



ที่ อว ๐๒๑๑.๔/ว ๖๓๐๐

ถึง สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ขอเผยแพร่วิทย์ปริทัศน์ (OST Science Review) ซึ่งจัดทำโดยสำนักงานที่ปรึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงวอชิงตัน [ปว.(วต.)] ฉบับที่ ๔ ประจำเดือนเมษายน ๒๕๖๓ ประกอบด้วยหัวเรื่อง ดังนี้

๑. Electron Microscope กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
๒. Particle Size Analyzer
๓. X-ray Spectrometer
๔. Thermogravimetric Analyzer
๕. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
๖. Capillary Electrophoresis (CE)
๗. Total Organic Carbon (TOC) Analyzer
๘. Differential Scanning Calorimeter
๙. DNA Thermal Cycler หรือ PCR machine
๑๐. NMR Spectrometer

ทั้งนี้ สามารถดาวน์โหลดวิทย์ปริทัศน์ (OST Science Review) จากวอชิงตันดังกล่าวได้ที่ www.ost.thaiembdc.org/th1/wp-content/uploads/2020/05/OST_Sci_Review_April2020.pdf



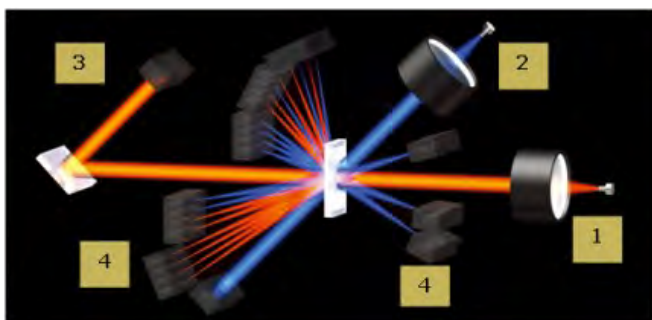
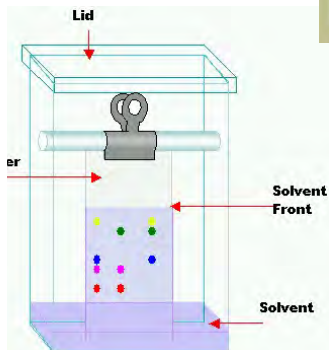
สำนักความร่วมมือระหว่างประเทศและวิเทศสัมพันธ์
โทร. ๐๒ ๓๓๓ ๓๙๐๓ (กดขตากร/ยุทธศักดิ์)
โทรสาร ๐๒ ๓๓๓ ๓๙๓๐



วิทยปรีทัศน์

OST Science Review

สำนักงานที่ปรึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงวอชิงตัน



Advanced Scientific Equipment

อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ขั้นสูง



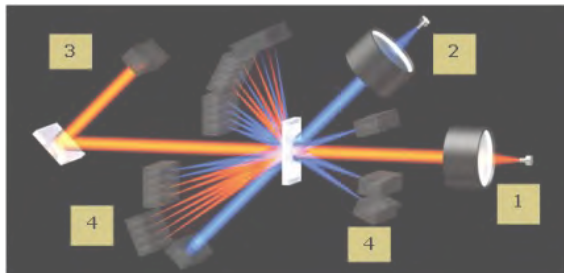
วิทยุพิธีศึบ์ I OST Science Review
เดือบเมบายน 2563
ฉบับที่ 4/2563

บรรณารึการที่ปรึการ:
ดร.เศรฐฐพึนร์ กระจางวงษ์
ผู้ช่วยทูตฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณารึการ:
นางสาวบุญเกียรติ ธิการแพ่ง
นางสาวดวงกมล เพ็มพุกวธิ์ทรัพย์
นายอึศรา ปุกมานนท์

จัดทำโดย
สำนักงานที่ปรึการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงวอชิงตัน ดี.ซี.
1024 Wisconsin Ave., N.W. Suite 104
Washington, D.C. 20007
โทรศัพท์: +1 (202)-944-5200
Email: ost@thaibndc.org

ติดต่อคณะผู้จัดทำได้ที่
Website: <http://ost.thaibndc.org>
Email: ost@thaibndc.org
Facebook: <https://www.facebook.com/ostsci/>



สวัสดี ท่านผู้อ่านที่เคารพ

ในช่วงเวลาที่ไวรัสร้ายกำลังคุกคามโลกของเรา เราคงได้เห็นกันแล้วว่า วิทยาศาสตร์เป็นศาสตร์วิชาที่มีความสำคัญมาก ไม่ว่าจะเป็นการตรวจหา การรักษา และการป้องกันไวรัสโคโรนา เราต้องใช้องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์มาใช้เป็นสำคัญ

เมื่อพูดถึงวิทยาศาสตร์ นอกจากองค์ความรู้ที่มีการค้นพบและถ่ายทอดกันมา และนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยผู้พัฒนาองค์ความรู้แล้ว องค์ประกอบที่สำคัญหนึ่งคือ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์

อุปกรณ์วิทยาศาสตร์มีหน้าที่หลายประการ เช่น

- **เป็นตัวกลางระหว่างมนุษย์และสิ่งแวดล้อม** : ไม่ว่าจะเป็นไวรัสหรือเซลล์ที่มีขนาดเล็กเกินที่ตามนุษย์จะมองเห็น ดาวและโลกที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่มนุษย์จะศึกษาได้อย่างทั่วถึง หรืออวกาศที่อยู่ไกลเกินกว่าที่มนุษย์จะไปถึง นักวิทยาศาสตร์สามารถศึกษา เก็บข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมของเราได้ โดยมีเครื่องมือวิทยาศาสตร์เป็นตัวกลาง

- **เป็นอุปกรณ์สร้างมาตรฐาน** เมื่อเราสามารถตรวจวัดค่าต่างๆ ได้ ก็ทำให้เกิดการตั้งค่ามาตรฐานต่างๆ ซึ่งมาตรฐานที่ถูกสร้างขึ้นนี้จะมีผลต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของเรา เช่น การกำหนดตารางเวลาในชีวิตประจำวัน จำนวนสารอาหารที่เหมาะสม ความเร็วที่ปลอดภัยในการขับรถ จำนวนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยอมรับได้ ปริมาณการรั่วไหลของสารและรังสีต่างๆ ที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย

- **เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการจัดเก็บและถ่ายทอดองค์ความรู้** ในสมัยที่ยังไม่มีการพัฒนาอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ การกำหนดและถ่ายทอดองค์ความรู้เกิดจากประสบการณ์และคำบอกเล่า แต่เมื่อหลายอย่างสามารถตรวจวัดเป็นภาพหรือตัวเลขได้ ทำให้องค์ความรู้ที่สามารถถูกจัดเก็บและถ่ายทอดได้อย่างไม่เพี้ยน

ความสำคัญของอุปกรณ์วิทยาศาสตร์มีมากมาย นี่เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น วิสัยทัศน์ฉบับนี้จึงของนำเสนออุปกรณ์วิทยาศาสตร์ชั้นสูง 10 อย่าง ซึ่งแม้ว่าผู้อ่านอาจจะไม่ได้พบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน แต่ก็เป็อุปกรณ์ที่มีผลต่อชีวิตและสังคมของมนุษย์มากโข

ทีมบรรณาธิการ
สำนักงานที่ปรึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงวอชิงตัน

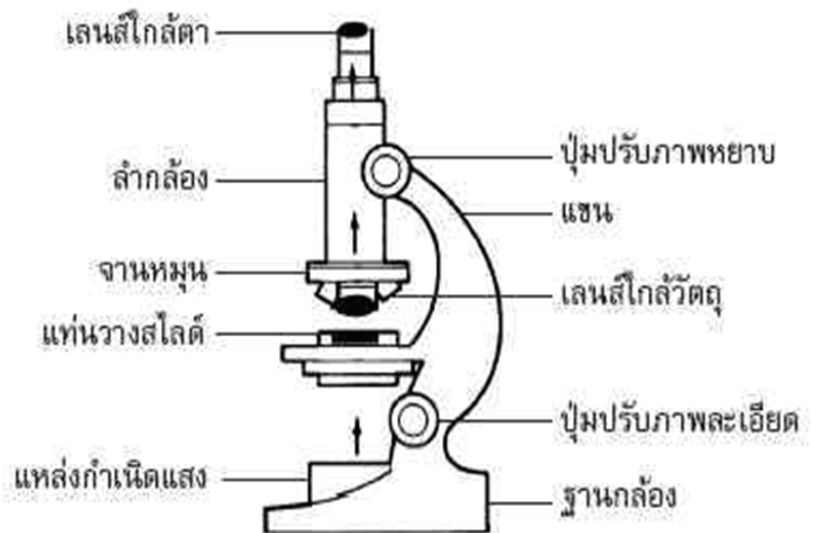
1. Electron Microscope กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	3
2. Particle Size Analyzer	6
3. X-ray Spectrometer	8
4. Thermogravimetric Analyzer	10
5. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)	11
6. Capillary Electrophoresis (CE)	13
7. Total Organic Carbon (TOC) Analyzer	14
8. Differential Scanning Calorimeter	15
9. DNA Thermal Cyclor หรือ PCR machine	17
10. NMR Spectrometer	20

ความก้าวหน้าและวิวัฒนาการของเทคโนโลยีต่างๆ ในปัจจุบันได้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ได้นำมาใช้ในการผลิตเครื่องมือวิจัยที่ทันสมัย ด้วยเหตุผลหลักคือ ต้องการผลการทดสอบที่แม่นยำ ให้ผลที่รวดเร็วสามารถรองรับการประยุกต์ใช้งานใหม่ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดต้นทุน

อุปกรณ์วิทยาศาสตร์มีอยู่มากมายหลากหลายชนิด เราอาจเคยเห็นหรือเคยได้ใช้งานอุปกรณ์พื้นฐานแบบต่างๆ กันมาบ้างสมัยเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ตอนประถมหรือมัธยม อุปกรณ์ที่คุ้นเคยกัน เช่น หลอดทดลอง ถ้วยบีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ เป็นต้น แต่ในเล่มนี้จะ แนะนำอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ขั้นสูงที่มีฟังก์ชันการทำงานที่ต่างกันไป รวมถึงหลักการทำงานคร่าวๆ ของแต่ละเครื่องให้ท่านผู้อ่านรู้จักกัน

“วันนี้เรามาทำความรู้จัก อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ขั้นสูงกัน”

1. Electron Microscope กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพ <https://pccpcell.wordpress.com/>

กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่สำคัญในการศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือเป็นวัตถุที่มีขนาดใหญ่แต่ตาเปล่าไม่สามารถแยกรายละเอียดได้ กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้กันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ แบบใช้แสงธรรมดาและแบบใช้แสงอิเล็กตรอน

กล้องแบบใช้แสงธรรมดา อาจจะคุ้นตาผู้อ่านหลายท่าน เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้กันทั่วไปในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยเลนส์ 2 ชนิด คือ เลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ใกล้ตา โดยใช้แสงผ่านวัตถุแล้วขึ้นมาที่เลนส์จนเห็นภาพวัตถุอย่างชัดเจน

1. Electron Microscope กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

สำหรับกล้องแบบใช้แสงอิเล็กตรอน (Electron Microscope) ใช้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการตรวจสอบวัตถุแทนแสงธรรมดา เนื่องจากความยาวคลื่นของลำอนุภาคอิเล็กตรอนนั้นสั้นกว่าความยาวคลื่นแสงถึง 100,000 เท่า ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถให้ประสิทธิภาพของกำลังขยาย และการแจกแจงรายละเอียดได้เหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยสามารถแยกรายละเอียดของวัตถุที่เล็กขนาด 10 อังสตรอม หรือ 0.1 นาโนเมตร (กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะแจกแจงรายละเอียดได้ประมาณ 0.2 ไมโครเมตร) จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงมากถึง 500,000 เท่า

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมี 2 ชนิด ได้แก่ Transmission Electron Microscope (TEM) และ Scanning Electron Microscope (SEM)

- Transmission Electron Microscope (TEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง โดยตัวอย่างจะต้องแบนและบางมาก (อยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) เพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษา รายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร)



https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SEM.html

- Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

1. Electron Microscope กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ข้อดีของเครื่อง SEM เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่อง TEM คือ ภาพโครงสร้างที่เห็นจากเครื่อง SEM จะเป็นภาพลักษณะ 3 มิติ ในขณะที่ภาพจากเครื่อง TEM จะให้ภาพลักษณะ 2 มิติ อีกทั้งวิธีการใช้งานเครื่อง SEM จะมีความรวดเร็วและใช้งานง่ายกว่าเครื่อง TEM มาก

โดยกล้องทั้งสองประเภทนี้มีหลักการทำงานของเครื่องค่อนข้างคล้ายกัน คือ เครื่องจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน กลุ่มอิเล็กตรอนที่ผลิตขึ้นจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้าและจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอน กลายเป็นลำอิเล็กตรอน จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปที่ตัวอย่างที่จะศึกษา (specimen) สำหรับกล้องแบบ TEM จะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของ ภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยาย ด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ (projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากรังแสง สุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้

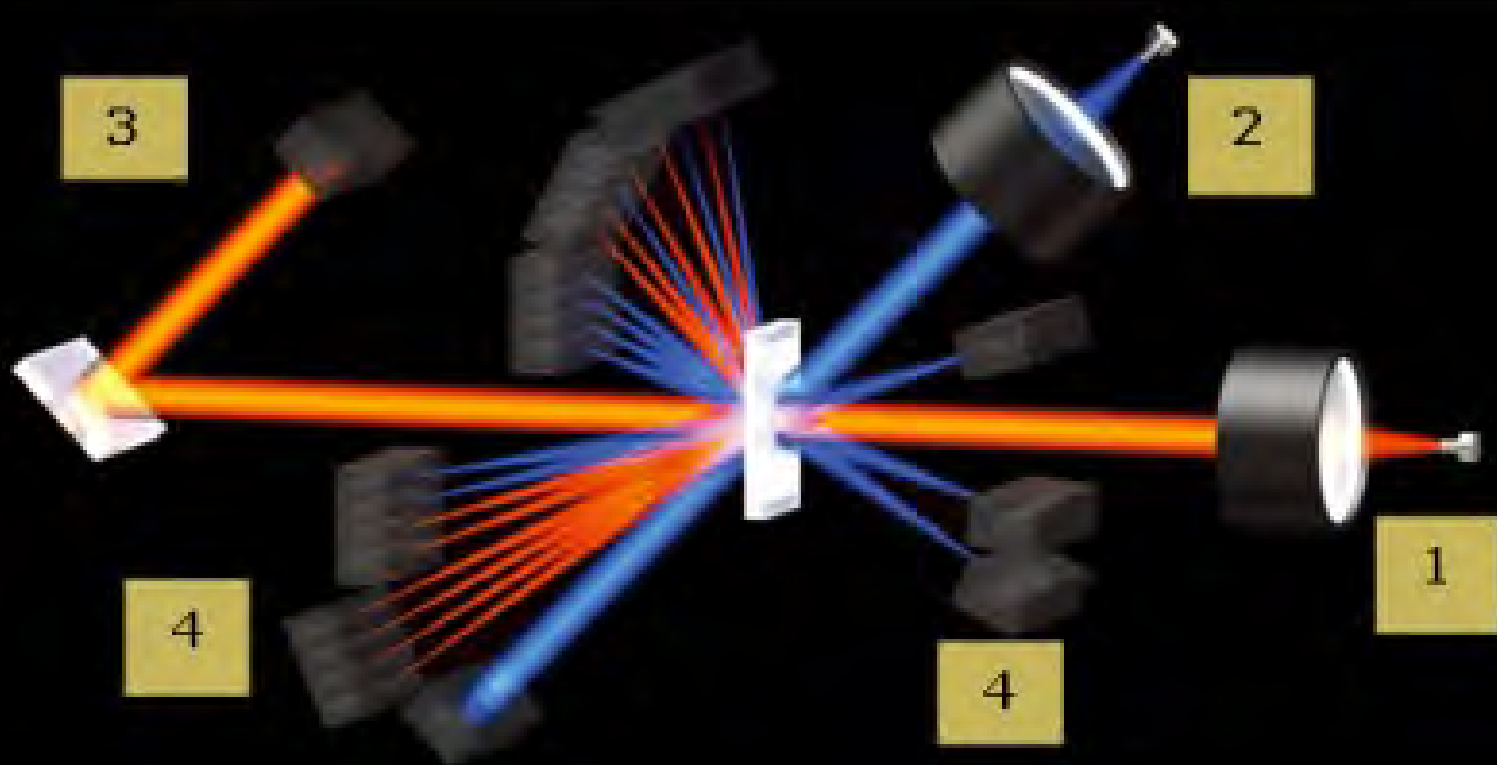
ส่วนกล้องแบบ SEM เมื่อลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปที่ตัวอย่างแล้วนั้น ลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงาน จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

ที่มา:

<https://il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>

<https://pccpcell.wordpress.com/กล้องจุลทัศน์/>





2. Particle Size Analyzer

ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคในเนื้อวัสดุเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารเอง ตัวอย่างเช่น กรณียากเป็นดินและหิน ขนาดและการกระจายอนุภาค (ดินและหิน) มีผลต่อความแข็งแรงและการรับน้ำหนัก (load) สำหรับสารเคมี ขนาดและการกระจายตัวมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยเมื่อเปรียบเทียบสารชนิดเดียวกัน มวลหรือน้ำหนักเท่ากัน และมีการกระจายตัวสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน สารที่มีขนาดเล็กจะมีจำนวนอนุภาคมากกว่า เป็นผลให้พื้นที่ผิวโดยรวมของสารมากกว่า จึงมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสูงกว่ากรณีสารชนิดเดียวกัน มีมวลหรือน้ำหนักเท่ากัน และมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน แต่กระจายตัวแตกต่างกัน สารที่กระจายตัวสม่ำเสมอจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสูงกว่า และสม่ำเสมอในสินค้าบางชนิด เช่น หมึกพิมพ์ (toner) เครื่องสำอางค์ (cosmetic) เป็นต้น ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่บริษัทผู้ผลิตสินค้าต้องให้ความสนใจและดูแลอย่างเข้มงวด

Particle Size Analyzer เป็นเครื่องสำหรับใช้วิเคราะห์ขนาดอนุภาคที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย มีหลากหลายรูปแบบที่ใช้หลักการแตกต่างกัน เช่น

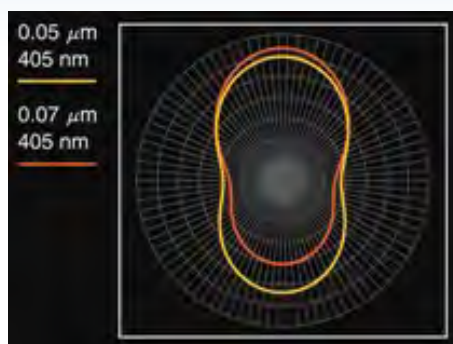
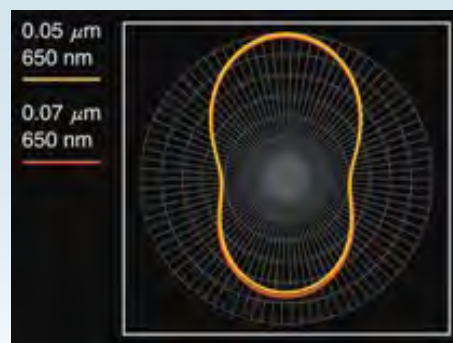
2.1 หลักการเลี้ยวเบนของแสง (Laser Diffraction) เช่น เครื่อง Partica LA-950V2 ยี่ห้อ Horiba ที่สามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคหรือวัตถุได้ตั้งแต่ขนาด 0.01 – 3,000 ไมครอน (μm) ซึ่งเป็นช่วงของขนาดที่ค่อนข้างกว้าง ตั้งแต่ไวรัสที่มีขนาด 0.01 – 0.3 ไมครอน ที่ตามคนเราไม่สามารถมองเห็น (ปกติแล้วสายตาคนเราจะสามารถเห็นสิ่งที่เล็กที่สุดได้ที่ 50 ไมครอน) ไปจนถึงขนาด 3 มิลลิเมตร หรือประมาณความหนาของบัตรเครดิต 3 ใบ

เครื่อง LA-950 ได้รวมเทคนิคการวัดขนาดที่ทันสมัยสามารถใช้ทดสอบได้กับตัวอย่างแห้งและเปียก โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ (Laser Diffraction) ซึ่งจะยิงแสงเลเซอร์จาก 2 จุด (เบอร์ 1 และ 2) เมื่อแสงกระทบอนุภาค ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของลำแสง

2. Particle Size Analyzer



<https://www.horiba.com/scientific/products/particle-characterization/zeta-potential-analysis/details/la-950-laser-particle-size-analyzer-108/>



กระเจิงออกไปหลายทิศทางในแบบคงที่ (Laser Diffraction-Static Light Scattering) ใช้ตัววัดแสงซึ่งติดตั้งคงที่องศาต่างๆ (Fixed Angle Detectors) (เบอร์ 3 และ 4) ทำการวัดความเข้มแสงในทุกๆ มุม โดยอนุภาคขนาดใหญ่ จะกระจายแสงในมุมที่มีขนาดเล็ก และอนุภาคขนาดเล็ก จะกระจายแสงในมุมกว้าง สำหรับอนุภาคที่มีการเกาะกลุ่ม จะกระจายแสงที่มีความเข้มและขนาดมุมแตกต่างออกไป หลังจากนั้น ใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์แบบ MIE (Fraunhofer Theory) เพื่อคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคซึ่งเทียบเท่ากับอนุภาคทรงกลม

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคลักษณะนี้ ใช้งานได้ในหลากหลายสาขาและหลายกลุ่มอุตสาหกรรม เช่น สิ่งแวดล้อม , เกษศาสตร์, อาหาร , สุขภาพ , ความงาม, ปิโตรเคมี, โลหะ, อโลหะ, พลาสติก, เม็ดสี, สีเคลือบ, แบตเตอรี่, ซีเมนต์, เซรามิก เป็นต้น

ภาพ <https://www.horiba.com/scientific/products/particle-characterization/zeta-potential-analysis/details/la-950-laser-particle-size-analyzer-108/>

ที่มา:

- <https://sites.google.com/site/csicsctu/instrument/kheruxngwikheraahkhnadxnuphakhparticlesizeanalyzer>
- <https://www.mtec.or.th/post-knowledges/2799/>
- <https://www.horiba.com/scientific/products/particle-characterization/zeta-potential-analysis/details/la-950-laser-particle-size-analyzer-108/>

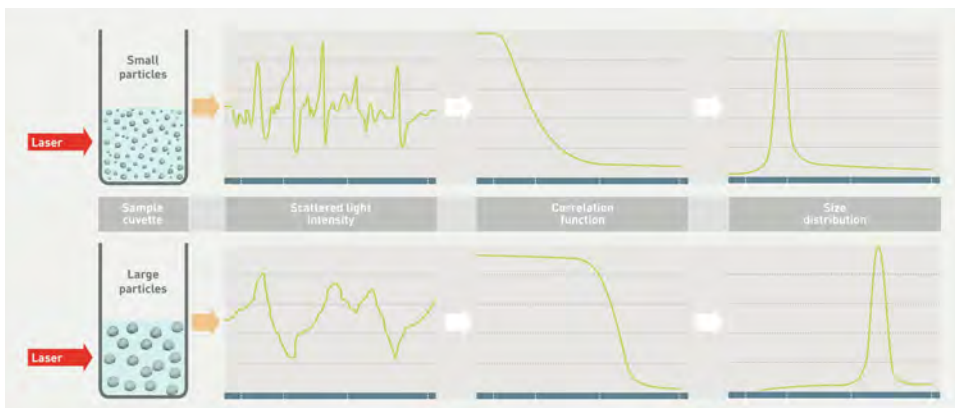
2. Particle Size Analyzer

2.2 หลักการ Dynamic Light Scattering (DLS) เช่น เครื่อง Malvern Model Zetasizer (ZS) เป็นเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคระดับนาโน ใช้เทคนิค DLS เพื่อวัดขนาดอนุภาคที่แขวนลอยและเคลื่อนที่อย่างสุ่มในตัวกลางที่เป็นของเหลว โดยใช้แสงเลเซอร์ เทคนิคนี้สามารถใช้วัดขนาดตัวอย่างได้ตั้งแต่ 0.005 – 5 ไมครอน (แต่ทั้งนี้ เครื่อง ZS สามารถวัดขนาดอนุภาคของสารตัวอย่างได้ในช่วง 1 นาโนเมตรถึง 3 ไมครอน) โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน จะเกิดการแพร่กระจายอย่างไร้ทิศทาง (randomly diffuse) ไปทั่วตัวกลาง ในขณะที่อนุภาคสามารถก่อให้เกิดการกระเจิงของแสงได้เช่นกัน

ในขณะที่อนุภาคเกิดการเคลื่อนที่ตลอดเวลาในของไหล (ของเหลวหรือก๊าซ) ที่คิดว่าเป็นไปโดยสุ่ม หรือเรียกว่าการเคลื่อนที่แบบ Brownian motion นั้น ระบบจะทำการตรวจจับความถี่ในการกระพือขึ้น-ลงของแสง เพื่อทำการคำนวณหาขนาดอนุภาค ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เลื่อนตำแหน่งของอนุภาค ซึ่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบ Brownian motion มีผลต่อความเข้มของแสงที่กระเจิงจากอนุภาค โดยอนุภาคขนาดใหญ่จะส่งผลให้เกิดการความถี่ในการกระพือขึ้น-ลงของแสงที่กระเจิงต่ำ

ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เลื่อนตำแหน่งต่ำ จะเคลื่อนที่ช้ากว่าอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งมีความถี่ในการกระพือของแสงที่กระเจิงสูงกว่า ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของแสงที่กระเจิงจะช้ากว่าสัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มแสง ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ของอนุภาคขนาดเล็ก และความถี่ในการกระพือขึ้น-ลงของความเข้มแสงนี้ จะถูกส่งไปยัง correlator เพื่อประมวลผลตามความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคนั้นๆ ดังนั้น สารตัวอย่างต้องผ่านการเตรียมเพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เจือจางอย่างเหมาะสม นอกจากนั้น เทคนิคนี้ยังต้องการความละเอียดสูง เพื่อป้องกันการรบกวนจากการกระเจิงของอนุภาคฝุ่นหรือสิ่งสกปรก สำหรับเทคนิคนี้ใช้วิเคราะห์ตัวอย่าง เช่น อนุภาคสารแขวนลอย และการเตรียมอิมัลชัน (ตัวอย่าง ต้องเจือจางในสารละลาย) ตัวอย่างโปรตีน พอลิเมอร์ การเตรียมตัวอย่างยาและเครื่องสำอาง สี และพิกเมนต์

ภาพแสดงลักษณะการแพร่เลื่อนตำแหน่งอนุภาคที่มีขนาดไม่เท่ากันต่อความถี่การกระพือขึ้น-ลงของแสง



ภาพ https://www.malvernpanalytical.com/en/assets/MRK1839_tcm50-17228.pdf

ที่มา:

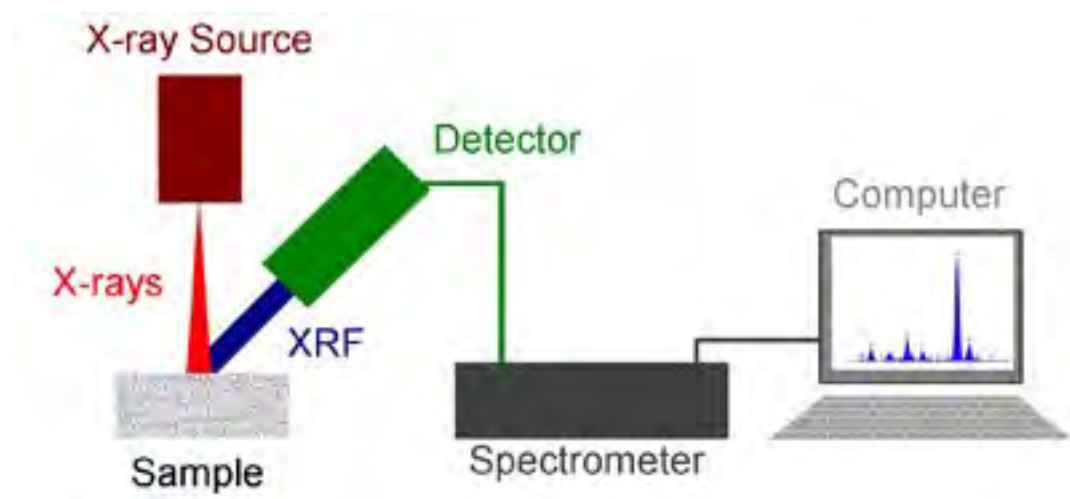
http://stdb.most.go.th/equipment_detail.aspx?id=2861

<https://mdresearch.kku.ac.th/files/news/filesnews/IEgrflgJ5tKqdsU.pdf>

3. X-ray Spectrometer

X-ray Fluorescence (XRF) Spectroscopy เป็นเทคนิคที่นิยมใช้แพร่หลายในการวิเคราะห์ธาตุทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ไม่ว่าจะเป็นงานด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การวิเคราะห์ธาตุที่มีความเป็นพิษที่อยู่ในอากาศ ด้านธรณีวิทยา เช่น การวิเคราะห์แร่ ดิน หิน โดยไม่ทำลายตัวอย่าง มีการเตรียมตัวอย่างเพียงเล็กน้อย และให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ด้านชีววิทยา/ด้านการแพทย์ เช่น การวิเคราะห์สารที่อยู่ในเส้นผมและเล็บ ด้านอุตสาหกรรม เช่น ใช้ในการควบคุมกระบวนการและควบคุมคุณภาพ การตรวจวัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นพิษในน้ำมันดิบ และอื่นๆ อีกมากมาย

โดยทั่วไปแล้วเครื่อง X-ray Spectrometer จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสี (X-ray Tube) และเครื่องตรวจจับรังสีเอ็กซ์ โดย X-ray Tube จะเร่งอิเล็กตรอนให้มีศักย์สูงพุ่งเข้าชนกับเป้าโลหะแล้วจะให้รังสีเอ็กซ์ที่มีความเข้มสูงออกมา ทั้งนี้ การเลือกชนิดของเป้าขึ้นกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ทั้งสแตน โรเดียม โมลิบดีนัม หรือโครม ส่วนไอโซโทปกัมมันตรังสี (หรือประเภทย่อยของธาตุที่สามารถปล่อยรังสีได้) ที่นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ได้แก่ Fe-55, Co-57, Cd-109 และ Am-241 เครื่องตรวจจับแบบสถานะของแข็ง (Solid-State) เหมาะสำหรับการตรวจจับรังสีเอ็กซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากอะตอมของตัวอย่าง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็น Si(Li) และ HPGe ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว



4. Thermogravimetric Analyzer

Thermogravimetric Analyzer เป็นเครื่องที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุ ศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analysis: TGA) เพื่อตรวจหาคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี โดยตัวอย่างจะถูกทำให้ร้อนขึ้นหรือเย็นลงในบรรยากาศที่กำหนดไว้ และจะมีการบันทึกน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง

เทคนิค TGA เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับแก๊สหรือระเหยของน้ำ การตกผลึก (crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส การแตกตัวของวัสดุ (decomposition) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน หรือ ปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ในการวิเคราะห์ตัวอย่างตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือแก๊สที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ

การวิเคราะห์ลักษณะนี้ ใช้งานได้ในด้านต่างๆ เช่น ตัวอย่างพอลิเมอร์ โลหะและเซรามิก ตัวอย่างทางเคมี สีและพิกเมนต์ ตัวอย่างทางปิโตรเคมี และสารอินทรีย์ต่างๆ ส่วนประกอบในอาหาร เครื่องสำอาง และยา



ที่มา:

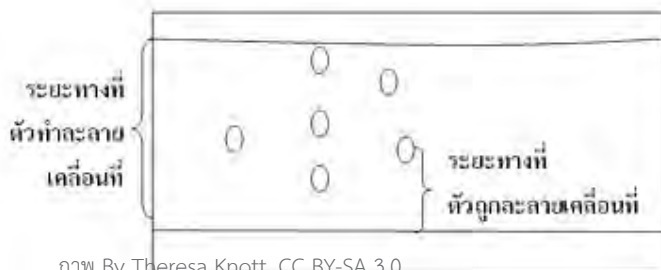
https://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569

https://www.mt.com/th/th/home/library/on-demand-webinars/lab-analytical-instruments/Thermogravimetric_Analysis.html

5. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

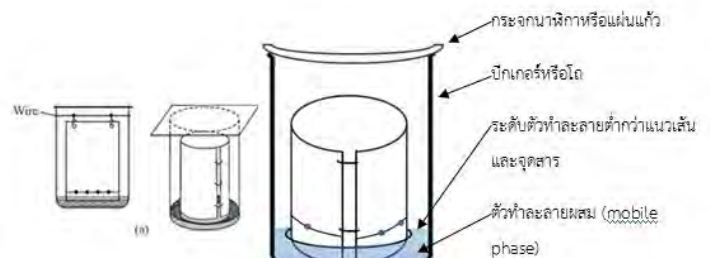
โครมาโทกราฟี (Chromatography) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารผสม ผู้อ่านหลายท่านอาจจะเคยทำการทดลองโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (Paper Chromatography) ในวิชาวิทยาศาสตร์มาก่อน คือ ใช้กระดาษกรองเป็นตัวดูดซับ ตั้งวางเป็นแนวตั้ง 90 องศากับพื้นผิวภาชนะที่บรรจุตัวทำละลาย ตัวทำละลายจะค่อยๆ แพร่ขึ้นไปบนกระดาษและนำพาสารผสมที่ต้องการแยกขึ้นไปด้วย หากสารที่ผสมอยู่สารใดสามารถละลายได้ดีก็จะแพร่ไปได้ดีกับตัวทำละลาย และเคลื่อนที่ไปได้สูง ส่วนสารที่อยู่ในสารผสมละลายได้ไม่ดีกับตัวทำละลายผสมก็จะถูกดูดซับไว้ที่กระดาษซึ่งจะแพร่ขึ้นไปได้ต่ำกว่า

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่ตัวละลายเคลื่อนที่ (ซม)}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ (ซม)}}$$

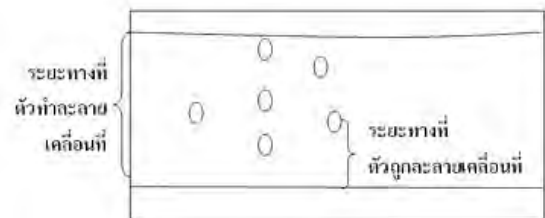


ภาพ By Theresa Knott, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1418132>

** ค่า R_f เป็นค่าเฉพาะของตัวละลายแต่ละชนิดในสารตัวอย่างสำหรับตัวทำละลายนั้นๆ ดังนั้นสารที่เรายังไม่ทราบว่าเป็นอะไรและผสมกันอยู่หลายชนิด สามารถวิเคราะห์หาได้โดยการนำสารที่ต้องการทราบจริง (เรียกว่า สารมาตรฐาน) มาทดลองโดยหยดลงในกระดาษกรองพร้อมกับสารตัวอย่างอีกหนึ่งจุด และหาค่า R_f ของสารมาตรฐาน นำมาเปรียบเทียบกับค่า R_f ของตัวละลายในสารตัวอย่าง



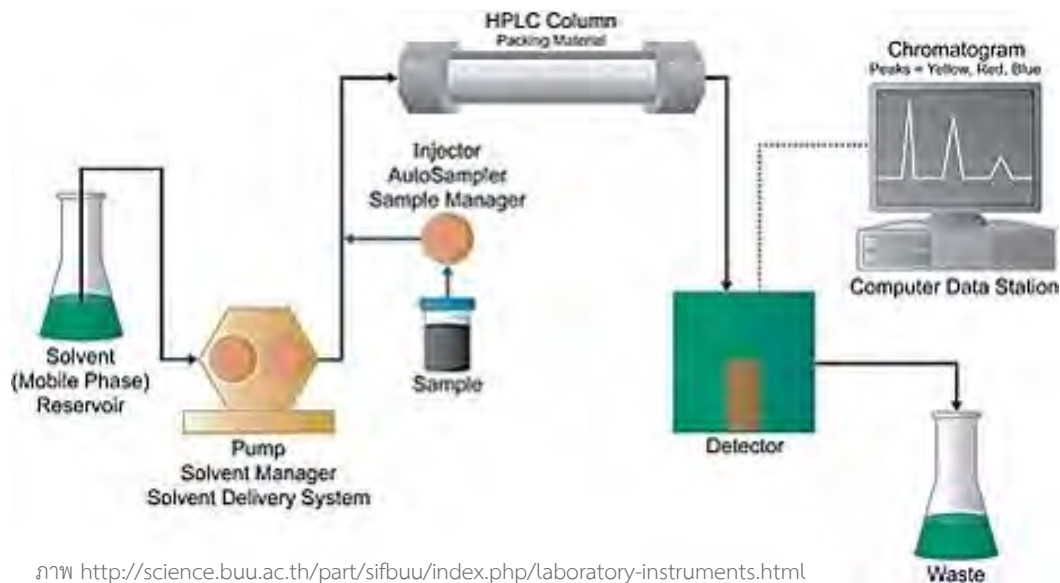
$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่ตัวละลายเคลื่อนที่ (ซม)}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ (ซม)}}$$



ภาพ <http://elife-news.blogspot.com/2017/05/paper-chromatography.html>

เทคนิคโครมาโทกราฟียังมีอีกหลายรูปแบบ เพื่อแยกสารหรือวิเคราะห์สารได้รวดเร็ว มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และง่ายต่อการใช้งาน เทคนิคโครมาโทกราฟีอีกรูปแบบที่เป็นที่นิยมใช้ คือ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นการแยกสารประกอบที่สนใจที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง โดยกระบวนการจะซับซ้อนกว่าแบบกระดาษ โดยกระบวนการ HPLC จะเกิดขึ้นระหว่าง 2 เฟส คือ เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) กับเฟสอยู่กับที่ (stationary phase หรือ column phase) ซึ่งสารจะถูกแยกออกมาในเวลาที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับ mobile phase หรือ stationary phase สารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดีกับ mobile phase จะเคลื่อนที่ผ่าน column

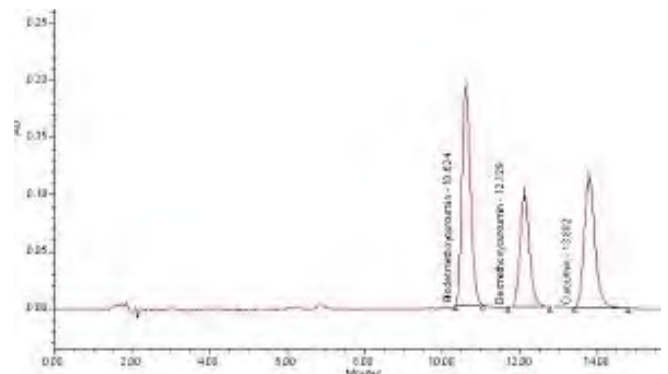
5. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)



ภาพ <http://science.buu.ac.th/part/sifbuu/index.php/laboratory-instruments.html>

ได้เร็วสารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากัน
ได้ไม่ดีกับ mobile phase แต่เข้ากันดีกับ stationary
phase จะเคลื่อนที่ผ่าน column ได้ช้า
ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมา
จะผ่าเครื่องตรวจวัดสัญญาณ ออกมาในรูปแบบที่เรียกว่า
โครมาโตแกรม (chromatogram)

HPLC สามารถวิเคราะห์สารได้หลายชนิด เช่น สารอินทรีย์
สารประกอบทางชีวภาพ โพลีเมอร์
สารประกอบที่เสถียรได้ง่าย สารประกอบที่ระเหยยาก
ไอออนขนาดเล็ก ไมโครโมเลกุลตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์
ต้องเป็นของแข็งหรือของเหลว ต้องละลายได้ 100 %
การแยกสารจะประสบความสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อสารมีอัตรากา
รเคลื่อนที่ที่แตกต่าง กันภายในคอลัมน์ สารประกอบที่ถูก
แยกนั้นจะเคลื่อนที่ไปตามความยาวทั้งหมดของคอลัมน์
โดยมี Mobile Phase เป็นตัวพาไป ตัวอย่างการทดสอบ
ด้วย HPLC เช่น หาปริมาณวิตามินซี ในเลือด น้ำผลไม้
วิตามินอีในอาหารสัตว์ น้ำตาลในน้ำผลไม้ กลีเซอรอล
ในน้ำมัน และอื่นๆ



ภาพ <http://e-library.dmsc.moph.go.th/ebooks>

ที่มา:

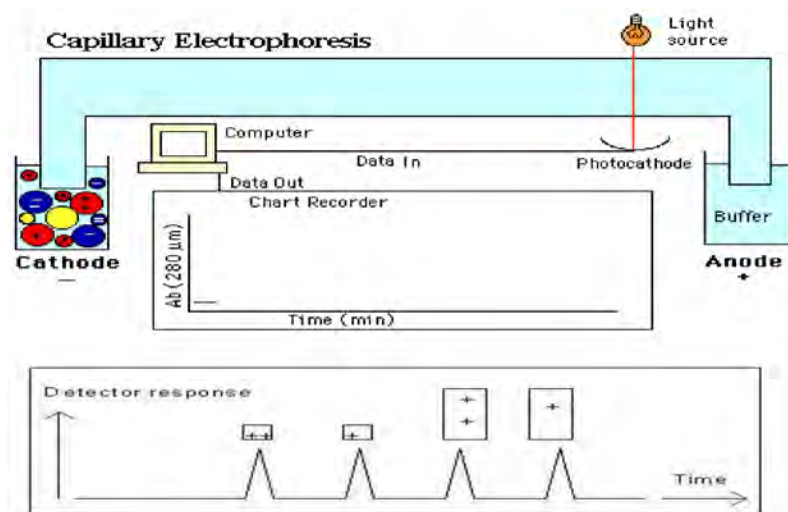
<http://www.chemtech.sc.chula.ac.th/ct/research/analytical-instruments/high-performance-liquid-chromatography-hplc-1/>
http://science.skru.ac.th/ShowToolCame.php?id_skruskr=skru1234567890

6. Capillary Electrophoresis (CE)

นอกเหนือจากเทคนิคการแยกสารแบบโครมาโทกราฟี (Chromatography) ที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั้น ยังมีอีกเทคนิคที่ถูกใช้ในการแยกสารเคมี มีชื่อว่า คัพพิลลารีอิเล็กโทรโฟเรซิส (Capillary Electrophoresis: CE) เป็นการแยกสารโดยอาศัยสนามไฟฟ้า

Electrophoresis หมายถึง การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือแขวนลอยอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (อิเล็กโทรไลต์ คือ สารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนอิสระเมื่อละลายน้ำหรือหลอมเหลว ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้) เมื่อมีไฟฟ้าวิ่งผ่าน ประจุบวกในสารละลาย หรือแคตไอออน (cation) จะวิ่งไปที่ขั้วแคโทดซึ่งเป็นขั้วลบ ส่วนประจุลบในสารละลายแอนไอออน (anion) จะไปที่ขั้วแอโนดซึ่งเป็นขั้วบวก ส่วนอนุภาคที่เป็นกลางจะไม่วิ่งเข้าสู่ขั้วใดเลย

ในอดีต electrophoresis มักจะทำบนแผ่นกระดาษ ซึ่งต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน เพราะจะต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้าใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงจะรบกวนความคมชัดของแถบ (band) ที่ได้นอกจากนั้นแล้วแถบที่แยกออกมาต้องนำมาทำให้เกิดสี แต่ในปัจจุบัน capillary electrophoresis (CE) จะสามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นออกทางหลอดรูเล็กได้ หลักการของ CE เกี่ยวข้องกับการให้ศักย์ไฟฟ้าสูงตั้งแต่ 10 ถึง 30 กิโลโวลต์ แก่หลอดรูเล็ก (capillary tube) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 25 ถึง 100 ไมโครเมตร บรรจุด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยที่ปลายทั้ง 2 ข้างของหลอดรูเล็กจะจุ่มอยู่ในภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าจะทำให้ไอออนในตัวอย่งวิ่งไปที่ขั้วไฟฟ้า แต่ละขั้วตัววัดสัญญาณส่วนใหญ่เป็นแบบยูวี ซึ่งให้รูปแบบการตอบสนองเป็นสัญญาณต่อเวลา เรียกว่า electropherogram ส่วนการไหลของอิเล็กโทรไลต์ไปตามหลอดรูเล็กนี้เป็นไป ตามรูปแบบ electroosmotic flow หรือ EOF ซึ่งทำให้เวลาในการวิเคราะห์ลดลง ตัวอย่างการทดสอบด้วย CE เช่น การแยกกรดอะมิโน โปรตีน และ กรดนิวคลีอิก ให้บริสุทธิ์ การหาปริมาณสารกำจัดวัชพืช การตรวจสอบชิ้นส่วนของดีเอ็นเอใน polymerase chain reaction (PCR)



ภาพ http://www.dss.go.th/images/st-article/lpd_5_2545_electrophoresis.pdf
ที่มา: http://www.dss.go.th/images/st-article/lpd_5_2545_electrophoresis.pdf

7. Total Organic Carbon (TOC) Analyzer

สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำ น้ำที่มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์มาก จะส่งผลให้มีการละลายของออกซิเจนน้อยลง ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ การปนเปื้อนของสารอินทรีย์อาจเกิดจากแหล่งกำเนิดที่หลากหลาย เนื่องจากสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ เช่น น้ำตาลซูโครส แอลกอฮอล์ สารเคมี ปิโตรเลียม แป้ง เซลลูโลส แบคทีเรีย หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์พลาสติก การหาปริมาณ สารอินทรีย์ในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การตรวจวัดค่า บีโอดี (biochemical oxygen demand: BOD) ซีโอดี (chemical oxygen demand: COD) และ ทีโอซี (total organic carbon: TOC) การตรวจวัดด้วยวิธี BOD ต้องใช้เวลานานถึง 5 วันในการทราบผล ส่วน COD ก็ต้องใช้สารเคมีที่รุนแรงในการออกซิไดซ์ เช่น โพแทสเซียมไดโครเมตซึ่งเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น TOC จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด เพราะใช้เวลาน้อยและไม่ต้องใช้สารเคมีที่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม

TOC เป็นการวัดปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในตัวอย่าง ประกอบด้วยสารอนินทรีย์ (inorganic carbon) และสารอินทรีย์ (organic carbon) ที่สามารถออกซิไดซ์เปลี่ยนสภาพไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ ทำการหาปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บางครั้งอาจเรียกว่า total oxidizable carbon

สารอินทรีย์ปนเปื้อนในน้ำจะไม่มีประจุ ทำให้ไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยการวัดค่าการนำไฟฟ้า และนอกจากนี้ ในกระบวนการผลิต การใช้น้ำที่มีค่า TOC สูงจะส่งผลทำให้



- ลดประสิทธิภาพของระบบการให้น้ำให้บริสุทธิ์
- เกิดการปนเปื้อนของกระบวนการผลิต
- เกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ยาและเวชภัณฑ์
- ทำให้อุปกรณ์ให้กำเนิดไฟฟ้าและไอน้ำเสียหาย
- ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ เกิด Algae blooms

ภาพจากซ้าย เครื่อง TOC รุ่น 1030W และ 1030C
<https://www.entech.co.th/total-organic-carbon-toc/?lang=th>

ในปัจจุบันการวิเคราะห์ TOC จะใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่อาศัยหลักการย่อยตัวอย่างโดยให้ความร้อนสูง ลักษณะและหลักการย่อยสารเพื่อให้สารอินทรีย์และอนินทรีย์เปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ขึ้นอยู่กับเครื่องมือต่างๆ สำหรับเครื่อง TOC แบบรุ่น OI analytic model 1030 ของสหรัฐอเมริกาจะมีทั้งแบบย่อยแบบเปียก (wet digestion/heated sodium persulfate) และแบบเผาอุณหภูมิสูง (combustion/high temperature 680°C) เครื่องวิเคราะห์ TOC สามารถวิเคราะห์สารอินทรีย์ในตัวอย่าง โดยวิเคราะห์ค่า คาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) คาร์บอนอนินทรีย์รวม (TIC) และ คาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างที่หลีกเลี่ยงการทำให้ปฏิกิริยากับกรด (non-purgeable organic carbon) (NPOC) สามารถวิเคราะห์ได้ถึง 300 ตัวอย่างต่อระยะเวลา 24 ชั่วโมง

การวิเคราะห์ค่า TOC ยังถูกนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำดื่ม ยา และชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ ควบคุมคุณภาพน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือแม้กระทั่งใช้ในการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพื่อประโยชน์ทางการเกษตรโดยทั่วไปแล้ว สารอินทรีย์ปนเปื้อนไม่มีประจุ จึงไม่สามารถตรวจพบได้ด้วยการวัดค่าการนำไฟฟ้ามาตรฐาน ดังนั้น การวัดค่าการนำไฟฟ้าในระบบน้ำบริสุทธิ์สูง อาจไม่สามารถตรวจพบ TOC ระดับสูงได้

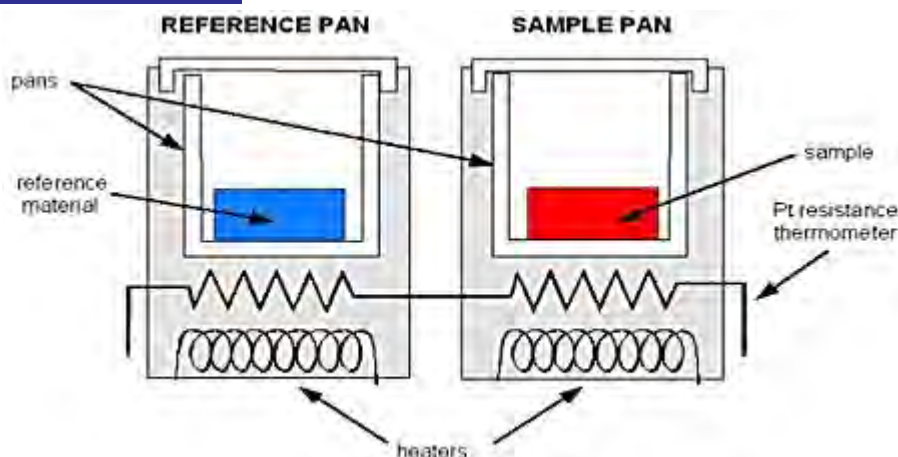
ที่มา: <https://www.entech.co.th/total-organic-carbon-toc/?lang=th>
http://www.sithiphorn.com/sa-epd/data_center/data_mod/water.pdf

8. Differential Scanning Calorimeter

เมื่อวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น เกิดการหลอมเหลว เกิดการเปลี่ยนเฟส เกิดการเปลี่ยนรูป ผลึกหรือ เกิดปฏิกิริยาเคมี ก็มักจะมีความร้อนเข้าไปเกี่ยวข้องด้วยเสมอ โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีการคายความร้อนออกมา หรือดูดความร้อนเข้าไป

เทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) เป็นเทคนิคที่นำมาใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (thermal transition) ของสารตัวอย่าง วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (การดูดหรือคายพลังงาน) ของสารตัวอย่าง เมื่อถูกเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในบรรยากาศที่ถูกควบคุม

หลักพื้นฐานของ DSC คือ นำเอา 2 ถาด คือ ถาดขวา ถาดที่บรรจุสารตัวอย่าง (sample pan) และ ถาดซ้าย ถาดอ้างอิง (reference pan) ซึ่งเป็นถาดเปล่าวางอยู่ข้างกันไปวางอยู่บนอุปกรณ์ให้ความร้อน (heater) ชนิดเดียวกัน เมื่อเริ่มการทดลองอุปกรณ์ให้ความร้อน จะเริ่มให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่ (เช่น 10°C ต่อ 1 นาที) โดยจะควบคุมให้ความร้อนถาดทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง โดยปกติแล้ว การทดสอบสารตัวอย่างทำโดยการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิสารตัวอย่างด้วยอัตราคงที่ (เช่น 10°C ต่อ 1 นาที โดยเริ่มต้นที่ 25°C และสิ้นสุดการทดลองที่ 300°C) หรือการรักษารอุณหภูมิสารตัวอย่างไว้คงที่ (Isothermal) เป็นระยะเวลาหนึ่ง (เช่น 200°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง) และนำค่าที่ได้มาคำนวณต่อไป

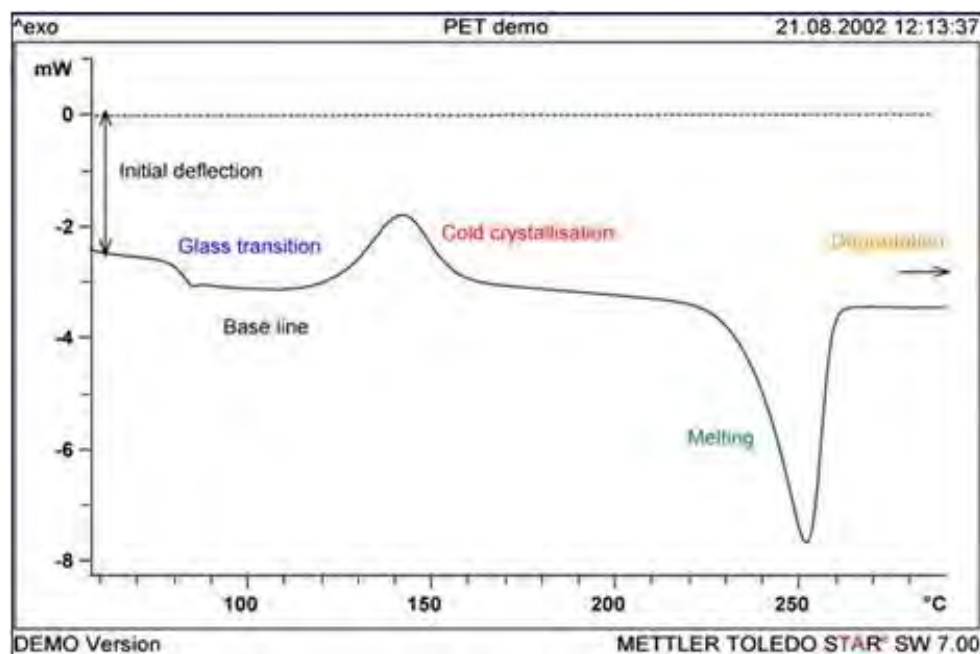


ภาพ <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2606/differential-scanning-calorimeter-ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์>

8. Differential Scanning Calorimeter

DSC เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ตั้งแต่ในอุตสาหกรรมเคมี พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ อากาศยาน ไปจนถึงอาหารและยา โดยถูกนำไปประยุกต์ใช้ ทั้งสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ และสำหรับงานวิจัย ตัวอย่างของข้อมูลที่สามารถวัดได้จากการใช้เครื่อง DSC เช่น จุดหลอมเหลว (melting point) อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature: TG) ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation stability) จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (reaction kinetics) หรือ ความบริสุทธิ์ (purity) โดยวัสดุแต่ละชนิดจะมีข้อมูลเหล่านี้เป็นค่าเฉพาะตัว เช่น Low Density Polyethylene (LDPE) มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 110°C และเกิดการตกผลึก (crystallization) ที่ประมาณ 293°C ในขณะที่ Polyethylene terephthalate (PET) มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (TG) ที่ประมาณ 69°C และมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ประมาณ 256°C และเกิดการตกผลึกที่ประมาณ 140°C

ภาพด้านล่างแสดงตัวอย่างกราฟ DSC (DSC Thermogram) ของ PET ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ในการผลิตขวดน้ำอัดลม ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนถึง 3 ลักษณะ โดยที่ Glass Transition และ melting เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดพลังงาน (Endothermic) ในขณะที่ crystallization เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายพลังงาน (Exothermic)



ภาพ http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=31&id=45

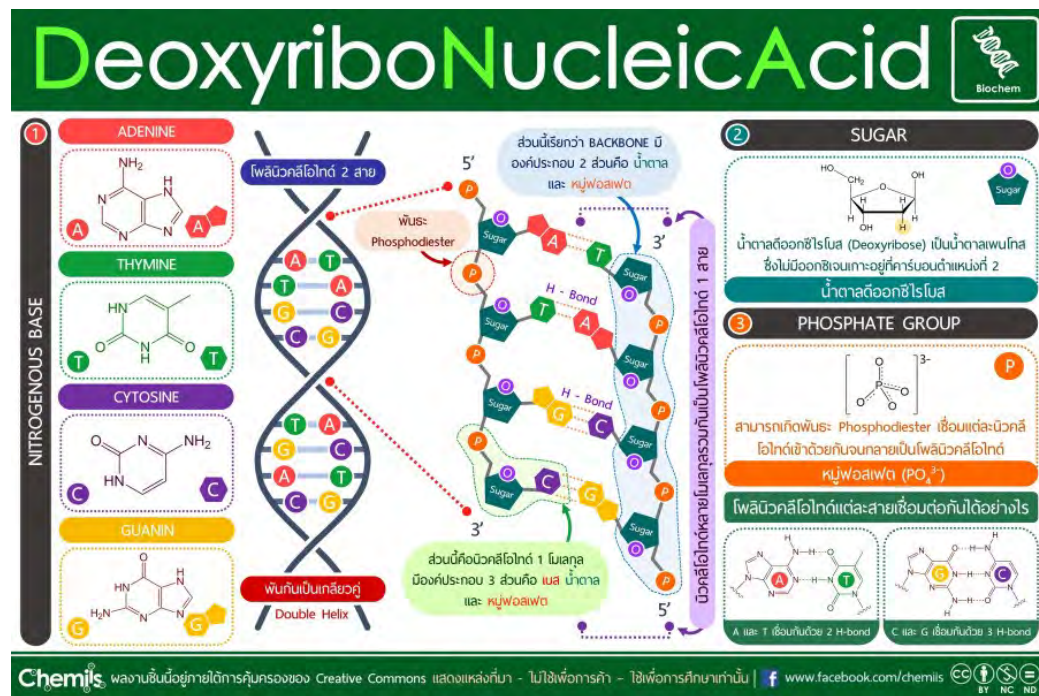
ที่มา:

https://www.nanotec.or.th/th/?page_id=559

https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/261_MT09_78.pdf

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2606/differential-scanning-calorimeter-ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์>

9. DNA Thermal Cycler หรือ PCR machine



ภาพ <https://chemiiis.wordpress.com/2016/06/16/biochem-structure-of-dna/>

ดีเอ็นเอ หรือ Deoxyribonucleic (DNA) คลังข้อมูลพันธุกรรมทำหน้าที่ควบคุมและถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต โดยดีเอ็นเอจะประกอบด้วยหน่วยย่อยพื้นฐานที่เรียกว่า นิวคลีโอไทด์ (nucleotide) ซึ่งเป็นชุดของโมเลกุลฟอสเฟต น้ำตาลเพนโทส และเบสหรือ สารเคมีที่มีสมบัติเป็นด่าง 1 ตัว ซึ่งเบสจะมีอยู่ 4 ประเภท คือ adenine (A) , guanine (G) , cytosine (C) , thymine (T)

ลักษณะโครงสร้างของดีเอ็นเอประกอบขึ้นจากสายชุดนิวคลีโอไทด์ 2 สายที่มาพันเข้าด้วยกันเป็นลักษณะเกลียวคู่ (double helix) หรือบันไดเวียน โดยมีเบสที่เรียงรายอยู่ตามสายแต่ละสาย ทำหน้าที่ยึดจับระหว่างสายทั้งสอง และปรากฏว่าสายส่วนที่มีเบส A จะจับคู่สร้างพันธะกับเบส T และส่วนที่มีเบส G จะจับคู่เบส C ซึ่งการจับคู่กันนี้เรียกว่า เป็นเบสคู่สม และแต่ละส่วนบนสายดีเอ็นเอนี้เองที่เป็น

ที่อยู่ของยีน (gene) ซึ่งเป็นส่วนที่บรรจุข้อมูลสำหรับการสร้างโปรตีนชนิดใดชนิดหนึ่ง โดยยีนที่ต่างกันก็จะมีตำแหน่งที่อยู่และการเรียงลำดับของเบสบนตัวมันแตกต่างกันไป

Polymerase Chain Reaction หรือ (PCR) เป็นเทคนิคสำหรับเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ โดยอาศัยหลักการ DNA Replication ซึ่งเป็นการสังเคราะห์สายดีเอ็นเอสายใหม่จากดีเอ็นเอต้นแบบในหลอดทดลองภายในระยะเวลาอันสั้น และได้ดีเอ็นเอสายใหม่เกิดขึ้นเป็นล้านเท่า เทคนิคนี้พัฒนาขึ้นเมื่อปี 2528 โดย Kary Mullis และคณะแห่งบริษัท Cetus Corporation จุดเด่นของเทคนิค PCR คือ สามารถเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้อย่างเฉพาะเจาะจงโดยมีขั้นตอนการทำงานน้อยและใช้เวลาน้อย จนถึงปัจจุบันนี้เทคนิค PCR ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาในหลายๆ ด้านจนกระทั่งได้รับ

9. DNA Thermal Cycler หรือ PCR machine

การยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญมากต่องานด้านอณูชีวโมเลกุล สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งกับงานวิจัยทางชีวโมเลกุลและพันธุวิศวกรรม เช่น การเพิ่มปริมาณยีน (gene cloning) การวิเคราะห์ลำดับเบสของยีน (gene sequencing) การสร้างดีเอ็นเอติดตาม (DNA probe) และการวิจัยประยุกต์ เช่น การศึกษาการแสดงออกของยีนจาก mRNA การสร้างยีนกลายพันธุ์ (in vitro mutagenesis) การบ่งชี้ตำแหน่งกลายพันธุ์บนยีน (point mutations and deletions) เป็นต้น

หลักการ PCR พื้นฐานในการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่จากสายดีเอ็นเอต้นแบบหนึ่งสายด้วยเอนไซม์ DNA polymerase ซึ่งใช้กันอยู่ทั่วไปในการติดฉลากดีเอ็นเอ และการศึกษาวิเคราะห์ลำดับเบส แต่ PCR สามารถสังเคราะห์ดีเอ็นเอได้คราวละ 2 สายพร้อมกัน โดยใช้ไพรเมอร์ (primer) 1 คู่ ปฏิบัติ PCR มี 3 ขั้นตอน และหมุนเวียนต่อเนื่องกันไป ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละขั้นตอน

ขั้น 1 เรียกว่า denaturing เป็นการแยกสายดีเอ็นเอต้นแบบจากสภาพที่เป็นเส้นคู่ ให้เป็นเส้นเดี่ยวโดยใช้อุณหภูมิสูง 92-95°C

ขั้น 2 เรียกว่า annealing เป็นขั้นตอนที่ลดอุณหภูมิลงและจัดให้ไพรเมอร์ ซึ่งเป็นดีเอ็นเอสายสั้น ๆ (ประกอบด้วย นิวคลีโอไทด์จำนวน 14-13 เบส) ที่มีลำดับเบสเป็นคู่สมกับดีเอ็นเอต้นแบบ จับคู่กัน ซึ่งนิยมใช้อุณหภูมิในช่วง 37-60°C

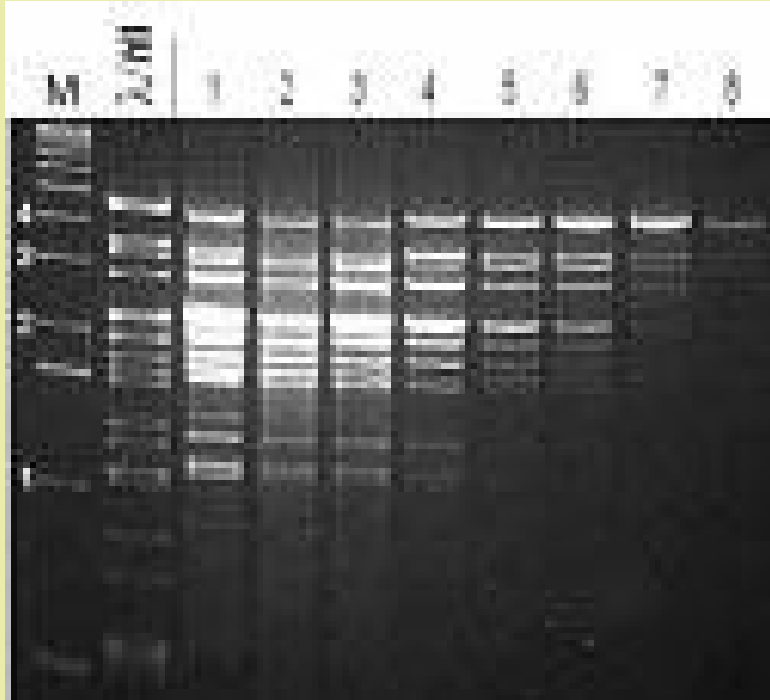
ขั้น 3 เรียกว่า extension เป็นขั้นตอนการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ โดยสังเคราะห์ต่อจากส่วนปลาย 5 ของไพรเมอร์ ตามข้อมูลบนดีเอ็นเอต้นแบบแต่ละสาย โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ดีเอ็นเอโพลิเมอเรส (DNA polymerase) ซึ่งเอนไซม์นี้สามารถทำงานได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 72-75°C เอนไซม์ดีเอ็นเอโพลิเมอเรสที่ใช้ควรจะคงคุณสมบัติอยู่ได้ภายใต้สภาวะของปฏิกิริยา ตลอดทั้งสามขั้นตอน

จากขั้นตอนที่ 1-3 ซึ่งนับเป็นจำนวน 1 รอบ (one cycle) จะให้ผลผลิตเป็นดีเอ็นเอสายคู่ที่มีลำดับเบสเป็นคู่สมกับดีเอ็นเอที่เป็นต้นแบบเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เมื่อจัดให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่จากขั้นที่ 1 ถึง 3 หมุนเวียนไปอีกหลาย ๆ รอบจะเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอได้มากมาย ประมาณว่าปฏิกิริยา 20 รอบ สามารถเพิ่มปริมาณสารดีเอ็นเอไม่ได้น้อยกว่า 100,000 เท่า

เนื่องจากการทำ PCR เป็นการสร้างสายดีเอ็นเอสายใหม่ในหลอดทดลอง จึงต้องมีการเติมสารเคมีและสารตั้งต้นที่เกี่ยวข้อง จะผสมกันไว้ในหลอดทดลองเล็ก จากนั้นนำหลอดที่มีการผสมสารต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ไปใส่ไว้ในเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่เรียกว่า DNA thermal cycler หรือ นิยมเรียกว่า PCR machine ที่ปรับอุณหภูมิได้ตามโปรแกรมที่กำหนด จะเกิดการสังเคราะห์ดีเอ็นเอสายใหม่ขึ้นในหลอด โดยระยะเวลาที่ใช้ในขั้น denaturing annealing และ extension อยู่ในช่วง 15 วินาที ถึง 10 นาที ดังนั้นการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอโดยวิธี PCR 25-40 รอบ จะใช้เวลาประมาณ 1.5-5 ชั่วโมง เมื่อเกิดปฏิกิริยาจนครบรอบและระยะเวลาที่กำหนดจะได้ผลผลิตดีเอ็นเอที่ต้องการเป็นจำนวนมาก

ดีเอ็นเอที่เกิดจากปฏิกิริยา PCR ในหลอดทดลองจะไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นเพื่อตรวจหาดีเอ็นเอผลผลิตจะต้องนำตัวอย่างที่ทำ PCR มาแยกหาดีเอ็นเอโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า agarose gel electrophoresis ซึ่งเป็นการแยกดีเอ็นเอด้วยกระแสไฟฟ้าบนแผ่นวุ้น (Agarose gel) โดยระยะทางที่ดีเอ็นเอสามารถเคลื่อนที่ได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของดีเอ็นเอและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ดีเอ็นเอที่แยกโดยวิธีนี้สามารถมองเห็นได้เมื่อย้อมด้วยสีพิเศษ ซึ่งจะเรืองแสงเมื่อเจอกับแสงอัลตราไวโอเลต ซึ่งจะเห็นแถบดีเอ็นเอเรืองแสงบนแผ่นวุ้น

9. DNA Thermal Cycler หรือ PCR machine



ภาพ https://www.barascientific.com/article/DNA/dna_6.php

ซึ่งประโยชน์ของ PCR ทางทางการแพทย์เหล่านี้ ทำให้การวินิจฉัยโรคเพื่อป้องกันและรักษาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ทางด้านการเกษตร PCR มีบทบาทมากในงานด้านการปรับปรุงพันธุ์พืช การตรวจสอบสายพันธุ์พืช การตรวจวินิจฉัยโรคสายพันธุ์พืชด้านทานโรค การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพืชกับเชื้อโรครวมทั้งศึกษายีนกับตัวอื่น ๆ ของพืช และเชื้อโรค และการแสดงออกของยีนเหล่านั้นได้ ซึ่งเทคนิค PCR นี้ช่วยให้เข้าใจถึงพันธุกรรมของเชื้อโรคพืชและพืชอาศัย ตลอดจนการนำไปใช้ในการป้องกันกำจัดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา แบคทีเรีย และไวรัส หรือเชื้อสาเหตุโรคอื่น ๆ ขณะนี้เทคนิค PCR ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงกุ้ง ซึ่งเป็น อุตสาหกรรมส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทย 4-5 หมื่นล้านบาทต่อปี แต่ในปัจจุบันนี้เกษตรกรเริ่มประสบปัญหาจากโรคระบาดในบ่อเลี้ยงกุ้ง ซึ่งมีผลต่อผลผลิตกุ้งส่งออก ทำให้ประเทศไทยสูญเสียรายได้ถึงปีละ 1-2 หมื่นล้านบาท สาเหตุของโรคระบาดในกุ้งที่พบส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อไวรัสซึ่งต้องใช้เทคนิค PCR ในการตรวจสอบ ทำให้สามารถป้องกันการแพร่ระบาดของโรคได้ทันทั่วทั้งที่ นอกจากนี้การคัดเลือกสายพันธุ์กุ้งที่ดีเพื่อใช้ในการผสมพันธุ์ซึ่งมีความแปรปรวนพันธุกรรม (genetic diversity หรือ Variation) สูงจะไม่สามารถดำเนินไปได้ถ้าไม่ใช้วิธีการคัดเลือกที่มีประสิทธิภาพ และถูกต้องถึงระดับพันธุกรรม

ปัจจุบันนี้นับได้ว่า PCR เป็นเทคนิคสำคัญมากในงานอณูชีวโมเลกุล ทั้งที่เป็นงานพื้นฐานในห้องปฏิบัติการไปจนถึงการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์และการเกษตรสามารถใช้ในการวินิจฉัยโรคต่างๆ ทั้งโรคติดเชื้อและโรคจากพันธุกรรม ศึกษาความผันแปรหรือกลายพันธุ์ของพันธุกรรมหรือยีน ทำแผนที่ยีนและศึกษาลำดับเบสของยีนของสิ่งมีชีวิตได้ทุกชนิด ทั้งนี้เนื่องมาจากเทคนิคนี้สามารถเพิ่มจำนวนดีเอ็นเอที่สนใจศึกษาให้มีปริมาณมากในเวลาอันรวดเร็ว และเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย

ประโยชน์ของ PCR ทางด้านการแพทย์ ได้แก่ การตรวจวินิจฉัยโรคโดยการตรวจหาเชื้อไวรัสหรือแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรค (เช่น โรคเอดส์ วัณโรค มาเลเรีย) การตรวจหายีนก่อมะเร็ง (เช่น มะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ใหญ่)

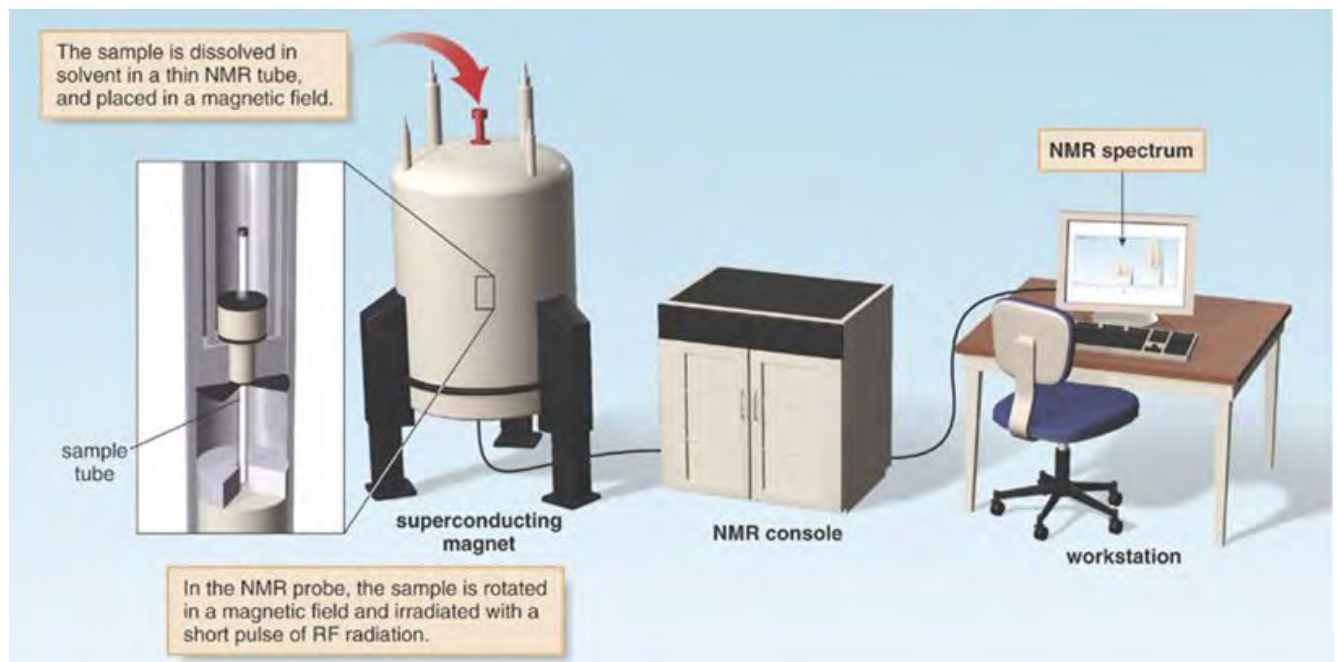
ที่มา:

<https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet4/genetics/pcr.htm>

10. NMR Spectrometer

NMR (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy) เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับพลังงานที่แตกต่างกันของนิวเคลียสที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ใช้ศึกษาเกี่ยวกับนิวเคลียสของธาตุที่มีสมบัติของแม่เหล็ก ตลอดจนสภาวะข้างเคียงรอบนิวเคลียสนั้นๆ เทคนิคนี้มีประโยชน์มากในการศึกษาอะตอมโมเลกุล โครงสร้างและพลวัตของสาร

นิวเคลียสของธาตุบางชนิดมีสมบัติของแม่เหล็ก เช่น ^1H , ^{13}C , ^{31}P , ^{195}Pt และ ^{103}Rh เนื่องจากมีประจุและมีการหมุนอยู่ตลอดเวลา นิวเคลียสเหล่านี้จะมีโมเมนต์แม่เหล็กของตัวเอง (nuclear magnetic moment) ซึ่งถ้านำไปวางในสนามแม่เหล็ก จะเกิดการจัดตัวอย่างเป็นระเบียบในแนวเส้นแรงของแม่เหล็ก ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 พวก คือ จัดตัวตามทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กสำหรับพวกที่มีพลังงานต่ำ หรือจัดตัวในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กสำหรับพวกที่มีพลังงานสูง เมื่อให้พลังงานในช่วงความถี่ของคลื่นวิทยุที่เหมาะสม ที่ทำให้นิวเคลียสสามารถเปลี่ยนระดับพลังงาน หรือกล่าวอีกนัยคือ นิวเคลียสจะดูดกลืนพลังงานที่ให้เข้าไป แล้วเปลี่ยนระดับพลังงานไปสู่พลังงานที่สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า การเกิดเรโซแนนซ์ (resonance) หลังจากนั้นนิวเคลียสจะคายพลังงานออกและลดไปสู่ระดับพลังงานต่ำ



ภาพ <http://science.buu.ac.th/part/nmr/index.php/home/components-and-applications.html>

10. NMR Spectrometer

ในการวัดสัญญาณของเครื่อง NMR นั้น ในที่นี้จะขอกล่าวถึงการวัดสัญญาณของเครื่อง FT-NMR (Fourier Transform NMR) ซึ่งเป็นเครื่องมือใหม่ที่ใช้กันอยู่ในมหาวิทยาลัยและสถาบันวิจัยทั่วไป การวัดสัญญาณของเครื่อง FT-NMR จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า Pulsed NMR โดยเครื่อง NMR Spectrometer จะส่งสัญญาณคลื่นวิทยุทุกความถี่ในช่วงที่สนใจเข้าไปยังตัวอย่างที่วิเคราะห์ การทำเช่นนี้จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสปินของนิวเคลียสทั้งหมดทันที ซึ่งเราจะเรียกสภาวะดังกล่าวว่าสถานะถูกกระตุ้น (excited state) จากนั้นนิวเคลียสดังกล่าวจะกลับสู่สถานะพื้น (ground state) โดยการคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นวิทยุในรูปของคลื่นที่ซ้อนกันที่เรียกว่าสัญญาณ FID (free induction decay) ซึ่งเราสามารถแยกออกเป็นความถี่ต่างๆ ที่มีความแรงของสัญญาณแตกต่างกันได้ โดยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Fourier transform ซึ่งเป็นที่มาของการเรียกชื่อเครื่อง NMR สมัยใหม่ว่า FT-NMR ในการคำนวณดังกล่าวนี้มีการคำนวณที่ซับซ้อนมากจึงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ สำหรับเก็บข้อมูลและประมวลผล ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวคือ สเปกตรัม NMR ซึ่งมีลักษณะเป็นพีค (ภาพในเว็บ <http://science.buu.ac.th/part/nmr/index.php/home/principles.html>) การดูคลื่นพลังงานจากสนามแม่เหล็กของนิวเคลียสของธาตุแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน หรือแม้กระทั่งนิวเคลียสของธาตุชนิดเดียวกันที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ต่างกันก็จะให้สัญญาณการดูดกลืนพลังงานที่ต่างกันอย่างชัดเจน

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค NMR นั้น ตรวจวัดได้ง่าย รวดเร็ว แม่นยำ และมีความจำเพาะเจาะจงสูง โดยตัวอย่างการนำเทคนิค NMR ไปใช้งาน เช่น การวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตที่เป็นส่วนประกอบของสารปรุงแต่งในอาหารแช่แข็ง ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งนั้นเป็นที่ทราบกันดีว่า มีการนำสารกลุ่มโพลีฟอสเฟตเข้ามาใช้ผสมเคลือบผิวของอาหารก่อนนำไปแช่แข็ง เพื่อช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตมีคุณสมบัติรักษาคุณภาพของเนื้อสัตว์ได้ เช่น ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อ ช่วยให้อาหารมีคุณภาพทางเนื้อสัมผัสและประสาทสัมผัสที่ดีขึ้น (ความนุ่ม ความฉ่ำน้ำ สี กลิ่น และรส) ถึงแม้ว่าจะมีการอนุญาตให้ใช้สารประกอบฟอสเฟตในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย แต่ก็มีกำหนดปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ได้ในระดับที่ไม่อันตรายต่อผู้บริโภค อีกทั้ง เทคนิค NMR ยังได้ใช้ในการแพทย์ที่รู้จักกันในชื่อว่า Magnetic Resonance Imaging (MRI) โดยอาศัยหลักที่ว่าเราสามารถสร้างภาพ 2 มิติ หรือ 3 มิติของวัตถุโดยการปรับเปลี่ยนสนามแม่เหล็ก NMR ที่ระดับความลึกต่างๆ กันของวัตถุ เหตุผลหนึ่งที่ทำให้เทคนิค MRI นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการแพทย์ก็เพราะว่าเทคนิคนี้ใช้รังสีที่มีความถี่หรือพลังงานต่ำ จึงไม่ทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อหรืออวัยวะของสิ่งมีชีวิต

ที่มา:

https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/258_66-70.pdf

<http://science.buu.ac.th/part/nmr/index.php/home/principles.html>

<http://science.buu.ac.th/part/nmr/index.php/home/components-and-applications.html>