

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า (Arabica) จากแหล่งปลูกได้แก่ ลาว ดอยแม่สลอง และดอยอินทนนท์ โดยซื้อจากร้านจำหน่ายเมล็ดกาแฟในจังหวัดเชียงใหม่ กาแฟทั้งหมดจะถูกนำไปคั่ว 3 ระดับ ได้แก่ คั่วอ่อน (183°C) คั่วกลาง (196°C) และคั่วเข้ม (206°C) และได้เก็บเมล็ดกาแฟดิบของแต่ละแหล่งปลูกไว้บางส่วน

สถานที่

ห้องปฏิบัติการเคมี ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

เครื่องมือ วัสดุ-อุปกรณ์ และสารเคมี

1. เครื่องมือ

- 1.1 เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ (Analytical balance) 4 ตำแหน่ง, PG203 – S, Mettler toledo, Switzerland
- 1.2 โทรศัพท์มือถือ (Mobile phone), Vivo, Vivo1601 (vivo V5), Malaysia
- 1.3 เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน (Deionized water system), Milipore, Mili-Q &Elix 10, France
- 1.4 เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter), C861, Belgium
- 1.5 เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมแผ่นให้ความร้อน (Hotplate and magnetic stirrer), RCT BS104, IKA, Thailand
- 1.6 ปั๊มเพอร์ริสตาลติก (Peristaltic pump), T 100 mA, Ismatec, Switzerland
- 1.7 ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump, 220-240 V), TC-501V, Sparmax, Taiwan
- 1.8 เครื่องบดกาแฟ (Coffee grinder), L-bean, Taiwan

2. วัสดุ – อุปกรณ์

- 2.1 ถังวัดแม่สี
- 2.2 หลอดไฟ แอลอีดี 3 วัตต์ (LED3 W), Lumax, Philippines
- 2.3 ท่อพลาสติก PTFE (PTFE tube), PTFE, Upchurch scientific, USA

2.4 ท่อไทกอน (Tygon tube), TYGON 2765-175, ID 1:14 mm, WALL 0:91 mm, Ismatec, Switzerland

2.5 วาล์วหกทาง (6-Port injection valves), V-451, Upchurch scientific, USA.

2.6 โฟลเซลล์ (Flow cell), ปริมาตรภายใน 0.22 mL

2.7 กรวยบุชเนอร์ (Buchner funnel)

2.8 ขวดลดความดัน (Suction flask) ขนาด 250 mL

2.9 กระดาษกรอง (Filter papers) เบอร์ 1, เส้นผ่านศูนย์กลาง 125 mm, Whatman, China

2.10 บิวเรตต์ (Burette) ขนาด 50 mL

2.11 หลอดทดลอง (Test tube) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 cm

2.12 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 mL

3. สารเคมี

3.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl), AR, Assay 37%, Mw 36.46, RCI Labscan, Thailand

3.2 เอทานอล (Ethanol, C_2H_5OH), AR, Assay 99.9%, d 0.790 g/cm³, Mw 46.07, Germany

3.3 โบรโมไธมอลบลู (Bromothymol blue, $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$), Mw 624.41, Ajax Finechem, Australia

3.4 เมทิลเรด (Methyl red, $C_{15}H_{15}N_3O_2$), AR, Fw 269.31, RCI Labscan limited, Thailand

3.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH), AR, Assay 99%, Fw 40.00, RCI Labscan limited, Thailand

3.6 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein, $C_{20}H_{14}O_4$), AR, Fw 318.32, RCI Labscan limited, Thailand

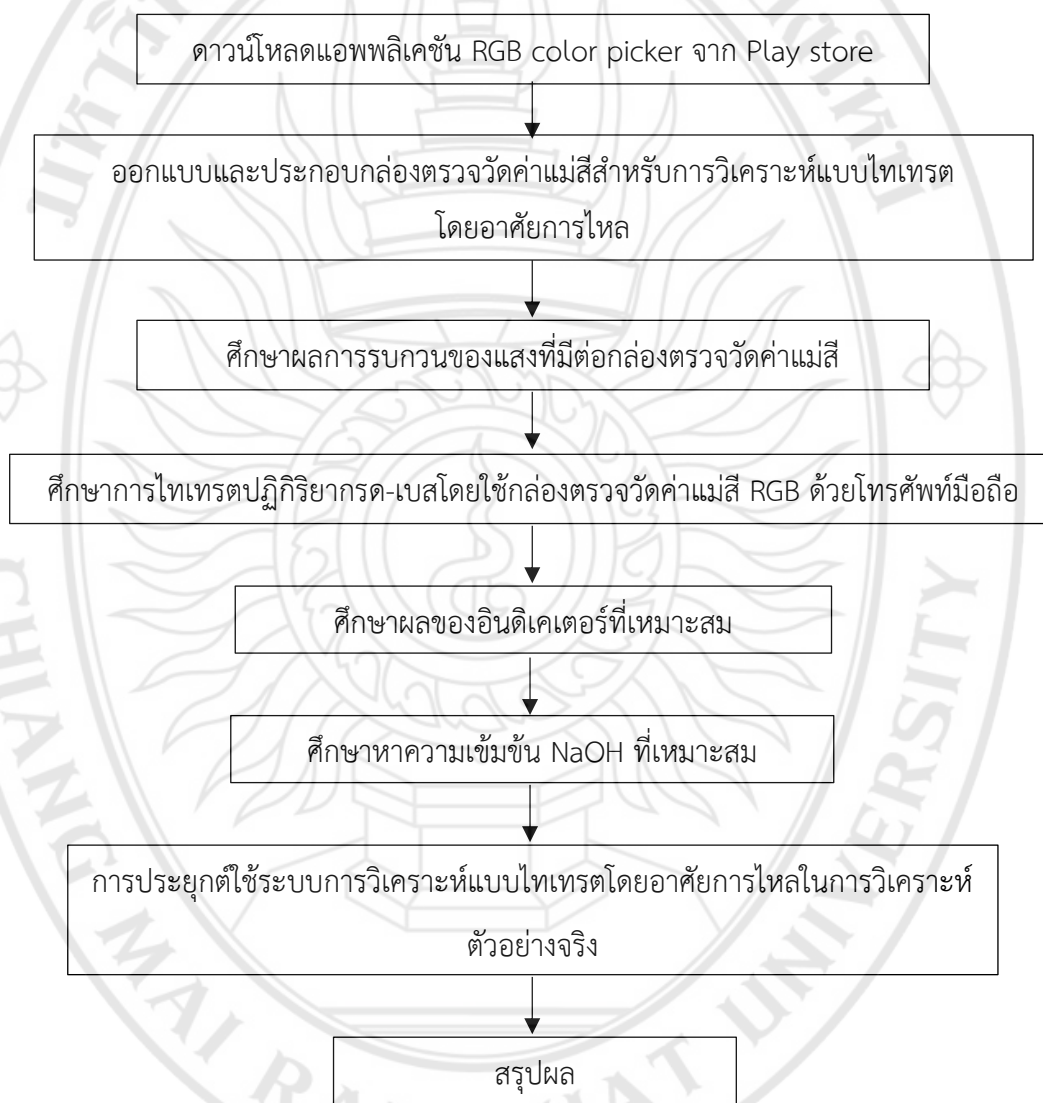
3.7 โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium hydrogen phthalate, $C_8H_5KO_4$ or KHP), AR, Assay 99.9-100.1%, Mw 204.23, Rankem, India

3.8 สารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer solution pH 4.01, 7.00, 10.00 +/- 0.02), Mettler Toledo, U.S.A

ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชัน RGB color picker ในโทรศัพท์มือถือมาตรวจวัดสีของจุดยุติ เพื่อใช้ในงานวิเคราะห์หาความเป็นกรดในกาแฟระดับต่าง ๆ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหล เพื่อให้ได้ชุดวิเคราะห์การไทเทรตระบบปิด ใช้งานง่าย สะดวก สามารถนำมาวิเคราะห์สารได้อย่างต่อเนื่อง ลดการใช้สารเคมี อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงโดยเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับวิธีไทเทรตปกติ โดยมีขั้นตอนดำเนินงานสรุปได้ ดังภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 แผนภาพสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



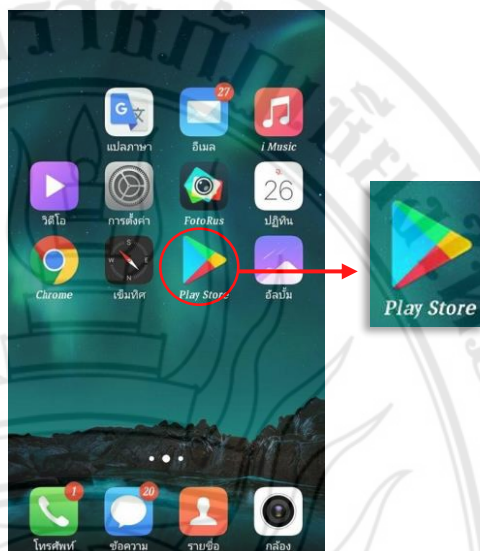
1. แอปพลิเคชัน

รูป 3.1 แผนภาพสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

แอปพลิเคชัน RGB color picker เป็นแอปพลิเคชันที่ดาวน์โหลดได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ซึ่งสามารถบอกรายละเอียดค่าแม่สี RGB ได้โดยที่จะแสดงค่าแม่สี R (สีแดง), G (สีเขียว) และ B (สีน้ำเงิน) ตามลำดับ หลักการทำงานนั้นจะอาศัยภาพถ่ายที่ถ่ายจากกล้องโทรศัพท์มือถือ โดยตัวแอปพลิเคชันจะทำการประมวลผลเพื่อแสดงข้อมูลแม่สีต่าง ๆ

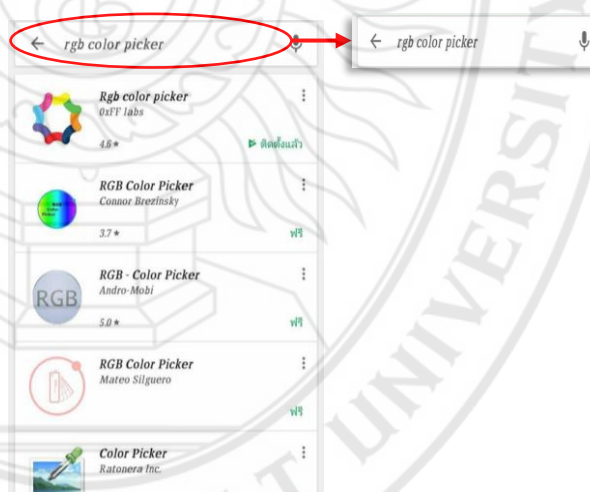
1.1 วิธีการดาวน์โหลด ติดตั้ง และใช้งานแอปพลิเคชัน RGB color picker

1) เข้าไปที่ไอคอน Play store ของโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการ Android ดังภาพที่ 3.2



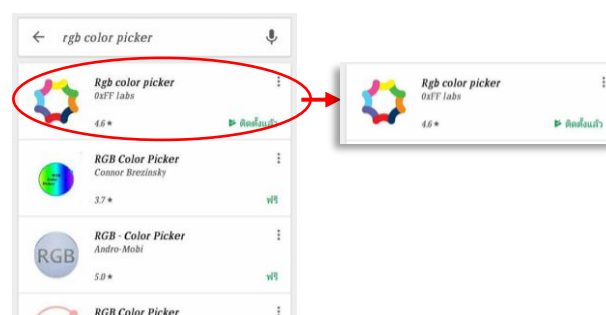
ภาพที่ 3.2 แอปพลิเคชัน Play store

2) ทำการพิมพ์ค้นหาแอปพลิเคชัน RGB color picker ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การค้นหาแอปพลิเคชัน RGB color picker ในแถบค้นหา

3) หน้าจอจะแสดงรายการแอปพลิเคชันที่มีชื่อคล้ายๆกัน เลือกแอปพลิเคชันที่มีชื่อว่า RGB color picker ดังภาพที่ 3.4

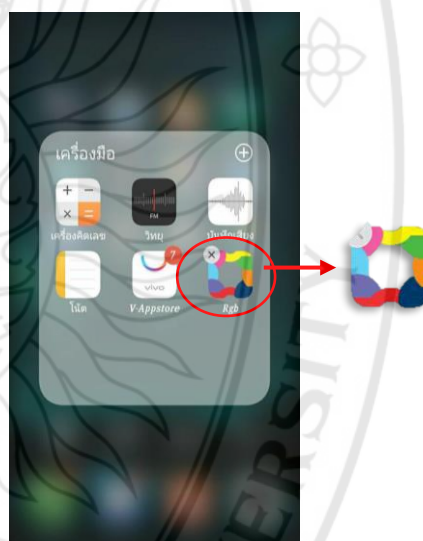


ภาพที่ 3.4 เลือกแอปพลิเคชัน RGB color picker

4) กดติดตั้งแอปพลิเคชัน RGB color picker รอจนกระทั่งการติดตั้งเสร็จสมบูรณ์
ดังภาพที่ 3.5 และ 3.6



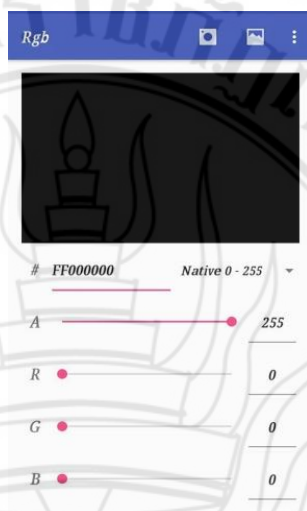
ภาพที่ 3.5 การติดตั้งแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 3.6 การติดตั้งแอปพลิเคชันสมบูรณ์

1.2 วิธีการใช้งานแอปพลิเคชัน RGB color picker

1) เมื่อดาวนโหลดแอปพลิเคชัน RGB color picker แล้วจะปรากฏไอคอนที่หน้าจอโทรศัพท์ให้กดที่ไอคอนดังกล่าวจะปรากฏดังภาพจากนั้นให้กดที่รูปกล้องเพื่อทำการถ่ายภาพสารละลายสี ดังภาพที่ 3.7

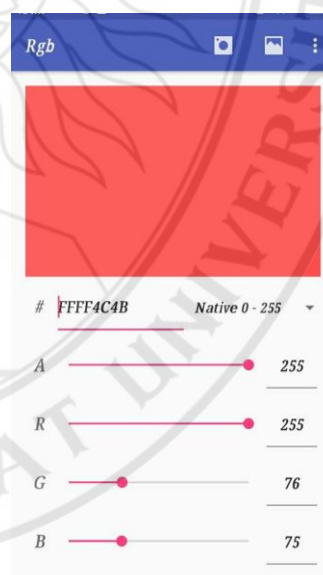


ภาพที่ 3.7 หน้าแรกของแอปพลิเคชัน

2) ถ่ายภาพสารละลายโดยกดที่รูปวงกลมด้านขวามือดังภาพที่ 3.8 จากนั้นกดดูรายละเอียดค่าแม่สี RGB ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 การบันทึกค่าแม่สี

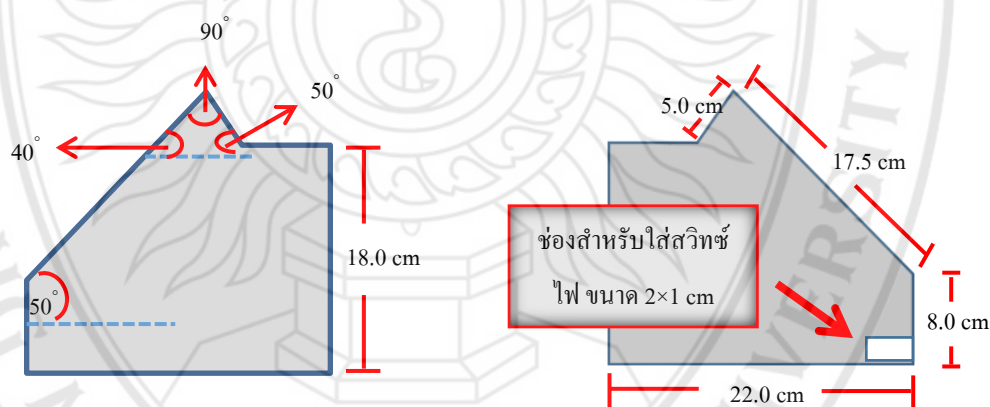


ภาพที่ 3.9 รายละเอียดค่า

2. กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือ

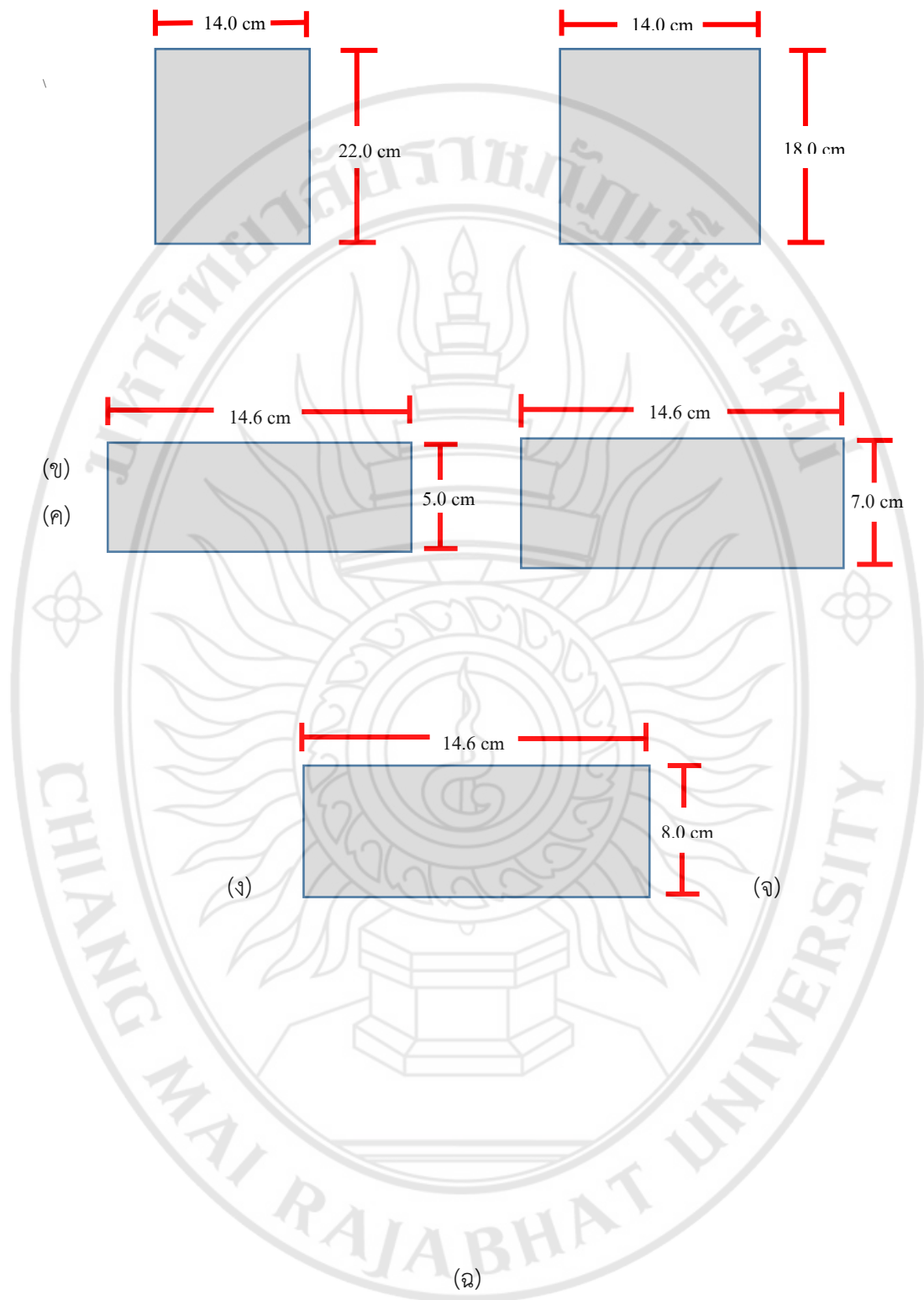
2.1 การออกแบบและประดิษฐ์กล่องวัดค่าแม่สี

กล่องวัดค่าแม่สี ถูกประดิษฐ์ขึ้นสำหรับใช้งานร่วมกับโทรศัพท์มือถือ โดยสามารถควบคุมสภาวะในการทดลองให้คงที่ ซึ่งได้แก่ แสงสว่าง ระยะโฟกัสภาพ ปริมาณสารเคมีที่ใช้เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการอ่านค่าแม่สีของโทรศัพท์มือถือ นอกจากนี้ในการออกแบบนั้นคำนึงถึงขนาดที่กะทัดรัดใช้พื้นที่น้อย ใช้วัสดุที่ทนทานต่อการใช้งาน และสารเคมี แต่ราคาประหยัด(ได้เลือกใช้แผ่นอะคริลิกซึ่งมีความหนา 3 mm และ 4 mm ในการประกอบกล่อง) ในส่วนที่บรรจุสารละลายได้ออกแบบให้ สะดวกต่อการนำเข้า - ออกกล่องวัดค่าแม่สี และสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมต่อการตรวจวัดสารละลายชนิดหนึ่ง สำหรับส่วนที่ยึดจับโทรศัพท์มือถือ ได้ถูกออกแบบให้สามารถปรับให้เหมาะสมกับโทรศัพท์มือถือได้หลากหลายขนาดโดยมียึดการจับที่มั่นคง และไม่ทำให้เกิดรอยต่อโทรศัพท์มือถืออีกด้วย โดยมีขั้นตอนการออกแบบและประดิษฐ์กล่องวัดค่าสี ดังนี้



- 1) นำแผ่นอะคริลิกแบบทึบแสง ซึ่งมีความหนา 3 mm และ 4 mm มาตัดด้วยเครื่องเจียรไฟฟ้า ให้มีขนาดและทำมุมดังภาพที่ 3.10 (ก) - (ง)

(ก)

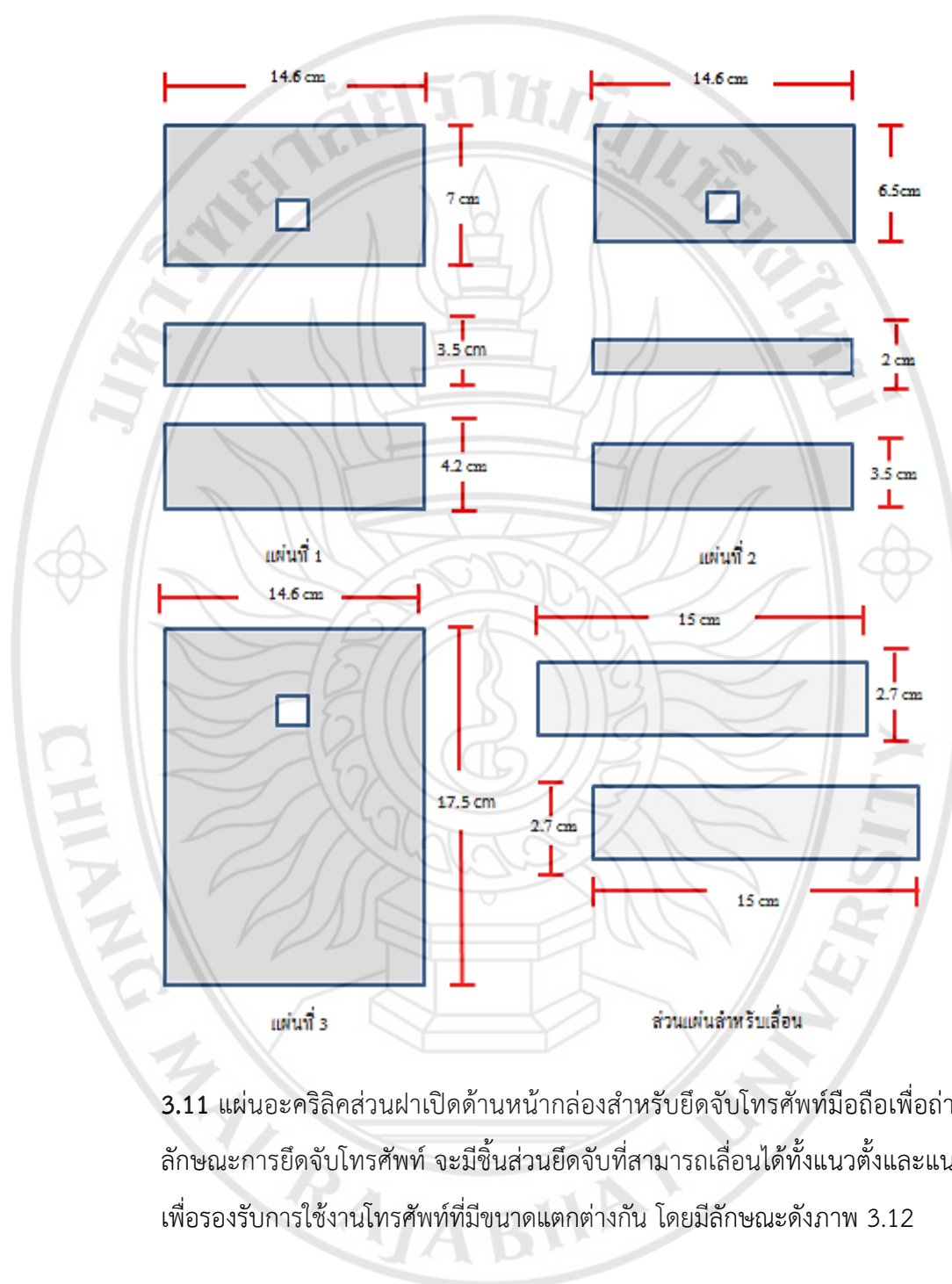


ภาพที่ 3.10 โครงสร้างแต่ละส่วนของกล่องวัดค่าแม่สี

(ก) แผ่นอะคริลิคส่วนด้านข้าง ซ้าย - ขวา ของกล่อง (ข) แผ่นอะคริลิคส่วนฐานกล่อง (ค) แผ่นอะคริลิคส่วนด้านหลังกล่อง (ง) แผ่นอะคริลิคส่วนด้านบนกล่อง (จ) แผ่นอะคริลิคส่วนฝาเปิดด้านท้ายของกล่อง (ฉ) แผ่นอะคริลิคส่วนด้านหน้ากล่อง

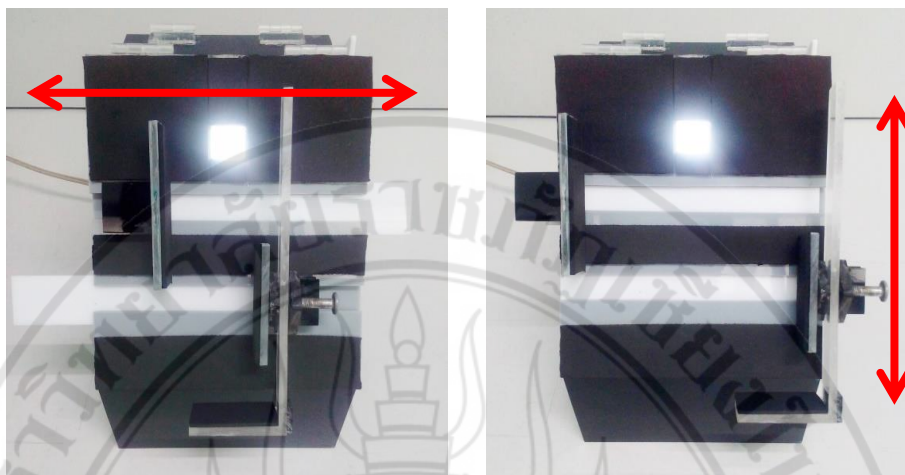
สำหรับส่วนฝาเปิดด้านหน้ากล่องซึ่งเป็นส่วนยึดจับโทรศัพท์ ได้ออกแบบให้เป็นบานพับอะคริลิค และมีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด 1.5x1.5 cm ดังภาพที่ 3.11





ภาพ
ที่

3.11 แผ่นอะคริลิคส่วนฝาเปิดด้านหน้ากล่องสำหรับยึดจับโทรศัพท์มือถือเพื่อถ่ายภาพ
ลักษณะการยึดจับโทรศัพท์ จะมีชิ้นส่วนยึดจับที่สามารถเลื่อนได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน
เพื่อรองรับการใช้งานโทรศัพท์ที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยมีลักษณะดังภาพ 3.12



ภาพที่ 3.12 ชิ้นส่วนยึดจับโทรศัพท์มือถือในแนวตั้งและแนวนอน

2) จากนั้นนำแผ่นอะคริลิกแต่ละส่วนมาประกอบกันด้วยการรื้อน โดยภายในได้มีการบุด้วยกระดาษสติกเกอร์สีขาว ได้ลักษณะกล่อง ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 แสดงโครงสร้างภายนอกกล่องเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์

โดยตัวกล่องมีพื้นที่ภายในเท่ากับ 1,778.50 ตารางเซนติเมตร และมีน้ำหนักเท่ากับ 1.50 กิโลกรัม ในส่วนพื้นที่ที่รองรับโทรศัพท์มือถือ บริเวณด้านหน้าได้มีการติดแผ่นผ้า เพื่อป้องกันการเกิดรอยกับโทรศัพท์มือถือ

3) ภายในกล่องได้มีการติดตั้งหลอดไฟ LED 3W เพื่อช่วยควบคุมแสงสว่างภายในกล่องให้คงที่และป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอก และได้ทำที่ครอบสายไฟ และเพื่อความเรียบร้อยและป้องกันในกรณีสารเคมีหก รั่วไหลภายในกล่อง สำหรับสวิทช์ไฟจะติดตั้งเอาไว้ที่บริเวณข้างกล่องด้านซ้ายและมีปลั๊กไฟซึ่งมีสายไฟยาว 350 cm ถูกโยงออกมาด้านซ้ายของกล่องอย่างเป็นระเบียบ ดังภาพที่ 3.14

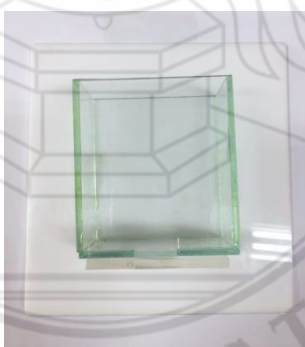


ภาพที่ 3.14 แสดงการติดตั้งส่วนควบคุมแสงสว่างภายในกล่อง

4) ในส่วนบรรจุสารละลายได้ทำแผ่นรองรับที่วางหลอดทดลอง และกล่องใส่ตัวอย่างซึ่งแผ่นรองรับนี้สามารถถอดเข้าออกได้ ดังภาพที่ 3.15 (ก) - (ค)



(ก)



(ข)



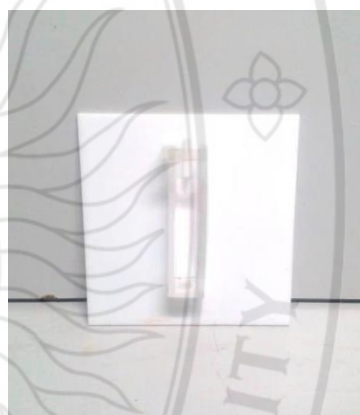
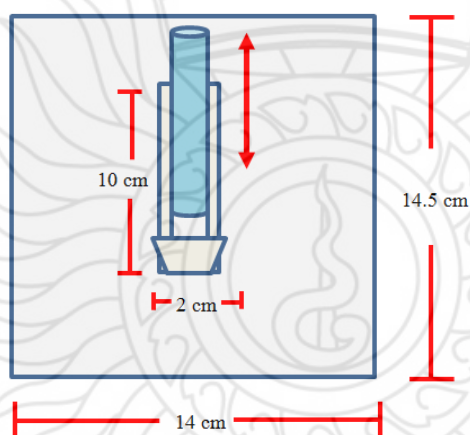
(ค)

ภาพที่ 3.15 (ก) ส่วนบรรจุตัวอย่างด้วยหลอดทดลอง (ข) ส่วนบรรจุตัวอย่างแบบกล่อง

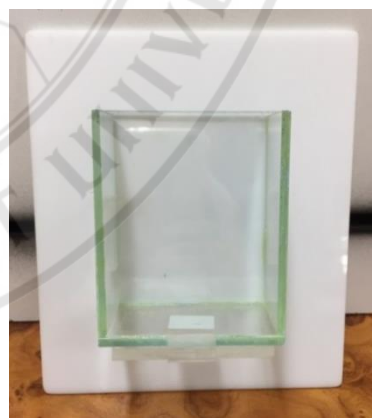
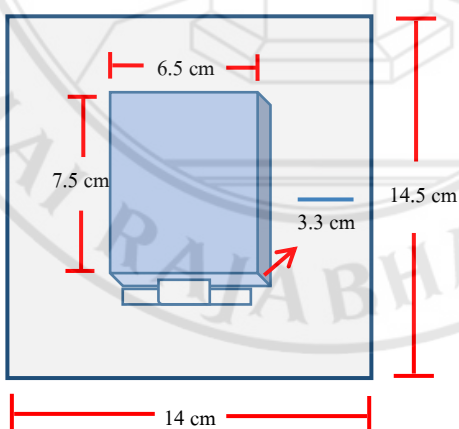
(ค) แสดงการใส่เข้า - ออกจากกล่องควบคุมสภาวะ

โดยในส่วนบรรจุตัวอย่างได้ติดตั้งให้มีลักษณะเอียง ขนานกับลักษณะการวางของโทรศัพท์มือถือและมีระยะห่างจากกล้องโทรศัพท์มือถือ 8.0 cm เพื่อให้ภาพที่ถ่ายได้ความสมดุลของสัดส่วนภาพ และให้มุมมองที่ชัดเจน โดยลักษณะการวางเป็นการทับกับแผ่นรองรับที่มีอยู่ด้านหลัง

หลอดทดลองที่ใช้บรรจุตัวอย่างเป็นหลอดแก้ว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm ยาว 10 cm โดยมีที่รองรับหลอดดังภาพที่ 3.16 (ก) - (ข) สำหรับกล่องบรรจุตัวอย่างจะใช้กับตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่เป็นผลเซอรรีกาแพ ผลไม้ ซึ่งทำจากอะคริลิคใสมีขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 3.3×6.5×7.5 cm และมีที่รองรับกล่องดังภาพที่ 3.17 (ก) - (ข)



ภาพที่ 3.16 ส่วนบรรจุตัวอย่างแบบใช้หลอดทดลอง (ก) โครงสร้าง (ข) ภาพอุปกรณ์จริง



ภาพที่ 3.17 ส่วนบรรจุตัวอย่างแบบใช้กล่อง (ก) โครงสร้าง (ข) ภาพอุปกรณ์จริง

และเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของส่วนบรรจุสารละลาย ภายใต้ฝาปิดด้านหนึ่งได้ ทำที่ค้ำเพื่อค้ำไม่ให้ส่วนบรรจุสารละลายพลิกตัวเมื่อเกิดการกระแทกดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 ที่ค้ำเพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนบรรจุสารละลายพลิกตัวเมื่อเกิดการกระแทก

2.2 การปรับกล่องตรวจวัดค่าแม่สีให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ไทเทรตโดยอาศัยการไหล

โดยกล่องตรวจวัดแบบ เดิมทำมาจากแผ่นอะคริลิก ซึ่งมีความหนา 3-4 มิลลิเมตร ลักษณะกล่องเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด 14.6 cm x 22 cm x 18 cm มีพื้นที่ภายใน เท่ากับ 1,778.50 ตารางเซนติเมตร และมีน้ำหนักเท่ากับ 1.50 กิโลกรัม ทางด้านหน้า กล่องเจาะช่องขนาด 1.5 cm x 1.5 cm สำหรับถ่ายภาพส่วนที่ยึดจับโทรศัพท์- มือถือ ถูกออกแบบให้สามารถปรับระดับได้ตามความเหมาะสมของโทรศัพท์มือถือ เพื่อป้องกันไม่ให้โทรศัพท์มือถือเคลื่อนที่ขณะถ่ายภาพ และช่วยหาจุดโฟกัสในการถ่ายภาพ นอกจากนี้บริเวณที่สัมผัสโทรศัพท์มีการติดแผ่นผ้าสีดำ เพื่อป้องกันการเกิดรอยกับ โทรศัพท์มือถือ ดังภาพที่ 3.19

ภายในมีการติดตั้งหลอดไฟ LED ขนาด 3 วัตต์ช่วยควบคุมแสงสว่างให้คงที่ขณะ ทำการทดลอง ในส่วนบรรจุสารละลายใช้เป็นหลอดทดลองเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm กว้าง 2 cm ยาว 2 cm ยึดติดกับแผ่นอะคริลิกสีขาว โดยออกแบบมาให้มีลักษณะเอียง ขนานกับลักษณะการวางของโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้ภาพที่ถ่ายได้ความสมดุลของ สัดส่วนภาพ และมีระยะห่างโดยวัดจากหลอดทดลองถึงกล่องโทรศัพท์มือถือ เท่ากับ 8.0 cm ดังภาพที่ 3.19 (ก) - (ข)



การดัดแปลงกล่องตรวจวัด ขั้นตอนแรก เจาะรูทางด้านขวาของกล่องเพื่อใช้เป็นช่องสอดท่อพลาสติก PTFE สำหรับดูดสารละลายเข้า และออกจากตัวเซลล์ ดังรูป 3.19 (ค)

ต่อมาปรับปรุงส่วนบรรจุสารละลายโดยใช้โพลีเซลล์ ที่ทำมาจากแก้ว รูปทรงกระเปาะมีเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณ 0.5 cm ปริมาตรภายใน 0.22 mL ยาว 7.00 cm แทนหลอดทดลอง โดยโพลีเซลล์จะยึดติดกับแผ่นรองรับที่ช่วยล็อกตัวเซลล์ไม่ให้เคลื่อนที่ขณะทำการบันทึกภาพ ดังรูป 3.19

(ก)

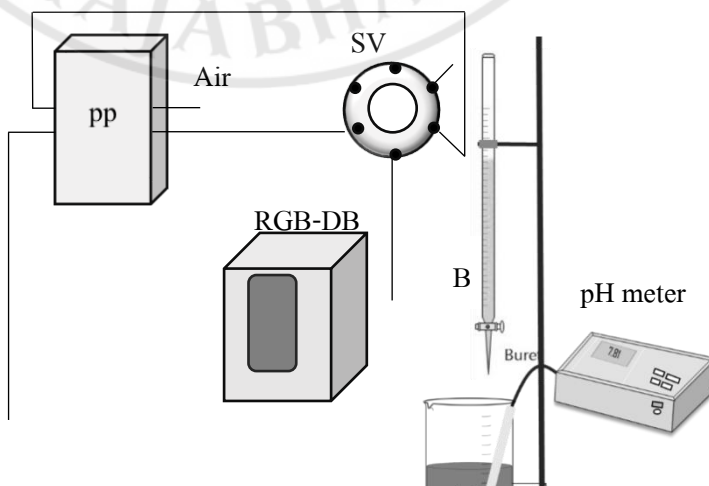
(ข)

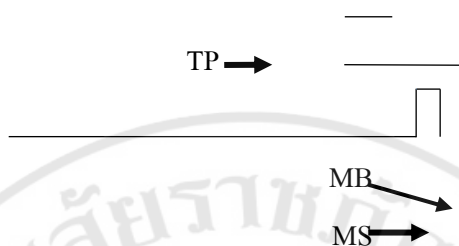


ภาพที่ 3.19 (ก) กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB แบบเดิม (ข) ส่วนประกอบภายในกล่องบรรจุหลอด (ค) แบบกล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ที่ผ่านการปรับปรุงสำหรับวิเคราะห์ไทเทรตแบบ ไหล (ง) ส่วนประกอบภายในกล่อง (เซลล์บรรจุสารทรงกระเปาะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm)

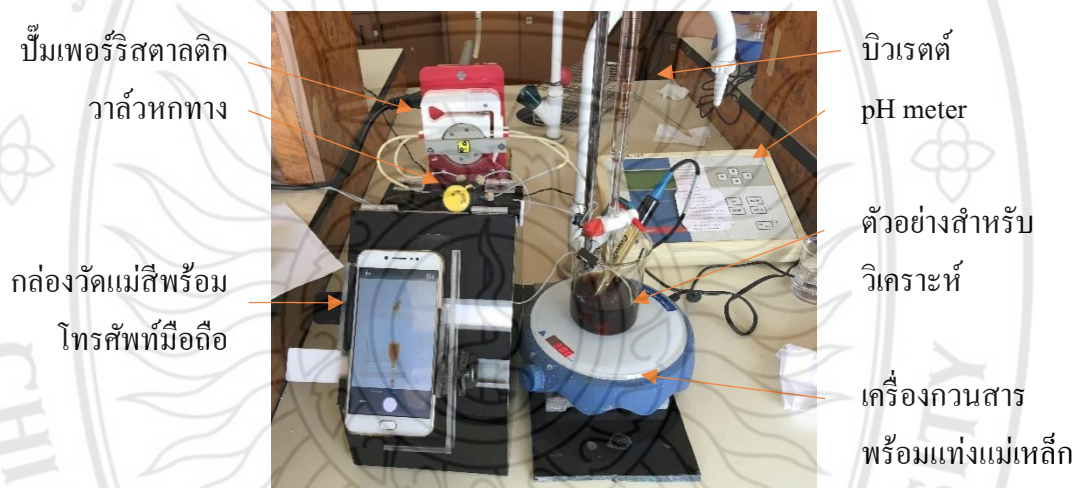
2.3 การประกอบชุดการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหล

นำกล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ที่ดัดแปลงขึ้น (จากหัวข้อ การออกแบบและประดิษฐ์กล่องวัดค่าแม่สี) มาทำการประกอบเข้ากับชุดไทเทรตแสดงในแผนผังดังภาพที่ 3.20 โดยใช้ปั๊มเพอร์ริสตาลติกพร้อมท่อไทกอนสำหรับดูดผลึกสารละลายจากกล่องวัดค่าแม่สี ใช้วาล์วหกทางสำหรับควบคุมทิศทางการไหลของสารละลาย และใช้ท่อ TPFE สำหรับเป็นทางเดินของสารละลายภายในระบบดังรูประบบจริงในภาพที่ 3.21





ภาพที่ 3.20 แผนผังการจัดชุดการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหลโดยตรวจวัดการเปลี่ยนสีด้วยกล้องตรวจวัดค่าแม่สี RGB และเครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter), B = บิวเรตต์, MB = แท่งแม่เหล็ก, MS = เครื่องแม่เหล็กคนสาร, TP = ไทเทรนต์มือถือ, RGB-DB = เครื่องวัดแม่สี, SV = วาล์วหกทาง, Air = อากาศ, PP = ปัมเปอร์คริสตอลติก



ภาพที่ 3.21 ภาพถ่ายชุดการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหล

จากระบบการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหลสำหรับการหากรดในกาแฟที่พัฒนาขึ้นมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

ขั้นแรก ขั้นเตรียมอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ จัดอุปกรณ์ดังภาพที่ 3.20 นำหัวอิเล็กโทรดที่ต่อกับ pH meter จุ่มลงในบีกเกอร์ซึ่งบรรจุสารละลายที่จะวิเคราะห์ ประกอบไปด้วยกาแฟตัวอย่าง 25.00 mL, NaOH 25.00 mL, น้ำปราศจากไอออน 50.00 mL และอินดิเคเตอร์ 3 หยด โดยสารละลายทั้งหมดจะถูกผสมด้วยเครื่องกวนสารละลายแรงหมุน 300 rpm ตลอดเวลา

ขั้นที่สอง ขั้นวิเคราะห์ เริ่มจากปล่อย HCl (ไทเทรนต์) 1.00 mL ลงสู่บีกเกอร์ สารละลายที่จะวิเคราะห์ อ่านค่า pH จากเครื่อง pH meter พร้อมบันทึกผลดูตสารเข้า

โพลีเซลล์โดยหมุนวาล์วหกทางไปยังตำแหน่งหมายเลข 2 เพื่อให้สารละลายจากบีกเกอร์ถูกดูดเข้าสู่ระบบด้วยปั๊มเพอร์ิสตาติคสารที่จะวิเคราะห์จะไหลผ่านท่อ TPE เข้ากล่องวัดค่าแม่สีเข้าสู่ตัวโพลีเซลล์จนเต็ม เซลล์ทำการถ่ายภาพเพื่ออ่านค่าแม่สี RGB พร้อมกับบันทึกผล ขณะนั้นสารตัวอย่างจะไหลเข้าสู่วาล์วหกทางผ่านปั๊มและไหลกลับไปยังบีกเกอร์ต่อไป เมื่อต้องการปล่อยสารออกจากโพลีเซลล์ ทำได้โดยหมุนวาล์วไปยังตำแหน่งหมายเลข 1 วาล์วหกทางจะทำการสลับตำแหน่ง ปั๊มจะดูดอากาศเพื่อดันสารละลายในโพลีเซลล์กลับสู่บีกเกอร์ ปล่อยไทเทรนต์จนครบปริมาตรที่กำหนด ทำการวิเคราะห์อีก 3 ซ้ำ ขั้นตอนการทำงานของวาล์วขณะเปิด - ปิดสารได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆขณะดูดสารเข้าและปล่อยสารจากโพลีเซลล์

ขั้นตอน	รูปวาล์วหกทาง	อธิบาย	ระยะเวลา (s)
1		เมื่อทำการหมุนวาล์วไปยังตำแหน่งหมายเลข 2 สารตัวอย่างจะถูกดูดเข้าโพลีเซลล์ โดยจะไหลผ่านวาล์วหมายเลข 2 เข้าหมายเลข 3 ผ่านปั๊มและไหลกลับไปยังบีกเกอร์	5 นาที
2		เมื่อทำการหมุนวาล์วไปยังตำแหน่งหมายเลข 1 ปั๊มจะดูดอากาศเข้าไปแทนที่สารตัวอย่างในโพลีเซลล์	5 นาที

2.4 ระบบการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหล สำหรับการหาปริมาณกรดในกาแฟ

เนื่องจากในการวัดค่าแม่สี RGB โดยไทเทรตดังวิธีที่ได้กล่าวไว้ (ในหัวข้อ การปรับกล่องตรวจวัดค่าแม่สีให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ไทเทรตโดยอาศัยการไหล) เมื่อปล่อยไทเทรนต์ตามปริมาตรที่กำหนดและเกิดการผสมระหว่างไทเทรนต์กับไทเทรนต์แล้ว จะต้องทำการปิเปตต์สารละลายผสมมาวัดค่าแม่สีทีละ 10.00 mL ใส่ในหลอดทดลอง

และนำหลอดทดลองบรรจุลงกล่องวัดค่าแม่สีเพื่ออ่านค่าแม่สี RGB ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวใช้เวลานาน อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการแตกหักของเครื่องแก้ว และการหกเลอะเทอะของสารเคมีขณะเปิดสารลงในหลอดทดลองเพื่อทำการวัดค่าแม่สี ดังนั้นจึงได้นำหลักการของการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหล เข้ามาประยุกต์ใช้ในการทดลองนี้

3. การทดสอบประสิทธิภาพของกล่องวัดค่าแม่สี

3.1 การศึกษาการใช้โทรศัพท์มือถือหลายยี่ห้อ/รุ่นกับควบคุมสภาวะ

ภายหลังจากการสร้างกล่องวัดค่าแม่สีได้มีการทดสอบการรองรับการใช้งานกับโทรศัพท์มือถือหลายขนาด ประกอบด้วยยี่ห้อและรุ่นต่าง ๆ ทั้งหมด 7 เครื่อง ดังนี้ I-mobile IQ Big 2, I-mobile IQ 5.6, I-mobile IQ 6.8, Wiko rainbow jam, Vivo v5, Samsung galaxy J1 และ Asus T00J โดยทดสอบวางโทรศัพท์มือถือเข้ากับตัวยึดโทรศัพท์มือถือและทดสอบถ่ายภาพสารละลายสีเพื่อสังเกตระยะโฟกัสและวัดค่าแม่สี R, G, B เพื่อดูความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานโดยได้มีการเตรียมสารละลายมาตรฐานสีจากอินดิเคเตอร์โบรโมไทมอลบลู ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 13 ทั้งหมด 4 ความเข้มข้น คือ $1.6 \mu\text{M}$, $3.2 \mu\text{M}$, $6.4 \mu\text{M}$ และ $8.0 \mu\text{M}$

3.2 การศึกษาผลจากแสงรบกวนภายนอก

กล่องวัดค่าแม่สีมีหน้าที่ควบคุมแสงภายในกล่องให้คงที่ และป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอก ซึ่งสามารถทำให้ค่าแม่สีที่อ่านเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีการทดสอบวัดค่าแม่สีของสารละลายสีเมธิลเรดในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3 ใน 3 สภาวะแสง ได้แก่

1) ห้องที่เปิดไฟทั่วห้อง (ทำการทดลอง ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยเปิดไฟ ทั่วห้องทั้งหมด 6 หลอด)

2) นอกอาคารอาคาร (ทำการทดลอง ณ บริเวณลานหญ้าด้านหลัง ศูนย์วิทยาศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เวลา 9:00 - 9:30 น.)

3) ที่มีตสนิท (ทำการทดลองในตู้ ที่มีตสนิท) โดยทำการวัดค่าแม่สี สภาวะละ 5 ชั่วโมง เพื่อดูความสามารถในการตัดแสงรบกวนและความเที่ยงตรงในการวัดค่าแม่สีของกล่องวัดค่าแม่สีที่ประดิษฐ์ขึ้น

4. การไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบสโดยใช้กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือ

4.1 การทำมาตรฐานสารละลาย NaOH และ HCl

ก. การทำมาตรฐานสารละลาย NaOH

ขั้นแรกอบ KHP ที่อุณหภูมิ $110 - 120^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาทีก่อนนำมาใช้งาน ชั่ง KHP 2.0000 - 2.0500 g ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (น้ำ DI) จนครบ 100 mL จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ KHP

นำสารละลาย KHP ที่เตรียมได้มาทำมาตรฐานสารละลาย NaOH ที่เตรียมจากการชั่ง 2.00 - 2.10 g ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ที่ต้มจนเดือดและทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้องแล้วจนครบ 500 mL โดยใช้สารละลาย NaOH เป็นไทเทรนต์ และใช้ KHP เป็นไทเทรนต์ปริมาตร 25.00 mL หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด ทำการไทเทรตจนถึงจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูอ่อน อ่านและบันทึกปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH ในหน่วยโมลาร์ (ม.ราชภัฏสงขลา, 137)

ข. การทำมาตรฐานสารละลาย HCl

ขั้นแรกเตรียมสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 0.1 M ปริมาตร 250 mL ในขวดปรับปริมาตร ใช้สารละลาย HCl 0.1 M เป็นไทเทรนต์และใช้สารละลาย NaOH ปริมาตร 25.00 mL เป็นไทเทรนต์ หยดฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด แล้วทำการไทเทรตจนถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากชมพูอ่อนเป็นใสไม่มีสี อ่านและบันทึกปริมาตรสารละลาย NaOH ที่ใช้ทำการไทเทรตซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl ในหน่วยโมลาร์ (สรวิชัย สมนาม, 2557)

4.2 การไทเทรตปฏิกิริยากรด - เบส โดยใช้สารละลายมาตรฐาน

ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการไทเทรตปฏิกิริยากรด - เบสโดยสร้างกราฟการไทเทรตระหว่างกรดแก่ (HCl 0.1 M) กับเบสแก่ (NaOH 0.1 M) โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ เพื่อทดลองใช้แอปพลิเคชัน RGB color picker สำหรับวัดค่าแม่สี RGB ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อถึงจุดยุติ และนำค่าแม่สีที่ได้มาสร้างกราฟการไทเทรตเปรียบเทียบกับผลจาก pH meter ต่อไป

ในการไทเทรตปิเปตต์ HCl (ไทเทรนต์) เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 25.00 mL ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL พร้อมฟีนอล์ฟทาลีน 3 หยด จากนั้นนำเครื่อง pH meter

พร้อมอิเล็กโทรดที่ผ่านการเทียบมาตรฐานด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 4 7 และ 10 เรียบร้อยแล้ว กล้องวัดค่าสี และเครื่องกวนสารละลาย มาจัดเป็นชุดการไทเทรต

เปิดเครื่องกวนสารละลายโดยใช้แรงหมุน 320 rpm อ่านค่าแม่สี RGB และ pH ที่ปริมาตรเริ่มต้นพร้อมบันทึกผล ทำการปล่อย NaOH (ไทแทรนด์) เข้มข้น 0.1 M โดยปล่อยทีละ 2.00 mL จนถึงปริมาตรที่ 10.00 mL จากนั้นปล่อยทีละ 1.00 mL จนถึงปริมาตรที่ 21.00 mL และปล่อยทีละ 0.50 mL จนถึงปริมาตรที่ 24.00 mL ระหว่างที่ปล่อยไทแทรนด์แต่ละครั้งให้อ่านค่า pH และวัดค่าแม่สีโดยใช้ปิเปตต์ดูดสารละลายผสมในบีกเกอร์ออกมา 10.00 mL ใส่ลงในหลอดทดลองแล้วใส่ลงในกล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนใกล้จุดยุติซึ่งสังเกตได้จากค่า pH และค่าแม่สี RGB ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ให้ลดปริมาตรการปล่อยไทแทรนด์ลงเป็น 0.20 mL จนถึง 25.00 mL จากนั้นเพิ่มปริมาตรการปล่อยไทแทรนด์เป็น 1.00 mL จนถึงปริมาตรที่ 40.00 mL

นำค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter และค่า RGB จากแอปพลิเคชัน RGB Color Picker มาสร้างกราฟการไทเทรตและเปรียบเทียบปริมาตรจุดสมมูลที่ได้จากกราฟค่าแม่สี RGB กับกราฟที่ได้จากการวัด pH ด้วยเครื่อง pH meter เพื่อหาร้อยละความคลาดเคลื่อนต่อไป

5. การศึกษาผลของอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

เนื่องจากสารละลายกาแฟมีสีเข้ม ในการไทเทรตโดยสังเกตสีที่จุดยุติของอินดิเคเตอร์อาจถูกรบกวนจากสีของกาแฟได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาผลของอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแม่สี RGB โดยศึกษาอินดิเคเตอร์ 3 ชนิดคือ Methyl red, Bromothymol blue และ Phenolphthalein ทำการไทเทรตแบบย้อนกลับกับสารละลายกาแฟคั่วเข้ม (เนื่องจากสีของสารละลายกาแฟคั่วเข้มจะสังเกตสี ณ จุดยุติได้ยากกว่าระดับอื่น) โดยมีขั้นตอนการเตรียมสารละลายกาแฟดังนี้

เริ่มจากนำเมล็ดกาแฟมาบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดกาแฟ จากนั้นชั่งกาแฟที่บดละเอียดด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ให้น้ำหนักอยู่ในช่วง 20-21 g บันทึกน้ำหนักกาแฟที่แน่นอน นำมาชงด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 94 – 97 °C ในอัตราส่วนกาแฟ 20 g: น้ำ 500 mL ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง ทำการปรับปริมาตรสารละลายกาแฟด้วยน้ำ DI (ดัดแปลงจาก รัชฎาพร นวลดี, 2561)

แบ่งสารละลายกาแฟที่เตรียมได้ทั้งหมดออกเป็น 3 ชุดการทดลองโดยแต่ละชุดการทดลองประกอบด้วยสารละลาย กาแฟ 25.00 mL, NaOH 0.1 M 25.00 mL, น้ำ DI 50.00 mL

และอินดิเคเตอร์ 3 หยดโดยอินดิเคเตอร์ที่ใช้มี 3 ชนิด คือ Methyl red, Bromothymol blue และ Phenolphthalein เข้มข้น 0.1% ตามลำดับ จากนั้นทำการไทเทรตแบบย้อนกลับ โดยใช้ชุดการไทเทรตด้วยกล่องวัดค่าค่าแม่สี RGB

นำค่า RGB ที่ได้จากการไทเทรตโดยใช้อินดิเคเตอร์แต่ละชนิดมาสร้างกราฟการไทเทรตระหว่างค่า R G และ B กับปริมาตรไทเทรนต์และเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการทดลองการไทเทรตโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่า pH โดยใช้ pH meter อินดิเคเตอร์แต่ละชนิด

6. การศึกษาหาความเข้มข้น NaOH ที่เหมาะสม

เนื่องจากปริมาณความเป็นกรดที่สามารถไทเทรตได้ (Titratable Acidity) ในกาแฟมีปริมาณที่น้อย ในการทดลองนี้จึงได้ใช้วิธีการไทเทรตย้อนกลับ เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับกรดในกาแฟ โดยเตรียมสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.1 M, 0.05 M, 0.01 M และ 0.005 M ตามลำดับ นำสารละลาย NaOH แต่ละความเข้มข้น ทำมาตรฐานกับสารละลาย KHP ที่ความเข้มข้น 0.1 M, 0.05 M, 0.01 M และ 0.005 M เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย NaOH จากนั้นสารละลาย NaOH แต่ละความเข้มข้นมาทำมาตรฐานกับสารละลาย HCl ที่ความเข้มข้น 0.05 M, 0.01 M และ 0.005 M ตามลำดับ โดยใช้สารละลาย NaOH เป็นไทเทรนต์ และสารละลาย HCl เป็นไทเทรนต์ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย HCl ที่เตรียมได้ (ขั้นตอนการทำมาตรฐานสารละลายดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.4.3.1)

ในการทดลองได้ใช้สารละลายกาแฟดอยช้างคั่วกลาง (ขั้นตอนการเตรียมสารละลายกาแฟดังที่อธิบายในหัวข้อ 3.4.5) นำมาไทเทรตโดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลองในแต่ละชุดการทดลองแสดงรายละเอียดในตาราง 3.2

ตารางที่ 3.2 การศึกษาหาความเข้มข้น NaOH ที่เหมาะสม

ชุดที่	สารเคมีที่บรรจุในบีกเกอร์	ความเข้มข้น HCl
1	สารละลายกาแฟ 25 mL+ NaOH 0.1 M 25 mL+ น้ำ DI 25 mL+ Phenolphthalein 3 หยด	0.1 M
2	สารละลายกาแฟ 25 mL+ NaOH 0.05 M 25 mL+ น้ำ DI 25 mL+ Phenolphthalein 3 หยด	0.05 M
3	สารละลายกาแฟ 25 mL+ NaOH 0.01 M 25 mL+ น้ำ DI 25 mL+ Phenolphthalein 3 หยด	0.01 M
4	สารละลายกาแฟ 25 mL+ NaOH 0.005 M 25 mL+ น้ำ DI 25 mL+ Phenolphthalein 3 หยด	0.005 M

ไทเทรตแบบย้อนกลับอ่านค่าแม่สี G และ pH โดยปล่อยสารละลาย HCl ทีละ 1.00 mL บันทึกผลค่า pH และค่าแม่สี G จนถึงปริมาตรที่ 50.00 mL นำค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter และค่าแม่สี G จากแอปพลิเคชัน RGB Color Picker มาสร้างกราฟการไทเทรตและเปรียบเทียบปริมาตรที่จุดสมมูลที่ได้จากค่าแม่สี G กับค่าที่ได้จากเครื่อง pH meter

7. การประยุกต์ระบบการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหล

7.1 การศึกษาความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหล

ศึกษาความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์ โดยเตรียม NaOH 0.1 M 25.00 mL หยดฟีนอล์ฟทาเลอิน 3 หยด นำไปวัดค่าแม่สี RGB คนละช่วงเวลาจำนวน 3 ช่วง โดยแต่ละช่วงเวลา วัดซ้ำช่วงเวลาละ 11 ครั้ง แล้วนำค่าแม่สี RGB มาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

7.2 การประยุกต์ระบบการวิเคราะห์สำหรับไทเทรตกรด-เบส

ได้ประยุกต์ระบบการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหลในการไทเทรตกรด - เบสทั่วไป โดยนำสารละลายมาตรฐาน HCl 0.1 M มาไทเทรตกับสารละลาย NaOH 0.1 M พร้อมหยด phenolphthalein 3 หยด จากนั้นทำการไทเทรตโดยอาศัยการไหล (ขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ การปรับกล่องตรวจวัดค่าแม่สีให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ไทเทรตโดยอาศัยการไหล) วัดค่าแม่สี RGB จากกล่องวัดค่าแม่สี ทำการบันทึกค่าแม่สี RGB และนำค่าแม่สีมาสร้างกราฟการไทเทรตสังเกตแนวโน้มเทียบกับวิธีมาตรฐานพร้อมเปรียบเทียบแนวโน้มกราฟแม่สีที่ได้เทียบกับวิธีวัดค่าแม่สีปกติ

7.3 การประยุกต์ระบบการวิเคราะห์สำหรับการหาความเป็นกรดในตัวอย่างกาแฟ

ในการทดลองนี้ได้แบ่งการวิเคราะห์หากรดในกาแฟออกเป็น 3 ชุด ตามชนิดของกาแฟที่นำมาวิเคราะห์ กาแฟแต่ละชุดจะประกอบไปด้วยกาแฟระดับดิบ คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม เตรียมสารละลายกาแฟโดยผสมกับ NaOH 0.1 M (ขั้นตอนการเตรียมสารละลายกาแฟดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.4.4 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนเป็นกาแฟ 4 g: น้ำ 100 mL) ทำการไทเทรตสารละลายกาแฟที่เตรียมได้กับสารละลาย HCl 0.1 M ด้วยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหล (ขั้นตอนการวิเคราะห์ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ การปรับกล่องตรวจวัดค่าแม่สีให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ไทเทรตโดยอาศัยการไหล)

สร้างกราฟการไทเทรตแบบปกติและแบบอนุพันธ์อันดับหนึ่งเพื่อหาจุดยุติจากกราฟ
ทำการคำนวณหาความเป็นกรดในกาแฟในหน่วย %w/v พร้อมกับเปรียบเทียบกับผลที่
วัดได้จาก pH meter

7.4 การประยุกต์ระบบการวิเคราะห์สำหรับการหาความเป็นกรดในตัวอย่างน้ำผลไม้

ในการทดลองนี้ ได้ทำการไทเทรตตัวอย่างน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำฝรั่งจำนวน 2 ยี่ห้อคือ
น้ำฝรั่ง 100% ยี่ห้อทิปโก และ ยี่ห้อดอยคำ และน้ำส้มจำนวน 3 ยี่ห้อ คือน้ำส้มสายน้ำผึ้ง
100% ยี่ห้อมาลี น้ำส้มโชกุน 100% ยี่ห้อมาลี และน้ำส้ม 100% ยี่ห้อทิปโก โดยกรอง
ตัวอย่างน้ำฝรั่งและน้ำส้ม ผ่านกระดาษกรอง เบอร์ 4 จากนั้นปิเปตของเหลวที่กรองได้มา
อย่างละ 10.00 mL นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน 0.1 M NaOH โดยใช้
Phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ บันทึกค่า RGB ดังขั้นตอนอธิบายในหัวข้อ การ
ไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส โดยใช้กล้องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือค่า RGB
มาสร้างกราฟการไทเทรตโดยเปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จาก
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AOAC, 2012)