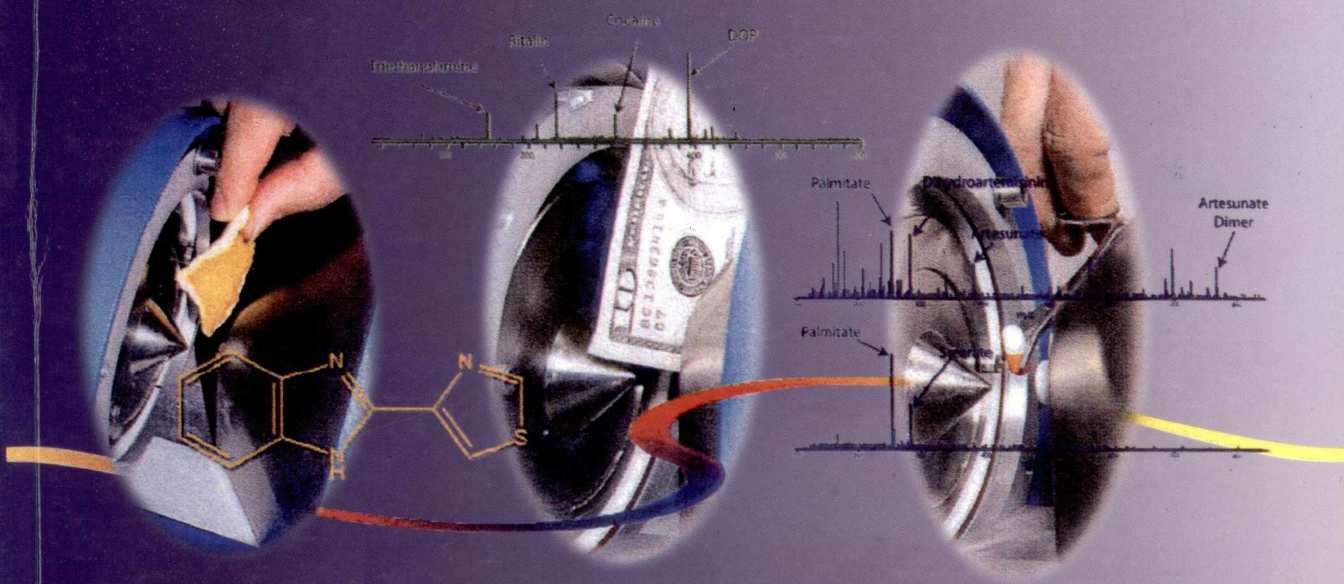


หลักการและ เทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ

Principles and Techniques of Instrumental Analysis PART II Chromatography and others



AccuTOF-DART™
Mass Spectrometer

รศ. ไฉน อมรสิทธิ์ และคณะ

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเชิงความร้อน (Thermal Analysis)	1
1.0	บทนำ	1
1.1	คำนิยาม (Definitions)	3
1.2	Thermogravimetry (TG)	
	Thermogravimetric Analysis (TGA)	7
1.3	TG Instrumentation	7
1.3.1	Thermobalance	9
1.3.2	เตาเผา (furnace)	10
1.3.3	เครื่องควบคุมระบบและการเก็บข้อมูล (instrument control and data handling)	10
1.3.4	ถ้วยแพลตินัมหรืออะลูมิเนียม (Pt, Al crucible)	11
1.3.5	แก๊สที่ใช้	12
1.3.6	โปรแกรมเมอร์ (Programmer)	12
1.3.7	สารตัวอย่าง	12
1.3.8	การทำ temperature calibration	12
1.3.9	ความแม่นยำและความเที่ยงของ TG	13
1.4	ลักษณะจำเพาะของสารตัวอย่าง	15
1.5	สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้การวิเคราะห์เกิดความผิดพลาด	16
1.6	การประยุกต์ของ TG หรือ TGA	18
1.7	Derivative Thermogravimetry (DTG)	20
1.8	Differential Thermal Analysis (DTA)	25
1.9	Differential Scanning Calorimetry (DSC)	33
1.10	การวิเคราะห์ทางความร้อนแบบเชิงกล (TMA)	48
1.11	ไดนามิกเมกแคนิคัล แอนนาไลซิส (Dynamic mechanical analysis)	58
1.12	การวิเคราะห์ผล	68
1.13	DMA และการประยุกต์	72
	เครื่องมือที่ผลิตออกมาจำหน่ายจากบริษัทต่างๆ	74
บทที่ 2	เอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray Diffraction)	81
2.0	บทนำ	81
2.1	ใช้งานทางด้าน Radiography	81

	หน้า
2.2 งานทางด้านผลึกวิทยา (X-ray crystallography)	81
2.3 งานวิเคราะห์ทาง X-ray Fluorescence	81
2.4 งานทางด้าน Radiotherapy	81
2.5 ความรู้พื้นฐานของผลึกวิทยา	82
2.5.1 สเปนแลตทิซ (Space lattice) และหน่วยเซลล์ (Unit cells)	82
2.5.2 ระบบผลึกและบราวส์แลตทิซ (crystal systems and Bravais lattices)	84
2.6 ความสำคัญของโครงสร้างผลึกของโลหะ	84
2.7 การบอกตำแหน่งของอะตอมใน Cubic Unit Cell	90
2.8 การหาทิศทางใน Cubic Unit Cell	91
2.9 การหา Miller Indices ของ Crystallographic Planes ใน Cubic Unit Cells	95
2.10 Crystallographic Planes และ Directions ใน Hexagonal Unit Cells	100
2.11 Family of Planes	102
2.12 การเลี้ยวเบนของ X-ray (X-ray Diffraction)	103
2.13 Powder Diffractometer	106
2.14 องค์ประกอบของเครื่อง powder diffractometer	107
2.15 การประยุกต์ของ X-ray diffraction	107
2.16 ข้อดีและข้อจำกัดของ X-ray powder diffraction analysis	114
บทที่ 3 แมสสเปกโตรเมตรี (Mass Spectrometry)	122
3.0 บทนำ	122
3.1 ข้อกำหนดเรื่องมวลในเทคนิคแมสสเปกโตรเมตรี	124
3.2 ประโยชน์ของสัดส่วนของไอโซโทปในธรรมชาติ	126
3.3 กระบวนการผลิตไอออน (Ionization process)	129
3.4 อิเล็กตรอนไอออไนเซชัน (Electron Ionization, EI)	130
3.5 ลักษณะของการแตกตัวโดยอิเล็กตรอนไอออไนเซชัน	136
3.6 การแตกตัวของสารประกอบอินทรีย์	137
3.6.1 อัลเคน (Alkane)	137
3.6.2 อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic Hydrocarbons)	139
3.6.3 อัลดีไฮด์และคีโตน	140
3.6.4 เอสเทอร์ กรดคาร์บอกซิลิกและเอมีด	141
3.6.5 แอลกอฮอล์ (Alcohols)	144

	หน้า
3.6.6 อีเทอร์ (Ethers)	145
3.6.7 ฮาไลด์ (Halides)	145
3.7 ข้อเด่นและข้อด้อยของเทคนิคอิเล็กตรอนไอออไนเซชัน	147
3.8 เคมีคัลไอออไนเซชัน (Chemical Ionization, CI)	147
3.9 หลักการของเทคนิคเคมีคัลไอออไนเซชัน	149
3.10 ฟิลด์ไอออไนเซชัน (Field Ionization, FI)	152
3.11 ฟิลด์ดีซอร์พชัน (Field Desorption, FD)	153
3.12 เทคนิคการผลิตไอออนที่ความดันบรรยากาศ (API)	154
3.13 เทคนิคการผลิตไอออนแบบอิเล็กโตรสเปย์ (ESI)	155
3.14 ข้อถกเถียงเรื่องทฤษฎีการเกิดไอออนของอิเล็กโตรสเปย์	156
3.15 การออกแบบห้องผลิตไอออนแบบอิเล็กโตรสเปย์	159
3.16 นาโนอิเล็กโตรสเปย์	161
3.17 การผลิตไอออนแบบเคมีคัลที่ความดันบรรยากาศ (APCI) และการผลิตไอออนโดยใช้โฟตอนที่ความดันบรรยากาศ (APPI)	161
3.18 การผลิตไอออนแบบเคมีคัลที่ความดันบรรยากาศ (APCI)	162
3.19 การผลิตไอออนโดยใช้โฟตอนที่ความดันบรรยากาศ (APPI)	163
3.20 Accu TOF-DART TM Mass Spectrometer	167
3.21 กระบวนการไอออไนเซชัน	168
3.22 การผลิตเมทาสเทเบิลไอออน	169
3.23 แมสสเปกตรัม (Mass Spectrum)	170
3.24 การประยุกต์ใช้ (Applications)	170
บทที่ 4 การแยกและการเตรียมสารตัวอย่างเบื้องต้น (Introduction to Separation Methods and Sample Preparation)	182
4.1 ความจำเป็นของการเตรียมตัวอย่างก่อนทำการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	182
4.2 วิธีแยกสาร (Separation methods)	182
4.3 การเตรียมตัวอย่าง (Sample preparation)	184
4.4 การทำ Sample pretreatment	184
4.5 การบด (Grinding)	187
4.6 การละลายและการย่อยพวกสารที่ละลายยาก	187
4.7 การใช้ Head space techniques	187
4.8 การสกัด (extraction)	190
4.9 เทคนิคการสกัดด้วยของเหลว	190

	หน้า
4.10 Super critical fluid extraction (SFE)	191
4.11 การใช้วิธีจับบนตัวดูดซับ	193
4.12 Solid-phase extraction	195
4.13 การสกัดสารที่จะวิเคราะห์ที่เป็นสารอินทรีย์	197
4.14 การใช้กระบวนการโครมาโทกราฟี	197
4.15 การเตรียมสารตัวอย่างที่เป็นสารอินทรีย์	198
4.15.1 สารตัวอย่างที่เป็นโลหะ	198
4.15.2 สารตัวอย่างที่เป็นแร่	199
4.15.3 สารตัวอย่างที่เป็นสารอินทรีย์	199
บทที่ 5 โครมาโทกราฟี (Chromatography)	208
5.1 บทนำ (Introduction)	208
5.2 การจำแนกวิธีการทางโครมาโทกราฟี	209
5.3 การวิวัฒนาการของโครมาโทแกรม	210
5.4 ค่าที่มีลักษณะเฉพาะของโครมาโทแกรม	212
5.5 ทฤษฎีของโครมาโทกราฟี (Chromatographic Theory)	215
5.6 ทฤษฎีจลน์ (Kinetic Theory)	217
5.7 ค่าการแยก (Resolution, R_s)	223
5.8 ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการแยก	227
5.9 การทำคุณภาพวิเคราะห์ (Qualitation)	229
5.10 การทำปริมาณวิเคราะห์ (Quantitation)	230
บทที่ 6 แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)	243
6.0 บทนำ	243
6.1 ข้อดีของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี	243
6.2 ข้อเสียของเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี	243
6.3 ประเภทของแก๊สโครมาโทกราฟี	244
6.4 แก๊สพา (Carrier gases)	246
6.5 ระบบของการใส่สารตัวอย่าง (Sample inlet system)	248
6.5.1 Gas sample inlet	248
6.5.2 Liquid sample inlet	249
6.5.3 ตัวแปรในการเลือก inlet	251
6.5.4 Split injection	251
6.5.5 Splitless injection	253

	หน้า
6.5.6 Cool on-column injection	254
6.5.7 Programmable temperature vaporization inlets (PTV)	256
6.5.8 เหตุผลในการใช้ PTV inlet	257
6.5.9 วัตถุประสงค์ของการใช้ inlet liner	257
6.5.10 สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง (Solid sample)	259
6.5.11 ใช้ Headspace Analysis	259
6.6 เทคนิคการเตรียมตัวอย่างโดย SPME	260
6.6.1 ความเที่ยงของวิธี SPME	263
6.6.2 คอลัมน์ (Columns)	267
6.6.3 ประเภทของคอลัมน์ (Type of Columns)	268
6.6.4 การเลือกใช้คอลัมน์ในการแยกสาร	271
6.6.5 Liquid phase	274
6.6.6 การเลือก liquid phase	274
6.6.7 ปริมาณของ liquid phase	278
6.6.8 อุณหภูมิของคอลัมน์	279
6.6.9 การใช้งานของคอลัมน์ในทางปฏิบัติ	281
6.6.10 Column Bleed	281
6.6.11 การเก็บคอลัมน์หลังการใช้งาน	281
6.6.12 Isothermal และ Temperature Programming	281
6.7 เครื่องตรวจวัด (Detectors)	286
6.7.1 ลักษณะเฉพาะที่ต้องการของเครื่องตรวจวัด	286
6.7.2 เทอร์มัลคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์ (TCD)	288
6.7.3 เฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (FID)	292
6.7.4 อิเล็กตรอนแคปเจอร์ดีเทคเตอร์ (ECD)	295
6.7.5 ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ดีเทคเตอร์ (NPD)	298
6.7.6 เฟลมโฟโตเมตริกดีเทคเตอร์ (FPD)	299
6.7.7 ฟลัสเฟลมโฟโตเมตริก ดีเทคเตอร์ (PFPD)	301
6.7.8 ฮอลล์อิเล็กโทรไลติกคอนดักติวิตี ดีเทคเตอร์ (Hall Electrolytic Conductivity Detector, HECD)	302
6.8 การวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี	304
6.8.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วย GC	304
6.8.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วย GC	310
6.9 การประยุกต์ใช้ GC ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างชนิดต่างๆ	318

	หน้า
บทที่ 7 แก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี (GC/MS) (Gas Chromatography/Mass Spectrometry)	330
7.1 บทนำ	330
7.2 หลักการแก๊สโครมาโทกราฟี	330
7.3 หลักการของแมสสเปกโตรเมตรี	331
7.3.1 การแตกตัวของโมเลกุลเป็นไอออนด้วยอิเล็กตรอน (Electron Ionization, EI)	333
7.3.2 การแตกตัวของโมเลกุลเป็นไอออนด้วยวิธีทางเคมี (Chemical ionization, CI)	339
7.3.3 หน่วยวิเคราะห์มวล (mass analyzer)	344
7.3.4 ดีเทคเตอร์ (detector)	358
7.3.5 โหมดของการทำงานในแมสสเปกโตรเมตรี (Operating Modes in Mass Spectrometry)	362
7.3.6 การสอบเทียบมวล (Mass Calibration)	367
7.4 แก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโตรเมตรี	368
7.4.1 ระบบปั๊มสุญญากาศ (Vacuum System)	370
7.4.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อแก๊สโครมาโทกราฟีกับแมสสเปกโตรมิเตอร์	375
7.5 การประยุกต์ใช้งาน GC/MS	380
7.6 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โดย GC/MS	381
7.6.1 สถานะสารตัวอย่าง	381
7.6.2 ปริมาณสารตัวอย่าง	381
7.6.3 วิธีการเตรียมสารตัวอย่าง	381
7.7 คุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ด้วยวิธี GC/MS	383
7.7.1 คุณภาพวิเคราะห์	383
7.7.2 ปริมาณวิเคราะห์	385
7.8 ลักษณะเฉพาะของเทคนิค GC/MS	389
7.8.1 เวลาในการวิเคราะห์โดย GC/MS	389
7.8.2 ข้อจำกัดของเทคนิค GC/MS	389
7.8.3 ความไวในการวัดและปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้	389
7.8.4 เทคนิคการวิเคราะห์อื่นๆ ที่เป็นข้อมูลเสริม GC/MS เครื่องมือทาง GC/MS จากบริษัทผู้ผลิตต่างๆ ทั่วโลก	389

	หน้า
บทที่ 8 โครมาโทกราฟีของเหลว (Liquid Chromatography) (LC หรือ HPLC)	397
8.1 หลักการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี	397
8.1.1 หลักการแยกสารโดยเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟี	398
8.1.2 ชนิดของลิควิดโครมาโทกราฟี	399
8.1.3 สารละลายตัวชะ (eluent)	408
8.1.4 การเลือกใช้สภาวะสำหรับการวิเคราะห์สารชนิดต่างๆ	418
8.2 เครื่องมือ	419
8.2.1 องค์ประกอบของเครื่อง HPLC และหลักการทำงาน	419
8.2.2 ภาชนะบรรจุสารละลายตัวชะ	419
8.2.3 เครื่องสูบ (Pump)	421
8.2.4 เครื่องกำจัดแก๊สในสารละลาย	422
8.2.5 ระบบฉีดสาร	423
8.2.6 คอลัมน์ (Column)	424
8.2.7 ดีเทคเตอร์ (Detector)	426
8.2.8 เครื่องควบคุมและประมวลผล	428
8.2.9 อุปกรณ์ที่จำเป็น	429
8.3 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ	430
8.3.1 การเปรียบเทียบค่ารีเทนชันไทม์ของสารในตัวอย่างกับสารมาตรฐาน	430
8.3.2 การเติมสารละลายมาตรฐานเข้มข้นปริมาณ เล็กน้อยลงในสารละลายตัวอย่าง	430
8.4 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ	430
8.4.1 External standard method	430
8.4.2 Internal standard method	431
8.5 การประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ และการเตรียมตัวอย่าง	431
8.5.1 การประยุกต์ใช้	431
8.5.2 การเตรียมตัวอย่าง	433
8.6 การตรวจสอบความเหมาะสมของการวิเคราะห์ด้วย HPLC	436
8.6.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของเครื่องมือ (Instrument validation)	436
8.6.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของระบบ (System suitability)	440
8.6.3 การตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีทดสอบ (Method validation)	441
8.6.4 การตรวจสอบความเหมาะสมของผลการวัด (Results validation)	442
8.7 การใช้และการบำรุงรักษาเครื่องมือ	443

8.7.1	สารละลายตัวชะ	443
8.7.2	การบำรุงรักษาเครื่อง HPLC	446
8.8	ข้อควรปฏิบัติและการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นในการใช้เครื่อง HPLC	446
8.8.1	ตรวจสอบการรั่วของสารละลายตัวชะในระบบ	446
8.8.2	ตรวจสอบสายสัญญาณและสายเคเบิลทุกสาย	446
8.8.3	เปิด power on ของเครื่องทุกส่วนที่ต้องใช้งาน	446
8.8.4	สารละลายตัวชะต้องกรองและไล่อากาศออกก่อนนำมาใช้	446
8.8.5	ตรวจสอบฟองอากาศในระบบ	446
8.8.6	กรณีที่ใช้เครื่องมือพ่นแก๊สเพื่อไล่แก๊สที่ละลาย	446
8.8.7	เครื่องสูบลูกสูบ หรือชิ้นส่วนภายใน	447
8.8.8	ตรวจสอบคอลัมน์สารละลายตัวชะ	447
8.8.9	เลือกดีเทคเตอร์ที่เหมาะสม	447
8.8.10	ตั้งค่าต่างๆ ที่เครื่องบันทึกผลถูกต้อง	447
8.8.11	ศึกษาข้อมูลทางเคมีเบื้องต้นของตัวอย่าง	447
8.8.12	ล้างคอลัมน์ด้วยสารละลายที่สภาพมีขี้	447
8.8.13	หลังการใช้งานการเก็บคอลัมน์	447
8.8.14	ศึกษาคู่มือเกี่ยวกับการบำรุงรักษาและการแก้ปัญหา	447
8.9	การพัฒนาเทคนิคโครมาโทกราฟีให้มีสมรรถนะสูงขึ้น	447
8.10	อัลตราเพอร์แมนซ์ลิกวิดโครมาโทกราฟี	449
บทที่ 9	ลิกวิดโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (LC/MS)	460
	(Liquid Chromatography/Mass Spectrometry)	
9.1	บทนำ (Introduction)	460
9.2	หลักการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค LC/MS	462
9.3	องค์ประกอบของเครื่อง LC/MS	463
9.4	ส่วนเชื่อมต่อส่วนที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน หรือแหล่งกำเนิดไอออน (Ionization interface)	463
9.5	การทำให้เกิดไอออน (Ionization)	464
9.5.1	ส่วนเชื่อมต่อแบบ electrospray ionization (ESI)	464
9.5.2	ส่วนเชื่อมต่อแบบ Atmospheric-pressure chemical ionization (APCI)	466
9.5.3	ส่วนเชื่อมต่อแบบ Atmospheric-pressure photoionization (APPI)	468
9.5.4	ส่วนเชื่อมต่อแบบ matrix-assisted laser desorption ionization (MALDI)	469

9.6	ตัววิเคราะห์มวลไอออน (Mass analyzer)	470
9.6.1	ควอดรูโพลไอออนแทรพ (quadrupole ion trap)	470
9.6.2	เครื่องวิเคราะห์แบบควอดรูโพล (quadrupole analyzer)	473
9.6.3	เครื่องวิเคราะห์มวลแบบไทม์ออฟไฟลท์ (Time-of-Flight Analyzer TOF)	475
9.7	เครื่องฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มเมสสเปกโตรมิเตอร์ (FTMS)	477
9.8	ตัวตรวจหาไอออน (Ion detector)	478
9.8.1	อิเล็กตรอนมัลติพลายเออร์ (Electron multiplier)	479
9.8.2	โฟตอนมัลติพลายเออร์ (Photon multiplier)	479
9.8.3	ไมโครชานเนลเพลต (Microchannel plate)	480
9.9	รูปแบบในการสแกนในแทนเดมแมสสเปกโตรเมตรี	481
9.9.1	สแกนไอออนผลิตภัณฑ์ (Product ion scan)	481
9.9.2	สแกนไอออนพรีเคอร์เซอร์ (Precursor ion scan)	481
9.9.3	สแกนการสูญเสียโมเลกุลที่เป็นกลาง (Neutral loss scan)	482
9.9.4	การมอนิเตอร์ปฏิกิริยาที่เลือกแล้ว (Selected Reaction Monitoring, SRM)	482
9.10	อิทธิพลของเมทริกซ์ (Matrix effect)	482
9.10.1	ปฏิกิริยาการแตกหักของแคตไอออนที่มีอิเล็กตรอนคู่	484
9.10.2	ปฏิกิริยาการแตกหักของไอออนลบที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่	485
9.11	การทำคุณภาพวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค LC/MS และ LC/MS/MS	486
9.11.1	การเก็บข้อมูลแบบขึ้นอยู่ข้อมูลที่ได้ (Data-dependent acquisition, DDA)	487
9.12	การหาปริมาณวิเคราะห์	488
9.12.1	การเลือกตรวจติดตามเฉพาะไอออน (Selected Ion Monitoring, SIM)	489
9.12.2	การตรวจติดตามคู่แตกหัก (Selected reaction monitoring, SRM)	490
9.13	วิธีสอบเทียบมาตรฐาน	491
9.14	MS ในการวิเคราะห์ความปลอดภัยทางด้านอาหาร	493
9.15	การศึกษาเมตาบอลิซึมของยาโดยแมสสเปกโตรเมตรี	493
บทที่ 10	ไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatography, IC)	503
10.1	หลักเกณฑ์พื้นฐานของไอออนโครมาโทกราฟี	503
10.2	ไอออนโครมาโทกราฟีคืออะไร	506

	หน้า
10.3 คำนิยามของไอออนโครมาโทกราฟี (IC)	507
10.4 ประเภทของการแยกในเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี	507
10.5 พื้นฐานของวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนในเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี	508
10.5.1 หลักการของ Ion-exchange	508
10.5.2 กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน	509
10.5.3 Modern ion-exchange chromatography	511
10.5.4 ลักษณะจำเพาะของ eluent (Eluent Characteristic)	511
10.5.5 รูปแบบของวัสดุที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนประจุ (Type of ion-exchange materials)	512
10.5.6 ลักษณะเฉพาะของ Ion-exchangers	514
10.5.7 กฎทั่วไปของการทำนายลำดับการจับตัวของ ion บน ion-exchanger	515
10.6 การแบ่งประเภทของวิธีการ Ion Chromatography	515
10.6.1 Non-suppressed ion chromatography	515
10.6.2 Suppressed ion chromatography	516
10.6.3 การพัฒนาเทคนิคของ Suppressor	516
10.7 ประเภทของวัสดุที่ใช้เตรียม Ion-exchanger	517
10.8 Conditions for Standard Conditions Separations	523
10.9 Standard Anion IC Condition	524
10.10 Standard Cation IC Condition	527
10.11 Standard Anion Ion-Exclusion (anion IE) Conditions	529
10.12 Standard Anion Chromatography Exclusion Conditions	530
10.13 Non standard Operating Conditions	530
10.14 Ion Detectors	533
10.14.1 Conductivity detection	533
10.14.2 Ion Chromatography with Chemical Suppression	535
10.14.3 Optical Detection	536
10.14.4 Electrochemical Detection	538
10.15 การประเมินผลและการทำ Calibration	538
10.15.1 การประเมินผลของ peak area	538
10.15.2 การประเมินผลของความสูงของพีค	538
10.15.3 การทำ External Standard Calibration	538

	หน้า
10.15.4 การทำ Internal Standard Calibraion	539
10.15.5 การทำ Calibration โดยวิธี Standard Addition Method	540
10.16 Applications of Ion Chromatography	540
บทที่ 11 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแบบไหลฉีดหรือโพลินเจกชัน อะนาไลซิส (Flow Injection Analysis, FIA)	555
11.1 บทนำ (Introduction)	555
11.1.1 สาเหตุที่จำเป็นต้องการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ	555
11.1.2 นิยามของ FIA	557
11.1.3 หลักการที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค FIA	558
11.2 ประวัติความเป็นมา	558
11.2.1 ช่วงแรก (ระหว่าง ค.ศ. 1975-1981)	559
11.2.2 ช่วงที่สอง (ระหว่าง ค.ศ. 1981-ปัจจุบัน)	559
11.2.3 ช่วงที่สาม (ตั้งแต่ปัจจุบันเป็นต้นไป)	559
11.3 หลักการของโพลินเจกชันอะนาไลซิส	565
11.3.1 การวิเคราะห์แบบไม่ต่อเนื่อง (batch method)	567
11.3.2 การวิเคราะห์แบบการไหลที่มีฟองอากาศคั่น (Segmented Continuous Flow Analysis, SCFA)	569
11.3.3 การวิเคราะห์แบบโพลินเจกชันอะนาไลซิส หรือเอฟไอเอ (FIA)	571
11.3.4 การกระจาย (Dispersion)	574
11.3.5 ผลของปริมาตรสารละลายตัวอย่าง	576
11.3.6 ผลของลักษณะและขนาดท่อผสม (Mixing tubings)	577
11.3.7 ผลของอัตราการไหลของสารละลาย (Flow rate)	582
11.3.8 ส่วนประกอบหลักของระบบเอฟไอเอ	582
11.4 การประยุกต์ใช้ระบบเอฟไอเอ	593
11.4.1 เอฟไอเออย่างง่าย (Simple-FIA)	593
11.4.2 เอฟไอเอ-ไทเทรชัน (FIA-titration)	594
11.4.3 โซลเวนต์เอกแทรกชัน (solvent extraction FIA system)	596
11.4.4 แก๊สดีฟฟิวชัน-เอฟไอเอ (Gas diffusion-FIA system)	596
11.4.5 เอฟไอเอเคมีลูมิเนสเซนส์ (FIA-Chemiluminescence)	597
11.4.6 เอฟไอเอ-เอเอเอส (FIA-AAS system)	598
11.4.7 รีเวอร์ส-เอฟไอเอ (Reverse FIA system)	599

	หน้า
11.5 เอฟไอเอขั้นสูง (Advance FIA)	600
11.5.1 ซีเควนเชียลอินเจกชันอะนาลิซิส (Sequential Injection Analysis)	600
11.5.2 แล็บ-ออน-วาล์ว (Lab-on-valve หรือ LOV)	605
11.5.3 แล็บ-ออน-อะชิพ (Lab-on-a-chip, LOC)	608
ภาคผนวก	
ภาคผนวก I หน่วย (Units) สัญลักษณ์ (Symbols) และอุปสรรค (Prefixes)	617
ภาคผนวก II ค่าคงที่ที่สำคัญและพบเสมอๆ	620