

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและแนวคิดต่างๆ

1. การวิเคราะห์โดยอาศัยการไหล (Flow - Based Analysis, FBA)

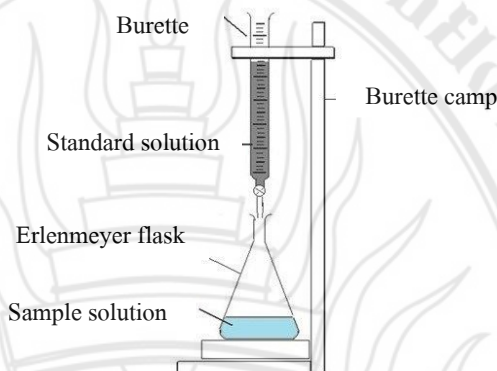
หลักการวิเคราะห์โดยอาศัยการไหล หรือเทคนิค FBA เป็นวิธีการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องวิธีหนึ่ง โดยอาศัยหลักการพื้นฐานการฉีดสารตัวอย่างปริมาณน้อย ๆ เข้าไปในกระแสตัวพา (Carrier) ซึ่งอาจเป็นรีเอเจนต์ (Reagent) หรือตัวทำละลายที่ไหลอย่างต่อเนื่องภายในระบบท่อพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาดเล็กโดยปราศจากฟองอากาศคั้น

อัตราการไหลของสารเคมีจะคงที่ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยใช้เครื่องสูบล้างซึ่งเรียกว่า ปัมเปอริสตาลติก สารตัวอย่างจะเข้าผสมกับกระแสตัวพา ซึ่งระดับของการผสมกัน (Degree of mixing) จะถูกควบคุมโดยการแพร่กระจาย (Dispersion controlled process) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ของระบบ เช่น ขนาดและความยาวของท่อเล็ก ๆ อัตราการไหลของตัวพาปริมาตรของสารตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดที่ใช้พื้นที่ผสมและรูปร่างลักษณะของมิกซิงพาร์ท (Mixing part) แบบต่าง ๆ เป็นต้น แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เช่น เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงสี การเปลี่ยน pH และกระแสไฟฟ้า เป็นต้น กระแสตัวพาจะพาเอาผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดเป็นช่วงตัวอย่าง แพร่ไหลไปตามท่อจนกระทั่งไหลเข้าสู่โพลเซลล์ เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องตรวจวัด ซึ่งจะเป็นชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและธรรมชาติของสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือวิธีการวิเคราะห์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับระบบ FIA การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นที่เครื่องตรวจวัดอาจบันทึกได้โดยใช้เครื่องบันทึกสัญญาณ (Recorder) หรือคอมพิวเตอร์ สัญญาณของสารละลายมาตรฐานและสารตัวอย่างสามารถวัดได้จากความสูงของพีค (Peak height) ความกว้างของพีค (Peak width) พื้นที่ใต้พีค (Peak area) หรือพีคต่อพีค (Peak to Peak) เป็นต้น ส่วนปริมาณหรือความเข้มข้นของสารตัวอย่างหาได้โดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐานที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยทำการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน (เจนจิรา จันทร์หล้า, 2559)

2. การไทเทรต (Titration)

การไทเทรต เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณของสารที่ไม่ทราบความเข้มข้น (Unknown) ด้วยการวัดปริมาตรของสารละลาย ซึ่งปริมาตรของสารละลายจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสาร โดยทำปฏิกิริยากับสารที่ทราบปริมาณหรือความเข้มข้นที่แน่นอน สารที่ไม่ทราบความเข้มข้นจะบรรจุใน

ขวดรูปชมพู่เรียกว่าไทเทรนต์ (Titrand) ส่วนสารที่ทราบความเข้มข้นแล้วหรือเรียกว่าสารมาตรฐาน จะถูกบรรจุในบิวเรตต์ เรียกว่าไทเทรนต์ (Titrant)



ภาพที่ 2.1 การไทเทรตสารละลายมาตรฐาน

ที่มา: ฌบภษ พิมพดี. (2560)

สำหรับการไทเทรตทุกชนิด จุดที่สารที่นำมาไทเทรตทำปฏิกิริยากันพอดี เรียกว่าจุดสมมูลหรือจุดสะเทิน (Equivalence Point) ส่วนจุดที่อินดิเคเตอร์ (Indicator) เปลี่ยนสีเรียกว่าจุดยุติ (End Point) ซึ่งเป็นจุดที่จะยุติการไทเทรต (ฌบภษ พิมพดี, 2560)

2.1 การไทเทรตกรด-เบส (Acid – Base titration)

สำหรับวิธีการไทเทรตกรด-เบส จะนำสารละลายกรดหรือเบสตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณ มาทำการไทเทรตกับสารละลายเบสหรือกรดมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอน กล่าวคือ ถ้าสารละลายตัวอย่างเป็นสารละลายกรด ก็ต้องใช้สารละลายมาตรฐานเป็นเบส นำมาทำการไทเทรต เช่น NaOH, LiOH, Ba(OH)₂ และ Sr(OH)₂ เป็นต้น หรือทางตรงกันข้าม ถ้าใช้สารละลายตัวอย่างเป็นเบส ก็ต้องใช้สารละลายมาตรฐานเป็นกรดตัวอย่าง เช่น HCl, HBr, H₂SO₄ และ HNO₃ เป็นต้น (สรวุฒิ สมนาม, 2557)

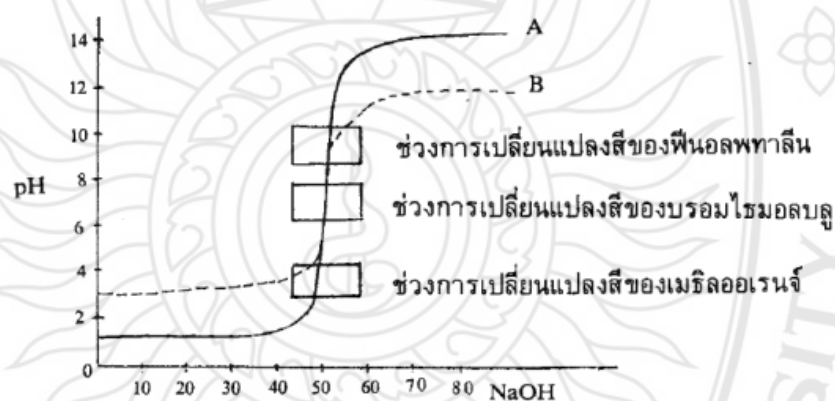
2.2 การไทเทรตแบบย้อนกลับ (Back titration)

เป็นวิธีหาความเข้มข้นที่ไม่ทราบค่า โดยให้สารตั้งต้นดังกล่าวทำปฏิกิริยากับสารที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนและมีปริมาณมากเกินไปซึ่งหลังจากการเกิดปฏิกิริยาในสารละลายจะเหลือสารที่ทราบความเข้มข้นในขณะที่สารตั้งต้นจะเกิดปฏิกิริยาจนหมด

จากนั้นนำสารละลายผสมดังกล่าวมาไทเทรตกับสารที่ทราบความเข้มข้นอีกหนึ่งตัวเพื่อหาปริมาณสารที่ทราบความเข้มข้นชนิดแรกที่เหลือจึงสามารถคำนวณย้อนกลับไปหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้ (สรวุฒิ สมนาม, 2557)

2.3 อินดิเคเตอร์ (Indicator)

อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับการไทเทรตกรด-เบส จะต้องมียุคค่า pH ที่จุดกึ่งกลางช่วงการเปลี่ยนสีใกล้เคียงหรือเท่ากับ pH ที่จุดสมมูลของปฏิกิริยา นอกจากนี้การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ กรด-เบส ต้องพิจารณาสีที่ปรากฏ ให้มีความเข้มมากพอที่จะมองเห็นได้ง่าย หรือเห็นการเปลี่ยนสีได้ชัดเจน ตัวอย่างเช่น การไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่ pH ของสารละลายเมื่อถึงจุดสมมูลมีค่าใกล้เคียง 7 จึงควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ 7 เช่น โบรโมไทมอลบลู หรือ ฟีนอล์ฟทาลีน เป็นต้น อินดิเคเตอร์ที่จะเลือกใช้ ในการพิจารณาเลือกอินดิเคเตอร์สามารถแบ่งออกตามชนิดของปฏิกิริยาดังนี้



ก. อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสแก่

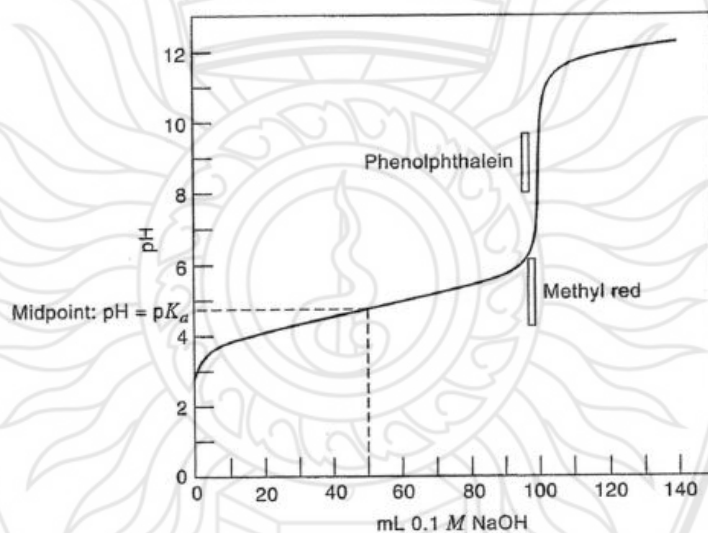
ภาพที่ 2.2 กราฟของการไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่

ที่มา: ชูติมา ศรีวิบูลย์. (2533, 531)

จากกราฟ จะเห็นว่าค่า pH เปลี่ยนแปลงรวดเร็วในช่วง pH 4-10 ดังนั้นอินดิเคเตอร์ที่ใช้ควรมีช่วง pH ของการเปลี่ยนแปลงสีที่จุดยุติ ระหว่าง 4 ถึง 10 ซึ่งอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม ได้แก่ เมทิลเรด (4.4-6.2) โบรโมไทมอลบลู (6.0-7.5) และฟีนอล์ฟทาลีน (8.2-10.0)

ข. อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่

การเลือกอินดิเคเตอร์สำหรับการไทเทรตกรดอ่อน เช่น กรดแอสติก กับเบสแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะมีข้อจำกัดมากกว่าที่จุดสมมูลของการไทเทรต สารละลายจะมีโซเดียมแอสเตต ทำให้สารละลายเป็นเบส มี pH มากกว่า 7 ดังรูป 2.3

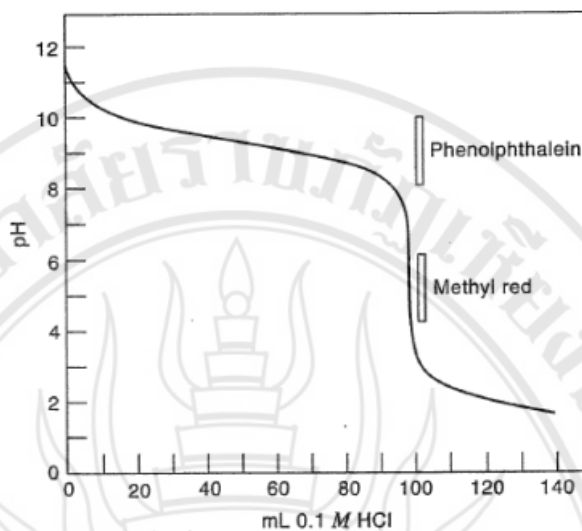


ภาพที่ 2.3 กราฟการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่

ที่มา: Christian (2004, 273)

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมทิลเรด จะเปลี่ยนสีก่อนจุดสมมูลจึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับการไทเทรตกรดอ่อนกับเบสแก่ ในขณะที่ฟีนอล์ฟทาลีนเปลี่ยนสีที่ช่วงจุดสมมูลพอดี ส่วนโบรโมไทมอลบลู อาจจะใช้เป็นอินดิเคเตอร์ได้ดีเมื่อใช้สีมาตรฐานเทียบ

ค. อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน



ภาพที่ 2.4 กราฟการไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน

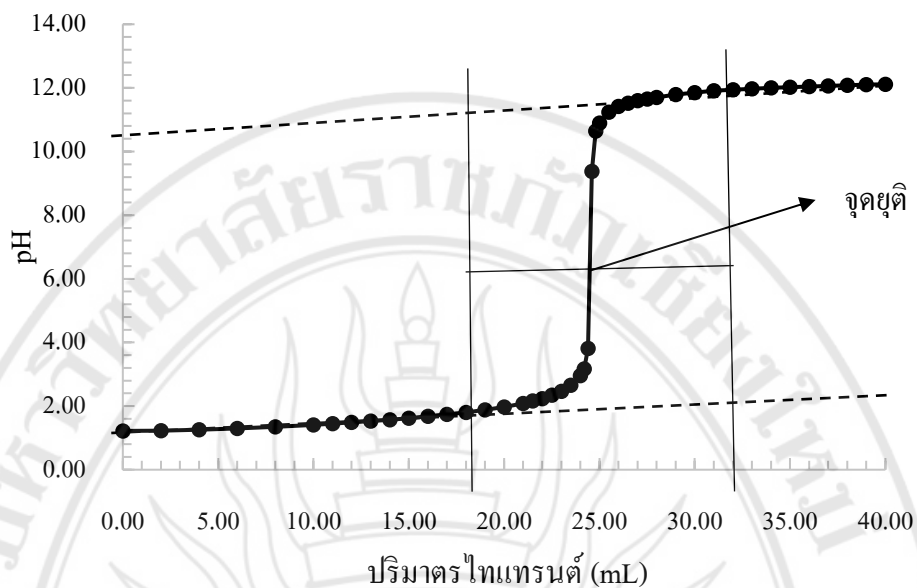
ที่มา: Christian (2004, 278)

จากกราฟของการไทเทรตหากพิจารณาช่วง pH 3-7.5 ในการเลือกอินดิเคเตอร์ ซึ่งอาจใช้โบรมไทมอลบลูหรือเมทิลเรดได้ แต่ไม่ควรใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเพราะช่วง pH ของฟีนอล์ฟทาลีนมากกว่า 7 ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการบอกจุดสมมูล

2.4 การหาจุดสมมูลจากกราฟการไทเทรต (pH meter)

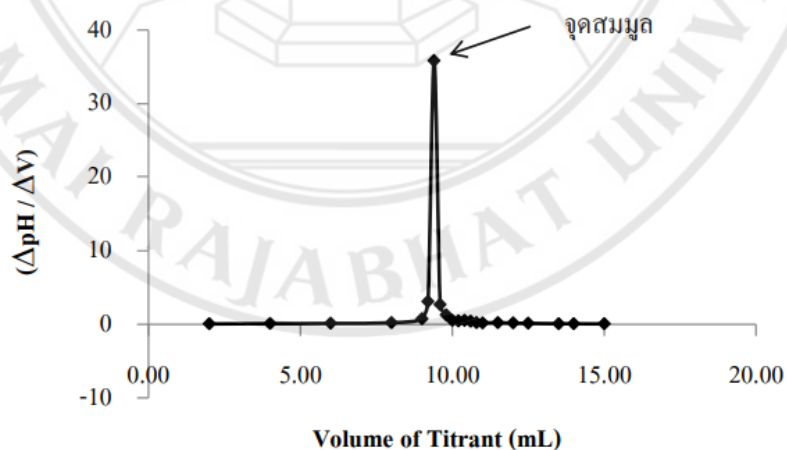
ก. กราฟการไทเทรตปกติ (Titration curves) โดยทั่วไปการหาจุดยุติจากการไทเทรตนิยมหาจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ แต่จุดยุติสามารถหาจากกราฟการไทเทรตได้ด้วยเช่นกัน ดังตัวอย่างขั้นตอนการหาจุดยุติจากกราฟการไทเทรตในปฏิกิริยากกรด-เบส (สราวุฒิ สมนาม, 2557) ดังรูป 2.5 มีขั้นตอนดังนี้

1. ลากเส้นต่อกราฟช่วงที่ค่า pH ค่อนข้างคงที่ (เส้นประ)
2. ลากเส้นขนาน 2 เส้นให้ตัดเส้นประทั้ง 2 เส้น
3. หาจุดกึ่งกลางของจุดตัดของเส้นประและเส้นขนาน จากนั้นลากเส้นเชื่อมจุดกึ่งกลางทั้งสองเข้าด้วยกัน จะได้จุดยุติ ณ จุดตัดของเส้นเชื่อมกับเส้นกราฟของการไทเทรต



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการหาจุดยุติจากกราฟการไทเทรต
ที่มา : สรวุฒิ สมนาม. (2557, 196)

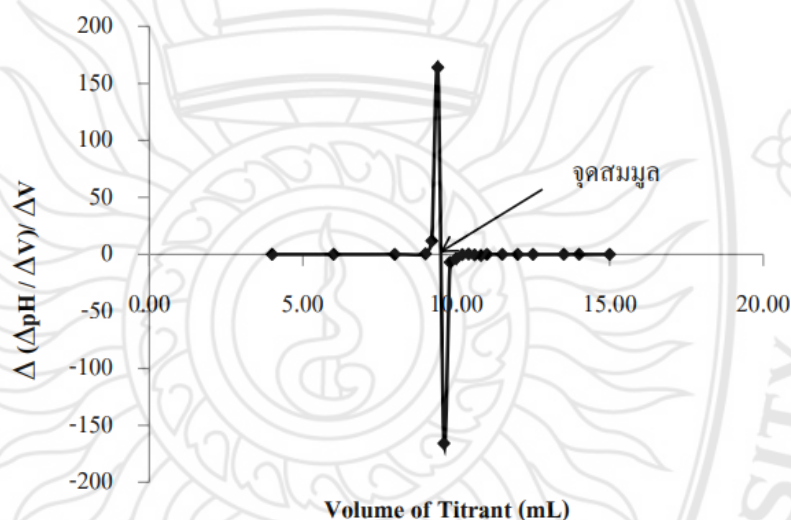
ข. กราฟการไทเทรตแบบอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First derivative titration curve) เป็นการนำค่าความชันของกราฟการไทเทรตแบบธรรมดา ($\Delta\text{pH}/\Delta V$) มาพล็อตกับ ปริมาตรไทเทรนต์ ทำให้ได้กราฟมีลักษณะเป็นพีค (Peak) โดยจุดสูงสุดแสดงถึงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความชันของกราฟมากที่สุด ในขณะที่ช่วงเริ่มแรกและช่วงท้ายจะมีค่า เข้าใกล้ศูนย์เพราะมีค่า pH ค่อนข้างคงที่ (สรวุฒิ สมนาม, 2557)



ภาพที่ 2.6 กราฟการไทเทรตแบบอนุพันธ์อันดับหนึ่ง

ที่มา: สราวุฒิ สมนาม. (2557, 199)

ง. กราฟการไทเทรตแบบอนุพันธ์อันดับสอง (Second derivative titration curve) เป็นการนำค่าความชันของกราฟการไทเทรตแบบอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ($\Delta(\Delta\text{pH}/\Delta V)\Delta V$ หรือ $(\Delta^2\text{pH}/\Delta V^2)$ มาพล็อตกับปริมาตรไทเทรนต์ โดยจะได้จุดยุติ ณ จุดตัดแกน x ส่วนยอดพีคทั้งสองจะแสดงส่วนโค้ง (Inflection point) ที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในกราฟการไทเทรตแบบธรรมดา (สราวุฒิ สมนาม, 2557)



ภาพที่ 2.7 กราฟการไทเทรตแบบอนุพันธ์อันดับสอง

ที่มา: สราวุฒิ สมนาม. (2557, 199)

3. ทฤษฎีสี

3.1 การเกิดสีและการมองเห็นสีของมนุษย์

การมองเห็นสีของมนุษย์ เกิดจากการที่แสงที่สะท้อนจากวัตถุนั้นๆ มากระทบตา และส่งไปสมองเพื่อแปลออกมาเป็นสีที่เห็น ซึ่งแสงพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถแผ่รังสีในรูปแบบสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic spectrum) โดยสายตามนุษย์สามารถมองเห็นในช่วงคลื่นที่อยู่ระหว่าง 400 - 800 นาโนเมตร นอกจากนี้ยังมีปัจจัยบาง

ประการที่มีผลต่อการมองเห็นของมนุษย์อาทิเช่น แหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสี และสายตา
ของเรา เป็นต้น



ภาพที่ 2.8 แสงที่สามารถแผ่รังสีในรูปสเปกตรัม

ที่มา: <http://lpgauntlet.com/features/blue-red/>

(เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม 2562)

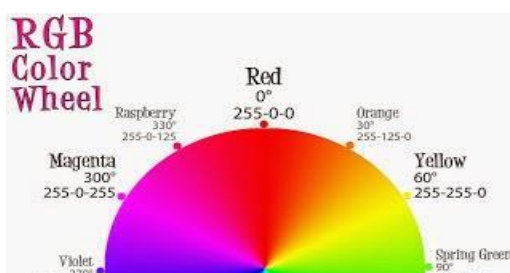
3.2 ระบบสี RGB

RGB ย่อมาจาก Red, Green และ Blue คือระบบสีของแสง เกิดจากการหักเหของแสงกลายเป็นสีรุ้ง ด้วยกัน 7 สี ซึ่งเป็นช่วงแสงที่ตาของเราสามารถมองเห็นได้ แสงสีม่วงจะมีความถี่สูงสุดเรียกว่า อัลตราไวโอเล็ต และแสงสีแดงจะมีความถี่ต่ำสุดเรียกว่า อินฟราเรด คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าสีม่วงและต่ำกว่าสีแดงนั้น สายตาของมนุษย์ไม่สามารถรับได้ แสงสีทั้งหมดเกิดจาก แสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) แต่ละแม่สีมีองค์ประกอบดังนี้

สีแดง+สีเขียว ได้ สีเหลือง (Yellow)

สีเขียว+น้ำเงินได้ สีฟ้า (Cyan)

สีแดง+สีน้ำเงิน ได้ สีแดงอมชมพู (Magenta)



ภาพที่ 2.9 ระบบสี RGB (Red, Green, Blue)

ที่มา: https://4.bp.blogspot.com/NtoTQgz8_7M/U5rlefpNetI/AAAAAAAAAEbQ/HBAFezxcItA/s1600/rgb_color_wheel_lg.jpg

(เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม 2562)

เมื่อนำแม่สีของแสงทั้ง 3 มาผสมกัน ในปริมาณแสงสว่างเท่ากันก็จะได้เป็นแสงที่สีขาว ซึ่งส่วนใหญ่การใช้สีลักษณะนี้จะใช้ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับแสง เช่น จอภาพ กล้องดิจิทัล สแกนเนอร์ เป็นต้น ระบบสี RGB จะการแสดงผลออกมา เป็นรูปแบบการรับแสง โดยทั่วไป RGB ทำงานในระบบ 8 bit ต่อสี คือ แม่สีแต่ละสีมีน้ำหนักแตกต่างกันได้เท่ากับ $2^8 = 256$ น้ำหนักสี หรือ 0-255 โดย 0 คือ มืดสนิท ส่วน 255 คือ สว่างเต็มที่ เมื่อนำแม่สีมาผสมกันทั้งสามแล้วได้เท่ากับ $256 \times 256 \times 256 = 16777216$ เคนสี หรือ 16.7 ล้านสี (ทัสตา สงสิริ, 2555)

4. กาแฟ

4.1 สายพันธุ์กาแฟ (Coffee species)

สายพันธุ์กาแฟทั่วโลกมีมากกว่า 6,000 สายพันธุ์ แต่มีเพียงพันธุ์อาราบิก้าและโรบัสต้า เท่านั้นที่เป็นที่นิยมปลูกเพื่อการค้าเนื่องจากมีรสชาติดีกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ

ก. กาแฟพันธุ์อาราบิก้า (Coffee Arabica L.)

เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดในโลก ลักษณะเมล็ดค่อนข้างใหญ่ รูปทรงค่อนข้างเรียวเกือบเป็นวงรี ส่วนผ่าตรงกลางคล้ายรูปตัว S ในภาษาอังกฤษ เมล็ดดิบมีสีเขียวอมเทาฟ้า เติบโตได้ดีในพื้นที่ที่อยู่เหนือขึ้นไปจากระดับของน้ำทะเลประมาณ 1,000 เมตร

ขึ้นไป ลักษณะเด่น คือ มีกลิ่นหอมและรสชาตินุ่มละมุน มีปริมาณของคาเฟอีนน้อยกว่า 2% จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภค แต่มีข้อด้อยคือ ไม่ต้านทานต่อสภาพแวดล้อม

ข. กาแฟพันธุ์โรบัสต้า (Coffee Robusta)

ลักษณะเมล็ดคั่วอ่อนและส่วนผ่าตรงกลางจะเป็นเส้นตรง เป็นพันธุ์กาแฟที่ต้องการความชุ่มชื้นสูง ปลูกง่ายให้ปริมาณผลผลิตมาก เติบโตได้ดีในพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 500–600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ข้อดีของการเพาะปลูกกาแฟสายพันธุ์นี้คือดูแลง่าย เจริญเติบโตได้เกือบทุกสภาพอากาศ ข้อเสียกาแฟโรบัสต้าจะมีกลิ่นฉุน รสชาติก็จะเข้มข้นและขมกว่า ส่วนมากจะถูกนำไปผลิตเป็นกาแฟสำเร็จรูป เพราะมีปริมาณคาเฟอีนที่มากกว่า 2% ขึ้นไป

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของกาแฟ

ภายในเมล็ดกาแฟประกอบไปด้วยสารประกอบมากมาย ไม่ว่าจะเป็นคาเฟอีน ตัวที่ช่วยสร้างกลิ่นหอม รสชาติขม ไปจนถึงสารบางชนิดที่ทำให้กาแฟมีความเปรี้ยว เมื่อสัมผัสกับอากาศหรือความชื้น ปฏิกริยาทางเคมีก็มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้สารพิเศษชนิดใหม่ตามมาด้วย โดยทั้งสองสายพันธุ์เมื่อเป็นเมล็ดกาแฟคั่ว องค์ประกอบหลักทางเคมีที่พบประกอบด้วยความชื้น 12 % คาร์โบไฮเดรต 50 % โปรตีน 10 % ไขมัน 16 % นอกจากนี้ อาจพบคาเฟอีนประมาณร้อยละ 1.2 ในโรบัสต้าจะมีความเข้มข้นของคาเฟอีนสูงกว่า ส่งผลให้มีรสชาติที่ขมเข้ม มีกลิ่นที่รุนแรง ส่วนอาราบิก้ามีคาเฟอีนน้อยกว่าจึงมีความนุ่มละมุนในรสชาติแบบกลมกล่อม กรดคลอโรจีนิก ซึ่งเป็นกรดที่สำคัญที่สุดที่อยู่ในกาแฟ ในระหว่างการคั่ว หรือชงกาแฟ กรดจะแตกตัวได้กรดสองตัว คือ กรดคาเฟอิกที่มีรสเปรี้ยว และกรดควินิกที่มีรสขม และสารอื่น ๆ อีกเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกาแฟอาราบิก้า โรบัสต้า และกาแฟสำเร็จรูป

องค์ประกอบ	Arabica		Robusta		สำเร็จรูป
	เมล็ดกาแฟดิบ	เมล็ดกาแฟคั่ว	เมล็ดกาแฟดิบ	เมล็ดกาแฟคั่ว	
Minerals	3.0 - 4.2	3.5 - 4.5	4.0 - 4.5	4.6 - 5.0	9.0 - 10.0
Caffeine	0.9 - 1.2	Appr. 1.0	1.6 - 2.4	Appr. 2.0	4.5 - 5.1
Trigonelline	1.0 - 1.2	0.5 - 1.0	0.6 - 0.75	0.3 - 0.6	-
Lipids	12.0 - 18.0	14.5 - 20.0	9.0 - 13.0	11.0 - 16.0	1.5 - 1.6
Total Chlorogenic Acids	5.5 - 8.0	1.2 - 2.3	7.0 - 10.0	3.9 - 4.6	5.2 - 7.4
Aliphatic Acids	1.5 - 2.0	2.4 - 3.0	1.5 - 2.0	2.4 - 3.0	-
Oligosaccharides	6.0 - 8.0	0 - 3.5	5.0 - 7.0	0 - 3.5	0.7 - 5.2
Total Polysaccharides	50.0 - 55.0	24.0 - 39.0	37.0 - 47.0	-	Appr. 6.5
Amino Acids	2.0	0	2.0	0	0

Proteins	11.0 – 13.0	13.0 – 15.0	11.0 – 13.0	13.0 – 15.0	16.0 – 21.0
----------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

ที่มา: www.blackriverroasters.com/the-science-of-coffee (เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2562)

4.3 การคั่วกาแฟ

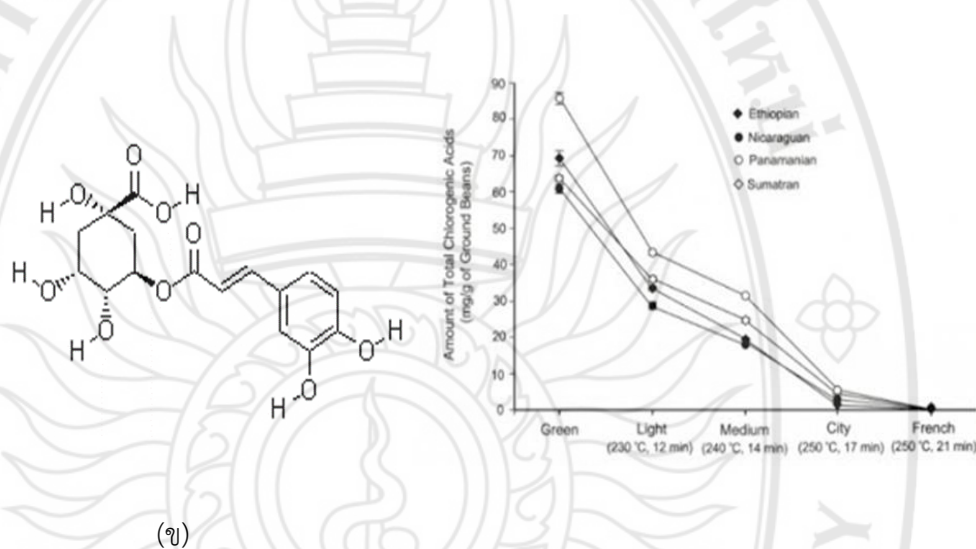
ในขั้นตอนการคั่วเมล็ดกาแฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ทำให้ได้กลิ่น รสชาติของกาแฟที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระดับการคั่ว ขั้นแรกของการคั่วเมล็ดกาแฟจะเริ่มดูดความร้อนทำให้เมล็ดคายความชื้น กาแฟที่สูญเสียความชื้นมวลของกาแฟจะลดลง ในขณะที่ปริมาตรจะเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อความเข้มของกาแฟ กระบวนการคั่วจะเริ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายในเมล็ดกาแฟสูงถึง 200 °C เมล็ดกาแฟจะเริ่มพองเป็นสองเท่า และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 220 °C สีเมล็ดกาแฟจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล โดยในขั้นตอนนี้จะเกิดกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) สารประกอบคาร์โบไฮเดรตจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้รอยต่อกลางเมล็ดแตกออกจึงมีเสียงเมล็ดแตก และได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงกลางของการคั่ว เสียงแตกของเมล็ดจะหยุดลง แต่ปฏิกิริยาต่าง ๆ ยังดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง โดยความดันที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด จะทำให้เกิดเสียงแตกของเมล็ด นอกจากน้ำมันที่ถูกขับออกมาจะกระทบกับความร้อนเกิดความมันวาวบริเวณผิว ของเมล็ด ในขณะเดียวกันก็จะมี การเปลี่ยนสภาพของแป้งและน้ำตาล ไปเป็นสารเหนียวสีน้ำตาลเข้ม (Caramelized) ทำให้เมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น หากปล่อยให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนนานมากขึ้น ก็จะเกิดความดำเข้มเกินความต้องการ (Carbonized) หรือกาแฟไหม้เมื่อถึงเมล็ดกาแฟคั่วมีสีน้ำตาล

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการคั่วต้องทำให้เมล็ดกาแฟเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วโดยใช้อากาศเป่าเย็น หรือดูดความร้อนออก หรือการฉีดพ่นด้วยน้ำ ถ้าจะปล่อยให้กาแฟเย็นลงเองจะทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของเมล็ดกาแฟคั่วตามระดับมาตรฐานที่ต้องการได้ ซึ่งระยะเวลาในการคั่วจะต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระดับการคั่วกาแฟ โดยทั่วไปเราแบ่งกาแฟออกเป็นสามระดับตามอุณหภูมิที่ใช้ในการคั่ว ได้แก่ คั่วอ่อน (Light roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 193 - 199 °C คั่วกลาง (Medium roast) ใช้อุณหภูมิประมาณ 204 °C และคั่วเข้ม (Heavy roast) ใช้อุณหภูมิ 218 - 221 °C

4.4 กรดในกาแฟ

ในเมล็ดกาแฟมีกรดอยู่หลายชนิดซึ่งกรดที่พบมากในกาแฟ ได้แก่ กรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic acids, CGAs) เป็นสารประกอบฟีนอล สูตรโมเลกุล $C_{16}H_{18}O_9$ น้ำหนัก

โมเลกุล 354.32 g/mol ละลายได้ดีในน้ำละลาย เอทานอลและอะซิโตน ละลายได้เล็กน้อยในเอทิลอะซิเตต มีบทบาทสำคัญต่อระดับความเปรี้ยวของกาแฟโดยปริมาณกรดจะลดลงตามระดับการคั่ว ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 (ก) โครงสร้างของกรดคลอโรจีนิก (ข) กราฟแสดงปริมาณของกรด Chlorogenic Acids ทั้งหมดที่ระดับการคั่วต่าง ๆ

ที่มา: www.ilovehillkoff.blogspot.com/2016/03/blog-post_71.html

ที่มา: <http://th.gmp-factory.com/herbal-medicine/anti-tumor/chlorogenic-acid.html>

(เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2562)

4.5 ระดับการคั่วกาแฟ

เมื่อนำเมล็ดกาแฟดิบไปคั่ว เมล็ดสีเขียวยังเกิดการขยายตัว (Popping) เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างขนาดเล็กของเมล็ด ทำให้เมล็ดกาแฟมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นลดลง เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ (Large micropore) ในผนังเซลล์ ซึ่งทำให้ความสามารถในการสกัด (Extractability) เพิ่มขึ้น (นันทวัชร ชิตวิสัย, 2547) พร้อมทั้งเกิดการเปลี่ยนสี โดยเริ่มจากเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและในที่สุดก็จะกลายเป็นสีน้ำตาล

อ่อน ๆ และมีสีเข้มขึ้นเรื่อย ๆ จนกว่าจะถูกยกออกจากความร้อนซึ่งระดับการคั่วกาแฟสามารถแบ่งได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ

ระดับการคั่ว	รูป	อุณหภูมิ	เวลา	ลักษณะ
คั่วอ่อน Light roast, Cinnamon roast, American roast		350 °F (173.67 °C)	10 - 15 นาที	มีสีน้ำตาลอ่อนหรือเหลืองซีดคล้ายอบเชย ไม่มีความมันที่ผิวเมล็ด ความชื้นหนึ่น้อย มีความเป็นกรดอ่อน ๆ
คั่วกลาง Medium roast, Full City roast, Vienna roast		400 – 430 °F (204.44 – 221.11°C)	15 – 20 นาที	มีสีน้ำตาลและมีความมันจากน้ำมันใน เมล็ดเคลือบ ความชื้นหนึ่นเพิ่มขึ้นความ เป็นกรดเริ่มลดลง
คั่วเข้ม Espresso, French roast, Italian roast		450 °F (232.22 °C)	15 – 20 นาที	มีสีน้ำตาลเกือบไหม้แต่ไม่ถึงกับดำผิวของ เมล็ดมีน้ำมันซึมเคลือบผิว มีความหนัก แน่นของเนื้อกาแฟ กลิ่นรุนแรง ความชื้น หนึ่นเพิ่มขึ้น ความเป็นกรดค่อนข้างน้อย

ที่มา: www.nescafedolcegusto.popsho.ps/blog/coffee-roast-difference

(เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2562)

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น: ระบบการวิเคราะห์แบบโทเรตโดยใช้แอฟฟลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ
2. ตัวแปรตาม: ค่าสัญญาณแม่สี และปริมาณความเป็นกรด
3. ตัวแปรควบคุม: ปริมาณสารตัวอย่าง ชนิดของอินดิเคเตอร์ ความเข้มข้นไทแทนต์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจนจิรา จันทร์หล้า (2559) ได้พัฒนาชุดการวิเคราะห์แบบไทเทรตที่อาศัยการไหลโดยใช้โทรศัพท์มือถือเป็นเครื่องตรวจวัด ในการวิเคราะห์ได้นำกล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณตัวอย่างกรด - เบสในชีวิตประจำวัน ซึ่งค่าสัญญาณแม่สี RGB ที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณค่า RGB - Based Value และหาจุดสมมูลจากการพล็อตกราฟการไทเทรตเปรียบเทียบผลที่ได้กับการไทเทรตแบบวัด สัญญาณด้วยแสง โดยพบว่าวิธีไทเทรตโดยอาศัยการไหลนี้มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับร้อยละ 1.14 ผลการวิเคราะห์เป็นที่ยอมรับที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐาน

Moonrungsee N. et.al. (2015) ได้นำเอาโทรศัพท์มือถือที่สามารถถ่ายภาพได้มาเป็นตัวตรวจวัดหาปริมาณฟอสฟอรัสในดิน โดยใช้โมลิบดีนัมบลู เป็นอินดิเคเตอร์ การวิเคราะห์ใช้โทรศัพท์มือถือบันทึกภาพสำหรับวัดค่าแม่สี RGB โดยทำการทดลองในกล่องควบคุมสภาวะ ผลค่าแม่สี RGB ที่ได้จะนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน เปรียบเทียบผลกับวิธีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ซึ่งการใช้โทรศัพท์มือถือเป็นเครื่องมือตรวจวัดนี้ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกับวิธีมาตรฐาน โดยมี ค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) และค่าร้อยละการกลับคืนน้อยกว่า 2 และ 5 ตามลำดับ อีกทั้งเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และมีราคาถูก

Torres et.al. (2011) ได้ไทเทรตหาปริมาณกรดในไวน์แดงโดยนำเทคนิคการถ่ายภาพดิจิทัลเข้ามาประยุกต์ใช้แทนการสังเกตสีของอินดิเคเตอร์ ในการวิเคราะห์เมื่อทำการไทเทรตและถ่ายภาพการเปลี่ยนแปลงสีของ Anthocyanines ที่อยู่ในไวน์ในสภาวะ pH ต่าง ๆ นำค่าแม่สี R, G และ B ที่ได้มาสร้างกราฟการไทเทรตอนุพันธ์อันดับสองเพื่อหาจุดยุติ เปรียบเทียบผลกับวิธีไทเทรตแบบวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (Potentiometric titration) ตัวอย่างจะถูกเจือจางให้มี pH อยู่ในช่วง 8.2 - 8.4 ก่อนจะนำไปไทเทรตกับ NaOH จากผลการวิเคราะห์พบว่ามีความเชื่อมั่น (t-test) อยู่ที่ร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองสอดคล้องกับวิธีมาตรฐาน

NobregaGaiao E. da et.al. (2006) เป็นการนำภาพดิจิทัลของการไทเทรตที่ได้จากกล้อง CCD (WebCam) มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาปริมาณ HCl, H₃PO₄ และสภาพความกระด้างในน้ำแร่ และน้ำประปา โดยจะมีการใช้สัญญาณ RGB-based ที่เป็นระบบค่าแม่สี RGB มาคำนวณ ซึ่งผลที่ได้จะนำมาเทียบกับสัญญาณจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และใช้ t-test มาเปรียบเทียบผลที่แตกต่างของวิธีทั้ง 2 วิธี โดยพบว่าผลการทดลองมีความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกับวิธีมาตรฐาน

Honorato R.S. et.al. (1999) เป็นการนำการไทเทรตโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหล เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการไทเทรตไวน์ขาวกับสารละลาย NaOH

เพื่อหาความเป็นกรด ซึ่งใช้ m-cresol purple เป็นอินดิเคเตอร์ จากผลการทดลองพบว่า สามารถวิเคราะห์ได้ 20 ตัวอย่าง/ชั่วโมง มีความเป็นกรดอยู่ที่ 5.2-7-3 g/L คัดร้อยละความคลาดเคลื่อนได้เท่ากับ 0.7 % ซึ่งจากผลการทดลองให้ผลที่สอดคล้องกับวิธีมาตรฐาน Potentiometric titration ที่ควรมีค่าความคลาดเคลื่อน <0.8%

กรอบแนวคิด

ตัวแปรอิสระ

1. ระบบการไทเทรตแบบอาศัยการไหล โดยมีปัจจัยที่จะศึกษา ได้แก่ อัตราการไหล เส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของขดท่อ
2. ระบบการตรวจวัดค่าแม่สี RGB โดยมีปัจจัยที่จะศึกษา ได้แก่ ขนาดและรูปทรงของกล่องสำหรับติดตั้งโทรศัพท์ เพื่ออ่านค่าแม่สี ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาอ่านค่าแม่สี
3. การหาค่าความเป็นกรดโดยการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน NaOH โดยศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไท

ตัวแปรตาม

1. ได้สถานะที่เหมาะสมของระบบการไทเทรตแบบอาศัยการไหลที่ประหยัดเวลาและสารเคมีในการวิเคราะห์ ให้ผลการวิเคราะห์ที่เที่ยงตรงในกรณีทำซ้ำ
2. ได้ระบบการตรวจวัดค่าแม่สี RGB ที่มีขนาดและรูปทรงที่กระทัดรัดและเคลื่อนย้ายง่าย ใช้ปริมาณสารในการอ่านค่าน้อย
3. ได้ค่าความเป็นกรดในเครื่องดื่มแต่ละชนิดอย่างถูกต้องแม่นยำ โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี

สมมุติฐานการวิจัย

สมมุติฐานการวิจัย

ระบบไทเทรตแบบอัติการไหลโดยอ่านสัญญาณค่าแม่สี RGB ด้วยแอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือสามารถวิเคราะห์หาความเป็นกรดในกาแฟและน้ำผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

