



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>**สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตถ่านกัมมันต์จากต้นไมยราบยักษ์โดยการกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์และซิงค์คลอไรด์****Optimum conditions of activated carbon production from *Mimosa pigra* L. using sodium chloride and zing chloride activation**

ธีรวัช สิงหศิริ*

Theethawat Singhasiri*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี 41000

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Udon thani Rajabhat University, Udon thani Thailand, 41000.

Received January 2014

Accepted June 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไมยราบยักษ์ โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นตัวกระตุ้น โดยออกแบบการทดลองแบบแฟกเตอร์IAL และทำการวางแผนการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken Design ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารกระตุ้นต่อถ่าน (0:1-4:1) อุณหภูมิของการเผา (500-800 องศาเซลเซียส) และเวลาของการเผา (30-60 นาที) จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยทั้งสามมีผลต่อค่าไอโอดีนัมเบอร์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น คือ อัตราส่วนสารกระตุ้นต่อถ่านเท่ากับ 1.94:1 อุณหภูมิของการเผา 772.73 องศาเซลเซียส และเวลาของการเผา 95.15 นาที ที่สภาวะดังกล่าวค่าไอโอดีนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 631.10 มิลลิกรัมต่อกรัม และสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น คือ อัตราส่วนสารกระตุ้นต่อถ่านเท่ากับ 3.11:1 อุณหภูมิของการเผา 800 องศาเซลเซียส และเวลาของการเผา 60 นาที ที่สภาวะดังกล่าวค่าไอโอดีนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 966.30 มิลลิกรัมต่อกรัม จากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวกระตุ้น มีค่าไอโอดีนัมเบอร์มากกว่าถ่านกัมมันต์ที่ผลิตโดยใช้ NaCl เป็นตัวกระตุ้น และถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ทั้งหมดมีค่าไอโอดีนัมเบอร์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของถ่านกัมมันต์ (มอก.900-2547) ที่กำหนดค่าไอโอดีนัมเบอร์ไว้ที่ 600 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ : การผลิตถ่านกัมมันต์ ต้นไมยราบยักษ์ การกระตุ้น การหาสภาวะที่เหมาะสม

* Corresponding Tel.: +6-686-638-3033; fax: +6-604-224-1418

Email address: theethawat88@gmail.com

Abstract

The study investigated the production of activated carbon from *Mimosa pigra* L. using NaCl and ZnCl_2 as activating agent under different conditions by utilizing Box-Behnken Design. Three factors including activating agent to activated carbon ratio (W; 1:0-1:4 w/w), activation temperatures (Temp; 500-800 °C) and activation times (Time; 60-120 minutes) were investigated to find the optimum conditions. The study revealed the statistically significant influence ($p < 0.05$) of the three factors on iodine number of activated carbon. It was found that the optimum condition for using NaCl as an activating agent was the ratio of 1:1.94 under the activation temperature of 772.73 °C and the activation time of 95.15 minutes. Under this condition, the Iodine number of activated carbon form NaCl as activating agent was optimum at 631.10 mg/g. On the other hand, the optimum condition for using ZnCl_2 as activating agent weight ratio of 1:3.11, an activation temperature of 800 °C and activation time of 60 minutes. The activated carbon produced under optimum conditions was an iodine number of 966.30 mg/g. The study revealed that using ZnCl_2 as activating agent resulted in more iodine number than using NaCl. Moreover, activated carbons obtained from *Mimosa pigra* L. had good quality for producing activated carbon because iodine numbers are higher than 600 mg/g, the level set by the Thai Industrial Standards Institute, TISI.900-2004.

Keywords : Activated carbon production, *Mimosa pigra* Linn, Activation, Optimum condition

1. บทนำ

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงสามารถดูดซับสารเคมีจากแก๊สและของเหลวได้ดี และสามารถให้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในการกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ให้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ รวมทั้งใช้ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม อาทิ อุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศ การผลิตน้ำดื่มและน้ำประปา อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล อุตสาหกรรมขุดโลหะ อุตสาหกรรมผลิตอาหาร การบำบัดน้ำเสีย อากาศเสีย และภาคการเกษตร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ในครัวเรือนโดยเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ดูดซับกลิ่น ได้แก่ กลิ่นอับในตู้เย็น ตู้เสื้อผ้าตู้รองเท้า เป็นต้น และปัจจุบันถ่านกัมมันต์ส่วนใหญ่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ จากข้อมูลของกรมศุลกากร ในปี พ.ศ.2555 ประเทศไทยนำเข้าถ่านกัมมันต์คิดเป็นมูลค่า 200,112,560 บาท และเพิ่มขึ้นเป็น 308,233,614 บาท ในปี พ.ศ.2556 [1] ทำให้ต้นทุนการนำมาใช้ประโยชน์สูงขึ้น จึงมีความพยายามที่จะศึกษาวิธีการผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุและสารเคมีที่หาง่าย ราคาถูกและมีความเป็นพิษต่ำ [2,3] ถ่านกัมมันต์ที่ผลิต

จากไม้ไมยราบยักษ์ (*Mimosa pigra* L.) ซึ่งเป็นวัชพืชที่แพร่ระบาดจำนวนมากในท้องถิ่น โดยเฉพาะบริเวณห้วยหนอง คลอง บึง ลักษณะของต้นไมยราบยักษ์เป็นวัชพืชขนาดใหญ่และมีหนามแหลมคม ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรทางน้ำและการประกอบอาชีพ ประชาชนในท้องถิ่นยังไม่มีหรือนำต้นไมยราบยักษ์มาใช้ประโยชน์เท่าที่ควร บางส่วนนำมาเผาใช้เป็นถ่านเพื่อการประกอบอาหาร และเมื่อมีการระบาดในพื้นที่มักจะกำจัดโดยวิธีการเผานำมาซึ่งปัญหามลพิษทางอากาศ แต่ด้วยลักษณะของเนื้อไม้ไมยราบยักษ์มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง [4] จึงมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ประโยชน์ในการเป็นวัตถุดิบผลิตถ่านกัมมันต์ สามารถพัฒนาใช้ได้ทั้งระดับครอบครัว และระดับอุตสาหกรรม ซึ่งนอกจากเป็นการนำวัชพืชมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และแก้ไขปัญหาวัชพืชในท้องถิ่นแล้ว ยังเป็นการลดการนำเข้าถ่านกัมมันต์จากต่างประเทศได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไมยราบยักษ์โดยใช้โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) เป็นตัวกระตุ้น ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติแบบพื้นผิวตอบสนอง โดยการวางแผนการทดลองด้วยวิธี Box-Behnken Design โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารกระตุ้นต่อถ่าน อุณหภูมิของการเผา และเวลาของการเผา โดยการออกแบบการทดลองทางสถิตินี้ เป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่ทำให้ประหยัดทรัพยากรและสามารถใช้ประเมินหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ได้

2. วิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการทดลอง

การเตรียมถ่านกัมมันต์จากไม้ไมยราบยักษ์ โดยการกระตุ้นด้วย NaCl และ $ZnCl_2$ โดยการนำถ่านไม้ไมยราบยักษ์ที่ผ่านการเผาด้วยอุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาบดด้วยเครื่องบด แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 10 จะได้ถ่านไม้ไมยราบยักษ์ที่มีขนาดประมาณ 0.008 ลูกบาศก์มิลลิเมตร จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและแช่ในสารละลาย NaCl และ $ZnCl_2$ อิ่มตัว เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำไปผึ่งแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 - 110 °C ที่งัวให้เย็น นำไปเผากระตุ้นโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถ่านไม้ไมยราบยักษ์ต่อสารเคมีที่ใช้กระตุ้น อุณหภูมิและเวลาการเผาตามสภาวะที่กำหนดในการออกแบบการทดลอง จากนั้นนำไปล้างด้วยกลั่นที่อุณหภูมิ 50 °C หลายครั้ง เพื่อล้างสารเคมี นำไปผึ่งแดดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 - 110 °C [5] นำไปศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์

2.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ตอบสนอง ด้วยวิธีของ Box-Behnken จากโปรแกรม Minitab 16 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken สำหรับ 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารกระตุ้นต่อถ่าน (W;w/w), อุณหภูมิของการเผา (Temp;°C) และเวลาของการเผา (Time;min) ได้การทดลองทั้งสิ้นจำนวน 15 การทดลอง ดังตารางที่ 1 ผลการทดลองที่ได้นำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความสมบูรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแสดงได้ดังสมการ (1) [6]

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum_{ii} x_i^2 + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

โดย $\beta_0 \beta_i \beta_{ii} \beta_{ij}$ คือค่าสัมประสิทธิ์ x_i คือตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 1 ตัวแปรและระดับค่าของการออกแบบแบบ Box-Behnken

ตัวแปร	-1	0	+1
อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อถ่าน (W;w/w)	0:1	2:1	4:1
อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (Temp; °C)	500	650	800
เวลาที่ใช้ในการเผา (Time; minute)	60	90	120

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ที่คำนวณได้นำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาความสมบูรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of varian; ANOVA)

2.4 การศึกษาสมบัติของถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียดจนสามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110-120 °C นำไปวิเคราะห์หาค่าไอโอดีน (ASTM D 4607 - 94) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและนำถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนสูงสุดไปตรวจสอบพื้นที่ผิวด้วยวิธี BET (Brunaur-Emmett-Teller; Thermofinnigan Sorptomatic 1990) และถ่ายภาพเพื่อดูโครงสร้างด้วย Scanning Electron Microscope (SEM; JEOL ; JSM-6400 SCANNING MICROSCOPE)

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์

อิทธิพลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารกระตุ้นต่อถ่าน อุณหภูมิของการเผา และเวลาของการเผาที่มีต่อค่าไอโอดีนนัมเบอร์ ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl_2 ที่มีการควบคุมสารกระตุ้น อุณหภูมิ และเวลาเผา

การทดลองที่	อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อถ่าน(w/w)	อุณหภูมิเผา (°C)	เวลาเผา (min)	ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ (mg/g)	
	(W)	(Temp)	(Time)	NaCl	ZnCl_2
1	0	650	120	545	530
2	4	650	60	550	754
3	2	500	60	400	520
4	2	650	90	590	797
5	0	800	90	603	600
6	2	800	60	615	906
7	2	650	90	586	760
8	2	800	120	620	930
9	4	800	90	594	921
10	2	500	120	397	645
11	0	650	60	533	529
12	4	500	90	375	498
13	2	650	90	580	780
14	4	650	120	549	757
15	0	500	90	370	365

จากการทดลองทางสถิติตามวิธีการแบบ Box-Behnken จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ (1) และค่าสถิติต่างๆ ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์และค่าสถิติไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นจาก NaCl

Term	Coef	T	P
Constant	-1295.75	-17.412	0.000
W	45.31	5.552	0.003
Temp	4.66	25.492	0.000
Time	3.46	2.361	0.065
W*W	-7.95	-10.686	0.000
Temp*Temp	-0.00	-22.870	0.000
Time*Time	-0.04	-3.123	0.026
W*Temp	-0.01	-1.224	0.275
W*Time	-0.11	-1.137	0.307
Temp*Time	0.00	0.700	0.515

$S = 5.71693$ $R^2 = 99.86\%$ $R^2(\text{adj}) = 99.62\%$

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์และค่าสถิติไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นจาก ZnCl_2

Term	Coef	T	P
Constant	-1006.60	-2.994	0.030
W	99.42	2.696	0.043
Temp	3.47	4.209	0.008
Time	4.99	0.752	0.486
W*W	-36.34	-10.815	0.000
Temp*Temp	-0.00	-2.799	0.038
Time*Time	0.04	0.660	0.538
W*Temp	0.16	3.639	0.015
W*Time	0.02	0.039	0.971
Temp*Time	-0.01	-1.955	0.108

$S = 25.8292$ $R^2 = 99.21\%$ $R^2(\text{adj}) = 97.79\%$

จากตารางที่ 3 และ 4 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไอโอดีนนมเบอรัที่กระตุ้นด้วย NaCl และ $ZnCl_2$ กับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในสมการที่ (2) และ (3)

$$Y_{NaCl} = 45.31W + 4.66Temp + 3.46Time - 7.95W^2 - 0.00Temp^2 - 0.04Time^2 - 0.01W*Temp - 0.11W*Time - 0.00Temp*Time - 1295.75 \quad (2)$$

$$Y_{ZnCl_2} = 99.42W + 3.47Temp + 4.99Time - 36.34W^2 - 0.00Temp^2 + 0.04Time^2 + 0.16W*Temp + 0.02W*Time - 0.01Temp*Time - 1006.60 \quad (3)$$

เมื่อ Y_{NaCl} และ Y_{ZnCl_2} คือ ค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นจาก NaCl และ $ZnCl_2$ ตามลำดับ โดย W คือ อัตราส่วนสารกระตุ้นต่อถ่าน Temp คือ อุณหภูมิของการเผา และ Time คือ เวลาของการเผา โดยสัมพันธ์ในสมการที่ (2) และ (3) ที่ได้จากการ Box-Behnken

ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย(Regression analysis) พบว่าสมการถดถอยกำลังสองมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่า อัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อถ่านไมยราบยักษ์ทั้ง NaCl และ $ZnCl_2$ อุณหภูมิของการเผา และเวลาของการเผา มีความสัมพันธ์กับค่าไอโอดีนนมเบอรัอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

การวิเคราะห์ความแปรปรวน(Analysis of varian; ANOVA) ทำให้ทราบอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อถ่านทั้ง NaCl และ $ZnCl_2$ อุณหภูมิของการเผา และเวลาของการเผา มีผลต่อค่าไอโอดีนอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น $R^2 = 99.86\%$ และ 99.21% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ ($R^2\text{-adj}$) มีค่าเป็น 99.62% และ 97.79% ตามลำดับ นั่นคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารกระตุ้นต่อถ่านไมยราบยักษ์ อุณหภูมิของการเผา และเวลาของการเผา จะส่งผลต่อค่าไอโอดีนนมเบอรัหรือคุณภาพของถ่านกัมมันต์ [7]

ตารางที่ 5 ความแปรปรวนและความสมบูรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl

Source of Variance	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	11890	118908	13212.0	404.24	0.000
Linear	3	99070	22017	7339.0	224.55	0.000
Square	3	19731	19731	6577.1	201.24	0.000
Interaction	3	107	107	35.7	1.09	0.433
Residual Error	5	163	163	32.7		
Lack-of-Fit	3	113	113	37.6	1.48	0.427
Pure Error	2	51	51	25.3		

ตารางที่ 6 ความแปรปรวนและความสมบูรณ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย $ZnCl_2$

Source of Variance	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	420126	420126	46680.7	69.97	0.000
Linear	3	326311	15344	5114.6	7.67	0.026
Square	3	82428	82428	27476.0	41.18	0.001
Interaction	3	11387	11387	3795.8	5.69	0.046
Residual Error	5	3336	3336	667.1		
Lack-of-Fit	3	2650	2650	883.2	2.58	0.292
Pure Error	2	686	686	343.0		

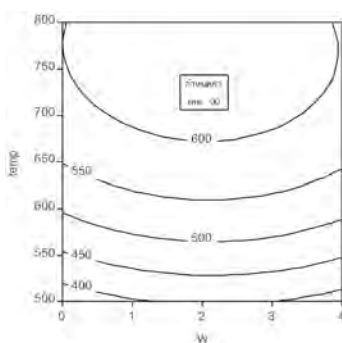
การทดสอบความสมรูปของแบบจำลอง (Lack of fit) แสดงดังตารางที่ 5 และ 6 พิจารณาได้จากค่าสถิติ P ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นจาก NaCl และ $ZnCl_2$ มีค่าเท่ากับ 0.427 และ 0.292 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีความสมรูปกับข้อมูล (P -Lack of fit > 0.05) ที่ระดับนัยสำคัญ 99.86% และ 99.21% ตามลำดับ หรือสมการที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากสมการที่ (2) และ (3) สามารถนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์กับปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2

จากรูปที่ 1 และ 2 พบว่าค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารกระตุ้นทั้ง NaCl และ $ZnCl_2$ อุณหภูมิการเผา และเวลาของการเผา โดยสารกระตุ้น NaCl และ $ZnCl_2$ ทำให้ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์เพิ่มสูงขึ้น โดยเกิดจากการที่มีผลึกของสารกระตุ้นในปริมาณมากเพียงพอแทรกอยู่ในถ่านเมื่อทำการเผาและกระตุ้นถ่านให้เป็นถ่านกัมมันต์ ผลึกสารกระตุ้นจะเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของถ่าน และทำหน้าที่คล้ายเป็นเสาค้ำยัน เมื่อล้างสารกระตุ้นออกด้วย

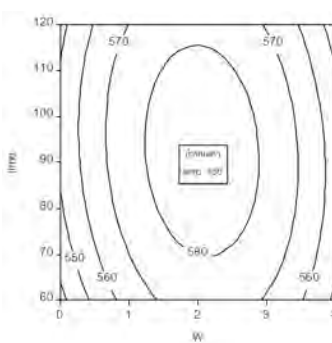
น้ำร้อน ผลึกสารกระตุ้นที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านก็จะหลุดออก ทำให้เกิดรูพรุนและพื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้น [5,13] แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารกระตุ้นต่อถ่านพบว่า ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้มีค่าลดลง แสดงว่า การเพิ่มสารกระตุ้นไม่สามารถทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่จะทำให้ขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ลดลงและ ทำให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ลดลง [8] เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาของการเผา อุณหภูมิมีผลต่อการสลายของสารที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อไม้จนเกิดการหดตัวกลายเป็นคาร์บอนที่มีรูพรุน [10, 11] ในเวลาที่พอเพียงทำให้มีถ่านกัมมันต์มีพื้นที่ผิวมาก แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการเผา พบว่า มีค่าไอโอดีนลดลง แสดงว่า อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการกระตุ้นสูงเกินไปอาจทำให้ผิวของถ่านกัมมันต์ถูกเผาจนสลายส่งผลให้ค่าไอโอดีนลดลง [12]

3.2 สภาวะที่เหมาะสมของการผลิตถ่านกัมมันต์

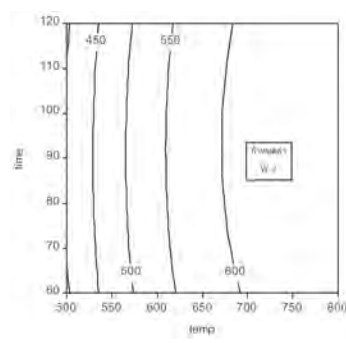
เมื่อนำสมการที่ (2) และ (3) ศึกษาค่าสภาวะที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม MINITAB จะได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ $ZnCl_2$ ดังรูปที่ 3



(A₁)

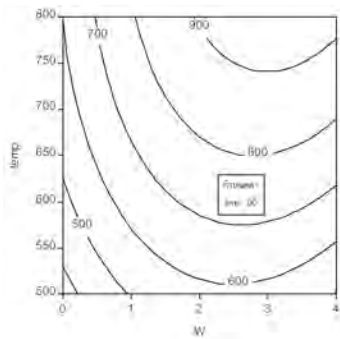
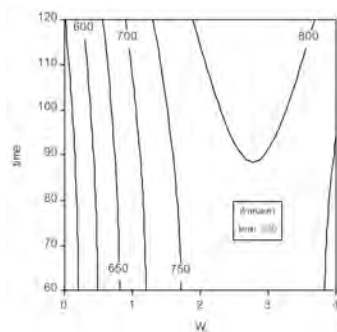
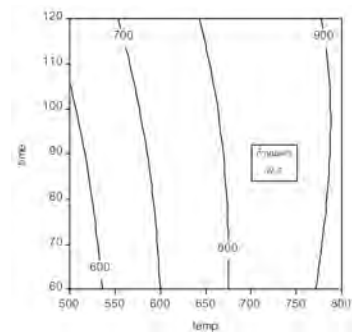


(B₁)

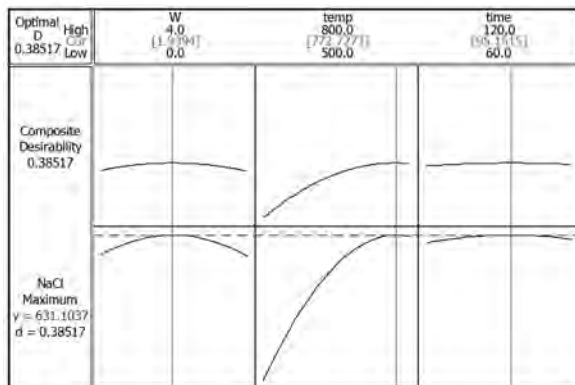


(C₁)

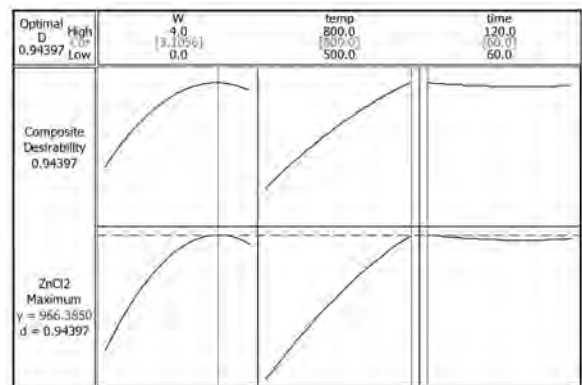
- รูปที่ 1 (A₁) พื้นที่ผิวของความสัมพันธ์ระหว่างสารกระตุ้นต่อถ่าน และอุณหภูมิการเผาที่กระตุ้นด้วย NaCl
(B₁) พื้นที่ผิวของความสัมพันธ์ระหว่างสารกระตุ้นต่อถ่าน และเวลาการเผาที่กระตุ้นด้วย NaCl
(C₁) พื้นที่ผิวของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการเผาที่กระตุ้นด้วย NaCl

(A₂)(B₂)(C₂)

- รูปที่ 2 (A₂) พื้นที่ผิวของความสัมพันธ์ระหว่างสารกระตุ้นต่อต้าน และอุณหภูมิการเผาที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2
 (B₂) พื้นที่ผิวของความสัมพันธ์ระหว่างสารกระตุ้นต่อต้าน และเวลาการเผาที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2
 (C₂) พื้นที่ผิวของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการเผาที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2



(A)



(B)

รูปที่ 3 สภาวะที่เหมาะสม (Optimization chart) ของอัตราส่วนสารกระตุ้นต่อต้าน อุณหภูมิและเวลาของการเผาที่มีผลต่อค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl (A) และ ZnCl_2 (B)

จากรูปที่ 3(A) สภาวะที่เหมาะสมของค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านที่กระตุ้นด้วย NaCl มีค่าเท่ากับ 631.10 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่ออัตราส่วนสารกระตุ้นต่อต้าน อุณหภูมิของการเผา และ เวลาของการเผา เท่ากับ 1.94:1, 772.73 องศาเซลเซียส และ 95.15 นาที ตามลำดับ และรูป 3(B) สภาวะที่เหมาะสมของค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ของถ่านที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 มีค่าเท่ากับ 966.39 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่ออัตราส่วนสารกระตุ้นต่อต้าน อุณหภูมิของการเผา และเวลาของการเผา เท่ากับ 3.11:1, 800 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ

3.3 สมบัติของถ่านกัมมันต์

โดยนำถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนสูงสุดวิเคราะห์พื้นที่ผิวดัวยวิธี BET (Brunaur-Emmett-Teller) และถ่ายภาพโครงสร้างด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) ดังตารางที่ 7 และรูปที่ 4

จากตารางที่ 7 และรูปที่ 4 พบว่า พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากไม้ไมยราบยักษ์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl_2 มีค่าเท่ากับ 447.27 และ 816.52 m^2/g ตามลำดับ ค่าไอโอดีนน้ำมันเบียร์ เป็นดัชนีชี้วัดอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดติดผิวสารถ่านกัมมันต์ได้ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์นั้น

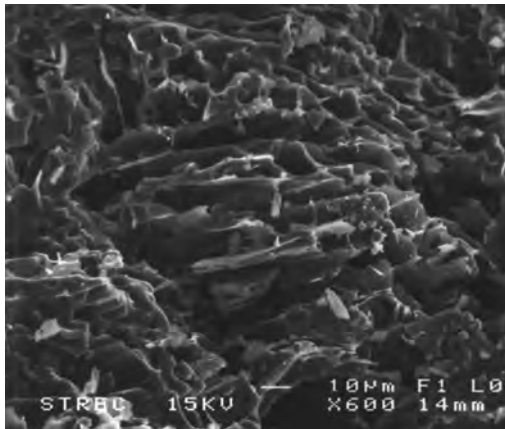
กล่าวคือ ถ้าถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีนนัมเบอร์สูง จะมีค่าพื้นที่ผิวสูง และค่าความสามารถในการดูดติดผิวสารของถ่านกัมมันต์จะสูงด้วยเช่นกัน [13]

นอกจากนี้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 มีค่ามากกว่า NaCl ทั้งนี้สารกระตุ้น ZnCl_2 มีคุณสมบัติในการดึงน้ำมันหาร์ท และสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในโครงสร้างของถ่านไม้ในขณะที่มีการเผา

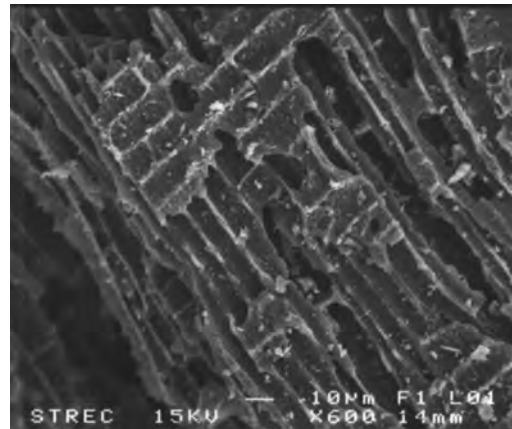
กระตุ้นได้ดี [9] จึงมีผลทำให้ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 มีคุณภาพดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และเมื่อสังเกตจากรูปภาพที่ 4 พบว่า ที่กำลังขยาย 600 เท่า โครงสร้างของรูพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 มีมากกว่า NaCl อย่างชัดเจน

ตารางที่ 7 พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ราบยักซ์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl_2

ชนิดของสารกระตุ้น	พื้นที่ผิว (surface area); m^2/g
ถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย NaCl	447.27
ถ่านกัมมันต์กระตุ้นด้วย ZnCl_2	816.52



(A)



(B)

รูปที่ 4 โครงสร้าง และพื้นที่ผิว ของถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ราบยักซ์ที่กระตุ้นด้วย NaCl (A) และ ZnCl_2 (B) ด้วยกำลังขยาย 600 เท่า

4. สรุป

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ราบยักซ์โดยใช้ NaCl และ ZnCl_2 เป็นตัวกระตุ้น ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken สภาวะที่เหมาะสมของค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านที่กระตุ้นด้วย NaCl มีค่าเท่ากับ 631.10 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่ออัตราส่วนสารกระตุ้นต่อถ่าน อุณหภูมิของการเผา และ เวลาของการเผา เท่ากับ 1.94:1, 772.73 องศาเซลเซียส และ 95.15 นาที ตามลำดับ และถ่านที่กระตุ้นด้วย ZnCl_2 มีค่าเท่ากับ 966.39 มิลลิกรัมต่อกรัม

เมื่ออัตราส่วนสารกระตุ้นต่อถ่าน อุณหภูมิของการเผา และเวลาของการเผา เท่ากับ 3.11:1, 800 องศาเซลเซียส และ 60 นาที พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ราบยักซ์ที่กระตุ้นด้วย NaCl และ ZnCl_2 มีค่าเท่ากับ 447.27 และ 816.52 m^2/g ตามลำดับถ่านไม้ไผ่ราบยักซ์มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ เนื่องจากมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามมาตรฐานของ มอก.900-2547

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] The customs department. Activated carbon import statistics. Available from: URL: <http://internet1.customs.go.th/ext/Statistic/StatisticResult2550.jsp?page=3&statType=import&month>.
- [2] Maneejak P. Development of activated carbon from the seed of Terminalia catappa for removal of chromium (III) ion in wastewater from COD measurement. Proceeding of RSU Research Conference 2013; 2013 Apr 4; Bangkok, Thailand; 2013. p. 119-29.
- [3] Tan I. Equilibrium and kinetic studies on basic adsorption by oil palm fiber activated carbon. Chemical Engineering Journal 2007;127: 111-9.
- [4] Jolanun B, Phutharukchat A, Khamtui C. Community-Based Renewable Energy from Mimosa Pigra L. Charcoal Briquettes. KKU Res J. 2011;16(1):20-31. (In Thai).
- [5] Srisatit T, Singhasiri T. Using activated carbon from eucalyptus and acacia for chromium and nickel removal from synthetic wastewater. Thai environmental engineering journal. 2006;20(3): 25-37. (In Thai).
- [6] Kasipa K, Viengkaew V, Srisarachat S, Samart C. The study of optimum condition for Chlorella vulgaris by the response surface experimental design. KKU Sci. J. 2012;40(1): 188-97. (In Thai).
- [7] Kadirvelu K, Thamaraiselvi K, Namasivayam C. Removal of heavy metals from industrial wastewater by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural soil waste. Bioresource Technology. 2001;76(1): 63-5.
- [8] Srisatit T, Nukrai J. Color removal from leachate using activated carbon from Tamarind Seeds. Thai environmental engineering journal. 2007;21(2):31-42. (In Thai).
- [9] Lua AC, Yang T. Characteristics of activated carbon prepared from Pistachio-Nut shell by Zinc Conditions. Journal of Colloid and Interface Science. 2005;209:505-13.
- [10] Timur S. Preparation of activated carbons from Oreganum stalks by chemical activation. Energy and Fuels. 2006;20:2636-41.
- [11] Tsai WT. Thermogravimetric analysis of cob impregnated with Zinc chloride for preparation of activated carbon. 2001;63:351-7.
- [12] Gonzalez-Serrano E. Removal of water pollution with activated carbon prepared from H₃PO₄ activation of lignin from Kraft Black Liquors. Water Research. 2004;38:3043-50.
- [13] Ngernyen Y, Kamwilaisak K. Activated carbon from Thailand's biomass: A review literature. KKU Engineering Journal. 2013; 40(2):267-83. (In Thai).