

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้นำเสนอและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของตารางและกราฟ เรียงตามลำดับ ดังนี้

4.1 สมบัติของวัสดุดิบ

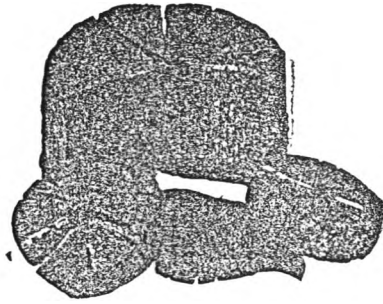
4.1.1 สมบัติเบื้องต้นของไม้โกงกาง มีดังต่อไปนี้

- สมบัติทางเคมี			
ความชื้น (M)	ร้อยละ		11.29
ปริมาณเถ้า (Ash)	ร้อยละ		0.53
ปริมาณสารระเหย (VCM)	ร้อยละ		55.53
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (FC)	ร้อยละ		43.94
- สมบัติทางกายภาพ			
พื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด (S_{BET})	0.1635	ตร.ม./ก.	

4.1.2 สมบัติทั่วไปของไม้โกงกางและถ่านไม้โกงกาง

ไม้โกงกางก่อนที่จะนำมาคาร์บอนไนซ์ จะถูกนำมาเลื่อยเป็นแว่นกลมเล็กๆ ก่อนใส่ลงในตะแกรง

ไม้โก่งก้างหลังการคาร์บอนไนซ์ จะเป็นถ่านสีดำ มันวาวและเปราะ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ไม้โก่งก้างหลังการคาร์บอนไนซ์

4.2 ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน

4.2.1 ภาวะที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์

ผลจากการคาร์บอนไนซ์ตัวอย่างไม้โก่งก้างที่อุณหภูมิ 250,300,350 และ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20,40 และ60 นาที ตามลำดับ จากการวิเคราะห์สมบัติของถ่าน ได้แก่ ปริมาณความชื้น(M),ปริมาณเถ้า(Ash),ปริมาณสารระเหย(VCM) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (FC) แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.1 และจากข้อมูลที่ได้นำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของผลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติของถ่านที่ได้ ณ เวลาต่างๆ ดังรูปที่4.3 ถึง 4.6 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของเวลาที่มีต่อสมบัติของถ่านที่ได้ ณ อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.10

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าประมาณของไม้โกงกางและถ่านไม้โกงกางที่ได้จากการคาร์บอนไนซ์ ณ ภาวะต่างๆ

ชนิดของ วัตถุดิบ	ภาวะการเตรียม วัตถุดิบ		YC % wt	M % wt	On dry basis		
	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (min)			Ash % wt	VCM % wt	FC % wt
โกงกาง	-	-	-	11.29	0.53	55.23	44.24
ถ่านโกงกาง	250	20	68.46	5.13	5.42	41.71	52.76
	250	40	44.27	5.20	5.58	37.66	56.08
	250	60	40.21	6.10	6.26	33.52	60.22
ถ่านโกงกาง	300	20	48.16	5.07	5.67	35.44	58.89
	300	40	42.38	5.37	6.08	30.55	63.37
	300	60	38.07	5.89	5.54	23.02	71.44
ถ่านโกงกาง	350	20	40.16	6.36	6.93	33.79	59.28
	350	40	35.80	4.94	5.96	28.21	65.83
	350	60	27.93	5.38	6.37	20.64	72.99
ถ่านโกงกาง	400	20	37.41	5.16	5.87	30.31	63.82
	400	40	32.78	5.56	5.53	24.42	67.05
	400	60	20.06	6.13	6.64	18.83	74.53

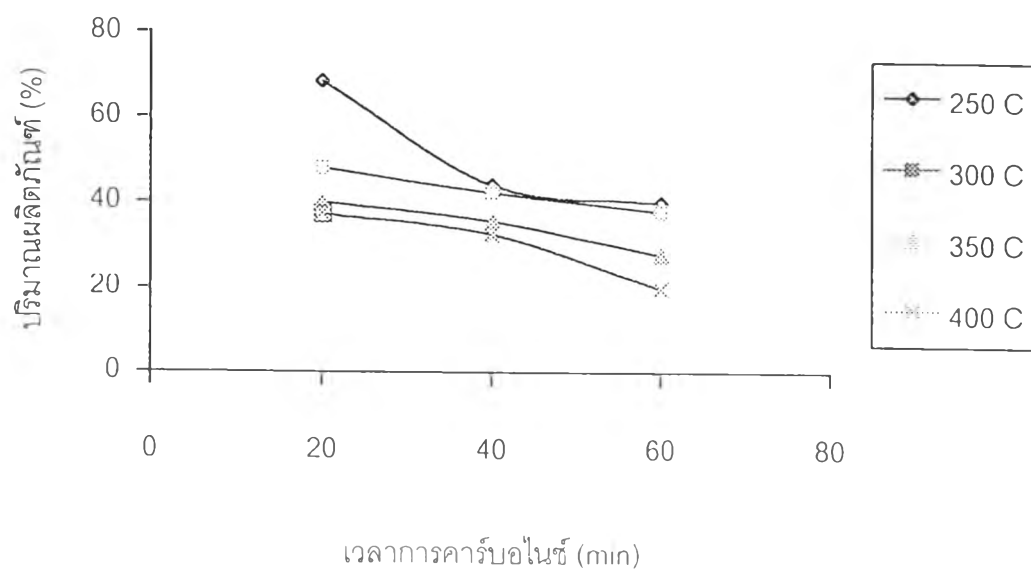
หมายเหตุ

1. % VCM, %FC, %Ash คำนวณจากตัวอย่างอบแห้ง
2. %Yield คำนวณจากการคาร์บอนไนซ์

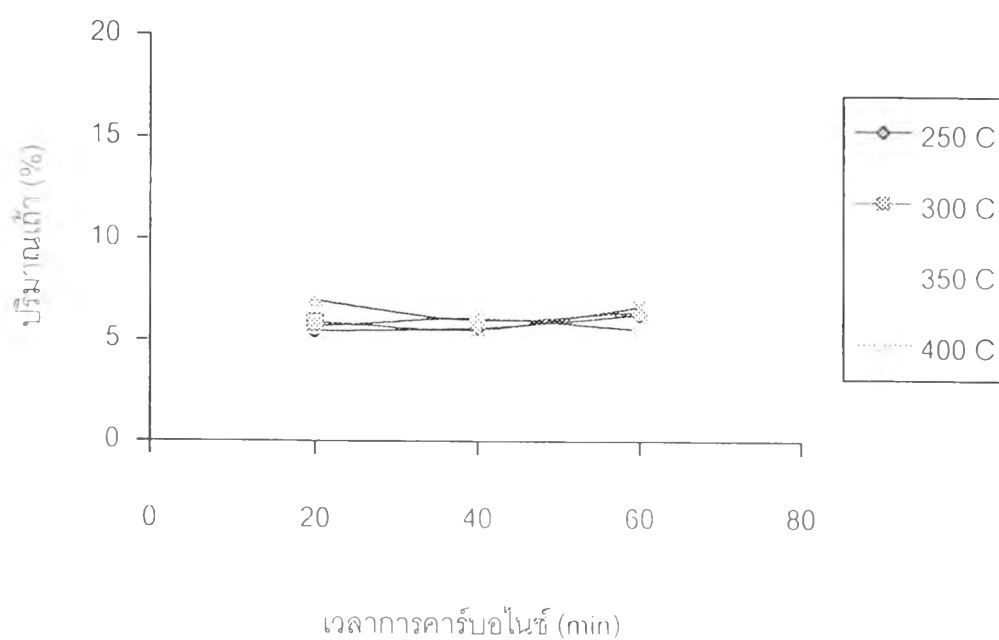
$$\%Y = y \times 100$$

เมื่อ y = น้ำหนักถ่านที่เริ่มต้นหลังการคาร์บอนไนซ์

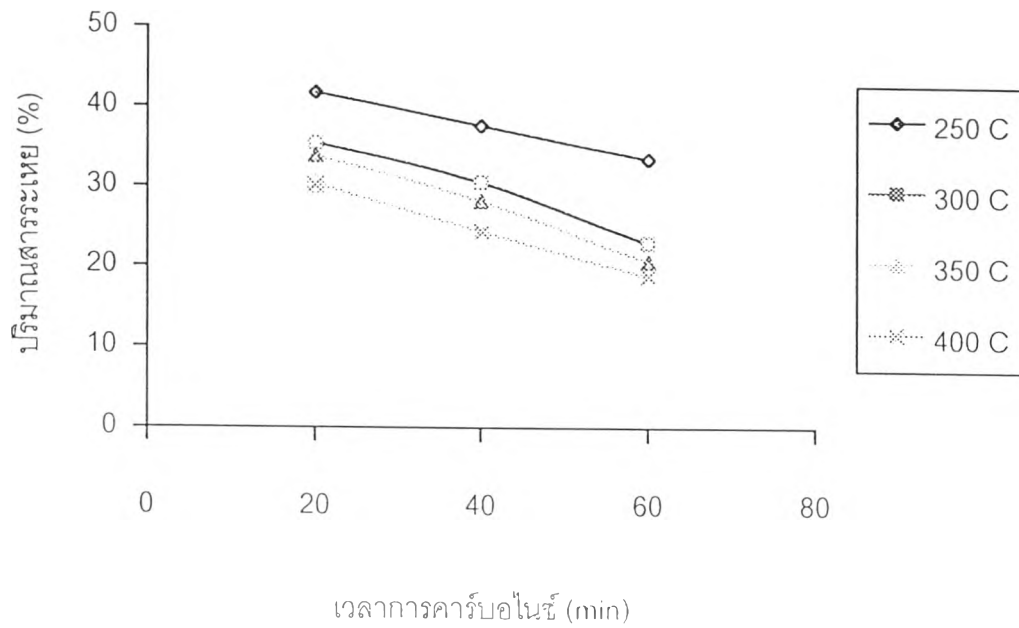
เมื่อ x = น้ำหนักถ่านที่เริ่มต้นการคาร์บอนไนซ์



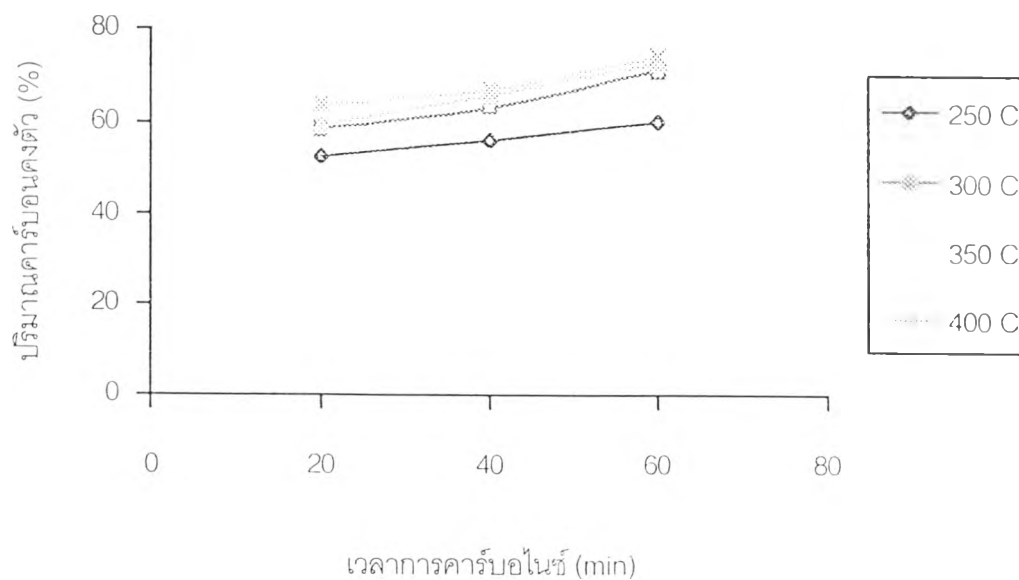
รูปที่ 4.3 ผลของเวลาการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ไม้โกงกาง 400 กรัม



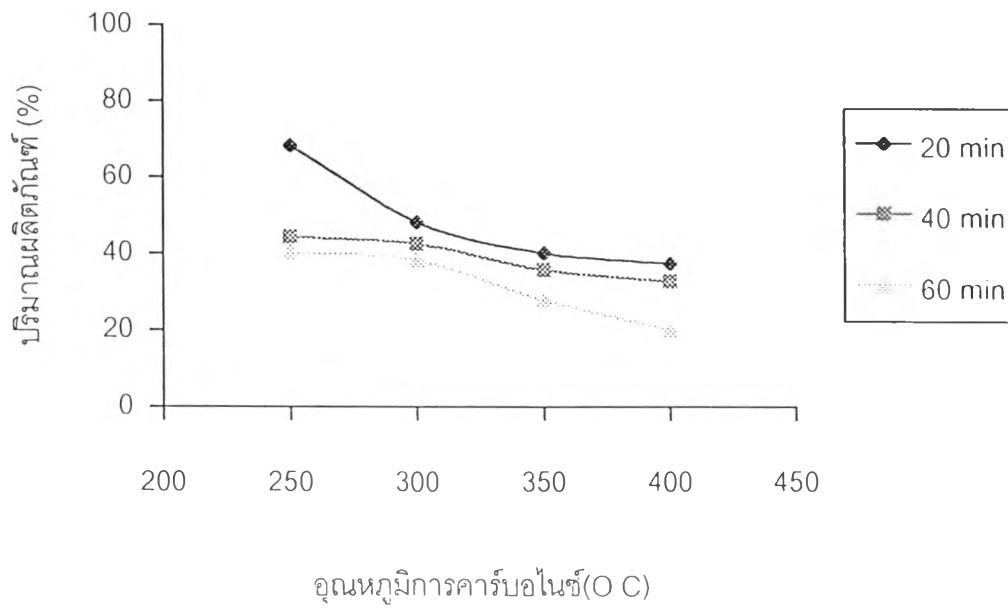
รูปที่ 4.4 ผลของเวลาการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณเถ้า ณ อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ไม้โกงกาง 400 กรัม



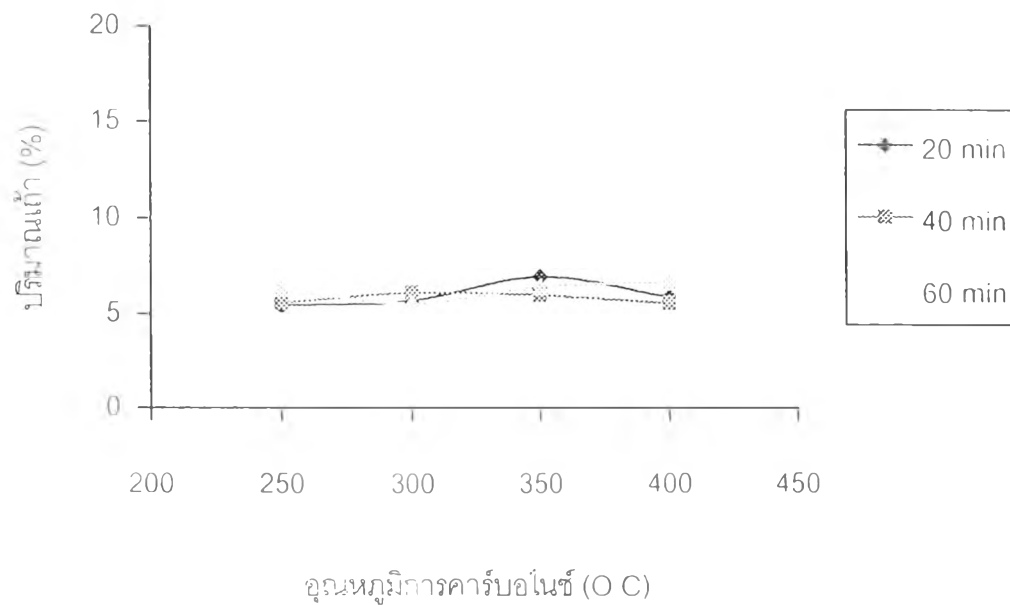
รูปที่ 4.5 ผลของเวลาการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณสารระเหย ณ อุณหภูมิต่างๆโดย ใช้ไม้โกงกาง 400 กรัม



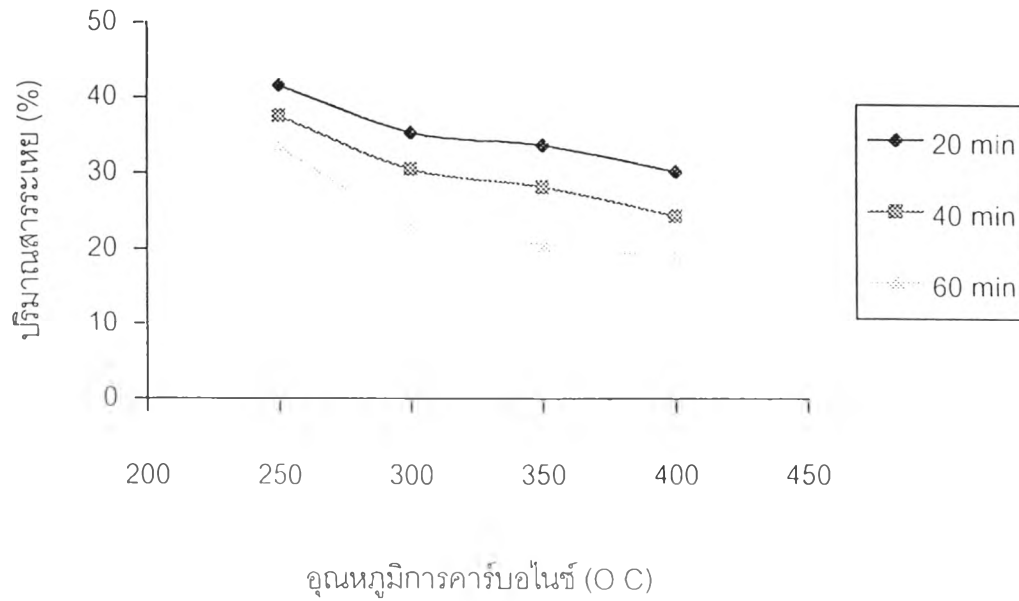
รูปที่ 4.6 ผลของเวลาการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว ณ อุณหภูมิต่างๆ โดย ใช้ไม้โกงกาง 400 กรัม



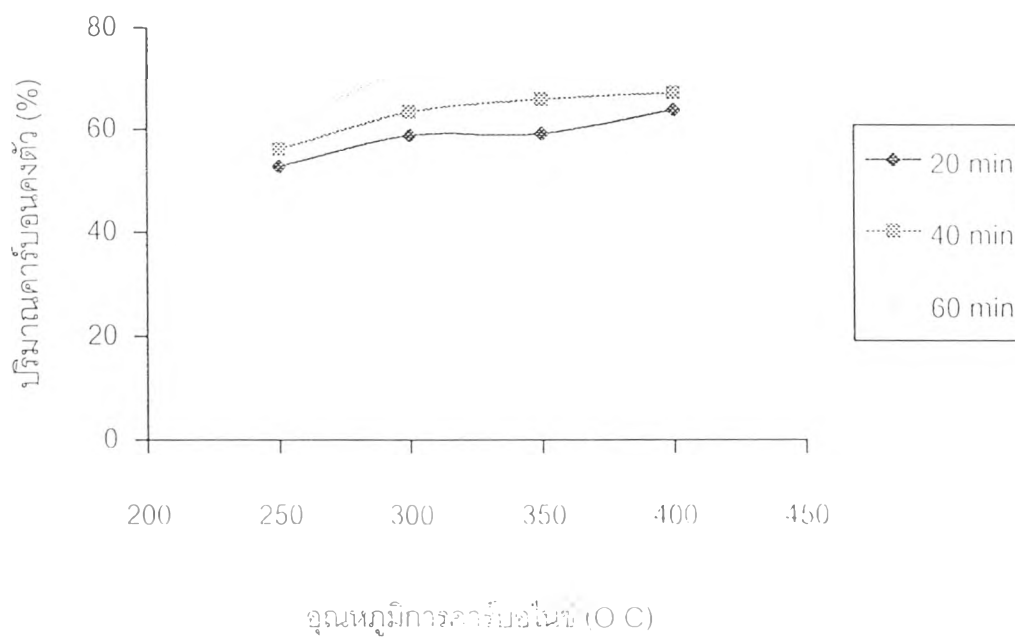
รูปที่ 4.7 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆโดยใช้ไม้โกงกาง 400 กรัม



รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณเถ้า ณ เวลาต่างๆโดยใช้ไม้โกงกาง 400 กรัม



รูปที่ 4.9 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณสารระเหย ณ เวลาต่างๆ โดยใช้ไม้โกงกาง 400 กรัม



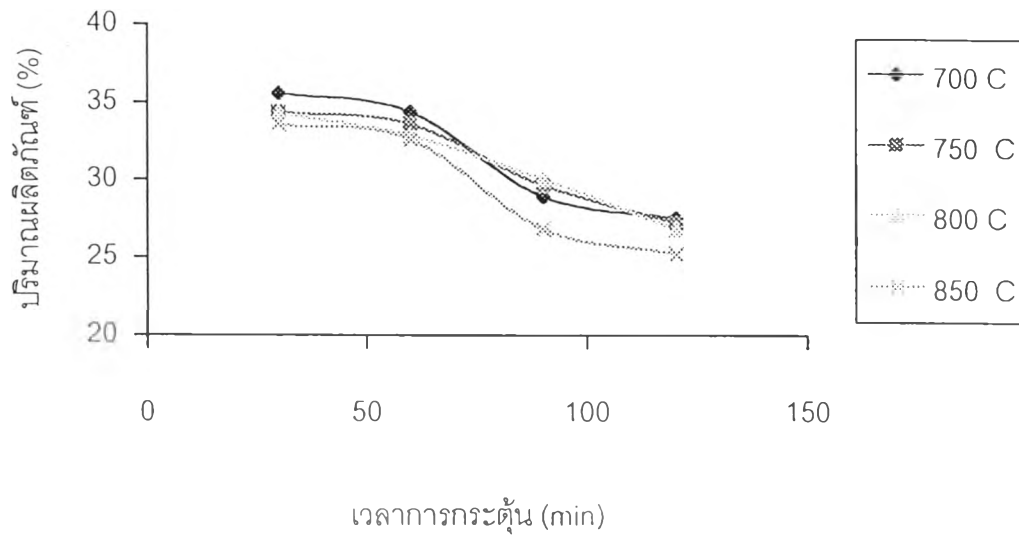
รูปที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิการคาร์บอนไนซ์ที่มีต่อค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว ณ เวลาต่างๆ โดยใช้ไม้โกงกาง 400 กรัม

4.2.2 ภาวะที่เหมาะสมในการกระตุ้น

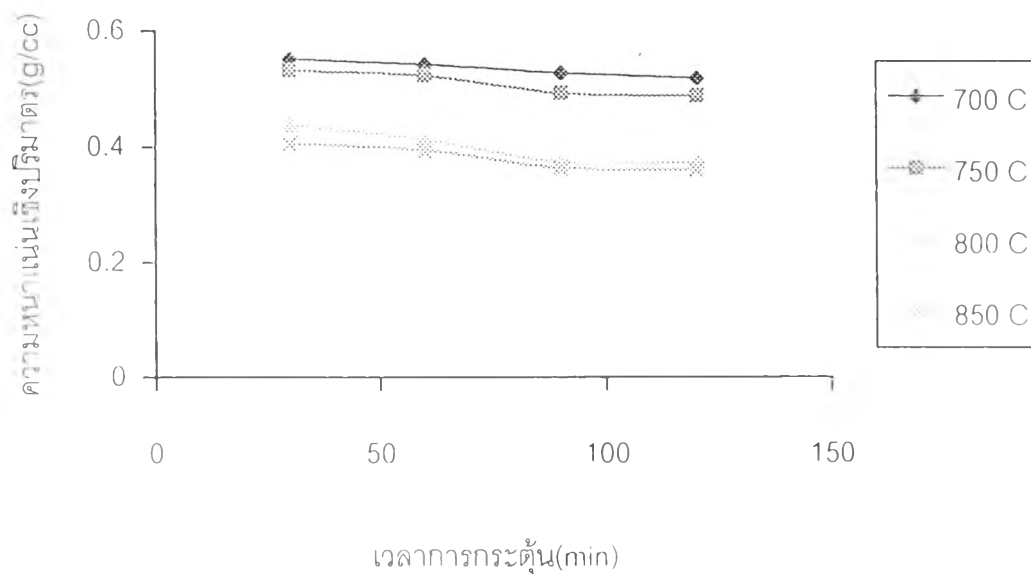
ผลจากการกระตุ้นถ่านไม้โกงกางที่อุณหภูมิ 700,750,800 และ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30,60,90 และ 120 นาที โดยนำมาวิเคราะห์สมบัติของถ่านกัมมันต์ ดังนี้ ค่าการดูดซับไอโอดีน (IA), ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (MB) , ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร (BD) และปริมาณเถ้า (ash) แสดงดังตารางที่ 4.2 นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของเวลาการกระตุ้นกับสมบัติของถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางที่อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.14 และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิการกระตุ้นกับสมบัติของถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางที่เวลาต่างๆ ดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.18

ตารางที่ 4.2 สมบัติของถ่านกัมมันต์เมื่อกระตุ้นถ่านที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆโดยใช้ถ่านไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5l/min, อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min (Air : CO₂ , 1:1) และใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินพอ

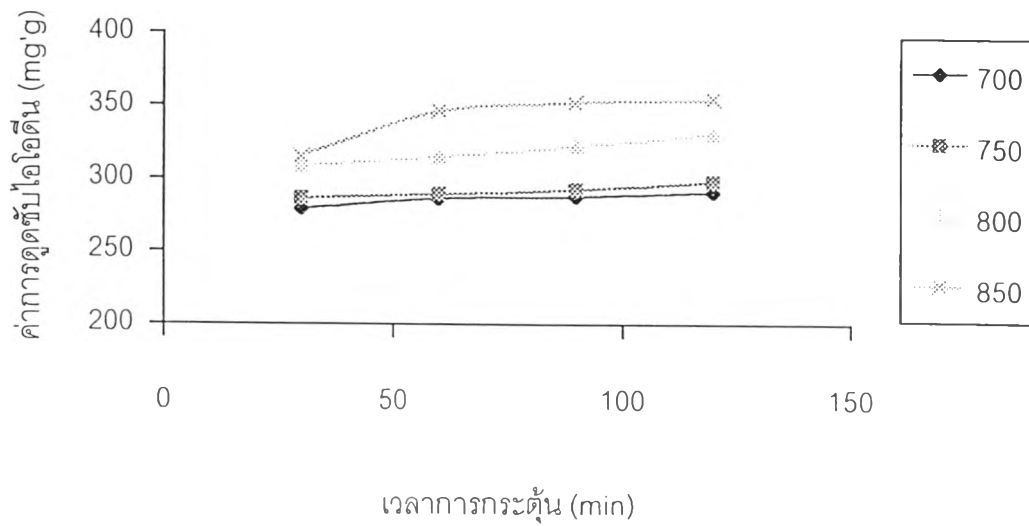
ภาวะของการกระตุ้น		Y	M	On dry basis			
อุณหภูมิ	เวลา			BD	Ash	IA	MB
C	min	%	%	g/cm ³	%	Mg/g	Mg/g
700	30	35.57	0.67	0.5507	5.49	279.28	7.65
700	60	34.42	0.82	0.5417	5.98	286.11	8.11
700	90	28.88	0.92	0.5268	5.32	287.34	8.46
700	120	27.55	0.88	0.5181	5.71	290.95	8.57
750	30	34.32	0.69	0.5318	5.14	286.23	8.76
750	60	33.61	1.12	0.5229	6.52	289.31	9.13
750	90	29.64	0.87	0.4925	5.87	292.25	9.67
750	120	27.19	0.92	0.4878	5.53	298.17	9.74
800	30	34.29	0.87	0.4381	6.52	308.30	10.11
800	60	32.67	1.04	0.4135	6.87	314.66	11.32
800	90	30.05	0.97	0.3742	7.39	321.61	11.66
800	120	26.77	0.91	0.3740	6.46	330.88	12.66
850	30	33.54	1.11	0.4062	6.83	330.81	12.89
850	60	32.64	0.93	0.3955	6.44	345.89	13.51
850	90	26.81	1.04	0.4532	7.18	351.88	13.65
850	120	25.23	1.21	0.4719	7.02	354.29	16.02



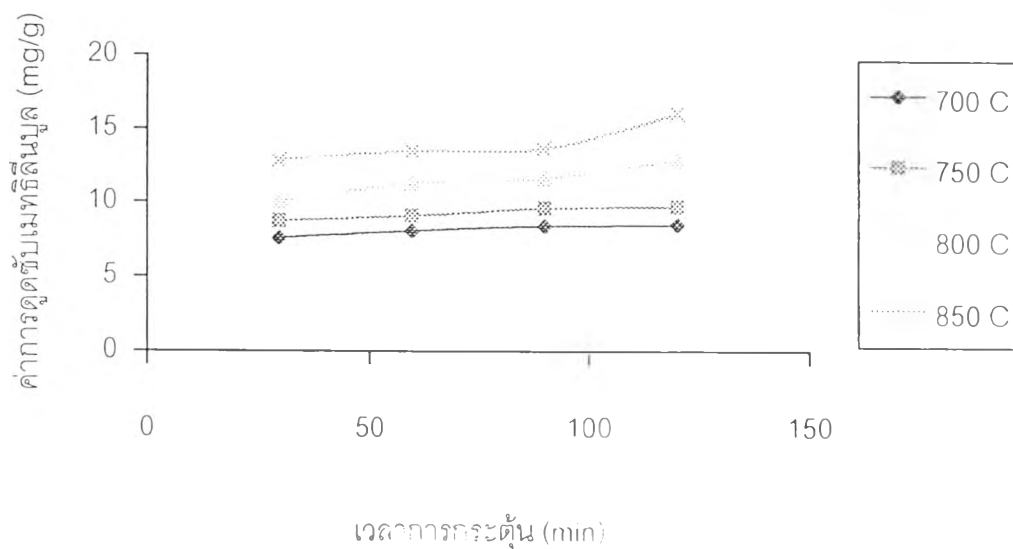
รูปที่ 4.11 ผลของเวลาการกระตุ้นที่มีค่าร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ ณ อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ ถ่านไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min (Air: CO₂, 1:1) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินไป



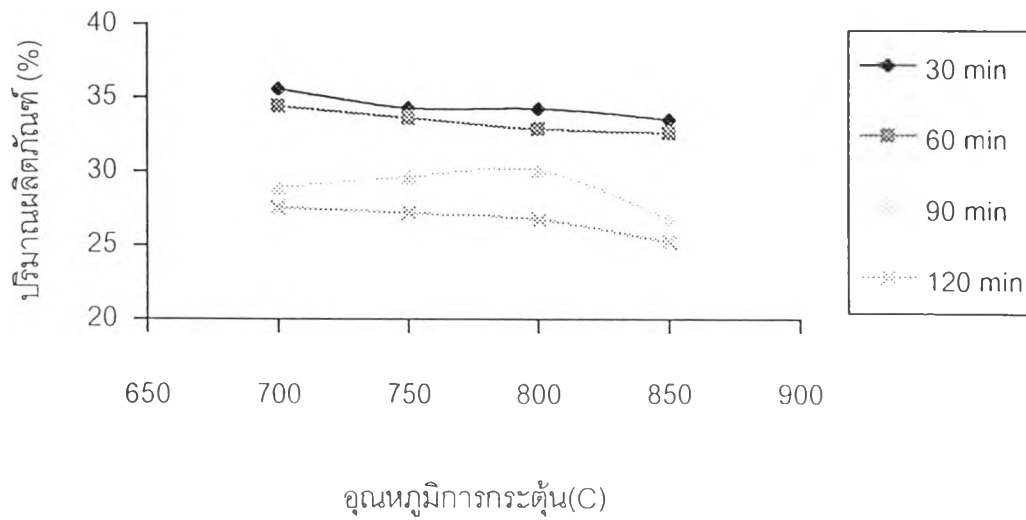
รูปที่ 4.12 ผลของเวลาการกระตุ้นที่มีต่อค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ณ อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ ถ่านไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min (Air: CO₂, 1:1) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินไป



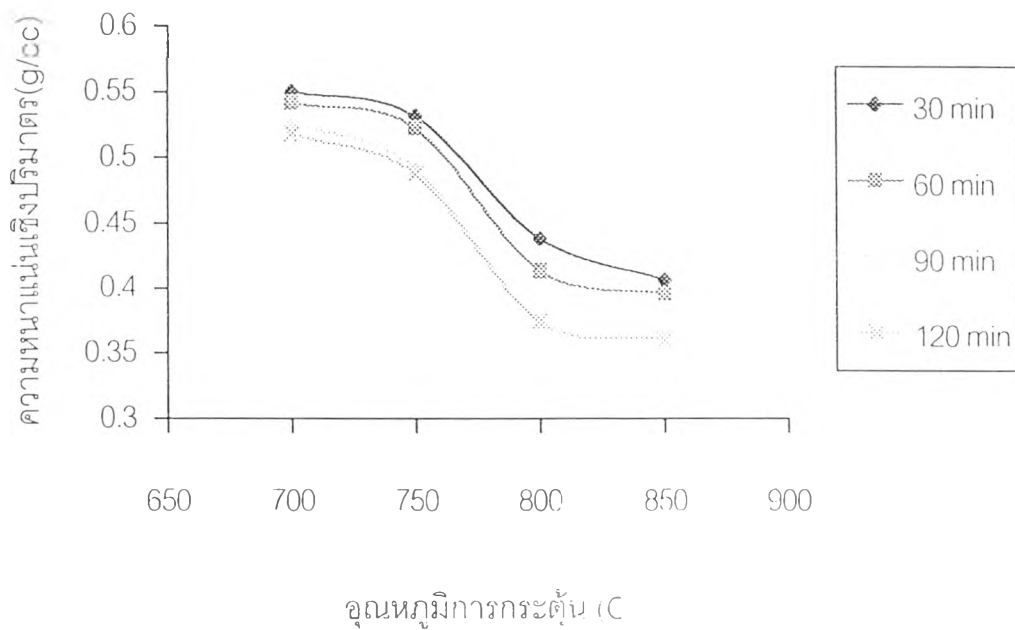
รูปที่ 4.13 ผลของเวลาการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ถ่านไม้ โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min (Air: CO₂, 1:1) ปริมาณไอน้ำร้อนขนาดยิ่งที่มากเกินไป



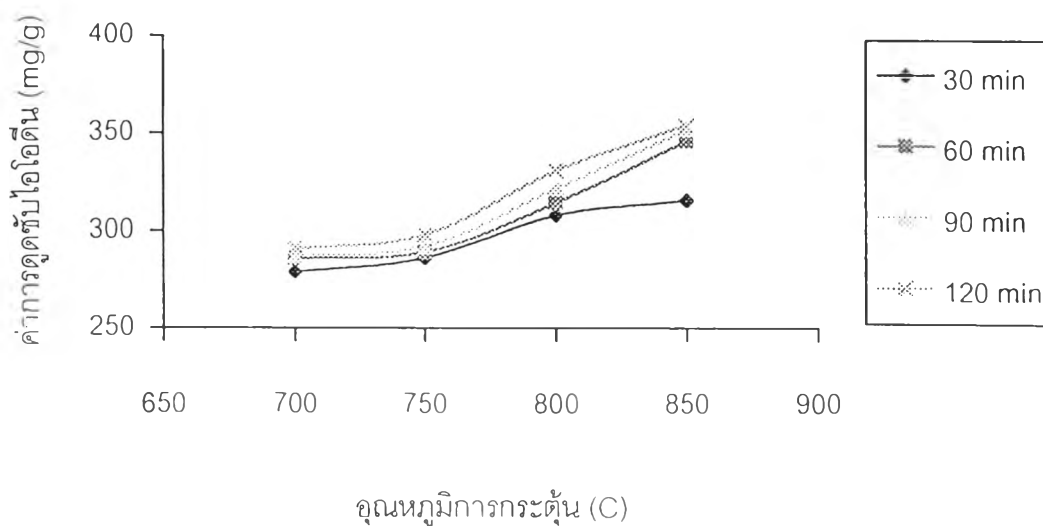
รูปที่ 4.14 ผลของเวลาการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู ณ อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ถ่านไม้ โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min (Air: CO₂, 1:1) ปริมาณไอน้ำร้อนขนาดยิ่งที่มากเกินไป



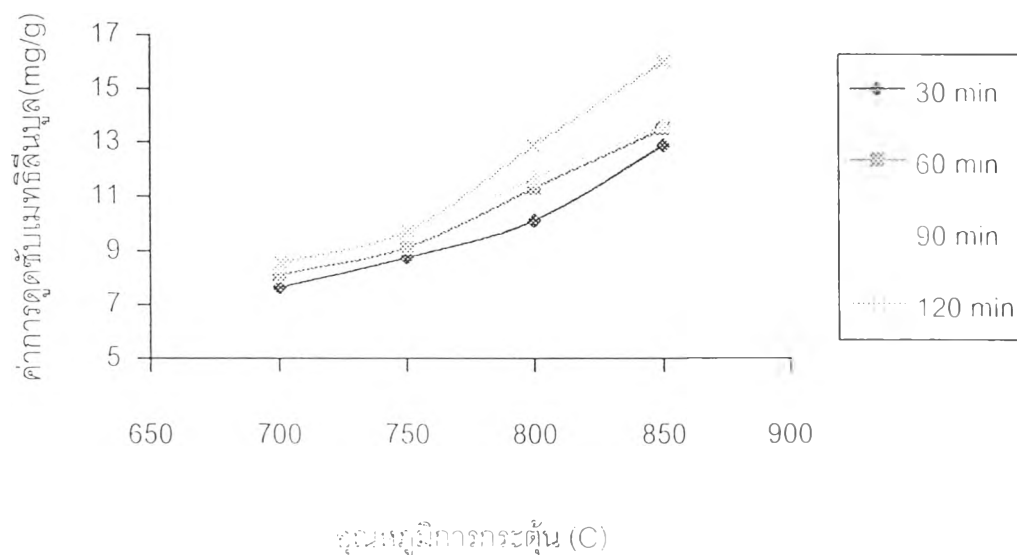
รูปที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิการกระตุ้นที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้ถ่านไม้ โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min (Air : CO₂, 1:1) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินไป



รูปที่ 4.16 ผลของอุณหภูมิการกระตุ้นที่มีต่อค่าความหน่วงแห้ง ปริมาณ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้ ถ่านไม้ โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min. (Air ; CO₂ , 1:1) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินไป



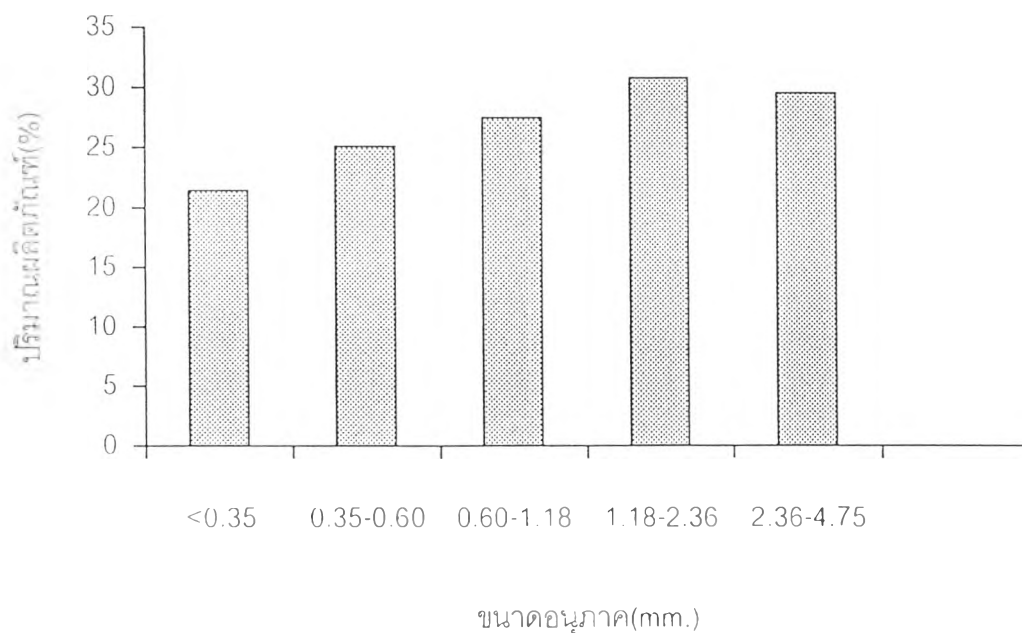
รูปที่ 4.17 ผลของอุณหภูมิการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน ณ เวลาต่างๆ โดยใช้ถ่านไม้ โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min. (Air ; CO₂ , 1:1) ปริมาณไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่มากเกินไป



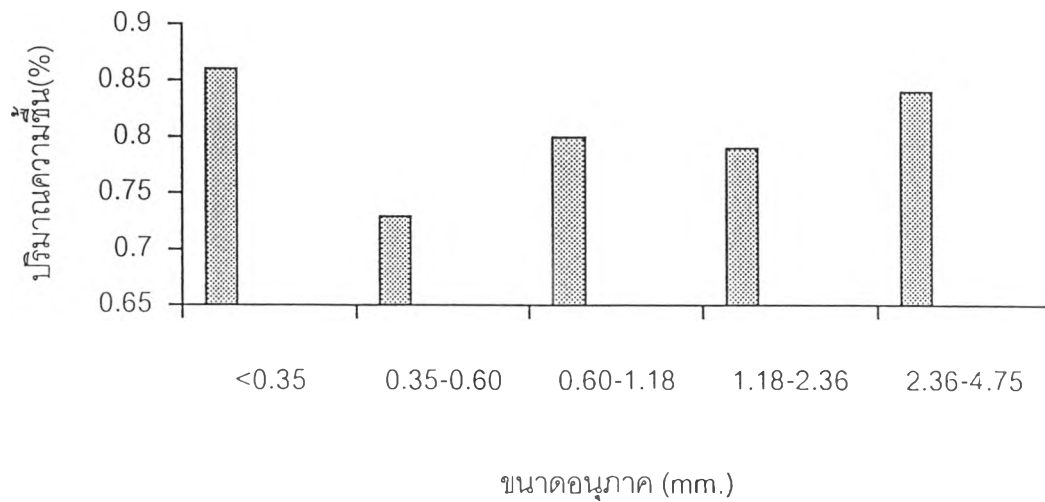
รูปที่ 4.18 ผลของอุณหภูมิการกระตุ้นที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลฟอร์มัลดีไฮด์ ณ เวลาต่างๆ โดยใช้ถ่านไม้ โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min. (Air ; CO₂ , 1:1) ปริมาณไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่มากเกินไป

ตารางที่ 4.3 สมบัติของถ่านกัมมันต์เมื่อกระตุ้นถ่านขนาดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ถ่านไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min. ปริมาณก๊าซ CO₂ 5 l/min. (ณ อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดันบรรยากาศ) และปริมาณไอน้ำอิ่มตัวด้วยด่างที่มากเกินพอ

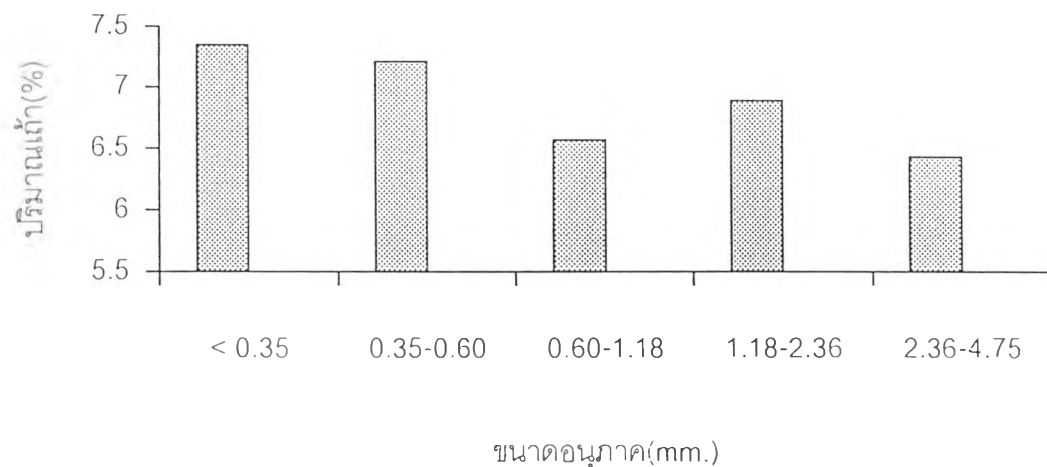
ขนาดเม็ด ถ่าน (มม.)	Y %	M %	On dry basis					
			BD	IA	MB	S _{BET}	Micro pores	Macro pores
			ก./ลบ.ซม.	มก./ก.	มก./ก.	ตร.ม./ก.	ตร.ม./ก.	ตร.ม./ก.
2.36-4.75	29.56	0.86	0.3913	505.67	239.69	439.68	277.96	161.72
1.18-2.36	30.79	0.83	0.3729	571.23	244.77	481.80	345.21	136.59
0.60-1.18	27.47	0.80	0.3223	675.14	254.73	639.74	483.24	156.50
0.35-0.60	25.11	0.79	0.3429	615.27	248.25	564.36	392.78	171.58
<0.35	21.42	0.84	0.4317	532.48	240.66	460.11	318.63	141.48



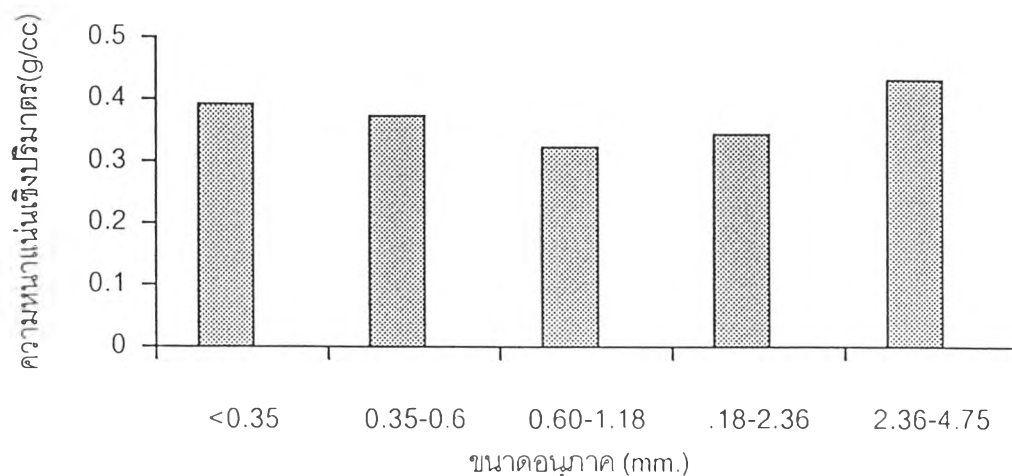
รูปที่ 4.19 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อร้อยละของปริมาณผลิตภัณฑ์ เมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min. ปริมาณก๊าซ CO₂ 5 l/min. (T = 30°C, P = 1 atm) และปริมาณไอน้ำอิ่มตัวด้วยด่างที่มากเกินพอ



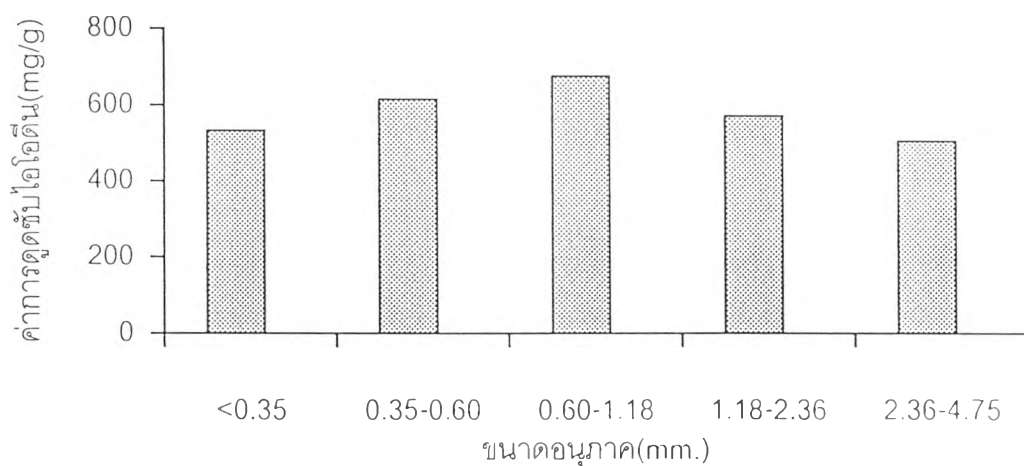
รูปที่ 4.20 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อร้อยละของปริมาณความชื้น เมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min ($T= 30^{\circ}\text{C}, P=1 \text{ atm}$) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินพอ



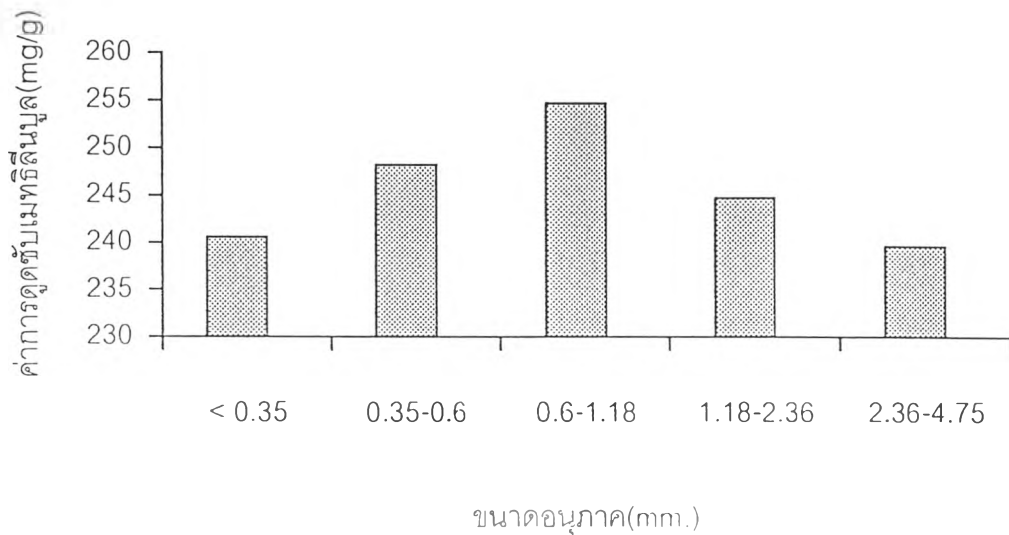
รูปที่ 4.21 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อร้อยละของปริมาณเถ้า เมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min ($T= 30^{\circ}\text{C}, P=1 \text{ atm}$) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินพอ



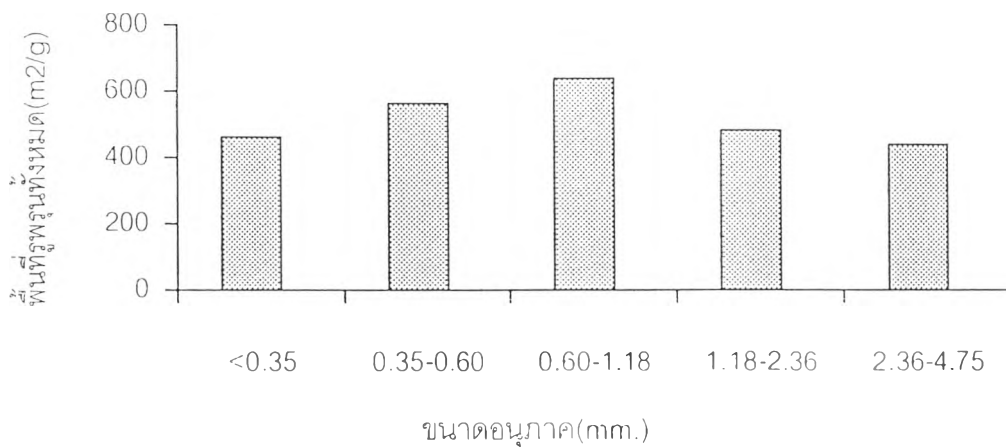
รูปที่ 4.22 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตร เมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินไป



รูปที่ 4.23 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อค่าการดูดซับไอโอดีน เมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5 l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินไป



รูปที่ 4.24 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อค่าการดูดซับเมทิลีนบลู เมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินไป

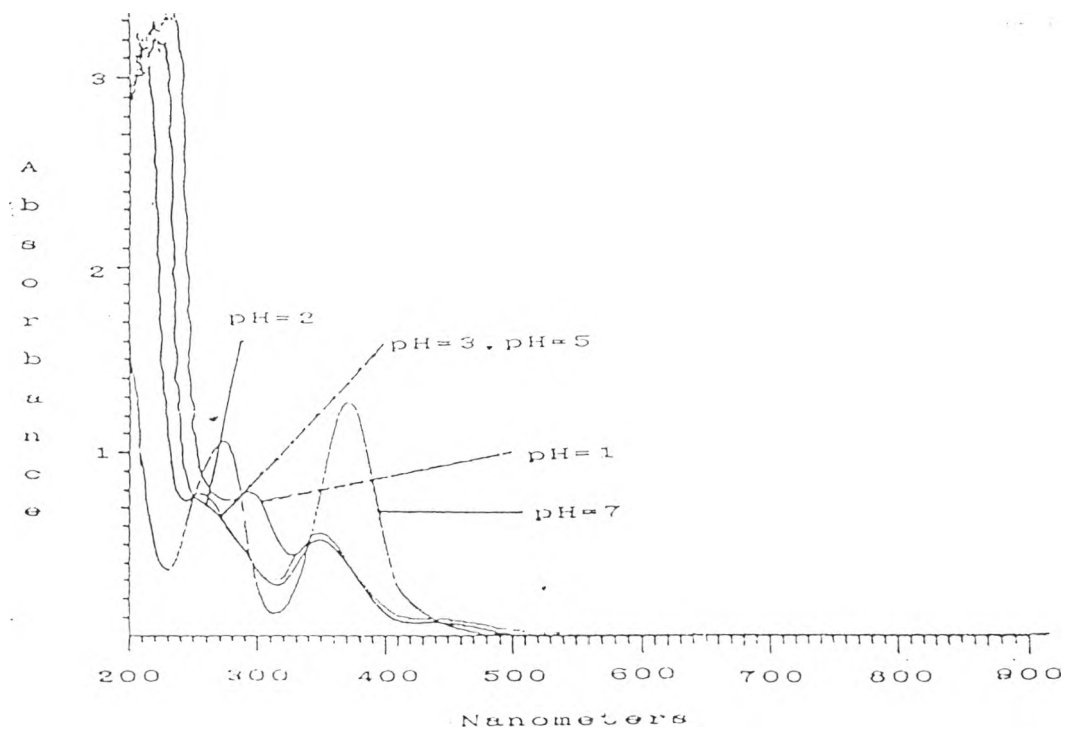


รูปที่ 4.25 ผลของขนาดอนุภาคที่มีพื้นที่ผิวรูพรุนทั้งหมด เมื่อกระตุ้นที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้ไม้โกงกาง 150 กรัม ปริมาณการป้อนอากาศ 5l/min อัตราการป้อนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5 l/min ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $P = 1 \text{ atm}$) ปริมาณไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มากเกินไป

4.3 ศึกษาความจุในการดูดซับสี

4.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลง Adsorption spectrum ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ เมื่อ pH เปลี่ยนแปลงไป

เตรียมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ เข้มข้น 1.7×10^{-4} M ทำให้มี pH เป็น 1,2,3,5 และ 7 ด้วยสารละลาย 0.1 M HNO_3 กับ 0.1 NH_4OH นำไปวัดค่า Absorbance ด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้วิธีการ Scan Spectrum ที่ Wavelength ตั้งแต่ 200 ถึง 900 นาโนเมตร ผลจากการ Scan Spectrum ดังแสดงรูปที่ 4.26



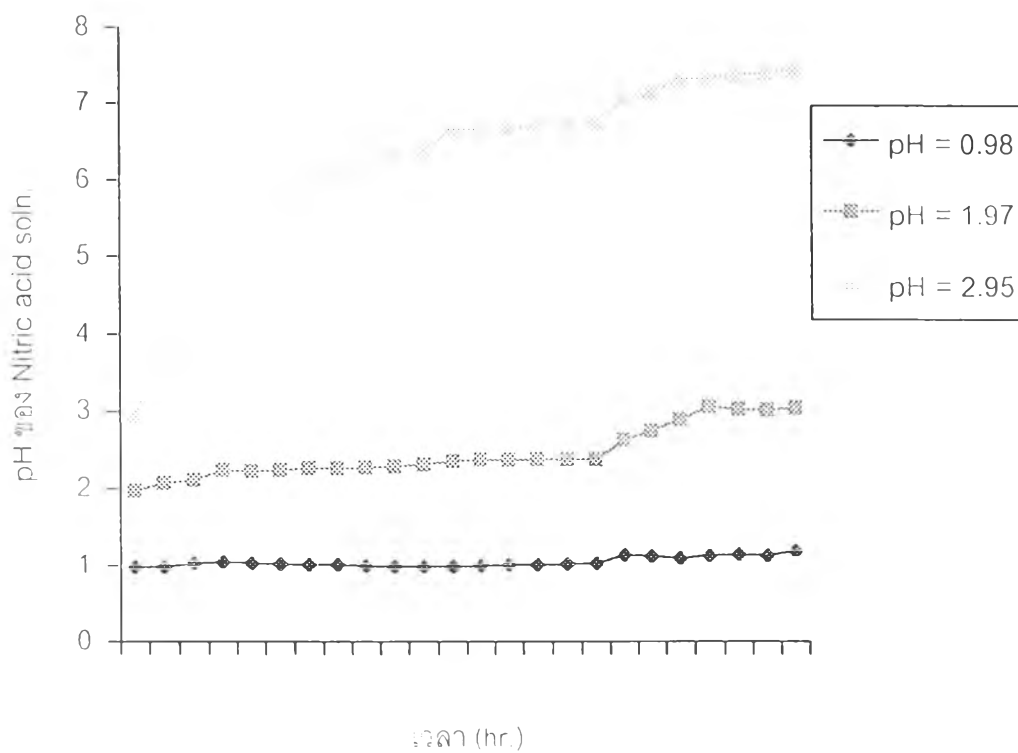
รูปที่ 4.26 adsorption spectrum ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ เข้มข้น 1.7×10^{-4} M เตรียม ณ pH 1,2,3,4,5 และ 7

absorption spectrum ของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ดังรูปที่ 4.26 พบว่าสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่ pH 7 มีการเปลี่ยนแปลงจาก $Cr_2O_7^{2-}$ เป็น $Cr_2O_4^{2-}$ ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการเตรียมสารละลายกรดไนตริกที่มี pH 1,2 และ 3 เท่านั้น หรือมีความเข้มข้น 0.1,0.01 และ 0.001 M ตามลำดับ แล้วนำไปแช่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ (ถ่านกัมมันต์นี้ต้องเป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นที่ภาวะที่เหมาะสม คือ ที่ $850\text{ }^{\circ}\text{C}$,1 ชั่วโมง ขนาด 0.6-1.18 มิลลิเมตร) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายกรดไนตริก ที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อนำถ่านกัมมันต์มาแช่ โดยใช้ ถ่านกัมมันต์ 0.25 กรัม ต่อสารละลายกรดไนตริก 25 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายกรดไนตริก ที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อ equilibrate กับถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง

เวลา (ชั่วโมง)	0.1 M HNO_3 pH = 0.98	0.01 M HNO_3 pH = 1.97	0.01 M HNO_3 pH = 2.95
	0.60-1.18 mm.	0.60-1.18 mm.	0.60-1.18 mm.
1	0.98	2.07	3.68
2	1.01	2.11	4.36
3	1.05	2.24	5.52
4	1.03	2.22	5.60
5	1.02	2.24	5.78
6	1.01	2.26	5.92
7	1.01	2.26	6.10
8	1.00	2.27	6.24
9	0.99	2.29	6.35
10	0.99	2.31	6.40
11	0.99	2.35	6.66
12	1.00	2.37	6.68
13	1.01	2.37	6.69
14	1.01	2.38	6.72
15	1.02	2.38	6.75
16	1.03	2.38	6.75

เวลา (ชั่วโมง)	0.2 M HNO ₃ pH = 0.98	0.02 M HNO ₃ pH = 1.97	0.02 M HNO ₃ pH = 2.95
	0.60-1.18 mm.	0.60-1.18 mm.	0.60-1.18 mm.
24	1.14	2.63	7.09
48	1.12	2.75	7.16
72	1.10	2.90	7.33
96	1.13	3.07	7.35
168	1.15	3.03	7.39
172	1.13	3.02	7.41
196	1.19	3.05	7.45



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลาย HNO₃ เมื่อผ่านการ equilibrate กับถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง ขนาด 0.60-1.18 มิลลิเมตร pH 1,2 และ 3

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายกรดไนตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อทำการ equilibrate กับถ่านกัมมันต์ซึ่งมี pH = 9.43 พบว่าการศึกษาความจุในการดูดซับสีของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ควรใช้สารละลายเริ่มต้นไม่เกิน pH 2 เพราะที่กรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.001 M (pH=3) เมื่อนำมา equilibrate กับถ่านกัมมันต์จะทำให้ pH มีการเปลี่ยนแปลงไปมาก คือ เปลี่ยนแปลงจาก pH 3 เป็น pH 6 ภายใน 6-7 ชั่วโมง ดังนั้นจึงไม่สมควรจะใช้กรดไนตริกที่ ความเข้มข้น 0.001 M (pH=3) มาปรับ pH ของ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางดูดซับ) เพราะจะทำให้ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ เปลี่ยนเป็น $\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$ ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ เปลี่ยนเป็น $\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$ ที่ pH > 5 , ดังรูปที่ 4.26)

4.3.2 การศึกษาจลนพลศาสตร์

เพื่อศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับประสิทธิภาพการดูดซับสีของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ บนผิวถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ โดยการเตรียมสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เข้มข้น 2.0×10^{-3} M (588.4 ppm) ในกรดไนตริก ที่ pH = 1 และ 2 ตามลำดับ นำถ่านกัมมันต์ 0.25 กรัม มาแช่ในสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 25 มิลลิลิตร เป็นเวลา 20 นาที, 1,2,3,4,5 และ 24 ชั่วโมง นำสารละลาย $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือจากการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มาวัดค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร แล้วนำผลของค่า Absorbance ที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลืออยู่ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (รายละเอียดการสร้างกราฟมาตรฐาน ; ภาคผนวก ฉ) และสามารถหามิลลิกรัมที่ถูกดูดซับของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ได้โดยนำปริมาณ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลืออยู่ หักออกจากปริมาณ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ เริ่มแรก(ภาคผนวก ฉ.2) จากข้อมูลที่ได้นำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของ pH ของสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ที่มีต่อการดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ด้วยถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง ณ เวลาต่างๆ ดังรูปที่ 4.25

หมายเหตุ สูตรการคำนวณความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (ppm) และมิลลิกรัม $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ต่อกรัมของถ่าน

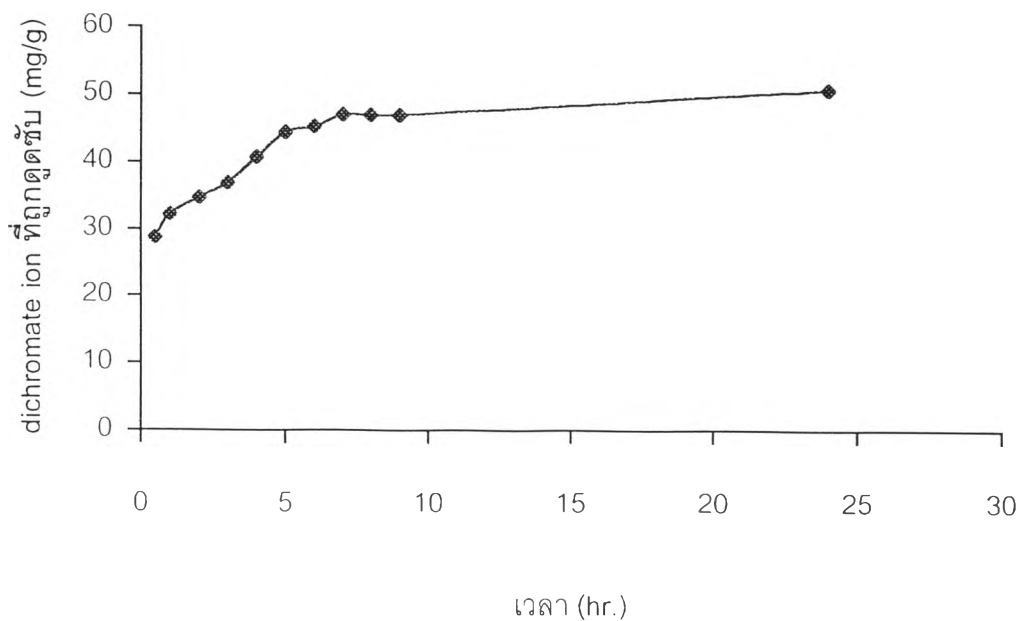
1. ความเข้มข้นที่ถูกดูดซับ (ppm) = ความเข้มข้น $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ เริ่มต้น - ความเข้มข้น $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลืออยู่
2. มิลลิกรัม $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ต่อกรัมของถ่าน = $\frac{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]_{\text{เริ่มต้น}} - [\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]_{\text{ที่เหลือ}}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}} \times 0.025$

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ บนผิวถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางขนาด 0.6-1.18 มิลลิเมตร ในสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เข้มข้น 2.0×10^{-3} M (588.4 ppm) pH = 2 โดยวัดค่า Absorbance ณ ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร

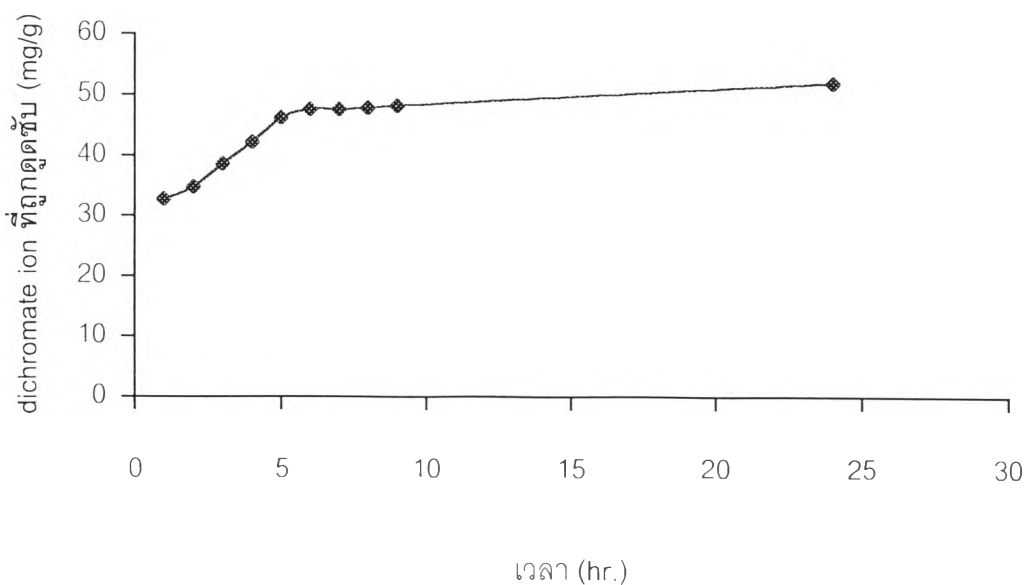
เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่ถูกดูดซับ, mg/g
20 นาที	28.82
1	32.21
2	34.75
3	36.94
4	40.79
5	44.40
6	45.27
7	47.04
8	47.04
9	47.03
24	50.84

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ บนผิวด้านกัมมันต์จากไม้โกงกางขนาด 0.6-1.18 มิลลิเมตร ในสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ เข้มข้น 2.0×10^{-3} M (588.4 ppm) pH = 1 โดยวัดค่า Absorbance ณ ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่ถูกดูดซับ, mg/g
20 นาที	30.28
1	32.73
2	34.77
3	38.61
4	42.27
5	46.32
6	47.61
7	47.69
8	47.85
9	48.15
24	51.99



รูปที่ 4.28 Kinetic studies ของการดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ บนถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางขนาด 0.6-1.18 mm. ณ สารละลายเข้มข้น 588.4 ppm (mg/l) ที่ pH = 2



รูปที่ 4.29 Kinetic studies ของการดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ บนถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางขนาด 0.6-1.18 mm. ณ สารละลายเข้มข้น 588.4 ppm (mg/l) ที่ pH = 1

จากผลการทดลองศึกษาจลนพลศาสตร์ หาเวลาที่เหมาะสม เพื่อใช้ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ บนผิวถ่านกัมมันต์ขนาด 0.6-1.18 มิลลิเมตร เมื่อปรับ pH ของสารละลาย $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ เริ่มต้นเป็น 2.12 และ 1.09 ตามลำดับ พบว่า สารละลาย $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ จะเข้าสู่สมดุลของการดูดซับที่เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง ดังนั้นจะใช้เวลาดังกล่าวไปหาความจุในการดูดซับต่อไป

4.3.3 การศึกษา Adsorption Isotherm เป็นการศึกษาค้นหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่ถูกดูดซับ มก./ก. กับความเข้มข้นของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลืออยู่

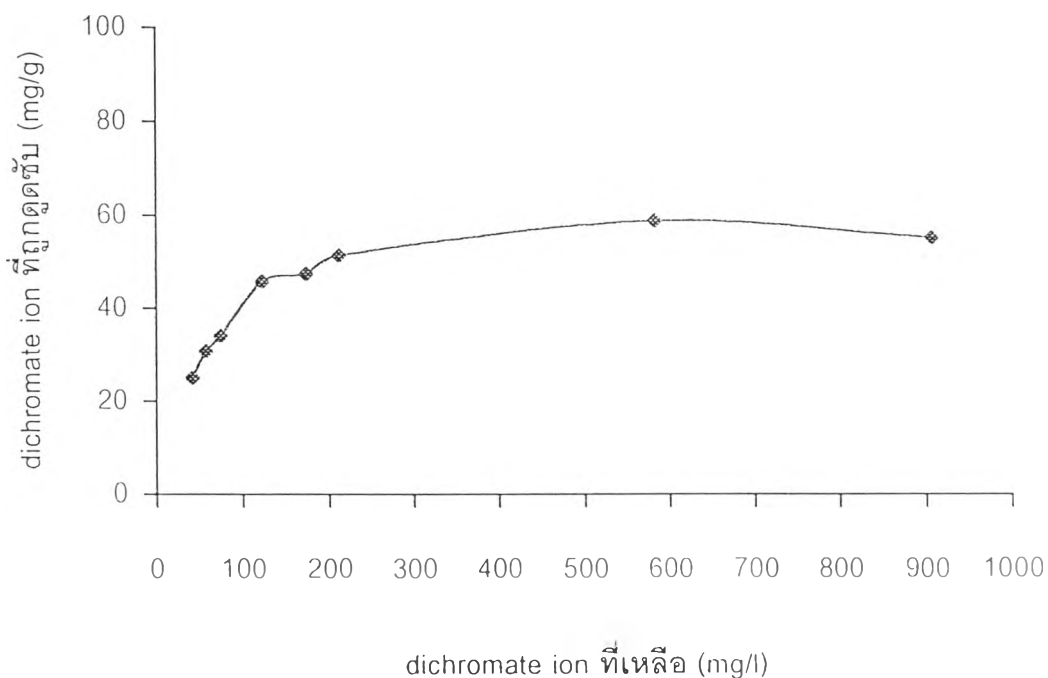
- เตรียมสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ให้มีความเข้มข้นต่างๆกัน 2 ชุด มี pH 2 และ 1 นำมา equilibrate กับถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง โดยใช้ถ่าน 0.25 กรัม ต่อสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 25 มล. เป็นเวลา 7 ชั่วโมง (ซึ่งเป็นเวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุลจากผลของ Kinetic studies) แล้วนำ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลือจากการดูดซับไปวัดค่า Absorbance ณ ความยาวคลื่น 350 nm. นำค่า Abs. ที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาปริมาณการดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ต่อกรัมของถ่าน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 จากข้อมูลที่ได้นำมาสร้างกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่ถูกดูดซับ มก./ก. กับ ความเข้มข้น $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่เหลืออยู่ ดังรูปที่ 4.30 และ 4.31

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ บนถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง ขนาด 0.6-1.18 มม. ในสารละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ pH = 2 เป็นเวลา 7 ชั่วโมง โดยวัดค่า Absorbance ณ ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร

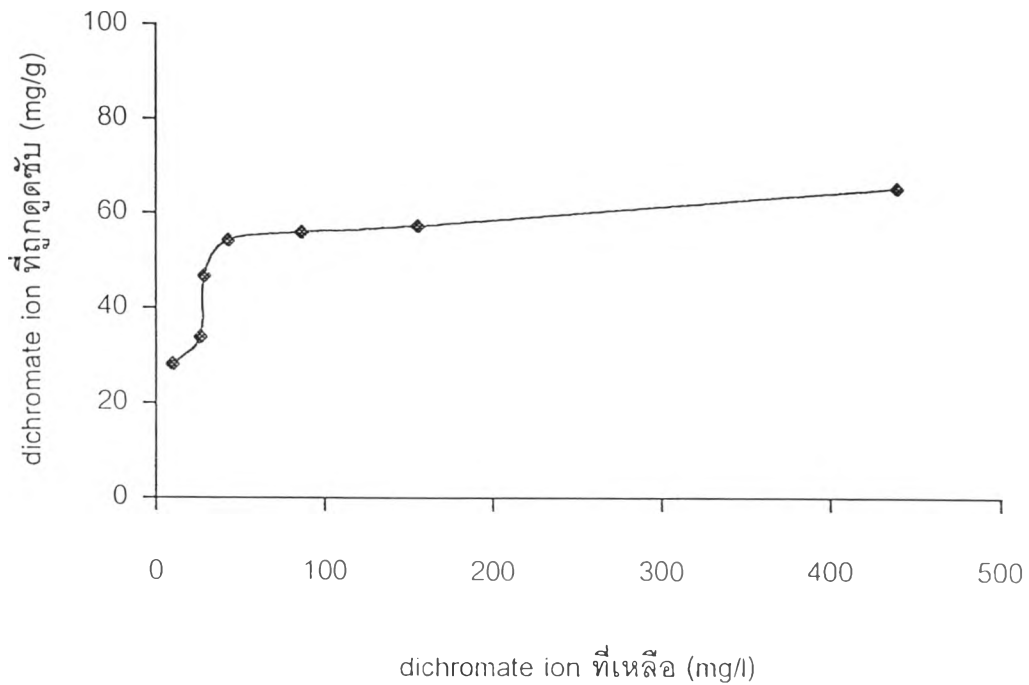
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ เริ่มต้น	ความเข้มข้นที่เหลือของ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, mg/l	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ที่ถูกดูดซับ, mg/g
294.22	41.50	25.07
367.75	57.07	30.76
420.29	74.53	34.18
588.40	123.26	45.76
653.78	174.00	47.39
735.50	212.36	51.45
1176.80	582.58	58.81
1471.00	907.69	55.27

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าการดูดซับ $Cr_2O_7^{2-}$ บนถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกาง ขนาด 0.6-1.18 มม.ในสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ pH = 1 เป็นเวลา 7 ชั่วโมง โดยวัดค่า Absorbance ณ ความยาวคลื่น 350 นาโนเมตร

$Cr_2O_7^{2-}$ เริ่มต้น	ความเข้มข้นที่เหลือของ $Cr_2O_7^{2-}$, mg/l	$Cr_2O_7^{2-}$ ที่ถูกดูดซับ, mg/g
294.22	10.05	28.20
367.75	26.42	33.53
420.29	28.91	46.72
588.40	43.09	54.25
653.78	86.35	56.07
735.50	155.38	57.29
1176.80	533.47	63.37
1471.00	812.09	65.42



รูปที่ 4.30 Adsorption isotherm ของการดูดซับ dichromate ion บนถ่านกัมมันต์ผลิตจากไม้โกงกาง ขนาดอนุภาค 0.6-1.18 มม. ที่ pH =2



รูปที่ 4.31 Adsorption isotherm ของการดูดซับ dichromate ion บนถ่านกัมมันต์ผลิตจากไม้ไผ่ โกงกางขนาดอนุภาค 0.6-1.18 มม. ที่ pH = 1

จากการดูดซับ dichromate ion บนผิวถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากไม้ไผ่ โกงกาง ขนาดอนุภาค 0.6-1.18 mm. ณ pH=2 และ pH=1 ดังรูปที่ 4.30 และ 4.31 ได้ถูกนำมาพล็อตตาม Langmuir equation (Felix A., 1995) เพื่อหา Adsorption Capacity ของแต่ละภาวะ ดังสมการ

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{kX_m} + \frac{C_e}{X_m}$$

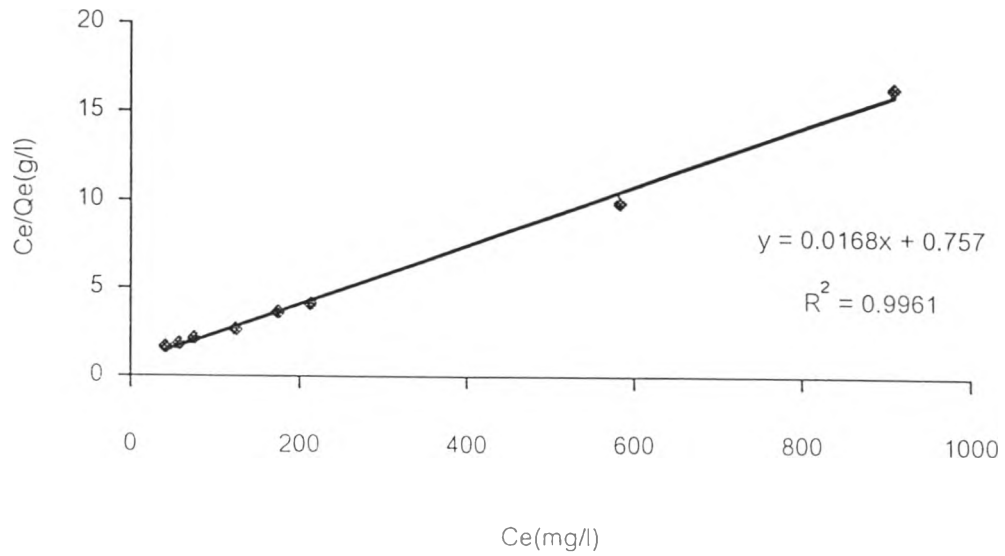
Q_e = dichromate ion ที่ถูกดูดซับ , mg/g

C_e = equilibrium concentration , mg/l

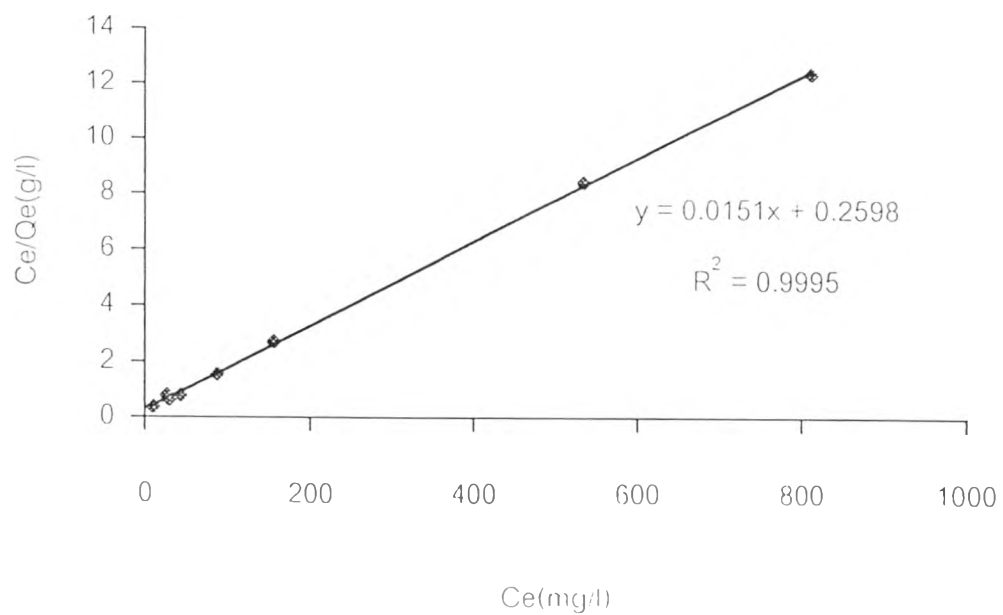
X_m = mg dichromate ion ที่ถูกดูดซับ ณ monolayer / กรัมของถ่านกัมมันต์

k = ค่าคงที่ที่ขึ้นกับ adsorption enthalpy

Langmuir plot ของการดูดซับ ณ pH=2 และ 1 ของถ่านกัมมันต์ขนาด 0.6-1.18 mm. ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33



รูปที่ 4.32 Langmuir plot ในการศึกษา Adsorption isotherm ในการดูดซับ dichromate ion บน ถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางขนาด 0.6-1.18 มม. ที่ pH =2 เป็นเวลา 7 ชั่วโมง



รูปที่ 4.33 Langmuir plot ในการศึกษา Adsorption isotherm ในการดูดซับ dichromate ion บน ถ่านกัมมันต์จากไม้โกงกางขนาด 0.6-1.18 มม. ที่ pH =1 เป็นเวลา 7 ชั่วโมง