ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ บร
ว3

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

การศึกษาการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

โดย

นางศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

กลุ่มบริหารจัดการทดสอบความชำนาญ

สำนักบริหารรับรองห้องปฏิบัติการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

การศึกษาการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล

เลขหมู่ ๐๗ มร
๐๐๓
เลขทะเบียน 12316
วันที่ 17 ก.ค. 49

โดย

นางศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
.....ก.ศ.....

กลุ่มบริหารจัดการทดสอบความชำนาญ

สำนักบริหารรับรองห้องปฏิบัติการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

งานศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประมาณค่าความร้อนของตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass)โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต (Proximate analysis)ได้แก่การหาปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัวและการวิเคราะห์ แบบอัลทิเมต (Ultimate analysis) ได้แก่ การหาปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และเถ้า จากตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยจำนวน 40 ตัวอย่าง พบว่าสมการที่แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกับ เถ้า สารระเหย คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ มีอยู่ 8 สมการที่ให้ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรที่ยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination : R^2) มากกว่า 0.85

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากสมการทั้ง 8 นี้กับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองพบว่าสมการที่ 8 (-825.836+72.326C+175.959H+22.149O) ซึ่งเป็นสมการถดถอยพหุเชิงเส้น(multiple linear regression equation)ระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และสมการที่ 9 (1206.403+54.695C+142.859H-20.018Ash) ซึ่งเป็นสมการถดถอยพหุเชิงเส้นระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระได้แก่คาร์บอน ไฮโดรเจน และ เถ้าให้ผลใกล้เคียงมากที่สุดโดยมีร้อยละของผลต่างค่าเฉลี่ยเพียง 1.45 และ1.54 ตามลำดับ แต่เมื่อนำเฉพาะตัวอย่างแกลบมาเปรียบเทียบพบว่าสมการที่ 2(4811.117-55.767Ash) ซึ่งเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย(simple linear regression)ระหว่างค่าความร้อนกับปริมาณเถ้าซึ่งเป็นตัวแปรอิสระให้ผลใกล้เคียงมากที่สุดโดยมีร้อยละของผลต่างค่าเฉลี่ยเพียง 0.60

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 ปัญหาและที่มา	7
1.3 วัตถุประสงค์	7
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	7
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	8
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	9
2.1 รายละเอียดตัวอย่าง	9
2.2 วัสดุ อุปกรณ์	9
2.3 สารเคมี สารละลายและวิธีเตรียม	9
2.4 วิธีการ	10
บทที่ 3 ผลการทดลอง	18
3.1 ผลการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต แบบอัลทิเมตและค่าความร้อน	18
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต และวิเคราะห์แบบอัลทิเมต	18
3.3 ผลการทดสอบค่าความร้อนที่คำนวณจากสูตรตามเอกสารอ้างอิง	19
บทที่ 4 วิจารณ์ผลการทดลอง	40
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	42
กิตติกรรมประกาศ	44
เอกสารอ้างอิง	45
ภาคผนวก ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for window	46

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ผลการวิเคราะห์แบบ พรอกซิเมต และค่าความร้อนเมื่อใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์	20-22
ตารางที่ 2	ผลการวิเคราะห์แบบ อัลทิเมต และค่าความร้อนเมื่อใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์	23-25
ตารางที่ 3	แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	26
ตารางที่ 4	สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับค่าจากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต และ แบบอัลทิเมต	27
ตารางที่ 5	แสดงผลการทดสอบทางสถิติของค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆในสมการ	28-29
ตารางที่ 6	แสดงค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากตารางที่ 5	30-35
ตารางที่ 7	แสดงค่าความร้อนได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากเอกสารอ้างอิง	36-38
ตารางที่ 8	ผลเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการต่างๆกับค่าที่ได้จากการทดลอง	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 คำนำ

พลังงานเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อการดำรงชีวิตและในการผลิตด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้น จึงต้องมีการจัดหาพลังงาน ให้มีปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้ ได้มีการแบ่งพลังงานออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ พลังงานสิ้นเปลือง และพลังงานหมุนเวียน โดยพลังงานสิ้นเปลือง คือ พลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ได้แก่ถ่านหิน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง และก๊าซธรรมชาติ ส่วนพลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากชีวมวล (biomass) พลังงานน้ำและคลื่น [3]

ในกลุ่มเชื้อเพลิงที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงรูปแบบหนึ่งที่ได้รับความสนใจทำการวิจัยกันมาก เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากเศษของเหลือจากกระบวนการผลิตภาคเกษตรหรืออุตสาหกรรมการเกษตร และเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกำมะถันต่ำมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ได้จากถ่านหินน้ำมันเตาขณะที่เชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินจะมีการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ในหลายประเทศได้มีการสนับสนุนค้นคว้าวิจัยเชื้อเพลิงชีวมวล และมีการสนับสนุนให้โรงไฟฟ้าใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอีกด้วย เช่น Ayhan Demirbas และคณะ[5]ซึ่งศึกษาตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากแหล่งต่างๆของประเทศตุรกี จาก ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง ซังข้าวโพด ใบยาสูบ กากใบชา และฟางข้าวสาลี เป็นต้น

เชื้อเพลิงชีวมวล คือ สารทุกรูปแบบที่ได้จากสิ่งมีชีวิตเช่น เศษของเหลือจากกระบวนการผลิตภาคเกษตรหรืออุตสาหกรรมการเกษตร อาทิ ไม้ฟืน เศษไม้ กากชานอ้อย กากทะลายปาล์ม แกลบ ฟางข้าววัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ รวมถึง ของเสียจากสัตว์ เช่นมูลสัตว์และของเสียจากโรงงานแปรรูปทางเกษตร ซึ่งมีปริมาณมากในประเทศไทยที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทางการเกษตร

ผู้ศึกษามีแนวคิดว่าข้อมูลจากการศึกษาเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศอาจเป็นประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทน จึงได้ทำการศึกษาตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากประเทศไทยได้แก่ แกลบ ชานอ้อย เศษกะลา แขนงปาล์ม ขี้เลื่อย กิ่งยางแห้ง เป็นต้น โดยทำการทดสอบและวิเคราะห์หาค่าปริมาณความร้อน(Calorific value) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเผาไหม้ของตัวอย่างเชื้อเพลิง หนึ่งหน่วยน้ำหนัก โดยแสดงเป็นหน่วยแคลอรีต่อน้ำหนักตัวอย่างหนึ่งกรัม(cal/g) หรือบีทียูต่อน้ำหนักตัวอย่างหนึ่งปอนด์(Btu/lb) วิเคราะห์สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับถ่านหินคือการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต (proximate analysis)ได้แก่การหาปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และวิเคราะห์แบบอัลทิเมต (ultimate analysis) ได้แก่การหาปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และเถ้า โดยค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น เช่นตัวอย่างเชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอนสูงก็จะให้ความร้อนสูง ข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตและอัลทิเมต

นี้ได้รับการนำมาหาความสัมพันธ์กับค่าความร้อน และแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้น (linear regression equation) ดังรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ทดสอบที่จะได้กล่าวโดยละเอียดในหัวข้อย่อยต่อไป

1.1.1 การทดสอบคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวล

การทดสอบคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการตรวจสอบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นมีสมบัติเป็นอย่างไร สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีหรือไม่ หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นตามคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้น ๆ การวิเคราะห์ทดสอบคุณภาพตามข้อกำหนดของผู้ใช้ในด้านต่าง ๆ จะทำให้ทราบถึงคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้น ๆ

การทดสอบคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลโดยทั่วไปมีการวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ดังนี้[4]

1. วิเคราะห์แบบพรอกซิเมต ได้แก่การหาปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว
2. วิเคราะห์แบบอัลทิเมต ได้แก่การหาปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน กำมะถัน และเถ้า
3. วิเคราะห์หาค่าความร้อน

1.1.1.1 การวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต

เป็นการหาปริมาณของความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ค่าที่ได้สามารถนำไปใช้ในการประเมินคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยอาศัยอัตราส่วนของสารที่เผาไหม้ได้ กับสารที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ โดยค่าเหล่านี้สามารถหาได้ดังนี้

- **ความชื้น**

ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3173 โดยให้ความร้อนกับ เชื้อเพลิงชีวมวล 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส และคำนวณส่วนที่หายไปเป็นปริมาณร้อยละ ค่านี้ถือว่าสำคัญมากโดยเฉพาะในด้านการซื้อขาย เพราะส่วนใหญ่จะทำการซื้อขายโดยเปรียบเทียบคุณภาพจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่แห้ง ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ค่าความชื้นนี้ไป คำนวณค่าอื่น ๆ ของเชื้อเพลิงชีวมวลให้อยู่ในสภาพตัวอย่างที่แห้ง

- **เถ้า**

เถ้าเป็นปริมาณสารอนินทรีย์ที่คงเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล วิธีวิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน ASTM D 3174 ทำโดยการเผาตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส และคำนวณน้ำหนักที่ยังคงเหลืออยู่เป็นปริมาณร้อยละ

- **สารระเหย**

สารระเหยเป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวล ที่มีสถานะเป็นก๊าซ วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 โดยนำเชื้อเพลิงชีวมวลมา เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที และคำนวณน้ำหนักที่หายไปลบ ด้วยความชื้น เป็นปริมาณร้อยละ สารระเหยที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยมากจะเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน

- **คาร์บอนคงตัว**

เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงชีวมวลหลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหย และเถ้าออกแล้ว วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3172 โดยนำปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย ลบออกจาก 100 และทุกค่าต้องอยู่ในสภาวะความชื้นเดียวกัน ปริมาณคาร์บอนคงตัวนี้มีความสำคัญมากต่อคุณภาพ ของเชื้อเพลิงชีวมวลถ้ามีค่ามากขึ้นความเป็นเชื้อเพลิงก็จะมีมากขึ้น

1.1.1.2. การวิเคราะห์แบบอัลทิเมต

เป็นการหาปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน ออกซิเจนและเถ้า โดยที่ปริมาณของออกซิเจนคำนวณได้จากการนำค่าคาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจนและเถ้าลบออกจาก 100

- **คาร์บอน ไฮโดรเจน และไนโตรเจน**

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyser ตามมาตรฐาน ASTM D 5373 โดยการเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในบรรยากาศของออกซิเจน ซึ่งจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนและน้ำ โดยที่ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจะถูกรีดิวส์ เป็นก๊าซไนโตรเจน จาก นั้นปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำจะถูกคำนวณเป็นปริมาณของ คาร์บอนและไฮโดรเจน โดยมี IR (infrared) cells เป็น detector สำหรับก๊าซไนโตรเจน จะถูกตรวจสอบโดย TC (thermal conductivity) cell แล้วคำนวณเป็นปริมาณไนโตรเจน

ปฏิกิริยาของการเกิดสารประกอบเคมีเมื่อเผาตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลในบรรยากาศของ ออกซิเจน อธิบายได้ดังต่อไปนี้

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารคาร์บอน อินทรีย์ ธาตุคาร์บอนอิสระ
- น้ำ เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนในรูปสารอินทรีย์ รวมความชื้น และน้ำในโครงสร้างของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้น
- ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารไนโตรเจนอินทรีย์และการสลายตัวของไนเตรต

ปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจนมีประโยชน์ในการคำนวณหาปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ต้องการใช้ในขบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ประสิทธิภาพของเตาเผาและใช้ในการคำนวณมวลสมดุล เพื่อนำไปประเมินค่าความร้อนที่จะได้จากการเผาไหม้ สำหรับปริมาณไนโตรเจนจะใช้ในการประเมินปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่จะเกิดขึ้นจากการเผาเชื้อเพลิงชีวมวลเพราะเป็นสารที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- **กำมะถัน**

กำมะถันเป็นธาตุที่น่าสนใจเพราะสามารถใช้ประเมินคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลและปริมาณสารประกอบกำมะถันที่จะปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อม การหาปริมาณกำมะถันโดยวิธี ASTM D 3177 วิธี Bomb washing method ทำโดยนำสารละลายที่ได้จากบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ไปตกตะกอนเป็น แบเรียมซัลเฟต กรองตะกอนที่ได้ เผา ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณกำมะถันที่ได้เป็นปริมาณร้อยละ

1.1.1.3 การวิเคราะห์หาค่าความร้อน

การหาค่าความร้อนตามวิธี ASTM D 5865 เป็นการหาค่าปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิง ชีวมวล โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ภายใต้ สภาวะควบคุมโดยวิธี Isoperibol ซึ่งคำนวณเป็น cal/g, kcal/kg, Btu/lb หรือ J/g

ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลมี 2 แบบ คือ

- Gross Calorific Value

เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลปริมาณ 1 หน่วยที่ปริมาตรคงที่ในบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งภายใต้สภาวะนี้น้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาจะควบแน่นอยู่ในสภาวะของ เหลว ค่า Gross Calorific Value นี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า High heating value

- Net Calorific Value

เป็นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลปริมาณ 1 หน่วยที่ความดันคงที่คือ 1 atm (0.1 Mpa) ซึ่งภายใต้สภาวะเช่นนี้ปริมาณน้ำทั้งหมดยังอยู่ในสภาวะของไอ ค่า Net calorific value นี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Low heating value ซึ่งสามารถคำนวณมาจาก Gross calorific value โดยใช้สูตร

$$Q_p\,(net)_{ar} = Q_v\,(gross)_{ar} - 5.72\,(H_{ar} \times 9)$$

เมื่อ $Q_p\,(net)_{ar}$ เป็นค่าความร้อนที่ความดันคงที่, cal/g

$Q_v\,(gross)_{ar}$ เป็นค่าความร้อนที่ปริมาตรคงที่, cal/g

H_{ar} เป็นปริมาณร้อยละของไฮโดรเจนทั้งหมดในสภาวะ ตามที่ได้รับโดยรวมปริมาณไฮโดรเจนจากความชื้นของตัวอย่าง

ค่าความร้อนมีความสำคัญในการชี้บ่งสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งถ้ามีค่าสูงก็จะเป็นเชื้อ เพลิงชีวมวลคุณภาพดี

1.1.2.การประมาณค่าความร้อน

ในการประมาณค่าความร้อนจะอาศัยหลักการวิเคราะห์การถดถอย(regression analysis)ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติอย่างหนึ่ง[2]ที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองกลุ่มโดยดูว่าตัวแปรตัวหนึ่งมีความสัมพันธ์หรือได้รับอิทธิพลจากตัวแปรอีกตัวหนึ่งมากน้อยเพียงใด โดยที่กลุ่มหนึ่งเรียกว่าตัวแปรอิสระ ซึ่งมีกี่ตัวก็ได้กับตัวแปรอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่าตัวแปรตาม ซึ่งมีเพียงตัวเดียว ลักษณะและรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระจะนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการประมาณค่าหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามเมื่อทราบค่าตัวแปรอิสระต่างๆเหล่านั้น

เนื่องจากสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวมวลจะมีการวิเคราะห์ 3 แบบคือวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต วิเคราะห์แบบอัลทิเมต และค่าความร้อน ดังนั้นในการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล ค่าความร้อนจึงเป็นตัวแปรตามส่วนการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต และวิเคราะห์แบบอัลทิเมต เป็นตัวแปรอิสระ รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองอาจมีลักษณะเป็นแบบเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ถ้ารูปแบบของความสัมพันธ์

ระหว่างตัวแปรทั้งสองเป็นแบบเส้นตรงก็จะสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะสมการถดถอยเชิงเส้นเท่านั้นซึ่งมี 2 แบบคือ

- สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย(simple linear regression equation)เป็นการหาศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร 2 กลุ่มโดยตัวแปรกลุ่มหนึ่งเป็นตัวแปรตาม และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นตัวแปรอิสระ นั่นคือเป็นการหาของความสัมพันธ์ของข้อมูลที่พิจารณาให้มีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวเท่านั้น
- สมการถดถอยพหุเชิงเส้น(multiple linear regression equation) เป็นการหาศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร ตั้งแต่ 3 กลุ่มโดยตัวแปรกลุ่มหนึ่งเป็นตัวแปรตาม ส่วนตัวแปรอื่นๆเป็นตัวแปรอิสระหรืออีกนัยหนึ่งก็คือมีตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ที่ได้จากชุดตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร ดังนั้นจึงอาจไม่ใช่ความสัมพันธ์ที่แท้จริง เป็นแต่เพียงความสัมพันธ์ที่คาดคะเนเท่านั้น นั่นแสดงว่าการวิเคราะห์ถดถอยจากตัวอย่างชุดที่ต่างกันจะได้สมการถดถอยที่ต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระที่มาจากการการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต และแบบอัลทิเมต ในตัวอย่างเชื้อเพลิงชนิดต่างๆมากมายเพื่อให้ได้สมการที่เป็นตัวแทนของตัวอย่างเชื้อเพลิงชนิดต่างๆเหล่านั้นเช่น

สมการที่ประมาณค่าความร้อนของถ่านหินโดยใช้ผลจากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต ที่รู้จักกันดีคือสมการของ Goutal โดย Goutalทำการทดลองกับถ่านหิน ชนิดต่าง ๆ มากกว่า 600 ตัวอย่างพบว่าให้ผลเป็นที่น่าพอใจ เมื่อใช้สมการดังต่อไปนี้[6]

$$P = 82\,C + aV \qquad (1)$$

เมื่อ P = ค่าความร้อนเป็นแคลอรีใน 1 กรัมของเชื้อเพลิง

C = เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของคาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

V = เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของสารระเหย

a = ค่าสัมประสิทธิ์ที่แปรตามเปอร์เซ็นต์ของสารระเหย, V, ในถ่านหินบริสุทธิ์

โดยนำข้อมูลจากการทดลองมาแทนค่าสมการ (1)และวิเคราะห์การถดถอย ระหว่างค่า a กับ V' ซึ่ง V' จะได้จากความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$V' = \left(100\frac{V}{C+V}\right) \qquad (2)$$

จากนั้นนำค่า a ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า a กับ V' แทนในสมการ (1) จะได้ ค่าความร้อนที่พัฒนาโดย Goutal

ส่วนในการศึกษาการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลได้มีการศึกษาวิจัยเช่นกัน เช่น การประมาณค่าความร้อนของตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากแหล่งต่างๆของประเทศตุรกีของ Ayhan Demirbas

และคณะโดยศึกษาจากตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวน 16 ตัวอย่างซึ่งได้แก่ตัวอย่าง ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง ซัง ข้าวโพด ใบยาสูบ กากใบชา และฟางข้าวสาลี เป็นต้น โดยใช้สูตร 3 สูตรดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน(High heating value)หน่วยMJkg^{-1}กับ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไนโตรเจนที่คำนวณโดยไม่รวมความชื้น และเถ้า (dry, ash-free basis) ดังสมการ

$$HHV = \{33.5[C]+142.3[H]-15.4[O]-14.5[N]\}x10^{-2} \quad (3)$$

- สูตรของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน (High heating value) หน่วย MJkg^{-1}และคาร์บอนคงตัว หน่วย ร้อยละโดยน้ำหนักที่คำนวณโดยไม่รวมความชื้น

$$HHV = 0.196(FC)+14.119 \quad (4)$$

และให้ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์(correlation coefficient)เท่ากับ 0.9997

- สูตรของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อน (High heating value) หน่วย MJkg^{-1}กับคาร์บอนคงตัว และสารระเหยหน่วย ร้อยละโดยน้ำหนักที่คำนวณโดยไม่รวมความชื้น (dry basis) ดังสมการ

$$HHV = 0.312(FC)+0.1534(VM) \quad (5)$$

จากการศึกษาทั้ง 3 สมการของ Ayhan Demirbas และคณะพบว่าค่าความแตกต่างเฉลี่ย (mean difference) เท่ากับ 0.1 % , 2.2 % และ 4.0 %ตามลำดับ

การประมาณค่าความร้อนจากข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต จะง่ายและประหยัดกว่าเนื่องเป็นข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือที่สามารถหาได้จากห้องปฏิบัติการทั่วไป ขณะที่การประมาณค่าความร้อนจากข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบอัลทิเมต จะต้องใช้เครื่องมือที่เฉพาะเจาะจงและราคาแพง

1.1.3 การบ่งชี้คุณภาพของเชื้อเพลิง

ในการบ่งชี้คุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลจะต้องมีการวิเคราะห์คุณภาพในรายการต่าง ๆ มาประกอบกัน การวิเคราะห์เพียงบางรายการบางครั้งก็ไม่สามารถบ่งชี้คุณภาพได้ นอกจากนี้ ในการรายงานผลจำเป็นต้องกำหนดสภาพตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวมวลขณะวิเคราะห์ทดสอบด้วย และการเปรียบเทียบคุณภาพจำเป็นต้องเปรียบเทียบผลจากการทดสอบในสภาพตัวอย่างที่เหมือนกัน

ตามมาตรฐาน ASTM D 3180 ได้กำหนดสภาพของตัวอย่างพร้อมวิธีการคำนวณโดยรายงานค่า ตามสภาพต่าง ๆ ดังนี้

- As-received basis เป็นค่าที่คำนวณจากตัวอย่างที่มีความชื้นตามสภาพของตัวอย่างที่ ห้องปฏิบัติการได้รับ โดยไม่ผ่านขบวนการเตรียมตัวอย่างหรือขบวนการอื่น
- As-determined basis เป็นค่าที่คำนวณได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างและมีความชื้นเหลืออยู่เท่ากับขณะที่ทดสอบ
- Dry basis เป็นค่าที่คำนวณได้จากตัวอย่างที่ปราศจากความชื้น โดยการนำค่าความชื้นที่ วิเคราะห์ตาม ASTM D 3173 มาแปลงค่าจาก as-determined basis ไปเป็น dry basis

• Dry, ash-free basis เป็นค่าที่คำนวณจากตัวอย่างที่ปราศจากความชื้นและเถ้า โดยการนำค่าความชื้นที่วิเคราะห์ตาม ASTM D 3173 และเถ้าตาม ASTM D 3174 มาแปลงค่าจาก as-determined basis ไปเป็นสภาพ dry, ash-free basis

1.2 ปัญหาและที่มา

เนื่องจากค่าความร้อนเป็นสมบัติหนึ่งที่ใช้กำหนดคุณภาพของเชื้อเพลิง จากการศึกษาพบว่าค่าความร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต(ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว) และการวิเคราะห์แบบอัลทิเมต(ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณ เถ้า คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถันและออกซิเจน) ดังนั้นถ้าหากสามารถคำนวณหรือประมาณค่าความร้อนได้จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตและแบบอัลทิเมตจะเป็นการประหยัดเวลาและเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่มีข้อมูลการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตและแบบอัลทิเมตอยู่แล้วและต้องการทราบค่าความร้อนโดยประมาณในเวลาอันสั้นแต่ไม่มีเครื่องมือวิเคราะห์

และเนื่องจากกลุ่มงานเคมีวิเคราะห์เชิงฟิสิกส์ กองเคมี มีตัวอย่างเชื้อเพลิง ชีวมวลที่มีรายการวิเคราะห์ค่าความร้อนและวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตและแบบอัลทิเมตเป็นจำนวนมาก ผู้ศึกษาจึงต้องการที่จะนำข้อมูลเหล่านี้มาศึกษาความสัมพันธ์เพื่อที่จะพัฒนาเป็นสมการหรือสูตรที่จะใช้สำหรับคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลในประเทศไทยซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าว

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาการประมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตและแบบอัลทิเมตกับค่าความร้อนซึ่งรวบรวมได้จาก ตัวอย่างเชื้อเพลิง ชีวมวลชนิดต่าง ๆ ซึ่งส่งมาวิเคราะห์ ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ และหาสมการซึ่งจะใช้ในการคำนวณค่าความร้อนในเชื้อเพลิง ชีวมวลชนิดต่าง ๆ

1.3.2 เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณโดยสมการต่าง ๆ กับค่าที่ได้จากการทดลอง และเลือกสมการที่ให้ค่าใกล้เคียงเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ อย่างเหมาะสม

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาการประมาณค่าความร้อนของตัวอย่างเชื้อเพลิง ชีวมวลชนิดต่าง ๆ จากข้อมูลการวิเคราะห์แบบต่าง ๆ

1.4.2 สามารถทราบค่าความร้อนโดยประมาณจากการคำนวณโดยสมการที่พัฒนานี้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดสอบ ในกรณีที่ต้องการทราบค่าความร้อนโดยประมาณในระยะเวลาอันสั้น

1.4.3 สามารถให้คำแนะนำและเผยแพร่แก่ผู้ที่ศึกษาและวิจัยทางด้านตัวอย่างเชื้อเพลิง ชีวมวลชนิดต่าง ๆ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

มีนาคม 2545 ถึง กุมภาพันธ์ 2546 รวม 12 เดือน

บทที่ 2
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 รายละเอียดของตัวอย่าง

เป็นตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลที่ส่งมาวิเคราะห์รายการค่าความร้อน การวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต และการวิเคราะห์แบบอัลทิเมต จำนวน 40 ตัวอย่าง

2.2 วัสดุ อุปกรณ์

2.2.1 ตู้อบ (Oven) ช่วงอุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส

2.2.2 เตาเผา (Furnace) ช่วงอุณหภูมิ 450-750 องศาเซลเซียส

2.2.3 เบ้าเผา (Vertical Electric Tube Furnace) ช่วงอุณหภูมิ 600-950 องศาเซลเซียส

2.2.4 เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) พร้อมอุปกรณ์ประกอบดังนี้
บอมบ์แคลอรีมิเตอร์, Jacket, bucket,ถ้วยโลหะสำหรับใส่ตัวอย่าง,ลวดนิกเกิล

2.2.5 เครื่องชั่ง (Analytical Balance)

2.2.6 ถ้วยกระเบื้อง (Porcelain Crucible), กูชครูซิเบิล (gooch crucuble)

2.2.7 ขวดชั่ง (Weighing Bottle)

2.2.8 นิกเกิลครูซิเบิล (Ni-crucible)

2.2.9 เดซิกเคเตอร์ (Desiccator)

2.2.10 แร่ง (Sieve) หมายเลข 60

2.2.11 เครื่องประมวลผล (Computer)

2.2.12 ลวดนิกเกิล

2.2.13 กระดาษกรองเบอร์ 4 และกระดาษกรองใยแก้วGA/A(glass microfibre paper)

2.2.14 กระดาษลิตมัส

2.2.15 บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร, บิวเรตต์ขนาด 50 มิลลิลิตร,กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร

2.2.16 เครื่อง Automatic CHN analyzer 1000 (Leco instrument)ซึ่งประกอบด้วย
combustion tube, quartz lance ,crucible, outer combustion tubeและ ทินฟอยล์(tin foil)

2.3 สารเคมี สารละลาย และวิธีเตรียม

2.3.1 แก๊สออกซิเจน ความบริสุทธิ์ 99.99%

2.3.2 สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต (1 มิลลิลิตร = 1 แคลอรี)เตรียมโดยละลาย 3.76 กรัมของโซเดียมคาร์บอเนตที่อบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.3.3 กรดไฮโดรคลอริก (1+1)

2.3.4 กรดไฮโดรคลอริกความหนาแน่น1.19 กิโลกรัมต่อลิตร

2.3.5 สารละลายแบเรียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 % เตรียมโดยละลาย $BaCl_2.2H_2O$ 100 กรัม ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.3.6 เมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลาย 0.1 กรัมของเมทิลออเรนจ์ในน้ำร้อน 100 มิลลิลิตรและกรอง

2.3.7 น้ำโบรมีนอิ่มตัว (saturated bromine water)เตรียมโดยนำโบรมีนเติมลงไปในน้ำกลั่นจนไม่สามารถละลายได้

2.3.8 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความหนาแน่น 0.88 กิโลกรัมต่อลิตร

2.3.9 แก๊สฮีเลียม ความบริสุทธิ์ 99.99%

2.3.10 ควอทซวูล(quartz wool)

2.3.11 ทังสเตนไตรออกไซด์ (tungsten trioxide)

2.3.12 เฟอเนซรีเอเจนต์(furnace reagent)

2.3.13 สารมาตรฐานอีดีทีเอ(standard EDTA)

2.3.14 สารมาตรฐานถ่านหิน(reference coal)

2.4 วิธีการ

2.4.1 ขั้นตอนการศึกษา

2.4.1.1 ศึกษางานวิจัยการคำนวณการประมาณค่าความร้อนของถ่านหินและเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดต่าง ๆ จากเอกสารอ้างอิง

2.4.1.2 กำหนดขั้นตอนการศึกษา

2.4.1.3 รวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้ทำการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตแบบอัลทิเมตและค่าความร้อน

2.4.1.4 หาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรแต่ละตัว

2.4.1.5 ทดลองใช้การวิเคราะห์การถดถอย เพื่อหาสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากข้อมูลการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตและแบบอัลทิเมตกับค่าความร้อน ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ :R^2 ของแต่ละสมการ

2.4.1.6 คัดเลือกสมการที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ มากกว่า0.85 มาทำการทดสอบทางสถิติของค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆเพื่อคัดเลือกเฉพาะสมการที่ยอมรับค่าทั้งสองที่ระดับนัยสำคัญ0.05และดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

2.4.1.7 แทนค่าตัวแปรแต่ละตัวที่เกี่ยวข้องในสมการและคำนวณค่าความร้อนโดยใช้สมการ

2.4.1.8 เปรียบเทียบค่าความร้อนที่คำนวณได้จากสมการต่าง ๆ กับค่าที่ได้จากการทดลอง

2.4.2 วิธีการศึกษา

2.4.2.1 การเลือกและเตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล

รวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผู้ศึกษาวิเคราะห์ จำนวน 40 ตัวอย่างซึ่งมีรายการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต แบบอัลทิเมตและค่าความร้อนในตัวอย่างเดียวกัน โดยสุ่มตัวอย่างตามวิธี ASTM แล้วบดตัวอย่างให้ละเอียดจนสามารถวิเคราะห์ได้

2.4.2.2 วิเคราะห์รายการค่าความร้อน การวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต และแบบอัลทิเมตตามมาตรฐาน ASTM

- **การวิเคราะห์แบบพรอกซิเมต**

เป็นการวิเคราะห์ ความชื้น เถ้าและสารระเหย แล้วคำนวณค่าคาร์บอนคงตัวตามมาตรฐาน ASTM D 3172 โดยใช้สูตร

คาร์บอนคงตัว, % = 100 - (*ความชื้น*, % + *เถ้า*, % + *สารระเหย*, %)

- ความชื้น

ความชื้นเป็นการวิเคราะห์น้ำหนักของตัวอย่างส่วนที่หายไปหลังจากอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D3173 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.อบขวดชั่ง ที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ จดน้ำหนัก

2.ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (ชั่งละเอียด $\pm$ 0.1 มิลลิกรัม) ใส่ในขวดชั่ง ที่ทราบน้ำหนัก

3.อบตัวอย่างโดยเปิดฝาขวดชั่ง ในเตาอบที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงหลังจากครบกำหนดเวลาเปิดตู้อบ ปิดฝาขวดชั่ง แล้วนำไปไว้ในเดซิกเคเตอร์จนตัวอย่างเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก และคำนวณค่าความชื้นตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ความชื้น, \%} = [(A - B)/A] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างตั้งต้น,กรัม

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ,กรัม

- เถ้า

เถ้าเป็นการวิเคราะห์ส่วนที่เหลือหลังจากเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 700-750 องศาเซลเซียสจนตัวอย่างถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3174 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (ชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม) ลงในถ้วยกระเบื้อง ที่อบแห้งและทราบน้ำหนัก

2.นำตัวอย่างใส่ในเตาเผาที่เย็นแล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิโดยให้อุณหภูมิถึง 450 - 500 องศาเซลเซียส ภายใน 1 ชั่วโมง

3.เพิ่มอุณหภูมิต่อไปจนกระทั่งถึง 700 - 750 องศาเซลเซียส ภายในชั่วโมงที่สอง เผาต่อที่อุณหภูมิ 700-750 องศาเซียลเซียสอีก 2 ชั่วโมง (หรือจนตัวอย่างถูกเผาเป็นเถ้าอย่างสมบูรณ์)

4.นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณเถ้าตามสูตรด้านล่าง

$$\text{เถ้า, \%} = [(A - B)/C] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง และเถ้า,กรัม

B = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเปล่า,กรัม

C = น้ำหนักตัวอย่างตั้งต้น,กรัม

- สารระเหย

การวิเคราะห์สารระเหยเป็นการวิเคราะห์น้ำหนักตัวอย่างที่หายไปหลังจากเผาที่ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที โดยหักค่าความชื้นออก วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3175 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัมลงในถ้วยนิกเกิลที่เผาและทราบน้ำหนัก ปิดฝาให้สนิท

2.ค่อย ๆ ให้ความร้อนกับตัวอย่างโดยให้อุณหภูมิเพิ่มถึงประมาณ 600 ± 50 องศาเซลเซียสภายใน 6 นาที จากนั้นเผาตัวอย่างต่อที่อุณหภูมิ 950 ± 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลาที่แน่นอนอีก 6 นาที ถ้ามีสะเก็ดไฟเกิดขึ้นให้ยกเลิกตัวอย่างนั้น ๆ และทำการทดลองใหม่

3.ทิ้งถ้วยนิกเกิลให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณสารระเหยของตัวอย่างทั้งสอง ประเภทตามสูตรด้านล่าง

$$\text{น้ำหนักที่หายไป , \%} = [(A - B)/A] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างตั้งต้น,กรัม

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา,กรัม

$$\text{สารระเหย, \%} = C - D$$

เมื่อ C = น้ำหนักที่หายไป, %

D = ความชื้น, %

- **การวิเคราะห์แบบอัลทิเมต**

เป็นการวิเคราะห์คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน กำมะถันและเถ้าแล้วคำนวณออกซิเจนตามมาตรฐาน ASTM D 3176 โดยใช้สูตร

ออกซิเจน,% =100-คาร์บอน,%- ไฮโดรเจน,%- ไนโตรเจน,%- กำมะถัน,%- เถ้า,%

- คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน

วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D5373 ซึ่งมี ขั้นตอนดังนี้

1.ทำกราฟมาตรฐาน(calibration curve)

1.1 เลือก สารมาตรฐาน ที่มีค่า คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ในช่วงเดียวกันกับของตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์มาทำกราฟมาตรฐาน

1.2 ทำการวิเคราะห์ สารมาตรฐานเช่นเดียวกับตัวอย่าง

1.3 เลือกค่าของแต่ละธาตุจากข้อ1.2 มาทำการสอบเทียบ(calibrate) และเครื่องจะพล็อตกราฟ ระหว่างค่า คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ที่วัดได้ กับค่า คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน จริงของ สารมาตรฐาน และให้ชื่อ วิธีของกราฟ ที่ได้นั้น

2. วิเคราะห์ตัวอย่าง ตามคู่มือของเครื่องดังนี้

2.1 เปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่วโมงจนเครื่องอยู่ในสภาวะพร้อมใช้งาน

2.2 เลือกวิธี ที่ได้จากข้อ 1.3 มาทำการวิเคราะห์

2.3 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างปริมาณที่จะให้ได้ค่าของธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน อยู่ในช่วงของกราฟที่สร้างไว้ ลงในถ้วย ที่ทำด้วยแผ่นทินฟอยล์และนำไปใส่ลงในเครื่องตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ กับ แก๊สออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เกิดเป็นแก๊ส CO_2 ,H_2O และจะถูกจับด้วย IR-cell detector และคำนวณออกมาเป็นปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน ร้อยละโดยน้ำหนัก ส่วน ไนโตรเจน ในตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ เป็นแก๊ส NO_x ซึ่งจะถูกแก๊สฮีเลียมเป็นตัวนำมาและถูกจับด้วย TC-cell detector เครื่องจะคำนวณออกมาเป็น ปริมาณ ไนโตรเจน ร้อยละโดยน้ำหนัก

- ปริมาณกำมะถันทั้งหมด

น้ำที่ได้จากการล้างบอมบ์แคลอรีมิเตอร์สามารถหาปริมาณกำมะถันได้โดยตกตะกอนให้อยู่ในรูปของแบเรียมซัลเฟต จากนั้นกรองตะกอนที่ได้ เผาและชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D3177 ซึ่งมี ขั้นตอนดังนี้

1. นำน้ำล้างภายในบอมบ์จากข้อ 9 ของวิธีวิเคราะห์หาค่าความร้อน

2. ปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 5.5 ถึง 7.0 ด้วยสารละลาย แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จากนั้นให้ความร้อนจนกระทั่งเดือด และกรองผ่านกระดาษกรอง ล้างตะกอนบนกระดาษกรองด้วยน้ำร้อนประมาณ 5 ถึง 6 ครั้ง

3. ปรับให้สารละลายเป็นกรดด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (1+1) ต้มสารละลายให้เดือด แล้วค่อย ๆ เติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 10%ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ต้มต่อไปประมาณ 15 นาที และตั้งทิ้งไว้อย่างน้อยประมาณ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือด หรือตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

4. กรองตะกอนผ่าน กูชครูซิเบิลที่ปูด้วย กระดาษกรองใยแก้วเบอร์GF/A ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จากนั้นอบตะกอนที่ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่งโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักตะกอนวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Sulphur},\% = \frac{(A-B)\times 13.738}{C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$, กรัม

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ หลังจากหัก Blank , กรัม

C = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้, กรัม

- **ค่าความร้อน**

ค่าความร้อนได้จากการเผาตัวอย่างภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจนในแคลอรีมิเตอร์ที่ควบคุมด้วยระบบไมโครโพรเซสเซอร์ วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D5865 โดยเครื่องจะทำการวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและคำนวณ เป็นค่าความร้อนซึ่งมี ขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม (ชั่งละเอียด 0.0001 กรัม) ลงในถ้วยโลหะที่ใช้เฉพาะสำหรับเครื่องและวางลงบนฐานรองถ้วย

2. ล้างตัวบอมบ์ให้ทั่วด้วยน้ำกลั่น และเติมน้ำกลั่น 1.0 มิลลิลิตร ลงในบอมบ์

3. ประกอบลวดนิกเกิลที่ทราบความยาวที่ใช้ช่วยในการจุดชนวนกับขั้วทั้งสองของบอมบ์ ประกอบอุปกรณ์ของบอมบ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วอัดแก๊สออกซิเจนอย่างช้า ๆ โดยใช้ความดันประมาณ 20 ถึง 30 atm

4.เติมน้ำกลั่น 2000 $\pm$ 0.5 มิลลิลิตร ลงใน bucket ของแคลอรีมิเตอร์ โดยอุณหภูมิของน้ำนี้จะต่ำกว่าอุณหภูมิของ jacket ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส

5.นำ bucket และ บอมบ์ ใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์ ประกอบอุปกรณ์ทุกชิ้นตามคู่มือ และเริ่มเปิดเครื่อง

6. ปล่อยให้เครื่องเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยอุณหภูมิของเครื่องคงที่ภายใน 1 นาที หรือต่างกันไม่เกิน $\pm$ 0.002 องศาเซลเซียส

7. จุดขั้ว (fire) ของบอมบ์ พร้อมกับเริ่มสังเกตและบันทึกอุณหภูมิ (t_a) และเวลา (a) เริ่มต้น อ่านอีกสองครั้งที่ 0.5 และ 1 นาที หลังจากการจุด อ่านและบันทึกต่อไปอีกทุก ๆ 1 นาทีจนกระทั่ง

อุณหภูมิที่อ่านได้คงที่หรือต่างกันไม่เกิน 0.002 องศาเซลเซียส (กำหนดให้อุณหภูมิสุดท้ายที่คงที่เป็น t_c และเวลาเป็น c)

8. เปิดฝา jacket และนำบอมบ์ออกมา ปล่อยแก๊สช้า ๆ ด้วยอัตราคงที่ให้หมดภายในเวลา 1 นาที เปิดฝาบอมบ์และสังเกตุภายในบอมบ์ถ้ามีเขม่าหรือส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดให้ทิ้งตัวอย่างนั้นไปเสีย

9.ล้างภายในบอมบ์ด้วยน้ำกลั่นซึ่งมีอินดิเคเตอร์ เทสารละลายที่ล้างจากบอมบ์ลงในบีกเกอร์เพื่อไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต

10.วัดลวดส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้เพื่อหักออกจากความยาวตั้งต้น

11.วิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน จากนั้นคำนวณค่าความร้อนโดยหักค่าที่มีผลในเชิงบวกต่อค่าความร้อนดังต่อไปนี้

e_1 = ความร้อนจากการเกิดกรดไนตริก (1 มิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1 แคลอรี),แคลอรี

e_2 = ความร้อนจากลวดจุดชนวน,แคลอรี

e_3 = ผลต่างของค่าความร้อนที่เกิดจากการเกิดกรดซัลฟุริกกับกรดไนตริก (13.18 คูณด้วยร้อยละของกำมะถันและคูณด้วยน้ำหนักของตัวอย่าง) ,แคลอรี

12. อุณหภูมิที่ใช้ในการคำนวณ

$$t = t_c - t_a$$

เมื่อ t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น, องศาเซลเซียส

t_a = อุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อจุดชนวน ณ เวลา a, องศาเซลเซียส

t_c = อุณหภูมิสุดท้ายที่อ่าน ณ เวลา c, องศาเซลเซียส

13. คำนวณค่าความร้อนโดยใช้สูตรด้านล่าง

$$Q_v \text{ (gross)} = \{[(t \times E) - e_1 - e_2 - e_3]/g\}$$

เมื่อ Q_v (gross) = ค่าความร้อนแบบ gross, แคลอรี/กรัม

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (แสดงในข้อ12), องศาเซลเซียส

E = พลังงานสมมูลย์ของบอมบ์ (energy equivalent), แคลอรี/องศาเซลเซียส

e_1, e_2, e_3 = ค่าแก้ดังแสดงในข้อ 11, แคลอรี

g = น้ำหนักตัวอย่าง, กรัม

2.4.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ ได้แก่ SPSS for Window[1] เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการจัดการข้อมูลพื้นฐานและใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติของข้อมูลและการวิเคราะห์การถดถอย โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.รวบรวมข้อมูลโดยคัดเลือกเฉพาะตัวอย่างที่มีรายการวิเคราะห์ทั้งแบบพรอกซิเมตแบบอัลทิเมตและค่าความร้อนในตัวอย่างเดียวกัน คำนวณค่าตัวแปรทุกตัวยกเว้นไฮโดรเจนให้อยู่ในสภาพของตัวอย่างอบแห้ง โดยใช้สมการ

$$P_d = \frac{P \times 100}{100 - M}$$

เมื่อ P_d = ค่าตัวแปรที่มีสภาพอบแห้ง,%

P = ค่าตัวแปรที่มีสภาพตัวอย่างตามที่ได้รับ,%

M = ค่าความชื้น, %

การคำนวณค่าตัวแปรไฮโดรเจนให้อยู่ในสภาพของตัวอย่างอบแห้ง โดยใช้สมการ

$$H_d = (H - 0.1119 \times M)\frac{100}{(100 - M)}$$

เมื่อ H_d = ค่าไฮโดรเจนที่มีสภาพอบแห้ง,%

H = ค่าไฮโดรเจนที่มีสภาพตัวอย่างตามที่ได้รับ,%

2.หาความสัมพันธ์ (correlation) ของข้อมูลทุกตัวแปรได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนและ กำมะถัน (ใช้สภาพของตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการ คำนวณผล) ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดและมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า r' และค่า Sig^2 (r มีค่าใกล้เคียง 1 และ Sig = 0.000)

3.พิจารณาเฉพาะตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ (Sig = 0.000) จากนั้นนำตัวแปรที่มีนัยสำคัญทั้งหลายมาทำการวิเคราะห์การถดถอย เชิงเส้นโดยกำหนดให้ค่าความร้อนเป็นตัวแปรตาม และค่าของสมบัติอื่นเป็นตัวแปรอิสระ จะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ต่าง ๆ กันในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายและสมการถดถอยพหุเชิงเส้น

4. พิจารณาค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ของสมการถดถอยแต่ละสมการ เลือกเฉพาะสมการที่ให้ค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจตั้งแต่ 0.85 ขึ้นไปมาทำการทดสอบทางสถิติของค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆเพื่อคัดเลือกเฉพาะสมการที่ยอมรับค่าทั้งสองที่ระดับนัยสำคัญ0.05มาใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบ

---

1 คือค่า correlation coefficient หรือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

2 คือค่าระดับนัยสำคัญเป็นความผิดพลาดเนื่องจากการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (ตัวแปรที่พิจารณาไม่มีความสัมพันธ์กัน)

5. แทนค่าของตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการที่คัดเลือกมาจากข้อ 4 โดยใช้ข้อมูลของตัวอย่างชุดเดียวกันทั้งหมด

6. เปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณและจากการทดลองว่ามีความแตกต่างกันเป็นร้อยละเท่าใด จากนั้นคำนวณหาร้อยละค่าเฉลี่ยของผลต่างและร้อยละของผลต่างสูงสุด

7. ทดลองแทนค่าตัวแปรในสมการที่ 3-5 ในบทนำ และเปรียบเทียบความเหมาะสมโดยพิจารณาจากค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

บทที่3

ผลการทดลอง

3.1ผลการวิเคราะห์แบบอัลทิเมต แบบพรอกซิเมตและค่าความร้อน

3.1.1 ผลจากการวิเคราะห์สมบัติแบบพรอกซิเมตและค่าความร้อนของตัวอย่างเชื้อ เพลิงชีวมวล ซึ่งใช้สภาพของตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์จำนวน40 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 1

3.1.2 ผลจากการวิเคราะห์สมบัติแบบอัลทิเมต และค่าความร้อนของตัวอย่างเชื้อ เพลิงชีวมวล ซึ่งใช้สภาพของตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์ จำนวน40 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2

3.1.3 ตารางที่3แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างข้อมูลทั้ง หมด โดยแสดงทั้งค่า Pearson correlation ค่าSig และจำนวนข้อมูล ซึ่งค่า Pearson correlation แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระ คือเถ้า(-0.948),คาร์บอน (0.934),ไฮโดรเจน(0.806),ออกซิเจน(0.709), สารระเหย (0.883)ยกเว้นไนโตรเจน (0.098), กำมะถัน(0.009),คาร์บอนคงตัว(-0.258)

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตและผลการวิเคราะห์แบบอัลทิเมต

3.2.1 สมการที่ได้จากวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแสดงในตารางที่ 4โดยพิจารณาเฉพาะ สมการที่ให้ค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ตั้งแต่ 0.85 ขึ้นไป(ผลการวิเคราะห์แสดงใน ภาคผนวก)

3.2.2 ตารางที่ 5 แสดงผล การทดสอบทางสถิติของค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆในสมการ ซึ่งพบว่าผลการทดสอบของสมการที่ 2,3,4,5,7,8,9,13 จะยอมรับค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆในสมการ

3.2.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณของสมการที่ 2,3,4,5,7,8,9,13 และจากการทดลองแสดงในตารางที่ 6

3.2.4 จากค่าความร้อนที่พัฒนาโดย Goutal ซึ่งใช้สูตรดังนี้

$$\text{Calorific value} = 82(\text{Fixed carbon}) + a\,(\text{Volatile matter})$$

$$V' = 100(\text{Volatile matter})/(\text{Fixed carbon} + \text{Volatile matter})$$

โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 2 มาแทนค่าและวิเคราะห์แบบถดถอยระหว่างค่า a กับ V' จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$a = -17.912+0.699V'$$

จากนั้นนำค่า a ที่ได้จากการคำนวณข้างต้นแทนในสมการค่าความร้อนของ Goutalจะได้

ค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณและเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 7

3.2.5 ตารางที่ 8แสดงเปรียบเทียบค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยและร้อยละความแตกต่างสูงสุดของสมการต่างๆ

3.3 ผลการทดสอบค่าความร้อนที่คำนวณจากสูตรตามเอกสารอ้างอิง

3.3.1 ค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการที่3-5 ในบทนำ และเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 7

3.3.2 เปรียบเทียบค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยและร้อยละความแตกต่างสูงสุดของสมการเอกสารอ้างอิง แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบ พรอกซิเมต และค่าความร้อนเมื่อใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อตัวอย่าง	ความชื้น,%	เถ้า,%	สารระเหย,%	คาร์บอนคงตัว,%	ค่าความร้อน,cal/g
SZ405	Bark	55.9	4.5	83.8	11.7	4644
TG45	เปลือกยูคา	22.6	8.2	78.0	13.8	4154
TG46	ไม้chip	14.9	1.7	86.1	12.2	4685
TG47	แกลบ	9.8	17.8	70.4	11.8	3821
TG126	sludge	9.1	18.5	73.3	8.2	3870
TN894	ชานอ้อย(มิตรภู)	48.2	6.0	86.7	7.3	4745
TN895	ชานอ้อย(เกษตรผล)	49.1	2.6	89.6	7.9	4436
TN896	ชานอ้อย(บ.NE)	13.5	13.1	77.9	9.0	4165
TN897	เศษกะลา	11.8	1.8	79.1	19.0	4898
TN898	Fiber ของปาล์ม	39.4	7.6	76.4	16.0	4609
TO141	ขี้เลื่อย	9.4	1.4	88.7	9.8	5046
TP98	แกนทะลายปาล์ม	8.0	9.7	81.7	8.6	4393
TP99	แขนงปาล์ม	6.9	5.0	85.3	9.7	4874
TZ648	เหง้ามันสำปะหลัง	9.1	6.5	69.4	24.1	4364
SD249	ขี้กบจากบ.อารีกู้ดเทค จก	6.1	1.0	74.0	25.0	4796
SD250	เศษไม้จากแหลมฉบังอินดัสตรี จก	8.1	1.6	73.3	25.1	4734
QR748	Sawdust	10.1	1.2	77.2	21.6	4484

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบ พรอกซิเมต และค่าความร้อนเมื่อใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อตัวอย่าง	ความชื้น,%	เถ้า,%	สารระเหย,%	คาร์บอนคงตัว,%	ค่าความร้อน,cal/g
QR749	Sanderdust	4.6	1.5	73.2	25.3	4470
RC924	แกลบ(Rice Husk)	9.7	22.5	57.4	20.2	3580
RC492	ฟืนสด	47.3	3.0	80.8	16.2	4560
RC494	ขี้เลื่อยสด	41.5	1.9	80.9	17.2	4566
RC495	ขี้กบ	9.3	2.2	75.9	21.9	4512
RC496	ขี้ฝุ่น	5.1	1.3	80.0	18.7	4729
QH61	ขยะแห้งใบไผ่	10.0	13.3	67.9	18.8	3752
PK636	กิ่งยางแห้งบดละเอียด	8.8	4.5	77.0	18.5	4701
UW936	แกลบ(Rice Husk)	9.0	17.6	62.6	19.8	3863
UW937	แกลบ(Rice Husk)	8.1	16.3	63.3	20.4	3890
UW938	แกลบ(Rice Husk)	9.6	17.7	62.2	20.1	3828
UW939	แกลบ(Rice Husk)	7.6	18.2	62.5	19.3	3804
UW940	แกลบ(Rice Husk)	8.0	18.3	62.1	19.6	3743
UW941	แกลบ(Rice Husk)	6.9	18.6	61.8	19.6	3749
UW942	แกลบ(Rice Husk)	5.9	19.0	61.2	19.8	3698
UW943	แกลบ(Rice Husk)	7.4	18.8	61.3	19.9	3737
UW944	แกลบ(Rice Husk)	8.0	21.6	58.8	19.6	3598

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบ พรอกซิเมต และค่าความร้อนเมื่อใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อตัวอย่าง	ความชื้น,%	เถ้า,%	สารระเหย,%	คาร์บอนคงตัว,%	ค่าความร้อน,cal/g
UW945	แกลบ(Rice Husk)	8.5	18.9	61.5	19.6	3729
VZ472	แกลบ(Rice Husk)	6.8	17.3	61.4	21.3	3841
VZ473	แกลบ(Rice Husk)	7.0	19.2	60.4	20.4	3700
VZ474	แกลบ(Rice Husk)	9.4	19.0	60.8	20.2	3803
VZ475	แกลบ(Rice Husk)	10.9	21.9	58.6	19.5	3587
VZ477	แกลบ(Rice Husk)	7.2	19.9	60.3	19.8	3710

หมายเหตุ:ค่าความร้อนนี้เป็นค่าGross calorific valueหรือ High heating value

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบ อัลทิเมต และค่าความร้อนเมื่อใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อตัวอย่าง	เถ้า,%	คาร์บอน,%	ไฮโดรเจน,%	ออกซิเจน,%	ไนโตรเจน,%	ซัลเฟอร์,%	ค่าความร้อน,cal/g
SZ405	Bark	4.5	50.9	5.7	38.3	0.42	0.14	4644
TG45	เปลือกยูคา	8.2	47.2	4.8	38.8	0.61	0.37	4154
TG46	ไม้chip	1.7	50.9	5.8	41.1	0.16	0.36	4685
TG47	แกลบ	17.8	41.6	4.7	35.4	0.39	0.15	3821
TG126	sludge	18.5	41.2	5.4	32.5	1.7	0.72	3870
TN894	ชานอ้อย(มิตรภู)	6.0	47.9	6.0	39.7	0.33	0.10	4745
TN895	ชานอ้อย(เกษตรผล)	2.6	48.3	5.5	43.1	0.41	0.08	4436
TN896	ชานอ้อย(บ.NE)	13.1	46.6	5.4	34.8	0.09	0.08	4165
TN897	เศษกะลา	1.8	54.0	5.4	38.6	0.15	0.06	4898
TN898	Fiber ของปาล์ม	7.6	50.2	5.4	36.5	0.26	0.07	4609
TO141	ขี้เลื่อย	1.4	54.0	5.9	38.5	0.17	0.03	5046
TP98	แกนทะลายปาล์ม	9.7	46.8	5.4	36.9	1.08	0.10	4393
TP99	แขนงปาล์ม	5.0	50.3	5.8	38.3	0.52	0.08	4874
TZ648	เหง้ามันสำปะหลัง	6.5	46.4	6.5	39.4	1.1	0.15	4364
SD249	ขี้กบจากบ.อารีกู้ดเทค จก	1.0	48.7	6.2	43.8	0.20	0.10	4796
SD250	เศษไม้จากแหลมฉบังอินดัสตรี จก	1.6	47.7	6.2	44.2	0.26	0.09	4734
QR748	Sawdust	1.2	45.4	6.3	43.9	3.2	0.04	4484

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบ อัลทิเมต และค่าความร้อนเมื่อใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อตัวอย่าง	เถ้า,%	คาร์บอน,%	ไฮโดรเจน,%	ออกซิเจน,%	ไนโตรเจน,%	ซัลเฟอร์,%	ค่าความร้อน,cal/g
QR749	Sanderdust	1.5	43.7	6.8	43.1	4.9	0.06	4470
RC924	แกลบ(Rice Husk)	22.5	38.0	4.9	34.1	0.47	0.09	3580
RC492	ฟืนสด	3.0	47.8	5.3	43.3	0.36	0.11	4560
RC494	ขี้เลื่อยสด	1.9	47.5	5.2	45.0	0.31	0.07	4566
RC495	ขี้กบ	2.2	45.5	6.0	46.0	0.23	0.06	4512
RC496	ขี้ฝุ่น	1.3	47.3	6.6	44.5	0.28	0.04	4729
QH61	ขยะแห้งใบไผ่	13.3	40.1	4.5	40.8	0.98	0.20	3752
PK636	กิ่งยางแห้งบดละเอียด	4.5	48.8	6.0	39.9	0.64	0.16	4701
UW936	แกลบ(Rice Husk)	17.6	40.9	5.0	36.2	0.27	0.04	3863
UW937	แกลบ(Rice Husk)	16.3	41.8	4.9	36.6	0.29	0.07	3890
UW938	แกลบ(Rice Husk)	17.7	40.4	4.9	36.7	0.25	0.05	3828
UW939	แกลบ(Rice Husk)	18.2	40.7	4.8	36.0	0.27	0.06	3804
UW940	แกลบ(Rice Husk)	18.3	40.3	4.8	36.2	0.27	0.08	3743
UW941	แกลบ(Rice Husk)	18.6	40.2	4.8	36.1	0.24	0.05	3749
UW942	แกลบ(Rice Husk)	19.0	40.0	4.9	35.8	0.24	0.04	3698
UW943	แกลบ(Rice Husk)	18.8	40.0	4.8	36.1	0.26	0.04	3737
UW944	แกลบ(Rice Husk)	21.6	38.6	4.6	34.9	0.25	0.03	3598

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบ อัลทิเมต และค่าความร้อนเมื่อใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการคำนวณผลการวิเคราะห์(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อตัวอย่าง	เถ้า,%	คาร์บอน,%	ไฮโดรเจน,%	ออกซิเจน,%	ไนโตรเจน,%	ซัลเฟอร์,%	ค่าความร้อน,cal/g
UW945	แกลบ(Rice Husk)	18.9	39.7	4.7	36.4	0.28	0.05	3729
VZ472	แกลบ(Rice Husk)	17.3	43.6	4.9	33.9	0.30	0.04	3841
VZ473	แกลบ(Rice Husk)	19.2	42.6	4.9	33.0	0.30	0.06	3700
VZ474	แกลบ(Rice Husk)	19.0	42.3	4.7	33.3	0.60	0.11	3803
VZ475	แกลบ(Rice Husk)	21.9	41.3	4.5	32.0	0.30	0.04	3587
VZ477	แกลบ(Rice Husk)	19.9	41.6	4.5	33.7	0.30	0.06	3710

หมายเหตุ:ค่าความร้อนนี้เป็นค่าGross calorific valueหรือ High heating value

ตารางที่ 3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlations coefficient)

Correlations

		ASH	CARBON	HYDROGEN	OXYGEN	NITROGEN	SULPHURE	CALORIFI	VOLATILE	FIXEDCAR
ASH	Pearson Correlation	1.000	-.856**	-.825**	-.865**	-.236	-.021	-.948**	-.859**	.131
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.000	.000	.142	.898	.000	.000	.420
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
CARBON	Pearson Correlation	-.856**	1.000	.629**	.512**	-.058	.054	.934**	.871**	-.376*
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.001	.724	.741	.000	.000	.017
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
HYDROGEN	Pearson Correlation	-.825**	.629**	1.000	.695**	.440**	.036	.806**	.644**	.017
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.	.000	.005	.826	.000	.000	.915
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
OXYGEN	Pearson Correlation	-.865**	.512**	.695**	1.000	.238	-.091	.709**	.619**	.127
	Sig. (2-tailed)	.000	.001	.000	.	.139	.577	.000	.000	.435
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
NITROGEN	Pearson Correlation	-.236	-.058	.440**	.238	1.000	.150	.098	.093	.182
	Sig. (2-tailed)	.142	.724	.005	.139	.	.357	.549	.569	.260
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
SULPHURE	Pearson Correlation	-.021	.054	.036	-.091	.150	1.000	.009	.217	-.388*
	Sig. (2-tailed)	.898	.741	.826	.577	.357	.	.956	.178	.013
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
CALORIFI	Pearson Correlation	-.948**	.934**	.806**	.709**	.098	.009	1.000	.883**	-.258
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.549	.956	.	.000	.108
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
VOLATILE	Pearson Correlation	-.859**	.871**	.644**	.619**	.093	.217	.883**	1.000	-.621**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.569	.178	.000	.	.000
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
FIXEDCAR	Pearson Correlation	.131	-.376*	.017	.127	.182	-.388*	-.258	-.621**	1.000
	Sig. (2-tailed)	.420	.017	.915	.435	.260	.013	.108	.000	.
	N	40	40	40	40	40	40	40	40	40

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางที่ 4 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับค่าจากการวิเคราะห์ แบบพรอกซิเมต และแบบอัลทิเมต

สมการที่	สมการ	ค่า R^2
1	-228.306+98.839 Carbon	0.873
2	4811.117-55.767 Ash	0.899
3	-528.765+74.781 Carbon+258.205 Hydrogen	0.952
4	-883.703+81.955 Carbon+36.959 Oxygen	0.945
5	2385.156+48.505 Carbon-32.679 Ash	0.956
6	4491.589+52.518 Hydrogen-52.196 Ash	0.901
7	7058.018-52.369 Oxygen -78.205 Ash	0.949
8	-825.836+72.326 Carbon+175.959 Hydrogen+22.149 Oxygen	0.970
9	1206.403+54.695 Carbon+142.859 Hydrogen-20.018 Ash	0.967
10	3538.520+37.664 Carbon-14.244 Oxygen-43.942 Ash	0.956
11	6828.802-51.954 Oxygen-75.664 Ash+34.750 Hydrogen	0.949
12	-2141.953+84.094 Carbon+35.179 Oxygen+13.168 Ash+203.448 Hydrogen	0.970
13	3797.197+12.140Volatile matter –42.600Ash	0.917

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบทางสถิติของค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆ ในสมการ

สมการที่	ตัวแปร	B	Sig	ผลสรุปการทดสอบสมมติฐานของค่า B
1	ค่าคงที่	-228.306	0.412	ปฏิเสธ
	Carbon	98.839	0.000	ยอมรับ
2	ค่าคงที่	4811.117	0.000	ยอมรับ
	Ash	-55.767	0.000	ยอมรับ
3	ค่าคงที่	-528.765	0.005	ยอมรับ
	Carbon	74.781	0.000	ยอมรับ
	Hydrogen	258.205	0.000	ยอมรับ
4	ค่าคงที่	-883.703	0.000	ยอมรับ
	Carbon	81.955	0.000	ยอมรับ
	Oxygen	36.959	0.000	ยอมรับ
5	ค่าคงที่	2385.156	0.000	ยอมรับ
	Carbon	48.505	0.000	ยอมรับ
	Ash	-32.679	0.000	ยอมรับ
6	ค่าคงที่	4491.589	0.000	ยอมรับ
	Hydrogen	52.518	0.427	ปฏิเสธ
	Ash	-52.196	0.000	ยอมรับ
7	ค่าคงที่	7058.018	0.000	ยอมรับ
	Oxygen	-52.369	0.000	ยอมรับ
	Ash	-78.205	0.000	ยอมรับ
8	ค่าคงที่	-825.836	0.000	ยอมรับ
	Carbon	72.326	0.000	ยอมรับ
	Hydrogen	175.959	0.000	ยอมรับ
	Oxygen	22.149	0.000	ยอมรับ
9	ค่าคงที่	1206.403	0.011	ยอมรับ
	Carbon	54.695	0.000	ยอมรับ
	Hydrogen	142.859	0.001	ยอมรับ
	Ash	-20.018	0.000	ยอมรับ

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบทางสถิติของค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆ ในสมการ(ต่อ)

สมการที่	ตัวแปร	B	Sig	ผลสรุปการทดสอบสมมติฐานของค่า B
10	ค่าคงที่	3538.520	0.019	ยอมรับ
	Carbon	37.664	0.016	ยอมรับ
	Oxygen	-14.244	0.412	ปฏิเสธ
	Ash	-43.942	0.004	ยอมรับ
11	ค่าคงที่	6828.802	0.000	ยอมรับ
	Oxygen	-51.954	0.000	ยอมรับ
	Ash	-75.664	0.000	ยอมรับ
	Hydrogen	34.750	0.469	ปฏิเสธ
12	ค่าคงที่	-2141.953	0.253	ปฏิเสธ
	Carbon	84.094	0.000	ยอมรับ
	Oxygen	35.179	0.070	ปฏิเสธ
	Ash	13.168	0.478	ปฏิเสธ
	Hydrogen	203.448	0.000	ยอมรับ
13	ค่าคงที่	3797.197	0.000	ยอมรับ
	Volatile matter	12.140	0.008	ยอมรับ
	Ash	-42.600	0.000	ยอมรับ

B คือ ค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆ

Sig คือ Significance ของการทดสอบค่า B ถ้าค่า Sig มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ายอมรับค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆเหล่านั้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 6 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากตารางที่ 5

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการที่2	ผลต่าง,%	สมการที่3	ผลต่าง,%	สมการที่4	ผลต่าง,%	สมการที่5	ผลต่าง,%
SZ405	4644	4560	-1.81	4749	2.27	4703	1.28	4707	1.36
TG45	4154	4354	4.81	4240	2.08	4419	6.37	4407	6.08
TG46	4685	4716	0.67	4775	1.92	4807	2.60	4799	2.42
TG47	3821	3818	-0.07	3796	-0.66	3834	0.34	3821	0.01
TG126	3870	3779	-2.34	3947	1.98	3694	-4.55	3779	-2.35
TN894	4745	4477	-5.66	4602	-3.00	4509	-4.97	4512	-4.90
TN895	4436	4666	5.19	4503	1.52	4668	5.22	4643	4.67
TN896	4165	4081	-2.03	4350	4.45	4222	1.36	4217	1.26
TN897	4898	4711	-3.82	4904	0.12	4968	1.44	4946	0.97
TN898	4609	4387	-4.81	4620	0.23	4579	-0.64	4572	-0.81
TO141	5046	4733	-6.20	5033	-0.26	4965	-1.61	4959	-1.73
TP98	4393	4270	-2.80	4365	-0.63	4316	-1.76	4338	-1.25
TP99	4874	4532	-7.01	4730	-2.95	4654	-4.51	4662	-4.36
TZ648	4364	4449	1.94	4619	5.85	4375	0.26	4423	1.36
SD249	4796	4755	-0.85	4714	-1.71	4726	-1.45	4715	-1.70
SD250	4734	4722	-0.26	4639	-2.00	4659	-1.58	4647	-1.85
QR748	4484	4744	5.80	4493	0.20	4460	-0.55	4548	1.43

ตารางที่ 6 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากตารางที่ 5(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการที่2	ผลต่าง,%	สมการที่3	ผลต่าง,%	สมการที่4	ผลต่าง,%	สมการที่5	ผลต่าง,%
QR749	4470	4727	5.76	4495	0.56	4291	-4.01	4456	-0.32
RC924	3580	3556	-0.66	3578	-0.05	3491	-2.49	3493	-2.43
RC492	4560	4644	1.84	4414	-3.20	4634	1.62	4606	1.00
RC494	4566	4705	3.05	4366	-4.38	4672	2.33	4627	1.34
RC495	4512	4688	3.91	4423	-1.97	4545	0.74	4520	0.18
RC496	4729	4739	0.20	4713	-0.35	4637	-1.94	4637	-1.95
QH61	3752	4069	8.46	3632	-3.20	3911	4.23	3896	3.83
PK636	4701	4560	-3.00	4670	-0.66	4590	-2.35	4605	-2.04
UW936	3863	3830	-0.86	3821	-1.09	3806	-1.47	3794	-1.79
UW937	3890	3902	0.31	3862	-0.71	3895	0.12	3880	-0.26
UW938	3828	3824	-0.10	3758	-1.84	3784	-1.16	3766	-1.61
UW939	3804	3796	-0.21	3754	-1.31	3782	-0.57	3765	-1.04
UW940	3743	3791	1.27	3724	-0.50	3757	0.37	3742	-0.03
UW941	3749	3774	0.66	3717	-0.86	3745	-0.10	3727	-0.58
UW942	3698	3752	1.45	3728	0.80	3718	0.53	3704	0.17
UW943	3737	3763	0.69	3702	-0.94	3729	-0.22	3711	-0.70
UW944	3598	3607	0.24	3546	-1.46	3570	-0.79	3552	-1.29

ตารางที่ 6 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากตารางที่ 5(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการที่2	ผลต่าง,%	สมการที่3	ผลต่าง,%	สมการที่4	ผลต่าง,%	สมการที่5	ผลต่าง,%
UW945	3729	3757	0.75	3654	-2.02	3715	-0.37	3693	-0.96
VZ472	3841	3846	0.14	3997	4.06	3942	2.64	3935	2.44
VZ473	3700	3740	1.09	3922	6.00	3827	3.44	3824	3.35
VZ474	3803	3752	-1.35	3848	1.18	3814	0.28	3816	0.34
VZ475	3587	3590	0.08	3722	3.75	3684	2.70	3673	2.39
VZ477	3710	3701	-0.23	3744	0.92	3771	1.65	3753	1.15

ตารางที่ 6 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากตารางที่ 5(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการที่7	ผลต่าง,%	สมการที่8	ผลต่าง,%	สมการที่9	ผลต่าง,%	สมการที่13	ผลต่าง,%
SZ405	4644	4700	1.21	4707	1.35	4715	1.52	4623	-0.46
TG45	4154	4385	5.56	4292	3.32	4310	3.75	4395	5.80
TG46	4685	4773	1.87	4786	2.17	4785	2.13	4770	1.81
TG47	3821	3812	-0.23	3794	-0.71	3797	-0.63	3894	1.90
TG126	3870	3909	1.01	3824	-1.19	3861	-0.23	3899	0.75
TN894	4745	4510	-4.96	4574	-3.61	4563	-3.83	4594	-3.18
TN895	4436	4598	3.64	4590	3.47	4582	3.29	4774	7.62
TN896	4165	4211	1.11	4266	2.41	4264	2.39	4185	0.48
TN897	4898	4896	-0.04	4885	-0.27	4895	-0.05	4681	-4.43
TN898	4609	4552	-1.23	4564	-0.99	4571	-0.82	4401	-4.51
TO141	5046	4932	-2.25	4971	-1.49	4975	-1.41	4814	-4.59
TP98	4393	4367	-0.59	4326	-1.51	4343	-1.13	4376	-0.39
TP99	4874	4661	-4.36	4681	-3.96	4686	-3.86	4620	-5.22
TZ648	4364	4486	2.80	4546	4.18	4543	4.10	4363	-0.03
SD249	4796	4686	-2.29	4758	-0.80	4736	-1.26	4653	-2.98
SD250	4734	4618	-2.45	4694	-0.84	4669	-1.37	4619	-2.43
QR748	4484	4665	4.04	4539	1.22	4566	1.82	4683	4.44

ตารางที่ 6 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากตารางที่ 5(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการที่7	ผลต่าง,%	สมการที่8	ผลต่าง,%	สมการที่9	ผลต่าง,%	สมการที่13	ผลต่าง,%
QR749	4470	4684	4.78	4486	0.36	4538	1.52	4622	3.40
RC924	3580	3513	-1.88	3540	-1.12	3534	-1.27	3536	-1.24
RC492	4560	4556	-0.09	4523	-0.81	4518	-0.92	4650	1.98
RC494	4566	4553	-0.29	4521	-0.98	4509	-1.24	4698	2.90
RC495	4512	4477	-0.78	4540	0.61	4508	-0.09	4625	2.50
RC496	4729	4626	-2.18	4742	0.28	4710	-0.39	4713	-0.34
QH61	3752	3881	3.44	3770	0.48	3776	0.65	4055	8.07
PK636	4701	4617	-1.80	4643	-1.23	4643	-1.24	4540	-3.42
UW936	3863	3786	-2.00	3814	-1.27	3805	-1.49	3807	-1.44
UW937	3890	3867	-0.60	3870	-0.51	3866	-0.61	3871	-0.48
UW938	3828	3752	-1.99	3771	-1.48	3762	-1.73	3798	-0.78
UW939	3804	3749	-1.44	3760	-1.16	3754	-1.32	3781	-0.61
UW940	3743	3731	-0.32	3735	-0.21	3730	-0.35	3772	0.76
UW941	3749	3713	-0.96	3726	-0.62	3719	-0.81	3755	0.16
UW942	3698	3697	-0.02	3722	0.66	3714	0.43	3731	0.89
UW943	3737	3697	-1.06	3711	-0.69	3704	-0.89	3740	0.09
UW944	3598	3541	-1.58	3548	-1.38	3542	-1.55	3591	-0.20

ตารางที่ 6 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากตารางที่ 5(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการที่7	ผลต่าง,%	สมการที่8	ผลต่าง,%	สมการที่9	ผลต่าง,%	สมการที่13	ผลต่าง,%
UW945	3729	3674	-1.48	3679	-1.35	3671	-1.56	3739	0.26
VZ472	3841	3930	2.31	3941	2.59	3945	2.70	3806	-0.92
VZ473	3700	3828	3.47	3848	4.01	3852	4.11	3713	0.34
VZ474	3803	3828	0.66	3798	-0.13	3811	0.21	3726	-2.03
VZ475	3587	3670	2.30	3662	2.09	3670	2.31	3576	-0.32
VZ477	3710	3737	0.73	3721	0.30	3726	0.44	3681	-0.77

ตารางที่ 7 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากเอกสารอ้างอิง

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการ Goutal	ผลต่าง,%	สมการที่3	ผลต่าง,%	สมการที่4	ผลต่าง,%	สมการที่5	ผลต่าง,%
SZ405	4644	4598	-0.98	4587	-1.23	3920	-15.59	3942	-15.11
TG45	4154	4367	5.13	3960	-4.68	4018	-3.27	3886	-6.45
TG46	4685	4730	0.95	4527	-3.38	3943	-15.83	4064	-13.26
TG47	3821	3921	2.62	3610	-5.51	3925	2.71	3459	-9.48
TG126	3870	3968	2.52	3878	0.2	3756	-2.94	3297	-14.81
TN894	4745	4635	-2.31	4400	-7.27	3714	-21.73	3721	-21.59
TN895	4436	4798	8.17	4134	-6.8	3742	-15.64	3872	-12.72
TN896	4165	4224	1.41	4281	2.78	3794	-8.92	3525	-15.37
TN897	4898	4599	-6.10	4731	-3.41	4262	-12.99	4314	-11.92
TN898	4609	4359	-5.42	4500	-2.36	4121	-10.58	3992	-13.4
TO141	5046	4798	-4.91	4904	-2.81	3831	-24.08	3980	-21.12
TP98	4393	4409	0.36	4185	-4.73	3775	-14.07	3634	-17.27
TP99	4874	4621	-5.19	4569	-6.25	3826	-21.49	3848	-21.05
TZ648	4364	4334	-0.69	4435	1.62	4500	3.13	4339	-0.58
SD249	4796	4591	-4.28	4386	-8.55	4543	-5.28	4574	-4.62
SD250	4734	4562	-3.63	4289	-9.4	4547	-3.94	4556	-3.76
QR748	4484	4605	2.70	4048	-9.72	4383	-2.24	4438	-1.02

ตารางที่ 7 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากเอกสารอ้างอิง(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการ Goutal	ผลต่าง,%	สมการที่3	ผลต่าง,%	สมการที่4	ผลต่าง,%	สมการที่5	ผลต่าง,%
QR749	4470	4566	2.15	4053	-9.33	4557	1.94	4567	2.18
RC924	3580	3596	0.45	3435	-4.04	4318	20.61	3608	0.79
RC492	4560	4586	0.57	4021	-11.82	4131	-9.42	4168	-8.6
RC494	4566	4625	1.29	3902	-14.54	4177	-8.51	4246	-7.01
RC495	4512	4554	0.92	3980	-11.79	4397	-2.54	4413	-2.2
RC496	4729	4633	-2.03	4381	-7.35	4248	-10.18	4325	-8.55
QH61	3752	4042	7.74	3203	-14.62	4252	13.34	3889	3.64
PK636	4701	4477	-4.76	4454	-5.25	4238	-9.84	4200	-10.66
UW936	3863	3827	-0.94	3631	-6	4299	11.29	3769	-2.43
UW937	3890	3885	-0.12	3654	-6.07	4327	11.24	3839	-1.3
UW938	3828	3820	-0.21	3539	-7.54	4313	12.68	3777	-1.34
UW939	3804	3801	-0.08	3554	-6.56	4276	12.4	3728	-1.99
UW940	3743	3794	1.37	3515	-6.09	4290	14.61	3736	-0.19
UW941	3749	3780	0.82	3512	-6.33	4290	14.43	3725	-0.64
UW942	3698	3760	1.66	3541	-4.25	4299	16.26	3718	0.54
UW943	3737	3769	0.84	3495	-6.47	4304	15.17	3729	-0.22
UW944	3598	3637	1.07	3360	-6.63	4290	19.23	3615	0.47

ตารางที่ 7 แสดงค่าความร้อน(cal/g)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการจากเอกสารอ้างอิง(ต่อ)

หมายเลขปฏิบัติการ	การทดลอง	สมการ Goutal	ผลต่าง,%	สมการที่3	ผลต่าง,%	สมการที่4	ผลต่าง,%	สมการที่5	ผลต่าง,%
UW945	3729	3766	0.98	3425	-8.14	4290	15.04	3714	-0.41
VZ472	3841	3833	-0.20	3897	1.45	4369	13.76	3837	-0.11
VZ473	3700	3747	1.27	3850	4.05	4327	16.95	3733	0.90
VZ474	3803	3757	-1.20	3736	-1.75	4318	13.54	3733	-1.84
VZ475	3587	3623	1.00	3647	1.66	4285	19.46	3600	0.37
VZ477	3710	3717	0.18	3608	-2.75	4299	15.88	3685	-0.68

ตารางที่8 ผลเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการต่างๆกับค่าที่ได้จากการทดลอง

สมการที่	สมการ	R^2	Mean different,%	Maximum different,%
2	4811.117-55.767 Ash	0.899	2.31	8.46
3	-528.765+74.781 Carbon+258.205 Hydrogen	0.952	1.84	6.00
4	-883.703+81.955 Carbon+36.959 Oxygen	0.945	1.92	6.37
5	2385.156+48.505 Carbon-32.679 Ash	0.956	1.74	6.08
7	7058.018-52.369 Oxygen -78.205 Ash	0.946	1.90	5.56
8	-825.836+72.326 Carbon+175.959 Hydrogen+22.149 Oxygen	0.970	1.45	4.18
9	1206.403+54.695 Carbon+142.859 Hydrogen-20.018 Ash	0.967	1.54	4.11
13	3797.197+12.140Volatile matter –42.600Ash	0.917	2.12	8.07
Goutal	82Fixed carbon + a (Volatile matter)	0.914	2.23	8.17
3(บทนำที่1)	(33.5Carbon+142.3Hydrogen-15.4Oxygen-14.5Nitrogen)/0.41868	0.836	5.88	14.62
4(บทนำที่1)	(0.196Fixed carbon+14.119)/0.0041868	0.066	12.07	24.08
5(บทนำที่1)	(0.312 Fixed carbon+0.1534Volatile matter)/0.0041868	0.468	6.51	21.59

หมายเหตุ: สมการที่3-5(บทนำที่1)ค่าความร้อนมีหน่วยเป็นMJ/kgเมื่อแปลงเป็น cal/gจะต้องหารด้วย 0.0041868

บทที่4
วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์แบบพรอกซิเมตและอัลทิเมตกับค่าความร้อนดังแสดงในตารางที่ 3 จะเห็นว่าค่าความร้อนมีความสัมพันธ์กับค่าเถ้า คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน สารระเหย โดยสังเกตจากค่า Pearson correlation มีค่ามากเข้าใกล้ 1 หรือ สังเกตจากค่าSig ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.000 ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลนี้วิเคราะห์ถดถอยหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์แบบพรอกซิ เมตและอัลทิเมตกับค่าความร้อนเพื่อใช้ในการประมาณค่าความร้อน

4.2 เมื่อวิเคราะห์การถดถอยหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ ค่าเถ้า คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน สารระเหย กับค่าความร้อนจะได้สมการถดถอยเชิงเส้นดัง นี้

- สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

  Calorific value = a+ bX

- สมการถดถอยพหุเชิงเส้น

  Calorific value = $a+ b_1X_1+ b_2X_2+ b_3X_3+ b_4X_4$ .....

  (X คือตัวแปรอิสระซึ่งได้แก่เถ้า คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน สารระเหย)

โดยจะพิจารณาเฉพาะสมการที่มีค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ตั้งแต่0.85 ขึ้นไปซึ่งมีทั้งหมด 13 สมการดังแสดงใน ตารางที่4

4.3 ทำการทดสอบ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระทั้ง13สมการ โดยใช้สถิติทดสอบ t โดยพิจารณาจากค่า Sig t ของค่าคงที่และ สัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรต่างๆในสมการ ถ้าค่า Sig t ของค่าคงที่มีค่ามากกว่า 0.05 หมายความว่าค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 0หรือเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระผ่านจุด0 แต่ถ้าค่า Sig t ของค่าคงที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระไม่ผ่านจุด0 ส่วนค่า Sig t ของสัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรมีค่ามากกว่า 0.05 หมายความว่าตัวแปรอิสระนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนที่ระดับนัยสำคัญ0.05แต่ถ้าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนที่ระดับนัยสำคัญ0.05 ผลสรุปการการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระแสดงในตารางที่ 5 พบว่าสมการที่2,3,4,5,7,8,9,13 ตัวแปรอิสระมีความ สัมพันธ์กับค่าความร้อนโดยมีค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ความถดถอยดังแสดงในสมการ

4.4 เมื่อแทนค่าตัวแปรอิสระซึ่งได้แก่เถ้า คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน สารระเหยลงในสมการที่ 2,3,4,5,7,8,9,13เพื่อหาค่าความร้อน และทำการเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองโดยคิดเป็นร้อยละที่แตกต่างจากความร้อนที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่6 เพื่อแสดงให้เห็นถึง

ความแตกต่างของค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงคำนวณร้อยละของผลต่าง เฉลี่ยและร้อยละผลต่างสูงสุดดังแสดงในตารางที่8 พบว่าร้อยละของผลต่างเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.45-2.31 และผลต่างสูงสุดอยู่ระหว่าง 4.11-8.46

4.5 เมื่อทดลองใช้สมการGoutal โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาแทนค่าสมการGoutal เพื่อคำนวณค่า a และนำค่า a ที่คำนวณได้ มาวิเคราะห์แบบถดถอยกับค่าV'ของสมการ Goutalพบว่า ค่า a กับ V' จะมีความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$a = -17.912+0.699V'$$

จากนั้นคำนวณค่าความร้อนของสมการ Goutalเปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองโดยคิดเป็นร้อยละที่แตกต่างจากความร้อนที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่7 ซึ่งพบว่าร้อยละของผลต่าง เฉลี่ยเท่ากับ2.23ส่วนร้อยละผลต่างสูงสุดเท่ากับ8.17และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.914 ดังแสดงในตารางที่8

4.6 เมื่อทดลองใช้สมการที่ได้จากการศึกษาตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวน16ตัวอย่างของตุรกี[4]โดยใช้สมการที่ 3-5ในบทนำ เปรียบเทียบกับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองโดยคิดเป็นร้อยละที่ แตกต่างจากความร้อนที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่7 ซึ่งพบว่าร้อยละของผลต่าง เฉลี่ยเท่ากับ 5.88,12.07,6.51 ส่วนร้อยละผลต่างสูงสุดเท่ากับ14.62,24.08,21.59และมีค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.836,0.066,0.468ตามลำดับดังแสดงในตารางที่8 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าสมการที่4 ของตุรกีจะเป็นสมการที่ค่าความร้อนขึ้นกับตัวแปรตัวเดียวคือ คาร์บอนคงตัว แต่ข้อมูลชุดนี้เมื่อหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผล การวิเคราะห์คาร์บอนคงกับค่าความร้อนดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่า Pearson correlation มีค่าเท่า กับ-0.258 และ ค่าSig มีค่าเท่ากับ 0.108 ซึ่งมากกว่า 0.05 นั่นแสดงให้เห็นว่าค่า ความร้อนไม่มีความ สัมพันธ์กับค่าคาร์บอนคงตัวในรูปเชิงเส้นที่ระดับนัยสำคัญ0.05 ฉะนั้นเมื่อใช้สมการนี้ย่อมทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ได้จากการทดลองมาก และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ย่อมได้ต่ำเช่นกัน

บทที่5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการวิเคราะห์การถดถอยจากตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวน 40 ตัวอย่างของประเทศไทย สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สมการ 8 และ9 ซึ่งให้ค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ สูงคือ 0.970และ0.967 ตามลำดับจะให้ ผลของค่าความร้อนที่คำนวณจากสมการ8และ9นี้ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองมากกว่าสมการอื่นๆโดยให้ร้อยละ ของผลต่างเฉลี่ย1.45และ1.54 ตามลำดับ และผลต่างสูงสุด 4.18และ 4.11ตามลำดับ และจากการ สังเกตพบว่าสมการทั้งสองนี้เป็นสมการถดถอยพหุเชิงเส้น ที่ใช้ตัว แปรอิสระถึง 3 ตัวและสมการทั้ง สองนี้ให้ร้อยละของผลต่างเฉลี่ยและร้อยละผลต่างสูงสุดใกล้เคียงกัน ฉะนั้นในการ เลือกใช้สมการใด ต้องคำนึงถึงความ สะดวก และประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งพบว่าสมการที่ 9 จะสะดวกและประหยัดกว่า สมการที่8 เพราะสมการที่ 9 มาจากตัวแปรอิสระ 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน เถ้า ขณะที่สมการที่ 8 ต้องใช้ตัวแปรอิสระ3 ตัวคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน แต่ต้องวิเคราะห์ตัวแปรถึง 5 ตัวเนื่องจาก ค่าออกซิเจนได้จาก สมการดังนี้

%ออกซิเจน =100-%คาร์บอน-%ไฮโดรเจน-%ไนโตรเจน-%กำมะถัน-%เถ้า

5.2 นอกจากนี้ยังพบว่าสมการที่ 2ให้ค่าร้อยละของผลต่าง เฉลี่ยเท่ากับ 2.31และร้อยละผลต่างสูงสุดเท่ากับ 8.46 ซึ่งมากที่สุด เมื่อเทียบสมการอื่นๆที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอยของข้อมูล(คือสมการที่ 3,4,5,7,8,9,13) จะเห็นว่าถึงแม้ว่าจะให้ค่าร้อยละของผลต่าง เฉลี่ยและร้อยละผลต่าง สูงสุดมากที่สุดก็ตามแต่ก็ไม่ต่างจากค่าของสมการที่ 9มากนักซึ่งให้ค่าร้อยละของผลต่าง เฉลี่ยเท่ากับ 1.54 และร้อย ละผลต่างสูงสุด4.18 เพราะฉะนั้นถ้าต้องการประมาณค่าความร้อนอย่างคร่าวๆ ในการเลือกใช้สมการที่ 2 ก็จะสะดวกกว่าสมการที่ 9 เพราะสมการที่2 เป็นสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายมาจากตัว แปรอิสระเพียง 1 ตัว คือ ค่าเถ้า ขณะที่สมการที่ 9 ต้องใช้ตัวแปรอิสระถึง3 ตัวคือ คาร์บอน ไฮโดรเจน เถ้าแต่อย่างไรก็ตามถ้าต้องการความแม่นและ ถูกต้องมากกว่าก็ควรเลือกสมการที่ 9

5.3 เมื่อพิจารณาเฉพาะข้อมูลตัวอย่างแกลบซึ่งมีจำนวน 17 ตัวอย่างพบว่าสมการที่2ให้ร้อยละของผลต่างเฉลี่ยเท่ากับ0.60และ ร้อยละผลต่างสูงสุดเท่ากับ1.45 ซึ่งน้อยที่สุดเมื่อเทียบสมการอื่นๆ ดังนั้นสมการที่2จึงเหมาะสมที่จะใช้ประมาณค่าความร้อนของตัวอย่างแกลบและเป็นสมการที่ง่ายต่อการประมาณค่าด้วยเนื่องจากมาจากตัวแปรเพียงตัวคือ เถ้าซึ่งวิเคราะห์ง่ายและอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่นๆ

5.4 ข้อจำกัดในการประมาณค่าความร้อนจากตัวแปรอิสระต่างๆของสมการเหล่านี้(สมการที่ 2,3,4,5,7,8,9, 13 และ Goutal) คือค่าตัวแปรอิสระต้องอยู่ในช่วงของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของข้อชุดนี้นั่นคือค่าเถ้าร้อยละ 1-22.5 คาร์บอนร้อยละ 38-54 ไฮโดรเจนร้อยละ4.5-6.8 ออกซิเจนร้อยละ 32-46 สารระเหยร้อยละ57.4-89.6 และคาร์บอนคงตัวร้อยละ 7.3-25.3 เพราะถ้าอยู่ นอกช่วง

นี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอิสระต่างๆอาจไม่ได้อยู่ในรูปแบบดังสมการเหล่านี้

5.5 จากการศึกษาครั้งนี้จะพบว่าการวิเคราะห์การถดถอยจากตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลของตุรกีจะให้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับตัวแปรอื่นๆแตกต่างกับตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.นิยะดา จิตต์จรัส หัวหน้าภาควิชาจิตวิทยา คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร) ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล และการใช้โปรแกรม SPSS ในการคำนวณ

และขอขอบคุณ คุณกานดา โกมลวัฒนชัย นักวิทยาศาสตร์ 6 ว.ที่ให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กัลยา วานิชย์บัญชา. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล,** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ:โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี เค แอนด์ เอส โฟโต้สตูดิโอ, 2543 หน้า 415-490
2. กัลยา วานิชย์บัญชา. **การวิเคราะห์สถิติ:สถิติเพื่อการตัดสินใจ** , พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพ:โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544 หน้า 252-320
3. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ : **พลังงานและทางเลือกการใช้เชื้อเพลิงของประเทศไทย** Available: http://www.eppo.go th /doc/doc- AlterFuel.html. มิถุนายน 2542
4. American Society for Testing and Materials. **Annual book of ASTM standards**: gaseous fuels, coal and coke. Section 5. Vol.05.05. Washington,DC:ASTM,2000
5. Demirbas.A. Calculation of higher heating values of biomass fuels. **Fuel.** 1997,vol 76, no. p.431-434.
6. Moore,ES. **Coal**.2nd ed. New York:John Wiley&Sons, 1940. p.28-91.

ภาคผนวก

ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for window

ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for window

การวิเคราะห์การถดถอย ระหว่างค่าความร้อนกับคาร์บอน

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CARBON[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.934[a]	.873	.870	166.69	.655

a. Predictors: (Constant), CARBON

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7264130.9	1	7264130.9	261.426	.000[a]
	Residual	1055889.5	38	27786.566		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), CARBON

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-228.306	274.944		-.830	.412	-784.901	328.289
	CARBON	98.839	6.113	.934	16.169	.000	86.464	111.214

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับเถ้า

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	ASH[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.948[a]	.899	.897	148.42	1.594

a. Predictors: (Constant), ASH

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7482968.1	1	7482968.1	339.707	.000[a]
	Residual	837052.28	38	22027.691		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), ASH

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	4811.117	40.767		118.014	.000	4728.588	4893.646
	ASH	-55.767	3.026	-.948	-18.431	.000	-61.893	-49.642

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอย ระหว่างค่าความร้อนกับไฮโดรเจน

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HYDROGEN[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.806[a]	.650	.641	276.83	1.336

a. Predictors: (Constant), HYDROGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5407944.5	1	5407944.5	70.569	.000[a]
	Residual	2912075.9	38	76633.577		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), HYDROGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1126.659	368.070		3.061	.004	381.541	1871.778
	HYDROGEN	575.453	68.502	.806	8.401	.000	436.778	714.128

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอย ระหว่างค่าความร้อนกับออกซิเจน

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OXYGEN[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.709[a]	.502	.489	330.21	1.075

a. Predictors: (Constant), OXYGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4176449.1	1	4176449.1	38.302	.000[a]
	Residual	4143571.3	38	109041.35		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), OXYGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	986.422	521.343		1.892	.066	-68.982	2041.825
	OXYGEN	84.072	13.584	.709	6.189	.000	56.571	111.572

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอย ระหว่างค่าความร้อนกับสารระเหย

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	VOLATILE[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.883[a]	.779	.774	219.79	1.237

a. Predictors: (Constant), VOLATILE

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6484378.3	1	6484378.3	134.234	.000[a]
	Residual	1835642.1	38	48306.372		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), VOLATILE

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1255.586	256.219		4.900	.000	736.898	1774.275
	VOLATILE	41.094	3.547	.883	11.586	.000	33.914	48.275

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับคาร์บอนและไฮโดรเจน

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HYDROGEN, CARBON[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.976[a]	.952	.950	103.65	1.614

a. Predictors: (Constant), HYDROGEN, CARBON

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7922549.6	2	3961274.8	368.750	.000[a]
	Residual	397470.80	37	10742.454		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), HYDROGEN, CARBON

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-528.765	175.209		-3.018	.005	-883.771	-173.759
	CARBON	74.781	4.888	.707	15.300	.000	64.877	84.684
	HYDROGEN	258.205	32.981	.362	7.829	.000	191.379	325.032

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับคาร์บอนและออกซิเจน

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OXYGEN, CARBON[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.972[a]	.945	.942	111.59	1.570

a. Predictors: (Constant), OXYGEN, CARBON

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7859292.8	2	3929646.4	315.581	.000[a]
	Residual	460727.57	37	12452.097		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), OXYGEN, CARBON

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-883.703	207.035		-4.268	.000	-1303.195	-464.211
	CARBON	81.955	4.765	.775	17.198	.000	72.300	91.611
	OXYGEN	36.959	5.346	.311	6.913	.000	26.127	47.790

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับคาร์บอนและเถ้า

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	CARBON, ASH[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.978[a]	.956	.953	100.02	1.809

a. Predictors: (Constant), CARBON, ASH

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7949835.5	2	3974917.7	397.293	.000[a]
	Residual	370184.95	37	10004.999		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), CARBON, ASH

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	2385.156	356.198		6.696	.000	1663.430	3106.882
	ASH	-32.679	3.947	-.556	-8.279	.000	-40.677	-24.681
	CARBON	48.505	7.101	.459	6.831	.000	34.118	62.893

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับ ไฮโดรเจนและเถ้า

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	ASH, HYDROGEN[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.949[a]	.901	.896	149.11	1.500

a. Predictors: (Constant), ASH, HYDROGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7497324.7	2	3748662.4	168.593	.000[a]
	Residual	822695.69	37	22235.019		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), ASH, HYDROGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	4491.589	399.755		11.24	.000	3681.610	5301.569
	HYDROGEN	52.518	65.358	.074	.804	.427	-79.910	184.946
	ASH	-52.196	5.385	-.888	-9.694	.000	-63.106	-41.286

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอย ระหว่างค่าความร้อนกับ ออกซิเจนและเถ้า

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	ASH, OXYGEN[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.974[a]	.949	.946	107.54	1.996

a. Predictors: (Constant), ASH, OXYGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7892142.7	2	3946071.4	341.230	.000[a]
	Residual	427877.70	37	11564.262		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), ASH, OXYGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	7058.018	378.889		18.63	.000	6290.315	7825.721
	OXYGEN	-52.369	8.804	-.441	-5.948	.000	-70.207	-34.530
	ASH	-78.205	4.363	-1.330	-17.9	.000	-87.045	-69.365

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OXYGEN, CARBON, HYDROGEN[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.985[a]	.970	.967	83.42	1.844

a. Predictors: (Constant), OXYGEN, CARBON, HYDROGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8069501.4	3	2689833.8	386.534	.000[a]
	Residual	250519.00	36	6958.861		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), OXYGEN, CARBON, HYDROGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-825.836	155.129		-5.324	.000	-1140.453	-511.220
	CARBON	72.326	3.970	.684	18.218	.000	64.274	80.377
	HYDROGEN	175.959	32.015	.247	5.496	.000	111.029	240.889
	OXYGEN	22.149	4.820	.187	4.595	.000	12.374	31.924

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับคาร์บอน ไฮโดรเจนและเถ้า

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	ASH, HYDROGEN, CARBON[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.984[a]	.967	.965	86.85	1.859

a. Predictors: (Constant), ASH, HYDROGEN, CARBON

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8048464.5	3	2682821.5	355.660	.000[a]
	Residual	271555.89	36	7543.219		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), ASH, HYDROGEN, CARBON

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	1206.403	449.361		2.685	.011	295.057	2117.749
	CARBON	54.695	6.399	.517	8.548	.000	41.718	67.672
	HYDROGEN	142.859	39.508	.200	3.616	.001	62.733	222.984
	ASH	-20.018	4.900	-.340	-4.086	.000	-29.956	-10.081

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับคาร์บอน ออกซิเจน และเถ้า

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	ASH, CARBON, OXYGEN[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.978[a]	.956	.953	100.45	1.846

a. Predictors: (Constant), ASH, CARBON, OXYGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7956787.5	3	2652262.5	262.866	.000[a]
	Residual	363232.91	36	10089.803		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), ASH, CARBON, OXYGEN

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	3538.520	1434.784		2.466	.019	628.644	6448.396
	CARBON	37.664	14.880	.356	2.531	.016	7.486	67.843
	OXYGEN	-14.244	17.161	-.120	-.830	.412	-49.048	20.559
	ASH	-43.942	14.136	-.747	-3.108	.004	-72.612	-15.273

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับ ออกซิเจน เถ้าและไฮโดรเจน

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HYDROGEN, OXYGEN, ASH[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.974[a]	.949	.945	108.22	1.987

a. Predictors: (Constant), HYDROGEN, OXYGEN, ASH

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7898402.8	3	2632800.9	224.803	.000[a]
	Residual	421617.61	36	11711.600		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), HYDROGEN, OXYGEN, ASH

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	6828.802	493.640		13.83	.000	5827.654	7829.949
	OXYGEN	-51.954	8.878	-.438	-5.852	.000	-69.959	-33.949
	ASH	-75.664	5.599	-1.287	-13.5	.000	-87.020	-64.308
	HYDROGEN	34.750	47.531	.049	.731	.469	-61.647	131.147

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับคาร์บอน ออกซิเจน เถ้าและไฮโดรเจน

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HYDROGEN, CARBON, OXYGEN, ASH[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.985[a]	.970	.967	83.99	1.818

a. Predictors: (Constant), HYDROGEN, CARBON, OXYGEN, ASH

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8073125.7	4	2018281.4	286.113	.000[a]
	Residual	246894.72	35	7054.135		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), HYDROGEN, CARBON, OXYGEN, ASH

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-2141.953	1842.767		-1.162	.253	-5882.968	1599.063
	CARBON	84.094	16.897	.795	4.977	.000	49.791	118.397
	OXYGEN	35.179	18.815	.296	1.870	.070	-3.017	73.375
	ASH	13.168	18.370	.224	.717	.478	-24.126	50.462
	HYDROGEN	203.448	50.097	.285	4.061	.000	101.745	305.151

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนกับสารระเหยและเถ้า

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	ASH, VOLATILE[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.958[a]	.917	.913	136.40	1.801

a. Predictors: (Constant), ASH, VOLATILE

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7631655.1	2	3815827.5	205.103	.000[a]
	Residual	688365.33	37	18604.468		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), ASH, VOLATILE

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	3797.197	360.606		10.53	.000	3066.540	4527.854
	VOLATILE	12.140	4.294	.261	2.827	.008	3.439	20.841
	ASH	-42.600	5.425	-.724	-7.853	.000	-53.591	-31.608

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่า a กับค่าV'ในสมการ Goutal

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	V'[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: a

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.924[a]	.854	.850	1.8034	1.847

a. Predictors: (Constant), V'

b. Dependent Variable: a

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	720.908	1	720.908	221.669	.000[a]
	Residual	123.583	38	3.252		
	Total	844.491	39			

a. Predictors: (Constant), VGOUTAL

b. Dependent Variable: AGOUTAL

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-17.912	3.777		-4.742	.000	-25.559	-10.266
	V'	.699	.047	.924	14.889	.000	.604	.794

a. Dependent Variable: a

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าความร้อนจากสมการGoutal

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Goutal Calorific[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.956[a]	.914	.912	136.92	1.789

a. Predictors: (Constant), Goutal Calorific

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7607667.5	1	7607667.5	405.826	.000[a]
	Residual	712352.88	38	18746.128		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), Goutal calorific

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	-343.388	226.406		-1.517	.138	-801.724	114.948
	Goutal Calorific	1.083	.054	.956	20.145	.000	.974	1.192

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าความร้อนจากสมการ3ในบทนำ

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Reference3[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.914[a]	.836	.831	189.65	1.099

a. Predictors: (Constant), Reference3

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6953337.0	1	6953337.0	193.334	.000[a]
	Residual	1366683.4	38	35965.354		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), Reference3

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	358.868	277.638		1.293	.204	-203.181	920.917
	Reference3	.967	.070	.914	13.904	.000	.826	1.107

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าความร้อนจากสมการ4ในบทนำ

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Reference4[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.258[a]	.066	.042	452.12	1.133

a. Predictors: (Constant), Reference4

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	552277.79	1	552277.79	2.702	.108[a]
	Residual	7767742.6	38	204414.28		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), Reference4

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	6271.997	1264.597		4.960	.000	3711.954	8832.039
	Reference4	-.496	.302	-.258	-1.644	.108	-1.106	.115

a. Dependent Variable: CALORIFI

การวิเคราะห์การถดถอยระหว่างค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าความร้อนจากสมการ5 ในบทนำ

Variables Entered/Removed[b]

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Reference5[a]	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CALORIFI

Model Summary[b]

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.684[a]	.468	.454	341.29	.806

a. Predictors: (Constant), Reference5

b. Dependent Variable: CALORIFI

ANOVA[b]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3893798.8	1	3893798.8	33.429	.000[a]
	Residual	4426221.6	38	116479.52		
	Total	8320020.4	39			

a. Predictors: (Constant), Reference5

b. Dependent Variable: CALORIFI

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95% Confidence Interval for B	
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
1	(Constant)	388.086	660.933		.587	.561	-949.903	1726.075
	Reference5	.972	.168	.684	5.782	.000	.631	1.312

a. Dependent Variable: CALORIFI