

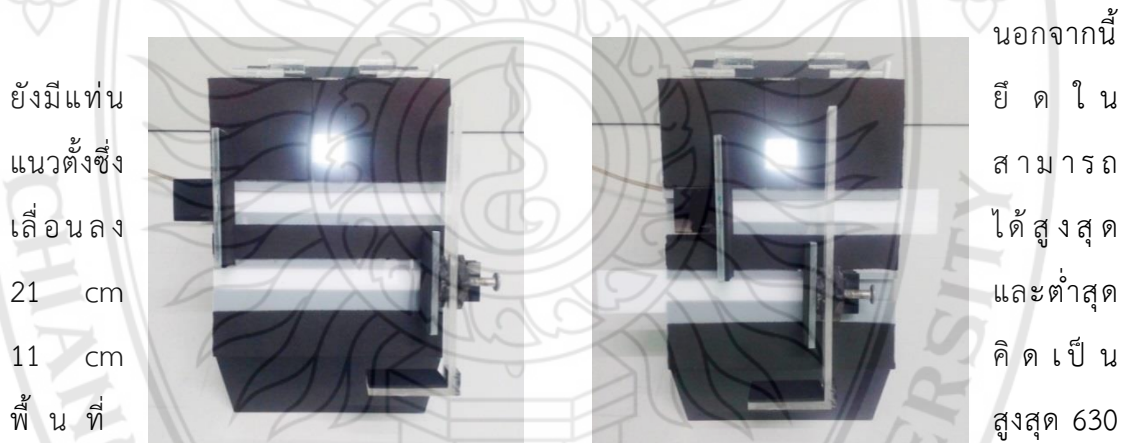
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ระบบการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหลได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส โดยตรวจวัดสัญญาณค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือขณะไทเทรต และควบคุมสถานะในการถ่ายภาพด้วยกล้องตรวจวัดค่าแม่สี ซึ่งมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

การศึกษาการใช้โทรศัพท์มือถือกับกล่องตรวจวัดค่าแม่สี

เนื่องจากโทรศัพท์มือถือแต่ละยี่ห้อ/รุ่น จะมีขนาดและตำแหน่งกล้องถ่ายภาพที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการศึกษาความสามารถในการรองรับการใช้งานโทรศัพท์มือถือกับกล่องวัดค่าแม่สีโดยการทดสอบการที่ยึดจับโทรศัพท์มือถือซึ่งสามารถยื่นออกได้ในแนวขวางพบว่า สามารถยื่นได้กว้างสูงสุด 30 cm และไม่จำกัดความกว้างต่ำสุดเนื่องจากสามารถเลื่อนที่จับยึดเข้าหากันจนประกบกันได้



ตารางเซนติเมตร แสดงการยึดแขนจับตามแนวตั้งและแนวขวางดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 การยื่นที่ยึดจับโทรศัพท์มือถือของกล่องวัดค่าแม่สีตามแนวขวางและแนวตั้ง

โดยในการวิจัยได้มีการนำโทรศัพท์มือถือมาทดสอบ ทั้งหมด 7 เครื่อง และในการทดสอบพบว่าแท่นยึดโทรศัพท์ที่ออกแบบขึ้นมาสามารถรองรับกับขนาดมือถือได้ทุกเครื่อง โดยมีขนาดของโทรศัพท์มือถือ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดของโทรศัพท์มือถือที่นำมาทดสอบความสามารถในการยึดจับ

ยี่ห้อ / รุ่น	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	พื้นที่ (cm ²)	ตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพ
I-mobile / IQ Big 2	15.05	7.65	115.13	จากขอบบน 0.9 cm จากขอบขวา 1.0 cm
I-mobile / IQ 5.6	16.50	8.42	138.93	จากขอบบน 1.8 cm จากขอบขวา 4.1 cm
Wiko / Rainbow jam	14.25	7.16	102.03	จากขอบบน 0.8 cm จากขอบขวา 1.5 cm
Vivo / V5	15.38	7.55	116.12	จากขอบบน 0.6 cm จากขอบขวา 1.6 cm
I-mobile / IQ 6.8	15.50	7.86	121.83	จากขอบบน 1.6 cm จากขอบขวา 3.7 cm
Samsung / J1	12.90	6.82	87.98	จากขอบบน 2.1 cm จากขอบขวา 3.2 cm
Asus / T00J	14.82	7.28	107.89	จากขอบบน 3.0 cm จากขอบขวา 3.6 cm

โดยได้แสดงภาพการยึดจับโทรศัพท์มือถือทั้ง 7 เครื่อง ดังภาพที่ 4.2



(ก)



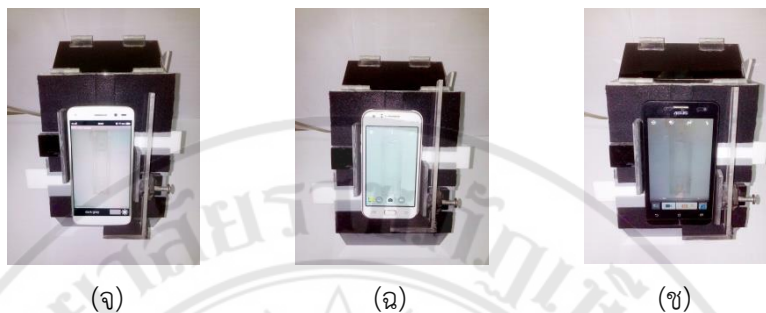
(ข)



(ค)



(ง)



ภาพที่ 4.2 แสดงการยึดจับโทรศัพท์มือถือทั้ง 7 เครื่อง (ก) I-mobile IQ big 2 (ข) I-mobile IQ 5.6 (ค) Wiko Rainbow jam (ง) Vivo V5 (จ) I-mobile IQ 6.8 (ฉ) Samsung GalaxyJ1 (ช) Asus T00J

โดยมือถือโทรศัพท์มือถือแต่ละยี่ห้อ/รุ่นนั้นมีขนาด ตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพ และน้ำหนัก เครื่องที่แตกต่างกัน แต่กล้องวัดค่าสีก็สามารถรองรับการใช้งานกับมือถือได้หลายขนาดรองรับการใช้งานกับมือถือที่มีตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพที่แตกต่างกัน และมีโครงสร้างที่แข็งแรงจึงรองรับขนาดมือถือที่มีน้ำหนักมากได้ดี เนื่องจากใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง

จากการทดสอบความสามารถในการยึดจับโทรศัพท์มือถือหลายยี่ห้อ/รุ่น จึงได้มีการทดสอบความเป็นเส้นตรงในตรวจวัดค่าแม่สีของสารละลายสารละลายมาตรฐานสีโบรโมไทมอลบลูในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 13 ทั้ง 4 ความเข้มข้น จากโทรศัพท์มือถือ ทั้ง 7 เครื่อง เพื่อศึกษาระยะเวลาโพกัส และความคมชัดของกล้องถ่ายภาพ ของโทรศัพท์มือถือที่มีผลต่อการวัดค่าแม่สีโดยได้ผลการทดสอบของโทรศัพท์มือถือแต่ละยี่ห้อ/รุ่น ดังตารางที่ 4.2 จากนั้นสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลคูณของค่าแม่สี $R \cdot G \cdot B$ กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสีโบรโมไทมอลบลู ดังภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าแม่สีจากสารละลายมาตรฐานสีโบรโมไทมอลบลูในละลายบัฟเฟอร์ pH 13

ยี่ห้อ โทรศัพท์มือถือ	ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน สีโบรโมไทมอลบลู (μM)	ค่าแม่สี			
		R	G	B	$R \cdot G \cdot B$
I-mobile รุ่น IQ Big 2	1.6	172.00	176.70	181.00	5,501,024.40
	3.2	161.30	172.30	180.70	5,022,012.59
	6.4	137.00	166.70	180.00	4,110,822.00
	8.0	123.00	163.00	180.00	3,608,820.00

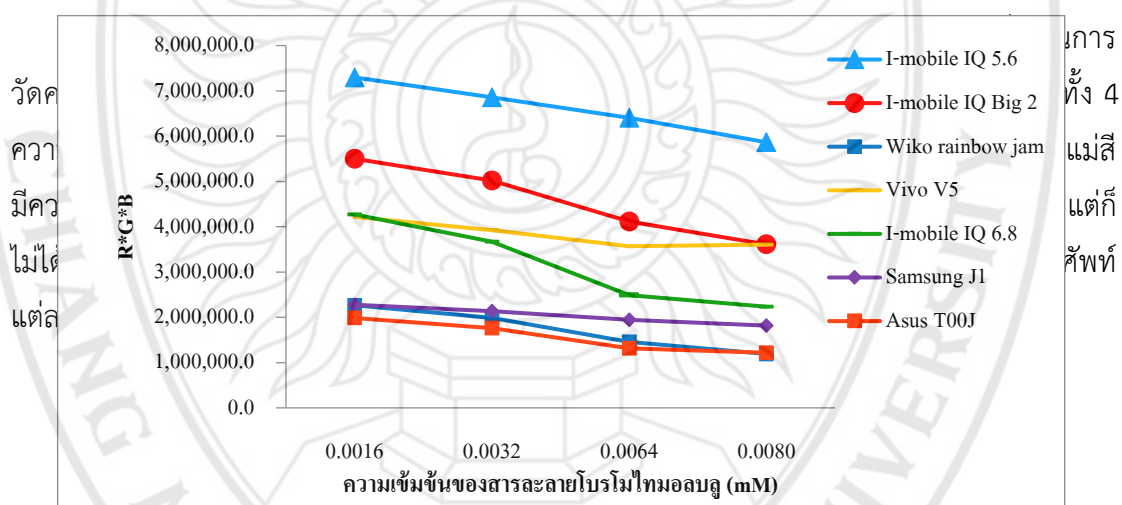
I-mobile รุ่น IQ 5.6	1.6	189.00	196.00	197.00	7,297,668.00
	3.2	181.00	193.30	196.00	6,858,693.33
	6.4	165.70	192.70	200.70	6,404,967.85
	8.0	153.70	188.30	202.70	5,865,285.93
Wiko รุ่น Rainbow jam	1.6	107.00	147.67	143.33	2,264,714.44
	3.2	96.33	144.33	142.67	1,983,653.19
	6.4	74.67	137.33	142.33	1,459,517.63
	8.0	63.00	134.00	141.00	1,190,322.00
Vivo รุ่น V5	1.6	145.33	169.33	171.33	4,216,475.26
	3.2	135.00	167.00	174.00	3,922,830.00
	6.4	111.33	168.67	190.00	3,567,862.22
	8.0	102.33	172.67	204.00	3,604,589.33
I-mobile รุ่น IQ 6.8	1.6	145.00	168.33	175.00	4,271,458.33
	3.2	127.00	165.00	175.00	3,667,125.00
	6.4	94.00	155.00	171.00	2,491,470.00
	8.0	82.00	155.67	175.00	2,233,816.67

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าแม่สีจากสารละลายมาตรฐานสีโบรโมไทมอลบลูในละลายบัฟเฟอร์ pH 13

ยี่ห้อ โทรศัพท์มือถือ	ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน สีโบรโมไทมอลบลู (μM)	ค่าแม่สี			
		R	G	B	R*G*B
Samsung รุ่น Galaxy J1	1.6	129.67	133.00	132.00	2,276,428.00
	3.2	123.00	132.00	131.33	2,132,328.00
	6.4	112.33	129.67	133.33	1,942,118.52
	8.0	104.33	128.00	136.00	1,816,234.67
Asus รุ่น T00J	1.6	116.00	127.00	134.67	1,983,909.33
	3.2	105.00	123.33	135.67	1,756,883.33
	6.4	84.67	115.00	135.33	1,317,695.56
	8.0	78.00	113.00	138.00	1,216,332.00

และเมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 มาพลอตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 กราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสีโบรโมไท- มอลบลู กับค่า RGB-based value จากการตรวจวัด ด้วยโทรศัพท์มือถือ



ผลการ
ตั้ง 4
แม่สี
แต่ก็
สีฟ้า

การศึกษาผลจากแสงรบกวนภายนอก

จากการทดสอบวัดค่าแม่สี RGB ของสารละลายสีเมิลเรด ณ สภาวะของแสงทั้ง 3 สภาวะ ได้แก่ ในห้องที่เปิดไฟสว่างทั่วห้อง และนอกอาคาร ซึ่งแต่ละสภาวะทำการวัดซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อศึกษาผลจากแสงรบกวนภายนอก ให้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าแม่สีในแต่ละสภาวะแสง

สภาวะแสง	ครั้งที่	ค่าแม่สี		
		R	G	B
ห้องเปิดไฟสว่าง	1	172.0	1.0	71.0
	2	173.0	1.0	72.0
	3	172.0	1.0	71.0
	4	173.0	1.0	73.0
	5	172.0	1.0	71.0
	\bar{X}	172.4	1.0	71.6
ที่มีตสนิท	1	174.0	1.0	73.0
	2	174.0	1.0	72.0
	3	173.0	1.0	73.0
	4	173.0	1.0	72.0
	5	173.0	1.0	71.0
	\bar{X}	173.4	1.0	72.2
นอกอาคาร	1	175.0	1.0	74.0
	2	174.0	1.0	73.0
	3	174.0	1.0	72.0
	4	173.0	1.0	72.0
	5	173.0	1.0	71.0
	\bar{X}	173.8	1.0	72.4
% RSD		0.42	0.00	0.58

จากค่าแม่สีที่วัดได้ในแต่ละสภาวะแสง ได้นำมาคำนวณหาค่า %RSD ของค่าแม่สี R < 1 ค่าแม่สี G < 1 และค่าแม่สี B < 1 (แสดงการคำนวณ %RSD ในภาคผนวก ข) แสดงถึงการวัดค่าแม่สีในสภาวะแสงที่แตกต่างกันแต่ให้ผลการวัดค่าแม่สีได้ไม่แตกต่างกัน หรือมีความเที่ยงตรงสูงในการวัดค่าแม่สี แต่ในกรณีในสภาวะที่มีแสงแดดจัด อาจส่งผลกระทบต่อผลการวัดค่าแม่สีและการทำงานของโทรศัพท์มือถือได้

ในการศึกษาการวัดค่าสีด้วยโทรศัพท์มือถือในเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาเปรียบเทียบการวัดค่าสีของอินดิเคเตอร์ระหว่างการใช้โทรศัพท์มือถือกับเครื่องวัดสี Hunter Lab

ศึกษาการใช้กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือ

การทดลองนี้เป็นศึกษาการไทเทรตปฏิกิริยากรด - เบสทั่วไป โดยใช้สารละลายมาตรฐานเพื่อดูแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยา รวมไปถึงศึกษาการใช้กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือซึ่งในการทดลองได้นำสารละลายไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 M มาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 M โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ และทำการวัดค่าแม่สี RGB ด้วยกล่องวัดค่าแม่สี ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลจากเครื่อง pH meter เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกล่องวัดแม่สีได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าแม่สี RGB และค่า pH ของสารละลายจากการไทเทรตสารละลายมาตรฐาน

ปริมาตร NaOH (mL)	ค่าแม่สี (เฉลี่ย)			ค่า pH (เฉลี่ย)
	R	G	B	
0.00	173.33	188.33	183.00	1.22
2.00	173.00	188.00	183.67	1.23
4.00	174.33	189.00	184.33	1.26
6.00	173.33	188.33	183.33	1.30
8.00	172.67	188.00	182.67	1.35
10.00	173.33	188.33	183.33	1.40
11.00	173.33	188.33	183.33	1.44
12.00	172.67	187.67	182.67	1.49
13.00	173.33	188.33	183.33	1.53
14.00	174.00	189.00	184.00	1.57
15.00	173.67	189.33	184.00	1.62
16.00	174.00	189.00	184.00	1.68
17.00	174.00	189.00	184.00	1.74
18.00	173.33	188.33	183.33	1.80
19.00	173.67	188.67	183.67	1.88

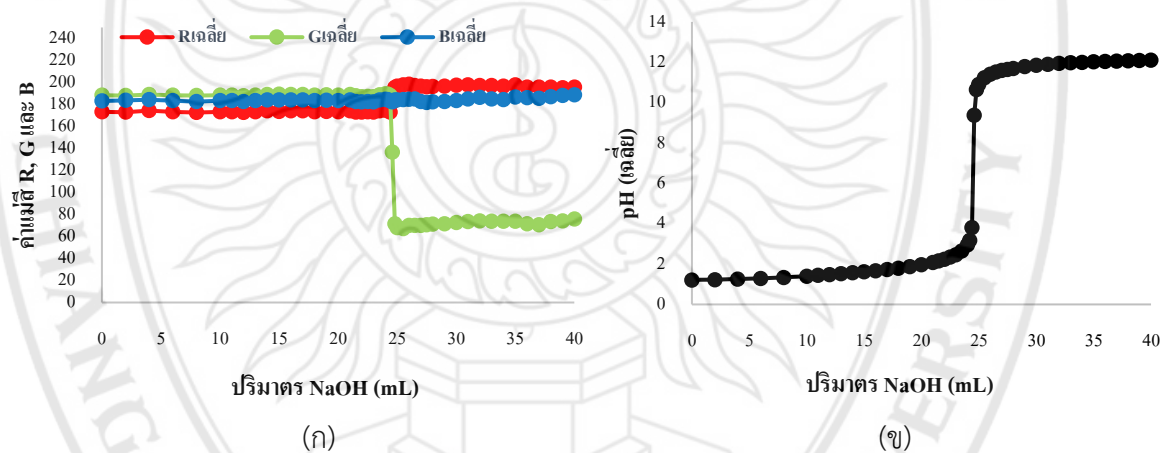
20.00	173.33	188.33	183.33	1.97
21.00	174.00	189.00	184.00	2.08
21.50	173.00	187.67	182.67	2.16
22.00	173.00	187.00	182.33	2.24
22.50	173.33	187.33	182.67	2.35
23.00	173.00	187.00	182.33	2.47
23.50	174.00	188.67	184.00	2.66

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ผลการศึกษาค่าแม่สี RGB และค่า pH ของสารละลายจากการไทเทรตสารละลาย
มาตรฐาน

ปริมาณ NaOH (mL)	ค่าแม่สี (เฉลี่ย)			ค่า pH (เฉลี่ย)
	R	G	B	
24.00	174.67	189.67	184.67	2.96
24.20	174.33	189.33	184.33	3.17
24.40	173.00	188.00	183.00	3.81
24.60	182.00	136.67	182.33	9.37
24.80	195.33	71.33	184.00	10.64
25.00	196.67	68.00	184.00	10.90
25.50	197.67	67.00	184.33	11.24
26.00	198.33	70.00	184.67	11.42
26.50	197.00	70.00	185.00	11.52
27.00	196.67	70.00	182.67	11.60
27.50	196.00	70.67	181.67	11.65
28.00	196.33	71.00	182.33	11.70
29.00	196.67	71.33	182.67	11.79
30.00	197.33	72.67	183.33	11.85
31.00	197.67	73.33	185.00	11.91
32.00	197.00	74.00	186.33	11.94
33.00	197.00	73.67	185.00	11.97
34.00	196.67	73.67	184.33	12.00

35.00	197.67	73.67	186.67	12.02
36.00	195.67	71.33	186.00	12.05
37.00	195.67	70.67	185.33	12.07
38.00	195.67	73.33	187.00	12.08
39.00	195.00	74.00	188.00	12.10
40.00	195.67	75.67	188.67	12.11

จากตารางที่ 4.4 นำข้อมูลมาสร้างกราฟการไทเทรต ได้ผลดังภาพที่ 4.4 (ก) - (ข)



ภาพที่ 4.4 กราฟการไทเทรตจากปฏิกิริยากรด - เบสระหว่าง NaOH กับ HCl

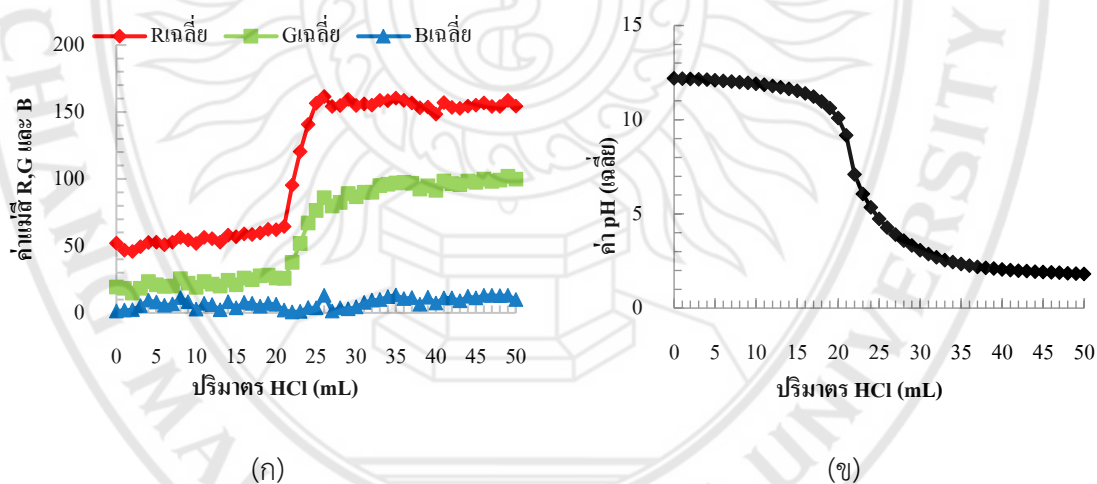
(ก) โดยวัดค่าแม่สี R, G และ B และ (ข) โดยวัดค่า pH ของสารละลาย

จากภาพที่ 4.4 (ก) - (ข) จะเห็นได้ว่ากราฟการไทเทรตกรด - เบส มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าแม่สีและ pH อย่างชัดเจน โดยเมื่อเริ่มไทเทรตที่ปริมาตร 0.00 - 20.00 mL ค่า pH เหลืออยู่ที่ 1 - 3 ในขณะที่กราฟแม่สี R, G และ B ค่อนข้างคงที่เนื่องจากสารละลายใสไม่มีสี จากนั้นปริมาตรที่ 20.00 - 25.00 mL กราฟเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่าแม่สีและค่า pH อย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อถึงจุดยุติพบว่าสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีชมพูเนื่องจากการปล่อยเบสที่มากเกินไป ส่งผลให้

อัตราส่วนของค่าแม่สี R และ B เพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราส่วนของค่าแม่สี G จะลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลจากค่า pH แสดงให้เห็นว่าการสังเกตสี ณ จุดยุติจากกล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือให้ผลที่สอดคล้องกับการผลจากเครื่อง pH meter

การศึกษาผลของอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแม่สี RGB

ได้ศึกษาผลของอินดิเคเตอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแม่สี RGB ด้วยวิธีการไทเทรตแบบย้อนกลับกับสารละลายกาแพคั่วเข้ม (เนื่องจากสีของกาแพคั่วเข้มรบกวนต่อการวิเคราะห์ค่าแม่สี RGB กว่าระดับอื่น ๆ) โดยในการทดลองได้นำสารละลายกาแพคั่วเข้มที่ผสมกับ NaOH 0.1 M มาไทเทรตกับสารละลายมาตราฐาน HCl 0.1 M โดยใช้อินดิเคเตอร์ 3 ชนิด ได้แก่ Methyl red, Bromothymol blue และ Phenolphthalein เพื่อสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าแม่สี RGB จากกล่องวัดค่าแม่สีเทียบกับผลจาก pH meter โดยทำการทดลองทำนองเดียวกับ ศึกษาการใช้กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วย โทรศัพท์มือถือได้ผลกราฟการไทเทรตดังภาพที่ 4.5 - 4.7



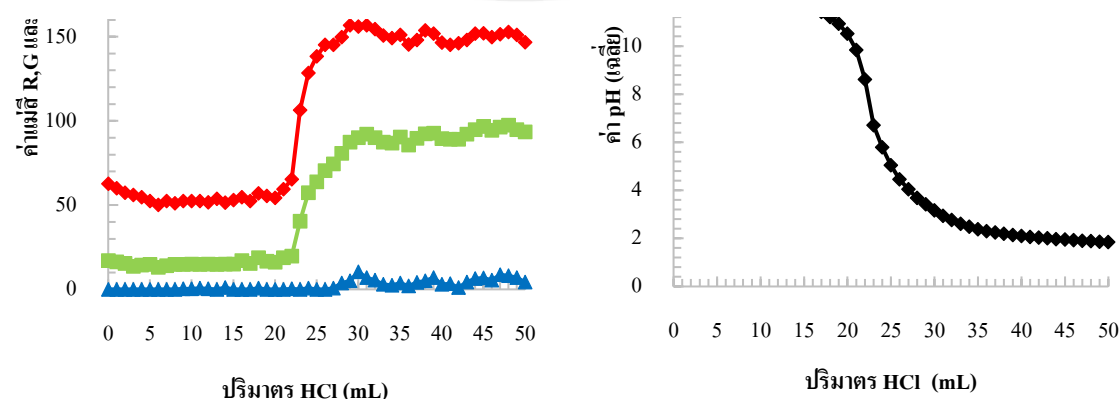
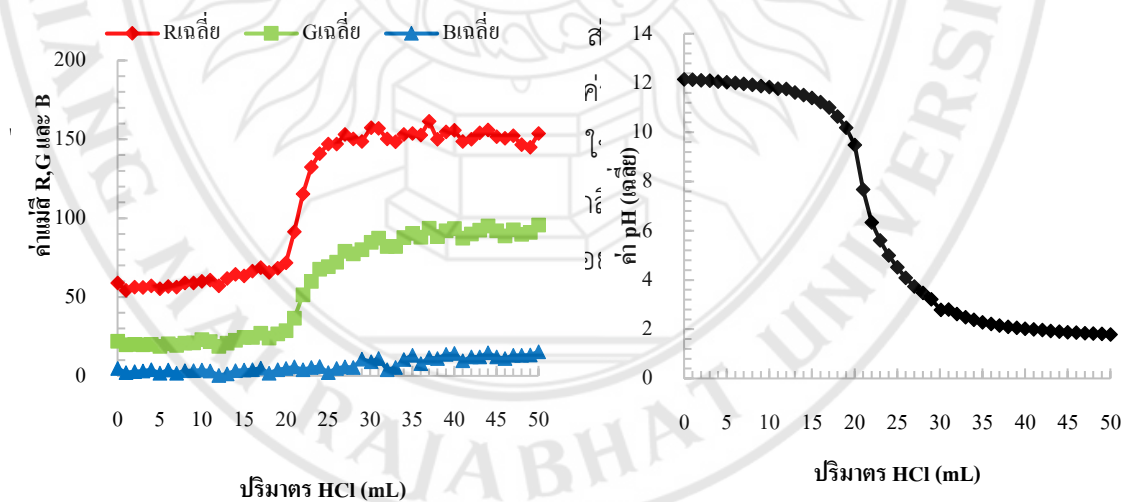
ภาพที่ 4.5 กราฟการไทเทรตโดยสังเกตจุดยุติ (ก) จากค่าแม่สี R, G และ B เฉลี่ย และ (ข) จากค่า pH โดยใช้ Methyl red เป็นอินดิเคเตอร์

โดยทั่วไป Methyl red ในสารละลายเบสจะมีสีเหลืองโดยจากกราฟในภาพที่ 4.5 ที่สภาวะ pH 8 – 13 จะสังเกตเห็นว่าค่าแม่สี R และ G จะสูงกว่าค่าแม่สี B เนื่องจากการที่เราสังเกตเห็น

สารละลายเป็นสีเหลืองนั้นเกิดจากแม่สีแดง (R) และค่าแม่สีเขียว (G) ผสมกัน ซึ่งหลังจากปล่อยสารละลาย HCl ลงไปจนกระทั่งสารละลายอยู่ในสภาวะกรด สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดง ส่งผลให้ค่าแม่สี R เพิ่มสูงขึ้นกว่าค่าแม่สี G และ B อย่างชัดเจน จากนั้นค่ามิสซีจะเริ่มคงที่เมื่อปล่อย HCl มากเกินไป

(ก) (ข)
ภาพที่ 4.6 กราฟการไทเทรตโดยสังเกตจุดยุติ (ก) จากค่าแม่สี R, G และ B เฉลี่ย และ (ข) จาก pH โดยใช้ Bromothymol blue เป็นอินดิเคเตอร์

โดยทั่วไป Bromothymol blue ในสารละลายเบสจะมีสีเทียวเข้มโดยจากภาพที่ 4.6 ช่วง



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.7 กราฟการไทเทรตโดยสังเกตจุดยุติ (ก) จากค่าแม่สี R, G และ B เฉลี่ย และ (ข) จาก pH โดยใช้ Phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์

โดยทั่วไป Phenolphthalein ในสารละลายเบสจะมีสีชมพูโดยจากภาพที่ 4.4 ช่วงก่อนจุดยุติ (pH 8 – 13) จะสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนค่าแม่สี R จะสูงกว่าค่าแม่สีอื่น ๆ โดยหลังจากไทเทรตจนกระทั่งเลยจุดยุติ HCl ที่เติมลงไปจะทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี ค่าแม่สี R, G และ B จึงเพิ่มขึ้นจากเดิม เนื่องจากเมื่อสารละลายไม่มีสี ภาพที่ถ่ายได้จึงเป็นภาพฉากสีขาวของกล้องตรวจวัด ซึ่งสีขาวเกิดจากการผสมกันระหว่างค่าแม่สี R, G และ B ตามลำดับ

จากการศึกษากราฟของอินดิเคเตอร์ทั้ง 3 ชนิด จะสังเกตได้ว่าอินดิเคเตอร์ทั้ง 3 ชนิดสามารถใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดในกาแฟได้ แต่พิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสี ณ จุดยุติ พบว่า Phenolphthalein มีช่วงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนและให้ผลที่คงที่ถูกรบกวนจากสีของสารละลายกาแฟน้อยกว่าอินดิเคเตอร์ชนิดอื่น อีกทั้งในการวิจัยเป็นการศึกษาหากรดในตัวอย่างสารละลายกาแฟ ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีสีเข้ม การใช้ Phenolphthalein ที่มีการเปลี่ยนสีจากสีชมพูเป็นใสไม่มีสีจึงมีความเหมาะสมมากกว่า ดังนั้นจึงได้มีการเลือกนำ Phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ในงานวิจัย

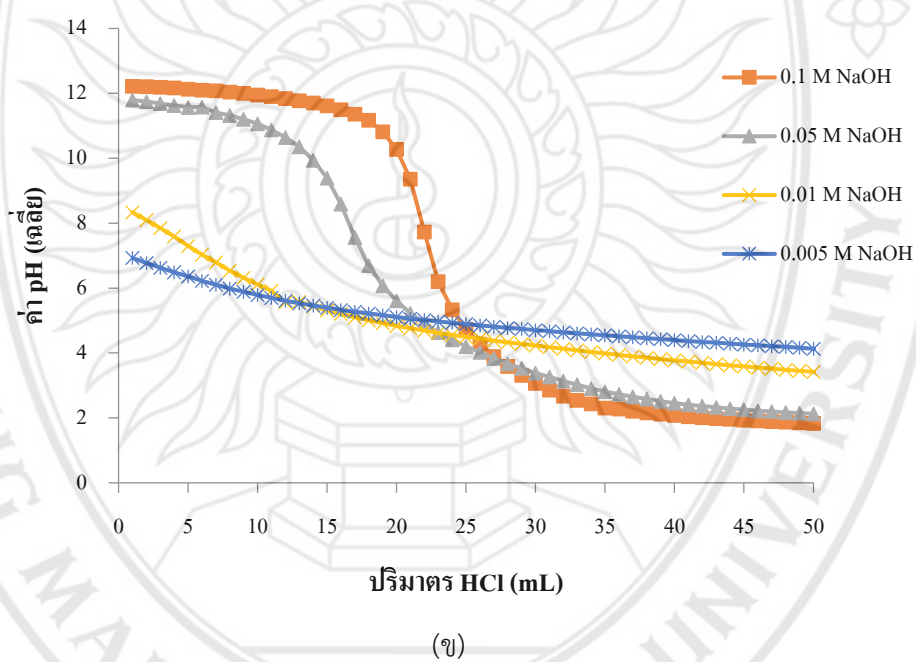
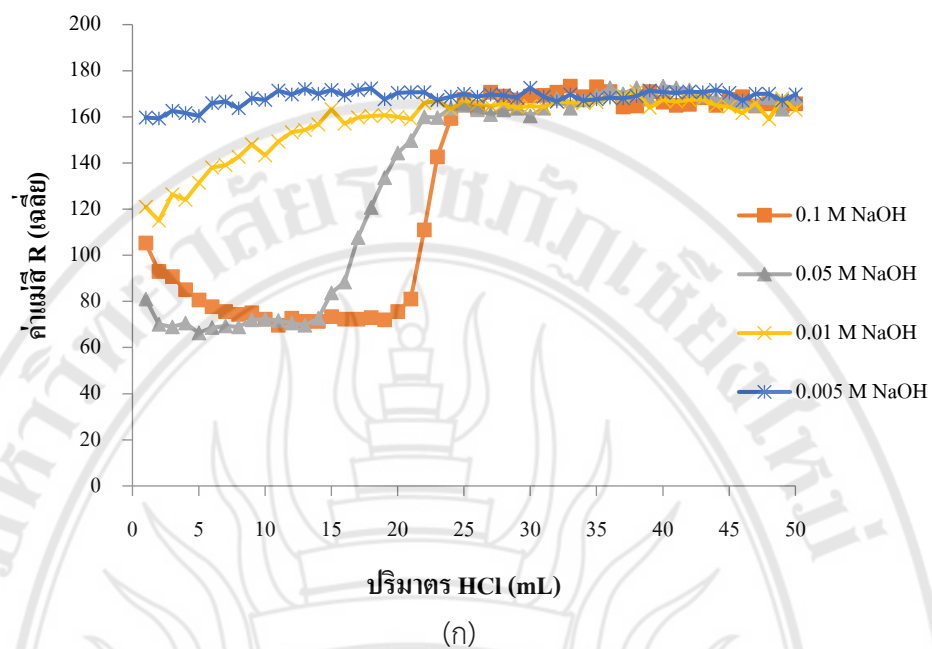
การศึกษาหาความเข้มข้น NaOH ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ความเป็นกรด

การศึกษาความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสมสำหรับหาความเป็นกรดในกาแฟรวมดูเครื่องดื่มที่มีสีอื่นๆ เช่น น้ำผลไม้ โดยศึกษาสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.1 M, 0.05 M, 0.01 M และ 0.005 M ตามลำดับ

โดยจากการทดลองศึกษาการใช้กล้องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือและการศึกษาผลของอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแม่สี RGB พบว่าการสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสี ณ จุดยุติ กราฟแม่สี B ค่าแม่สีที่อ่านค่าได้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับแม่สี R และ G เนื่องจากสีของกาแฟเป็นสีน้ำตาลเข้ม อีกทั้งอินดิเคเตอร์ Phenolphthalein ที่ใช้มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างไม่มีสีกับสีชมพู ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าแม่สี B น้อยมาก ดังนั้นจึงไม่นำแม่สี B มาใช้สังเกตการเปลี่ยนแปลงสี ณ จุดยุติ ในขณะที่กราฟแม่สี R มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสี ณ จุดยุติที่ต่ำกว่ากราฟแม่สีอื่น ๆ อีกทั้งยังให้จุดยุติใกล้เคียงกับผลที่วัดได้จาก pH meter เนื่องมาจากสี

ของอินดิเคเตอร์ phenolphthalein ซึ่งเปลี่ยนเป็นสีชมพูให้กรดสีตรงข้ามกับค่าแม่สี R และเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่าแม่สี R ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้รายงานผลโดยใช้จุดยุติจากกราฟแม่สี R ของ NaOH แต่ละความเข้มข้นเปรียบเทียบกับผลจุดยุติจาก pH meter ได้ผลดังภาพที่ 4.8 (ก) - (ข)





ภาพที่ 4.8 กราฟการไทเทรตเพื่อศึกษาความเข้มข้น NaOH ที่เหมาะสมจากการวัด
(ก) ค่าแม่สี R และ (ข) จากค่า pH

จากภาพที่ 4.8 ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบปริมาณที่จุดสมมูลจากกราฟทั้ง 2 ประเภทได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบจุดสมมูลของกราฟจากการสังเกตค่าแม่สี R และค่า pH ในการศึกษาผลของ NaOH

ความเข้มข้น NaOH (M)	ปริมาตร HCl ที่จุดยุติจากการไทเทรต (mL)	
	pH meter	โทรศัพท์มือถือ
0.1	22.00	22.00
0.05	16.00	16.00
0.01	ไม่สามารถหาจุดยุติได้	ไม่สามารถหาจุดยุติได้
0.005	ไม่สามารถหาจุดยุติได้	ไม่สามารถหาจุดยุติได้

จากตารางจะสังเกตได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของจุดสมมูลที่หาได้จาก pH และจากโทรศัพท์มือถือ ความเข้มข้นของ NaOH ที่ 0.1 M และ 0.05 M กราฟการไทเทรตจะมีการเปลี่ยนแปลงบริเวณจุดสมมูลชัดเจน ในขณะที่จากความเข้มข้นที่ 0.01 M และ 0.005 M กราฟค่อนข้างเป็นเส้นตรง จึงไม่สามารถหาจุดยุติจากกราฟได้ และเมื่อพิจารณาความเข้มข้น NaOH ที่ 0.1 M พบว่ามีช่วงการเปลี่ยนแปลงสีที่จุดยุติชัดเจนกว่า NaOH ที่ความเข้มข้น 0.05 M ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ ความเข้มข้น NaOH ที่ 0.1 M มาศึกษาการไทเทรตหากรดในกาแฟโดยใช้วิธีไทเทรตแบบย้อนกลับ นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นดังกล่าวจะช่วยลดโอกาสจากความคลาดเคลื่อนจากการเตรียมสารได้ดีกว่าที่ความเข้มข้น 0.05 M อีกด้วย

การประยุกต์ใช้ระบบการวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหล

1. ความเที่ยงตรง (Precision) ในการอ่านสัญญาณค่าแม่สี RGB

ในการทดลองนี้ได้ประยุกต์หลักการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหลเข้ากับระบบการวิเคราะห์ที่ตั้งได้อธิบายในหัวข้อ การปรับกล่องตรวจวัดค่าแม่สีให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ไทเทรตโดยอาศัยการไหล ซึ่งในเบื้องต้นได้ศึกษาความเที่ยงตรงโดยสังเกตค่าการทวนซ้ำ (Reproducibility) ในการอ่านสัญญาณของระบบดังกล่าว จากการไทเทรตปฏิกิริยากรด - เบสทั่วไป ซึ่งได้นำสารละลายมาตรฐาน 0.1 M HCl มาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน 0.1 M NaOH โดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์ จากนั้นไทเทรตด้วยระบบดังกล่าว 3 รอบ แต่ในรอบทำการวัดค่าแม่สี RGB ซ้ำ 11 ครั้ง และแต่ละรอบทำคนละช่วงเวลาได้ ผลการวัดค่าแม่สี แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การศึกษาการทวนซ้ำของการวัดค่าแม่สีด้วยระบบการวิเคราะห์แบบโทเทรตโดยอาศัยการไหล

ครั้งที่	รอบที่ 1			รอบที่ 2			รอบที่ 3		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	161	153	168	153	156	163	151	156	162
2	159	153	166	155	156	163	151	154	160
3	158	152	164	153	156	161	151	154	161
4	156	153	164	153	156	161	153	156	161
5	158	155	164	152	155	160	152	153	160
6	158	155	164	153	156	161	152	155	160
7	159	156	165	153	156	161	152	155	162
8	158	155	164	153	156	162	151	154	159
9	156	154	163	151	154	159	150	153	160
10	157	155	164	152	155	159	153	156	161
11	158	156	163	152	154	159	153	156	161
เฉลี่ย	158	154	164	153	155	161	152	155	161
SD	1.4142	1.3484	1.4397	1.0090	0.8202	1.4709	1.0090	1.1909	0.9244
%RSD	0.90	0.87	0.88	0.66	0.53	0.91	0.67	0.77	0.58

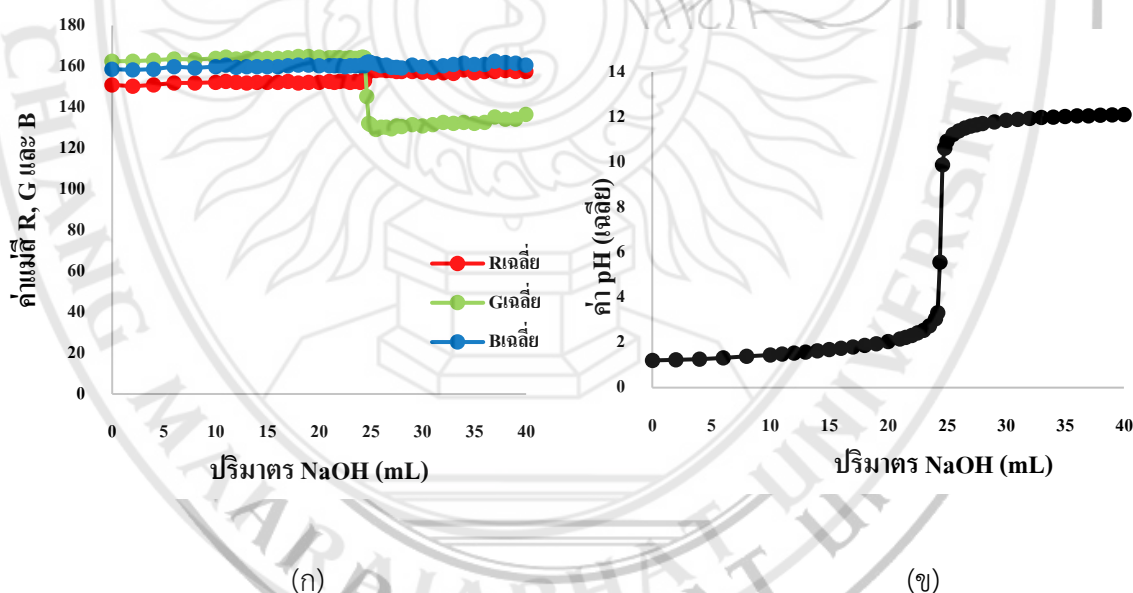
จากการวัดค่าแม่สีทั้ง 3 ช่วงเวลาแล้วนำค่าที่ได้มาทำการหาค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) พบว่าค่า %RSD ของแม่สี R, G และ B แต่ละช่วงเวลามีค่าน้อยกว่าร้อยละหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าการวัดค่าแม่สีในทั้ง 3 ช่วงเวลาที่แตกต่างกันก็ยังให้ผลไม่แตกต่างกัน หรือการวัดค่าแม่สีที่ได้มีความเที่ยงค่อนข้างสูง

2. การศึกษาสมรรถนะอื่น ๆ ของระบบไทเทรตแบบอาศัยการไหล

จากการศึกษาสมรรถนะอื่น ๆ ของระบบแบบอาศัยการไหลพบว่า ระบบมีอัตราการไหล (Flow rate) เท่ากับ 1.35 mL /min ซึ่งใช้เวลาในการวัดค่าแม่สี RGB เท่ากับ 24/รอบ

3. การวิเคราะห์แบบไทเทรตโดยอาศัยการไหลด้วยปฏิกิริยาไทเทรตกรด - เบสทั่วไป

ระบบการไทเทรตแบบอาศัยการไหลที่พัฒนาขึ้นในเบื้องต้น ได้นำมาทดสอบการไทเทรตกับปฏิกิริยากรด - เบสทั่วไป โดยเป็นการไทเทรตสารละลายมาตรฐาน 0.1 M NaOH และ 0.1 M HCl ตามลำดับ (ทำนองเดียวกับการศึกษาการใช้กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือ) โดย phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์และทำการวัดค่าแม่สี RGB จากกล่องวัดค่าแม่สี ควบคู่กับการวัดค่า pH ด้วย pH meter ซึ่งได้ตัวอย่างกราฟการไทเทรตดังภาพที่ 4.9 (ก) และ (ข)



ภาพที่ 4.9 กราฟการไทเทรตจากการไทเทรตปฏิกิริยากรด-เบส (ก) วัดค่าแม่สี R, G และ B (ข) วัดค่า pH วัดค่า pH ด้วยระบบการไทเทรตแบบอาศัยการไหล

จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกราฟทั้ง 2 ประเภท พบว่าให้จุดสมมูลที่สอดคล้องกันและให้ผลทำนองเดียวกันกับการไทเทรตแบบปกติตั้งหัวข้อการศึกษาการใช้กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB ด้วยโทรศัพท์มือถือ

ดังนั้นระบบการไทเทรตแบบอาศัยการไหลควบคู่กับการวัดสัญญาณด้วยกล่องวัดค่าแม่สีมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการไทเทรตเพื่อหาความเป็นกรดต่อไป

4. การประยุกต์ระบบวิเคราะห์ไทเทรตโดยอาศัยการไหลสำหรับหาความเป็นกรดในตัวอย่างกาแฟ

ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์หาความเป็นกรดในกาแฟด้วยวิธีการไทเทรตแบบอาศัยการไหล ซึ่งใช้กาแฟอยู่ 3 แหล่งปลูก ได้แก่ ลาว แม่ฮ่อง และอินทนนท์ และประกอบด้วยกาแฟดิบ คั่วอ่อน คั่วกลาง และคั่วเข้ม กาแฟจะถูกบดและต้ม (อัตราส่วนของกาแฟเป็น 4 g: น้ำ 100 mL) ใช้อุณหภูมิ 94 – 97 °C จากนั้นนำมาไทเทรตแบบย้อนกลับโดยผสมตัวอย่างกาแฟกับสารละลายมาตรฐาน NaOH แล้วไทเทรตโดยใช้สารละลายมาตรฐาน HCl เป็นไทเทรนต์ วัดค่าแม่สี RGB ด้วยกล่องวัดค่าแม่สี จากนั้นนำค่าแม่สี G ที่ได้มาสร้างกราฟการไทเทรตทั้งแบบกราฟการไทเทรตแบบปกติและกราฟการไทเทรตแบบอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และหาจุดยุติของค่าแม่สี R แล้วคำนวณหาความเป็นกรดในกาแฟในหน่วย %w/v ผลการวิเคราะห์ในตัวอย่างทุกตัวจะเปรียบเทียบกับกราฟการไทเทรตโดยวัดสัญญาณจากการใช้ pH meter ได้ผลดังตารางที่ 4.7 - 4.9

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดค่า RGB และค่า pH ของสารละลายในการไทเทรตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหลเพื่อหาปริมาณกรดในตัวอย่างกาแฟลาว

ปริมาณ HCl (mL)	ระดับการคั่ว															
	ดิบ				คั่วอ่อน				คั่วกลาง				คั่วเข้ม			
	ผลการตรวจวัดค่า แมกนี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่า แมกนี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่า แมกนี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่า แมกนี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter	
	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$
0.00	135.00		12.27		128.00		12.16		118.33		12.37		115.00		12.35	
1.00	134.50	-0.50	12.21	-0.06	128.50	0.50	12.14	-0.02	118.33	0.00	12.36	-0.02	114.50	-0.50	12.33	-0.02
2.00	136.00	1.50	12.19	-0.02	128.50	0.00	12.11	-0.03	118.00	-0.33	12.34	-0.01	114.00	-0.50	12.28	-0.05
3.00	136.00	0.00	12.16	-0.02	128.50	0.00	12.08	-0.04	117.33	-0.67	12.31	-0.03	114.50	0.50	12.28	-0.01
4.00	136.00	0.00	12.13	-0.03	128.00	-0.50	12.04	-0.04	117.67	0.33	12.28	-0.03	115.50	1.00	12.27	-0.01
5.00	136.00	0.00	12.10	-0.04	128.50	0.50	12.00	-0.04	118.00	0.33	12.24	-0.04	114.00	-1.50	12.21	-0.06
6.00	135.50	-0.50	12.06	-0.04	128.50	0.00	11.96	-0.04	118.00	0.00	12.19	-0.05	114.00	0.00	12.17	-0.04
7.00	136.50	1.00	12.02	-0.04	127.50	-1.00	11.91	-0.05	118.00	0.00	12.14	-0.05	114.00	0.00	12.12	-0.04
8.00	136.50	0.00	11.97	-0.05	129.00	1.50	11.86	-0.05	118.33	0.33	12.08	-0.06	114.50	0.50	12.07	-0.05
9.00	136.00	-0.50	11.93	-0.04	127.50	-1.50	11.80	-0.06	118.00	-0.33	12.01	-0.07	114.50	0.00	12.02	-0.05
10.00	135.50	-0.50	11.87	-0.05	127.00	-0.50	11.73	-0.07	118.33	0.33	11.93	-0.08	115.00	0.50	11.95	-0.07
11.00	136.50	1.00	11.80	-0.07	127.50	0.50	11.66	-0.08	118.67	0.33	11.82	-0.10	115.50	0.50	11.89	-0.06
12.00	136.50	0.00	11.73	-0.08	128.00	0.50	11.55	-0.10	118.33	-0.33	11.70	-0.12	115.00	-0.50	11.80	-0.09
13.00	136.00	-0.50	11.65	-0.08	127.00	-1.00	11.45	-0.11	119.00	0.67	11.54	-0.16	115.50	0.50	11.71	-0.09
14.00	136.00	0.00	11.54	-0.11	129.00	2.00	11.29	-0.16	119.00	0.00	11.31	-0.23	115.50	0.00	11.58	-0.13
15.00	136.00	0.00	11.42	-0.13	127.50	-1.50	11.09	-0.20	118.67	-0.33	10.99	-0.33	115.50	0.00	11.43	-0.15
16.00	136.00	0.00	11.25	-0.16	127.50	0.00	10.84	-0.25	120.67	2.00	10.48	-0.51	116.00	0.50	11.21	-0.22

17.00	137.00	1.00	10.99	-0.27	129.00	1.50	10.23	-0.61	125.33	4.67	9.74	-0.74	116.50	0.50	10.84	-0.37
18.00	137.50	0.50	10.61	-0.38	132.50	3.50	9.41	-0.82	131.33	6.00	8.33	-1.41	119.50	3.00	10.15	-0.69
19.00	137.00	-0.50	10.00	-0.61	132.50	0.00	8.03	-1.39	138.00	6.67	6.71	-1.61	127.00	7.50	8.89	-1.26
20.00	141.00	4.00	9.01	-0.99	145.00	12.50	6.32	-1.71	141.67	3.67	5.76	-0.96	137.00	10.00	6.95	-1.95

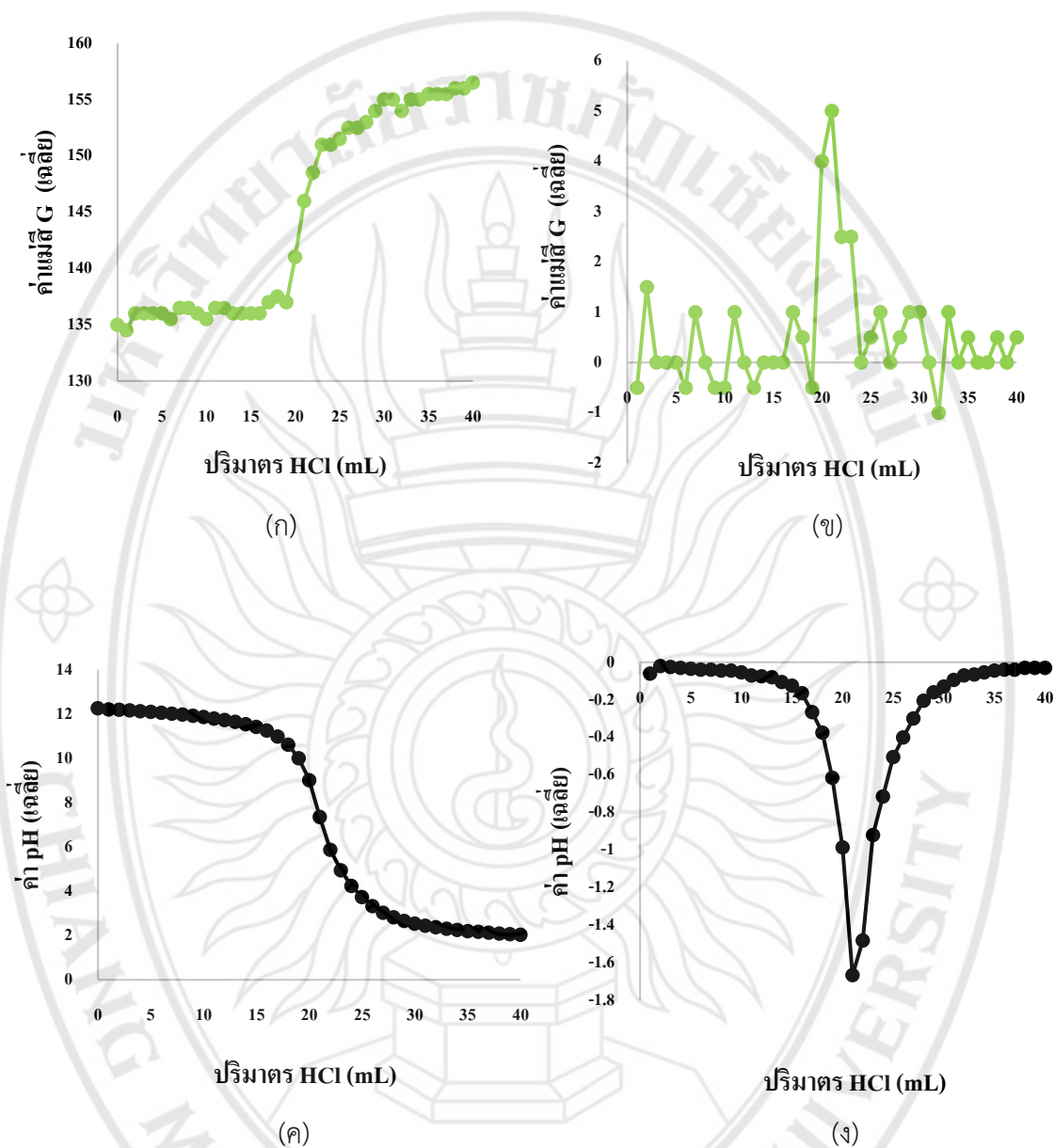
ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ผลการวัดค่า RGB และค่า pH ของสารละลายในการไทเทรตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหลเพื่อหาปริมาณกรดในตัวอย่างกาแฟลาว

ปริมาตร HCl (mL)	ระดับการคั่ว															
	ดิบ				คั่วอ่อน				คั่วกลาง				คั่วเข้ม			
	ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัด ด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัด ด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัด ด้วย pH meter	
	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$
21.00	146.00	5.00	7.35	-1.67	146.00	1.00	5.36	-0.95	143.00	1.33	5.09	-0.66	139.00	2.00	5.64	-1.31
22.00	148.50	2.50	5.87	-1.48	147.50	1.50	4.70	-0.66	145.00	2.00	4.58	-0.52	142.00	3.00	4.90	-0.74
23.00	151.00	2.50	4.95	-0.92	150.00	2.50	4.25	-0.46	145.33	0.33	4.18	-0.40	144.00	2.00	4.38	-0.51
24.00	151.00	0.00	4.23	-0.72	150.00	0.00	3.86	-0.39	145.33	0.00	3.81	-0.37	147.00	3.00	3.96	-0.43
25.00	151.50	0.50	3.73	-0.51	151.00	1.00	3.52	-0.34	145.33	0.00	3.50	-0.31	148.00	1.00	3.64	-0.32
26.00	152.50	1.00	3.33	-0.40	151.00	0.00	3.24	-0.28	146.33	1.00	3.24	-0.26	148.00	0.00	3.34	-0.30
27.00	152.50	0.00	3.03	-0.30	151.50	0.50	3.00	-0.25	147.67	1.33	3.01	-0.23	150.50	2.50	3.09	-0.25
28.00	153.00	0.50	2.82	-0.21	152.00	0.50	2.79	-0.21	148.67	1.00	2.82	-0.19	150.50	0.00	2.88	-0.22
29.00	154.00	1.00	2.66	-0.16	152.50	0.50	2.65	-0.15	148.00	-0.67	2.67	-0.16	150.50	0.00	2.72	-0.16
30.00	155.00	1.00	2.53	-0.13	152.50	0.00	2.52	-0.13	148.33	0.33	2.55	-0.12	150.00	-0.50	2.60	-0.13
31.00	155.00	0.00	2.44	-0.10	152.50	0.00	2.43	-0.09	148.67	0.33	2.45	-0.09	151.50	1.50	2.50	-0.10
32.00	154.00	-1.00	2.37	-0.07	152.50	0.00	2.35	-0.07	148.67	0.00	2.37	-0.08	151.50	0.00	2.42	-0.08

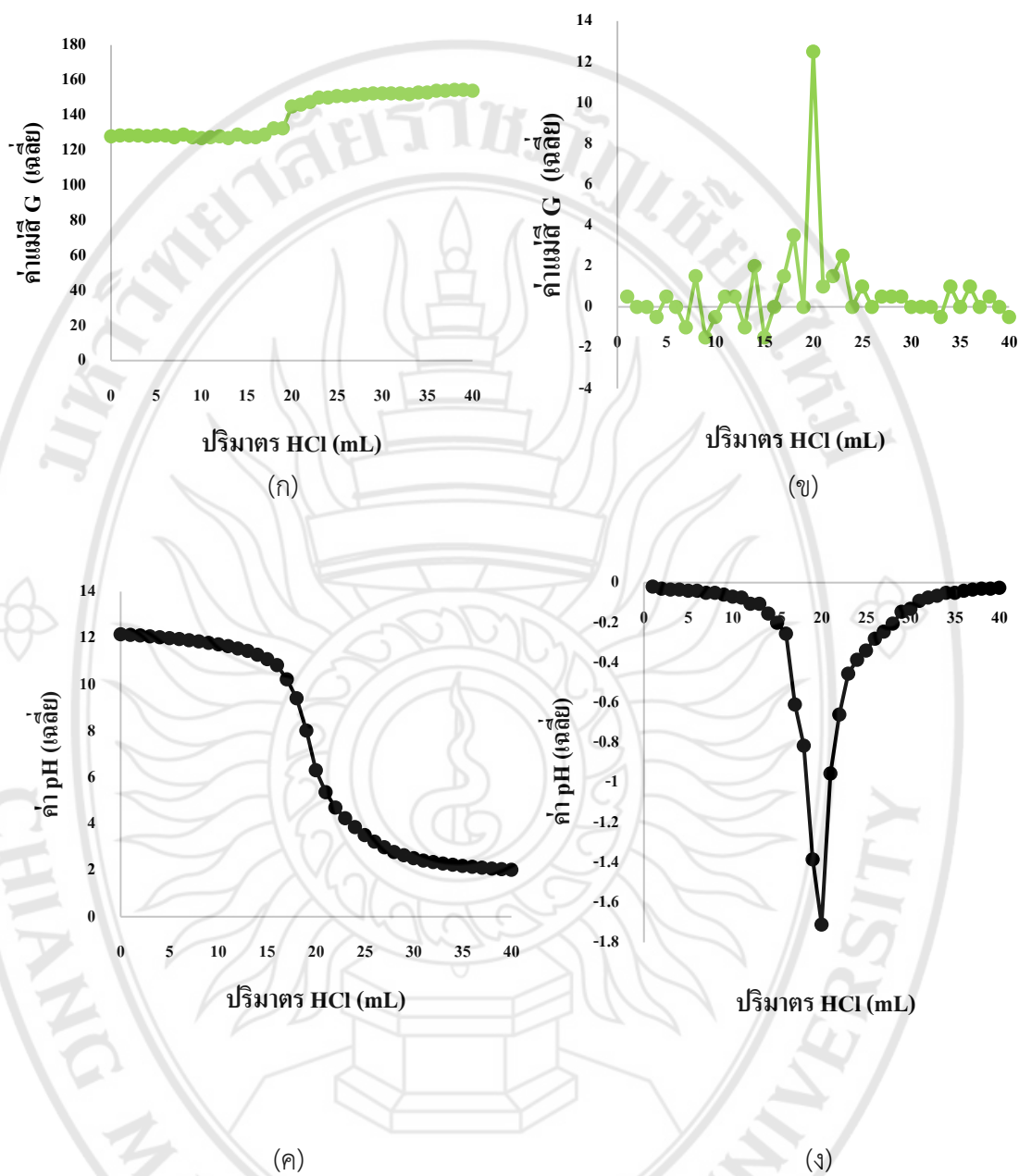
33.00	155.00	1.00	2.30	-0.07	152.00	-0.50	2.29	-0.06	148.33	-0.33	2.31	-0.06	151.00	-0.50	2.35	-0.06
34.00	155.00	0.00	2.25	-0.05	153.00	1.00	2.24	-0.05	148.67	0.33	2.26	-0.05	151.00	0.00	2.29	-0.06
35.00	155.50	0.50	2.20	-0.04	153.00	0.00	2.19	-0.05	149.33	0.67	2.21	-0.05	151.50	0.50	2.24	-0.05
36.00	155.50	0.00	2.16	-0.04	154.00	1.00	2.15	-0.04	150.67	1.33	2.17	-0.04	151.00	-0.50	2.20	-0.04
37.00	155.50	0.00	2.12	-0.04	154.00	0.00	2.11	-0.04	151.33	0.67	2.13	-0.04	151.00	0.00	2.16	-0.04
38.00	156.00	0.50	2.09	-0.03	154.50	-0.50	2.08	-0.03	151.00	-0.33	2.10	-0.03	151.50	0.50	2.13	-0.03
39.00	156.00	0.00	2.06	-0.03	154.50	0.00	2.05	-0.03	151.67	0.67	2.07	-0.03	152.00	0.50	2.10	-0.04
40.00	156.50	0.50	2.03	-0.03	154.00	-0.50	2.03	-0.02	151.33	-0.33	2.05	-0.03	152.00	0.00	2.07	-0.03



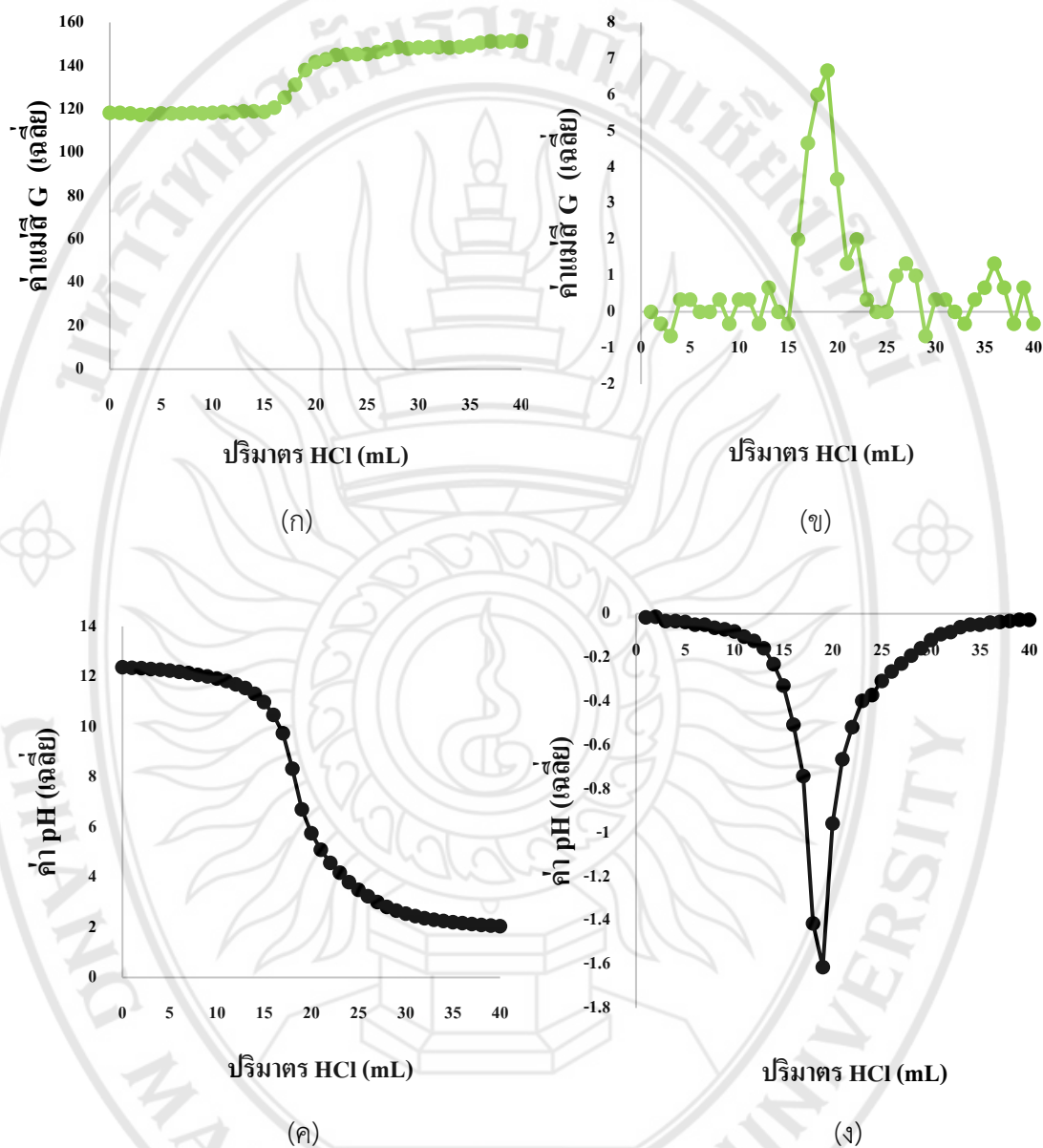
จากตาราง 4.7 นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟการไทเทรต ได้ผลดังภาพที่ 4.10 - 4.13



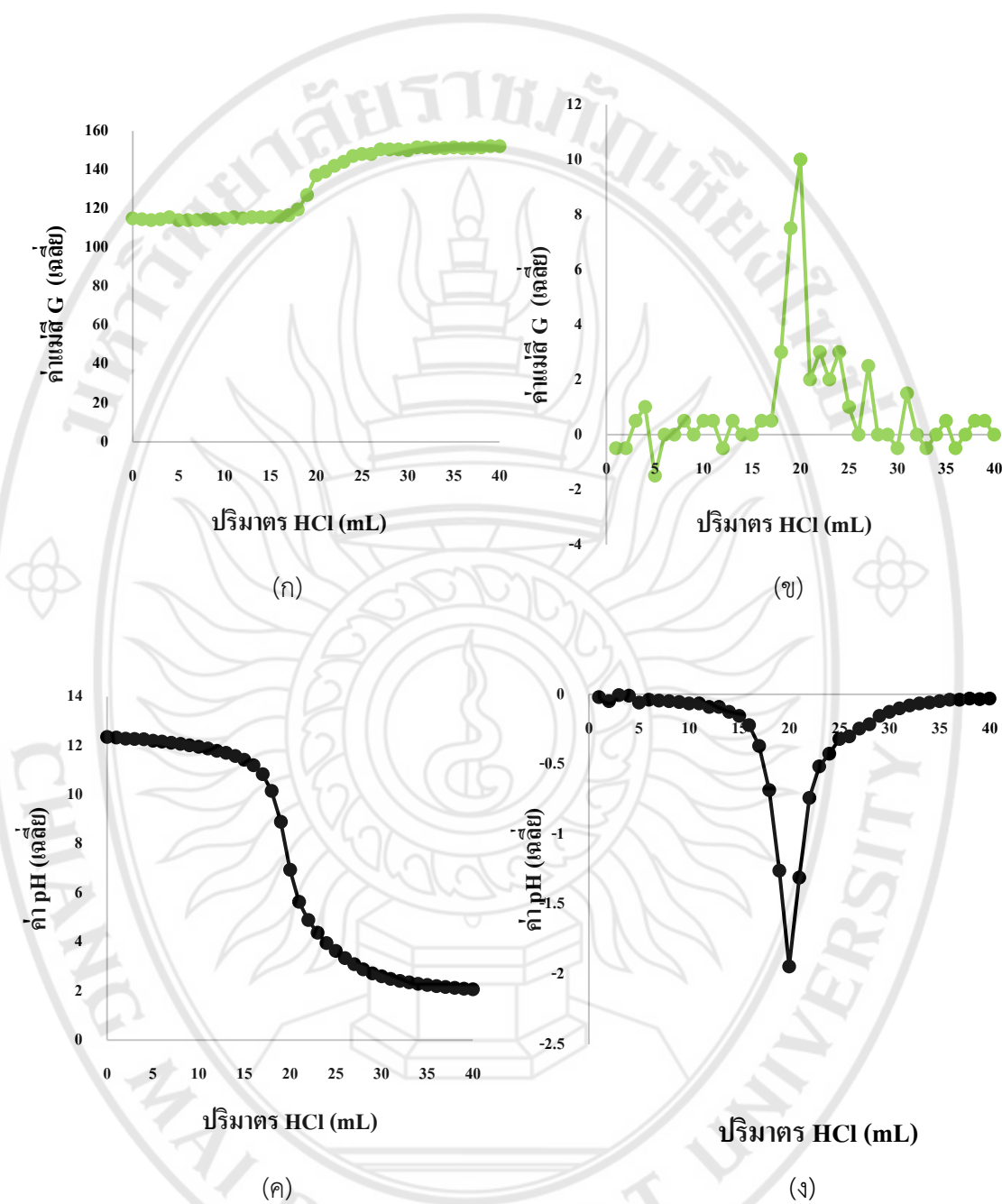
ภาพที่ 4.10 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาแฟลาวติบ (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟ อนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.11 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาแฟลาวคั่วอ่อน (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.12 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาแฟลาวคั่วกลาง (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยจากสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.13 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาแฟลาวคั่วเข้ม (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่า pH

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดค่า RGB และค่า pH ของสารละลายโดยวิธีการไทเทรตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหลเพื่อหาปริมาณกรดในตัวอย่างกาแฟแม่สลอง

ปริมาตร HCl (mL)	ระดับการคั่ว															
	ดิบ				คั่วอ่อน				คั่วกลาง				คั่วเข้ม			
	ผลการตรวจวัดค่า แมสสี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่า แมสสี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่า แมสสี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่า แมสสี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter	
	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$
0.00	126.67		12.28		128.33		12.01		117.00		12.13		109.00		12.04	
1.00	127.00	0.33	12.26	-0.02	128.33	0.00	11.98	-0.03	116.00	-1.00	12.10	-0.03	108.33	-0.67	12.03	-0.01
2.00	127.00	0.00	12.24	-0.03	128.33	0.00	11.95	-0.03	115.67	-0.33	12.08	-0.03	107.67	-0.67	12.02	-0.02
3.00	127.33	0.33	12.21	-0.02	129.00	0.67	11.92	-0.03	115.67	0.00	12.05	-0.03	107.67	0.00	12.00	-0.02
4.00	127.00	-0.33	12.17	-0.04	128.33	-0.67	11.88	-0.04	116.33	0.67	12.01	-0.03	107.33	-0.33	11.97	-0.03
5.00	127.67	0.67	12.14	-0.03	128.00	-0.33	11.84	-0.04	116.33	0.00	11.98	-0.04	107.33	0.00	11.94	-0.03
6.00	127.67	0.00	12.10	-0.04	129.00	1.00	11.80	-0.04	117.33	1.00	11.94	-0.04	107.67	0.33	11.91	-0.03
7.00	128.00	0.33	12.06	-0.04	129.33	0.33	11.76	-0.04	117.00	-0.33	11.90	-0.04	107.67	0.00	11.87	-0.04
8.00	128.67	0.67	12.02	-0.05	128.67	-0.67	11.71	-0.05	117.67	0.67	11.85	-0.04	107.33	-0.33	11.82	-0.04
9.00	128.67	0.00	11.97	-0.05	128.00	-0.67	11.64	-0.07	118.33	0.67	11.80	-0.06	107.33	0.00	11.78	-0.05
10.00	128.67	0.00	11.91	-0.06	128.67	0.67	11.58	-0.06	118.33	0.00	11.74	-0.06	107.33	0.00	11.72	-0.06
11.00	128.33	-0.33	11.85	-0.06	130.00	1.33	11.51	-0.07	118.00	-0.33	11.67	-0.06	107.00	-0.33	11.66	-0.06
12.00	128.33	0.00	11.77	-0.07	131.33	1.33	11.40	-0.11	118.67	0.67	11.60	-0.08	107.00	0.00	11.58	-0.08
13.00	128.33	0.00	11.69	-0.08	131.67	0.33	11.28	-0.12	118.33	-0.33	11.50	-0.10	107.67	0.67	11.51	-0.08
14.00	128.33	0.00	11.59	-0.10	132.67	1.00	11.12	-0.16	118.00	-0.33	11.39	-0.11	107.33	-0.33	11.41	-0.10
15.00	128.00	-0.33	11.47	-0.12	132.67	0.00	10.84	-0.28	118.67	0.67	11.25	-0.14	107.67	0.33	11.27	-0.1
16.00	128.67	0.67	11.31	-0.16	133.33	0.67	10.45	-0.39	118.33	-0.33	11.06	-0.20	107.33	-0.33	11.10	-0.17

17.00	128.33	-0.33	11.08	-0.23	136.67	3.33	9.67	-0.78	119.33	1.00	10.74	-0.32	107.00	-0.33	10.82	-0.27
18.00	129.00	0.67	10.71	-0.37	142.67	6.00	8.54	-1.13	120.67	1.33	10.23	-0.51	108.33	1.33	10.39	-0.44
19.00	130.33	1.33	10.17	-0.54	150.67	8.00	6.84	-1.70	124.67	4.00	9.43	-0.81	114.00	5.67	9.57	-0.82
20.00	133.33	3.00	9.28	-0.89	155.33	4.67	5.52	-1.32	134.00	9.33	8.02	-1.41	124.33	10.33	8.32	-1.25

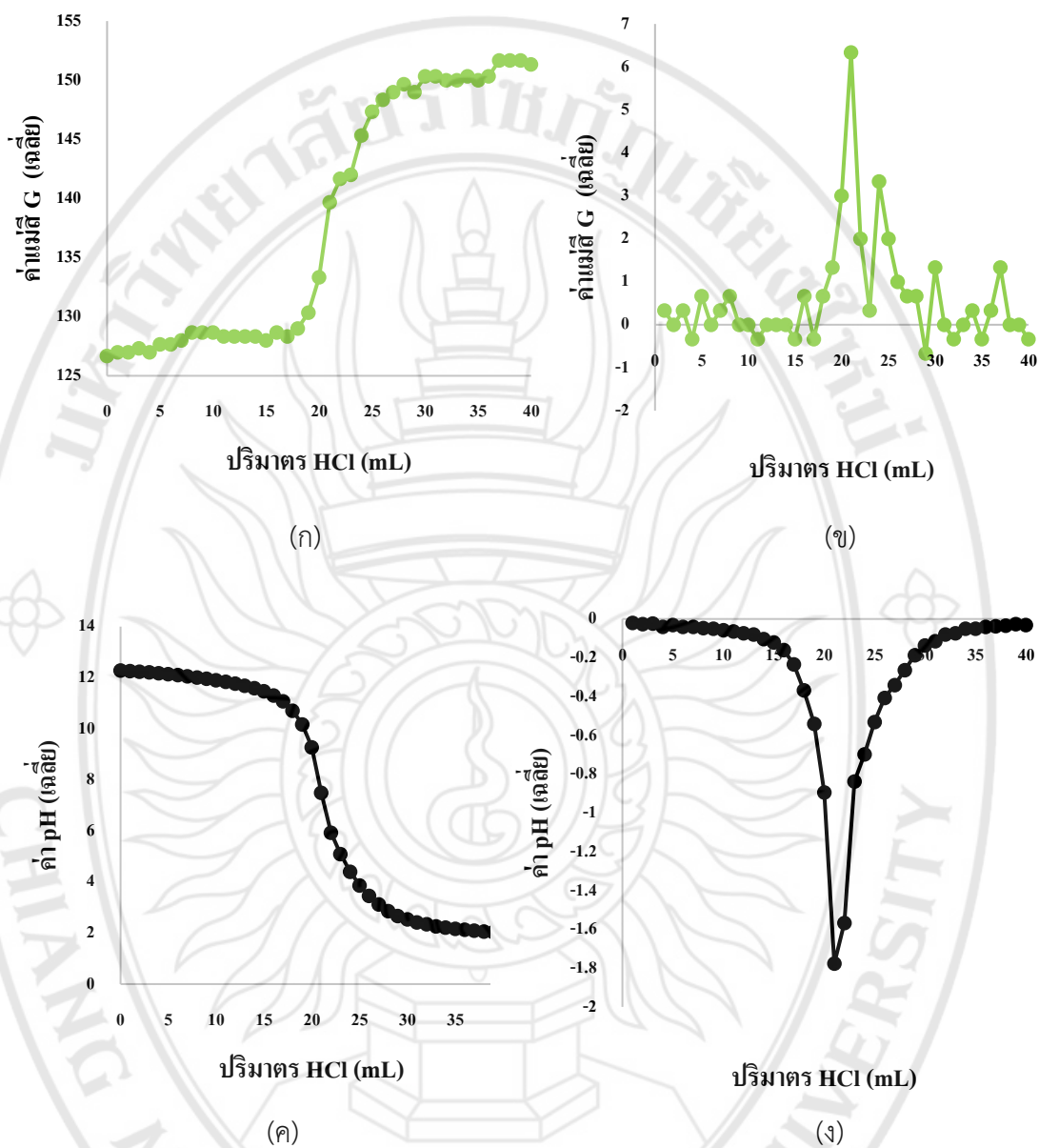
ตารางที่ 4.8(ต่อ) ผลการวัดค่า RGB และค่า pH ของสารละลายโดยวิธีการไทเทรตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหลเพื่อหาปริมาณกรดในตัวอย่างกาแฟแม่
สลอง

ปริมาณ HCl (mL)	ระดับการคั่ว															
	ดิบ				คั่วอ่อน				คั่วกลาง				คั่วเข้ม			
	ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัด ด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่า แม่สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter	
	G	$\Delta G/\Delta v$	pH	$\Delta pH/\Delta v$	G	$\Delta G/\Delta v$	pH	$\Delta pH/\Delta v$	G	$\Delta G/\Delta v$	pH	$\Delta pH/\Delta v$	G	$\Delta G/\Delta v$	pH	$\Delta pH/\Delta v$
21.00	139.67	6.33	7.50	-1.78	156.33	1.00	4.62	-0.90	138.33	4.33	6.81	-1.21	137.00	12.67	6.43	-1.89
22.00	141.67	2.00	5.93	-1.57	156.33	0.00	4.11	-0.51	142.00	3.67	5.73	-1.09	138.67	1.67	5.47	-0.97
23.00	142.00	0.33	5.10	-0.84	155.67	-0.67	3.67	-0.44	144.67	2.67	4.93	-0.80	140.33	1.67	4.81	-0.66
24.00	145.33	3.33	4.40	-0.70	156.33	0.67	3.32	-0.35	148.33	3.67	4.31	-0.62	141.67	1.33	4.32	-0.49
25.00	147.33	2.00	3.87	-0.53	157.67	1.33	3.03	-0.29	148.33	0.00	3.98	-0.33	141.67	0.00	3.95	-0.37
26.00	148.33	1.00	3.46	-0.41	158.00	0.33	2.80	-0.23	149.33	1.00	3.65	-0.34	142.33	0.67	3.62	-0.33
27.00	149.00	0.67	3.12	-0.34	158.00	0.00	2.63	-0.17	150.33	1.00	3.35	-0.30	144.00	1.67	3.34	-0.28
28.00	149.67	0.67	2.86	-0.26	158.33	0.33	2.50	-0.13	151.33	1.00	3.10	-0.25	144.00	0.00	3.10	-0.24
29.00	149.00	-0.67	2.67	-0.19	158.00	-0.33	2.40	-0.10	151.33	0.00	2.90	-0.21	144.00	0.00	2.89	-0.21
30.00	150.33	1.33	2.54	-0.14	157.33	-0.67	2.32	-0.08	151.00	-0.33	2.73	-0.17	144.00	0.00	2.73	-0.16
31.00	150.33	0.00	2.42	-0.11	157.33	0.00	2.26	-0.06	152.00	1.00	2.60	-0.14	145.67	1.67	2.59	-0.14
32.00	150.00	-0.33	2.34	-0.08	158.33	1.00	2.20	-0.06	152.00	0.00	2.49	-0.11	147.33	1.67	2.48	-0.11

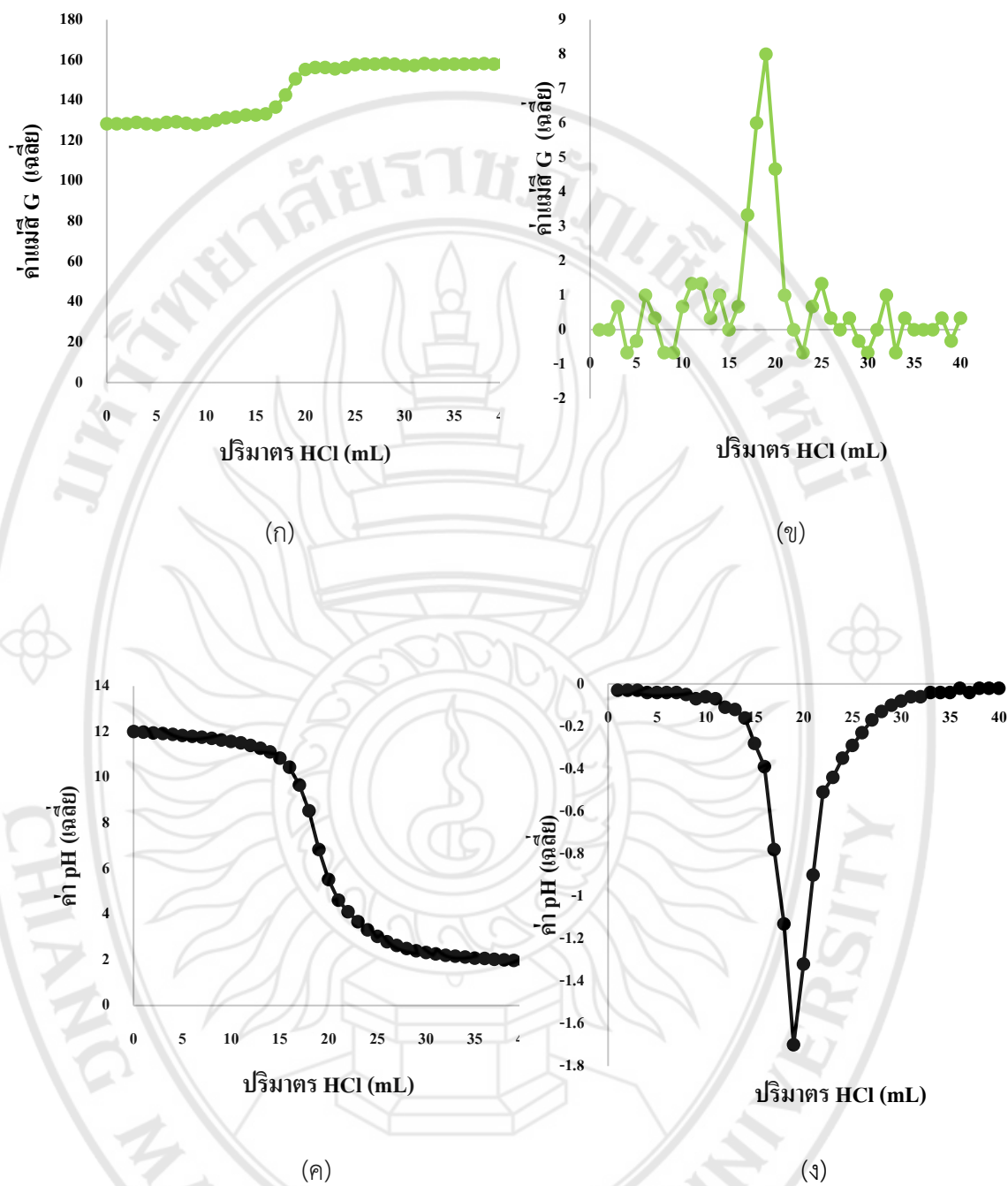
33.00	150.00	0.00	2.27	-0.07	157.67	-0.67	2.16	-0.04	152.33	0.33	2.41	-0.08	148.00	0.67	2.41	-0.07
34.00	150.33	0.33	2.22	-0.05	158.00	0.33	2.12	-0.04	153.33	1.00	2.33	-0.08	148.67	0.67	2.33	-0.09
35.00	150.00	-0.33	2.17	-0.05	158.00	0.00	2.08	-0.04	153.33	0.00	2.28	-0.06	148.33	-0.33	2.27	-0.06
36.00	150.33	0.33	2.13	-0.04	158.00	0.00	2.06	-0.02	153.67	0.33	2.23	-0.05	148.33	0.00	2.22	-0.05
37.00	151.67	1.33	2.09	-0.04	158.00	0.00	2.02	-0.04	153.67	0.00	2.18	-0.04	148.67	0.33	2.18	-0.04
38.00	151.67	0.00	2.06	-0.03	158.33	0.33	2.00	-0.02	153.33	-0.33	2.14	-0.04	148.67	0.00	2.20	0.02
39.00	151.67	0.00	2.03	-0.03	158.00	-0.33	1.98	-0.02	153.33	0.00	2.10	-0.04	149.33	0.67	2.11	-0.09
40.00	151.33	-0.33	2.00	-0.03	158.33	0.33	1.96	-0.02	153.67	0.33	2.08	-0.02	149.33	0.00	2.08	-0.03



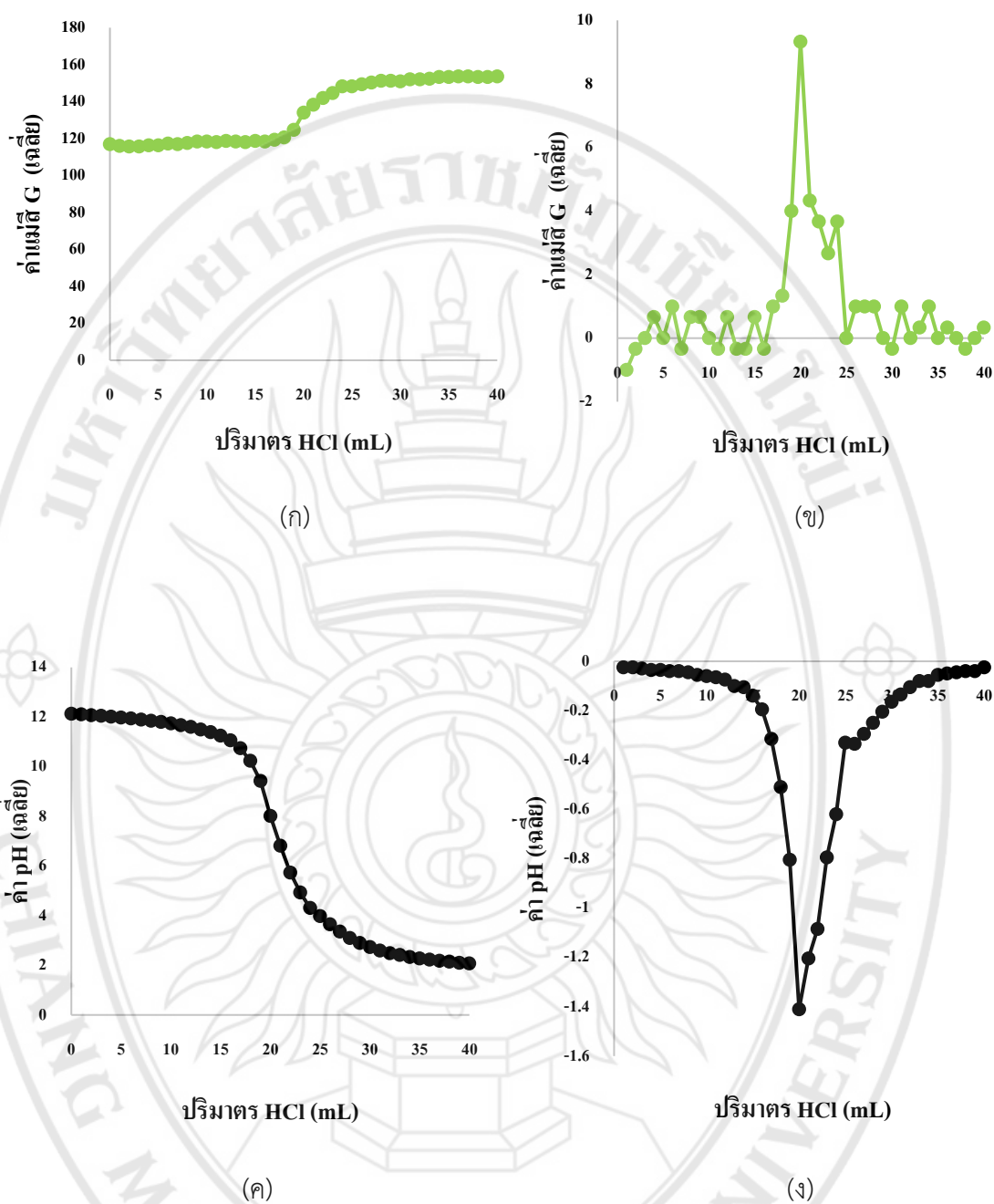
จากตารางที่ 4.8 นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟการไทเทรต ได้ผลดังภาพที่ 4.14 - 4.17



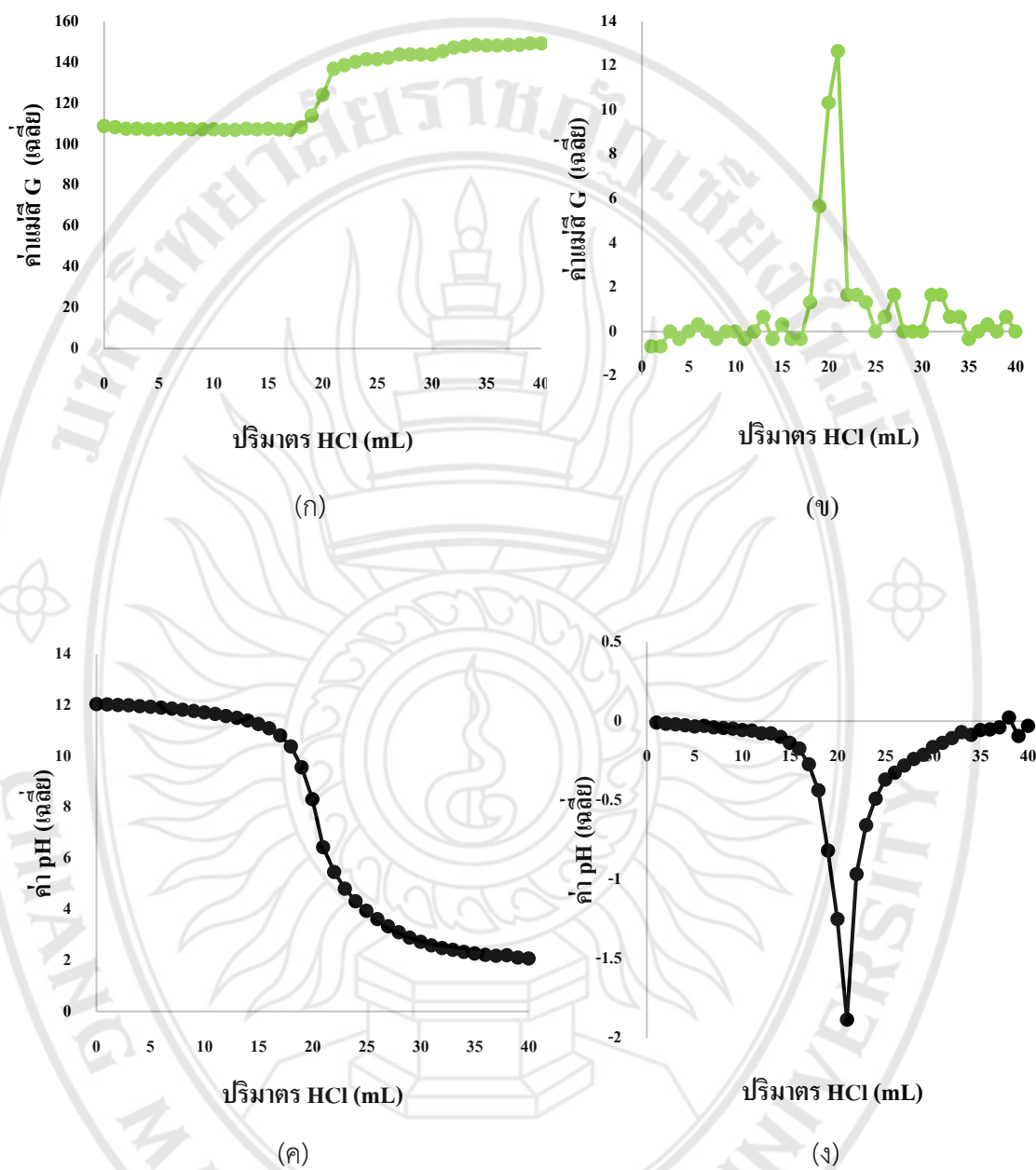
ภาพที่ 4.14 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาแฟแม่สลองดิบ (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยจากสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.15 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาแฟแม่สลองคั่วอ่อน (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุอันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.16 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาแฟแม่สองคั่วกลาง (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.17 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาแฟแม่สลองคว่ำเข้ม (ก) สังกะตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังกะตจากค่าแม่สี G (ค) สังกะตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยจากสังกะตค่า pH

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดค่า RGB และค่า pH ของสารละลายโดยวิธีการไทเทรตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหลเพื่อหาปริมาณกรดในตัวอย่างกาแพอินทนนท์

ปริมาตร HCl (mL)	ระดับการคั่ว															
	ดิบ				คั่วอ่อน				คั่วกลาง				คั่วเข้ม			
	ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัด ด้วย pH meter	
	G	$\Delta G/\Delta v$	pH	$\Delta pH/\Delta v$	G	$\Delta G/\Delta v$	pH	$\Delta pH/\Delta v$	G	$\Delta G/\Delta v$	pH	$\Delta pH/\Delta v$	G	$\Delta G/\Delta v$	pH	$\Delta pH/\Delta v$
0.00	143.50		12.21		133.67		12.16		120.33		12.21		120.33		12.25	
1.00	143.50	0.00	12.20	-0.02	133.67	0.00	12.14	-0.03	120.67	0.33	12.19	-0.02	119.33	-1.00	12.23	-0.02
2.00	143.50	0.00	12.18	-0.02	133.33	-0.33	12.11	-0.03	119.67	-1.00	12.16	-0.03	119.00	-0.33	12.21	-0.02
3.00	142.50	-1.00	12.15	-0.03	133.00	-0.33	12.08	-0.04	118.67	-1.00	12.13	-0.03	119.00	0.00	12.18	-0.03
4.00	143.00	0.50	12.13	-0.02	133.00	0.00	12.05	-0.03	118.67	0.00	12.10	-0.03	118.67	-0.33	12.14	-0.04
5.00	143.00	0.00	12.10	-0.03	133.33	0.33	12.01	-0.04	119.33	0.67	12.06	-0.04	118.67	0.00	12.11	-0.03
6.00	143.50	0.50	12.06	-0.04	133.33	0.00	11.96	-0.04	118.67	-0.67	12.02	-0.04	118.00	-0.67	12.07	-0.04
7.00	143.00	-0.50	12.02	-0.04	133.00	-0.33	11.92	-0.05	118.67	0.00	11.98	-0.04	119.00	1.00	12.02	-0.04
8.00	142.50	-0.50	11.98	-0.04	132.67	-0.33	11.87	-0.04	118.67	0.00	11.93	-0.05	118.67	-0.33	11.98	-0.05
9.00	143.00	0.50	11.94	-0.04	133.00	0.33	11.81	-0.06	119.67	1.00	11.88	-0.05	118.67	0.00	11.92	-0.05
10.00	143.00	0.00	11.88	-0.06	132.67	-0.33	11.75	-0.06	119.00	-0.67	11.82	-0.06	118.33	-0.33	11.86	-0.06
11.00	142.50	-0.50	11.82	-0.06	132.33	-0.33	11.67	-0.08	118.67	-0.33	11.76	-0.06	118.33	0.00	11.79	-0.07
12.00	143.00	0.50	11.76	-0.06	132.00	-0.33	11.59	-0.07	119.67	1.00	11.68	-0.08	118.33	0.00	11.71	-0.08
13.00	143.00	0.00	11.68	-0.08	132.67	0.67	11.49	-0.11	119.00	-0.67	11.60	-0.08	118.67	0.33	11.62	-0.09
14.00	142.50	-0.50	11.60	-0.08	132.33	-0.33	11.36	-0.13	119.67	0.67	11.48	-0.12	118.00	-0.67	11.50	-0.11
15.00	142.00	-0.50	11.47	-0.13	132.67	0.33	11.18	-0.18	120.00	0.33	11.33	-0.15	119.00	1.00	11.35	-0.15
16.00	142.50	0.50	11.33	-0.15	132.00	-0.67	10.91	-0.27	120.33	0.33	11.14	-0.19	119.33	0.33	11.13	-0.22

17.00	143.50	1.00	11.14	-0.18	134.00	2.00	10.45	-0.46	122.33	2.00	10.81	-0.33	119.33	0.00	10.79	-0.34
18.00	144.00	0.50	10.85	-0.29	138.67	4.67	9.73	-0.72	124.00	1.67	10.30	-0.51	122.00	2.67	10.29	-0.50
19.00	144.00	0.00	10.40	-0.46	145.00	6.33	8.77	-0.96	129.00	5.00	9.43	-0.87	126.00	4.00	9.51	-0.78
20.00	144.50	0.50	9.75	-0.65	152.67	7.67	7.31	-1.47	135.33	6.33	8.24	-1.20	133.67	7.67	8.21	-1.30

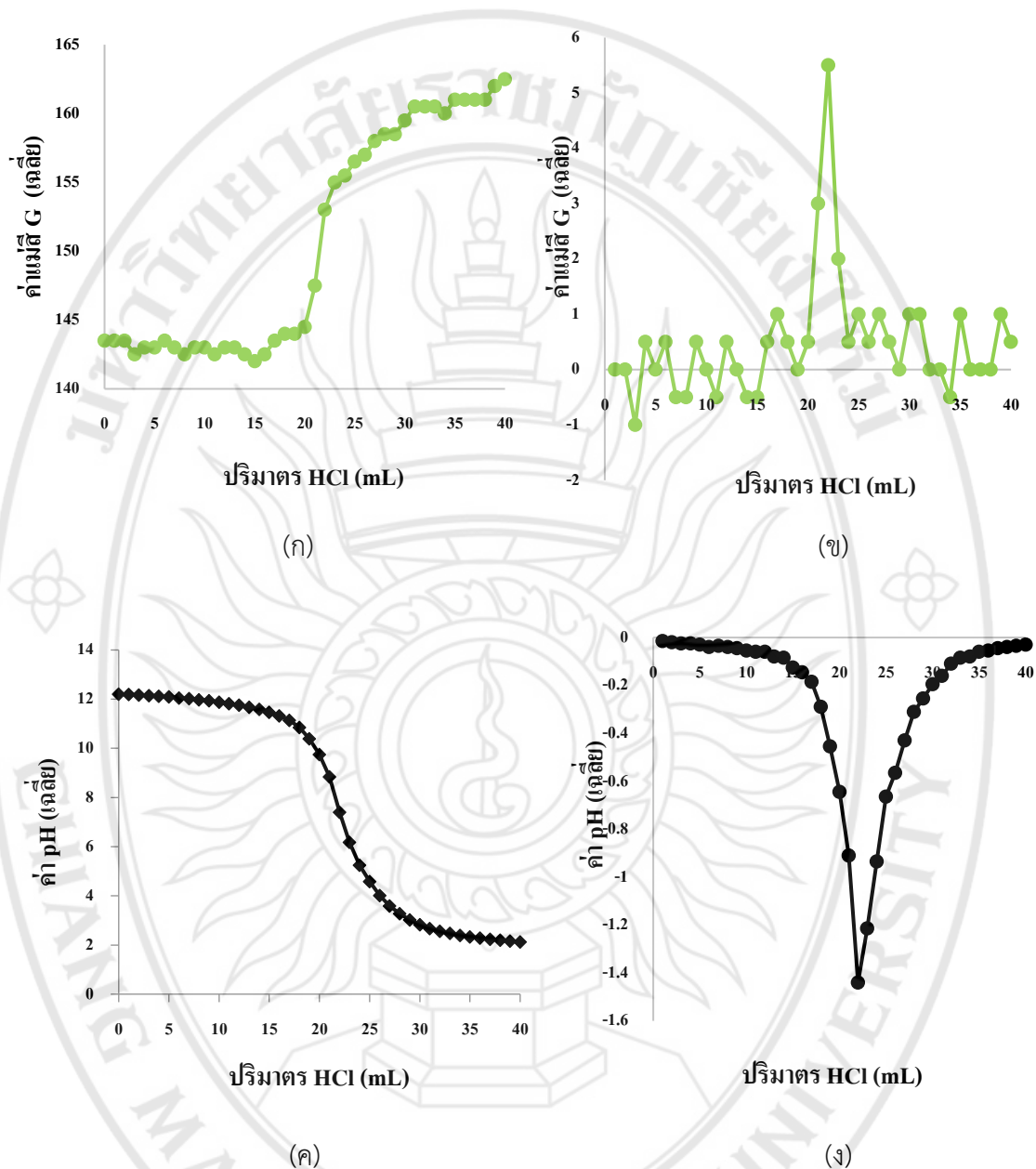
ตารางที่ 4.9(ต่อ) ผลการวัดค่า RGB และค่า pH ของสารละลายโดยวิธีการไทเทรตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบอาศัยการไหลเพื่อหาปริมาณกรดในตัวอย่างกาแฟอินทนนท์

ปริมาณ HCl (mL)	ระดับการคั่ว															
	ดิบ				คั่วอ่อน				คั่วกลาง				คั่วเข้ม			
	ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัด ด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัดด้วย pH meter		ผลการตรวจวัดค่าแม่ สี		ผลการตรวจวัด ด้วย pH meter	
	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$	G	$\Delta G/\Delta V$	pH	$\Delta pH/\Delta V$
21.00	147.50	3.00	8.84	-0.91	155.00	2.33	5.93	-1.38	145.67	10.33	6.81	-1.43	146.00	12.33	6.54	-1.67
22.00	153.00	5.50	7.40	-1.44	156.00	1.00	5.19	-0.74	148.67	3.00	5.63	-1.18	149.00	3.00	5.59	-0.95
23.00	155.00	2.00	6.19	-1.22	156.67	0.67	4.57	-0.62	149.33	0.67	4.93	-0.70	151.00	2.00	4.92	-0.67
24.00	155.50	0.50	5.25	-0.94	157.33	0.67	4.10	-0.47	150.00	0.67	4.47	-0.46	151.33	0.33	4.48	-0.44
25.00	156.50	1.00	4.59	-0.67	157.33	0.00	3.71	-0.40	152.33	2.33	4.07	-0.40	152.67	1.33	4.09	-0.39
26.00	157.00	0.50	4.02	-0.57	157.00	-0.33	3.38	-0.33	153.33	1.00	3.75	-0.31	152.33	-0.33	3.76	-0.33
27.00	158.00	1.00	3.59	-0.43	157.67	0.67	3.13	-0.25	154.67	1.33	3.48	-0.27	152.67	0.33	3.48	-0.28
28.00	158.50	0.50	3.28	-0.31	157.67	0.00	2.90	-0.23	155.33	0.67	3.23	-0.25	153.00	0.33	3.24	-0.24
29.00	158.50	0.00	3.03	-0.26	158.33	0.67	2.74	-0.16	155.67	0.33	3.02	-0.21	153.67	0.67	3.03	-0.20
30.00	159.50	1.00	2.83	-0.20	158.33	0.00	2.60	-0.14	155.67	0.00	2.84	-0.18	153.00	-0.67	2.86	-0.17
31.00	160.50	1.00	2.67	-0.16	158.67	0.33	2.50	-0.11	156.67	1.00	2.70	-0.14	153.00	0.00	2.72	-0.14
32.00	160.50	0.00	2.56	-0.11	158.33	-0.33	2.41	-0.09	156.67	0.00	2.58	-0.12	153.67	0.67	2.60	-0.12

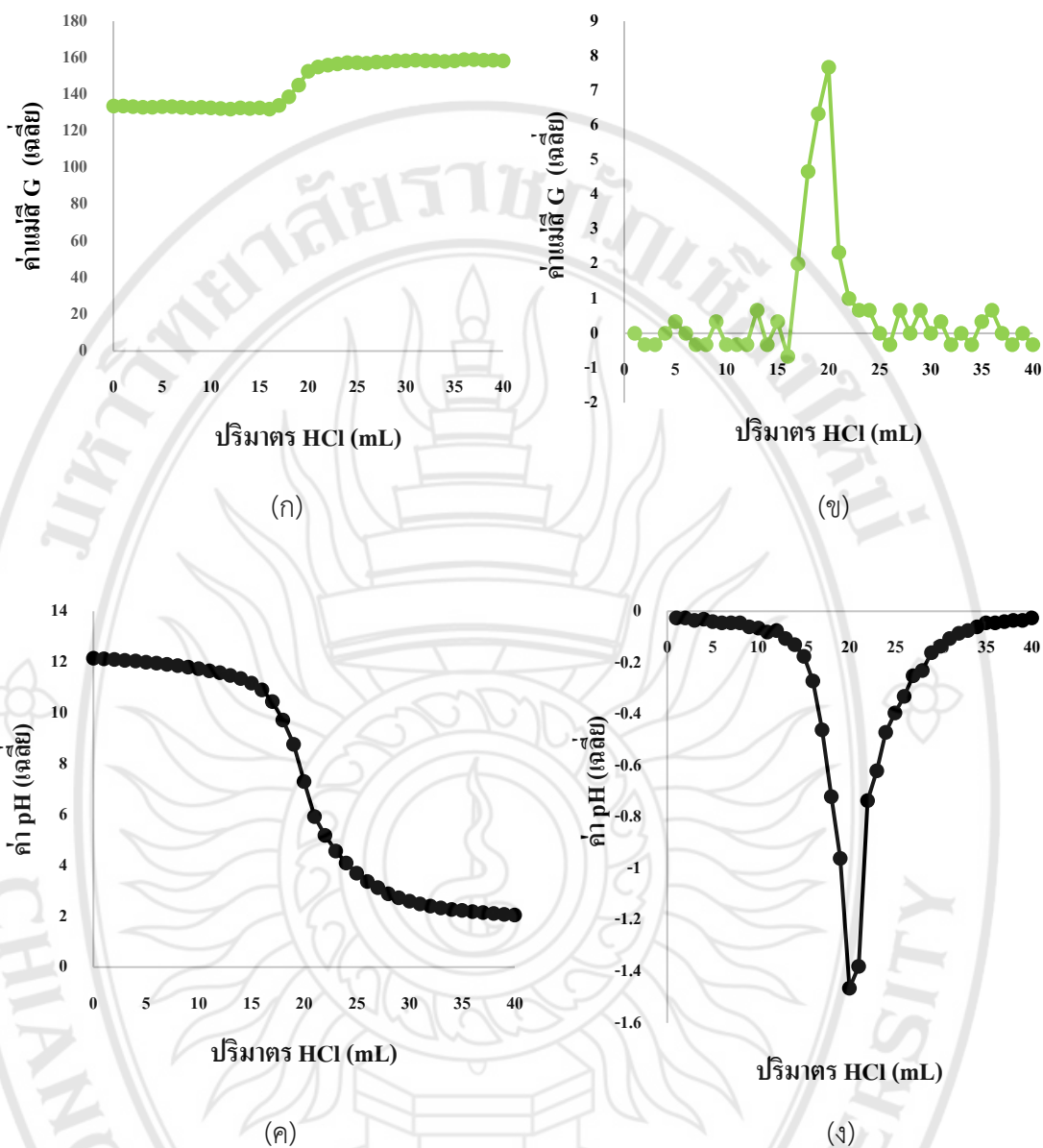
33.00	160.50	0.00	2.48	-0.08	158.33	0.00	2.34	-0.08	156.33	-0.33	2.48	-0.10	153.33	-0.33	2.51	-0.09
34.00	160.00	-0.50	2.40	-0.08	158.00	-0.33	2.28	-0.06	157.00	0.67	2.40	-0.08	154.67	1.33	2.43	-0.08
35.00	161.00	1.00	2.34	-0.06	158.33	0.33	2.23	-0.05	157.33	0.33	2.34	-0.06	155.33	0.67	2.37	-0.06
36.00	161.00	0.00	2.28	-0.06	159.00	0.67	2.19	-0.04	157.67	0.33	2.28	-0.06	155.67	0.33	2.32	-0.05
37.00	161.00	0.00	2.24	-0.04	159.00	0.00	2.15	-0.04	157.67	0.00	2.24	-0.05	156.00	0.33	2.28	-0.04
38.00	161.00	0.00	2.20	-0.04	158.67	-0.33	2.11	-0.04	157.67	0.00	2.19	-0.05	156.00	0.00	2.24	-0.04
39.00	162.00	1.00	2.16	-0.04	158.67	0.00	2.08	-0.03	158.00	0.33	2.16	-0.03	156.00	0.00	2.20	-0.04
40.00	162.50	0.50	2.13	-0.03	158.33	-0.33	2.05	-0.03	158.00	0.00	2.12	-0.04	156.00	0.00	2.17	-0.03



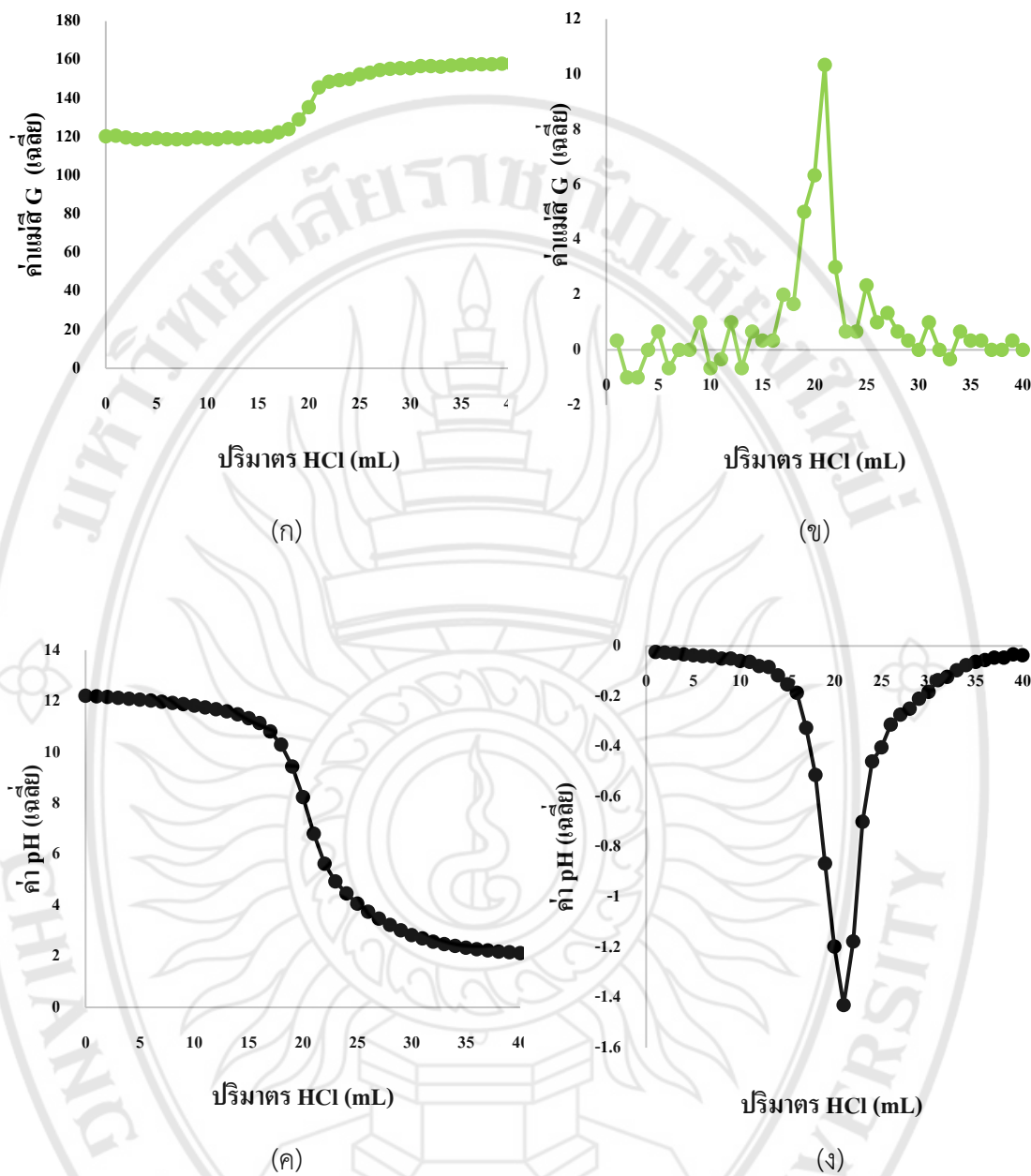
จากตารางที่ 4.9 นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟการไทเทรต ได้ผลดังภาพที่ 4.18 - 4.21



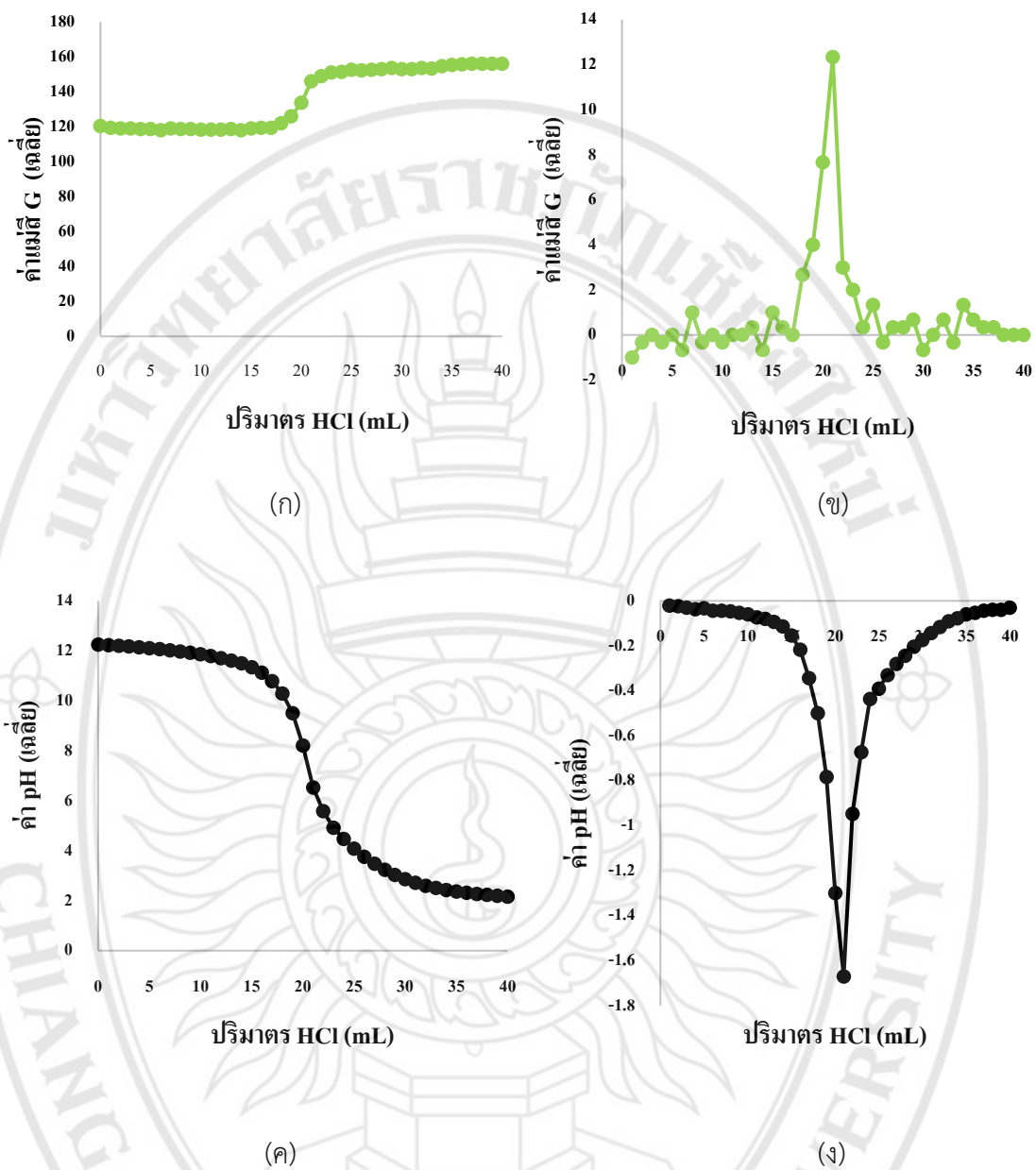
ภาพที่ 4.18 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาเฟอีนทนนท์ (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G ดิบ (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยจากสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.19 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาเฟอีนอ่อนที่คั่วอ่อน (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.20 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาเฟอีนทนนท์คั่วกลาง (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตค่า pH



ภาพที่ 4.21 กราฟการไทเทรตหาความกรดในกาเฟอีนทนที่คั่วเข้ม (ก) สังเกตค่าแม่สี G (ข) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยสังเกตจากค่าแม่สี G (ค) สังเกตค่า pH (ง) กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่งโดยจากสังเกตค่า pH

จากภาพที่ 4.10 - 4.21 สามารถสรุปปริมาณที่จุดยุติจากกราฟการไทเทรตอนุพันธ์อันดับหนึ่งได้ ข้อมูลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณที่จุดยุติของกราฟการไทเทรตจากการตรวจวัดด้วยค่าแม่สี และ pH meter ของสารละลายกาแฟทั้ง 4 ชนิด ที่ระดับการคั่วต่างกัน

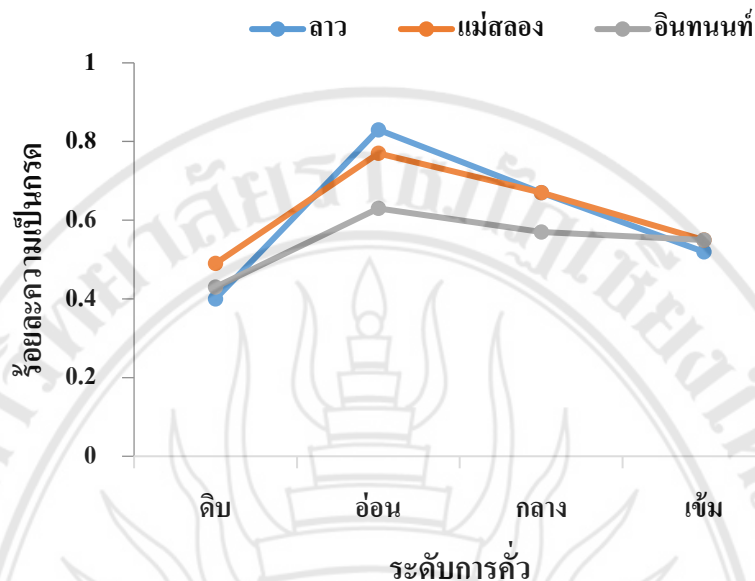
แหล่งปลูก กาแฟ	ระดับ การคั่ว	ปริมาณที่จุดยุติของการไทเทรต (mL)		ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
		ใช้กล่องวัดแม่สี	ใช้เครื่อง pH meter	
กาแฟลาว	ดิบ	21.00	21.00	0
	คั่วอ่อน	18.00	18.00	0
	คั่วกลาง	19.00	19.00	0
	คั่วเข้ม	20.00	20.00	0
กาแฟ แม่สลอง	ดิบ	21.00	21.03	0.0014
	คั่วอ่อน	19.00	19.02	0.0015
	คั่วกลาง	20.00	20.00	0
	คั่วเข้ม	21.00	21.00	0
กาแฟ อินทนนท์	ดิบ	22.00	22.00	0
	คั่วอ่อน	20.00	20.05	0.0025
	คั่วกลาง	21.00	21.00	0
	คั่วเข้ม	21.00	21.00	0

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าปริมาณที่จุดยุติจากการวัดค่าแม่สี G ด้วยกล่องวัดค่าแม่สี และการวัดค่า pH ด้วยเครื่อง pH meter มีปริมาณที่จุดยุติใกล้เคียงกัน และมี %Error ไม่เกิน 1% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การตรวจวัดผลทั้งการใช้กล่องวัดค่าแม่สี และการใช้ pH meter ให้ผลที่สอดคล้องกัน หรือมีความแม่นยำค่อนข้างสูง จากนั้นนำผลที่ได้จากการหาปริมาณที่จุดยุติมาคำนวณหาค่าความเป็นกรดในสารละลายกาแฟของแต่ละแหล่งทั้ง 4 ระดับการคั่ว แสดงผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณค่าความเป็นกรดในสารละลายกาแฟทั้ง 4 ชนิด ที่ระดับการคั่วต่างกัน

แหล่งปลูก กาแฟ	ระดับการ คั่ว	ความเป็นกรดในสารละลายกาแฟ (% w/v)		ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
		จากกล่องวัดค่า แม่สี	จากเครื่อง pH meter	
กาแฟลาว	ดิบ	0.40	0.40	0
	คั่วอ่อน	0.83	0.83	0
	คั่วกลาง	0.67	0.67	0
	คั่วเข้ม	0.52	0.52	0
กาแฟ แม่ฮ่องสอน	ดิบ	0.49	0.49	0
	คั่วอ่อน	0.77	0.77	0
	คั่วกลาง	0.67	0.67	0
	คั่วเข้ม	0.55	0.55	0
กาแฟ อินทนนท์	ดิบ	0.43	0.43	0
	คั่วอ่อน	0.63	0.62	0.016
	คั่วกลาง	0.57	0.57	0
	คั่วเข้ม	0.55	0.55	0

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรดที่คำนวณได้จากกล่องวัดค่าแม่สี และเครื่อง pH meter ให้ผลสอดคล้องกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำผลความเป็นกรดของกาแฟระดับต่าง ๆ จากทั้งสามแหล่งปลูก มาทำการเปรียบเทียบกัน แสดงข้อมูลดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเป็นกรดของกาแฟจากทั้ง 3 แหล่งปลูกที่ระดับการคั่วต่างกัน

จากรูป 4.22 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มความเป็นกรดของกาแฟทั้ง 3 ระดับ มีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยกาแฟคั่วอ่อนจะมีความเป็นกรดมากกว่ากาแฟคั่วกลางและคั่วเข้มตามลำดับ เนื่องจากความร้อนจากการคั่วกาแฟส่งผลให้กรดคลอโรจีนิกในกาแฟสลายตัวไปจึงทำให้ในกาแฟที่โดนคั่วด้วยความร้อนสูง ๆ อย่างคั่วเข้ม มีกรดในปริมาณน้อยกว่าระดับการคั่วอื่น ๆ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์พบว่า ผลความเป็นกรดของกาแฟดิบให้ผลไม่สอดคล้องกับทฤษฎี โดยสาเหตุอาจมาจากสองปัจจัยอันได้แก่ ขั้นตอนการบดกาแฟเพื่อเตรียมสารละลายกาแฟตัวอย่างซึ่งกาแฟดิบจะใช้ระยะเวลาในการบดค่อนข้างนาน อีกทั้งผงกาแฟที่บดได้หากเปรียบเทียบกับกาแฟระดับอื่น ๆ ยังค่อนข้างหยาบ มีขนาดใหญ่และความชื้นของกาแฟดิบที่มากกว่ากาแฟคั่วส่งผลให้ค่าความเป็นกรดของกาแฟดิบน้อยกว่ากาแฟระดับอื่น ๆ

อย่างไรก็ตามการใช้โทรศัพท์มือถือในการตรวจวัดค่าแม่สีนั้น ให้ผลลัพธ์ออกมาใกล้เคียงกับผลจาก pH meter ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานทั่วไป แสดงให้เห็นว่าการใช้โทรศัพท์มือถือสามารถใช้ตรวจสอบหาความเป็นกรดของกาแฟได้ โดยเป็นเครื่องมือที่ประหยัด มีวิธีการใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก นอกจากนี้การที่นำระบบไหลเข้ามาช่วยวิเคราะห์สาร ยังเสริมประสิทธิภาพของการตรวจวัด ในแง่ของความสะดวกในการวิเคราะห์ซ้ำ สามารถวิเคราะห์สารในปริมาณจำกัดได้อีกด้วย

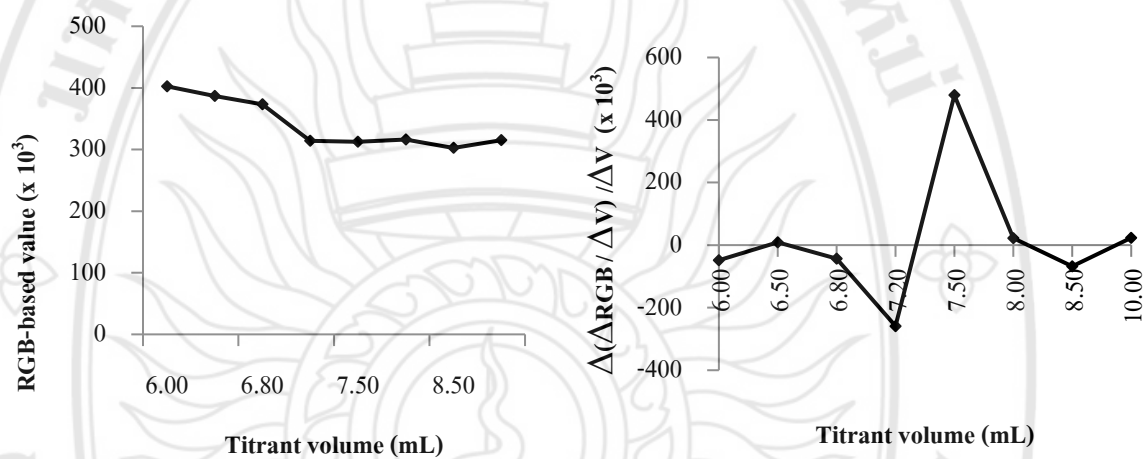
5. การหาปริมาณกรดทั้งหมด (Total titrable acidity) ที่ไทเทรตได้จากตัวอย่างน้ำผลไม้

การไทเทรตเพื่อหาปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้จากตัวอย่างน้ำผลไม้ ได้แก่ น้ำส้มจำนวน 3 ยี่ห้อ คือ น้ำส้มสายน้ำผึ้ง น้ำส้มโชกุน 100% ยี่ห้อมาลี และน้ำส้ม 100% ยี่ห้อทิปโก น้ำฝรั่งจำนวน 2 ยี่ห้อ คือ ฝรั่ง 100% ยี่ห้อทิปโก และ ยี่ห้อดอยคำ ได้ผลการอ่านค่าแม่สี RGB จากโทรศัพท์มือถือ เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังตารางที่ 4.12 - 4.16

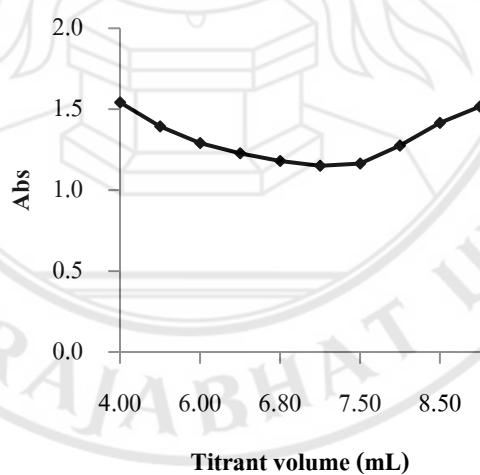
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าแม่สี RGB และ ค่าการดูดกลืนแสงจากการไทเทรตตัวอย่างน้ำส้มสายน้ำผึ้ง ตรามาลี

ปริมาตร NaOH (mL)	ค่าสัญญาณจากการตรวจวัดด้วย		
	กล่องอ่านค่าแม่สี RGB		สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
	RGB - based value	$\Delta(\Delta\text{RGB} / \Delta\text{V}) / \Delta\text{V}$	Abs
0.00	407688	-	1.6689
2.00	421462	-	1.6390
4.00	439629	1098	1.5424
5.50	420827	-14412	1.3945
6.00	402585	-47895	1.2916
6.50	386671	9308	1.2267
6.80	373262	-42892	1.1800
7.20	313968	-258847	1.1504
7.50	312645	479420	1.1650
8.00	315980	22157	1.2743
8.50	302477	-67351	1.4154
10.00	315259	23685	1.5168
12.00	314860	-4360	1.6552
14.00	310250	-1053	2.0035

จากตารางที่ 4.12 นำข้อมูลมาพลอตกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการไทเทรตโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับไทรศัพท์มือถือเพื่อหาจุดสมมูลของการไทเทรต ดังภาพที่ 4.23



(ก) กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองจากผลการตรวจวัดด้วยไทรศัพท์มือถือ



(ข) กราฟการไทเทรตจากผลการตรวจวัดด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

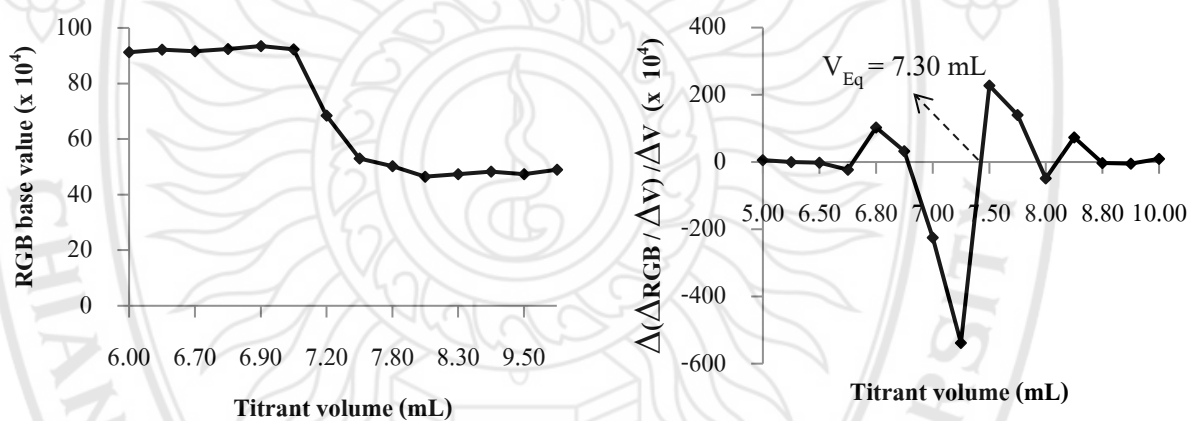
ภาพที่ 4.23 กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองของการไทเทรตตัวอย่างน้ำส้มสายน้ำผึ้งยี่ห้อมาลี ที่ได้จากการตรวจวัดด้วย (ก) โทรศัพท์มือถือ (ข) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแม่สี RGB และ ค่าการดูดกลืนแสงจากการไทเทรตตัวอย่างน้ำส้มโซกูร ตรา มาลี

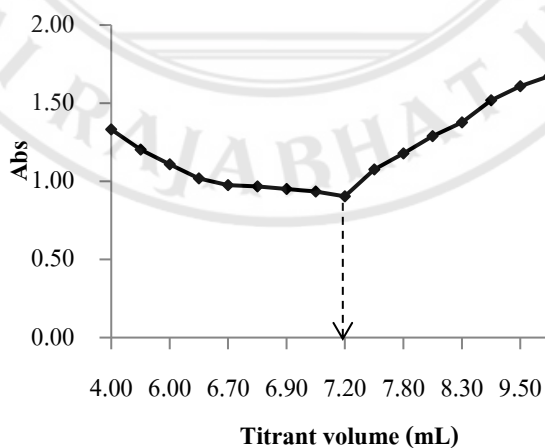
ปริมาตร NaOH (mL)	ค่าสัญญาณจากการตรวจวัดด้วย		
	กล่องอ่านค่าแม่สี RGB		สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
	RGB - based value	$\Delta (\Delta RGB / \Delta V) / \Delta V$	Abs
0.00	765301	-	1.5982
1.00	878893	-	1.5667
2.00	881784	-110701	1.4918
3.00	891224	6549	1.4206
4.00	861276	-39388	1.3321
5.00	885756	54429	1.2030
6.00	913074	2837	1.1081
6.50	921951	-19125	1.0180
6.70	916496	-225159	0.9763
6.80	924042	1027359	0.9675
6.90	934814	322578	0.9499
7.00	923064	-2252100	0.9340
7.20	684216	-5383744	0.9037
7.50	530539	2273282	1.0750
7.80	502815	1399479	1.1774
8.00	464750	-489556	1.2894
8.30	473752	734434	1.3764
8.80	482313	-25764	1.5173
9.50	473200	-43061	1.6092
10.00	490200	94039	1.6736

10.50	472148	-140206	1.7413
11.00	484101	120016	1.8558
11.50	490875	-20713	1.9389
12.00	500552	11609	2.0736

จากตารางที่ 4.13 นำข้อมูลมาพลอตกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการไทเทรตโดยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับโทรศัพท์มือถือ เพื่อหาจุดสมมูลของการไทเทรต ดังภาพที่ 4.24



(ก) กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองจากผลการตรวจวัดด้วยโทรศัพท์มือถือ



(ข) กราฟการไทเทรตจากผลการตรวจวัดด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

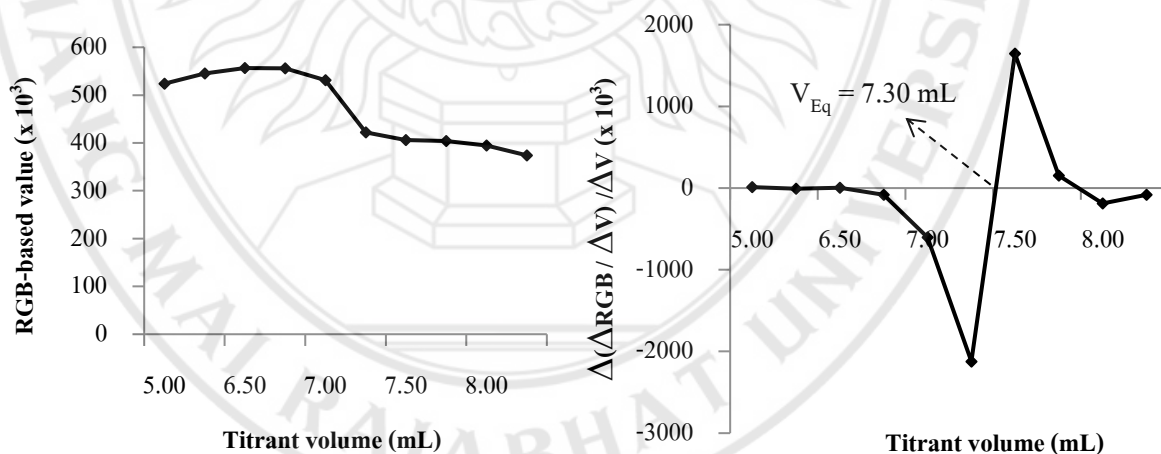
ภาพที่ 4.24 กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองของการไทเทรตตัวอย่างน้ำส้มโชกุน ยี่ห้อมาลี ที่ได้จากการตรวจวัดด้วย (ก) โทรศัพท์มือถือ (ข) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าแม่สี RGB และ ค่าการดูดกลืนแสงจากการไทเทรตตัวอย่างน้ำส้มแมนดาริน ยี่ห้อทิปโก

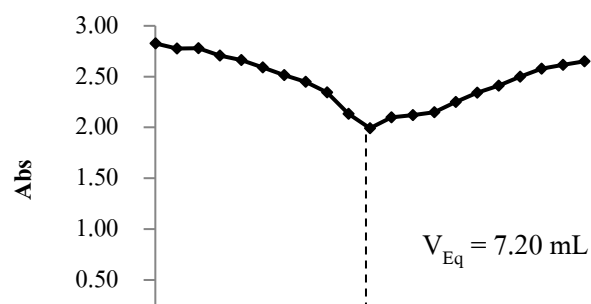
ปริมาตร NaOH (mL)	ค่าสัญญาณจากการตรวจวัดด้วย		
	กล่องอ่านค่าแม่สี RGB		สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
	RGB - based value	$\Delta(\Delta RGB / \Delta V) / \Delta V$	Abs
0.00	465311	-	2.8266
1.00	480894	-	2.7768
2.00	481389	-15087	2.7784
3.00	476399	-5485	2.7076
4.00	493696	22287	2.6638
5.00	524191	13198	2.5905
6.00	545422	-9264	2.5151
6.50	556627	2358	2.4477
6.80	556083	-80748	2.3435
7.00	531549	-604291	2.1324
7.20	422120	-2122358	1.9922
7.50	406065	1645428	2.1002
7.80	403865	153943	2.1200

8.00	394912	-187160	2.1506
8.30	374163	-81331	2.2493
8.80	354339	59031	2.3432
9.50	358161	64441	2.4099
10.00	347925	-51861	2.5007
11.00	356727	29273	2.5775
11.50	359222	-7625	2.6155
12.00	347424	-57172	2.6491

จากตารางที่ 4.14 นำข้อมูลมาพลอตกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการไทเทรตโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับไทเทรตด้วยมือถือ เพื่อหาจุดสมมูลของการไทเทรต ดังภาพที่ 4.25



(ก) กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองจากผลการตรวจวัดด้วยไทเทรตด้วยมือถือ



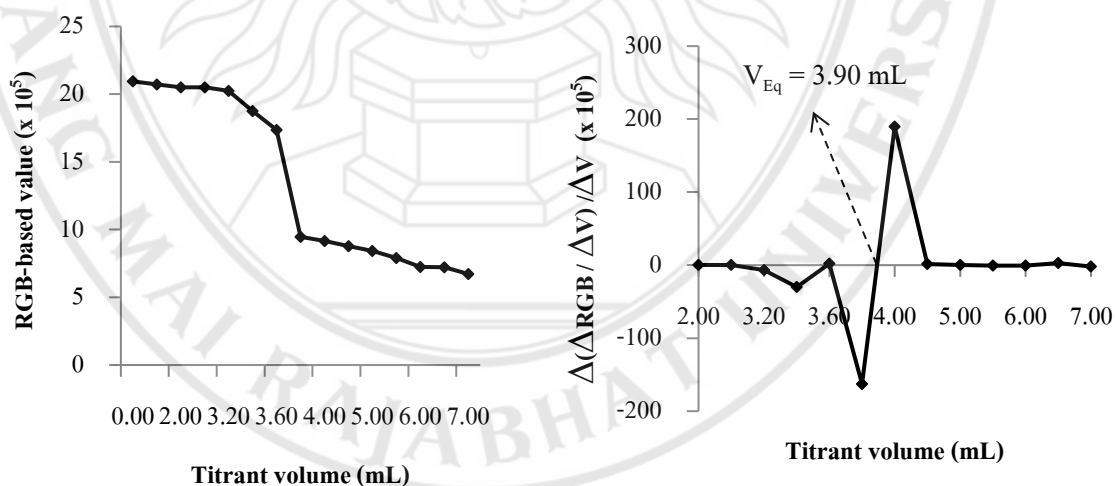
ภาพที่ 4.25 กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองของการไทเทรตตัวอย่างน้ำส้มแมนดาริน ยี่ห้อทิปโก ที่ได้จากการตรวจวัดด้วย (ก) โทรคัพท์มือถือ (ข) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าแม่สี RGB และ ค่าการดูดกลืนแสงจากการไทเทรตตัวอย่างน้ำฝรั่ง ยี่ห้อทิปโก

ปริมาตร NaOH (mL)	ค่าสัญญาณจากการตรวจวัดด้วย		
	กล่องอ่านค่าแม่สี RGB		สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
	RGB-based value	$\Delta(\Delta \text{RGB} / \Delta V) / \Delta V$	Abs
0.00	2094553	-	0.9977
1.00	2072849	-	0.9941
2.00	2051285	141	0.9732
3.00	2051394	21672	0.9365
3.20	2023644	-694287	0.9185
3.40	1876563	-2983290	0.9076
3.60	1737331	196222	0.9033
3.80	947002	-16277403	0.8429
4.00	914885	18955283	0.7629
4.50	877353	171047	0.9377
5.00	843786	15853	1.2188

5.50	790827	-77564	1.3659
6.00	724084	-55136	1.5050
6.50	723345	264017	1.6000
7.00	672466	-200565	1.7247

จากตารางที่ 4.15 นำข้อมูลมาพลอตกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการไทเทรตโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับการไทเทรตโดยใช้กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB เพื่อหาจุดสมมูลของการไทเทรต ดังภาพที่ 4.26



(ก) กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองจากผลการตรวจวัดด้วยโทรศัพท์มือถือ



(ข) กราฟการไทเทรตจากผลการตรวจวัดด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

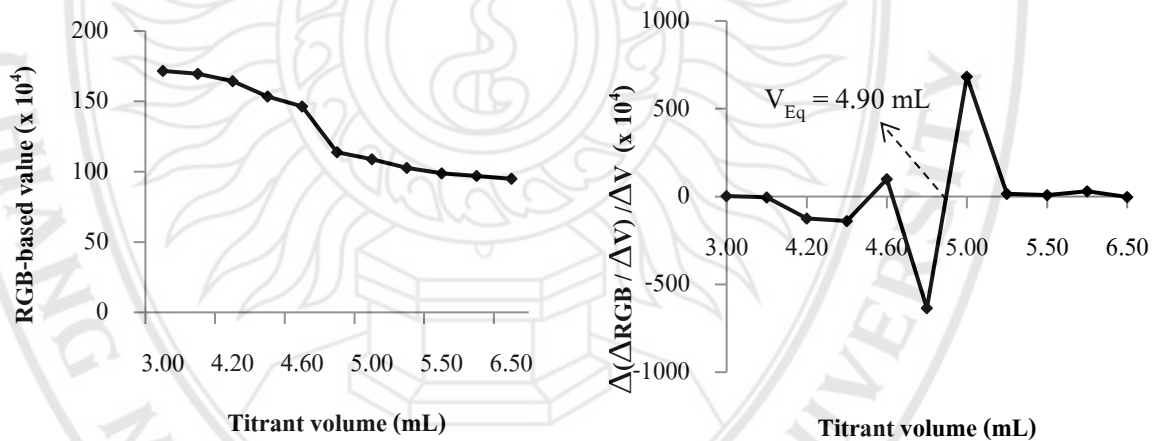
ภาพที่ 4.26 กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองของการไทเทรตตัวอย่างน้ำฝรั่งยี่ห้อทิปโก ที่ได้จากการตรวจวัดด้วย (ก) โทรศัพท์มือถือ (ข) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าแม่สี RGB และค่าการดูดกลืนแสงจากการไทเทรตตัวอย่างน้ำฝรั่ง ตรายอดค่า

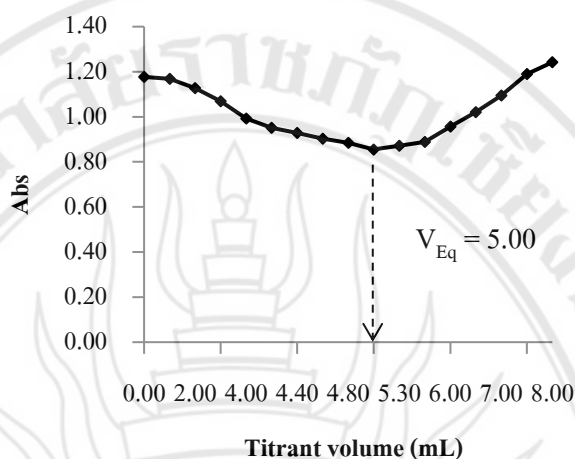
ปริมาตร NaOH (mL)	ค่าสัญญาณจากการตรวจวัดด้วย		
	กล่องอ่านค่าแม่สี RGB		สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
	RGB - based value	$\Delta (\Delta RGB / \Delta V) / \Delta V$	Abs
0.00	1674057	-	1.1770
1.00	1692685	-	1.1685
2.00	1692480	-18833	1.1275
3.00	1716622	24347	1.0684
4.00	1697067	-43697	0.9922
4.20	1643138	-1250446	0.9519
4.40	1533519	-1392259	0.9283

4.60	1463415	987889	0.9032
4.80	1139185	-6353148	0.8843
5.00	1088333	6834433	0.8552
5.30	1026350	158844	0.8711
5.50	988635	-90165	0.8893
6.00	970960	306449	0.9571
6.50	948640	-18578	1.0204
7.00	913947	-49490	1.0950
7.50	912000	130980	1.1905
8.00	910522	1879	1.2420

จากตารางที่ 4.16 นำข้อมูลมาพลอตกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการไทเทรตโดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กับการไทเทรตโดยใช้กล่องตรวจวัดค่าแม่สี RGB เพื่อหาจุดสมมูลของการไทเทรต ดังภาพที่ 4.27



(ก) กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองจากผลการตรวจวัดด้วยโทรศัพท์มือถือ



(ข) กราฟการไทเทรตจากผลการตรวจวัดด้วยสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ภาพที่ 4.27 กราฟการไทเทรตแบบธรรมดาและกราฟอนุพันธ์อันดับสองของการไทเทรตตัวอย่างน้ำฝรั่งยี่ห้อดอยคำ ที่ได้จากการตรวจวัดด้วย (ก) โทรศัพทมือถือ (ข) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

จากภาพที่ 4.23 - 4.27 ซึ่งเป็นกราฟการไทเทรตแบบปกติและแบบอนุพันธ์อันดับสองจากการตรวจวัดด้วยโทรศัพท์มือถือ และเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สามารถสรุปปริมาณที่จุดสมมูลดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลปริมาณที่จุดสมมูลจากการไทเทรตตัวอย่างน้ำผลไม้

ตัวอย่าง	ปริมาณที่จุดสมมูล จากกราฟการไทเทรต (mL)			
	แบบปกติ		แบบอนุพันธ์อันดับสอง	
	กล่องอ่านค่าแมสี RGB	สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	กล่องอ่านค่าแมสีRGB	สเปกโทรโฟโตมิเตอร์
น้ำส้มสายน้ำผึ้ง 100% ยี่ห้อมาลี	7.30	7.20	7.30	7.20
น้ำส้มโชกุน 100% ยี่ห้อมาลี	7.30	7.20	7.30	7.20
น้ำส้มแมนดาริน100% ยี่ห้อทิปโก	7.30	7.20	7.30	7.20

น้ำฝรั่ง 100% ยี่ห้อทิปโก	3.90	4.00	3.90	4.00
น้ำฝรั่ง 100% ยี่ห้อดอยคำ	4.90	5.00	4.90	5.00

จากตารางที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าปริมาณที่จุดสมมูลที่อ่านได้จากกราฟการไทเทรตทั้งสองแบบจากการอ่านค่าสัญญาณทั้งสองวิธีให้ค่าใกล้เคียงกัน และจากการนำปริมาณของไทแทนต์มาคำนวณหาความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำผลไม้ในรูป % w/v ของกรดซิตริก ได้ผลดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงความเข้มข้นของของกรดซิตริก (%w/v) ในตัวอย่างน้ำผลไม้

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% w/v ของกรดซิตริก)	
	กล่องอ่านค่าแม่สี RGB	สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
น้ำส้มสายน้ำผึ้ง 100% ยี่ห้อมาลี	0.495	0.488
น้ำส้มโชกุน 100% ยี่ห้อมาลี	0.495	0.488
น้ำส้มแมนดาริน 100% ยี่ห้อทิปโก	0.495	0.488
น้ำฝรั่ง 100% ยี่ห้อทิปโก	0.266	0.271
น้ำฝรั่ง 100% ยี่ห้อดอยคำ	0.332	0.339

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตรวจวัดสัญญาณที่จุดสมมูลในการไทเทรตโดยใช้โทรศัพท์มือถือสามารถใช้ในการวิเคราะห์แบบไทเทรตปฏิบัติการกรด-เบสได้อย่างมีประสิทธิภาพ