

## บทที่ 19

### วิธีวิเคราะห์โดยอัตโนมัติ

### Automated Methods of Analysis

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์เชิงเคมีในช่วง 40 ปี ที่ผ่านมามีระบบวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ วิธีนี้ให้ข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยตัวดำเนินการน้อย ระบบวิเคราะห์แบบอัตโนมัติใช้ได้กับห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ ระบบนี้วิเคราะห์สปีชีส์ต่างๆในสารตัวอย่างได้ถึง 30 สปีชีส์ ผลที่วิเคราะห์ได้นำไปใช้วิเคราะห์พื้นฐานของโรค การวิเคราะห์ตัวอย่างเชิงคลินิกควรทำได้รวดเร็วและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบวิเคราะห์อัตโนมัติ โดยนำระบบนี้มาทำกระบวนการคุมโรงงานอุตสาหกรรม และวิเคราะห์มลภาวะในอากาศ น้ำ ดิน ผลิตภัณฑ์เกษตร และผลิตภัณฑ์ยา

#### เครื่องมือแบบอัตโนมัติ Automatic Instruments and Instrumentation

IUPAC International Union of Pure and Applied Chemists ให้ความหมายอัตโนมัติ automatic และระบบอัตโนมัติ automated systems ไว้ดังนี้ automatic ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการทำงานจากอุปกรณ์ป้อนกลับจากทรานส์ดิวเซอร์วิเคราะห์ เช่น เครื่องไทเทรตกรด/เบส ออโต้เมตริก ใช้วิธีการเตรียมสารเคมีที่เหมาะสมชนิดหนึ่งลงในสารที่สนใจแล้ววัดค่า pH เทียบกับปริมาณสารเคมีที่เติมลงไป เครื่องมือ automated มีระบบป้อนกลับหนึ่งถึงสองชุดคุมระบบการวิเคราะห์ เครื่องไทเทรต automated บางเครื่องใช้วิธีการเทียบศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าแก้ว บริเวณห่างจุดสมมูล การเติมกรด หรือ เบส จะเติมปริมาณมาก บริเวณใกล้จุดสมมูลจะเติมกรด หรือ เบสปริมาณเล็กน้อย

#### ข้อดีและข้อเสียของการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ Advantages and Disadvantages of Automatic Analyses

ข้อดีของเครื่องมือ automated

1 ประหยัดค่าแรงงานในการวิเคราะห์ เครื่องมือนี้ควรใช้วิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก เพื่อชดเชยราคาเครื่องซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง ห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือแบบอัตโนมัติเหมาะกับการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวนมาก และทำการวิเคราะห์เป็นงานประจำ ผู้

ใช้เครื่องไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญมาก ส่วนเครื่องมือแบบที่มีระบบอัตโนมัติไม่สมบูรณ์ ราคาถูก ผู้วิเคราะห์ต้องมีความชำนาญในการใช้เครื่อง

2 เครื่องมือแบบ automated วิเคราะห์ตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งการวิเคราะห์แบบธรรมดาทำไม่ได้ เครื่องมือแบบนี้วัดองค์ประกอบต่างๆในสารตัวอย่างได้อย่างต่อเนื่อง เทคนิคนี้ นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ เครื่องมือแบบนี้ยังนิยมใช้กับเครื่องมือแพทย์เพื่อติดตามกลไกของยาที่มีผลต่อการรักษาผู้ป่วย

3 ให้ผลวิเคราะห์รีโพริท แม้ว่าจะทำการวิเคราะห์ต่อเนื่องเป็นเวลานาน ถ้าใช้ผู้วิเคราะห์ใกล้ๆ งานเล็ก ผลวิเคราะห์มักไม่ค่อยรีโพริท เพราะเครื่องมือไม่รู้จักเหนื่อย เช่น การวิเคราะห์โดยเทคนิคการวัดสี โดยใช้เทคนิคแมนัวลผลที่ได้ไม่เสถียร ถ้าใช้เครื่องแบบอัตโนมัติวัดสี ผลวิเคราะห์จะมีความเที่ยงสูงและมีความเสถียร การใช้เทคนิคการแยก เช่น ใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย หรือ การแยกคอลลอยด์จากของเหลว ( dialysis ) ผลที่แยกได้น้อยกว่าร้อยละ 100 การใช้เครื่องมือ automated วิเคราะห์ผลนี้ทำได้ ส่วนวิธีแมนัวลทำไม่ได้ การวิเคราะห์จะให้ผลถูกต้องเมื่อสารตัวอย่างและสารมาตรฐานคล้ายกัน และดำเนินการวิเคราะห์พร้อมกัน

#### วิธีการดำเนินงานในการวิเคราะห์เชิงเคมี Unit Operations in Chemical Analysis

วิธีวิเคราะห์ทุกวิธีมีขั้นตอนการวิเคราะห์ 8 ขั้นตอน หรือ 8 วิธีการดำเนินการ ขั้นตอนใดๆอาจเป็นแบบ automated ตาราง 19-1 เป็นรายละเอียดของขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 8 ขั้นตอน

วิธีอัตโนมัติทุกวิธี เครื่องจะทำงานโดยไม่ต้องใช้ผู้วิเคราะห์เข้ามาควบคุมระหว่างขั้นตอนการทำงาน ผลที่วิเคราะห์ได้จะถูกพิมพ์ หรือ เขียนกราฟ ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์นิยมใช้เครื่องมือแบบอัตโนมัติ เพราะตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มีหลายรูปแบบ มีองค์ประกอบต่างกัน

#### รูปแบบของระบบวิเคราะห์อัตโนมัติ Types of Automatic Analytical Systems

ระบบวิเคราะห์อัตโนมัติมีสองรูปแบบ เครื่องวิเคราะห์แบบไม่ต่อเนื่อง discrete analyzers และเครื่องวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง continuous flow analyzers ระบบวิเคราะห์บางชนิดใช้ทั้งสองรูปแบบร่วมกัน การใช้เครื่องมือแบบไม่ต่อเนื่องแยกตัวอย่างออกเป็นกลุ่มที่เหมือนกัน แล้วนำไปวิเคราะห์ดังตาราง 19-1 การใช้เครื่องมือแบบต่อเนื่อง ใส่สาร

ตัวอย่างเข้าสู่ระบบการวัดและทั้งตัวอย่างนี้ การควบคุมเครื่องมือแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน

ตาราง 19-1 วิธีการดำเนินงานในการวิเคราะห์เชิงเคมี

การดำเนินการ	ตัวอย่างพื้นฐาน	รูปแบบวิเคราะห์
1 การเตรียมตัวอย่าง	บด ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้แห้ง	ก
2 วิธีนำตัวอย่างไปวิเคราะห์	ชั่งน้ำหนัก หรือ วัดปริมาตรตัวอย่าง	ก
3 การละลายตัวอย่าง	ใช้ตัวทำละลายละลายตัวอย่างแล้วเจือจางให้ความร้อน เตา หลอม	ข.ก ก
4 การแยก	การตกตะกอน และกรอง การสกัด dialyzing และวิธีโครมาโตกราฟี	ก ข.ก
5 การวัด	หาค่าความดูดกลืน ความเปล่ง ศักย์ กระแส สภาพนำ การไทเทรต และชั่งน้ำหนัก	ข,ก ก
6การเทียบมาตรฐาน	วิเคราะห์สารมาตรฐาน	ข.ก
7การวิเคราะห์ข้อมูล	คำนวณผล วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความแม่นยำและความเที่ยง	ข.ก
8 การนำเสนอข้อมูล	พิมพ์ผลวิเคราะห์ หรือพล็อตข้อมูล	ข.ก

หมายเหตุ ก แบบไม่ต่อเนื่อง ข แบบต่อเนื่อง

อุปกรณ์ใส่ตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ในเครื่องแบบไม่ต่อเนื่องมีหลายอัน การวิเคราะห์ตัวอย่างต่างชนิดกันจึงไม่มีการปนเปื้อน ส่วนเครื่องมือวิเคราะห์แบบต่อเนื่องอาจมีการปนเปื้อนเนื่องจากตัวอย่างต่างชนิดกัน และจะมีผลมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการผ่านตัวอย่าง เทคนิคนี้จึงต้องระวังการปนเปื้อนเนื่องจากตัวอย่าง

เครื่องมือวิเคราะห์แบบต่อเนื่องรุ่นใหม่ใช้อุปกรณ์เชิงกลแบบง่ายๆ ราคาถูกกว่าเครื่องมือวิเคราะห์แบบไม่ต่อเนื่อง ระบบวิเคราะห์ต่อเนื่อง การพาตัวอย่างใช้ปั๊มเพ-

ริสตัลติก ( peristaltic ) และสวิตช์วาล์ว อุปกรณ์เหล่านี้ราคาไม่แพงให้ผลดี ส่วนระบบไม่ต่อเนื่อง การพาดตัวอย่างใช้โซริงจ์ วาล์ว และอุปกรณ์เชิงกล พาดตัวอย่างจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง ระบบไม่ต่อเนื่องรุ่นใหม่ มักใช้มือกลซึ่งคุมการทำงานด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์แทน การใช้คนคุมการเติมสารและเปลี่ยนสารตัวอย่าง

จากตาราง 19-1 คอลัมน์ 3 วิธีการดำเนินงานเทคนิคใช้ระบบวิเคราะห์แบบต่อเนื่องไม่ได้ เพราะบางระบบวิเคราะห์ได้เฉพาะตัวอย่างของเหลว การวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็งต้องใช้ระบบไม่ต่อเนื่อง โดยนำตัวอย่างมาบด ชั่ง เตา หลอม หรือกรองถ้าสารละลายที่วิเคราะห์ขุ่น แล้วนำไปวิเคราะห์ต่อตามวิธีการดำเนินงานข้อถัดไป วิธีการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องที่นิยมใช้มากที่สุดได้แก่ โฟลว์อินเจกชันแอนาไลซิส FIA

### โฟลว์อินเจกชันแอนาไลซิส Flow Injection Analysis

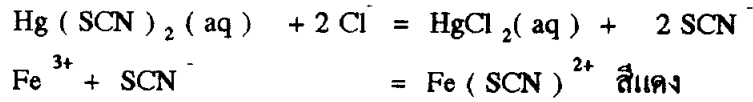
ปี ค.ศ. 1970 Ruzicka และ Hansen ชาวเคนซาร์คและ Stewart และเพื่อนร่วมงานชาวอเมริกา เสนอวิธีวิเคราะห์โฟลว์อินเจกชัน ห้องปฏิบัติการคลินิกใช้เทคนิคนี้วิเคราะห์โรคจากตัวอย่าง เลือดและปัสสาวะ ส่วนหนึ่งของระบบการไหลให้ตัวอย่างของเหลวไหลผ่านเข้าระบบเข้าสู่เครื่องตรวจหา ขณะที่ตัวอย่างของเหลวเข้าสู่ระบบมักมีฟองอากาศจำนวนเล็กน้อย ฟองอากาศทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ตัวอย่างกระจายมาก ช่วยให้การผสมระหว่างตัวอย่างและรีเอเจนต์รุนแรง และช่วยทำความสะอาดผิวของระบบ การปนเปื้อนของตัวอย่างไม่ค่อยมี ต่อมาเมื่อมีการค้นพบว่าถ้าไม่มีฟองอากาศในระบบนี้ให้ผลดีกว่า

ข้อดีของการวัดโดยวิธีโฟลว์อินเจกชันโดยไม่มีฟองอากาศ

- 1 อัตราการวิเคราะห์เร็วขึ้น ( วิเคราะห์ตัวอย่างได้ 100 ถึง 300 ตัวอย่างต่อหนึ่งชั่วโมง )
- 2 เวลาในการตอบสนองเร็ว ( การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเทคนิคการฉีดและวัดสัญญาณจากเครื่องตรวจหาใช้เวลาน้อยกว่า 1 นาที )
- 3 เวลาที่เริ่มต้นวัด ( start up ) และเลิกวัด ( shut down ) เร็ว ( น้อยกว่า 5 นาที )
- 4 ระบบติดตั้งง่าย และปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตามสภาพ การวิเคราะห์สะดวก

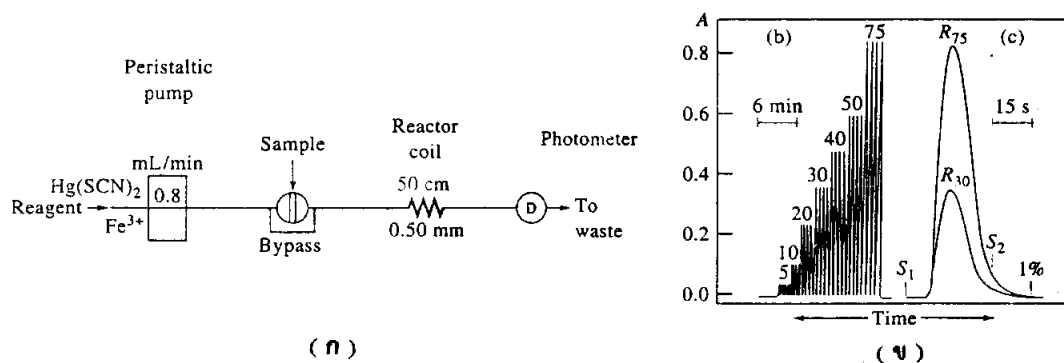
## วิชาการอุปกรณ์ Instrumentation

รูป 19-1 แผนภูมิระบบฟลาว์อินเจกชันแบบง่ายๆ รีเอเจนต์สี่ชีวิตเคราะห์ไอออนคลอไรด์ ปัมป์เพอร์ิสต์ลิติกช่วยพาไอออนคลอไรด์เข้าสู่วาล์วตัวหนึ่งที่มีระบบฉีดตัวอย่างเข้าสู่ระบบที่มีการไหล ตัวอย่างและรีเอเจนต์ผ่านเข้าสู่ขดปฏิกิริยา ( reactor coil ) ขนาด 50 เซนติเมตร ขณะที่รีเอเจนต์แพร่เข้าสู่บริเวณที่กักตัวอย่าง ( sample plug ) จะเกิดผลิตภัณฑ์ ที่มีสีดังปฏิกิริยา



สารละลายที่ออกจากขดปฏิกิริยาผ่านเข้าสู่มาตรแสงที่มีฟิเตอร์แทรกสอด 480 นาโนเมตร ขวางทางเดินแสง

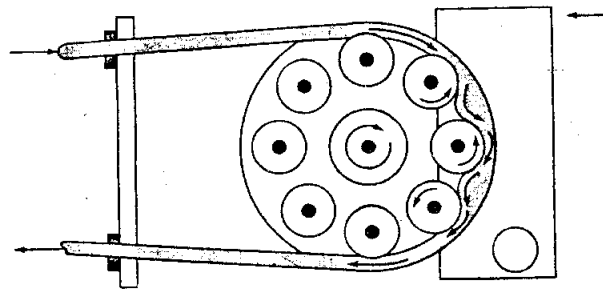
รูป 19-1 ข สัญญาณจากสารละลายมาตรฐานคลอไรด์เข้มข้น 5 ถึง 75 ส่วนในล้านส่วน การฉีดสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นฉีดครั้งผลที่ได้รีโพรดิวซ์รูป 19-1 ข ด้านขวา สัญญาณจากเครื่องบันทึกสแกนสารละลายมาตรฐานคลอไรด์เข้มข้น 30 และ 75 ส่วนในล้านส่วนด้วยความเร็วสูง เคอร์ฟเหล่านี้แทนการปนเปื้อนเพียงเล็กน้อยในระบบวิเคราะห์ สารมาตรฐานมีความเข้มข้นเหลืออยู่ในฟลาว์เซลล์น้อยกว่าร้อยละ 1 หลังจากเวลาผ่านไป 28 วินาที (  $S_2$  ) ซึ่งเป็นเวลาสำหรับฉีดสารตัวต่อไป ระบบนี้ใช้หาปริมาณไอออนคลอไรด์ในน้ำกร่อยและน้ำเสีย และปริมาณไอออนคลอไรด์ในตัวอย่างเซรัม



รูป 19-1 การหาปริมาณคลอไรด์โดยเทคนิคฟลาว์อินเจกชัน ( ก ) แผนภูมิหลักการฟลาว์อินเจกชัน ( ข ) เครื่องบันทึกเขียนกราฟไอออนคลอไรด์เข้มข้น 5 ถึง 75 ส่วนในล้านส่วน โดยการวัดซ้ำกัน 4 ครั้ง ( ค ) การสแกนสารมาตรฐานสองความเข้มข้น ขณะที่สแกนตัวต่อไปจะมีความเข้มข้นตัวเดิมเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 1 จุดที่แสดงร้อยละ 1 เป็นจุดเริ่มต้นฉีดตัวอย่าง ณ เวลา  $t_2$

### ระบบส่งผ่านสารตัวอย่างและรีเอเจนต์ Sample and Reagent Transport System

ปั๊มเปรี๊สตัดคิกใช้พาสารละลายผ่านเข้าสู่ระบบที่ใช้วิเคราะห์ ปั๊มนี้อาศัยหลักการบีบสายยางพลาสติกซึ่งมีช่องเหลว หรือ ก๊าซในสายยางด้วยลูกกลิ้ง ( roller ) รูป 19-2 แทนหลักการการทำงานของปั๊มเปรี๊สตัดคิก ลูกเบี้ยวทำงานด้วยสปริง หรือ แแถบ กดสายยางตลอดเวลา ของเหลวนี้จะไหลผ่านสายยางต่อเนื่อง ปั๊มรุ่นใหม่มีลูกกลิ้งเพียงครึ่งหนึ่งบีบสายยาง การออกแบบแบบนี้ทำให้การไหลทำงานเป็นแบบพัลส์ อัตราการไหลถูกคุมด้วยความเร็วของมอเตอร์และเส้นผ่าศูนย์กลางของสายยาง ความเร็วมอเตอร์มีค่ามากกว่า 30 รอบต่อนาที เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของสายยางมีค่า 0.25 ถึง 4 มิลลิเมตร อัตราการไหลมีค่าต่ำสุด 0.0005 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และมีค่าสูงสุด 40 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ลูกกลิ้งที่ใช้มีความยาวมากพอที่จะบีบสายยางได้พร้อมกันหลายอัน



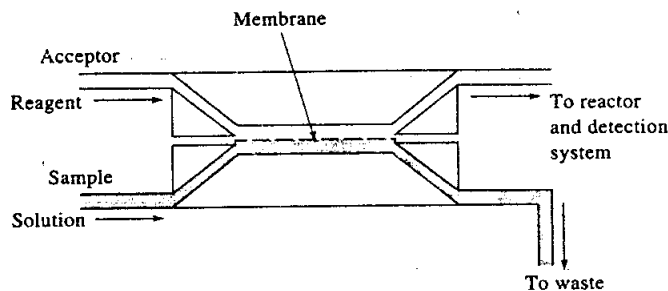
รูป 19-2 แสดงการทำงานของปั๊มเปรี๊สตัดคิกหนึ่งช่อง ปั๊มนี้อาจรองรับสายยางได้หลายอัน ในภาพแสดงสายยางเพียงอันเดียว

รูป 19-3 ก ระบบฟลว์อินเจกชันประกอบด้วยชุดสายยางขนาด 1 เซนติเมตร หรือน้อยกว่านี้ที่แบ่งเป็นส่วน จุดมุ่งหมายของสายยางนี้ช่วยเพิ่มการกระจายตามแนวแกนและเพิ่มการผสมระหว่างตัวอย่างและรีเอเจนต์ตามแนวระเคียด หลักการนี้ช่วยให้หิคสมมาตร

#### ที่ฉีดตัวอย่างและเครื่องตรวจหา Sample Injectors and Detectors

ที่ฉีดตัวอย่างและเครื่องตรวจหาที่ใช้ในระบบวิเคราะห์ฟลว์อินเจกชันคล้ายกับเครื่อง HPLC ขนาดของสารตัวอย่างที่ไหลผ่านที่ฉีดมีค่า 5 ถึง 200 ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร ปกติใช้ 10 และ 30 ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร หลักการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด ต้องฉีดสารละลายตัวอย่างเร็วเป็นพัลส์ หรือ จังหวะ หรือชุดของเหลว การฉีดต้องไม่ถูกรบกวน

กวนโดยการไหลของตัวพา วิธีพื้นฐานใช้หลักการพาตัวอย่าง ดังรูป 19-1 ก ขณะที่ล้นตัวอย่างอยู่ตำแหน่งนี้ เฉพาะรีเอเจนต์เท่านั้นผ่านเข้าสู่ระบบวิเคราะห์ เมื่อหมุนล้นนี้ไป 90 องศา ตัวอย่างเข้าสู่ระบบและทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ เครื่องตรวจหาทำหน้าที่วัดสัญญาณนี้ ระบบฉีดตัวอย่างนิยมใช้เป็นแบบรูป ( loop )



รูป 19-3 รูปแบบโคอะไลซิส

การตรวจหาในวิธีการโฟลว์อินเจกชันใช้เครื่องมือวัดคลิ่น หรือ เปล่งของอะตอม มาตรฐานฟลูออโร ระบบไฟฟ้าเคมี มาตรฐานหักเห มาตรฐานสเปกโทรโฟโต และมาตรฐานโฟโต เทคนิคมาตรฐานแสงและสเปกโทรโฟโตนิยมใช้มากที่สุด

#### การแยกใน FIA Separations in FIA

การแยกคอลลอยด์โดยใช้เมมเบรน ( membrane ) โคอะไลซิส การสกัดของเหลว ด้วยของเหลว การแพร่ของก๊าซในระบบโฟลว์อินเจกชันเป็นแบบอัตโนมัติ

#### โคอะไลซิสและการแพร่ของก๊าซ Dialysis and Gas Diffusion

โคอะไลซิสใช้แยกไอออนอนินทรีย์ในเทคนิคแบบต่อเนื่อง เช่น ใช้แยกคลอไรด์ หรือ โซเดียม หรือ โมเลกุลอินทรีย์ขนาดเล็ก เช่น แยกกลูโคสจากสปีชีส์ที่มีน้ำหนัก โมเลกุลมากเช่นโปรตีน ไอออนและโมเลกุลขนาดเล็กแพร่ผ่านเมมเบรนที่ชอบน้ำ เช่น เซลลูโลสแอสีเทต หรือ เซลลูโลสไนเตรต โมเลกุลขนาดใหญ่ผ่านเมมเบรนนี้ไม่ได้ การวิเคราะห์ไอออนและโมเลกุลขนาดเล็กในเลือด หรือ เซรัม ใช้วิธีโคอะไลซิส

รูป 19-3 เป็นแผนภูมิของรูปแบบโคอะไลซิส ไอออนที่สนใจและโมเลกุลขนาดเล็ก ในสารละลายแพร่ผ่านเมมเบรนเข้าสู่ส่วนตรงข้าม ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับไอออนเหล่านี้ สารละลายตัวอย่างผ่านเข้าสู่หลอดพลาสติกดังรูป ส่วนหนึ่งของหลอดเป็นเมมเบรนและ

สัมผัสกับหลอดอีกด้านหนึ่ง ซึ่งมีรีเอเจนต์ที่เหมาะสมผ่าน ไอออนที่สนใจ หรือ โมเลกุล ขนาดเล็กซึมผ่านเมมเบรนและทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ที่เหมาะสมเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีและวิเคราะห์ด้วยเทคนิควัดสี โมเลกุลขนาดใหญ่ที่รบกวนยังคงอยู่ในหลอดเดิม และ ออกสู่ที่ทิ้ง เมมเบรนอยู่ระหว่างหลอดซึ่งเป็นพลาสติกสองแผ่นและเป็นช่องซึ่งสารละลาย ทั้งสองสัมผัสกันได้ สปีชีส์ขนาดเล็กถ่ายโอนผ่านเมมเบรนนี้ได้เพียงร้อยละ 50 การทำ ปริมาณวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้ต้องคุมอุณหภูมิและอัตราการไหลของสารตัวอย่างและสาร มาตรฐานอย่างดี

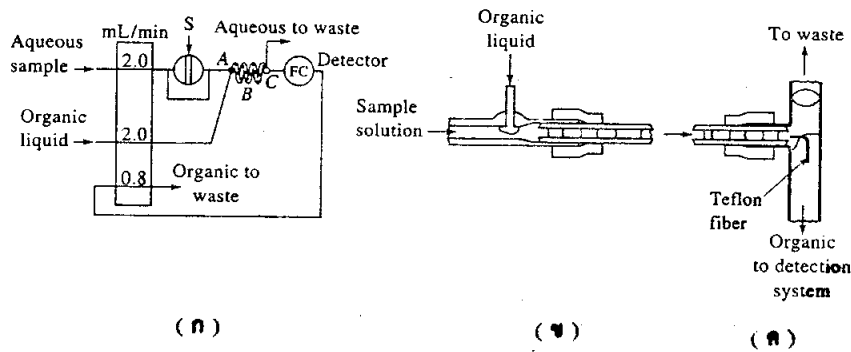
การแพร่ของก๊าซที่สนใจจากหลอดตัวอย่างลอดผ่านเมมเบรนเข้าสู่หลอดที่รีเอเจนต์ ผ่าน แล้วหาปริมาณก๊าซที่สนใจ เทคนิคโฟลว์อินเจกชันมีความจำเพาะมาก เทคนิคการ แยกคล้ายกับรูปแบบของรูป 19-3 การประยุกต์ใช้เมมเบรนที่เป็นวัสดุพหุนามิกไม่ชอบน้ำ ( hydrophobic ) เช่น เทฟลอน หรือ ไอโซแทกติกพอลิพรอไพลีน เทคนิคการแยกแบบนี้ ใช้หาปริมาณคาร์บอนेटทั้งหมดในสารละลาย นิดตัวอย่างคาร์บอนेटเข้าสู่ตัวพาซึ่งเป็น กรดซัลฟูริกเจือจาง แล้วให้สารละลายนี้เข้าสู่รูปแบบการแพร่ของก๊าซ ก๊าซคาร์บอน- ไดออกไซด์ที่เกิดจากการสลายของคาร์บอนेटแพร่เข้าสู่หลอดที่เป็นตัวรับ ซึ่งมีอินดิเคเตอร์ กรด/เบส ผ่าน สีที่เกิดขึ้นวัดด้วยมาตรสี สัญญาณที่วัดได้แปรโดยตรงกับปริมาณ คาร์บอนेटในตัวอย่าง

#### การสกัด Extraction

เทคนิคการแยกอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง (continuous flow ) คือการสกัด รูป 19-4 ก เป็นแผนภูมิของระบบการไหลของวิธีวัดสี การสกัดแคโทดไอออนอนินทรีย์จากสารละลายตัวอย่างโดยใช้ตัวกระทำ ( สาร ) เชิงซ้อน ไอออนที่สนใจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม สารเชิงซ้อนที่นิยมได้แก่ 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน ที่จุด A นิดสารอินทรีย์เข้าสู่ตัวอย่างที่มีตัวพา รูป 19-4 ข แสดงการไหลของสารละลายตัวอย่างและสารอินทรีย์เข้าสู่ ส่วนควบคุม บริเวณนี้ทำหน้าที่แยกสารที่ละลายในน้ำออกสู่ที่ทิ้ง และนำสารที่ละลายใน สารอินทรีย์เข้าสู่เครื่องตรวจหา การสกัดเกิดบริเวณส่วนควบคุมซึ่งเป็นขดปฏิกิริยา ( reactor coil ) เฉพาะโลหะเชิงซ้อนที่ละลายในสารอินทรีย์เข้าสู่เครื่องตรวจหา FC ดังรูป 19-4 ก การแยกของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายซึ่งกันและกันใช้หลอดเทฟลอนขาว หรือ ใช้ ไฟเบอร์รูปตัว T สารละลายเอควียสเบาจะไหลออกสู่ที่ทิ้งซึ่งอยู่ด้านบนของตัว T ส่วนสาร อินทรีย์พร้อมโลหะที่สนใจหนักจะเข้าสู่ด้านล่างของตัว T



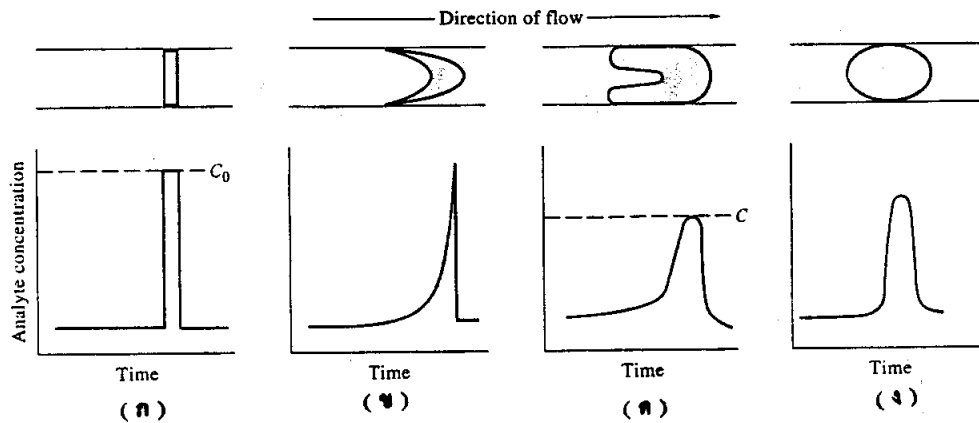
วิธี FIA แยกสารได้ไม่ถึงร้อยละ 100 ดังนั้นการวิเคราะห์สารตัวอย่างจะต้องทำการวิเคราะห์สารมาตรฐานและสารตัวอย่างในสภาพเดียวกัน ( เหมือนกัน ) เวลาที่ใช้วิเคราะห์สารโดยเครื่องมืออัตโนมัติต้องมากพอเพื่อให้ผลที่วิเคราะห์ได้มีโปรคิวิซ์ รวมทั้งมีความเที่ยง ( precision ) และความแม่นยำ ( accuracy ) คือด้วย



รูป 19-4 ( ก ) แผนภูมิระบบฟลว์อินเจกชันที่มีอุปกรณ์การสกัด ABC ( ข ) รายละเอียดของ A พร้อมระบบนิคสารอินทรีย์ ( ค ) รายละเอียดของตัวแยก C

#### หลักการวิเคราะห์ของฟลว์อินเจกชัน Principles of Flow Injection Analysis

ทันทีที่เปิดลิ้นตัวอย่าง ตัวอย่างเข้าสู่ช่อง ( zone ) ที่ให้ตัวอย่างผ่านเข้าสู่อุปกรณ์ฟลว์อินเจกชัน รูป 19-5 ก ภาพรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าของความเข้มข้นของสารที่สนใจ เมื่อสารตัวอย่างเข้าสู่หลอดยาว แถบจะกว้าง หรือ เกิดการกระจาย แถบกว้างเกิดจากสองปรากฏการณ์ ปรากฏการณ์แรก คือ การพา ( convection ) การพาเกิดจากการไหลแบบแผ่น ( laminar flow ) บริเวณตรงกลางของหลอดเคลื่อนที่เร็วกว่าบริเวณที่ติดกับผนังหลอด ทำให้ของเหลวมีรูปร่างแบบพาราโบลา ดังรูป 19-5 ข แถบกว้างยังเกิดจากการแพร่ การแพร่มีสองแบบ 1 แบบเรเดียล หรือ ตั้งฉากกับทิศทางการไหล และแบบตามยาว หรือ ขนานกับทิศทางการไหล ถ้าใช้หลอดขนาดเล็ก ( เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก ) การแพร่แบบตามยาวไม่ค่อยมีผล ส่วนการแพร่แบบเรเดียลมีผลมาก ถ้าคุมอัตราการไหลช้า การแพร่จะมีผลมาก เมื่อเกิดสภาพดังกล่าวขึ้น การกระจายเป็นแบบสมมาตร ดังรูป 19-5 ง การวิเคราะห์โดยเทคนิคฟลว์อินเจกชันภายใต้สภาวะปกติ การกระจายมีผลจากการพาและการแพร่เรเดียลที่เกิดขึ้น พิกที่ได้เป็นรูป 19-5 ค การกระจายเรเดียลจากผนังบริเวณตรงกลางไม่ได้รับผลจากผนัง บริเวณตรงกลางจึงไม่มีการปนเปื้อนระหว่างตัวอย่าง



รูป 19-5 ผลของการพาและการแพร่ที่มีต่อความเข้มข้นของสารที่สนใจที่เครื่องตรวจหา  
( ก ) ไม่มีการกระจาย ( ข ) การกระจายโดยการพา ( ค ) การกระจายโดยการพาและการแพร่แบบเรเคียด ( โคจรอบ ) ( ง ) การกระจายโดยการแพร่

#### การกระจาย Dispersion

การกระจาย  $D$  เขียนเป็นสมการได้

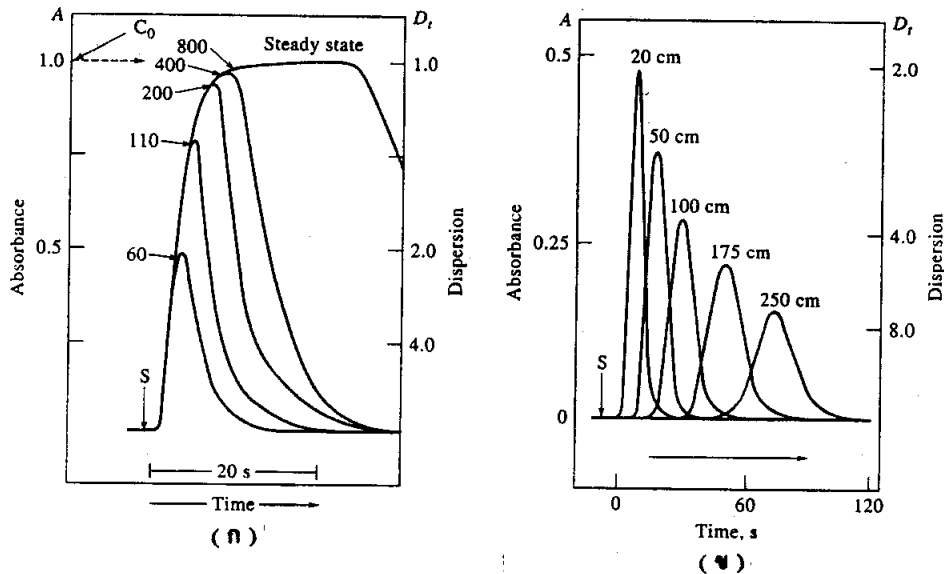
$$D = C_0 / C \quad 19-1$$

นิศสารตัวอย่างซึ่งมีความเข้มข้นสารที่สนใจ  $C_0$   $C$  ความเข้มข้นที่เครื่องตรวจหา รูป 19-5 ก การกระจายวัดได้จากการนิศสารละลายที่มีสีซึ่งทราบความเข้มข้น  $C_0$  แล้ววัดค่าความดูดกลืนในโฟลว์ทูเรเซลล์ หลังจากเทียบมาตรฐานแล้ว คำนวณความเข้มข้น  $C$  จากกฎของเบียร์

การกระจายได้รับผลจากตัวแปรที่คุมได้สามตัว 1 ปริมาณตัวอย่าง 2 ความยาวหลอด 3 อัตราเร็วของปั๊ม รูป 19-6 ก ผลของปริมาณตัวอย่างที่มีต่อการแพร่โดยคุมตัวแปรข้อที่ 2 และ 3 ให้คงที่ การนิศตัวอย่างปริมาณมากๆ การกระจายมีค่าเป็น 1 บริเวณนี้ตัวอย่างและสารที่ใส่พาจะไม่มีการผสมกัน ตัวอย่างไม่มีการเจือจาง การวิเคราะห์โดยเทคนิคโฟลว์อินเจกชันส่วนใหญ่ ตัวอย่างเกิดอันตรกิริยากับตัวพา หรือ รีเอเจนต์ที่ฉีดเข้าไป การกระจายมีค่ามากกว่า 1 เช่น การกระจายมีค่า 2 ถ้าตัวอย่างและตัวพาผสมกันด้วยอัตราส่วน 1:1

ผลของปริมาณตัวอย่างที่มีต่อความสูงพีคแสดงในรูป 19-6 ก รูปนี้เน้นว่าการนิศจะรีโพรคิวซ์ เมื่อการกระจายมีค่าเท่ากับ 2 หรือมากกว่า 2 ถ้าควบคุมการกระจายดี ผลที่ได้จะเที่ยง รูป 19-6 ข แทนผลความยาวหลอดที่มีต่อการกระจาย เมื่อใช้ขนาดตัวอย่างและ

อัตราเร็วการปั๊มปัสกที่ ตัวเลขบนพิกแทนความยาว หรือ ระยะทางที่ตัวอย่างเดินทางเป็น เซนติเมตร



รูป 19-6 ผลของปริมาณตัวอย่างและความยาวหลอดที่มีต่อการแพร่ (ก) ความยาวหลอด 20 เซนติเมตร อัตราการไหล 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ตัวเลขแทนปริมาณที่ฉีดเป็น ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร (ข) ปริมาณตัวอย่าง 60 ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร อัตราการไหล 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

### การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์โฟลว์อินเจกชัน Applications of Flow Injection Analysis

จากวารสารโฟลว์อินเจกชัน เทอมการกระจายจำกัด (limited dispersion) การกระจายปานกลาง (medium) และการกระจายมาก (large) การกระจายมีค่าจาก 1 ถึง 3, 3 ถึง 10 และมากกว่า 10 ตามลำดับ วิธีต่างๆ ที่ใช้หลักการกระจายทั้งสามแบบมีการพัฒนาเรียบร้อยแล้ว

### การประยุกต์ใช้การกระจายจำกัด Limited Dispersion Applications

การกระจายจำกัด เทคนิคโพลวอินเจกชันตัวอย่างเข้าสู่หลอดอย่างรวดเร็ว แล้วเข้าสู่ระบบตรวจหา เช่น การดูดกลืนและการเปล่งของอะตอมด้วยเปลวไฟเช่นเดียวกับ ICP เมื่อใช้เครื่องตรวจหาเหล่านี้ ตัวอย่างของเหลวถูกฉีดเข้าสู่เปลวไฟ หรือ พลาสมา แล้ววัดสัญญาณ วิธีการโพลวอินเจกชัน ปัมป์รีเอเจนต์แบบลิ้งค์ผ่านระบบเข้าสู่เครื่องตรวจหาอย่างต่อเนื่องจนได้สัญญาณเส้นพื้นฐาน ( baseline ) ฉีดตัวอย่างเป็นจังหวะ สัญญาณวิเคราะห์ที่ได้เป็นแบบชั่วคราว ( เป็นจังหวะ ) อัตราการไหลตัวอย่าง 300 ตัวอย่างต่อหนึ่งชั่วโมง

การกระจายจำกัดยังใช้เครื่องตรวจหาแบบไฟฟ้าเคมีได้ เช่น ขั้วไฟฟ้าไอออนจำเพาะ และ ขั้วไฟฟ้าขนาดเล็กชนิดโวลแทม ( voltammetric microelectrode ) การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคโพลวอินเจกชันโดยใช้เครื่องตรวจหาไฟฟ้าเคมีใช้หลักการ วัดค่า pH , pCa , pNO<sub>3</sub> ใช้ตัวอย่างเพียง 25 ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร และใช้เวลาวัดเพียง 10 วินาที การวัดเริ่มขึ้นก่อนที่สารจะถึงสมดุล การวัดโดยเทคนิคไอออนจำเพาะอาจต้องใช้เวลาเป็นนาที หรือ มากกว่านี้ สัญญาณที่ได้จากเทคนิคโพลวอินเจกชันของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเป็นแบบชั่วคราว ผลที่วิเคราะห์ได้แม่นยำ เช่น การวิเคราะห์ค่า pH ในเซรัมเลือดทำได้ 240 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ด้วยความเที่ยง +/- 0.002 pH ผลที่ได้แสดงภายใน 5 วินาทีหลังจากฉีดตัวอย่าง

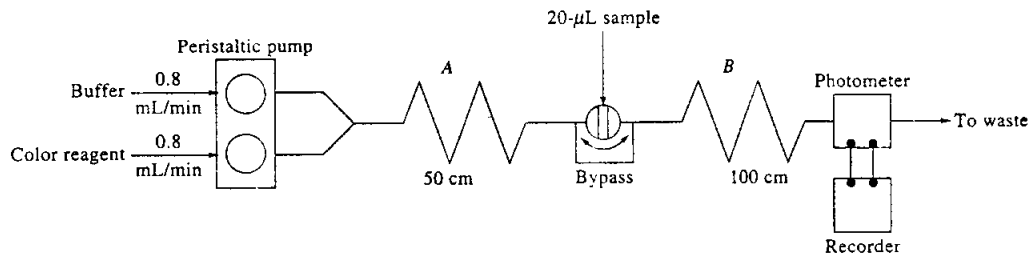
เงื่อนไขการกระจายจำกัด คือ ลด ระยะทางระหว่างที่ฉีดและเครื่องตรวจหา ลด อัตราเร็วปั๊มปี เพิ่มปริมาณตัวอย่าง วัดค่า pH ปกติความยาวหลอดที่ใช้ 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ปริมาณตัวอย่าง 30 ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร

### การประยุกต์ใช้การกระจายปานกลาง Medium Dispersion Applications

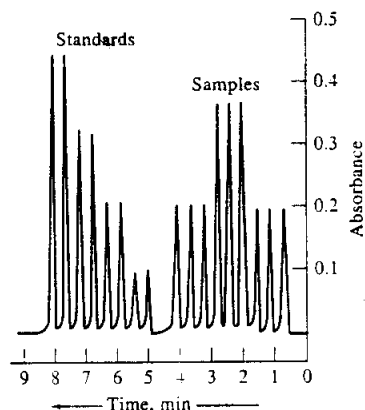
รูป 19-7 ก ระบบการกระจายปานกลางใช้วิเคราะห์แคลเซียมในเซรัม นม น้ำคั้น และวิธีวัดสี สารละลายบัฟเฟอร์บอแร็กซ์ และรีเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสี ถูกผสมในขดผสม ( mixing coil ) ขนาด 50 เซนติเมตร ก่อนเข้าสู่ที่ฉีดตัวอย่าง เครื่องบันทึกแสดงผลจากการวิเคราะห์สารมาตรฐานสี่ความเข้มข้น โดยทำซ้ำกันสองครั้ง สารตัวอย่างสามความเข้มข้นทำซ้ำกันสามครั้ง ดังรูป 19-7 ข

รูป 19-8 แสดงระบบที่ค่อนข้างซับซ้อน ระบบนี้ใช้เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตริกวิเคราะห์คาเฟอีนในยา คาเฟอีนแพร่เข้าชั้นตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม ผ่านหลอดที่มีน้ำแข็งล้อมรอบ เพื่อลดการระเหยของคลอโรฟอร์ม คลอโรฟอร์มผสมกับตัวอย่างแอลกอฮอล์ใน

หลอดรูปตัว T แล้วผ่านเข้าสู่ขดสกัด ( extraction coil ) ยาว 2 เมตร ของผสมเข้าสู่หลอดแยก T โดยปั๊มบีคิฟเฟอเรนเชียลชุดเฟสของสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 35 เข้าสู่โฟลว์เซลล์อีกร้อยละ 65 เป็นของเหลวเอควียส ( น้ำ ) ออกสู่ที่ทิ้ง การป้องกันไม่ให้โฟลว์เซลล์เปียกน้ำใช้ไฟเบอร์เทฟลอนซึ่งไม่เปียกน้ำทำให้เป็นขดและเป็นทางออกของหลอด T หลอดนี้ทำให้ผิวในเรียบโค้ง คลอโรฟอร์มไหลผ่านหลอดงอนี้เข้าสู่เซลล์มาตรฐาน



( ก )



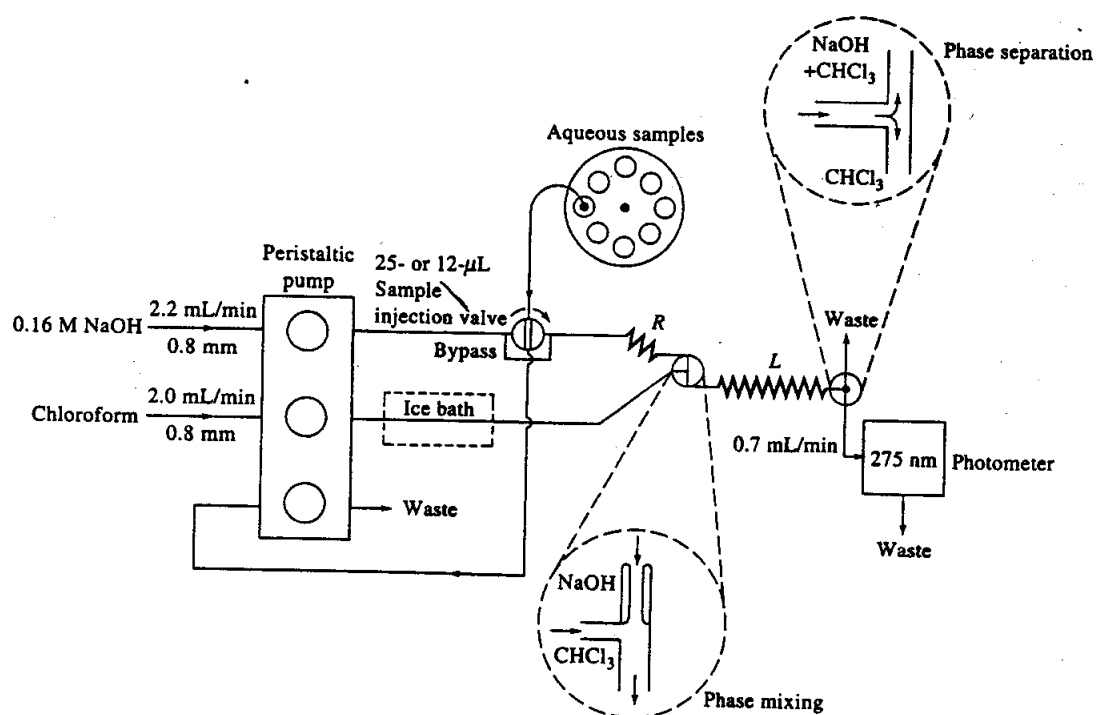
( ข )

รูป 19-7 ( ก ) อุปกรณ์โฟลว์อินเจกชันที่ใช้หาแคลเซียมในน้ำโดยให้แคลเซียมเกิดสีกับ 0-ครีซอลพทาเลนคอมเพล็กซ์ในพีเอช 10 หลอดที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.5 เซนติเมตร ขดปฏิกิริยา A และ B มีความยาวคงตัวเลขที่ปรากฏ ( ข ) สัญญาณที่ได้จากเครื่องบันทึก คำนวณเป็นเคอร์ฟตัวอย่างทำซ้ำกันสามครั้ง ทางด้านซ้ายเป็นเคอร์ฟมาตรฐาน แคลเซียม 5 , 10 , 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ทำซ้ำกันสองครั้ง

### วิธีสตอปโฟลว์ Stopped Flow Methods

การไทเทรตดำเนินไปอย่างต่อเนื่องในอุปกรณ์โฟลว์อินเจกชันตามตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปจะรวมกับตัวพาในห้องผสมทำให้เกิดการกระจายมาก ( large dispersion ) ของผสมนี้ถูกถ่ายโอนเข้าสู่บริเวณที่ของเหลวไหลเข้ามารวมกัน ( confluence fitting ) บริเวณนี้รีเอเจนต์ที่

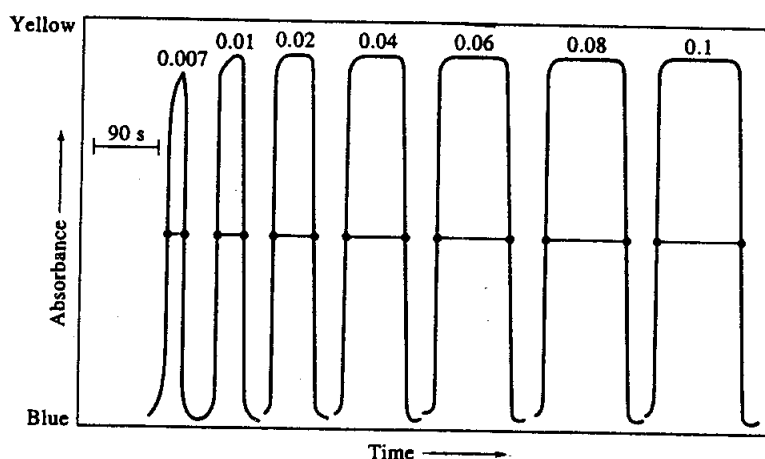
ผสมอินดิเคเตอร์จะผสมกับตัวอย่างล่วงหน้า ถ้าปรับระบบตรวจหาให้ตอบสนองกับสีของอินดิเคเตอร์ที่อยู่ในสารที่สนใจมากเกินไป จะได้พีคดังรูป 19-9 กรณีจะถูกไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งใช้อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู เมื่อนี้ตัวอย่าง สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีเหลือง ถ้ากรณีถูกใช้หมดสารละลายจะเปลี่ยนสีน้ำเงินจากรูปนี้ความเข้มข้นของสารที่สนใจหาได้จากความกว้างพีคที่ครึ่งความสูง การไทเทรตแบบนี้หาตัวอย่างได้มากถึง 60 ตัวอย่างต่อหนึ่งชั่วโมง



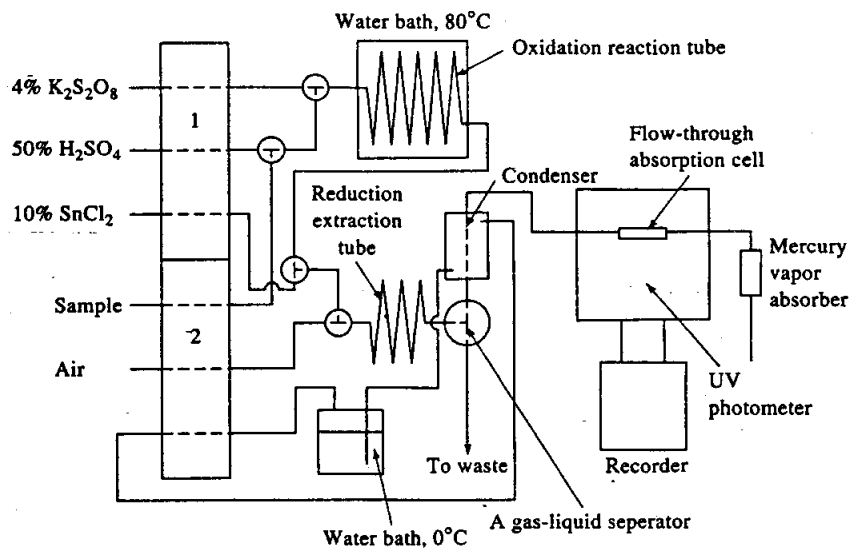
รูป 19-8 อุปกรณ์ฟลว์อินเจกชันใช้หาคาเฟอีนในการเตรียมกรดแอสซิติกลิซลิก เมื่อหมุนลิ้นไป 90 องศา การไหลในระบบ (by pass) เป็นศูนย์ เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก ขดลวดเทฟลอน R และ L มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.8 เซนติเมตร L ยาว 2 เมตร ระยะทางจากจุดฉีดผ่านจุด R ซึ่งเป็นจุดผสมยาว 0.15 เมตร

## ระบบอัตโนมัติสำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นปรอท An Automated System for Monitoring Mercury Concentration

รูป 17-10 เป็นแผนภูมิอุปกรณ์โฟลว์ต่อเนื่องแบบอัตโนมัติสำหรับหาปริมาณปรอทในน้ำเสียของห้องปฏิบัติการ ระบบนี้มีปั๊มเพอร์ิสต์ติกสองชุด ชุดที่หนึ่งและชุดที่สอง ปั๊ม 1 ทำหน้าที่พาสารตัวอย่าง มีน้ำหล่อเย็นหล่อคอนเดนเซอร์ และอากาศ ช่วยให้ตัวอย่างไหลด้วยอัตราเร็ว 3 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ปั๊ม 2 ทำหน้าที่พาริเอเจนต์สามตัว อัตราการไหล 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ครั้งแรกผสมตัวอย่างกรดซัลฟูริกและโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตร้อยละ 4 ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ ของผสมนี้ผ่านเข้าสู่หลอดปฏิกิริยาที่มีน้ำอุ่นอุณหภูมิคงที่ 80 องศาเซลเซียสล้อมรอบหลอดนี้ หลอดปฏิกิริยานี้คือขด Tygon tubing ยาว 10 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 มิลลิเมตร ภายในขดนี้เมทริกซ์อินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ ตัวอย่างปรอทถูกเปลี่ยนเป็นสารละลายของไอออนปรอท ( II ) ถูกออกซิไดซ์ภายในขดนี้มีค่าประมาณ 80 องศาเซลเซียส สารละลายที่ถูกออกซิไดซ์ผ่าน



รูป 19-9 การไทเทรต HCl ด้วย 0.01 M NaOH ด้วยวิธีโฟลว์อินเจกชัน ความเข้มข้นของสารละลาย HCl อยู่เหนือเคอร์ฟ ใช้อินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ช่วงเวลาระหว่างจุดแทนความเข้มข้นกรด



รูป 19-10 ระบบอัตโนมัติใช้หาปรอทในน้ำเสีย ( 1 ) ป้อนปเปอริสตัดติคชุดที่ 1 ให้อัตราการไหล 3 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ( 2 ) ป้อนปเปอริสตัดติคชุดที่สองให้อัตราการไหล 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

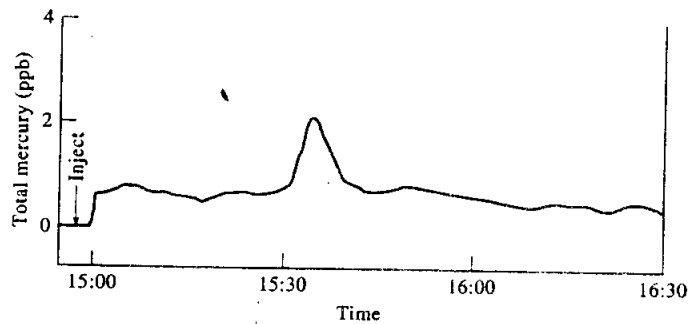
เข้าสู่หลอดปฏิกิริยาอันที่สอง แล้วผสมกับสารละลายเข้มข้นของคิวบ ( II ) คลอไรด์ และมีอากาศผ่านเข้าไป ภายในหลอดปฏิกิริยาที่สอง ปรอท ( II ) ถูกรีดิวซ์เป็นปรอท ( 0 ) และอยู่ในสถานะก๊าซ อากาศทำหน้าที่พาไอปรอทและของเหลวออก แล้วเข้าสู่ที่แยกก๊าซกับของเหลว ไอปรอทเข้าสู่คอนเดนเซอร์ที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ไอปรอทแห้งเข้าสู่มาตรแสงแล้ววัดที่ความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร ค่าความดูดกลืนที่วัดได้ขึ้นกับความเข้มข้นปรอทที่ไหลผ่าน รูป 19-11 สัญญาณที่วัดได้จากอุปกรณ์วิเคราะห์ปรอทแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาหนึ่งชั่วโมงครึ่ง เมื่อเริ่มฉีดตัวอย่างเข้าไป สัญญาณจะวัดได้หลังจากฉีดตัวอย่างไปประมาณ 10 นาที ปริมาณปรอทในช่วงเวลาต่างๆ มีค่าไม่เท่ากัน

### ระบบอัตโนมัติแบบไม่ต่อเนื่อง Discrete Automatic Systems

ระบบอัตโนมัติแบบไม่ต่อเนื่องมีหลายชนิด การออกแบบเครื่องมือให้ทำงานมีวิธีการทำงานหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งหน่วยวิธีการดำเนินงานเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ส่วนวิธีการ



ค่านิจงานอีกหลายขั้นตอนเป็นแบบอัตโนมัติ ระบบไม่ต่อเนื่องออกแบบให้มิจงานวิเคราะห์เฉพาะทาง เช่น การหาปริมาณไนโตรเจนในสารประกอบอินทรีย์ เครื่องไทเทรตอัตโนมัติมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้งาน การตกตะกอน การสะเทิน การเกิดสารเชิงซ้อน ออกซิเดชัน/รีดักชัน หัวข้อต่อไปนี้เป็นเครื่องวิเคราะห์แบบไม่ต่อเนื่อง

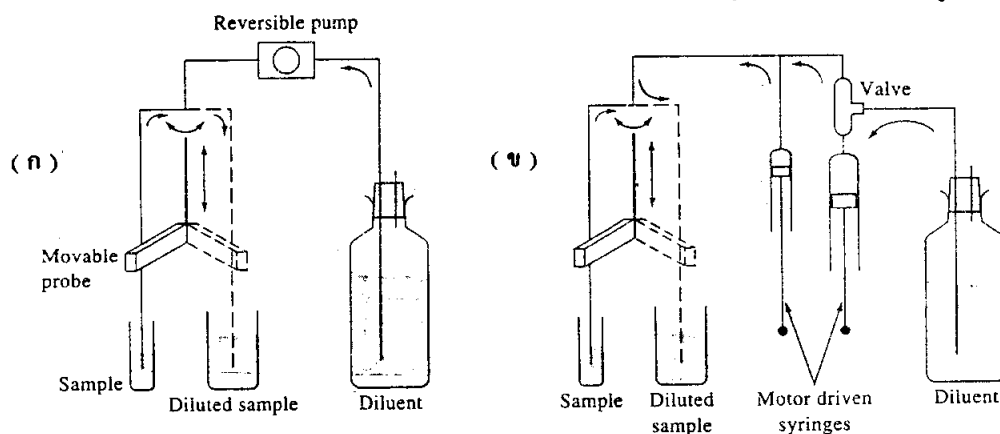


รูป 19-11 อุปกรณ์วิเคราะห์ปรอทแบบต่อเนื่องในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี

**การเลือกตัวอย่างโดยอัตโนมัติและความหมายของตัวอย่างของเหลวและก๊าซ**

#### Automatic Sampling and Sample Definition of Liquids and Gases

บริษัทผลิตเครื่องอัตโนมัติสำหรับตัวอย่างของเหลวและก๊าซมีหลายบริษัท รูป 9-12 ก หลักการปั๊มตัวอย่างแบบผันกลับได้ ( reversible ) อุปกรณ์นี้มีโพรมชนิดเคลื่อนที่ได้ มีเข็มไซริงค์ หรือ หลอดพลาสติกปลายแหลมติดกับแขนสำหรับยกปลายเข็ม หรือปลายหลอดพลาสติกที่ต่อกับภาชนะที่ใส่สารตัวอย่าง แขนนี้ตั้งตำแหน่งการทำงานได้ มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนแขนสัมพันธ์กับปั๊มเพอร์ิสต์ลติกแบบผันกลับได้ รูป 19-12 ก ปั๊มคู่คกลิน



รูป 19-12 ที่ดูดตัวอย่างอัตโนมัติ ( ก ) ปั๊มแบบผันกลับได้ ( ข ) แบบไซริงค์

ของเหลวผ่านโพรมที่อยู่ภายในภาชนะใส่สารตัวอย่าง และมีมอเตอร์ยกโพรมจากด้านหน้าซ้าย จนพื้นขอบภาชนะและหย่อนลงทางด้านขวา ปัมป์จะทำงานสวนทิศทางกัน ปัมป์จะทำการดูดและปล่อยตามปริมาณที่ต้องการ เมื่อปัมป์ทำงานเสร็จ โพรมจะกลับไปยังตำแหน่งเดิม และเตรียมพร้อมเพื่อทำงานครั้งต่อไป ไดอะ ( ถาด ) ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างหลาย ชนิดมักเป็นแบบวงกลม และมีถ้วยใส่สารตัวอย่างมากกว่า 40 ตัวอย่าง การหมุนของถาด และแกนของโพรมเป็นไปแบบได้จังหวะกัน ( synchronize )

รูป 19-12 ข แผนภูมิแสดงโซริงจที่ใช้ดูดตัวอย่างและตัวเจือจาง ขณะที่โพรมจุ่มใน ถ้วยตัวอย่าง สกรูที่ใช้ขับเคลื่อนโซริงจทางด้านซ้ายจะดูดตัวอย่างตามปริมาณที่ตั้งไว้ ใน เวลาเดียวกันสกรูทางด้านขวาจะดูดตัวเจือจางตามปริมาณที่ตั้งไว้ ( ปกติใช้ปริมาณมากกว่า ตัวอย่าง ) ลึนที่แสดงในรูปทำงานเป็นอิสระ เมื่อโพรมเลื่อนเหนือภาชนะไปทางขวา โซริงจจะปล่อยสารละลายที่วิเคราะห์และตัวเจือจางลงในภาชนะที่วิเคราะห์ มอเตอร์แบบ ปรับได้ ( stepping ) ทำงานคุมปริมาณสารตัวอย่างที่ออกจากโซริงจ การทำงานของโซริงจ ถูกคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โซริงจทำหน้าที่ฉีดตัวอย่างตามปริมาณที่ตั้งไว้ ( โปรแกรมใน คอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการสั่งงานมอเตอร์ ) เช่น โซริงจขนาด 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้า ใช้มอเตอร์แบบปรับได้ 1000 ครั้ง แต่แต่ละครั้งฉีดสารละลายจากโซริงจ  $1 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์ เซนติเมตร หรือ 1 ไมโครลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้าใช้มอเตอร์แบบปรับได้ 5000 ครั้ง แต่ละ ครั้งฉีดสารละลาย 0.2 ไมโครลูกบาศก์เซนติเมตร

### หุ่นยนต์ Robotics

การเตรียมสารตัวอย่างของแข็งโดยเทคนิคการละลายด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม มี ขั้นตอนการดำเนินการหลายขั้นตอน เช่น นำตัวอย่างมาบดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ แห้ง ชั่งน้ำหนัก เตา หลอม สุกทำให้นามาละลายในตัวทำละลาย ขั้นตอนต่างๆเหล่านี้ทำ แบบอัตโนมัติ เครื่องมือรุ่นใหม่มีโปรแกรมสั่งงานให้เครื่องทำขั้นตอนต่างๆ ได้โดย อัตโนมัติ เครื่องมือบางรุ่นใช้หุ่นยนต์ช่วยทำงาน หุ่นยนต์ทำงานได้รอบตัว ( 360 องศา ) บางเครื่องเปลี่ยนอุปกรณ์ที่แขนได้ เช่น เมื่อต้องการหยิบ หรือ ยก จะใช้แขนที่เป็นกิม เมื่อต้องการดูด หรือ ปล่อยสารละลายจะใช้โซริงจแทนกิม

การใส่โปรแกรมให้กับไมโครโพรเซสเซอร์ช่วยให้ระบบหุ่นยนต์ทำงานได้ตาม ต้องการ เครื่องมือแบบนี้ใช้หลักการนำสารตัวอย่างเข้าสู่ห้องปฏิบัติการใหญ่ ซึ่งมีระบบ เจือจาง กรอง แยกส่วน บด เซนตริฟิวจ์ ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน สกัด และละลายในตัวทำ

ละลาย อุปกรณ์นี้ยังใช้เป็นระบบ ให้ความร้อน เขย่าสารตัวอย่าง ปล่อยและวัดปริมาณ สารที่ปล่อย นิดตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์โครมาโตกราฟีก เก็บสัดส่วนปริมาณต่างๆจาก คอลัมน์ ระบบหุ่นยนต์ยังต่อพ่วงกับเครื่องชั่งอัตโนมัติเพื่อทำหน้าที่ชั่งตัวอย่าง

ปัจจุบันมีการประยุกต์นำอุปกรณ์หุ่นยนต์มาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าเคมี เช่น ใช้หุ่น ยนต์ทำความสะอาด เติมน้ำ และไล่อากาศออกจากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ใส่ตัวอย่าง ใส่สาร มาตรฐานปริมาณต่างๆลงในสารตัวอย่าง ( เทคนิคการเติมน้ำมาตรฐาน ) เริ่มต้นและหยุด เครื่องวิเคราะห์โวลแทมเมตริก บันทึกข้อมูล การวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์หุ่นยนต์ช่วยมีค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานร้อยละ 2

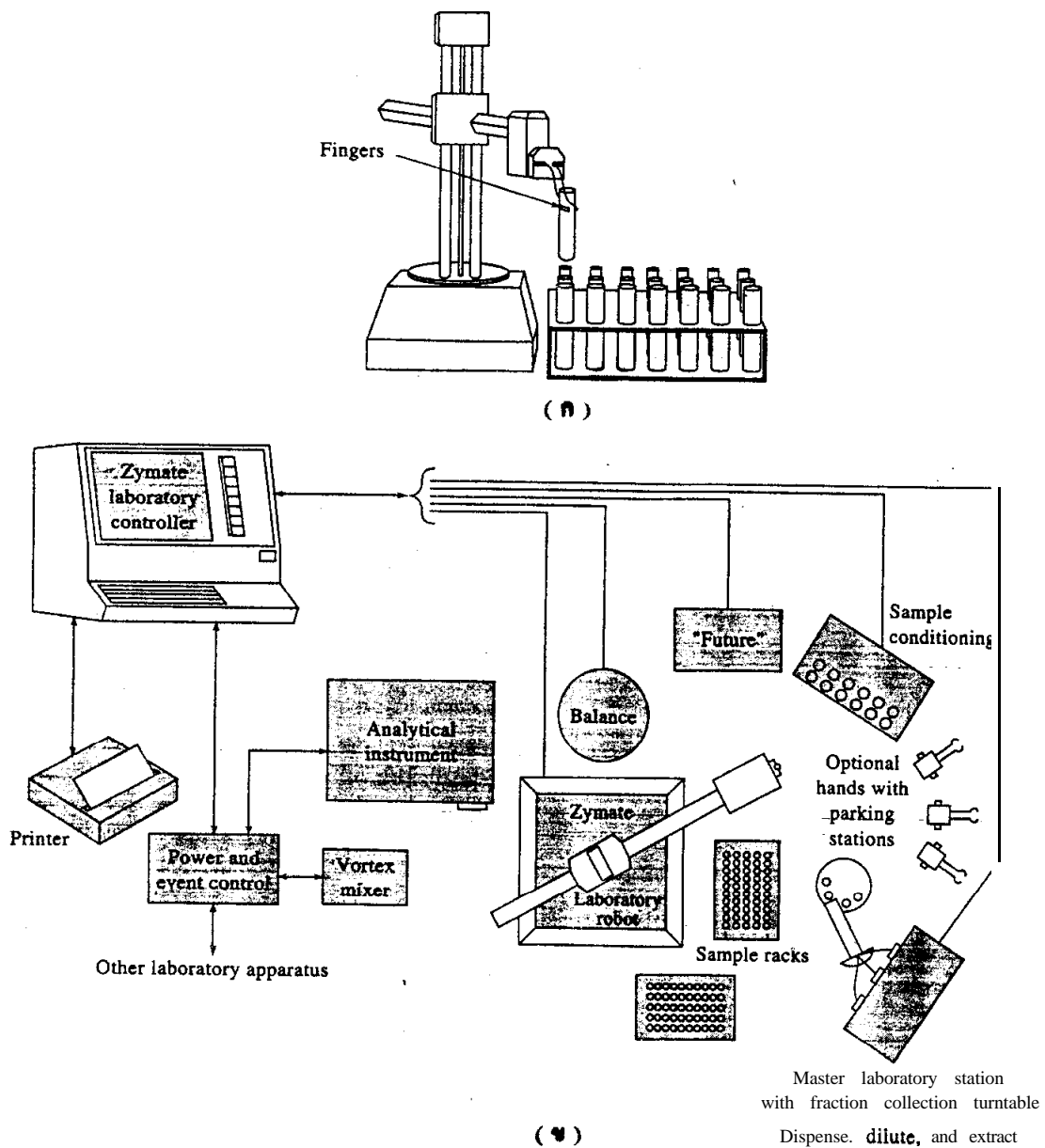
ระบบหุ่นยนต์ที่ใช้กับเครื่องไทเทรตแบบอัตโนมัติสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็ง โดยวัดค่า pH และสร้างเคอร์ฟ ระบบนี้ทำงานอัตโนมัติ โดยเริ่มต้นดำเนินการดังนี้ ชั่ง ตัวอย่าง ละลาย เจือจาง วัดค่า pH เก็บข้อมูลการไทเทรต เลือกจุดยุติ สรุตรายงาน ผล

### เครื่องวิเคราะห์ที่ใช้วิเคราะห์เซนตริฟิวจ์แยกตัวอย่างเร็ว The Centrifugal Fast Scan Analyzers

การวิเคราะห์ตัวอย่างซึ่งมีองค์ประกอบต่างชนิดกันถึง 16 ชนิด โดยเทคนิคการเซน ตริฟิวจ์ โดยผสมตัวอย่างกับรีเอเจนต์และถ่ายโอนของผสมเหล่านี้ เข้าสู่เซลล์มาตรวัดแสง หรือ มาตรสเปกโตรโฟโต ระบบนี้เปลี่ยนรีเอเจนต์ที่ใช้เป็นรีเอเจนต์ที่เหมาะสมกับสารที่วิ เคราะห์ได้

รูป 19-14 หลักการของเครื่องที่ใช้หลักการเซนตริฟิวจ์ รูปนี้เป็นภาพหน้าตัดของโร เตอร์พลาสติกของเครื่องเซนตริฟิวจ์ ที่ทำงานแบบวง โรเตอร์นี้มีช่อง ( เซลล์ ) จัดไว้เป็น แบบเรเดียล ( โคจรรอบแกนการหมุน ) จำนวน 17 ช่อง ตัวอย่างและรีเอเจนต์ถูกบีบเปิด โดยอัตโนมัติเข้าสู่ช่องต่างๆ จำนวน 16 ช่อง โดยมีช่องที่ 17 เป็นแบลิ่งค์ โรเตอร์หมุนด้วย ความเร็ว 350 รอบต่อนาที และทำหน้าที่ยกเซลล์แต่ละช่องขึ้นขวางทางเดินแสง ( เซลล์มี ส่วนหนึ่งเป็นหน้าต่างควอตซ์สำหรับให้แสง ( รังสี ) ผ่าน โดยรังสีผ่านจากแหล่งกำเนิด มาตรแสง ผ่านฟิลเตอร์แบบแทรกสอด เฉพาะรังสีที่มีความยาวคลื่นเหมาะสมจนสารที่อยู่ ในเซลล์ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์วัดแสงที่หลีกเลี่ยงการดูดกลืนของตัวอย่าง และให้ สัญญาณไฟฟ้า เมื่อต้องการวัดตัวถัดไป โรเตอร์จะหมุน และวัดสัญญาณ สัญญาณที่วัด

ได้เทียบกับเซลล์แบคทีเรีย สัญญาณต่างๆ ถูกเก็บไว้ในสมองกล และมีการเปลี่ยนสัญญาณที่วัด  
ได้เพื่อเพิ่มอัตราส่วนสัญญาณต่อการรบกวน

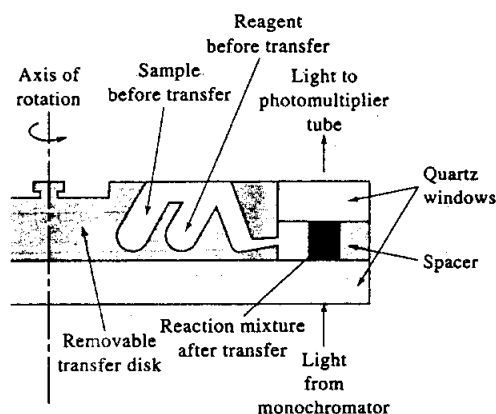


รูป 19-13 ระบบหุ่นยนต์ในห้องปฏิบัติการ (ก) หุ่นยนต์ และมือ (ข) ระบบทั้งหมด

การประยุกต์ใช้เครื่องวิเคราะห์แบบเซนตริฟิวจ์อย่างเร็วหาเอนไซม์นิยมใช้มาก ปกติการวิเคราะห์เอนไซม์ ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่ง ( catalyst ) หรือ ปฏิกริยาระหว่างสารที่สนใจกับสปีชีส์ที่ให้ หรือ ฟอก สี เคอร์พมาตรฐานระหว่างอัตราการเกิดสี หรือ ฟอกสีของสปีชีส์ที่เกิดปฏิกริยาขึ้นกับความเข้มข้นของเอนไซม์ เครื่องวิเคราะห์แบบเซนตริฟิวจ์หาอัตราการเกิดปฏิกริยาได้ถึง 16 ปฏิกริยาภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน หรือวิเคราะห์เอนไซม์ได้พร้อมกันถึง 16 ตัว

#### การวิเคราะห์ธาตุพื้นฐานอินทรีย์แบบอัตโนมัติ Automatic Organic Elemental Analyzers

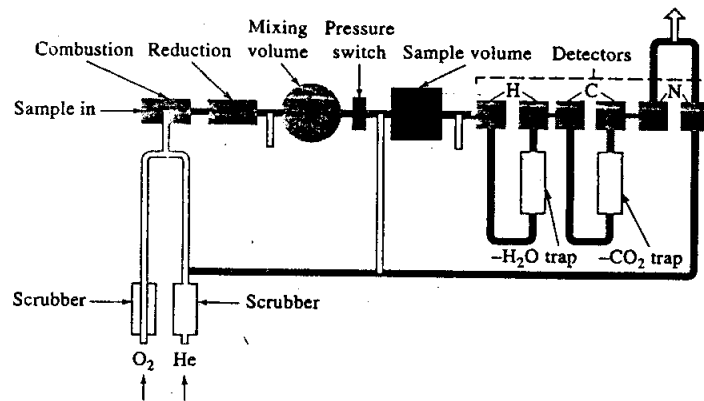
เครื่องมือแบบอัตโนมัติวิเคราะห์ธาตุพื้นฐาน เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และไนโตรเจนในสารประกอบอินทรีย์ได้ การวิเคราะห์ตัวอย่างใช้หลักการให้อุณหภูมิสูงแก่สารตัวอย่างเพื่อออกซิไคซ์สารประกอบอินทรีย์ เพื่อเปลี่ยนเป็นธาตุที่สนใจเป็นโมเลกุลสถานะก๊าซ เครื่องวิเคราะห์หลายชนิดวิเคราะห์โดยใช้ - หลักการแยกก๊าซในคอลัมน์โครมาโตกราฟี - หลักการดูดแยกโดยการดูดซับบนตัวดูดจำเพาะ ( specific absorbents ) เครื่องตรวจหาที่ใช้เป็นแบบสภาพนำความร้อน เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์บางเครื่องออกแบบให้ทำงานได้โดยอัตโนมัติ



รูป 19-14 โรเตอร์สำหรับเครื่องวิเคราะห์แบบสแกนเร็ว

รูป 19-15 แผนภูมิเครื่องมืออัตโนมัติวิเคราะห์ คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน ตัวอย่างถูกออกซิไคซ์ที่ 900 องศาเซลเซียส ในสภาพแวดล้อมเป็นบรรยากาศ

ออกซิเจนบริสุทธิ์ เกิดผลิตภัณฑ์ ก๊าซผสม คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ น้ำ ไนโตรเจน และออกไซด์ของไนโตรเจน หลังจากตัวอย่างอยู่ในสภาพแวดล้อม ออกซิเจนนาน 6 นาที ( ออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูง ) ผ่านก๊าซเฉื่อยฮีเลียมเพื่อพาผลิตภัณฑ์ เข้าสู่หลอดที่เผาจนร้อน 750 องศาเซลเซียส ( มีเตาเผาให้ความร้อนโดยรอบ ) ภายใน หลอดนี้มีลวดทองแดงที่ถูกเผาจนร้อนแดง ลวดนี้รีดิวซ์ออกไซด์ของไนโตรเจน สุดท้าย ได้ธาตุ ไนโตรเจน ส่วนลวดเป็นทองแดงออกไซด์ ทองแดงออกไซด์ที่เกิดทำหน้าที่เปลี่ยน คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ใยเงิน ( silver wool ) ทำหน้าที่ดักฮาโลเจน



รูป 19-15 เครื่องวิเคราะห์ C, H และ N แบบอัตโนมัติ

ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากหลอดเตาเผาเข้าสู่ห้องผสม ซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ ของผสมเนื้อเดียวกันผ่านเข้าสู่เครื่องตรวจหาแบบสภาพนำความร้อนซึ่งมีอยู่สามชุด แต่ละชุดมีเซลล์ตอบสนองอยู่หนึ่งคู่

ระหว่างเซลล์คู่แรกมีตัวดูดแมกนีเซียมเปอร์คลอเรตกำจัดน้ำ เมื่อน้ำผ่านเข้ามา สัญญาณระหว่างคู่เซลล์นี้เปลี่ยน สัญญาณที่เปลี่ยนขึ้นกับปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่าง ระหว่างเซลล์คู่สองมีที่ดักแบบดูดกลืน ( absorption ) ที่ดักนี้กำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อมีก๊าซนี้ผ่านสัญญาณระหว่างคู่เซลล์นี้เปลี่ยน สัญญาณที่เปลี่ยนขึ้นกับปริมาณคาร์บอนในตัวอย่าง ระหว่างคู่เซลล์ที่สามจะมีเฉพาะก๊าซฮีเลียมและไนโตรเจนผ่าน เซลล์ชุดนี้ให้ค่า ศักย์คงที่ เมื่อมีเฉพาะก๊าซฮีเลียม ถ้ามีไนโตรเจนผ่านศักย์จะเปลี่ยน ศักย์ที่เปลี่ยนขึ้นกับ ปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง

การวิเคราะห์ออกซิเจน หลอดในเตาเผาเป็นแบบควอร์ตซ์ภายในมีคาร์บอนเคลือบด้วยแพลทินัม เมื่อตัวอย่างถูกเผาในบรรยากาศฮีเลียม แล้วให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดผ่านเข้าสู่หลอดในเตาเผา ออกซิเจนทั้งหมดจะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ผ่านเข้าสู่ทองแดงออกไซด์ซึ่งร้อนจะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการวิเคราะห์ขั้นต่อไปคล้ายกับการวิเคราะห์ C, H และ N ความเข้มข้นของออกซิเจนขึ้นกับสัญญาณที่เปลี่ยนไปเนื่องจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนและหลังการดูดกลืน

การวิเคราะห์กำมะถัน เมาตัวอย่างในหลอดที่มีทั้งสแตน ( VI ) ออกไซด์ หรือทองแดงออกไซด์ ผ่านตัวอย่างที่เผาแล้วไปทางปลายหลอดเดิมที่อยู่นอกเตาเผา ซึ่งมีสารดูดน้ำ ก๊าซที่ออกมาเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แห้ง เครื่องตรวจหาให้สัญญาณ ( ศักย์ ) คงที่เมื่อมีก๊าซไฮโดรเจนผ่าน ขณะที่ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผ่านศักย์เปลี่ยน ศักย์ที่เปลี่ยนไปขึ้นกับปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ถ้าก๊าซนี้ผ่านเงินออกไซด์ เงินออกไซด์จะดูดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

รูป 19-15 เป็นเครื่องมือแบบอัตโนมัติสำหรับวิเคราะห์ C, H และ N เครื่องนี้วิเคราะห์ ( ชั่ง ) ตัวอย่างได้ถึง 60 ตัวอย่างโดย ชั่งใส่ด้วยเล็กและนำเข้าสู่หลอด ( ถาด ) เมาตัวอย่าง ซึ่งทำงานอัตโนมัติ

### การวิเคราะห์โดยใช้หลักการฟิล์มหลายชั้น Analyses Based Upon Multilayer Films

ช่วง 20 ปีที่ผ่านมา มีการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการทำปริมาณวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ โดยทำให้ฟิล์มเป็นชั้นๆ แบบไม่ต่อเนื่อง โดยจัดเป็นหลายชั้น ( multilayers ) บนวัสดุโปร่งใส หรือ แผ่นที่ใช้เพียงครั้งเดียว ( disposable plates ) ซึ่งมีขนาดเท่าดวงตราไปรษณีย์ หยดตัวอย่างของเหลว ( 10 ถึง 50 ไมโครลูกบาศก์เซนติเมตร ) บนแผ่น หยดนี้กระจายออกไปรอบๆ อย่างเร็วและสม่ำเสมอ น้ำและองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยจะเกิดการแพร่จากการกระจายชั้นของตัวอย่างผ่านเข้าสู่หนึ่ง หรือ มากกว่าหนึ่งชั้นรีเอเจนต์สารที่สนใจ ( องค์ประกอบต่างๆ ) จะเกิดปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสี ( หรือให้รังสีฟลูออเรสเซนซ์ ) ผลิตภัณฑ์นี้วัดได้จากมาตรแสงแบบสะท้อน ( reflection photometry ) เทคนิคนี้ใช้วิเคราะห์อัตราการสันดาปของเลือด เช่น กลูโคส เซรัมเอนไซม์ เช่น แลก-

เทคโนโลยีโครจีเนต และการเปลี่ยนแปลงของเลือดเนื่องจากยาที่ใช้ การประยุกต์นำเทคนิคนี้ มาใช้กับหลักการโพเทนซิโอเมตริก วิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆในอิเล็กทรอนิกส์ เช่น โพแทสเซียมในเซรัมเลือด

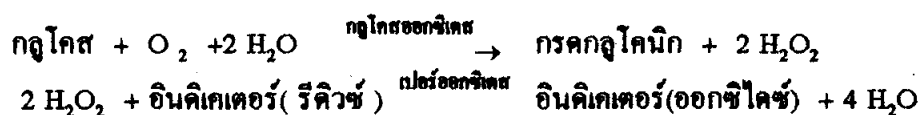
### หลักการทั่วไป General Principles

การพัฒนาฟิล์มหลายชั้น ( multilayer film element ) วิเคราะห์เชิงเคมีเป็นจุดกำเนิดของการพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การผลิตฟิล์มหลายชั้น แต่ละชั้นมีองค์ประกอบต่างกัน เช่น ฟิล์มสีทำจากการผลิตฟิล์มหลายชั้น แต่ละชั้นมีองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน เช่น ฟิล์มสีทำจากการเคลือบชั้นต่างๆจนครบ 15 ชั้น แต่ละชั้นมีความหนา 1.5 ถึง 5.0 ไมโครเมตร หนึ่งใน 15 ชั้นมีของเหลวสำหรับล้างฟิล์ม ( developing fluid ) เมื่อทำการถ่ายภาพ ( แสงชนฟิล์มนี้ ) ของเหลวนี้จะหลุดออกมาแล้วจะแพร่ผ่านชั้นที่เหลือ แล้วเกิดปฏิกิริยาเคมี สุดท้ายทำให้เกิดสีน้ำเงิน เขียว แดง

เทคนิคนี้นำมาใช้วิเคราะห์เชิงเคมีแบบอัตโนมัติโดยใช้หลักการการเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือ กายภาพ โดยเกิดทีละชั้นตอน เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดจากชั้นที่ 1 แยกจากตัวแทรกสอด โดยวิธีการแพร่จำเพาะ ( specific diffusion ) ผ่านชั้นที่สอง สู่ออกชั้นที่สามแล้วเกิดปฏิกิริยา แต่ละชั้นบนฟิล์มหลายชั้น จะเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือ กายภาพกับสารที่สนใจชนิดต่างๆกันได้ต่างกัน สารที่สนใจต่างชนิดกันจะเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือ กายภาพกับชั้นต่างๆที่อยู่บนฟิล์มหลายชั้น เช่น สาร 1 เหมาะกับชั้นที่ 4 สาร 2 เหมาะกับชั้นที่ 10 และอื่นๆ ใช้รีเอเจนต์เป็นชุดโดยรีเอเจนต์ที่ใช้แห้ง ( dry form ) การวิเคราะห์จึงเกิดขึ้นหลายชั้นตอน บางครั้งการวิเคราะห์เพียงชั้นตอนเดียวโดยใส่ตัวอย่างลงบนฟิล์ม ( ชั้นเดียว ) เครื่องมือที่ใช้ฟิล์มหลายชั้นเรียก เครื่องวิเคราะห์ฟิล์มแบบแห้ง ( dry film analysis )

### โครงสร้างฟิล์ม Film Structures

ฟิล์มหลายชั้นอยู่บนวัสดุโปร่งใส ชั้นที่ทำปฏิกิริยามีมากกว่าหนึ่งชั้น ชั้นสะท้อนหนึ่งชั้น ชั้นกระจายหนึ่งชั้น ชั้นวัดหนึ่งชั้น รูป 19-16 ก แผนภูมิพื้นที่หน้าตัดของฟิล์มฟิล์มนี้ใช้วิเคราะห์กลูโคสในเซรัม ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในชั้นรีเอเจนต์ที่เกิดปฏิกิริยาเขียนแทนด้วย





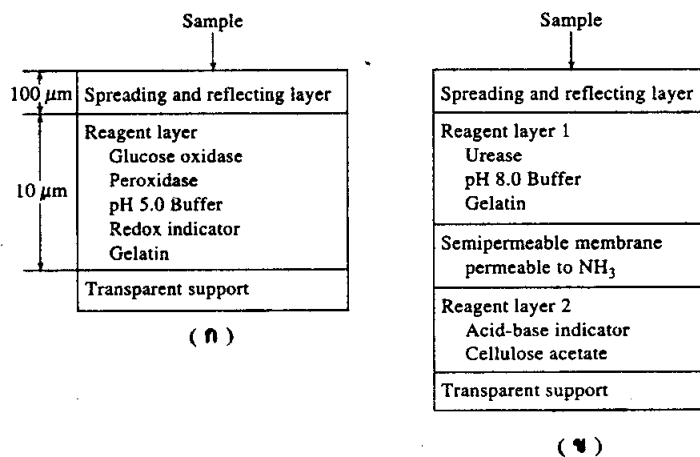
ผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือออกซิไดซ์ ดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่น 495 นาโนเมตร  
 ชั้นรีเอเจนต์มีอินดิเคเตอร์ ออกซิเดชัน / รีดักชัน และมีบัฟเฟอร์ pH 5.0 ทุกชั้นไม่  
 เคลื่อนที่ ( immobilized ) ชั้นเหล่านี้ถูกยึดอยู่กับที่ด้วยเจลาติน ซึ่งเคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์ม  
 พลาสติกโปร่งใส และมีความหนาประมาณ 10 ไมโครเมตร หยดตัวอย่างของเหลวหนึ่ง  
 หยดลงบนชั้นกระจาย ( spreading ) หรือชั้นการวัด ( metering ) ชั้นกระจายหนา 100  
 ไมโครเมตร ทำจากเซลลูโลสแอซีเตตซึ่งมีไทเทเนียมไดออกไซด์แพร่อยู่

ไทเทเนียมไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อน หน้าที่ของชั้นกระจาย

1 สะท้อนรังสีจากแหล่งกำเนิดที่ผ่านรีเอเจนต์และชั้นค้ำจุน ( support ) ดูเครื่อง  
 ตรวจหาของมาตรฐาน

2 ตัวอย่างกระจายบนชั้นนี้สม่ำเสมอ เวลาที่ใช้กระจาย 1 ถึง 5 วินาที ตัวอย่าง  
 ของเหลวเคลื่อนในแนวด้านข้าง ( lateral ) จนกระทั่งของเหลวทั้งหมดอยู่ในโครงสร้าง  
 ของรูเล็ก ( pore structure ) ถ้าตัวอย่างกระจายในแนวด้านข้างเร็วจะทะลุทะลวงลงในรูเล็ก  
 น้อย ปริมาณสารที่สนใจเปลี่ยนร้อยละ 1 ต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเข้มข้นสารที่สนใจจึง  
 มีความสม่ำเสมอตลอดความกว้างของจุดที่หยดตัวอย่าง

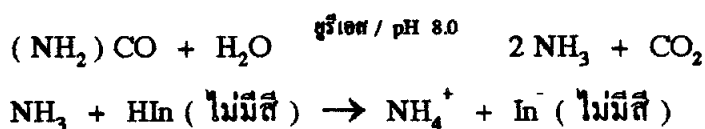
3 ทำให้สารที่สนใจอยู่ในรูปเดิม เช่นสารที่สนใจเป็นเซลล์ผลึก อนุภาค และ  
 โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน



รูป 19-16 ระบบหน้าตัดของฟิล์ม ( film elements ) สองชนิดที่ใช้หา ( ก ) กลูโคส ( ข )  
 เลือด ยูเรีย ในโตรเจน BUN ภาพแสดงความหนาของฟิล์มนี้ไม่สมจริง (สเกลไม่ถูกต้อง)

การหาปริมาณกลูโคสในเลือดโดยเทคนิคนี้ทำได้ง่าย และทำโดยอัตโนมัติใช้ ตัวอย่าง 0.1 ไมโครกรัมของเคซีเมตร หยคบนแผ่นฟิล์มนี้ แผ่นฟิล์มนี้อยู่ในชุดคุม อุณหภูมิ ( incubator ) ที่ 37 +/- .05 องศาเซลเซียส นาน 7 นาที เครื่องตรวจหาวัดรังสีที่ ความยาวคลื่น 495 นาโนเมตร

รูป 19-16 ข แสดงการวิเคราะห์เลือด ยูเรีย ไนโตรเจน โดยใช้ฟิล์มที่มีวัสดุค่อนข้างซับซ้อน ( film elements ) ชั้นรีเอเจนต์สองชั้นแยกจากกันด้วยชั้นกึ่งซึมผ่าน ( semi-permeable ) ซึ่งทำจากเซลลูโลสแอซีเตตบิวทีเรต เฉพาะ  $\text{NH}_3$  ซึมผ่านชั้นนี้ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ถูกกันออกไป จึงทำปฏิกิริยากับชั้นอินดิเคเตอร์ กรด / เบส ไม่ได้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเขียนได้ดังนี้



### วิชาการอุปกรณ์ Instrumentations

การทำปริมาณวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคฟิล์มหลายชั้นแยกและวัดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยใช้มาตรแสงแบบสะท้อน โฟเทนซิโอเมตริแบบจำเพาะไอออนและฟลูออเรสเซนซ์

### มาตรแสงแบบสะท้อน Reflective Photometer

รูป 19-17 แผนภูมิเครื่องมือที่ใช้หลักการวัดรังสีที่สะท้อนแบบแพร่ ( diffuse reflectance ) จากชั้นต่างๆ ของฟิล์มหลายชั้น ตัวอย่างอยู่ในชุดคุมอุณหภูมิ รังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีต่อเนื่อง ผ่านฟิลเตอร์ซึ่งยอมให้รังสีช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมตัวอย่างสารที่สนใจถูกคลื่นรังสีนี้ จักแหล่งกำเนิดให้รังสีชนตัวอย่างซึ่งอยู่บนฟิล์มที่มุม 45 องศา การจัดแบบนี้ช่วยลดการสะท้อนบริเวณผิวหน้า จักรังสีที่ชนให้เป็นจุดมีขนาด 25 มิลลิเมตร รังสีสะท้อนออกถูกวัดด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

สเปกโทรสโคปีแบบสะท้อน ( reflectance ) การสะท้อนมีสองแบบ

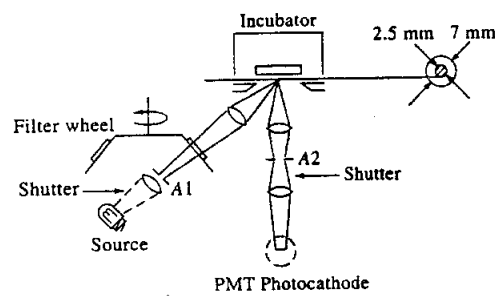
- 1 แบบ specular หรือ เหมือนกระจก ( mirror like ) มุมตกเท่ากับมุมสะท้อน
- 2 แบบแพร่ ( diffuse ) การสะท้อนจากโครงสร้าง

สเปกโทรสโคปีแบบสะท้อนที่ใช้หลักการสะท้อนแบบ diffuse การสะท้อนของรังสีแบบนี้เกิดจาก การกระเจิง การส่งผ่าน และการดูดกลืนเนื่องจากรังสีชนตัวอย่างบนซึ่งอยู่บนฟิล์ม ปรากฏการณ์นี้ไม่ได้เกิดที่ผิว

ข้อมูลความสะท้อนเขียนในทอมเปอร์เซ็นต์ความสะท้อน ( percent reflectance % R ) คล้ายกับสเปกโทรสโคปีดูดกลืน

$$\% R = I_s / I_t * 100 \%$$

$I_s$  ความเข้มรังสีสะท้อนจากตัวอย่าง  $I_t$  ความเข้มรังสีจากสารอ้างอิงมาตรฐาน ใช้แบบเรียบซัลเฟต ถ้าค่าความส่งผ่าน ความสะท้อนลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้นกับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสปีชีส์ที่สนใจดูดกลืน การปรับความสัมพันธ์นี้เป็นแบบเส้นตรงทำได้โดย เลือกแหล่งกำเนิดแสงและจัดรูปทรงเครื่องมือให้เหมาะสม



รูป 19-17 มาตรฐานสะท้อนแบบเมเนวล์ใช้กับฟิล์มบาง

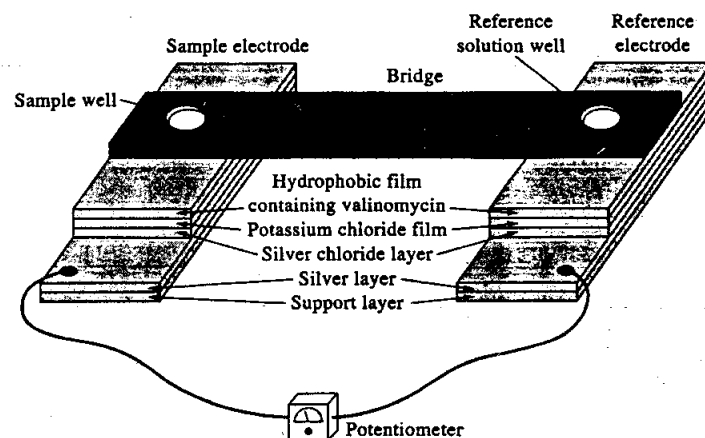
มาตรฐานแบบสะท้อนมีทั้งแบบใช้มือปรับและทำงานโดยอัตโนมัติ เครื่องมือแบบอัตโนมัติมีอุปกรณ์จัดหาตัวอย่าง และอุปกรณ์เฉพาะสำหรับทดสอบซึ่งทำงานอัตโนมัติ เครื่องจะเลือกชนิดของฟิล์มจากกล่องที่เก็บฟิล์ม เลือกฟิลเตอร์สำหรับเลือกความยาวคลื่นเหมาะสมเทียบกับมาตรฐานเครื่อง จัดหาตัวอย่าง พิมพ์ผล เครื่องมือแบบนี้วิเคราะห์ตัวอย่างได้พร้อมกันถึง 16 ชนิด และทำงานได้ 500 ตัวอย่างในหนึ่งชั่วโมง

### โพเทนชิโอเมตรี Potentiometry

เทคโนโลยีฟิล์มหลายชั้นใช้เป็นชุดทดสอบหาโพแทสเซียม โซเดียม และคลอไรด์ โดยใช้หลักเมมเบรนไอออนจำเพาะ ( ion selective membrane ) ชุดนี้ใช้เสร็จแล้วนำกลับ

มาใช้อีกไม่ได้ ธาตุอื่นๆ ก็วิเคราะห์ได้โดยเทคนิคนี้ รูป 19-18 แสดงแผนภูมิเซลล์ที่ใช้หาไอออนโพแทสเซียมในเซรัม फिल्मมีสองอันที่เหมือนกัน ( two identical film elements ) ต่อควบกันด้วยกระดาษซึ่งทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือ ใส่ตัวอย่าง 10 ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร ลงในช่องว่างด้านซ้าย ใส่สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 10 ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร ลงในช่องว่างด้านขวา สารละลายทั้งสองจะแพร่ออกทางด้านข้างและกระตุ้นสะพานเกลือ ชั้นบนสุดของฟิล์มนี้เป็นเมมเบรนไอออนจำเพาะ เมมเบรนเป็นวาลินไมซินในพลาสติกเกลียคหน้า วาลินไมซินจับเฉพาะไอออนโพแทสเซียม เมื่อวาลินไมซินจับไอออนนี้ทำให้เกิดศักย์คร่อมที่ผิวหน้าฟิล์ม สามชั้นถัดลงไปทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเงิน / เงินคลอไรด์

ศักย์ที่เกิดจากเซลล์ตัวอย่างหาได้จากการเทียบกับศักย์ของสารมาตรฐาน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารตัวอย่างหาได้จากผลต่างของศักย์ระหว่างเซลล์ทั้งสอง ผลที่ได้จากเทคนิคนี้เทียบได้กับเทคนิคที่ใช้ขั้วไฟฟ้าไอออนจำเพาะ ( ion selective electrode )



รูป 19-18 เซลล์หลายชั้นที่จำเพาะต่อไอออนสำหรับหาโพแทสเซียม ขนาดของเซลล์กว้าง 2.8 ขาว 2.4 เซนติเมตร หน้า 150 ไมโครเมตร

#### การทำงานและการประยุกต์ใช้ Performance and Applications

บริษัทผลิตเครื่องมือผลิตแผ่นฟิล์มบางชนิดต่างๆ และเครื่องตรวจหาให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ ในห้องปฏิบัติการคลินิก ปัจจุบันใช้เครื่องมือนี้วิเคราะห์ ธาตุ

และโมเลกุลอินทรีย์ในร่างกายได้มากกว่า 30 ชนิด ตาราง 19-2 เป็นข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์อัตโนมัติแบบนี้ อุปกรณ์นี้ใช้ตัวอย่างน้อย 10 ถึง 50 ไมโครลูกบาศก์เดซิเมตร ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น 1 ถึง 10 วินาที ช่วงความเข้มข้นเหมาะสม ( dynamic range ) กับการวิเคราะห์ค่อนข้างกว้าง ถ้าสารตัวอย่างที่วิเคราะห์มีความเข้มข้นนอกช่วงนี้ ต้องทำการเจือจาง หรือ ทำให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงนี้

ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ค่อนข้างดี มีความเที่ยงร้อยละ 1 ถึง 10 ขึ้นกับชนิดของธาตุที่วิเคราะห์ ผลวิเคราะห์ที่ได้จากเทคนิคนี้เทียบได้กับเทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมืออัตโนมัติมาตรฐานชนิดอื่น

ตาราง 19-2 ข้อมูลวิเคราะห์ได้จากเทคนิคฟิล์มบาง ( thin film elements )

สารที่วิเคราะห์	ช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม	ความเที่ยง % ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์
อัลบูมิน	72.5 - 869 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$	4.9
แอมโมเนีย	0.01 - 12 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	5
บิลิรูบิน	3.4 - 445 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$	2.5
แคลเซียม	0.25 - 4.0 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	1.5
คาร์บอนไดออกไซด์	5 - 55 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	5-7
กลูโคส	50 - 175 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	1.5
คลอเรสเตอรอล	0.39 - 14.3 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	5.2
ครีเอตินิน	4.4 - 1459 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$	4
กลูโคส	1.1 - 34.7 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	2.1
โพแทสเซียม	1 - 14 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	2.0
โซเดียม	75 - 250 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	1.3
ไตรกลีเซอไรด์	0 - 6.5 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	2.7
ยูเรีย	0.7 - 42.8 $\text{mmol}/\text{dm}^3$	3.3
กรดยูริก	29.7 - 1010 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$	2.3

## แบบฝึกหัด

- 19-1 เรียงลำดับวิธีการดำเนินงานของเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
- 1 พิสูจน์ว่ามีตะกั่วในสิ่งที่ขูดมาจากผนัง หรือ ไม่
  - 2 หาปริมาณเหล็กในวิตามินรวมและในผงเกลือแร่
- 19-2 เขียนแผนภูมิระบบโฟลว์อินเจ็คชันที่ใช้วิเคราะห์ไอออนโซเดียมและไอออนโพแทสเซียมในเลือด และวัดด้วยมาตรฐานแสงแบบเปลวไฟ
- 19-3 เขียนแผนภาพระบบโฟลว์อินเจ็คชันที่ใช้วิเคราะห์ตะกั่วในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตภัณฑ์การเกษตร โดยใช้เทคนิคการสกัดไอออนตะกั่วด้วยไดไทโชนในตัวทำละลาย  $\text{CCl}_4$  ได้สารเชิงซ้อนสีเข้ม
- 19-4 เขียนแผนภาพอุปกรณ์โฟลว์อินเจ็คชันที่ใช้วิเคราะห์โซเดียมซัลไฟด์ในตัวอย่างของเหลว
- 19-5 เขียนแผนภาพแสดงมือของหุ่นยนต์ที่ใช้จับเซลล์ขวางทางเคินแสง เซลล์เป็นไวแอลขนาด 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 19-6 เขียนแผนภาพ (คอลัมน์ที่ใช้ เครื่องตรวจหา สวิตซ์วาล์ว) ที่ออกแบบสำหรับทำงานต่อไปนี้
- 1 พิกตัวทำละลายแยกสารที่วิเคราะห์โดยสารที่วิเคราะห์ระเหยได้ น้อยกว่าตัวทำละลาย
  - 2 พิกตัวทำละลายไม่ผ่านเข้าสู่คอลัมน์ที่ใช้วิเคราะห์
  - 3 สารที่วิเคราะห์สองตัวมีขั้วต่างกัน และแยกจากกันได้สมบูรณ์