ทอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีวิจัย

การทดลองในงานวิจัยนี้ ในระยะแรกทำการคาร์บอไนซ์โดยใช้เครื่องมือชุดการกลั่นหินน้ำมันมาตรฐาน (Fischer Assay Retort) และแผงล่วิทซ์ควบคุมเดิม (32) พร้อมทั้งแก้ไข ปรับปรุงและเพิ่มเติมอุปกรณ์ที่จำเป็นให้ครบถ้วน เพื่อให้เตาให้ความร้อนแก่ถ่านหินได้สูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ส่วนรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ สร้างขึ้นโดยขยายขนาดจากรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.1.1 เตรียมตัวอย่าง และวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.1.2 นำตัวอย่างถ่านหินที่เตรียมไว้ ทดลองคาร์บอไนซ์ในรีทอร์ทมาตรฐานของฟิชเชอร์ที่อุณหภูมิ 300 ถึง 1000 องศาเซลเซียส ทุกระดับ 100 องศาเซลเซียส วัดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ก๊าซถ่านหิน น้ำมันทาร์ ของเหลวใส และถ่านชาร์

3.1.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางเชื้อเพลิง คือถ่านชาร์,น้ำมันทาร์ และก๊าซถ่านหิน เพื่อหาขนาดของถ่านหินและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์

3.1.4 คาร์บอไนซ์ถ่านหินในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ โดยใช้ขนาดของถ่านหินและสภาวะที่เลือกได้จากข้อ 3.1.3 บันทึกปริมาณผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับข้อ 3.1.2 เพื่อให้ได้ถ่านชาร์มากพอที่จะทดลองการอัดก้อนเป็นถ่านสังเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดลองจากผลิตภัณฑ์ที่ได้

3.1.5 นำถ่านชาร์ที่ได้มาผสมกับตัวประสานเพื่อผลิตเป็นถ่านสังเคราะห์ โดยการอัดก้อน ตัวประสานที่เลือกใช้คือ แป้งเปียก และ แบลคลิกเคอร์ (black Liquor)

3.1.6 ทดสอบคุณสมบัติการลุกติดไฟ ความหนาแน่น และความแข็งแรงของถ่านสังเคราะห์

3.2 การทดลองในรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

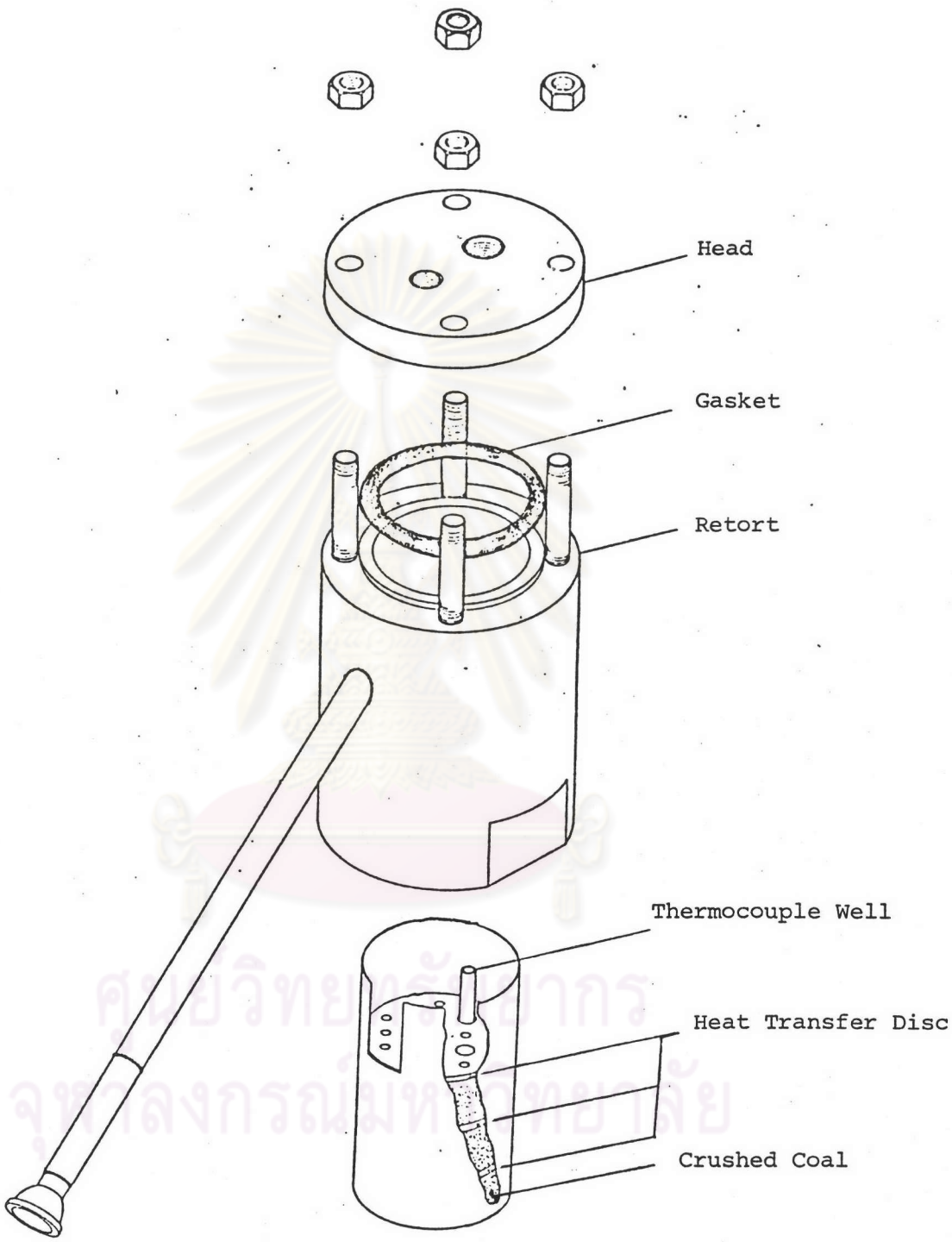
3.2.1.1 รีทอร์ท (Retort) เป็นรีทอร์ทมาตรฐานของฟิชเชอร์ (Modified Fischer Assay) ซึ่งประเทศสหรัฐอเมริกาใช้เป็นรีทอร์ทมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันจากหินน้ำมัน และหาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ถ่านหิน (33) รีทอร์ททำด้วยเหล็กปลอดสนิม ดังแสดงในภาพที่ 3.1 มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 9/64 นิ้ว สูง 3 7/5 นิ้ว บรรจุถ่านหินได้ครั้งละ 100 กรัม มีประเก็นทนความร้อนอัดให้ฝารีทอร์ทปิดสนิท กันอากาศเข้าและกันการรั่วของผลิตภัณฑ์ที่เป็นไอออกจากรีทอร์ทขณะคาร์บอไนซ์ นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆคือ แผ่นกระจายความร้อน 3 แผ่น กั้นตัวอย่างออกเป็น 3 ชั้น เพราะถ่านหินเป็นตัวนำความร้อนที่เลว แสดงไว้ในภาพที่ 3.2 และรูปที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 รีทอร์ทแบบฟิชเชอร์ เมื่อประกอบเสร็จแล้ว

i 18104601

ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบภายในรีทอร์ทคือแผ่นกระจายความร้อน 3 แผ่น ประเก็นและฝารีทอร์ท

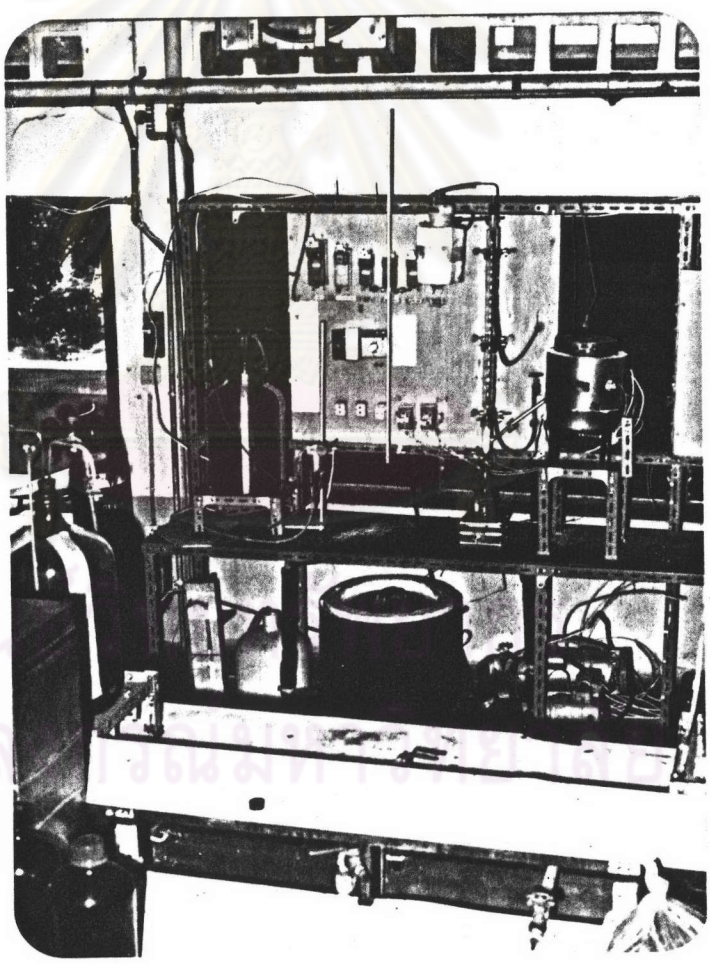
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



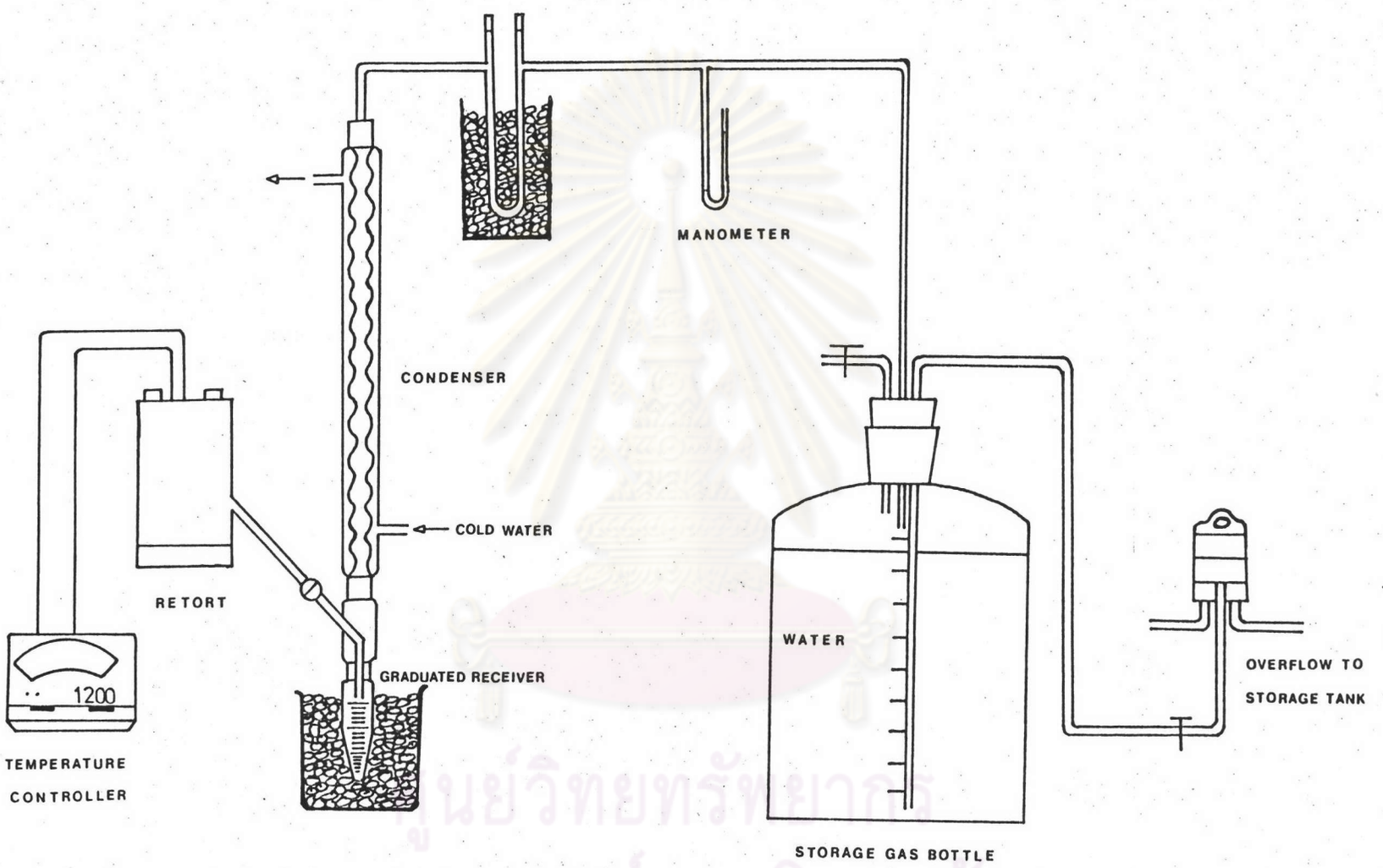
รูปที่ 3.1 แสดงรีทอร์ทและส่วนประกอบภายใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รีทอร์ทดังกล่าวมีแขนยื่นออกมาทำมุม 45 องศากับรีทอร์ทยาว 9 5/8 นิ้ว เพื่อนำผลิตภัณฑ์ไหลลงสู่ภาชนะรองรับ ซึ่งประกอบด้วยหลอดดักไอ (adapter) เพื่อแยกผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวลงสู่หลอดรับน้ำมัน (graduated receiver) ขนาด 50 มิลลิลิตร ซึ่งหล่อเย็นด้วยน้ำแข็งใส่เกลือ ส่วนไอที่เบาจะลอยขึ้นไปควบแน่น ในเครื่องควบแน่น (condenser) ซึ่งมีน้ำหล่อเย็นจากเครื่องทำความเย็นให้มีอุณหภูมิประมาณ 2 องศาเซลเซียส เพื่อแยกส่วนที่เป็นน้ำมันทาร์และไอน้ำให้ควบแน่นให้มากที่สุด จากนั้นมีหลอดแก้วรูปตัวยูบรรจุลูกแก้วเล็ก ๆ เต็มหลอดแช่ในน้ำแข็งใส่เกลือดักหมอกไอที่ผ่านออกจากเครื่องควบแน่นอีกขั้นหนึ่งก่อนเข้าสู่ขวดเก็บก๊าซถ่านหิน ด้วยวิธีแทนที่น้ำเกลืออิ่มตัว (เพื่อกันการละลายน้ำของก๊าซบางตัว) โดยก๊าซนี้ผ่านมาตามท่อนำก๊าซซึ่งเป็นท่อทองแดงขนาด 0.25 นิ้ว ในภาพที่ 3.3 เป็นชุดเครื่องมือทดลองจริง และแสดงเค้ารูปในรูปที่ 3.2



ภาพที่ 3.3 ชุดเครื่องมือทดลอง พร้อมเครื่องทำความเย็นและปั๊มน้ำเข้าเครื่องควบแน่น



รูปที่ 3.2 เค้ารูปแสดงรีทอร์ทมาตรฐานแบบฟิชเชอร์ และอุปกรณ์ดักก๊าซและน้ำมันก่อนเข้าสู่ขวดเก็บก๊าซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1.2 เตาไฟฟ้าให้ความร้อน (electric heater) เป็นเตาให้ความร้อนแก่ถ่านหินภายในรีทอร์ทด้วยลวดต้านทานไฟฟ้า เตาเป็นรูปทรงกระบอกมีฉนวนกันความร้อนเป็นปูนทนไฟ และใยหิน (asbestos) หนา 1 นิ้ว เตาที่ใช้มีทั้งหมด 4 เตา แบ่งเป็นเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและต่ำอย่างละ 2 เตา

3.2.1.2.1 เตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับคารับอไนซ์ที่อุณหภูมิ 300-600 องศาเซลเซียส มีลวดต้านทาน 2 ชุด กำลังไฟฟ้า 1,500 วัตต์ และ 500 วัตต์ รวมเป็น 2,000 วัตต์

3.2.1.2.2 เตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง สำหรับคารับอไนซ์ที่อุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส มีลวดต้านทาน 3 ชุด กำลังไฟฟ้าชุดละ 1,500 วัตต์ รวมเป็น 4,500 วัตต์

3.2.1.3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (automatic temperature controller) มี 2 เครื่อง เช่นกัน เครื่องแรกควบคุมอุณหภูมิในข้อ 3.2.1.2.1 เป็นของ Eurotherm ควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 0-800 องศาเซลเซียส อ่านได้ละเอียด 5 องศาเซลเซียส และเครื่องที่สองควบคุมอุณหภูมิเตาในข้อ 3.2.1.2.2 เป็นของ Shinko ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 0-1,200 องศาเซลเซียส อ่านได้ละเอียด 20 องศาเซลเซียส ทั้งสองเครื่องทำการควบคุมแบบปิด-เปิดอัตโนมัติ (on-off control or proportional + derivative with time) ใช้เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ชนิดโครเมล - อลูเมล แบบ เค วัดอุณหภูมิภายในรีทอร์ท โดยสอดผ่านฝาเตาเข้าไปในรีทอร์ท ซึ่งมีปลอกเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple well) ติดอยู่

3.2.1.4 เครื่องทำน้ำเย็น เป็นถังทรงกระบอกกันแบนทำด้วยเหล็กปลอดสนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ลึก 0.5 เมตร จุน้ำได้ประมาณ 0.1 ลูกบาศก์เมตร มีท่อทองแดงเย็น (cooling coil) ขดล้อมรอบให้ความเย็นแก่น้ำในถังให้มีอุณหภูมิ 0-3 องศาเซลเซียส จากเครื่องทำความเย็น และใส่ยากันสนิมลงในน้ำเล็กน้อยด้วย น้ำเย็นนี้จะถูกสูบขึ้นไปหมุนเวียนหล่อเย็นแก่เครื่องควบแน่น ตลอดเวลาที่ทำการทดลองโดยเครื่องสูบน้ำขนาด 1/8 แรงม้า

3.2.1.5 เครื่องปรับระดับน้ำในขวดเก็บก๊าซและเครื่องวัดความดัน (manometer) ก๊าซจากรีทอร์ทจะถูกเก็บไว้ในขวดเก็บก๊าซโดยหลักการแทนที่น้ำภายในขวด โดยเลื่อนเครื่องปรับระดับน้ำขึ้นลงเพื่อไล่น้ำในขวดเก็บก๊าซออก ซึ่งจะต้องกระทำให้สัมพันธ์กับอัตราเร็วของการผลิตก๊าซภายในรีทอร์ท เพื่อให้น้ำในขวดเก็บก๊าซถูกไล่ออกอย่างสม่ำเสมอ เพราะอัตราเร็วของการผลิตไม่สม่ำเสมอขึ้นกับอุณหภูมิที่กลั่นสลาย ทั้งยังช่วยปรับความดันของก๊าซในขวดให้เท่ากับความดันบรรยากาศเพื่ออ่านปริมาตรได้ด้วย

3.2.2 วิธีทดลองในรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์

แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้คือ

3.2.2.1 เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ นำตัวอย่างเศษถ่านหินจากการทำเหมืองแม่ตีบ ของบริษัท แพร่ลิกไนท์ จำกัด ผึ่งให้แห้งในอากาศ (air-dried) บดตัวอย่างทั้งหมดประมาณ 30 กิโลกรัม ด้วยเครื่องบดชนิด Hammer mill ซึ่งภายในมีฆ้อนเหล็กติดอยู่บนแกนที่หมุนได้รอบตัวตีถ่านหินให้เล็กลง และผ่านทางตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว รวบรวมถ่านหินที่บดแล้วทั้งหมดร่อนแยกขนาด ด้วยแร่งมาตรฐานออกเป็น 4 ช่วง ขนาดคือ ขนาด 2-7 มิลลิเมตร, ขนาด 1-2 มิลลิเมตร, ขนาด 0.5 - 1.0 มิลลิเมตร และขนาด 0.25-0.50 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างไว้ในถุงพลาสติกอย่างหนามัดปากแน่นไว้ทดลองต่อไป

วิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละช่วงขนาดแบบประมาณ (Proximate analysis) โดยแบ่งตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D2013 เสียก่อน แล้วบดให้มีขนาดเล็กกว่า 60 เมช (0.25 มิลลิเมตร) ด้วยเครื่องบดแบบจานวงแหวน (Disc mill) แล้วจึงวิเคราะห์ตามรายการวิเคราะห์ในตารางที่ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 รายการวิธีวิเคราะห์อ้างอิง (34-43)

ตัวอย่าง	รายการวิเคราะห์	วิธีวิเคราะห์อ้างอิง
ถ่านหินและชาร์		
	วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์	ASTM D2013 (34)
	ปริมาณความชื้น	ASTM D3173 (35)
	สารระเหย	ASTM D3175 (36)
	เถ้า	ASTM D3174 (37)
	คาร์บอนคงตัว	ASTM D3172 (38)
	ค่าความร้อน	ASTM D2015) (39) + calorimeter manual
	ปริมาณกำมะถันทั้งหมด	ASTM D3177 (40)
น้ำมันทาร์		
	ค่าความร้อน	ASTM D240 (41)+Calori-meter manual
	ปริมาณกำมะถันทั้งหมด	ASTM D3177
ก๊าซถ่านหิน		
	ค่าความร้อน	Data Sheet No.121 (42) และ ASTM D900 (43)

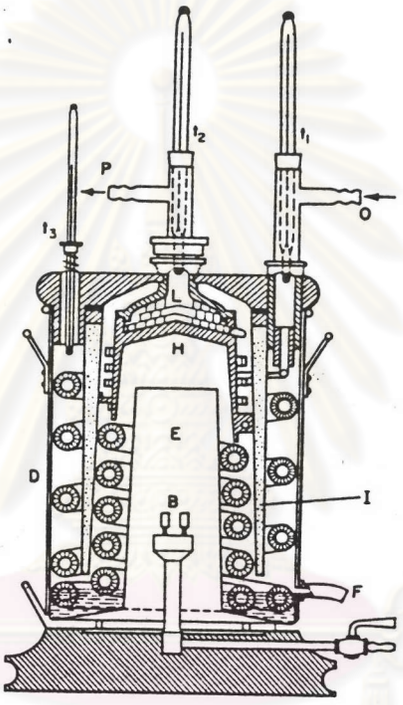
3.2.2.2 คาร์บอไนซ์ถ่านหิน นำถ่านหินแต่ละช่วงขนาดที่ร่อนเก็บไว้มาคาร์บอไนซ์ในรีทอร์ทแบบฟิซเซอร์ที่อุณหภูมิ 300-1000 องศาเซลเซียส ทุกระดับ 100 องศาเซลเซียส รวม 32 การทดลอง ชั่งถ่านหินตัวอย่างครั้งละ 100.0 กรัม บรรจุลงในรีทอร์ทครั้งละหนึ่งในสาม แต่ละชั้นคั่นด้วยแผ่นกระจายความร้อน ซึ่งมีแท่งเหล็กปลอดสนิมกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว ยาว 2 1/2 นิ้ว 3 แท่งล่อดเป็นเส้า 3 เส้า ใส่ประเก็นทองแดง (แต่ถ้าอุณหภูมิที่คาร์บอไนซ์เกิน 800 องศาเซลเซียส ต้องใช้ประเกนพิเศษชนิดทนความร้อนได้สูง ๆ) ล่อดปลอกเทอร์โมคับเปิล ซึ่งติดกับฝารีทอร์ทเข้าระหว่างชั้นถ่านหิน ปิดฝารีทอร์ทให้สนิทแน่นโดยไม่ให้ก๊าซรั่ว

นำรีทอร์ทใส่ในเตาให้ความร้อน ปิดฝาเตา และใส่เทอร์โมคับเปิลผ่านช่องบนฝาเตาใส่ลงในรีทอร์ท ต่อแขนรีทอร์ทเข้ากับหลอดดักไอ หลอดรับน้ำมัน และอุปกรณ์เก็บก๊าซ ดังภาพที่ 3.3 และรูปที่ 3.2 ให้ความร้อนแก่รีทอร์ท โดยค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ คือ เพิ่มทีละ 50 องศาเซลเซียสภายในเวลา 2-5 นาที โดยปรับการทำงานของลวดความร้อน ขณะที่อุณหภูมิภายในรีทอร์ทเริ่มสูงขึ้น อากาศภายในรีทอร์ทที่เหลืออยู่เริ่มขยายตัว ให้ปล่อยอากาศทิ้งไปทางปลายท่อนำก๊าซก่อนเข้าขวดเก็บก๊าซซึ่งจะช่วยไล่อากาศภายในท่อต่าง ๆ ออกไปด้วย จึงปิดวาล์วต่าง ๆ ให้ภายในระบบการคาร์บอไนซ์ทั้งหมดเป็นระบบปิด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึง 100 องศาเซลเซียส จะเริ่มมีไอน้ำออกมา และเมื่อเพิ่มถึงประมาณ 300 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ, ของเหลว และน้ำมันทาร์ โดยน้ำมันทาร์ และของเหลวใสซึ่งประกอบด้วยน้ำ และแอมโมเนียจะไหลลงสู่หลอดรับน้ำมัน ส่วนก๊าซถ่านหินจะออกมาไม่สม่ำเสมอ จึงต้องค่อย ๆ ปรับระดับน้ำในเครื่องปรับระดับให้น้ำถูกไล่ออกสม่ำเสมอตลอดกัน เมื่อคาร์บอไนซ์ถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว ทิ้งไว้ที่อุณหภูมินั้นจนไม่มีการสลายตัวเกิดขึ้นแล้ว (สังเกตได้จากเครื่องวัดความดันคือ ปรับความดันภายในระบบให้เท่ากับบรรยากาศแล้วไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10 นาที จึงหยุดการทดลอง ทิ้งเครื่องมือให้เย็นลงสู่อุณหภูมิห้อง อ่านปริมาตรก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ แยกน้ำมันทาร์ออกจากของเหลวใส โดยหลอมน้ำมันทาร์ ซึ่งแข่อยู่ในภาชนะที่เย็นจัดจนแข็งตัวและแยกชั้นกับของเหลวใส แล้วดูดออก วัดปริมาตรและเก็บไว้วิเคราะห์พร้อมทั้งอ่านปริมาตรของของเหลวใส ชั่งน้ำหนักของของแข็งที่เหลืออยู่ในรีทอร์ทซึ่งคือ น้ำหนักของถ่านชาร์ (ถ่านหินที่ถูกคาร์บอไนซ์แล้ว) และเก็บไว้วิเคราะห์ ทำการทดลองคาร์บอไนซ์ซ้ำจนผลที่ได้ใกล้เคียงกันมากที่สุด อย่างน้อย 2 การทดลอง จึงนำมาเฉลี่ยเป็นผลที่ได้จากการทดลองแต่ละตัวอย่าง

3.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากรีทอร์ทแบบฟิชเชอร์

3.2.3.1 การวิเคราะห์ก๊าซถ่านหิน เมื่อเสร็จสิ้นแต่ละการทดลอง วิเคราะห์ค่าความร้อน (heating value) ของก๊าซในขวดเก็บก๊าซทันที โดยใช้เครื่อง Boys calorimeter ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งได้เปลี่ยนแปลงหัวเผาไหม้ (burner) ใหม่ให้เหมาะสมกับอัตราการไหลของก๊าซถ่านหิน ซึ่งช้ามาก เพราะก๊าซถูกไล่ออกจากขวดโดยการไซฟอน หัวเผาไหม้เดิมจึงไม่สามารถจุดไฟได้ ต้องทำนมหนูรูเล็กมากให้ก๊าซผ่านขึ้นไปตามท่อเหล็กปลอด

ส่นิมขนาด 1/4 นิ้ว ที่ล่วมอยู่ และจุดไฟตรงปลายท่อ ซึ่งเป็นตำแหน่งหัวเผาไหม้เดิม วิธีการนี้วัดค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของก๊าซที่ทราบปริมาตรจากเครื่องวัดแบบเปียก (wet test meter) โดยคำนวณจากการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ทราบปริมาตรไหลวนเข้าไปรับความร้อนจากฟลูก๊าซ (flue gas) ภายในเครื่อง ซึ่งแสดงส่วนประกอบของเครื่องในรูปที่ 3.3 และการจัดเครื่องมือทดลองในภาพที่ 3.4



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของเครื่องหาค่าความร้อน (42)
แบบ Boys calorimeter

B = หัวเผาไหม้

E = ปล่องทองแดงที่ครอบหัวเผาไหม้ติดอยู่กับส่วนนอก (D)

H = เป็นบริเวณที่ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ (flue gas) ลอยขึ้นไปจากปล่อง E ปะทะที่ H (water-cooled head) แล้วไหลย้อนกลับลงมาผ่านท่อทองแดง ซึ่งมีน้ำไหลวนอยู่ 5 ท่อ จากนั้นไหลย้อนขึ้นไปผ่านท่อทองแดงวงนอก ซึ่งมีมากกว่า 4 ท่อมีน้ำหล่อเย่นกัน ก่อน

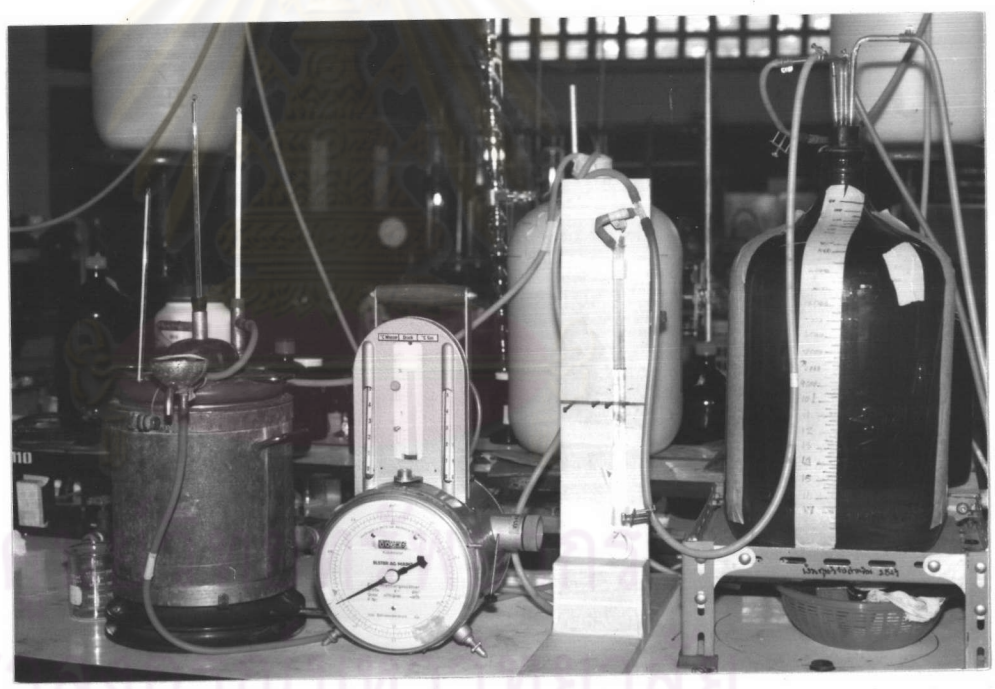
ออกจากเครื่องทางช่องเล็ก ๆ หลาย ๆ ช่องทางตอนบนของเครื่องลู่อากาศ

I = ฉนวนกั้นให้ก๊าซไหลลงและย้อนขึ้น

O = ทางน้ำเข้าจากถังที่มีระดับน้ำคงที่ วัดอุณหภูมิ (t_1) ไหลผ่านท่อทองแดงวงนอก และวงใน ไหลขึ้นไปยังบริเวณเหนือ H ตามแผ่นทองเหลืองที่วางวนเวียนกัน (L) และอากาศเครื่องทาง P ซึ่งวัดอุณหภูมิ (t_2)

t_3= อุณหภูมิก๊าซออก ที่ความดันใกล้เคียงบรรยากาศที่สุดเท่าที่จะเป็นได้

F = ระดับน้ำที่ใส่ในเครื่องก่อนทำการทดลอง และวัดปริมาตรน้ำที่ออกจาก F ขณะทำการทดลอง เป็นน้ำที่กลั่นตัวจากฟลูก๊าซ



ภาพที่ 3.4 การจัดวางเครื่องมือทดลองวัดค่าความร้อนของก๊าซถ่านหิน จากทางด้านซ้ายมือ คือ เครื่องหาค่าความร้อน เครื่องวัดปริมาตรก๊าซแบบเปียก เครื่องวัดความดัน และขวดเก็บก๊าซ ตามลำดับ

ถึงแม้ว่าก๊าซถ่านหินจะไหลช้ามาก แต่ก็ยังมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนสูงพอจึงทำให้การเผาไหม้เกิดรวดเร็ว การวิเคราะห์ก๊าซแต่ละครั้ง จะต้องใช้ก๊าซอย่างน้อย 7 ลิตร จึงจะพอเพียงให้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้ ดังนั้นในการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ (300 และ 400 องศาเซลเซียส) ปริมาตรของก๊าซต่ำมาก จึงต้องทำการทดลองคาร์บอไนซ์ซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อรวมให้ได้ก๊าซปริมาตรเพียงพอ หรือผสมก๊าซหุงต้มกับก๊าซที่ได้ในอัตราส่วนแน่นอนแล้วจึงวิเคราะห์ วิธีการหลังนี้ช่วยให้การลุกไหม้ดีขึ้นด้วย

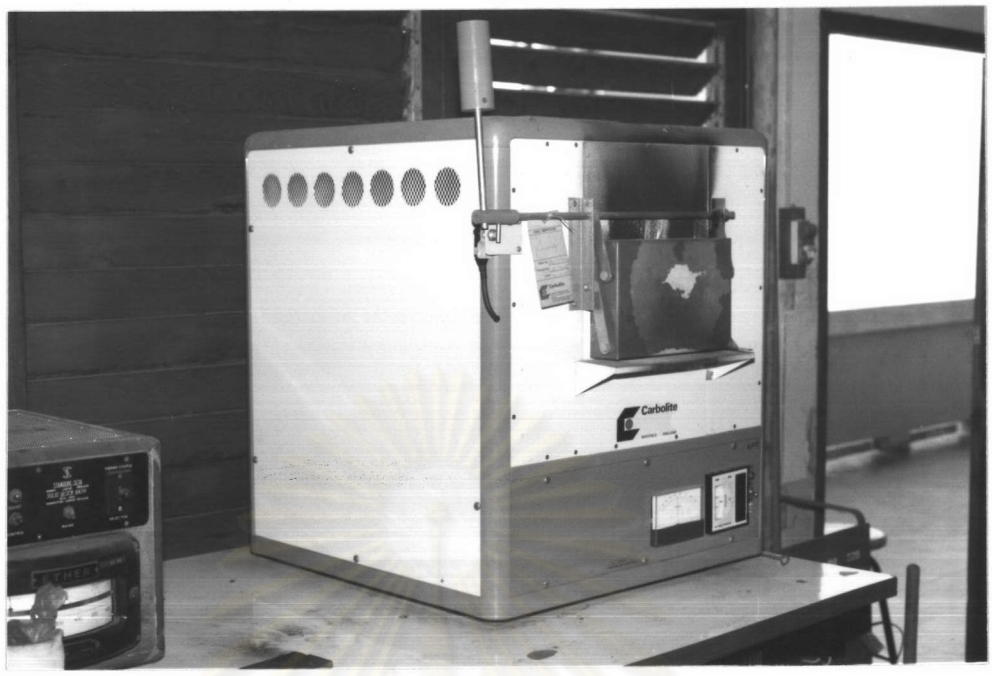
3.2.3.2 การวิเคราะห์ถ่านชาร์ การวิเคราะห์จะวิเคราะห์ถ่านหินก่อนการคาร์บอไนซ์ และถ่านชาร์เปรียบเทียบกัน โดยวิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ, หาค่าความร้อนและประมาณกำมะถันทั้งหมดเช่นเดียวกัน ตั้งแต่เริ่มต้นแบ่งตัวอย่าง (sampling), บดผ่านตะแกรง 60 เมช หรือ 0.25 มิลลิเมตร และผึ่งทิ้งไว้ในอากาศ 24 ชั่วโมง (air-dried basis) แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ดังนี้คือ

3.2.3.2.1 ความชื้น (ASTM D3173) อบตัวอย่าง 1 กรัมในจานอลูมิเนียม มีฝาปิดที่อบแห้งแล้ว ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสในเตาอบ (oven) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือไล่ความชื้นออกจนน้ำหนักที่เหลือคงที่ คำนวณได้เป็นร้อยละของความชื้น

3.2.3.2.2 สารระเหย (ASTM D3175) อบตัวอย่าง 1 กรัมเช่นกันในครูซิเบิลเฉพาะ ที่ทำด้วยนิเกิลมีฝาปิดแน่น ที่อุณหภูมิสูงถึง 950 องศาเซลเซียส เพื่อไล่สารระเหยออกคำนวณได้จากน้ำหนักที่หายไป แต่เนื่องจากถ่านหินและถ่านชาร์เป็นเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้ง่าย (sparking fuels) จึงเลือกใช้วิธีอบไล่สารระเหยที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาทีก่อนจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 950 องศาเซลเซียส และอบต่อที่อุณหภูมินี้อีก 6 นาที โดยใช้เตาเผาไฟฟ้า(electric muffle furnace) ดังภาพที่ 3.5 ชั่งหาน้ำหนักที่หายไปซึ่งเป็นสารระเหยและความชื้นเป็นร้อยละ เมื่อหักค่าร้อยละของความชื้นออกจะได้ค่าร้อยละของสารระเหย

3.2.3.2.3 เถ้า (ASTM D3174) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในครูซิเบิลกระเบื้อง (porcelain crucible) เผาในเตาไฟฟ้าเหมือนข้อ 3.2.3.2.2 ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องจนถึง 750 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้จนตัวอย่างเผาไหม้เหลือแต่เถ้าที่มีน้ำหนักคงที่ ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 4 ชั่วโมง คำนวณน้ำหนักเถ้าที่เหลือเป็นร้อยละ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.5 เตาเผาไฟฟ้า

3.2.3.2.4 คาร์บอนคงตัว (ASTM D3172) เป็นค่าที่คำนวณจากร้อยละที่เหลือ เมื่อหักค่าความชื้น, เถ้า และสารระเหยที่ความชื้นเดียวกัน

3.2.3.2.5 ค่าความร้อน (heating value or calorific value) วิเคราะห์ค่าความร้อน โดยใช้เครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ รุ่น CA - 3 ของชิมัตสุ (Shimadzu) ซึ่งก็คือเครื่องหาความร้อนแบบอะเดียเบติคตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D2015 ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องคำนวณแสดงผลออกเป็นค่าความร้อน ตามรูปที่ 3.4, 3.5 และ 3.6 ซึ่งติดตั้งอยู่ ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เครื่องหาค่าความร้อนแบบนี้ทำงานโดยอัตโนมัติ วัดค่าความร้อนจากการเผาไหม้แสดงผลเป็นตัวเลข กรณีตัวอย่างเป็นของแข็งเช่นถ่านหิน หรือถ่านชาร์จะต้องอัดตัวอย่างเป็นก้อน หรือห่อด้วยกระดาษฟาง (rice paper) ซึ่งทราบค่าความร้อนแล้ว พันห่อกระดาษด้วยลวดเผาไหม้ (ignition wire) ใส่ลงในถ้วยตัวอย่าง (sample pan) ซึ่งทำด้วยเหล็กปลอดสนิม วางถ้วยตัวอย่างในห่วงของเครื่องบอมบ์ ปิดฝาและอัดก๊าซออกซิเจนด้วยความดัน 30 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร เช่นเดียวกับเครื่องบอมบ์ทั่ว ๆ ไป แล้วประกอบเข้าในถัง (jacket) ดังรูปที่ 3.6 เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องคงที่ ตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ (ignite) และแสดงผลค่าความร้อน

การทำงานภายในเครื่องก็คือการทำงานของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอะเดียเบติค คือปรับอุณหภูมิน้ำในถังให้เท่ากับน้ำในเครื่องที่แย่บอมบ์ เพื่อกันการสูญเสียความร้อน และวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนจากตัวอย่างที่ถูกเผาไหม้ แล้วคำนวณได้จากสูตร

$$Q = C (W + w) \times t_d$$

Q : ค่าความร้อนจากการเผาไหม้, แคลอรี

C : ความร้อนจำเพาะของน้ำ, แคลอรีต่อกรัมต่อองศา

W : ค่าคงที่ของเครื่อง (Water equivalent), กรัม

w : ปริมาตรน้ำในเครื่องที่แย่บอมบ์, กรัม

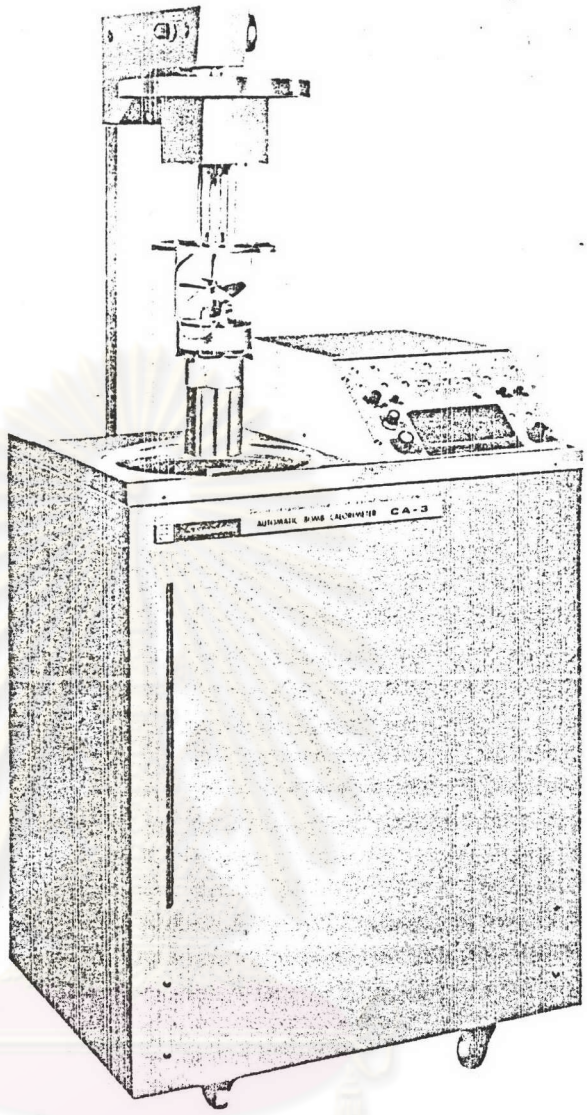
t_d : อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น, องศา

ค่าของ C (W + w) เป็นค่าคงที่ของเครื่องหนึ่ง ๆ เมื่อปรับเครื่องด้วยสารมาตรฐานซึ่งทราบค่าความร้อนแล้วคือ กรดเบนโซอิคแห้ง (benzoic acid) ดังนั้นค่าความร้อน (Q) เป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (t_d) จึงสามารถแสดงค่าความร้อนจากเครื่องได้เป็นแคลอรี

ฉ. ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (ASTM D3177) วิเคราะห์ตามวิธี Bomb washing method คือ วิเคราะห์จากน้ำล้างภายในเครื่องบอมบ์หลังการเผาไหม้แล้ว ตกตะกอนกำมะถันในรูปของแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) กรองตะกอนแบเรียมซัลเฟตนำไปเผาที่อุณหภูมิ 925 องศาเซลเซียส ในเตาเผาไฟฟ้าภาพที่ 3.5 จนน้ำหนักคงที่ประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักตะกอนนั้น คำนวณเป็นค่าปริมาณกำมะถันทั้งหมด

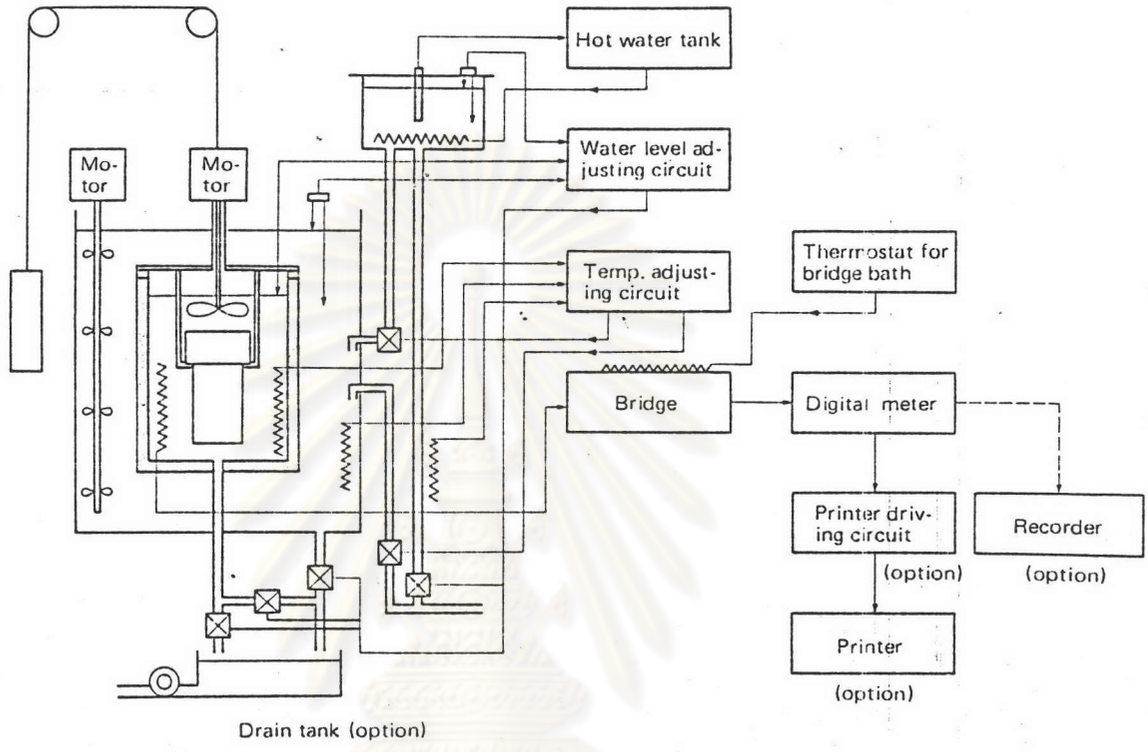
$$\text{ปริมาณกำมะถันทั้งหมด, ร้อยละ} = \frac{\text{น.น.ตะกอนแบเรียมซัลเฟต} \times 13.738}{\text{น.น.ตัวอย่างที่ใช้ในการหาค่าความร้อน}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



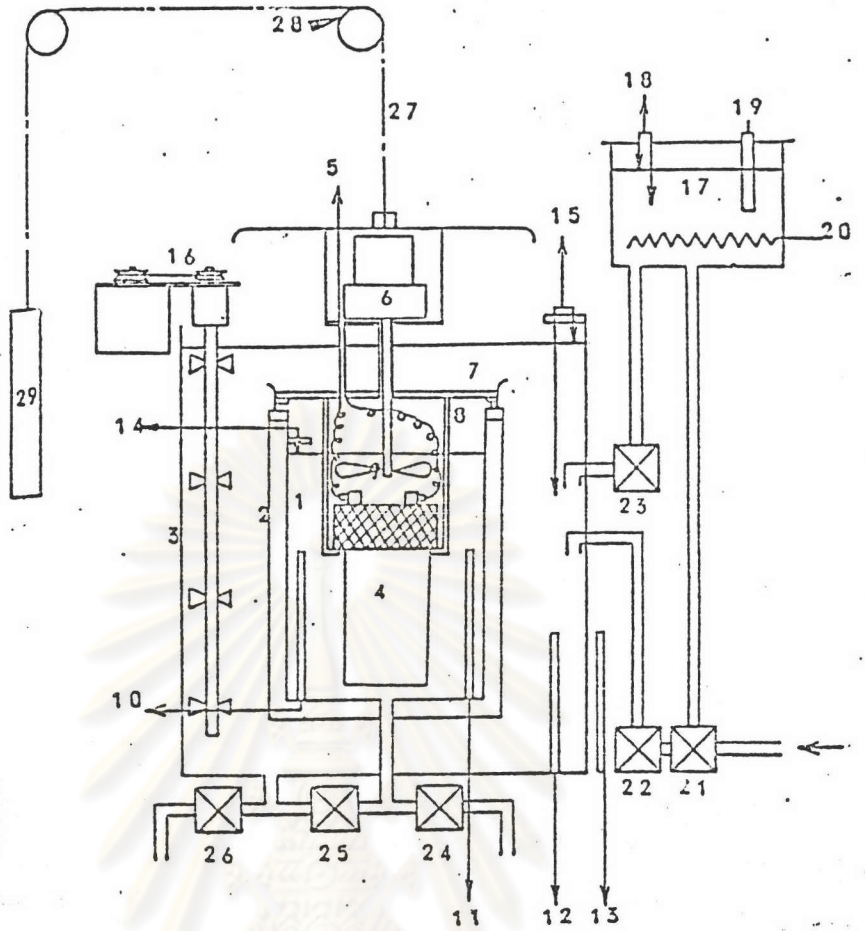
รูปที่ 3.4 เครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติรุ่น CA-3 ของยีมัตสุ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1. Calorimeter vessel
2. Air gap
3. Jacket
4. Bomb
5. Ingition lead wire
6. Stirring motor for calorimeter vessel
7. Lid for calorimeter vessel
8. Hanger for bomb
9. Stirring fin for calorimeter vessel
10. Platimum resistor
11. Nickel resistor for calorimeter vessel
12. Nickel resistor for jacket
13. Nickel resistor for room temperature
14. Water level gauge for calorimeter vessel
15. Water level gauge for jacket
16. Stirrer unit for jacket
17. Hot water tank
18. Water level gauge for hot water tank
19. Thermostat
20. Sheathed heater

รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบภายในของเครื่องหาค่าความร้อนแบบอัตโนมัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3.3 การวิเคราะห์น้ำมันทาร์ หาค่าความร้อนและปริมาณกำมะถันทั้งหมดของน้ำมันทาร์ โดยใช้วิธีเดียวกับการวิเคราะห์ถ่านหินและถ่านซ่าร์แต่ในการหาค่าความร้อนจะต้องบรรจุน้ำมันทาร์ในปลอกแคปซูลยา (gelatine capsule) ซึ่งทราบค่าความร้อนแล้ว ทั้งนี้เพื่อกันการระเหยหรือความชื้นในการเตรียมตัวอย่างชั่ง ส่วนการหาปริมาณกำมะถันจากน้ำล้างบอมบ์เช่นเดียวกัน

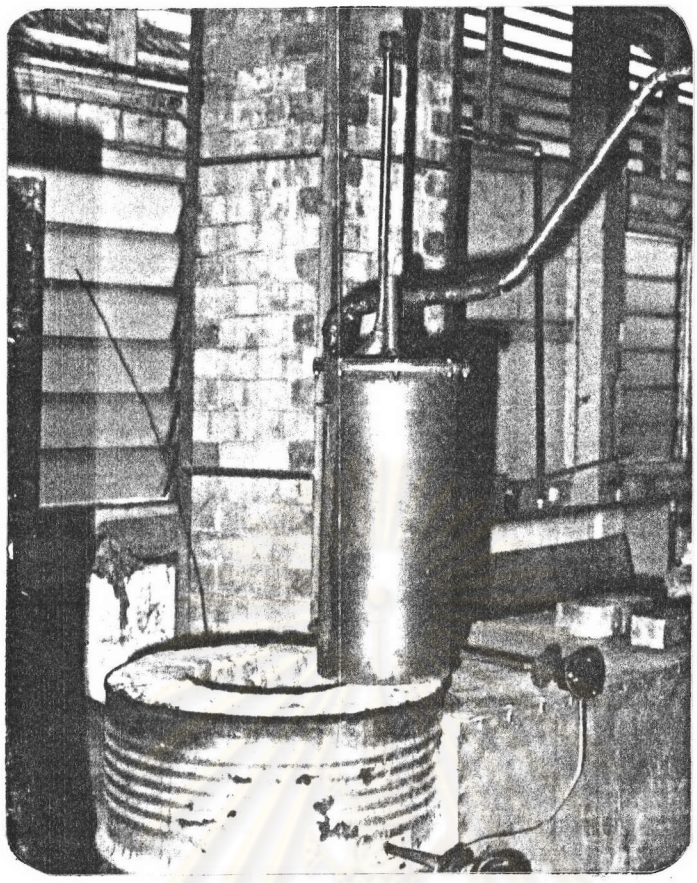
3.3 <u>การทดลองในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ</u>

จากการทดลองในรีทอร์ทมาตรฐานของฟิชเชอร์ เพื่อหาขนาดของถ่านหินและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ โดยเปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ของถ่านซ่าร์รวมทั้งผลิตภัณฑ์อันได้แก่น้ำมันทาร์และก๊าซถ่านหินแล้ว ทดลองคาร์บอไนซ์โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวรวมทั้งการควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิกับการคาร์บอไนซ์ถ่านหินจำนวนมากขึ้นในรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ ทำการบันทึกปริมาณผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบผลกับการทดลองเดิมในข้อ 3.2

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

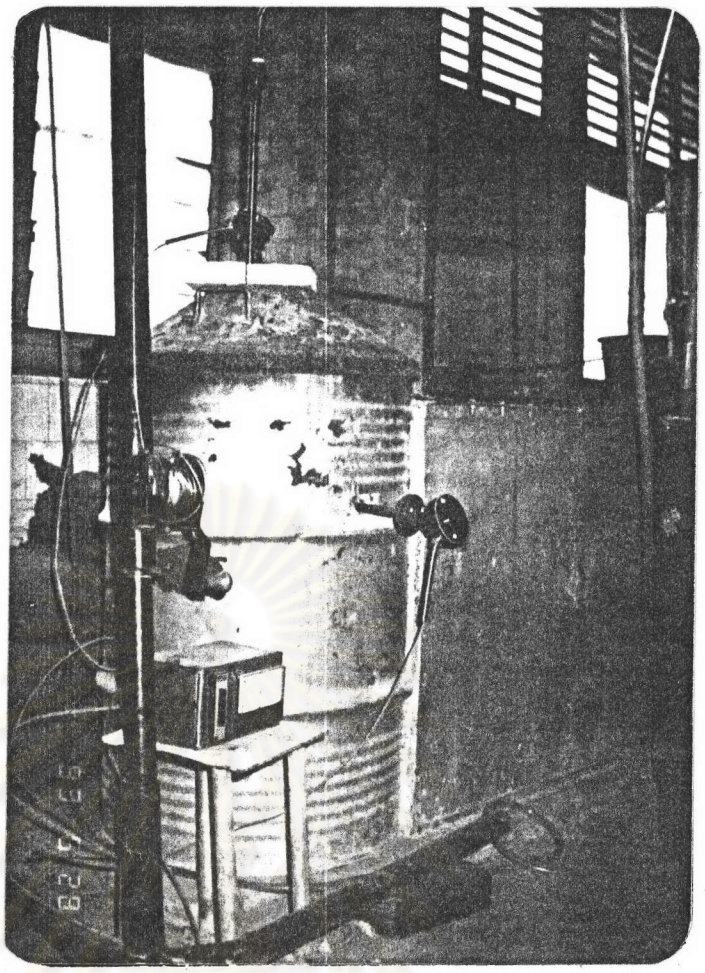
รีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการภาพที่ 3.6 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 220 มิลลิเมตร สูง 532 มิลลิเมตร ทำด้วยเหล็กปลอดสนิมหนา 2 มิลลิเมตร ดัดโค้งเป็นทรงกระบอก เพื่อให้เข้ากับรูปร่างของเตาแบบคิวโพลา (cupola) ซึ่งมีอยู่แล้ว ณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ และได้รับความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกให้ทดลองใช้ รีทอร์ทรูปทรงกระบอกนี้มีฝาปิดด้านบนลักษณะโค้งขึ้นเล็กน้อย มีท่อเลียบเทอร์โมคับเปิลเข้าในรีทอร์ท และท่อทางออกของก๊าซ และไอน้ำมัน ฝารีทอร์ทจะถูกประกบกับตัวรีทอร์ทด้วยน็อตและสกรูโดยใส่ประเก็นทองแดงกันรั่ว และมีแผ่นกระจายความร้อนเป็นส่วนประกอบภายในรีทอร์ทเช่นเดียวกับรีทอร์ทขนาดเล็ก ดังภาพที่ 3.7 ส่วนเตาคิวโพลาแสดงในภาพที่ 3.8 ให้ความร้อนโดยการเผาไหม้ก๊าซหุงต้มจากหัวเผาในภาพที่ 3.9

รีทอร์ทนี้มีท่อทางออกของก๊าซและไอน้ำมัน ซึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องควบแน่นแบบ shell and tube heat exchanger เพื่อดักไอน้ำมันให้กลั่นตัว ส่วนก๊าซและไอที่กลั่นตัวไม่หมดก็จะผ่านต่อไปยังถังดักน้ำมัน ซึ่งมีแผ่นเหล็กปลอดสนิมขวางปะทะอยู่หลายแผ่น เพื่อให้ก๊าซไหลวนอยู่ชั่วระยะหนึ่ง ก่อนเข้าไปสู่ถังเก็บก๊าซแบบแทนที่น้ำ ถังดักน้ำมันนี้จะถูกแช่ให้เย็นจัดด้วยน้ำแข็งใส่เกลือ ประกอบเข้าด้วยกันดังภาพที่ 3.10 และแผนภาพในรูปที่ 3.7

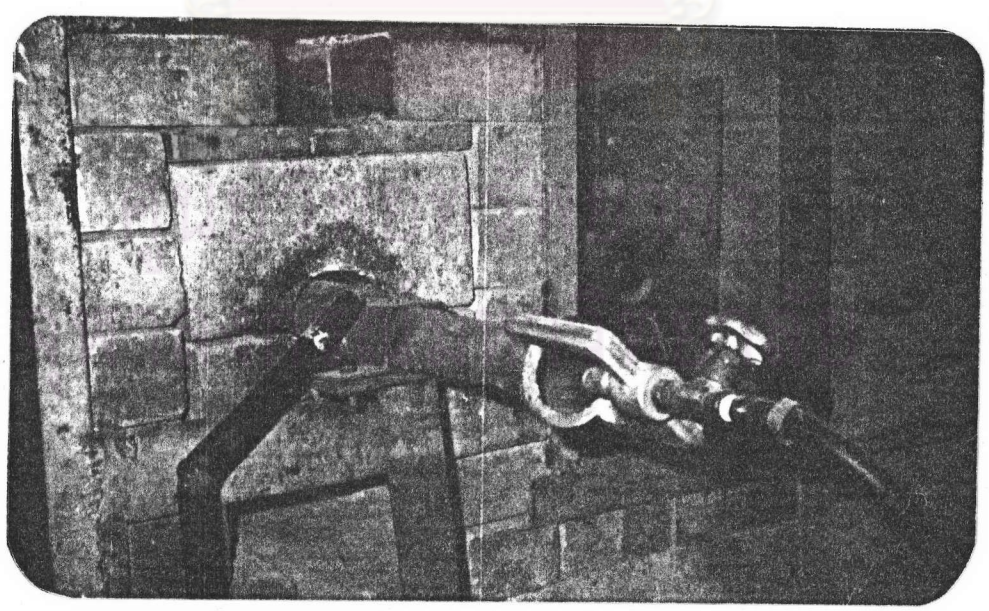


ภาพที่ 3.6 รีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ ประกอบเสร็จแล้ว

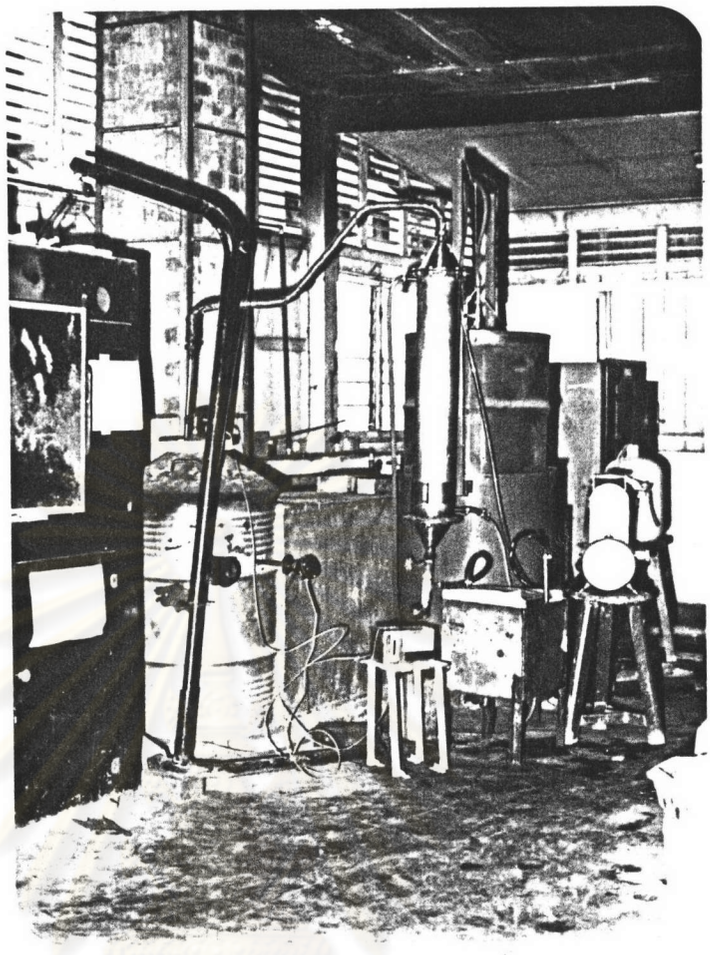
ภาพที่ 3.7 ส่วนประกอบของรีทอร์ทและชิ้นส่วนก่อนการประกอบ



ภาพที่ 3.8 แสดงเตาคิวโพลา เมื่อบรรจุรีทอร์ทและติดตั้งเทอร์โมคับเปิลแล้ว ช่องทางขวามือเป็นทางเดินของฟลูก๊าซจากหัวเผาไหม้

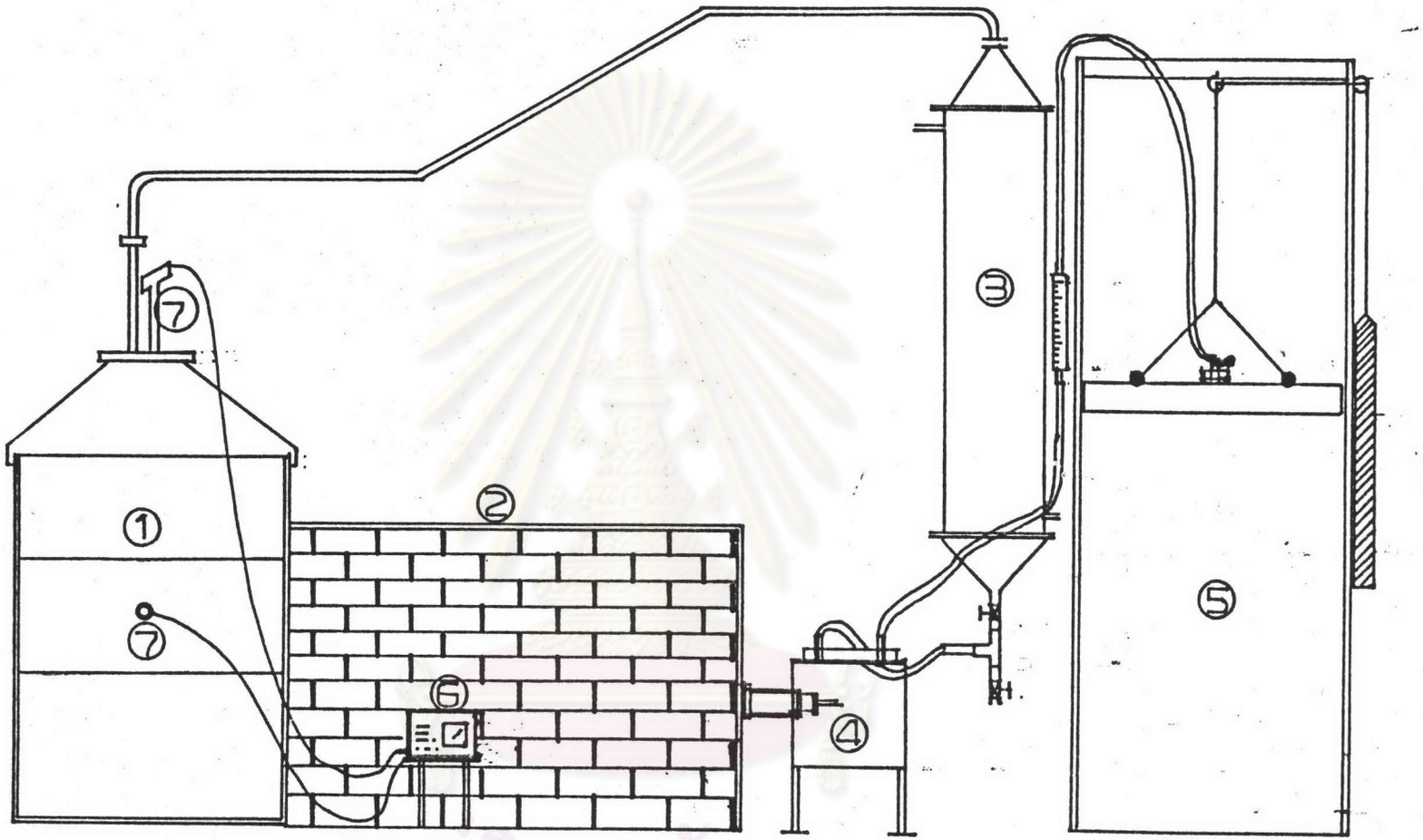


ภาพที่ 3.9 แสดงหัวเผาก๊าซหุงต้มให้ความร้อนแก่เตาและรีทอร์ท



ภาพที่ 3.10 ชุดเครื่องมือทดลองขนาดห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยเตาคิวโพลา เครื่องควบแน่น ถังดักน้ำมัน และถังเก็บก๊าซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 แผนภาพแสดงชุดเครื่องมือขนาดห้องปฏิบัติการ

3.3.2 วิธีทดลอง

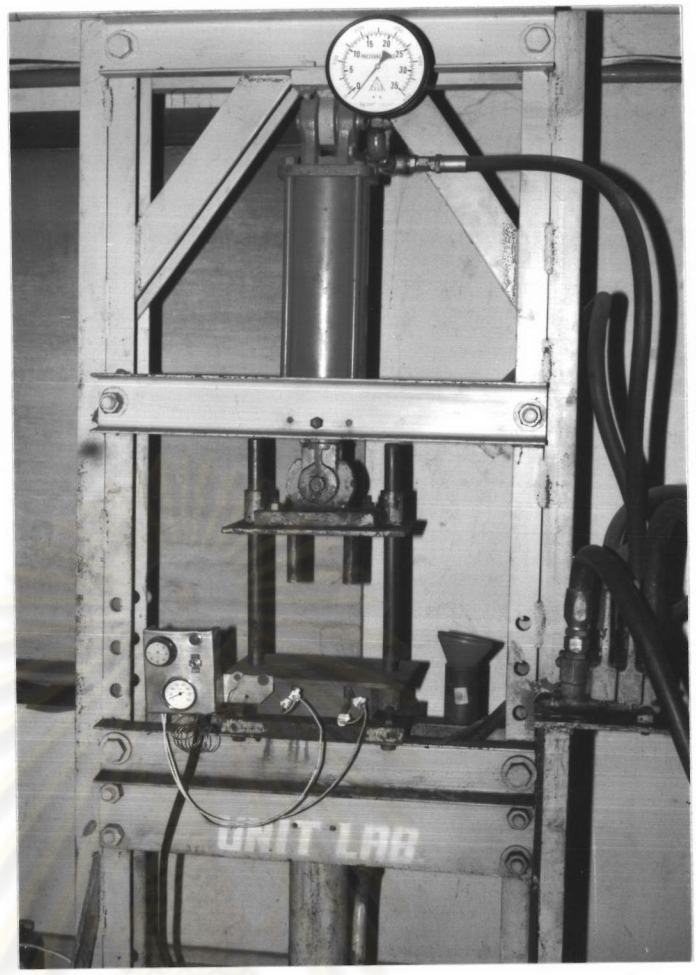
ทดลองคาร์บอไนซ์ตัวอย่างครั้งละ 3.0 กิโลกรัม บรรจุลงในรีทอร์ทกระทำเช่นเดียวกับการบรรจุในรีทอร์ทแบบฟิชเช่อร์ คือ แบ่งตัวอย่างเป็น 3 ส่วน บรรจุทีละส่วนคั่นด้วยแผ่นกระจายความร้อน โดยวางท่อกลวงเป็นแกนกลางในรีทอร์ท เพื่อสวมกับปลอกเทอร์โมคับเปิลที่ติดอยู่ด้านในของฝารีทอร์ทด้วยเวลาปิดฝารีทอร์ท เมื่อบรรจุเสร็จ ใส่ประเก็นและปิดฝารีทอร์ทขันน็อตและสกรูทุกตัวให้แน่น ยกรีทอร์ทลงใส่เตาคิวโพลา ต่อปลายท่อนำก๊าซที่ติดกับรีทอร์ทเข้ากับท่อนำก๊าซเข้าเครื่องควบแน่น ใส่เทอร์โมคับเปิลเข้าในรีทอร์ท และข้างเตาเพื่อวัดอุณหภูมิภายนอกรีทอร์ทช่วยในการปรับการเพิ่มอุณหภูมิ เมื่อจัดเตรียมเครื่องมือเรียบร้อยแล้ว จุดเตาเริ่มให้ความร้อนแก่รีทอร์ทจากการเผาไหม้ของก๊าซหุงต้ม ปรับอัตราการให้ความร้อนแก่รีทอร์ทให้สม่ำเสมอ โดยปรับความดันก๊าซหุงต้ม จนกระทั่งอุณหภูมิภายในรีทอร์ทสูงถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วรักษาอุณหภูมิให้คงที่จนกระทั่งปริมาตรของก๊าซไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดการทดลอง ในระหว่างการทดลองบันทึกอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและอ่านปริมาตรก๊าซทุก ๆ 5 นาทีจนเสร็จสิ้นการทดลอง ทิ้ง รีทอร์ทให้เย็นลงที่อุณหภูมิปกติจึงนำออกจากเตา ชั่งน้ำหนักถ่านชาร์ที่เหลืออยู่ในรีทอร์ท วัดปริมาตรของเหลวใสที่ได้ แต่น้ำมันทาร์ติดอยู่ในเครื่องมือ จึงต้องถอดท่อประกอบ เปิดเครื่องควบแน่นล้างด้วยตัวทำละลาย ระเหยแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันทาร์ ชั่งน้ำหนักน้ำมันทาร์ที่ได้ ทำการทดลองซ้ำตัวอย่างละ 2 การทดลอง

3.3.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากรีทอร์ทขนาดห้องปฏิบัติการ

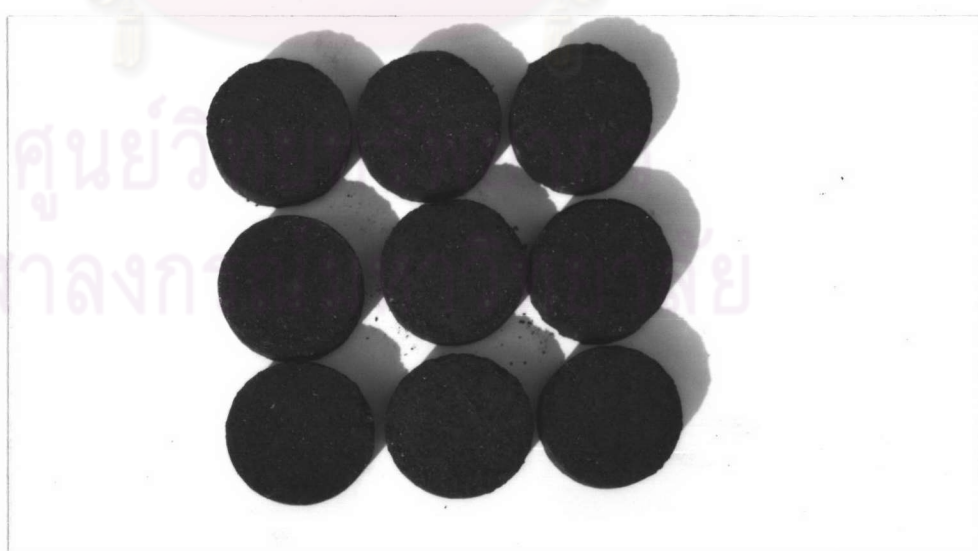
การวิเคราะห์กระทำโดยวิธีเดิมในหัวข้อ 3.2.3 ทุกหัวข้อย่อย เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกัน ส่วนถ่านชาร์เมื่อแบ่งตัวอย่างไปวิเคราะห์แล้ว เก็บถ่านชาร์ที่เหลือทั้งหมดไว้ทดลอง ผลิตถ่านอัดก้อนต่อไป

3.4 การทดลองผลิตถ่านสังเคราะห์โดยการอัดก้อนและทดลองใช้

เนื่องจากเศษถ่านหินแม่ตีบ ที่นำมาคาร์บอไนซ์เป็นถ่านหินชนิดที่ไม่เกาะตัวเป็นเค้กเมื่อถูกคาร์บอไนซ์ จึงต้องใช้ตัวประสานเข้าช่วยในการอัดก้อนเป็นถ่านสังเคราะห์ ผู้ทำการทดลองได้เคยทดลองผลิตถ่านอัดก้อนจากเศษถ่านหิน เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 1-1 1/2นิ้ว น้ำหนักก้อนละ 100 กรัม โดยใช้ตัวประสานที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น แป้งเปียก โมลาส โซเดียมซิลิเกต ปูนขาว โซดาแอช และเกลือแมกนีเซียม เป็นต้น



ภาพที่ 3.11 เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ใส่แบบอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และมีลวดไฟฟ้าให้ความร้อนแก่แบบอัด



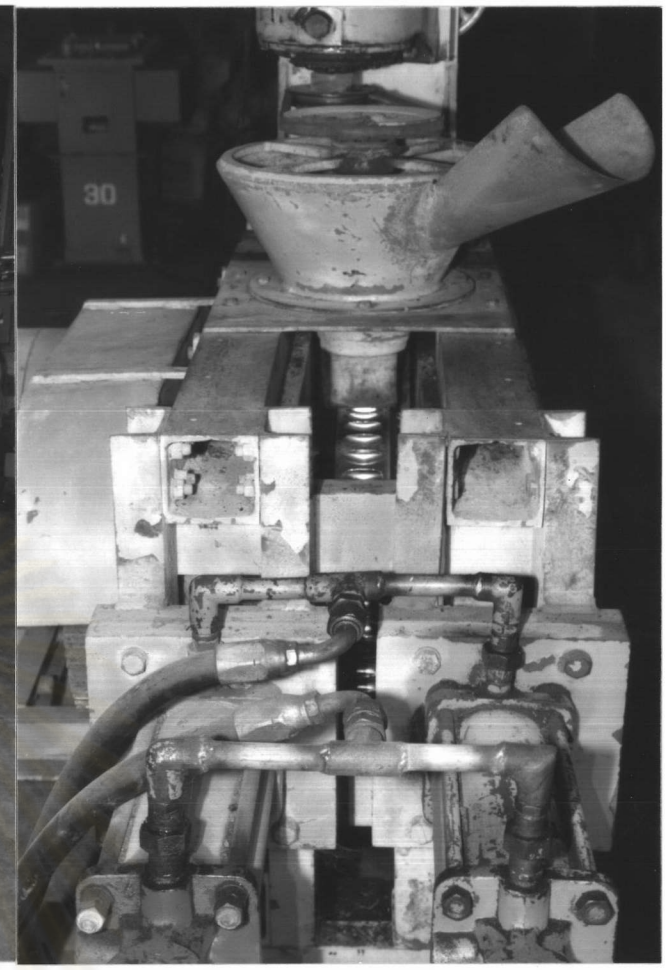
ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่อัดได้จากเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ใช้แบลคลิกเคอร์เป็นตัวประสาน

โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ธรรมดา ซึ่งเปลี่ยนแบบอัดเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 หรือ 2 นิ้วได้ ดังภาพที่ 3.11 และตัวอย่างถ่านอัดก้อนในภาพที่ 3.12 จากการทดลองพบว่าตัวประสานที่เป็นสารอนินทรีย์ใช้ประมาณน้อย เช่น ปูนขาว และโซดาแอช แต่ต้องใช้แรงอัดสูงสุด และเมื่อใช้แรงอัดต่ำ ต้องเพิ่มปริมาณตัวประสานมากขึ้นจากร้อยละ 0.2 ถึง 0.5 เป็นร้อยละ 5 อย่างไรก็ดี ถ่านหินแหล่งนี้มีเถ้าสูง เมื่อผ่านการคาร์บอไนซ์ปริมาณเถ้าจะยิ่งสูงขึ้น จึงไม่ควรเพิ่มเถ้าโดยใช้ตัวประสานที่เป็นสารอนินทรีย์ให้มากขึ้นอีก ทั้งยังมีราคาแพงกว่าพวกตัวประสานที่เป็นผลิตผลทางการเกษตร เช่น แป้งมันสำปะหลัง หรือพวกของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

3.4.1 การทดลองผลิตถ่านอัดก้อนหรือถ่านลังเคราะห์

การทดลองนี้ต้องการใช้เครื่องอัดก้อนแบบ double ring roll ดังภาพที่ 3.13 และ 3.14 ซึ่งทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ผลิตเป็นถ่านลังเคราะห์รูปไข่ (Ovoid) น้ำหนักก้อนละประมาณ 16 กรัม ดังภาพที่ 3.15 มีรูปก้อนกลมมนทำให้ทนต่อแรงกระแทก และประหยัดเนื้อที่ในการเก็บ สะดวกในการขนส่ง แต่มีแรงอัดน้อยกว่าเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ ภาพที่ 3.11 ซึ่งสามารถติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่แบบอัดได้ด้วย แต่ไม่สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง จึงใช้ทดลองหาสภาวะเบื้องต้นในการอัดก้อน อัดถ่านชาร์เป็นก้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว มีน้ำหนักก้อนละ 10 กรัม ตัวประสานที่เลือกใช้คือ แป้งเปียก จากแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 23 โดยน้ำหนัก (แป้ง 3 ส่วนต่อน้ำ 10 ส่วน) ซึ่งเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่มีมากในบ้านเรา และแบลคลิกเคอร์ (black Liquor) จากโรงงานกระดาษของบริษัทสยามคราฟท์ จำกัด ผ่านการทำระเหยแล้วมีปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids) ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นของเหลวเหนียวข้นมากมีสีดำปนน้ำตาลมีส่วนประกอบที่สำคัญคือสารลิกนิน (lignin) โซเดียมคาร์บอเนต และเยื่อ (fiber) ซึ่งละลายออกมาขณะต้มเยื่อกระดาษสามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานได้ แต่เนื่องจากมีความเหนียวข้นมาก ไม่สะดวกในการผสม จึงนำมาผสมน้ำอุ่น ให้เหลือปริมาณของแข็งทั้งหมดเพียงร้อยละ 37.5 เป็นตัวประสานที่ใช้ทดลอง ผสมถ่านอบกับตัวประสานแต่ละตัวที่เตรียมไว้ ทดลองหาสภาวะในการอัดก้อน ได้แก่ แรงอัด, ความชื้นที่พอเหมาะ และการใช้ความร้อนเข้าช่วย เพื่อให้ใช้ตัวประสานน้อยที่สุดที่สามารถอัดติดเป็นก้อนได้

ภาพที่ 3.13 เครื่องอัดแบบ double ring roll



ภาพที่ 3.14 แบบอัดรูปไข่ในเครื่องอัดแบบ double ring roll

ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างรูปไข่ จากเครื่องอัดแบบ double ring roll ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านสังเคราะห์

แบ่งการวิเคราะห์ออกดังนี้

3.4.2.1 วิเคราะห์ถ่านสังเคราะห์แบบประมาณ ค่าความร้อน และปริมาณกำมะถันทั้งหมด ตามวิธีในหัวข้อ 3.2.3.2 เพื่อเปรียบเทียบกับถ่านชาร์ก่อนอัดก้อน

3.4.2.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ คือ หาความหนาแน่นโดยการแทนที่น้ำ ความแข็งแรง และคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงเทียบกับถ่านไม้

วิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้เครื่องวัดความต้านทานแรงอัด (compressive strength) โดยวัดน้ำหนักที่กดลงบนตัวอย่างมากที่สุดที่ทำให้ตัวอย่างถูกทำลายรูปทรงไป ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นรูปทรงกระบอกสามารถวัดค่าได้เป็นความต้านทานแรงอัดในหน่วยน้ำหนักต่อพื้นที่หน้าตัด ส่วนกรณีที่ตัวอย่างเป็นรูปไข่ หาพื้นที่สัมผัสได้ยาก จึงวัดเป็นความต้านทานการแตก (crushing strength) โดยการหาน้ำหนักที่กดลงบนตัวอย่างที่วางอยู่ระหว่างแผ่นโลหะขนาน 2 แผ่น กดน้ำหนักที่แผ่นโลหะแผ่นบนจนตัวอย่างแตก ทำการทดลองเช่นนี้ 12 ครั้ง ๆ ละ 1 ตัวอย่าง หักค่าสูงสุดและต่ำสุดออกนำค่าที่เหลือมาเฉลี่ย (44)

คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิง โดยสังเกตการลุกไหม้ในเตาอั้งโล่ แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพของเตา (45) โดยเลือกขนาดเครื่องมือและสภาพการทดลองที่ใช้เป็นมาตรฐานเปรียบเทียบ ดังนี้คือ

- เตาอั้งโล่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 28 เซนติเมตร
- หม้ออลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร
- น้ำสะอาด ปริมาตรที่ใช้ต้มครั้งละ 4 ลิตร
- ถ่านไม้ ปริมาณที่ใช้ครั้งละ 500 กรัม

ในการทดลองใช้ถ่านไม้เป็นตัวเปรียบเทียบ จึงต้องวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านไม้แบบประมาณ และหาค่าความร้อนของถ่านไม้ เพื่อคำนวณค่าความร้อนทั้งหมดในถ่านไม้ 500 กรัม ที่ใช้เป็นมาตรฐาน แล้วคำนวณกลับไปหาน้ำหนักถ่านสังเคราะห์ที่มีค่าความร้อนทั้งหมดเท่ากัน เมื่อทำการทดลองเผาไหม้หาประสิทธิภาพของเตาโดยวิธีต้มน้ำครั้งเดียวจนไฟราโดยก่อไฟให้ถ่านติดดีแล้ว วัดอุณหภูมิน้ำในหม้ออลูมิเนียมดังกล่าว ปิดฝาหม้อแล้วยกขึ้นตั้งไฟ

จดเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำเดือด จากนั้นต้มน้ำต่อไป โดยเปิดฝาหม้อปล่อยให้น้ำระเหยกลายเป็นไอไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไฟรา คือถ่านในเตาลุกไหม้หมด ชั่งน้ำหนักน้ำที่เหลือ จะทราบปริมาณน้ำที่ระเหยไป จากข้อมูลทั้งหมดคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาจากปริมาณความร้อนที่ถ่านให้ทั้งหมด ดังนี้คือ

$$\text{ประสิทธิภาพของเตาถ่าน} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับทั้งหมด}}{\text{ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่าน}} \times 100$$

$$\text{หรือ} \quad n = \frac{ms(T_2 - T_1) + (m - m_1)\lambda}{wq} \times 100$$

เมื่อ w : น้ำหนักของถ่าน, กรัม

q : ค่าความร้อนของถ่าน, แคลอรีต่อกรัม

m : น้ำหนักน้ำในหม้อ, กรัม

s : ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส

T_1 : อุณหภูมิของน้ำเมื่อเริ่มแรก, องศาเซลเซียส

T_2 : อุณหภูมิของน้ำเดือด, องศาเซลเซียส

λ : ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ, แคลอรีต่อกรัม

n : ประสิทธิภาพของเตาถ่าน, ร้อยละ

m_1 : น้ำหนักน้ำที่เหลือ, กรัม

ขณะที่ทำการทดลองหาประสิทธิภาพของเตาถ่านโดยใช้ถ่านลังเคราะห์เทียบกับถ่านไม้ ลังเกตลีเปลวไฟขณะถ่านลุกไหม้ ลักษณะการติดไฟ กลิ่น และเขม่าควันขณะลุกไหม้ ตลอดจนเถ้าถ่านที่เหลือ และถ่ายรูปไว้ประกอบการพิจารณา จากข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้เห็นถึงคุณภาพของถ่านลังเคราะห์ว่า สามารถนำมาใช้กับเตาถ่านทั่ว ๆ ไป เพื่อทดแทนถ่านไม้ได้ดีเท่ากันหรือดีกว่าหรือไม่ เพื่อการพัฒนาใช้ในขั้นต่อไป