

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความสำคัญของการศึกษา

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันนี้ วิทยาการทางการแพทย์และสาธารณสุขจะก้าวหน้าไปมาก แต่ความเป็นพิษของอาหารซึ่งได้จากการปนเปื้อนสารเคมี โลหะหนัก ปรสิต เชื้อรา และเชื้อแบคทีเรีย ก็ยังเป็นภาวะที่พบได้บ่อยและสร้างปัญหาไม่น้อย ซึ่งเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของอาหารเป็นพิษที่พบบ่อยที่สุดได้แก่ *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Bacillus cereus*, *Enteropathogenic* และ *Escherichia coli* เป็นต้น

ส่วนสาเหตุการทำงานผิดปกติของสารประกอบเชิงซ้อนโลหะคู่ในร่างกายเกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซิสที่เกี่ยวข้องกับเมทัลโลเอนไซม์ หากการทำงานผิดปกติก็จะก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ ขึ้นได้ โรคที่อาจจะเกิดขึ้นได้นี้ได้แก่โรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ โดยที่โปรตีน ADAMs (A Disintegrin and Metalloproteinase) เป็นไกลโคโปรตีนที่พบในยูคาริโอต เป็นเอนไซม์ที่ออกฤทธิ์ที่ภาวะเป็นกลาง และอาศัยไอออนสังกะสีในการทำงาน ตลอดจนโรค Alzheimer และ Arthritis เป็นต้น สำหรับธาตุสังกะสีเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในเมทัลโลโปรตีนช่วยรักษารูปร่างของโปรตีนไว้ โดยทำงานในกระบวนการสำคัญของร่างกายหลากหลายกระบวนการ เช่น ทำงานเป็นเอนไซม์ที่ช่วยในกระบวนการเผาผลาญ การสร้างฮอร์โมนบางชนิด กระบวนการถอดรหัสสารพันธุกรรม ไปจนถึงการเก็บสะสมสารต่าง ๆ ที่ร่างกายต้องการ หากร่างกายปราศจากแร่ธาตุ เช่น สังกะสี เมทัลโลโปรตีนจะไม่ทำงาน ส่งผลให้เกิดภาวะภูมิคุ้มกันอ่อนแอ ทำให้เป็นโรคติดเชื้อง่าย รูปร่างแคระแกร็น เป็นต้น นอกจากนี้การทำงานผิดปกติของสารประกอบเชิงซ้อนโลหะคู่ในร่างกายก่อให้เกิดโรคกระดูกพรุน โรคทางเดินหายใจ และโรคจิต

มีคณะนักวิจัยหลายคณะที่ได้นำลิแกนด์และสารประกอบเชิงซ้อนของลิแกนด์ที่สังเคราะห์ได้ไปศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย และได้ศึกษาสมบัติในทางจลนศาสตร์ของเอนไซม์ ซึ่งโครงการวิจัยนี้จะคล้ายคลึงกับงานวิจัยของคณะผู้วิจัยอื่น ดังนี้

สารประกอบเชิงซ้อนของ Fe และ Co ที่มี norfloxacin (NFL) เป็นลิแกนด์ มีสูตรเคมีเป็น  $[M(NFL)_2(H_2O)_2]Cl_3 \cdot 6H_2O$  (เมื่อ  $M = Fe, Co$ ) และ  $[Zn(NFL)_2]Cl_3 \cdot 7H_2O$  พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนของ Fe(III) และ Zn(II) ให้ฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียชนิด *E. coli* และ *B. dysenteriae* ได้ดีกว่า norfloxacin (Gao และคณะ. 2008) และ Zn(II) ที่มี 4-methoxy-2-(5-(H/Me/Cl/NO<sub>2</sub>-1H-benzimidazol-2-yl)-phenols (HL<sub>x</sub>; x = 1-4) ได้นำลิแกนด์และสารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 4 ชนิด หากฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 9 ชนิด พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนทุกชนิด ยกเว้น  $[Zn(L_1)(H_2O)_2]NO_3$  และ HL<sub>4</sub> ให้ฤทธิ์การต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ได้ (Tavman และคณะ. 2008) ได้สังเคราะห์ Bis-5-benzoyl-1-[(2-hydroxy-5-methyl-benzylidene)-amino]-4-

phenyl-1H-pyrimidin-2-one (HL) และสารประกอบเชิงซ้อน Ni(II), Co(II), Fe(II) และ Cu(II) เพื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ATCC 6538, *S. aureus* ATCC 25923, *B. cereus* ATCC 7064, *C. krusei* ATCC 6258 และ *C. parapsilosis* ATCC 22019 พบว่า ทั้งลิแกนด์ HL และสารประกอบเชิงซ้อนของลิแกนด์ HL สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั้งในกลุ่มแกรมบวกและแกรมลบได้ อยู่ในช่วงความเข้มข้น 20-320  $\mu\text{g/mL}$  และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ได้อยู่ในช่วงความเข้มข้น 20-160  $\mu\text{g/mL}$  (Sönmez และคณะ. 2010) ได้สังเคราะห์ลิแกนด์ 2,3-bis(2-pyridyl)pyrazine(2,3-dpp) และสารประกอบเชิงซ้อน  $[\text{Ag}(2,3\text{-dpp})(\text{NO}_3)_2]$  (1) และ  $[\text{Cd}(2,3\text{-dpp})(\text{NO}_3)_2]$  (2) ไปศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli*, *B. cereus*, *S. typhi* และ *S. aureus* พบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียดังกล่าวได้ในระดับที่ต่ำ (Zhou และคณะ. 2010) สังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนของ Co(II), Ni(II), Fe(II), Mn(II) และ Zn(II) ที่มี quinoliny sulfonamides เป็นลิแกนด์ ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้น พบว่า สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* (Huang และคณะ. 2006) สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับ Uteroferrin ที่มี Fe(III)/Fe(II) เป็นโลหะคู่ พบว่ามีสีชมพูและมีสมบัติเป็นเมทัลโลเอนไซม์ (Guddat และคณะ. 1999 และ Twitchett และคณะ. 1999) สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กที่เกิดคล้ายกับสารดังกล่าว ได้แก่ สารประกอบเชิงซ้อนที่มี Fe(III)/Fe(II) ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Active site) ของโลหะเอนไซม์ชนิด Pig Purple Acid Phosphatase และนำ Mn(II), Ni(II), Cu(II) และ Zn(II) ไปแทนที่โลหะคู่ที่ตำแหน่ง Fe(II) ศึกษาการไฮโดรไลซ์กับฟอสเฟต (Twitchett และคณะ. 2002) นักวิจัยคณะอื่นได้สังเคราะห์  $(\text{Fe}_4(\mu\text{-btppnol})_2(\mu\text{-O})_2(\mu\text{-OAc})_2)(\text{BPh}_4)_2 \cdot \text{CH}_3\text{CN}(\text{H}_2\text{O})_{1/2}(\text{MeOH})_{1/2}$  ก็เพื่อใช้เป็นแบบจำลองสำหรับพอลิเมอร์ของเหล็กเอนไซม์ (Hom และคณะ. 2001) ตลอดจนมีนักวิจัยกลุ่มอื่นได้สังเคราะห์  $[\text{Fe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}(\text{BBPMP})(\mu\text{-OAc})_2]\text{ClO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{Fe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}(\text{BBPMP})(\mu\text{-OAc})(\mu\text{-OH})\text{ClO}_4$  เพื่อใช้เป็นแบบจำลอง Fe(III)/Fe(II) ทำหน้าที่เป็น active site ของ Purple Acid Phosphatases (Neves และคณะ. 1996) คณะวิจัยกลุ่มอื่นได้สังเคราะห์  $[\text{Fe}_2\text{O}(\text{L})_2(\text{H}_2\text{O})](\text{ClO}_4)_2$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}(\text{L})(\text{BzO})\text{ClO}_4$  (L= หมู่คาร์บอกซิลเลต) จำลองเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งเป็นต้นแบบของ active site ของโปรตีนในร่างกายมนุษย์ชนิดอะตอมเหล็กคู่ และสามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ไปได้ (Trukhan และคณะ. 2000) ได้สังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนโลหะคู่ Fe<sup>III</sup>/Zn<sup>II</sup> กับลิแกนด์ 2-bis{(2-pyridylmethyl)aminomethyl}-6-[2-hydroxy-benzyl(2-pyridylmethyl)]aminomethyl-4-methylphenol เพื่อนำมาศึกษาความเป็น active site (Smith และคณะ. 2008) ในทำนองเดียวกันมีสารประกอบตัวอื่นที่ทำหน้าที่เป็น active site ได้แก่  $[\text{Zn}_2(\text{HL})_2(\text{CH}_3\text{COO})](\text{PF}_6)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{Li}[\text{Zn}_2(\text{HL})_2](\text{PO}_4)_2(\text{PF}_6)_3 \cdot (\text{CH}_3\text{OH})$  (Rebecca และคณะ. 2008) มีสารประกอบเชิงซ้อนชนิดอื่น ๆ เช่น  $[\text{Cu}_2(\text{BPMP})(\text{OAc})_2](\text{ClO}_4)_x \cdot \text{H}_2\text{O}$  ซึ่งโลหะคู่ของทองแดง ได้ทำหน้าที่เป็น active site (เมื่อ HBPMP = 2,6-bis[bis(pyridin-2-ylmethylamino)methyl]-4-methylphenol) : (Smith และคณะ. 2008) และมีสารประกอบเชิงซ้อนโลหะคู่อื่น ๆ เช่น  $[\text{Fe}^{\text{III}}\text{Co}^{\text{II}}(\text{BPBPMP})(\mu\text{-OAc})_2](\text{ClO}_4)_2$  และ  $[\text{Ga}^{\text{III}}\text{Co}^{\text{II}}(\text{BPBPMP})(\mu\text{-OAc})_2](\text{ClO}_4)_2$  ซึ่งได้นำมาศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์กับซัสเตรตชนิด

bis(2,4-dinitrophenyl)phosphate พบว่าสารประกอบเชิงซ้อนทั้ง 2 ชนิดนี้ ทำหน้าที่เป็น active site ได้ (เมื่อ  $H_2BPBPMP$  คือ (2-bis[[(2-pyridyl-methyl)-aminomethyl]-6-[(2-hydroxy-benzyl)-(2-pyridyl-methyl)]-aminomethyl]-4-methylphenol) : (Xavier และคณะ. 2009) ตลอดจน Kantacha, A. และคณะ. 2011 ได้สังเคราะห์สารประกอบโคออร์ดิเนชันของเหล็ก  $[Fe_4(HPBA)_2(\mu-CH_3COO)_2(\mu-O)(\mu-OH)(OH)_2]ClO_4 \cdot 5H_2O$  พบว่า สารนี้ทำหน้าที่เป็น active site ของ Purple acid phosphatase (PAP) ได้และเป็นกะตะลิสต์ได้อย่างดี เมื่อใช้ 2,4-bis(dinitrophenylphosphate) เป็นซับสเตรท

จะเห็นได้ว่า สารประกอบเชิงซ้อน โลหะคู่ที่สังเคราะห์ขึ้นดังที่กล่าวมา ส่วนใหญ่มีโลหะคู่ชนิด  $Fe^{III}Fe^{II}$ ,  $Fe^{III}Zn^{II}$ ,  $Fe^{III}Co^{II}$ ,  $Ga^{III}Zn^{II}$  และ  $Ga^{III}Co^{II}$  เป็นบริเวณ active site ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาของโปรตีนได้ ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จะสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อน โลหะคู่ที่มีลิแกนด์เป็นแบบพอลิเดนเตท ซึ่งคาดว่าเป็นโลหะอนิไซม์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นเมทัลโลเอนไซม์ของโปรตีนได้ และจะนำลิแกนด์  $H_2L$  และสารประกอบเชิงซ้อนของ  $Fe(III)-Fe(II)L$  และ  $Fe(III)-Zn(II)L$  ไปศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ดังนั้นการวิจัยนี้จะได้นำสารที่สังเคราะห์ได้คือ  $H_2L$  และสารประกอบเชิงซ้อน  $Fe(III)-Fe(II)L$  และ  $Fe(III)-Zn(II)L$  ไปทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ

#### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์ลิแกนด์  $H_2L$  และสารประกอบเชิงซ้อน  $M_1M_2L$
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบเชิงซ้อน  $M_1M_2L$  และตรวจหาลักษณะโครงสร้างของสารประกอบโลหะเชิงซ้อน  $M_1M_2L$  ด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ  $H_2L$  และสารประกอบเชิงซ้อน  $M_1M_2L$  ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยวิธี Disc diffusion
4. เพื่อศึกษาฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสาร  $H_2L$  และ  $M_1M_2L$  (เมื่อ  $H_2L$  = ลิแกนด์ 2-[(Bis-pyridin-2-ylmethyl-amino)-methyl]-6-[(2-hydroxy-benzyl)-(4-imidazol-1-yl-butyl)-amino]-methyl]-4-methyl-phenol,  $L$  = ไอออนลบของลิแกนด์ 2-[(Bis-pyridin-2-ylmethyl-amino)-methyl]-6-[(2-hydroxy-benzyl)-(4-imidazol-1-yl-butyl)-amino]-methyl]-4-methyl-phenol และ  $M_1M_2 = Fe^{III}Fe^{II}$  และ  $Fe^{III}Zn^{II}$ )

#### ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยประกอบเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การสังเคราะห์  $H_2L$  โดยการทำให้ปฏิกิริยาดังนี้ สารตั้งต้น ซาลิซิลแอลดีไฮด์ ทำปฏิกิริยากับ 1-(3-อะมิโนโพรพิล)อิมิดาโซล ได้สารประกอบ 2-[(3-pyrazol-1-yl-propylamino)-methyl]-phenol (1) จากนั้นเตรียม 2,6-bis(chloromethyl)-4-methyl phenol (2) จากการทำให้ปฏิกิริยาระหว่าง 2,6-bis(hydroxymethyl)-4-methyl phenol และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น และเตรียม 2,2'-

Dipicolamine (3) จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง 2-(Aminomethyl)pyridine และ 2-Pyridine carboxaldehyde จากนั้นนำสารประกอบที่เตรียมได้ทั้งสามชนิดมาทำปฏิกิริยากันจะได้สารประกอบ 2-[(Bis-pyridin-2-ylmethyl-amino)-methyl]-6-[[2-(2-hydroxy-benzyl)-(4-imidazol-1-yl-butyl)-amino]-methyl]-4-methyl-phenol (H<sub>2</sub>L) ซึ่งเป็นลิแกนด์ที่ต้องการแล้วทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี ตลอดจนตรวจหา ลักษณะโครงสร้างของลิแกนด์ที่บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค NMR ส่วนที่ 2 การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อน M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>L โดยนำลิแกนด์ H<sub>2</sub>L มาทำปฏิกิริยากับเกลือของ M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>COONa และ NaClO<sub>4</sub> จะได้สารประกอบเชิงซ้อน M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>L (เมื่อ M<sub>1</sub>M<sub>2</sub> = Fe<sup>III</sup>Fe<sup>II</sup> และ Fe<sup>III</sup>Zn<sup>II</sup>) จากนั้นนำสารประกอบเชิงซ้อน M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>L ไปศึกษาสมบัติกายภาพ ทางเคมี และตรวจหาลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบเชิงซ้อนด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี เช่น IR, UV-Visible และ Mass Spectrophotometry และส่วนสุดท้ายศึกษาประสิทธิภาพของ H<sub>2</sub>L และสารประกอบเชิงซ้อน M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>L ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยวิธี Disc diffusion

#### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ลิแกนด์ หมายถึง อะตอม ไอออน หรือฟังก์ชันนัลกรุป (Functional group) ที่สามารถจะเชื่อมต่อกับ อะตอม หรือไอออนกลาง ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นโลหะด้วยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์
2. ลิแกนด์มอนอดেন্টเตต (Monodentate ligand) หมายถึง ลิแกนด์ที่เชื่อมต่อกับอะตอมกลางหนึ่งตำแหน่ง
3. ลิแกนด์พอลิเดนเตต (Polydentate ligand) หมายถึง โมเลกุลหรือไอออนลบที่สามารถเชื่อมต่อกับไอออนของโลหะได้หลายที่เพราะว่ามีคู่อิเล็กตรอนว่างอิสระมากกว่า 1 อะตอม
4. ลิแกนด์พอลิเดนเตต หมายถึง H<sub>2</sub>L = 2-[(Bis-pyridin-2-ylmethyl-amino)-methyl]-6-[[2-(2-hydroxy-benzyl)-(4-imidazol-1-yl-butyl)-amino]-methyl]-4-methyl-phenol
5. L หมายถึง ไอออนลบของลิแกนด์ 2-[(Bis-pyridin-2-ylmethyl-amino)-methyl]-6-[[2-(2-hydroxy-benzyl)-(4-imidazol-1-yl-butyl)-amino]-methyl]-4-methyl-phenol anion
6. M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>L (เมื่อ M<sub>1</sub>M<sub>2</sub> = Fe<sup>III</sup>Fe<sup>II</sup> และ Fe<sup>III</sup>Zn<sup>II</sup>)
7. สารประกอบเชิงซ้อน หมายถึง สารเชิงซ้อนหรือเกลือของสารเชิงซ้อน
8. แบคทีเรีย เป็นประเภทของสิ่งมีชีวิตประเภทหนึ่ง มีขนาดเล็ก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ส่วนใหญ่มีเซลล์เดี่ยว และมีโครงสร้างเซลล์ที่ไม่ซับซ้อนมาก
9. การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย หมายถึง หยุด หรือตรวจสอบการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

10. การตรวจหาลักษณะโครงสร้างของสารด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี หมายถึง ใช้เทคนิคอินฟราเรด (IR), อัลตราไวโอเลต และวิสิเบิล สเปกโทรสโกปี (UV-Vis) และแมสสเปกโตรเมตรี (MS) เพื่อยืนยันลักษณะโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนที่สังเคราะห์ได้

#### 11. เทคนิคทางสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy Technique)

ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) เทคนิคทางด้านอินฟราเรด สเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบเกี่ยวกับ โมเลกุลของสาร โดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับการสั่นของโมเลกุลแสงอินฟราเรดช่วงกลาง (2.5-25 ไมโครเมตร) มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุลของสารเมื่อสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่พอเหมาะจะเกิดการสั่นของโมเลกุลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole Moment) ของโมเลกุลทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้ววัดแสงที่ส่งผ่านออกมาแสดงผลเป็นความสัมพันธ์ของความถี่หรือ Wavenumber กับค่าการส่งผ่านของแสง (%T) เรียกว่า IR สเปกตรัมลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะ โมเลกุลของสารจึงสามารถดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ที่ความถี่ต่างกันขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะและน้ำหนักของอะตอมของหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลนั้น ๆ (Thumanu และคณะ. 2009)

#### 12. พันธะโคออร์ดิเนชัน (Coordination bond)

พันธะโคออร์ดิเนชัน หมายถึง พันธะระหว่างลิแกนด์กับโลหะอะตอมกลาง โดยที่ลิแกนด์จะใช้คู่อิเล็กตรอนสร้างพันธะกับโลหะ พันธะโคออร์ดิเนชันจัดเป็นพันธะโคเวเลนต์ เพราะใช้อิเล็กตรอนร่วมกันในการสร้างพันธะแต่ละอะตอมที่มีสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนสูงกว่าหรือมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากกว่าจะใช้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวแก่อะตอมที่มีสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนต่ำกว่า แล้วอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวไปแสดงประจุบวก (Esmarch, S. G.1958 : 232)

#### 13. ยูวี - วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สาร โดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต (UV) และไวโอเลต (Vis) ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 190-1000 nm ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น สามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลาย

#### 14. แมสสเปกโตรเมตรี (Mass spectrometry)

คือ การวิเคราะห์ผลสัดส่วนมวลต่อประจุ ( $m/z$ ) ของอนุภาคที่มีประจุใช้เพื่อระบุมวลของอนุภาค ส่วนประกอบของธาตุในสารประกอบตัวอย่างหรือในโมเลกุล และเพื่อแสดงถึงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุล