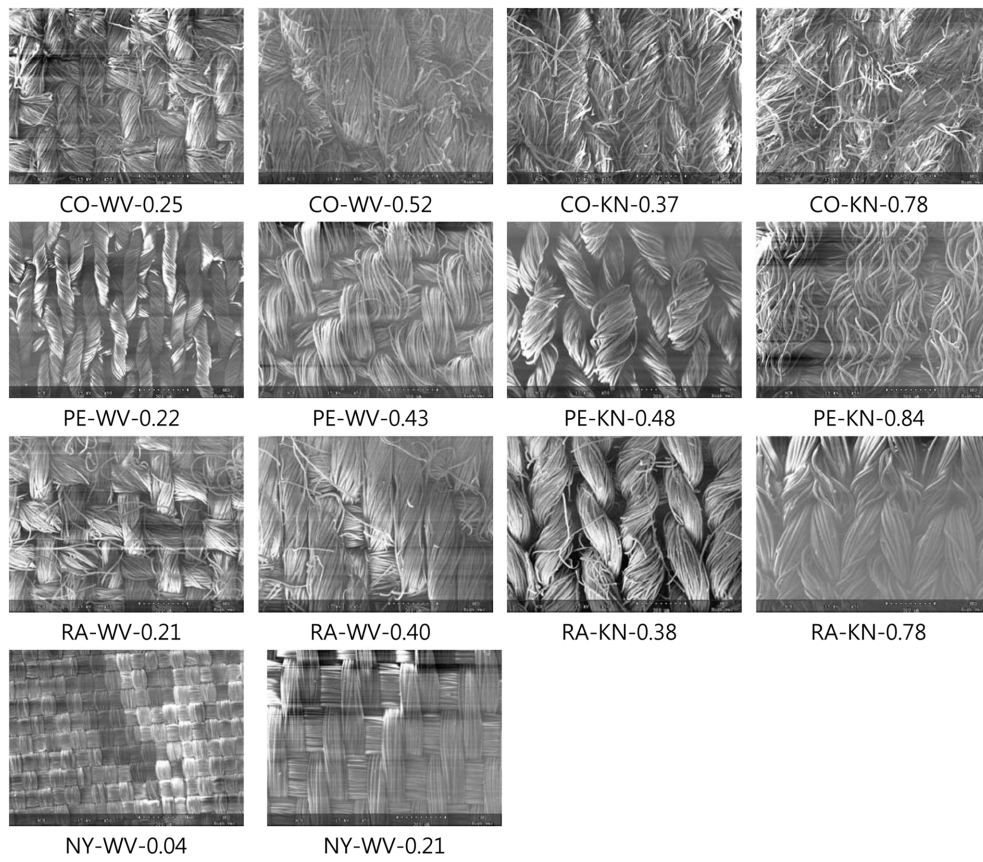


Fig. 1. Scanning electron microscope images ( $\times 50$ ) of textiles.

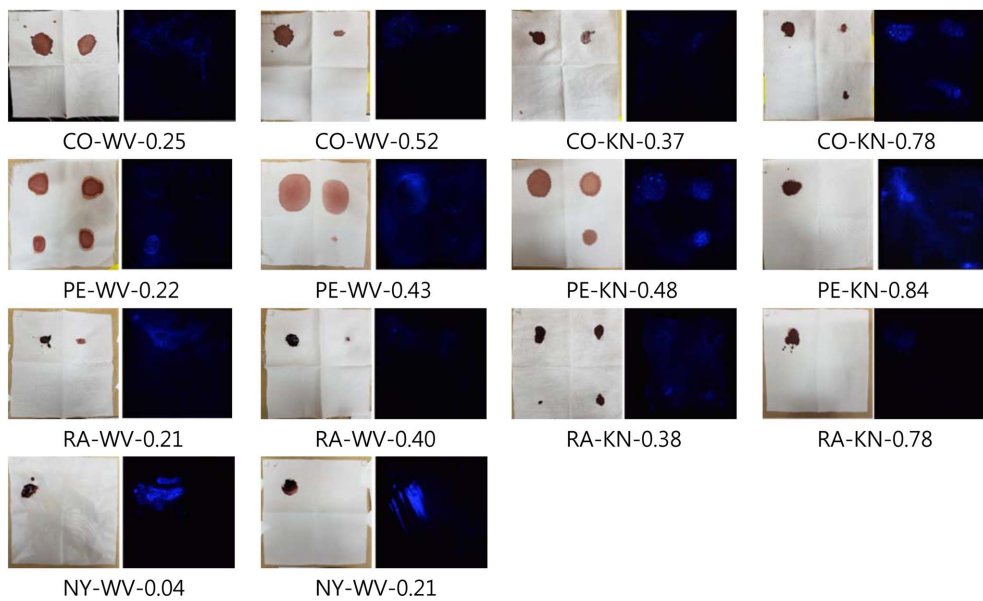


Fig. 2. Blood shapes before washing (left), and latent bloodstain enhancement results from washed fabrics using Lumiscene (right).

로 세탁한 후 Lumiscene 작업용액을 분무하였다. 그 결과 어느 천에서도 형광반응이 나타나지 않았다. 이는 천에서 위양성(false positive)반응이 나타나지 않는다는 것을 의미한다.

### 3.3. 천에 혈흔이 침투 및 세탁되는 특성

다양한 천에 section 2.2에 보인 방법으로 혈흔을 남긴 후 3일 동안 건조하고, 이 천을 section 2.3에 보인 방법으로 세탁한 후에, Lumiscene을 분무했을 때 나타난 결과를 Fig. 2에 보였다. Section 2.2에서 보인 것처럼, 천을 두 번 접어서 4개의 층으로 만들었기 때문에 사진에 보인 각 천의 좌측 상단은 첫 번째 혈흔 층, 우측 상단은 두 번째 혈흔 층, 우측 하단은 세 번째 혈흔 층, 좌측 하단은 네 번째 혈흔 층에 해당한다.

#### 3.3.1. 혈액이 천으로 침투되는 특성

CO-WV-0.25와 CO-WV-0.52, PEWV-0.22와 PE-WV-0.43, PE-KN-0.48과 PE-KN-0.84 천에서 혈액이 침투한 모양을 보면 두께가 두꺼울수록 아래층으로 침투하는 혈액의 양이 줄어든 것을 볼 수 있다. 섬유 성분이 같은 천끼리 비교했으므로, 이는 천의 두께가 두꺼우면 아래층으로 침투하는 혈액의 양이 감소한다는 의미로 해석할 수 있다. 그러나 CO-KN-0.37과 CO-KN-0.78을 비교해 보면, 두께가 얇은 CO-KN-0.37에서는 두 번째 층까지 혈액이 침투하지만 이보다 두꺼운 CO-KN-0.78에서는 세 번째 층까지 혈액이 침투한 것을 볼 수 있다. 또한 PE-WV-0.43과 PE-KN-0.48, RA-WV-0.40과 RA-KN-0.38을 비교해 보면, 이들은 서로 천을 구성하는 섬유의 성분이 같고 그 두께가 서로 비슷한 천이다. 그럼에도 불구하고 혈액이 침투한 모양이 다르게 나타났다. 이런 결과를 볼 때 천을 구성하는 섬유의 성분이 같더라도 혈액이 천으로 침투하는 특성은 천의 두께뿐만 아니라 섬유로 천을 짜는 방법의 영향도 받는 것으로 생각된다.

천의 두께는 비슷하지만 천을 구성하는 섬유의 성분이 다른 경우에도 혈액이 침투되는 현상이 다르게 관찰된다. 한 예로 CO-KN-0.78과 RA-KN-0.78은 두께가 비슷함에도 불구하고 혈액이 침투되는 모습이 다르게 나타났다. 또한 CO-WV-0.25, PE-WV-0.22, RA-WV-0.21, NY-WV-0.21의 네 섬유는 서로 두께가 같거나 비슷하고 섬유의 성분만 다른 천이다. 그러나 혈액이 침투하는 현상은 크게 다르게 나타난 것을 볼 수 있다.

또 다른 예로서, NY-WV-0.04는 다른 천보다 훨씬 얇은 천이다. 그럼에도 불구하고 NY-WV-0.04에서는 혈액이 아래층으로 전혀 침투하지 않은 것을 볼 수 있다. Fig. 1에 보인 천의 전자현미경 사진을 보면, 실험에 사용한 나일론 천은 섬유가 조밀하게 구성되어 있을 뿐 아니라 짜여진 표면이 다른 천 보다 매끄럽기 때문에 혈액이 나일론 천을 침투하지 못한 것으로 판단된다. 이런 결과를 종합해 볼 때, 혈액이 천에 침투되는 현상을 예측하려면 천을 구성하는 섬유의 성분, 천의 두께 및 직조방법 이외에도 섬유의 짜임새도 함께 고려해야 한다는 것을 알 수 있다.

#### 3.3.2. 천에 따른 혈액의 세탁 특성

Fig. 2의 좌측에 보인 천을 3일 동안 건조한 후 세탁하고, 남아있는 혈흔을 Lumiscene으로 증강한 결과를 Fig. 2의 우측에 보였다. 이 결과를 보면 천의 종류에 따라서 혈흔이 세탁되는 특성이 다르게 나타난 것을 볼 수 있고, 이는 Cox 및 Mushtaq의 연구결과와 일치하는 결과이다.<sup>8,9</sup>

실험에 사용한 모든 천에서 원래 혈흔이 부착되었던 곳에서 주변보다 상대적으로 강한 형광이 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 예외도 있다. PE-WV-0.22의 경우에는 특이하게도 3회 반복 실험한 결과 중 한 번은 Fig. 2에서 보인 것처럼 4번째 층(왼쪽 아래)의 형광이 가장 강하게 나타났다. 이는 Lumiscene과 반응하는 heme<sup>14</sup> 성분이 모세관 현상 혹은 물리적 접촉에 의해 네 번째 층으로 많이 이동하였기 때문에 나타난 현상이라고 추정되나 정확한 원인은 밝히지 못했다. PE-KN-0.84, NY-WV-0.04, NY-WV-0.21 등에서는 혈액이 변진 형태의 형광이 나타났다. 천을 손으로 비비면서 세탁했기 때문에 이 과정에서 혈흔이 물리적으로 문질러져서 이런 현상이 생겼다고 생각된다.

Section 3.3.1에서 보이듯이 혈액은 나일론 천을 잘 침투하지 못했다. 그럼에도 불구하고 천을 세탁한 후에는 다른 천에 비해 나일론 천에서 혈흔의 형광이 강하게 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 NY-WV-0.21과 두께가 비슷한 CO-WV-0.25, PE-WV-0.22, RA-WV-0.21에서 관찰되는 형광과 비교하면 쉽게 관찰할 수 있다. 나일론 천과 혈액에는 amide group이 있고,<sup>17,18</sup> 이들이 interaction하여 이런 결과가 나타났다고 생각할 수 있지만 이를 확인하기 위해서는 추가 연구가 필요한 실정이다.

Mushtaq는 혈흔이 세탁되는 정도는 천을 구성하는 섬유 성분의 영향을 받는다고 발표하면서 면이 폴리에

스터 천보다 혈액을 잘 잡아둔다고 발표한 바 있다.<sup>10</sup> 그리고 Cox는 백색 면, 담록색(pale green) 나일론, 밝은 녹색(bright green) 폴리에스터, 감색(navy blue) 나일론 등 다양한 천에 일정한 양의 혈액을 유류 시키고 세탁한 결과 면과 레이온 천 표면에서는 혈흔 양성반응을 얻었지만 나일론이나 폴리에스터 천 표면에서는 음성반응을 얻었다고 발표하였다.<sup>9</sup> 그러나 본 연구에서는 면보다 폴리에스터 천에서 더 강한 형광이 관찰되었고, 이는 Mushtaq<sup>10</sup> 및 Cox<sup>9</sup>의 연구 결과와 상반되는 결과이다. Section 3.3.1에서 보인 결과에 따르면 혈액이 천에 침투되는 특성은 천의 성분, 두께, 직조방법, 섬유 짜임새 등에 따라 달라지는 것을 알 수 있었고, 혈액이 천에 침투되는 특성이 달라지면 세탁되는 특성도 함께 변한다고 예측할 수 있다. 그러나 Mushtaq<sup>10</sup>와 Cox<sup>9</sup>는 자신들의 연구 결과를 발표하면서 천의 크기(엄밀하게는 천과 물의 비율), 천의 직조방법 등에 대해 어떠한 언급도 하지 않았기 때문에 그들의 연구 결과와 본 연구 결과를 연계하여 비교하는 것은 현재로서는 불가능하다. 또한 선행연구에서는 두께를 모르는 접지 않은 천 위에 바로 혈흔을 유류하였기 때문에 천을 투과하여 외부로 손실되는 혈흔이 있었을 지도 모른다. 만약 손실이 있었다면, 천이

혈액을 흡수하고 혈액이 천을 침투하는 정도는 섬유의 종류, 천의 두께, 직조방법에 따라 달라지기 때문에 천에 최종으로 유류되는 혈흔의 양이 천마다 달라질 수 있다. 이는 세탁 후 혈흔을 검출하는 데에 영향을 미칠 수 있지만 현재로서는 그 혈액 손실의 여부를 정확히 알 수 없다.

**3.4. 혈흔 건조하는 시간에 따른 세탁 후 형광특성의 변화**

다양한 천에 section 2.2의 방법으로 혈흔을 남긴 후, 0, 1, 12, 24, 72시간 및 7일 동안 건조하고 section 2.3에 보인 방법으로 세탁한 후에 Lumiscene을 분무하여 나타난 형광을 관찰하였다(Fig. 3~Fig. 6).

혈흔을 부착시킨 후 바로 세탁하면(0시간 건조) 폴리에스터를 제외한 모든 천에서 형광이 거의 나타나지 않았다. 나일론을 제외한 모든 천의 경우 혈액을 부착시킨 후 시간이 지남에 따라 혈흔의 형광이 점차 강하게 나타나는 경향을 보인다. 폴리에스터는 0시간 건조했을 때 바탕 면의 형광이 다른 천에 비해 강하게 나타났다. 이는 혈액이 묻어있는 천을 비커에 담그는 순간 비커에 든 물의 혈액 농도가 증가하고, 물에 희석된 혈액이 다시 폴리에스터 천에 흡수되었기 때

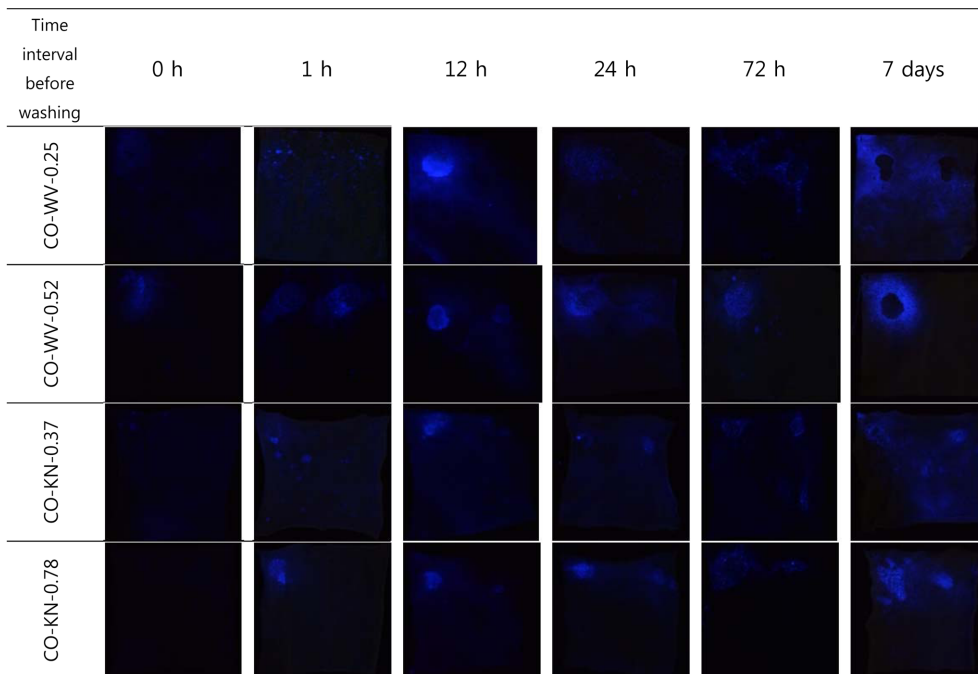


Fig. 3. Luminescence of latent bloodstains observed from the cotton fabrics. The bloodstains were dried for various time intervals before washing.

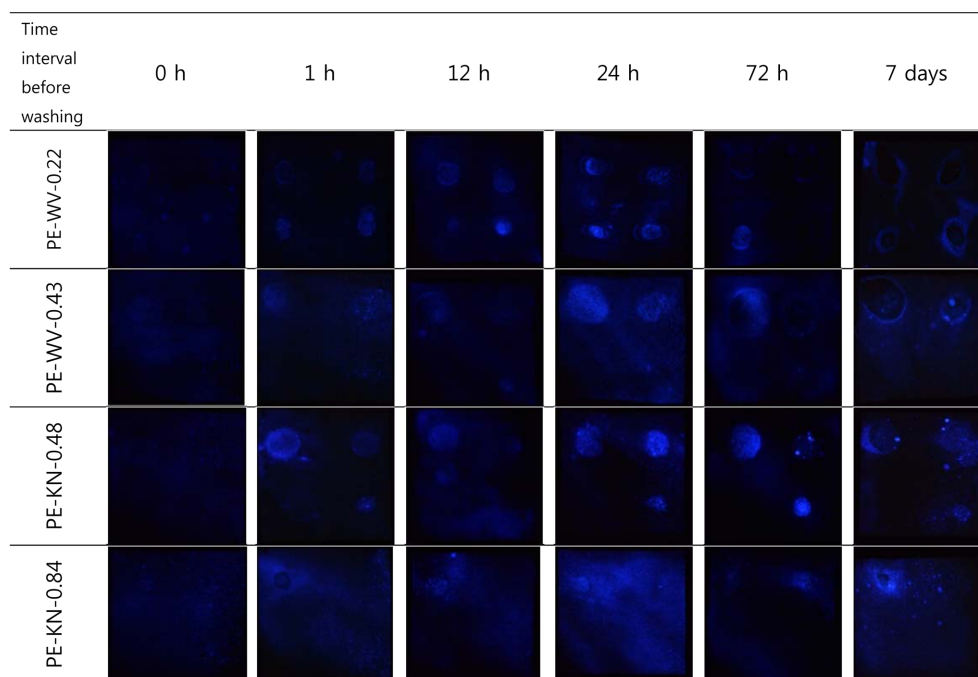


Fig. 4. Luminescence of latent bloodstains observed from the polyester fabrics. The bloodstains were dried for various time intervals before washing.

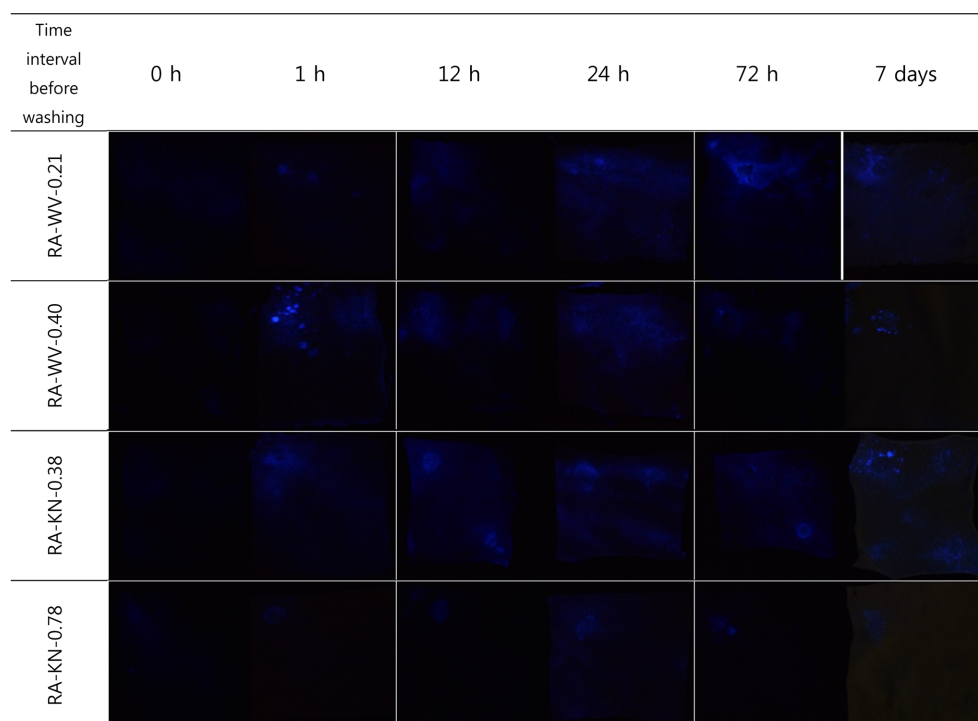


Fig. 5. Luminescence of latent bloodstains observed from the rayon fabrics. The bloodstains were dried for various time intervals before washing.

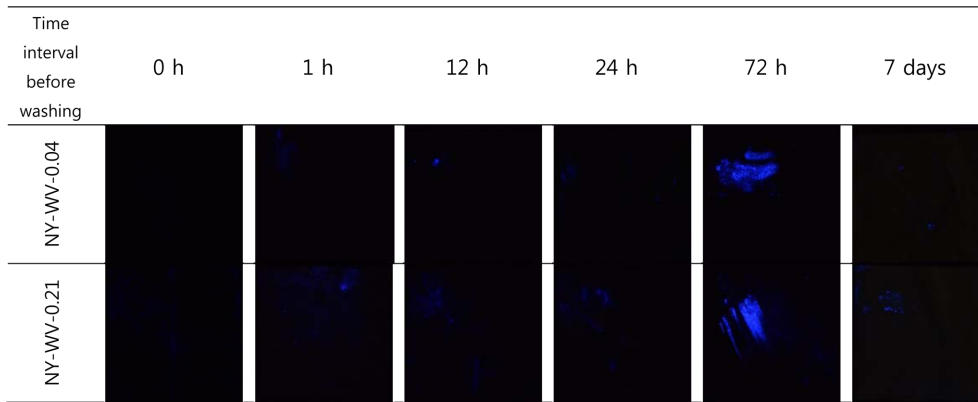


Fig. 6. Luminescence of latent bloodstains observed from the nylon fabrics. The bloodstains were dried for various time intervals before washing.

문이라고 생각된다. 이를 확인하기 위해 혈액이 묻은 동일한 폴리에스터 천을 흐르는 물로 세척한 결과 바탕의 형광이 관찰되지 않았다(결과는 보이지 않았음). 그러나 왜 이런 현상이 폴리에스터 천에서만 나타났는지는 밝히지 못했다.

나일론 천의 경우, 혈흔 건조시간이 0-24시간인 결과에서는 형광이 약하게 나타나다가 혈흔 건조시간이 72시간인 결과 형광이 가장 강하게 나타났고 혈흔 건조시간이 7일인 결과에서는 오히려 형광이 약해지는 현상이 나타났다. 혈액을 나일론 천 위에 떨어뜨리면 혈액이 나일론 섬유 속으로 침투하지 못하므로 나일론 표면 위에서는 다른 천에서보다 두꺼운 혈액 층이 형성되었고, 0-24시간 간격까지는 두꺼운 혈액 층의 내부 혈액은 완전히 건조되지 않은 상태여서 물로 세척할 때 혈액이 모두 씻겨나간 것으로 생각된다. 하지만, 7일 동안 건조하면 혈액이 완전히 건조되어 피딱지 형태로 변하고, 이 피딱지는 물에 용해되지 않고 물리적으로 씻겨나갔기 때문에 이런 현상이 발생했다고 생각된다.

직물 면, 직물과 편물 폴리에스터 천의 경우, 혈액을 유류한 후 7일이 지난 경우에는 혈흔을 처음 유류했던 자리가 검게 나타나고 그 주변의 형광이 증가하는 현상이 나타난 것을 볼 수 있다. Lumiscene은 혈액 속에 포함된 heme과 반응하는 시약이다.<sup>13</sup> 따라서 이런 현상은 혈액 속에 있는 heme이 주변으로 퍼져나가서 생긴 결과라고 생각되지만, 그 원인은 본 연구의 범위를 벗어나기 때문에 밝히지 못했다. 이에 대해서는 별도의 연구가 필요하다.

세탁 전 혈액을 건조하는 시간과 세탁 후 혈액이

천에 남아있는 특성은 Cox에 의해 연구된바 있다.<sup>9</sup> Cox는 1 mL의 혈액을 천에 떨어뜨린 후 최장 48시간 까지 건조한 후 세탁기를 이용해 천을 세탁하고, 천에 남아있는 혈흔을 phenolphthalein과 o-tolidine으로 검출하였다.<sup>9</sup> 그 결과 세탁 전에 혈흔을 건조하는 시간이 짧으면 세탁 후 혈흔이 검출되지 않는다는 결과를 얻었고, 이는 본 연구와 일치하는 결과이다.

#### 4. 결 론

혈액이 천에 침투되는 특성은 섬유의 성분, 천의 두께 및 직조방법 그리고 섬유의 짜임새의 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 혈액이 침투된 천을 3일 동안 건조한 후 세탁하고 남아있는 혈흔을 Lumiscene으로 증강한 결과, 혈액이 침투되었던 부분의 형광이 주변보다 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 세탁 과정에서 혈흔이 물리적으로 문질러져서 원래 처음 유류했던 혈흔의 모습과 다른 모습의 형광을 관찰할 가능성이 있다는 것을 알 수 있었다. 천에 유류한 혈액을 세탁하기 전에 건조하는 시간의 영향을 관찰한 결과, 혈액을 건조하는 시간이 길어질수록 혈흔의 형광이 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 천에 따라서는 혈흔을 7일 동안 건조하면 혈액이 부착되었던 곳보다 그 주변에서 형광이 더 강하게 나타나는 현상을 관찰할 수 있었다. 본 연구를 통해 혈액이 천에 침투되는 특성 및 세탁되는 특성은 천을 구성하는 섬유의 성분, 천의 두께 및 직조방법, 섬유의 짜임새 등에 따라 크게 달라진다는 것을 알 수 있었고, 따라서 혈액이 천에 침투되는 특성 및 세탁되는

특성을 예측해서는 안 된다는 것을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

### References

1. L. Henry, C. Palmbeach, Timothy, Miller and T. Marilyn, 'Henry Lee's Crime Scene Handbook', Academic Press, 2001.
2. S. H. James, P. E. Kish and T. P. Sutton, 'principles of bloodstain pattern analysis: theory and practice', Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis Group, 2005.
3. J. M. Byrne and L. Garnia, *Crime Delinquency*, **52**(2), 203-231 (2006).
4. W. Specht, *Angew Chem.*, **50**, 155-157 (1937).
5. Lefebvre-Despeaux, Jean-Marc. *President of ROC Import Group, Personal communications*, Monte-Carlo (2005).
6. M. D. Watkins and K. C. Brown, *Evidence Technology Magazine*, **4**(2), (2006).
7. S. K. Webb, *The Saint Louise Metropolitan Police*, (2004).
8. J. Spector and D. Von Gemmingen, *J. Can. Soc. Forensic Sci.*, **4**, 3-9 (1971).
9. M. Cox, *J. Forensic Sci.*, **35**(6), 1335-1341 (1990).
10. S. Mushtaq, N. Rasool and S. Firiyaal, *Aust. J. Forensic Sci.*, **48**(1), 87-94 (2016).
11. M. Cox, *J. Forensic Sci.*, **36**, 1503-1511 (1991).
12. F. Barni, S. W. Lewis, A. Berti, G. M. Miskelly and G. Lago, *Talanta*, **72**(3), 896-913 (2007).
13. <http://www.lociforensics.nl/>
14. J. K. Kim and J. H. Park, 'Fashion fabric planning', Kyomunsa, 2013.
15. S. J. Seashols, H. D. Cross, D. L. Shrader and A. Rief, *J. Forensic Sci.*, **58**(1), 130-133 (2013).
16. J. Pex and N. Hurley, *International Association of Bloodstain Pattern Analysts News December*, 1990.
17. M. I. Kohan, 'Nylon Plastics Handbook', Munich: Carl Hanser Verlag, 1995.
18. J. B. Henry, E. d. 'Clinical Diagnosis and Management by Laboratory Methods', 12th Ed., W. B. Saunders Company, Philadelphia, 2001.