

บทที่ 1

บทนำ

1.1 โฟลอินเจกชันอะนาไลซิส (Flow Injection Analysis)

1.1.1 ประวัติความเป็นมา

ในปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีมีความสำคัญที่จะช่วยให้นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย นักศึกษา และ ผู้ที่สนใจใช้ประโยชน์ในการศึกษา และวิจัยถึงเรื่องราวต่าง ๆ ของสารประกอบเคมี ได้อย่างถูกต้อง ชัดเจน และ แม่นยำยิ่งขึ้น งานการวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้าน การแพทย์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม การเกษตร วิทยาศาสตร์ และ อื่น ๆ ได้นำเคมีวิเคราะห์ ไปประยุกต์ใช้แทบทั้งสิ้น เป็นที่ทราบกันดีว่าความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี มีการพัฒนาที่รุดหน้าไปอยู่เสมอ ประกอบกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้จำนวนตัวอย่างที่ต้องทำการวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงมีการวิจัย และ พัฒนาเทคนิควิธีการวิเคราะห์ที่ให้ผลที่รวดเร็ว มีระบบการวิเคราะห์ เป็นแบบอัตโนมัติ ส่งผลให้การวิเคราะห์ทำได้สะดวกรวดเร็ว มีความถูกต้อง และ ความแม่นยำ ในการวิเคราะห์สูง เทคนิคโฟลอินเจกชันอะนาไลซิส (Flow Injection Analysis) หรือ เอฟ ไอ เอ (FIA) เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบหนึ่งที่ให้ผลตามต้องการข้างต้น นอกจากนี้เทคนิค เอฟ ไอ เอ ยัง ใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีปริมาณจำกัดได้เป็นอย่างดี

เทคนิคโฟลอินเจกชันอะนาไลซิส หรือ เรียกย่อ ๆ ว่า เอฟ ไอ เอ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ แบบต่อเนื่อง ถูกพัฒนาขึ้นมาจากแนวความคิด และ การค้นคว้าวิจัยของนักวิทยาศาสตร์หลาย ๆ ท่าน เช่น ในปี ค.ศ. 1970 Nagy, Feher และ Pungor [1] เริ่มใช้ระบบอัตโนมัติที่มีการไหล อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีช่วงอากาศคั่นโดยทำการฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในกระแสของตัวพาที่ไหล อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเร็วคงที่ แล้วผ่านไปยังโฟลรูเซลล์ (flow through cell) เครื่องตรวจวัด การเปลี่ยนแปลง และ เครื่องบันทึกสัญญาณ ให้สัญญาณออกมาเป็นพีก (peak) ต่อมาในปี ค.ศ. 1975 Ruzicka และ Hansen [2] ได้ตีพิมพ์ผลงานที่พัฒนาขึ้น โดยการฉีดสารตัวอย่างเข้าไปใน กระแสตัวพาที่ไม่มีช่วงอากาศคั่นและอธิบายเครื่องมือวิเคราะห์โดยเทคนิคการไหลอย่างต่อเนื่อง โดยปราศจากช่วงอากาศคั่น ในขณะเดียวกันที่ Stewart, Beecher และ Hare [3] ประสบผลสำเร็จ ในการทดลอง โดยการฉีดสารตัวอย่างเข้าไปในกระแสตัวพาที่ปราศจากฟองอากาศคั่น ซึ่งนัก วิทยาศาสตร์ทั้งสองกลุ่มนี้ไม่ได้มีนัยหมายกันมาก่อน ต่อมาจึงตั้งชื่อเทคนิคนี้ว่า โฟลอินเจกชัน อะนาไลซิส (Flow Injection Analysis) หรือ เอฟ ไอ เอ (FIA) ในปัจจุบันเทคนิค เอฟ ไอ เอ ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิเคราะห์ด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่นด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การเกษตร เคมีคลินิก การแพทย์ ตลอดจนการวิเคราะห์สารมลพิษในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

1.1.2 หลักการของเอฟ ไอ เอ [4]

ฟิสิกส์ของอนุภาคนิวเคลียร์ หรือเอฟ ไอ เอ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง มีพื้นฐานจากการฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าสู่กระแสตัวพา (carrier) และ/หรือ กระแสของรีเอเจนต์ (reagent) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ไหลอย่างต่อเนื่องภายในท่อพลาสติก (plastic tube) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาดเล็ก โดยปราศจากฟองอากาศ อันตรกิริยาของสารเคมีจะถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ตลอด โดยการใช้ปั๊มหรืออาศัยแรงโน้มถ่วง โดยการยกภาชนะบรรจุสารเคมีให้สูงขึ้นจากระดับในแนวระนาบ สารตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปจะเข้าผสมกับกระแสตัวพา ซึ่งระดับของการผสม (degree of mixing) จะถูกควบคุมโดยกระบวนการของการแพร่กระจาย (dispersion controlled process) ที่สัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ของระบบ เอฟ ไอ เอ เช่น ขนาดและความยาวของท่อพลาสติกเล็ก ๆ ที่เลือกใช้ , อัตราการไหลของกระแสตัวพา , ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดทดลองที่ใช้พัน mixing coil , รูปร่างของ mixing part ที่ใช้ และ ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ เป็นต้น เมื่อสารตัวอย่างผสมกับกระแสตัวพา หรือ รีเอเจนต์ จะมีการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เกิดขึ้น เช่น เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งกระแสตัวพาจะพาเอาผลผลิตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นช่วง (sample zone) แพร่ไหลไปตามท่อจนเข้าสู่ flow through cell แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องตรวจวัด (detector) ซึ่งจะเป็นชนิดใดขึ้นกับชนิด และ ธรรมชาติของสารที่ต้องการวิเคราะห์ วิธีการทางเคมีวิเคราะห์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบ เอฟ ไอ เอ มีตัวอย่างแสดงในตาราง 1.1 การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบันทึกได้โดยใช้เครื่องบันทึกสัญญาณ (recorder) หรือ คอมพิวเตอร์ สัญญาณของสารละลายมาตรฐาน และ สารตัวอย่างศึกษาได้จากความสูงของพีค (peak height) , ความกว้างของพีค (peak width) , พื้นที่ใต้พีค (peak area) และ พีคต่อพีค (peak to peak) เป็นต้น

ตาราง 1.1 เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบเอฟ ไอ เอ ⁽⁴⁾

เทคนิคการวิเคราะห์	
Amperometry / voltammetry	Reaction rate measurements
Ion - selective electrodes	Dialysis
Conductivity	Gas diffusion
Atomic spectrometry (AAS , ICP-AES)	Solvent Extraction
Molecular spectrometry (UV, Visible, IR)	Ion exchange
Fluorescence	Precipitation / dissolution
Chemiluminescence	Electrolytic dissolution
Mass spectrometry	Adsorption / desorption

จากหลักการที่กล่าวมาสรุปได้ว่าระบบ เอฟ ไอ เอ เน้นหลักการที่สำคัญ 3 ประการ [9,5] คือ

1. การฉีดสารละลายตัวอย่างเข้าสู่ระบบ (sample injection)

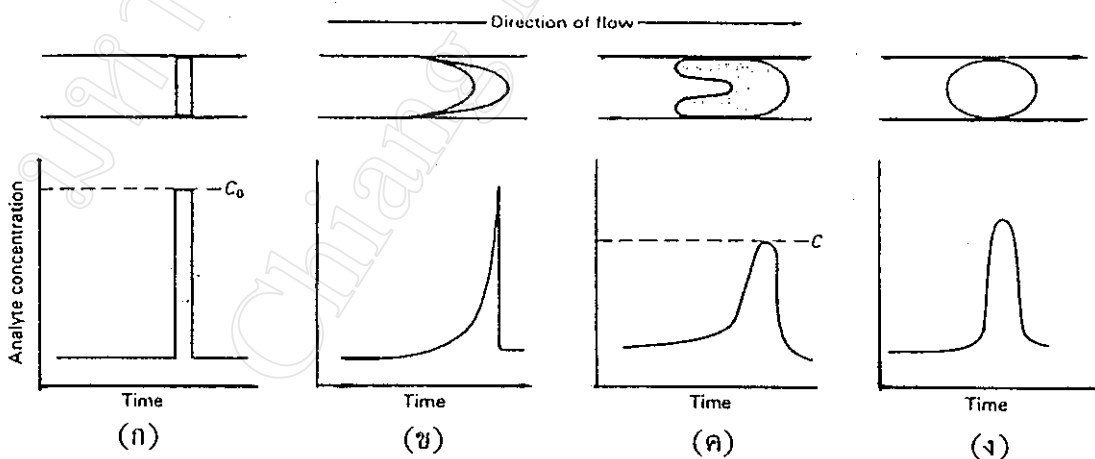
เป็นการนำสารตัวอย่างเข้าสู่กระแสตัวพา โดยอาศัยอุปกรณ์ที่ดี และ เทคนิคที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ ปริมาณ และ ปริมาตรที่เท่ากันทุกครั้ง การนำสารตัวอย่างเข้าสู่กระแสตัวพาจะต้องไม่รบกวนการ ไหลของกระแสตัวพาในระบบ

2. เวลาในการฉีดสารที่แม่นยำ (reproducible time)

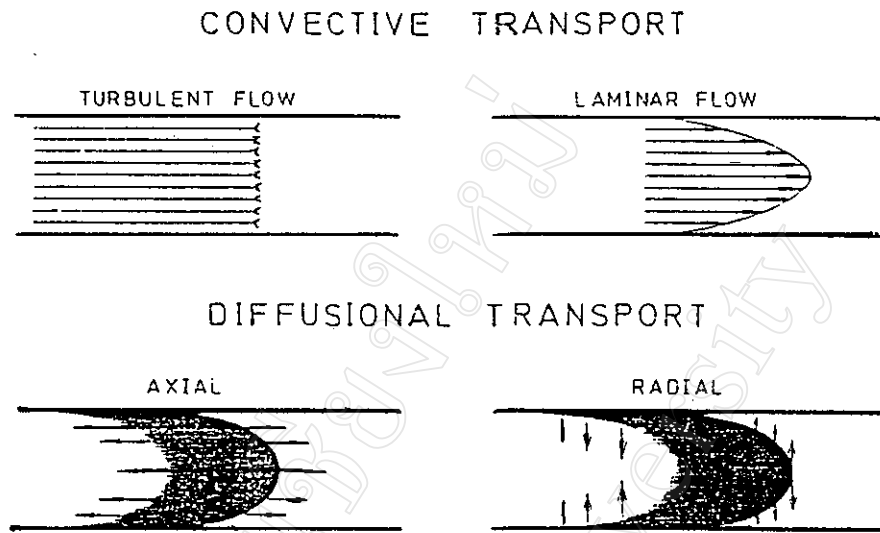
เป็นเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านสารตัวอย่างจากจุดที่ฉีดสารตัวอย่างไปยังเครื่องตรวจวัดต้องมีระยะเวลา ที่เท่ากันทุกครั้ง นั่นคือ ในการฉีดสารตัวอย่างต้องใช้เวลาที่แน่นอนและสม่ำเสมอเท่ากันทุกครั้ง ไม่เช่นนั้นจะมีผลต่อการตรวจวัดสัญญาณของเครื่องตรวจวัด ทำให้ residence time ไม่เท่ากัน เป็นผลจากสารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับกระแสตัวพาและ/หรือกระแสรีเอเจนต์ด้วยสัดส่วนที่ไม่คงที่

3. การแพร่กระจายที่ถูกควบคุมของสารตัวอย่าง (controlled dispersion)

ผลผลิตของสารตัวอย่างที่เข้าผสมกับกระแสตัวพาที่เกิดขึ้นเป็นช่วง (sample zone) จะถูกควบคุม การแพร่กระจาย (dispersion) ในระหว่างการไหลอยู่ตามท่อในระบบจนถึงเครื่องตรวจวัด ซึ่ง สังเกตได้จาก ลักษณะของพีค (peak) ที่ได้จากเครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษของ recorder หรือ บนจอคอมพิวเตอร์ ดังรูป 1.1



รูป 1.1 การเปลี่ยนแปลงพื้นฐานของความเข้มข้นของ sample zone ในกระแสตัวพาที่กำลังไหล เป็นฟังก์ชันของเวลาและรูปร่างของสัญญาณจากการวิเคราะห์ที่ได้แต่ละแบบ ก) ไม่เกิดการแพร่ กระจาย ข) การแพร่กระจายเนื่องจากการพา ค) การแพร่กระจายโดยการพาและการแพร่ตั้งฉาก กับการไหล และ ง) การแพร่กระจายเนื่องจากการแพร่ [6]

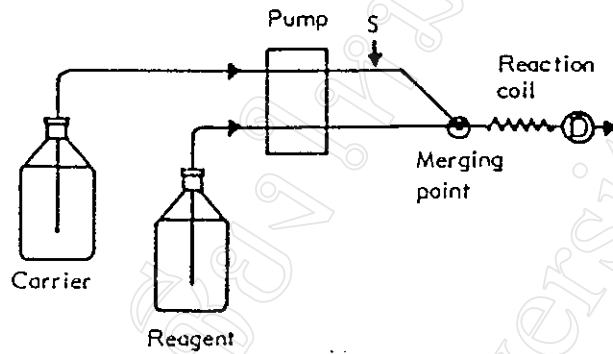


รูป 1.2 รูปแบบทั่วไปของการเคลื่อนที่ในท่อปิดของ sample zone [5]

ปกติการแพร่กระจายในระบบ เอฟ ไอ เอ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการพา (convection) และ การแพร่ อย่างมีขอบเขต (radial diffusion) ดังรูป 1.2 ซึ่งเป็นผลทำให้ไม่เกิดการทับกัน หรือ ผสมกัน ระหว่างสารตัวอย่างในแต่ละช่วง และในส่วนที่เป็น sample zone จะมีการยืดยาวออกแล้วทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบบางอย่างในกระแสตัวพา และ/หรือ กระแสรีเอเจนต์เกิดสปีชีส์ (species) บางอย่างขึ้น สามารถตรวจวัดสัญญาณ โดยใช้เครื่องตรวจวัด และ บันทึกสัญญาณได้ การแพร่กระจายสามารถถูกควบคุมได้โดยการเลือกความยาว รูปร่าง และ ขนาดของท่อขนาดเล็กที่ใช้ให้เหมาะสม รวมทั้งการควบคุมอัตราการไหลของสารละลายในสถานะต่างๆ เช่น การเพิ่มความยาวของท่อ (tube) จะทำให้ตัวอย่างถูกเจือจางมากขึ้น ตัวอย่างจึงมีการแพร่กระจายเพิ่มขึ้น การลดการแพร่กระจายทำได้โดย ลดอัตราการไหลของสารละลายภายในท่อ, ลดปริมาตรสารละลายที่ฉีด และ ลดระยะทางระหว่างบริเวณที่ฉีดสารตัวอย่างกับเครื่องตรวจวัดสัญญาณ เป็นต้น

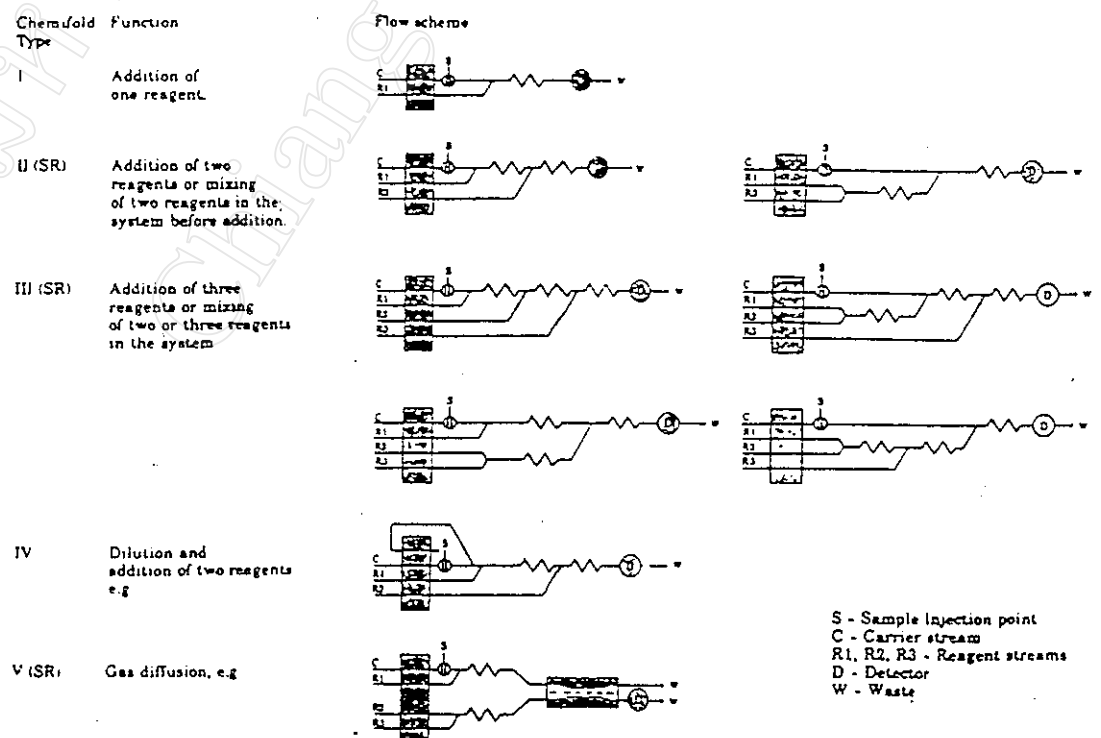
1.1.3 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบเอฟ ไอ เอ [5,7]

ระบบ เอฟ ไอ เอ โดยทั่วไปมักประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ ดังแสดงในรูป 1.3



รูป 1.3 ระบบ เอฟ ไอ เอ พื้นฐานสำหรับระบบที่มีรีเอเจนต์ชนิดเดียว [7]

เนื่องจากเทคนิค เอฟ ไอ เอ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง มีข้อดีเหนือกว่าวิธีการวิเคราะห์แบบธรรมดาหลายประการ เช่น ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น สัญญาณของการวิเคราะห์เร็วมากในระดับวินาที ใช้สารตัวอย่างและรีเอเจนต์ในการวิเคราะห์แต่ละครั้งน้อย นอกจากนี้ยังประยุกต์การวิเคราะห์แบบธรรมดามาเป็นระบบ เอฟ ไอ เอ ได้หลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบที่ใช้ในงานวิเคราะห์ขึ้นกับลักษณะของปฏิกิริยาที่ต้องการให้เกิดขึ้นใน reaction coil โดยลักษณะของ manifold ที่แตกต่างกันของระบบเอฟ ไอ เอ แสดงดังรูป 1.4



รูป 1.4 chemifold (chemical manifold) ชนิดต่าง ๆ ของระบบเอฟ ไอ เอ [15]

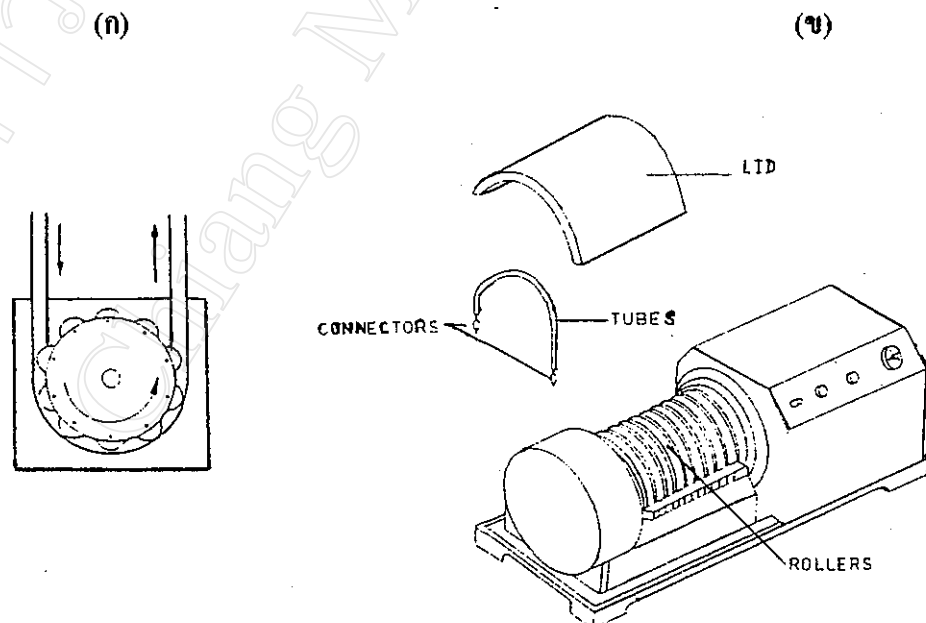
ส่วนประกอบสำคัญของระบบ เอฟ ไอ เอ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ภาชนะบรรจุสารเคมี (Reservoir)

เป็นภาชนะที่ใช้บรรจุรีเอเจนต์ หรือ กระแสตัวพา หรือ ตัวทำละลาย ซึ่งอาจทำด้วยแก้วหรือพลาสติกก็ได้ ในระบบ เอฟ ไอ เอ แต่ละแบบที่สร้างขึ้นมาจะมี reservoir 1 ใบ หรือ มากกว่า 1 ใบ ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารตัวอย่างแต่ละชนิด ภาชนะสำหรับบรรจุสารเคมีที่ดี ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่บรรจุ และไม่ทำให้คุณสมบัติของสารเคมีที่บรรจุเปลี่ยนแปลงไป

2. ปั๊ม (Pump)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการไหลของสารเคมี หรือ กระแสตัวพาไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบ ปั๊มที่ได้รับความนิยมสมบัติ คือ ต้องไม่ทำให้เกิดพัลส์ (pulse - free) ให้ความแม่นยำในการไหลด้วยอัตราเร็วที่คงที่ และ ควบคุมอัตราการไหลของสารเคมีได้ ซึ่งอัตราการไหลของสารจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการในการวิเคราะห์สารตัวอย่างแต่ละชนิด ปัจจุบันนิยมใช้ เพอร์ริสตาลติกปั๊ม (peristaltic pump) การทำงานของเพอร์ริสตาลติกปั๊ม ต้องใช้ท่อสายยาง ที่มีความยืดหยุ่นสูงเมื่อท่อสายยางถูกบีบโดยชุดลูกกลิ้งจะทำให้เกิดการไหลของกระแสตัวพา ดังรูป 1.5



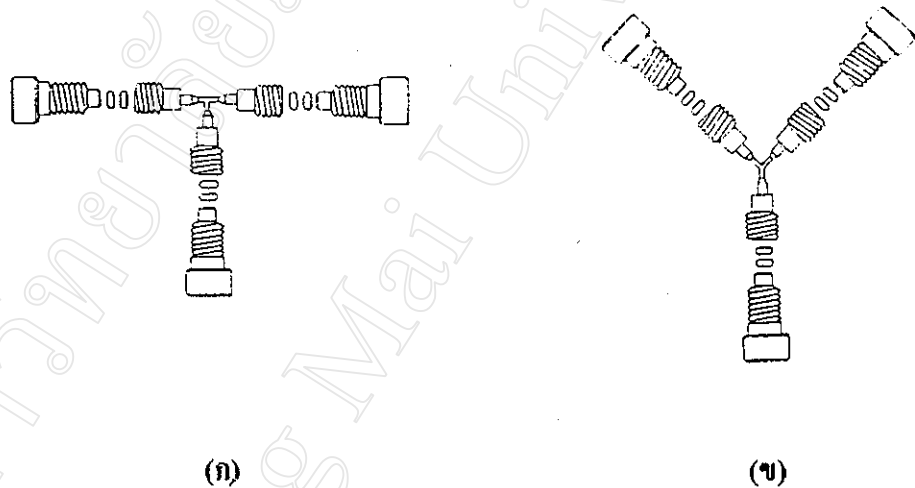
รูป 1.5 ลักษณะของเพอร์ริสตาลติกปั๊ม [5]

- (ก) การทำงานของเพอร์ริสตาลติกปั๊มเกิดขึ้นเมื่อชุดลูกกลิ้งบีบท่อสายยางขนาดเล็กที่ใช้
 (ข) ส่วนประกอบภายในของเพอร์ริสตาลติกปั๊มแสดงให้เห็นชุดลูกกลิ้ง (rollers)

นอกจาก เพอร์ริสตาลติกปั๊มที่นิยมใช้กันแล้ว ยังนำปั๊มปลูมามาใช้ในระบบก็ได้ หรืออาจไม่ใช้ปั๊มแต่ตัดแปลง มาใช้การปรับระดับความสูงต่ำของภาชนะบรรจุสารเคมี ซึ่งจะทำให้รีเอเจนต์ หรือ กระแสตัวพาไหลลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลก ซึ่งในกรณีนี้ระบบ เอฟ ไอ เอ จะมีราคาถูกกว่าการใช้ปั๊มมาก

3. ตัวเชื่อม (Connector)

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ เอฟ ไอ เอ เข้าด้วยกัน และ ทำให้สารตัวอย่างเกิดการแพร่กระจาย หรือ ผสมกัน connector ที่ใช้ในระบบเอฟ ไอ เอ อาจทำด้วยแผ่นพลาสติกที่เจาะรูให้เหมาะสม เป็นรูปตัววาย (Y) หรือตัวที (T) ดังรูป 1.6



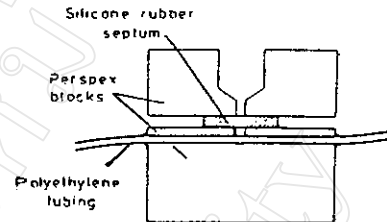
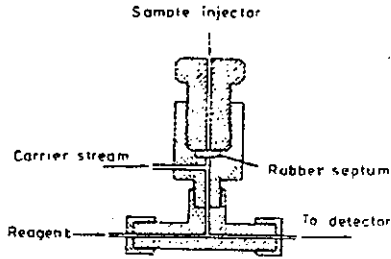
รูป 1.6 ลักษณะของ connector ที่ใช้ในระบบ เอฟ ไอ เอ [5]

(ก) connector ที่มีลักษณะเป็นรูปตัวที (T)

(ข) connector ที่มีลักษณะเป็นรูปตัววาย (Y)

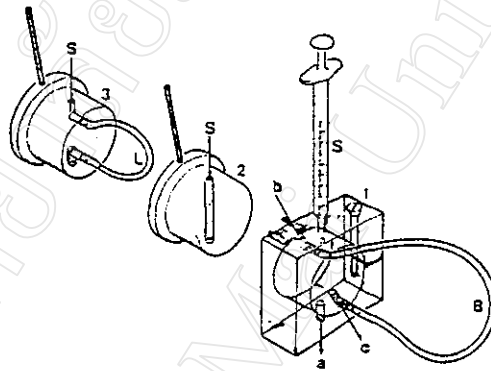
4. ระบบการฉีด (Injection system)

เป็นส่วนที่ประกอบด้วยทางเปิด เพื่อนำสารตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐาน ที่มีปริมาตรเท่ากันทุกครั้ง เข้าสู่กระแสตัวพาที่กำลังไหล โดยไม่รบกวนการไหลของกระแสตัวพา ระบบการฉีดที่ดีควรทำได้ง่ายและรวดเร็ว เพื่อให้ได้อัตราเร็วในการฉีดสารตัวอย่างที่สูง อุปกรณ์ระบบการฉีดของเทคนิค เอฟ ไอ เอ เช่น เข็มฉีดยา (syringe) เข็มไฮโปเดอริมิก (hypodermic needle) และใช้ระบบการฉีดแบบโรตารีวาล์ว (rotary valve) ซึ่งแต่ละแบบมีประสิทธิภาพในการทำงานไม่เหมือนกัน ระบบการฉีดที่ใช้กันมากในระบบ เอฟ ไอ เอ แสดงดังรูป 1.7



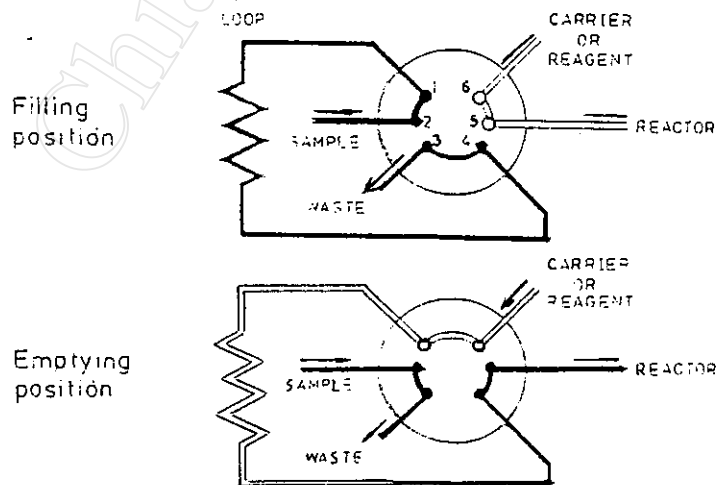
(ก) ระบบการฉีดที่ประยุกต์จาก HPLC

(ข) ระบบการฉีดตามแบบ Betteridge



(ค) ระบบการฉีดที่ประกอบด้วย (1) stator และ (2) or (3) rotor

ROTARY INJECTION VALVE



(ง) ระบบการฉีดแบบโรตารีวาล์ว (rotary valve)

รูป 1.7 รูปแบบระบบการฉีดที่ใช้ในระบบเอฟ ไอ เอ [5,16]

5. มิกซ์เจอร์ (Mixing part)

เป็นส่วนที่สารละลายมาตรฐาน หรือ สารละลายตัวอย่างทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยา และ การแพร่กระจายของ sample zone มิกซ์เจอร์โดยทั่วไปจะใช้ท่อพลาสติก (plastic tubing) หรือ เทฟลอน (teflon) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กพันรอบหลอดทดลองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแล้วแต่ความเหมาะสม

6. เครื่องตรวจวัด (Detector)

เป็นเครื่องที่ใช้ในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยอาศัยคุณสมบัติใดคุณสมบัติหนึ่งของสารตัวอย่าง หรือ ผลผลิตจากปฏิกิริยาที่ไหลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นชนิดใดขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์สารแต่ละชนิด ตัวอย่างเครื่องตรวจวัดที่นำมาใช้กับระบบ เอฟ ไอ เอ เช่น

AAS , Spectrophotometer , Fluorometer , Voltammeter , Potentiometer เป็นต้น (ดูตาราง 1.1)

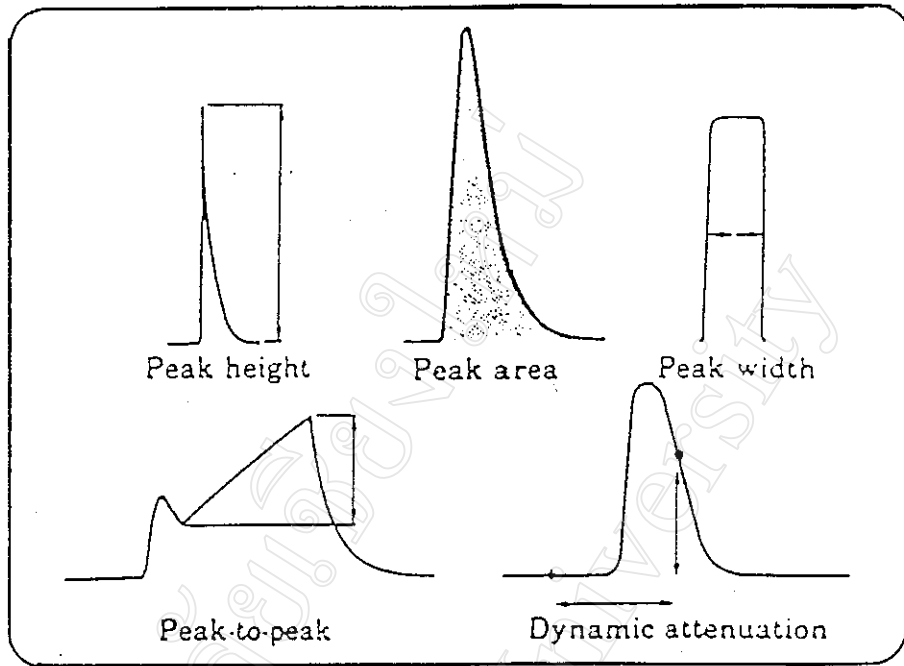
เครื่องตรวจวัดสัญญาณที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

- 6.1 มีการตอบสนองที่ดี รวดเร็วต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
- 6.2 มีความจำเพาะและความไวสูง
- 6.3 มีความแม่นยำ ให้สัญญาณที่เสถียร และมีสัญญาณรบกวนต่ำ
- 6.4 สัญญาณที่ได้ออกมาต้องเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง
- 6.5 มีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อน ขนาดกระทัดรัด สะดวกในการใช้งาน

เนื่องจากไม่มีเครื่องตรวจวัดใด ๆ ที่มีคุณสมบัติครบตามข้างต้น ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการตรวจวัดจึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดสำหรับระบบที่ศึกษา

7. เครื่องบันทึกสัญญาณ (Readout Device)

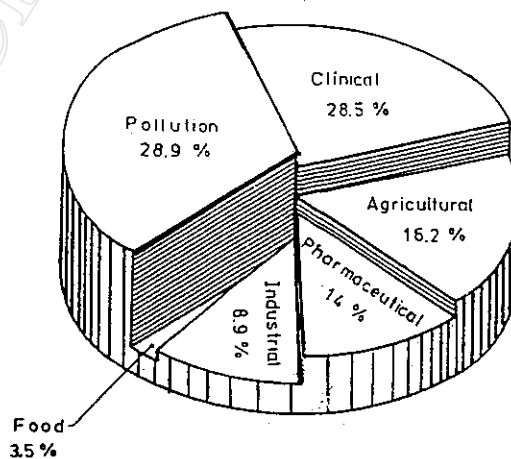
เป็นเครื่องบันทึกผลการเปลี่ยนแปลง ต่อจากเครื่องตรวจวัด สามารถบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นออกมาใน รูปของพีค (peak) เครื่องบันทึกสัญญาณที่ใช้ในระบบ เอฟ ไอ เอ อาจจะเป็น chart recorder , microprocessor หรือ computer เป็นต้น ซึ่งสัญญาณลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระบบ เอฟ ไอ เอ แสดงดังรูป 1.8



รูป 1.8 สัญลักษณ์ลักษณะต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระบบ เอฟ ไอ เอ [15]

1.1.4 การประยุกต์ใช้ระบบเอฟ ไอ เอ [5,8]

เทคนิคฟลูออโรสแกนอานาลิซิส ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเทคนิคนี้มีข้อดีเหนือกว่าเทคนิคการวิเคราะห์แบบธรรมดา คือ ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว โดยทั่วไปใช้เวลาน้อยกว่า 1 นาที มีความถูกต้อง และความแม่นยำในการวิเคราะห์สูง มีอัตราเร็วในการวิเคราะห์สารตัวอย่างต่อชั่วโมงสูง ใช้สารละลายตัวอย่างและสารละลายอื่น ๆ ในปริมาณน้อย จึงลดอันตรายที่อาจเกิดจากสารเคมีได้ ด้วยข้อดีของเทคนิค เอฟ ไอ เอ ข้างต้น จึงมีการนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานการวิเคราะห์ทางเคมีด้านต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูป 1.9



รูป 1.9 การประยุกต์เทคนิค เอฟ ไอ เอ ในงานด้านต่าง ๆ [5]

จากรูป 1.9 จะเห็นว่าเทคนิค เอฟ ไอ เอ ถูกนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์ด้านต่างๆ [46] ได้แก่ การเกษตร อาหารและเครื่องคัม เภสัชกรรม อุตสาหกรรม และ การวิเคราะห์สารมลพิษในสิ่งแวดล้อม เช่น ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยส่วนใหญ่จะวิเคราะห์ หาปริมาณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการบ่งบอกคุณภาพน้ำ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ แอมโมเนีย [47]

ในเตรต ไนไตรท์ ฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟต ฟีนอล ซัลเฟต ความกระด้างของน้ำ สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) และปริมาณโลหะที่เจือปนในน้ำ [5] เป็นต้น นอกจากนี้เทคนิค เอฟ ไอ เอ สามารถใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวาง

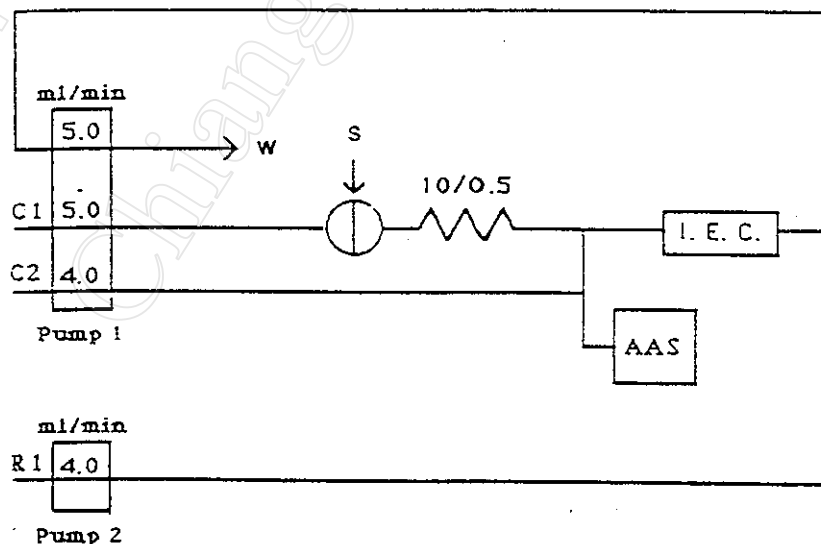
1.1.5 บทบาทของเอฟ ไอ เอ ในการวิเคราะห์โลหะ [5,10,11]

เทคนิค เอฟ ไอ เอ สามารถใช้ร่วมกับเครื่องตรวจวัดได้แทบทุกชนิด ใช้วิเคราะห์ได้ทั้ง แคตไอออน (cations) และ แอนไอออน (anions) สำหรับแคตไอออน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โลหะหนัก สามารถวิเคราะห์ได้โดยนำเทคนิค เอฟ ไอ เอ ไปต่อเข้ากับเครื่องตรวจวัดได้หลายเทคนิค เช่น Spectrophotometer , Voltammeter , AAS , ICP-AES เป็นต้น โลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศ หรือ สิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวเรา อาจอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งอาจเป็นพิษต่อร่างกายได้เมื่อสัมผัสกับโลหะที่มีพิษนาน ๆ พวกโลหะทรานสิชัน (transition metals) ที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมมี oxidation state ได้หลายค่า ซึ่งสมบัติทางเคมีและกายภาพจะแปรตาม oxidation state ของธาตุนั้น ๆ ในการวิเคราะห์ธาตุนั้น ๆ จึงต้องใช้เทคนิคที่มีความถูกต้อง และแม่นยำสูง ซึ่งใช้ระบบ เอฟ ไอ เอ วิเคราะห์ได้ ตัวอย่างเช่น โครเมียม (Cr) มี oxidation state หลายค่าเช่น +2 , +3 , +4 , +5 และ +6 ซึ่ง oxidation state ที่เสถียรที่สุดของโครเมียม คือ Cr (III) และ Cr (VI) โดย Cr(III) นั้นเมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในน้ำจะมีสมบัติค่อนข้างเฉื่อย ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนของ Cr(III) จะไม่เสถียร Cr(III) ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ เพราะเป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) กับ อินซูลิน (insulin) ในระบบทางชีวภาพของร่างกาย ส่วน Cr(VI) เป็นพิษ ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะรวม เช่น วิเคราะห์ปริมาณโครเมียมทั้งหมด โดยไม่คำนึงถึง oxidation state นั้นยังไม่เพียงพอสำหรับการนำมาแปลผลว่า เป็นพิษมากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) ซึ่งมี oxidation state ที่สำคัญคือ Fe(II) และ Fe(III) สามารถที่จะใช้เทคนิคเอฟ ไอ เอ ในการวิเคราะห์หาปริมาณในสปีชีส์โคสปีชีส์หนึ่งได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้รีเอเจนต์ที่เข้าทำปฏิกิริยาเฉพาะกับเหล็กใน oxidation state ที่สนใจ และการเลือกใช้เครื่องตรวจวัดที่เหมาะสม

โดยทั่วไปการวิเคราะห์โลหะในตัวอย่างนิยมใช้เทคนิค flame AAS แต่เทคนิคนี้มีความไวในการวิเคราะห์ต่ำกว่าเทคนิคแกรไฟต์เฟอเรนซ์ (graphite furnace technique) นอกจากนี้ยังเสียค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง และ ต้องคำนึงถึง ผลรบกวนในการวิเคราะห์ด้วย ได้มีรายงานถึงการนำระบบ เอฟ ไอ เอ ไปใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนักโดยใช้ atomic spectroscopy เป็นระบบตรวจวัด (FLA - AAS) [14] เทคนิคนี้มีข้อดี คือ

- 1) ปรับปรุง detectability และ sensitivity ของ flame AAS
- 2) หลีกเลี่ยงผลรบกวน (interferences) ต่าง ๆ ทางเคมี
- 3) เพื่อให้ได้เทคนิคการป้อนตัวอย่างเข้าสู่เครื่อง AAS โดยมีระบบ Preconcentration ที่มีราคาค่อนข้างถูก
- 4) ปรับปรุง detection limit ให้ดีพอ ๆ กับกรณีของ electrothermal atomization

ระบบ FLA-AAS สำหรับวิเคราะห์โลหะสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ (preconcentration) และ ใช้ประโยชน์ในด้านการแยกสาร (separation) ที่ต้องการวิเคราะห์ออกจากสารรบกวน (matrix) ได้โดยใช้คอลัมน์ขนาดเล็กๆ (micro column) ภายในบรรจุ (pack) ด้วยสารแข็งดูดซับ (sorbents) ต่าง ๆ ซึ่ง selective สำหรับธาตุที่ต้องการจะวิเคราะห์ แล้วชะ (elute) ธาตุที่สนใจนั้นออกจากคอลัมน์ โดยใช้ รีเอเจนต์ หรือ กระแสตัวพาที่เหมาะสมผ่านเข้าไปในมิกซิ่ง แชมเบอร์ (mixing chamber) ของเครื่อง AAS ไปสู่ flame cell รูปแบบอย่างง่ายของ manifold สำหรับวิเคราะห์โลหะแสดงได้ดังรูป 1.10



รูป 1.10 FIA manifold อย่างง่ายสำหรับวิเคราะห์โลหะโดยมี flame AAS เป็นระบบตรวจวัด

I.E.C = ion exchange column [14]

ในปัจจุบัน มีการพัฒนาระบบ เอฟ ไอ เอ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์โลหะในตัวอย่างน้ำเป็นจำนวนมาก ซึ่งตัวอย่างการประยุกต์ ได้รวบรวมไว้ในตาราง 1.2

ตาราง 1.2 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบ เอฟ ไอ เอ ในการวิเคราะห์โลหะในน้ำ [5]

Species	Detection system	Range ($\mu\text{g/ml}$)	Sample vol (l)	Sample / hr
Mg (II)	Phot	0.2-2.4 mg/ l	40	80
Al (III)	Phot	0.1-0.3	160	20
Cu (II)	Phot	10^{-6} - 10^{-5} M	0.13 ml	
Ca (II)	Phot	0.8-7.2	20	80
Fe (II)	AAP	0.5-150	20-100	
Fe (III)				
Co (II)	CL	0.6-60	10	120
Mo (II)	Phot	1-100 ng/ml	200	90
Cr (III)	Phot	0.20-12	207	40
Cr (VI)				
Pb (II)	AAS	0-500 ng/ml	1 ml	30-60
Cd (II)		1-100 ng/ml		
Zn (II)		1-100 ng/ml		
Ca (II)	Phot	0.9-2.4	30	120
Mg (II)				
Pb (II)	SP	10-40 mg/l	500	20
	AAS	10-500 mg/l	1	30-60
	Phot	0.7-100 mg/l	5-50	6-30
Cr (III)	AAP	1-50	30	120
Cr (VI)				

หมายเหตุ :- AAP = Atomic absorption photometry

AAS = Atomic absorption spectrometry

Phot = Photometry และ SP = Stripping potentiometry

1.2 โครเมียม (Chromium) [17,18]

โครเมียม (chromium, Cr) เป็นธาตุลำดับที่ 24 ในตารางธาตุพีริออดิก อยู่หมู่ VI B ซึ่งประกอบไปด้วยโมลิบดีนัม (molybdenum) และ ทังสเตน (tungsten) โครเมียมมีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาวออกน้ำเงิน โดยมีโครงสร้างแบบลูกบาศก์ สินแร่ที่สำคัญของโครเมียมได้แก่โครไมต์ (chromite, $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) ตามปกติการผลิตโครเมียมทำได้โดยการรีดิวซ์ออกไซด์ของโครเมียมด้วยอลูมิเนียม โครเมียมเป็นธาตุที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมเหล็กกล้า - อัลลอยด์ (alloy) อุตสาหกรรมการเคลือบ (plating) เพื่อป้องกันการผุกร่อนของโลหะ และ อุตสาหกรรมการฟอกหนัง เป็นต้น

1.2.1 ประวัติการค้นพบ

โครเมียมถูกค้นพบโดย Nicolus - Louis Vauquelin [17] ในปีค.ศ.1797 ในแร่ตะกั่วสีแดงจากไซบีเรีย (Siberian red lead; PbCrO_4) จากนั้นในปี ค.ศ. 1798 มีการสกัดโลหะใหม่โดยการรีดิวซ์ CrO_3 ด้วยผงถ่านที่อุณหภูมิสูง ในปี ค.ศ. 1893 Moissan ได้สกัด Cr ได้เช่นกัน โดยรีดิวซ์ Cr_2O_3 ด้วยถ่านหินในเตาไฟฟ้า ในปี ค.ศ. 1898 Goldschmidt สกัด Cr อีสระปราศจากคาร์บอนเจือปน โดยนำ Cr_2O_3 มารีดิวซ์ด้วยอลูมิเนียม การใช้แร่โครเมียมในอุตสาหกรรมเริ่มประมาณในปี ค.ศ. 1800 โดยนำไปผลิตเคมีภัณฑ์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังสัตว์ และ อุตสาหกรรมสี ชื่อของธาตุโครเมียมมีที่มาจากภาษากรีกว่า "Chromos" แปลว่า สี เนื่องจากสารประกอบของโครเมียมจะให้สารประกอบที่มีสี ในธรรมชาติไม่พบโครเมียมในรูปของธาตุอิสระ สินแร่ที่สำคัญและสามัญที่สุดของโครเมียม ได้แก่ โครไมต์ (chromite) ซึ่งมี Cr_2O_3 และ FeO เป็นองค์ประกอบหลัก สินแร่ที่มีองค์ประกอบของ Cr_2O_3 แตกต่างกันสุดแล้วแต่แหล่งที่พบ มีตั้งแต่ปริมาณสูง (Cr_2O_3 , 68 %) ถึงต่ำ (Cr_2O_3 , 42 - 56 %) ที่เหลือเป็น FeO และมีแมกนีเซีย (magnesia), อลูมินา (alumina) และ ซิลิกา (silica) ปนอยู่ด้วย สินแร่โครไมต์พบมากในรัสเซีย แอฟริกาใต้ ฟิลิปปินส์ ตุรกี และโรดีเชีย นอกจากนี้ยังพบในอีกหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อัลบาเนีย คิวบา บราซิล และ ญี่ปุ่น

1.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี [18]

สมบัติทางกายภาพของโครเมียม เป็นโลหะสีขาวยาวปนน้ำเงิน แข็ง แต่เปราะ สมบัติทางกายภาพที่สำคัญรวบรวมได้ ดังตาราง 1.3

ตาราง 1.3 สมบัติทางกายภาพของโครเมียม (Cr)

สมบัติ	รายละเอียด
สี	สีเทาเงิน
เลขอะตอม	24
ไอโซโทปเสถียร	Cr-50 (4.31%) , Cr-52 (83.75%), Cr-53 (9.55%) , Cr- 54 (2.83%)
ความหนาแน่น	7.19 g / cm ³ (ที่ 20 °C)
จุดหลอมเหลว	1875 °C
จุดเดือด	2199 °C
โครงสร้างผลึกที่ 20 °C	บอดีเซนเตอร์คิวบิก (Body - centered cubic)
ความร้อนของการหลอมเหลว	3.2 - 3.5 Kcal / mol
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่จุดเดือด	76.635 Kcal / mol
ความร้อนจำเพาะ	5.55 cal / mol หรือ 0.11 cal / g .°C
การนำความร้อนที่ 20 °C	0.16 cgs. units
ความต้านทานไฟฟ้าที่ 20 °C	12.9 μ ohm - cm

สมบัติทางเคมีของโครเมียมที่สำคัญ [19] ได้แก่

- โครเมียมเป็นธาตุทรานสิชัน เกิดสารประกอบต่าง ๆ ที่มีสี โครเมียมมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ที่สำคัญได้แก่ +2 , +3 และ +6 ในบางกรณีอาจมีเลขออกซิเดชัน +4 และ +5 ได้ เช่นในสารประกอบประเภทโครเมียมฟีนิล (chromium phenyl compound) และ อาจเป็นศูนย์กลางในสารประกอบโครเมียมคาร์บอนิล $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$, สารประกอบของโครเมียมจำนวนมากสีเข้ม เช่น Cr_2O_3 มีสีเขียว , $[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3]$ มีสีม่วงแดง , $[\text{CrF}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ หรือ $[\text{CrF}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}]$ มีสีเขียว เป็นต้น

2. โลหะโครเมียมเมื่ออยู่ในรูปที่ว่องไว (ตรงข้ามกับรูปที่ไม่ว่องไว เรียกว่า passive เนื่องจากผิวของโลหะมี Cr_2O_3 เคลือบอยู่) จะทำปฏิกิริยาทันทีกับการออกซิเดชันที่รุนแรงจนทำให้เกิดสารละลายสีฟ้าของเกลือโครมัส (chromous, Cr^{2+}) ซึ่งจะตกตะกอนออกซิเจนจากอากาศอย่างรวดเร็ว และเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเขียวของโครเมียม (III)
3. โลหะโครเมียมทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ เช่น กรดไนตริก กรดฟอสฟอรัส กรดคลอริก และกรดเปอร์คลอริก เกิดออกไซด์ชั้นบางๆเคลือบที่ผิวทำให้โลหะที่อยู่ข้างในไม่ถูกออกซิไดซ์ หรือทำปฏิกิริยาต่อไปได้ จึงไม่ทำปฏิกิริยากับกรดอื่นทั่วไป และเรียก โครเมียมที่มีออกไซด์ของ Cr เคลือบอยู่ว่าอยู่ในรูป *passive* ซึ่งต้านทานการผุกร่อนได้เป็นอย่างดี
4. โครเมียมเกิดสารประกอบโคออร์ดิเนชัน (coordination compounds) หรือ สารประกอบเชิงซ้อน (complex compounds) 000ที่มีเลขออกซิเดชัน +6 เช่น $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ และ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]$ เป็นต้น
5. โลหะโครเมียมในรูปที่ว่องไว ทำปฏิกิริยากับแก๊ส HCl และ HF ได้ และโครเมียมจะละลายในสารละลายของไฮโดรเจนเฮโลเจน (HX , X = Cl, F, Br, I) และ กรดซัลฟูริกได้ด้วย
6. ที่อุณหภูมิสูง เช่น 600 - 700 °C โครเมียมถูกกัดกร่อนโดยไฮดรอกไซด์ เช่น NaOH และ KOH ได้ และที่ 800 °C โครเมียมทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสได้

1.2.3 ผลของโครเมียมต่อสิ่งมีชีวิต [20]

รายงานส่วนใหญ่ระบุว่าสารประกอบของโครเมียม(III) รวมทั้งสินแร่โครม (chrome ore) ไม่เป็นพิษร้ายแรงต่อเนื้อเยื่อของร่างกาย แต่สารประกอบของโครเมียม (VI) แสดงความเป็นพิษโดย โครเมต ไคโครเมต และ กรดโครมิก ทำให้เกิดการระคายเคืองและกัดกร่อนต่อเยื่อผิวหนังและ เยื่อบุจมูก ซึ่งแต่ละบุคคลมีความว่องไวต่อสารประกอบของโครเมียม (VI) ได้แตกต่างกัน ในทางตรงข้ามโครเมียม (III) ในปริมาณน้อยๆ มีความจำเป็นต่อระบบเมตาบอลิซึมของร่างกายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น อะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (atomic absorption) และวิธีแอคติเวชัน (activation analysis) พบว่าสารที่จำเป็นต่อร่างกายมีโครเมียม (III) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ในบริเวณลำไส้ โครเมียม (VI) ถูกดูดซึมได้ดีกว่า โครเมียม (III) ซึ่งจะถูกส่งผ่านด้วยโปรตีนของเลือด โดยมีเหล็กเป็นตัวพาและถูกขับออกจากร่างกาย โดยป้อนออกมา กับปัสสาวะเป็นส่วนใหญ่ สำหรับ ตับ กระจก และ ม้าม มีความสามารถจับโครเมียมได้ดี (high affinity) แต่ที่กล้ามเนื้อ และ สมอง มีความสามารถต่ำ โดยโครเมียม (III) จะอยู่ร่วมกับโปรตีน นอกจากนี้ โครเมตของเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cells) ยังใช้เป็นตัวคิดปายสำหรับอีรีโทรไซต์ (Erythrocytes) และ อาร์ เอ็น เอ (RNA) ของตับวัวจะมีโลหะต่าง ๆ ก่อนข้างมาก รวมทั้งโครเมียมด้วย

ผลของโครเมียมต่อร่างกาย โดยเฉพาะโครเมียม (III) ขึ้นอยู่กับปริมาณของอินซูลิน ซึ่งผลกระทบจากการเพิ่มโครเมียมในอาหารจะขึ้นกับการคงอยู่ของสภาวะขาดแคลน โดยเป็นช่วง แคลบ ๆ สำหรับผลกระทบสูงสุดซึ่งผลกระทบจากการขาดโครเมียมในหนูและลิง พบว่าก่อให้เกิดความเสียหายต่อระดับน้ำตาลกลูโคส การลดลงของแหล่งไกลโคเจน การเพิ่มขึ้นอย่าง สม่ำเสมอของเส้นเลือดฝอย ส่วนผลของการเพิ่มโครเมียม (chromium supplementation) จะมี ผลกระทบเป็นจำนวนมากดังต่อไปนี้ : การอยู่รอดของหนูเพิ่มขึ้น ยืดอายุการอยู่รอดของสัตว์ที่ มีอายุมาก เพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของหนูในสิ่งแวดล้อมที่มีการควบคุม เป็นต้น

การทำงานส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับบทบาททางเมตาบอลิซึมของโครเมียมใน ร่างกายของมนุษย์ โดยพบว่าการเพิ่มโครเมียมจะไปปรับปรุงความทนทานต่อกลูโคส (glucose tolerance) ในผู้ป่วยเบาหวาน ผู้สูงอายุและเด็กที่ขาดอาหาร

สำหรับพื้นที่ที่มีการจ้างงาน อาจจะมีการกระจายของฝุ่นโครเมตหรือไดโครเมตหรือหมอก กรดโครมิกในอากาศ ซึ่งจะมีความเข้มข้นของ CrO_3 สูงสุดได้ไม่เกิน 0.1 mg ต่อ m^3 ภายใน 8 ชั่วโมงต่อวัน ส่วนมาตรฐานสำหรับน้ำดื่มจะมีโครเมียม (VI) ได้ไม่เกิน 0.05 ppm สมาคมนักเคมีอุตสาหกรรม (Manufacturing Chemists Association) ได้มีการตีพิมพ์รายงาน เกี่ยวกับข้อมูลทางด้านความปลอดภัยจากสารเคมี โดยอธิบายถึงวิธีการใช้โครเมต ไดโครเมตและ กรดโครมิกอย่างปลอดภัย

1.2.4 ความเป็นพิษของโครเมียม

โลหะโครเมียม (Cr) โครไมต์ (Chromite) และสารประกอบโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชัน $+3$; Cr (III) ไม่ปรากฏเป็นพิษต่อร่างกาย แต่สารประกอบของโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชัน $+6$; Cr(VI) จะมีพิษต่อร่างกาย ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนัง การหายใจเอาฝุ่นของโครเมียม หรือ ไอ ของกรดโครมิกเข้าไป จะเป็นอันตรายต่อระบบการหายใจได้ ระดับการทนได้สูงสุดของความ เข้มข้นของฝุ่นโครเมตและหมอกกรดโครมิกในอากาศควรจะมี CrO_3 ไม่เกิน 0.1 mg ต่อลูกบาศก์ เมตร (m^3) ภายใน 8 ชั่วโมงต่อวัน

1.2.5 การใช้ประโยชน์ของโครเมียม

โครเมียมถูกนำไปใช้เป็นตัวเคลือบ โดยการใช้อิฟไฟฟ้าเคลือบลงบนผิวของโลหะ หรือพลาสติกต่าง ๆ เพื่อป้องกันการผุกร่อนของโลหะเหล่านั้น หรือเป็นการตกแต่งป้องกันผิวให้มีความต้านทานมากขึ้น ขบวนการของการเคลือบ หรือ ชุบโลหะเรียกว่า **electroplating**

ประโยชน์หลักของโครเมียมในทางอุตสาหกรรม ได้แก่ การใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า ซึ่งเหล็กกล้า-โครเมียม (chromium steel) จะมีลักษณะเฉพาะ โดยเฉพาะความแข็งแกร่ง (hardness) นอกจากนี้ยังใช้ทำเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับกลไกที่ต้องทนแรงเครียดอย่างมาก และ ใช้ผสมลงในโลหะอื่น ๆ เช่น นิกเกิล และ ทังสแตน เพื่อปรับปรุงคุณภาพ สำหรับอัลลอย เช่น บรอนซ์และทองเหลือง จะมีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้นโดยการเติมโครเมียม ส่วนอัลลอยของ นิกเกิล-โครเมียม-เหล็ก (nickel-chromium-iron alloy) ในรูปของนิโครมจะใช้เป็นขดลวดไฟฟ้า นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตการเคลือบเพื่อป้องกัน (production of protective coating) ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ สารประกอบโครเมียมมีการใช้ประโยชน์มากกว่าโลหะโครเมียม โดยเกลือของโครเมียม(III) และ โครเมียม (VI) ใช้ในการย้อมสี ในอุตสาหกรรมฟอกหนังจะใช้สำหรับผลิตหนังฟอกด้วยโครเมียม ส่วนเกลือของโครเมียม (II) ใช้ในการย้อมสี ภาชนะเนื่องจากเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี สำหรับ โครเมต และ ไดโครเมต ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ทางพลังงานที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมน้ำมันดินถ่าน (Coal tar industry) นอกจากนี้การใช้ประโยชน์บางอย่างของสารเคมีโครเมียม เช่น สารย้อมสีโลหะ (Dye-metallizing chemicals) ตัวย้อมยั้งการสึกกร่อน ($4ZnO \cdot CrO_3 \cdot xH_2O$), เชื้อปะทะ ($BaCrO_4, CaCrO_4$), เม็ดสีเหลืองอ่อน ($PbCrO_4$ กับ $PbSO_4$) ตัวเร่งปฏิกิริยา Cr กับออกไซด์อื่น ๆ เช่น Al_2O_3 ในปฏิกิริยาการกำจัดไฮโดรเจน และ $Zn(CrO_2)_2$ ในปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมธานอล เป็นต้น

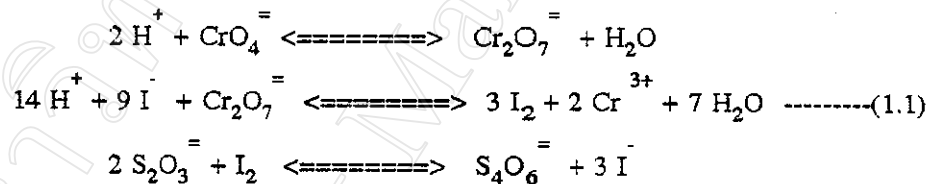
มีรายงานว่าสารประกอบโครเมียม(VI)เพียงเล็กน้อยไม่ค่อยมีความสำคัญทางการค้าเท่าใดนัก โดยเฉพาะออกไซด์ของโครเมียม (VI); CrO_3 ใช้เป็นวัตถุดิบของเทปบันทึกเสียง เรียกว่า โครนิล (Chronyl) โดยจะตอบสนองที่ความถี่ที่สูงกว่าในกรณีของเทปที่มีออกไซด์ของเหล็ก และมีระดับการแยกที่ดี ออกไซด์ของโครเมียม (VI) ทำได้โดยการให้ความร้อนและความดันสูง แก่ออกไซด์ของโครเมียม เช่น CrO_3 ที่ประมาณ $500^\circ C$ ในน้ำที่ความดัน 500 - 3000 atm

1.2.6 การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม

จากประโยชน์และโทษของโครเมียม ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้มีวิธีการและเทคนิคต่างๆ มากมายที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์โครเมียม ซึ่งแต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังนั้นในการเลือกใช้วิธีการหรือเทคนิคในการวิเคราะห์ จึงควรพิจารณาถึงความเหมาะสมต่าง ๆ รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมมีดังนี้

1) วิธีการทางปริมาตรวิเคราะห์ (Volumetric method) [21]

ใช้กับตัวอย่างที่มีปริมาณโครเมต (chromate) ในช่วง 100-1500 ppm ทำได้โดยอาศัยการออกซิเดชันของไอโอไดด์ (iodide) ไปเป็นไอโอไดน์ (iodine) โดยไดโครเมต (dichromate) ที่มีอยู่ในสารละลายสภาพกรด หาปริมาณไอโอไดน์ที่เกิดขึ้น โดยการไทเทรตด้วยสารละลาย thiosulfate ในไอโอไดน์ , โครเมตที่มีสีเหลืองจะเปลี่ยนเป็นโครเมตซึ่งมีสีส้ม ปฏิกริยาที่เกี่ยวข้องเขียนได้ดังสมการ (1.1)



2) วิธีการทางสเปกโตรโฟโตเมตรี (Spectrophotometric method) [22]

ใช้ได้กับการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ซึ่งวิธีการทางโฟโตเมตรีจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Cr(III) และ/หรือ Cr(VI) กับรีเอเจนต์ ในการเลือกใช้นิโคตินของรีเอเจนต์ขึ้นกับ sensitivity และ selectivity รวมทั้ง oxidation state ของโครเมียม ตัวอย่างของรีเอเจนต์ที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณโครเมียม แสดงดังตาราง 1.4

ตาราง 1.4 ตัวอย่างของรีเอเจนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม [22]

No. Reagent	Molar absorptivity ($\text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1} \times 10^{-4}$)	Concentration range (mg dm^{-3})
Chromium(VI)		
1 Diphenylcarbazide	4.0	0.01-0.9
2 Iron(III)-FerroZine	3.3	0.1-0.6
3 Catalytic method		0.15-1.2
4 Holasol Violet R	2.1	~1
5 2,2'-Diquinoxaly	3.3	0.05-1.0
6 Hexacyanoferrate(II)	11.2	0.05-0.7
Chromium(III)		
7 TAR	5.0	0.06-1.1
8 PAR	4.7	0.1-0.9
9 Chromazurol S	4.4	0.04-0.4
10 Xylenol orange	1.9	0.2-2
11 Methyl thymol blue	1.2	0.2-2
12 Eriochrome cyanine R	2.6	0.04-2
13 Kinetic method		0.1-1
14 PAN	1.3	0.3-2

3) วิธีการอื่น ๆ

ได้มีรายงานถึงการหาปริมาณโครเมียม(+3) และโครเมียม (+6) โดยวิธี Reversed-phase Ion-pair High-Performance Liquid Chromatography[23] โดย Cr(III) เกิด complex กับ EDTA บน C-18 column แล้วแยก Cr(III)-EDTA complex ออกจากไอออนของ Cr(VI) โดยใช้ eluent คือ Acetonitrile และ tetrabutyl ammonium ion ใช้ระบบการตรวจวัดเป็น UV-detector ที่ 242 nm นอกจากนี้ยังมีเทคนิคการวิเคราะห์แบบอื่น เช่น AAS , ICP-MS , NAA และวิธี Electrochemistry [20] เป็นต้น

4) วิธี เอฟ ไอ เอ (FIA methods)

4.1) Rosario และคณะ [24] ได้ศึกษาหาปริมาณ Cr(III) ในตัวอย่างน้ำและอาหาร โดยวัดการเปล่งแสงจาก Cr(III) - catalyst oxidation ของ luminol โดย H_2O_2 ในระบบเอฟ ไอ เอ ที่ใช้ flow cell ที่มีลักษณะเหมาะสมกับการตรวจวัดแบบ chemiluminescence. วิธีนี้มี detection limit 0.01 ppm มีช่วงเป็นเส้นตรงสูงถึง 6 ppb มี% RSDเท่ากับ 2.5% และอัตราการวิเคราะห์ตัวอย่าง 70 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

4.2) S.S.Jorgensen and M.A.B.Regitano [25] ใช้วิธี FIA-Colorimetry โดยมี DPC หรือ Diphenylcarbazide เป็นรีเอเจนต์ วิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม (+6) ในดิน โดยวิธีที่ใช้หาปริมาณ Cr(VI) ได้ในช่วง 0.10 - 20 $\mu\text{g/ml}$ มี % R.S.D เท่ากับ 1.30 % มีอัตราเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 70 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

1.3 สังกะสี (Zinc) [19,26]

สังกะสีเป็นโลหะหนักอยู่ในหมู่ II B ของตารางธาตุ ประกอบไปด้วยธาตุ แคดเมียม (Cd) และ เมอร์คิวรี (Hg) สังกะสีมีเลขอะตอม 30 มวลอะตอม 65.38 โลหะสังกะสีมีสีน้ำเงินอ่อน ลักษณะโครงสร้างผลึกของสังกะสีเป็นแบบ hexagonal close - packed โดยทั่วไปพบสังกะสีในลักษณะที่เป็นธาตุอิสระน้อยมาก ส่วนใหญ่พบในรูปของสารประกอบ เช่น พบอยู่ในรูปของแร่ที่สำคัญคือ แร่ Zinc blende (ZnS) , แร่ calamine (ZnCO₃) และ แร่ Zincite (ZnO) ในการถลุงแร่สังกะสี จะได้แคดเมียมเป็นผลพลอยได้ สินแร่ของสังกะสีมีพบกระจายทั่วไป แหล่งผลิตที่สำคัญได้แก่ แคนาดา สหรัฐอเมริกา เปรู ออสเตรเลีย โปแลนด์และญี่ปุ่น

1.3.1 ประวัติการค้นพบ [19]

มนุษย์รู้จักนำสังกะสีมาใช้ประโยชน์เป็นเวลาช้านานแล้ว แต่การรู้จักสังกะสีในรูปของโลหะ หรือธาตุอิสระ เกิดขึ้นหลังมากเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุทองแดง และ ตะกั่วเพราะในสมัยโบราณมักใช้สังกะสีในรูปของโลหะเจือ ในศตวรรษที่ 13 ประเทศจีนและอินเดีย เริ่มมีการถลุงแร่สังกะสีและสกัดสังกะสีที่ไม่บริสุทธิ์ ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของการค้นพบสังกะสี ในระยะแรกการผลิตสังกะสีทำได้โดยการรีดิวซ์แร่ Calmine (ZnCO₃) ด้วยสารอินทรีย์ประเภทขนสัตว์

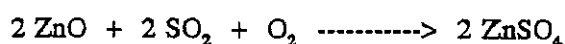
ต่อมาได้มีการนำสังกะสีที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ (เรียกว่า slab zinc หรือ spelter) เข้าไปยังยุโรปในราวศตวรรษที่ 17 ซึ่งในขณะนั้นยังไม่มี การเรียกชื่อสังกะสีอย่างเป็นทางการ ได้มีการเรียกชื่อต่าง ๆ กัน เช่น tutanego , Indian tin , calamine หรือ Spianter

ในปี ค.ศ. 1697 Cohneyes เรียกชื่อธาตุนี้ว่า "Zink" ซึ่งต่อมากลายเป็น "Zinc" ในปี ค.ศ. 1743 William Champion ในประเทศอังกฤษได้ผลิตสังกะสี (Zinc) โดยการรีดิวซ์ซิงค์คาร์บอเนต (ZnCO₃) ด้วยถ่านโค้ก (coke)

ปัจจุบันเตรียมแร่สังกะสีได้ โดยกระบวนการ ดังต่อไปนี้ เริ่มจากการเปลี่ยนสินแร่ในรูปของซัลไฟด์ (ZnS) เป็นออกไซด์ (ZnO) ทำได้โดยให้ความร้อนโดยผ่านการอบ หรือ ย่าง (roasting)

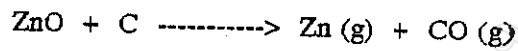


ในกระบวนการนี้อาจเกิดซิงค์ซัลเฟต (ZnSO₄) เป็นผลผลิตพลอยได้ด้วย ดังปฏิกิริยา

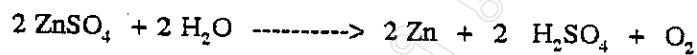


ต่อไปนำ ZnO ที่ได้ไปรีดิวซ์ ซึ่งในอุตสาหกรรมมี 2 วิธีการคือ

1. นำ ZnO มารีดิวซ์ด้วยคาร์บอน (C) ที่อุณหภูมิสูง แล้วกลั่นแยกสังกะสีออกมาเรียกกระบวนการนี้ว่า pyrometallurgical หรือ distillation process ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นคือ



2. เปลี่ยน ZnO ไปเป็น ZnSO₄ ด้วยกรดซัลฟูริก แล้วนำ ZnSO₄ ที่ได้ไปแยกสลายด้วยไฟฟ้า เรียกกระบวนการนี้ว่า hydrometallurgical หรือ electrolytic process ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นคือ



1.3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สมบัติทางกายภาพ สังกะสีบริสุทธิ์เป็นโลหะสีขาวปนน้ำเงินเล็กน้อย สังกะสีมีความหนาแน่น 7.133 g/cm³ จุดหลอมเหลว 419.5 °C จุดเดือด 907 °C เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี สมบัติทางกายภาพทั่วไปของสังกะสีรวบรวมไว้ในตาราง 1.5

ตาราง 1.5 สมบัติทางกายภาพของสังกะสี (Zn) [19]

สมบัติ	รายละเอียด
เลขอะตอม	30 เป็นธาตุแรกของหมู่ II B จัดเป็นโลหะ
น้ำหนักอะตอม	65.37 amu
จุดหลอมเหลว	419.5 °C
จุดเดือด	907 °C
ความหนาแน่น	
ของแข็ง, 25 °C	7.133 g/cm ³
ของแข็ง, 419.5 °C	6.83 g/cm ³
ของเหลว, 419.5 °C	6.62 g/cm ³
โครงสร้างอิเล็กโทรนิก	[Ar] 4 s ² 3d ¹⁰
โครงสร้างผลึก	hexagonal close-packed
ไอโซโทปเสถียร	⁶⁴ Zn (48.86%), ⁶⁶ Zn (27.62%), ⁶⁷ Zn (4.12%), ⁶⁸ Zn (18.71%), ⁷⁰ Zn (0.69%)
การนำความร้อน	
ของแข็ง, 18 °C	0.27 cal / sec.cm. °C
ของเหลว, 419.5 °C	0.415 cal / sec.cm. °C
ความร้อนจำเพาะ, 25 °C	0.0925 cal / g

สมบัติทางเคมี สังกะสีมีเลขออกซิเดชันได้เพียงค่าเดียวเท่านั้นคือ + 2 สมบัติทางเคมีพิเศษประการหนึ่งของสังกะสีคือเป็นธาตุ electropositive มาก (มีแนวโน้มเปลี่ยนไปเป็น Zn^{2+} สูง) ที่สุดธาตุหนึ่ง จึงใช้เคลือบผิวเหล็กกล้าและเป็นตัวถูกออกซิไดซ์แทนเหล็กกล้า (เรียกว่า sacrificial metal) สมบัติทางเคมีทั่วไปของสังกะสีสรุปได้ดังนี้

1. สังกะสีต่อต้านการผุกร่อนในอากาศแห้งเป็นอย่างดี แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า $225^{\circ}C$ จะปรากฏการผุกร่อน
2. สังกะสีในอากาศชื้นถูกออกซิไดซ์ได้โดยง่าย และ ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นถ้า มีคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) อยู่ด้วย ปฏิกิริยาการออกซิไดซ์ที่เกิดได้ ไคไฮเดรเตดคาร์บอเนต เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย
3. เอลโลเจนแห้งไม่ทำปฏิกิริยากับสังกะสี ณ อุณหภูมิห้อง แต่ถ้ามีความชื้นอยู่ด้วย จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรง
4. ไอน้ำสามารถทำปฏิกิริยากับสังกะสีได้ ณ อุณหภูมิ 350°
5. สังกะสีมีสมบัติเป็น amphoteric กล่าวคือทำปฏิกิริยาได้ทั้ง กรด และ เบส กรณีทำปฏิกิริยากับเบส จะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และ ซิงเกตเป็นผลิตภัณฑ์

1.3.3 ผลของสังกะสีต่อสิ่งแวดล้อม [20,26]

ปัจจุบันโลหะหนักรวมทั้งสังกะสีมีบทบาทเกี่ยวข้องกับมลภาวะเป็นพิษ เนื่องจากความเจริญทางวัตถุ ได้แก่ โรงงานที่มีการชุบโลหะต่าง ๆ ด้วยสังกะสี การหลอมทองเหลือง การทำโลหะเจือ เพื่อใช้หล่อเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกล เครื่องยนต์ ใช้ทำปลอกถ่านไฟฉาย ใช้ทำเครื่องสำอาง ยาฆ่าพวกซีผึ้ง ในทางเกษตรกรรม โลหะสังกะสีก็เป็นส่วนหนึ่งที่เจือปนอยู่ในยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช และ ยาปราบวัชพืช ปกติสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อ พืช และ สัตว์รวมทั้งมนุษย์ แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดเป็นพิษได้เช่นกัน

สังกะสีเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทางคือ

1. **ทางปาก** โดยการบริโภคอาหารที่มีสังกะสีเจือปนอยู่เข้าไป โดยเฉพาะ อาหารสำเร็จรูปทั้งหลายที่มีความเป็นกรดสูง และ บรรจุอยู่ในกระป๋อง เพราะกรดละลายโลหะสังกะสีที่ใช้ทำกระป๋องหรือภาชนะใส่อาหารออกมาได้
2. **ทางจมูก** โดยการหายใจเอาฝุ่นละอองของสังกะสีเข้าไป ทำให้ทางเดินหายใจอุดตัน ปอดอักเสบ หรือ การหายใจเอาไอของ ZnO เข้าไปทำให้เกิดโรค founder ague (shake fever) ซึ่งมักเกิดขึ้นกับช่างทำทองเหลือง และ ผู้ได้รับควันลูกปืน หรือ ผู้ที่ได้รับควันจากถูระเบิด

โดยปกติแล้วตะกั่ว , แคดเมียม และสังกะสี มักจะพบรวมกันอยู่เสมอ เนื่องจากธาตุทั้งสามมีสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงกันบางประการ ดังนั้นในสิ่งแวดล้อมใดที่มีสารประกอบสังกะสีปนเปื้อนอยู่ ในสิ่งแวดล้อมนั้นย่อมจะมี สารประกอบของ ตะกั่ว และ แคดเมียมปริมาณน้อยปนอยู่ด้วย แต่พิษของสังกะสีต่อร่างกายจะน้อยกว่าของ ตะกั่วและแคดเมียมมากทีเดียว

1.3.4 ความเป็นพิษของสังกะสี

สังกะสีในรูปของธาตุจะไม่ปรากฏเป็นพิษ โดยปกติแล้วสังกะสีเป็นธาตุที่ จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกายทั้งคนและสัตว์ นอกจากนี้สังกะสียังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด หากขาดสังกะสีจะทำให้เป็นโรค Dwarfism (การพัฒนาทางด้านเพศผิดปกติไป) แต่เมื่อได้รับปริมาณสังกะสีมากเกินไป อาจทำให้เกิดอาการเป็นพิษต่อร่างกายได้ ในการบัดกรีโลหะโดยใช้ $ZnCl_2$ พบว่า จะทำให้เนื้อเยื่อของช่างบัดกรีเกิด necrosis จากการสัมผัส $ZnCl_2$ บ่อย ๆ อันตรายส่วนใหญ่ของสังกะสีเกิดจากการหายใจเอาฝุ่นละอองของสังกะสีเข้าไป ทำให้ทางเดินหายใจอุดตัน ปอดอักเสบ หรือ การหายใจเอาไอของ ZnO เข้าไป จะทำให้เกิดโรค founder aque (shake fever หรือ brase chills fever หรือ metal fume fever)

อาการของโรค founders aque [27]

หลังจากได้รับ ZnO เข้าไปแล้วประมาณ 1-2 ชั่วโมง จะรู้สึกไม่ค่อยสบาย เหนื่อย อ่อนเพลีย กระจายน้ำ ปวดขา หนาวสั่น มีเหงื่อ คอแห้งและระคายคอ ไอ กรณีที่ได้รับเป็นปริมาณมาก ๆ จะหนาวสั่นมาก ร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง $40^{\circ}C$ และมีอาการเจ็บปวดตามแขน ขา ปวดศีรษะ หูอื้อ คลื่นไส้ อาเจียน ในบางรายจะมีอาการเพ้อคลั่งและชักคั้นชักงอ โรคนี้จะไม่มีอาการเรื้อรัง แต่จะมีอาการแบบเฉียบพลัน สำหรับการรักษาโรคพิษจากสังกะสีทำได้โดยการให้ EDTA หรือ calcium disodium acetate เหมือนกับการรักษา โรคพิษจากตะกั่ว และ โรคพิษจาก แคดเมียม

1.3.5 ประโยชน์ของสังกะสี

ประโยชน์ของสังกะสีสรุปได้ ดังนี้

1. ใช้ประโยชน์ในรูปของโลหะเจือ เช่น กับทองแดง (Cu) และ อลูมิเนียม (Al) ในการผลิตแผ่นโลหะเจือ
2. ใช้ในโลหะอัลลอยด์ (alloy) และ ใช้เคลือบผิวเหล็กกล้า เพื่อป้องกันการขึ้นสนิมของเหล็กกล้า โดยเรียกขบวนการนี้ว่า กัลวานไนซิง (galvanizing)

3. ใช้เติมในยางและสี

4. ไอโซโทปกัมมันตรังสีของสังกะสี (Radioactive ^{65}Zn) ใช้ในการศึกษาทางด้านการแพทย์ เกี่ยวกับระบบเมตาบอลิซึมของสังกะสี (metabolism of zinc) ในร่างกาย

5. สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของคน สัตว์และพืช เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิดหากขาดสังกะสีจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและทำให้เป็นโรคโลหิตจางได้

6. อื่น ๆ เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตชิ้นส่วนของรถยนต์ พิวส์ไฟฟ้า อาโนดของเซลล์ไฟฟ้า ถ่านไฟฉาย (dry cell) และ การเตรียมสารประกอบเคมีของสังกะสี

1.3.6 การวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี

จากสมบัติของสังกะสีทั้งในค้ำนโทษ และ ประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้มีวิธีและ เทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สังกะสี ซึ่งแต่ละวิธีมีทั้งข้อดี และ ข้อเสีย ในการเลือกใช้วิธีหรือเทคนิคใด ๆ ในการวิเคราะห์ ควรพิจารณาถึงความเหมาะสม วิธีการต่าง ๆ ที่สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีมีดังนี้

1) วิธีทางปริมาตรวิเคราะห์ (Volumetric method) [26]

วิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีได้ โดยใช้วิธีการไทเทรตกับ EDTA โดยตรง และใช้ Erichrome Black T เป็นอินดิเคเตอร์

2) วิธีการทางสเปกโตรโฟโตเมตรี (Spectrophotometry) [22]

มีรีเอเจนต์หลายชนิดที่เกิดปฏิกิริยาได้ค้ำกับสังกะสี ที่ใช้กันมากค้ำให้ Zn ทำปฏิกิริยากับ dithizone เกิดเป็น Zn-dithizone complex แล้วสกัด complex ที่เกิดขึ้นเข้าสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้ Spectrophotometer นอกจากนี้ยังมีรีเอเจนต์หลายชนิด เช่น zincon , TAR , [28,29] ,PAR และ 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol เป็นต้น

3) วิธีการอื่น ๆ [20,26]

วิธีการอื่นที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สังกะสีได้ในระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ เช่น AAS , Electrochemical methods , NAA , ICP-MS , X-ray fluorescence และ Isotope dilution mass spectrometry เป็นต้น

4) วิธี เอฟ ไอ เอ (FIA methods)

มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการใช้ เอฟ ไอ เอ ในการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสี เช่น

4.1) J.Roberto Ferrira และ คณะ [30] ใช้ระบบเอฟ ไอ เอ หาปริมาณสังกะสีในตัวอย่างพืช โดยฉีดสารละลายตัวอย่าง เข้าสู่กระแสตัวพา คือ NaCl แล้วไหลผ่าน anion exchange column ที่บรรจุ DOWEX 1-X 8 , 100-200 mesh โดย Zn จะเกิดเป็น chloro complex บน column จากนั้นใช้ NaOH เป็นตัวชะ (elute) เอา Zn ⁺² ออกมาผสมกับรีเอเจนต์ zincon เกิดสารประกอบที่มีสี วัดการดูดกลืนแสงที่ 620 nm วิธีการนี้ มีช่วงเป็นเส้นตรง ในช่วงความเข้มข้น 0 -2.00 mg/l มีอัตราเร็วในการวิเคราะห์ 45 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

4.2) Renmin Lin และ คณะ [31] ได้ศึกษา ระบบ เอฟ ไอ เอ สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ Cu และ Zn ในตัวอย่างเส้นผมของเด็ก โดยใช้วิธี pH gradient ควบคุม pH ของระบบในช่วง 5.0-9.5 มี Spectrophotometry เป็น detector ใช้รีเอเจนต์ zincon และ กระแสตัวพาประกอบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ของบอเรต (borate buffer solution) 0.50 M ระบบที่ใช้มีช่วงที่เป็นเส้นตรงตั้งแต่ 0.1 - 0.3 μ g/ml สำหรับ Cu และ 0.4- 12 μ g/ml สำหรับ Zn มีอัตราเร็วในการวิเคราะห์ ตัวอย่างเท่ากับ 20 - 30 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อพัฒนาระบบ และ วิธีการวิเคราะห์ โดยวิธีโฟลอินเจกชันอะนาไลซิสที่สร้างขึ้นจากวัสดุที่มีราคาถูก มีประสิทธิภาพดีและหาได้ง่ายภายในประเทศ สำหรับการหาปริมาณโครเมียม และ ปริมาณสังกะสี โดยใช้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องตรวจวัด

2) เพื่อให้ได้วิธีการวิเคราะห์โครเมียมและสังกะสี ที่มีความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ และ ประหยัดสารเคมีในการวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีจำนวนหลายๆ ตัวอย่าง โดยเฉพาะสารตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมที่สนใจ

3) เพื่อนำวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมาไปประยุกต์ใช้กับงานวิเคราะห์ที่เป็นงานประจำ ในหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐบาล และ เอกชน ต่อไป