

เทคนิครามานสเปกโทรสโกปีกับการวิเคราะห์หมึกปากกาเจลสีน้ำเงิน

Raman spectroscopy of blue gel pen inks

510 701 สัมมนาสำหรับบัณฑิตวิทยาศาสตร์ 1 ภาคต้น ปีการศึกษา 2553

ผู้ให้สัมมนา นางสาวสารัตน์ ล้วนดี **รหัส** 52312340

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

วัน เวลา สถานที่ ห้อง 4205 อาคารวิทยาศาสตร์ 4

บทคัดย่อ

เทคนิครามานสเปกโทรสโกปีเป็นเครื่องมือสำคัญในงานนิติวิทยาศาสตร์ จุดเด่นของเทคนิคนี้ คือไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก งานวิจัยนี้เป็นการใช้เทคนิครามานสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์หมึกปากกาเจลสีน้ำเงินจำนวน 55 ตัวอย่าง โดยเลือกเก็บตัวอย่างหมึกปากกาเจลสีน้ำเงินที่มียี่ห้อและรุ่นแตกต่างกันซึ่งวางขายในท้องตลาดในช่วงที่ทำการศึกษา จากการศึกษาเบื้องต้นด้วยการละลายตัวอย่างหมึกปากกาเจลสีน้ำเงินในสารละลายเมทานอล สามารถแยกปากกาตัวอย่างออกได้เป็นสองกลุ่มคือกลุ่มตัวอย่างที่มีองค์ประกอบเป็นสีย้อมจำนวน 19 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่มีองค์ประกอบเป็นเม็ดสีจำนวน 26 ตัวอย่าง และเมื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นสองช่วง คือ 514.5 นาโนเมตร และ 830 นาโนเมตร สามารถจำแนกความแตกต่างของกลุ่มเม็ดสีหลักในตัวอย่างปากกาเจลสีน้ำเงินออกได้เป็นสองกลุ่มหลักคือ กลุ่มเม็ดสีน้ำเงิน 15 และกลุ่มเม็ดสีม่วง 23

เอกสารอ้างอิง

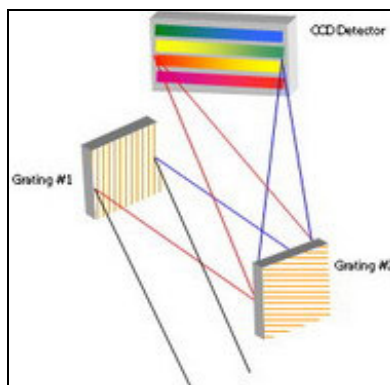
1. W. David Mazzella; P. Buzzini, *Forensic Sci. Int.*, 2005, 152, 241–247.

Raman Spectroscopy

เทคนิค Raman Spectroscopy เป็นเทคนิคที่ใช้ในการระบุชนิดของสารและใช้ในการวิเคราะห์โมเลกุลของสาร โดยเทคนิคนี้จะให้ข้อมูลที่คล้ายกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Infrared Spectroscopy แต่จะมีข้อดีที่ได้เปรียบที่สำคัญกว่าคือ ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยากและบางครั้งก็สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการเตรียมตัวอย่าง เช่นวิเคราะห์สารที่อยู่ในภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะใสได้แก่แก้วหรือพลาสติก หรือสารละลายที่อยู่ในน้ำซึ่ง peak ของน้ำจะรบกวนตัวอย่าง แต่ด้วยเทคนิคนี้จะให้ peak ของน้ำที่อ่อนมากจึงไม่รบกวนตัวอย่าง ทำให้สามารถวิเคราะห์สารละลายซึ่งละลายอยู่ในน้ำได้

โดยทั่วไปเมื่อแสงทำปฏิกิริยากับตัวอย่างอาจจะเกิดได้ทั้งการดูดซับ การส่งผ่านและการกระเจิงของแสง ซึ่งเทคนิค Raman Spectroscopy จะใช้พื้นฐานในการตรวจวัดการกระเจิงของแสงที่เกิดการกระเจิงซึ่งถูกกระตุ้นโดยแสงเลเซอร์ซึ่งมีความเข้มและเป็นแสงความยาวคลื่นเดียว พลังงานรังสีอาจเกิดการกระเจิงอย่างซึ่งไม่มีผลให้ความยาวคลื่นของแสงเกิดการเปลี่ยนแปลง เรียกว่า Rayleigh scattering ในทางกลับกันรังสีก็อาจเกิดการกระเจิงโดยมีผลให้ความยาวคลื่นแสงเกิดการเปลี่ยนแปลงและเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานโดยถ้าแสงเกิดการสูญเสียพลังงานเกิด Stoke radiation และถ้าแสงได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นเกิด Anti-Stoke radiation ซึ่งแสงที่เกิด Stoke radiation และ Anti-Stoke radiation นั้นจะสอดคล้องกับการสั่นของโมเลกุลสาร สเปกตรัมในช่วง Stoke radiation จะมีความเข้มสูงซึ่งเป็นช่วงที่สนใจนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนสเปกตรัมของ Anti-Stoke radiation นั้นจะไม่ได้ให้ข้อมูลใหม่ ๆ ที่สำคัญมากนักเราจึงไม่สนใจสเปกตรัมในช่วงนี้ เช่นเดียวกันกับ Infrared Spectroscopy สารแต่ละตัวจะให้ข้อมูลสเปกตรัมเฉพาะสารซึ่งสามารถใช้ระบุชนิดของสารได้หรือที่เรียกว่า finger print โดยการสั่นของพันธะที่จะสามารถตรวจวัดด้วยเทคนิคนี้จะต้องเกิดการ polarize ของแสงได้ ซึ่งสารที่มีพันธะแบบสมมาตรพวก symmetric bond g ได้แก่ C=C, S=S หรือสาร aromatic จะให้ peak ที่ชัดเจน

เทคนิค Dispersive Raman จะใช้ grating ซึ่งจะมีข้อเสียเนื่องจากสเปกตรัมแยกกระจายไปยัง CCD detector ในรูปแบบเส้นตรงซึ่งจะต้องเลือกระหว่างการใช้ low dispersive grating จะให้สเปกตรัมช่วงกว้างแต่ให้ resolution ต่ำ หรือถ้าใช้ high dispersive grating จะให้ resolution สูงแต่เห็นสเปกตรัมจำนวนน้อยและอีกแบบหนึ่งก็คือการใช้ scanning และ stitching ซึ่งจะทำให้ได้ resolution ที่สูงได้แต่ต้องใช้เวลาและสเปกตรัมแต่ละส่วนนั้นได้จากการวิเคราะห์ที่เวลาต่างกันด้วยเหตุนี้บริษัทเพอร์คินเอลเมอร์จึงได้ใช้ Echelle spectrograph เข้ามาใช้ในเครื่อง Dispersive Raman โดยจะใช้ grating 2 อันในการใช้ให้แสงแยกกระจายไปยัง CCD detector ในรูปแบบสองมิติ ทำให้สามารถเก็บแสงทั้งหมดได้พร้อม ๆ กับการให้ resolution ที่ดีได้



Renishaw Raman RM 1000

ส่วนประกอบของหมึกปากกาถูกลื่น

ส่วนประกอบของหมึกปากกาถูกลื่นแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบใดบ้าง ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ว่าต้องการให้หมึกปากกามีคุณสมบัติแบบใด เช่น ความเหนียวหนืด ลักษณะการแห้งตัว สี การไหล การทนความร้อน การทนแสง หรือการทนน้ำ เป็นต้น หมึกปากกาถูกลื่นโดยทั่วไปประกอบไปด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน 4 อย่างคือ สารตัวนำ สารสี เรซิน และสารเติมแต่ง

1. สารตัวนำ (vehicle)

vehicle ที่เติมลงในน้ำหมึกมีหน้าที่ในการละลาย หรือ การพาสารสี รวมไปถึงควบคุมความคล่องตัวในการไหลของปากกาถูกลื่น ในส่วนของ vehicle นั้นได้มีการปรับเปลี่ยนสูตรมาตั้งแต่ปี 1930 ซึ่งในช่วงก่อนปี 1950 vehicle ที่ใช้จะเป็นหมึกเป็นฐานน้ำมัน เช่น น้ำมันลินซีด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันแร่ หรือ ชนิดอื่น ๆ ส่วนในช่วงหลังปี 1950 ได้พัฒนาเป็นน้ำหมึกฐาน glycol จนกลายเป็นที่นิยมของประชาชนอย่างรวดเร็ว หมึกปากกาถูกลื่นมักจะบรรจุด้วยตัวทำละลายที่เป็น vehicle ในสูตร 1 ชนิดขึ้นไป ตัวทำละลายจะเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่ในน้ำหมึกประมาณ 50% ของส่วนประกอบทั้งหมด ตัวทำละลายที่ใช้ในหมึกปากกาถูกลื่น

2. สารสี (dyes and pigment)

สารสีเป็นส่วนประกอบที่ให้สีกับน้ำหมึกในปากกา 1 สูตร มักจะใช้สารสีมากกว่า 1 ชนิด

3. เรซิน (resin)

เป็นสิ่งที่เพิ่มเข้าไปในน้ำหมึกถูกลื่น เพื่อเติมเต็มและเพื่อปรับในเรื่องความหนืดของน้ำหมึก ในน้ำหมึกจะมีส่วนประกอบของเรซิน ประมาณ 20 %

4. สารเติมแต่ง (additive)

สารเติมแต่งจะอยู่ในสูตรหมึกปากกาประมาณ 5 % สารเติมแต่งคือ สารที่เติมแต่งลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติของน้ำหมึก ให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้น ๆ สารเติมแต่งทำหน้าที่แก้ไขคุณสมบัติที่บกพร่องของเรซินที่ใช้ในการผลิตน้ำหมึกในระหว่างกระบวนการผลิต รวมทั้งช่วยป้องกันการเกิดปัญหาต่าง ๆ ของน้ำหมึกที่อาจจะเกิดขึ้นได้ หน้าที่ของสารเติมแต่ง เช่น สารเร่งแห้ง หรือสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของสารสี เป็นต้น

เทคนิครามานสเปกโทรสโกปีกับการวิเคราะห์หมึกปากกาเจลสีน้ำเงิน

เทคนิครามานสเปกโทรสโกปีเป็นเครื่องมือสำคัญในงานนิติวิทยาศาสตร์ จุดเด่นของเทคนิคนี้คือไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก งานวิจัยนี้เป็นการใช้เทคนิครามานสเปกโทรสโกปีในการวิเคราะห์หมึกปากกาเจลสีน้ำเงินจำนวน 55 ตัวอย่าง โดยเลือกเก็บตัวอย่างหมึกปากกาเจลสีน้ำเงินที่มียี่ห้อและรุ่นแตกต่างกันซึ่งวางขายในท้องตลาดในช่วงที่ทำการศึกษา จากการศึกษาเบื้องต้นด้วยการละลายตัวอย่างหมึกปากกาเจลสีน้ำเงินในสารละลายเมทานอล สามารถแยกปากกาตัวอย่างออกได้เป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มตัวอย่างที่มีองค์ประกอบเป็นสีข้อมจำนวน 19 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่มีองค์ประกอบเป็นเม็ดสีจำนวน 26 ตัวอย่าง และเมื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นสองช่วง คือ 514.5 นาโนเมตร และ 830 นาโนเมตร สามารถจำแนกความแตกต่างของกลุ่มเม็ดสีหลักในตัวอย่างปากกาเจลสีน้ำเงินออกได้เป็นสองกลุ่มหลักคือ กลุ่มเม็ดสีน้ำเงิน 15 และกลุ่มเม็ดสีม่วง 23

บทนำ

ปากกาเจลเป็นผลิตภัณฑ์กลุ่มใหญ่ที่ได้รับความนิยมโดยทั่วไป ด้วยเหตุผลนี้ผู้ทำการตรวจเอกสารที่ต้องสงสัยต้องหาวิธีการและเครื่องมือที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ตัวอย่างประเภทหมึกปากกาเจล ปากกาเจลถูกขายครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น ในช่วงกลางของปี ค.ศ. 1980 ผู้คิดค้นปากกาเจลคือ บริษัท ซากุระ (โอซากา , ญี่ปุ่น) 1984 และปี 1982 มีการวิเคราะห์หมึกที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบครั้งแรก และจากการพัฒนาของสารสีที่มีการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบซึ่งมีขายครั้งแรกมีชื่อว่า gelly roll pen ในปี 1984 ต่อมามีการพัฒนารูปแบบของสี ซึ่งมันทำให้หมึกมีเพิ่มอีกหลายๆ สี และมีสารบางชนิดซึ่งระเหยง่ายเป็นส่วนประกอบที่บอกความแตกต่างของปากกาแต่ละชนิด หมึกนั้นมักมีสีที่เป็นสารอินทรีย์เป็นตัวทำละลายทำให้เกิดสีประมาณ 60 -80 % นอกนี้อาจจะมีสารสีชนิดพิเศษ และส่วนประกอบอื่น เช่น เรซิน สารละลาย สารละลายดึงผิวที่ไม่มีไอออน และสารเจือปนต่างๆ ที่ทำให้มีลักษณะเฉพาะตัว คุณสมบัติของหมึกปากกาที่นิยมคือราคาถูก เขียนได้นาน

รามานสเปกโทรสโกปีประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสงซึ่งขึ้นอยู่กับการวัดการกระเจิงของแสง โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หมึกปากกาเจลที่มาจากแหล่งต่างๆ ด้วยเทคนิครามาน แล้วจัดทำเป็นฐานข้อมูลหมึกปากกาเจลสีน้ำเงิน

วิธีการทดลอง

1. การเก็บตัวอย่าง

เป็นการศึกษาโดยมีเป้าหมายเป็นปากกาเจลสีน้ำเงินที่มาจากแหล่งต่าง ๆ โดยงานวิจัยนี้ใช้ปากกาที่มาจากแหล่งต่างๆ ดังนี้

- mall mega stores
- variety shops,
- news agents,
- stationers and pen company warehouses in Canada, USA, Switzerland and
- nearby countries such Germany, France and Italy

ซึ่งทำให้เก็บตัวอย่างได้ทั้งหมด 55 ตัวอย่าง มีรายชื่อดังแสดงในหน้า 6

Brand	Extraction in MeOH (pigment/dye)
Cross Matrix	Dyes
Dong-A	Dyes
Dong-A	Dyes
Fila	Dyes
Le Grip Twin Gel	Dyes
Montex	Dyes
Papemate (CAN)	Dyes
Papemate (USA)	Dyes
Parker	Dyes
Pentel Energel (CAN)	Dyes
Pentel Energel (USA)	Dyes
Pilot G-1	Dyes
Pilot G-1 (CAN)	Dyes
Pilot G-2	Dyes
Pilot G2 USA	Dyes
Pilot SuperGel	Dyes
Reynolds	Dyes
Rotring	Dyes
Stypen	Dyes
Bic Intensity (CAN)	Pigment
Bic Intensity (CH)	Pigment
Brio Scatto Gel	Pigment
Edding 2170	Pigment
Edding 2189	Pigment
Flair 250	Pigment
Focus II	Pigment
Focus LX	Pigment
Herlitz (Zebra)	Pigment
Marvy Excel	Pigment
Merangue Hi jell	Pigment
Mondial LUS	Pigment
Montex HY Power	Pigment
Papemate (CH)	Pigment
Pentel K 106	Pigment
Pentel K 118	Pigment
Pentel K 160	Pigment
Pentel K 227 (CH)	Pigment
Pentel K 227 (USA)	Pigment
Pentel KN 127	Pigment
Pilot G-Tec C4	Pigment
Pilot P500	Pigment
Sakura MED	Pigment
Sakura XPGB (S)	Pigment
Sakura XPGB (USA)	Pigment
Sanford Gel RT	Pigment
Sanford Refill RT	Pigment
Sanford Uniball (CAN)	Pigment
Schneider	Pigment
Staples	Pigment
Uniball Signo (CAN)	Pigment
Uni-ball UM 133°	Pigment
Uniball UM 153	Pigment
Zebra Antique	Pigment
Zebra JimmieGel	Pigment
Zebra Sarasa	Pigment

2. รามานสเปกโตรสโคปี



Renishaw Raman RM 1000

รุ่นและยี่ห้อ Renishaw Raman RM 1000 spectrometer (Renishaw plc, Gloucestershire, UK),

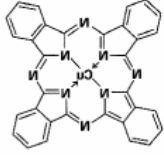
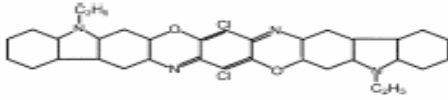
แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ 2 แหล่งกำเนิดแสง

1. 514.5 nm : from an argon ion : waverange 4000 and 200 cm⁻¹
2. 830 nm : from a near infrared (NIR : waverange 4000 and 200 cm⁻¹

สารมาตรฐานเม็ดสีที่ใช้ 4 ตัวอย่าง ดังนี้

- PB 15:1, Hostaperm Blau A2R, Hoechst (a-copper-phthalocyanine).
- PB 15:2, Hostaperm Blau AFL, Hoechst (a-copper-phthalocyanine).
- PB 15:3, Hostaperm Blau B2G, BASF (b-copper-phthalocyanine).
- PB 15:4, Hostaperm Blau BFL, Hoechst (b-copper-phthalocyanine).
- PV 23, Hostaperm Violett RL, Hoechst

พบว่าเป็นเม็ดสีหลักสองกลุ่ม ดังนี้

<p>1. pigment blue 15 class of phthalocyanines</p>	<p>(00147 .I.C) 21 suld inenayd</p> 
<p>2. pigment violet 23 class of the oxazines</p>	<p>Pigment violet 23 (C.I. 51319)</p> 

การทำลองทดสอบการละลายเบื้องต้น

ทำการทดสอบคุณสมบัติการละลายเบื้องต้น ด้วยสารละลายเมทานอลสามารถแยกตัว
อย่างปากกาออกได้เป็นสองกลุ่มดังนี้

1. กลุ่มที่มีองค์ประกอบของสีย้อม

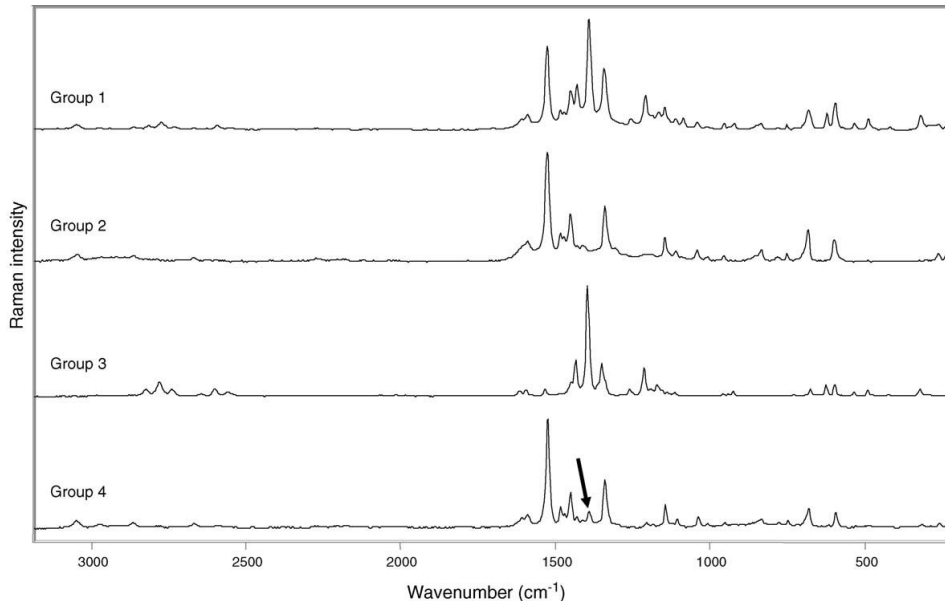
Cross Matrix	Dyes
Dong-A	Dyes
Dong-A	Dyes
Fila	Dyes
Le Grip Twin Gel	Dyes
Montex	Dyes
Papemate (CAN)	Dyes
Papemate (USA)	Dyes
Parker	Dyes
Pentel Energel (CAN)	Dyes
Pentel Energel (USA)	Dyes
Pilot G-1	Dyes
Pilot G-1 (CAN)	Dyes
Pilot G-2	Dyes
Pilot G2 USA	Dyes
Pilot SuperGel	Dyes
Reynolds	Dyes
Rotring	Dyes
Stypen	Dyes

2. กลุ่มที่มีองค์ประกอบของเม็ดสี

Bic Intensity (CAN)	Pigment
Bic Intensity (CH)	Pigment
Brio Scatto Gel	Pigment
Edding 2170	Pigment
Edding 2189	Pigment
Flair 250	Pigment
Focus II	Pigment
Focus LX	Pigment
Herlitz (Zebra)	Pigment
Marvy Excel	Pigment
Merangue Hi jell	Pigment
Mondial LUS	Pigment
Montex HY Power	Pigment
Papermate (CH)	Pigment
Pentel K 106	Pigment
Pentel K 118	Pigment
Pentel K 160	Pigment
Pentel K 227 (CH)	Pigment
Pentel K 227 (USA)	Pigment
Pentel KN 127	Pigment
Pilot G-Tec C4	Pigment
Pilot P500	Pigment
Sakura MED	Pigment
Sakura XPGB (S)	Pigment
Sakura XPGB (USA)	Pigment
Sanford Gel RT	Pigment
Sanford Refill RT	Pigment
Sanford Uniball (CAN)	Pigment
Schneider	Pigment
Staples	Pigment
Uniball Signo (CAN)	Pigment
Uni-ball UM 133°	Pigment
Uniball UM 153	Pigment
Zebra Antique	Pigment
Zebra JimmieGel	Pigment
Zebra Sarasa	Pigment

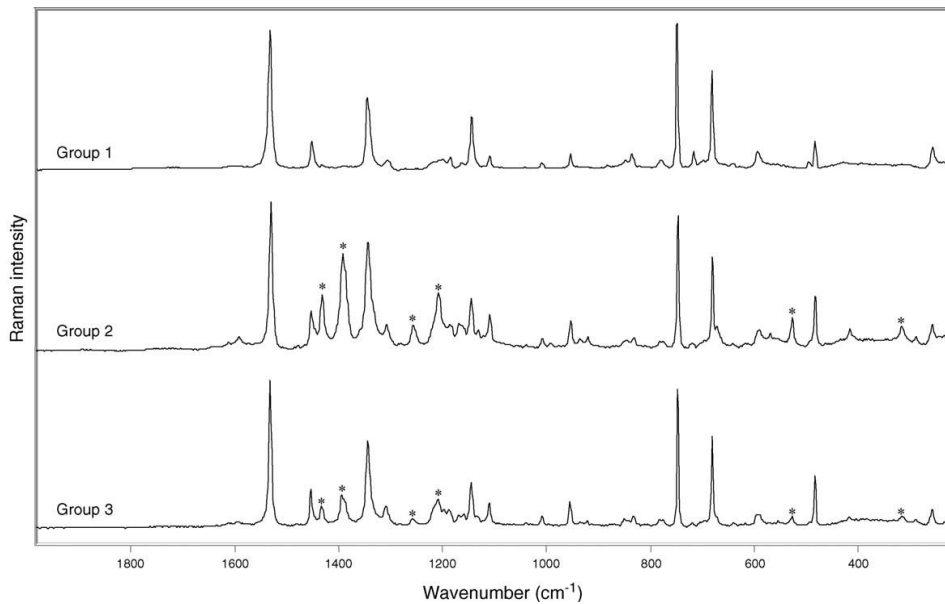
ผลการวิเคราะห์ด้วย รามานสเปกโตรสโคปี

1. สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างได้ เป็น 4 กลุ่มจากการใช้ความยาวคลื่นที่ 514.5 nm



Raman spectra of the four groups obtained using the argon ion laser (514.5 nm).

2. สามารถจัดกลุ่มตัวอย่างได้ เป็น 4 กลุ่มจากการใช้ความยาวคลื่นที่ 514.5 nm



Raman spectra of the four groups obtained using the NIR laser (830 nm)

ผลการคำนวณความแตกต่างของกลุ่ม

คำนวณจากสูตร

$$D = 1 - \frac{1}{N(N-1)} \sum x_j (x_j - 1)$$

D = D index of discriminatory power

N = number of unrelated strains tested

S = number of different types

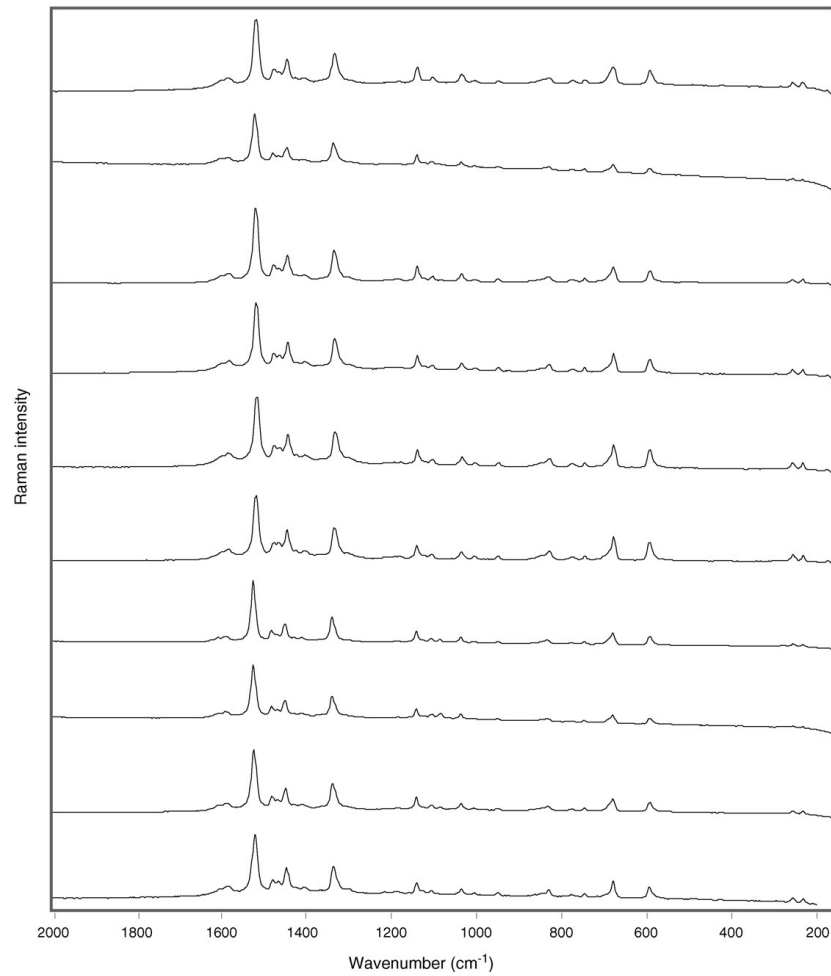
X_j = number of strains belong to the jth types

ได้ผลดังต่อไปนี้

Edding 2189	1	1	1	Herlitz (Zebra)	3	2	3
Edding 2170	1	1	1	Papernate (CH)	3	2	3
Pilot G-Tec C4	1	1	1	Zebra Sarasa	3	2	3
Pilot P500	1	1	1	Zebra JimmieGel	3	2	3
Brio Scatto Gel	2	1	2	Bic Intensity (CAN)	3	3	4
Flair 250	2	1	2	Bic Intensity (CH)	3	3	4
Focus LX	2	1	2	Pentel K 106	3	3	4
Focus II	2	1	2	Pentel K 227 (CH)	3	3	4
Marvy Excel	2	1	2	Pentel K 227	3	3	4
Mondial LUS	2	1	2	(USA)			
Montex HY Power	2	1	2	Pentel K 160	3	3	4
Sakura MED	2	1	2	Pentel K 118	3	3	4
Sanford Gel RT	2	1	2	Pentel KN 127	3	3	4
Sanford Uniball	2	1	2	Sakura XPGB (S)	3	3	4
(CAN)				Sakura XPGB	3	3	4
Sanford Refill RT	2	1	2	(USA)			
Schneider	2	1	2	Zebra Antique	3	3	4
Staples	2	1	2	Merangue Hi jell	4	1	5
Uni-ball UM 133°	2	1	2	DP	0.62	0.55	0.68
Uniball UM 153	2	1	2				
Uniball Signo	2	1	2				
(CAN)							

การทดสอบชนิดกระดาษ

ทดสอบกระดาษที่แตกต่างกัน 10 ชนิด ในการทดสอบด้วยรามานสเปกโตรสโคปี



- ทดสอบปากก้าอันเดียวกันบนกระดาษที่แตกต่างกัน 10 ตัวอย่าง พบว่า ให้สเปกตรัมเหมือนกัน

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำให้สามารถแยกกลุ่มของปากกาเจลสีน้ำเงินออกได้โดยที่ **514.5 nm** สามารถแยกออกได้เป็น 4 กลุ่ม และที่ความยาวคลื่น **830 nm** สามารถแยกได้เป็น 3 กลุ่ม และที่ สองความยาวคลื่นสามารถแยกได้ 5 กลุ่ม โดยมีค่า DP เป็นตัวชี้วัดความแตกต่าง ซึ่งพบว่าที่ ที่ ความยาวคลื่น **514.5 nm** มีค่า DP เท่ากับ 0.62 ที่ความยาวคลื่น **830 nm** มีค่า DP เท่ากับ 0.55 และที่ สองความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ 0.68 จากผลดังกล่าวสรุปได้ว่าที่ความยาวคลื่น 514.5 nm สามารถแยกได้ดีกว่าที่ความยาวคลื่น 830nm และการแยกที่ใช้ความยาวคลื่นจากสองแหล่งสามารถแยกได้ดีที่สุด และจากการทำฐานข้อมูลหมึกปากกาเจลสีน้ำเงินเมื่อนำตัวอย่างปากกาทำการทดสอบด้วย เทคนิครามานและทำการค้นคืนสเปกตรัมทำให้สามารถระบุเอกลักษณ์ปากกาว่าอยู่ในกลุ่มใด และมีองค์ประกอบของเม็ดสีใด โดยงานวิจัยนี้มีเม็ดสี 2 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มเม็ดสีน้ำเงิน 15 และกลุ่มเม็ดสีม่วง 23