

**การขยายสัญญาณฟูเรียรทรานฟอรมรามานสเปคโตรสโคปี
ของสารระเหยโดยใช้นาโนซิลเวอร์โฟม
Surface-Enhanced Raman Scattering of Volatile Organic Compound by
Nanosilver Foam with Fourier Transform Raman Spectroscopy**

ศรันจรัตน์ อินทรใจเอื้อ* และวีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน

สาขาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*Email: sarunrat.i@my.nsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนา นาโนซิลเวอร์โฟม โดยมีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาลักษณะทางกายภาพของนาโนซิลเวอร์โฟมและทดสอบการขยายสัญญาณรามาน ของไอระเหยสายละลายโดยใช้นาโนซิลเวอร์โฟม Surface - Enhanced Raman spectroscopy (SERS) ที่พัฒนาขึ้นคือ นาโนซิลเวอร์โฟมร่วมกับ เทคนิคการทำความเย็นเฉียบพลัน (freezing technique) จะทำให้ ฟูเรียรทรานฟอรมรามานสเปคโตรสโคปี แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ 1064 นาโนเมตร ซึ่งเป็น แหล่งกำเนิดเลเซอร์ของรามานสเปคโตรสโคปีที่มีพลังงานกระตุ้นต่ำสุด สามารถวิเคราะห์สารในสภาวะก๊าซหรือไอระเหย อีกทั้งยังเป็นระบบปิดซึ่งใช้ปริมาณสารเพียง 0.2 มิลลิลิตร ขั้นตอนการทำ SERS ใช้เทคนิคการขึ้นรูปไมโครเซลล์ลูลาโฟมด้วยพอลิเมอร์ชนิดพอลิแลคติกแอซิดและทำการเคลือบด้วยอนุภาคของเงินบนไมโครเซลล์ลูลาโฟมด้วยเครื่องเคลือบผิวด้วยโลหะไอออน ซึ่งจะได้ นาโนซิลเวอร์โฟมและนำไปดูดซับสารระเหยไออื่นที่สภาวะอุณหภูมิเย็นเฉียบพลัน และที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเทคนิคการเคลือบอนุภาคเงินบนไมโครเซลล์ลูลาโฟมสามารถขยายสัญญาณรามานได้ และพบว่าที่สภาวะการดูดซับสารระเหยไออื่นที่สภาวะอุณหภูมิเย็นเฉียบพลันมีค่าความคมชัดของพีการามานได้ดีกว่า และ นาโนซิลเวอร์โฟมยังสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์เพื่อใช้ในการตรวจจับสารระเหยหรือสารพิษที่มีความเข้มข้นต่ำชนิดอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร

คำสำคัญ: ฟูเรียรทรานฟอรมรามานสเปคโตรสโคปี นาโนซิลเวอร์ SERS

Abstract

This research focused to development nanosilver foam. The objective are study the physical property of nanosilver foam and the enhancement of raman spectras testing. Surface-enhanced Raman scattering (SERS) was developed using nanosilver foam co-together with freezing technique at FT-Raman Laser source 1064 nm. Laser source of Raman spectroscopy has a low activation energy that it can analyse the chemical in gase state and also close system to use very low volume of chemical (0.2 ml). SERS was produced from biopolymer as polylactic

acid (PLA). It names microcellular foam and microcellular foam was coated with nanosilver particle by Ion sputtering device. Nanosilver foam was taken to absorb toluene volatile with freezing technique and without freezing technique. The results showed that nanosilver foam with freezing technique can scatter the Raman spectrum more than nanosilver foam without freezing technique and at low temperature condition can also scatter the Raman spectrum more than high temperature condition. Nanosilver foam can develop and apply for using the low concentration of chemical and toxic volatile detection in agricultural and food industry.

Keyword: Fourier transform Raman spectroscopy, Nanosilver, SERS

บทนำ

ฟูเรียรามาฟอรัมรามานสเปคโตรสโคปี ใช้หลักการวัดความยาวคลื่นและความหนาแน่นของการกระเจิงของแสงของโมเลกุล โดยมีการเปลี่ยนแปลงความถี่เฟส ซึ่งเรียกว่าการกระเจิงแสงของรามาน (Raman scattering) หรือ Raman Effect (Linda, Colm and Gerard, 2006) ซึ่งการกระเจิงแสงนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร สถานะ และความเข้มข้น เทคนิคดังกล่าวได้นำมาใช้เป็นประโยชน์ หลากหลาย เช่น การหาสูตรโครงสร้างทางเคมีของสาร การตรวจสอบสารตั้งต้นจนถึงการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมยา เป็นต้น ฟูเรียรามาฟอรัมรามานสเปคโตรสโคปี อาศัยหลักการกระเจิงของแสงจากการสั่นไหวของโมเลกุลตัวอย่างเมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นเข้าไป โดยรวมการตอบสนองของการสั่นและการหมุนของโมเลกุลตัวอย่างเข้าด้วยกัน การตอบสนองของโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นจะถูกตรวจจับโดยการวัดความถี่ของการกระเจิงเรียกว่าการกระเจิงแสงของรามาน (Raman scattering) โดยต้นกำเนิดพลังงานที่ทำให้แก๊สโมเลกุลจะต้องเป็นรังสีความยาวคลื่นเดียวหรือในบางกรณีอาจใช้เลเซอร์ ข้อดีของรามานสเปคโตรสโคปีในระบบของการผลิตอาหารสามารถใช้ได้หลากหลาย (Eunice, Peter and John, 2010) เช่น อาหารเหลวที่มีน้ำหรือไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ไฟเบอร์ ฟิล์ม เจล แป้ง หรือ ผลึก วิธีการนี้ใช้ตัวอย่างน้อยและไม่ต้องเตรียมตัวอย่างมาก ภาชนะบรรจุเช่นแก้ว หรือน้ำปริมาณมาก จากหลักการทำงานข้างต้นพบปัญหาอย่างหนึ่งของ ฟูเรียรามาฟอรัมรามานสเปคโตรสโคปีคือแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์มีพลังงานกระตุ้นต่ำกว่ารามานสเปคโตรสโคปี ชนิดอื่น ๆ ส่งผลให้การกระเจิงแสงของรามาน มีการกระเจิงต่ำ ทำให้เครื่องตรวจจับรับสัญญาณไม่ได้

Surface-Enhanced Raman scattering (SERS) ถูกค้นพบเมื่อ คศ. 1973 และตีพิมพ์ครั้งแรกในปี คศ. 1974 (Fleischmann et al., 1974) ซึ่งถูกใช้ในวงการนักวิทยาศาสตร์ที่สนใจเคมีไฟฟ้าและรามานสเปคโตรสโคปี จนกระทั่ง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา SERS ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งเครื่องรามานและการผลิตระดับนาโน (nanofabrication) ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์หลายสาขา เช่น เคมี ฟิสิกส์ วัสดุศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ต่างใช้ประโยชน์จากเทคนิคนี้ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การตรวจสอบการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียหรือสารเคมีในน้ำ งานทางด้านชีวเคมี นิติวิทยา พิสูจน์หลักฐานความปลอดภัยของอาหาร การตรวจจับภัยคุกคามและการวินิจฉัยทางการแพทย์ (Timothy and Dick Wieboldt, 2010) หากเปรียบเทียบระหว่างรามานสเปคโตรสโคปีแบบปกติและ SERS อธิบายได้ว่า

รามาน สเปกโตรสโคปีคือ อันตรกิริยา ระหว่างแสงและโมเลกุล/สสาร ส่วน SERS คือ อันตรกิริยา ระหว่างแสงและโครงสร้างระดับนาโน SERS จะเกิดผลเมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ดูดซับบนหรืออยู่ใกล้กับพื้นผิวโลหะระดับนาโนที่เตรียมไว้ รามานเลเซอร์จะกระตุ้นพื้นผิวจนเกิด surface plasmons (coherent electron oscillations) surface plasmons ก็จะไปขยายการแผ่รังสีรามาน การขยายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพจะเกิดเรโซแนนซ์ระหว่างโลหะและเลเซอร์ โลหะที่นิยมใช้กับ SERS เทคนิคคือ ทองและเงิน แม้ว่าจะงานวิจัยอื่นๆ จะทดลองใช้โลหะชนิดอื่น ๆ เช่น ทองแดง แพททินัม และ แพลเลเดียม (Mamdouh et al., 2007)

องค์ประกอบสำคัญในการขยายสัญญาณ SERS ที่ดีคือความขรุขระของพื้นผิวโลหะ ถ้าพื้นผิวราบเรียบมากหรือแบนอาจไม่เกิดปรากฏการณ์ surface plasmons ลักษณะความขรุขระของพื้นผิวต้องมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นของเลเซอร์ เช่น ลักษณะความขรุขระหรือขนาดอนุภาคที่นิยมใช้อยู่ในช่วง 20 ถึง 100 นาโนเมตร สำหรับความยาวคลื่นของเลเซอร์ ช่วง 532 ถึง 780 นาโนเมตร โดยปกติแล้ว SERS Substrates จะอยู่ในรูปของ colloidal metal solution โดยเตรียมบนพื้นผิวแบนที่โลหะจะเคลือบเป็นชั้นบนผิวได้ Colloidal substrates คือ อนุภาคโลหะขนาดนาโนเมตรในสารละลาย เส้นผ่าศูนย์กลางจะอยู่ในช่วง 20 ถึง 100 นาโนเมตร

จากปัญหาเรื่องพลังงานกระตุ้นจากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ของฟูเรียรทรานส์ฟอร์มรามานสเปกโตรสโคปี ข้างต้น ร่วมกับความสามารถของ SERS เทคนิค ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำ SERS เทคนิคมาขยายสัญญาณ ฟูเรียรทรานส์ฟอร์มรามานสเปกโตรสโคปี เพื่อวิเคราะห์ไอระเหยสารละลาย โดยพัฒนานาโนซิลเวอร์โฟมใช้เป็น SERS

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของนาโนซิลเวอร์โฟมที่พัฒนาขึ้น และทดสอบการขยายสัญญาณของไอระเหยสารละลายโดยใช้นาโนซิลเวอร์โฟม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การพัฒนานาโนซิลเวอร์โฟม (Nanosilver Foam)

การพัฒนานาโนซิลเวอร์โฟมเริ่มจากนำไมโครเซลลูโลสโฟมที่ได้จากกระบวนการผลิตโฟมจากพอลิแลคติกแอซิด (PLA) (ภาพที่ 1) ผลิตขึ้นโดย Packaging and Food Innovation Research Unit (PFIR) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มาตัดเป็นชิ้นขนาด 0.3 x 1.5 x 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำไปเคลือบอนุภาคโลหะเงินขนาดนาโนด้วยเครื่องเคลือบผิวด้วยโลหะไอออน (Ion sputtering device) (ภาพที่ 2) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JFC-1100E โดยใช้กระแสไอออน 10 มิลลิแอมป์ เวลา 10 นาที จะได้นาโนซิลเวอร์โฟม



ภาพที่ 1 ภาพตัดขวางของไมโครเซลลูโลสโฟม
จากพอลิแซ็กคาไรด์แอซิด



ภาพที่ 2 เครื่องเคลือบผิวด้วยโลหะไอออน

การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ SERS

การทดสอบเทคนิค SERS กับ นาโนซิลเวอร์โฟมใช้สารละลายโกลด์เป็นตัวแทนสารระเหยง่าย (VOC) โดยแบ่งขั้นตอนทดสอบเป็น 2 ส่วนคือ 1. การนำนาโนซิลเวอร์โฟมดูดซับสารระเหยง่าย และ 2. การนำนาโนซิลเวอร์โฟมดูดซับสารระเหยง่ายร่วมกับเทคนิคการทำความเย็นเฉียบพลัน รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การนำนาโนซิลเวอร์โฟมดูดซับสารระเหยง่าย ทำโดยนำสารละลายโกลด์ความเข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดทดลองขนาด 1.5 มิลลิลิตร แล้วแขวนนาโนซิลเวอร์โฟมที่ปากขวดห่างจากสารละลายโกลด์ประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร ระวังอย่าให้นาโนซิลเวอร์สัมผัสกับสารละลายโกลด์ในขวด (ภาพที่ 3) นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายโกลด์ระเหยกลายเป็นไออิมตัวในขวดทดลอง หลังจากนั้นนำนาโนซิลเวอร์โฟมออกมาวัดรามานสเปกตรัมด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มมามานสเปกโตรสโคปี ยี่ห้อ Bruker รุ่น Ram II Nd:YAG แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ 1064 นาโนเมตร (ภาพที่ 4) โดยใช้กำลังเลเซอร์ 300 มิลลิวัตต์ จำนวนสแกน 8 ครั้ง ความละเอียด 4 รีโซลูชัน ทำซ้ำทั้งหมด 10 ซ้ำ นำรามานสเปกตรัมที่ได้มาเฉลี่ย

2. การนำนาโนซิลเวอร์โฟมดูดซับสารระเหยง่ายร่วมกับเทคนิคการทำความเย็นเฉียบพลัน ทำโดยเตรียมสารละลายโกลด์เหมือนกับข้อ 2.1 หลังจากอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมงให้นำขวดทดลองไปจุ่มในโตรเจนเหลวทันที ปล่อยให้ขวดเก็บสารอยู่ในไนโตรเจนเหลว 5 นาที นำนาโนซิลเวอร์โฟมออกมาวัดรามานสเปกตรัมด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี โดยใช้กำลังเลเซอร์ 300 มิลลิวัตต์ จำนวนสแกน 8 ครั้ง 4 รีโซลูชัน ทำซ้ำทั้งหมด 10 ซ้ำ นำรามานสเปกตรัมที่ได้มาเฉลี่ย



ภาพที่ 3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ
นาโนซิลเวอร์โฝม



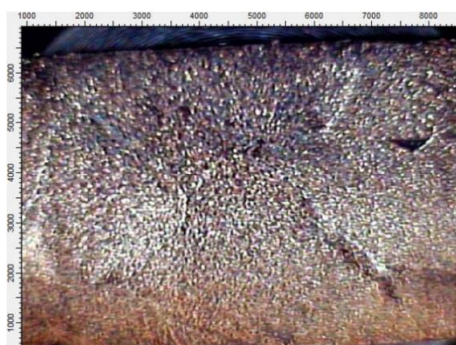
ภาพที่ 4 เครื่องฟูเรียรทรานฟอร์ม
รามานสเปกโตรสโคปี

ผลการวิจัย

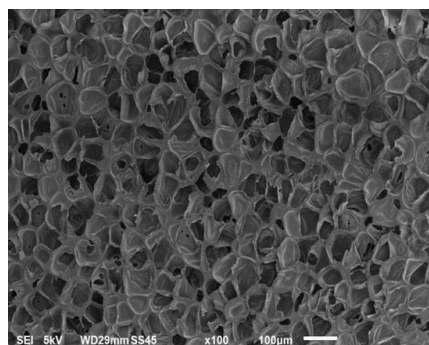
ผลของงานวิจัยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ การหาลักษณะทางกายภาพของนาโนซิลเวอร์โฝม และการทดสอบเทคนิค SERS กับ นาโนซิลเวอร์โฝมรายละเอียดดังต่อไปนี้

ลักษณะทางกายภาพของนาโนซิลเวอร์โฝม

เมื่อนำไมโครเซลลูโลสโฝมมาเคลือบด้วยอนุภาคเงินพบว่า พื้นผิวของไมโครเซลลูโลสโฝมจะกลายเป็นสีเงินวาวเรียบเท่ากันตลอดทั้งชิ้นงาน ขนาดอนุภาคของเงินที่เคลือบบนผิวมีขนาด 80–100 นาโนเมตร (ภาพที่ 5) เมื่อนำ ไมโครเซลลูโลสโฝมไปวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (ภาพที่ 6) พบว่า เส้นผ่าศูนย์กลางเซลล์โฝมเฉลี่ย 47.90 ไมโครเมตร จำนวนเซลล์ 28940.26 เซลล์ต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่น 9.06 $\times 10^6$ เซลล์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งขนาดอนุภาคโฝมดังกล่าวมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีการเตรียม Nano substrate เช่น Chi Lok Wong et al. (2014) พัฒนาซิลิคอนนาโนฟิลลา (silicon nanopillar) ที่เคลือบด้วยอนุภาคเงิน ใช้ร่วมกับรามานไมโครสโคปแหล่งกำเนิดเลเซอร์ 633 นาโนเมตร



ภาพที่ 5 ลักษณะพื้นผิวของนาโนซิลเวอร์โฝ
(หน่วย : ไมโครเมตร)



ภาพที่ 6 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ
ส่องกราดของนาโนซิลเวอร์โฝม

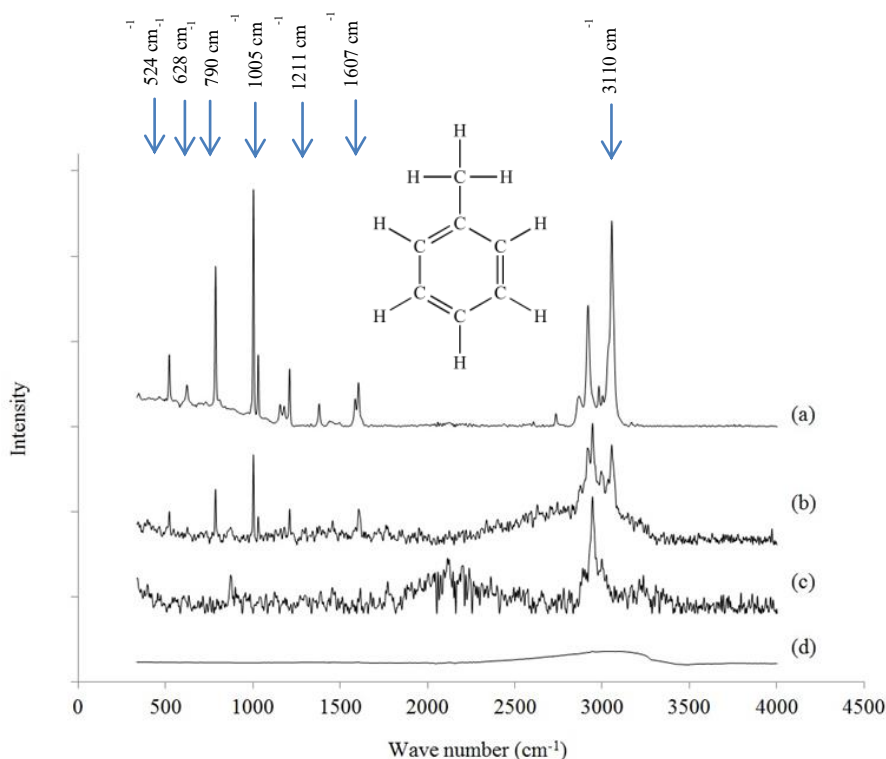
ผลการทดสอบเทคนิค SERS : นาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์

การทดสอบเทคนิค SERS กับ นาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์ใช้สารละลายโกลด์เป็นตัวแทนสารระเหยง่าย พบว่า เมื่อนำนาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์มาดูดซับสารระเหยโกลด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าในขวดทดลองยังมีสารละลายโกลด์เหลืออยู่ในขวดเพียงเล็กน้อย แสดงว่าสารละลายโกลด์ระเหยเป็นไอหมดตัวในขวดทดลอง หลังจากนั้นนำนาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์มาเก็บสัญญาณรามานสเปกตรัมของสารระเหยของโกลด์ สามารถตรวจพบพีคที่บ่งชี้ที่ $1,607\text{ cm}^{-1}$ (ภาพที่ 7c) ซึ่งพีคดังกล่าวไม่ชัดเจนนักว่าเป็นพีคของสารระเหยโกลด์ เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนจำนวนมาก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเทคนิคการทำความเย็นเฉียบพลันมาใช้ร่วมกับนาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์เพื่อดูดซับสารระเหยโกลด์ โดยการนำตัวอย่างไปแช่ไนโตรเจนเหลวก่อนวัดสัญญาณรามานสเปกตรัม พบว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถทำให้สารระเหยโกลด์ควบแน่นบนนาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์และสามารถตรวจพบพีคที่บ่งชี้ว่าเป็นสารระเหยของโกลด์ในช่วง 524 cm^{-1} , 628 cm^{-1} , 790 cm^{-1} , $1,005\text{ cm}^{-1}$, $1,030\text{ cm}^{-1}$, $1,211\text{ cm}^{-1}$, $1,607\text{ cm}^{-1}$ และ $3,011\text{ cm}^{-1}$ (ภาพที่ 7b) จากภาพสเปกตรัมของสารละลายโกลด์จะเห็นว่าเมื่อทำการให้พลังงานแก่สารระเหยโกลด์ความเข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของพีคสัญญาณรามานที่เกิดขึ้นในลักษณะที่เป็นค่าความเข้ม (Intensity) ของพีคจะมีความเข้มสูงที่ความถี่ 790 cm^{-1} , $1,005\text{ cm}^{-1}$ และ $3,011\text{ cm}^{-1}$ พีคที่ความเข้มปานกลางที่ความถี่ 524 cm^{-1} , $1,211\text{ cm}^{-1}$, และ $1,607\text{ cm}^{-1}$ และพีคที่ความเข้มต่ำที่ความถี่ 628 cm^{-1} ลักษณะของการสั่นจะเกิดคายพลังงานของสารประกอบในลักษณะของสโตกและแอนติสโตกโดยการสั่นของพันธะจะแสดงออกมาในรูปของพีคสเปกตรัม ที่ความเข้มสูงที่ความถี่ $3,011\text{ cm}^{-1}$ จะเกิดการสั่นที่หมู่ฟังก์ชัน C-H แบบ stretching ความถี่ $1,005\text{ cm}^{-1}$ จะเกิดการสั่นที่หมู่ฟังก์ชันเบนซีน แบบ ring stretch (symmetric mode) และ ความถี่ 790 cm^{-1} จะเกิดการบิดงอของพันธะที่หมู่ฟังก์ชัน C-H (Bernhard Schrader, 1995) จะเห็นได้ว่า พีครามานสเปกตรัมของสารระเหยโกลด์ที่ถูกดูดซับด้วยนาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์ ลักษณะของพีคบ่งชี้ถึงความสามารถในการขยายสัญญาณของนาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์ที่มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทั่วถึงทั้งแผ่นโพลีเมอร์ เนื่องจากผู้วิจัยทำการสู่วัตถุพีคของสารระเหยโกลด์บนนาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์ ส่งผลให้เกิดการขยายสัญญาณของพีคทั้ง 10 จุด ปรากฏจุดบ่งชี้ที่สารระเหยโกลด์เหมือนกันทุกรามานสเปกตรัม

จากงานวิจัยข้างต้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ พบว่า มีประเด็นแตกต่างอยู่ 2 ประเด็น ประเด็นแรก งานวิจัยของผู้วิจัยใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มรามานสเปกโตรสโกปีร่วมกับ SERS มีพลังงานกระตุ้นต่ำ ส่วนงานวิจัยของผู้วิจัยท่านอื่น ๆ เช่น Mosier and Lieberman (2003) สร้างระบบการวัดแบบต่อเนื่อง สารระเหยง่ายที่ต้องการวัดถูกส่งเข้าไปในระบบ SERS ติดตั้งบนเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ แล้วตรวจวัดโดยรามานสเปกโตรสโกปี แหล่งกำเนิดเลเซอร์ 785 นาโนเมตร จากนั้น สารระเหยง่ายส่วนหนึ่ง ไหลไปสู่ส่วนฉีดตัวอย่างของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี เพื่อวัดสารระเหยง่ายที่เหลือออกมาโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี อีกส่วนหนึ่งปล่อยทิ้ง ทดสอบตรวจวัดสารระเหยง่ายได้แก่ เบนซีนโกลด์ อีทิลเบนซีนและไซลีน Chunling zang et al. (2014) ใช้ confocal microprobe raman system แหล่งกำเนิดเลเซอร์ 532 นาโนเมตร ทำการวัด 2,4,6 ไตรไนโตรโกลด์ (TNT) โดยการเติมอากาศลงใน TNT ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แก๊สที่ผ่านสารละลาย TNT จะถูกปล่อยลงไนซิลเวอร์คอลลอยด์ หลังจากนั้นเก็บผลรามานสเปกตรัม โดยใช้แหล่งกำเนิดเลเซอร์ 532 นาโนเมตร พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้

คือ 10 ไมโครกรัมต่อลิตร Chi Lok Wong et. al. (2014) พัฒนา nano-pillar substrate ใช้ร่วมกับรามานไมโครสโคป แหล่งกำเนิดเลเซอร์ 633 นาโนเมตร สามารถตรวจจับสารระเหยเอทานอลต่ำสุด 0.4% สารระเหยซิโตนต่ำสุด 0.8% โดยใช้วิธี บีมไอรระเหยเข้าสู่ระบบวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งฟูเรียทรานฟอร์มรามานสเปกโตรสโคปีเหมาะกับการใช้งานกับตัวอย่างที่เป็นชีวภาพ ตัวอย่างไม่เสียหายเนื่องจากความร้อนของเลเซอร์ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับ SERS จะช่วยขยายสัญญาณมากขึ้น ประเด็นที่สองการทดลองข้างต้นเป็นการทดลองในระบบปิด ใช้ตัวอย่างน้อย ต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีการเติมสารเข้าระบบวัดตลอดเวลา



ภาพที่ 7 รามานสเปกตรัมของ (a) สารละลายโทลูอิน เข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์ (b) สารระเหยโทลูอินบนนาโนซิลเวอร์โฟมร่วมกับเทคนิคการทำความเย็นเฉียบพลัน (c) สารระเหยโทลูอินบนนาโนซิลเวอร์โฟม และ (d) นาโนซิลเวอร์โฟม

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ปริมาณสารในสภาวะก๊าซหรือสภาวะที่เป็นไอรระเหย ปัจจุบันเป็นหนึ่งในจุดเด่นของรามานสเปกโตรสโคปี เนื่องจากการตอบสนองอย่างจำเพาะต่อโครงสร้างหรือองค์ประกอบทางเคมี จากการทำการทดสอบข้างต้นพบว่า เมื่อใช้ Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) ที่พัฒนาขึ้นคือ นาโนซิลเวอร์โฟมร่วมกับเทคนิคการทำความเย็นเฉียบพลันจะทำให้ ฟูเรียทรานฟอร์มรามานสเปกโตรสโคปี แหล่งกำเนิดเลเซอร์ 1064 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเลเซอร์ของรามานสเปกโตรสโคปีที่มี

พลังงานกระตุ้นต่ำสุด สามารถวิเคราะห์สารในสภาวะก๊าซหรือไอระเหย อีกทั้งยังเป็นระบบปิดซึ่งใช้ปริมาณสารเพียง 0.2 มิลลิกรัม ขั้นตอนการทำ Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) ง่าย ราคาถูก ต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้ SERS กับ Dispersive Raman กล่าวคือ ยิ่งแหล่งกำเนิดเลเซอร์มีพลังงานกระตุ้นมากยิ่งสามารถตรวจจับสารระเหยได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ งานวิจัยที่ทำความท้าทายอย่างมากในการใช้เลเซอร์พลังงานกระตุ้นต่ำ และยังใช้การวัดในระบบปิดซึ่งใช้ปริมาณสารน้อยต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้การปล่อยให้อิระเหยเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง อีกทั้ง นาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์ที่พัฒนาขึ้นยังสามารถทำได้ง่ายราคาถูกอีกด้วย นาโนซิลเวอร์โพลีเมอร์ดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์เพื่อใช้ในการตรวจจับสารระเหยหรือสารพิษความเข้มข้นต่ำชนิดอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร โดยข้อมูลจำเพาะเช่น ความเสถียรของ Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) อายุการใช้งาน เป็นสิ่งสนใจที่นำทางการศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Bernhard Schrader. (1995). Infrared and Raman Spectroscopy :Method and Applications. VCH, Germany.
- Chi Lok Wong, U.S. Dinish, Michael Stenbæk Schmidt and Malini Olivo. (2014). Non-labeling multiplex surface enhanced Raman scattering (SERS) detection of volatile organic compounds (VOCs). *Analytica Chimica Acta*, 844: 54 - 60.
- Chunling Zhang, Kaijun Wang, Dejun Han and Qing Pang. (2014). Surface enhanced Raman scattering (SERS) spectra of trinitrotoluene in silver colloids prepared by microwave heating method. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 122: 387-319.
- Eunice C. Y. Li-Chan, Peter R. Griffiths and John M. Chalmers. (2010). Applications of Vibrational Spectroscopy in Food Science V1. Instrumentation and Fundamental Applications., John Wiley&Sons, Ltd.
- Fleischmann Martin, Hendra J. Patrick and McQuillan A. James. (1974). Raman spectra from electrode surfaces *Journal. Chemical Society, Chemical Communications*. 3: 80–81.
- Linda M. Reid, Colm P. O'Donnell and Gerard Downey. (2006). Recent technological advances for the determination of food authenticity. *Trends in Food Science & Technology*, 17: 344-353.
- Mamdouh E. Abdelsalam, Sumeet Mahajan, Philip N. Bartlett, Jeremy J. Baumberg and Andrea E. Russell. (2007). SERS at Structured Palladium and Platinum Surfaces. *Journal of the American chemical society*, 129: 7399-7406

- Mosier-Boss P.A. and Lieberman S.H. (2003). Detection of volatile organic compounds using surface enhanced Raman spectroscopy substrates mounted on a thermoelectric cooler. *Analytica Chimica Acta*, 488: 15–23.
- Timothy O. Deschaines and Dick Wieboldt. (2010). Practical Applications of Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS). Technical Note: 51874, Thermo Fisher Scientific, Madison, WI, USA