

การคงอยู่ของสารตัวแทนบนพื้นผิววัสดุหลายชนิดที่ศึกษาโดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Persistence of a Surrogate Compound on Different Surface Materials Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

นฤมล สอนปลั่ง¹, ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง², อรทัย เขียวพุ่ม³

¹สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร e-mail: Naruemon_id@hotmail.com

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

การตรวจพิสูจน์สารตกค้างบนพื้นผิววัสดุมีความสำคัญในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะคดีเกี่ยวกับสารเสพติดซึ่งมักตรวจพบในระดับร่องรอย อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดด้านกฎหมายและความปลอดภัยทำให้การใช้สารควบคุมจริงในการทดลองทำได้ยาก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการคงอยู่และความสามารถในการตรวจพบของสารตัวแทนบนพื้นผิววัสดุต่างชนิด โดยเลือกใช้พาราเซตามอลเป็นสารตัวแทน และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ด้วยระบบ Microscope-FTIR ในโหมด Attenuated Total Reflectance (ATR) สารถูกถ่ายโอนผ่านการสัมผัสโดยตรงไปยังพื้นผิว 11 ชนิด ภายใต้สภาวะควบคุมเดียวกัน

ผลการศึกษาพบว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อระดับการตรวจพบอย่างชัดเจน โดยกระจกสไลด์ตรวจพบสารได้ในระดับสูงสุด รองลงมาคือ ผ้าดิบและกระดาษ พื้นผิวพลาสติกให้ผลระดับปานกลาง ขณะที่ธนบัตรให้ผลระดับต่ำ และบางพื้นผิวไม่ปรากฏพิกัดจำเพาะอย่างชัดเจน ผลการวิจัยสะท้อนว่าคุณสมบัติของพื้นผิวมีอิทธิพลต่อการคงอยู่และการตรวจพบสารตกค้าง ซึ่งมีความสำคัญต่อการตีความพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ และสนับสนุนการประยุกต์ใช้สารตัวแทนในการศึกษาวิจัยภายใต้ข้อจำกัดด้านกฎหมาย

ผลดังกล่าวได้รับการยืนยันทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วย Kruskal-Wallis test พบว่า ชนิดของพื้นผิวมีผลต่อระดับการตรวจพบอย่างมีนัยสำคัญ ($H = 30.9$, $df = 10$, $p < 0.05$) โดยกระจกสไลด์มีค่าเฉลี่ยอันดับสูงสุด รองลงมาคือผ้าดิบและกระดาษ ขณะที่พลาสติกอยู่ในระดับปานกลาง และธนบัตรอยู่ในระดับต่ำ

คำหลัก: สารตกค้างบนพื้นผิว; สารตัวแทน; พาราเซตามอล; Microscope-FTIR; ATR; งานนิติวิทยาศาสตร์

Abstract

Surface residue analysis plays a significant role in forensic science, particularly in drug-related cases where substances are frequently encountered at trace levels. However, legal and safety restrictions limit the use of actual controlled substances in experimental studies. This study aimed to evaluate the persistence and detectability of a surrogate compound on various surface materials. Paracetamol was selected as the surrogate compound and analyzed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) with a Microscope-FTIR system operating in attenuated total reflectance (ATR) mode. The compound was transferred through direct contact onto eleven different surface types under identical controlled conditions.

The results demonstrated that surface type significantly influenced detection levels. Glass slides exhibited the highest detectable signal, followed by cotton fabric and paper. Plastic surfaces showed moderate detection levels, whereas banknotes yielded relatively low detection signals. On certain surfaces, characteristic peaks were not clearly observable.

These findings indicated that the physical and chemical properties of surfaces affected both the persistence and detectability of residues. The results had important implications for forensic evidence interpretation and supported the practical application of surrogate compounds in residue studies conducted under legal and safety constraints.

These findings were statistically confirmed using the Kruskal–Wallis test, which demonstrated that surface type had a significant effect on detection levels ($H = 30.9$, $df = 10$, $p < 0.05$). Glass slides exhibited the highest mean rank, followed by cotton fabric and paper, while plastic surfaces showed moderate levels and banknotes showed lower levels.

Keywords: Surface residues; Surrogate compound; paracetamol; Microscope-FTIR; Attenuated total reflectance (ATR); Forensic science

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การตรวจพิสูจน์สารตกค้างบนพื้นผิววัสดุ เป็นกระบวนการสำคัญในงานนิติวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสารเคมีที่หลงเหลืออยู่ในระดับร่องรอยสามารถใช้เป็นหลักฐานเชื่อมโยงบุคคล วัตถุ และสถานที่เข้ากับเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการกระทำความผิดได้ (Houck & Siegel, 2015; Saferstein, 2018). โดยเฉพาะ

ในคดีเกี่ยวกับสารเสพติด ซึ่งมักตรวจพบสารในปริมาณต่ำ และสามารถคงอยู่บนพื้นผิวภายหลังการสัมผัส เป็นระยะเวลาหนึ่ง (Locicero et al., 2004; Weyermann et al., 2011). อย่างไรก็ตาม ปริมาณสาร ตกค้างและความสามารถในการตรวจพบมิได้คงที่ หากแต่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาและลักษณะของ พื้นผิววัสดุ อันเป็นผลจากกระบวนการดูดซับ การแพร่กระจาย การระเหย และการเสื่อมสภาพทางเคมี ของสารนั้น (Roux et al., 2008; Girod & Weyermann, 2014).

ในทางปฏิบัติ การตีความผลการตรวจพิสูจน์ยังเผชิญข้อจำกัดสำคัญ เนื่องจากขาดข้อมูลเชิง ทดลองที่เป็นระบบเกี่ยวกับ “พลวัตของการคงอยู่ของสาร” พื้นผิววัสดุชนิดต่าง ๆ ส่งผลให้ไม่สามารถ ประเมินได้อย่างชัดเจนว่าสารที่ตรวจพบสะท้อนถึงการสัมผัสล่าสุด หรือเป็นเพียงการปนเปื้อนสะสมจาก อดีต (Weyermann et al., 2011; Gallidabino et al., 2017). นอกจากนี้ การศึกษาที่ใช้สารเสพติดจริง ยังมีข้อจำกัดด้านกฎหมาย ความปลอดภัย และจริยธรรม ทำให้การทดลองภายใต้สภาวะควบคุมทำได้ยาก และจำกัดความสามารถในการสร้างข้อมูลเปรียบเทียบที่เป็นมาตรฐาน (UNODC, 2009; Bell, 2013).

งานวิจัยก่อนหน้ารายงานว่า สารเสพติดบางชนิด เช่น โคเคนและเมทแอมเฟตามีน สามารถคง อยู่บนพื้นผิววัสดุต่างชนิดได้นานหลายสัปดาห์ แม้ว่าปริมาณจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกหลังการ ปนเปื้อน (Bitter, 2016). ทั้งนี้ รูปแบบการตกค้างและอัตราการสลายตัวแตกต่างกันตามชนิดของพื้นผิว เช่น ซิลิกอน พลาสติก ลามิเนต หรือวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งสะท้อนถึงบทบาทของคุณสมบัติพื้นผิวต่อการยึด เกาะและการคงอยู่ของสาร นอกจากนี้ ยังมีหลักฐานว่าการถ่ายโอนสารผ่านการสัมผัสทางผิวหนังและ ปริมาณสารที่สามารถกู้คืนได้แตกต่างกันตามชนิดพื้นผิวและเงื่อนไขการสัมผัส โดยปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ความพรุน ความหยาบของพื้นผิวและความเป็นขั้วทางเคมี ของวัสดุ (Van Dyke et al., 2014).

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีรายงานเกี่ยวกับการตกค้างของสารเสพติดบนพื้นผิวบางประเภท แต่ ยัง ขาดการศึกษาเชิงระบบที่เปรียบเทียบพฤติกรรมการคงอยู่ของสารบนวัสดุหลายชนิดภายใต้เงื่อนไขการ ทดลองเดียวกัน รวมทั้งยังไม่มีข้อมูลเพียงพอเกี่ยวกับกลไกเชิงพื้นผิวที่กำหนดรูปแบบการลดลงของ ปริมาณสารเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะในบริบทของเทคนิคการวิเคราะห์ที่ไม่ทำลายตัวอย่าง เช่น FTIR

เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่อาศัยลักษณะ การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเฉพาะของโครงสร้างโมเลกุลในการระบุชนิดของสาร มีข้อดีคือ ไม่ทำลาย ตัวอย่าง วิเคราะห์ได้รวดเร็ว และสามารถตรวจสอบสารบนพื้นผิวได้โดยตรง (Smith, 2011; Stuart, 2004). แม้จะมีการประยุกต์ใช้ FTIR ในการตรวจสารตกค้างในงานนิติวิทยาศาสตร์บางกรณี (Vahur et al., 2016; Ricci et al., 2019) แต่ ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสเปกตรัมตามช่วงเวลา และความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติพื้นผิวกับรูปแบบการลดลงของความเข้มสัญญาณ ยังมีอยู่อย่างจำกัด (Locicero et al., 2004; Weyermann et al., 2011; Bitter, 2016). ช่องว่างความรู้นี้ส่งผลโดยตรงต่อ การตีความหลักฐานในทางปฏิบัติ เนื่องจากยังไม่สามารถระบุได้อย่างมีหลักฐานรองรับว่าปริมาณหรือ ความเข้มสัญญาณที่ตรวจพบสะท้อนระยะเวลาการปนเปื้อนเพียงใด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้พาราเซตามอลเป็นสารตัวแทน (surrogate compound) เพื่อจำลองพฤติกรรมของสารอินทรีย์ในบริบทงานนิติวิทยาศาสตร์ และศึกษาการคงอยู่ของสารบนพื้นผิววัสดุหลายชนิดในที่แตกต่างกันด้วยเทคนิค FTIR ภายใต้สภาวะควบคุมเดียวกัน เพื่อสร้างฐานข้อมูลเชิงทดลองที่สามารถอธิบายความแตกต่างของการคงอยู่ระหว่างวัสดุ และสนับสนุนการตีความหลักฐานเชิงนิติวิทยาศาสตร์ภายใต้ข้อจำกัดในการใช้สารต้องห้ามจริง (Bell, 2013; Gallidabino et al., 2017)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการคงอยู่ของสารตัวแทนบนพื้นผิววัสดุต่างชนิดที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกัน ภายใต้สภาวะการทดลองที่ควบคุมได้
2. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจพบสารตกค้างด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) บนพื้นผิววัสดุต่างชนิด

สมมติฐานการวิจัย

- H1: สารตัวแทนมีรูปแบบการคงอยู่บนพื้นผิววัสดุที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณสารตกค้างแปรผันตามคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของพื้นผิว เช่น ความพรุน ความหยาบ และความเป็นขี้
- H2: ความสามารถในการตรวจพบสารตกค้างด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) แตกต่างกันตามชนิดของพื้นผิววัสดุ และความเข้มของสัญญาณอินฟราเรดมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของพื้นผิว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับความแตกต่างของการคงอยู่ของสารตัวแทนบนพื้นผิววัสดุต่างชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกัน
2. ได้แนวทางในการประเมินความเหมาะสมและข้อจำกัดของเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) สำหรับการตรวจพิสูจน์สารตกค้างบนพื้นผิววัสดุประเภทต่าง ๆ
3. สนับสนุนการแปลผลและการตัดสินใจเชิงนิติวิทยาศาสตร์ โดยคำนึงถึงผลของชนิดพื้นผิวต่อความเข้มของสัญญาณอินฟราเรดของสารตกค้าง
4. เป็นพื้นฐานในการพัฒนาแนวทางหรือขั้นตอนปฏิบัติงานมาตรฐาน (Standard Operating Procedure; SOP) สำหรับการตรวจวิเคราะห์สารตกค้างบนพื้นผิววัสดุในห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะการเลือกพื้นผิว การเตรียมตัวอย่าง และการตีความผลจากเทคนิค FTIR

กรอบแนวคิด

การศึกษานี้ตั้งอยู่บนแนวคิดว่าคุณสมบัติของพื้นผิววัสดุมีอิทธิพลต่อการยึดเกาะและการตรวจพบสารตกค้าง โดยอาศัยหลักการปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของสารกับพื้นผิว เช่น การดูดซับ และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งส่งผลต่อปริมาณสารที่คงอยู่และระดับความเข้มข้นของสัญญาณอินฟราเรดที่ตรวจวัดได้ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

1. ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

ชนิดของพื้นผิววัสดุ (ซึ่งสะท้อนคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น ความพรุน ความหยาบ และความเป็นขี้))

2. ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

ปริมาณสารตกค้างที่ตรวจพบด้วยสัญญาณอินฟราเรดจากการวิเคราะห์ด้วย FTIR

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคงอยู่และความสามารถในการตรวจพบสารพาราเซตามอลที่ถ่ายโอนผ่านการสัมผัสบนพื้นผิววัสดุต่างชนิด จำนวน 11 ตัวอย่าง ได้แก่ เหมียว 10 บาท ธนบัตร 20 บาท ธนบัตร 100 บาท หนังสือ กระดาษผ้าเสียด ผ้าดิบ พลาสติก ซองพลาสติก ถุงขยะ (ถุงดำ) แล กระดาษโลด การเลือกพื้นผิววัสดุใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยพิจารณาจากความเกี่ยวข้องกับสถานการณ์จริงทางนิติวิทยาศาสตร์ และความเป็นไปได้ในการพบพื้นผิวดังกล่าวในที่เกิดเหตุ

วัสดุที่เลือกครอบคลุมพื้นผิวที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน ได้แก่ พื้นผิวเรียบและไม่พรุน (เช่น กระดาษโลด พลาสติก) พื้นผิวที่มีความพรุนหรือเป็นเส้นใย (เช่น ผ้าดิบ เสียด กระดาษ) และพื้นผิวที่มีโครงสร้างซับซ้อน (เช่น ธนบัตร เหมียวโลหะ และหนังสือ)

การคัดเลือกดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองความหลากหลายของพื้นผิวในสถานการณ์จริง และเพื่อศึกษาผลของคุณสมบัติพื้นผิวต่อการยึดเกาะและการตรวจพบสารตกค้าง

โดยเปรียบเทียบผลของชนิดพื้นผิวต่อความเข้มข้นของสัญญาณอินฟราเรด ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน และควบคุมตัวแปรอื่นให้คงที่ และวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Kruskal-Wallis test

วัสดุและการเตรียมสารตัวแทน

พาราเซตามอลชนิดเม็ดถูกนำมาบดด้วยครกบดให้เป็นผงละเอียด เพื่อให้ได้อนุภาคขนาดเล็กและกระจายตัวสม่ำเสมอ ลดความแปรปรวนของปริมาณสารที่ถ่ายโอน ก่อนเริ่มการทดลอง ผู้ทดลองล้างมือด้วยสบู่และน้ำสะอาด จากนั้นเช็ดให้แห้งและพักอย่างน้อย 10 นาที เพื่อให้สภาพผิวแห้งอยู่ในภาวะปกติ หลีกเลี่ยงการทดลองในกรณีที่มีมือมีเหงื่อหรือความชื้นสูง

การถ่ายโอนสารใช้วิธีการสัมผัสโดยตรง (contact transfer) โดยใช้นิ้วมือแตะผงพาราเซตามอล ในปริมาณที่เพียงพอ จากนั้นสับส่วนเกินออก และนำปลายนิ้วไปสัมผัสพื้นผิววัสดุแต่ละชนิดเป็นเวลา 10 วินาที โดยควบคุมแรงกดให้สม่ำเสมอทุกครั้ง

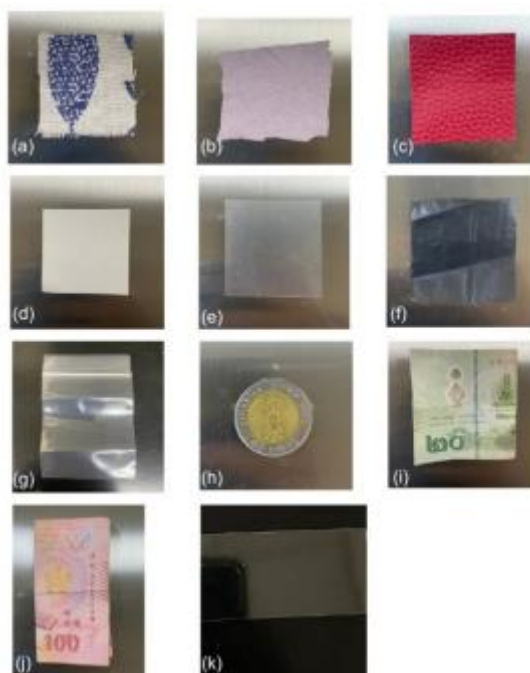
พื้นผิววัสดุที่ศึกษา

พื้นผิววัสดุจำนวน 11 ชนิด ได้แก่ เหยี่ยว 10 บาท ธนบัตร 20 บาท ธนบัตร 100 บาท หนังสือพิมพ์ กระดาษผ้าเสื่อยัด ฝ้ายดิบ พลาสติก ของพลาสติก ถุงขยะ (ถุงดำ) และ กระดาษสไลด์ วัสดุทุกชนิดถูกตัดให้มีขนาดใกล้เคียงกัน และทำความสะอาดก่อนการทดลองเพื่อลดการปนเปื้อนพื้นฐาน

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Microscope-FTIR

การวิเคราะห์ดำเนินการด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy ที่ติดตั้ง กล้องจุลทรรศน์อินฟราเรด (Microscope-FTIR) ในโหมด Attenuated Total Reflectance (ATR) ใช้ คริสตัลชนิด Diamond ATR ซึ่งมีความทนทานสูงและเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็งบน พื้นผิวหลากหลายชนิด

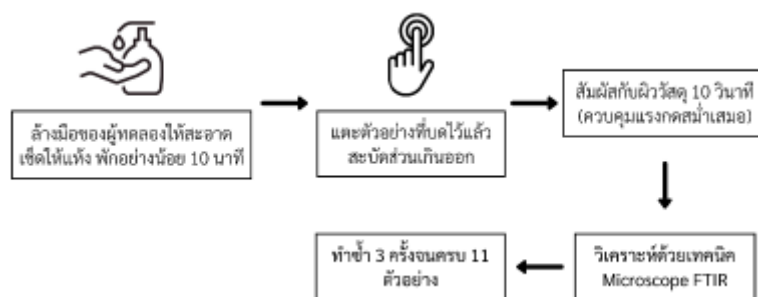
กำหนดช่วงเลขคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ 4000-600 cm^{-1} ความละเอียด 4 cm^{-1} และ จำนวน 8 สแกนต่อหนึ่งตัวอย่าง โดยทำการเก็บค่า background ก่อนการวัดทุกครั้ง ภายใต้กล้อง จุลทรรศน์อินฟราเรด จะเลือกตำแหน่งที่มีการสะสมของสารชัดเจน และทำการวัดอย่างน้อย 3 ตำแหน่ง ต่อหนึ่งตัวอย่าง เพื่อให้ครอบคลุมความไม่สม่ำเสมอของการกระจายตัวของสาร แรงกดของหัว ATR ถูก ควบคุมให้อยู่ในระดับคงที่ทุกครั้ง เพื่อให้เกิดการสัมผัสระหว่างคริสตัลกับพื้นผิวอย่างเหมาะสม



ภาพที่ 1 ภาพแสดงตัวอย่างพื้นผิววัสดุที่ใช้ในการทดลองศึกษาการตรวจวิเคราะห์สารตกค้างด้วยเทคนิค Microscope-FTIR จำนวน 10 ชนิด ดังนี้ (a) ผ้าดิบ (b) เสื้อยืด (c) หนังเทียม (d) กระดาษ (e) พลาสติก แผ่นใส (f) ถูขยยะ (ถูดำ) (g) ซองพลาสติก (h) เหยือก 10 บาท (i) ธนบัตร 20 บาท (j) ธนบัตร 100 บาท (k) กระดาษสไลด์

การวิเคราะห์ข้อมูล

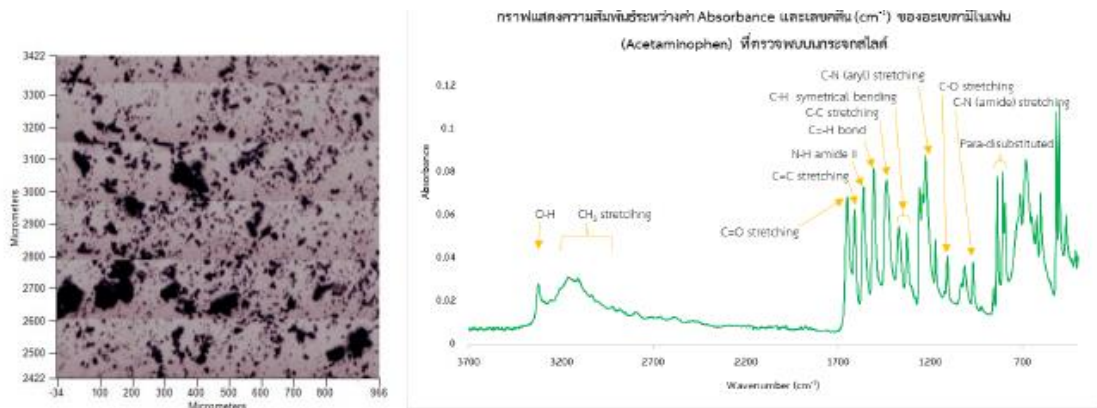
สเปกตรัมที่ได้ถูกเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาตรฐานของพาราเซตามอล โดยพิจารณาพีคจำเพาะบริเวณประมาณ 1650 cm^{-1} ซึ่งสัมพันธ์กับพันธะ amide ภายในโครงสร้างโมเลกุล ค่าความเข้มของพีค (absorbance intensity) จากการทดลองซ้ำอย่างน้อยสามครั้ง



ภาพที่ 2 แผนผังการทดลอง

ผลการวิจัย

จากนั้นผู้ทดลองสัมผัสสารเคมีตัวอย่างและนำไปจับบนพื้นผิววัตถุต่าง ๆ ก่อนนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy แบบ Microscope-FTIR ผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถตรวจพบสเปกตรัมจำเพาะของสารเคมีที่ถ่ายโอนมาติดบนพื้นผิวได้อย่างชัดเจน โดยลักษณะพีคที่ปรากฏสอดคล้องกับสเปกตรัมอ้างอิงของสารตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นตัวอย่างสเปกตรัมที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์บนพื้นผิวทดลองกระดาษสไลด์



รูปที่ 3 แสดงสเปกตรัมของอะเซตามิโนเฟน (Acetaminophen) ที่ตรวจพบสารเคมีบนกระจกสไลด์ โดยสามารถสังเกตพิกจำเพาะที่สอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชันสำคัญของสาร เช่น บริเวณพันธะ amide และ หมู่ฟีนอล ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะในการยืนยันโครงสร้างของสารเคมี

จากรูปที่ 3 แสดงสเปกตรัมของอะเซตามิโนเฟนที่ตรวจพบบนรอยลายนิ้วมือแฝง ซึ่งสามารถนำ พิกจำเพาะมาใช้ระบุหมู่ฟังก์ชันสำคัญเพื่อยืนยันโครงสร้างของสารเคมีได้อย่างชัดเจน โดยพบพิกบริเวณ ประมาณ 1650 cm^{-1} ซึ่งสัมพันธ์กับพันธะ amide ($\text{C}=\text{O}$ stretching) รวมทั้งพิกในช่วงที่เกี่ยวข้องกับ หมู่ฟีนอลและพันธะ $\text{C}-\text{H}$ ภายในโมเลกุล

เมื่อนำสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy แบบ Microscope-FTIR มาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิงของอะเซตามิโนเฟนตาม รายงานของ Trivedi et al. (2015) พบว่าตำแหน่งและรูปแบบของพิกมีความสอดคล้องกันอย่างชัดเจน จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารที่ตรวจพบบนรอยลายนิ้วมือแฝงในการทดลองนี้คืออะเซตามิโนเฟนอย่าง ถูกต้อง

จากการวิเคราะห์รอยลายนิ้วมือแฝงที่มีการปนเปื้อนอะเซตามิโนเฟนด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy แบบ Microscope-FTIR พบว่าสามารถตรวจพบพิกจำเพาะ ของอะเซตามิโนเฟนได้ในพื้นผิวหลายชนิด แสดงดังตารางที่ 1 โดยเฉพาะพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบหรือมีความสามารถในการยึดเกาะของผงสารได้ดี

ตาราง 1 ผลการวิเคราะห์การคงอยู่ของอะเซตามีนโนเฟนบนรอยลายนิ้วมือแฝงด้วยเทคนิค Microscope-FTIR

พื้นผิววัสดุ	ผลการตรวจวิเคราะห์	ปริมาณที่สังเกตได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์*	Mean Rank
ผ้าดิบ	ตรวจพบ	xxx	27.5
เสื่อยัด	ตรวจไม่พบ	0	5.0
หนังเทียม	ตรวจไม่พบ	0	5.0
กระดาษ	ตรวจพบ	xxx	27.5
พลาสติกแผ่นใส	ตรวจพบ	xx	20.0
ถุงขยะ (ถุงดำ)	ตรวจพบ	xx	20.0
ซองพลาสติก	ตรวจพบ	xx	20.0
เหรียญ 10 บาท	ตรวจไม่พบ	0	5.0
ธนบัตร 20 บาท	ตรวจพบ	x	12.5
ธนบัตร 100 บาท	ตรวจพบ	x	12.5
กระจกสไลด์	ตรวจพบ	xxxx	32.0

หมายเหตุ ตรวจพบ = สามารถระบุพิกัดจำเพาะของอะเซตามีนโนเฟนบนพื้นผิวได้ ตรวจไม่พบ = ไม่สามารถระบุพิกัดจำเพาะของอะเซตามีนโนเฟนได้อย่างชัดเจน *ปริมาณที่สังเกตได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงในรูปแบบกึ่งเชิงปริมาณ โดย xxxx = พบปริมาณมากมาก xxx = พบปริมาณมาก xx = พบปริมาณปานกลาง x = พบปริมาณน้อย 0 = ไม่พบ และ ค่า Mean Rank ได้จากการจัดอันดับข้อมูลทั้งหมด (N = 33, k=11) โดยใช้วิธี Kruskal-Wallis test โดยค่าที่มีระดับเท่ากันจะใช้ค่าอันดับเฉลี่ย (average rank)

ผลการทดลองพบว่า กระจกสไลด์ให้ผลการตรวจพบชัดเจนที่สุด โดยพบปริมาณสารในระดับสูงมาก (xxxx) และให้สัญญาณอินฟราเรดที่มีความคมชัดของพิกัดจำเพาะอย่างเด่นชัด รองลงมาคือ ผ้าดิบ

และกระดาษ ซึ่งตรวจพบในระดับมาก (xxx) แสดงถึงความสามารถของพื้นผิวที่มีโครงสร้างเส้นใยในการกักเก็บและยึดเหนี่ยวอนุภาคของสารได้ดี ทำให้สามารถตรวจพบสเปกตรัมได้อย่างชัดเจนด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy แบบ Microscope-FTIR

พื้นผิวประเภทพลาสติกแผ่นใส ถุงชยะ (ถุงดำ) และซองพลาสติก ตรวจพบสารในระดับปานกลาง (xx) สะท้อนว่าพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบและไม่ดูดซับมากนักยังคงสามารถคงสารตกค้างไว้ได้ในระดับหนึ่ง แต่การยึดเกาะอาจไม่ดีเท่าพื้นผิวที่มีความพรุนหรือมีโครงสร้างเส้นใย

ธนบัตร 20 บาท และธนบัตร 100 บาท ตรวจพบในระดับน้อย (x) อาจเนื่องมาจากโครงสร้างเส้นใยผสมและลวดลายบนพื้นผิวที่ซับซ้อน ส่งผลให้สารกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ และลดโอกาสที่ตำแหน่งวิเคราะห์จะสัมผัสบริเวณที่มีการสะสมของสารในปริมาณสูง

ในทางตรงกันข้าม เสื้อยืด หนังสือ และเหรียญ 10 บาท ไม่สามารถตรวจพบพิศจำเพาะของอะเซตามิโนเฟนได้อย่างชัดเจน (0) ซึ่งอาจเกิดจากการสูญเสียสารระหว่างการถ่ายโอน การดูดซึมลึกเข้าสู่โครงสร้างเส้นใยหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่ไม่เอื้อต่อการสะสมของผงสารบริเวณผิวหน้าที่ทำการวิเคราะห์

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อินฟราเรดแสดงให้เห็นว่าบริเวณร่องลายนิ้วมือเป็นตำแหน่งที่มีการสะสมของสารตกค้างมากกว่าบริเวณสันหรือพื้นที่ราบระหว่างร่อง สนับสนุนว่าการเลือกตำแหน่งวิเคราะห์มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการตรวจพบสัญญาณ

จากการวิเคราะห์การคงอยู่ของอะเซตามิโนเฟนบนรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัสดุต่างชนิดพบว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อระดับการตรวจพบสารอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากค่า Mean Rank ที่ได้จากการจัดอันดับข้อมูล พบว่ากระจกสไลด์มีค่าเฉลี่ยอันดับสูงสุด (Mean Rank = 32.0) รองลงมาคือผ้าดิบและกระดาษ (Mean Rank = 27.5) ขณะที่พื้นผิวพลาสติกให้ค่าในระดับปานกลาง (Mean Rank = 20.0) และธนบัตรให้ค่าในระดับต่ำ (Mean Rank = 12.5) ส่วนพื้นผิวที่ไม่ตรวจพบสาร เช่น เสื้อยืด หนังสือ และเหรียญโลหะ มีค่าเฉลี่ยอันดับต่ำสุด (Mean Rank = 5.0)

เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ได้ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Kruskal-Wallis test ซึ่งเป็นสถิติแบบไม่อาศัยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับข้อมูลเชิงลำดับ โดยคำนวณค่าสถิติ H ตามสมการ

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, R_i คือ ผลรวมอันดับของแต่ละกลุ่ม และ n_i คือ จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

ผลการวิเคราะห์พบว่าค่า H มีค่าเท่ากับ 30.9 ซึ่งมากกว่าค่าความแปรผันวิกฤตจากการแจกแจงไคสแควร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\chi^2_{0.05,10} = 18.31$) แสดงให้เห็นว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อระดับการตรวจพบสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าคุณสมบัติของพื้นผิว เช่น ความเรียบ ความพรุน และโครงสร้างของวัสดุ มีบทบาทสำคัญต่อการคงอยู่และการตรวจพบสารตกค้าง โดยพื้นผิวเรียบและไม่ดูดซับ เช่น กระจก มีแนวโน้มให้ค่าการตรวจพบสูงกว่าพื้นผิวชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยอันดับ (Mean Rank) ที่สูงที่สุด (32.0) เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวประเภทอื่น

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Kruskal–Wallis test พบว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อระดับการตรวจพบสารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($H = 30.9, df = 10, p < 0.05$) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากตารางแจกแจงไคสแควร์ ($\chi^2_{0.05,10} = 18.31$) พบว่าค่า H มีค่าสูงกว่าอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างกลุ่มพื้นผิวไม่ได้เกิดจากความบังเอิญ

โดยสรุป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อความสามารถในการตรวจพบอะเซตามิโนเฟนบนรอยลายนิ้วมือแฝงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านการตรวจพบเชิงคุณภาพและระดับปริมาณที่สามารถสังเกตได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อินฟราเรด

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อความสามารถในการตรวจพบอะเซตามิโนเฟนบนรอยลายนิ้วมือแฝงอย่างชัดเจน โดยพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบและไม่ดูดซับ เช่น กระจกใส ไม้ ให้ผลการตรวจพบชัดเจนที่สุด สอดคล้องกับหลักการที่ว่าพื้นผิวไม่พรุนมากเอื้อต่อการคงอยู่ของสารตกค้างบนผิวหน้า ทำให้สามารถเก็บสัญญาณอินฟราเรดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lee & Gaensslen, 2001) และสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่พบว่าพื้นผิวเรียบให้การตรวจพบสารตกค้างได้ดีกว่าพื้นผิวชนิดอื่น (Bitter, 2016; Weyermann et al., 2011)

ในกรณีของผ้าดิบและกระดาษซึ่งมีโครงสร้างเส้นใย พบว่าสามารถตรวจพบสารในระดับมากเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวที่มีความพรุนอาจช่วยกักเก็บอนุภาคของผงสารไว้ภายในโครงสร้างเส้นใย อย่างไรก็ตาม การดูดซับเข้าสู่โครงสร้างลึกเกินไปอาจลดประสิทธิภาพของการวิเคราะห์แบบ ATR ได้ หากสารไม่อยู่บริเวณผิวสัมผัสกับคริสตัล (Stuart, 2004) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเกี่ยวกับการถ่ายโอนและการคงอยู่ของสารบนพื้นผิวที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ (Van Dyke et al., 2014)

พื้นผิวประเภทพลาสติกและวัสดุสังเคราะห์ เช่น กระจกและช่องพลาสติก ให้ผลการตรวจพบในระดับปานกลาง ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติของพื้นผิวที่มีความเรียบและไม่ดูดซับมากนัก ทำให้สารบางส่วนหลุดออกได้ง่ายระหว่างกระบวนการสัมผัสหรือการจัดการตัวอย่าง ผลดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดเรื่องการถ่ายโอนสารผ่านการสัมผัส ที่ปริมาณสารตกค้างขึ้นอยู่กับแรงกด ลักษณะพื้นผิว และคุณสมบัติทางกายภาพของสาร (Locard, 1930)

ในกรณีของธนบัตร ซึ่งมีโครงสร้างเส้นใยผสมและพื้นผิวซับซ้อน ตรวจพบสารในระดับน้อย อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของสารไม่สม่ำเสมอ และการแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างภายใน ส่งผลให้ปริมาณ

สารที่ผิวหน้าลดลง ขณะที่เสื่อยืด หนังกเทียม และเหรียญโลหะ ไม่สามารถตรวจพบสัญญาณได้อย่างชัดเจน อาจเกิดจากการสูญเสียสารระหว่างการถ่ายโอน หรือพื้นผิวมีคุณสมบัติที่ไม่เอื้อต่อการยึดเกาะของผงสาร

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อินฟราเรดแสดงให้เห็นว่าบริเวณร่องลายนิ้วมือมีการสะสมของสารตกค้างมากกว่าบริเวณสันลายนิ้วมือ สนับสนุนแนวคิดว่าการเลือกตำแหน่งวิเคราะห์มีผลโดยตรงต่อความไวในการตรวจพบสาร ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy แบบ Microscope-FTIR ที่สามารถเลือกพื้นที่วิเคราะห์ระดับไมโครเมตรได้อย่างจำเพาะ (Stuart, 2004)

โดยภาพรวม ผลการวิจัยนี้สนับสนุนสมมติฐานที่ว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อการคงอยู่และการตรวจพบสารเคมีบนรอยลายนิ้วมือแฝง ทั้งในด้านเชิงคุณภาพและระดับปริมาณที่สังเกตได้ โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Kruskal-Wallis test ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อระดับการตรวจพบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($H = 30.9, df = 10, p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอันดับ (Mean Rank) พบว่าพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบและไม่ดูดซับ เช่น กระจก มีค่าเฉลี่ยอันดับสูงสุด สะท้อนถึงความสามารถในการคงอยู่ของสารบนผิวหน้าและการตรวจพบที่มีประสิทธิภาพ ขณะที่พื้นผิวที่มีความพรุนหรือโครงสร้างซับซ้อน เช่น ธนบัตร และพื้นผิวที่ไม่ตรวจพบสาร ให้ค่าเฉลี่ยอันดับต่ำกว่าอย่างชัดเจน

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวยืนยันว่าความแตกต่างของการตรวจพบสารระหว่างพื้นผิวไม่ได้เกิดจากความแปรปรวนโดยบังเอิญ แต่มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของพื้นผิว เช่น ความเรียบ ความพรุน และโครงสร้างของวัสดุ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการยึดเกาะและการคงอยู่ของสารตกค้าง

ดังนั้น ผลการศึกษานี้จึงมีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะในการตรวจพิสูจน์สารตกค้างบนวัตถุพยาน ซึ่งจำเป็นต้องคำนึงถึงผลของชนิดพื้นผิวต่อความสามารถในการตรวจพบสารอย่างเหมาะสม

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดพื้นผิวต่อการคงอยู่และความสามารถในการตรวจพบอะเซตามิโนเฟนบนรอยลายนิ้วมือแฝง โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy แบบ Microscope-FTIR ในการวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อความสามารถในการตรวจพบสารอย่างชัดเจน กระจกสไลด์ให้ผลการตรวจพบชัดเจนที่สุด รองลงมาคือ ผ้าดิบและกระดาษ ขณะที่พื้นผิวประเภทพลาสติกให้ผลในระดับปานกลาง ส่วนธนบัตรตรวจพบในระดับน้อย และบางพื้นผิว เช่น เสื่อยืด หนังกเทียม และเหรียญโลหะ ไม่สามารถตรวจพบที่เฉพาะของอะเซตามิโนเฟนได้อย่างชัดเจน

ผลดังกล่าวได้รับการยืนยันทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ด้วย Kruskal-Wallis test พบว่าชนิดของพื้นผิวมีผลต่อระดับการตรวจพบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($H = 30.9, df = 10, p < 0.05$) โดย

กระจกสไลด์มีค่าเฉลี่ยอันดับสูงสุด รองลงมาคือผ้าดิบและกระดาษ ขณะที่พลาสติกอยู่ในระดับปานกลาง และธนบัตรอยู่ในระดับต่ำ

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อินฟราเรดแสดงให้เห็นว่าบริเวณร่องลายนิ้วมือมีการสะสมของสารตกค้างมากกว่าบริเวณสันลายนิ้วมือ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการเลือกตำแหน่งวิเคราะห์ที่มีผลต่อความสำเร็จในการตรวจพบสาร

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าชนิดของพื้นผิวเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการคงอยู่และความสามารถในการตรวจพบอะเซตามิโนเฟนบนรอยลายนิ้วมือแฝง ทั้งในด้านเชิงคุณภาพและระดับปริมาณที่สังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อินฟราเรด

ข้อเสนอแนะ

การขยายขอบเขตการศึกษาเพื่อการประยุกต์ใช้จริง

ควรศึกษาปัจจัยเพิ่มเติมที่อาจมีผลต่อการตรวจพบสาร เช่น การศึกษาในสภาพแวดล้อมจริง ระยะเวลาการคงอยู่ ความชื้นสัมพัทธ์ การสัมผัสซ้ำ การเพิ่มจำนวนตัวอย่าง และแรงกดในการสัมผัส รวมถึงขยายการทดลองไปยังสารเคมีชนิดอื่นและพื้นผิวที่พบได้บ่อยในสถานการณ์จริง ตลอดจนให้ความสำคัญกับการเลือกตำแหน่งวิเคราะห์ เพื่อเพิ่มศักยภาพการประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- Bell, S. (2013). *Forensic chemistry*. (2nd ed.). Pearson Education.
- Bitter, J. L. (2016). Persistence of drugs of abuse on surfaces and implications for forensic interpretation. *Forensic Science International*, 262, 1-9.
- Gallidabino, M., Weyermann, C., & Marquis, R. (2017). Drug transfer and persistence on different substrates: Implications for forensic casework. *Forensic Science International*, 275, 83-90.
- Girod, A., & Weyermann, C. (2014). Transfer and persistence of drugs on surfaces and hands. *Forensic Science International*, 239, 87-95.
- Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2015). *Fundamentals of forensic science*. (3rd ed.). Academic Press.
- Lee, H. C., & Gaensslen, R. E. (2001). *Advances in fingerprint technology*. (2nd ed.). CRC Press.
- Locard, E. (1930). The analysis of dust traces. *American Journal of Police Science*, 1(3), 276-298.

- Locicero, S., Dujourdy, L., Mazzella, W., & Margot, P. (2004). Cocaine contamination of banknotes and its forensic implications. *Forensic Science International*, 145(2-3), 141-147.
- Ricci, C., et al. (2019). Applications of FTIR spectroscopy in forensic drug analysis. *Vibrational Spectroscopy*, 100, 1-9.
- Roux, C., Weyermann, C., & Esseiva, P. (2008). The transfer and persistence of drugs on surfaces: A forensic perspective. *Forensic Science International*, 175(1), 1-7.
- Saferstein, R. (2018). *Criminalistics: An introduction to forensic science*. (12th ed.). Pearson.
- Smith, B. C. (2011). *Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy*. (2nd ed.). CRC Press.
- Stuart, B. (2004). *Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications*. Wiley.
- Trivedi, M. K., et al. (2015). Spectroscopic characterization of paracetamol by FTIR and related techniques. *Journal of Molecular Structure*, 1097, 78-85.
- UNODC. (2009). *Recommended methods for the identification and analysis of cocaine in seized materials*. United Nations Office on Drugs and Crime.
- Van Dyke, M., et al. (2014). Surface type and contact parameters influencing drug transfer. *Forensic Chemistry*, 1, 12-20.
- Weyermann, C., Marquis, R., & Delaporte, C. (2011). Drug transfer onto surfaces and its persistence over time. *Forensic Science International*, 206(1-3), 188-195.