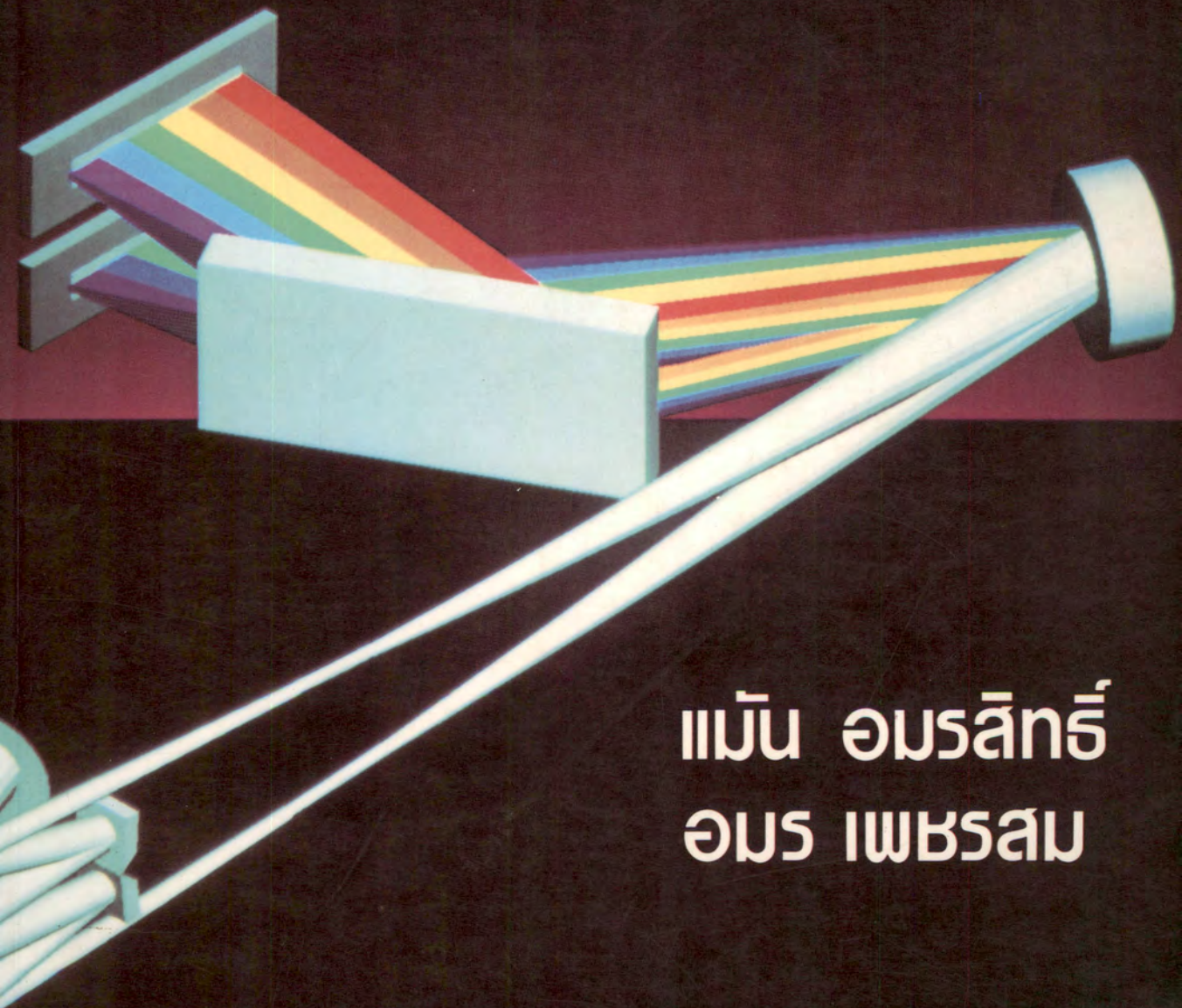


Principles and Techniques of Instrumental Analysis



แมน อมรสิทธิ์
อมร เพชรสาม

ประวัติผู้เขียน



รศ. แม้น อมรสิทธิ์

การศึกษา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม) ทางเคมี จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประกาศนียบัตรประโยคครูพิเศษมัธยม (พ.ม.)
ประกาศนียบัตรทาง Radioisotope techniques จาก ORINS
ปริญญาโททางเคมีวิเคราะห์ (M.S.) จาก Texas A & M University, Texas.

ฝึกอบรมต่างประเทศ

ได้รับทุนจาก IAEA ไปฝึกอบรมการผลิตไอโซโทปที่ ORNL, Tennessee, USA.
ได้รับทุน NORAD ไปอบรมและวิจัยทาง Applied Physical Chemistry ที่ Technical University of Norway.
ได้รับทุน UNESCO ไปเข้า Workshop เกี่ยวกับ General Chemistry Laboratory ที่ กรุงโซล ประเทศเกาหลี
ได้รับทุนจากบริษัท Phillips ไปฝึกอบรมทาง X-ray spectrometry ที่บริษัท Phillips ประเทศเนเธอร์แลนด์
ได้รับทุนจากบริษัท Camax ไปฝึกอบรมทาง HPTLC ที่บริษัท Camax ประเทศสวีเดน

ประสบการณ์

สอนวิชาต่าง ๆ ทางเคมีวิเคราะห์ทั้งระดับปริญญาตรีและระดับปริญญาโท โดยเฉพาะสอนวิชา Instrumental Analysis ทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติการมาแล้วกว่า 30 ปี
มีผลงานวิจัยทางด้านเคมีวิเคราะห์ไม่น้อยกว่า 25 เรื่อง



ผศ. ดร. อมร เพชรสม

การศึกษา

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตทางเคมี จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปริญญาดุษฎีบัณฑิต (Ph.D.) ทางเคมี จาก University of Arizona, U.S.A.

ฝึกอบรมต่างประเทศ

ได้รับทุน DANIDA ไปอบรมและวิจัยทาง Organic electrochemistry ที่ University of Aarhus ประเทศเดนมาร์ก
ได้รับทุน Post-doctoral fellowship จาก EEC ไปทำวิจัยทางด้าน Organotin ที่ Université de Bordeaux II ประเทศฝรั่งเศส

ประสบการณ์

เคยสอนวิชาต่าง ๆ ทางอินทรีย์เคมีทั้งระดับปริญญาตรีและระดับปริญญาโททั้งภาคทฤษฎี และปฏิบัติการมากกว่า 15 ปี
มีผลงานทางด้านวิจัยและตีพิมพ์มาแล้วไม่น้อยกว่า 20 เรื่อง

Principles and Techniques of Instrumental Analysis

**แมน อมรสิทธิ์
อมร เพชรสม**

ISBN 974-340-465-1

พิมพ์ครั้งที่ 1 2,000 เล่ม

พ.ศ. 2535

สงวนลิขสิทธิ์

กุศลที่เกิดจากตำราเล่มนี้
ผู้เขียนขออุทิศให้แด่บุพการี ครูและอาจารย์
ผู้ให้การสนับสนุนและอบรมสั่งสอนจน
ผู้เขียนมีความเจริญก้าวหน้าในชีวิตราบรื่นทุกวันนี้

คำนิยม

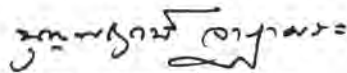
ของ

ดร. บุญพฤกษ์ จาฎามระ

B.Sc. (Liv.); M.Sc., Ph.D. (Birm.); C. Chem., F.R.S.C.

F.R.A.C.I., C. Chem. Aust., ราชบัณฑิต

ในปัจจุบันนี้ การศึกษาวิชาเคมีเบื้องต้นจำเป็นต้องศึกษาแขนงวิชาเคมีวิเคราะห์ด้วย ทั้งนี้เพราะว่าเคมีวิเคราะห์เป็นแขนงสำคัญยิ่งแขนงหนึ่งของวิชาเคมีที่จะช่วยให้นักศึกษาและนักวิจัยใช้เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวิจัยเรื่องราวต่าง ๆ ของสารประกอบเคมีได้กระจ่างชัด ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น โดยเฉพาะก็คือในการประยุกต์เชิงอุตสาหกรรม เคมีวิเคราะห์จะมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง แม้ว่าเคมีวิเคราะห์เป็นแขนงวิชาเคมีที่สำคัญมากแขนงหนึ่งก็ตาม แต่ตำราภาษาไทยเกี่ยวกับวิชาเคมีแขนงนี้มีน้อยเล่ม และมีเนื้อหาครอบคลุมแต่เพียงบางส่วนของเคมีวิเคราะห์เท่านั้น ข้าพเจ้ามีความยินดีอย่างยิ่งที่ทราบว่า รศ. แม้น อมรสิทธิ์ ได้ใช้ความอุตสาหามานะพยายามเรียบเรียงตำราภาษาไทยว่าด้วยเคมีแขนงนี้ขึ้น ข้าพเจ้าได้รู้จัก รศ. แม้น อมรสิทธิ์ มาเป็นเวลาหลายสิบปี และทราบว่า รศ. แม้น ได้ทุ่มเทกำลังกาย กำลังใจ ให้แก่วิชาเคมีแขนงนี้มาเป็นเวลานานปี โดยรับผิดชอบสอนนักศึกษาในมหาวิทยาลัยและค้นคว้าทดลองอยู่ตลอดเวลา นับว่ามีประสิทธิภาพสูงมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญยิ่งในการเขียนตำรา กล่าวคือ เขียนตำรานี้ขึ้นด้วยความรู้ความสามารถและประสิทธิภาพ ตำรานี้มีเนื้อหาประกอบด้วยหลักการและเทคนิคของการวิเคราะห์ทางเคมีในเชิงเครื่องมือโดยครบถ้วน ข้าพเจ้าได้อ่านตำรานี้ด้วยความสนใจยิ่ง และอ่านอย่างละเอียดที่สุด มีความเห็นว่าเป็นตำราที่ดีมาก ให้ความรู้ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นอย่างเพียงพอต่อการปฏิบัติการ จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำรานี้จะเป็นประโยชน์มากสำหรับการศึกษาวิชาเคมีเบื้องต้น ซึ่งก็จะเป็นผลดีสะท้อนมาสู่การพัฒนาประเทศชาติในทางวิทยาศาสตร์สืบไป.



(ดร. บุญพฤกษ์ จาฎามระ)

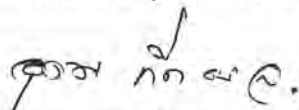
นายกราชบัณฑิตยสถาน

พ.ศ. 2534

คำนิยม

ท่านรองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์ ผู้เรียบเรียงตำรานี้ ท่านเป็นอาจารย์ทางด้านเคมีวิเคราะห์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ท่านมีประสบการณ์การสอนทั้งระดับปริญญาตรีและระดับปริญญาโท วิชา Analytical Chemistry, Instrumental Analysis, Nuclear and Radiochemistry, Nuclear Techniques, Advanced Analytical Chemistry, Organic Reagents for Analytical Chemistry และ Thermal Analysis ท่านอยู่ในวงการเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และมีประสบการณ์การสอนการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่ทันสมัยมากกว่า 30 ปี ท่านได้รวบรวมประสบการณ์ทั้งหมดไว้ในตำรานี้ ทำให้เป็นตำราการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ทางเคมีที่สมบูรณ์ โดยบรรจุเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นและทันสมัยในงานวิเคราะห์ทางเคมีในปัจจุบันไว้อย่างครบถ้วน เนื้อเรื่องประกอบด้วยภาคทฤษฎีองค์ประกอบของเครื่องมือและการทำงาน เทคนิคการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ ตลอดจนการเตรียมสารตัวอย่าง ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและการแก้ไขปัญหา ข้อควรระวังในการใช้เครื่องมือรวมทั้งการดูแลรักษาเครื่องมือ

ผมคิดว่าตำราเล่มนี้เป็นตำราการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ทางเคมีที่สมบูรณ์และทันสมัยเล่มแรกของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และของประเทศไทย ที่จะประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา ครู อาจารย์ ตลอดจนนักวิจัย หรือนักเคมีวิเคราะห์ในโรงงานอุตสาหกรรม และหน่วยงานของรัฐที่สนใจอยากทราบเทคนิคการวิเคราะห์ การทำงานของเครื่องมือต่าง ๆ ที่ทันสมัยได้เป็นอย่างดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. อุดม กิตฺผล)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

พ.ศ. 2534

คำนำ

ในปัจจุบันนี้งานทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งหลายจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลทางเคมีวิเคราะห์อย่างมาก เพื่อนำผลการวิเคราะห์นั้นไปปรับปรุงคุณภาพและพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและเป็นผลดียิ่งขึ้น ตลอดจนการแก้ปัญหาต่าง ๆ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี การวิเคราะห์ทางเคมีสมัยใหม่จำเป็นต้องทำแข่งกับเวลา นั่นคือ เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ควรจะสามารถทำการวิเคราะห์ให้ผลออกมาอย่างรวดเร็ว แม่น และมีความเที่ยงสูง บางเทคนิคอาจต้องสามารถทำการวิเคราะห์สารปริมาณน้อย ๆ ได้อีกด้วย ดังนั้นเทคนิคเหล่านี้ล้วนต้องใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่ทันสมัยเข้ามาช่วยจึงจะได้ผลตามที่ต้องการ

ผู้เรียบเรียงตำราเล่มนี้อยู่ในวงการเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และมีประสบการณ์ด้านการเรียนการสอน การวิจัย และการใช้เครื่องมือต่าง ๆ มากกว่า 30 ปี และมีความมุ่งมั่นในการเขียนตำราเล่มนี้ขึ้น โดยบรรจุข้อมูลทางทฤษฎี เครื่องมือ เทคนิคการวิเคราะห์ และการประยุกต์ในงานต่าง ๆ ตลอดจนข้อควรระวัง การดูแลรักษาเครื่องมือไว้อย่างพร้อมมูล แน่นนอน สิ่งเหล่านี้บางครั้งได้จากประสบการณ์ที่สะสมมาเป็นเวลานาน จึงไม่สามารถหาได้จากตำราทั่ว ๆ ไปได้ ดังนั้น ผู้เขียนตำรานี้จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ตำราเล่มนี้คงจะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา ครู อาจารย์ ตลอดจนนักวิจัย หรือแม้แต่ผู้สนใจในงานวิเคราะห์ทางเคมี การทำงานของเครื่องมือต่าง ๆ ที่ทันสมัยได้อย่างดีอีกด้วย สำหรับบางท่านที่กำลังจะต้องเข้าไปเกี่ยวข้องกับ การใช้เครื่องมือ เมื่อท่านได้เรียนรู้ทฤษฎี เทคนิคต่าง ๆ แล้ว หลังจากนั้นฝึกฝนการใช้เครื่องอีกเล็กน้อย ท่านก็จะสามารถทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เหล่านี้ได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ผู้เขียนตำรานี้ขออ้อมรับข้อติติง ข้อเสนอแนะ และข้อควรแก้ไข เมื่อท่านผู้อ่านพบข้อผิดพลาดซึ่งอาจมีได้ ด้วยความขอบพระคุณยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนตำราใคร่ขอแสดงความขอบคุณอย่างที่สุดต่อภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาอนุมัติให้ผู้เขียนได้ลาเพื่อเพิ่มพูนความรู้ทางวิชาการ อันทำให้ตำราเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และผู้เขียนตำราใคร่ขอบคุณต่ออาจารย์ ดร. สิทธิชัย สิริพัฒน์ไพบุลย์ ที่ช่วยเขียนเรื่องลึควิต โครมาโทกราฟีให้เป็นส่วนใหญ่ อาจารย์สุชาติ จูอนุวัฒนกุล อาจารย์พนวสันต์ เอี่ยมจันทน์ และนิสิตปริญญาโทอีกหลายท่าน ที่ได้ช่วยในการตรวจอักษร และความถูกต้อง ผู้เขียนไม่สามารถลืมหอบขอบคุณได้เลยต่อทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจ และสนับสนุนจนตำราเล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

รศ. แม้น อมรสิทธิ์

ผศ. ดร. อมร เพชรสม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
การเตรียมสารตัวอย่าง (Sample Preparation)	19
บทที่ 2 การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี (Spectroscopic Methods)	24
บรรณานุกรม	32
บทที่ 3 อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (Ultraviolet and Visible Spectroscopy)	33
3.1 สาเหตุของการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิล (UV-VIS Absorption)	34
3.2 การดูดกลืนแสงของสารอนินทรีย์ (Absorption by Inorganic Compounds)	41
3.3 หลักในการหาปริมาณของสารกับการวัดปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน	46
3.4 ข้อจำกัดในการใช้กฎของเบียร์ (Limitations or Deviations of Beer's Law)	50
3.5 ความผิดพลาด (errors) ของการวัดค่าแอบซอร์เบ้นซ์ หรือทรานสมิตเทนซ์ ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการดูดกลืนแสง	55
3.6 ขั้นตอนต่าง ๆ ของการวิเคราะห์โดยใช้ UV-VIS Spectrophotometric Techniques	57
3.7 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารอินทรีย์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี	62
3.8 การวิเคราะห์หาปริมาณของสารด้วยการใช้เทคนิคทางยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	63
3.9 การหาจำนวนลิแกนด์หรือไอออนที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนโดยการใช้เทคนิคทางสเปกโทรโฟโตเมตรี	67
3.10 การศึกษาหาสมดุลเคมีด้วยเทคนิคทางสเปกโทรโฟโตเมตรี	70
3.11 การทำโฟโตเมตริกไทเทรชัน (Photometric Titrations)	72
3.12 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	75
3.13 แบบต่าง ๆ ของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	95
บรรณานุกรม	107
บทที่ 4 อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy)	108
4.1 ตำแหน่งของ IR Absorption Bands	109
4.2 กระบวนการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (The Infrared Absorption Process)	110
4.3 แบบต่าง ๆ ของการสั่นและการงอ (Types of Vibration and Bending)	110
4.4 สมบัติของพันธะกับการดูดกลืนแสงอินฟราเรด	114
4.5 การสั่นคู่ควบ (Vibrational Coupling)	119
4.6 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (IR Spectrophotometer Components)	120

	หน้า	
4.7	แบบต่าง ๆ ของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	123
4.8	การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	128
4.9	การ Calibrate เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	137
4.10	การทำคุณภาพวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Qualitative Analysis by IR Spectroscopy)	139
4.11	การวิเคราะห์ตัวอย่างจากอินฟราเรดสเปกตรัม	149
4.12	การเก็บรวบรวมอินฟราเรดสเปกตรัม	182
4.13	การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยค้นหาเอกสารหรือข้อมูล	182
4.14	การทำปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis)	182
4.15	ลักษณะเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ บรรณานุกรม	188 192
บทที่ 5	รามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)	193
5.1	ทฤษฎีว่าด้วยรามานสเปกโทรสโกปี (Theory of Raman Spectroscopy)	193
5.2	เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman Spectrometer)	197
5.3	แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)	197
5.4	ชนิดของเลเซอร์	199
5.5	การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์	201
5.6	ประโยชน์ของการใช้เทคนิคทางรามานสเปกโทรสโกปี บรรณานุกรม	202 205
บทที่ 6	นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)	206
6.1	หลักการของนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี	206
6.2	NMR สเปกโตรมิเตอร์อย่างง่าย	210
6.3	Chemical Shift	211
6.4	สนามแม่เหล็กและความถี่	213
6.5	ทฤษฎี (Theory)	218
6.6	องค์ประกอบของเครื่อง NMR สเปกโตรมิเตอร์	220
6.7	ทิศทางของสนามแม่เหล็ก (B_0)	224
6.8	ความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กและกำลังแยกขยาย	224
6.9	Shim Coils	224
6.10	การหมุนสารตัวอย่าง และแบนด์ข้างเคียงที่เกิดจากการหมุน	225

	หน้า
6.11 ความเสถียรของแม่เหล็ก และ Field-Frequency Lock	225
6.12 Field Sweep และ Frequency Sweep-Continuous Wave NMR สเปกโทรมิเตอร์	226
6.13 ความถี่คลื่นวิทยุแบบ Pulsed-Fourier Transform NMR สเปกโทรสโกปี	226
6.14 ข้อดีของ Pulsed FT-NMR	227
6.15 เวลาและอัตราเร็วสม่ำเสมอของการให้ pulse	228
6.16 ความแรงของสัญญาณ	228
6.17 การเฉลี่ยสัญญาณ	228
6.18 การปรับปรุงความแรงของสัญญาณให้ดีขึ้น	228
6.19 สภาพไวในการวัดของ Multinuclear NMR	229
6.20 วงจรความถี่คลื่นวิทยุ	229
6.21 โปรตอน NMR สเปกตรัม	232
6.22 สภาพแวดล้อมทางเคมี และ Chemical Shift	233
6.23 ไดอะแมกเนติกชิลด์ดิ้งเฉพาะที่ (Local Diamagnetic Shielding)	234
6.24 การเกิดพันธะไฮโดรเจนและไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้	235
6.25 แมกเนติกแอนไอโซโทรปี (Magnetic Anisotropy)	236
6.26 กฎ Spin-Spin Splitting ($N + 1$)	239
6.27 ค่าคงที่ Coupling (J)	243
6.28 ทฤษฎีของ Spin-Spin Splitting	245
6.29 คาร์บอน-13 NMR (CMR)	248
6.30 การหาโครงสร้างต้นแบบ	255
6.31 ค่า Chemical Shift ของอัลเคน	256
6.32 ค่า Chemical Shift ของอัลคีน	257
6.33 ค่า Chemical Shift ของอัลคายน	258
6.34 ค่า Chemical Shift ของอะโรมาติกและเฮเทอโรไซคลิก	258
6.35 อิทธิพลของหมู่แทนที่ต่อค่า δ ของอัลเคน	258
6.36 อิทธิพลของหมู่แทนที่ต่อค่า δ ของอัลคีนและอะโรมาติก	261
6.37 ค่า Chemical Shift ของหมู่คาร์บอนิล	261
6.38 NMR สเปกตรัมในสถานะของแข็ง (Solid State NMR Spectra)	262
6.39 Magic Angle Spinning (MAS)	263
6.40 Dipolar Decoupling และ Cross Polarisation	264
6.41 การประยุกต์ของ NMR ในสถานะของแข็ง	264
6.42 เทคนิคในการวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง NMR สเปกโทรมิเตอร์	264

	หน้า
ภาคผนวก I	270
ภาคผนวก II แสดง ^1H NMR สเปกตรัมของตัวทำละลายต่าง ๆ และสิ่งเจือปน	293
ภาคผนวก III แสดง ^{13}C NMR สเปกตรัมของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด	305
บรรณานุกรม	321
บทที่ 7 อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)	322
7.1 หลักการของอะตอมมิกแอบซอร์พชัน (Principles of Atomic Absorption)	322
7.2 ความสัมพันธ์ของแอบซอร์เบ้นซ์กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง	327
7.3 เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AAS	328
7.4 องค์ประกอบที่สำคัญต่าง ๆ ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	329
7.5 การทำคุณภาพวิเคราะห์ด้วย AAS (Qualitative Analysis)	356
7.6 การทำปริมาณวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS (Quantitative Analysis)	357
7.7 การเลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมในการวิเคราะห์	359
7.8 ผลกระทบของสิ่งรบกวนต่อการวิเคราะห์ (Interference Effects)	361
7.9 Background Correction	364
7.10 ประโยชน์ของ AAS ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทางเคมี (Applications of AAS)	372
7.11 การแก้ปัญหาเมื่อเครื่องมือเกิดขัดข้อง (AA Fault Finding)	372
7.12 ปัญหาและการแก้ปัญหาในการใช้ Graphite Furnace	374
7.13 ปัญหาและข้อแนะนำในการปฏิบัติเมื่อใช้ Vapor Generation Techniques	376
บรรณานุกรม	379
บทที่ 8 อิมิสชันสเปกโทรสโกปี (Emission Spectroscopy)	386
8.1 หลักการและทฤษฎี (Principles and Theory)	386
8.2 แหล่งของการกระตุ้น (Excitation Sources)	390
8.3 ลักษณะขององค์ประกอบของเครื่อง Flame Emission Spectrophotometer	392
8.4 การแทรกสอด (Interferences)	393
8.5 เทคนิคการวิเคราะห์ (Analytical Techniques)	396
8.6 ลักษณะเฉพาะของ ICP	403
8.7 องค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง ICPS	404
8.8 วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ICPS	413
บรรณานุกรม	423

	หน้า
บทที่ 9	
เอกซ์-เรย์ สเปกโทรสโกปี (X-ray Spectroscopy) เอกซ์-เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์	424
สเปกโทรสโกปี (X-ray Fluorescence Spectroscopy)	
9.1 หลักการทั่วไปและการเกิดสเปกตรัมรังสีเอกซ์	425
9.2 ระบบต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตรังสีเอกซ์ (X-ray Productions)	426
9.3 การเกิด Auger Effect	431
9.4 สมบัติของรังสีเอกซ์ (Properties of X-rays)	432
9.5 ลักษณะขององค์ประกอบต่าง ๆ ของเครื่อง XRFS ชนิด Wavelength Dispersive System	436
9.6 หลอดรังสีเอกซ์ (X-ray Tube)	437
9.7 การเลือกหลอดรังสีเอกซ์	438
9.8 ฟิลเตอร์สำหรับลำแสงรังสีเอกซ์	439
9.9 คอลลิเมเตอร์ (Collimators)	439
9.10 บริเวณที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample Chamber)	439
9.11 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)	440
9.12 ประสิทธิภาพของการกระจายรังสีของผลึก (Dispersion Efficiency)	441
9.13 ระบบของบรรยากาศในสเปกโตรมิเตอร์	443
9.14 ดีเทคเตอร์ (Detectors)	444
9.15 ลักษณะและองค์ประกอบของเครื่อง XRFS ชนิด Energy Dispersive System	450
9.16 ลักษณะการจัดเครื่องมือในการวิเคราะห์โดยใช้ระบบ energy dispersion ที่ใช้สารกัมมันตรังสีเป็นแหล่งผลิตเอกซ์เรย์	451
9.17 สถิติกับการวัดรังสีเอกซ์ (Counting Statistics)	452
9.18 บทนิยามบางอย่างทางสถิติ	453
9.19 Random Distribution of X-rays	455
9.20 การเลือกวิธีวัดปริมาณรังสีเอกซ์	457
9.21 ขีดจำกัดของ Counting Error	459
9.22 Counting Error ในการหาความเข้มของรังสีเอกซ์	459
9.23 การเลือกเวลาวัดให้เหมาะสมที่สุด (Optimum Counting Time)	461
9.24 ผลของเมทริกซ์ (Matrix Effects)	462
9.25 การเตรียมสารตัวอย่าง (Sample Preparation)	468
9.26 เทคนิคการวิเคราะห์	474
9.27 การใช้เทคนิค XRFS ศึกษาหาความหนาของโลหะที่เคลือบหรือชุบ (Coating and Film-Thickness)	485

9.28 Electron Probe Microanalysis	486
บรรณานุกรม	494
บทที่ 10 การวามแสงและการเรืองแสงของโมเลกุล (Molecular Fluorescence and Phosphorescence)	499
10.1 ชนิดของการเปล่งแสง (Types of Luminescence)	499
10.2 หลักการของโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Principles of Photoluminescence)	500
10.3 แพลกเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อฟลูออเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์	503
10.4 การใช้ฟลูออเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์ให้เป็นประโยชน์ (Applications of Fluorescence and Phosphorescence)	513
10.5 เทคนิคต่าง ๆ ทางฟลูออโรเมตรีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของสารทางเคมี	513
10.6 ข้อจำกัดของเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ และฟอสฟอเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี (Limitations of Fluorescence and Phosphorescence)	536
10.7 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องฟลูออเรสเซนซ์และฟอสฟอเรสเซนซ์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	538
บรรณานุกรม	545
บทที่ 11 การวิเคราะห์ทางเคมีรังสี (Radiochemical Methods of Analysis)	546
11.1 องค์ประกอบของนิวเคลียส (Composition of Nucleus)	546
11.2 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive Decay)	550
11.3 การเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคและรังสีกับสสาร (Interaction of Radiation with Matter)	554
11.4 การเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร	554
11.5 การเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคที่มีมวลและมีประจุไฟฟ้ากับสสาร	557
11.6 การเกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอน (β^- , e^+) กับสสาร	558
11.7 การสะท้อนกลับ (Back Scattering) และการดูดกลืน (Absorption) ของรังสีบีตา	559
11.8 การเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคนิวตรอนกับสสาร	560
11.9 การวิเคราะห์เชิงกัมมันตภาพรังสี (Activation Analysis)	561
11.10 แหล่งผลิตนิวตรอน (Neutrons Sources)	596
11.11 นิวเคลียร์ดีเทคเตอร์ (Nuclear Detector)	600
11.12 หลักทางสถิติของการวัดกัมมันตภาพ (Statistical Considerations in Radioactivity Measurements)	614

11.13	การวิเคราะห์โดยใช้หลักการไอโซโทปไคลูชัน (Isotope Dilution Analysis, IDA)	621
11.14	Direct Isotope Dilution Analysis (Direct IDA)	622
11.15	Inverse หรือ Reverse IDA	624
11.16	Double IDA หรือ Double Direct IDA	627
11.17	Substoichiometric IDA	629
	บรรณานุกรม	631
บทที่ 12	แมสสเปกโตรเมตรี (Mass Spectrometry)	632
12.1	หลักการและทฤษฎีทางแมสสเปกโตรเมตรี	632
12.2	ไอออนที่มีประจุมากกว่าหนึ่ง	632
12.3	ไอโซโทป (Isotope)	637
12.4	เมตาสเทเบิลไอออน (Metastable Ions)	640
12.5	ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของไอออน	641
12.6	ความสามารถในการแยกพีคของแมสสเปกโตรม (Resolution = R)	642
12.7	รูปแบบการแตกตัวของไอออน	644
12.8	กฎของอีเล็กตรอนคู่ (The Even—Electron Rule)	646
12.9	ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกตัว	647
12.10	การแตกตัวเป็นส่วน ๆ ของสารประกอบชนิดต่าง ๆ	648
12.11	เครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์และองค์ประกอบ (Instrumentation of Mass Spectrometer)	686
	บรรณานุกรม	713
บทที่ 13	ลิควิดโครมาโทกราฟี (Liquid Chromatography)	714
13.1	หลักการขั้นพื้นฐานของลิควิดโครมาโทกราฟี (Basic Principles of Liquid Chromatography)	715
13.2	ทฤษฎีสัมพันธ์กับภาคปฏิบัติ (Theory Related to Practice)	720
13.3	เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ทางลิควิดโครมาโทกราฟี	729
13.4	ไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิควิด โครมาโทกราฟี (High Performance Liquid Chromatography, HPLC)	735
13.5	LC Columns	738
13.6	องค์ประกอบของเครื่อง HPLC (HPLC-System)	740
13.7	อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดความดัน (Pressure Monitoring Devices)	745

	หน้า
13.8 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำ Gradient Elution	745
13.9 Sample Introduction Devices	747
13.10 Microsampling Valve	747
13.11 เครื่องตรวจวัด (Detector)	748
13.12 การใช้ประโยชน์ของ Adsorption Chromatography	757
13.13 การใช้และประโยชน์ของ Partition Chromatography	762
13.14 การใช้และประโยชน์ของ Bonded Phases Chromatography	763
13.15 Ion-Exchange Chromatography	766
13.16 ไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatography, IC)	771
13.17 Size Exclusion Chromatography	773
13.18 การเลือกใช้และการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ทาง LC	778
13.19 การพัฒนาวิธีการแยกสารที่เฉพาะ	782
13.20 การทำคุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative Analysis)	785
13.21 การทำปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis)	787
13.22 เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาปริมาณของสารตัวอย่าง	789
บรรณานุกรม	810
บทที่ 14 แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC)	811
14.1 แก๊ส-ของแข็งโครมาโทกราฟี (Gas-Solid Chromatography หรือ GSC)	811
14.2 แก๊ส-ของเหลวโครมาโทกราฟี (Gas-Liquid Chromatography)	811
14.3 ทฤษฎีและกระบวนการแยกสารทางโครมาโทกราฟี	812
14.4 แก๊สพา (Carrier Gas)	823
14.5 ระบบของการใส่สารตัวอย่าง (Sample Inlet Systems)	825
14.6 คอลัมน์ (Columns)	829
14.7 เครื่องดีเทคเตอร์ (Detectors)	843
14.8 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี (Qualitative and Quantitative Analysis by GC)	860
บรรณานุกรม	882
ภาคผนวก I หน่วย (Units) สัญลักษณ์ (Symbols) และอุปสรรค (Prefixes)	883
ภาคผนวก II ค่าคงที่ที่สำคัญ และพบเสมอ ๆ	885