



ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

โดย

พ.ศ.

สาขาวิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL DEVELOPMENT AND RESOURCE MANAGEMENT
FACULTY OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ (10520)

King Mongkut's Institute of Technology Chaokuntaharn Ladkrabang
Bangkok, Thailand (10520)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
สาขาวิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร

เรื่อง

การศึกษาค่าความร้อนของถ่านไม้และถ่านอัดแท่ง

Study of Heating Value of Charcoal and Briquetting

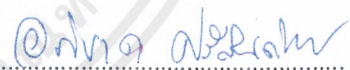
โดย

นางสาวปรีชา วงศ์วัชรกร

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
วท.บ. (พัฒนาการเกษตร)

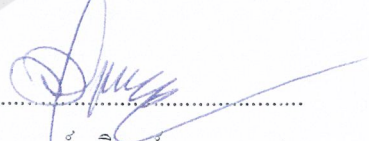
เมื่อวันที่ 10 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2557

ประธานกรรมการปัญหาพิเศษ



(รศ.อภิชาติ ศรีสันติธรรม)

กรรมการปัญหาพิเศษ



(อาจารย์ บุรินทร์ นุญชรธรรม)

ประธานสาขาวิชา


วิชา ๑-๒๕๒

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธำรงค์ เหมโหรา)

b. 12372699
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาค่าความร้อนของถ่านไม้และถ่านอัดแท่ง
 ชื่อเรื่อง : Study of Heating Value of Charcoal and Briquetting
 โดย : นางสาวปวิษา วงศ์วัชรกร
 ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์บัณฑิต
 สาขาวิชาเอก : พัฒนาการเกษตร
 ประธานกรรมการปัญหาพิเศษ : 

(รศ.อภิชาติ ศรีสันติธรรม)

10 / ๓๑. / ๕4

การวิจัยครั้งนี้ใช้ถ่านไม้ธรรมชาติและถ่านอัดแท่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาค่าความร้อนของถ่านไม้ธรรมชาติและถ่านอัดแท่งซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากแกลบและขี้เลื่อย และ ถ่านไม้ไผ่ ส่วนถ่านชนิดที่ 2 คือ ถ่านไม้พืษธรรมชาติ ซึ่งผลิตจากไม้ไผ่ และไม้โกงกาง พบว่าถ่านที่ผลิตจากไม้โกงกางธรรมชาติมีค่าความร้อน 10,460.45 Kcal/kg ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากแกลบผสมขี้เลื่อยมีค่าความร้อน 2,797.01 Kcal/kg ถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ธรรมชาติมีค่าความร้อน 2,791.48 Kcal/kg และถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านไม้ไผ่ไม่มีค่าความร้อน 2,280.45 Kcal/kg การวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ถ่านไม้โกงกางมีค่าความร้อนสูงที่สุดและให้ความร้อนสม่ำเสมอ ในขณะที่ ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากแกลบผสมขี้เลื่อยให้ความร้อนสูงเป็นอันดับ 2 ซึ่งอันดับคือถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ธรรมชาติ และอันดับสุดท้ายคือถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านไม้ไผ่ให้ความร้อนต่ำที่สุด อีกทั้งจากการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากแกลบผสมขี้เลื่อยและถ่านไม้ไผ่นั้นจะให้ความร้อนสม่ำเสมอ

Abstract

Subject : Study of Heating Value of Charcoal and Briquetting
 By : Miss Prisa Wongsawatcharakorn
 Degree : Bachelor of Science Program (Agricultural Development).
 Major : Agricultural Development
 Adviser : *Apichart Srisantitam*
 (Assoc.Prof. Apichart Srisantitam)

10 / Oct / 2011

The research reveals an experiment of natural coal and briquetting with the purpose of studying the heating value of them, divided into 2 types which are briquetting from rice husk mixed sawdust and bamboo coal. Second type of coal is natural firewood which manufactured from bamboo and mangrove. The study found that the coal from mangrove has heating value 10,460.45 Kcal/kg, briquetting from rice husk mixed sawdust 2,797.01 Kcal/kg, coal from bamboo 2,791.48 Kcal/kg, briquetting from bamboo coal 2,280.45 Kcal/kg respectively. Indicated that the mangrove coal generated stable and maximum heating value. While, briquetting from rice husk mixed sawdust is secondly the most heating value. Thirdly is bamboo coal. And the last one, briquetting from bamboo coal has lower heating value. In summary, the research reveals that both briquetting could generated consistent heating value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ขอขอบพระคุณ ทุกๆท่านผู้มีส่วนร่วม และให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าเป็นอย่างดี จึงทำให้ปริญญาโทฉบับนี้เกิดขึ้นและเสร็จสมบูรณ์ไปด้วยดี

รศ.อภิชาติ ศรีสันติธรรม อาจารย์บุรินทร์ บุญธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการที่ปรึกษา ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้มาโดยตลอด อีกทั้งยังคอยแนะนำเรื่องการคำนวณหาค่าความร้อน ให้ข้อคิดต่างๆ รวมถึงช่วยตรวจทานแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นายพงศ์สถิต อิศรางกูร ณ อยุธยา ที่คอยช่วยให้คำแนะนำในการใช้งานโปรแกรม MATLAB ทำกราฟ SEMILOG เพื่อใช้ในการประกอบปัญหาพิเศษฉบับนี้

นายรุ่งโรจน์ อยู่ทอง เจ้าหน้าที่ประจำ SHOP เครื่องจักรกลเกษตร ที่คอยช่วยให้คำแนะนำช่วยเหลือจัดหาอุปกรณ์ในการทดลอง และดูแลขณะทำการทดลองปัญหาพิเศษฉบับนี้

ขอบคุณเพื่อนๆที่ทุกคนที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณลุงและคุณป้าอันเป็นที่เคารพยิ่งที่เลี้ยงดูและช่วยเหลือค่าเครื่องมือในการทำปัญหาพิเศษฉบับนี้อย่างเต็มที่ รวมถึงคอยเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ปรีชา วงศ์วัชร

ตุลาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
คำนิยม	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญกราฟ	(ช)
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
สมมติฐานของการศึกษา	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการศึกษา	3
นิยามศัพท์ปฏิบัติการ	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
ถ่าน	4
ชนิดของถ่าน	4
คุณภาพของถ่าน	5
ความแกร่งของถ่าน	6
ปริมาณความร้อนและอุณหภูมิของการสันดาป	6
ปริมาณถ่าน	6
กรอบแนวทฤษฎีและโมเดลวิเคราะห์	7
กฎอนุรักษ์พลังงาน	7
ปริมาณความร้อน	7
การถ่ายเทความร้อน	8
ค่าความร้อน	11
ความร้อนแฝงแห่งการกลายเป็นไอ	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	15
ขั้นตอนในการศึกษา	15
ขั้นตอนในการหาข้อมูล	15
ขั้นตอนการทดลองศึกษาค่าความร้อนการเผาไหม้ของถ่านแต่ละชนิด	16
การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากแคลบผสมขี้เถ้า	21
การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่	23
การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านไม้ไผ่	24
การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านไม้โกงกาง	25
การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเป็นถ่าน	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง	29
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถ่านอัดแท่งจากแคลบและขี้เถ้า จากโครงการหลวงฯ	29
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่	33
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถ่านไม้ไผ่	36
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถ่านไม้โกงกาง	38
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของถ่านชนิดต่างๆในการทำการทดลอง	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	51
สรุปผลการวิจัย	51
วิจารณ์ผลการทดลอง	51
ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	56

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 0-100 °C	8
ตารางที่ 2 แสดงค่า Thermal conductivity ของวัสดุบางชนิด	10
ตารางที่ 3 ค่าความร้อนของถ่านและฟืนโดยปริมาณ	12
ตารางที่ 4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง	12
ตารางที่ 5 ตารางบันทึกผลการทดลองถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อย	17
ตารางที่ 6 ตารางบันทึกผลการทดลองถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่	18
ตารางที่ 7 ตารางบันทึกผลการทดลองถ่านไม้ไผ่	19
ตารางที่ 8 ตารางบันทึกผลการทดลองถ่านไม้โกงกาง	20
ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองการให้ปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่ง จากแกลบและขี้เลื่อย	30
ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองการให้ปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่	34
ตารางที่ 11 แสดงผลการทดลองการให้ปริมาณความร้อนของถ่านไม้ไผ่	36
ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองการให้ปริมาณความร้อนของถ่านไม้โกงกาง	38
ตารางที่ 13 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการให้ปริมาณความร้อนของถ่านแต่ละชนิด จากอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง	41
ตารางที่ 14 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการให้ปริมาณความร้อนของถ่านแต่ละชนิด จากอุณหภูมิต่อขณะทำการทดลอง	42

สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 1 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อยผลการทดลองที่ 1 และ 3	31
กราฟที่ 2 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อยผลการทดลองที่ 1 และ 3	31
กราฟที่ 3 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อยผลการทดลองที่ 2	32
กราฟที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อยผลการทดลองที่ 2	32
กราฟที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่	35
กราฟที่ 6 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่	35
กราฟที่ 7 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้ไผ่	37
กราฟที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้ไผ่	37
กราฟที่ 9 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้โกงกาง	39
กราฟที่ 10 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้โกงกาง	39
กราฟที่ 11 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะเวลาในการทดลอง	43
กราฟที่ 12 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะเวลาในการทดลอง	43
กราฟที่ 13 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทดลอง	44
กราฟที่ 14 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทดลอง	44

สารบัญกราฟ(ต่อ)

	หน้า
กราฟที่ 15 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านไม้ไผ่ ต่อระยะเวลาในการทดลอง	45
กราฟที่ 16 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลา ในการทดลอง	45
กราฟที่ 17 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านไม้โกงกาง ต่อระยะเวลาในการทดลอง	46
กราฟที่ 18 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านไม้โกงกางต่อระยะเวลา ในการทดลอง	46
กราฟที่ 19 แสดงผลต่างอุณหภูมิความร้อนของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะ เวลาในการทำการทดลอง	47
กราฟที่ 20 แสดงผลต่างอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวง ต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง	47
กราฟที่ 21 แสดงผลต่างอุณหภูมิความร้อนของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะ เวลาในการทำการทดลอง	48
กราฟที่ 22 แสดงผลต่างอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ ต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง	48
กราฟที่ 23 แสดงผลต่างอุณหภูมิความร้อนของถ่านไม้ไผ่ต่อระยะ เวลาในการทำการทดลอง	49
กราฟที่ 24 แสดงผลต่างอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านไม้ไผ่ ต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง	49
กราฟที่ 25 แสดงผลต่างอุณหภูมิความร้อนของถ่านไม้โกงกางต่อระยะ เวลาในการทำการทดลอง	50
กราฟที่ 26 แสดงผลต่างอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านไม้โกงกาง ต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง	50

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นจึงมีการนำผลผลิตทางการเกษตรและทรัพยากรต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานในด้านต่าง ๆ อาทิ เช่น พลังงานความร้อนซึ่งได้มาจากการนำเศษไม้มาเผาเป็นถ่าน ทำให้เป็นที่นิยมใช้กันมากในครัวเรือนต่างๆ ตามแถบชนบท และ บางครัวเรือนที่อาศัยในชุมชนเมือง โดยองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ประเมินการใช้ไม้และถ่านของประชากรไทย โดยเฉลี่ยประมาณคนละ 1.23 ลบ.เมตรต่อปี โดยแบ่งออกเป็นไม้ฟืน 0.67 ลบ.เมตรต่อปี และถ่าน 0.56 ลบ.เมตรต่อปี (ภาคผนวกที่ 1, ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์, 2525) จากการที่สำนักงานพลังงานแห่งชาติได้เข้าไปสำรวจการใช้ไม้ฟืนและถ่านในชนบทเมื่อปี 2522 พบว่าในปี 2521 ประชาชนได้มีการใช้ไม้ฟืนและถ่านเป็นปริมาณ 12-18 ล้าน ลบ. ม. (ทั้งนี้ได้รวมเอาไม้ฟืนและถ่านไม้ที่ไม่ใช่เพื่อการค้าเอาไว้ด้วย) แต่มีการผลิตไม้ฟืนและถ่านได้ประมาณ 15.4 ล้าน ลบ.ม (เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน, 2524) ซึ่งในส่วนของประเทศไทยเองได้เคยมีการสำรวจโดยกรมป่าไม้ พบว่าประเทศไทยใช้ถ่าน ประมาณ 3 ล้านตันในครัวเรือนเพื่อการหุงต้ม และอีกประมาณ 0.5-0.8 ล้านตัน ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เมื่อคำนวณเป็นค่าของเงินแล้ว ประมาณ 10,000- 12,000 ล้านบาทต่อปี โดยภาคกลางจะใช้ถ่านประมาณ 1.3 ล้านตัน ภาคตะวันออก 0.16 ล้านตัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1.00 ล้านตัน ภาคเหนือ 0.80 ล้านตัน และภาคใต้ 0.37 ล้านตัน และจากรายงานของกรมส่งเสริมและพัฒนาพลังงาน (2538) กล่าวว่า ประเทศไทยใช้ถ่านเพื่อเป็นพลังงานประมาณ 9.4% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้อยู่ในประเทศ (ภาคผนวกที่ 3, วินัย ปัญญาธัญญะ, 2541)

"ถ่าน" เป็นเชื้อเพลิงก้อน สีดำ ที่ผลิตมาจากไม้ แล้วนำไปเผาเป็นถ่าน ถ่านเกิดขึ้นในสมัยยุคต่างๆ มีมาแต่ในอดีต พบมากในตะวันออกกลาง และจีน ในปัจจุบันถ่านมีลักษณะการผลิต 2 วิธี คือ การผลิตแบบพื้นเมือง และการผลิตแบบอุตสาหกรรม (ชาญชัย ลิ้มปียากร, 2544) โดยในปัจจุบันถ่าน ก็ยังคงมีใช้กันอย่างแพร่หลายตามพื้นที่ต่าง ๆ ส่วนมากมักจะพบจากร้านปิ้งย่าง หรือ ร้านหมูกระทะในปัจจุบัน รวมถึงร้านขายอาหารบางชนิดที่ต้องใช้ถ่านการปิ้งหรือย่าง เพื่อเพิ่มรสชาติและกลิ่นของอาหาร ในแถบชนบทของประเทศไทยบางพื้นที่ก็จะมีพบว่ายังคงมีการใช้ถ่านในการหุงต้ม ทำอาหารในบางครัวเรือน โดยที่เชื่อกันว่า การประกอบอาหารจากถ่านนั้นจะทำให้ได้กลิ่นของอาหารน่ารับประทานมากขึ้น รวมถึงถ่านเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีราคาถูกเมื่อเทียบเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ทั้งนี้คุณภาพของถ่านที่ใช้กันในปัจจุบันตามท้องตลาด ชนบทและร้านหมูกระทะ จะใช้ถ่านที่มีคุณภาพแตกต่างกัน โดยคุณภาพของถ่านขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ที่ใช้และกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน

ถ่านที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่ 2 ประเภทคือ ถ่านไม้พื้นธรรมชาติกับถ่านอัดแท่ง ในประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตส่งเสริมอุตสาหกรรมภาค 9 มีปริมาณเศษจากไม้ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ยางพารา) ที่เป็นวัตถุดิบเหลือใช้ นิยมนำมาแปรรูปทำเป็น ถ่านอัดแท่งทำให้มีการดัดแปลงจากวัตถุดิบชนิดอื่นๆในการนำมาทำเป็นถ่านอัดแท่ง เช่น แกลบ กะลา และเศษถ่านไม้ต่างๆ โดยถ่านอัดแท่งจะคุณภาพที่ดีพอๆกับถ่านไม้พื้น (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2544)

ค่าความร้อนของถ่าน (Heating Value of Coal) เกิดจากการที่อุณหภูมิของวัตถุเปลี่ยนแปลงไป (โยชิฮิโกะ ทาคามูระ, 2525) โดยสามารถหาค่าได้จากการคำนวณจากค่าต่างๆที่เกิดจากปฏิกิริยาของคุณสมบัติทางเคมีที่มีอยู่ในถ่านแต่ละชนิด รวมไปถึงความร้อนของถ่านแต่ละชนิดด้วย ปัจจุบันนี้ได้มีการผลิตถ่านได้พัฒนาเข้ามาเป็นธุรกิจในเชิงอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีทั้งอุตสาหกรรมในการผลิตผลิตถ่านไม้พื้นและถ่านอัดแท่งทั้งสองชนิดนี้ด้วย แต่ก็ไม่สามารถรู้ได้ว่าระหว่างถ่านอัดแท่งและถ่านไม้พื้นธรรมชาติ ถ่านชนิดใด ให้ค่าความร้อนที่สูงกว่ากันเพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบในการใช้งานในอุณหภูมิที่เหมาะสม และมีความคุ้มค่าในการลงทุนว่าจะเลือกใช้ถ่านไม้พื้นธรรมชาติ หรือจะเลือกใช้ถ่านอัดแท่งดี ฉะนั้นจึงได้ทำการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเรื่องการศึกษาค่าความร้อนของถ่านไม้พื้นธรรมชาติ (ถ่านไม้ไผ่, ถ่านไม้โกงกาง) และถ่านอัดแท่ง (ถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่, ถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อย) เพื่อให้ทราบถึงการให้ค่าความร้อนของถ่านไม้พื้นธรรมชาติและถ่านอัดแท่ง ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการไตร่ตรองว่าถ่านชนิดใด ที่น่าจะมีความคุ้มค่ากับการลงทุนมากกว่ากัน

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งกับถ่านไม้พื้นธรรมชาติ

สมมติฐานของการศึกษา

อาศัยกฎอนุรักษ์พลังงานและมวล (Conservative of mass and energy)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้ทราบถึง ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งกับถ่านไม้พื้นธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้ตั้งขอบเขตการศึกษาที่ถ่านจากไม้พืชมธรรมชาติ ได้แก่ (1) ถ่านไม้
โกงกาง (2) ถ่านไม้ไผ่ และถ่านอัดแท่ง ได้แก่ (1) ถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อย (2) ถ่านอัด
แท่งจากถ่านไม้ไผ่

นิยามศัพท์ปฏิบัติการ

ค่าความร้อน (Heating Value) คือปริมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของวัตถุนั้น
ซึ่งมีมวลหนึ่งหน่วยโดยสิ้นเชิง วัตถุที่ให้ค่าความร้อนสูง คือวัตถุจำพวกที่เป็นเชื้อเพลิงอย่างดี



บทที่ 2

การตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Review of Related Literature)

1. ถ่าน (Charcoal)

คือ วัสดุที่ใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง สามารถให้ความร้อนได้ หลายระดับ ตามชนิดขององค์ประกอบ มีองค์ประกอบพื้นฐานด้วย ธาตุคาร์บอน ผลิตจากไม้แห้งทุกชนิดและทุกขนาดและใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือฟืนได้ทั้งสิ้น (ชาญชัย ลิ้มปากร. 2544)

2. ชนิดของถ่านแบ่งได้ดังนี้

2.1 ถ่านอัดแท่งหรือถ่านไม้อัดก้อน (Briquetting)

ถ่านอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทดแทนถ่านจากป่าไม้ธรรมชาติที่กำลังจะหมดไปได้อย่างสมบูรณ์ และเป็นการตอบสนองนโยบายรัฐบาลในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้อย่างคุ้มค่า เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาผลิตคือ เศษขี้เลื่อยจาก ไม้เนื้อแข็งทั่วไปและจากไม้ยางพาราซึ่งมีมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภายในเขตส่งเสริมอุตสาหกรรม ภาคที่ 9 ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจในการลงทุนที่อาศัยอยู่ในเขตส่งเสริมอุตสาหกรรม ภาคที่ 9 เนื่องจากมีความพร้อมทางด้านวัตถุดิบในการผลิต หรือถ้ามีการขาดแคลนก็อาจนำวัสดุอื่นทดแทนได้ เช่น เปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส และกะลาปาล์มที่เป็นกากวัสดุที่เหลือใช้ จากการผลิตน้ำมันปาล์มของโรงงานที่ได้มาตรฐาน เป็นต้น (ภาคภูมิ วิโรจศรีสกุล. 2550)

ถ่านอัดแท่ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการนำวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชังข้าวโพดมาเป็นถ่านอาจนำมาบดเป็นผลหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วนำมาเผาเป็นถ่าน ชนิดของถ่านอัดแท่ง แบ่งได้ตามส่วนประกอบในการนำมาอัดแท่ง

2.1.1 ถ่านอัดแท่งจากแกลบ

แกลบเป็นผลผลิตพลอยได้จากการสีข้าว มีคุณสมบัติในด้านเชื้อเพลิงไม่ต่างจากไม้มากนัก แต่การใช้เป็นเชื้อเพลิงของแกลบมีข้อเสียเล็กน้อย เช่น เมื่อทำการเผาไหม้แล้วแกลบให้ปริมาณเถ้าถึง 17.4 % ซึ่งมากกว่าไม้ถึง 7 เท่า แต่ขี้เถ้าของแกลบสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างหรือผงขัดได้ นอกจากนี้แกลบมีค่า ความหนาแน่นเฉลี่ยเพียง 106 kg./ m³ และมีค่าความร้อนเฉลี่ย 3,800 Kcal/kg. ซึ่งน้อยกว่าค่าเฉลี่ยความร้อนของไม้ฟืน คือ 4475 Kcal/kg การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ แกลบ เป็น เชื้อ เพ ลิง จั ง อยู่ ใน ขอบ เขต จ ำ กั ด เ นื่ อ ง จาก ค ำ ข น ส ่ง ส ู ง (วิศวกรรมสาร/กุมภาพันธ์, 2525)

2.1.2 ถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่

โดยการเอาถ่านไม้ไผ่มาบดแล้วอัดเป็นแท่ง ทำให้มีการให้ปริมาณความร้อนสูงยิ่งขึ้น และมีระยะเวลาในการเผาไหม้นาน กว่าถ่านอัดแท่งทั่วไป

2.2 ถ่านไม้ฟืน

ถ่านไม้ฟืนมาจาก ไม้ชนิดต่างๆ ที่นำมาเผาเป็นถ่าน โดยเนื้อไม้แต่ละชนิดจะให้คุณภาพในการให้ปริมาณความร้อนและระยะเวลาในการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิที่ติดไฟของถ่านไม้ฟืน มีค่าต่ำติดไฟง่ายจึงใช้สะดวก อุณหภูมิมีค่าประมาณ 295°C สำหรับไม้และ 400-800 °C สำหรับไม้ฟืน (ปรีชา วิบูลย์สวัสดิ์, 2525)

2.2.1. ชนิดไม้ของถ่าน

ได้มาจากไม้ทุกชนิดแต่ที่นิยมนำมาผลิตเป็นถ่าน มีดังนี้

2.2.2 ถ่านไม้ไผ่ถ่าน

โดยไม้ไผ่จะมีโพลงเล็กๆ จำนวนมากกว่าถ่านชนิดอื่นๆ และ กระจายอยู่ทั่วทิศทาง โพลงเล็กๆ เหล่านี้ทำหน้าที่ดูดซับกลิ่น ความชื้น ถ่านไม้ไผ่จะปล่อยประจุลบและรังสีอินฟราเรดยาวออกมาจากตัวเองได้ ช่วยป้องกันคลื่นแม่เหล็ก คลื่นไฟฟ้า และรังสี ที่กระจายอยู่โดยรอบเรา ซึ่งทำให้ร่างกายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้สุขภาพดีขึ้น

2.2.3 ถ่านไม้โกงกาง

ไม้โกงกางที่สามารถนำมาทำถ่านได้มีอายุ 10 - 15 ปี คุณสมบัติของถ่านไม้โกงกางคือ ไฟแรง และถ่านน้อยไม่ ปรุทะ เหมาะสำหรับคนอยู่ไฟ ค่าความร้อนของถ่านจากไม้โกงกางอยู่ที่ 6,830-7,197 Kcal/g. (กรมวิทยาศาสตร์บริการ และ ฟิงพิศ สาณะเสน, 2553)

3. คุณภาพของถ่าน (Quality of the charcoal)

ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ชนิดของไม้ที่ใช้และกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน โดยทั่วไปไม้เนื้อแข็งจะกลายเป็นถ่านไม้เนื้อแข็งและไม้ประเภทเนื้ออ่อน จะกลายเป็นถ่านไม้เนื้ออ่อน (สำหรับระยะเวลาในกระบวนการคาร์บอนไนเซชันนั้น หากการคาร์บอนไนเซชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วปริมาณของก๊าซจากไม้จะเกิดขึ้นมาก และเนื้อถ่านจะมีความแกร่งน้อย ในทางกลับกันหากการคาร์บอนไนเซชันเป็นไปอย่างช้าๆ ก็จะมีปริมาณจากก๊าซไม้้น้อย เนื้อถ่านจะแกร่งกว่า) สามารถทดสอบความแกร่งของถ่านได้โดยการใช้ไม้เคาะเบาๆ หรือใช้มือบีบก้อนถ่าน ถ้าแตกหักง่ายแสดงว่าคุณภาพถ่านไม่ดี จะมีการแตกป่นมากระหว่างการขนส่ง ถ่านที่ผ่านการทดสอบแล้วไม่มีการปะทุไฟเลย ถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีมาก เหมาะในการนำมาใช้หุงต้มในครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่านที่มีการปะทุไฟเล็กน้อยในช่วงแรกที่ติดไฟ ยังถือว่าเป็นถ่านคุณภาพดี ถ้ามีการปะทุไฟนาน 2-3 นาที แสดงว่าเป็นถ่านคุณภาพปานกลาง แต่ถ้ามีการปะทุไฟมากและนานจนกระทั่งลุกแดงทั้งก้อน(ประมาณ 5 นาที หรือมากกว่า) แสดงว่าเป็นถ่านคุณภาพต่ำ ไม่เหมาะที่จะนำมาหุงต้มในครัวเรือน ถ่านถ่านที่ดีไม่ควรมีความดำและกลืนจุณ ถ้ามีก็มีเพียงเล็กน้อย ถ่านที่มีควันดำแสดงว่าเป็นถ่านที่มีน้ำมันดินผสมอยู่ถือเป็นถ่านที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (วินัย ปัญญาธัญญะ, 2541)

4. ความแกร่งของถ่าน (Charcoal Hardness)

ความแกร่งของถ่านวัดได้จากการทดสอบความแกร่ง (Hardness Tester) โดยทั่วไปความแกร่งของถ่าน จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการคาร์บอนไนเซชัน สำหรับถ่านไม้เนื้อแข็งซึ่งคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิ 400°Cจะมีระดับความแกร่งอยู่ที่ประมาณ 5 - 6 แต่ในขณะที่ใช้ไม้ชนิดเดียวกัน หากอุณหภูมิของการคาร์บอนไนเซชันสูงขึ้นเป็น 700°C ระดับความแกร่งของถ่านจะอยู่ที่ประมาณ 9 - 10 (ชาลวชัย ลิ้มปิยากร . 2544)

5. ปริมาณความร้อนและอุณหภูมิของการสันดาป (Heat Value and Combustion Point)

ถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 400°C จะให้ปริมาณความร้อนมากกว่า และอุณหภูมิของการสันดาปต่ำกว่า ซึ่งในกรณีของถ่านที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันที่สูงกว่าก็จะให้ผลลัพธ์ตรงกันข้าม

6. ปริมาณเถ้าถ่าน (Charcoal Ash Content)

ถ่านจะประกอบไปด้วยเถ้าถ่านประมาณ 2 - 3% โดยในส่วนของประกอบของเถ้าถ่าน จะประกอบไปด้วยธาตุที่แสดงสภาพเป็นด่าง คือ แคลเซียม 40% และโพแทสเซียม 20% นอกนั้นเป็นธาตุจำพวกเหล็ก โบรอน แมงกานีส เป็นต้น

เถ้าถ่านประกอบไปด้วยธาตุต่างๆ มากมาย เมื่อนำไปละลายน้ำก็จะได้ธาตุซึ่งอยู่ในรูปของคาร์บอเนต (Carbonate) หรือออกไซด์มากมาย ดังนั้นถ่านจะทำหน้าที่เสมือนกับเป็นแหล่งแร่ธาตุ (Minor Element Supplier) อีกทางหนึ่ง

กรอบแนวทฤษฎีและโมเดลการวิเคราะห์ (Theoretical and Conceptual Framework)

1. กฎอนุรักษ์พลังงานจะมีรูปแบบดังนี้

พลังงานความร้อนคงที่ = พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น = พลังงานความร้อนที่ลดลง

2. ปริมาณความร้อน

ปริมาณความร้อนสามารถนิยามได้ด้วยการเปรียบเทียบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น 1 แคลอรี (cal) คือปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C (หรือ 1 K) จากการทดลองในภายหลังพบว่ามีความไม่แน่นอนเหมือนกัน เพราะว่าน้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 90°C ถึง 91°C ต้องใช้ปริมาณความร้อนมากกว่าน้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 20°C ถึง 21°C ดังนั้นเพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน จึงมีผู้กำหนดว่า 1 แคลอรี คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 14.5°C ถึง 15.5°C อย่างไรก็ตาม บางประเทศไม่ยอมรับและใช้มาตรฐานในช่วงอื่นหรือหน่วยอื่นแทน จนถึงทุกวันนี้จึงมีความหลากหลายอยู่พอสมควร ยกตัวอย่างเช่น 1 บีทียู (Btu) ซึ่งเป็นหน่วยของอังกฤษก็นิยมใช้กันไม่น้อย คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 63°F ถึง 64°F

หน่วย Btu มีความสัมพันธ์กับหน่วย cal ดังนี้

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal}$$

จากการทดลองปริมาณความร้อนกับทางกลศาสตร์ มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$$

$$1 \text{ Btu} = 778 \text{ ft}\cdot\text{lb} = 252 \text{ cal} = 1055 \text{ J}$$

ใช้สัญลักษณ์ Q แทนปริมาณความร้อน สมมติว่าระบบมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ΔT แสดงว่ามีปริมาณ ΔQ ถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ระบบ ในช่วงการเปลี่ยนแปลงสั้นๆ จะใช้ dT และ dQ แทน อุณหภูมิความร้อนและปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนไป dQ เป็นสัดส่วนตรงกับมวล m คือเราต้องใช้ปริมาณความร้อน 2 เท่าเพื่อทำให้น้ำ 2 ถ้วยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากับน้ำ 1 ถ้วยและ dQ ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ คือต้องใช้ปริมาณความร้อน 5 เท่าเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ 1°C เมื่อเทียบกับบอลลูมิเนียมที่มวลมีขนาดเท่ากัน

C เป็นค่าคงที่แตกต่างกันตามชนิดของวัสดุ ใช้ชื่อเฉพาะว่า ความจุความร้อนจำเพาะ จัดรูปแบบสมการใหม่ และ แทน ΔQ ด้วย dQ และ ΔT ด้วย dT จะได้ความสัมพันธ์แสดงอยู่ในรูปของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta Q = mc\Delta T$$

ตารางที่ 1 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะชนิดต่างๆที่อุณหภูมิ 0-100 °C

โลหะ	ความจุความร้อนจำเพาะ(C)		M g.mol ⁻¹	ความจุความร้อนโมลาร์ J.mol ⁻¹ . (C°) ⁻¹
	J.Kg ⁻¹ . (C°) ⁻¹	Cal.g ⁻¹ . (C°) ⁻¹		
อะลูมิเนียม	900	0.215	27.0	24.6
เบอริลเลียม	1970	0.417	9.01	17.7
ทองแดง	390	0.093	63.5	24.8
เอทานอล	2428	0.58	46.0	112.0
น้ำแข็ง(25°Cถึง0°C)	2000	0.48	18.0	36.5
เหล็ก	470	0.112	55.9	26.3
ตะกั่ว0-300°C	130	0.031	207.0	26.9
ปรอท	138	0.033	201.0	27.7
เกลือ	879	0.21	58.5	51.4
เงิน	234	0.056	108.0	25.3
น้ำ	4190	1.00	18.0	75.4

(ที่มา: ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล)

3. การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer)

การวิเคราะห์เรื่องการถ่ายเทความร้อนนี้ ถูกพัฒนามาจากทางเทอร์โมไดนามิกส์ว่าด้วยกฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน จากกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ และสมการคำนวณอัตราความร้อนเกี่ยวกับการนำ (conduction) การพา (convection) และการแผ่รังสี (radiation) สมการคำนวณอัตราความร้อนนี้ จากการสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติทางกายภาพของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน แล้วใช้คณิตศาสตร์เป็นแบบจำลองเพื่อปรากฏการณ์นั้น

การถ่ายเทความร้อนความร้อนผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งเรียกว่า การนำความร้อน จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระดับโมเลกุลของวัตถุ การแผ่รังสีความร้อน (radiation) เป็นขบวนการเคลื่อนย้ายพลังงานโดยแพรรังสีโฟตรอน (photon) จากพื้นผิวหนึ่งไปยังอีกพื้นผิวหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแผ่รังสีความร้อนนี้สามารถส่งผ่านบริเวณสุญญากาศได้ และไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวกลางใด ๆ ที่เชื่อมระหว่างพื้นผิวทั้งสอง ส่วนการพาความร้อน (convection) ขึ้นอยู่กับการนำความร้อนที่บริเวณผิวของแข็งไปยังของไหลรอบข้างและของไหลนั้นเคลื่อนตัวไปตามผิว หรือเคลื่อนตัวออกไปแต่อย่างไรก็ตาม การถ่ายเทความร้อนทั้งสาม ก็มีลักษณะร่วมที่เหมือนกัน คือ ต่างก็ขึ้นกับอุณหภูมิ และ ขนาดของวัตถุที่พิจารณา

3.1 การนำความร้อน (Conduction)

จากการสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติ และการพิจารณาอย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอน ทำให้เราสามารถสร้างสมการนำความร้อนขึ้นมาได้ จากการพิจารณาถึงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทในแท่งวัตถุแข็ง พบว่าเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาว Fourier ได้สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ขึ้นมาสำหรับกระบวนการเช่นนี้ เป็นปัญหามิติเดียว (one dimension)

$$q = -kA \frac{\Delta t}{L} \quad (1.12)$$

โดยที่ A = พื้นที่หน้าตัดขวาง, m^2

Δt = ความแตกต่างอุณหภูมิ, m

L = ความยาว, m

k = ค่าการนำความร้อน, $W/m \cdot K$ (thermal conductivity)

ค่า k นี้จะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของวัตถุแต่ละชนิด และอัตราส่วน k/L จะถูกเรียกว่า "Conductance" ค่าการนำความร้อนซึ่งเป็นตัวบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุนี้ จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของวัตถุนั้น ๆ วัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแน่นอน เช่น พวกโลหะ การส่งถ่ายพลังงานระหว่างโมเลกุล ก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าวัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่แน่นอน สะเปะสะปะ เช่น พวกอโลหะ จำนวนอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ในโลหะ ก็จะส่งผลต่อการเพิ่มค่าการนำความร้อนขึ้นเช่นกัน ดังนั้น สำหรับวัตถุที่มีการนำไฟฟ้าที่ดีก็มักจะมีการนำความร้อนที่ดีเช่นกัน ค่าการนำความร้อนของของแข็งพวกสารอนินทรีย์มักจะต่ำกว่าพวกโลหะ ส่วนวัตถุพวกสารอินทรีย์ หรือสารเส้นใยต่างๆ ยังมีค่าต่ำลงไปอีก และในสารอโลหะในสภาพของเหลว ก็จะมีค่าต่ำกว่าในสภาพของแข็ง เช่นเดียวกับแก๊สในบรรยากาศก็มีค่าต่ำเช่นกัน ตารางที่ 1 แสดงค่าของการนำความร้อนของวัตถุต่างๆ สมการการนำความร้อน ปกติมักจะถูกแสดงในรูปของดิฟเฟอเรนเชียล

$$q = -kA \frac{dt}{dx}$$

ตารางที่ (2) แสดงค่า Thermal conductivity ของวัสดุบางชนิด

วัสดุ	อุณหภูมิ °C	ความหนาแน่น kg/m ³	Conductivity, W/m-k
Aluminum	(pure) 20	2707	204
Copper	(pure) 20	8954	386
Face	brick 20	2000	1.32
Glass	(window) 20	2700	0.78
Water	21	997	0.604
Wood (yellow pine)	23	640	1.147
Air	27	1.177	0.026

(ที่มา: การทำความเย็น, มหาวิทยาลัยสารคาม)

3.2 การแผ่รังสีความร้อน(Radiation)

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น พลังงานในการแผ่รังสีความร้อนมีผลจากโฟตรอนเคลื่อนย้ายจากพื้นผิวหนึ่งไปสู่อีกพื้นผิวหนึ่ง เมื่อโฟตรอนเคลื่อนมาถึงพื้นผิว มันอาจถูกดูดกลืนไว้โดยพื้นผิว สะท้อนกลับหรือส่งทะลุผ่านพื้นผิวนั้นๆ ไปพลังงานในการแผ่รังสีจากพื้นผิวนี้จะถูกนิยามอยู่ในรูปของ emissive power ซึ่งเราสามารถแสดงโดยผลทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ว่า emissive power จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ อุณหภูมิสมบูรณ์ยกกำลังสี่ สำหรับวัตถุที่เป็นตัวแผ่รังสีได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งมักเรียกว่า black body ค่า emissive power (EW/m) จะมีค่าเท่ากับ

$$E_b = \sigma T^4$$

โดยที่ σ = Stefan-Boltzmann constant = $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

T = อุณหภูมิสมบูรณ์, K

3.3 การพาความร้อน(Convection)

สมการการถ่ายเทความร้อนแบบการพานี้ ถูกนำเสนอโดยนิวตัน (Newton) ในปี ค.ศ. 1701

$$q = h_c A (t_s - t_f) \quad (1.14)$$

โดยที่ $h_c =$ convectioun coefficient, $W/m^2 \cdot K$

$t_s =$ อุณหภูมิที่พื้นผิว, $^{\circ}C$

$t_f =$ อุณหภูมิของไหล, $^{\circ}C$

ในการวิเคราะห์ปัญหาทางการพาความร้อนนั้น สิ่งสำคัญที่สุดก็คือ การหาค่า h จากการทดลองพบว่า ค่า h สำหรับของไหลไหลบนพื้นราบหรือในท่อ หรือผ่านชุดท่อวางขวางจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล คุณสมบัติของของไหล และรูปทรงเรขาคณิตของพื้นผิว ทฤษฎีต่างๆได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อสนับสนุนความสัมพันธ์ต่างๆที่ได้จากการทดลอง และใช้ในการทำนายพฤติกรรมในการไหลอื่นๆในเงื่อนไขที่ไม่สามารถทดลองได้ ซึ่งในทางวิเคราะห์ทางวิศวกรรมเกี่ยวกับเรื่องนี้ มักจะเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆเสียมากกว่าทฤษฎี เอมไร์หน่วยหลายตัวได้ถูกสร้างขึ้นมาใช้กับพื้นฐานในการวิเคราะห์โดยใช้วิธี dimensional analysis ซึ่งมีการรวมกลุ่มตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการพาความร้อนเข้าด้วยกัน รายละเอียดต่างๆสามารถหาอ่านได้จากหนังสือตำรา Heat transfer ทั่วไป ในที่นี้จะเพียงแต่นำความสัมพันธ์ต่างๆที่สำคัญ และถูกนำมาใช้บ่อยๆในการคำนวณหาค่า h :

$$\text{Reynolds number, } Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$\text{Prandtl number, } Pr = \frac{\mu c_p}{K}$$

$$\text{Nusselt number, } Nu = \frac{h_c D}{k}$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu , Re และ Pr สามารถแสดงอยู่ในรูป

$$Nu = C (Re^n) (Pr^m)$$

4. ค่าความร้อน

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่เป็นค่าพลังงานที่เชื้อเพลิงปล่อยออกมาในรูปของความร้อนเป็นตัวเลขวที่สำคัญสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของระบบ ค่าความร้อนได้จากการทดลองให้เชื้อเพลิงสันดาปภายใต้ปริมาตรที่จำกัดและมีออกซิเจนที่เพียงพอ ระหว่างปฏิกิริยาสันดาปความร้อนจะถูกปล่อยออกมา ซึ่งปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกวัดค่าเป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

ตารางที่3 ค่าความร้อนของถ่านและฟืนโดยปริมาณ

ประเภทของเชื้อเพลิง	ค่าความร้อน(KJ/kg)	ค่าความร้อน(Kcal/kg)
ฟืน	15,990	3,820
ถ่านไม้	28,880	6,900
แกลบ	14,400	3,440
ขานอ้อย	7,530	1,800

(ที่มา : ประสาท เจาะบำรุง.2550)

ตารางที่ (4) คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิง	ค่าความร้อน(Kcal/kg)
briquette	5,000 ~ 7,500
ถ่านไม้	6,700 ~ 7,500
ฟืน	3,000 ~ 4,000

(ที่มา: โยชิฮิโกะ ทาคามูระ.2525)

5. ความร้อนแฝงแห่งการกลายเป็นไอ เปลี่ยนแปลงได้

ถ้าจุดเดือดเปลี่ยนแปลง ความร้อนแฝงแห่งการกลายเป็นไออาจจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย นี้หมายความว่า เมื่อของเหลว 1 กรัม กลายเป็นไอ ณ อุณหภูมิต่างๆกัน จะต้องการความร้อนแฝงไม่เท่ากัน

ถ้าน้ำเดือดที่ 0°C ความร้อนแฝงแห่งการกลายเป็นไอ = 596.6 Cal/g.

25°C ความร้อนแฝงแห่งการกลายเป็นไอ = 581.9 Cal/g.

50°C ความร้อนแฝงแห่งการกลายเป็นไอ = 566.6 Cal/g.

75°C ความร้อนแฝงแห่งการกลายเป็นไอ = 546.5 Cal/g.

100°C ความร้อนแฝงแห่งการกลายเป็นไอ = 536.5 Cal/g.

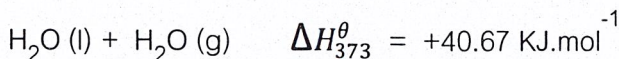
สำหรับ น้ำ มีสูตรสำหรับแก้ดังนี้ คือ

$$L = 596.6 - 0.601 t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $t =$ เป็นอุณหภูมิที่น้ำเดือด

$$\begin{aligned} \text{ตัวอย่าง} &= 596.6 - (0.601 \times 69.33) \\ &= 554.93 \end{aligned}$$



สมการนี้มีชื่อว่า " สมการเทอร์โมเคมี " สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การระเหยของน้ำที่ 100 °C ความร้อนของการระเหย(heat of vaporization) มีค่าเท่ากับ

40.67 KJ.mol⁻¹ (สุรพงษ์ สุวจิตตานนท์, 2527)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัญจนา บุญยเกียรติ และ เพ็ญพรพรค ทศคร (2521) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือใช้ ทางอุตสาหกรรมและการเกษตรที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ 3 ชนิด คือ แกลบ ชี้เลี้ยง และ ชานอ้อย โดยนำมาอัดเป็นก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ภายใต้อุณหภูมิ 53 - 1,070 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และใช้ตัวยึดได้แก่ซีเมนต์ และแป้งเปียก พบว่าชี้เลี้ยงและชานอ้อยสามารถนำมาอัดให้ติดกันเป็นก้อนได้โดยไม่ต้องใช้ตัวยึด ส่วนแกลบต้องใช้ตัวยึด และ/หรือผสมกับชี้เลี้ยงหรือชานอ้อย จึงจะติดกันเป็นก้อนได้ หลังจากเก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกอย่างน้อย 2 เดือน แล้วนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลง และคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักร้อยละที่ร่วนออกมา ความชื้น ซีเมนต์ ปริมาณกำมะถัน ค่าความร้อน และคุณสมบัติต่างในการไหม้ไฟและการให้ความร้อนเมื่อเทียบกับถ่านไม้พบว่า ก้อนเชื้อเพลิงผสมระหว่าง แกลบ- ชานอ้อยมีการแตกร่วนน้อยที่สุด (1.53%) และชี้เลี้ยงมีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด (6.19%) สำหรับคุณสมบัติในการไหม้ไฟพบว่า ก้อนเชื้อเพลิงเกือบทุกชนิดทำให้น้ำเดือดได้เร็วกว่าถ่านไม้และมีควันออกเมื่อเริ่มลุกไหม้

นางสาวเกศกนก จันทรมาศ และ นายวิฑูรย์ เจริญพิมาย (2546) ศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาหาอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อนำมาทำถ่านชีวภาพ วัสดุที่นำมาใช้คือ ชานอ้อย ลำต้นมันสำปะหลัง และกาบมะพร้าว โดยใช้มูลสัตว์เป็นตัวประสาน ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองประกอบด้วยชุดการทดลองดังนี้ ชานอ้อยเพียงอย่างเดียว, ชานอ้อยผสมกับกาบมะพร้าว ในอัตราส่วน 1:1:1 ถึง 4:1:1 ชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลัง ในอัตราส่วน 1:1:1 ถึง 4:1:1 และ นำวัสดุทั้งสามชนิดมาผสมกัน แล้วนำมาอัดเป็นแท่ง วัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter พบว่าค่าความร้อนเฉลี่ยที่วัดได้คือ 3113.61, 3168.68, 3353.95, 3401.26, 3195.88, 3157.06, 3191.84, 2955.10, 3901.46 และ 3239.24 KCal/g ตามลำดับ อัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยมากที่สุดคือ ชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลังในอัตราส่วน 4:1:1 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลังในอัตราส่วน 3:1:1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากค่าความร้อนการต้ม น้ำ ปริมาณควัน และลักษณะของถ่าน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคือ อัตราส่วน 2:1:1 ทั้ง ชานอ้อยผสมลำต้นมันสำปะหลัง และชานอ้อยผสมกากมะพร้าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการวิจัย (Research Methodologies)

ในการดำเนินการศึกษาค่าความร้อนการเผาไหม้ของถ่าน 2 ชนิด ระหว่างถ่านอัดแท่ง (จากแกลบผสมขี้เถ้า, ถ่านไม้ไผ่) กับถ่านฟืน (ถ่านไม้ไผ่, ไม้โกงกาง) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยเน้นระยะเวลาการเผาไหม้และปริมาณความร้อน ของถ่านฟืน(ถ่านไม้ไผ่, ไม้โกงกาง) และถ่านอัดแท่ง(จากแกลบผสมขี้เถ้า, ถ่านไม้ไผ่) ที่พบและจำหน่ายในท้องตลาด การดำเนินการศึกษาครั้งนี้ เพื่อให้บรรลุไปตามวัตถุประสงค์ จึงมีขั้นตอนในการศึกษาวิจัยและวิธีการ ดังนี้

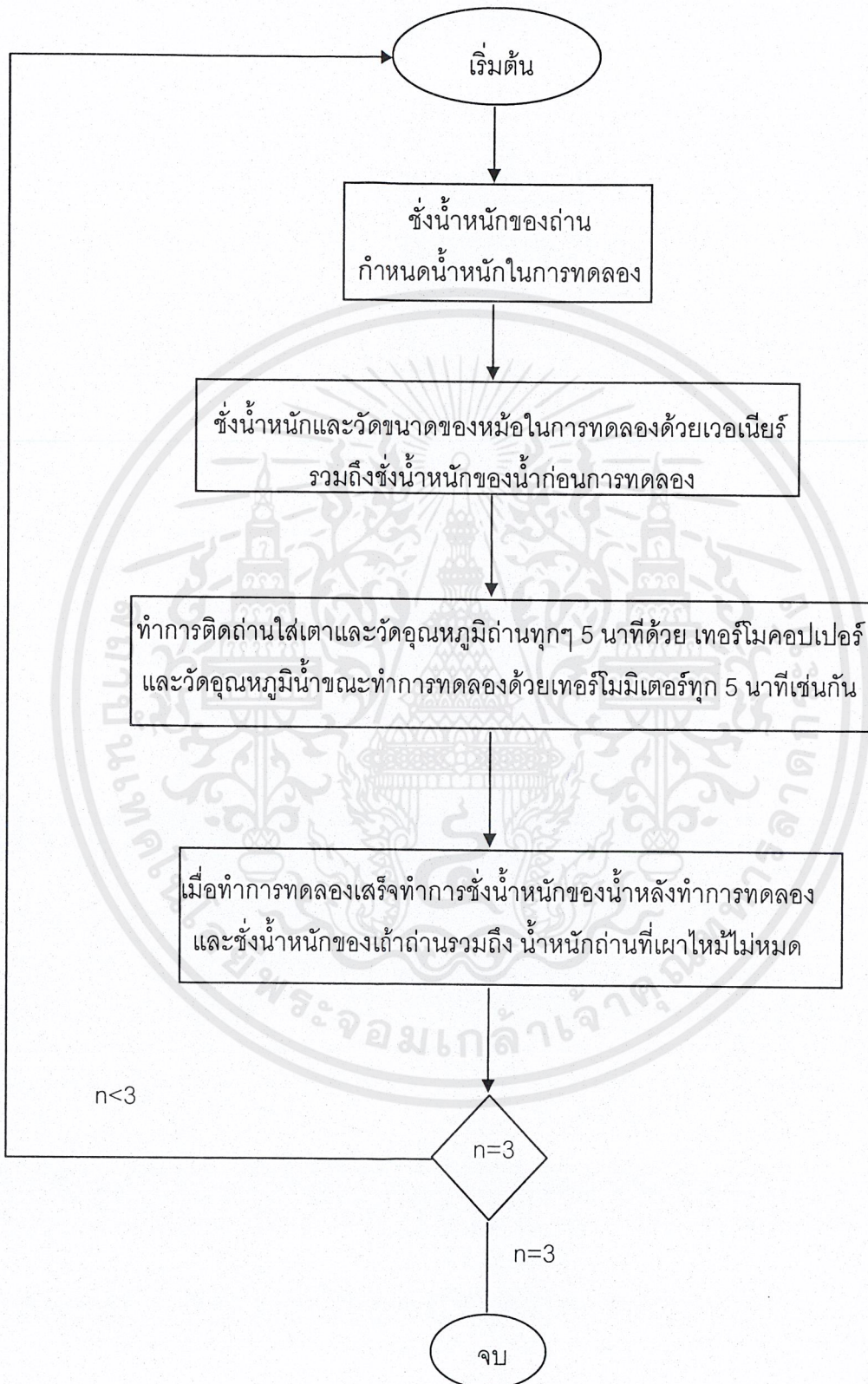
ขั้นตอนในการศึกษา

1. ทำการศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้นของถ่านฟืน (ถ่านไม้ไผ่, ไม้โกงกาง) และถ่านอัดแท่ง (จากแกลบผสมขี้เถ้า, ถ่านไม้ไผ่)
2. ทำการศึกษาค่าความร้อนการเผาไหม้ของถ่านฟืน (ถ่านไม้ไผ่, ไม้โกงกาง) และถ่านอัดแท่ง(จากแกลบผสมขี้เถ้า, ถ่านไม้ไผ่)
3. ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง
4. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง

ขั้นตอนในการหาข้อมูล

1. ค้นหาข้อมูลจากหนังสือในห้องสมุดที่ต่างๆและอินเทอร์เน็ต
2. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเรียบเรียงและนำไปออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองศึกษาค่าความร้อนการเผาไหม้ของถ่านแต่ละชนิด



ตารางที่ (5) ตารางบันทึกผลการทดลอง

ถ่านอัดแท่งจากแกลบผสมขี้เถ้า จากโครงการหลวงส่วนพระองค์ฯ

การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
น้ำหนักถ่าน	397.16	กรัม	น้ำหนักถ่าน	348.05	กรัม	น้ำหนักถ่าน	369.84	กรัม
น้ำหนักน้ำ	655.27	กรัม	น้ำหนักน้ำ	635.58	กรัม	น้ำหนักน้ำ	629.55	กรัม
น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	434.40	กรัม	น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	432.17	กรัม	น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	440.02	กรัม
น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	1089.67	กรัม	น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	1067.75	กรัม	น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	1069.57	กรัม
น้ำหนักขวด	479.41	กรัม	น้ำหนักขวด	479.41	กรัม	น้ำหนักขวด	479.41	กรัม
น้ำหนักถ่านที่ต้มแล้ว	34.74	กรัม	น้ำหนักถ่านที่ต้มแล้ว	15.42	กรัม	น้ำหนักถ่านที่ต้มแล้ว	16.06	กรัม
น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	123.20	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	313.87	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	46.59	กรัม
น้ำหนักกระดาษรองถ่าน	2.74	กรัม	น้ำหนักกระดาษรองถ่าน	2.74	กรัม	น้ำหนักกระดาษรองถ่าน	3.30	กรัม
น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	0	กรัม	น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	2.43	กรัม	น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	0	กรัม
น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	532.07	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	321.71	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	582.96	กรัม
เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	2.20	ชั่วโมง	เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	2.18	ชั่วโมง	เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	2.14	ชั่วโมง

การทดลองที่ 1					การทดลองที่ 2					การทดลองที่ 3					เฉลี่ยอุณหภูมิถ่าน °C	เฉลี่ยอุณหภูมิน้ำที่		
นาที่ที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม	ระยะเวลาที่น้ำ	อุณหภูมิถ่านที่น้ำ	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม	ระยะเวลาที่น้ำ	อุณหภูมิถ่านที่น้ำ	อุณหภูมิถ่านที่	นาที่ที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม	ระยะเวลาที่น้ำ	อุณหภูมิถ่านที่น้ำ			อุณหภูมิถ่านที่	
0	25	25			0	25	25			0	25	25			25	25		
5	405	60			5	416	56			5	511	65			444	60.33		
10	520	82			10	500	79			10	600	74			540	78.33		
15	826	87			15	705	87	18.36	719	98	15	646	85		725.67	86.33		
20	705	94	21.02	835	95	20	724	98			20	717	90	21.28	733	90	715.33	94
25	692	95			25	690	95	29.59	621	95	25	684	91	28.03	615	92	688.67	93.67
30	687	93			30	679	95				30	617	92				661	93.33
35	655	91			35	654	91				35	789	89				699.33	90.33
40	634	89			40	619	89				40	792	89				681.67	89
45	627	89			45	607	89				45	799	89				677.67	89
50	602	87			50	605	86				50	603	87				603.33	86.67
55	587	87			55	601	86				55	606	86				598	86.33
60	561	85			60	598	85				60	602	85				587	85
65	582	84			65	584	85				65	595	80				587	83
70	592	84			70	571	84				70	577	80				580	86.67
75	595	84			75	557	83				75	550	74				567.33	80.33
80	597	83			80	520	83				80	547	76				554.67	80.67
85	599	82			85	516	82				85	529	78				548	80.67
90	601	80			90	493	81				90	486	71				526.67	77.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ (6) ตารางบันทึกผลการทดลอง

ถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ จ . ลำปาง

การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
น้ำหนักถ่าน	371.50	กรัม	น้ำหนักถ่าน	374.20	กรัม	น้ำหนักถ่าน	413.56	กรัม
น้ำหนักน้ำ	705.58	กรัม	น้ำหนักน้ำ	768.03	กรัม	น้ำหนักน้ำ	703.95	กรัม
น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	437.70	กรัม	น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	420.89	กรัม	น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	432.16	กรัม
น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	1143.28	กรัม	น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	1188.92	กรัม	น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	1136.11	กรัม
น้ำหนักขวด	479.41	กรัม	น้ำหนักขวด	479.41	กรัม	น้ำหนักขวด	479.41	กรัม
น้ำหนักเต้าถ่าน	41.28	กรัม	น้ำหนักเต้าถ่าน	47.56	กรัม	น้ำหนักเต้าถ่าน	47.63	กรัม
น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	271.88	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	288.62	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	296.14	กรัม
น้ำหนักกระดาษรองเต้าถ่าน	3.17	กรัม	น้ำหนักกระดาษรองเต้าถ่าน	3.69	กรัม	น้ำหนักกระดาษรองเต้าถ่าน	3.22	กรัม
น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	0	กรัม	น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	0	กรัม	น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	0	กรัม
น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	433.70	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	479.41	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	407.81	กรัม
เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	2.11	ชั่วโมง	เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	2.3	ชั่วโมง	เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	2.10	ชั่วโมง

นาทีที่	การทดลองที่ 1					การทดลองที่ 2					การทดลองที่ 3					เฉลี่ยอุณหภูมิถ่าน °C	เฉลี่ยอุณหภูมิ น้ำที่		
	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิ น้ำที่ต้ม	ระยะเวลาที่น้ำ	อุณหภูมิถ่านที่น้ำ	อุณหภูมิ น้ำที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิ น้ำที่ต้ม	ระยะเวลาที่น้ำ	อุณหภูมิถ่านที่น้ำ	อุณหภูมิ น้ำที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิ น้ำที่ต้ม	ระยะเวลาที่น้ำ	อุณหภูมิถ่านที่น้ำ	อุณหภูมิ น้ำที่				
0	25	25				0	25	25				0	25	25				25	25
5	437	54				5	387	60				5	492	60				438.67	58
10	520	71				10	500	78				10	616	85				545.33	78
15	581	76				15	520	79				15	558	95	18.14	596	95	553	83.33
20	626	84				20	643	83				20	587	100				618.67	89
25	612	86				25	630	86				25	574	95				605.33	89
30	604	87				30	627	87				30	561	93				597.33	89
35	593	87				35	615	87				35	557	92				588.33	88.67
40	583	88				40	592	88				40	550	90				575	88.87
45	579	89	49.57	640	89	45	584	89				45	549	90				568.33	89.33
50	567	89				50	573	89				50	547	90				562.33	89.33
55	548	89				55	542	89				55	535	90				541.67	89.33
60	544	89				60	523	89				60	540	89				535.67	89
65	551	89				65	517	89				65	525	88				531	88.67
70	556	89				70	492	89				70	512	87				520	88.33
75	561	89				75	487	89				75	493	87				513.67	88.33
80	567	89				80	480	89				80	478	86				508.33	88
85	564	89	87.27	500	89	85	475	89				85	435	85				491.33	87.67
90	553	89				90	473	89				90	411	85				479	87.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ (7) ตารางบันทึกผลการทดลอง

ถ่านไม้ไผ่

การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
น้ำหนักถ่าน	435.52 กรัม		น้ำหนักถ่าน	427.64 กรัม		น้ำหนักถ่าน	439.76 กรัม	
น้ำหนักน้ำ	696.04 กรัม		น้ำหนักน้ำ	802.63 กรัม		น้ำหนักน้ำ	704.45 กรัม	
น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	234.70 กรัม		น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	232.68 กรัม		น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	241.39 กรัม	
น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	1039.74 กรัม		น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	1035.31 กรัม		น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	945.84 กรัม	
น้ำหนักขวด	479.41 กรัม		น้ำหนักขวด	479.41 กรัม		น้ำหนักขวด	479.41 กรัม	
น้ำหนักเก้าอี้ถ่าน	21.83 กรัม		น้ำหนักเก้าอี้ถ่าน	33.01 กรัม		น้ำหนักเก้าอี้ถ่าน	32.36 กรัม	
น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	224.59 กรัม		น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	335.20 กรัม		น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	343.11 กรัม	
น้ำหนักกระดาษรองเก้าอี้ถ่าน	3.08 กรัม		น้ำหนักกระดาษรองเก้าอี้ถ่าน	2.81 กรัม		น้ำหนักกระดาษรองเก้าอี้ถ่าน	3.22 กรัม	
น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	22.12 กรัม		น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	21.99 กรัม		น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	15.02 กรัม	
น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	236.75 กรัม		น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	467.43 กรัม		น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	361.34 กรัม	
เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	53.11 นาที		เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	57.19 นาที		เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	55.09 นาที	

การทดลองที่ 1					การทดลองที่ 2					การทดลองที่ 3					เฉลี่ยอุณหภูมิถ่าน °C		เฉลี่ยอุณหภูมิน้ำที่ทดลอง °C		
นาทีที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม °C	ระยะเวลาที่น้ำเดือด(นาที)	อุณหภูมิถ่านที่น้ำเดือด °C	นาทีที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม °C	ระยะเวลาที่น้ำเดือด(นาที)	อุณหภูมิถ่านที่น้ำเดือด °C	นาทีที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม °C	ระยะเวลาที่น้ำเดือด(นาที)	อุณหภูมิถ่านที่น้ำเดือด °C					
0	25	25			0	25	25			0	25	25			25		25		
5	903	100	5.20	866	100	5	953	98	5.38	793	98	5	918	75	7.16	924	100	924.67	91
10	859	98			10	837	98			10	882	98			859.67		98		
15	750	91			15	746	92			15	854	90			783.33		91		
20	623	87			20	728	92			20	787	85			716.67		88		
25	562	74			25	710	86			25	753	86			675		82		
30	465	71			30	653	80			30	695	84			604.33		78.33		
35	382	69			35	625	82			35	537	75			514.67		75.33		
40	357	65			40	587	75			40	483	70			475.67		70		
45	324	58			45	428	68			45	452	69			401.33		65		
50	281	47			50	325	64			50	354	63			320		58		
55	279	45			55	314	60			55	289	58			294		54.33		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ (8) ตารางบันทึกผลการทดลอง
ถ่านไม้โกงกาง

การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3		
น้ำหนักถ่าน	79.49	กรัม	น้ำหนักถ่าน	74.54	กรัม	น้ำหนักถ่าน	57.87	กรัม
น้ำหนักน้ำ	610.70	กรัม	น้ำหนักน้ำ	587.20	กรัม	น้ำหนักน้ำ	595.96	กรัม
น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	372.72	กรัม	น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	376.92	กรัม	น้ำหนักหม้อและฝาหม้อ	355.82	กรัม
น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	983.42	กรัม	น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	964.12	กรัม	น้ำหนักหม้อ ฝา และน้ำ	951.78	กรัม
น้ำหนักขวด	21.31	กรัม	น้ำหนักขวด	21.31	กรัม	น้ำหนักขวด	21.31	กรัม
น้ำหนักเต้าถ่าน	2.57	กรัม	น้ำหนักเต้าถ่าน	2.42	กรัม	น้ำหนักเต้าถ่าน	1.48	กรัม
น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	476.49	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	502.83	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ต้มแล้ว	534.92	กรัม
น้ำหนักกระดาษรองเต้าถ่าน	4.51	กรัม	น้ำหนักกระดาษรองเต้าถ่าน	2.89	กรัม	น้ำหนักกระดาษรองเต้าถ่าน	3.14	กรัม
น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	6.78	กรัม	น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	0	กรัม	น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมด	2.73	กรัม
น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	134.66	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	84.37	กรัม	น้ำหนักน้ำที่ระเหยไป	61.04	กรัม
เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	59.15	นาที	เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	1.10	ชั่วโมง	เวลาในการเผาไหม้ทั้งหมด	1.03	ชั่วโมง

การทดลองที่ 1					การทดลองที่ 2					การทดลองที่ 3					เฉลี่ยอุณหภูมิถ่าน °C	เฉลี่ยอุณหภูมิน้ำที่ทดลอง °C
นาทีที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม °C	ระยะเวลาที่น้ำเดือด	อุณหภูมิถ่านที่น้ำเดือด °C	นาทีที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม °C	ระยะเวลาที่น้ำเดือด	อุณหภูมิถ่านที่น้ำเดือด °C	นาทีที่	อุณหภูมิถ่าน °C	อุณหภูมิน้ำที่ต้ม °C	ระยะเวลาที่น้ำเดือด	อุณหภูมิถ่านที่น้ำเดือด °C		
0	25	25			0	25	25			0	25	25			25	25
5	426	50			5	392	43			5	384	48			400.67	47
10	620	64			10	535	51			10	412	53			522.33	56
15	629	73			15	595	60			15	423	57			549	63.33
20	610	80			20	616	63			20	485	61			570.33	68
25	608	79			25	608	65			25	582	65			599.33	69.67
30	575	75			30	546	68			30	594	67			571.67	70
35	520	73			35	492	67			35	473	70			445	70
40	481	72			40	464	65			40	459	62			468	66.33
45	446	70			45	431	63			45	427	57			434.67	66.33
50	386	65			50	416	60			50	386	54			394	59.67
55	298	63			55	367	58			55	323	51			329.33	57.33
60	287	61			60	324	55			60	292	47			303	54.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองเมื่อได้ผลการทดลองมาจะได้ค่าซึ่งจะต้องนำมาทำการคำนวณค่าต่างๆได้ดังนี้

1. การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากแคลบผสมซีลี้อย (ข้อมูลจากตารางที่ 5,9 และตารางภาคผนวกที่ 7)

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักถ่านอัดแท่งจากแคลบและซีลี้อย} &= \frac{\text{น้ำหนักถ่าน1(กรัม)} + \text{น้ำหนักถ่าน2(กรัม)}}{2} \\ &= \frac{397.17(\text{กรัม}) + 368.84(\text{กรัม})}{2} \\ &= \frac{767.00(\text{กรัม})}{2} \end{aligned}$$

$$\text{เฉลี่ย} = 383.5 \text{ กรัม}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักน้ำที่ระเหยจากการให้ความร้อน} &= \frac{\text{น้ำระเหย1(กรัม)} + \text{น้ำระเหย2(กรัม)}}{2} \\ &= \frac{532.07(\text{กรัม}) + 582.96(\text{กรัม})}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เฉลี่ย} &= \frac{1,115.03(\text{กรัม})}{2} \\ &= 557.515 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

จากสมการความร้อนคงที่ = ความร้อนเพิ่ม = ความร้อนลด

น้ำหนักถ่านอัดแท่งจากแคลบ + ซีลี้อย \times ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากแคลบผสม

ซีลี้อย = ความร้อนที่หม้อรับจากถ่าน + ความร้อนที่ทำให้น้ำในหม้อระเหย

ดังนั้น ความร้อนที่ทำให้น้ำในหม้อระเหย = มวลของน้ำที่ระเหยไป \times ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization)

$$\text{ความร้อนที่ทำให้น้ำในหม้อระเหย} = (557.515 \text{ g.})(540 \text{ cal.g}^{-1})$$

$$= 301.0581 \text{ K cal}$$

$$\approx 301.0581 \times 4.18 \text{ KJ}$$

$$\approx 1,258.42 \text{ KJ}$$

$$\text{ความร้อนที่หม้อรับจากถ่าน} = \frac{KA(\Delta T) \times t}{d}$$

ΔT คัดจากอุณหภูมิสูงที่สุด 3 อันดับคิดจากการทดลองที่ 1 และ 3 (ข้อมูลจากตารางที่ 5)

$$\Delta T \text{ ของอุณหภูมิถ่านเฉลี่ย} = 711.67 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T \text{ ของอุณหภูมิมิขณะทำการทดลองเฉลี่ย} = 90.33 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \Delta T = (711.67+273) - (90.33+273) = 621.34 \text{ K}$$

$$t = 1 \text{ sec} , d = 10^{-3} \text{ m} , K = 204 , A = \pi \left(\frac{9}{100} \right)^2 = 0.0254469 \text{ m}^2$$

จะแทนค่าได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ความร้อนที่หม้อรับจากถ่านสูงสุด} &= 204 \left(\frac{\text{J.s}^{-1}}{\text{m.k}} \right) \times 0.0254469 \text{ m}^2 \times 1 \text{ sec} \times 10^3 \text{ m}^{-1} \times 621.30 \text{ K} \\ &= 3,225.27 \times 10^3 \text{ J} \\ &= 3,225.27 \text{ KJ} \\ &\approx \frac{3,225.27}{4.18} \text{ Kcal} \\ &\approx 771.596 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

จากสมการความร้อนคงที่ = ความร้อนเพิ่ม = ความร้อนลด

มวลของถ่านอัดแท่ง \times ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง = ความร้อนหม้อ + ความร้อนที่น้ำระเหยกลายเป็นไอ

$$= 301.0581 + 771.596 \text{ kcal}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อย} &= \frac{1,072.6541 \text{ kcal}}{0.3835 \text{ kg}} \\ &\approx 2,797.01 \text{ Kcal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งแกลบและขี้เลื่อย} &= 3,225.27 + 1,258.42 \text{ KJ} \\ &= \frac{4,483.69 \text{ KJ}}{0.3835 \text{ kg}} \\ &= 11,691.49 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 และผลงานวิจัยของ น.ส.เกศกนก และ คณะ พบว่า ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งที่มีถ่านผสมขี้เลื่อย + ขี้เลื่อย มีค่าต่ำกว่า ถ่านอัดแท่งจากแกลบ อย่างเดียว คิดเป็นร้อยละ 22.98 แสดงว่า อัตราส่วนผสมของแกลบและขี้เลื่อยคิดประมาณ ได้ว่า 80:20 หรือ 4:1

2.การคำนวณหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจาก ถ่านไม้ไผ่ จ.ลำปาง (ข้อมูลจากตารางที่ 6,10 และตารางภาคผนวกที่ 8)

$$\text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย} = 386.42 \text{ g.}$$

$$\text{น้ำหนักน้ำที่ถูกระเหยจากความร้อน} = 440.31 \text{ g.}$$

จากสมการความร้อนคงที่

$$\text{น้ำหนักถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่} \times \text{ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่}$$

$$= \text{ความร้อนของหม้อของอลูมิเนียม} + \text{ความร้อนที่ทำให้น้ำในหม้อระเหย}$$

$$\text{ดังนั้น ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยไป} = \text{มวลของน้ำที่ระเหย} \times \text{ความร้อนแฝง}$$

$$= 440.31(\text{g}) \times 540 (\text{cal.g}^{-1})$$

$$= 237,767.4 \text{ cal}$$

$$= 237.767 \text{ kcal}$$

หรือ

$$= 237.767 \times 4.18 \text{ KJ}$$

$$= 993.867 \text{ KJ}$$

ปริมาณความร้อนที่หม้อจากถ่าน

$$= \frac{KA\Delta T t}{d}$$

ΔT คัดจากอุณหภูมิสูงที่สุด 3 อันดับ (ข้อมูลจากตารางที่ 6)

$$\Delta T \text{ ของอุณหภูมิถ่านเฉลี่ย} = 607.11$$

$$\Delta T \text{ ของอุณหภูมิขณะทำการทดลองเฉลี่ย} = 89$$

$$\therefore \Delta T = 607.11 - 89 = 518.11 \text{ K}$$

$$t = 1 \text{ sec} , d = 10^{-3} \text{ m} , K = 204 , A = \pi \left(\frac{9}{100} \right)^2 = 0.0254469 \text{ m}^2$$

$$\text{แทนค่า} = 204 \left(\frac{\text{J.s}^{-1}}{\text{m.k}} \right) \times 0.0254469 \text{ m}^2 \times 518.11 \text{ K} \times 1 \text{ sec} \times 10^3 \text{ m}^{-1} \times 621.30 \text{ K}$$

$$= 2,689.596 \times 10^3 \text{ J}$$

$$= 2,689.596 \text{ KJ}$$

จาก สมการความร้อนคงที่ จะได้

$$\text{มวลของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่} \times \text{ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง} =$$

$$\text{ความร้อนของหม้อ} + \text{ความร้อนของน้ำที่รับ}$$

$$0.38642 \text{ Kg} \times \text{ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง} = 2,689.596 + 993.867 \text{ KJ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 3,683.462 && \text{KJ} \\
 \therefore \text{ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่} &= \frac{3,683.462}{0.38642} && \text{KJ/Kg} \\
 &= 9,532.28 && \text{KJ/Kg} \\
 \text{หรือ} &= \frac{9,532.28 \text{ KJ.kg.}}{4.18 \text{ Kcal}} \\
 &= 2,280.45 && \text{Kcal/Kg}
 \end{aligned}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 พบว่าค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของถ่านไม้ไผ่ มีค่าเทียบได้กับเชื้อเพลิงฟอสซิล แต่ว่ามีค่าต่ำกว่า คิดเป็นร้อยละ 30 แสดงว่าอัตราส่วนผสมของถ่านไม้ไผ่อัดแท่งและวัสดุอื่นๆคิดเป็นประมาณร้อยละ 70 : 30 หรือ 7 : 3 แต่ถ้าเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของถ่านไม้ไผ่ที่ได้จากการทดลองจะพบว่า มีค่าต่ำกว่า คิดเป็นร้อยละ 25.3 หรือประมาณ 25 % แสดงว่า อัตราส่วนผสมของส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้และวัสดุอื่นๆ คิดเป็น 75:25 หรือ 3 : 1

3.การคำนวณค่าความร้อนของ ถ่านไม้ไผ่ จ.ลำปาง (จากตารางที่ 7,11 และตารางภาคผนวกที่ 9)

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย} &= 434.31\text{g.} \\
 \text{น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมดเฉลี่ย} &= 19.71 \text{ g.} \\
 \therefore \text{น้ำหนักถ่านที่ใช้จริง} &= 434.31 \text{ g.} - 19.71 \text{ g.} \\
 &= 414.6 \text{ g.} \\
 \text{น้ำหนักน้ำที่ถูกระเหยจากความร้อน} &= 389.51 \text{ g.} \\
 \text{ความร้อนที่ทำให้ให้น้ำในหม้อระเหย} &= \text{มวลของน้ำ} \times \text{ความร้อนแฝง} \\
 &= 389.51 \text{ g.} \times 540 \text{ cal.g}^{-1} \\
 &= 210.34 \text{ Kcal} \\
 \text{หรือ} &= 210.34 \times 4.18 \text{ KJ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณความร้อนที่หม้อจากถ่าน} &= \frac{KA\Delta T_{xt}}{d} \\
 \Delta T \text{ คิดจากอุณหภูมิสูงที่สุด 3 อันดับ (ข้อมูลจากตารางที่ 7)} & \\
 \Delta T \text{ ของอุณหภูมิถ่านเฉลี่ย} &= 855.89 \\
 \Delta T \text{ ของอุณหภูมิตั้งแต่การทดลองเฉลี่ย} &= 93.34 \\
 \therefore \Delta T &= 855.89 - 93.34 = 762.55 \text{ K}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t = 1 \text{ sec} , d = 10^{-3} \text{ m} , K = 204 , A = \pi \left(\frac{9}{100} \right)^2 = 0.0254469 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} &= 204 \left(\frac{\text{J} \cdot \text{s}^{-1}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right) \times 0.0254469 \text{ m}^2 \times 762.55 \text{ K} \times 1 \text{ sec} \times 10^3 \text{ m}^{-1} \\ &= 3,958.53 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{มวลของถ่านไม้} \times \text{ค่าความร้อนของถ่านไม้} &= \text{ความร้อนของหม้อ} + \text{ความร้อนของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ} \\ &= 3,958.53 + 879.20 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความร้อนของถ่านไม้} &= \frac{4,837.73 \text{ KJ}}{0.4146 \text{ Kg}} \\ &= 11,668.42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าความร้อนของถ่านไม้} &= 11,668.42 \text{ KJ/K} \\ &= \frac{11,668.42}{4.18} \text{ Kcal/kg} \\ &\cong 2,791.48 \text{ Kcal/kg} \end{aligned}$$

สรุปได้ว่า ค่าความร้อนของถ่านไม้ ไร่ธรรมชาติ กับถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ ไร่ มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระดับเดียวกันกับเชื้อเพลิงฟอสซิล ที่ค่าประมาณ 3,000 Kcal/Kg หรือ 12,540 KJ/Kg

4. การคำนวณหาค่าความร้อนของ ถ่านไม้โกงกาง (ข้อมูลจากตารางที่ 8,12 และตารางภาคผนวกที่ 10)

$$\text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย} = 67.9 \text{ g.}$$

$$\text{น้ำหนักถ่านที่เผาไหม้ไม่หมดเฉลี่ย} = 2.26 \text{ g.}$$

$$\therefore \text{น้ำหนักถ่านที่ใช้จริง} = 67.9 \text{ g.} - 2.26 \text{ g.}$$

$$= 65.64 \text{ g.}$$

$$\text{น้ำหนักน้ำที่ถูกระเหยจากความร้อน} = 93.35 \text{ g.}$$

$$\text{ความร้อนที่ทำให้ให้น้ำในหม้อระเหย} = \text{มวลของน้ำ} \times \text{ความร้อนแฝง}$$

เมื่อความร้อนแฝงของน้ำมีค่าต่ำ (จากข้อมูลบทที่ 2) โดยคิดจาก

$$L = 596.6 - 0.601t \text{ cal/g.}$$

$$\text{เมื่อ } t \text{ เป็นอุณหภูมิที่น้ำเดือด} = 596.6 - (0.601 \times 69.33)$$

$$= 544.93 \text{ cal/g}^{-1}$$

$$\text{จากข้างต้นจะแทนค่าได้ดังนี้} = 93.35 \text{ g.} \times 544.93 \text{ cal.g}^{-1}$$

$$= 51.802 \text{ Kcal}$$

$$\text{หรือ} = 51.802 \times 4.18 \text{ KJ (เมื่อ } 4.18 = 1 \text{ Kcal)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 216.843 \text{ KJ}$$

$$\text{จากสูตร ปริมาณความร้อนที่หม้อจากถ่าน} = \frac{KA\Delta T t}{d}$$

ΔT คัดจากอุณหภูมิสูงที่สุด 3 อันดับ (ข้อมูลจากตารางที่ 8)

$$\Delta T \text{ ของอุณหภูมิถ่านเฉลี่ย} = 580.44$$

$$\Delta T \text{ ของอุณหภูมิมิขณะทำการทดลองเฉลี่ย} = 69.33$$

$$\therefore \Delta T = 580.44 - 69.33 = 511.11 \text{ K}$$

$$t = 1 \text{ sec}, d = 10^{-3} \text{ m}, K = 204, A = \pi \left(\frac{9}{100}\right)^2 = 0.0254469 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} &= 204 \left(\frac{\text{J}\cdot\text{s}^{-1}}{\text{m}\cdot\text{K}}\right) \times 0.0254469 \text{ m}^2 \times 511.11 \text{ K} \times 1 \text{ sec} \times 10^{-3} \text{ m}^{-1} \\ &= 2,6532 \text{ KJ} \end{aligned}$$

\therefore มวลของถ่านไม้โกงกาง \times ค่าความร้อนของถ่านไม้โกงกาง = ความร้อนของหม้อ + ความร้อนของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ

$$= 2,653.25 + 216.843 \text{ KJ}$$

$$= 2,870.09 \text{ KJ}$$

$$= \frac{2,870.09 \text{ KJ}}{0.06564 \text{ Kg}}$$

$$= 43724.71 \text{ KJ/Kg}$$

$$\text{ค่าความร้อนของถ่านไม้โกงกางธรรมชาติ} = \frac{43724.71}{4.18} \text{ Kcal/kg}$$

$$= 10460.45 \text{ Kcal/kg}$$

ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่าความร้อนของถ่านไม้โกงกางธรรมชาติให้ความร้อนสูงกว่าถ่านไม้ไผ่(จากตารางที่ 3)และให้ค่าความร้อนสูงกว่าถ่านอัดแท่ง (จากตารางที่ 4)โดยให้ค่าความร้อนสูงถึง 10460.45 Kcal/kg เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

5. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเป็นเถ้าถ่าน

ตัวอย่าง จากข้อมูลการทดลองของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เถ้าโดยการทดลองที่ 1 และ 3 (จากตารางที่ 5,9)

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{\text{น้ำหนักเถ้าถ่านเฉลี่ย}}{\text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าจะได้ว่า} & \quad \frac{25.4 \text{ g.}}{383.5 \text{ g.}} \times 100 \\ = & \quad 6.62 \% \end{aligned}$$

ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เถ้า 383.5 g. ให้ปริมาณเถ้าถ่าน 6.62 % ของถ่าน

ตัวอย่าง จากข้อมูลการทดลองของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เถ้าโดยการทดลองที่ 2 (จากตารางที่ 5,9)

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{\text{น้ำหนักเถ้าถ่านเฉลี่ย}}{\text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าจะได้ว่า} & \quad \frac{15.42 \text{ g.}}{369.84 \text{ g.}} \times 100 \\ = & \quad 4.16 \% \end{aligned}$$

ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เถ้า 369.84 g. ให้ปริมาณเถ้าถ่าน 4.16 % ของถ่าน

ตัวอย่าง จากข้อมูลการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ (จากตารางที่ 6,10)

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{\text{น้ำหนักเถ้าถ่านเฉลี่ย}}{\text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าจะได้ว่า} & \quad \frac{45.49 \text{ g.}}{386.42 \text{ g.}} \times 100 \\ = & \quad 11.77 \% \end{aligned}$$

ดังนั้นถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ 386.42g. ให้ปริมาณเถ้าถ่าน 11.77 % ของถ่าน

ตัวอย่าง จากข้อมูลการทดลองของถ่านไม้ไผ่ธรรมชาติ (จากตารางที่ 7,11)

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{\text{น้ำหนักเถ้าถ่านเฉลี่ย}}{\text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าจะได้ว่า} & \quad \frac{29.06 \text{ g.}}{434.06 \text{ g.}} \times 100 \\ & = 6.69 \% \end{aligned}$$

ดังนั้นถ่านไม้ไผ่ธรรมชาติ 434.06g. ให้ปริมาณถ่าน 6.69 % ของถ่าน

ตัวอย่าง จากข้อมูลการทดลองของถ่านไม้โกงกางธรรมชาติ (จากตารางที่ 8,12)

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{\text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย}}{\text{น้ำหนักถ่านเฉลี่ย}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าจะได้ว่า} & \quad \frac{2.15 \text{ g.}}{67.96 \text{ g.}} \times 100 \\ & = 3.16 \% \end{aligned}$$

ดังนั้นถ่านไม้โกงกางธรรมชาติ 67.96 g. ให้ปริมาณถ่าน 3.16 % ของถ่าน

บทที่ 4

ผลการทดลอง(Results)

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เถ้าจาก โครงการสวนพระองค์

จากการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เถ้าที่ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง 25° C ในการทดลองที่ 1 มีอุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 583.78 °C และอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 82.15 °C การทดลองที่ 2 มีอุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 516.26°C และอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 82.05 °C การทดลองที่ 3 มีอุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 593.42°C และอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 79.26 °C ในการเฉลี่ยผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 579.49 °C และอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองที่ 81.16 °C และมีค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 725.67 °C และต่ำสุดอยู่ที่ 444 °C ส่วนอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะที่ต้มในการทดลองเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 94° C และต่ำสุดอยู่ที่ 60.33°C

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองการให้ปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อย

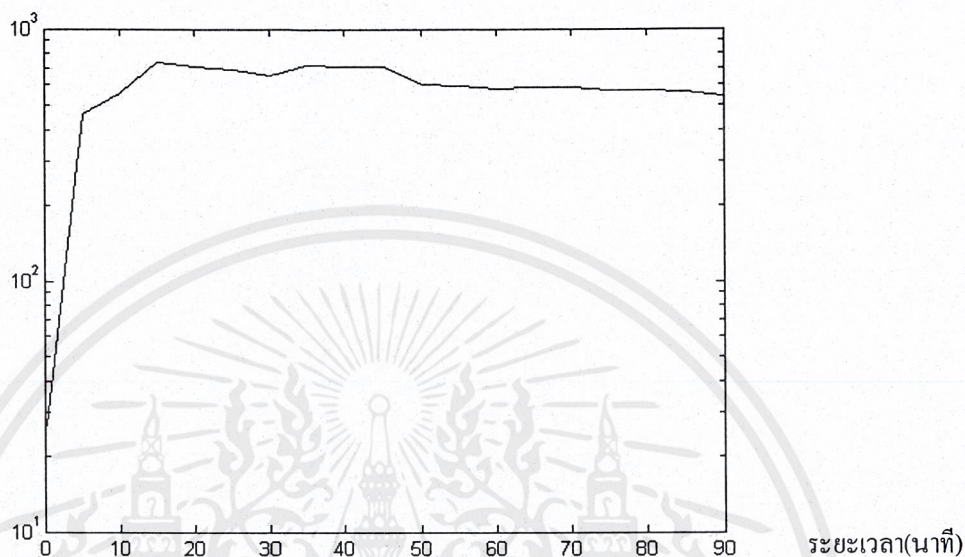
การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3			เฉลี่ยการทดลองที่ 1 และ 3		
นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)
0	25	25	0	25	25	0	25	25	0	+25.00	+25.00
5	405	60	5	416	56	5	511	65	5	+458.00	+62.50
10	520	82	10	500	79	10	600	74	10	+560.00	+78.00
15	826	87	15	705	87	15	646	85	15	+736.00	+86.00
20	705	94	20	724	98	20	717	90	20	-711.00	+92.00
25	692	95	25	690	95	25	684	91	25	-688.00	+93.00
30	687	93	30	679	95	30	617	92	30	-652.00	-92.50
35	655	91	35	654	91	35	789	89	35	+722.00	-90.00
40	634	89	40	619	89	40	792	89	40	-713.00	-89.00
45	627	89	45	607	89	45	799	89	45	-713.00	-89.00
50	602	87	50	605	86	50	603	87	50	-602.50	-87.00
55	587	87	55	601	86	55	606	86	55	-596.50	-86.50
60	561	85	60	598	85	60	602	85	60	-581.50	-85.00
65	582	84	65	584	85	65	595	80	65	+588.50	-82.00
70	592	84	70	571	84	70	577	80	70	-584.50	-82.00
75	595	84	75	557	83	75	550	74	75	-572.50	-79.00
80	597	83	80	520	83	80	547	76	80	-572.00	+79.50
85	599	82	85	516	82	85	529	78	85	-532.00	+80.00
90	601	80	90	493	81	90	486	71	90	+543.5	-75.50
เฉลี่ย	583.789	82.157	เฉลี่ย	561.263	82.052	เฉลี่ย	593.421	79.263	เฉลี่ย	588.605	80.710

*หมายเหตุเนื่องจากการทดลองที่ 2 มีขนาดเตาไม่เท่ากันจึงไม่นำผลการทดลองที่ 2 มาคิดเฉลี่ยด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

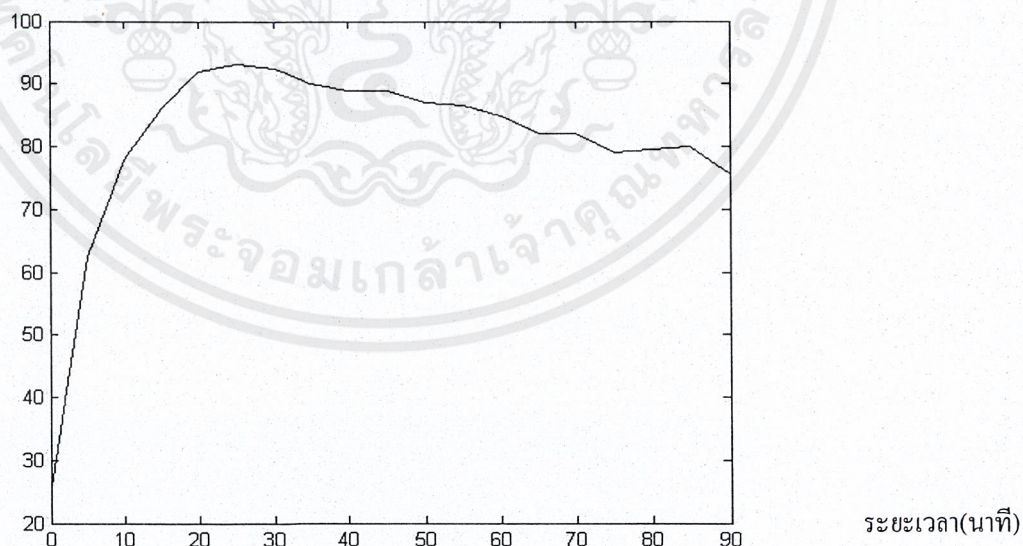
โดยข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาทำกราฟ ค่าอุณหภูมิความร้อนต่อเวลาได้ดังนี้

อุณหภูมิความร้อน ของถ่าน °C



กราฟที่ 1 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบ และซีลี้อยผลการศึกษาทดลองที่ 1 และ 3

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



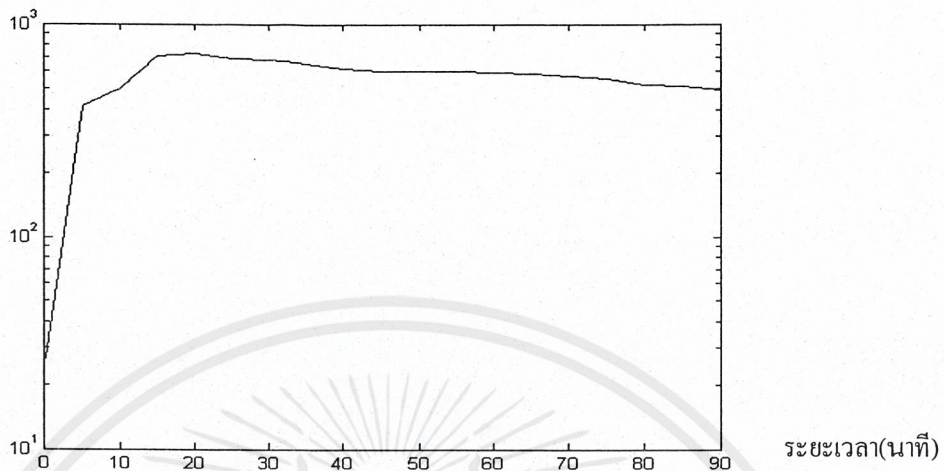
กราฟที่ 2 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและซีลี้อยผลการศึกษาทดลองที่ 1 และ 3

สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 1 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและซีลี้อยผลการทดลองที่ 1 และ 3	31
กราฟที่ 2 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและซีลี้อยผลการทดลองที่ 1 และ 3	31
กราฟที่ 3 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและซีลี้อยผลการทดลองที่ 2	32
กราฟที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและซีลี้อยผลการทดลองที่ 2	32
กราฟที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่	35
กราฟที่ 6 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่	35
กราฟที่ 7 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้ไผ่	37
กราฟที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้ไผ่	37
กราฟที่ 9 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้โกงกาง	39
กราฟที่ 10 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้โกงกาง	39
กราฟที่ 11 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะเวลาในการทดลอง	43
กราฟที่ 12 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะเวลาในการทดลอง	43
กราฟที่ 13 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทดลอง	44
กราฟที่ 14 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทดลอง	44

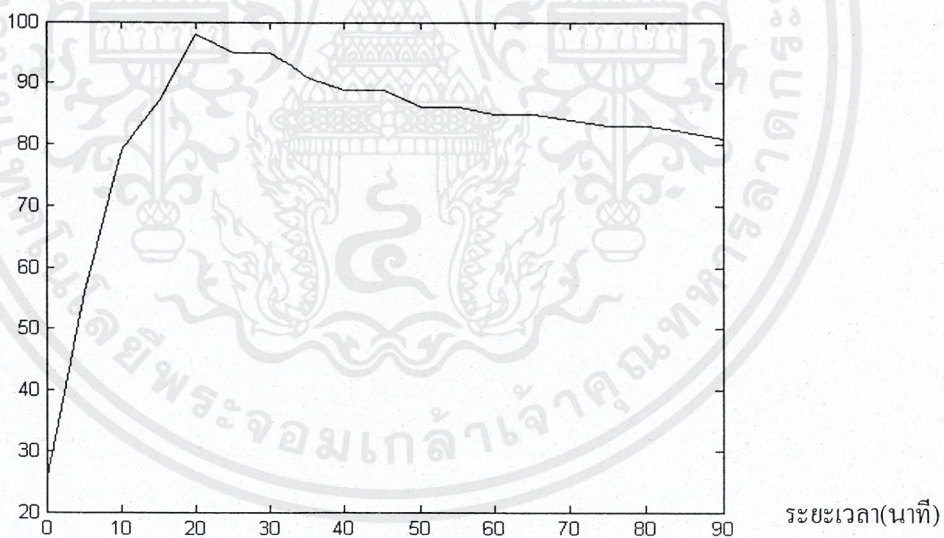
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิความร้อน ของถ่าน °C



กราฟที่ 3 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบ และซีลี้อยผลการศึกษาทดลองที่ 2

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C

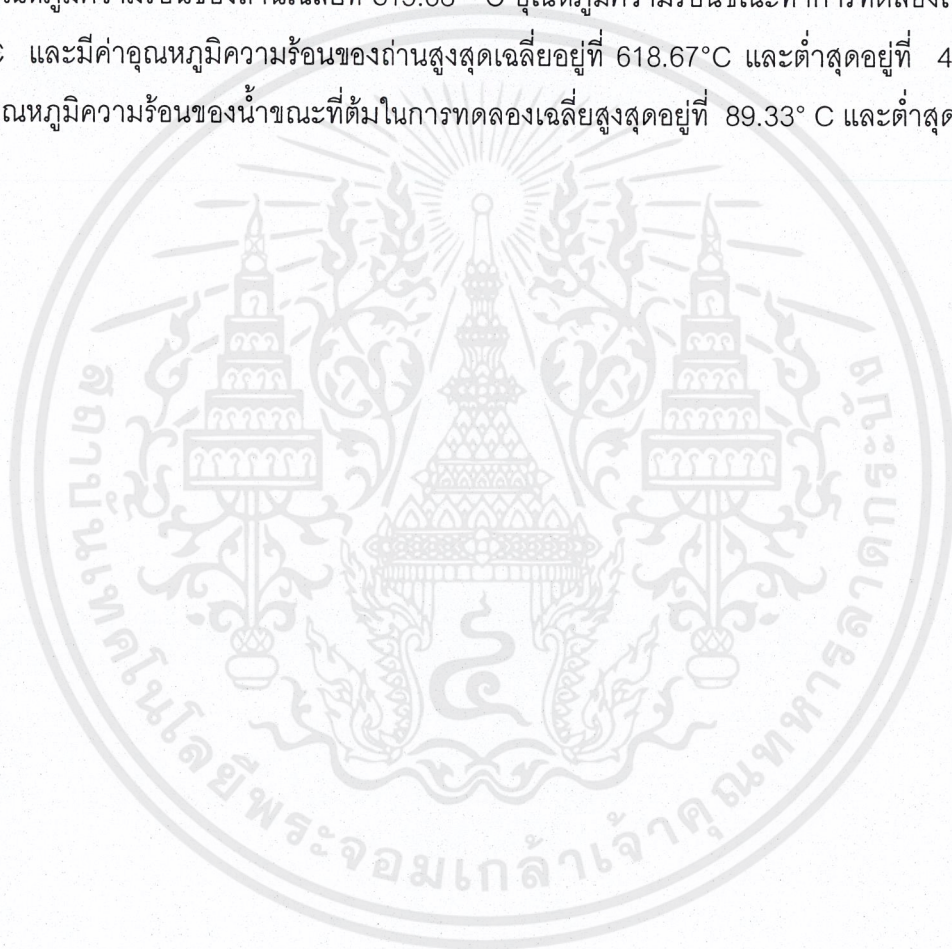


กราฟที่ 4 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากแกลบและซีลี้อยผลการศึกษาทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่

จากการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ที่ทำการเผาทดลองที่อุณหภูมิห้อง 25°C ในการทดลองที่ 1 มีอุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 534.94°C และอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 81.47°C การทดลองที่ 2 มีอุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 509.73°C และอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 82.26°C การทดลองที่ 3 มีอุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 502.36°C และอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 84.84°C ในการเฉลี่ยผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 515.68°C อุณหภูมิความร้อนขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 82.86°C และมีค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 618.67°C และต่ำสุดอยู่ที่ 438.67°C ส่วนอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะที่ต้มในการทดลองเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 89.33°C และต่ำสุดอยู่ที่ 58°C



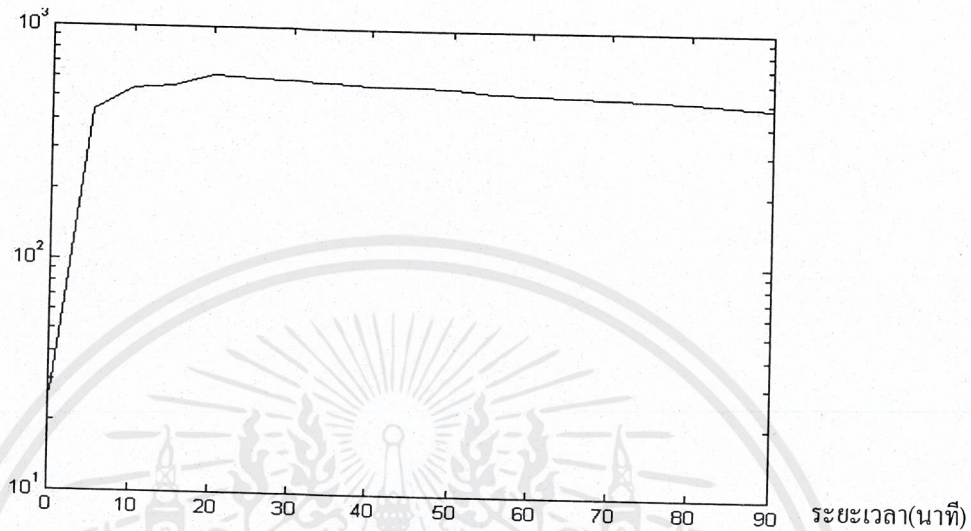
ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองการให้ปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่

การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3			เฉลี่ยทั้ง 3 การทดลอง		
นาที่	อุณหภูมิ		นาที่	อุณหภูมิ		นาที่	อุณหภูมิ		นาที่	อุณหภูมิ	
	ถ่าน (°C)	น้ำ (°C)		ถ่าน (°C)	น้ำ (°C)		ถ่าน (°C)	น้ำ (°C)		ถ่าน (°C)	น้ำ (°C)
0	25	25	0	25	25	0	25	25	0	+25.00	+25.00
5	437	54	5	387	60	5	492	60	5	+438.67	+58.00
10	520	71	10	500	78	10	616	85	10	+545.33	+78.00
15	581	76	15	520	79	15	558	95	15	+553.00	+83.33
20	626	84	20	643	83	20	587	100	20	+618.67	+89.00
25	612	86	25	630	86	25	574	95	25	-605.33	+89.00
30	604	87	30	627	87	30	561	93	30	-597.33	+89.00
35	593	87	35	615	87	35	557	92	35	-588.33	-88.67
40	583	88	40	592	88	40	550	90	40	-575.00	-88.67
45	572	89	45	584	89	45	549	90	45	-568.33	+89.33
50	567	89	50	573	89	50	547	90	50	-562.33	+89.33
55	548	89	55	542	89	55	535	90	55	-541.67	+89.33
60	544	89	60	523	89	60	540	89	60	-535.67	-89.00
65	551	89	65	517	89	65	525	88	65	-531.00	-88.67
70	556	89	70	492	89	70	512	87	70	-520.00	-88.33
75	561	89	75	487	89	75	493	87	75	-513.67	-88.33
80	567	89	80	480	89	80	478	86	80	-508.33	-88.00
85	564	89	85	475	89	85	435	85	85	-491.33	-87.67
90	553	89	90	473	89	90	411	85	90	-479.00	-87.67
เฉลี่ย	534.947	81.473	เฉลี่ย	509.736	82.263	เฉลี่ย	502.368	84.842	เฉลี่ย	515.68	82.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

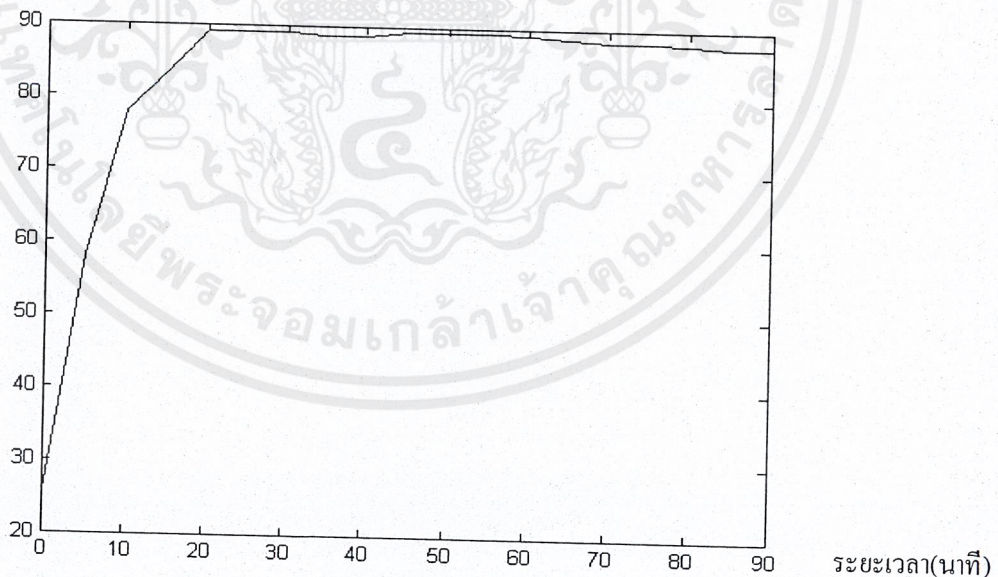
โดยข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาทำกราฟ ค่าอุณหภูมิความร้อนต่อเวลาได้ดังนี้

อุณหภูมิความร้อนของถ่าน ° C



กราฟที่ 5 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง ° C



กราฟที่ 6 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถ่านไม้ไผ่

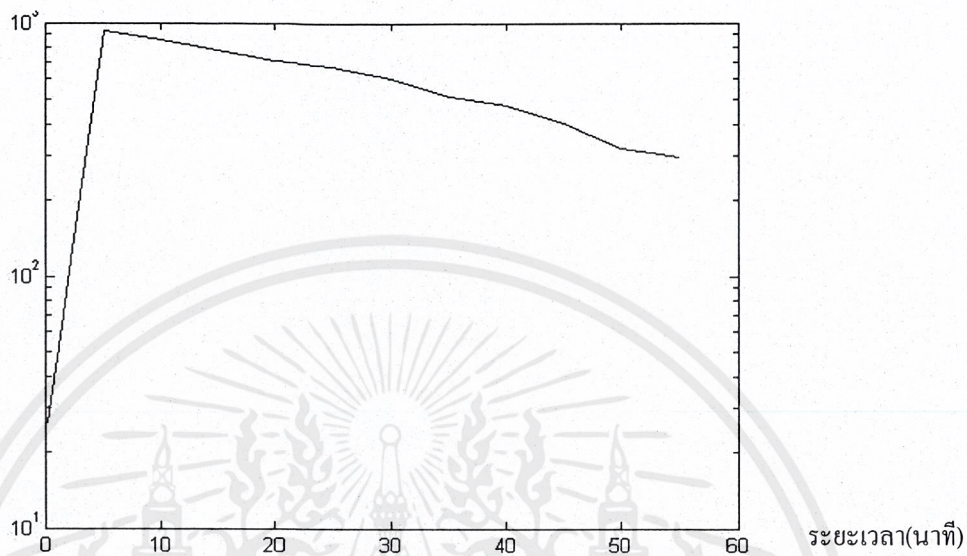
จากการทดลองพบว่าถ่านไม้ไผ่ที่ทำการเผาที่อุณหภูมิห้อง 25° C ในการทดลองที่ 1 อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 484.16 °C และอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 69.16 °C การทดลองที่ 2 อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 577.66 °C อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 76.66 °C การทดลองที่ 3 อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 585.75 °C อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 73.16 °C ในการทำการทดลองทั้ง 3 การทดลอง มีอุณหภูมิจำกัดของถ่านเฉลี่ยที่ 549.19 °C อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 73 °C และมีอุณหภูมิจำกัดของถ่านสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 924.67°C และต่ำสุดอยู่ที่ 294°C ส่วน อุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะที่ยังดำเนินการทดลองเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 98° C และต่ำสุดอยู่ที่ 54.33°C

ตารางที่ 11 แสดงผลการทดลองการให้ปริมาณความร้อนของถ่านไม้ไผ่

นาที	การทดลองที่ 1		การทดลองที่ 2		การทดลองที่ 3		เฉลี่ยทั้ง 3 การทดลอง				
	ถ่าน	อุณหภูมิ	ถ่าน	อุณหภูมิ	ถ่าน	อุณหภูมิ	ถ่าน	อุณหภูมิ			
	(°C)	น้ำ (°C)	(°C)	น้ำ (°C)	(°C)	น้ำ (°C)	(°C)	น้ำ (°C)			
0	25	25	0	25	25	0	25	25	0	+25.00	+25.00
5	903	100	5	953	98	5	918	75	5	+924.67	+91.00
10	859	98	10	838	98	10	882	98	10	-859.67	+98.00
15	750	91	15	746	92	15	854	90	15	-783.33	-91.00
20	623	87	20	728	92	20	787	85	20	-712.67	-88.00
25	562	74	25	710	86	25	753	86	25	-675.00	-82.00
30	465	71	30	653	80	30	695	84	30	-604.33	-78.33
35	382	69	35	625	82	35	537	75	35	-514.67	-75.33
40	357	65	40	587	75	40	483	70	40	-475.67	-70.00
45	324	58	45	428	68	45	452	69	45	-401.33	-65.00
50	281	47	50	325	64	50	354	63	50	-320.00	-58.00
55	279	45	55	314	60	55	289	58	55	-294.00	-54.33
เฉลี่ย	484.167	69.1667	เฉลี่ย	577.667	76.667	เฉลี่ย	585.75	73.167	เฉลี่ย	549.19	73.00

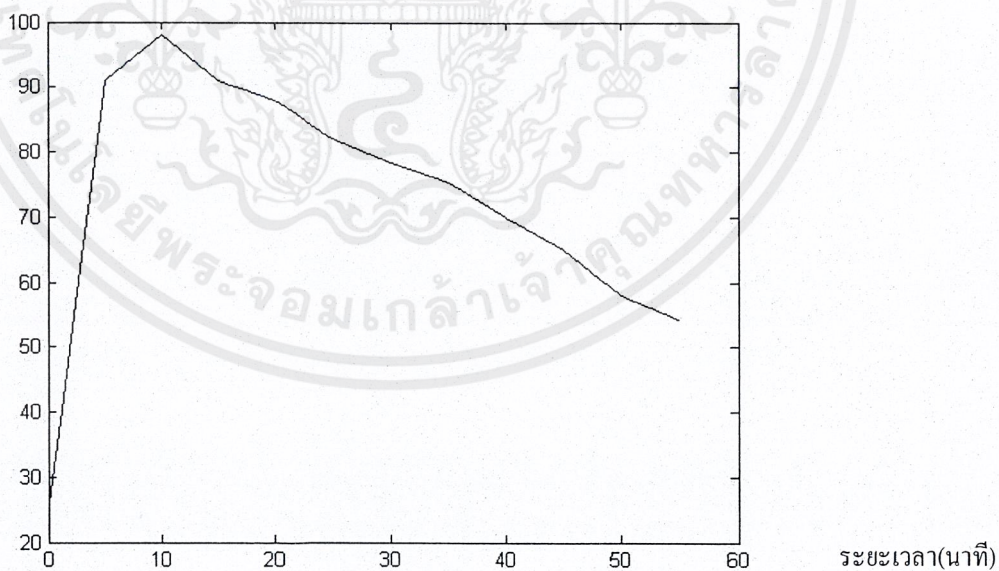
โดยข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาทำกราฟ ค่าอุณหภูมิความร้อนต่อเวลาได้ดังนี้

อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



กราฟที่ 7 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้ไผ่

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



กราฟที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้ไผ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลถ่านไม้โกงกาง

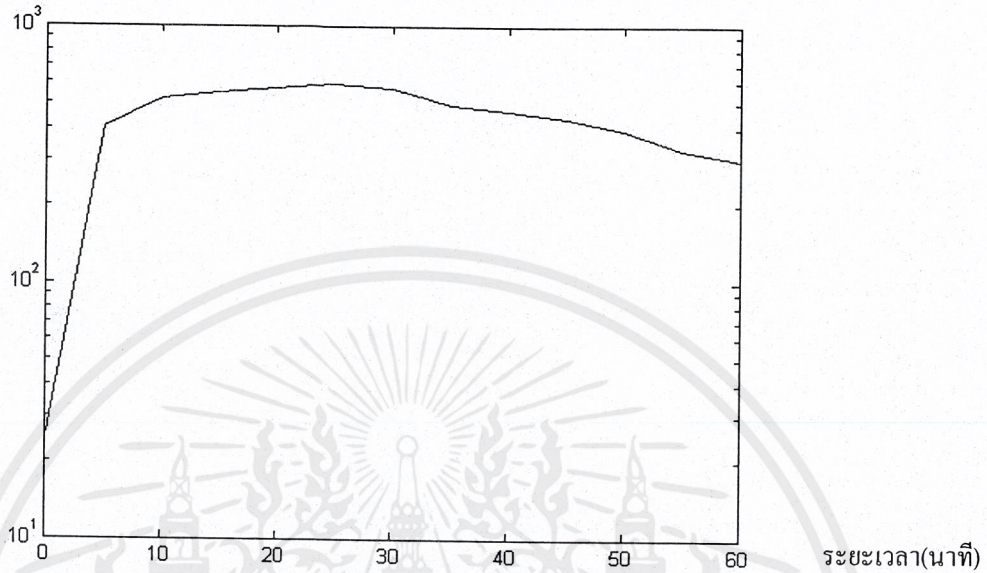
จากการทดลองพบว่าถ่านไม้ไผ่ที่ทำกรเผาทดลองที่อุณหภูมิห้อง 25 ° C ในการทดลองที่ 1 อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 454.69 ° C อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 65.38 ° C การทดลองที่ 2 อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 446.53 ° C อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 57.15 ° C การทดลองที่ 3 อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 405 ° C อุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 55.15 ° C ในการทำทดลองทั้ง 3 ครั้ง อุณหภูมิความร้อนของถ่านเฉลี่ยที่ 435.41 ° C อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองเฉลี่ยที่ 59.23 ° C และมีอุณหภูมิความร้อนของถ่านสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 599.33 ° C และต่ำสุดอยู่ที่ 301 ° C ส่วน อุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะที่ต้มในการทดลองเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 70 ° C และต่ำสุดอยู่ที่ 54.33 ° C

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองการให้ปริมาณความร้อนของถ่านไม้โกงกาง

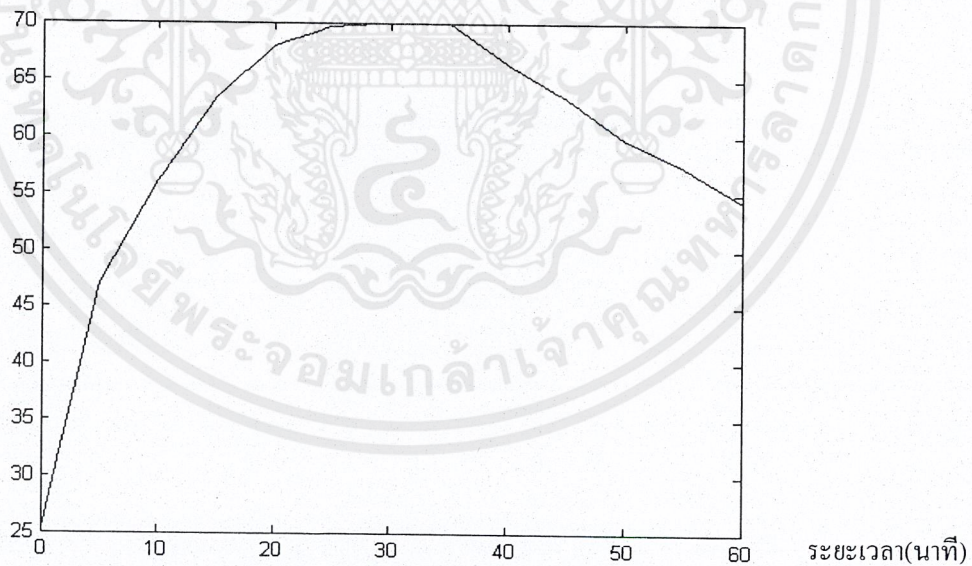
นาที่	ชุดที่ 1		ชุดที่ 2		ชุดที่ 3		เฉลี่ยทั้ง 3 ชุด				
	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)			
0	25	25	0	25	25	0	25	25	0	+25.00	+25.00
5	426	50	5	392	43	5	384	48	5	+400.67	+47.00
10	620	64	10	535	51	10	412	53	10	+522.33	+56.00
15	629	73	15	595	60	15	423	57	15	+549.00	+63.33
20	610	80	20	616	63	20	485	61	20	+570.33	+68.00
25	608	79	25	608	65	25	582	65	25	+599.33	+69.67
30	575	75	30	546	68	30	594	67	30	-571.67	+70.00
35	520	73	35	492	67	35	473	70	35	-495.00	+70.00
40	481	72	40	464	65	40	459	62	40	-468.00	-66.33
45	446	70	45	431	63	45	427	57	45	-434.67	-63.33
50	386	65	50	410	60	50	386	54	50	-394.00	-59.67
55	298	63	55	367	58	55	323	51	55	-329.33	-57.33
60	287	61	60	324	55	60	292	47	60	-301.00	-54.33
เฉลี่ย	454.692	65.385	เฉลี่ย	446.538	57.1538	เฉลี่ย	405	55.154	เฉลี่ย	435.41	59.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาทำกราฟ ค่าอุณหภูมิความร้อนต่อเวลาได้ดังนี้
อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



กราฟที่ 9 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของถ่านกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านไม้โกงกาง
อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



กราฟที่ 10 แสดงค่าอุณหภูมิความร้อนของน้ำขณะทำการทดลองกับระยะเวลาในการเผาไหม้ของ
ถ่านไม้โกงกาง

4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของถ่านชนิดต่างๆในการทำการทดลอง

โดยได้ผลข้อมูลแบ่งออกมาเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.5.1 ข้อมูลเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านชนิดต่างๆในการทดลอง

จากข้อมูลในตารางพบว่าถ่านชนิดต่าง ๆ ทำให้อุณหภูมิน้ำในการทดลองสูง แต่ถ่านบางชนิดไม่สามารถทำให้น้ำในการทดลองนั้นเดือดได้ เนื่องจาก มีปริมาณในการทดลองน้อย โดยในการทดลองนั้นสามารถให้ปริมาณความร้อนได้เท่าเทียมกันเป็นอย่างดี



ตารางที่ 13 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการให้ปริมาณความร้อนของถ่านแต่ละชนิดจาก
อุณหภูมิขณะทำการทดลอง

นาที่ที่	ถ่านอัดแท่งจากแกลบ และซีลี้อยการทดลอง ที่ 1 และ 3	ถ่านอัดแท่ง จาก ถ่านไม้ไผ่	ถ่านไม้ไผ่	ถ่านไม้โกงกาง
0	+25.00	+25.00	+25.00	+25.00
5	+62.50	+58.00	+91.00	+47.00
10	+78.00	+78.00	+98.00	+56.00
15	+86.00	+83.33	-91.00	+63.33
20	+92.00	+89.00	-88.00	+68.00
25	+93.00	+89.00	-82.00	+69.67
30	-92.50	+89.00	-78.33	+70.00
35	-90.00	-88.67	-75.33	+70.00
40	-89.00	-88.67	-70.00	-66.33
45	-89.00	+89.33	-65.00	-63.33
50	-87.00	+89.33	-58.00	-59.67
55	-86.50	+89.33	-54.33	-57.33
60	-85.00	-89.00		-54.33
65	-82.00	-88.67		
70	-82.00	-88.33		
75	-79.00	-88.33		
80	+79.50	-88.00		
85	+80.00	-87.67		
90	-75.50	-87.67		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ข้อมูลเปรียบเทียบอุณหภูมิของถ่านเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านชนิดต่างๆในการทดลอง

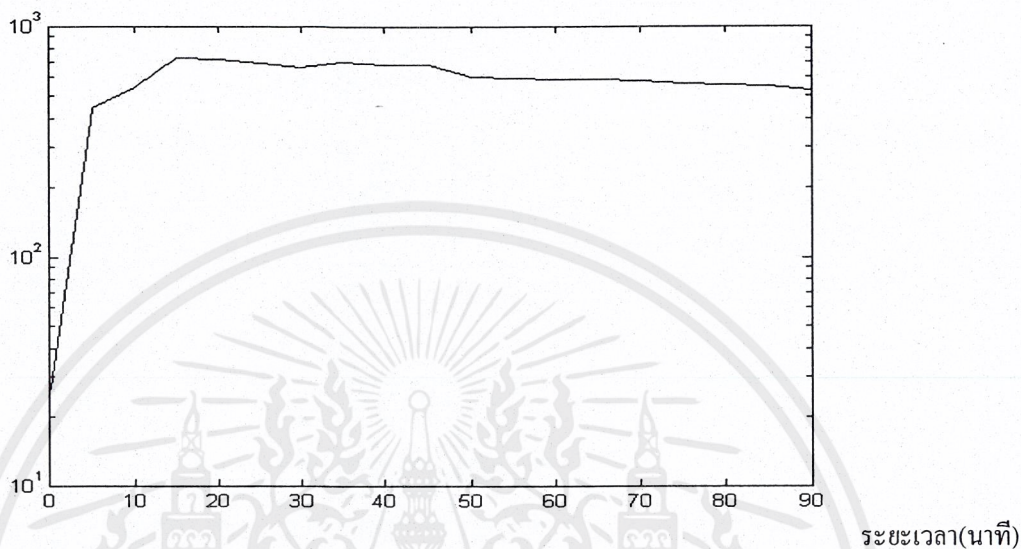
จากการทดลองพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วถ่านแต่ละชนิดให้อุณหภูมิในการทดลองที่สูงใกล้เคียงกันแตกต่างกันตรงที่ระยะเวลาในการเผาไหม้ของถ่านแต่ละชนิด ซึ่งพบว่าถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ชนิดในการทดลองมีระยะเวลาในการเผาไหม้ที่นานกว่าและให้ปริมาณความร้อนคงที่ มากกว่าถ่านจกไม้ชนิดต่างๆ ทั้ง 4 ชนิดพบว่า ถ่านไม้โกงกางให้ความร้อนระดับที่สม่ำเสมอที่สุด

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการให้ปริมาณความร้อนของถ่านแต่ละชนิดจากอุณหภูมิถ่านขณะทำการทดลอง

นาที ที่	ถ่านอัดแท่งจากแกลบ และซีลี้อยการทดลอง ที่ 1 และ 3	ถ่านอัดแท่งจาก ถ่านไม้ไผ่	ถ่านไม้ไผ่	ถ่านไม้ โกงกาง
0	+25.00	+25.00	+25.00	+25.00
5	+458.00	+438.67	+924.67	+400.67
10	+560.00	+545.33	-859.67	+522.33
15	+736.00	+553.00	-783.33	+549.00
20	-711.00	+618.67	-712.67	+570.33
25	-688.00	-605.33	-675.00	+599.33
30	-652.00	-597.33	-604.33	-571.67
35	+722.00	-588.33	-514.67	-495.00
40	-713.00	-575.00	-475.67	-468.00
45	-713.00	-568.33	-401.33	-434.67
50	-602.50	-562.33	-320.00	-394.00
55	-596.50	-541.67	-294.00	-329.33
60	-581.50	-535.67		-301.00
65	+588.50	-531.00		
70	-584.50	-520.00		
75	-572.50	-513.67		
80	-572.00	-508.33		
85	-532.00	-491.33		
90	-543.50	-479.00		

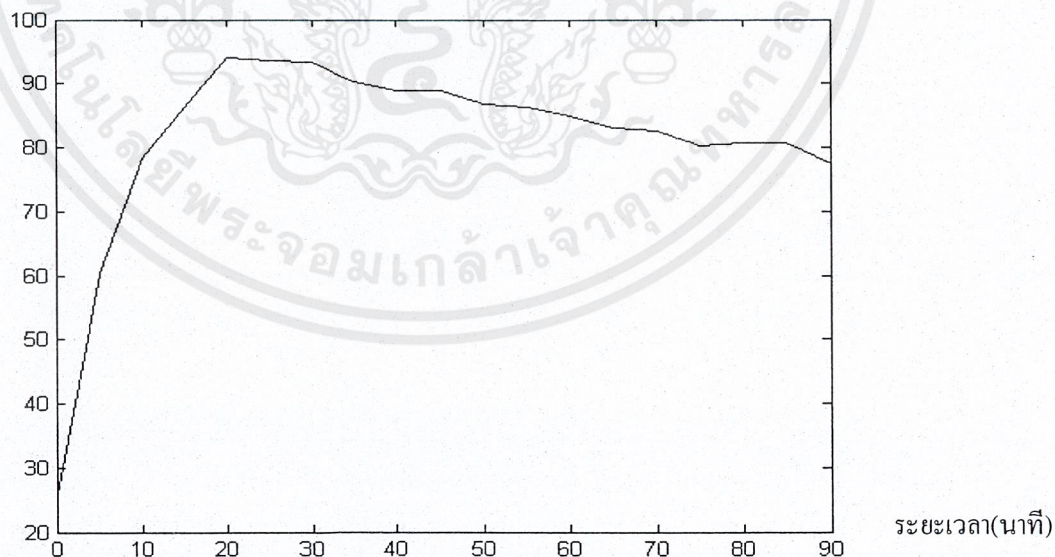
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยและ อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านแต่ละชนิด
อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



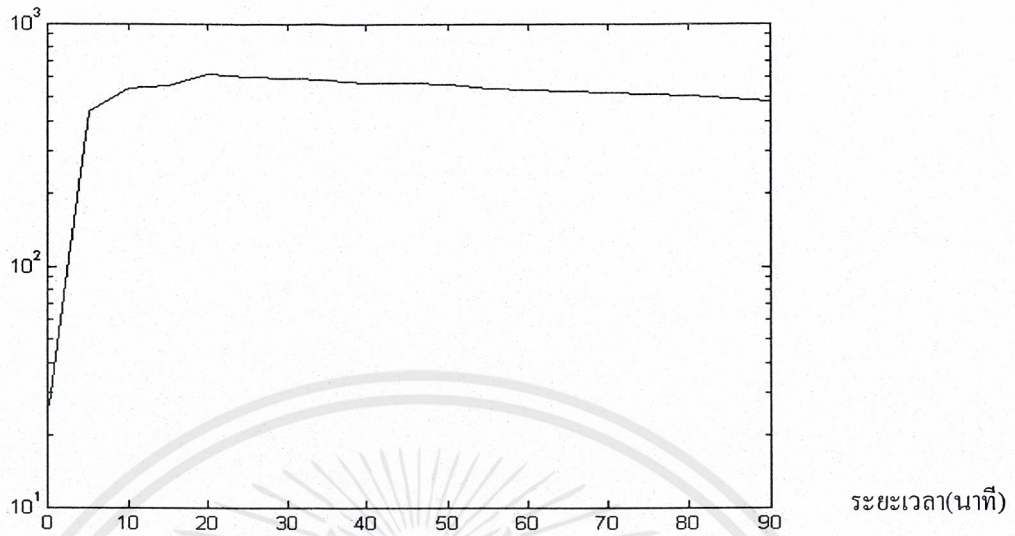
กราฟที่ 11 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะเวลาในการทดลอง

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



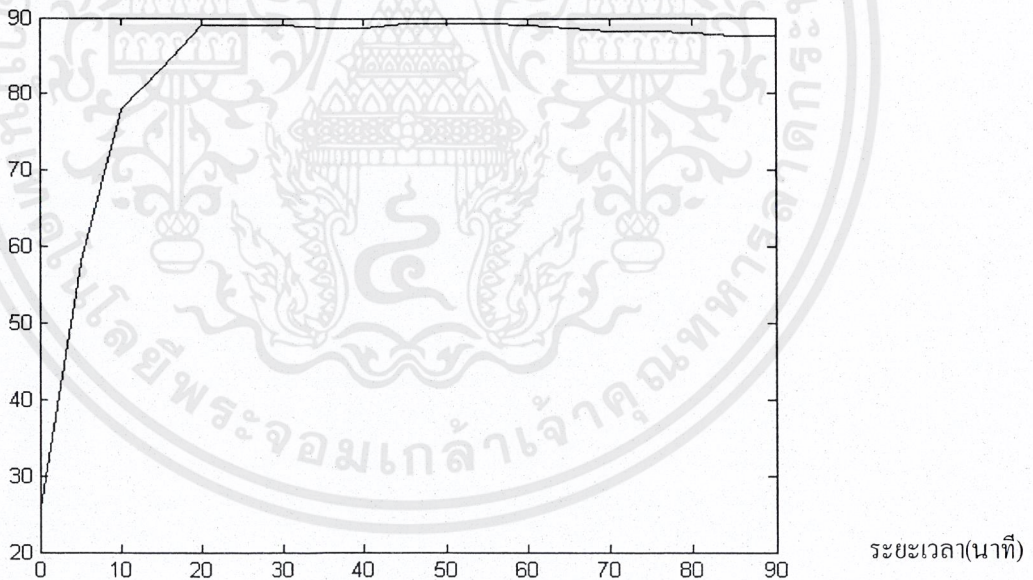
กราฟที่ 12 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะเวลาในการทดลอง

อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



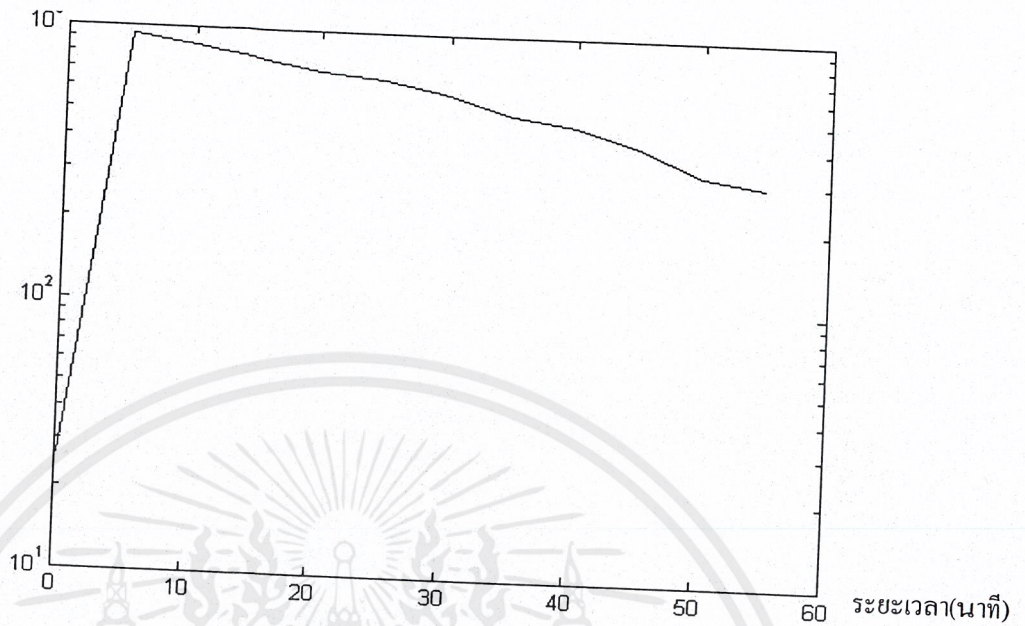
กราฟที่ 13 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทดลอง

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



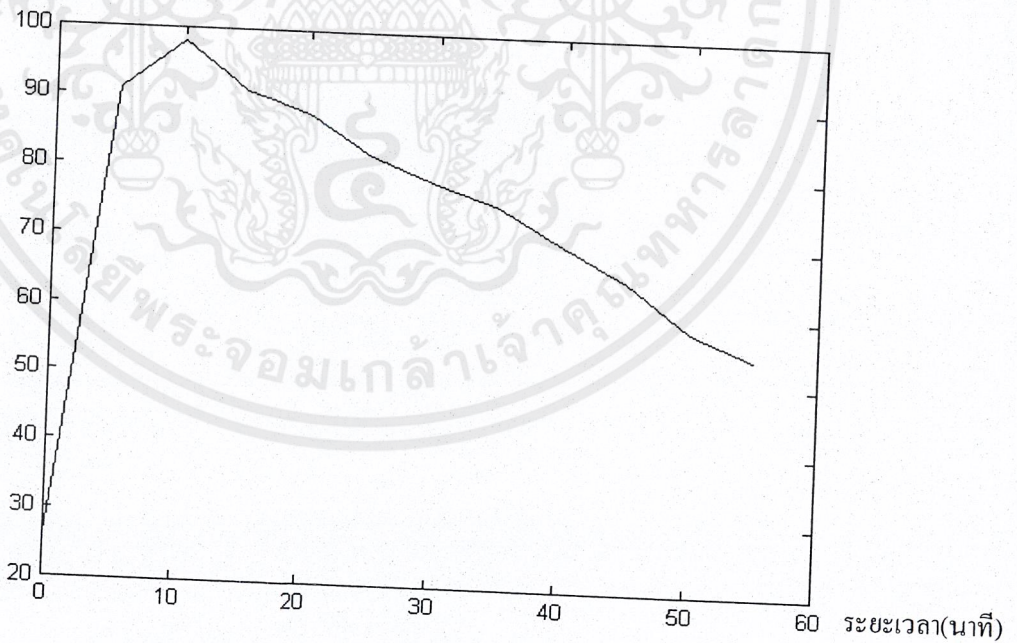
กราฟที่ 14 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทดลอง

อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



กราฟที่ 15 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทดลอง

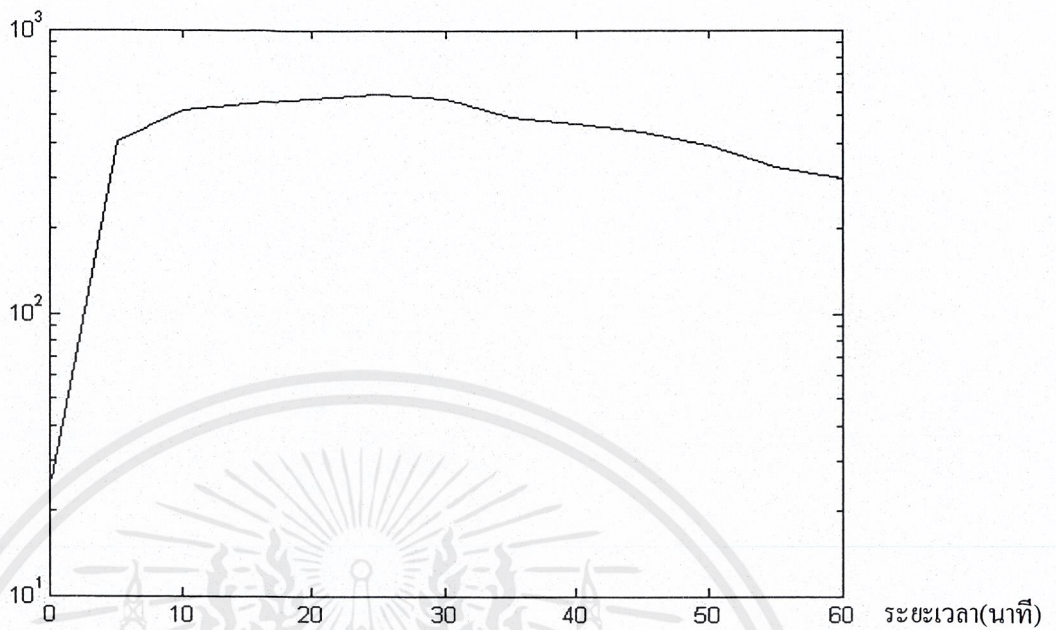
อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



กราฟที่ 16 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทดลอง

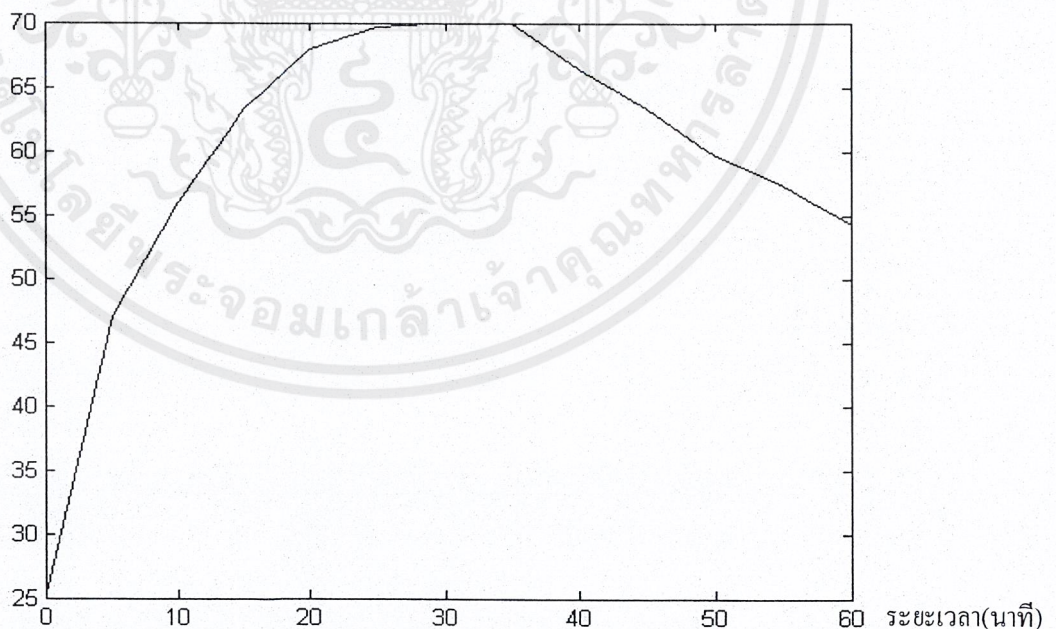
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



กราฟที่ 17 แสดงอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยในการทดลองของถ่านไม้โกงกางต่อระยะเวลาในการทดลอง

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C

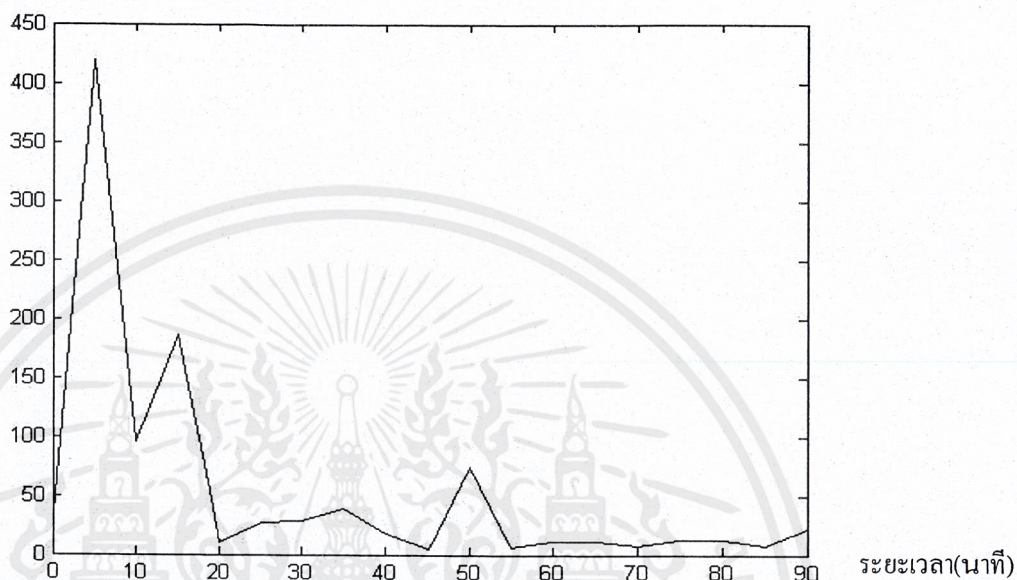


กราฟที่ 18 แสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยขณะทำการทดลองของถ่านไม้โกงกางต่อระยะเวลาในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

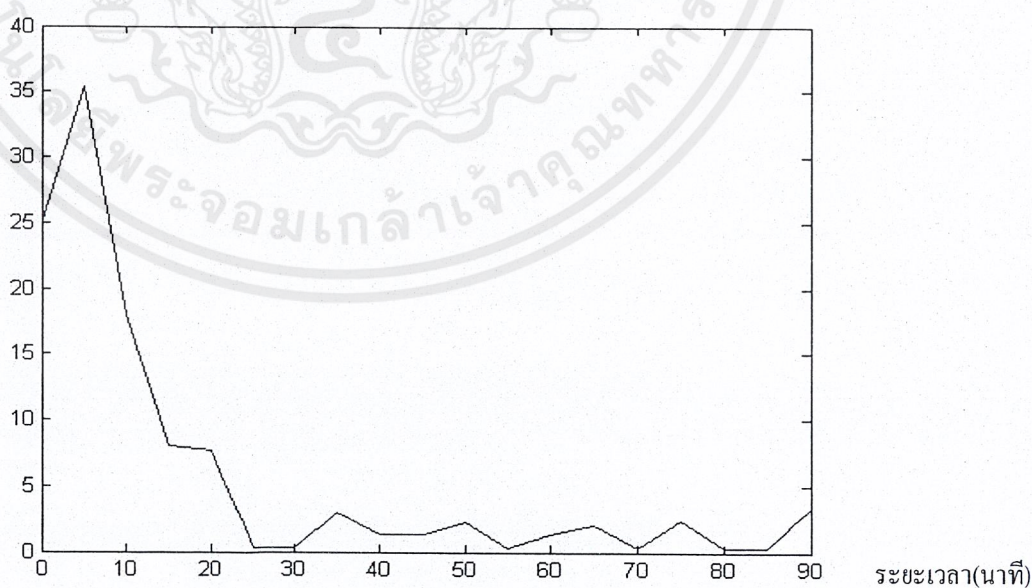
4.5.3 กราฟเปรียบเทียบผลต่าง (ΔT) อุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยและ อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านแต่ละชนิด

อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



กราฟที่ 19 แสดงผลต่างอุณหภูมิความร้อนของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง

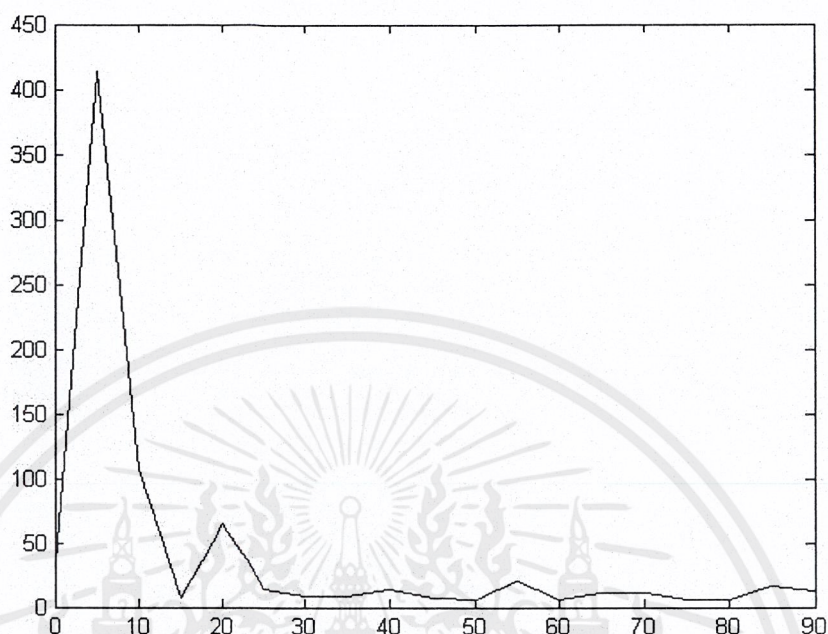
อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



กราฟที่ 20 แสดงผลต่างอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากโครงการหลวงต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

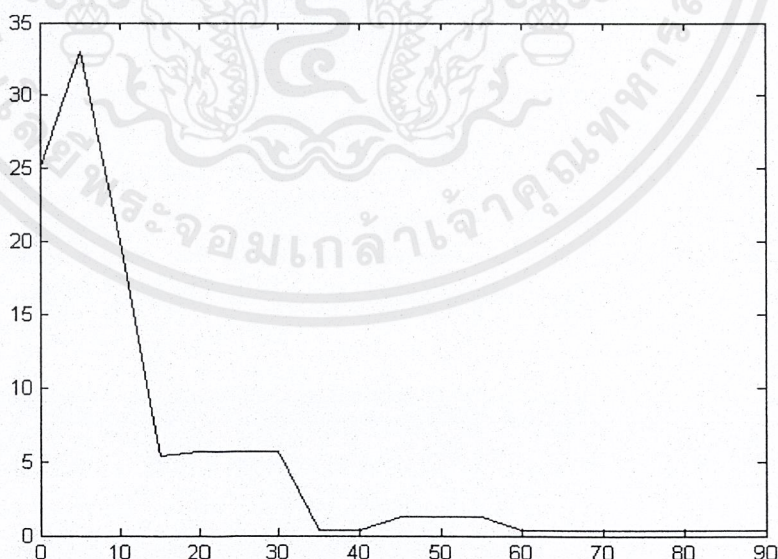
อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



ระยะเวลา(นาที)

กราฟที่ 21 แสดงผลต่างอุณหภูมิความร้อนของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C

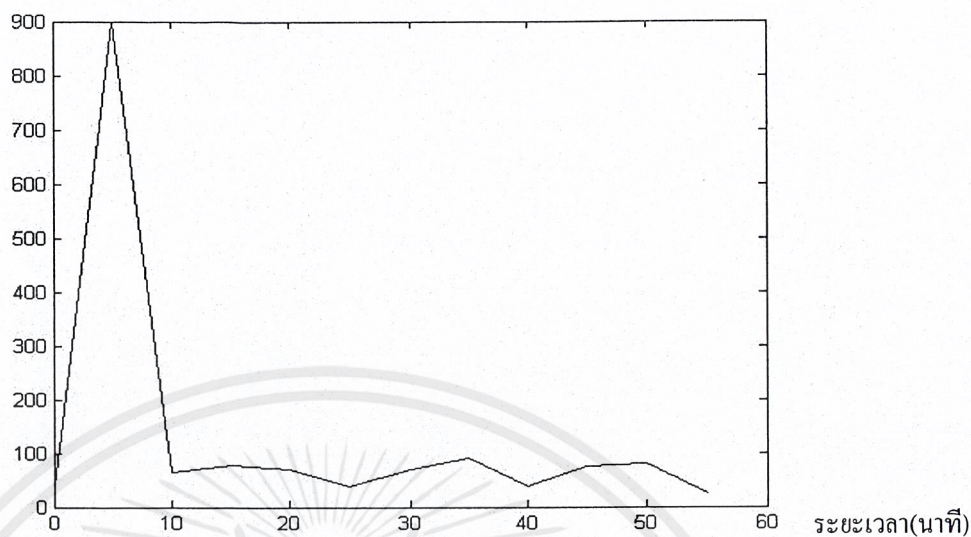


ระยะเวลา(นาที)

กราฟที่ 22 แสดงผลต่างอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง

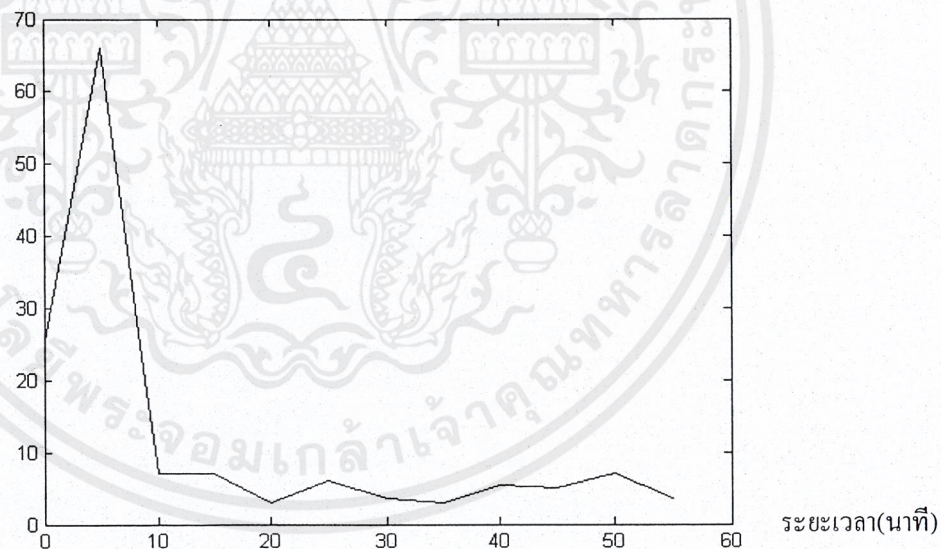
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



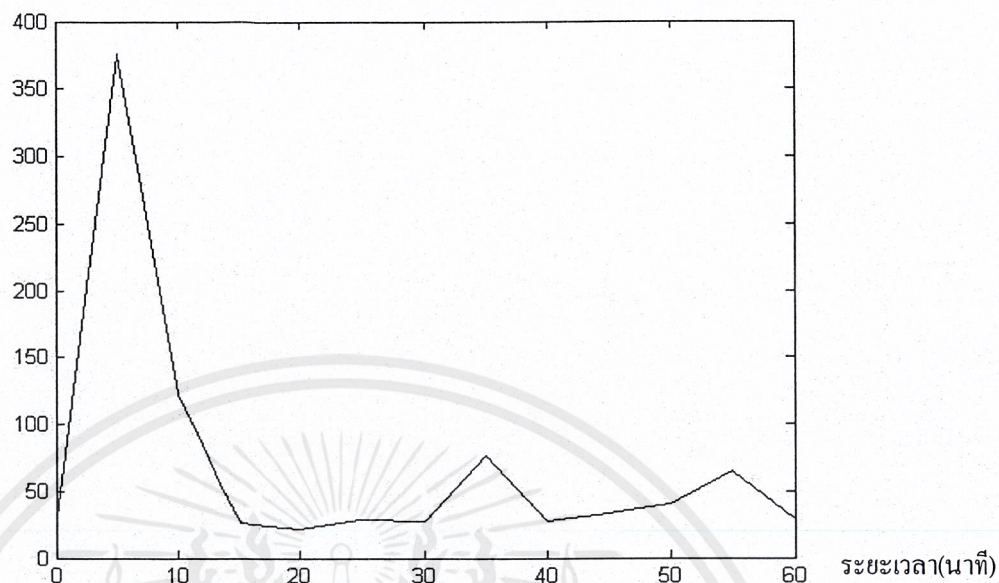
กราฟที่ 23 แสดงผลต่างอุณหภูมิความร้อนของถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



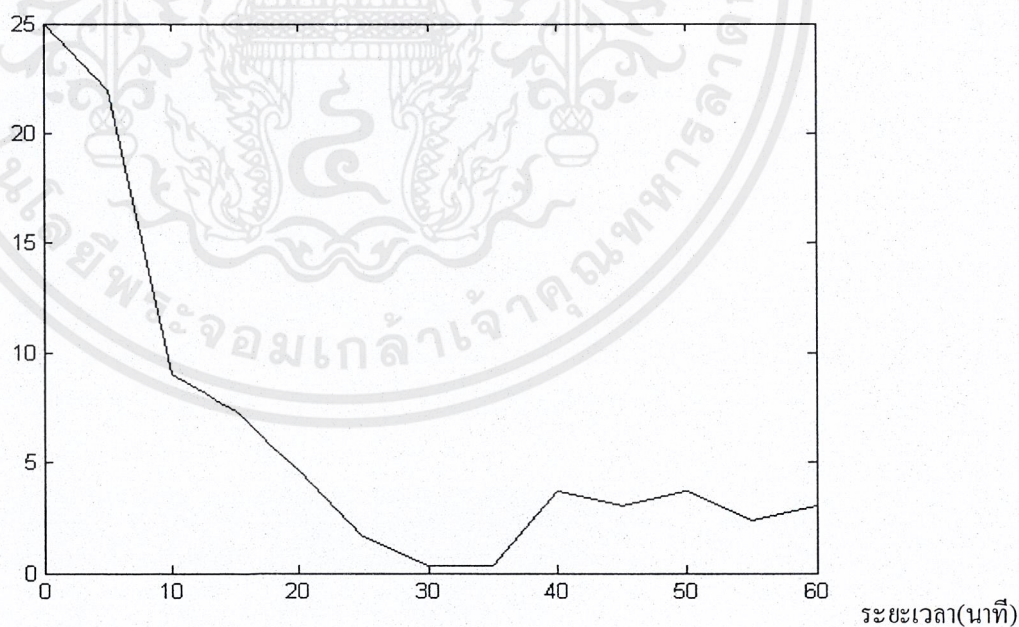
กราฟที่ 24 แสดงผลต่างอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านไม้ไผ่ต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง

อุณหภูมิความร้อนของถ่าน °C



กราฟที่ 25 แสดงผลต่างอุณหภูมิความร้อนของถ่านไม้โกงกางต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง

อุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง °C



กราฟที่ 26 แสดงผลต่างอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลองของถ่านไม้โกงกางต่อระยะเวลาในการทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ(Conclusion and Recommendation)

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการศึกษาค่าความร้อนของถ่านไม้ธรรมชาติ(ถ่านไม้โกงกาง, ถ่านไม้ไผ่) และถ่านอัดแท่ง(ถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อย, ถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่)พบว่า ถ่านที่ทำการทดลองทั้ง 4 ชนิดในการทดลองชนิดละ 3 ครั้งการทดลอง โดยการนำไปเผาและวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคอปเปอร์พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำขณะทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการช่างเชื่อมโลหะ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และได้ผลการทดลอง และนำมาหาค่าปริมาณความร้อนของหม้ออคูมิเนียม และค่าความร้อนของถ่าน ได้ดังนี้

ค่าความร้อนของถ่านไม้โกงกางธรรมชาติ = 10,460.45 Kcal/kg.

ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เลื่อยการทดลองที่1,3 = 2,797.01 Kcal/Kg.

ค่าความร้อนของถ่านไม้ไผ่ธรรมชาติ = 2,791.48 Kcal/kg.

ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไผ่ = 2,280.45 Kcal/Kg.

เมื่อเปรียบเทียบจากอุณหภูมิการให้ความร้อนแล้ว พบว่าถ่านไม้โกงกางให้ความร้อนสม่ำเสมอและมีค่าความร้อนสูงสุด ในขณะที่ถ่านอัดแท่งจากแกลบผสมขี้เลื่อยให้ความร้อนสูงเป็นอันดับ2 ส่วนอันดับ 3 คือ ถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ธรรมชาติและอันดับสุดท้ายคือ ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านไม้ไผ่ธรรมชาติ ให้ค่าความร้อนต่ำที่สุด จากการทดลอง พบว่า ถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ชนิด คือ ถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากแกลบผสมขี้เลื่อยและถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากถ่านไม้ไผ่ธรรมชาติ จะให้ความร้อนสม่ำเสมอ

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการวิจัยครั้งนี้พบว่า ถ่านไม้โกงกางธรรมชาติให้ค่าความร้อนสูงสุดมีค่า 10,460.45 Kcal/kg. โดยให้ปริมาณถ่านเฉลี่ยจากการทดลอง เท่ากับ 3.66 g. คิดเป็น 5.38 % ของถ่าน ในขณะที่ถ่านไม้ไผ่ธรรมชาติให้ค่าความร้อนสูงเป็นอันดับที่ 2 รองลงมาจากถ่านไม้โกงกางธรรมชาติมีค่าความร้อนอยู่ที่ 2,791.48 Kcal/Kg. โดยให้ปริมาณถ่านเฉลี่ยจากการทดลองเท่ากับ 29.06 g. คิดเป็น 6.69 % ของถ่าน ถ่านอัดแท่งจากแกลบผสมขี้เลื่อยให้ค่าความร้อน 2,797.01 Kcal/Kg. และให้ปริมาณถ่านเฉลี่ยจากการทดลองเท่ากับ 25.4 g. คิดเป็น

6.62 % ของถ่าน ส่วนถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้ไฟให้ค่าความร้อนต่ำที่สุดมีค่าความร้อน 2,280.45 Kcal/kg. ให้ปริมาณเถ้าถ่านเฉลี่ย 45.49 g. คิดเป็น 11.77 % ของถ่าน

จากปริมาณเถ้าถ่านพบว่า ถ่านไม้โกงกางธรรมชาติให้ปริมาณเถ้าถ่านน้อยที่สุด โดยลักษณะเถ้าถ่านมีสีเทาเนื้อละเอียดคล้ายผงแป้ง ถ่านไม้ไผ่ธรรมชาติให้เถ้าถ่านที่มีลักษณะเนื้อละเอียดเช่นกันแต่สีมีลักษณะเทาเกือบขาว ส่วนถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ชนิดสีของเถ้าถ่านสีเทาเข้มปนสีดำคล้ายๆเศษถ่านเล็กน้อย เนื้อหยาบคล้ายๆทรายละเอียด

ข้อเสนอแนะ

- 1.จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างถ่านในการทดลองแต่ละชนิด ควรมีน้ำหนักที่เท่ากัน เพื่อการเปรียบเทียบและการหาค่าปริมาณต่างๆ จะได้ง่ายขึ้น และน้ำหนักถ่านควรมีมากกว่าในการทดลองนี้
- 2.จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการทำการทดลองควรมีระยะเวลากำหนดที่เท่ากันเพื่อการเปรียบเทียบค่าจะได้สะดวกขึ้น
- 3.ขนาดของอุปกรณ์ในการทดลองควรจะเป็นชนิดเดียวกันและมีขนาดเท่ากันทุกครั้งที่ทำการทดลอง รวมถึงจุดที่วัดอุณหภูมิควรจะเป็นจุดเดียวกันทั้งตลอดการทดลองและการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กัญจนา บุญเกียรติ และเพ็ญพรรณ ทศคร. 2521. การอัดเชื้อเพลิงแข็งเป็นก้อน. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกศกนก จันทร์มาศ และ วิทวัส เจริญพิมาย. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบหาค่าความร้อนจากถ่านชีวภาพ . สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสารคาม.
- การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุทางการเกษตร. 2553. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก siweb.dss.go.th/bct/fulltext/report/otop13.pdf.
- การทำถ่านอัดแท่ง. 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.rakbankerd.com/agriculture/wb/show.php?Category=agriculture&No=13731>
- การทำแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. 2542. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/article4.php>.
- การเรียงไม้เผาถ่าน. 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/cf-kung_krabaen/agricul1.htm.
- การส่งออกถ่าน. 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.dft.moc.go.th/the_files/16/level3/charcoale_ex.htm.
- การศึกษาทดลองเปรียบเทียบวิธีการผลิตและคุณภาพของถ่านตามวิธีการเผาแบบท้องถิ่นกับวิธีของกรมป่าไม้. 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/comparequality.php>.
- กฎเทอร์โมไดนามิกส์. 2553. รักษาติ ไตรผล . มหาวิทยาลัยนเรศวร .[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/86/Thermo1/index.htm>.
- ขั้นตอนการเผาถ่าน. 2551. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/cf-kung_krabaen/agricul1.htm.
- ค่าความจุความร้อนจำเพาะของโลหะชนิดต่างๆ. 2553. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.rmutphysics.com/physics1/physic1heat/chap15/94.htm>.
- ค่าความร้อนในการเผาถ่าน.วิชาการดอทคอม. 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.vcharkarn.com/varticle/38825>.

ชาญชัย ลิ้มปียากร และคณะ. 2544. การผลิตถ่านที่ถูกวิธีและประโยชน์ . ถ่าน . สำนักพัฒนา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

ถ่านไม้โกงกาง.ทองปรง อรุณศรี. 2552. [ออนไลน์]เข้าถึงได้จาก

<http://www.thaiwoodcentral.com/blog/%E0%B8%96%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89%E0%B9%82%E0%B8%81%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%87/>.

ผ่องศรี ศิวราศักดิ์. 2551. การถ่ายโอนความร้อน

ภาคภูมิ วิโรจศรีสกุล. 2550. ถ่านอัดแท่ง. [ออนไลน์]เข้าถึงได้จาก : <http://www.chareoal.com>.

บันเทิง สุวรรณตระกูลและคณะ. 2524. เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน. ภาควิชาครุศาสตร์
อุตสาหกรรม. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

ประวัติถ่าน. 2550. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

<http://mkbiomassandcharcoal.igetweb.com/index.php?mo=3&art=82539>.

สถิติผลผลิตถ่าน. 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

<http://www.forest.go.th/stat/stat51/TAB17.htm>.

สุรพงษ์ สุวจิตตานนท์. 2527. สมดุลเทอร์โมไดนามิกส์. นักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กทม. 455 หน้า
ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์. 2525. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ ตอน 1.

มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้า ธนบุรี.

โยชิฮิโกะ ทาคามูระ. 2525. เทคนิคการประหยัดพลังงานภาคความร้อน.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วินัย ปัญญาธัญญะ. 2541. เทคโนโลยีการผลิตถ่านสำหรับชนบท. สำนักวิชาการป่าไม้.
กรมป่าไม้.

Karen Cummings , Priscilla W. laws, Edward F. redish, Patrick J. Cooney Understanding
Physics Part 2. 2004, John Wiley & Sons, Inc.

Landau, L. D. Dulong–Petit law , L. D.; Lifshitz, E. M. (1980). *Statistical Physics Pt. 1*.

Course in Theoretical Physics. 5 (3rd ed.). Oxford: Pergamon Press.

p. 193, 196. ISBN 0750633727. 2553. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

http://en.wikipedia.org/wiki/Dulong%E2%80%93Petit_law.

MURRAY R SPIEGEL. THEORY AND PROBLEM OF THEORETICAL. SI

(metric) edition . 1982, Mc Graw- Hill, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physics Concept and Connections. ART HOBSON University of Arkansas, 1995 .

Prentice-Hall, Inc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้ไม้พืนและถ่านในประเทศไทย

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ได้ประเมินการใช้ไม้และถ่านของประชากรไทย โดยเฉลี่ยประมาณคนละ 1.23 ลบ.เมตรต่อปี โดยแบ่งออกเป็นไม้พืน 0.67 ลบ.เมตรต่อปี และถ่าน 0.56 ลบ.เมตรต่อปี (ปริดา วิบูลย์สวัสดิ์, 2525) จากการที่สำนักงานพลังงานแห่งชาติได้เข้าไปสำรวจการใช้ไม้พืนและถ่านในชนบทเมื่อปี 2522 พบว่าในปี 2521 ประชาชนได้มีการใช้ไม้พืนและถ่านเป็นปริมาณ 12 -18 ล้าน ลบ. ม. (ทั้งนี้ได้รวมเอาไม้พืนและถ่านไม้ที่ไม่ใช่เพื่อการค้าเอาไว้ด้วย)แต่มีการผลิตไม้พืนและถ่านได้ประมาณ 15.4 ล้าน ลบ.ม. (เตาเศรษฐกิจและเชื้อเพลิงถ่าน, 2524)

ตารางภาคผนวกที่ 1 ความต้องการใช้ถ่านและพืนในปีพ.ศ.2523 – 2532

ปี พ.ศ.	(1)ความ ต้องการใช้พืน ล้าน ม. ³	(1)ความ ต้องการใช้ ถ่านล้าน ม. ³	(2)ความ ต้องการใช้ใน รูปของพืน ล้าน ม. ³	(3)ไม้ที่ผลิต ได้จากป่า ธรรมชาติ/ปี	จำนวนที่ขาด แคลน ม. ³ /ปี
2523	9.37	8.62	24.89	14.0	10.89
2524	9.60	8.82	25.48	13.5	11.98
2525	9.83	9.04	26.10	13.0	13.10
2526	10.06	9.25	26.71	12.5	14.21
2527	10.29	9.46	27.32	12.0	15.32
2528	10.51	9.60	27.79	11.5	16.29
2529	10.75	9.88	28.53	11.0	17.53
2530	10.98	10.10	29.23	10.5	18.32
2531	11.21	10.31	29.73	10.0	19.77
2532	11.44	10.50	30.34	9.5	20.84

(ที่มา:เตาเศรษฐกิจเชื้อเพลิงถ่าน,2524)

- (1) ประเมินจากค่าความร้อน
- (2) ถ่าน 1 ลบ.ม. จากพืน 1.8 ลบ.ม.
- (3) เป็นข้อมูลจากการศึกษาของคณะสำรวจ FAO ปี 2513

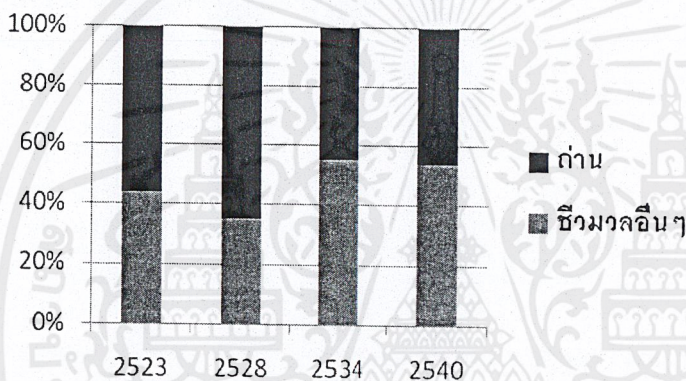
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการสำรวจภาคสนามของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ ปี 2522 ใช้ฟืน 9.17 ลบ.ม. และถ่าน 8.34 ล้าน ลบ.ม.

2. การใช้ถ่านในชนบท

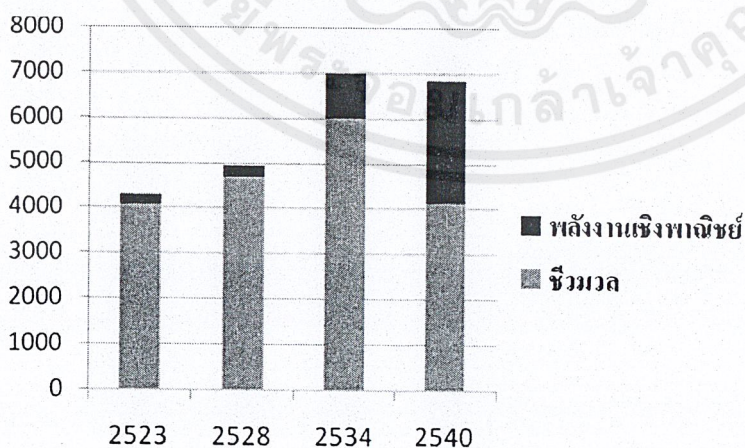
ภาคชนบทของไทยยังมีการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นถ่านและฟืนกันจำนวนมาก จากการสำรวจของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานปี พ.ศ.2523, 2528, 2534 และ 2540 พบว่าการใช้เชื้อเพลิงถ่านมีสัดส่วน 50% เทียบกับการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นฟืนและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทั้งหมด

เปรียบเทียบการใช้ถ่านกับชีวมวลอื่นๆ



กราฟภาคผนวกภาพที่ 1 กราฟการเปรียบเทียบการใช้ถ่านกับชีวมวลอื่นๆ (ที่มา: วินัย ปัญญาธัญญะ, 2541)

สัดส่วนการใช้งานในชนบท



กราฟภาคผนวกภาพที่ 2 กราฟการเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานในชนบท (ที่มา: วินัย ปัญญาธัญญะ, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปริมาณการบริโภคถ่าน

ได้มีการประมาณกำลังการผลิตถ่านของโลกในแต่ละปี มีอยู่ประมาณ 100 ล้านตัน แต่ตัวเลขข้างต้นนี้ค่อนข้างจะอนุรักษ์ ในความเป็นจริงตัวเลขต้องสูงกว่านี้แน่นอนเพราะ ได้มีการผลิตถ่านอยู่ทุกหนทุกแห่งในประเทศที่กำลังพัฒนา และรายได้ส่วนหนึ่งของเกษตรกรส่วนใหญ่ก็มาจากกิจกรรมเหล่านี้ วัสดุที่ใช้ก็มาจากเศษเหลือของอุตสาหกรรมไม้ เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร รวมทั้งไม้ที่ได้จากการตัดสางขยายระยะตลอดจนกิ่งไม้และต้นไม้ในสวนของตนเอง

ในส่วนของประเทศไทยเองได้เคยมีการสำรวจโดยกรมป่าไม้ พบว่าประเทศไทยใช้ถ่านประมาณ 3 ล้านตันในครัวเรือนเพื่อการหุงต้ม และอีกประมาณ 0.5-0.8 ล้านตัน ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เมื่อดำเนินการเป็นค่าของเงินแล้ว ประมาณ 10,000- 12,000 ล้านบาทต่อปี โดยภาคกลางจะใช้ถ่านประมาณ 1.3 ล้านตัน ภาคตะวันออก 0.16 ล้านตัน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1.00 ล้านตัน ภาคเหนือ 0.80 ล้านตัน และภาคใต้ 0.37 ล้านตัน และจากรายงานของกรมส่งเสริมและพัฒนาพลังงาน (2538) กล่าวว่า ประเทศไทยใช้ถ่านเพื่อเป็นพลังงานประมาณ 9.4% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้อยู่ในประเทศ (วินัย ปัญญาธัญญะ, 2541)

ตารางภาคผนวกที่ 2 ตารางการใช้ไม้เพื่อทำฟืนและถ่านทั่วประเทศ

ภูมิภาค	ปริมาณการใช้ทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม.)		
	ไม้เชื้อเพลิง	ฟืน	ถ่าน
1.ชนบท	39.0	23.4	15.6
เหนือ	9.5	6.0	3.5
อีสาน	16.3	11.5	4.8
กลาง	8.2	2.5	5.7
ใต้	5.0	3.5	1.5
2.ในเมือง	5.3	0.6	4.7
กทม.	3.2	0.3	2.9
เมืองอื่นๆ	2.1	0.3	1.8
รวม	44.3	24.0	20.3

(ที่มา:พลังงานจากป่าไม้, บุญชัย บุญทวี, 2524)

4. CONSERVATION OF ENERGY

For a conservative force field we have from equations

$$T_2 - T_1 = V_1 - V_2 \quad \text{or} \quad T_1 + V_1 = T_2 + V_2$$

Which can also be written $\frac{1}{2} m v_1^2 + V_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + V_2$

The quantity $E = T + V$, which is the sum of the kinetic energy and potential energy is

called the total energy. From $\frac{1}{2} m v_1^2 + V_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + V_2$ we see that the total energy at P_1 is the same as the total energy at P_2 . We can state our results in the following

Theorem In a conservative force field the total energy [i.e. the sum of kinetic energy and potential energy] is a constant. In symbols, $T + V = \text{constant} = E$.

This theorem is often called the principle of *conservation of energy*

IMPLUSE

Suppose that in Fig .2-1 the particle is located at P_1 and P_2 at times t_1 and t_2 where it has velocities v_1 and v_2 respectively. The time integral of the force F given by

$$\int_{t_1}^{t_2} F dt$$

is called the impulse of the force F . The following theorem can be proved

Theorem The impulse is equal to the change in momentum; or, in symbols,

$$\int_{t_1}^{t_2} F dt$$

$$= m v_2 - m v_1 = P_2 - P_1$$

The theorem is true even when the mass is variable and the force is non - conservative

5. Dulong–Petit law

The Dulong–Petit law, a chemical law proposed in 1819 by French physicists and chemists Pierre Louis Dulong and Alexis Thérèse Petit, states the classical expression for the specific heat capacity of a crystal due to its lattice vibrations. Experimentally the two scientists had found that the heat capacity for a number of substances was close to constant, when divided by the presumed weights of the substance atoms, as defined by Dalton. Although Dulong and Petit did not state their law in terms of the gas constant R , they did measure the values of heat capacities multiplied by atomic weights, and found them nearly constant. Their empirical finding in modern terms was that regardless of the nature of the substance or crystal, the specific heat capacity (measured in joule per kelvin per kilogram) was equal to $3R/M$, where R is the gas constant (measured in joule per kelvin per mole) and M is the molar mass (measured in kilogram per mole). In other words, the dimensionless heat capacity is equal to 3. Despite its simplicity, Dulong–Petit law offers fairly good prediction for the specific heat capacity of solids with relatively simple crystal structure at high temperatures. It fails, however, at room temperatures for light atoms bonded strongly to each other, such as in metallic beryllium, and in carbon as diamond. In the very low (cryogenic) temperature region, where the quantum mechanical nature of energy storage in all solid manifests itself, the law fails for all substances. Under these conditions, for crystals, the Debye model works well.

6. Derivation

A system of vibrations in a crystalline solid lattice can be modelled by considering harmonic oscillator potentials along each degree of freedom. Then, the free energy of the system can be written as^[1]

$$F = N\varepsilon_0 + k_B T \sum_{\alpha} \log \left(1 - e^{-\hbar\omega_{\alpha}/k_B T} \right)$$

Where the index α sums over all the degrees of freedom. Suppose we consider the limit

$k_B T \gg \hbar\omega_{\alpha}$. Then, $1 - e^{-\hbar\omega_{\alpha}/k_B T} \approx \hbar\omega_{\alpha}/k_B T$ and we have

$$F = N\varepsilon_0 + k_B T \sum_{\alpha} \log \left(\frac{\hbar \omega_{\alpha}}{k_B T} \right)$$

Define $\bar{\omega}$ as the geometric mean frequency by

$\log \bar{\omega} = \frac{1}{M} \sum_{\alpha} \log \omega_{\alpha}$, where M measures the total number of degrees of freedom of the system.

Thus we have $F = N\varepsilon_0 - M k_B T \log k_B T + M k_B T \log \hbar \bar{\omega}$

Using energy $E = F - k_B T \frac{\partial F}{\partial T}$, we have $E = N\varepsilon_0 + M k_B T$

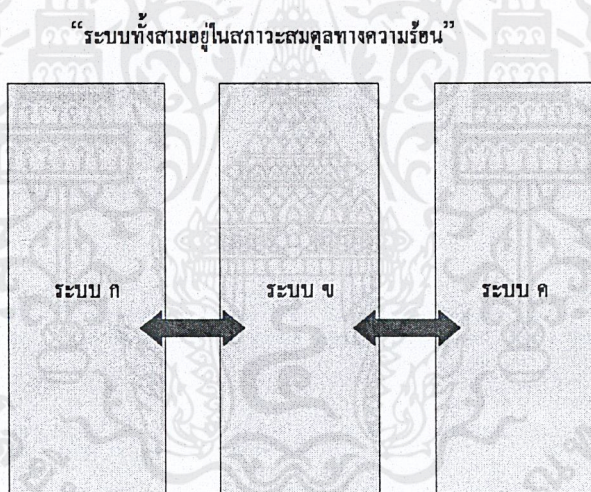
This gives specific heat $C = \frac{\partial E}{\partial T} = M k_B$, which is independent of the temperature.

References. Landau, L. D.; Lifshitz, E. M. (1980). *Statistical Physics Pt. 1. Course in Theoretical Physics. 5* (3rd ed.). Oxford: Pergamon Press. p. 193,196. ISBN 0750633727.

7. กฎของเทอร์โมไดนามิกส์ (Laws of Thermodynamics)

โดยทั่วไปแล้วเราจะรู้จักกันโดยทั่วไปว่ากฎของเทอร์โมไดนามิกส์นั้นมีอยู่ 3 ข้อ ซึ่งเราจะได้เรียนรู้ถึงแนวคิดและความสำคัญของกฎแต่ละข้อต่อไป แต่ก่อนอื่นเราควรที่จะมาเรียนรู้กฎข้อที่ศูนย์ ของเทอร์โมไดนามิกส์ก่อน (ที่เป็นกฎข้อที่ ศูนย์ ก็เพราะว่าแนวคิดนี้จริงแล้ว เป็นส่วนหนึ่งของกฎข้อที่ 1)

1. กฎข้อที่ ศูนย์ กล่าวไว้ว่า "หากเรามีระบบ (หรือวัตถุ) อยู่ 3 ระบบ เช่น ระบบ ก, ข, ค แล้วระบบทั้งสามนี้สัมผัสกันอยู่และสามารถถ่ายเทความร้อนไปมาระหว่างกันได้ ถ้าหากว่า ระบบ ก กับ ระบบ ข อยู่ในสภาวะสมดุลกันทางความร้อน (มีความร้อนเท่ากันนั่นเอง) และ ระบบ ข กับ ระบบ ค อยู่ในสภาวะสมดุลกันทางความร้อนเช่นกัน นั้นย่อมาหมายความว่า ระบบ ก กับ ระบบ ค อยู่ในสภาวะสมดุลกันทางความร้อนเหมือนกัน"



ภาพที่ 1 ระบบสมดุลความร้อน

กฎข้อนี้จริงๆแล้วเป็นแนวคิด ที่เป็นที่มาของการสร้าง เทอร์โมมิเตอร์ คนส่วนใหญ่ไม่ได้สนใจหรอกว่า หลักการของเทอร์โมมิเตอร์ เป็นอย่างไรเพราะเป็นอะไรที่ง่ายเหลือเกิน แต่ลองนึกดูสักนิดสิว่า ถ้าไม่มีกฎข้อนี้รองรับแล้ว เทอร์โมมิเตอร์ คือ อะไร???

การใช้เทอร์โมมิเตอร์ ก็คือ การนำเทอร์โมมิเตอร์ (สมมุติว่าเป็นระบบ ข ก็แล้วกัน) ให้ไปสัมผัสแล้วเกิดสมดุลทางความร้อนกับระบบ ก ทำให้เราสามารถบอกได้ว่าระบบ ก มีพลังงานอยู่เท่าไร โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของสารที่อยู่ภายในเทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งส่วนใหญ่แล้ว จะพิจารณาการขยายตัวของ โปรท หรือ แอลกอฮอล์ ซึ่งตัวแปรที่เรากำหนดขึ้น เพื่อบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานก็คือ อุณหภูมิ นั่นเอง จากกฎข้อ ศูนย์ จะทำให้บอกได้ว่า ถ้าเรานำเทอร์โมมิเตอร์ไปสัมผัสแล้วเกิดสมดุลทางความร้อนกับระบบอื่น เช่น ระบบ ค แล้ว สารที่อยู่ในเทอร์โมมิเตอร์เกิดการขยายตัวเท่ากัน แสดงว่าระบบ ก และ ค มีพลังงานเท่ากัน ดังนั้นเมื่อนำทั้งสองระบบมาสัมผัสกันจะไม่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน

อุณหภูมิ (Temperature) คือ คุณสมบัติ หรือตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญมาก ทางเทอร์โมไดนามิกส์ เพราะว่าเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานของระบบ รวมไปถึงบอกทิศทางการไหลของพลังงาน ซึ่งจะไหลจากระบบที่มีพลังงานสูงไปสู่พลังงานต่ำนั่นเอง ในช่วงแรกของการใช้ทอม อุณหภูมินั้น ได้กำหนดให้จุดหลอมเหลวของน้ำเท่ากับ ศูนย์ และจุดเดือดของน้ำเท่ากับ 100 (ระบบนี้ คือ สเกลแบบ Celsius) แล้วก็กำหนดให้การขยายตัวของเหลวที่ใช้ในหลอด capillary ของเทอร์โมมิเตอร์ที่เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมินี้เท่ากับ 100°C แล้วก็ทำการแบ่งสเกลของการขยายตัวออกเป็น 100 ช่วงสเกล แต่ว่าข้อเสียของระบบนี้คือ การขยายตัวของของเหลวแต่ละชนิด เช่น โปรท กับ แอลกอฮอล์ ที่พลังงานเท่ากันอาจแตกต่างกันเล็กน้อย ทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้เกิดการคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นสเกลที่มีความถูกต้องมากกว่า คือ สเกลแบบ Kelvin, K (thermodynamic temperature scale) ซึ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความดันของแก๊สสมบูรณ์แบบ (perfect gas) ต่อไปนี้อุณหภูมิที่จะกล่าวถึงในบทเรียนทั้งหมดจะอยู่ในสเกลแบบ Kelvin ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสเกล Celsius ดังนี้

$$T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

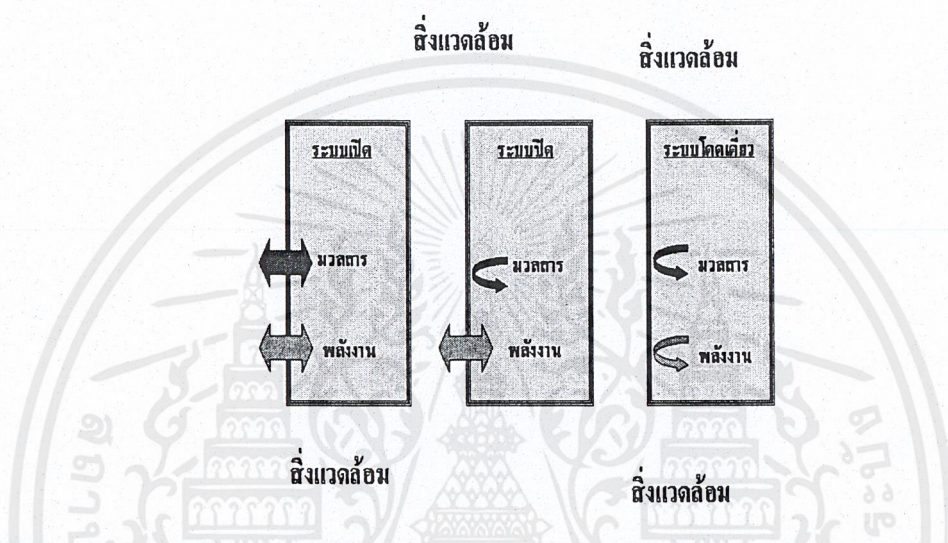
กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (1st Law of Thermodynamics)

กำหนดให้จักรวาลสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน 1) ระบบ (system) คือ อะไรก็ได้ในจักรวาลนี้ ที่เราสนใจที่จะศึกษาทำความเข้าใจ ซึ่งอาจจะเป็นเครื่องยนต์, ปฏิกริยาเคมี, เซลล์ของสิ่งมีชีวิต และอื่นๆ 2) สิ่งแวดล้อม (surrounding) คือ บริเวณอื่นที่เราใช้ในการสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในระบบ โดยทั่วไประบบสามารถแบ่งออกได้เป็นดังนี้

1) ระบบเปิด (open system) คือ ระบบที่สามารถเกิดการถ่ายเทมวลสาร เข้า-ออก จากระบบไปสู่สิ่งแวดล้อมได้

2) ระบบปิด (closed system) คือ ระบบที่ไม่สามารถเกิดการถ่ายเทมวลสาร เข้า-ออก จากระบบไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ (แต่อาจเกิดการถ่ายเทพลังงานได้)

3) ระบบโดดเดี่ยว (isolated system) คือ ระบบที่ไม่สามารถเกิดการถ่ายเทมวลสาร และพลังงาน เข้า-ออก จากระบบไปสู่สิ่งแวดล้อมได้

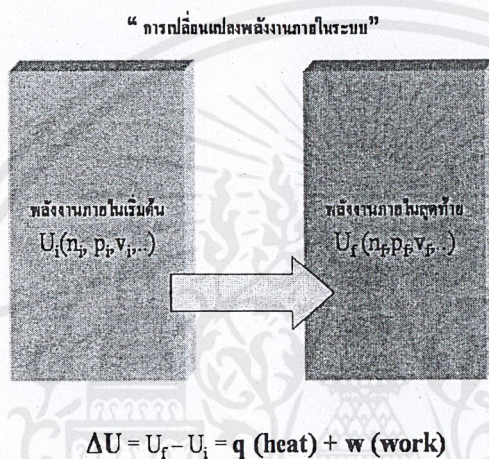


ภาพที่ 2 ระบบสมดุลสิ่งแวดล้อม

การศึกษาวิชาเทอร์โมไดนามิกส์ ส่วนใหญ่จะสนใจการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดกระบวนการต่างๆ เช่น การหลอมเหลวของสสาร, การเกิดปฏิกิริยาเคมี และอื่นๆ สำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นแล้วมีการให้พลังงานกับสิ่งแวดล้อม เราเรียกว่า กระบวนการแบบคายความร้อน (exothermic process) ตัวอย่างของกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ก็ได้แก่ การเผาไหม้ต่างๆ ในทางตรงกันข้ามถ้ากระบวนการที่เกิดขึ้นแล้วมีการรับพลังงานจากสิ่งแวดล้อม เราเรียกว่า กระบวนการแบบดูดความร้อน (endothermic process) ซึ่งได้แก่ การหลอมเหลว, การระเหย ของสสาร

กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

กำหนดให้พลังงานทั้งหมดของระบบเรียกว่า พลังงานภายใน (Internal Energy, U) ซึ่งค่าของพลังงานภายในขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรต่างๆ เช่น จำนวนโมล (n), ความดัน (p), ปริมาตร (v), อุณหภูมิ (T),... ซึ่งเราสามารถเขียนแทนด้วยเทอม $U(n,p,v,...)$ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรเหล่านี้ ดังแสดงในรูป



ภาพที่(3)การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในระบบ

หลักการสำคัญของกฎข้อที่ 1 แสดงอยู่ในสมการภายในรูป ซึ่งบอกว่า "การเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) จะเกิดขึ้นในลักษณะที่ทำให้เกิดการทํางาน(Work, w) หรือ เกิดเป็นความร้อน (Heat, q) หรือเกิดทั้งสองอย่างพร้อมๆ กัน" นั่นคือ กฎของการอนุรักษ์พลังงานนั่นเอง สำหรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทีละน้อยเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการนี้

$$dU = dq + dw \quad (1)$$

d หมายถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทีละเล็กน้อย(differential) งานที่เกิดขึ้นสามารถมีได้หลายแบบขึ้นอยู่กับระบบที่เราสนใจ แต่งานที่เราสนใจศึกษาในบทเรียนนี้ จะเกี่ยวข้องกับการขยายตัวของระบบที่ความดันคงที่(p) ซึ่งงานที่เกิดขึ้นคือ

$$dw = -pdV \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dV คือค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร และ p คือ ความดันภายนอก ซึ่งมีค่าเท่ากับความดันภายในของระบบสำหรับกระบวนการที่ผันกลับได้ จากสมการนี้เราสามารถหางานที่ระบบทำ เมื่อมีการขยายตัวของระบบจากปริมาตรเริ่มต้น (V_i) ไปสู่ปริมาตรสุดท้าย (V_f) โดยทำการอินทิเกรตทั้งสองข้าง ได้ดังนี้

$$w = - \int_{V_i}^{V_f} p dV \quad (3)$$

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน (p), ปริมาตร (V), อุณหภูมิ (T), จำนวนโมล (n) ของแก๊สสมบูรณ์แบบ จะได้ว่า

$$pV = nRT \text{ หรือ } p = (nRT)/V$$

เมื่อนำค่า p ไปแทนลงในสมการที่ 3 แล้วจัดรูปใหม่ จะได้ดังนี้

$$w = -nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = -nRT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \quad (4)$$

ดังนั้นสมการนี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหางานที่เกิดขึ้น เมื่อมีการขยายตัวของระบบที่มีแก๊สสมบูรณ์แบบบรรจุอยู่ภายใน และเกิดที่อุณหภูมิคงที่ (ลองใช้สมการนี้คำนวณดูซิว่า แก๊ส 1 โมล เมื่อขยายตัวเป็น 2 เท่า ที่ 298 K จะเกิด การทำงานเท่าไร??)

ที่ผ่านมาเรากล่าวถึงกฎข้อที่ 1 โดยเน้นไปที่ความหมายของตัวแปรที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในตัวแรก คือ งาน (w) ต่อไปเราลองมาดูความหมายของความร้อนกันบ้างว่ามีอะไรบ้าง และสามารถหาได้อย่างไร

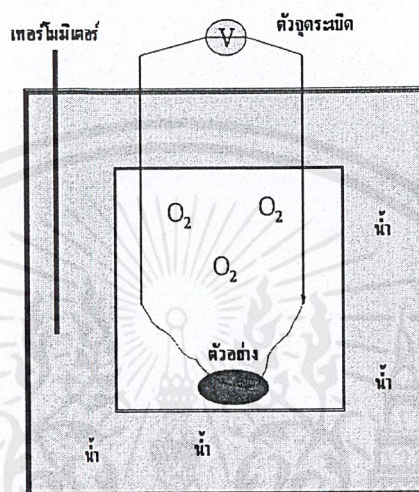
จากสมการที่ 1 จะเห็นว่า ถ้าเราทำการควบคุมการเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายใน (dU) ให้เกิดขึ้นในลักษณะที่ไม่เกิดการงานขึ้น ($dw = 0$) ซึ่งอาจทำได้โดยการควบคุมปริมาตรของระบบให้คงที่ นั่นคือ $dV = 0$ [$dw = -pdV = 0$] เราจะได้ว่า

$$dU = dq \text{ (ที่ปริมาตรคงที่ และไม่มีการงานแบบอื่นเกิดขึ้น)} \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือสามารถเขียนอีกแบบได้ว่า $DU = q_V$ นั่นเอง (ตัวห้อย V หมายความว่า ปริมาตรคงที่)

วิธีทั่วไปที่นิยมใช้ในการวัดค่า q_V สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ เรียกว่า Bomb Calorimeter ซึ่งมีลักษณะส่วนประกอบอย่างคร่าวๆดังแสดงในรูปข้างล่างนี้



ภาพที่(4) การแสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ Bomb Calorimeter

ผนังรอบนอกสุดเป็นฉนวนที่ไม่ยอมให้ความร้อนผ่านได้ ในขณะที่ผนังด้านในนำความร้อนได้เป็นอย่างดี หลักการทำงานอย่างง่ายมีดังนี้ สารตัวอย่างที่อยู่ภายในบรรยากาศอ็อกซิเจน ถูกเผาโดยการจุดระเบิดจากวงจรไฟฟ้าภายนอก พลังงานที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทสู่น้ำที่บรรจุอยู่รอบนอก ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งเราสามารถวัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งทำให้เราสามารถวัดพลังงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้

ความร้อนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (DT) ของแคลอริมิเตอร์ นั่นคือ

$$q = C \times DT \quad (6)$$

โดยที่ค่า C เป็นค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ ซึ่งจะแตกต่างกันสำหรับแต่ละแคลอริมิเตอร์ที่ใช้ ปกติเราจะหาค่านี้ได้โดยใช้ปฏิกิริยาที่เราทราบค่าความร้อนของปฏิกิริยา (จากวิธีการวัดแบบอื่น) นั่นคือเราจะทราบค่า q และ DT เมื่อนำไปแทนค่าในสมการ (6) จะหาค่า C ได้

เนื่องจากกระบวนการนี้เกิดขึ้นที่ปริมาตรคงที่ เราจะได้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นก็คือ q_v นั่นเอง จากสมการที่ (5) เราก็จะได้ค่า การเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในสำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นที่ปริมาตรคงที่ดังนี้

$$DU = q_v = C \times DT \quad (7)$$

ความจุความร้อน (Heat Capacity)

โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิของระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านความร้อนเข้าไปในระบบ ค่าปริมาณของความร้อนที่ให้เข้าไป (q) เมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (DT) 1 K เรียกว่า ค่าความจุความร้อน (C) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันและเป็นค่าจำเพาะสำหรับแต่ละระบบ สมการที่แสดงนิยามของ C คือ

$$C = q / DT \quad (1)$$

หมายเหตุ: ค่า C ส่วนใหญ่จะรายงานเป็นค่าต่อโมล(n)หรือต่อมวล(m)เป็นกรัมของสารที่อยู่ในระบบ ซึ่งค่านี้เป็นค่าคงที่สำหรับสารแต่ละชนิด ดังนั้นค่า q จากสมการที่ 1 จะเขียนได้ในรูปของ $q = mcDT$ หรือ $q = ncDT$ สมการนี้จะเป็นสมการที่คุ้นเคยที่ใช้ในการหาความร้อนจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบต่างๆ

จากที่กล่าวมาแล้ว ถ้าการเพิ่มขึ้นของความร้อนเกิดขึ้นในสภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร จะได้ค่า $q = DU$ นั่นคือจากสมการที่ 1 จะได้ว่า

$$C_v = (DU/DT)_v \quad (2)$$

ตัวห้อย v บ่งบอกว่าปริมาตรคงที่ในกระบวนการนี้ ถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นที่ละน้อยๆ เราสามารถเขียนสมการที่ 2 ในรูปของ partial differential ได้ ดังนี้

$$C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_v \quad (3)$$

$$\text{หรือ } dU = C_v dT \quad (4)$$

จากสมการที่ 1, 2 เราสามารถหาการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน หรือความร้อนของระบบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ (ถ้าเรารู้ค่าความจุความร้อนของระบบนั้น)

$$DU = q_v = C_v \times DT \quad (5)$$

สมการที่ 5 นี้ เป็นสมการที่สำคัญมาก ที่ใช้ในการหาค่าความร้อนของกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้น รวมทั้งปฏิกิริยาเคมีต่างๆด้วย แต่เราจะใช้สมการนี้ได้ต้องมีข้อแม้ว่า กระบวนการที่เกิดขึ้นเกิดที่ปริมาตรคงที่ (เงื่อนไขนี้ค่อนข้างสำคัญ!)

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นว่า การวัดค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในนั้นจะวัดได้ก็ต่อเมื่อระบบนั้นอยู่ในสถานะที่ปริมาตรคงที่ แต่ในกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปนั้น มักจะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในขณะที่กระบวนการนั้นกำลังดำเนินไป ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนสถานะ, การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่มีสารอยู่ในสถานะแก๊สเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น ค่าความร้อนที่วัดได้จากกระบวนการเหล่านี้จึงมีค่าไม่เท่ากับ DU ปัญหาตรงนี้ทำให้เราจำเป็นต้อง นิยามเทอมใหม่ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวแทนของพลังงาน ซึ่งตัวแปรอันนี้เราค่อนข้างจะคุ้นเคยกันพอสมควร ตัวแปรนี้เรียกว่า เอนทาลปี (Enthalpy, H)

เอนทาลปี (Enthalpy, H)

จริงๆแล้วเราต้องทำการ derive สมการต่างๆ หลายสมการ ก่อนที่เราจะได้สมการที่เป็นนิยามของ เอนทาลปี แต่วาเพื่อเป็นการลดความยุ่งยาก จึงจะไม่ทำการแสดงที่มาของสมการอย่างละเอียด จะแสดงเฉพาะที่จำเป็นเท่านั้น สิ่งที่ต้องจำตอนนี้คือ เอนทาลปี เป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง ที่แตกต่างจากพลังงานภายใน ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานภายในกับเอนทาลปี มีดังนี้

$$H = U + pV \quad (6)$$

ซึ่งเราสามารถเขียนสมการที่ 6 ในรูปของ differential ได้ดังนี้

$$dH = dU + d(pV) \quad (7)$$

$$dH = dU + p dV + V dp \quad (8)$$

ถ้าเราแทนค่า $dU = dq + dw = dq - p dV$ (จากกฎข้อที่ 1) ลงไปในสมการที่ 8 จะได้ว่า

$$dH = dq - p dV + p dV + V dp \quad (9)$$

$$dH = dq + V dp \quad \text{หรือ } DH = DU + V Dp \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 6, 10 คือ สมการสำคัญที่เป็นนิยามของเอนทาลปีที่ควรจำ จากสมการที่ 10 จะเห็นว่า ถ้ากระบวนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้นในสภาวะที่ความดันคงที่ (นั่นคือ $dp = 0$) เราจะได้ว่า

$$dH = (dq)_p \text{ หรือ } DH = q_p \quad (11)$$

นั่นคือ เราจะได้ว่า "สำหรับกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยที่ความดันของระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง การเพิ่มขึ้นของเอนทาลปีของระบบจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่ให้เข้าไป" เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้ชัดเจน จะยกสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในมาไว้ตรงนี้

$$dU = (dq)_v \text{ หรือ } DU = q_v \quad (12)$$

นั่นคือ เราจะได้ว่า "สำหรับกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยที่ปริมาตรของระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง การเพิ่มขึ้นของพลังงานภายในของระบบจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่ให้เข้าไป"

ค่าการเปลี่ยนแปลง เอนทาลปี โดยปกติแล้วจะวัดง่ายกว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในมาก เพราะว่าการควบคุมให้ความดันของระบบคงที่นั้น ทำได้ง่ายกว่าการควบคุมปริมาตร เพราะว่าสามารถทำได้ด้วยการปล่อยให้กระบวนการที่เกิดขึ้นเกิดที่ความดันบรรยากาศ ยกตัวอย่างเช่น การหลอมเหลว, การกลายเป็นไอ, การเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปเราจะสังเกตกระบวนการเหล่านี้ที่ความดันคงที่ของ 1 บรรยากาศ แต่ว่าการจะควบคุมให้ปริมาตรคงที่นั้นต้องอาศัยเครื่องมือพิเศษ เช่น Bomb Calorimeter ดังที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นค่าความร้อนที่ต้องใช้ในกระบวนการเหล่านี้ จึงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของ เอนทาลปี

สำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นที่ความดันคงที่ เราสามารถหาค่าความจุความร้อนได้โดยใช้นิยามจากสมการที่ 1 แล้วทำการแทนค่า $q_p = DH$ ซึ่งจะทำให้ได้สมการดังนี้

$$C_p = (DH/DT)_p \quad (13)$$

หรือสามารถเขียนในรูปของ partial differential ได้ดังนี้

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (14)$$

$$\text{หรือ} \quad dH = C_p dT \quad (15)$$

ซึ่งจากสมการที่ 13 เราสามารถหาค่า DH ของกระบวนการต่างๆ ได้ดังนี้

$$DH = q_p = C_p \times DT \quad (16)$$

ถึงตรงนี้จะเห็นว่ามีสมการเกิดขึ้นมากมาย แต่สมการที่สำคัญที่ควรจะต้องรู้และมีประโยชน์ในการคำนวณความร้อนที่เกิดขึ้น คือ สมการที่ 5 และ 16 นอกจากสมการทั้งสองที่สำคัญแล้วยังมีอีกสมการอื่นที่มีความสำคัญดังนี้ ซึ่งจะไม่ทำการ derive สมการเพราะจะยุ่งยากมากกว่านี้ สมการแรกคือ สมการความสัมพันธ์ ระหว่าง DH และ DU

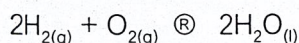
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ $H = U + pV$ ถ้าการเปลี่ยนแปลงของระบบมีแก๊สเข้ามาเกี่ยวข้อง นั่นคือเราสามารถ

แทนค่า $pV = nRT$ ได้ นั่นคือจะได้

$$H = U + nRT \text{ แล้วจะได้ } DH = DU + Dn_g RT \quad (17)$$

โดยที่ Dn_g คือ จำนวนโมลของแก๊สที่เปลี่ยนไปของการเกิดปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยานี้



จากปฏิกิริยานี้จะได้ $Dn_g = 0 - 2 - 1 = -3 \text{ mol}$ นั่นคือ $DH = DU - 3RT$

นอกจากนี้เรายังได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุความร้อน C_p และ C_v ดังนี้

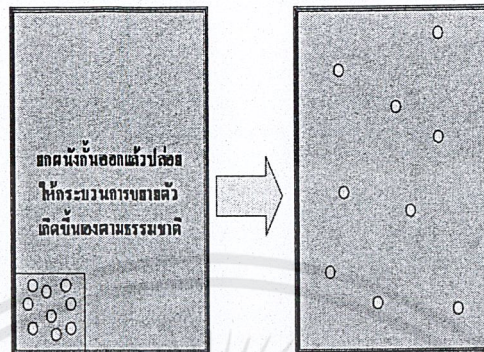
$$C_p = C_v + nR \quad (18)$$

กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (2nd Law of Thermodynamics)

กฎข้อที่ 1 อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบเมื่อเกิดกระบวนการต่างๆ ในกฎข้อที่ 2 นั้นจะอธิบายเกี่ยวกับตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดทิศทางของการเกิดกระบวนการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพหรือทางเคมี (driving force of physical and chemical change) ซึ่งตัวแปรที่สำคัญเกี่ยวกับการกำหนดทิศทางของการเกิดกระบวนการต่างๆ คือ เอนโทรปี (entropy, S) ในส่วนนี้ของบทเรียนก็จะกล่าวถึงตัวแปรตัวนี้ และวิธีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

หลายๆกระบวนการในธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้เองโดยไม่ต้องไปทำอะไรกับระบบเลย ในขณะที่บางกระบวนการไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง กระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองจะเรียกว่า spontaneous change หรือ natural change ตัวอย่างของกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ การขยายตัวของแก๊สจากปริมาตรน้อยไปสู่ปริมาตรมากขึ้น, การเย็นตัวของวัตถุร้อนไปสู่อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม หรือ การเกิดปฏิกิริยาบางชนิดที่สามารถเกิดได้ในทิศทางเดียว เราสามารถทำให้แก๊สมีปริมาตรลดลงได้, ทำให้ปฏิกิริยาเกิดในทิศทางตรงข้ามได้ แต่ว่าการที่จะทำได้ต้องอาศัยการทำงานเข้ามาช่วยให้เกิดขึ้น นั่นคือ ไม่ใช่กระบวนการที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ

“การขยายตัวของแก๊สให้เต็มปริมาตรของภาชนะที่บรรจุเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง (spontaneous process or natural process)”



“การเกิดกระบวนการนี้ทำให้ระบบเกิดความไม่เป็นระเบียบมากขึ้น”

ภาพที่(5) การขยายตัวของแก๊สในระบบ

จากการสังเกตพิจารณากระบวนการที่เกิดขึ้นเองได้ในหลายๆแง่มุมพบว่า "กระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองจะเกิดขึ้นได้เมื่อการเปลี่ยนแปลงนั้นทำให้ระบบมีความไม่เป็นระเบียบมากขึ้น" ซึ่งความไม่เป็นระเบียบที่ว่านี้หมายความรวมถึง การเกิดการกระจายตัว(dispersal)ของวัตถุ, สสาร, อะตอม, โมเลกุล หรือแม้แต่ การกระจายตัวของพลังงาน

เราจะเริ่มจากการนิยามตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่จะเป็นตัวบ่งบอกทิศทางของการเกิด spontaneous change หรือในอีกแง่หนึ่งคือ ตัวแปรที่บ่งบอกถึงความไม่เป็นระเบียบของระบบ ซึ่งตัวแปรนี้ คือ เอนโทรปี, S นั่นเอง ดังนั้นเราสามารถเขียนกฎข้อ 2 ได้ว่า "ในการเกิดกระบวนการที่เกิดขึ้นเองได้ ค่าเอนโทรปีของระบบโดดเดี่ยวจะเพิ่มขึ้น: $DS_{tot} > 0$ โดยที่ S_{tot} คือ เอนโทรปีทั้งหมดของระบบโดดเดี่ยว(isolated system)ที่บรรจุระบบที่เราสนใจอยู่ข้างใน"

กระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ (irreversible process) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เอง(เพราะเกิดกระบวนการไปข้างหน้าได้อย่างเดียว) ดังนั้นการเกิดกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้จะทำให้ เอนโทรปี ของระบบเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม สำหรับกระบวนการที่ผันกลับได้ (reversible process) ระบบอยู่ในสภาวะสมดุลกับสิ่งแวดล้อมตลอดเวลาขณะเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในกระบวนการเหล่านี้จะไม่ทำให้เอนโทรปีเพิ่มขึ้น (เพราะว่ากระบวนการสามารถเกิดขึ้นในทิศทางไปข้างหน้าและย้อนกลับได้ตลอดเวลา) แต่ว่าการเกิดกระบวนการที่ผันกลับได้อาจทำให้เกิดการโยกย้าย (transfer) ของเอนโทรปีจากส่วนหนึ่งของระบบโดดเดี่ยวไปสู่อีกส่วนหนึ่งของระบบได้จริงๆแล้วต้องมีการแก๊สสมการหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของเอนโทรปีกับตัวแปรอื่นทางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่ได้นิยามในกฎข้อที่ 1 แต่ในที่นี้จะยกความสัมพันธ์นั้นมาใช้เลย เพื่อลดความยุ่งยากของเนื้อหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามของเอนโทรปี

การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปีของระบบ ที่เกิดกระบวนการที่ผันกลับได้ แปรผันตรงกับ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบ (q_{rev}) แต่แปรผกผันกับอุณหภูมิ (T) ของระบบ นั่นคือจะได้ว่า

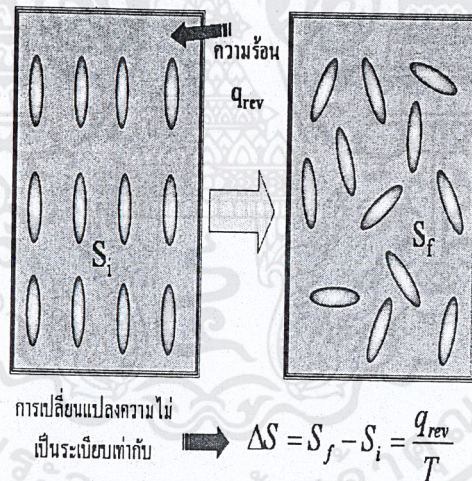
$$dS = \frac{dq_{rev}}{T} \quad (1)$$

หรือ

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dq_{rev}}{T} \quad (2)$$

(อย่าสับสนตรงนี้กับย่อหน้าก่อนหน้านี้นี้ เพราะว่าตรงนี้พูดถึงเฉพาะ เอนโทรปีของระบบที่สนใจ เท่านั้น ซึ่งบรรจุอยู่ภายในระบบโดดเดี่ยว การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของระบบโดดเดี่ยวยังคงมีค่า เท่ากับศูนย์สำหรับกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้)

“การเพิ่มขึ้นของความไม่เป็นระเบียบเมื่อมีการให้ความร้อนเข้าไปในระบบ”



ภาพที่ 6 การเพิ่มขึ้นของความไม่เป็นระเบียบเมื่อมีการให้ความร้อนเข้าไปในระบบ

รูปนี้แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการเปลี่ยนสถานะของสสารจากของแข็งไปเป็นของเหลว ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผันกลับได้ จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของความไม่เป็นระเบียบหรือเอนโทรปีแปรผันตรงกับความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบแต่แปรผกผันกับอุณหภูมิของระบบในขณะที่เกิดการเปลี่ยนสถานะ

ตัวอย่างที่ 1: การขยายตัวของแก๊สที่อุณหภูมิคงที่

ลองมาดูตัวอย่างการเกิดการขยายตัวของแก๊สสมบูรณ์แบบ โดยเกิดที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal expansion of perfect gas) ว่าจะสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีอย่างไร (การเปลี่ยนแปลงนี้สอดคล้องกับรูปแรก ที่ยกมาเป็นตัวอย่างของการขยายตัวของแก๊ส) จากสมการที่ 2 จะได้ว่าที่อุณหภูมิคงที่

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int_i^f dq_{rev} = \frac{q_{rev}}{T}$$

จากกฎข้อ 1 จะได้ว่าสำหรับกระบวนการนี้ $DU = 0$, $q_{rev} = -w_{rev}$

$$w_{rev} = -\int p dV = -\int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

นั่นคือ จะได้ว่า

$$\Delta S = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) \quad (3)$$

ถ้าแก๊ส 1 โมล เกิดการขยายตัว 2 เท่า $V_f = 2V_i$ ที่อุณหภูมิใดๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีเท่ากับ

$$\Delta S = (1 \text{ mol}) \times (8.3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times \ln 2 = + 5.76 \text{ J K}^{-1}$$

จะเห็นว่าค่าเอนโทรปีเพิ่มขึ้นเมื่อแก๊สขยายตัว ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความไม่เป็นระเบียบของระบบ

การ derive สมการในลักษณะเดียวกันสำหรับการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของแก๊สสมบูรณ์แบบ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันของระบบจาก p_i ไปเป็น p_f จะได้ความสัมพันธ์นี้ (ให้นักศึกษาที่สนใจลองทำการ derive สมการดูเอง)

$$\Delta S = nR \ln\left(\frac{p_i}{p_f}\right) \quad (4)$$

จากสมการนี้จะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นของความดัน ($p_f > p_i$) จะทำให้ ΔS มีค่าเป็นลบ นั่นคือ เอนโทรปีลดลงนั่นเอง

ตัวอย่างที่ 2: การเปลี่ยนสถานะ

กระบวนการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ที่ค่อนข้างจะคุ้นเคยอย่างหนึ่งคือ การเปลี่ยนแปลงสถานะ (phase transition) ของสสาร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงประเภทนี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง และมีการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีค่อนข้างมาก

โดยปกติแล้วการเกิดการเปลี่ยนสถานะจะเกิดที่ความดันคงที่ ดังนั้นจากกฎข้อที่ 1 จะได้ว่าค่าความร้อนที่ถ่ายเทสู่ระบบในระหว่างการเปลี่ยนสถานะ มีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ($D_{trs} H$) หรือ ที่เรียกว่า ค่าความร้อนแฝง นั้นเอง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของกระบวนการนี้ จะสอดคล้องกับสมการนี้

$$\Delta S = \frac{\Delta_{trs} H}{T} \quad (5)$$

ดังนั้นสำหรับการ กลายเป็นไอของน้ำที่ 373 K ซึ่งมีค่าการความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ($D_{vap} H$) เท่ากับ 40.7 kJ/mol จะมีการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี เท่ากับ

$$\Delta S = 40.7 \text{ kJmol}^{-1} / 373 \text{ K} = 109.1 \text{ Jmol}^{-1} \text{K}^{-1}$$

จะเห็นว่า ค่า ΔS มีค่าเป็นบวก ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความไม่เป็นระเบียบของน้ำ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวไปเป็นแก๊ส ในทางตรงข้ามถ้าเกิดการเปลี่ยนสถานะจากแก๊สมาเป็นของเหลว ค่า ΔH มีค่าเป็นลบ (คายพลังงาน) ทำให้ได้ค่า ΔS มีค่าเป็นบวก ซึ่งสอดคล้องกับการที่ระบบมีความเป็นระเบียบมากขึ้นนั่นเอง

การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีสำหรับกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ (irreversible process)

สำหรับสมการของการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ จะแตกต่างจากของกระบวนการที่ผันกลับได้เล็กน้อย ดังแสดงในสมการนี้

$$dS \geq \frac{dq}{T} \quad (6)$$

โดยที่ q คือ ความร้อนที่ให้เข้าไปในระบบ เครื่องหมายมากกว่าใช้สำหรับกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ ในขณะที่เครื่องหมายเท่ากับจะใช้สำหรับกระบวนการที่ผันกลับได้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ สมการนี้สามารถใช้สำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นเองได้ด้วย

กฎข้อที่ 3 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (3rd Law of Thermodynamics)

ในกฎข้อที่ 2 ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีเมื่อเกิดกระบวนการต่างๆ แต่ค่าที่คำนวณได้จากกฎข้อที่ 2 นั้นเป็นเพียงค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี(DS)เท่านั้น ในการที่จะหาค่าเอนโทรปีของระบบที่อุณหภูมิใดๆ นั้นจำเป็นต้องอาศัยกฎข้อที่ 3 ซึ่งนิยามเอนโทรปีของระบบที่ศูนย์องศาเคลวิน ดังนี้

"ที่อุณหภูมิ 0 K อะตอมที่อยู่ในผลึกที่สมบูรณ์แบบ(perfect crystal)จะไม่เกิดการเคลื่อนที่ (เนื่องจากไม่มีพลังงานความร้อน) ดังนั้นอะตอมเหล่านี้จะจัดเรียงอยู่อย่างเป็นระเบียบที่สุด นั่นคือ จัดเรียงตัวได้เพียงแบบเดียวเท่านั้น หรือ จะกล่าวได้ว่า ระบบไม่มีความไม่เป็นระเบียบเหลืออยู่เลย เพราะฉะนั้น ค่าเอนโทรปีของระบบผลึกที่สมบูรณ์แบบที่อุณหภูมิศูนย์องศาเคลวินจะมีค่าเป็น ศูนย์" นั่นคือ

$$S(0) = 0 \quad (1)$$

จากกฎข้อ 3 นี้ทำให้สามารถคำนวณค่าเอนโทรปีของสารหรือโมเลกุลที่อุณหภูมิต่างๆ ได้โดยการอินทิเกรตค่าเอนโทรปีที่อุณหภูมิจาก 0 K จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ในที่นี้จะไม่กล่าวถึงวิธีการหาค่าเอนโทรปีนี้ เพราะค่อนข้างจะยุ่งยากและต้องอธิบายตัวแปรอีกหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

ในหนังสือ เคมีเชิงฟิสิกส์ ทั่วไปจะบันทึกค่าเอนโทรปีของสารแต่ละชนิดไว้ที่อุณหภูมิต่างๆ ในตารางนี้แสดงตัวอย่างค่า เอนโทรปี ที่ 298 K ของสารประกอบบางชนิด

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงตัวอย่างค่า เอนโทรปี ที่ 298 K ของสารประกอบ

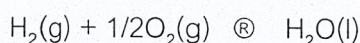
สาร	เอนโทรปี, S (JK ⁻¹ mol ⁻¹)
แกรไฟต์, C(s)	5.7
เพชร, C(s)	2.4
เบนซีน, C ₆ H ₆ (l)	173.3
น้ำ, H ₂ O(l)	69.9
ปรอท, Hg(l)	76.0
มีเทน, CH ₄ (g)	186.3
คาร์บอนไดออกไซด์, CO ₂ (g)	213.7
ไฮโดรเจน, H ₂ (g)	130.7
แอมโมเนีย, NH ₃ (g)	192.3

จะสังเกตได้ว่าโดยทั่วไปแล้วค่าเอนโทรปีของแก๊สจะมากกว่าค่าเอนโทรปีของของเหลว ส่วนค่าเอนโทรปีของของแข็งจะมีค่าน้อยที่สุด ค่าเอนโทรปีเหล่านี้สามารถนำไปหาค่าการเปลี่ยนแปลง เอนโทรปีของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ได้ ในลักษณะเดียวกันกับการคำนวณ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของปฏิกิริยาดังที่ได้กล่าวมาแล้วในกฎข้อที่ 1 ลองพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาเคมีทั่วไป (A, B, C, D แทนอะตอม หรือ โมเลกุล)



$$D_r S^\circ = \{3 \times DS^\circ(C) + DS^\circ(D)\} - \{2 \times DS^\circ(A) + DS^\circ(B)\}$$

นั่นคือ การนำเอาค่าเอนโทรปีต่อโมลที่สภาวะมาตรฐานมาทำการบวกลบกันให้สอดคล้องกับ สมการเคมีลองดูตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของปฏิกิริยานี้



$$\text{จะได้ว่า } D_r S^\circ = DS^\circ(H_2O, l) - \{DS^\circ(H_2, g) + 1/2 \times DS^\circ(O_2, g)\}$$

ซึ่งเมื่อแทนค่าเอนโทรปีของสารประกอบแต่ละชนิดลงในสมการ จะได้

$$D_r S^\circ = (69.9 - 130.7 - 1/2 \times 205.5) = -163.3 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

จะเห็นว่า ค่าเอนโทรปีลดลงสำหรับปฏิกิริยานี้ ซึ่งก็เนื่องมาจากว่าสารผลิตภัณฑ์ได้อยู่ในลักษณะของเหลว ซึ่งมีความเป็นระเบียบมากกว่าสารตั้งต้นที่อยู่ในสถานะของแก๊ส

พลังงานอิสระ (Free Energy)

จากกฎข้อ 2 ทำให้เราเข้าใจว่ากระบวนการจะเกิดขึ้นเองได้ก็ต่อเมื่อ ค่าเอนโทรปีของระบบเพิ่มขึ้น แสดงว่าถ้าเราวัดค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีได้ก็จะบอกทิศทางของการเกิดกระบวนการต่างๆได้ แต่ว่าเราจะวัดเอนโทรปีได้อย่างไร การวัดเอนโทรปีในความเป็นจริงนั้นวัดได้ยากมากและซับซ้อน ดังนั้นเราจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง กำหนดนิยามตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ชนิดใหม่ขึ้นมา ที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการบอกทิศทางของการเกิดกระบวนการต่างๆ หรือการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ตัวแปรที่ว่านี้ได้แก่ Helmholtz energy (A) และ Gibbs energy (G) ตัวแปรทั้งสองชนิดนี้บ่งบอกถึงพลังงานในอีกรูปหนึ่งคล้าย พลังงานภายใน (U) และ เอนทาลปี (H) นิยามของตัวแปรเหล่านี้ คือ

$$A = U - TS \quad (2)$$

$$G = H - TS \quad (3)$$

ซึ่งสามารถเขียนในรูปของการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

$$dA = dU - TdS \quad (4)$$

$$dG = dH - TdS \quad (5)$$

ในทางเคมีนั้นส่วนใหญ่แล้วจะเกี่ยวข้องกับ Gibbs energy เหนืออื่นใดโดยปกติแล้วจะเรียกว่า พลังงานอิสระ (free energy) สำหรับกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองนั้น ค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทั้งสองชนิดนี้ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์นี้ คือ

$$dA_{T,V} \leq 0 \quad \text{หรือ} \quad dA_{T,V} = 0 \quad (6)$$

$$dG_{T,p} \leq 0 \quad \text{หรือ} \quad dG_{T,p} = 0 \quad (7)$$

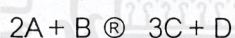
ตัวห้อยที่อยู่ในสมการหมายความว่า ตัวแปรเหล่านี้ต้องมีค่าคงที่ สำหรับกระบวนการนั้นถึงจะใช้หลักเกณฑ์นี้ได้ ถ้าดูกันแบบคร่าวๆ ก็จะบอกได้ว่า กระบวนการที่เกิดขึ้นเองได้นั้นต้องมีค่าพลังงานลดลง นั่นเอง เครื่องหมายเท่ากับในสมการหมายความว่าระบบที่อยู่ในสมดุล ซึ่งการเปลี่ยนแปลง พลังงานอิสระ จะมีค่าเป็นศูนย์

ค่าพลังงานอิสระของการเกิดสารแต่ละชนิด (standard Gibbs energy of formation, DG_f°) สามารถคำนวณได้และจะมีเป็นข้อมูลในหนังสือเคมีเชิงฟิสิกส์ต่างๆ ไป ตารางนี้แสดงตัวอย่างค่า DG_f° ที่ 298 K ของสารประกอบบางชนิด

ตารางภาคผนวกที่ 4 ค่าพลังงานอิสระของการเกิดสารแต่ละชนิดที่ 298 K

สาร	DG_f° (kJ mol ⁻¹)
เพชร, C(s)	+2.9
เบนซีน, C ₆ H ₆ (l)	+124.3
มีเทน, CH ₄ (g)	-50.7
คาร์บอนไดออกไซด์, CO ₂ (g)	394.4
น้ำ, H ₂ O(l)	-237.1
แอมโมเนีย, NH ₃ (g)	-16.5
โซเดียมคลอไรด์, NaCl(s)	-384.1

การหาการเปลี่ยนแปลง ค่าพลังงานอิสระ ของปฏิกิริยาเคมีก็สามารถ คำนวณได้โดยใช้วิธีเดียวกันกับ การหาค่าการเปลี่ยนแปลง เอนทัลปี และเอนโทรปี ลองพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาเคมีทั่วไป (A, B, C, D แทนอะตอม หรือ โมเลกุล)



$$D_r G_f^\circ = \{3 \times DG_f^\circ(C) + DG_f^\circ(D)\} - \{2 \times DG_f^\circ(A) + DG_f^\circ(B)\}$$

นอกจากนี้ ค่า $D_r G_f^\circ$ ยังหาได้จากค่า $D_r H_f^\circ$ และ $D_r S_f^\circ$ โดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ คือ

$$D_r G_f^\circ = D_r H_f^\circ - T D_r S_f^\circ \quad (6)$$

ตารางภาคผนวกที่ 5 Specific Heats of Some Substances at Room Temperature and Constant Pressure

Substance	Specific Heat $\frac{cal}{g \cdot C^\circ}$	Heat $\frac{J}{kg \cdot C^\circ}$	Molar Specific Heat $\frac{J}{mol \cdot C^\circ}$
Lead	0.0305	128	26.5
Tungsten	0.0321	134	24.8
Silver	0.0564	236	25.5
Copper	0.0923	386	24.5
Aluminum*	0.215	900	24.4
Brass	0.092	380	
Granite	0.19	790	
Glass	0.20	840	
Ice(-10 °C)	0.530	2220	
Mercury	0.033	140	
Ethyl alcohol	0.58	2430	
Seawater	0.93	3900	
Water*	1.00	4190	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 6 Some Heat of Transformation

Substance	Melting		Boiling	
	Melting Point (°C)	Heat of Fusion L_F (kJ/kg)	Boiling Point (°C)	Heat of vaporization L_v (kJ/Kg)
Hydrogen	-259.2	58.0	-252.9	455
Oxygen	-218.4	13.9	-1383.0	213
Mercury	-39.2	11.4	356.9	296
Water*	-0.1	333	99.9	2256
Lead	327.9	23.2	1743.9	858
Silver	961.9	105	2049.9	2336
Copper	1082.9	207	2594.9	4730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 7 แสดงค่าอุณหภูมิของถ่านและน้ำ โดยใช้ถ่านอัดแท่งจากแกลบและขี้เถ้าของโครงการหลวง ส่วนพระองค์

การทดลองที่ 1			การทดลองที่ 2			การทดลองที่ 3			เฉลี่ยการทดลองที่ 1 และ 3		
นาที่ (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	อุณหภูมิ ถ่าน	นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	นาที่	อุณหภูมิ ถ่าน	อุณหภูมิ น้ำ (°C)
0	25		0	25	25	0	25	25	0	25.00	25.00
5	405	60	5	416	56	5	511	65	5	458.00	62.50
10	520	82	10	500	79	10	600	74	10	560.00	78.00
15	826	87	15	705	87	15	646	85	15	736.00	86.00
20	705	94	20	724	98	20	717	90	20	711.00	92.00
25	692	95	25	690	95	25	684	91	25	688.00	93.00
30	687	93	30	679	95	30	617	92	30	652.00	92.50
35	655	91	35	654	91	35	789	89	35	722.00	90.00
40	634	89	40	619	89	40	792	89	40	713.00	89.00
45	627	89	45	607	89	45	799	89	45	713.00	89.00
50	602	87	50	605	86	50	603	87	50	602.50	87.00
55	587	87	55	601	86	55	606	86	55	596.50	86.50
60	561	85	60	598	85	60	602	85	60	581.50	85.00
65	582	84	65	584	85	65	595	80	65	588.50	82.00
70	592	84	70	571	84	70	577	80	70	584.50	82.00
75	595	84	75	557	83	75	550	74	75	572.50	79.00
80	597	83	80	520	83	80	547	76	80	572.00	79.50
85	599	82	85	516	82	85	529	78	85	532.00	80.00
90	601	80	90	493	81	90	486	71	90	543.5	75.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิของถ่านและน้ำ โดยใช้ถ่านไม้ได้ตัดแบ่ง จาก จ.ลำปาง

การทดลองที่ 1		การทดลองที่ 2		การทดลองที่ 3		เฉลี่ยทั้ง 3 การทดลอง	
นาที่	อุณหภูมิถ่าน (°C)	อุณหภูมิถ่าน (°C)	นาที่	อุณหภูมิถ่าน (°C)	นาที่	อุณหภูมิถ่าน (°C)	อุณหภูมิถ่าน (°C)
0	25	0	25	0	25	0	25.00
5	437	5	387	5	492	5	438.67
10	520	10	500	10	616	10	545.33
15	581	15	520	15	558	15	553.00
20	626	20	643	20	587	20	618.67
25	612	25	630	25	574	25	605.33
30	604	30	627	30	561	30	597.33
35	593	35	615	35	557	35	588.33
40	583	40	592	40	550	40	575.00
45	572	45	584	45	549	45	568.33
50	567	50	573	50	547	50	562.33
55	548	55	542	55	535	55	541.67
60	544	60	523	60	540	60	535.67
65	551	65	517	65	525	65	531.00
70	556	70	492	70	512	70	520.00
75	561	75	487	75	493	75	513.67
80	567	80	480	80	478	80	508.33
85	564	85	475	85	435	85	491.33
90	553	90	473	90	411	90	479.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 10 แสดงค่าอุณหภูมิของถ่านและน้ำ โดยใช้ถ่านไม้โกงกาง

การทดลองที่ 1		การทดลองที่ 2		การทดลองที่ 3		เฉลี่ยทั้ง 3 การทดลอง	
อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)	อุณหภูมิ ถ่าน (°C)	อุณหภูมิ น้ำ (°C)
0	25	0	25	0	25	0	25.00
5	426	5	392	5	384	5	400.67
10	620	10	535	10	412	10	522.33
15	629	15	595	15	423	15	549.00
20	610	20	616	20	485	20	570.33
25	608	25	608	25	582	25	599.33
30	575	30	546	30	594	30	571.67
35	520	35	492	35	473	35	495.00
40	481	40	464	40	459	40	468.00
45	446	45	431	45	427	45	434.67
50	386	50	410	50	386	50	394.00
55	298	55	367	55	323	55	329.33
60	287	60	324	60	292	60	301.00