

## A study on the distribution of glitter particles from an university building

Sungwook Hong<sup>★</sup>, Hyoung-Woo Cho, Da-som Son and Seul-Bi Lee

*Graduate School of Forensic Science, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea*

(Received June 25, 2015; Revised July 15, 2015; Accepted August 7, 2015)

### 대학 강의실에서 글리터의 분포 연구

홍성욱<sup>★</sup> · 조형우 · 손다솜 · 이슬비

순천향대학교 법과학대학원

(2015. 6. 25. 접수, 2015. 7. 15. 수정, 2015. 8. 7. 승인)

**Abstract:** A distribution study of glitter was conducted from a local university building. The potential recipient surfaces chosen were the 1,000 chairs kept in 16 separate classrooms of the building. The surface of chairs contacting with buttocks and back of users were tape lifted with commercial adhesive tapes, and the surface of adhesive tapes were examined with a stereomicroscope to locate the glitters. 12 glitter particles were found from 11 chairs kept in 16 classrooms of a building. This result indicates that the possibility of glitter finding from Korean violent crime scene is high. The 12 glitters found from the chairs were analyzed with a stereomicroscope and an FTIR spectrophotometer to find the matching glitter. The stereomicroscope was used for the observation of the shapes, dimensions, colors and holograms of each glitter, and the FTIR spectrophotometer was used for the analysis of the chemical composition of the coating material of each glitter. The examination results revealed that 8 glitters out of 12 glitters were not sharing the common origin each other. Also, two glitters found from two separate classroom chairs share common microscopic and FTIR spectroscopic characteristics which indicating two glitters share common origin. The record of the students who had used the classrooms was traced and the authors could find that the classrooms where the same glitters were found were shared by a group of students who listen to the same class. This result implies that the path of the involved people should be considered while assessing the value of trace evidence.

**요 약:** 대학교의 한 강의동에 있는 16 개 강의실에 비치되어 있는 의자 1,000 개를 피전사체(potential recipient)로 선정해 미세증거물의 한 종류인 글리터의 분포를 연구하였다. 강의실에 비치된 의자의 인체와 접촉하는 표면을 테이프로 전사하고 테이프를 현미경으로 관찰한 결과 조사 대상으로 삼은 16 개 강의실의 68.8 %에 해당하는 11 개 강의실의 의자에서 12 점의 글리터가 발견되었다. 이는 1,000 개 의자의 1.1%에 해당하는 11 개 의자에서 12 점의 글리터가 발견되었다고도 해석할 수 있는 결과로서 이런 결과를 볼 때 글리터는 다른 사건현장에서도 나타날 가능성이 높은 미세증거물인 것을 알 수 있다. 발견된

<sup>★</sup> Corresponding author

Phone : +82-(0)41-530-4927 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.

각각의 글리터는 육안 및 현미경으로 모양, 크기, 두께, 색상, 홀로그램 존재여부를 검사하였고 검사가 끝난 글리터는 적외선분광광도계로 옮겨서 양쪽 면의 코팅성분을 화학적으로 분석함으로써 12 점의 글리터 중 서로 동일한 글리터가 있는지 확인하였다. 확인 결과 발견된 12 점의 글리터 중 2 점은 동일시기에 동일물체에서 탈락된 특성이, 2 점은 동일한 생산라인에서 만들어진 동일한 종류의 글리터로 볼 수 있는 특징이 나타났고, 8 점은 서로 다른 글리터로 밝혀졌다. 동일한 생산라인에서 만들어진 글리터가 두 개의 다른 강의실 의자에서 발견된 결과를 해석하기 위해 강의실을 이용한 학생들의 이동경로를 추적한 결과 두 강의실은 동일수업을 수강하는 학생들이 이용한 강의실인 것으로 밝혀졌다. 이 결과는 미세증거물의 증거가치를 판단할 때에는 사건관계자의 이동경로를 함께 고려해야 한다는 것을 말해주는 것이다.

**Key words:** Glitter, distribution, target test, trace evidence

## 1. 서 론

미세증거물(trace evidence)이란 “눈으로 보이지 않을 정도로 아주 작은 증거물”을 말한다.<sup>1</sup> 미세증거물은 간단한 접촉에 의해서도 피해자-현장-범인 사이에서 전이(transfer)될 수 있기 때문에<sup>2</sup> 1910년에 Edmond Locard 박사가 교환법칙을 발표한 이래<sup>1</sup> 미세증거물은 범행을 입증하거나 수사의 방향을 설정하고, 피의자 신문의 보조 수단으로 활용됨으로써 수많은 사건을 해결하는데 도움을 주어 왔다.

그러나 미세증거물은 유전자나 지문과 달리 본질적으로 군집특성(class characteristics)을 갖는 증거물이기 때문에<sup>1</sup> 사건과 관련된 것과 출처는 같지 않으나 동일한 다른 물질이 존재할 가능성이 항상 존재하는 물질이다. 따라서 미세증거물은 범행을 입증하는 중요한 수단임에도 불구하고 그 증거가치는 항상 논란의 대상이 되어 왔다.<sup>3</sup>

예를 들어 어떤 사건에서 다른 보조증거 없이 미세증거물만이 범행을 입증하는 유일한 증거로 제시된 경우 변호인 측에서는 보통 ‘이런 물질은 일상생활 환경에서 많이 사용되는 물질이니 본 사건과 무관하게 부착되었을 가능성이 있다’라고 주장하고, 판사 역시 증인으로 출석한 미세증거물 감정인에게 ‘본 사건과 무관하게 이런 물질이 부착될 가능성은 얼마나 되는가?’라는 질문을 던지게 된다. 이런 경우 미세증거물을 감정한 사람이 적절한 통계자료를 인용해 사건과 무관하게 동일한 미세증거물이 부착될 가능성이 거의 없다는 것을 입증하지 못하면 그 사람 증언의 신뢰성은 급격히 떨어지게 된다.<sup>3</sup>

Target test란 이런 논란에 대한 과학적인 근거를 제시하기 위해 등장한 연구분야이다. Target test에서는 특정 미세증거물을 target으로 선정하고 일상 생활환

경을 작위 혹은 무작위로 피전사체(potential recipient)로 선정한 후 그 곳에 부착된 target 물질을 사건현장에서 증거물을 채취하듯이 채취하고 분석하여 target으로 선정한 미세증거물과 동일한 다른 미세증거물이 검출될 가능성을 연구하는 분야로서 외국에서는 다양한 미세증거물에 대한 다양한 target test가 수행되어 왔다.

Target test의 예로서 Grieve MC와 Biermann T는 섬유 증거의 중요성이 간과되는 것을 보완하고자 일반 야외 표면에서 섬유의 분포를 연구한 바 있다.<sup>4</sup> Roux C 외 2 명은 의복의 종류, 자동차 시트 종류 및 운전 시간에 따라 자동차 시트에서 어떤 섬유가 얼마나 검출되는지 연구하였고 그 결과 자동차 시트에서 발견되는 섬유는 의복의 종류에 가장 큰 영향을 받는다고 발표한 바 있다.<sup>5</sup> Palmer R와 Oliver S는 사람 머리카락에서 섬유를 채취하여 얼마나 다양한 섬유가 사람 머리카락에서 발견되는지 조사하였고 머리카락 사이에서 발견되는 섬유는 계절과 지리학적 요소에 영향을 받는다고 발표하였다.<sup>6</sup> Roux C와 Margot F는 섬유의 증거가치를 강조하고자 자동차 시트에 부착된 섬유의 분포를 검사하기도 하였다.<sup>7</sup> Fong W와 Inami SH는 target으로 선정한 것과 동일한 섬유가 다른 곳에서 발견될 가능성을 연구하였고 그 결과 target 섬유가 다른 곳에서 우연히 발견될 확률은 약 1/1,000 정도라고 발표한 바 있다.<sup>8</sup> 또한 Wiggins K 외 2명은 섬유 target test를 통해 사건과 무관한 다른 곳에서 특정 target 섬유와 일치하는 다수의 섬유가 우연히 발견되는 것은 대단히 어렵다는 결론을 내렸다.<sup>9</sup> Hicks CT 외 3명은 의복에서 유리 조각의 전이 및 잔류(transfer and persistence) 특성을 연구하여 유리의 전이특성은 가격횡수 및 가격한 사람과 유리와의 거리에 따라 달라지며, 의복에 남아있는 유리조각의 수와 크기는 의

복을 구성하는 직물의 직조방법, 성분 및 착용시간에 따라 달라진다는 기존의 연구들을 재입증 하였다.<sup>10</sup> Petterd CI 외 5 명은 무작위로 선택한 의복 표면에 부착된 유리의 분포를 연구하여 유리입자가 존재할 확률이 매우 낮다는 것을 밝히고 따라서 용의자 의복에서 발견된 유리조각은 용의자와 현장과의 관계를 설정하는 중요한 증거가 될 수 있다고 밝힌 바 있다.<sup>11</sup> Coulson SA 외 3 명은 체육관 이용자를 대상으로 한 유리조각의 target study 결과, 가택침입 용의자들의 의복에서 유리조각이 발견된 사례 조사 결과 및 기 발표된 연구결과와 세 결과 분석을 통해 유리조각의 증거가치에 대한 통계학적인 모델을 설계한 바 있다.<sup>12</sup> Gialamas DM 외 2 명은 사람 몸에서 Gun Shot Residue (GSR)의 target test를 실시하여 총기를 발사하지 않은 사람에게서 GSR이 발견될 확률은 상대적으로 낮아 용의자 몸에서 발견되는 GSR은 용의자가 총기를 발사했다는 것을 입증하는 좋은 증거자료가 될 수 있다는 것을 입증한 바 있다.<sup>13</sup> 그러나 한국에서는 미세증거물의 target test에 대한 연구결과가 발표된 바 없다.

글리터(glitter)는 미세증거물의 한 종류로<sup>1</sup> 각종 화장품, 의복장식, 완구제조 등에 널리 사용되는 물질이다. 글리터는 빛을 반사하는 성질을 가진 알루미늄 포일(foil)이나 플라스틱 sheet를 원하는 크기로 아주 작게 잘라서 만들기 때문에<sup>14</sup> 육안으로 쉽게 구분되지 않고 따라서 범죄자가 사건과 관련된 글리터 조각을 인지하고 인위적으로 없애버릴 가능성이 대단히 낮다. 대부분의 글리터 입자들은 세 개 이상의 층으로 구성되어 있고 제조회사 및 용도에 따라 각 층의 두께, 성분, 모양, 색상 등이 모두 다르기 때문에 법과학적으로 변별력이 대단히 높은 증거물이다.<sup>15</sup> 그러나 글리터는 본질적으로 군집특성(class characteristics)을 갖는 물질이기 때문에 아무리 변별력이 높아도 범죄와 무관한 다른 장소에서 범죄현장에서 발견된 것과 동일한 다른 글리터가 발견될 가능성이 항상 존재하는 물질이다.<sup>14</sup> 이런 군집특성을 갖는 글리터의 증거가치를 높이기 위해서는 증거물 이외의 글리터가 다른 곳에서 우연히 발견될 가능성을 연구하는 target test가 필요하다.<sup>16</sup> 그러나 세계적으로 글리터에 대한 target test는 Aardahl K의 연구 이외에는 많이 이루어지지 않았다. Aardahl K 외 2 명은 특정 글리터가 포함된 제품을 사용한 뒤 타인에게 얼마나 전이되는지와 target 글리터가 일상 환경에서 발견될 빈도를 연구하였고 그 결과 사람 간의 글리터 전이는 유의미한 결과를 보였으나 target으로 삼은 글리터를 다른 일상생활 속에서

찾을 가능성은 매우 낮다고 밝힌 바 있다.<sup>3</sup>

전 세계적으로 학교 강의실 내에서 학생 간의 폭행 사건은 항상 존재하는 사건이다. 이 경우 글리터는 상호 접촉을 확인하는 중요한 미세증거물로 사용될 수 있다. 그러나 학교는 동일한 학생 군이 동일한 강의공간을 공유하며 이동수업을 하는 특수한 공간이기 때문에 강의실에서 발견된 미세증거물의 증거가치를 논하기 위해서는 학교를 대상으로 하는 별도의 target test가 필요하다. 이에 본 연구에서는 그 첫 단계로 글리터를 target으로 삼아 동일 학생군이 동일 강의공간을 공유하는 학교에서 동일한 글리터가 발견될 가능성을 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 재료

글리터 전사(lifting)에 사용한 테이프는 스키치™ 포장용 테이프(투명, 48 mm × 50 m, 한국 3M 주식회사)를 사용하였으며, 표면을 전사한 테이프는 OHP TRANSPARENCY FILM A4(210 mm × 297 mm, SAEHAN INDUSTRIES)에 부착하였다.

### 2.2. 장비

입체현미경은 Leica M80 stereomicroscope를, 편광현미경은 Guangzhou Sinosource Trade Co., Ltd BM2100POL을 사용하였다. 적외선 분광광도계는 Thermo Scientific 사의 Nicolet iN10을 사용하였다. 표준품 library는 Aldrich Polymer Library(표준품 스펙트럼 수 = 275개), HR Aldrich Polymer Library(표준품 스펙트럼 수 = 446개), Coating Technology Library(표준품 스펙트럼 수 = 2,507), HR Hummel Polymer and Additives Library(표준품 스펙트럼 수 = 2,011개), HR Industrial Coatings Library(표준품 스펙트럼 수 = 1,961개), HR Polymers and Plasticizers Library(표준품 스펙트럼 수 = 1,799개), Hummel Polymer Sample Library(표준품 스펙트럼 수 = 53개)를 사용하였다. 이렇게 검색한 표준품의 수는 모두 9,052개이다.

### 2.3. 채취대상 및 방법

피전사체로서 ΔΔ대학교 00 강의동 16 개 강의실에 비치된 나무의자 1,000 개를 선정하였고, 의자 사용자가 정상적인 자세로 앉았을 때 접촉할 수 있는 (엉덩이와 등) 부분을 테이프를 이용하여 전사하여 글리터를 채취하였다. 의자를 전사한 테이프는 OHP TRANS-

PARENCY FILM에 부착하여 현미경을 통한 관찰이 용이하게 함과 동시에 추가적인 오염으로부터 보호하였다. 접착테이프와 OHP 필름은 정전기 등에 의한 오염을 방지하기 위해 전사하기 직전에 꺼내어 사용하였다. 채취 시작부터 종료까지 걸린 기간은 2개월이었다.

#### 2.4. 전사한 테이프의 처리

의자를 전사한 테이프를 부착시킨 OHP 필름을 깨끗한 실험테이블에 펼쳐 놓고 입체현미경을 이용해 10 배~40 배로 관찰하며 글리터를 검색하였다. 발견된 글리터는 Leica Application Suit Version 3.8.0(Build : 878) 소프트웨어를 이용해 크기를 측정하고 이미지로 저장하였다.

이 작업이 끝난 글리터는 핀셋을 이용해 테이프 접착면에서 분리하여 슬라이드글라스에 올려놓고 현미경으로 100~400 배로 확대하여 글리터를 구성하는 층의 수 및 두께를 관찰하고 홀로그램을 만들기 위해 새긴 미세홈이 있는지 확인하였으며, 글리터를 재단할 때 생긴 특이흔이 있는지 확인하였다.

현미경관찰 및 촬영작업이 끝난 글리터는 ethyl alcohol을 묻힌 면봉으로 2-3회 가볍게 문질러 표면에 부착된 불순물을 제거한 후 IR microscope 용 gold plate에 옮겨 반사(reflectance) mode로 적외선흡수스펙트럼을 얻었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 글리터의 분포

의자를 전사한 테이프를 입체현미경으로 관찰한 결과 채취 대상으로 삼은 16 개 강의실에 비치된 1,000 개의 의자 중 11개 강의실에 비치된 11개의 의자에서 12점의 글리터를 확인할 수 있었다. 글리터가 발견된 의자에는 '01'부터 '11'까지의 번호를 부여하여 글리

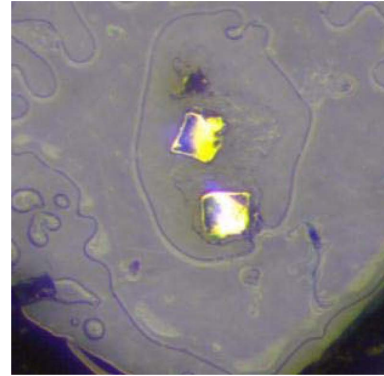


Fig. 1. Microscopic image of two glitters transferred from the # 8 chair to the adhesive tape surface.

터를 구분하였다. 08번 의자를 전사한 테이프에서는 두 점의 글리터가 발견되어 08-1 글리터와 08-2 글리터로 구분하였고 08번 이외의 의자에서는 1점씩의 글리터가 발견되었다. 그리고 한 강의실에서 글리터가 부착되어 있는 의자는 하나 이상 발견되지 않았다.

Fig. 1은 08번 의자를 전사한 테이프를 아무런 처리를 하지 않고 입체현미경으로 촬영한 사진이다. 사진을 보면 08-1번과 08-2번 글리터는 서로 인접해서 의자에 부착되어 있다가 일시에 테이프로 전사된 것을 알 수 있고 이는 두 글리터가 동일물체에서 동시에 탈락된 것이라는 것을 암시한다. 또한 두 글리터의 외관이 차이가 없으며(Table 1) 성분이 동일한(Table 2) 점도 두 글리터가 동일물체에서 동시에 탈락되어 의자에 부착되어 있었다는 정황을 뒷받침해준다. 따라서 향후 결과를 처리할 때에는 08-1번과 08-2번 글리터 2 점은 한 종의 글리터로 간주하고 처리하였다.

#### 3.2. 글리터의 외관비교

현미경을 이용해 발견한 글리터의 모양, 크기, 두께, 특이흔의 존재여부 및 색상을 판단하였다. Fig. 2는

Table 1. The width, length, thickness and color of recovered glitters

No.	Width (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)	Color	No.	Width (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)	Color
01	0.44	0.40	0.030	Purple	07	0.49	0.42	0.036	Gold
02	0.29	0.25	0.040	Hologram	08-1	0.11	0.11	0.015	Silver
03	0.20	0.17	0.001	Blue sky	08-2	0.10	0.10	0.015	Silver
04	0.06	0.05	0.011	Gold	09	0.14	0.11	0.012	Silver
05	0.48	0.42	0.042	Silver	10	0.23	0.19	0.035	Orange
06	0.27	0.25	0.040	Hologram	11	0.24	0.19	0.039	Gold

Table 2. A summary of glitter coating material based on the FTIR spectra interpretation

No.		적외선흡수스펙트럼 관독 결과	비고
01번	A면	1650 cm <sup>-1</sup> 와 1550 cm <sup>-1</sup> 에서 amide의 흡수, 1550 cm <sup>-1</sup> 와 815 cm <sup>-1</sup> 에서 melamine의 흡수가 나타나는 점으로 보아 melamine이 포함된 polyamide 수지	
	B면	22 micron 이하로 코팅된 polyester 수지	
02번	A면	1550 cm <sup>-1</sup> 와 815 cm <sup>-1</sup> 에서 melamine의 특징적인 흡수가 나타나는 점으로 보아 melamine 계열 수지	A면과 B면 조합이 06번과 동일
	B면	22 micron 이하로 코팅된 polyester 수지	
03번	A면	특징적인 흡수가 나타나지 않아 성분 확인이 불가능	
	B면	특징적인 흡수가 나타나지 않아 성분 확인이 불가능	
04번	A면	특징적인 흡수가 나타나지 않아 성분 확인이 불가능	
	B면	특징적인 흡수가 나타나지 않아 성분 확인이 불가능	
05번	A면	1550 cm <sup>-1</sup> 와 815 cm <sup>-1</sup> 에서 melamine의 특징적인 흡수가 나타나는 점으로 보아 melamine 계열 수지	
	B면	22 micron 이하로 코팅된 polyester 수지	
06번	A면	1550 cm <sup>-1</sup> 와 815 cm <sup>-1</sup> 에서 melamine의 특징적인 흡수가 나타나는 점으로 보아 melamine 계열 수지	A면과 B면 조합이 02번과 동일
	B면	22 micron 이하로 코팅된 polyester 수지	
07번	A면	1550 cm <sup>-1</sup> 와 815 cm <sup>-1</sup> 에서 melamine의 특징적인 흡수가 나타나는 점으로 보아 melamine 계열 수지	
	B면	22 micron 이하로 코팅된 polyester 수지	
08번 2점	A면	polyester 수지	08-1과 08-2의 스펙트럼이 동일
	B면	polyester 수지	
09번	A면	특징적인 흡수가 나타나지 않아 성분 확인이 불가능	
	B면	polyester 수지	
10번	A면	1510 cm <sup>-1</sup> 에서 epoxy, 1550 cm <sup>-1</sup> 와 815 cm <sup>-1</sup> 에서 melamine의 특징적인 흡수가 나타나는 점으로 보아 melamine이 포함된 epoxy 수지	
	B면	polyester 수지	
11번	A면	합성수지로 코팅되어 있지 않음	
	B면	특징적인 흡수가 나타나지 않아 성분 확인이 불가능	

발견된 글리터 12 점(11 종)의 양 면과 옆면을 입체현미경으로 각각 100 배, 200 배 확대하여 촬영한 사진이다. 편의 상 글리터의 한쪽 면을 A면, 반대편은 B면, 옆면은 C면으로 구분하여 표기하였다. Fig. 2를 보면 04번 의자에서 채취한 글리터는 삼각형, 08번 의자에서 채취한 두 점의 글리터는 사각형모양을 갖고 있고 나머지는 모두 육각형 모양을 갖는 것을 볼 수 있다. 이들 글리터의 크기는 최대 0.49 mm에서 최소 0.05 mm까지 다양하게 나타났고 각 글리터의 직경, 두께 및 색상은 Table 1에 나타내었다.

대부분의 글리터는 재단기로 커다란 sheet 형태의 글리터 원지를 원하는 모양으로 재단하여 출고한다. 따라서 글리터 표면에는 재단기 날의 특징적인 흔적이 남아있는 경우가 있다.<sup>14</sup> 11 개 의자에서 발견된 글

리터 12 점을 관찰한 결과 04 번을 제외한 모든 글리터에서 재단기 날에 의해 생성된 특징적인 형태가 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 이런 특이형태는 글리터가 증거물로 제시되어 동일한 글리터인지 판단할 때 중요한 고려인자가 될 수 있으므로 사건현장에서 발견되는 글리터의 증거가치가 높다는 것을 다시 한번 확인시켜주는 결과이다.

### 3.3. 홀로그램의 비교

육안검사 결과 02번과 06번 글리터는 관찰하는 각도에 따라 색상변화가 나타났다. 이는 홀로그램(hologram)이 있는 글리터에서 특징적으로 나타나는 현상으로서 홀로그램을 확인하기 위해 두 글리터를 400 배로 확대하여 관찰하였다. 관찰한 결과 홀로그램 용 미세줄

No.	A(x100)	B(x100)	C(x200)	No.	A(x100)	B(x100)	C(x200)
01				07			
02				08-1			
03				08-2			
04				09			
05				10			
06				11			

Fig. 2. Two side microscopic images of 12 glitters recovered from the 11 separate classroom chairs.



Fig. 3. Surface microstructure of two glitter particles (X400). The photos were taken without mounting medium.

무늬가 관찰되었다. 또한 02번과 06번 글리터의 줄무늬의 폭이 동일하게 나타났다. Fig. 3은 이 관찰 결과를 보인 것이다.

### 3.4. 적외선흡수스펙트럼의 해석 및 비교

적외선분광광도계를 이용하여 의자에서 채취한 모든 글리터 양쪽 면의 적외선흡수스펙트럼을 측정하였

고 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 적외선흡수스펙트럼을 보면 11개 의자에서 발견된 12점의 글리터 중 02번과 06번 글리터, 08-1번과 08-2번 글리터를 제외하고는 A 면과 B면의 적외선흡수스펙트럼이 서로 다르게 나타나 다른 성분으로 코팅된 글리터라는 것을 알 수 있었다. 그러나 02번과 06번 글리터, 08-1번과 08-2번 글리터는 A면과 B면의 적외선흡수스펙트럼이 서로 동일하게 나타나 동일한 성분으로 나타나 서로 동일한 물질로 코팅된 것을 알 수 있다.

글리터 표면 코팅에 사용하는 글리터는 단일 고분자물질로 만드는 경우도 있지만 여러 고분자물질의 공중합체(copolymer)로 만드는 경우도 있다.<sup>17</sup> 단일 고분자물질로 코팅된 경우에는 코팅막의 적외선흡수스펙트럼을 얻은 후 표준품 library에서 일치하는 스펙트럼을 검색해서 그 물질이 어떤 물질인지 알아낼 수 있다. 그러나 코팅막이 공중합체로 되어 있거나 단일 고분자물질이라도 적외선흡수스펙트럼 해석을 방해하는 물질이 첨가되어 있으면 표준품 library에서 검색해

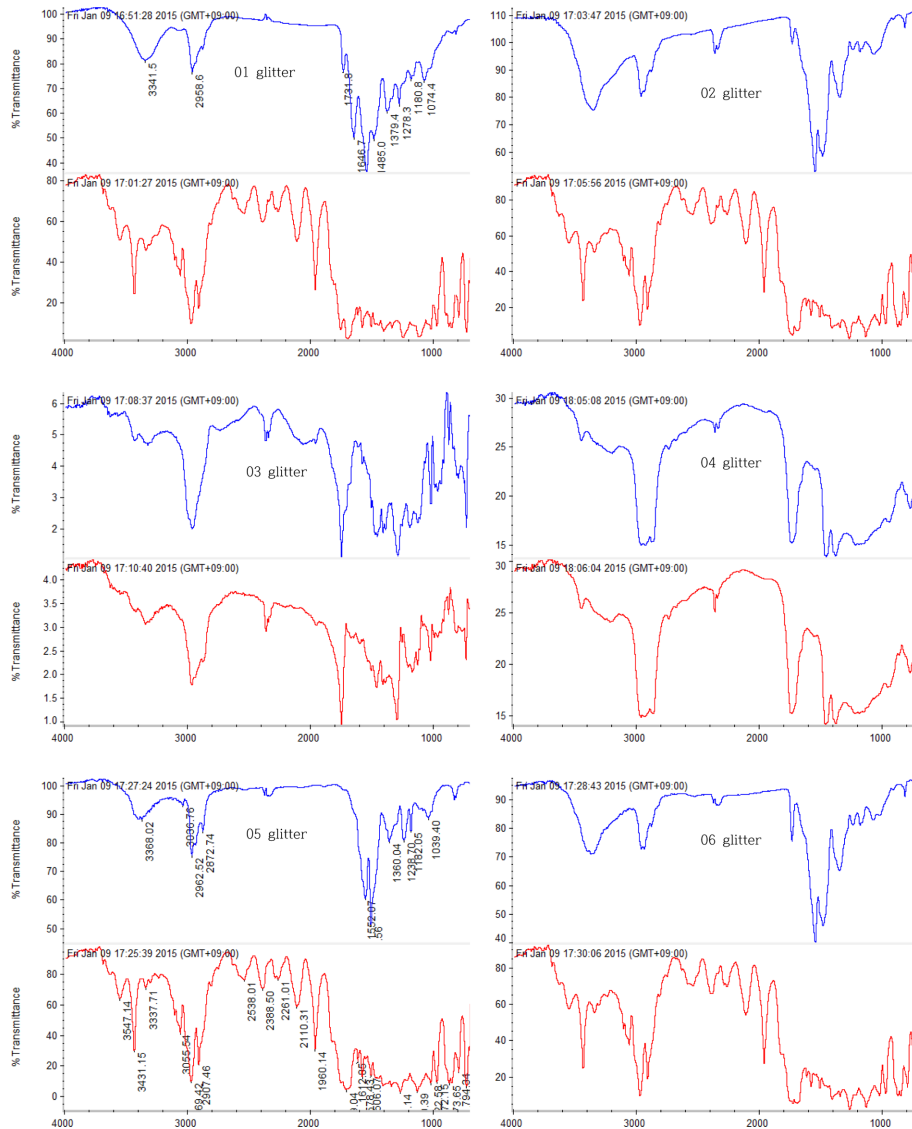


Fig. 4. FTIR spectra of individual glitter particles. Top denotes A surfaces and bottom denotes B surfaces spectra.

도 일치하는 스펙트럼을 찾지 못해 그 성분을 정확히 알 수 없고 단지 fingerprint 영역에서 나타나는 흡수 band를 통해 어떤 물질이 포함되어 있는지 추정하는데 그칠 수도 있다. 글리터 12 점의 A면과 B면에서 얻은 적외선흡수스펙트럼을 표준품 library에 입력된 9,052 개의 스펙트럼과 비교한 결과 08번의 A면과 B면은 polyester 수지로 코팅된 것을 알 수 있다. 또한 09번 글리터의 B면도 polyester 수지로 코팅된 것을 알 수 있다. 1번, 2번, 5번, 6번, 7번, 9번, 10번 글리터의 B면 역시  $2,700\text{ cm}^{-1}\sim 1,900\text{ cm}^{-1}$  영역에서 나타

나는 interference pattern을 제외하고는 polyester 수지의 특징적인 흡수가 모두 관찰되는 점으로 보아 polyester 수지로 코팅된 것을 알 수 있다. library에 저장된 표준품 스펙트럼과 비교한 결과는 Fig. 5에 보였다.

Amide 화합물은  $1,650\text{ cm}^{-1}$ 와  $1,550\text{ cm}^{-1}$ 에서 두 개의 흡수 band가,<sup>18</sup> melamine 화합물은  $1,550\text{ cm}^{-1}$ 와  $815\text{ cm}^{-1}$ 에서 특징적인 두 개의 흡수 band가,<sup>19</sup> epoxy 수지는  $1,510\text{ cm}^{-1}$ 과  $829\text{ cm}^{-1}$ 에서 특징적인 흡수 band가<sup>20</sup> 나타난다고 보고되어 있다. 이런 점으로 볼 때 01번 A면은 melamine이 포함된 polyamide 수지로,

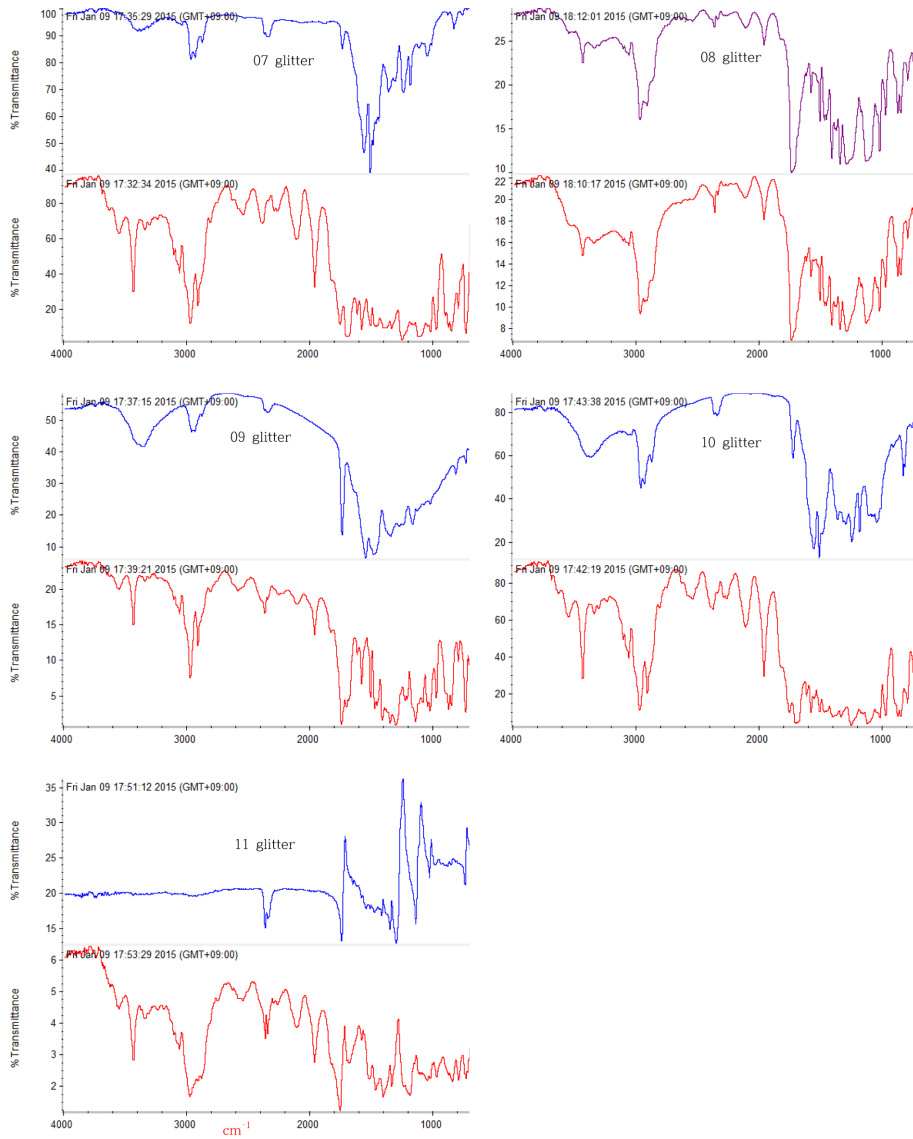


Fig 4. Continued.

02번 A면, 05번 A면, 06번 A면, 07번 A면은 melamine 계열 수지로, 10번 A면은 epoxy 계열 수지와 melamine 계열 수지로 구성된 것을 알 수 있다. 그러나 03번과 04번 글리터의 A와 B면, 09번 글리터의 A면, 11번 글리터의 B면 스펙트럼에서는 작용기의 특징적인 적외선흡수스펙트럼이 나타나지 않아 어떤 물질로 코팅되어 있는지 판독이 불가능했다. 그리고 11번 A면에서는 유기물의 적외선흡수스펙트럼이 나타나지 않는 점으로 보아 고분자물질로 코팅되어 있지 않다는 것을 알 수 있다. 이상의 결과는 Table 2에 정리하였다.

### 3.5. 적외선흡수스펙트럼으로 계산한 필름의 코팅 두께

반사(reflectance) mode로 필름의 적외선흡수스펙트럼을 측정할 때 필름의 두께가 얇은 경우에는 필름의 적외선흡수스펙트럼에 interference pattern이 나타나고 이 pattern은 필름의 두께와 다음의 관계를 갖는 것으로 알려져 있다.<sup>18</sup>

$$t \text{ (cm)} = 1/2n \times N/(W1 - W2)$$

여기서 각 기호의 의미는 다음과 같다.

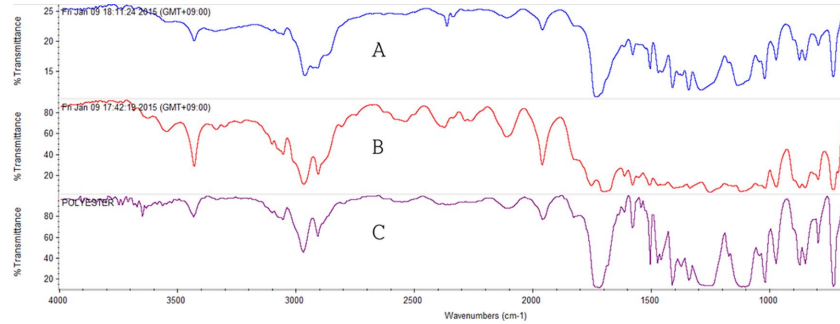


Fig 5. FTIR spectra of unknown glitters and the standard polyester film. (a) 08A glitter surface, (b) 10B glitter surface, (c) polyester spectrum found from the standard library.

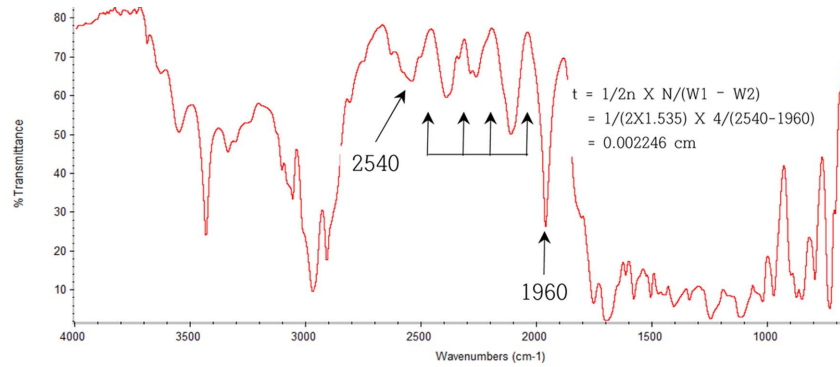


Fig 5. FTIR spectra of unknown glitters and the standard polyester film. (a) 08A glitter surface, (b) 10B glitter surface, (c) polyester spectrum found from the standard library.

$t$  = 필름의 두께 (cm)  
 $N$  =  $W1$ 와  $W2$  사이에 나타난 fringe pattern의 수  
 $W1$  = interference spectrum 시작점의 파수  
 $W2$  = interference spectrum의 끝점의 파수  
 $n$  = 필름의 굴절률

이 식을 이용하여 필름의 두께를 계산하려면  $N$ ,  $W1$ ,  $W2$  및  $n$  값을 알아야 한다.  $N$ ,  $W1$ ,  $W2$ 는 필름의 적외선흡수스펙트럼을 보고 직접 알 수 있는 값이다.  $n$ 값은 필름의 성분을 알아야 알 수 있는 값인데 성분은 적외선흡수스펙트럼을 해석하여 알 수 있다. 적외선흡수스펙트럼을 해석한 결과 1번, 2번, 5번, 6번, 7번, 10번 글리터의 B면은 polyester 수지로 코팅되어 있는 것을 알 수 있고(Table 2) polyester 수지는 종류에 따라 1.535~1.710 범위의 굴절률을 갖는 것으로 보고되어 있다.<sup>18</sup> 본 실험에서 채취된 글리터가 어떤 종류의 polyester 수지로 코팅되어 있는지는 알 수 없으므로 문헌에 나타난 굴절률의 최소값과 최대값을 입력하여 두께를 계산하였다. 그 결과  $t$ (두께) 값은

0.002246 cm~0.002017 cm로 계산되었다. 즉 1번, 2번, 5번, 6번, 7번, 10번 글리터의 B면은 20~22 micron 정도의 polyester film으로 코팅되어 있는 것을 알 수 있다. 이 이외의 글리터의 적외선흡수스펙트럼에서는 interference pattern이 명확하게 나타나지 않아 두께계산을 하지 않았다. Fig. 6은 01번 글리터 B면의 필름 두께를 계산한 예를 보인 것이다.

### 3.6. 발견된 글리터에 대한 고찰

Glitter를 tape로 전사할 경우 피전사체에 있는 glitter 중 몇 %가 테이프로 전사되는지 밝혀진 연구결과는 발표된 바 없다. 그러나 Salter와 Cook은<sup>21</sup> 2 cm 길이 모발이 있는 피부에서 섬유를 테이프로 채취했을 때의 채취율이 93.3%라고 발표한 바 있다. 본 실험에서 피전사체로 삼은 의자는 모발이 있는 피부와 달리 표면이 매끈하기 때문에 채취율은 93.3%보다 훨씬 높다고 추정할 수 있고, 따라서 채취 대상으로 삼은 의자에 있는 거의 모든 글리터가 테이프로 전사되었다고 추정할 수 있다.

조사 대상으로 삼은 16 개 강의실의 68.8%에 해당하는 11 개 강의실에서 글리터가 발견되었다. 또한 조사 대상으로 삼은 의자 1,000점 중 1.1%에 해당하는 11개 의자에서 12점(11종)의 글리터가 발견되었다. 이처럼 많은 글리터가 발견된다는 것은 글리터가 우리 일상생활에 많이 사용되어 사건현장에서 어떤 형태로든 글리터가 발견될 가능성이 대단히 높다는 것을 의미한다.

발견된 11 종의 글리터 중 02번 글리터와 06번 글리터는 A면과 B면이 모두 melamine 계열 수지로 코팅되어 있고 그 적외선흡수스펙트럼 또한 동일하다. 또한 모두에서 홀로그래프가 관찰되고 현미경으로 관찰했을 때 미세홈의 간격이 동일하게 나타났다. 두 글리터끼리는 약간의 크기 차이가 있고(Table 2 참조) 모양이 다소 다르기는 하지만(Fig. 1 참조) 글리터를 제조할 때에는 커다란 글리터 sheet를 원하는 모양으로 잘게 잘라 만들기 때문에 동일한 생산라인에서 생산된 글리터끼리라도 크기나 모양의 차이가 있을 수 있다는 점을 고려하면 두 글리터는 동일한 생산라인에서 생산된 것일 가능성이 있다고 추정할 수 있다. 동일한 글리터가 다른 강의실 의자에서 발견된 결과를 해석하기 위해 어떤 학생이 강의실을 이용했는지 추적하였다. 추적 결과 02와 06번 글리터가 발견된 강의실은 동일학과 동일 학년을 대상으로 개설된 강의가 진행되는 강의실로 밝혀졌다. 이 점으로 미루어 02와 06번 글리터는 동일인이 각기 다른 강의실에 탈락시킨 것이거나, 한 사람이 탈락시킨 것이 다른 사람에 의해 2차전이(secondary transfer)된 것이라고 생각할 수 있다. 그러나 추가정보가 없어 출처에 대한 더 이상의 추정은 불가능하다. 이것은 독립된 강의실이라 할지라도 동일수업을 수강하는 학생들이 함께 이용하는 경우에는 동일한 미세증거물이 검출될 가능성이 있다는 것을 보여주는 결과로서 향후 미세증거물의 증거가치를 해석할 때에는 그 미세증거물을 유류할 수 있는 사람(사물)의 이동 경로를 함께 고려해야 한다는 것을 의미한다.

본 실험에서 발견된 11 종의 글리터 중 02번과 06번을 제외한 9종의 글리터는 외관이나 성분이 모두 다른 글리터로 밝혀졌다. 이는 02번과 06번을 제외한 다른 글리터를 target 글리터로 설정할 경우 1,000개의 의자 중 동일한 글리터가 부착된 의자가 하나도 나타나지 않았다는 결과로 해석할 수도 있다.

#### 4. 결 론

한 건물 16 개 강의실에 있는 1,000점의 의자를 피

전사체로 설정하고 글리터의 분포를 연구한 결과 11 개 강의실에 있는 11 개 의자에서 12 점의 글리터가 발견되었다. 그러나 12 점 중 2점은 한 사물에서 동시에 탈락된 것으로 볼 수 있는 특징이 나타났으므로 이 결과를 반영하면 조사 대상 중 11 종의 글리터가 발견되었다고 할 수 있다. 조사 대상으로 삼은 16 개 강의실의 68.8%에 해당하는 11 개 강의실에서 글리터가 발견된다는 것은 다른 사건현장에서도 글리터가 발견될 가능성이 높다는 것을 의미하는 것으로서 증거물을 찾는 과학수사요원들은 사건현장에서 글리터를 중요한 증거물로 인식해야 한다는 것을 시사한다.

발견된 글리터의 모양, 색상, 홀로그래프 존재여부를 현미경으로 관찰하고 적외선분광광도계로 각각의 코팅성분을 분석한 결과 두 강의실에서 동일 생산라인에서 생산된 것이라고 말할 수 있는 글리터 한 점 씩이 발견되었다. 이 결과를 해석하기 위해 강의실을 이용하는 학생들의 이동경로를 조사한 결과 동일한 생산라인에서 생산된 것이라고 말할 수 있는 글리터가 발견된 두 강의실은 동일 수업을 수강하는 학생들이 이용하는 강의실로 밝혀져 미세증거물의 증거가치를 판단할 때에는 사건관계자의 이동경로를 함께 고려해야 한다는 것을 알 수 있었다. 나머지 9개 강의실에서 발견된 9종의 글리터는 모두 다른 종류의 글리터로 밝혀졌다.

#### 감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

#### 참고문헌

1. Sungwook Hong, 'Trace Evidence', Susa Youn-gu, Seoul, Korea, 2011.
2. S. W. Hong, A. L. Han, S. J. Kim, D. S. Son and H. W. Min, *Sci. Justice*, **54**(6), 451-458 (2014).
3. K. Aardahl, S. Kirkowski and R. D. Blackledge, *Sci. Justice*, **45**(1), 7-12 (2005).
4. MC. Grieve and T. Biermann, *Sci. Justice*, **37**(4), 231-239 (1997).
5. C. Roux, J. Chabie and P. Margot, *Sci. Justice*, **36**(3), 143-151 (1996).
6. R. Palmer and S. Oliver, *Sci. Justice*, **44**(2), 83-88 (2004).
7. C. Roux and F. Margot, *Sci. Justice*, **37**(1), 25-30 (1997).

8. W. Fong and S. H. Inami, *J. Forensic Sci.*, **31**(1), 65-72 (1986).
9. K. Wiggins, P. Drummond and T. H. Champod, *Sci. Justice*, **44**(3), 141-148 (2004).
10. C. T. Hicks, R. Vanina and P. Margot, *Sci. Justice*, **36**(2), 101-107 (1996).
11. C. I. Petterd, J. Hamshere, S. Stewart, K. Brinch, T. Masi and C. Roux, *Forensic Sci. Int.*, **103**(3), 193-198 (1999).
12. S. A. Coulson, J. S. Buckleton, A. B. Gummer and C. M. Triggs, *Sci. Justice*, **41**(1), 39-48 (2001).
13. D. M. Gialamas, E. F. Rhodes and L. A. Sugarman, *J. Forensic Sci.*, **40**(6), 1086-1089 (1995).
14. GLITTER as Forensic Evidence, [http://projects.nfstc.org/trace/docs/final/Blackledge\\_Glitter.pdf](http://projects.nfstc.org/trace/docs/final/Blackledge_Glitter.pdf), 2007.
15. L. Vernoud, H. A. Bechtel, M. C. Martin, J. A. Reffner and R. D. Blackledge, *Forensic Sci. Int.*, **210**(3), 47-51 (2011).
16. W. Brüscheiler, M. C. Grieve, *Sci. Justice*, **37**(2), 85-89 (1997).
17. R. D. Blackledge, In 'Forensic Analysis on the Cutting Edge', p13, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2007.
18. J. Robertson and M. Grieve, 'Forensic Examination of Fibers', 2nd Ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 1999.
19. W. C. Chen, S. H. Wu1, H. P. Liu, C. H. Chang, H. Y. Chen, H. Y. Chen, C. H. Tsai, Y. C. Chang, F. J. Tsai, K. M. Man, P. L. Liu, F. Y. Lin, J. L. Shen, W. Y. Lin and H. Y. Chen, *J. Clin. Lab. Anal.*, **24**(2), 92-99 (2010).
20. C. Brian, In 'Forensic Examination of Glass and Paint', p202, CRC Press, Taylor, London, UK, 2001.
21. M. T. Salter and R. Cook, *Forensic Sci. Int.*, **81**(2-3), 211-221 (1996).