



연구단보: 전사테이프에 부착된 섬유의 양상에 따른 효율적인 채취법 연구

서지연 · 이가영¹ · 허수진² · 최항빈³ · 이현영⁴ · 성태명^{5,*}

충남대학교 과학수사학과, ¹경찰대학교 치안대학원, ²부산가톨릭대학교 대학원 법과학전공,
³한국과학수사학회, ⁴동국대학교 경찰사법대학원, ⁵대전보건대학교 경찰과학수사학과

Technical Note

A Study on the Efficient Collecting Methods of Fibers from Tape Lifts Based on Fiber Types

Ji-yeon Seo, Ga Young Lee¹, Su-jin Heo², Hyang Bin Choi³,
Hyun Young Lee⁴, and Tae-myung Sung^{5,*}

Department of Scientific Criminal Investigation, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

¹Graduate School of Police Studies, Korean National Police University, Asan 31539, Korea

²Graduate School of Forensic Science, Catholic University of Pusan, Pusan 46252, Korea

³The Korean Academy of Scientific Criminal Investigation, Daejeon 34186, Korea

⁴Graduate School of Police Law, Dongguk University, Seoul 04620, Korea

⁵Department of Forensic Science, Daejeon Health Institute of Technology, Daejeon 34504, Korea

*E-mail: sungtm@hit.ac.kr

(Received May 30, 2023; Revised May 30, 2023; Accepted August 28, 2023)

요약: 섬유는 사건·사고와 관련하여 가해자와 피해자 또는 사건현장과의 상호 관련성을 입증할 수 있는 유용한 미세증거물이다. 섬유를 채취하는 가장 일반적인 방법은 전사테이프법으로 추가적인 시험을 위해서는 테이프에 부착된 섬유를 슬라이드 글라스 또는 금속판에 옮겨야 하는데 효율적인 방법에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 국내·외에서 활용되고 있는 섬유채취법을 토대로 섬유의 양상에 따른 효율적인 채취법을 다음과 같이 검토하였다. 핀셋으로 집을 수 없는 미세 색상섬유는 투명점착판 분리채취법이 적합하였고, 비교적 큰 섬유의 색상섬유를 소량 채취할 경우 V형 절단채취법이 효율적으로 판단되었다. 다수의 큰 색상섬유는 점착면 개방채취법이 적합하였으며, 흰색계 섬유는 검정시트 활용 채취법이 효율적이었 다. 이와 같이 전사테이프에 부착된 섬유의 크기 및 색상에 따른 적절한 채취법을 선택한다면 섬유 채취시간을 획기적으로 줄여 섬유증거물 분석의 용의성과 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract: Fibers are useful trace evidence that can establish a connection between perpetrators and victims or crime scenes in incidents and accidents. The most common method of collecting fibers is tape-lifting, but there is a lack of research on efficient methods for transferring the fibers from the tape to a glass slide or metal plate for further examination. Therefore, based on fiber collection methods used domestically and internationally, efficient collection methods based on fiber types have been examined as follows: Small color fibers that cannot be picked up with forceps are suitable for the transparent adhesive film separation collection method; For a few relatively larger color fibers, V-cut collection method is efficient; For multiple large color fibers, the adhesive-face open collection method is appropriate; When collecting white fiber types, it seems to be efficient to use a black sheet background. By selecting the appropriate collection method based on the

size and color of fibers attached to the tape, the time for fiber analysis during the collection process can be significantly reduced, thereby increasing the utility and reliability of fiber evidence.

Key Words: fibers, tape lifting, capillary action, adhesive film separation collection, V-cut collection method, adhesive-face open collection method

서 론

섬유는 범죄 입증에 널리 활용되는 증거물 중 하나로서 “모든 접촉은 흔적을 남긴다”는 로카드의 교환법칙¹에 잘 적용되며 다양한 사건·사고에서 가해자와 피해자 또는 사건 현장과의 상호 관련성을 입증하는데 유용한 증거물이다. 섬유 증거물은 용의자 자백의 진위여부 입증²에도 활용될 수 있고, 범행에 사용된 범행도구의 추정³ 또는 사고 관련 차량의 추정^{4,5}에 이용되는 등 다양하게 활용될 수 있다.

섬유의 동일성 여부 확인은 외관형상, 섬유 자체의 성분, 색상을 보이는 염료, 첨가제 등을 비교하여 판단할 수 있으며, 주요 분석법으로는 용해도,⁶ 녹는점,⁷ 섬유의 단면⁸⁻¹¹ 비교와, 편광현미경분석법,¹² 현미적외선분광법,¹³ 현미분광광도법,¹⁴⁻¹⁸ 적외선분광분석법,¹⁹⁻²¹ 열분해-기체크로마토그래피/질량분석법,²² 액체크로마토그래피/질량분석법,^{23, 24} 모세관전기영동법,²⁵ 유도결합플라즈마-질량분석법,²⁶ 및 X-선 형광분석법²⁷ 등 다양한 분석법을 이용하여 동일성 여부를 판단할 수 있다.

한편, 가해자, 피해자 또는 사건현장 등으로부터 섬유를 채취하는 방법으로 국내에서는 Frei-Sulzer에 의해 소개된 전사테이프법²⁸이 가장 널리 활용되고 있다. 일반적인 전사테이프는 겉면이 투명점착판이고 바탕면은 흰색대지판으로 구성되어 있으며, 흰색계 섬유를 제외한 색상섬유를 관찰하는 것에는 적합하나 흰색계 섬유에는 식별력이 떨어지는 단점이 있다.

법과학기관에 의뢰되는 대부분의 시료 섬유를 크기 및 색상에 따라 분류하면, 1) 핀셋으로 집을 수 없는 미세 색상섬유, 2) 소수의 색상섬유, 3) 다수의 색상섬유, 그리고 4) 전술한 흰색계 섬유로 분류할 수 있을 것이다. 섬유 분석을 위해 전사테이프에 부착된 다양한 섬유를 슬라이드 글라스 또는 금속판으로 옮겨야 하며, 섬유의 상태에 따라 적합한 방법을 활용해야 시간과 노력을 줄일 수 있다. 저자들은 FBI (Federal Bureau of Investigation)의 섬유분석가 교육 프로그램에서 활용된 방법²⁹을 준용하여 비교적 큰

한 올 섬유를 모세관작용에 의한 용제전기로 신속하고 간단하게 채취할 수 있는 분석법³⁰을 소개하였으나 부착 섬유의 크기 및 채취 수량 등 섬유의 상태에 따른 적절한 채취법에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

국내·외에서 널리 활용되고 있는 섬유 채취법 중 비교적 효율적인 방법으로 판단되는 채취법을 준용하여 부착섬유의 양상에 따른 적절한 채취법을 다음과 같이 검토하였다. 매우 작은 색상섬유는 투명점착판을 밀면서 섬유가 빠져나오게 하는 방법(이하 투명점착판 분리채취법)이 효율적이었고, 소수의 색상섬유는 투명점착판을 V형³⁰으로 자른 후 섬유를 채취하여 슬라이드 글라스 또는 금속판으로 옮기는 방법(이하 V형 절단채취법)이 적합하였다. 또한, 다수의 색상섬유는 섬유 부착부위가 개방된 상태에서 채취하는 방법³⁰(이하 점착면 개방채취법)이 적절하였으며, 흰색계 섬유는 검정시트를 투명점착판과 흰색대지판 사이 또는 투명플라스틱판 밑에 놓은 상태에서 채취하는 방법(이하 검정시트 활용채취법)이 용이성과 신속성 측면에서 적합하였다.

이와 같이, 전사테이프에 부착된 섬유의 부착양상에 따른 적절한 채취법을 활용함으로써 슬라이드 글라스 또는 금속판에 섬유를 옮기는데 소요되는 많은 시간과 노력을 획기적으로 단축시켜 섬유분석의 용이성과 신뢰성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된 연구 결과를 보고한다.

재료 및 방법

1. 투명점착판 분리 채취법

전사테이프(투명점착판 및 흰색대지판)에 부착된 시료 섬유를 광학현미경(Nikon SMZ 745T, Nikon, Japan)의 40배율에서 관찰하고 섬유 주위를 네임펜으로 사각형 표시를 하였다. 표시한 부분의 투명점착판을 메스로 절단한 후 핀셋으로 집어 슬라이드 글라스로 또는 금속판에 부착시킨다. 이어서 마이크로피펫으로 Xylene (약 0.5 μ L)을 점착판의 절단부위에 가하

여 점착제 성분을 용해시키고, 핀셋의 끝 부분으로 점착판을 한쪽으로 밀어 섬유를 점착판에서 분리하였다.

2. V형 절단채취법

V형 절단채취법은 저자의 선행연구 방법³⁰을 준용하였으며, 현미경의 40배율에서 섬유를 관찰 및 표시하고 섬유부위의 투명점착판을 V형으로 절단한 후 슬라이드 글라스 또는 금속판에 점적된 Xylene (약 2 μ L)에 핀셋(Dumont tweezer, Style 5, Dumoxel, PA, America) 끝이 맞닿은 상태에서 터치한 다음, 섬유 부착부위에 핀셋 끝을 접촉 및 벌려 Xylene을 전이시켜 점착제 성분을 용해시켰다. 핀셋으로 섬유를 집어 슬라이드 글라스 또는 금속판의 앞서 점적된 Xylene에 2~3회 터치하여 섬유를 핀셋 끝에서 Xylene으로 이동시켰다. 슬라이드 글라스 또는 금속판을 핫플레이트에서 가열(약 60°C)하여 Xylene을 증발시켜 제거하였다.

3. 점착면 개방채취법

점착면 개방채취법은 저자³⁰가 보고한 시험법을 준용하였으며, 현미경의 40배율에서 관찰하였다. 분석대상 섬유를 관찰하고 투명점착판 겉면에 표시한 후 한 줄의 양면테이프가 부착된 투명플라스틱판(전사테이프보다 큰 면적)에 투명점착판 겉면을 붙인 다음에 투명점착면과 흰색대지판을 분리하였다. 슬라이드 글라스 또는 금속판에 원형을 다수 표시한 후 섬유의 구별 정보를 기록하고 Xylene을 약 2 μ L씩 가하였다. 핀셋 끝을 점착한 자일렌에 접촉한 후 채취 섬유에 핀셋 끝을 터치 및 끝을 벌려 Xylene을 옮겨 점착제 성분을 용해시켰다. 핀셋으로 섬유를 집어 슬라이드 글라스 또는 금속판의 점착해 놓은 Xylene에 2~3회 터치하여 섬유가 핀셋에서 탈락되도록 하여 채취하였다. 슬라이드 글라스 또는 금속판을 핫플레이트에서 가열(약 60°C)하여 Xylene을 증발·제거하였다.

4. 검정시트 활용채취법

가. 투명점착판 분리채취법에 의한 흰색계 섬유의 관찰 및 절단은 검정시트를 투명점착판과 흰색대지판 사이에 넣은 상태에서 현미경의 40배율로 수행하였고, 추가적인 절차는 색상 섬유 채취와 동일한 방법으로 실시하였다.

나. V형 절단채취법에 의한 흰색계 섬유 채취는 저자³⁰가 보고한 시험법에 따랐으며, 현미경의 40배율에

서 수행하였다. 투명점착판과 흰색대지판 사이에 검정시트를 넣어 흰색계 섬유를 관찰 및 채취하였으며, 추가적인 절차는 색상 섬유 채취와 동일한 방법으로 수행하였다.

다. 점착면 개방채취법에 의한 흰색계 섬유 채취는 저자³⁰가 보고한 시험법을 준용하였으며, 현미경의 40배율에서 관찰 및 채취하였다. 투명 플라스틱판 밑에 검정시트를 놓고 흰색계 섬유를 관찰 및 채취하였으며, 추가적인 절차는 점착면 개방채취법과 동일한 방법으로 수행하였다.

결과 및 고찰

다양한 사건·사고에서 가해자와 피해자 또는 현장과의 상호 관련성 입증 및 사건재구성을 위하여 섬유를 채취하는 가장 일반적인 전사테이프법²⁸으로 간단하고 신속한 채취법으로 널리 활용되고 있다. 섬유의 동일성 여부를 판단하기 위해서는 다양한 분석법들이 필요하고, 이를 위해서는 전사테이프에 부착된 섬유를 슬라이드 글라스 또는 금속판 등으로 옮겨야 하는 경우가 많다. 이 과정은 섬유분석에서 많은 시간과 노력이 드는 과정으로 섬유의 크기, 색상, 채취수량 등에 따라 적절한 채취법이 요구되며, 분석기관의 여건에 따라 고유한 방법을 사용하고 있는 실정이다.

저자들이 파악한 바로는 전사테이프에서 섬유를 채취하는 방법으로는 미국 연방수사국(FBI)의 교육프로그램에서 사용하는 V형 절단채취법²⁹과 모세관작용을 이용한 섬유 채취법³⁰ 정도가 알려져 있으며, 섬유에 양상에 따른 효율적인 채취법에 대한 포괄적인 검토는 미흡한 실정이다. 따라서, 섬유의 상태에 따른 다양한 시험법에 대한 용이성과 신속성의 관점에서 다음과 같이 검토하였다.

1. 미세 색상섬유 채취법 검토

핀셋으로 집을 수 없을 정도로 작은 미세 색상섬유는 투명점착판 분리채취법이 적합하였고, Fig. 1과 같이 채취하는 방법이 효율적이었으며 핀셋을 활용한 채취법은 부적합한 것으로 판단되었다. 전사테이프의 섬유 부착부위 주위를 사각형으로 절단한 후 투명점착판을 핀셋으로 집어 슬라이드 글라스 또는 금속판에 옮기기 때문에 현미경으로 관찰될 수 있는 섬유라면 어떠한 종류의 작은 미세섬유라도 효과적으로 채취할 수 있었다. 또한 전사테이프에 부착된 섬유의 점착제성분을 자일렌으로 용해시킨 후 투명점착판을

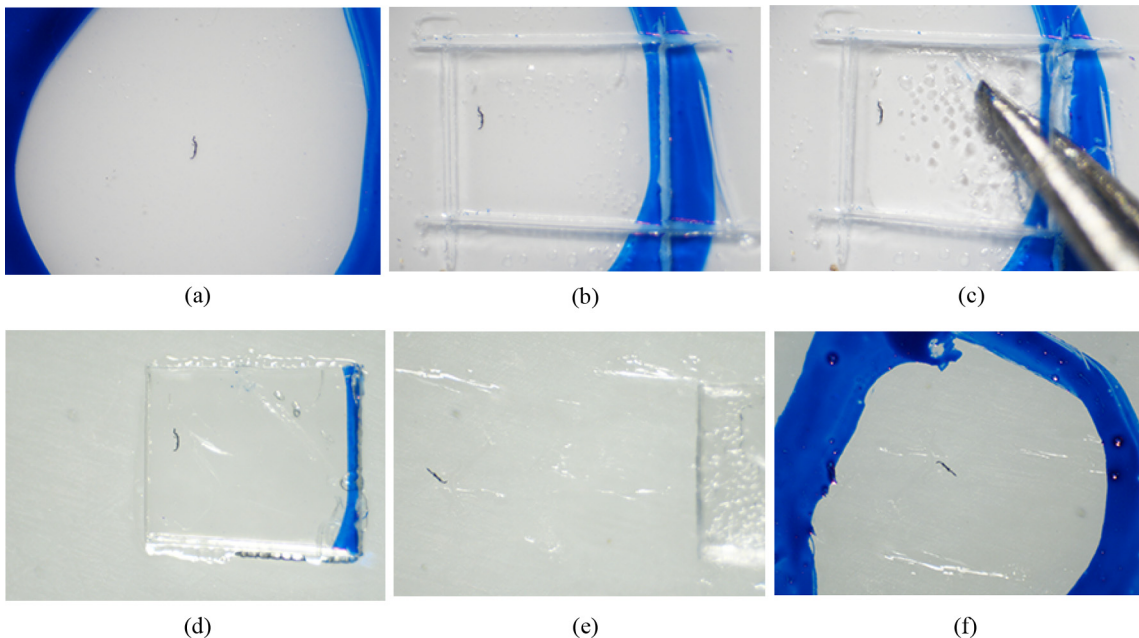


Fig. 1. Principal procedure of the transparent adhesive film separation collection method.* (a) mark a fiber to collect, (b) cut an adhesive sheet into squares using a scalpel, (c) pick up the adhesive sheet with forceps, (d) place the cut adhesive sheet on a slide glass and then apply about 0.5 μ L of xylene, (e) move the adhesive tape to one side to separate fiber, (f) mark the location of the separated fiber for further testing. *Images are presented in a flipped orientation, because in optical microscope, the images appear inverted.

한쪽으로 밀어 섬유를 분리하기 때문에 미세섬유 뿐만 아니라, 비교적 큰 섬유의 채취에도 활용할 수 있었다. 그러나 점착제가 많은 전사테이프의 경우 섬유가 점착제 속에 묻혀 분리가 잘 되지 않는 특성이 관찰되었다. 이러한 단점을 해결하기 위해서는 절단부위의 한쪽면은 부착섬유의 근접 부위에서 자르거나 점착제성분이 소량 함유된 전사테이프를 사용하는 방법이 적절한 것으로 판단되었다.

2. 소수의 색상섬유 채취법 검토

소수의 색상섬유 채취는 저자³⁰가 발표한 V형 절단 채취법을 이용하여 Fig. 2와 같이 채취하는 것이 단순성, 용이성 및 신속성 측면에서 효율적인 것으로 판단되었다. 섬유 부착부위 주위를 V형으로 절단한 후 핀셋 끝을 맞닿은 상태에서 자일렌이 점적된 슬라이드 글라스 또는 금속판에 접촉한 후 부착섬유에 선택적으로 자일렌을 옮겨 점착제 성분을 용해시킴으로써 몇 방울의 Xylene을 사용하는 FBI (Federal Bureau of Investigation)의 방법²⁹보다 절차도 간단하고 인체에 대한 유해성도 크게 줄일 수 있는 방법으로 판단되었다. 또한 잔존하는 Xylene을 핫플레이트(약 60°C)에서

증발 및 건조시킴으로써 섬유분석 시간을 크게 줄일 수 있었다. 투명점착판 분리채취법 및 점착면 개방채취법도 핀셋으로 집을 수 있는 크기의 소수 색상섬유 채취에 활용이 가능하였으나 채취절차가 더 복잡하기 때문에 단순성, 용이성 및 신속성 측면에서는 V형 절단채취법이 보다 효율적인 것으로 판단되었다.

3. 다수의 색상섬유 채취법 검토

섬유 증거물의 증명력을 높이는 방법 중의 하나는 가능한 많은 수의 동일 섬유를 확인하는 것¹⁵으로, 다수의 색상섬유 채취는 저자³⁰가 보고한 방법을 이용하여 Fig. 3과 같이 수행하는 것이 효율적인 것으로 판단되었다. 투명점착판의 겉면을 양면테이프가 부착된 투명플라스틱판에 부착시키고 섬유의 부착부위를 노출시킴으로써 전사테이프의 절단 없이 핀셋 끝의 모세관작용을 이용하여 섬유부착부위에 Xylene을 전이시켜 점착제성분을 용해시킨 후, 핀셋으로 섬유를 채취하여 점적된 Xylene에 떨어뜨려 채취하는 방법으로 다수의 섬유를 간단하고 신속하게 채취할 수 있는 것으로 판단되었다.

그러나 섬유 부착부위가 노출됨으로써 다른 섬유에

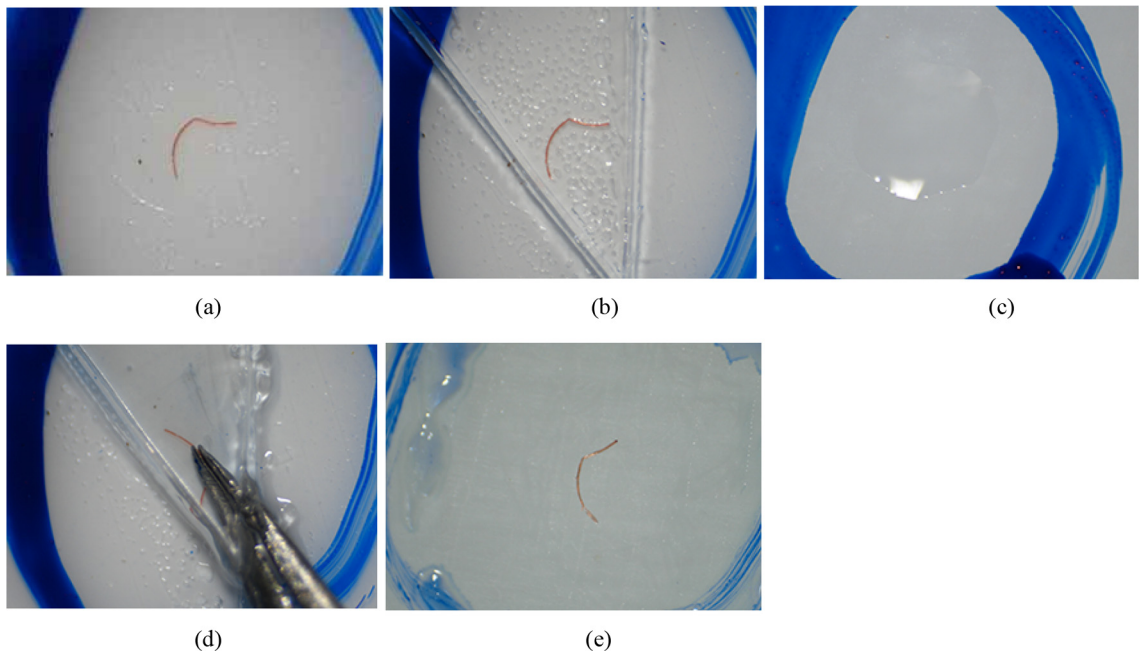


Fig. 2. Principal procedure of the V-cut collection method*. (a) Mark a target fiber, (b) cut a transparent adhesive sheet in a V-shape and lift the cut portion, (c) add 2 μ L of xylene onto the position where the fiber will be placed on a slide glass, (d) after touching the forceps to the 2 μ L xylene, transfer it onto the fiber and then pick it up, (e) touch the fiber to the 2 μ L xylene, allowing it to drop, then let it dry and mark it. *Images are presented in a flipped orientation, because in optical microscope, the images appear inverted.

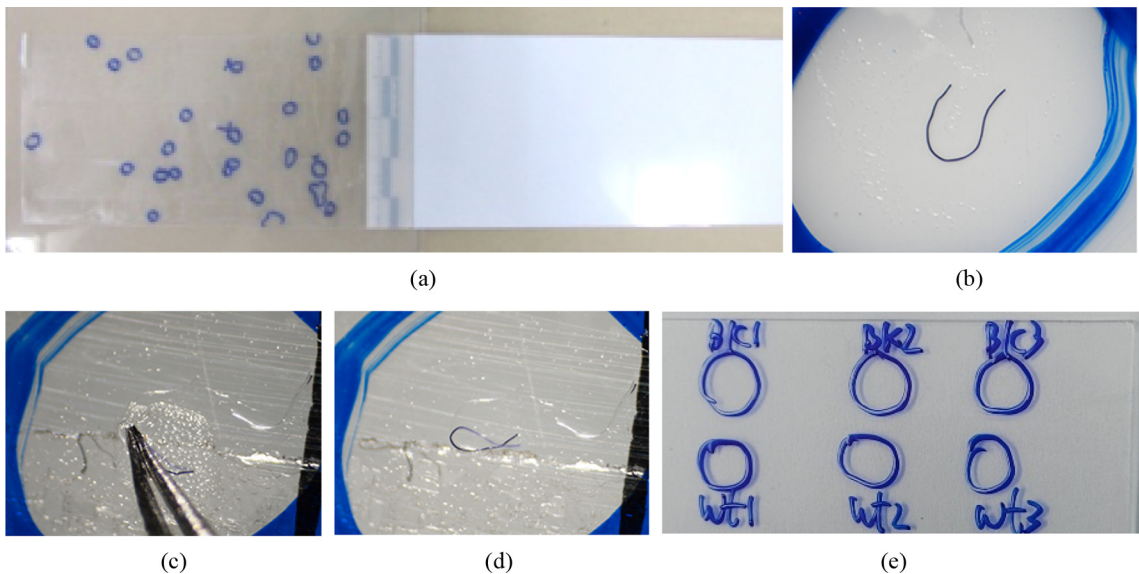


Fig. 3. Principal procedure of the adhesive-face open method*. (a) after observing fibers, fix the outer surface of the adhesive sheet onto a transparent plastic plate using double-sided tape, and expose the fiber attached side, (b) single enlarged fiber in a mark, (c) after touching 2 μ L xylene on a slide glass, pick up the fiber by contacting the tip of forceps, (d) place the fiber on the xylene-applied area and let it dry, (e) a slide glass for collecting multiple fibers. *Images are presented in a flipped orientation, because in optical microscope, the images appear inverted.

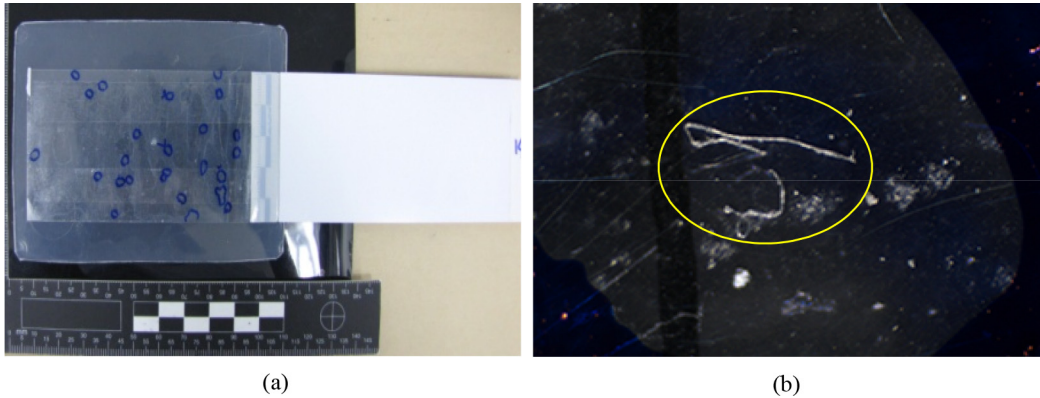


Fig. 4. Principal procedure of collecting white fibers. (a) place the black sheet underneath the transparent plastic plate, (b) a white fiber is observed clearly.

Table 1. Comparing collection methods of fibers based on fiber size and quantity

Collection method	Advantages	Disadvantages
Transparent adhesive film separation collection method	Suitable for microfibers Suitable for minority fibers	Not suitable for majority fibers
V-cut collection method	Suitable for minority fibers	Not suitable for microfibers not suitable for majority fibers
Adhesive-face open collection method	Suitable for majority fibers	Not suitable for microfibers not suitable for minority fibers
Black sheet background method	Suitable for white-type fibers	Contamination of other fibers

의한 오염의 가능성이 증가되므로 용의자의 섬유 및 대조 섬유를 상이한 실험실에서 분석한 후 동일성 여부를 판단해야 할 것으로 생각되었다. 투명접착판 분리채취법 및 V형 절단채취법은 각 섬유의 부착부위를 메스로 절단하는 등의 절차가 비교적 복잡한 채취법으로 다량의 색상섬유를 신속하게 채취하기에는 부적합한 것으로 판단되었다.

4. 흰색계 섬유 채취법 검토

흰색계 섬유를 흰색대지판에서 관찰하는 것은 고도의 집중력을 요구하는 작업으로 섬유분석 전문가에게는 매우 비효율적인 방법일 것이다. 이러한 단점을 극복할 수 있는 채취법은 저자³⁰가 보고한 방법으로 검정시트를 투명접착판과 흰색대지판 사이에 넣은 후, 미세섬유 또는 소수의 흰색계 섬유를 관찰 및 채취하거나 Fig. 4와 같이 투명플라스틱판 밑에 검정시트를 놓고 다량의 흰색섬유를 채취하는 것이 효율적이었다. 검정시트 위에서 관찰되는 흰색계 섬유는 관독성 증가에 따라 관찰 및 채취에 있어 더 양호한 용이성과 신속성에 기여할 수 있을 것으로 판단되었다. 범죄와

관련되어 검출되는 다양한 섬유 증거물을 전사테이프에서 슬라이드 글라스 또는 금속판으로 효율적으로 채취하기 위해서는 Table 1과 같이 섬유의 크기, 수량, 색상 등의 요인들을 고려하여 적절한 방법을 활용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

결 론

전사테이프에 부착된 섬유를 채취하는 것은 외관, 색상, 광학특성 및 성분확인 등 다양한 분석을 위하여 수행되는데 일반적으로 많은 시간과 노력이 요구된다. 따라서, 국·내외적으로 널리 사용되고 있는 섬유 채취법 중 비교적 효율적인 채취법을 준용하여 소개하고 섬유의 양상에 따른 각 채취법의 효율성을 다음과 같이 검토하였다.

1. 핀셋으로 집을 수 없을 정도의 미세 색상섬유는 투명접착판 분리채취법이 적합하였으며, 소수의 섬유 분석에는 용이하였으나 다수의 섬유 분석에는 채취절차가 비교적 복잡하여 부적합한 것으로 판단되었다.

2. 소수의 큰 색상섬유를 채취할 경우 V형 절단채취법이 가장 효율적인 방법으로 판단되었으며, 특히, 미량의 Xylene을 모세관작용을 이용하여 섬유의 부착부위에 선택적으로 가함으로써 인체에 대한 유해성을 크게 감소시킬 수 있었다. 또한 섬유부착부위에 용제의 전이와 채취를 동일 핀셋으로 수행함으로써 채취 절차 및 시간을 줄일 수 있었다. 그러나 미세섬유의 채취에는 핀셋으로 집을 수 없는 단점과 다수 섬유는 각 섬유마다 투명접착판의 절단과정에 따른 소요시간이 비교적 많이 부적합한 것으로 판단되었다.

3. 다수 색상섬유의 채취는 점착면 개방채취법이 가장 적합하였으며, 전사테이프의 절단과정 없이 간단하게 섬유를 채취할 수 있어 다른 방법보다 신속하

게 채취할 수 있었다. 그러나 미세색상섬유와 소수 색상섬유를 분석할 경우에는 핀셋으로 집을 수 없는 단점과 양면테이프를 이용한 전사테이프의 걸면 부착 등 추가적인 준비과정과 점착면 개방에 따른 오염의 가능성 때문에 적합하지 않는 것으로 판단되었다.

4. 흰색계 섬유 채취는 검정시트를 이용하여 색상의 대조비를 높여 흰색계 섬유를 선명하게 관찰하면서 채취하는 것이 효율적이었다. 전사테이프에 부착된 섬유의 상태를 고려해서 위에서 소개된 4가지 섬유 채취법 중 적절한 채취법을 활용한다면 슬라이드 글라스 또는 금속판에 섬유를 옮기는 과정이 보다 신속하고 간단하게 진행되어 섬유 비교분석의 신속성 및 활용성을 크게 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. E Locard (1928), Dust and its analysis: an aim to criminal investigation. *Police J* 1(2): 39-48.
2. S Suzuki, S, Y Higashikawa, R Sugita, and Y Suzuki (2009), Guilty by his fibers: suspect confession versus textile fibers reconstructed simulation. *Forensic Sci Int* 189: e27-32.
3. D Sneath, H Tidy, and B Wood (2019), The transfer of fibres via weapons from garments. *Forensic Sci Int* 301: 278-283.
4. V Causin, S Schiavone, A Marigo, and P Carresi (2004), Payesian framework for the evaluation of fiber evidence in a double murder-a case report. *Forensic Sci Int* 141: 159-170.
5. A Slot, J Weerd, M Roos, M Baiker, RD Stoel, and MC Zuidberg (2017), Tracers as invisible evidence - The transfer and persistence of flock fibres during a car exchange. *Forensic Sci Int* 275: 178-186.
6. K Suga, Y Narita, S Suzuki (2014), A simple solubility tests for the discrimination of acrylic and modacrylic fibers. *J Forensic Sci* 59(3): 750-753.
7. S Farah, T Tsach, A Bentolila, and AJ Domb (2014), Morphological, spectral and chromatography analysis and forensic comparison of PET fibers. *Talanta* 123: 54-62.
8. 성태명, 조주익, 안필상 (2018), 과학수사 증거물로서 섬유 비교를 위한 섬유단면의 제조방법. 과학수사학회지, 12(4): 244-250.
9. TAJ Joslin Yogi, M Penrod, M Holt, and P Buzzini (2018), The relationship between cross-sectional shapes and FTIR profiles in synthetic wig fibers and their discriminating abilities - An evidential value perspective. *Forensic Sci Int* 283: 94-102.
10. KP Kirkbride, and SR Tridico (2010), The application of laser scanning confocal microscopy to the examination of hairs and textile fibers: an initial investigation. *Forensic Sci Int* 195: 28-35.
11. KM Brinsko (2010), Optical characterization of some modern "eco-friendly" fibers. *J Forensic Sci* 55: 915-923.
12. JA Refiner, BW Kammrath, and SA Kaplan (2020), More Efficient Method for Synthetic Textile Fiber Analysis Using Polarized Light Microscopy. *J Forensic Sci* 65: 744-750.
13. L Cho, JA Refiner, BM Gatewood, and DL Wetzel (1999), A New Method for Fiber Comparison Using Polarized Infrared Microspectroscopy. *J Forensic Sci* 44(2): 275-282.
14. LJ Markstrom, and GA Mabbott (2011), Obtaining absorption spectra from single textile fibers using a liquid crystal tunable filter microspectrophotometer. *Forensic Sci Int* 209: 108-112.
15. R Powell, W Bronswijk, and J Coumbaros (2018), Enhancing the evidential value of textile fibres: Part 1: Development of a spectral database and evaluative comparison strategy. *Forensic Sci Int* 287: 54-62.
16. EJ Reichard, EG Bartick, SL Morgan, and JV Goodpaster (2017), Microspectrophotometric analysis of yellow polyester fiber dye loadings with chemometric techniques. *Forensic Chemistry* 3: 21-27.
17. G Sauzier, E Reichard, W Bronswijk, SW Lewis, and JV Goodpaster (2016), Improving the confidence of "questioned versus known" fiber comparisons using

- microspectrophotometry and chemometrics. *Forensic Chem* 2: 15-21.
18. M Eng, P Martin, and C Bhagwandin (2009), The analysis of metamer blue fibers and their forensic significance. *J Forensic Sci* 54(4): 841-845.
 19. M Burke, C Dawson, CS Allen, J Brum, J Roberts, and MPS Krekeler (2019), Reflective spectroscopy investigations of clothing items to support law enforcement, search and rescue, and war crime investigations. *Forensic Sci Int* 304: 1-10.
 20. V Causin, C Marega, S Schiavone, and A Marigo (2005), A quantitative differentiation method for acrylic fibers by infrared spectroscopy. *Forensic Sci Int* 151: 125-131.
 21. K Flynn, R O'Leary, C Roux, and BJ Reedy (2006), Forensic analysis of bicomponent fibers using infrared chemical imaging. *J Forensic Sci* 51(3): 586-596.
 22. Y Takekoshi, K Sato, S Kanno, S Kawase, T Kiho, and S Ukai (1997), Analysis of wool fiber by alkali-catalyzed pyrolysis gas chromatography. *Forensic Sci Int* 87: 85-97.
 23. N Sultana, S Gunning, SJ Furst, KP Garrard, TA Dow, and NR Vinueza (2018), Direct analysis of textile dyes from trace fibers by automated microfluidics extraction system coupled with Q-TOF mass spectrometer for forensic applications. *Forensic Sci Int* 289: 67-74.
 24. LM Petrick, TA Wilson, and WR Fawcett (2006), High-performance liquid chromatography-ultraviolet-visible spectroscopy-electrospray ionization mass spectrometry method for acrylic and polyester forensic fiber dye analysis. *J Forensic Sci* 51(4): 771-779.
 25. AR Stefan, CR Dockery, AA Nieuwland, SN Roberson, BM Baguley, JE Hendrix, and SL Morgan, (2009), Forensic analysis of anthraquinone, azo, and metal complex acid dyes from nylon fibers by micro-extraction and capillary electrophoresis. *Anal Bioanal Chem* 394(8): 2077-2085.
 26. JM Gallo, and JR Almirall (2009), Elemental analysis of white cotton fiber evidence using solution ICP-MS and laser ablation ICP-MS (LA-ICP-MS). *Forensic Sci Int* 190: 52-57.
 27. Y Nishiwaki, S Honda, T Yamato, R Kondo, A Kaneda, and S Hayakawa (2020), Nondestructive Differentiation of Polyester Single White Fibers Using Synchrotron Radiation Microbeam X-ray Fluorescence Spectrometry with Vertical Focusing. *J Forensic Sci* 65(5): 1474-1479.
 28. M Frei-sulzer (1951), Die Sicherung van Mikrosuren mit Klebeband. *Kriminalistik* 10(51): 191-194.
 29. Fiber Manipulations: Removing Fibers from Tape and Mounting. 2004 Version ed.; Scientific Working Group for Materials Analysis: Fiber Subgroup, 2004; pp 22-24. DOI: https://www.nist.gov/system/files/documents/2016/09/22/fiber_examiner_training_program.pdf (검색일: 2023년 5월 2일).
 30. 이 본, 임채연, 정지원, 김해중, 성태명 (2022), 섬유부착 전사테이프에 모세관작용을 이용한 용제전 이로 부착섬유의 신속하고 간단한 채취, 과학수사 학회지, 16(2): 137-143.

<저자정보>

서지연(대학원생), 이가영(대학원생), 허수진(대학원생), 최향빈(사무원), 이현영(대학원생), 성태명(교수)