**ตราประทับ** (seal)ที่เราใช้กันทุกวันนี้ จีนโบราณใช้เป็นเครื่องแสดงถึงอำนาจทางการทหารสำหรับลงนามแทนลายมือเพื่อ แต่งตั้งหรือถอดถอนขุนนาง ต่อมากวีและนายทหารต่างก็ใช้เพื่อแสดงถึงตัวตนของตนเองในสังคมเหมือนลายเซ็นต์ในปัจจุบัน

ในประวัติศาสตร์จีน ตราประทับมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป เช่นหลังจากที่อิ๋นเจิ้งรวบรวมแผ่นดินเป็นปึกแผ่นขึ้นครองราชย์เป็นจิ๋นซี ฮ่องเต้(221 B.C.)แล้ว ได้กำหนดให้เรียกลัญจกรว่า “ซี” (玺) ในขณะที่ตราประทับของประชาชนทั่วไปเรียกว่า “อิ้น” (印) มาถึงสมัยฮั่น( 206 B.C. – 220 A.D.)เพื่อแยกคำเรียกตราประทับของขุนนางกับประชาชนให้ชัดเจนจึงเรียกตราประทับของแม่ทัพว่า “จาง” (章) ต่อมาจึงได้เรียกว่าอิ้นจาง(印章)

สมัยราชวงศ์ซ่ง(960 – 1279 A.D.)ผู้คนต่างใช้ตราประทับกันแพร่หลายขึ้นโดยประทับลงบนรูปภาพและหนังสือ ตราประทับประเภทนี้เรียกว่า “ถูจาง” (图章 ) ซึ่งนิยมใช้กันมาถึงปัจจุบัน

การประทับตราในยุคแรกเริ่มก็คล้ายกับการลงครั่งผนึกพัสดุในปัจจุบัน สมัยโบราณก่อนค้นพบการประดิษฐ์กระดาษนั้น จะบันทึกลงบนไม้ไผ่ สำหรับเอกสารลับที่ไม่ต้องการให้คนเปิดดูจะใช้เชือกมัดไม้ไผ่ไว้เจาะเป็นรูสี่เหลี่ยมแล้วหยอดลูกกลมดินเหนียวลงไปปล่อยให้แห้งแล้วค่อย ประทับตราผนึกไว้ วิธีการนี้เรียกว่า “เฟิงหนี” (封泥) ซึ่งปรากฏอยู่ในสื่อจี้ (史记บันทึกประวัติศาสตร์) ต่อมาหลังจากค้นพบการทำผ้าไหมและประดิษฐ์กระดาษ จึงเปลี่ยนมาบันทึกบนวัสดุเหล่านี้แทนไม้ไผ่

การทำตราประทับมี 3 วิธีคือ 1. การแกะสลัก (雕琢) 2. การหลอม (浇铸) และ การปั้น (陶土浇制) สิ่งที่นิยมนำมาทำเป็นตราประทับคือ ทอง เงิน ทองแดง เหล็ก หยก หิน กระดูก ไม้ กระเบื้อง กระจก แก้วผลึก ตราประทับพัฒนาไปพร้อมกับความเปลี่ยนแปลงและก้าวหน้าของตัวอักษรซึ่งจะแตก ต่างกันไปในแต่ละยุคสมัย

ในสมัยราชวงศ์หยวน(1271 – 1368 A.D.)จิตกรชื่อดังอย่าง หวังเหมี่ยน (王冕) นิยมประทับตราประจำตัวลงไปบนผลงานของตนซึ่งวิธีนี้ได้รับความนิยมอย่างมากใน เวลาต่อมาขนาดของตราประทับจะแตกต่างกันไป เช่นตราประทับในสมัยรัฐสงคราม(475 -221 B.C.) มีขนาดเล็กกว่าเม็ดถั่วเหลือง ในสมัยตงจิ้น (317 – 420 A.D. )มีขนาดใหญ่จนสามารถสลักบทสวดมนต์ของลัทธิเต๋าได้ถึง 120 ตัวอักษร สมัยหนันเป่ยเฉา (ราชวงศ์เหนือ-ใต้ = 420-581 A.D.) มีตราประทับที่ทำด้วยไม้ขนาดกว้างกว่า 7 เซ็นติเมตรและยาวถึง 42 เซ็นติเมตร เนื่องจากทำด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน ทำให้ตราประทับมีน้ำหนักแตกต่างกันไปด้วยเช่นในรัฐสงคราม ตราประทับมีน้ำหนัก ไม่กี่กรัม ในขณะที่ตราประทับทองคำในราชวงศ์ชิง (1636- 1911A.D.) ชิ้นหนึ่งหนักกว่า 40 กิโลกรัม

รูป 1 ตราประทับและหมึกประเทศจีน

รูป 2 ตราประทับและหมึกประเทศญี่ปุ่น

รูป 3 ตราประทับและหมึกประเทศเกาหลี

## Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

**หลักการ**

อินฟราเรดเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบและศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสารการทำคุณภาพวิเคราะห์ อินฟราเรด นิยมใช้เป็นเทคนิคสำหรับหาเกี่ยวกับโครงสร้างของสารอินทรีย์ เช่น หาฟังก์ชันนัลกรุ๊ป ต่าง ๆ การทำปริมาณวิเคราะห์ นิยมใช้เทียบกับสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว ความยาวคลื่นในช่วง 0.78 – 1000 um หรือ wavenumber ในช่วง 12800 – 10 $cm^{-1}$ โดย wavenumber($cm^{-1}$) = 1/wavelength (cm) โดยในช่วงของรังสีอินฟราเรดจะแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่

1. Near Infrared คือช่วง wavenumber 12800 – 4000 $cm^{-1}$
2. Middle Infrared คือช่วง wavenumber 4000 – 200 $cm^{-1}$
3. Far Infrared คือช่วง wavenumber 200 – 10 $cm^{-1}$

ช่วงของอินฟราเรดที่มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ ช่วง Middle Infrared ซึ่งมีประโยชน์ในการให้ข้อมูลด้านโครงสร้างโมเลกุล โดยรังสีอินฟราเรดจะมีพลังงานต่ำกว่ารังสี UV เมื่อ โมเลกุลของสารดูดซับรังสีอินฟราเรดจะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุนของ พันธะ โมเลกุลจะดูดซับรังสีอินฟราเรดที่ความเดียวกันกับความถี่ในการสั่นของ โมเลกุลของสารนั้น ดังนั้นสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ในการสั่นจำเพาะที่แตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ แต่ละชนิด

ได้คุณสมบัตินี้เรียกว่า finger print และนอกจากนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ด้านคุณภาพ เช่นการวิเคราะห์ชนิดของ functional group แล้วก็ยังสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณได้อีกด้วยโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ตามกฎของ Beer-Lambert's Law ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างในสารละลายจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าการดูดซับ Absorbance ของสารละลายนั้นดังสมการ

$A=\varepsilon bc$ (Absorbance A = constant x path length x concentration)

เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซ อีก ทั้งเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำสูงและเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่างอีกด้วย เทคนิคนี้จึงเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่นการวิเคราะห์ด้านพอลิเมอร์ ปิโตรเคมี

**ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR สามารถแบ่งออกได้เป็น**

**Source** หรือแหล่งกำเนิดแสงจะถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 1500 – 2000 K และจะปลดปล่อยแสงที่มีความถี่ในช่วงอินฟราเรดออกมา ซึ่งมีหลายชนิด ดังนี้

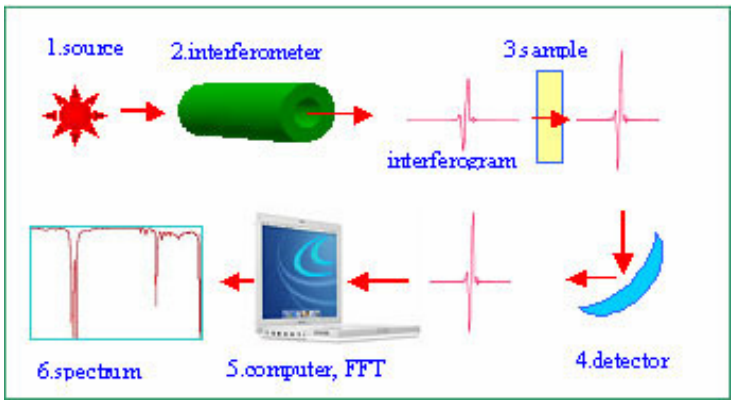
1. The Nernst glower สามารถถูกให้ความร้อนได้ถึง 2200 K อายุการใช้งานนาน แต่ไม่เสถียรที่ความร้อนสูงมากอาจจะเกิดการไหม้ได้ง่ายเนื่องจากมันจะมีความ ต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจึงต้องมีการควบคุมกระแสที่แน่นอนในการ ใช้
2. The Globar source สามารถถูกให้ความร้อนได้ถึง 1500 K จะมีความเสถียรและให้แสงที่มีความเข้มมากกว่าแบบ Nernst glower
3. The incandescent wire source ใช้ Nichrome wire สามารถถูกให้ความร้อนได้ถึง 1100 K ซึ่งชนิดนี้จะใช้กระแสและความต่างศักย์ในการใช้งานที่ต่ำกว่าทั้งสองชนิดข้างต้นและมีอายุการใช้งานที่นานกว่า

**Interferometer** สัญญาณแสงที่ผ่าน interferometer จะออกมาในรูปสัญญาณที่เรียกว่า interferogram ซึ่งต้องแปลงสัญญาณนี้เป็นให้เป็น spectrum อีกที โดยใช้การคำนวณด้วย Fourier transform โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะดีกว่าการใช้ Monochromator ที่จะแยกลำแสงเป็นลำแสงความยาวคลื่นเดี่ยวทำให้แสงแต่ละความยาวคลื่นถูกตรวจวัดในเวลาที่ต่างกันแต่ interferometer สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากสามารถตรวจวัดพลังงานของทุกความยาวคลื่นแสงได้ในเวลาเดียวกัน

**Sample** ตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ได้ทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยมีวิธีการเตรียมตัวอย่างในการวัดตัวอย่างแบบต่าง ๆ เช่นการใช้ KBr disk สำหรับตัวอย่างของแข็งหรือการใช้ liquid cell สำหรับตัวอย่างของเหลว หรือ gas cell สำหรับตัวอย่างที่เป็นก๊าซ เป็นต้น

**Detector** ทำหน้าที่ตรวจวัดพลังงานแสงที่ผ่านออกมาจากตัวอย่าง

1. Pyroelectric detectors จะแปลงสัญญาณแสงอินฟราเรดเป็นค่าทางไฟฟ้า ให้ค่า sensitivity สูง คือ Deuterated Triglycine Sulfate (DTGS) สามารถตรวจวัดได้ช่วง 400-4000 $cm^{-1}$ และสามารถใช้กับการตรวจวัดแสงที่มีความเข้มสูงได้ดี มีข้อดีคือสามารถวัดได้ที่อุณหภูมิห้องปกติ จึงเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปสำหรับ FTIR
2. Semiconductor detector ได้แก่ Mercury Cadmium Tellurium (MCT) detector สามารถตรวจวัดได้ช่วง 650-4000 $cm^{-1}$ มีข้อดีคือให้ sensitivity สูงกว่าแบบ Deuterated Triglycine Sulfate (DTGS) ตรวจวัดได้เร็ว แต่มีข้อจำกัดคือ จะใช้ได้ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ดังนั้น ก่อนการใช้งานต้องหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวทำให้สิ้นเปลือง โดยมากจะนิยมใช้เป็น detector ของ FT-IR Microscope

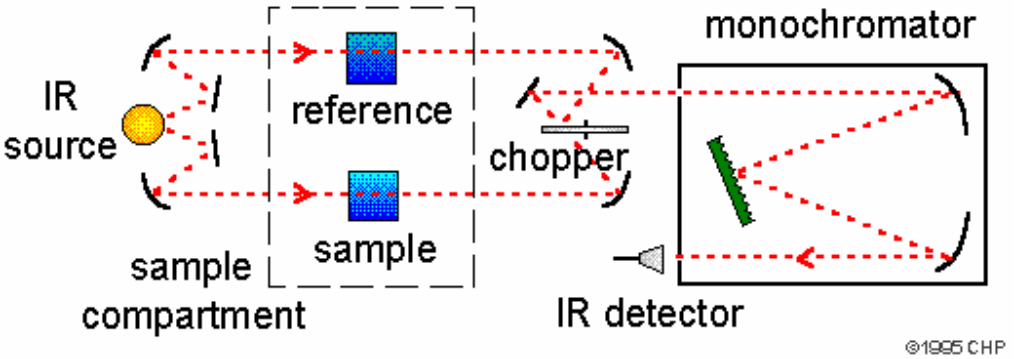



รูป 4 หลักการทำงานของเครื่อง FTIR

นอกจากการวิเคราะห์โดยการใช้ช่วงของ Middle Infrared ในการหาข้อมูลทางโครงสร้างของสารแล้ว แสงช่วง Near Infrared ก็สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้เช่นกันโดยเฉพาะสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยพันธะ O-H, N-H และ C=O ซึ่ง Near Infrared จะมีประโยชน์มากในการวิเคราะห์และการวิจัยทางยา ทางการแพทย์ และทางด้านอาหาร

**Attenuated total reflection (ATR)**

เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการให้ข้อมูลเชิงพื้นผิว หรือข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามความลึก (Depth dependent property) ได้เป็นอย่างดี อาศัยหลักการของ Internal reflection กล่าวคือแสงอินฟราเรดจะเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหแสงสูงกว่า (ATR prism) มาตกกระทบที่บริเวณรอยต่อระหว่าง ATR prism กับตัวอย่างซึ่งมีค่าดัชนีหักเหแสงต่ำกว่าด้วยมุมตกกระทบที่มากกว่ามุมวิกฤต ($\theta c$)




รูป 5 ภาพแสดงเทคนิค Attenuated total reflection

เนื่องจากในเทคนิค ATR นั้น แสงอินฟราเรดไม่ได้ส่องผ่านตัวอย่าง แต่จะเกิดการสะท้อนกลับที่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่างซึ่งทำให้เกิดสนามแม่ไฟฟ้าขึ้นที่บริเวณดังกล่าวสนามไฟฟ้านี้จะ Penetrate เข้าไปในตัวอย่างและลดลงแบบ Exponential ไปตตามความลึกจนกระทั่งเป็นศูนย์ในที่สุด ซึ่งความลึกที่สนามไฟฟ้าลดลงจนเป็นศูนย์นั้นเป็นเพียงแค่ประมาณ 1-2ไมโครเมตรจากผิวหน้าของตัวอย่างเท่านั้น
ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากเทคนิค ATR จึงเป็นข้อมูลเชิงพื้นผิวของตัวอย่างเทคนิค ATR สามารถประยุกต์ใช้ได้กับตัวอย่างทั้งที่เป็นของเหลวและของแข็ง

อย่างไรก็ตามเนื่องจากเทคนิค ATR prism กับตัวอย่างและคุณภาพของสเปกตรัมที่ได้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของการสัมผัสกับ Prism ได้ดีเช่นของเหลว Paste หรือของแข็งที่นุ่มและยืดหยุ่นได้นั้นสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทันที แต่ถ้าหากเป็นของแข็งที่ผิวหน้าไม่เรียบจำเป็นจะต้องเตรียมตัวอย่างให้มีผิวหน้าเรียบก่อนจึงจะทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR ได้

**การประยุกต์ใช้เทคนิค** micro-attenuated total reflectance FTIR (micro-ATR FTIR)
**ในการศึกษาทางนิติวิทยาศาสตร์ของเอกสารต้องสงสัยที่ใช้หมึกประทับสีแดง**

Application of micro-attenuated total reflectance FTIR spectroscopy in the forensic study of questioned documents involving red seal inks

510 702 สัมมนาสำหรับนิติวิทยาศาสตร์ 1 ภาคต้น ปีการศึกษา 2553

---

ผู้ให้สัมมนา นางสาวชุติมา เสริมดวงประทีป รหัส 52312305
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง
วันเสาร์ที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2553 เวลา 9.00-12.00 น. สถานที่ ห้อง 4205 อาคารวิทยาศาสตร์ 4

---

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีการนำหมึกประทับสีแดงจากเกาหลี 6 ตัวอย่าง ญี่ปุ่น 1 ตัวอย่าง และจีน 6 ตัวอย่าง มาศึกษาเพื่อหาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค micro-ATR FTIR เพื่อเป็นเครื่องมือในการศึกษาเอกสารต้องสงสัยที่ใช้หมึกประทับสีแดง เทคนิคนี้สามารถแยกแยะความแตกต่างของหมึกประทับสีแดงซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตต่างกันได้ จากการทดสอบแบบ Blind-test พบว่า micro-ATR FTIR ยังสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของหมึกประทับสีแดงได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ข้อมูลที่รวบรวมได้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการอ้างอิงในอนาคต นอกจากนี้เทคนิคดังกล่าวนี้ยังสามารถตรวจสอบลำดับของเส้นตัดที่ไม่สม่ำเสมอจากการใช้หมึกประทับและปากกาลูกลื่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า micro-ATR FTIR เป็นเครื่องมือที่ไม่ทำลายเอกสารตัวอย่างและสามารถใช้วิเคราะห์เอกสารต้องสงสัยที่มีการใช้หมึกประทับสีแดงชนิดต่างๆ ได้

---

**<u>เอกสารอ้างอิง</u>**

1. Warnadi Dirwono, Jin Sook Park, M.R. Agustin-Camacho, Jiyeon Kim, Hyun-Mee Park, Yeonhee Lee, Kang-Bong Lee *Forensic Science International*, *199, (2010)*, *6-8*
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Seal_(Chinese)#Korean_usage
3. N.C. Thanasoulias, N.A. Parisis, N.P. Evmiridis, Multivariate chemometrics for the forensic discrimination of blue ball-point pen inks based on their vis spectra, Forensic Sci. Int. 138 (2003) 75–84.
4. J. Lee, C. Lee, K. Lee, Y. Lee, TOF-SIMS study of red sealing-inks on paper and its forensic applications, Appl. Surf. Sci. 255 (2008) 1523–1526.

# การประยุกต์ใช้เทคนิค micro-attenuated total reflectance FTIR (micro-ATR FTIR) ในการศึกษาทางนิติวิทยาศาสตร์ของเอกสารต้องสงสัยที่ใช้หมึกประทับสีแดง

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีการนำหมึกประทับสีแดงจากเกาหลี 6 ตัวอย่าง ญี่ปุ่น 1 ตัวอย่าง และจีน 6 ตัวอย่าง มาศึกษาเพื่อหาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค micro-ATR FTIR เพื่อเป็นเครื่องมือในการศึกษาเอกสารต้องสงสัยที่ใช้หมึกประทับสีแดง เทคนิคนี้สามารถแยกแยะความแตกต่างของหมึกประทับสีแดงซึ่งผลิตโดยผู้ผลิตต่างกันได้ จากการทดสอบแบบ Blind-test พบว่า micro-ATR FTIR ยังสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของหมึกประทับสีแดงได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ข้อมูลที่รวบรวมได้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการอ้างอิงในอนาคต นอกจากนี้เทคนิคดังกล่าวนี้ยังสามารถตรวจสอบลำดับของเส้นตัดที่ไม่สม่ำเสมอจากการใช้หมึกประทับและปากกาลูกลื่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า micro-ATR FTIR เป็นเครื่องมือที่ไม่ทำลายเอกสารตัวอย่างและสามารถใช้วิเคราะห์เอกสารต้องสงสัยที่มีการใช้หมึกประทับสีแดงชนิดต่างๆ ได้

## 1. บทนำ

ในเอเชียตะวันออก การใช้หมึกตราประทับเป็นสิ่งที่บุคคลแต่ละคนนำมาใช้เพื่อประทับชื่อบนเอกสารส่วนบุคคล เอกสารทางราชการ สัญญาชนิดต่างๆ หรืองานเอกสารต่างๆ ที่ต้องการการอนุมัติหรือเซ็นต์กำกับแทนการเซ็นต์ด้วยมือ ในประเทศจีน ญี่ปุ่นและเกาหลีมีการใช้การเซ็นต์หรือตราประทับลายเซ็นต์กันอย่างแพร่หลาย [1] การวิเคราะห์เกี่ยวกับหมึกปากกาและหมึกประทับจึงเป็นระเบียบวิธีการทางนิติวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ ที่สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับเอกสารที่หมิ่นเหม่ต่อการโต้แย้งซึ่งมักจะเกี่ยวข้องกับมูลค่าทางการเงิน ตัวอย่างเช่น การอ้างขอรับสิทธิ์จากประกันภัย พินัยกรรม สัญญา และการคืนภาษี เป็นต้น [2,3] ปัญหาเด่นชัดที่เกี่ยวข้องกับหมึกมี 3 เรื่องด้วยกันมีดังต่อไปนี้คือ คุณลักษณะและความแตกต่างของน้ำหมึก, ลำดับของลายเส้นที่ตัดกัน และวันที่ใช้น้ำหมึกนี้ในเอกสารที่ต้องการตรวจสอบ [4] อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์น้ำหมึกส่วนใหญ่ มักเกี่ยวข้องกับการหาที่มาของหมึกหรือหมึกประทับที่ใช้ หรือเพื่อตรวจหาลำดับการตัดของ

เส้น การเพิ่มเติมหรือการปลอมลายเซ็นต์ในพินัยกรรมหรือสัญญานั้น สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมายได้แง่ของข้อตกลงต่างๆ อย่างไรก็ตาม การเซ็นต์โดยตราประทับส่วนบุคคลแล้วมีเส้นตัดเพิ่มเติมขึ้นมานั้น สามารถตรวจจับได้โดยการทดสอบลำดับของการเขียน [5]

เราแบ่งประเภทของเส้นตัดเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ homogeneous และ heterogeneous เส้นตัด homogeneous คือเส้นที่ถูกขีดโดยใช้อุปกรณ์การเขียนเพียงชนิดเดียว ในขณะที่เส้นตัด heterogeneous เป็นเส้นที่ถูกขีดโดยใช้อุปกรณ์การเขียน 2 ชนิดที่ต่างกัน (ตัวอย่าง: ตราประทับส่วนตัวและปากกาลูกลื่น) [5]

การวิเคราะห์น้ำหมึกถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท; แบบทำลาย และแบบไม่ทำลาย ในวิธีการแบบทำลายนั้น ส่วนของเอกสารที่มีหมึกจะถูกดึงออกมาเพื่อการวิเคราะห์ วิธี Thin layer chromatograph (TLC), High performance thin layer chromatography (HPTLC), high performance liquid chromatography (HPLC), และ gas chromatography (GC) เป็นวิธีทั้งหมดที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แบบทำลาย [2,3,6,7] ในทางตรงกันข้าม วิธีแบบไม่ทำลายจะเกี่ยวข้องกับการสังเกตหมึกบนเอกสารโดยดูค่าของเทคนิคการสะท้อน (reflectance technique) ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้สามารถมองเห็นคุณลักษณะแถบความยาวคลื่นโดยไม่ต้องดัดแปลงตัวเอกสารที่นำมาทดสอบแต่อย่างใด [2] การทดสอบน้ำหมึกตามปกตินั้น เรามักจะใช้วิธีส่องกล้องจุลทรรศน์ และการตรวจสอบด้วยสายตามากกว่าวิธีแบบทำลาย เพราะเป็นวิธีที่ไม่ต้องทำลายเอกสารทำให้สามารถเก็บเอกสารไว้เป็นหลักฐานสำหรับการตรวจสอบในภายภาคหน้าได้ [3,7]

ไม่ว่าการวิเคราะห์น้ำหมึกนี้จะเป็นไปเพื่อหาแหล่งที่มาของเอกสารหรือตรวจสอบลายเส้นก็ตาม ความยากที่พบมักจะอิงจากปัจจัยที่ว่ากระบวนการตรวจสอบหมึกโดยมากยังคงขึ้นอยู่กับดุลยพินิจส่วนบุคคลและไม่เป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นข้อบกพร่องจากการตีความของมนุษย์นั่นเอง [5,6]

ดังนั้นเทคนิคในอุดมคติที่ต้องการนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์น้ำหมึก จึงเป็นอะไรที่จะต้องไม่ทำลายเอกสารที่นำมาวิเคราะห์ และเป็นวิธีที่มีมาตรฐาน ไม่มีอคติ เพื่อสามารถวิเคราะห์วัตถุดิบที่หลากหลายที่พบเจอได้

มีการนำเทคนิค raman spectroscopy มาใช้ในกระบวนการนิติวิทยาศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาสี เส้นใย วัตถุระเบิด ยาผิดกฎหมาย คราบเขม่าปืนและน้ำหมึก และการวิเคราะห์เอกสาร [4,8,9] มีรายงานว่าเทคนิค Time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย

เอกสารต้องสงสัย น้ำหมึกจะถูกแบ่งแยกออกมาโดยสมบูรณ์และลำดับของลายเส้นจะถูกนำมาแยกวิเคราะห์ [3,10] ในทางตรงกันข้าม ได้มีการนำเทคนิคการแสดงภาพแบบ Fourier transform infrared (FTIR) มาใช้ในการทดสอบหลายรูปแบบทางนิติวิทยาศาสตร์ [5-7] การแสดงภาพแบบอินฟราเรดนี้ สามารถทำให้เกิดภาพขององค์ประกอบของตัวอย่างได้โดยตรง เช่น ในการวิเคราะห์ลายเส้นตัด เป็นต้น นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังเป็นตัวเลือกในวิธีทดสอบที่ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบอีกด้วย [5,7,11,12]

ในการศึกษาครั้งนี้ เราพยายามยามที่จะทดสอบความสามารถของ mirco-FTIR ใน attenuated total reflectance (ATR) ในแง่ที่ว่ามันเป็นวิธีทดสอบที่ไม่ทำลายหลักฐาน และสามารถตรวจสอบหาที่มาของตราประทับได้อย่างไม่มีอคติโดยผ่านฐานข้อมูลของมัน รวมทั้งตรวจหาลำดับของการบันทึกลายเส้นตัดแบบ heterogeneous ในตราประทับส่วนตัวและน้ำหมึกปากกาลูกลื่น

## 2. วัตถุดิบและวิธีการ

เราได้สำรวจร้านขายเครื่องเขียนในเกาหลีจนทั่วเพื่อที่จะหาตราประทับหมึกแดง พบว่าหมึกประทับสีแดงทั้งหมด 13 แบบ มีวางจำหน่ายอยู่ในร้านขายเครื่องเขียนทั่วไปในเกาหลี โดยที่มาของมันทั้งยี่ห้อและคุณสมบัติสีได้ระบุไว้ในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1**

**ที่มา, ชื่อยี่ห้อ และสีของหมึกประทับที่มีวางจำหน่ายในเกาหลี**

| หมายเลข ตย. | ที่มา | ชื่อยี่ห้อ | สี |
|---|---|---|---|
| S1 | Korea | Mae Pyo (general) | Purple red |
| S2 | | Mae Pyo (general) | Red |
| S3 | | Mae Pyo (gold) | Purple red |
| S4 | | Mae Pyo (gold) | Red |
| S5 | | Peace | Purple red |
| S6 | | Peace (accent) | Red |
| S7 | Japan | Compact | Red |
| S8 | China | Ju-An | Red |
| S9 | | Guem-Ja | Red |
| S10 | | Kang-Sa | Red |
| S11 | | Toe-Ju | Red |
| S12 | | Kwang-Myung | Red |
| S13 | | Mi-Ryo | Red |

กระดาษยี่ห้อ Double A™ ที่มาจากประเทศไทย เป็นกระดาษสีขาวที่ใช้ตลอดการศึกษาครั้งนี้ หมึกประทับแต่ละอันจะนำมาประทับบนกระดาษสีขาวและปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 10 นาทีหลังจากนั้นจะใช้เทคนิคการหาคุณลักษณะโดย FTIR เพื่อบันทึกและเก็บเป็นฐานข้อมูลของหมึกประทับ การทำ blind test กระทำผ่านการประทับตราประทับส่วนบุคคล โดยใช้หมึกประทับที่อยู่ในฐานข้อมูลของน้ำหมึกประทับที่วิเคราะห์โดยเทคนิค FTIR การทดลองแบบ blind test นี้ เราจะติดฉลาก บนตัวอย่าง ในรูปแบบรหัส เพื่อหลีกเลี่ยงอคติในการทดลอง

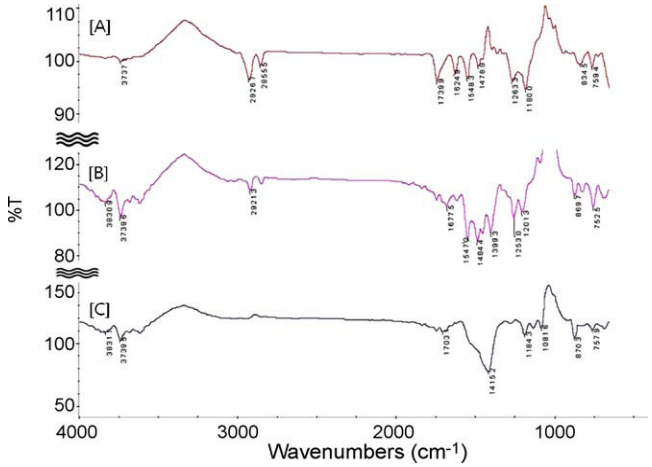
สำหรับการศึกษาลายเส้นตัดแบบ heterogeneous เราใช้ปากกาลูกลื่นหมึกดำยี่ห้อ Barunson ™ (เกาหลี) ทำการบันทึกเส้นสเปกตรัมของปากกาลูกลื่นหมึกดำ ในการทดลองครั้งนี้ เราแบ่งแผนการทดลองเป็น 2 แบบ ซึ่งก็คือ (a) ขีดเส้นหมึกประทับบนหมึกปากกาลูกลื่นสีดำ (b) ขีดหมึกปากกาลูกลื่นสีดำบนหมึกประทับ ตัวอย่างทั้งสองแบบนี้ นำมาตรวจวัดด้วยเทคนิค micro-ATR FTIR และลบลายเส้นของพวกมันออกจากกระดาษสีขาว โดย IR spectrum

*2.1 เทคนิค Fourier transform infrared spectrometry*

ในการศึกษาครั้งนี้ นำเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ FTIR (Thermo Mattson, Infinity Gold FT-IR, Waltham, MA, USA) มาติดตั้งกับ IR microscope (SpectraTech, Inspect IR plus, Franklin Lakes, NJ, USA) และตัวตรวจจับธาตุปรอท แคดเมียม และสารประกอบ tellulium เพื่อบันทึกเส้นสเปกตรัม IR ของตัวอย่าง ทำการสแกน 64 ครั้ง ที่ความละเอียด 8 cm-1 และวัดช่วงความถี่ที่ระหว่าง 600 และ 4000 cm-1 ที่แถบ IR ส่วนกลาง (mid-IR) นำตัวอย่างมาเตรียมส่องกล้องจุลทรรศน์ โดยวางบนที่วางตัวอย่าง และไม่มีการเตรียมตัวอย่างอื่นใดเพิ่มเติม ทำการบันทึกเส้นเสปกตรัมบนกระดาษสีขาวซึ่งผลการบันทึกนี้ใช้เป็นผล blank ในการทดลอง ทำการวัดสเปกตรัมจำนวนหลายเส้นของกระดาษว่างเปล่านี้เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงในการให้ผลซ้ำ (reproducibility) มีการสังเกตการณ์โดย Bojko et al เมื่อโหมดของ micro-ATR ได้ถูกใช้งานใน FTIR เส้นสเปกตรัมของหมึกประทับสีแดงและหมึกปากกาลูกลื่นจะไม่จมรวมกับเส้นสเปกตรัมอันเกิดจากกระดาษซึ่งมีองค์ประกอบของเซลลูโลส และองค์ประกอบอนินทรีย์อื่น ๆ [5] ทำการทดลองทั้งหมดกับตัวอย่าง 3 ซ้ำด้วยกัน

*2.2 การทำฐานข้อมูลและการรวบรวมเส้นสเปกตรัม*

รวบรวมเส้นสเปกตรัม IR ทั้งหมด เพื่อจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลสเปกตรัม โดยใช้ชุดซอฟท์แวร์ของ Omnic ™ (Thermo Nicolet Corp., Madison, WI, USA) คุณสมบัติของเส้นสเปกตรัมแต่ละเส้น แถบแต่ละแถบ ประเทศที่มา และเฉดสี จะถูกบันทึกลงในฐานข้อมูลด้วยเราสามารถใช้คำถาม หรือ คีย์เวิร์ดเพื่อจับคู่เส้นสเปกตรัมที่เราไม่ทราบกับข้อมูลในฐานข้อมูลได้

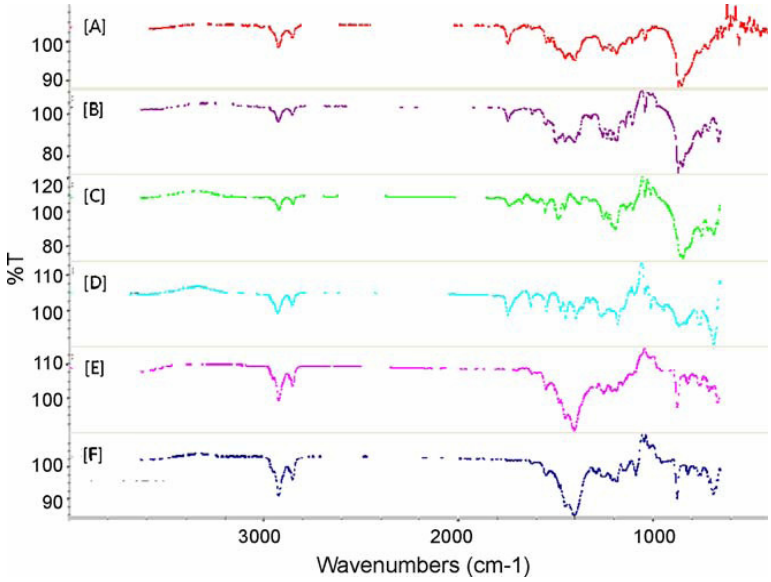



รูปที่ 1 เส้นสเปกตรัม ATR FTIR แต่ละชนิดของหมึกประทับที่มีสีเดียวกันแต่มาจากผู้ผลิตต่างกัน (A) ตัวอย่างหมึกประทับ ,S6 (B) ตัวอย่างหมึกประทับ ,S7 (C)ตัวอย่างหมึกประทับ ,S8 เส้นสเปกตรัม IR ของหมึกประทับที่ประทับตราลงบนกระดาษสีขาวเหล่านี้ ถูกลบออกจากเส้นเสปกตรัม IR ของกระดาษสีขาว

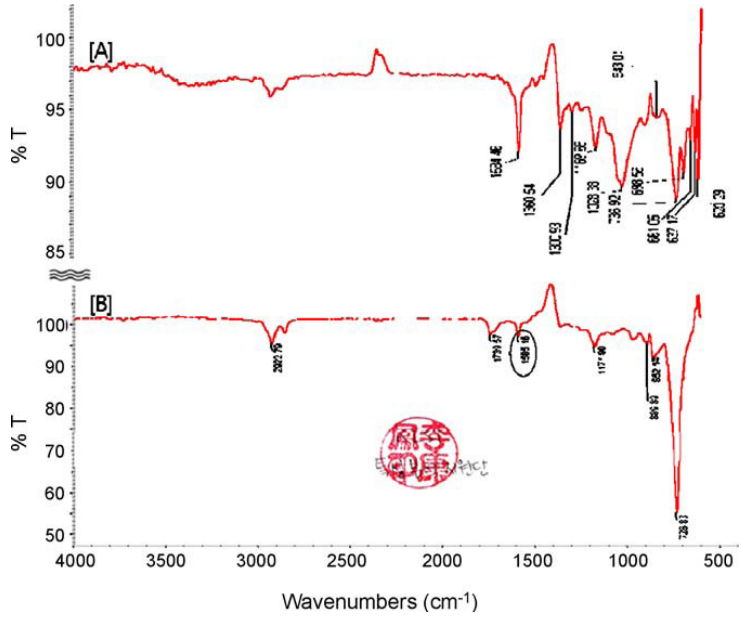
### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เพื่อที่จะแบ่งแยกความแตกต่างของหมึกประทับเหล่านี้ จึงนำตราประทับที่มีรอยเปื้อนของหมึกมาประทับบนกระดาษสีขาวมาตรฐานและทำการบันทึก FTIR ข้อมูล FTIR ที่ได้จะถูกจัดเก็บและสร้างเป็นฐานข้อมูลขึ้น จำนวนพีคและตำแหน่งของพีครวมทั้งความเข้มข้นที่เกี่ยวข้อง (relative intensities) จะถูกนำมาวิเคราะห์ และใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการบ่งชี้ความแตกต่าง ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค micro-ATR FTIR สามารถแยกความแตกต่างของหมึกประทับที่มีสีเดียวกันแต่มาจากผู้ผลิตต่างกันได้ (ภาพที่ 1) การบ่งบอกความแตกต่างของตัวอย่างที่ S6: Peace (accent) สีแดง ทำในประเทศเกาหลี; ตัวอย่างที่ S7: Compact สีแดง ทำในประเทศญี่ปุ่น ; และ ตัวอย่างที่ S8 Ju – an สีแดง ทำในประเทศจีน กระทำบนพื้นฐานของความเข้มข้นของพีค ตำแหน่งของพีค และรูปแบบของพีค เส้นสเปกตรัม micro-ATR FTIR ของตัวอย่างหมึกประทับอีก 10 ตัวอย่างถูกแสดงไว้เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติม (ภาพที่ SM1) การทดลองแบบ Blind Test กระทำเพื่อเป็นหลักฐานวิธีการที่กล่าวไป มีการบันทึกเส้นสเปกตรัมของตัวอย่าง Blind Test ซึ่งหมึกประทับถูกประทับโดยผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโปรเจคครั้งนี้ เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้ตรงกับคำถามหรือคีย์เวิร์ดสำหรับการสืบค้น ค่าคุณภาพในการจับคู่ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกถึงความเหมือนของเส้นสเปกตรัมของสารอ้างอิง

กับเส้นสเปกตรัมของตัวอย่าง เป็นสิ่งที่นำไปสู่การบ่งชี้ของหมึกประทับนั้น ๆ ยิ่งค่าคุณภาพในการจับคู่สูงเท่าไหร่การจับคู่ก็จะดีขึ้นเท่านั้น




ภาพที่ 2 ผลการทดลอง Blind Test แสดงการจับคู่โดยเทคนิค micro-ATR FTIR อย่างแม่นยำของหมึกประทับที่ไม่รู้เมื่อนำข้อมูลเส้นสเปกตรัมไปเทียบกับฐานข้อมูลที่เตรียมไว้ (A) ตัวอย่างหมึกประทับที่ไม่ทราบ (B) ตัวอย่างหมึกประทับ S2 (ค่าการจับคู่ = 79.19) ; (C) ตัวอย่างหมึกประทับ S4 (ค่าการจับคู่ = 54.04) ; (D) ตัวอย่างหมึกประทับ S7 (ค่าการจับคู่ = 39.18) ; (E) ตัวอย่างหมึกประทับ S3 (ค่าการจับคู่ = 37.63) ; (F) ตัวอย่างหมึกประทับ S1 (ค่าการจับคู่ = 37.23)



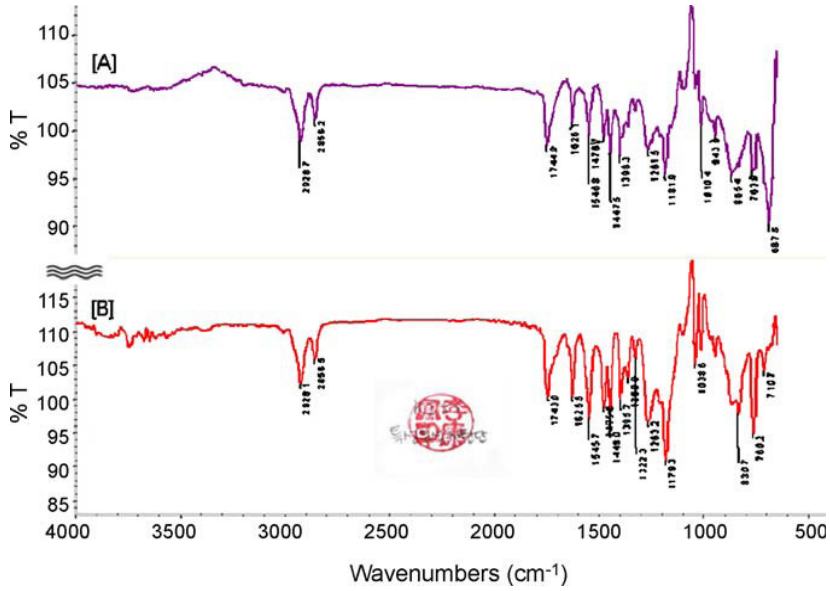

ภาพที่ 3 สเปกตรัมของ (A) ปากกาลูกลื่นและ (B) ปากกาลูกลื่นบนหมึกประทับ

ในภาพที่ 2 ตัวอย่างของ Blind (โดยดั้งเดิมคือ S2) นำมาใช้เพื่อทดสอบวิธีการของเรา หลังจากการทำฐานข้อมูลเพื่อการสืบค้นขึ้นมาแล้ว เทคนิค micro-ATR FTIR สามารถบ่งชี้เอกลักษณ์ของหมึกประทับ (Korea, Mae Pyo (general ); red) บนพื้นฐานของค่าการจับคู่ที่สูงสุด (79.2) ในจำนวนหมึกประทับทั้งหลาย ทำการทดลองแบบ Blind Test เพิ่มอีก 20 ตัวอย่าง และจัดทำฐานข้อมูลเพื่อสืบค้นด้วย

เพื่อพิสูจน์หลักฐานของการใช้ได้ของวิธีการทั้งหมด เราจึงนำเอกสารดั้งเดิมในปี 1997 ที่ประทับตราโดยหมึกประทับสีแดงมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค micro-ATR FTIR และ TOF – SIMS ความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิควิธี TOF – SIMS เคยมีการตีพิมพ์มาก่อน [3] ผลการทดลองจากวิธีการวิเคราะห์ทั้งคู่แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีของหมึกประทับสีแดงยี่ห้อ Mapyo สามารถจับคู่ได้เป็นอย่างดีกับฐานข้อมูล

เพื่อที่จะประสบความสำเร็จในการตรวจสอบหาลำดับลายเส้นตัด วัตถุที่พิมพ์หรือเขียนนั้นจะต้องให้เส้นสเปกตรัมที่สามารถแยกวิเคราะห์จากเส้นแบคกราวน์เดิมได้ นอกจากนี้มันจะต้องมีแถบคุณลักษณะอย่างน้อย 1 แถบ ที่ให้ภาพที่เป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับแถบใด ดังนั้นองค์ประกอบของรูปแบบจากผลการทดลองที่ได้จากเส้นตัด 2 ตำแหน่ง ก็จะสามารถพิสูจน์ได้

รูปภาพที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าหมึกปากกาลูกลื่นและตราประทับ มีเส้นสเปกตรัมที่แยกออกจาก แบคกราวน์ได้ ด้วยเหตุนี้วิธีนี้จึงผ่านมาตรฐานข้อแรกของการพิสูจน์ นอกจากนี้เส้นสเปกตรัมของหมึกปากกาลูกลื่น (ภาพ 3A) แสดงพีคที่ 1585 และ 1170 $cm^{-1}$ และพีคเหล่านี้เป็นคุณลักษณะของหมึกปากกาลูกลื่น ซึ่งอ้างอิงได้กับสีของ triarylmethane [4] ในขณะที่พีค ณ ตำแหน่ง 2928 และ 2856 $cm^{-1}$ ในภาพที่ 4A สามารถอ้างได้ถึงการมี C-H stretching จากไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันคาสโต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของหมึกประทับ พีคเหล่านี้เป็นตัวบ่งบอกของการมีและไม่มีหมึกประทับหรือหมึกปากกาลูกลื่นในตัวอย่าง




ภาพที่ 4 เส้นสเปกตรัมของ (A) หมึกประทับและ (B) หมึกประทับบนปากกาลูกลื่น

นอกจากนี้รูป 3B และ 4B แสดงผลของเทคนิค micro-ATR FTIR ของหมึกปากกาลูกลื่นที่อยู่บนหมึกประทับ และผลของการประทับหมึกประทับบนหมึกปากกาลูกลื่นตามลำดับ จากภาพที่ 3 เป็นภาพหมึกปากกาลูกลื่นที่เขียนบนหมึกประทับ และแม้ว่าพีคในภาพส่วนใหญ่จะอ้างอิงถึงหมึกประทับ แต่ ณ พีคที่ 1585 $cm^{-1}$ ซึ่งมาจากปากกาลูกลื่นสามารถแยกออกให้เห็นได้ อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4 ไม่มีพีคที่อ้างถึงหมึกปากกาลูกลื่นให้เห็นอยู่เลย พีคทุกพีคอ้างถึงหมึกประทับ มีการทำ Blind Test หลายครั้งกับปากกาลูกลื่นและหมึกประทับที่ต่างกันไปและด้วยวิธีนี้ การตรวจสอบลำดับของลายเส้นตัด สามารถทำได้อย่างแม่นยำ (แสดง

ใน ภาพSM3) ด้วยเหตุนี้ ข้อมูลเหล่านี้แสดงถึงการมีประโยชน์ของเทคนิค micro-ATR FTIR ในสาขานิติวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน

**4.บทสรุป**

การวิเคราะห์เอกสารต้องสงสัยเป็นหลักเกณฑ์ที่สำคัญในสาขานิติวิทยาศาสตร์ ในการศึกษาครั้งนี้ ความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิค micro-ATR FTIR แสดงให้เห็นถึงความมีประโยชน์ในแง่การวิเคราะห์เอกสารที่เกี่ยวข้องกับตราประทับ แหล่งที่มาของตราประทับและลำดับของลายเส้นตัด ระหว่างหมึกประทับและลายเซ็นต์ โดยปากกาลูกลื่นสามารถตรวจหาได้โดย micro-ATR FTIR ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย เร็ว ไม่ต้องทำลายเอกสาร มีความแม่นยำในการวิเคราะห์โดยใช้พื้นฐานของที่มาที่ต่างกันของสารเคมี อันเกี่ยวข้องกับตัวอย่างที่วิเคราะห์