แนวโน้มการวิเคราะห์สารด้วยเครื่องมือสมัยใหม่

ปัจจุบันนี้ได้มีการปรับปรุงเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์สารใช้ทันสมัยยิ่งขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะในช่วง ๒๐ ปีที่แล้วมา นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้หลักการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาในการสร้างเครื่องมือและนำคอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อรวบรวมข้อมูล และแปลความหมายอย่างกว้างขวาง อาทิ ในงานวิจัยพื้นฐาน งานอุตสาหกรรม งานควบคุมสภาวะแวดล้อม งานด้านสาธารณสุข และอื่น ๆ เครื่องมือเหล่านี้มีความไว ให้ความเฉพาะเจาะจง และให้ความรวดเร็วในการวิเคราะห์สูงขึ้น ทั้งยังมีวิธีการใช้ที่ง่าย และมีราคาถูกลงอีกด้วย สำหรับนักเคมีส่วนใหญ่เครื่องมือวิเคราะห์สมัยใหม่เป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญมาก ความถูกต้องและประโยชน์ทั้งสิ้นที่ผู้ทำการวิเคราะห์จะได้รับนั้นขึ้นอยู่กับความไว ความจำเพาะ ความรวดเร็ว ความง่ายในการวิเคราะห์และราคาของเครื่องมือตลอดจนการชักตัวอย่าง ซึ่งจะได้กล่าวถึงแนวโน้มการวิเคราะห์สารด้วยเครื่องมือสมัยใหม่ในหัวข้อเหล่านี้เป็นลำดับต่อไป

๑. ความไว (sensitivity) และขีดจำกัดต่ำสุด (detection limit) ในการวิเคราะห์

ความไวในการวิเคราะห์หมายถึงปริมาณสารน้อยที่สุดที่เครื่องมือชนิดนั้น ๆ สามารถวัดสัญญาณได้ ส่วนขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์หมายถึงปริมาณสารน้อยที่สุดที่เครื่องมือนั้น ๆ สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยความเชื่อมั่นร้อยละ ๙๕

ความไวในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิ ประสิทธิภาพในการทำให้สารอยู่ในสภาพที่จะวัดปริมาณได้ และยังขึ้นกับความสามารถที่จะวัดปริมาณสารในสภาพดังกล่าวได้อีกด้วย ยิ่งไปกว่านี้ถ้ามีสารรบกวนปะปนอยู่ จะทำให้ขีดจำกัดต่ำสุดในการวิเคราะห์สารนั้นเปลี่ยนแปลงไปได้เช่นกัน สภาพของสารที่สามารถวัดปริมาณได้มี อาทิ สภาพที่เป็นโฟตอนซึ่งดูดหรือเปล่งออกมา อันเป็นหลักการในการวิเคราะห์โดยวิธีสเปคโตรสโคปีแบบต่าง ๆ (เช่น รังสีเอกซ์ อุลตราไวโอเล็ท อินฟราเรด นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ รามันและโมสเบาเออร์สเปคโตรสโคปี) สภาพอื่นของสารที่สามารถวัดปริมาณได้ ได้แก่ สภาพที่เป็นประจุอันเป็นหลักการของการวิเคราะห์โดยวิธีอีเลคตรอนและแมสสเปคโตรเมตรี และเป็นหลักการการทำงานของเครื่องวัด (detector) ชนิดอีเลคโตรเคมีคัล และเฟลมอิออไนเซชันที่ติดอยู่ในเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ปัจจุบันการเปลี่ยนสารให้อยู่ในรูปของโฟตอนหรือให้อยู่ในรูปของอีเลคตรอนหรืออิออนได้รับการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิมมาก ทั้งนี้ทำได้โดยการใช้แหล่งกำเนิดพลังงานสูง เช่น เลเซอร์ รังสีซินโครตรอนและพลาสมาส์ เป็นต้น มีรายงานกล่าวว่าประสิทธิภาพที่ทำได้มีค่าเกือบร้อยละ ๑๐๐ สำหรับเรโซแนนซ์–เอนแฮนซ์ มัลทิโฟตอน อิออไนเซชัน (resonance–enhanced multiphoton ionization) ของสารที่อยู่ในลักษณะที่เป็นทั้งอะตอมและโมเลกุล การใช้เครื่องวัดที่มีการขยายสัญญาณหลายเท่า (multiplier detectors) จะสามารถวัดสัญญาณที่เกิดจาก ๑ โฟตอน หรือ ๑ อิออนได้ ฉะนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ธาตุซีเซียมเพียง ๑ อะตอม หรือสารประกอบแนพธาลีนเพียง ๑ โมเลกุลได้

ความก้าวหน้าและวิวัฒนาการทางด้านเครื่องมือได้เจริญขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ก่อนเครื่องมือที่มีความไวถึงขนาดวัดได้ หนึ่งในล้านส่วน $\frac{๑}{๑๐^{๖}}$ ก็เป็นที่น่าประทับใจอย่างยิ่งแล้ว ปัจจุบันนี้มีการวิเคราะห์บางอย่างที่ความไวของเครื่องมือสามารถวัดได้ถึง หนึ่งในล้านล้านส่วน ($\frac{๑}{๑๐^{๑๒}}$) เช่น การหาปริมาณของไดออกซินนอกจากนี้เครื่องมือแทนเดมแอคเซเลเรเตอร์ แมสสเปคโตรมิเตอร์ (tandemaccelerator mass spectro-

meter) ก็สามารถตรวจ ^{14}C จำนวน ๓ อะตอม ที่ปะปนอยู่ใน ^{12}C จำนวน 10^{16} อะตอม ข้อมูลที่ได้นี้ทำให้สามารถวัดความเก่าแก่ของโบราณวัตถุได้ถึงเจ็ดหมื่นปี

๒. ความจำเพาะในการวิเคราะห์ (specificity)

ความจำเพาะในการวิเคราะห์โดยเครื่องมือชนิดใดๆ หมายถึง ความสามารถของเครื่องมือในการให้ข้อมูลและประโยชน์ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการวิเคราะห์นั้น ๆ เครื่องวัดที่สมบูรณ์แบบจะให้ข้อมูลมากมาย ข้อมูลทั้งหมดที่ได้ขึ้นกับจำนวนมิติและจำนวนข้อมูลต่อ ๑ มิติ ตัวอย่างเช่น การวัดดรรชนีหักเห และการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ของสารนั้นให้ค่า ๑ ค่า หรือเป็น ๑ มิติ ปัจจุบันเครื่องมือส่วนใหญ่ให้ค่าได้หลายมิติ ซึ่งจะให้ข้อมูลมากมาย วิธีทางสเปคโตรสโคปีที่ธรรมดาที่สุดที่ให้ค่า ๒ ค่า หรือเป็น ๒ มิติ ได้แก่ อินฟราเรดสเปคโตรสโคปีที่แสดงผลเป็นกราฟระหว่างการดูดแสงและความยาวคลื่นและแมสสเปคโตรเมตรีที่แสดงผลเป็นกราฟระหว่างความอุดมของอิออนกับอัตราส่วนมวลต่อประจุ เป็นต้น ฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความจำเพาะในการวิเคราะห์เพื่อเลือกวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ให้เหมาะสม ตัวอย่างความก้าวหน้าของวิธีวิเคราะห์และเครื่องมือที่ให้ความจำเพาะสูงก็มีวิธีสเปคโตรสโคปีแบบต่าง ๆ อาทิ การวิเคราะห์สารในสภาพก๊าซขณะเย็น โดยให้ขยายตัวแบบซูเปอร์โซนิกจะขยายให้เห็นเส้นไวเบรชันและโรเทชัน ซึ่งสามารถวัดโดยใช้แสงเลเซอร์ (tunable laser) ได้ วิธีแมสสเปคโตรเมตรีของสารมวลสูงซึ่งให้ประสิทธิภาพในการแยกวิเคราะห์ (resolution) สูงถึงหนึ่งใน 10^5 ส่วนนั้นจะให้ประสิทธิภาพในการแยกวิเคราะห์สูงกว่าวิธีธรรมดาประมาณ 10^6 เท่า สำหรับวิธีก๊าซโครมาโตกราฟีเมื่อใช้ท่อแคพิลลารี หรือแคพิลลารีคอลัมน์ (capillary columns) แทนท่อแบบธรรมดา จะให้ประสิทธิภาพในการแยกวิเคราะห์สูงขึ้นประมาณ 10^5 เท่า เป็นต้น

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว เทคนิคแบบหลายมิติจะช่วยเพิ่มความจำเพาะในการวิเคราะห์ให้สูงขึ้น ตัวอย่างเช่น วิธีนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปคโตรสโคปีแบบ ๒ มิติ จะให้ข้อมูลมากกว่าวิธีธรรมดา วิธีแทนเดมแมสสเปคโตรเมตรี (tandem mass spectrometry) ซึ่งให้มิติมากกว่าวิธีธรรมดา จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของสารตัวอย่างได้มากขึ้น อีกทั้งสามารถวิเคราะห์สารได้ในเวลาสั้นกว่า 10^{-3} วินาที อีกด้วยถ้าใช้เครื่องวัดชนิดพิเศษ

อนึ่งยังมีเทคนิคที่ผสมเทคนิคแบบหลายมิติเข้าด้วยกัน ตัวอย่างที่รู้จักกันดีในระยะ ๒๐ ปีที่แล้วมานี้ได้แก่ เทคนิคที่รวมก๊าซโครมาโตกราฟีและแมสสเปคโตรเมตรีเข้าด้วยกัน เรียกย่อ ๆ ว่า วิธีจีซี—เอ็มเอส (GC--MS) เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่สำคัญและสะดวกมากอย่างหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์สารผสมองค์ประกอบซับซ้อน เช่น ใช้วิเคราะห์สารพีโรโมนจากแมลง สารมลภาวะ สารตัวอย่างทางนิติเวชวิทยาและใช้ในการวิเคราะห์สารเพื่อควบคุมขบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการรวมเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟีและอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี และรวมเทคนิคลิควิดโครมาโตกราฟีและแมสสเปคโตรเมตรีเข้าด้วยกัน ซึ่งให้ผลที่ดียิ่งขึ้นในด้านการแยกวิเคราะห์สารที่เป็นไอโซเมอร์ อีกทั้งยังใช้วิเคราะห์สารที่ระเหยเป็นไอได้น้อยกว่าอีกด้วย

นอกเหนือจากเทคนิคที่กล่าวแล้ว กรณีที่สารตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน อาจใช้วิธีวิเคราะห์แบบมัลติไดเมนชันนัลสเปเทียล (multidimensional spatial analysis) ตัวอย่าง เช่น เทคนิคพิเศษ "ไมโครโพรบ" และ "ไมโครสโคป" ซึ่งใช้อิเลคตรอน อิออน หรือแสงเลเซอร์ เป็นเครื่องพิสูจน์และตรวจหาปริมาณธาตุหรือโมเลกุลที่กำหนดในลักษณะ ๒ มิติ หรือ ๓ มิติ ของสารตัวอย่าง เป็นต้น

๓. ความรวดเร็ว ความง่ายและราคาในการวิเคราะห์

สิ่งอื่นที่จะต้องพิจารณาในการเลือกวิธีการและเครื่องมือวิเคราะห์สารนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วคือ ความเร็ว ความง่าย ตลอดจนราคาต่อการวิเคราะห์ สำหรับความเร็วนั้นได้มีการพัฒนาอย่างมากมาย บางกรณีใช้เครื่องมือพิเศษช่วย เช่น พิโคเซกันด์เลเซอร์ และมีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยอย่างมากในระยะหลัง ทำให้การวิเคราะห์มีความรวดเร็ว ถูกต้องและสามารถควบคุมให้เป็นไปตามต้องการได้เป็นอย่างดี เทคนิคอีกอย่างหนึ่งที่แพร่หลายคือ เทคนิคที่ใช้โฟเรียร์-ทรานสฟอร์ม (Fourier transform techniques) ซึ่งช่วยเพิ่มความเร็วและความไวในการวิเคราะห์ให้สูงขึ้นมาก โดยเฉพาะความไวนั้นเพิ่มได้เป็นสิบยกกำลัง เท่า (10^n เท่า) เลยทีเดียว ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคนี้ในวิธีอินฟราเรด นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์-สเปคโตรสโคปีและแมสสเปคโตรเมตรี

๔. การชักตัวอย่างในการวิเคราะห์

นอกเหนือจากวิธีชักตัวอย่างโดยทั่วไปแล้ว ในการวิเคราะห์สารบางอย่างนั้นอาจต้องมีวิธีพิเศษเพื่อทำให้สารตัวอย่างอยู่ในสภาวะที่เครื่องมือทำการวิเคราะห์ได้ หรือทำให้เครื่องมืออยู่ในสภาวะที่สามารถวิเคราะห์สารตวอย่างได้ ตัวอย่างในกรณีหลัง เช่น เครื่องมือที่ใช้ในวงโคจรและในเครื่องใช้ในการลงบนดาวอังคารของยานอวกาศไวกิ้ง เป็นต้น ตัวอย่างอื่นได้แก่ การวิเคราะห์ควันจากปล่องโรงงานโดยการตรวจสอบในระยะไกลหรือรีโมท เซนซิง (remote sensing) การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของบริเวณกว้างที่สงสัยว่าจะมีสารพิษอยู่โดยการสูบอากาศเข้าเครื่องมือแมสสเปคโตรมิเตอร์ (MS–MS instrument) ที่ติดตั้งบนยานพาหนะทำให้สามารถเคลื่อนไปในบริเวณนั้นด้วยความเร็วประมาณ ๕๖ กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อทำการวิเคราะห์ในทันที เป็นต้น

ที่กล่าวมาพอเป็นสังเขปข้างต้นเกี่ยวกับแนวโน้มการวิเคราะห์สารด้วยเครื่องมือสมัยใหม่ พอจะคาดการณ์ได้ว่าในอนาคตจะมีการวิจัยทางเคมีและการผลิตสูงขึ้น ในการศึกษาอบรมผู้ที่เกี่ยวข้องนอกเหนือจากการให้ความรู้เรื่องการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือแล้ว การศึกษาระดับปริญญาตรีในต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ยังมีการปูพื้นฐานทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง เช่น อิเลคทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ ให้แก่นักศึกษาอีกด้วย อย่างไรก็ดีถึงแม้จะได้มีการพัฒนาเครื่องมือให้ก้าวหน้าไปอย่างมากมายก็ตาม ควรที่จะต้องคำนึงถึงวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกล่าวคือต้องพิจารณาปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ให้ละเอียดว่ามีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือสมัยใหม่มากน้อยเพียงใด เพราะในบางกรณีอาจใช้วิธีทางเคมีหรือเครื่องมือเท่าที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการขณะนั้นแก้ปัญหาให้ได้ นอกจากนั้นควรจะต้องทราบกลไกและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ทั้งหมด ยิ่งไปกว่านั้นกรณีที่ใช้เครื่องมือสมัยใหม่ช่วยวิเคราะห์ต้องมีเครื่องมือและบุคลากรที่มีความชำนาญเป็นพิเศษในการซ่อมและแก้ไขเครื่องมือส่วนอิเลคทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ รวมทั้งต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องมืออย่างถูกต้องด้วย จึงจะทำให้การวิเคราะห์โดยเครื่องมือสมัยใหม่นั้นๆ ให้ผลที่เป็นประโยชน์และใช้งานได้คุ้มค่ายิ่งขึ้น