บทที่ 4

วิธีการทดลอง

วิธีผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์($ZnCl_2$)

เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยเครื่องแอคติเวเตอร์แบบเบดนิ่ง ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาตัวแปรที่สำคัญในการผลิตคือ อุณหภูมิ, เวลา, ปริมาณของ $ZnCl_2$, ระยะเวลาการแช่$ZnCl_2$, ขนาดอนุภาคเริ่มต้น โดยทั่วไปการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$ มักใช้วัตถุดิบที่ไม่ถูกคาร์โบไนซ์มาก่อน แต่เนื่องจากกะลาตาลโตนดมีความแข็งและเหนียวมาก ประกอบกับการที่ไม่มีเครื่องบดที่เหมาะสม จึงจำเป็นที่จะต้องเผากะลาตาลโตนด ให้เป็นถ่านเสียก่อน เพื่อให้สะดวกในการบด จึงทดลองเพื่อหาสภาวะของการคาร์โบไนซ์ที่จะได้ถ่านที่มีคุณภาพดีที่สุดด้วย รายละเอียดของการผลิตมีดังนี้

1. อุปกรณ์, สารเคมีและการเตรียม

อุปกรณ์แสดงในรูปที่ 4.1

- กรรไกรตัดแผ่นเหล็ก สำหรับตัดกะลาตาลให้ขนาดเล็กลง
- เครื่องบดหยาบแบบ Jaw-crusher
- เครื่องบดละเอียดแบบ Disc mill
- เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่ง ความจุ 18 ลิตร(รูปที่ 3.9)
- เตาเผาอุณหภูมิสูง(Muffle furnace) ของ CARBOLITE(England) type ESF 12/23 , ช่วงอุณหภูมิ 0-1,200 องศาเซลเซียส
- ตู้อบ ของ MEMMERT, ช่วงอุณหภูมิ 0-250 องศาเซลเซียส
- ชุดกรองสุญญากาศ และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ซึ่งใช้ปั๊มสุญญากาศแบบ Aspirator รุ่น A-3S ของ EYELA,Tokyo Rikakikai Co.,Ltd.

- เครื่องเขย่าตามแนวราบของ JANKE&KUNKEL รุ่น KS 250, ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที

- ครูซิเบิลพอร์ซเลนความจุ 130 มิลลิลิตร พร้อมฝา

- เครื่องเขย่าแร่ง(Sieve shaker) EFL1 mk3

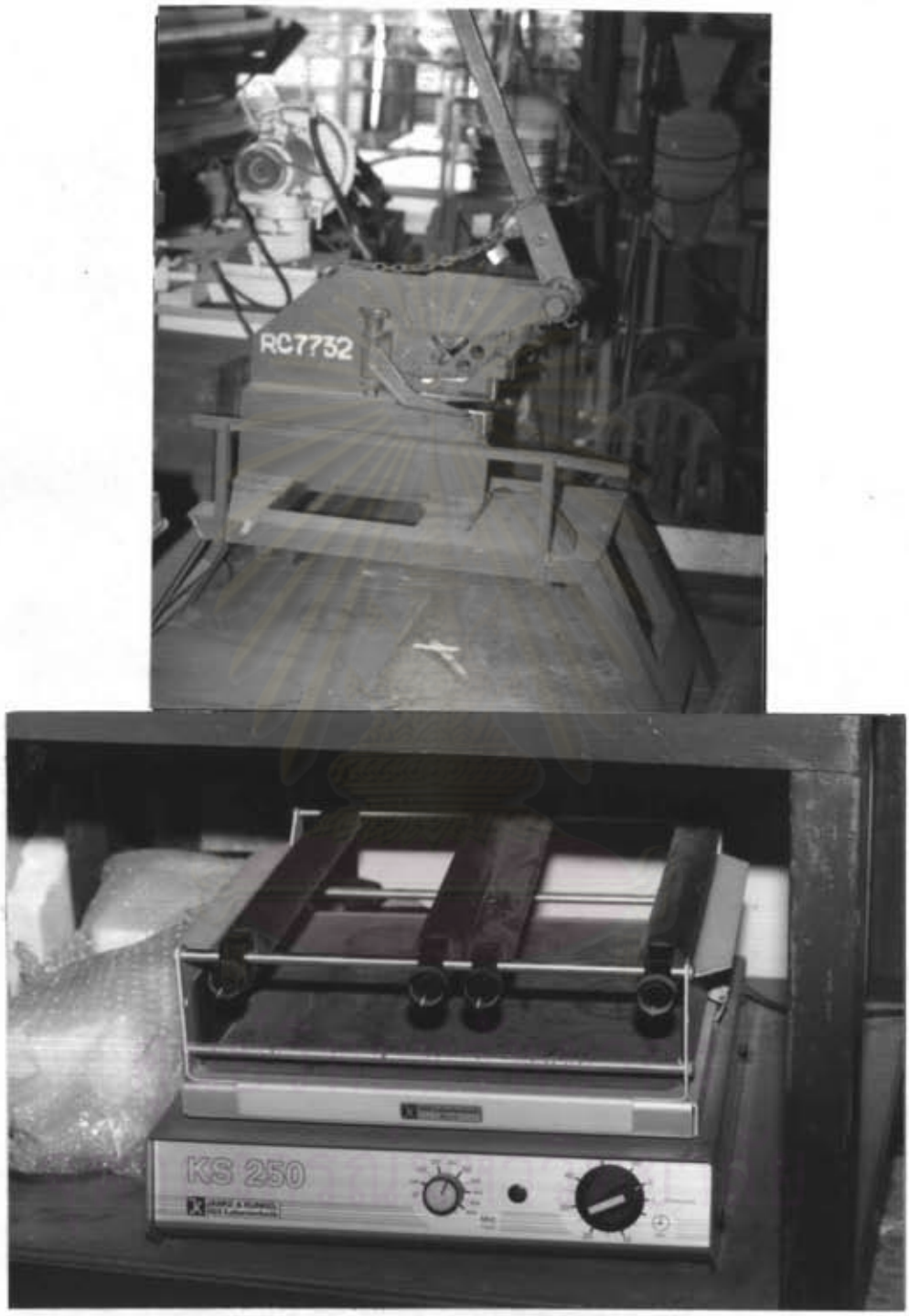
- แร่งขนาดต่างๆดังนี้ 1.19(16 เมช), 1.68(12 เมช), 2.38(8 เมช), 3.36(6 เมช) มิลลิเมตร

- สารละลาย$ZnCl_2$เข้มข้นร้อยละ 30, 40, 50, 60 และ 70 โดยน้ำหนัก วิธีการเตรียมคือ ชั่ง $ZnCl_2$ เกรดการค้าที่แห้งจำนวน 30, 40, 50, 60 และ 70 กรัม ตามลำดับ แล้วเติมน้ำกลั่นให้มีน้ำหนักเป็น 100 กรัม กวนจน $ZnCl_2$ ละลายหมด กรองเพื่อแยกส่วนที่ไม่ละลายออกให้หมด วัดความถ่วงจำเพาะและบันทึกค่า ถ้ามีการเตรียมสารละลาย $ZnCl_2$ใหม่ ต้องทำให้ความถ่วงจำเพาะเท่ากับที่เตรียมในครั้งแรก เพราะ$ZnCl_2$เป็นสารดูดความชื้นและไม่ระบุความบริสุทธิ์ไว้ ทำให้การชั่งเตรียมอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร วิธีเตรียมคือ ตวงน้ำกลั่นจำนวน 90 มิลลิลิตรด้วยกระบอกตวง เทใส่บีกเกอร์ แล้วตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นเกรดวิเคราะห์ จำนวน 10 มิลลิลิตร ค่อยๆเทลงในน้ำกลั่นที่เตรียมไว้ กวนให้เข้ากัน แล้วเทกลับไปไปมาระหว่างบีกเกอร์กับกระบอกตวงที่ใช้

- สารละลายด่างโซเดียมคาร์โบเนต(Na_2CO_3)เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก วิธีเตรียมคือ ชั่ง Na_2CO_3 เกรดวิเคราะห์ จำนวน 5 กรัม เติมน้ำกลั่นจนมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 100 กรัม

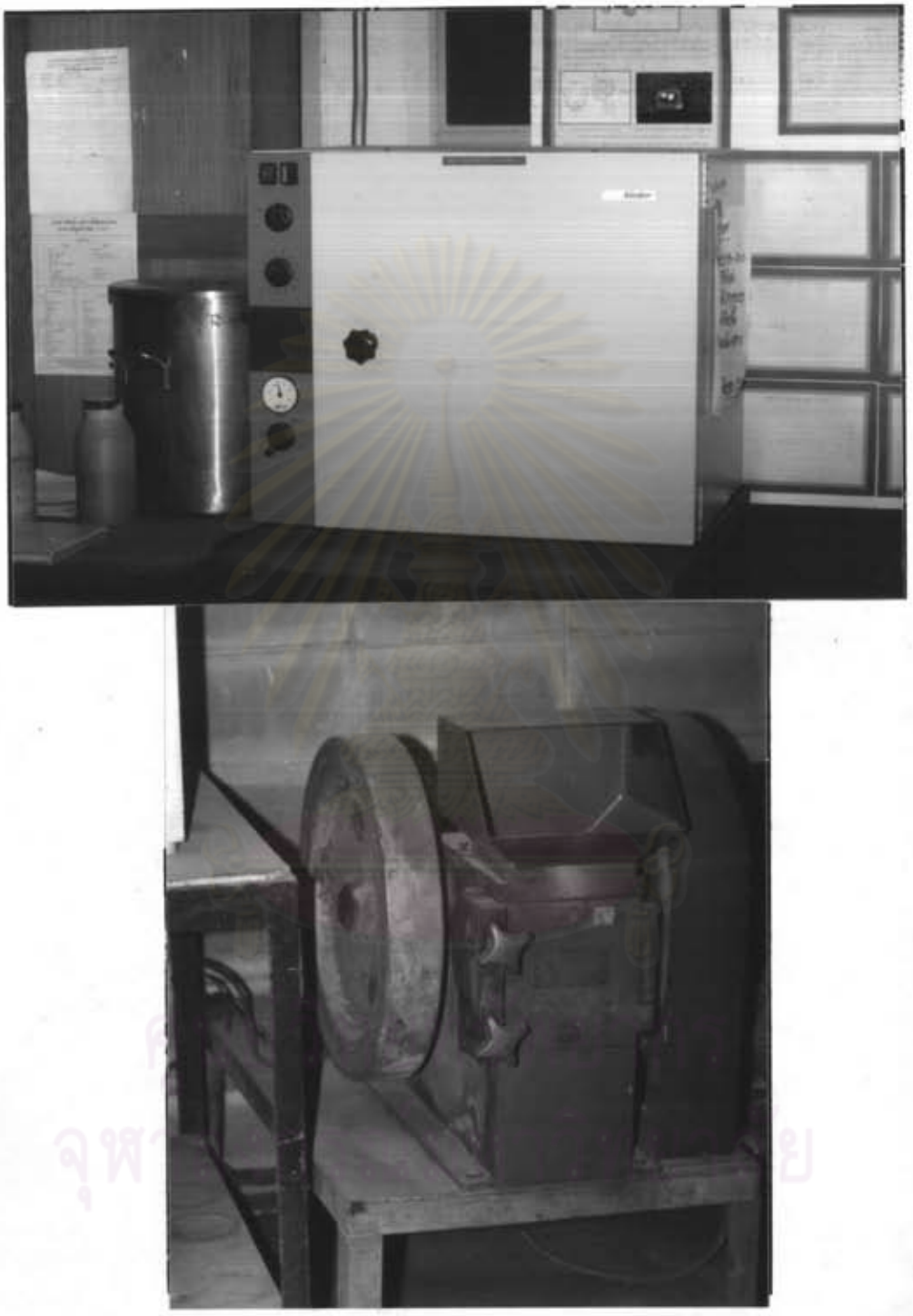
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย$ZnCl_2$

(บน) กรรไกรตัดเหล็ก

(ล่าง) เครื่องเขย่าตามแนวราบ



รูปที่ 4.1(ต่อ) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$

(บน) ตู้อบ

(ล่าง) เครื่องบดหยาบ

รูปที่ 4.1(ต่อ) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย $ZnCl_2$

(บน) เครื่องบดละเอียด

(ล่าง) เตาเผาอุณหภูมิสูง

รูปที่ 4.1(ต่อ) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตถ่านกัมมันต์ด้วย$ZnCl_2$

เครื่องเขย่าแร่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบในงานวิจัย เป็นกะลาตาลโตนดที่ได้จากเกษตรกรในจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งผ่าแล้วนำจาวตาลไปจำหน่าย ดังนั้นจึงเป็นกะลาตาลโตนดที่ถูกผ่าออกเป็น 2 ส่วนแล้ว ซึ่งสามารถบรรจุในเครื่องคาร์โบไนซ์ได้ทันที แต่ในงานวิจัยนี้ได้ตัดให้เป็นชิ้นเล็กด้วยกรรไกรตัดเหล็ก เพื่อคาร์โบไนซ์ได้คราวละมากๆ

3. ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

3.1 หาสภาวะการเตรียมถ่านกะลาตาลโตนดที่เหมาะสม มีรายละเอียดดังนี้

- ชั่งกะลาตาลโตนดที่แห้ง 2,000 กรัม ใส่ในเบดของเครื่องคาร์โบไนเซอร์ ปิดฝาและขันน็อตให้แน่น

- ตั้งอุณหภูมิของเครื่องควบคุมที่ 200 องศาเซลเซียสจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเบดขึ้นถึง 200 องศาเซลเซียส เริ่มนับเวลาจนกระทั่งถึงเวลาที่ต้องการ คือ 1, 2, และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดเวลา รีบยกเบดออกจากส่วนให้ความร้อน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคาร์โบไนซ์อีก

- นำมาตั้งทิ้งไว้เย็น แล้วเปิดฝาเพื่อนำถ่านที่ได้ออกมาชั่งบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้

- ทดลองซ้ำโดยแปรอุณหภูมิของการทดลองคือ 250, 300 และ 400 องศาเซลเซียส(ดูการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในภาคผนวกที่ ฎ)

- บดและคัดขนาดด้วยแร่งขนาด 1.68 - 2.38 มิลลิเมตร

- ชั่งถ่านที่เตรียมได้จำนวน 20 กรัม ใส่ลงในครูซิเบิล เติมสารละลาย$ZnCl_2$เข้มข้นร้อยละ 50 จำนวน 60 กรัม

- กวนด้วยแท่งแก้ว 5-10 นาที ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้ $ZnCl_2$ซึมเข้าไปทั่วเม็ดถ่านโดยไม่ต้องเขย่า แล้วอบที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 1ชั่วโมง

- นำไปกระตุ้นในเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

- นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นภายนอกเตา แล้วนำไปล้างบนเครื่องกรองสุญญากาศที่ใช้กระดาษกรองเบอร์42 ด้วยสารละลายกรดHClที่ร้อน 3 ครั้งๆละ 100 มิลลิลิตร

ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้งๆ 200 มิลลิลิตร จากนั้นล้างด้วยสารละลาย Na_2CO_3 ประมาณ 10 มิลลิลิตร โดยการฉีดด้วยขวดฉีด

- อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนแห้ง บดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

3.2 <u>หาความเข้มข้นและปริมาณของ $ZnCl_2$ ที่เหมาะสม</u>

- ชั่งกะล่าตาลโตนดที่แห้ง 2,000 กรัม ใส่ในเบด ปิดฝาและขันน็อตให้แน่น

- ใช้สภาวะที่ได้จากการทดลองข้อ3.1 คือตั้งอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิภายในเบดขึ้นถึง 200 องศาเซลเซียส เริ่มนับเวลาจน ครบ 2 ชั่วโมง

- นำมาตั้งทิ้งไว้เย็น แล้วเปิดฝาเพื่อนำถ่านที่ได้ออกมาชั่งบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้

- บดและคัดขนาดด้วยแร่งขนาดต่างๆคือ 1.68-2.38 มิลลิเมตร

- ชั่งเม็ดถ่านที่เตรียมได้จำนวน 20 กรัม ใส่ลงในครุซิเบิล เติมสารละลาย$ZnCl_2$เข้มข้นร้อยละ 30, 40, 50, 60 และ 70 จำนวน 40, 60 และ 80 กรัม ตามลำดับ

- กวนด้วยแท่งแก้ว ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้ $ZnCl_2$ ซึมเข้าไปทั่วอนุภาค โดยไม่ต้องเขย่า แล้วอบที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 1ชั่วโมง

- นำไปกระตุ้นในเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

- นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นภายนอกเตา แล้วนำไปล้างบนเครื่องกรองสุญญากาศที่ใช้กระดาษกรองเบอร์42 ด้วยสารละลายกรดHClที่ร้อน 3 ครั้งๆละ 100 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้งๆ 200 มิลลิลิตร จากนั้นล้างด้วยสารละลาย Na_2CO_3 ประมาณ 10 มิลลิลิตร โดยการฉีดด้วยขวดฉีด

- อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนแห้ง บดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

3.3 หาขนาดเริ่มต้นของอนุภาค และการเพิ่มประสิทธิภาพ $ZnCl_2$ ด้วยการเขย่า

- ชั่งกะลาตาลโตนดที่แห้ง 2,000 กรัม ใส่ในเบด ปิดฝาและขันน็อตให้แน่น

- ใช้สภาวะที่ได้จากการทดลองข้อ3.1 คือตั้งอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิภายในเบดขึ้นถึง 200 องศาเซลเซียส เริ่มนับเวลาจนครบ 2 ชั่วโมง

- นำมาตั้งทิ้งไว้เย็น แล้วเปิดฝาเพื่อนำถ่านที่ได้ออกมาชั่งบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้

- บดและคัดขนาดด้วยแร่งขนาดต่างๆคือ 1.19-1.68, 1.68-2.38, 2.38-3.36 มิลลิเมตร

- ใช้สภาวะที่ได้จากการทดลองที่ 3.2 คือ ชั่งเม็ดถ่านที่ได้จำนวน 20 กรัม ใส่ลงในครุซิเบิล เติมสารละลาย$ZnCl_2$เข้มข้นร้อยละ 70 จำนวน 60 กรัม

- กวนด้วยแท่งแก้ว ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้$ZnCl_2$ซึมเข้าไปทั่วอนุภาค แปรลักษณะการตั้งทิ้งไว้คือ ไม่เขย่า และเขย่า แล้วอบที่ 120 องศาเซลเซียสนาน 1ชั่วโมง

- นำไปกระตุ้นในเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

- นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นภายนอกเตา แล้วนำไปล้างบนเครื่องกรองสุญญากาศที่ใช้กระดาษกรองเบอร์42 ด้วยสารละลายกรดHClที่ร้อน 3 ครั้งๆละ 100 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้งๆ 200 มิลลิลิตร จากนั้นล้างด้วยสารละลาย Na_2CO_3 ประมาณ 10 มิลลิลิตร โดยการฉีดด้วยขวดฉีด

- อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนแห้ง บดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

3.4 หาระยะเวลาในการเขย่าที่เหมาะสม

- ชั่งกะลาตาลโตนดที่แห้ง 2,000 กรัม ใส่ในเบด ปิดฝาและขันน็อตให้แน่น

- ใช้สภาวะที่ได้จากการทดลองข้อ3.1 คือตั้งอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิภายในเบดขึ้นถึง 200 องศาเซลเซียส เริ่มนับเวลาจน ครบ 2 ชั่วโมง

- นำมาตั้งทิ้งไว้เย็น แล้วเปิดฝาเพื่อนำถ่านที่ได้ออกมาชั่งบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้

- บดและคัดขนาดด้วยแร่งขนาดต่างๆคือ 1.19-1.68, 1.68-2.38, 2.38-3.36 มิลลิเมตร

- ใช้สภาวะที่ได้จากการทดลองที่ 3.2 คือ ชั่งเม็ดถ่านที่ได้จำนวน 20 กรัม ใส่ลงในครุซิเบิล เติมสารละลาย$ZnCl_2$เข้มข้นร้อยละ 70 จำนวน 60 กรัม

- กวนด้วยแท่งแก้ว ปิดฝาแล้วตั้งทิ้งไว้ 3 วัน เพื่อให้$ZnCl_2$ซึมเข้าไปทั่วอนุภาค เขย่าเป็นระยะเวลา 1, 2 และ 3 วัน ตามลำดับ แล้วอบที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 1ชั่วโมง

- นำไปกระตุ้นในเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

- นำออกมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นภายนอกเตา แล้วนำไปล้างบนเครื่องกรองสุญญากาศที่ใช้กระดาษกรองเบอร์42 ด้วยสารละลายกรดHClที่ร้อน 3 ครั้งๆละ 100 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำร้อน 3 ครั้งๆ 200 มิลลิลิตร จากนั้นล้างด้วยสารละลาย Na_2CO_3 ประมาณ 10 มิลลิลิตร โดยการฉีดด้วยขวดฉีด

- อบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนแห้ง บดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

<u>วิธีผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยก๊าซผสมระหว่างก๊าซเผาไหม้และไอน้ำ</u>

1. <u>อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้</u>

- เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 กรัม

- เครื่องบดแบบ Jaw-crusher

- เครื่องบดละเอียดแบบ Disc mill

- เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่ง ความจุ 2.9 ลิตร(รูปที่ 4.2) เดิมเครื่องนี้ใช้ในระบบฟลูอิไดเซชั่น แต่เนื่องจากกะลาตาลมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะป้อนด้วยระบบสกรูจึงใช้วิธีเปิดฝาแล้วใส่ทางด้านบน

- เครื่องเขย่าแร่ง(Sieve shaker) EFL1 mk3

- แร่งขนาดต่างๆ ดังนี้ 0.500(35 เมช), 1.19(16 เมช), 1.68(12 เมช), 2.38(8 เมช) มิลลิเมตร

- เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด(รูปที่ 4.3) ซึ่งมีส่วนสำคัญดังต่อไปนี้

- ส่วนป้อนวัตถุดิบแบบสกรู(Screw feeder)(รูปที่ 4.3.1)

สกรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5เซนติเมตร ยาว 50เซนติเมตร ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.25 แรงม้า โดยมีความเร็วในการหมุน 250 รอบต่อนาที สกรูนี้อยู่ภายในท่อแสตนเลสที่มีน้ำหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิของสารป้อน ท่อสกรูนี้ต่อกับกล่องสแตนเลสสี่เหลี่ยมขนาด 25X25ตารางเซนติเมตร และมีฝาเปิดปิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 10X10 ตารางเซนติเมตร เพื่อทำให้เกิดความสะดวกในการใส่สารป้อน

- ส่วนผลิตก๊าซเผาไหม้(รูปที่ 4.3.2)

ประกอบด้วยหัวพ่นไฟ(รูปที่ 4.3.3) ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยมีอัตราการป้อนน้ำมันเข้าเครื่อง 7 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและให้พลังงานความร้อน 83 กิโลวัตต์ เปลวไฟจากหัวพ่นไฟจะพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้สมบูรณ์(รูปที่ 4.3.4) ซึ่งเป็นท่อเหล็กทรงกระบอกทำจากเหล็กหนา 1 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 33 เซนติเมตร และยาว 80 เซนติเมตร ท่อเหล็กนี้หุ้มด้วยฉนวนใยแก้วเพื่อป้องกันอันตรายในขณะปฏิบัติงาน ก๊าซเผาไหม้ที่ได้จะถูกส่งผ่านท่อส่งก๊าซเผาไหม้ร้อนซึ่งทำจากเหล็ก(รูปที่ 4.3.5) ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง10เซนติเมตร และหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน เข้าไปผสมกับไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดก๊าซและไอน้ำจะผ่านแผ่นกระจายก๊าซ(Distributor) เข้าไปยังส่วนที่เกิดปฏิกิริยา

- ส่วนผลิตไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

ใช้ไอน้ำจากเครื่องผลิตไอน้ำ(Boiler) ซึ่งใช้ความร้อนจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ของภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผ่านวาล์วลดความดัน (Steam pressure reducing valves)(รูปที่ 4.3.6) เพื่อควบคุมความดันของไอน้ำเข้าให้สม่ำเสมอ และผ่านบอลวาล์วและเกจ์วัดความดัน(รูปที่ 4.3.7) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำที่จะผ่านเข้าเครื่อง ในการทดลองใช้ความดัน 2 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร อัตราการไหลของไอน้ำ 44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง(ค่านี้ได้จากคู่มือของวาล์วลดความดัน) ไอน้ำที่ไม่เข้าเครื่อง จะส่งออกไปยังเครื่องดักไอน้ำ(รูปที่ 4.3.8)

ท่อไอน้ำเข้าเป็นท่อเหล็กสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก0.6 เซนติเมตร ขดเป็นวงคล้ายสปริง เส้นผ่านศูนย์กลางของวงประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับขดลวดให้ความร้อน ซึ่งมีกำลังไฟ 3,000 กิโลวัตต์ โดยใช้ไฟฟ้าจากเครื่องแปลงไฟกระแสตรงที่ปรับค่าได้ขนาด 50-300 แอมป์ ขดลวดให้ความร้อนนี้เป็นชนิดแบน กว้าง 1 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร และยาว 5 เมตร พันรอบท่อไอน้ำเข้า แล้วหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน บริเวณขดลวดดังกล่าวนี้มีที่วัดอุณหภูมิชนิดโครเมล-อลูเมล แบบเค ซึ่งส่งสัญญาณไปยังเครื่องควบคุมอุณหภูมิชนิดเข็ม 0 - 1,200 องศาเซลเซียส เพื่ออุ่นให้ไอน้ำเข้าเครื่องให้มีอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส(ดูส่วนผสมของก๊าซผสมแสดงไว้ในภาคผนวกที่ ฒ)

- ส่วนที่เกิดปฏิกิริยา

เป็นท่อทรงกระบอกทำจากสแตนเลสเบอร์ 316 หุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน มี 3 ส่วน(รูปที่ 4.3.9) ส่วนล่างต่อกับท่อนำก๊าซเผาไหม้จากหัวพ่นไฟ โดยกั้นด้วยแผ่นกระจายก๊าซ(Distributor) ซึ่งทำด้วยตะแกรงสแตนเลสที่มีรูขนาด 2.3 มิลลิเมตร โดยมีพื้นที่ช่องว่างประมาณร้อยละ 30 ของพื้นที่ทั้งหมด เหนือและใต้แผ่นกระจายก๊าซมีรูสำหรับเสียบที่วัดอุณหภูมิ(รูปที่ 4.3.10) ส่วนล่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร และสูง 77 เซนติเมตร รอบนอกพันด้วยขดลวดให้ความร้อนขนาดกำลังไฟ 5000 วัตต์(รูปที่ 4.3.11) โดยใช้ไฟฟ้าจากเครื่องแปลงไฟกระแสตรงขนาด 50-500 แอมป์ และมีที่วัดอุณหภูมิ เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินไป ส่วนล่างนี้เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยา ส่วนกลางมี

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 21เซนติเมตร และสูง 40 เซนติเมตร อีกส่วนหนึ่งเป็นส่วนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 เซนติเมตร และสูง 40 เซนติเมตร เป็นส่วนที่ป้องกันไม่ให้อนุภาคภายในหลุดออกไป มีรูสำหรับเสียบที่วัดอุณหภูมิ จากการทดลองพบว่า บริเวณนี้มีอุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส ดังนั้นก๊าซร้อนที่ผ่านจากส่วนเกิดปฏิกิริยา เมื่อมาถึงบริเวณนี้อุณหภูมิจะลดลง ทำให้ความเร็วของก๊าซลดลงด้วย ฝาปิดของส่วนบนนี้ต่อกับท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 10เซนติเมตร (รูปที่ 4.3.12) เพื่อระบายก๊าซไปนอกอาคาร

- <u>ส่วนเก็บผลิตภัณฑ์</u>

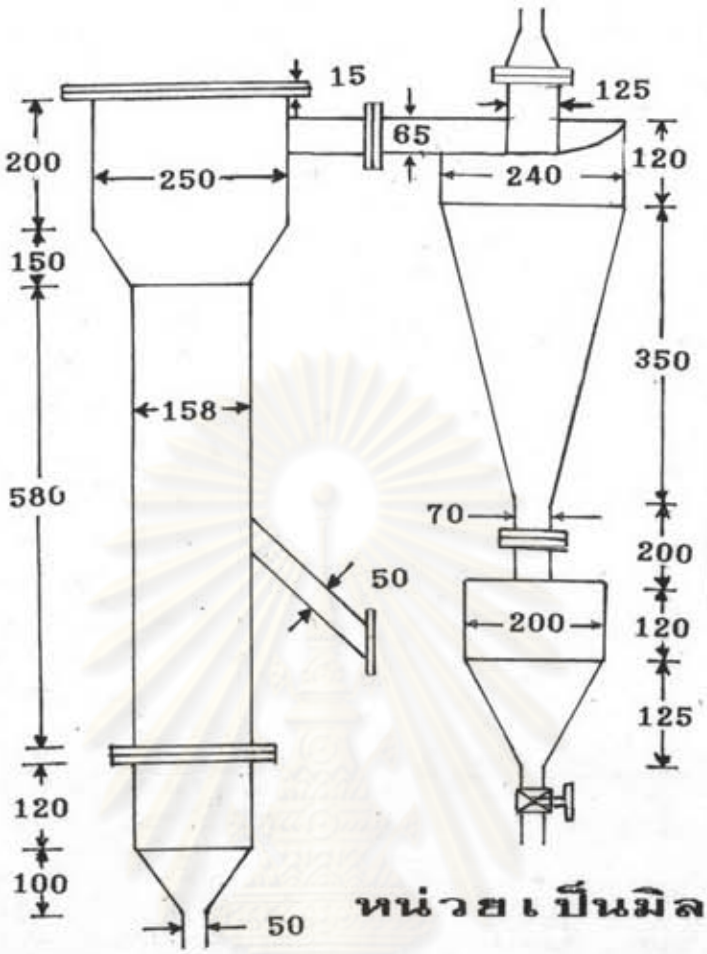
เป็นถังทรงกระบอกที่ทำจากเหล็กหนา 0.3 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร(รูปที่ 4.3.13) ถังนี้จะต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ(รูปที่ 4.3.14) เพื่อช่วยดูดผลิตภัณฑ์ออกมาได้เร็วขึ้น

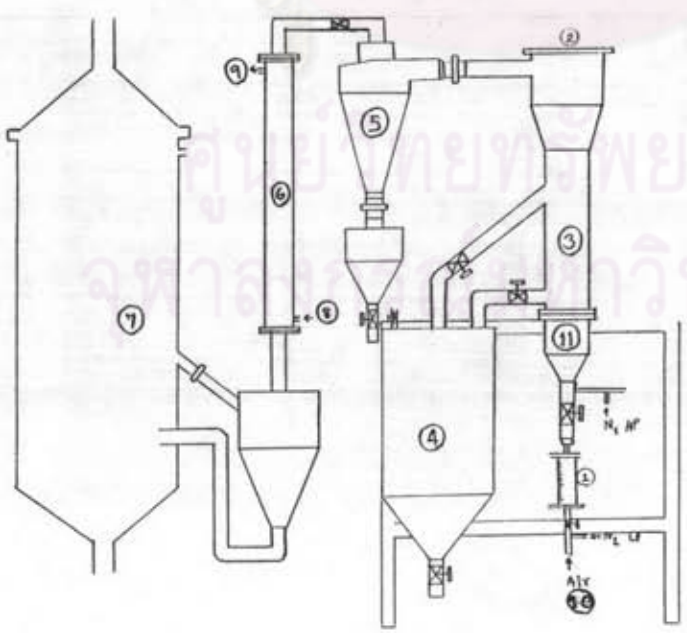
- <u>เครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ</u>(รูปที่ 4.3.15)

เป็นเครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิ 0-1,200 องศาเซลเซียส ของ YOKOGAWA รุ่น μR100

- <u>แผงควบคุม</u>(รูปที่ 4.3.16)

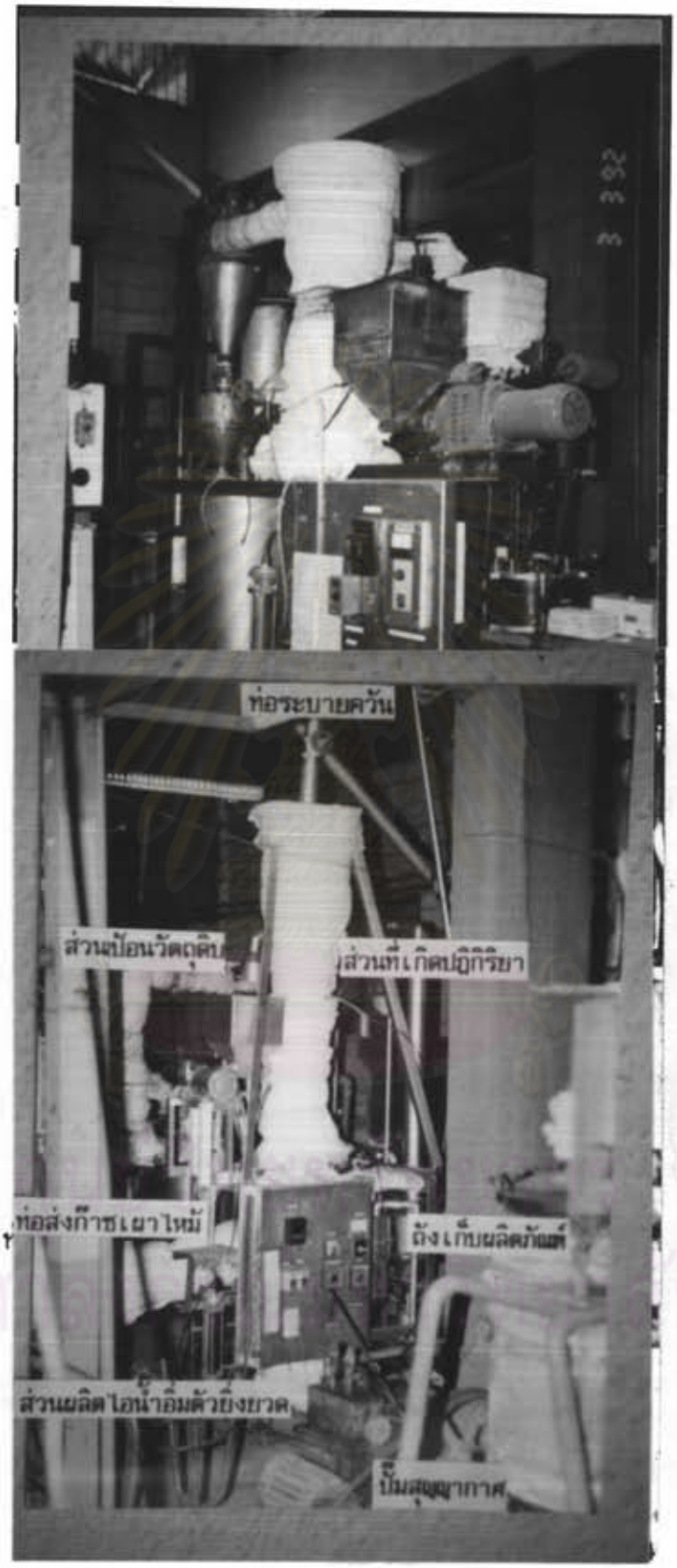
ประกอบด้วยเบรกเกอร์หลัก ซึ่งรับไฟฟ้าสามเฟสของภาควิชาเคมีเทคนิคมีหน้าที่เปิดปิดไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ทุกชิ้นที่ต้องใช้ไฟฟ้า ยกเว้น ปั๊มสุญญากาศ นอกจากนี้ยังมีเบรกเกอร์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์สำหรับป้อนสาร, เครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับเบดซึ่งรับสัญญาณจากที่วัดอุณหภูมิภายในเบดและสำหรับเครื่องอุ่นไอน้ำเข้าซึ่งรับสัญญาณจากที่วัดอุณหภูมิที่ขดลวดให้ความร้อนแก่ท่อไอน้ำเข้า และมีเต้าเสียบสำหรับจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้อุปกรณ์อื่นๆเช่น เครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, พัดลม และไฟให้แสงสว่าง





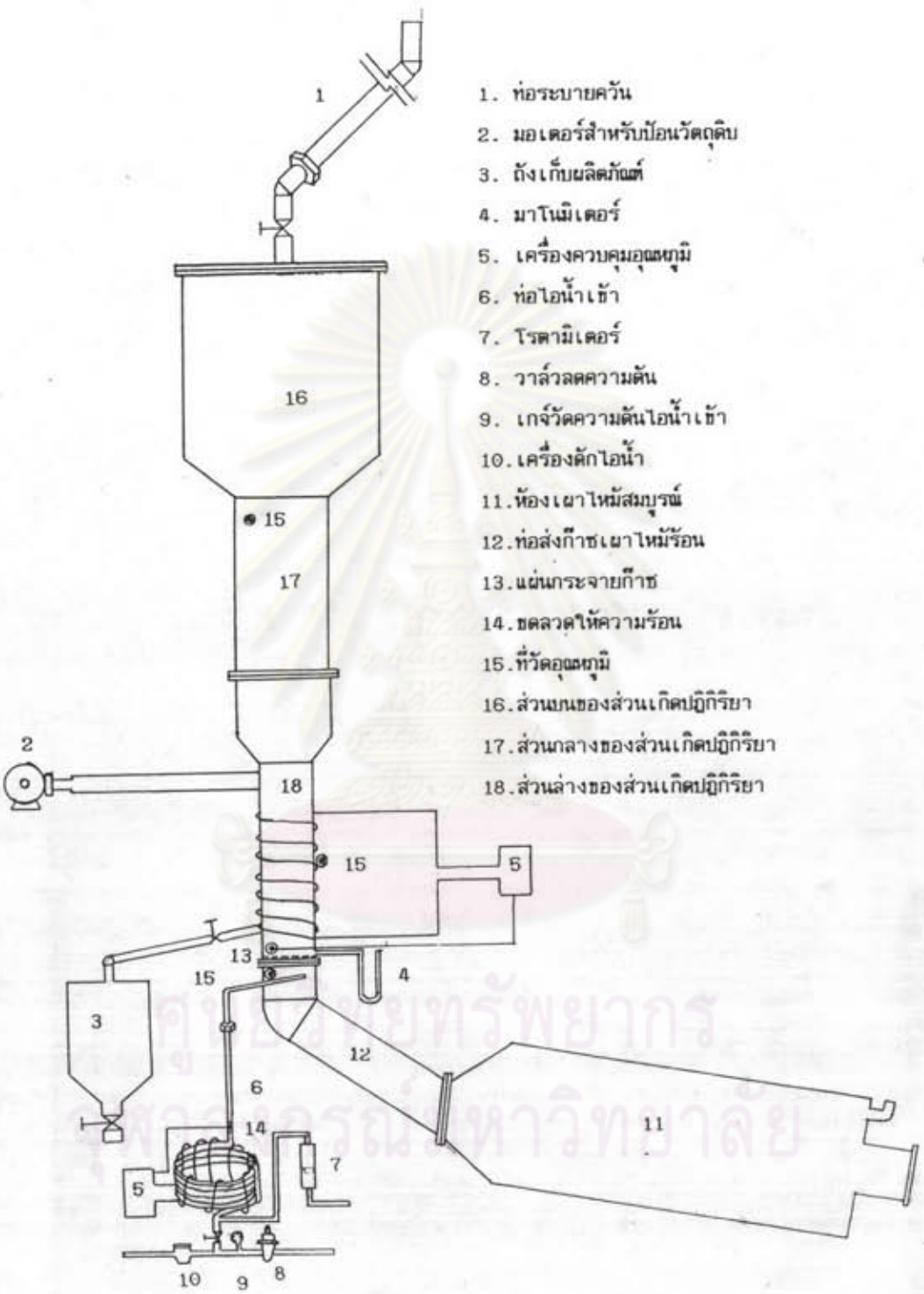
1. โรตามิเตอร์
2. ฝาเปิดปิดสำหรับใส่วัตถุดิบ
3. ส่วนเกิดปฏิกิริยา
4. ถังเก็บผลิตภัณฑ์
5. ไซโคลน
6. เครื่องควบแน่น
7. ส่วนกำจัดก๊าซแบบดูดซึม
8. ทางน้ำเข้าเครื่องควบแน่น
9. ทางน้ำออกเครื่องควบแน่น
10. ทางก๊าซไนโตรเจนเข้า
11. แผ่นกระจายก๊าซ

รูปที่ 4.2 เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่ง

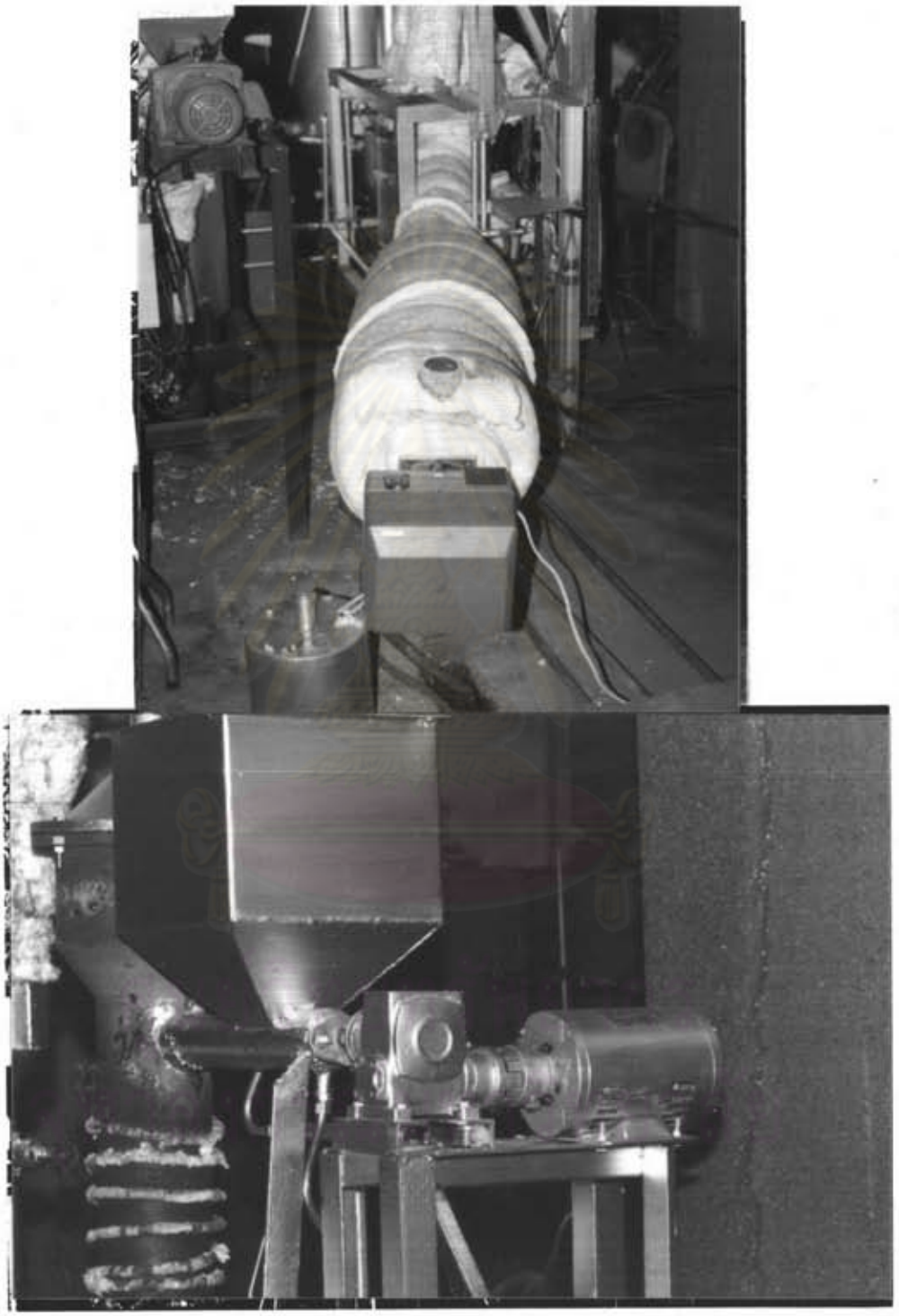


รูปที่ 4.2(ต่อ)(บน) เครื่องคาร์โบไนเซอร์แบบเบดนิ่ง(ลักษณะทั่วไป)

รูปที่ 4.3(ล่าง) เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด(ลักษณะทั่วไป)

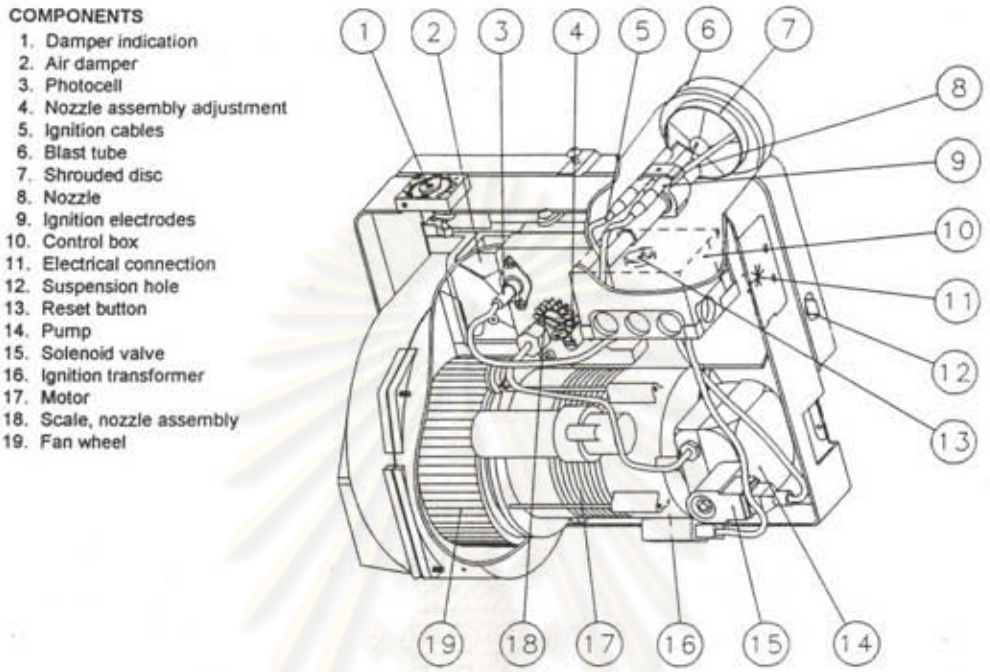


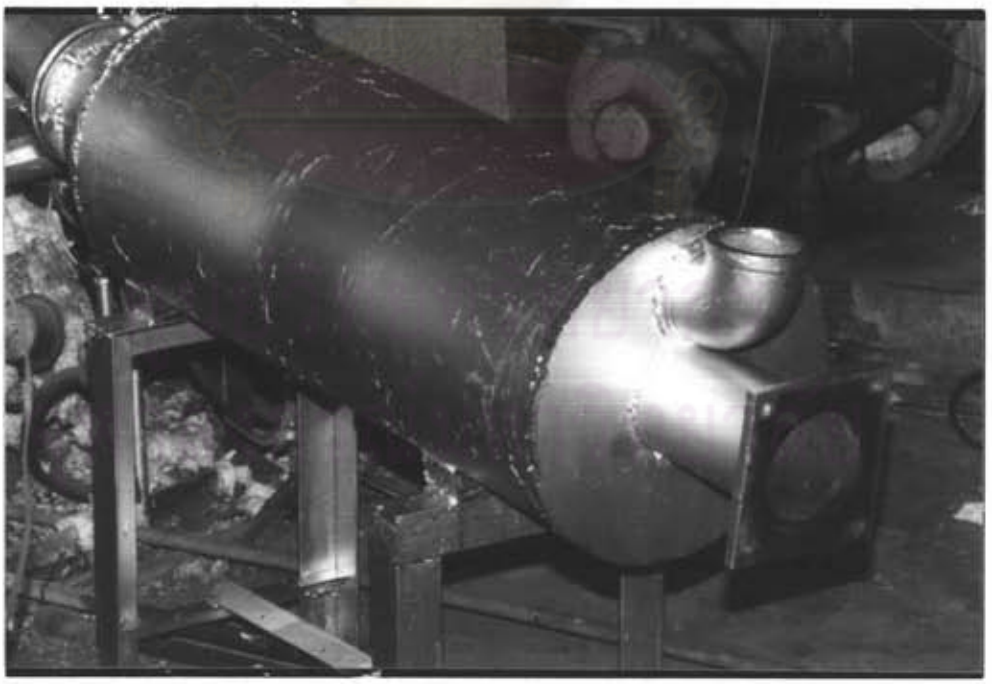
รูปที่ 4.3(ต่อ) เครื่องแอคติเวเตอร์แบบฟลูอิไดซ์เบด(แผงผังการทำงาน)



รูปที่ 4.3.1(บน) ส่วนป้อนวัตถุดิบแบบสกรูของเครื่องแอคติเวเตอร์

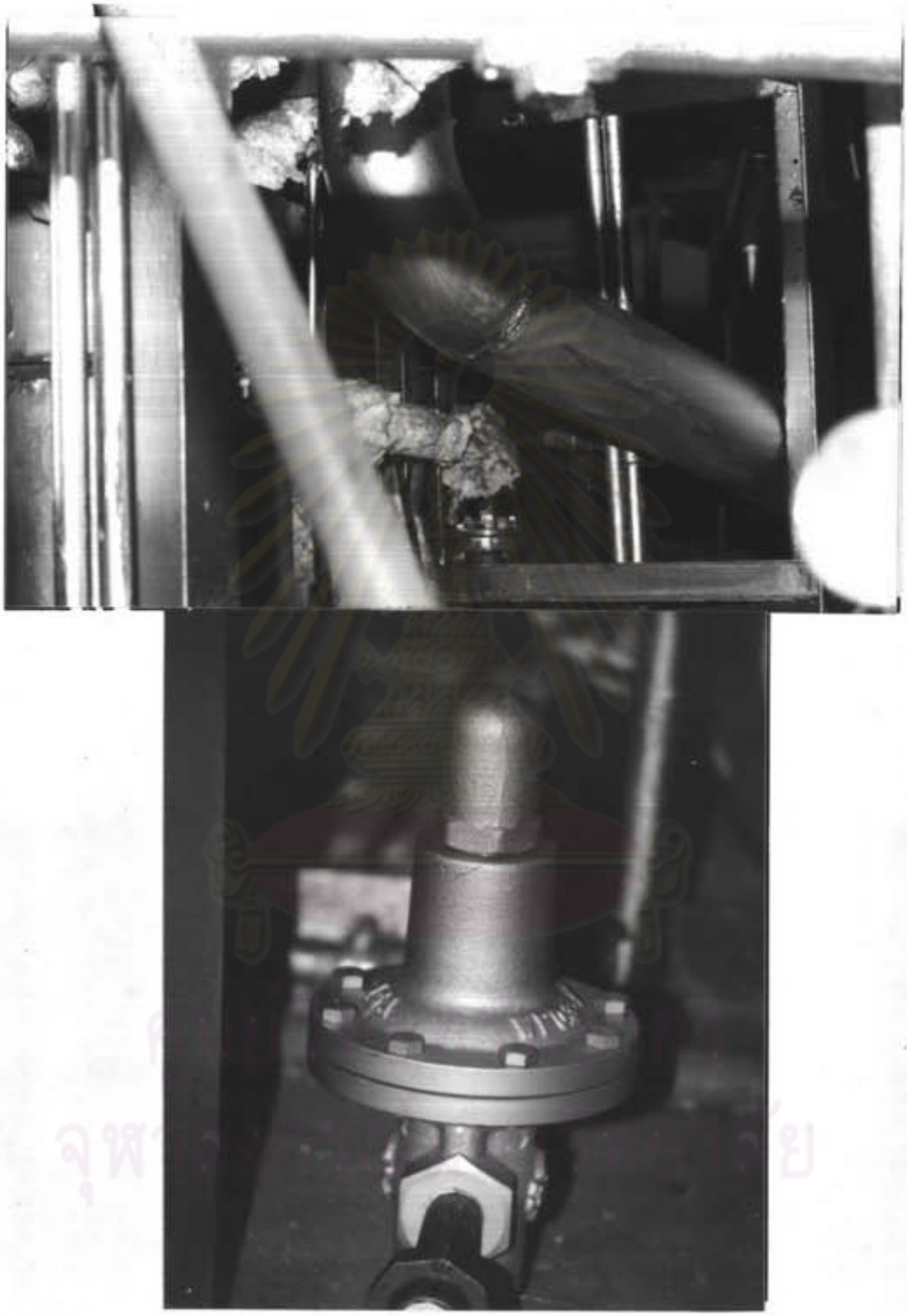
รูปที่ 4.3.2(ล่าง)ส่วนผลิตก๊าซเผาไหม้ของเครื่องแอคติเวเตอร์





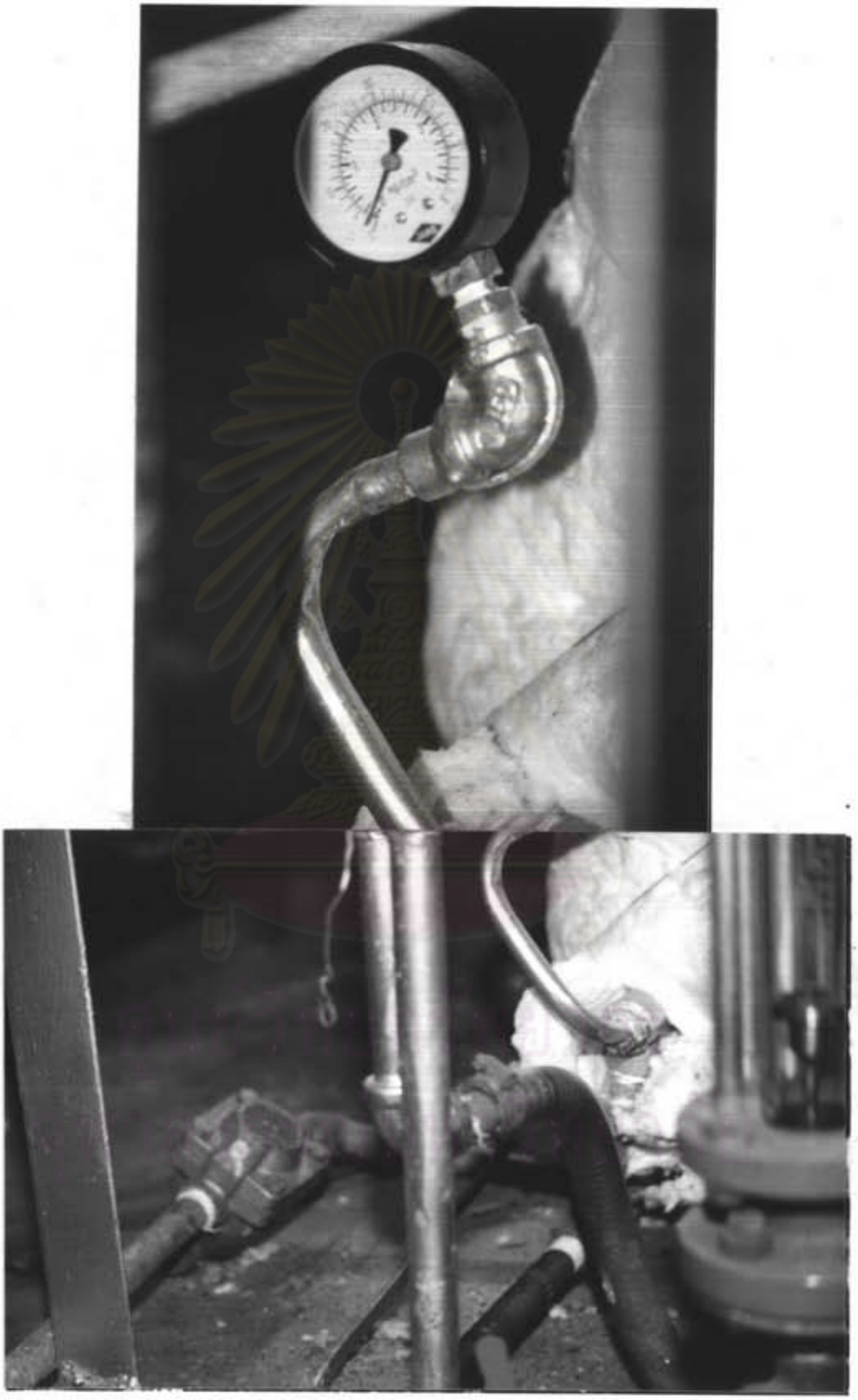
รูปที่ 4.3.3(บน) ส่วนประกอบของหัวพ่นไฟของเครื่องแอคติเวเตอร์

รูปที่ 4.3.4(ล่าง) ห้องเผาไหม้สมบูรณ์ของเครื่องแอคติเวเตอร์



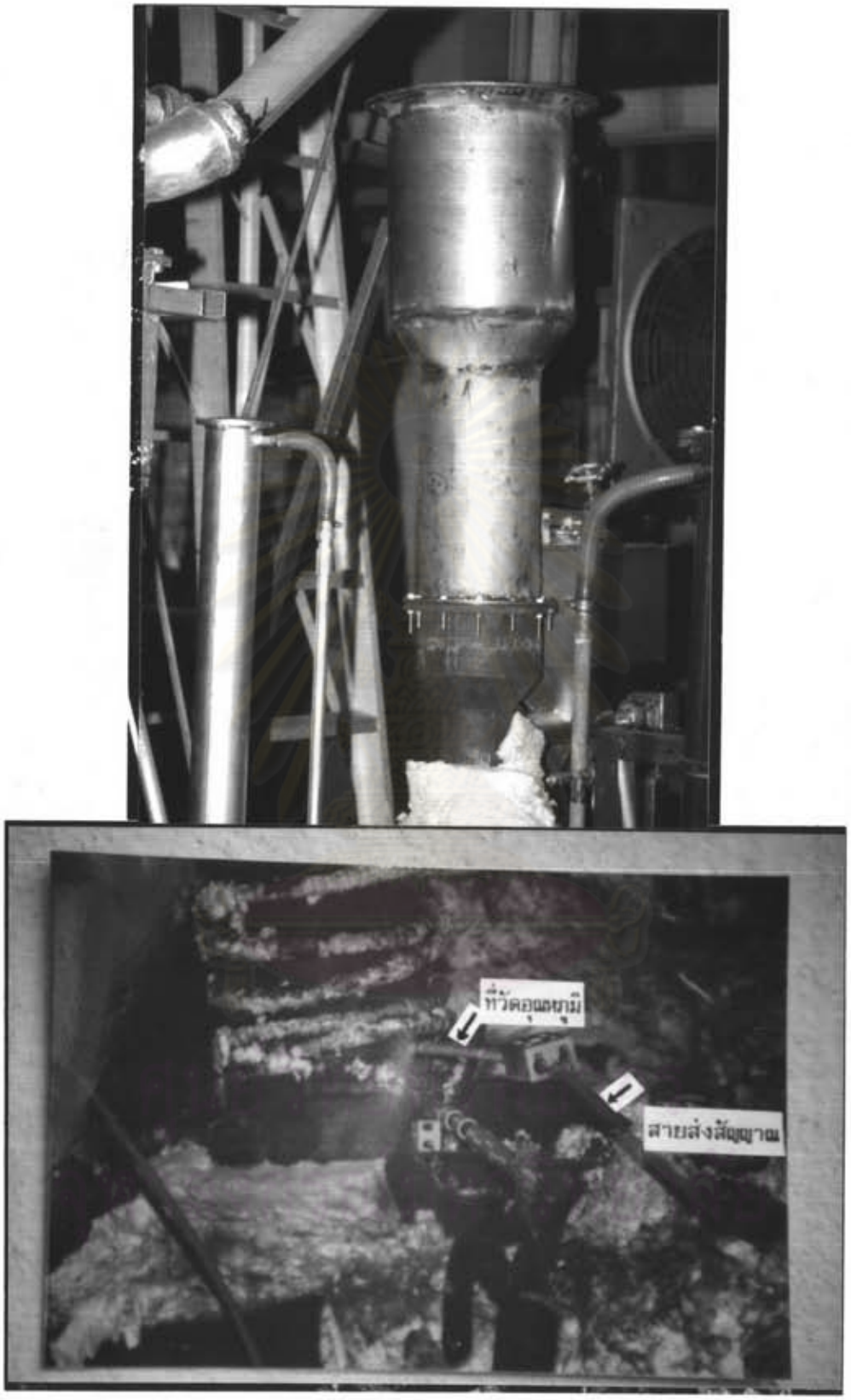
รูปที่ 4.3.5(บน) ท่อส่งก๊าซเผาไหม้ร้อนของเครื่องแอคติเวเตอร์

รูปที่ 4.3.6(ล่าง) วาล์วลดความดันไอน้ำของเครื่องแอคติเวเตอร์



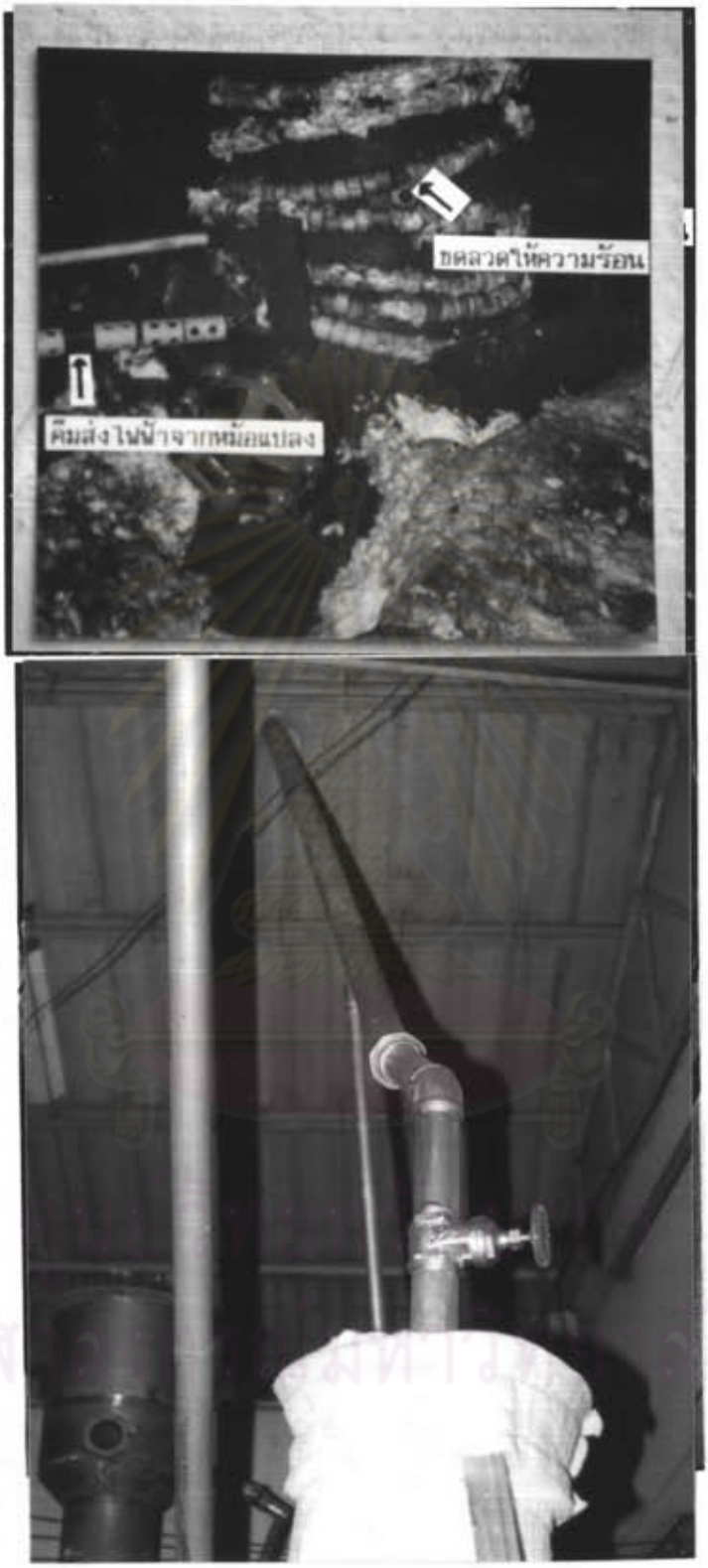
รูปที่ 4.3.7(บน) เกจ์วัดความดันไอน้ำเข้าของเครื่องแอคติเวเตอร์

รูปที่ 4.3.8(ล่าง) เครื่องดักไอน้ำของเครื่องแอคติเวเตอร์



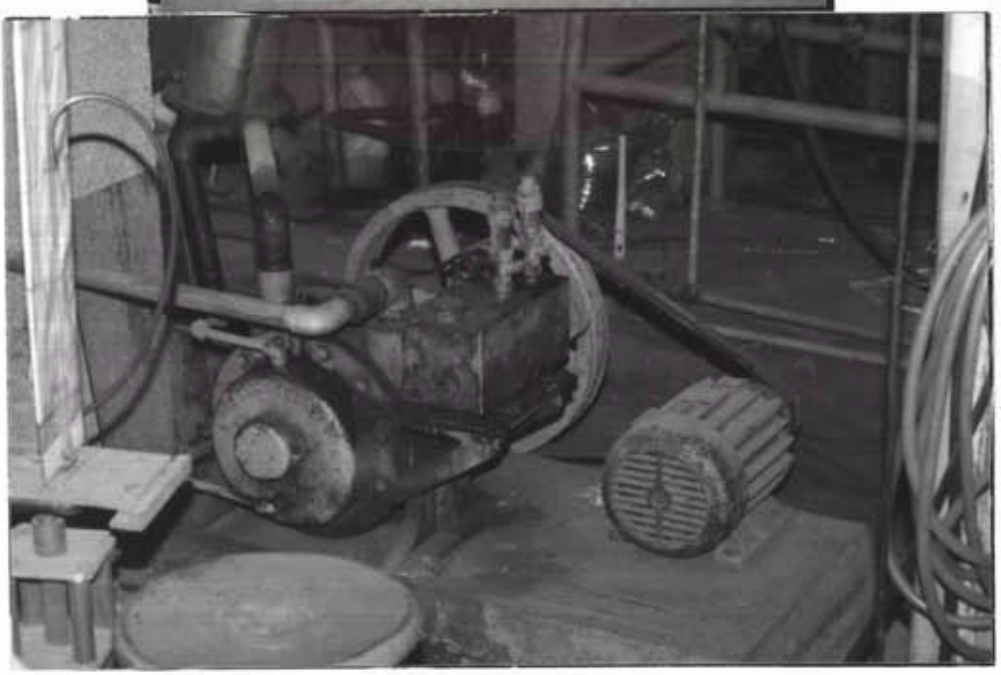
รูปที่ 4.3.9(บน) ส่วนเกิดปฏิกิริยาของเครื่องแอคติเวเตอร์

รูปที่ 4.3.10(ล่าง)การต่อที่วัดอุณหภูมิของส่วนที่เกิดปฏิกิริยาของเครื่องแอคติเวเตอร์



รูปที่ 4.3.11(บน) การพันขดลวดให้ความร้อนของส่วนที่เกิดปฏิกิริยา
ของเครื่องแอคติเวเตอร์

รูปที่ 4.3.12(ล่าง)ท่อระบายควันของเครื่องแอคติเวเตอร์



รูปที่ 4.3.13(บน) ถังเก็บผลิตภัณฑ์ของเครื่องแอคติเวเตอร์

รูปที่ 4.3.14(ล่าง) ปั๊มสุญญากาศของเครื่องแอคติเวเตอร์

รูปที่ 4.3.15(บน) เครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องแอคติเวเตอร์

รูปที่ 4.3.16(ล่าง)แผงควบคุมของเครื่องแอคติเวเตอร์

2. การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบในงานวิจัย เป็นกะลาตาลโตนดที่ได้จากเกษตรกรในจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งผ่าเอาจาวตาลไปจำหน่าย ดังนั้นจึงมีลักษณะถูกผ่าออกเป็นสองส่วนแล้ว วิธีการเตรียมตัวอย่างคือ

- นำมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยกรรไกรตัดเหล็ก

- คาร์โบไนซ์ในเครื่องคาร์โบไนเซอร์(รูปที่ 4.2)ที่ผ่านก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 4 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ภายหลังการคาร์โบไนซ์ได้ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเตา แล้วจึงนำออกมา

- บดและคัดขนาดด้วยแร่งขนาด 0.50-1.19, 1.19-1.68 ,1.68-2.38 มิลลิเมตร

3. ขั้นตอนการผลิต

3.1 การหาความเร็วต่ำสุดของการฟลุไดซ์(U_{mf})

- ชั่งเม็ดถ่านขนาดที่เตรียมไว้ 500 กรัม ใส่ในเครื่องแอคติเวเตอร์ ผ่านลมเข้าเครื่องโดยควบคุมอัตราการไหลด้วยโรตามิเตอร์ วัดความดันลดที่เกิดขึ้นภายในเบดโดยสังเกตจากมาโนมิเตอร์ที่บรรจุน้ำ ที่ระดับการไหลต่างๆ แล้วบันทึกผล

- สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกนราบคือ อัตราการไหล หรือความเร็วของตัวกลาง แกนตั้งฉากคือ ความดันลดที่ได้จากการทดลอง แล้วหาค่า U_{mf} จากจุดที่ความดันลดเริ่มคงที่(ดูผลการทดลองในภาคผนวกที่ ช)

3.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์

- เปิดสวิทช์ไฟหลักของเครื่องแอคติเวเตอร์ และเครื่องจ่ายไฟสำหรับขดลวดให้ความร้อนแก่เบดและส่วนอุ่นความร้อน(Preheater)ของท่อไอน้ำเข้า ตั้งอุณหภูมิของเครื่องควบคุมขดลวดให้ความร้อนแก่เบดที่ 600 องศาเซลเซียส, เปิดเครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

- เมื่ออุณหภูมิภายในเบดเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อน(T_c)เท่ากับ 850 องศาเซลเซียส ให้เปิดลมผ่านเข้าเครื่องเบาๆ

รอสัก 10-15 นาที เพื่อเป็นการพักเครื่องจ่ายไฟสำหรับขดลวดให้ความร้อนแก่เบด, เปิดน้ำเข้าหล่อเย็นส่วนป้อนสารเข้า

- ตั้งอุณหภูมิของเครื่องควบคุมขดลวดให้ความร้อนของส่วนอุ่นไอน้ำเข้า (T_p) เท่ากับ 300 องศาเซลเซียส

- จุดหัวพ่นไฟซึ่งได้ปรับให้อัตราการไหลของน้ำมันและอากาศพอเหมาะแล้ว สังเกตได้จากเปลวไฟมีสีส้มและไม่มีเขม่า ปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนแก่เบดให้มีอุณหภูมิเป็น 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส ตามต้องการ คอยปรับที่ตั้งอุณหภูมิของขดลวดให้ความร้อนแก่เบดให้ T_c มีอุณหภูมิไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันขดลวดชำรุด

- เมื่ออุณหภูมิภายในเบดเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ให้ผ่านไอน้ำเข้าที่ความดัน 1 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร เปิดมอเตอร์สำหรับหมุนที่ป้อนวัตถุดิบ แล้วป้อนวัตถุดิบจำนวน 500 กรัม ลงไป รีบปิดฝาของที่ป้อนวัตถุดิบ เพื่อป้องกันวัตถุดิบในส่วนที่กำลังป้อนเข้าเกิดการลุกไหม้

- ปรับความดันของไอน้ำเข้าเป็น 2 กิโลกรัมแรงต่อเซนติเมตร เริ่มนับเวลา

- เมื่อได้เวลาตามต้องการ ปิดเปลวไฟที่หัวพ่น แต่ยังยอมให้มอเตอร์ลมทำงานต่อไป เปิดวาล์วทางออกส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ แล้วเปิดปั๊มสุญญากาศ เป็นเวลาประมาณ 10 นาที

- ปิดวาล์วทางออกส่วนเก็บผลิตภัณฑ์ เมื่อเย็นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกทางวาล์วเปิดปิดถังที่อยู่ด้านล่าง

- ปิดเครื่องบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ดูตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงในภาคผนวกที่ ฎ)

- เมื่ออุณหภูมิภายในเบดลดลงเหลือประมาณ 300 องศาเซลเซียส ให้ปิดมิเตอร์ลมของหัวพ่นไฟ และน้ำหล่อเย็นของส่วนป้อนสาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย