บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารกำหนดปริมาณ

สารกำหนดปริมาณ (Limiting reagent) เป็นตัวกำหนดว่าจะเกิดผลิตภัณฑ์ตามปฏิกิริยาเคมีนั้นได้มากที่สุดเท่าใด หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าปริมาณผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของสารกำหนดปริมาณ ซึ่งถ้าสารตั้งต้นมีปริมาณที่ไม่พอดีกัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสิ้นสุดเมื่อสารใดสารหนึ่งหมดและสารที่หมดก่อนจะเป็นตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ สารตั้งต้นที่เป็นตัวกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นนี้มีชื่อเรียกว่า “สารกำหนดปริมาณ” ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยา $2A(g) + B(g) \longrightarrow 2C$ แสดงให้ทราบว่า A 2 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ B 1 โมล เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ C 2 โมล สารที่ทำปฏิกิริยาหมดไปก่อนจะทำให้ปฏิกิริยาหยุดทันที และเป็นสารกำหนดปริมาณ

วิธีตรวจสอบว่าสารตั้งต้นชนิดใดเป็นสารกำหนดปริมาณสามารถตรวจสอบได้จากสมการของปฏิกิริยาเคมีที่ดุลสมการแล้วเทียบสัดส่วนโมล ตัวอย่างปฏิกิริยา ดังนี้

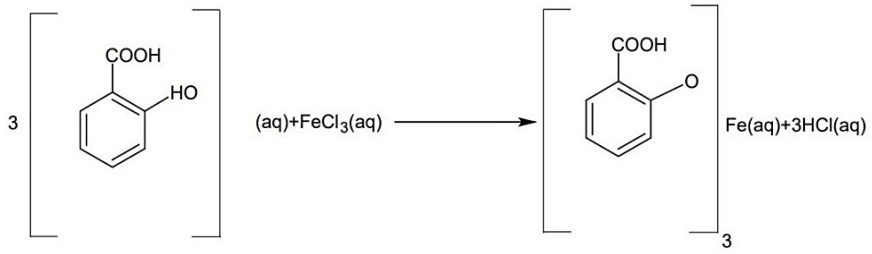
$$Ba(NO_3)_2\,(aq) + K_2SO_4\,(aq) \longrightarrow BaSO_4\,(s) + 2KNO_3\,(aq)$$

กำหนดให้ $Ba(NO_3)_2$ เท่ากับ 0.383 โมล K_2SO_4 เท่ากับ 0.575 โมล หาสารกำหนดปริมาณโดยหาจำนวนโมลของสารตั้งต้นจากปริมาณที่โจทย์กำหนดแล้วจึงนำไปหารจำนวนโมลด้วยจำนวนโมลจากปฏิกิริยาที่ดุลแล้ว โดยที่สารใดได้ตัวเลขน้อยสุดเป็นสารกำหนดปริมาณ ดังนั้นสารกำหนดปริมาณของปฏิกิริยานี้คือ $Ba(NO_3)_2$

ปฏิกิริยาเคมีซึ่งจะนำมาเป็นตัวทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดค่าสีอย่างง่ายที่พัฒนาขึ้น โดยทดสอบเกี่ยวกับสารกำหนดปริมาณและปริมาณสารสัมพันธ์ของปฏิกิริยาเคมีให้สี 3 ชนิด ได้แก่

1. ปฏิกิริยาระหว่างกรดซาลิไซลิกกับไอร์ออน (III) คลอไรด์

กรดซาลิไซลิกเป็นกรดอินทรีย์ ที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ เมื่อทำปฏิกิริยากับไอร์ออน (III) คลอไรด์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีม่วง ดังสมการ (1)



(1)

2. ปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน (III) คลอไรด์และโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต

สารละลายไอร์ออน (III) ไอออน (เจือจาง) มีสีเหลืองอ่อนจนเกือบใสไม่มีสี เมื่อทำปฏิกิริยากับไทโอไซยาเนตไอออน ซึ่งเป็นสารละลายใสไม่มีสี เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นสารละลายสีแดงของไอร์-ออน (II) ไทโอไซยาเนต ดังสมการ (2)

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^{-}(aq) \rightarrow [FeSCN]^{2+}(aq) \quad (2)$$

สีแดง

3. ปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียมซัลเฟตและโครเมียม (III) ไนเตรต

โครเมียม (III) ไอออน ทำปฏิกิริยากับซัลเฟตไอออน ได้สารละลายสีน้ำเงิน และเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อน เกิดจากการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (Ligand) อย่างช้า ๆ โดยโมเลกุลของน้ำจะถูกแทนที่ด้วยซัลเฟตไอออน เมื่อทิ้งไว้ให้เย็น สีเขียวของสารละลายจะยังคงอยู่และไม่เกิดการตกตะกอน ดังสมการ (3)

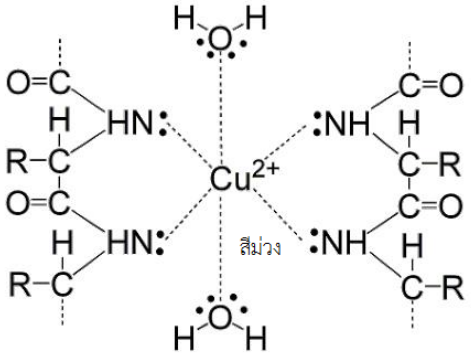
$$Cr(H_2O)^{3+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightarrow [Cr(H_2O)_5SO_4]^{+}(aq) + H_2O(l) \quad (3)$$

สีเขียว

การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนด้วยวิธีไบยูเรต

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีไบยูเรต (Biuret's method) วิธีลาวรี่ (Lowry's method) วิธีแบรดฟอร์ด (Bradford's method) และวิธีบีซีเอ (Bicinochoninic acid method) หรือการวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวี ซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีไบยูเรต โดยมีหลักการคือ สารที่มีพันธะเพปไทด์ในโมเลกุลตั้งแต่สองพันธะขึ้นไปสามารถทดสอบได้ด้วยสารละลายไบยูเรต หรือ คอปเปอร์ (II) ซัลเฟตในสารละลายเบส ซึ่งไอออน Cu^{2+} ในสารละลายไบยูเรตจะสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์กับอะตอมของไนโตรเจนที่ตำแหน่งพันธะเพปไทด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารเชิงซ้อนที่มีสีม่วง ดังสมการ (4) ทั้งนี้ความเข้มของสีม่วงที่ได้จะสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนในสารละลาย โดยหากได้สารละลายสีม่วงเข้ม แสดงว่ามีโปรตีนมาก แต่หากได้สารละลายสีม่วงจาง แสดงว่ามีปริมาณโปรตีนน้อย

โปรตีน + Cu^{2+} →



(4)

การวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีด้วยวิธีไอโอโดเมตรี

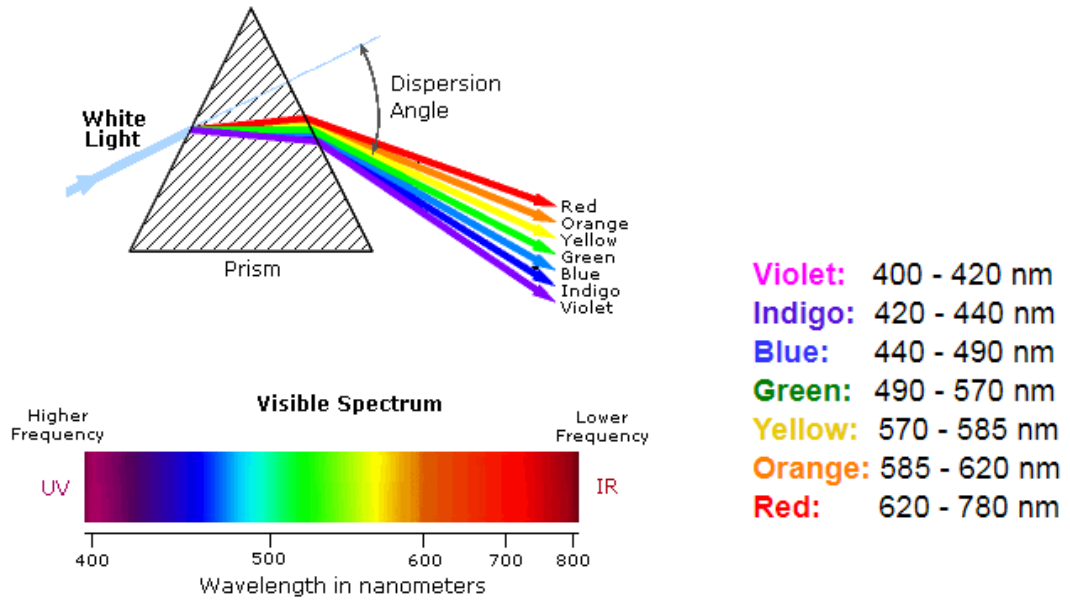
การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี (Ascorbic acid) ด้วยวิธีไอโอไดเมตรี อาศัยการทำปฏิกิริยาโดยตรงระหว่าง สารละลายไอโอดีนกับวิตามินซี ดังสมการ (5) โดยในการทดลองจะออกแบบให้วิตามินซีเป็นสารกำหนดปริมาณ ไอโอดีนที่เหลือจากปฏิกิริยาจะทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน ดังสมการ (6) โดยหากในตัวอย่างมีวิตามินซีมาก ไอโอดีนที่เหลือมีน้อย จะเกิดสีน้ำเงินจาง แต่ถ้าในตัวอย่างมีวิตามินซีน้อย ไอโอดีนเหลือมาก จะเกิดสีน้ำเงินเข้ม ด้วยหลักการนี้จะสามารถนำมาวิเคราะห์หาปริมาณวิตามีนซีในตัวอย่างได้

$$\underset{\text{Ascorbic acid}}{C_6H_8O_6} + \underset{\text{Iodine}}{I_2} \rightarrow C_6H_6O_6 + 2I^- + 2H^+ \qquad (5)$$

$$I_2 \text{ (ที่เหลือ)} + \text{น้ำแป้ง} \rightarrow \text{สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน} \qquad (6)$$

ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงและสี

แสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงขาวเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-800 nm สามารถแยกออกเป็นแสง 7 สีได้โดยการส่งผ่านแสงอาทิตย์ไปยังปริซึม ซึ่งทำให้แสงหักงอในองศาที่แตกต่างกันและแยกออกจากกันได้สีทั้ง 7 สี ได้แก่ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง โดยสีม่วงจะมีพลังงานสูงที่สุด (ความยาวคลื่นสั้น) และพลังงานจะลดลงเรื่อย ๆ เป็นลำดับ จนกระทั่งสีแดงที่มีพลังงานต่ำที่สุด (ความยาวคลื่นยาว) ดังภาพที่ 2.1

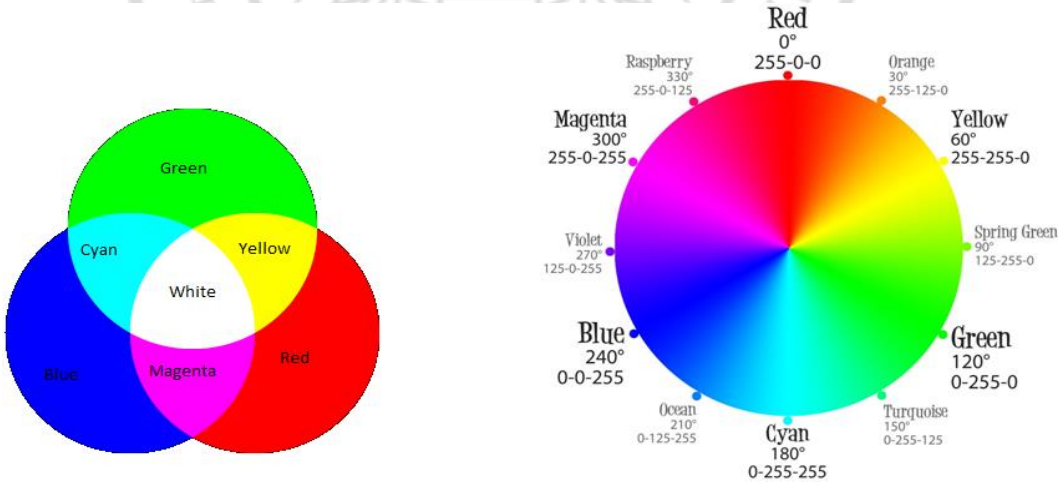


ภาพที่ 2.1 แสงอาทิตย์ถูกแยกเป็นแสง 7 สีโดยใช้ปริซึม

ที่มา : (Reusch, 2013)

ระบบสีอาร์จีบี

ทฤษฎีของแสงขาวที่ถูกแยกออกมาเป็นแสง 7 สี แสงสีทั้งหมดเกิดจากแม่สีหลักของแสง 3 สี ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) จึงเป็นที่มาของระบบค่าสี อาร์จีบี (Red-green-blue color system; RGB) เมื่อนำแม่สีมาฉายแสงให้ผสมกันจะทำให้เกิดสีใหม่ อีก 3 โทนสี เช่น สีแดง+สีน้ำเงินได้สีม่วง สีน้ำเงิน+สีเขียวได้สีฟ้า และสีเขียว+สีแดงได้สีเหลืองส้ม และถ้าฉายแสงสีทั้งหมดรวมกันจะได้แสงสีขาว ดังภาพที่ 2.3 (ซ้าย) การระบุค่าความเข้มสีหรือเรียกว่า “ค่าสี” ในระบบสีอาร์จีบีใช้ค่าตัวเลขตั้งแต่ 0-255 เป็นค่าประจำสี แต่ละสี เพื่อผสมสีทั้งสาม โดยระบุค่าสีเป็นชุดตัวเลข 3 ตัวเรียงกัน เช่น สีแดง (255, 0, 0) สีเขียว (0, 255, 0) สีน้ำเงิน (0, 0, 255) การผสมสีทั้งสามในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จะทำให้เกิดสีต่าง ๆ ได้มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตามนุษย์มองเห็นได้โดยปกติ ดังภาพที่ 2.3(ขวา) จากสมบัติของแสงนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการฉายภาพยนตร์ การบันทึกภาพวิดีโอ ภาพโทรทัศน์ การสร้างภาพเพื่อการนำเสนอทางจอคอมพิวเตอร์ การจัดแสงสีในการแสดง รวมถึงนำมาใช้วิเคราะห์ทางเคมีโดยการถ่ายภาพของตัวอย่างด้วยกล้องสมาร์ทโฟนหรือกล้องดิจิทัล แล้ววัดค่าความเข้มของสี RGB ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณค่าการดูดกลืนแสงที่สัมพันธ์กับปริมาณสารได้ ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถผลิตกล้องสมาร์ทโฟนหรือกล้องดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง จึงสามารถถ่ายภาพได้เสมือนจริง และวัดค่าสีออกมาได้อย่างถูกต้อง ทำให้การใช้กล้องสมาร์ทโฟนหรือ กล้องดิจิทัลเป็นอุปกรณ์อย่างง่ายในการวิเคราะห์ปริมาณสารมีความถูกต้องและแม่นยำให้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรมิเตอร์



ภาพที่ 2.2 ระบบสีอาร์จีบี (ซ้าย) และการผสมสีตามระบบสีอาร์จีบี (ขวา)
ที่มา : (Hernandez, 2022)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความยากในการสร้างอุปกรณ์อย่างง่ายอยู่ที่การออกแบบกล่องควบคุมแสงให้มีความสม่ำเสมอและไม่มีเงาสะท้อนภายในกล่อง ตลอดจนต้องทดสอบความแม่นยำ โดยทดลองวัดค่าสีซ้ำ ๆ กับตัวอย่างเดิม เพื่อปรับแต่งกล่องเครื่องมือให้มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด การใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพก็มีความสำคัญเพราะถ้าใช้กล้องที่มีความละเอียดต่ำเกินไป (โดยปกติน้อยกว่า 2 ล้านพิกเซล) การแยกสีที่วิเคราะห์ออกมาจะให้ความคลาดเคลื่อนสูง และมีค่าความไวในการวิเคราะห์ต่ำ กล้องสมาร์ทโฟนยังมีจุดเด่นกว่ากล้องดิจิทัลตรงที่มีระบบประมวลผลภายในตัว สามารถเขียนโปรแกรม เช่น ใช้ ภาษา Java (เฉพาะระบบแอนดรอยด์เท่านั้น) วิเคราะห์ค่าสีของภาพที่ถ่าย แล้วสร้างกราฟมาตรฐาน ที่แสดงผลการวิเคราะห์ได้ทันทีที่หน้าจอของสมาร์ทโฟน โดยไม่ต้องย้ายไฟล์ภาพให้ยุ่งยาก แต่กล้องสมาร์ทโฟนก็มีข้อด้อยกว่ากล้องดิจิทัลตรงที่ไม่สามารถปรับความไวของชัตเตอร์ให้น้อยลงได้ (ปรับค่าไม่ได้) ทำให้เมื่อใช้กล้องสมาร์ทโฟนถ่ายภาพภายใต้แสงที่สว่างมาก ๆ จะเกิดเป็นรูปคลื่นรบกวน แต่หากใช้กล้องดิจิทัลถ่ายที่สภาวะแสงเดียวกันและปรับความไวของชัตเตอร์ให้ต่ำลงจะสามารถถ่ายภาพนั้นได้อย่างชัดเจน แต่มีความยุ่งยาก ต้องย้ายไฟล์ภาพไปวิเคราะห์ค่าสีด้วยคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟนอีกต่อหนึ่ง

การวัดสีของภาพถ่ายตัวอย่างด้วยระบบค่าสีอาร์จีบี ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม ยา ปิโตรเคมี อุตสาหกรรมอาหาร และทางการเกษตร ประกอบกับข้อดีของอุปกรณ์อย่างง่ายที่พกพาสะดวก สามารถนำไปวิเคราะห์สารนอกห้องปฏิบัติการได้ อีกทั้งยังมีต้นทุนการสร้างต่ำ ทำให้มีผู้พัฒนาวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างต่าง ๆ ด้วยด้วยอุปกรณ์อย่างง่ายร่วมกับการถ่ายภาพระบบดิจิทัล แสดงดังตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างต่าง ๆ ด้วยด้วยอุปกรณ์ถ่ายภาพระบบดิจิทัล

เทคนิค/อุปกรณ์	สาร/ปฏิกิริยาที่วิเคราะห์	ตัวอย่าง	เอกสารอ้างอิง
กล้องดิจิทัล	โครเมียม(VI) และเหล็ก(III)	น้ำ	Firdaus *et al*., 2014 : 298-304
กล้องดิจิทัล	ซัลไฟด์	น้ำ	Ariza-Avidad *et al*., 2015 : 55-62
กล้องสมาร์ทโฟน	ฟอสฟอรัส	ดิน	Moonrungsee[1] *et al*., 2015 : 204-209
กล้องดิจิทัล	ไททาเนียม	พลาสติก	Lopez-Molinero *et al*., 2015 : 380-385
กล้องสมาร์ทโฟน	เหล็ก	ตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์	Moonrungsee[2] *et al*., 2016 : 401-409
กล้องสมาร์ทโฟน	ฟอร์มัลดีไฮด์	อากาศ	Yang, *et al*., 2016 : 48-54

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กล้องดิจิทัล	การยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส	สละ	Moonrungsee[3] *et al*., 2018 : 2729-2736
กล้องสมาร์ทโฟน	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	น้ำ	Lertvachirapaiboon *et al*., 2019 : 1939-1950
กล้องสมาร์ทโฟน	ทองแดง	ตัวเร่งปฏิกิริยาซิลิกา	Moonrungsee[4] *et al*., 2020 : 200-207
กล้องสมาร์ทโฟน	ค่าไอโอดีน	น้ำมันพืช	Peamaroon *et al*., 2021 : 379-386

จากตารางที่ 2.1 ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากการถ่ายภาพดิจิทัลสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณในตัวอย่างที่หลากหลาย ซึ่งผลการทดลองนั้นมีความถูกต้องและแม่นยำเมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐาน อีกทั้งวิธีที่พัฒนาขึ้นมายังช่วยลดขนาดของเครื่องมือ ราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องมือขั้นสูง มีความง่าย และสะดวกต่อการวิเคราะห์ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนา อุปกรณ์วัดค่าสีอย่างง่ายร่วมกับสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการต่าง ๆ สำหรับงานวิเคราะห์ทางเคมี โดยอุปกรณ์อย่างง่ายที่ได้จะให้ความถูกต้อง แม่นยำ เทียบเท่ากับวิธีมาตรฐาน และจะเน้นให้มีการใช้งานที่ง่ายทั้งในห้องปฏิบัติและการนำออกไปใช้ในภาคสนาม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี