

การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผา
เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW

Development of continuous flow control system of pulverized fuel
and air in a 1 MW biomass burner



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-030-155

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผา
เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW

Development of continuous flow control system of pulverized fuel
and air in a 1 MW biomass burner



T148826



เลขหมู่ 148826
เลขทะเบียน
ในเดือนปี 23 11 2560

00266937

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-030-155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of continuous flow control system of pulverized fuel
and air in a 1 MW biomass burner



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017
KMITL-2017-EN-M-030-155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผา
เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW

Thesis Title Development of Continuous Flow Control System of Pulverized Fuel and Air
in a MW Biomass Burner

นักศึกษา นายพีรพัฒน์ เทพลิบ


รหัสประจำตัว 56601157

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-030-155

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พรชัย	นิเวศน์รังสรรค์	
ผศ.ดร.สุตาภัทร	แคว้นเขาเม็ง	
รศ.ดร.ชินรัชช์	เกียรติพงษ์	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมสาร	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW
ชื่อนักศึกษา	นายพีรพัฒน์ เทพลิบ
รหัสประจำตัว	56601157
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาระบบการเตรียมเชื้อเพลิงผงให้มีอัตราการผลิตได้ 228 kg/hr (0.063 kg/s 1MW ความร้อน) โดยทำการเพิ่มเติมและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บางส่วน เช่น เครื่องบด Hammer mill ไซโลเก็บเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด (Hopper) ตู้สำหรับติดตั้งถุงผ้ากรองดักฝุ่น (Baghouse) และพัดลมสำหรับใช้ลำเลียง เพื่อให้ระบบเตรียมเชื้อเพลิงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงสามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนโดยเฉพาะอากาศปฐมภูมิที่ใช้ในการลำเลียงเชื้อเพลิงให้เข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้วาล์วควบคุมชนิดปีกผีเสื้อ Differential Pressure transmitter ร่วมกับแผ่นออริฟิส และ PLC ในการตรวจวัดและควบคุมการไหลของอากาศ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงผงคือช่วยลดเวลาการเตรียมเชื้อเพลิงผง และสามารถผลิตเชื้อเพลิงได้มากกว่า 300.72 kg/hr (0.0835 kg/s 1350 kW ความร้อน) ช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้วิจัยหัวเผาในการเก็บค่าพารามิเตอร์เพื่อพัฒนาหัวเผาได้โดยสามารถรักษาอัตราการไหลของอากาศให้คงที่แม้มีการรบกวนจากภายนอกและสามารถควบคุมเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศได้สะดวกรวดเร็วขึ้นโดยสั่งจากคอมพิวเตอร์ในห้องควบคุม บทความนี้ยังกล่าวถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ซึ่งมีความสำคัญต่อเสถียรภาพของเปลวไฟ และได้แสดงผลการใช้พลังงานในการเตรียมเชื้อเพลิงผงเทียบกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยพลังงานที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ประมาณ 2 % ของพลังงานความร้อนที่ได้ จึงมีความน่าสนใจ เมื่อพิจารณาข้อดีของการควบคุมการเปลี่ยนย่านการเผาไหม้ที่รวดเร็วกว่าการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ด ทั้งนี้การส่งอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ยังมีข้อจำกัดจากอุปกรณ์บางส่วน เช่น พัดลม ขนาดของแผ่นออริฟิสที่เมื่อมีอัตราการไหลสูงความดันแตกต่างกันด้วย และ Differential Pressure transmitter ที่มีย่านการวัดที่จำกัด รวมถึงช่วงการทำงานของวาล์วควบคุมชนิดปีกผีเสื้อที่มีย่านการควบคุมการไหลที่ดีในช่วงการเปิดวาล์วระหว่าง 30 % - 70 % ประกอบกับข้อจำกัดของพัดลมป้อนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศปฐมภูมิ ทำให้สามารถทดลองเผาไหม้ได้ในย่านที่ 300 kW ถึง 650 kW ความร้อน โดยกำหนด
เงื่อนไขการทดลองเผาไว้ที่ อากาศส่วนเกิน 15 % อัตราส่วนระหว่างอากาศ ปฐมภูมิ : ทุตยภูมิ : ตติย
ภูมิ มีค่าเท่ากับ 15 % : 75 % : 10 % ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of continuous flow control system of pulverized fuel and air in a 1 MW biomass burner
Student	Mr. Peeraphat Theplip
Student ID.	56601157
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Jarruwat Charoensuk

ABSTRACT

This work was aimed to enhance the capability of pulverizer unit up to 1 MW thermal throughput (equivalent to fuel production rate of 0.063 kg/s). Continuous transport of pulverized fuel was achieved with modification of some equipment, such as hammer mill, hopper, and relocation of baghouse unit and installation of fuel feeder blower. Flow instrument (orifices) and actuators (servo-driven butterfly valves) were installed and linked to the PLC where the program for feedback controllers were developed for controlling the three air streams namely; Primary, Secondary and Tertiary air. Special attention was made on the Primary air in which pulverized fuel was suspended and carried over to the combustion chamber. From the result, the lead time required for fuel preparation was greatly reduced. Up to 300.72 kg/hr (equivalent to 1350 kW thermal throughput) of fuel production can be realized, enabling uninterrupted activities on research and development work of pulverized combustor. Moreover, continuous flow of suspended fuel particle into combustion chamber can be achieved despite of external disturbance which is critical to combustion stability. It was found that the energy consumption of the pulverizer and transportation was about 2% of the thermal energy produced by the unit. This was an interesting finding, considering the advantage of relatively faster respond to load demand of this type of burner as compared to the existing pelletized burner. Limitation, however, was found on some equipment, such as blower and orifice size, since high pressure drop would occurred at high flow rate. An issue on compatibility between differential pressure transmitter and the orifice was also addressed. In addition, effective range of butterfly valves were limited between

30% and 70%. This had resulted in limited operation range of the combustor from 300 kW up to 650 kW thermal, at 15 percent of excess air and the ratio of primary, secondary and tertiary air of 15%: 75% and 10% respectively.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **IV** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ ความกรุณา การถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ที่ดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. และนักวิจัยประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ได้ให้ คำปรึกษา คำแนะนำ คำติชมในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

การทำวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสองหน่วยงานหลักๆ หน่วยงานแรกคือ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ร่วมกับบริษัท ชินรัตน์ธุรกิจรุ่งเรือง จำกัด สำหรับเงินทุนในการพัฒนาระบบเตรียม เชื้อเพลิงชีวมวล หน่วยงานที่สองคือสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จาก แหล่งทุนเงินอุดหนุนทั่วไป ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557 สำหรับการสร้างห้องปฏิบัติการ และชุด ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ด้วยการให้ความไว้วางใจและสนับสนุนทุนอย่างดียิ่ง ทำให้การ วิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวทุกคนเป็นอย่างยิ่ง ที่เฝ้า เลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และให้ทุนทรัพย์ในการศึกษา รวมทั้งเป็นกำลังใจในการแก้ไขปัญหา และ อุปสรรคต่างๆเสมอมา และขอขอบคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนทุกท่านที่ได้เอื้อนามมา ณ ที่นี้ด้วย

ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าและ ประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขออำนาจคุณพระศรี รัตนตรัยอำนวยการอำนวยพรความสุขสวัสดิ์จึงมีแต่ทุกท่าน

พีรพัฒน์ เทพลีป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	XIII
สารบัญรูป.....	XIV
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XIX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ภาพรวมของระบบ.....	2
1.2.1 ภาพรวมของระบบเดิม.....	2
1.2.2 ภาพรวมของระบบที่มีการปรับปรุง.....	5
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการพัฒนา.....	6
1.4 สมมติฐานของการศึกษา.....	6
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	6
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	7
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	9
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
3.1 สกรูขนถ่ายวัสดุ (Screw Conveyors) [1].....	11
3.1.1 หลักการทำงาน และการใช้งาน.....	11
3.1.2 ชนิดของใบเกลียว.....	12
3.1.3 การแบ่งประเภทของวัสดุ.....	14
3.1.4 การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ.....	14
3.1.5 การหาค่ากำลังขับ.....	18
3.2 เชื้อเพลิงแข็ง [1].....	21
3.2.1 ประเภทและลักษณะของเชื้อเพลิงแข็ง.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1.3. เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass).....	22
3.3 การเผาไหม้ (Combustion) [1].....	25
3.3.1 สตอยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry).....	25
3.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้.....	27
3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuel Combustion) [1].....	27
3.4.1 การทำแห้งของเชื้อเพลิงแข็ง (Drying).....	28
3.4.2 การปล่อยสารระเหย (Devolatilization).....	28
3.4.3 การเผาไหม้ถ่านชาร์ (Burning of Carbon).....	29
3.5 เทคโนโลยีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชนิดผง [1].....	30
3.6 เครื่องมือวัดการไหล.....	33
3.6.1 บทนำ.....	33
3.6.2 การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส.....	32
3.6.3 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate).....	32
3.6.4 Concentric Orifice Plate หรือ Square edge.....	33
3.6.5 จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่าง (Pressure Tappings).....	34
3.6.5.1 จุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Taps).....	34
3.6.6 การหาค่า Reynold Number (Re).....	35
3.6.7 การหาอัตราการไหลเชิงมวล.....	35
3.6.8 ความต้องการทางตรงเมื่อติดตั้งออริฟิสในท่อที่มีลักษณะแตกต่างกัน.....	37
3.7 เซนเซอร์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง.....	38
3.8 การขนถ่ายวัสดุด้วยลมเบื้องต้น.....	39
3.8.1 การแบ่งชนิดของระบบขนส่งวัสดุด้วยลม.....	40
3.8.1.1 แบ่งตามปริมาณวัสดุโดยเฉลี่ยที่ไหลในท่อ.....	40
3.8.1.2 แบ่งตามความดันในระบบ.....	41
3.8.1.3 แบ่งตามความดันของระบบขนส่งวัสดุด้วยลม.....	42
3.8.1.4 แบ่งตามการจ่ายวัสดุ.....	42
3.8.2 ไดอะแกรมการไหลในท่อ (State Diagram).....	43
3.8.3 มุมกองวัสดุ (Repose Angle).....	44
3.9 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC).....	45
3.9.1 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC.....	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.9.1.1 หน่วยอินพุท (Input Unit).....	45
3.9.1.2 หน่วยประมวลผล (CPU).....	45
3.9.1.3 หน่วยความจำ (Memory)	46
3.9.1.4 หน่วยเอาต์พุท (Output Unit).....	46
3.9.1.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply).....	46
3.9.2 หน่วยความจำ ชนิดของข้อมูลและตำแหน่ง Address.....	46
3.10 พื้นฐานตัวควบคุม [15].....	49
3.10.1 ตัวควบคุมแบบพี (Proportional controller: P controller)	50
3.10.2 ตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus integral controller: PI controller).....	51
3.10.3 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional integral derivative controller: PID Controller).....	53
บทที่ 4 การคำนวณ และการออกแบบชุดทดสอบ	55
4.1 การวิเคราะห์ข้อควรปรับปรุงของระบบเดิมในส่วนการบดและลำเลียง	55
4.1.1 การทดลองบดและเก็บเชื้อเพลิงแบบที่ 1	55
4.1.2 การทดลองบดและเก็บเชื้อเพลิงแบบที่ 2	57
4.1.3 วิเคราะห์ปัญหาจากการทดลองบดและเก็บเชื้อเพลิงแบบที่ 1 และแบบที่ 2...58	
4.1.3.1 ปัญหาหลักที่เกิดจากการทดลองในแบบที่ 1.....	58
4.1.3.2 ปัญหาหลักที่เกิดจากการทดลองในแบบที่ 2.....	58
4.2 การจัดหาเครื่องบด.....	59
4.2.1 การเยี่ยมชมโรงงานผลิตเครื่องบดและขายในอุตสาหกรรมอาหาร(พุทธมณฑล สาย 2).....	59
4.2.2 การเยี่ยมชมโรงงานแปรรูปอาหารสัตว์ (ลพบุรี).....	59
4.3 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์สำหรับพัดลม.....	60
4.4 การออกแบบ Hopper	62
4.4.1 การคำนวณหาปริมาตรของฮอปเปอร์เพื่อให้สามารถบรรจุเชื้อผงเพื่อการทดลอง เป็น	63
4.5 การออกแบบ Bag house.....	64
4.6 การออกแบบ Orifice Plate	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 ระบบควบคุมอากาศที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผงและใช้ในการเผาไหม้.....	67
4.7.1 ระบบอากาศสำหรับการเผาไหม้.....	67
4.7.1.1 อากาศปฐมภูมิ (Primary Air)	68
4.7.1.2 อากาศทุติยภูมิ (Secondary Air).....	68
4.7.1.3 อากาศตติยภูมิ (Tertiary Air)	68
4.7.1.4 การควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly control valve) ทั้งสามด้วย รูปแบบการควบคุมชนิด PI Controller.....	68
4.8 การทำให้ระบบเตรียมเชื้อเพลิงเป็นอัตโนมัติ	69
4.8.1 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์	69
4.8.2 การดัดแปลงวงจรถมควบคุมมอเตอร์เพื่อให้ระบบเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลผงให้ ทำงานได้อัตโนมัติ	70
4.8.2.1 การดัดแปลงวงจรถมควบคุมพัดลมลำเลียงเชื้อเพลิงผง	70
4.8.2.2 การดัดแปลงวงจรถมควบคุมเครื่องบด	71
4.9 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานเพื่อควบคุม	71
4.9.1 ลักษณะ Graphics ที่เขียนโดยโปรแกรม Simatic WinCC Explorer	71
บทที่ 5 อุปกรณ์ เจริญใจ และวิธีการทดลอง	73
5.1 อุปกรณ์การควบคุมและเครื่องมือวัด.....	73
5.1.1 ชุดควบคุม	73
5.1.2 อุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง	74
5.1.3 ระบบอากาศสำหรับการเผาไหม้.....	75
5.1.4 ตู้ควบคุมมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์	78
5.2 การสร้างแบบจำลองการไหลด้วยโปรแกรม Solid Work 2014	79
5.2.1 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber)	79
5.2.2 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล.....	80
5.2.3 ระบบบำบัดไอเสีย	80
5.3 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง	81
5.3.1 สกรู.....	82
5.3.2 เครื่องบด.....	82
5.3.3 พัดลมสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิง	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3.4 ไชโคคลน	85
5.3.5 Baghouse	86
5.3.6 ถังเก็บเก็บเชื้อเพลิง (Hopper)	86
5.4 เจริญไซ และวิธีการทดลอง	87
5.4.1 การหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยสกรู	87
5.4.2 การทดสอบการบดในลักษณะต่างๆ	87
5.4.2.1 ทำการเปรียบเทียบการกำหนดทิศทางของ Block plate	88
5.4.2.2 ทำการเปรียบเทียบลักษณะของใบมีด	88
5.4.2.3 ทำการเปลี่ยนตะแกรงให้ด้านหนึ่งเป็นขนาดรู 0.5 มม.	89
5.4.3 การทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องบด	89
5.4.4 การทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่บดจากเจริญไซที่แตกต่างกันตามการตั้งค่า เครื่องบด	90
5.4.5 ทดสอบการขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บ	90
5.4.5.1 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่ฮอปเปอร์ แบบที่ 1	90
5.4.5.2 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่ฮอปเปอร์ แบบที่ 2	91
5.4.5.3 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่ฮอปเปอร์ แบบที่ 3	92
5.4.6 การเก็บค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อประเมินอัตราการใช้พลังงานใน การเตรียมเชื้อเพลิง	93
5.4.7 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย	93
5.4.7.1 ปริมาณของลมที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิงผง	93
5.4.7.2 เปอร์เซนต์การเปิดของวาล์วควบคุมชนิดปีกผีเสื้อ	93
5.4.7.3 การทำงานของพัดลมดูด (ID Fan)	94
บทที่ 6 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง	95
6.1 การหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยสกรู	95
6.1.1 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง	95
6.1.2 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลผง	96
6.2 การทดสอบความสามารถของเครื่องบดชนิด Hammer mill วินาที	97
6.2.1 ทำการเปรียบเทียบการกำหนดทิศทางของ Block plate	97

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.2 ทำการเปรียบเทียบลักษณะของใบมีด	98
6.2.3 ทำการเปลี่ยนตะแกรงให้ด้านหนึ่งเป็นขนาดรู 0.5 มม.	99
6.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการเปลี่ยนลักษณะการทำงานของเครื่องบด.....	100
6.2.5 อิทธิพลของขนาดอนุภาคเชื้อเพลิงต่อพฤติกรรมการเผาไหม้	100
6.3 การทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องบด.....	102
6.3.1 การทดสอบความสามารถของเครื่องบดชนิด Pin mill.....	102
6.3.1.1 การทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดจากเครื่องบด ชนิด Pin mill.....	103
6.3.1.2 วิเคราะห์การทำงานของเครื่องบดชนิด Pin mill.....	104
6.3.2 วิเคราะห์ทดสอบความสามารถของเครื่องบดชนิด Hammer mill.....	104
6.4 ทดสอบการขนถ่ายจากเชื้อเพลิงผงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บ.....	106
6.5 การเก็บค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อประเมินอัตราการใช้พลังงานในการเตรียม เชื้อเพลิง	108
6.6 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย	108
6.6.1 การทำงานของวาล์วควบคุมการไหลของอากาศ (Butterfly Control Valve).....	108
6.6.2 อิทธิพลจากความเปลี่ยนแปลงความดันในเตาของเนื่องจากการทำงานของ ID Fan.....	108
6.6.3 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิง.....	109
6.6.4 ความเร็วลมต่ำสุดในการขนถ่ายเชื้อเพลิง	110
6.7 การทำให้ระบบเตรียมเชื้อเพลิงให้เป็นอัตโนมัติ.....	111
6.8 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้.....	113
6.8.1 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุม PI ครั้งที่ 1.....	113
6.8.2 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุม PI ครั้งที่ 2.....	114
6.8.3 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุม PI ครั้งที่ 3.....	116
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	118
7.1 บทสรุป	118
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	122
เอกสารอ้างอิง	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	127
ภาคผนวก ข. วงจรไฟฟ้าและข้อมูลทางเทคนิค.....	144
ภาคผนวก ค. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	152
ประวัติผู้เขียน.....	171



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แผงเทอร์ระยะพิตซีไบสกรู.....	14
3.2 แผงเทอร์ชนิดไบสกรู F_r	19
3.3 ค่าประมาณของแผงเทอร์ของวัสดุ (F_m).....	19
3.4 แผงเทอร์ไบพัด (F_p).....	19
3.5 ตัวอย่างแผงเทอร์วัสดุ (F_m).....	20
3.6 ตัวอย่างปริมาณออกซิเจน น้ำ และเก้าโนเชื้อเพลิงแข็งชนิดต่างๆ.....	21
3.7 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยประมาณ และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของ RDF และเชื้อเพลิงต่างๆ (อ้างอิงเชื้อเพลิงแห้งและไม่คิดเก้า).....	25
3.8 แสดงการใช้ตัวอักษรกำหนดชนิดและขนาดของข้อมูล.....	47
3.9 รูปแบบของข้อมูลและจำนวนย่านข้อมูล.....	49
4.1 แสดงการคำนวณขนาดของออริฟิสที่ 750 kW.....	65
4.2 แสดงการคำนวณขนาดของออริฟิสที่ 500 kW.....	66
4.3 แสดงการคำนวณขนาดของออริฟิสที่ 250 kW.....	66
4.4 แสดงระยะเส้นตรงทั้งด้านหน้าและด้านหลังออริฟิสของแต่ละท่อ.....	67
5.1 รายละเอียดชุดควบคุม (PLC).....	73
5.2 ข้อมูลจำเพาะของวาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) สำหรับอากาศทั้งสามส่วน.....	76
5.3 ข้อมูลจำเพาะของ Differential pressure transmitter ของอากาศทั้งสามส่วน.....	77
6.1 เปรียบเทียบกำลังการผลิตจริงกับข้อมูลจากผู้ผลิต [1].....	103
6.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด.....	104
6.3 แสดงค่า Phase Density ในส่วนของระบบการเตรียมเชื้อเพลิง.....	106
6.4 แสดงลักษณะการกองของวัสดุในท่อที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนอากาศของลมปฐุมภูมิ.....	110
6.5 เปรียบเทียบประโยชน์ที่ได้จากการพัฒนาระบบเตรียมเชื้อเพลิง.....	112
6.6 แสดงค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศในแต่ละส่วน.....	117
7.1 แสดงการป้อนเชื้อเพลิงผงโดยใช้อากาศปฐุมภูมิที่สามารถทำได้ในย่านการเผาไหม้ต่างๆ.....	121
7.2 เปรียบเทียบความต้องการอากาศและเชื้อเพลิงที่เป้าหมาย 1 MW ความร้อน กับปริมาณที่สามารถทำได้ในปัจจุบัน.....	122

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพรวมของระบบเดิม.....	3
1.2 ภาพรวมของระบบที่มีการเพิ่มเติม.....	5
3.1 ส่วนประกอบของสกรูขนถ่าย.....	11
3.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุบนใบเกลียว.....	12
3.3 ลักษณะใบเกลียวซ้าย และเกลียวขวา.....	12
3.4 ตัวอย่างลักษณะรูปร่างของใบสกรูประเภทต่าง.....	13
3.5 ลักษณะหน้าตัดของสกรูขนถ่าย.....	14
3.6 หลักการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ.....	15
3.7 แฟกเตอร์ความเต็มราง (k).....	16
3.8 ความเร็วรอบสูงสุดของสกรูขนถ่ายวัสดุ.....	16
3.9 แฟกเตอร์ชนิดของใบสกรู.....	17
3.10 แฟกเตอร์จำนวนใบพัด.....	17
3.11 แฟกเตอร์กำลังขับ (F_o).....	20
3.12 ชีวิตในในประเทศไทย.....	22
3.13 กลไกการเผาไหม้สำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งขนาดเล็ก.....	28
3.14 แสดงภาพตัดของหัวเผาชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber).....	31
3.15 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส.....	32
3.16 ลักษณะพื้นฐานของของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO 5167.....	33
3.17 ลักษณะ Concentric Orifice Plate ตามมาตรฐาน ISO 5167.....	34
3.18 จุดต่อวัดความดันที่ระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Taps).....	35
3.19 Flow coefficients for concentric orifices.....	37
3.20 การติดตั้งออริฟิสในท่อแบบต่างๆ.....	37
3.21 ความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรงเมื่อติดตั้งแผ่นออริฟิสในท่อลักษณะต่างๆ.....	38
3.22 ระยะเวลาการเกิดออสซิลเลชันในขณะตรวจจับวัตถุของ Capacitive Sensors.....	39
3.23 ส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ Capacitive Sensors.....	39
3.24 ส่วนประกอบเบื้องต้นที่สำคัญของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม.....	40
3.25 ลักษณะการไหลของวัสดุในท่อ.....	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.26 แสดงไดอะแกรมการไหลในท่อ (State Diagram).....	44
3.27 การกำหนดตำแหน่ง Address.....	46
3.28 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับแบบลบนึงหน่วย	49
3.29 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี	50
3.30 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย	50
3.31 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบพีโอ.....	52
3.32 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีโอต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย	52
3.33 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบพีโอดี	53
4.1 ชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง.....	55
4.2 การนำเชื้อเพลิงเม็ดลงสู่เครื่องบดแล้วส่งเข้าหัวเผาโดยตรง.....	56
4.3 เชื้อเพลิงอัดเม็ดและเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้ว.....	56
4.4 ลักษณะเครื่องบดชนิด Pin mill ที่ใช้ในการทดลอง.....	56
4.5 การนำเชื้อเพลิงผงที่บรรจุในฮอปเปอร์เข้าหัวเผา.....	57
4.6 ความแตกต่างระหว่างโหมดการบดเชื้อเพลิงผงเพื่อเตรียมทดลองและโหมดการนำเชื้อเพลิง ผงมาทดลองเผา.....	57
4.7 อัตราการบดเชื้อเพลิงที่ขนาดรูตะแกรงต่างๆ.....	58
4.8 ลักษณะของเครื่องบดชนิด Hammer mill.....	60
4.9 มุมกองของวัสดุ	62
4.10 ลักษณะของฮอปเปอร์ที่ใช้บรรจุเชื้อเพลิงผง	63
4.11 ลักษณะของ Bag house ที่ได้ออกแบบใหม่.....	64
4.12 ระบบจ่ายอากาศสำหรับหัวเผาชีวมวลชนิดผง	67
4.13 ระบบการควบคุมอัตราไหลของอากาศ Primary Air Secondary Air และ Tertiary Air	69
4.14 ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงอัดโน้มนิต.....	70
4.15 วงควบคุมการทำงานของพัดลมลำเลียงเชื้อเพลิงผง.....	70
4.16 วงควบคุมการทำงานของเครื่องบด.....	71
4.17 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผลของระบบควบคุมสำหรับเตาเผาชีวมวลชนิดผง	72
5.1 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC).....	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 เครื่องมือวัดระดับชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors)	74
5.3 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง	74
5.4 ระบบจ่ายอากาศสำหรับหัวเผาชีวมวลชนิดผง	75
5.5 วาล์วควบคุมชนิดปีกผีเสื้อ (butterfly control valve).....	76
5.6 Differential pressure transmitter ของอากาศสำหรับการเผาไหม้	76
5.7 ลักษณะการติดตั้ง Orifice plate และ Differential Pressure Transmitter.....	77
5.8 ลักษณะของ Orifice plate ที่ใช้วัดอัตราการไหลร่วมกับ Differential Pressure Transmitter.....	77
5.9 ตู้สตาร์ทมอเตอร์สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง อากาศส่วนที่สาม และโบเวอร์ลำเลียง	78
5.10 อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Schneider รุ่น ATV312 สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด.....	78
5.11 อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Winner รุ่น WIN-V63 สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผงและพัลลม ดูดแก๊สไอเสีย.....	79
5.12 ตู้สตาร์ทเครื่องบดเชื้อเพลิงชนิดค้อนเหวี่ยง (hammer mill).....	79
5.13 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber).....	80
5.14 ลักษณะของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง.....	80
5.15 ถังบำบัดไอเสีย (evaporative scrubber).....	81
5.16 บ่อตกตะกอน และพัลลมดูดไอเสีย	81
5.17 แสดงภาพรวมของระบบที่มีการเพิ่มเติม	81
5.18 สกรูสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงผงเข้าห้องไหม้.....	82
5.19 ลักษณะของเครื่องบดชนิด Hammer mill.....	83
5.20 เครื่องบดชนิด Hammer mill เมื่อเริ่มเกิดการอันเนื่องจากระบายวัสดุไม่ทัน	83
5.21 ลักษณะของใบมีดภายในเครื่องบด	84
5.22 ลักษณะของเครื่องบดชนิด Hammer mill ที่สามารถปรับลักษณะการทำงานได้หลายส่วน.....	84
5.23 ลักษณะของพัลลมสำหรับขนถ่าย.....	84
5.24 ลักษณะของการติดตั้งท่อสำหรับช่วยดูดเชื้อเพลิงผงภายในเครื่องบด	85
5.25 ลักษณะการกองสะสมของเชื้อเพลิงผงในเครื่องบดเมื่อทำการบดอย่างต่อเนื่อง.....	85
5.26 ไชโคลน	86
5.27 Bag House.....	86
5.28 ถังเก็บ (Hopper).....	87

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.29 การเปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ C และ D.....	88
5.30 การเปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ B และ D.....	88
5.31 การเปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ A และ D.....	89
5.32 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่อุปเปอร์ แบบที่ 1	91
5.33 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่อุปเปอร์ แบบที่ 2	92
5.34 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่อุปเปอร์ แบบที่ 3	92
6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg/min) – ความเร็วรอบมอเตอร์ขนถ่าย (rpm).....	96
6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงผง (kg/min) - ความเร็วรอบมอเตอร์ขนถ่าย (rpm).....	96
6.3 เปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ C และ D.....	97
6.4 ผลการเปรียบเทียบการบดเชื้อเพลิงไม้อย่างพาราด้วยวิธี Sieve Analysis โดยทำการปรับเปลี่ยนทิศทางของ Block Plate ด้วยการตั้งการทำงานของเครื่องบดเป็นแบบ C และ D	97
6.5 การเปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ B และ D	98
6.6 ผลการเปรียบเทียบการบดเชื้อเพลิงไม้อย่างพาราด้วยวิธี Sieve Analysis โดยเปลี่ยนด้านของใบมีดที่ใช้สับเชื้อเพลิง ด้วยการเซตการทำงานของเครื่องบดแบบ B และ D.....	98
6.7 เปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ A และ D	99
6.8 ผลการเปรียบเทียบขนาดของผงเชื้อเพลิงไม้อย่างพารา ด้วยวิธี Sieve Analysis โดยเปลี่ยนตะแกรงด้านหนึ่งเป็นขนาดรู 0.5 มม. ด้วยการเซตการทำงานของเครื่องบดให้เป็นแบบ A และ D.....	99
6.9 เปรียบเทียบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีขนาดของอนุภาคต่างกัน (a) อนุภาคขนาด 1.5mm., (b) อนุภาคขนาด 1.0 mm. และ (c) อนุภาคขนาด 0.5 mm	101
6.10 การเปรียบเทียบอัตราการผลิตของเครื่องบดต่อขนาดรูของตะแกรงเครื่องบด.....	102
6.11 ลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวล (a) ลักษณะเชื้อเพลิงก่อนกระบวนการบด และ (b) ลักษณะเชื้อเพลิงหลังผ่านกระบวนการบด	103
6.12 เปรียบเทียบอัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงระหว่าง Pin mill กับ Hammer mill.....	105
6.13 เปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปและพลังงานความร้อนที่ได้	107
6.14 อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการเตรียมเชื้อเพลิงผง	107

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและการทำงานของ ID FAN.....	108
6.16 การก้องของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียงที่การทำงานของ ID FAN ที่ 10 Hz และ 14 Hz ตามลำดับ	109
6.17 การก้องของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียงที่อัตราส่วนอากาศปฐมภูมิ 25% 20% 15% 10% ตามลำดับ.....	110
6.18 วงจรการทำงานของการเตรียมเชื้อเพลิงอัตโนมัติ.....	112
6.19 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s) ของอากาศครั้งที่ 1	112
6.20 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s) ของอากาศครั้งที่ 2	112
6.18 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s) ของอากาศครั้งที่ 3	112
6.18 วงจรการทำงานของการเตรียมเชื้อเพลิงอัตโนมัติ.....	112
7.1 แสดงการเปรียบเทียบระบบภาพรวมของระบบเก่าและระบบใหม่ที่มีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นมา	118



รายการคำย่อและสัญลักษณ์

Roman symbols

A_2	พื้นที่หน้าตัดของรูออริฟิส, (m^2)
A/F	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง
C	ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล
$C(s)$	เอาต์พุตของระบบควบคุม
D	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ
d	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องของแผ่นออริฟิส
$e(t)$ และ $E(s)$	ค่าความผิดพลาด
e_{ss}	ความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว
F/A	อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ
$G_p(s)$	การระบวนการ
$G_c(s)$	ตัวควบคุม
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, (m/s^2)
h_{fg}	ค่าความร้อนแฝงในการระเหย, (kJ/kg)
K	ค่าคงที่ความร้อน
K_p	อัตราขยายเชิงสัดส่วน
K_I	อัตราขยายเชิงอินทิเกรต
K_D	อัตราขยายเชิงอนุพันธ์
k	ค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล, ($m^3/min/psi$)
LHV	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง, (kJ/kg)
MW_{air}	น้ำหนักโมเลกุลของอากาศ
MW_{fuel}	น้ำหนักโมเลกุลของเชื้อเพลิง
m	อัตราการไหลเชิงมวล, (kg/m^3)
m_{fuel}	มวลเชื้อเพลิงที่เผาไหม้, (kg)
m_{H_2O}	มวลของน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้, (kg)
$R(s)$	อินพุตของระบบควบคุม
T	อุณหภูมิ, (K)
$T(s)$	ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิด
T_d	ค่าเวลาเชิงอนุพันธ์
T_i	ค่าเวลาเชิงอินทิเกรต
T_s	คาบเวลาการสุ่ม, (วินาที)

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

Greek symbols

Φ	อัตราส่วนสมมูล
ΔP	ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน, (pa)
ρ	ค่าความหนาแน่น, (g/m^3)
Δh	ค่าความแตกต่างของความสูง



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องความต้องการทางด้านการใช้พลังงานของประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเจริญของประเทศ ซึ่งพลังงานส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานที่มาจากแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลได้แก่ ถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ใช้แล้วหมดไป ประกอบกับเกิดวิกฤตการณ์ราคาพลังงานที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ทั้งภาครัฐและเอกชนเกิดความตื่นตัวในการมองหาแหล่งพลังงานใหม่ๆมาทดแทน เพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของพลังงานทดแทนจึงขอมาเสนอข้อมูลบางส่วนจาก “แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี” ของกระทรวงพลังงานซึ่งมีเนื้อความบางส่วนดังต่อไปนี้

“ประเทศไทยต้องจัดหาพลังงานโดยเฉพาะที่เป็นน้ำมันนำเข้าสูงถึงเฉลี่ยร้อยละ 45 นอกจากนั้นยังต้องนำเข้าก๊าซธรรมชาติบางส่วน ถ่านหิน และไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านด้วย รวมเป็นสัดส่วนการพึ่งพาพลังงานจากภายนอกอยู่ในระดับสูงกว่าร้อยละ 55 ทำให้ประเทศต้องสูญเสียเงินตราและมีผลกระทบต่อสถานะความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศเป็นอย่างมากด้วยความผันผวนของราคาน้ำมันในตลาดโลกที่ปรับตัวขึ้นและลงอย่างรุนแรง ได้ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจโลก และต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูงสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น โดยการแปรรูป กากอ้อย ใบและกะลาปาล์ม แกลบ และซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า และพลังงานความร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม ส่วนกากน้ำตาล น้ำอ้อย และมันสำปะหลัง ใช้ผลิตเอทานอล และน้ำมันปาล์ม และสเตรินใช้ผลิตไบโอดีเซล เป็นต้น กระทรวงพลังงานจึงมียุทธศาสตร์การพัฒนาน้ำมันทดแทนจากพืชพลังงานเหล่านี้ เพื่อจะได้เปิดตลาดทางเลือกสำหรับผลผลิตการเกษตรไทย ซึ่งจะสามารถช่วยลดข้อขัดข้องการผลิตทางการเกษตรและช่วยให้ผลผลิตทางการเกษตรมีเสถียรภาพและภาครัฐไม่ต้องจัดสรรงบประมาณมาประกันราคาพืชผลผลิตดังกล่าว ประกอบกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานเป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจหรือเกือบคุ้มทุนหากได้รับการสนับสนุนเล็กน้อยจากรัฐบาล”

สำหรับประเทศไทยซึ่งประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม พลังงานจากชีวมวลยิ่งได้รับความสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากมีชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณมากโดยเฉพาะชีวมวลของแข็ง (Solid biomass) อาทิเช่น แกลบ ชี้อ้อย และเปลือกไม้ชนิดต่างๆ เป็นต้น เนื่องจากชีวมวลของแข็งที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจะมีรูปร่างไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สม่ำเสมออีกทั้งมีช่องว่างระหว่างอนุภาคมากทำให้มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำการลำเลียงเพื่อจำหน่ายจ่ายแจกก็เป็นไปได้ยากลำบากและไม่มีประสิทธิภาพซึ่งนำไปสู่ต้นทุนด้านการขนส่งและเก็บรักษาที่สูงการแปรรูปชีวมวลของแข็งเหล่านี้ให้มีรูปร่างสม่ำเสมอและมีความหนาแน่นของพลังงานสูงขึ้นเช่นการอัดแท่ง (Pelletization) จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ชีวมวลของแข็งที่ผ่านการแปรรูปดังกล่าวแล้วจะอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Pellet) หรือหากชีวมวลของแข็งนั้นได้มาจากส่วนประกอบของไม้ก็จะเรียกว่าเชื้อเพลิงไม้อัดแท่ง (Wood pellet)

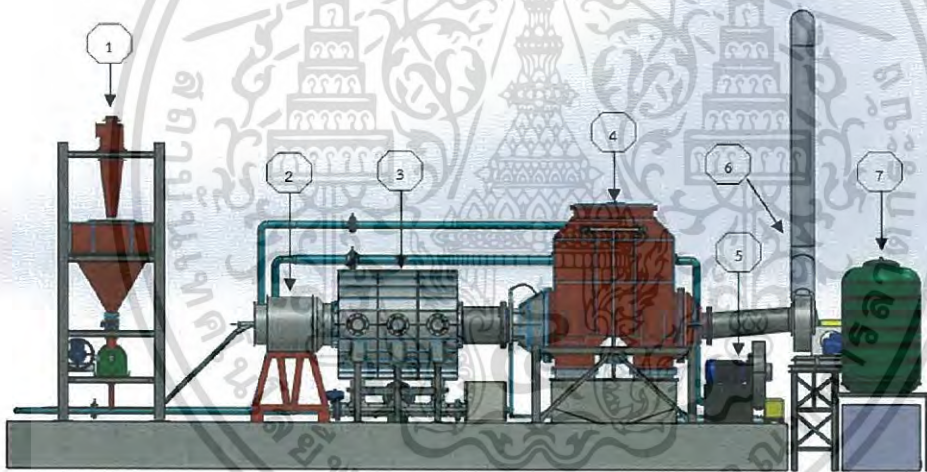
ในการที่จะนำไม้อัดแท่ง (Wood pellet) มาเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิตแก๊สร้อน เพื่อนำไปใช้ในหม้อไอน้ำ (Boiler) จำเป็นต้องหาเทคโนโลยีหรือเทคนิคมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมหัวเผาที่มีความเหมาะสม ในที่นี้จะให้ความสนใจกับหัวเผาเชื้อเพลิงแข็งในลักษณะที่เป็นผง (Pulverized Burner) งานวิจัยนี้เป็นโครงการต่อเนื่องที่ทำต่อยอดจากโครงการ "การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับผลิตไอน้ำในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร" โดยใช้ไม้อัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน ซึ่งในโครงการเดิมยังมีส่วนที่ยังสามารถพัฒนาเพิ่มเติมคือระบบการควบคุมที่จะช่วยในเรื่องของการตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วส่งผลถึงความปลอดภัยในการทดลองและช่วยอำนวยความสะดวกต่อผู้วิจัย เช่น สามารถรักษาระดับอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ให้คงที่ได้แม้ในระบบการเผาไหม้จะถูกรบกวน ลดบุคลากรในการเฝ้าระวังและเก็บผลตามจุดต่างๆ ลดขั้นตอนการทำงานด้วยคนโดยใช้เครื่องจักรทดแทน จุดเฝ้าระวังต่างๆ ที่มีผลกับความปลอดภัยต่อบุคลากรจะถูกแทนที่ด้วยเซนเซอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและการพัฒนาระบบการควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบเดิมที่มีอยู่คือลดขั้นตอนการเตรียมและการปรับย่านการทดลองเผาไหม้ที่มีความยุ่งยากและใช้เวลานาน โดยคาดหวังว่าขั้นตอนการบด การลำเลียงเชื้อเพลิง การป้อนอากาศและเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและสามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ เพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์สำหรับวิเคราะห์และการพัฒนาห้องเผาไหม้ช่วย (Pre Chamber) เนื่องจากการส่งเชื้อเพลิงและอากาศถือเป็นส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของหัวเผา จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบเพื่อหาขีดจำกัดและองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อ การลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงต่างๆ (แต่ละเงื่อนไขอัตราส่วนอากาศและย่านการทดลองที่ต่างกัน) ตั้งแต่ขีดจำกัดของอัตราการบดเชื้อเพลิง อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำสุดในขณะที่จุดหัวเผา ไปจนถึงพิกัดกำลังสูงสุดของหัวเผา ผลการวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมการไหลอากาศและเชื้อเพลิงที่ได้นี้จะถูกคำนึงถึงความปลอดภัย และการควบคุมเงื่อนไขการดำเนินการเมื่อมีการเผาไหม้ ซึ่งคาดว่าในอนาคตจะสามารถนำหัวเผาที่ถูกสร้างขึ้นมาประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 ภาพรวมของระบบ

1.2.1 ภาพรวมของระบบเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบใหญ่ที่มีส่วนประกอบปลีกย่อยมากมายจะขออธิบายขั้นตอนโดยสังเขป ดังนี้ เชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบนี้มีสองชนิดคือ เชื้อเพลิง LPG และเชื้อเพลิงไม้ยางพาราอัดเม็ด(Wood pellet) ที่มีข้อดีในเรื่องของความปลอดภัยในการเก็บรักษาและความสะดวกในการขนส่ง โดยจะถูกเก็บไว้ในส่วนเก็บ (หมายเลข 1 ในรูปที่ 1.1) ในการเริ่มติดเตาเชื้อเพลิง LPG จะถูกใช้ในการอุ่นเตาเมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ต้องการ แล้วระบบจะเริ่มจ่ายเชื้อเพลิงเม็ดโดยสกรูพืดเข้าสู่เครื่องบด เครื่องบดจะบดเชื้อเพลิงจนมีขนาดเล็กพอที่จะผ่านรูตระแกรงแล้วไหลเข้าสู่หัวเผา(หมายเลข 2 ในรูปที่ 1.1) อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงผงได้มาจากพัดลมอัดอากาศ(หมายเลข 5 ในรูปที่ 1.1) เมื่อเชื้อเพลิงผงติดไฟจนมีความเสถียรภาพแล้วจะตัดการป้อน LPG ไอเสียที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงผงจะถูกทำให้เย็นลงและดักจับใน Wet scrubber(หมายเลข 4 ในรูปที่ 1.1) และถูกดูดไปสู่ท่อไอเสียด้วยพัดลมดูดไอเสีย(หมายเลข 6 ในรูปที่ 1.1) ส่วนน้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิไอเสีย และดักจับฝุ่นละอองใน Wet scrubber จะถูกดูดลงสู่บ่อตกตะกอนและระบบหมุนเวียนน้ำ(หมายเลข 7 ในรูปที่ 1.1)



รูปที่ 1.1 ภาพรวมของระบบเดิม

ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ

1. ส่วนเก็บเชื้อเพลิง บดเชื้อเพลิงและป้อนเชื้อเพลิง
2. หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล
3. ห้องเผาไหม้
4. ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนและบำบัดไอเสีย
5. พัดลมอัดอากาศในส่วนปฐมภูมิ-ตติยภูมิ
6. พัดลมดูดไอเสีย และท่อไอเสีย
7. ส่วนถังเก็บน้ำที่ใช้ในระบบรวมถึงบ่อตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากระบบเดิมยังขาดส่วนควบคุมและรักษาอัตราการไหลของอากาศที่ที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิง ผงรวมถึงอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ให้คงที่ หากมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะการเผาไหม้ เช่น ในกรณีที่มีการเผาไหม้มีการกระเพื่อมของเปลวไฟหรือเมื่อแก๊สร้อนมาปะทะกับม่านน้ำที่ถูกฉีดเพื่อลดอุณหภูมิ ไอเสียจนทำให้อากาศขยายตัวฉับพลัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันในห้องเผาไหม้ ทำให้อัตราการไหลของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ หรือการตั้งค่าการทำงานของ ID Fan ที่ไม่เหมาะสมเพื่อรักษาความดันในเตา หรืออาจมีสิ่งรบกวนระบบการลำเลียงอากาศทั้งสามส่วนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จากภายนอก ซึ่งในระบบเดิมไม่มีการชดเชยอัตราการไหลหากระบบการลำเลียงอากาศเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลง โดยระบบเดิมใช้การตั้งเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วที่ได้จากการทดลองไว้เพียงครั้งเดียวในแต่ละย่านการเผาไหม้ถ้าทำการทดลองเผาไหม้เลย

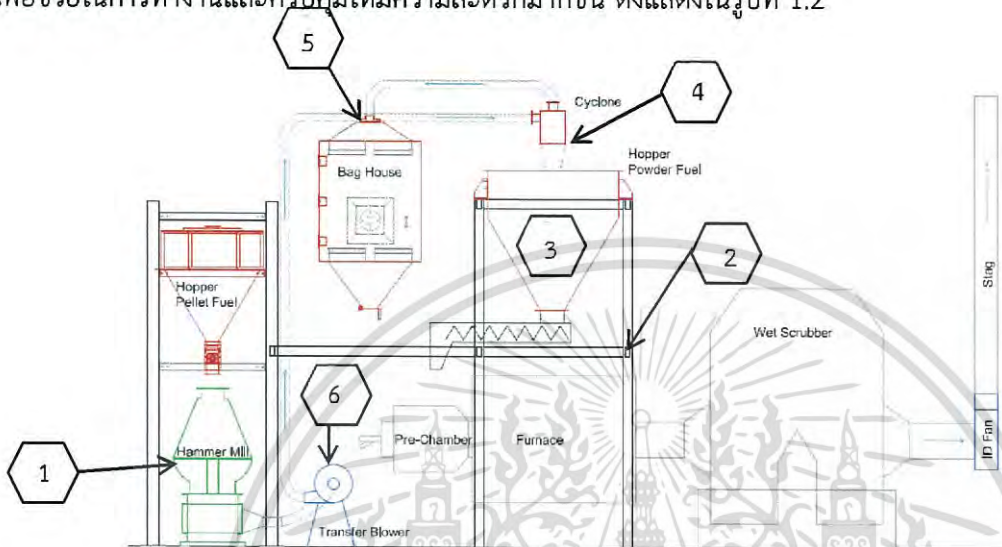
อีกทั้งในส่วนระบบการเตรียมเชื้อเพลิงมีความยากลำบากคือ ส่วนการบดเชื้อเพลิงที่มีอัตราการบดของขนาดรูตะแกรง 0.5 มม. อยู่ที่ประมาณ 22 กก./ชม. และขนาดรูตะแกรง 1.0 มม. อยู่ที่ประมาณ 46 กก./ชม. ซึ่งความต้องการให้เชื้อเพลิงจริงสูงสุดอยู่ที่ 230 กก./ชม. จะเห็นได้ว่าเราต้องใช้เวลาในการเตรียมเชื้อเพลิงมากกว่า 5 ชม. เพื่อที่จะสามารถทดลองที่อัตราเผาไหม้สูงสุดได้ 1 ชม. ซึ่งขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านรูตะแกรงแต่ละขนาดมีผลต่อการเผาไหม้โดยตรงคือขนาดเชื้อเพลิงผงที่มีขนาดเล็กจะเผาไหม้ได้ดีกว่าเชื้อเพลิงผงที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งการเก็บเชื้อเพลิงที่บดแล้วนั้นมักมีการติดขัดอยู่บ่อยครั้งเนื่องจากการลมที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงนั้นอาศัยเพียงลมที่เกิดจากการทำงานของเครื่องบดซึ่งไม่พอต่อการนำเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ไซโคลนด้วยความเร็วที่เหมาะสม ทำให้ประสิทธิภาพของไซโคลนเดิมนั้นไม่ค้ำเชื้อเพลิงที่บดได้จึงเข้าสู่ฟิลเตอร์ในปริมาณมากทำให้เกิดการอุดตันเร็ว เมื่อระบบบดเกิดการอุดตันบ่อยครั้งจึงทำให้ต้องแก้ไขบ่อยครั้งเสียเวลามาก

นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากในส่วนการเก็บเชื้อเพลิงเนื่องจากระบบเดิมนั้นมี Hopper เดียวแต่ต้องสลับเปลี่ยนเชื้อเพลิงกันคือ เมื่อเราต้องการบดเตรียมเชื้อเพลิงเพื่อทดลองจะต้องทำการเติมไม้ยาวพาราอัดแท่งใส่ใน Hopper และทำการบดไปจนหมด ระหว่างนั้นเชื้อเพลิงผงที่บดได้ต้องทำการจัดหากล่องเพื่อเก็บไว้ก่อนเมื่อบดจนเสร็จแล้วจึงค่อยใช้คนนำเชื้อเพลิงผงที่บดไว้ขึ้นไปเทใส่ Hopper เดียวกับที่ใส่เชื้อเพลิงไม้ยาวพาราอัดแท่งที่ล่องระสอบ ในขณะที่เชื้อเพลิงผงมีการพุ่งกระจายผู้เทต้องจัดหาอุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสม ในกรณีที่ยังบดเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่หมดแล้วต้องการทำการทดลองเผาเชื้อเพลิงนั้นต้องทำการถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ดออกให้หมดก่อนแล้วจึงใส่เชื้อเพลิงผงเข้าไปแทน ในทางตรงข้ามถ้าหากเมื่อทดลองเผาแล้วเชื้อเพลิงผงยังเหลือใน Hopper แต่ปริมาณไม่เพียงพอสำหรับการทดลองครั้งต่อไป ก็ต้องทำการถ่ายเชื้อเพลิงผงออกก่อนแล้วจึงใส่เชื้อเพลิงอัดเม็ดไปเพื่อบดเก็บต่อไป จะเห็นได้ว่าในระบบเดิมยังมีความยุ่งยากในการเตรียมเชื้อเพลิงเพื่อทดลองเผาอยู่มาก จึงควรที่จะทำการพัฒนาให้มีความสะดวกและปลอดภัยต่อผู้ทดลองมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 ภาพรวมของระบบที่มีการปรับปรุง

เพื่อทำส่วนการบดเตรียมเชื้อเพลิงให้มีอัตราการผลิตสูงขึ้นจนเพียงพอต่อความต้องการ และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องไม่ติดขัดนั้น จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนเครื่องจักรบางส่วนและเพิ่มอุปกรณ์ต่างๆเข้าไปเพื่อช่วยในการทำงานและควบคุมให้มีความสะอาดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ภาพรวมของระบบที่มีการเพิ่มเติม

โดยมีสิ่งเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. เปลี่ยนเครื่องบดใหม่จากชนิด Pin mill เป็นชนิด Hammer mill เพื่อเพิ่มอัตราการบดเดิมให้สูงขึ้น พร้อมทั้งยกส่วน Hopper ให้สูงขึ้นเพื่อรองรับการติดตั้งเครื่องบดใหม่
2. ทำโครงสร้างเพื่อรองรับ Bag house และ Hopper สำหรับเก็บกักเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้ว
3. สร้าง Hopper สำหรับเก็บกักเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้ว โดยออกแบบให้สามารถรองรับเชื้อเพลิงผงได้ประมาณ 355 กิโลกรัม หรือสามารถเก็บเชื้อเพลิงเพื่อใช้งานที่อัตราการทดลองสูงสุด (230 kg/hr = 1 MW ความร้อน) ได้เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมงครึ่ง
4. ทำการสร้างไซโคลนเพื่อใช้ในการแยกเชื้อเพลิงกับอากาศออกจากกัน
5. ทำการสร้าง Bag house โดยออกแบบให้มีพื้นที่ของฟิลเตอร์ประมาณ 2.513 m² และเลือกฟิลเตอร์ที่มีอัตราการซึมผ่านที่ 17.3 cc/cm²/sec
6. จัดหาพัดลมเพื่อใช้ในการลำเลียงเชื้อเพลิงผงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บ

ในส่วนที่มีการเพิ่มเติมนี้จะสามารถแบ่งการทำงานหลักออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. การเตรียมเชื้อเพลิง เริ่มจากไม้ยางพาราอัดเม็ดจะถูกเติมใส่ไว้ในฮอปเปอร์ทางซ้ายมือและจะถูกลำเลียงลงสู่เครื่องบดโดยใบสกรูที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ จากนั้นเชื้อเพลิงที่ถูกบดจะถูกดูดด้วยพัดลมจะถูกพัดพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปสู่ฮอปเปอร์โดยผ่านโซโคลนที่ทำหน้าที่หลักในการคัดแยกเชื้อเพลิงผงและอากาศที่ใช้ลำเลียงมาออกจากกัน เชื้อเพลิงผงจะถูกเก็บไว้ในฮอปเปอร์ทางขวามือส่วนอากาศที่ใช้ลำเลียงจะมุ่งไปยังถังกองทำหน้าที่กรองเชื้อเพลิงผงที่มีขนาดเล็กมากๆ ที่ยังปนกับอากาศออกเพื่อให้อากาศที่ใช้ลำเลียง ปล่อยออกสู่บรรยากาศอย่างมีความสะอาด 2. ส่วนการนำเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย โดยใช้สกรูที่มีขนาดเล็กกว่าเดิมในการควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงผงและใช้อากาศปฐมภูมิในการนำพาเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย เมื่อได้อุปกรณ์ครบแล้วจึงทำการติดตั้งและทำการทดลองต่อไป จากนั้น มีการนำ PLC มาช่วยในการควบคุมส่วนต่างๆ ให้ทำงานอย่างเป็นลำดับตามที่กำหนดไว้

1.3 วัตถุประสงค์ของการพัฒนา

1. เพื่อพัฒนาระบบการเตรียมเชื้อเพลิงผงประกอบด้วย การบด การลำเลียง และการเก็บสำรอง โดยสามารถลดขั้นตอนและทำงานได้แบบต่อเนื่องไม่ติดขัด ใช้เวลารวมถึงจำนวนคนในการเตรียมน้อยลง โดยสามารถผลิตและเก็บเชื้อเพลิงได้เพียงพอต่อความต้องการใช้ที่ยานการทดลองเผาไหม้ 1 MW ความร้อนได้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
2. เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยสามารถรักษาอัตราการไหลได้คงที่ตามความต้องการในแต่ละย่านการทดลอง
3. หาค่าพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงผง เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล
4. เพื่อหาเงื่อนไขในการควบคุมอัตราการลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยด้วยกระแสอากาศปฐมภูมิอย่างต่อเนื่องไม่ติดขัด ซึ่งการลำเลียงเชื้อเพลิงและอากาศนี้มีความสำคัญต่อการเผาไหม้และการเก็บค่าพารามิเตอร์เพื่อวิเคราะห์และพัฒนาห้องเผาไหม้ช่วยสำหรับผู้วิจัยท่านอื่นต่อไป

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้อุปกรณ์ตรวจวัดและคอมพิวเตอร์มาช่วยในการควบคุมและแปลงค่าที่ตรวจวัดได้ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามาประมวลผลสู่ตัวเลขที่อ่านได้ง่ายในหน่วยที่ต้องการ จะสามารถลดการใช้เวลาและบุคลากรในการเตรียมการทดลองลง รวมทั้งยังสามารถวัดปริมาณทั้งหลายที่มีการเปลี่ยนแปลงอันเกิดจากการทดลองได้อย่างเป็นปัจจุบัน ทั้งยังเป็นตัวช่วยในการควบคุมการทดลองเผาไหม้จริงให้ทนต่อการรบกวนจากสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อย่างมีเสถียรภาพและฉับไวมากขึ้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบัดเชื้อเพลิง การลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย สามารถแสดงผลและควบคุมปริมาณที่สนใจเป็นได้ เช่น อัตราการไหลของอากาศ ปริมาณของเชื้อเพลิง รู้สถานะการทำงานของเครื่องจักร และควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอย่างเป็นลำดับ ปลอดภัย เป็นต้น เพื่ออำนวยความสะดวกผู้วิจัย ให้สามารถการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อวิเคราะห์และพัฒนาห้องเผาไหม้ได้

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. สำรวจและศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม Pulverized burner และเชื้อเพลิงชีวมวล แข็ง
2. ศึกษาทฤษฎีการควบคุมที่เกี่ยวข้องกับเผาไหม้ หลักการทำงานและการออกแบบระบบควบคุม Pulverized burner หลักการคำนวณต่างๆที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย
3. พิจารณาคัดสรรการติดตั้งอุปกรณ์การวัดและวัดค่าพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ เพื่อส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังชุดอุปกรณ์ประมวลผล
4. ออกแบบการทดลองพร้อมทั้งสร้างและติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบ อาทิเช่น อุปกรณ์วัดความดัน อุปกรณ์วัดอัตราการไหล อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ เป็นต้น
5. Calibrate และติดตั้งชุดเครื่องมือวัด
6. ตรวจสอบความพร้อมของชุดอุปกรณ์ทดลองและปรับปรุงข้อผิดพลาดของระบบต่างๆ
7. ทำการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่หัวเผาสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง มีเสถียรภาพ และปลอดภัย
8. ออกแบบ และเลือกระบบควบคุมหัวเผาเชื้อเพลิงแข็งในลักษณะที่เป็นผง (Pulverized Burner) ที่มีความเหมาะสม สำหรับเชื้อเพลิงไม้อัดแท่งบดละเอียด (Pulverized wood pellet)
9. พัฒนาลำดับขั้นตอนการบัด ลำเลียงและคัดแยกเชื้อเพลิง ให้สามารถดำเนินการได้อย่างอัตโนมัติด้วยเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC)
10. ทำการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบควบคุมการบัด ลำเลียงและคัดแยกเชื้อเพลิงตามเป้าหมาย และขอบเขต ที่ได้กำหนดไว้
11. วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อพัฒนาและปรับปรุง
12. สรุปผลการดำเนินโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ระบบการบด การเก็บเชื้อเพลิงการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงให้สามารถทำงานได้แบบต่อเนื่องไม่ติดขัด
2. ลดขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิง สำหรับทดลองเผาไหม้ให้น้อยลง และเป็นระบบอัตโนมัติ
3. สามารถควบคุมอัตราการบดเชื้อเพลิงเม็ดให้เป็นผงได้อย่างต่อเนื่องและเพียงพอต่อการใช้งานที่ยานการเผาไหม้ต่างๆ
4. ทำการลำเลียงเชื้อเพลิงผงที่ถูกบดเป็นผงแล้วสู่ที่กักเก็บอย่างปลอดภัยโดยลดการใช้แรงงานคน
5. ทำให้การเผาไหม้มีเสถียรภาพโดยการควบคุมอัตราการลำเลียงเชื้อเพลิงผงและอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยได้อย่างต่อเนื่องไม่ติดขัด
6. ทำให้ผู้วิจัยที่สนใจพัฒนาหัวเผาสามารถควบคุมการเผาไหม้ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว แม่นยำ ทันท่วงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างทดลอง และเก็บค่าพารามิเตอร์ได้ครบถ้วน

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

จากบทที่หนึ่งได้ทราบแล้วว่างานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่มุ่งเน้นในด้านการออกแบบ และพัฒนา ระบบควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชนิดผง ขนาด 1 MW รวมถึงระบบการเตรียมเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นที่จะศึกษาให้ทราบถึงย่านการทำงาน และสมรรถนะของระบบดังกล่าวอีกด้วย ซึ่งในการออกแบบนั้น จำเป็นต้องทำการศึกษาถึง หลักการทำงาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งต้องศึกษางานวิจัยที่มีผู้ทำมาก่อน เพื่อให้ทราบถึงแนวคิด สมบัติ และปัจจัยต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันการ ละเมิดสิทธิบัตรของผู้วิจัยท่านอื่น ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันนี้มีนักวิจัยทั้งได้ศึกษาในหัวข้อที่ เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาจำนวนมาก อาทิเช่น

ปี	ผู้วิจัย	สิ่งที่น่าสนใจ
2009	Xu Chuanlong และคณะ	ได้ศึกษาเกี่ยวกับการชาร์จประจุไฟฟ้าจากการชนถ่ายโอนภาคถ่านหินในเฟส หนาแน่นของระบบลำเลียงด้วยลมที่ความดันต่ำโดยใช้วิธีการวัดแบบไม่สัมผัส (electrostatic probe) จากการสังเกตการณ์ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้น ของอนุภาคถ่านหินนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของระดับการชาร์จของอนุภาคผงถ่าน หิน อัตราการการชาร์จจะเพิ่มขึ้นจากอนุภาคถ่านหินที่เพิ่มขึ้น
2010		ในการชนถ่ายถ่านหินด้วยลมของท่อแนวนอนและใช้ ECT ในการเพ้าดู รูปแบบการไหล พบว่าการเพิ่มความเร็วในท่อแนวนอนจะทำให้การไหล เปลี่ยนจากเต็มท่อเป็นการไหลแบบแบ่งชั้น และเทอมของความดันและความ หนาแน่นสามารถนำมาประกอบการอธิบายลักษณะการไหลได้
2011	Xingliang Cong และคณะ	ได้ทำการเปรียบเทียบการชนถ่ายวัสดุในท่อแนวตั้งโดยใช้ CO ₂ และอากาศ เป็นตัวชนถ่าย พบว่าในแง่ของลักษณะการไหลจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันคือเมื่อ เกิด Gas slug จะสามารถตรวจวัดลูกคลื่นความดันขนาดใหญ่ได้ แต่ที่อัตรา ชนถ่ายถ่านหินเท่ากัน ความเร็วของวัสดุและความดันแตกต่างของ CO ₂ จะ น้อยกว่าอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Guan Qingliang และคณะ	ได้ศึกษารูปแบบการไหลของการลำเลียงด้วยลมสำหรับถ่านหินผงในท่อแนวนอน โดยถ่านหินบดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 69 ไมครอนและมีความหนาแน่นที่ 1444 kg / m ³ โดยทดลองการลำเลียงผงด้วยลมโดยเงื่อนไขแรงดันสูงสุดที่ 0.84 MPaA ซึ่งรูปแบบการไหลและความดันแตกต่างกันในท่อจะใช้วิธีการวัดด้วยเทคโนโลยี ECT จะแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการที่ครอบคลุมของรูปแบบการไหลกับความเร็วมวลของอากาศที่ลดลงบริเวณผิวหน้าของผงในท่อ เมื่อความดันแตกต่างกันมีความผันผวนในรูปแบบที่แตกต่างกัน ลักษณะการไหลและความผันผวนของความดันแตกต่างกัน มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความผันผวนของความดันแตกต่างกันเป็นตัวแปรที่สำคัญในการคาดการณ์รูปแบบการไหลในท่อแนวนอน
2012	Zhouen liu และคณะ	พบว่าการลดความชื้นของถ่านหินก่อนใช้งาน จะช่วยลดความเสี่ยงเพลิงไหม้ของเครื่องจักรได้ โดยการบดถ่านหินจนมีขนาดเล็กและใช้ความเร็วลมขนถ่ายที่สูงจะช่วยลดความชื้นได้
2014	Lei liu และคณะ	การวัดการไหลโดยใช้โพรมที่สร้างความร้อน 15 W โดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนในการไหลแบบ Two Phase-Flow ซึ่งความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของวัสดุในท่อและความเร็วของอากาศ แต่จากการทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อนมีความสัมพันธ์เหมือนกับ Singel Phase-flow
	Yi Yang และคณะ	ได้ทำการศึกษาออกแบบการขนส่งด้วยลมสำหรับชีวมวลระดับไมครอน ซึ่งนำความดันในเชิงบวกมาใช้และทำการขนถ่ายในสภาวะหนาแน่น ซึ่งจะทำให้มั่นใจได้ว่ามีเสถียรภาพและความต่อเนื่องในช่วงขนส่ง แนวคิดของการออกแบบการขนถ่ายชีวมวลผง พิจารณาจากหลายปัจจัย เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความถ่วงจำเพาะที่ลดลงและความหนืดที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการขนถ่ายผงถ่านหิน จะเห็นว่าสำหรับชีวมวลผงจะมีความหนาแน่นต่ำกว่า มีความหนืดมากกว่า นิ่มกว่าและมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ง่ายกว่า ถ่านหิน ในการลำเลียงในท่อพบว่าเมื่อลมที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อชีวมวลผงไม่ได้ถูกทำให้แห้ง ผงชีวมวลจะเกาะบริเวณผนังท่อและอัดตัวได้ง่าย นำไปสู่การอุดตันในท่อขนส่งและอัดตัวในไซโลจนไม่ส่งผ่านลงสู่ระบบลำเลียง หากใช้ท่อหัวฉีด by pass ช่วยในการลำเลียงพบว่า สภาวะของการลำเลียงผงชีวมวลจะเป็นแบบหนาแน่นที่มีเสถียรภาพและความต่อเนื่องหากอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ลำเลียงอยู่ในย่าน 24-32 Nm ³ /h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับบทนี้ จะนำเสนอถึงทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเพื่อออกแบบชุดลำเลียงและกักเก็บ เชื้อเพลิงชีวมวลผง ได้แก่ การขนถ่ายวัสดุด้วยสกรู การขนถ่ายด้วยลม ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สร้างขึ้นเพิ่มเติมในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ จะขอกกล่าวถึงโดยสังเขป เกี่ยวกับเชื้อเพลิง และการเผาไหม้ เพื่อให้เห็นถึงความสำคัญในการสร้างระบบลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้

3.1 สกรูขนถ่ายวัสดุ (Screw Conveyors) [1]

สกรูขนถ่ายวัสดุ เป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่มีใช้งานมานานกว่า 2,000 ปีแล้ว โดยในยุคแรกใช้สำหรับขนถ่ายของเหลว และสิ่งปฏิกูล แต่ในปัจจุบันจะนิยมใช้กับการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล โดยส่วนประกอบหลักของสกรูขนถ่ายวัสดุนั้นแสดงดังรูปที่ 3.1



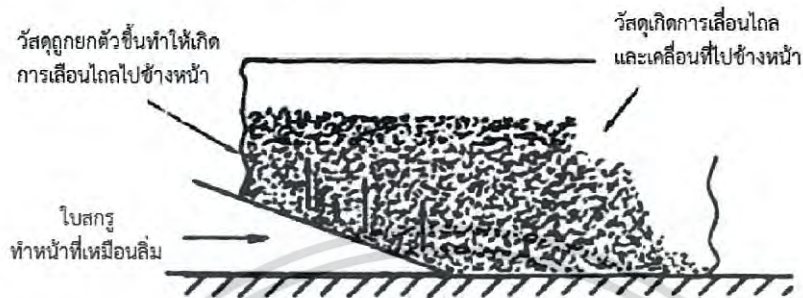
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของสกรูขนถ่าย

3.1.1 หลักการทำงาน และการใช้งาน

สกรูขนถ่ายวัสดุเป็นอุปกรณ์ในการขนถ่ายวัสดุ ที่เหมาะสำหรับขนถ่ายวัสดุที่มีสมบัติในการไหลดี ดังแสดงในรูปที่ 3.2 การหมุนของใบเกลียวจะทำให้เกิดการยกวัสดุขึ้นเหมือนลักษณะลิ้ม การเคลื่อนที่ขึ้นของวัสดุจะทำให้วัสดุเกิดการเลื่อนไหลไปข้างหน้าได้ และการหมุนของใบเกลียวจะทำงานเสมือนลิ้มที่ทำหน้าที่ผลักดัน และตัดเฉือนวัสดุจากการหมุนของใบเกลียวทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวร่างของสกรูขนถ่ายวัสดุโดยทั่วไปสามารถแบ่งเป็นสองชนิด คือร่างแบบกลม และร่างรูปตัวยู ซึ่งร่างแบบกลมจะเป็นสกรูที่ใช้ความเร็วรอบสูง เป็นแบบที่เคลื่อนที่ได้ สามารถนำไปใช้ในสถานที่ต่างๆได้ และยังใช้สำหรับการขนถ่ายวัสดุตามแนวตั้งได้อีกด้วย ส่วนร่างแบบตัวยูจะใช้ความเร็วต่ำกว่า และเป็นแบบที่ติดตั้งอยู่กับที่



รูปที่ 3.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุบนใบเกลียว

3.1.2 ชนิดของใบเกลียว

ใบเกลียว (screw flight) ของสกรูขนถ่ายวัสดุโดยทั่วไปจะมีขนาดเท่ากับระยะพิทช์ของใบเกลียว อาจเป็นเกลียวขวาหรือเกลียวซ้าย ซึ่งกำหนดโดยการหมุนของใบสกรู ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ลักษณะ และรูปแบบการใช้งานของใบสกรูมีมากมาย ขึ้นอยู่กับความต้องการการใช้งาน รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างลักษณะรูปร่างของใบสกรูประเภทต่างๆ



รูปที่ 3.3 ลักษณะใบเกลียวซ้าย และเกลียวขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างลักษณะรูปร่างของใบสกรูประเภทต่างๆ

3.1.3 การแบ่งประเภทของวัสดุ

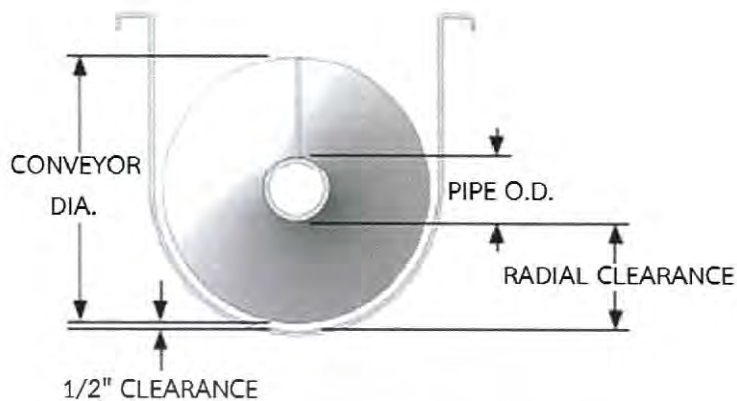
การแบ่งประเภทของวัสดุจะช่วยในการตัดสินใจเลือกสกรูขนถ่ายวัสดุ และกำหนดอัตรา การขนถ่ายวัสดุ ซึ่งวัสดุจะถูกแบ่งออกเป็นสี่ชนิดหลักๆ ดังนี้

ประเภทที่ 1 วัสดุเบา ไหลได้ดี ไม่มีความคม เช่น เมล็ดข้าวสาลี ฝักข้าวโพด และแกรไฟต์

ประเภทที่ 2 วัสดุไม่มีความคม คุณสมบัติในการไหลได้น้อยกว่าวัสดุประเภทที่ 1 (วัสดุ ก้อนเล็กผสมกับวัสดุละเอียด) เช่น แป้งอบขนมปัง ถ่านหินบดละเอียด และข้าวโพดบด เป็นต้น

ประเภทที่ 3 คุณสมบัติการไหลคล้ายแบบประเภทที่ 2 แต่มีความคมกว่า ต้องการความเร็ว รอบของสกรูต่ำ เช่น ซีเมนต์แห้ง ปูนซีเมนต์ เกลือ ถ่านไม้ และซอล์กบด เป็นต้น

ประเภทที่ 4 วัสดุมีความคม และคุณสมบัติการไหลไม่ดี เช่น ถ่านหิน กากถ่านหิน กากแร่จากเตาอะลูมินา (alumina) และทรายแห้ง เป็นต้น



รูปที่ 3.5 ลักษณะหน้าตัดของสกรูขนถ่าย

3.1.4 การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ

อัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุ หรือสกรูป้อนวัสดุ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. รูปร่างของใบสกรู
2. ความเร็วรอบของสกรู
3. มุมลาดเอียงในการขนถ่ายวัสดุ
4. รูปร่างของถังเก็บวัสดุ และรางสกรูขนถ่ายวัสดุ
5. คุณสมบัติในการไหลของวัสดุ
6. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุบนใบสกรูและราง

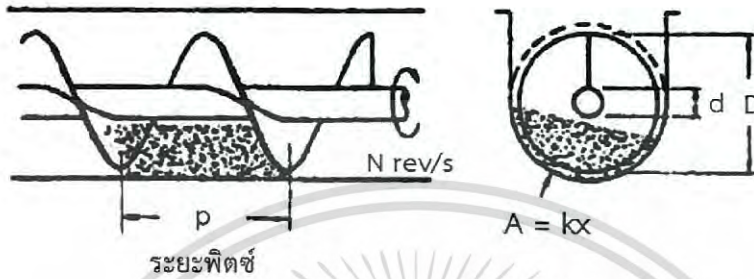
สมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุของอเมริกา (CEMA) ได้มีการพิมพ์ตารางอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตรสำหรับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุถึง 45% ซึ่งคิดตามพื้นที่หน้าตัดเต็มของใบสกรู และไม่คำนึงถึงวัสดุที่อยู่ตรงช่องว่างระหว่างใบสกรูกับตัวรางสกรูภายใต้สภาพการใช้งานทั่วไป การที่ไม่คำนึงถึงปริมาตรของวัสดุดังกล่าว เป็นเรื่องไม่สำคัญนักในกรณีที่วัสดุเป็นผงละเอียด ส่วนใหญ่มักจะหยุดอยู่ตามช่องว่างนั้น หรืออาจจะเคลื่อนที่เข้ามาบ้าง อย่างไรก็ตามวัสดุบางชนิด เช่น วัสดุก้อนขนาดใหญ่ หรือวัสดุที่เป็นเส้นใยจะสามารถเคลื่อนที่ไปด้วยกันทั้งหมดในช่องว่าง ดังนั้นอัตราการขนถ่ายเชิงปริมาตร จะสูงกว่าค่าที่ปรากฏอยู่ในตาราง

ตารางที่ 3.1 แฟกเตอร์ระยะพิตช์ใบสกรู

รายละเอียดของระยะพิตช์	CF ₁
ระยะพิตช์= เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	1.00
ระยะพิตช์= 2/3 เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	1.50
ระยะพิตช์= 1/2 เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	2.00
ระยะพิตช์= 3/2 เส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุของสกรูขนถ่ายวัสดุ สามารถหาได้จากรูปแบบการขนถ่ายวัสดุในรูปที่ 3.6 การหมุนของสกรูจะทำให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างต่อเนื่อง ด้วยความเร็วโดยประมาณเท่ากับความเร็วรอบของสกรูที่กำลังหมุนอยู่ ทำให้ความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ (v) และความเร็วรอบของสกรูเป็นดังนี้



รูปที่ 3.6 หลักการคำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุ

$$v = pN \quad (3.1)$$

เมื่อ v คือความเร็วเฉลี่ยในการขนถ่ายวัสดุ (m/s) p คือระยะพิตช์สกรู (m) และ N คือความเร็วรอบของสกรูขนถ่ายวัสดุ (Hz) ดังนั้นอัตราการขนถ่ายวัสดุ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

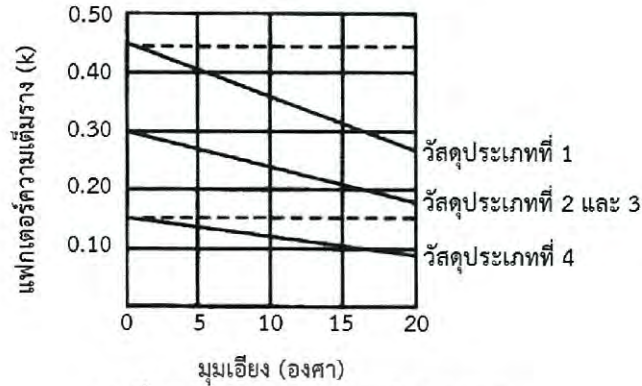
$$V = pNA \quad (3.2)$$

เมื่อ V คืออัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงปริมาตร และอัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล (m^3/s)

$$m_s = \rho_b pNA \quad (3.3)$$

เมื่อ m_s คืออัตราการขนถ่ายวัสดุเชิงมวล (kg/s) A คือพื้นที่หน้าตัดของใบสกรูขนถ่ายวัสดุ (m^2) และ ρ_b คือความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3)

ในทางปฏิบัติ พื้นที่หน้าตัดของวัสดุจะมีค่าไม่เท่ากับพื้นที่หน้าตัดของรางสกรู ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงต้องคูณพื้นที่หน้าตัดของสกรูขนถ่ายวัสดุด้วย แฟกเตอร์ความเต็มราง (k) ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 3.7



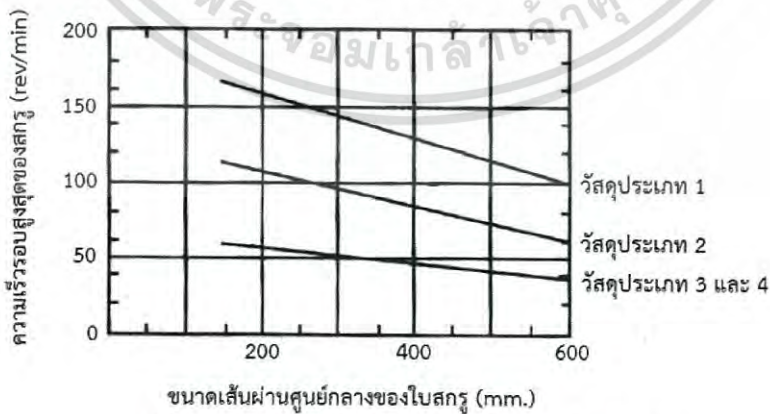
รูปที่ 3.7 แฟกเตอร์ความเต็มราง (k)

จากรูปที่ 3.8 สามารถสรุปการนำค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางไปใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุ ดังนั้นเมื่อแทนค่าพื้นที่หน้าตัดของใบสกรูชนถ่ายวัสดุ และรวมค่าแฟกเตอร์ความเต็มรางเข้าไป จะได้เป็นสมการที่ 3.4

$$m_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4} \tag{3.4}$$

เมื่อ D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู (m) และ d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา (m)

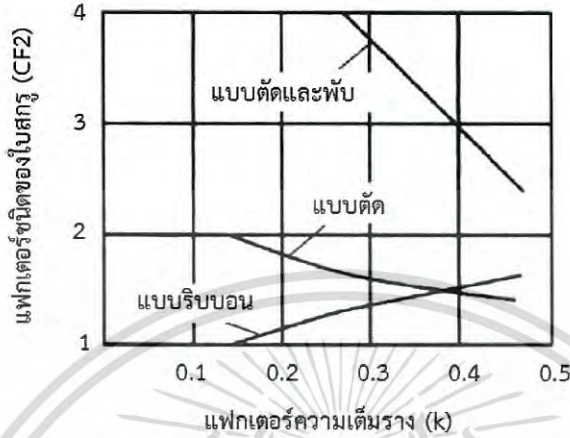
ในการเลือกและการออกแบบสกรูชนถ่ายวัสดุ ความเร็วรอบสูงสุดที่สามารถทำงานได้นั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู ปริมาณวัสดุในรางสกรูและคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งสามารถค่าความเร็วรอบสูงสุดของสกรูชนถ่ายวัสดุได้จากรูปที่ 3.8



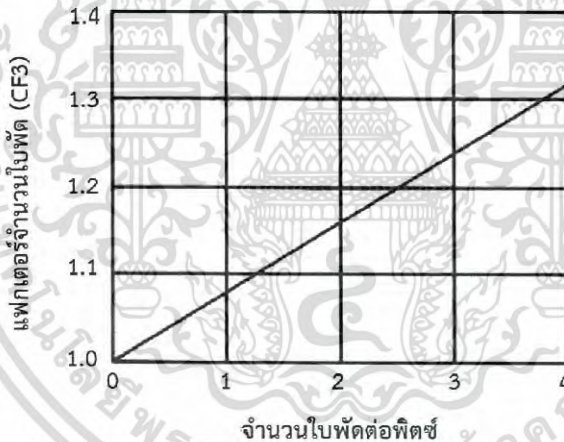
รูปที่ 3.8 ความเร็วรอบสูงสุดของสกรูชนถ่ายวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 เมื่อพิจารณาการหมุนของสกรู 1 รอบวัสดุจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเท่า ระยะพิทซ์ ดังนั้นในกรณีที่สกรูหมุนไป 1 รอบแต่วัสดุไม่ได้เคลื่อนที่ไปเท่ากับระยะพิทซ์ ก็จะต้อง คำนึงถึงระยะพิทซ์ใบสกรูด้วย ซึ่งแฟกเตอร์ระยะพิทซ์ใบสกรู (CF_1) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.9 แฟกเตอร์ชนิดของใบสกรู



รูปที่ 3.10 แฟกเตอร์จำนวนใบพิทซ์

ชนิดของใบสกรูก็เป็นแฟกเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุเช่นกัน ซึ่งแฟกเตอร์ชนิดของใบสกรูนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของใบสกรู (CF_2) และจำนวนใบพิทซ์สำหรับการกวาดหรือผสมวัสดุต่อ ระยะพิทซ์ (CF_3) โดยแฟกเตอร์ทั้งสองนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 ตามลำดับ การ คำนวณหาอัตราการขนถ่ายวัสดุเมื่อรวมเอาแฟกเตอร์ต่างๆ ไว้แล้วจะคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3.5

$$m_s = \frac{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p N}{4CF_1 CF_2 CF_3} \quad (3.5)$$

ในการทำงานเดียวกัน จากสมการที่ 3.5 เมื่อกำหนดอัตราการชนถ่ายวัสดุ และขนาดของใบสกรูมาแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาความเร็วรอบของสกรูได้จากสมการที่ 3.6

$$N = \frac{4m_s CF_1 CF_2 CF_3}{\rho_b \pi (D^2 - d^2) k p} \quad (3.6)$$

3.15 การหากล้างขับ

กำลังขับสกรูชนถ่ายวัสดุโดยทั่วๆ ไปแล้วอาจแบ่งได้เป็นสามประเภทหลักๆ ได้แก่ กำลังขับสำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่างๆ ของชิ้นส่วนสกรูชนถ่ายวัสดุที่เคลื่อนที่ กำลังขับสำหรับชนถ่ายวัสดุ และกำลังขับสำหรับการยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้ง

กำลังขับสำหรับเอาชนะสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่างๆ จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบสกรู ความยาวของสกรูชนถ่ายวัสดุ และความเร็วรอบของเพลาสกรู สมการที่ 3.7 ได้จากการทดลองซึ่งสามารถให้ผลการคำนวณที่เชื่อถือได้ และเป็นสมการรูปแบบที่ง่าย

$$P_f = 75.7 L N D^{1.7} \quad (3.7)$$

เมื่อ P_f คือกำลังขับสำหรับเอาชนะความเสียดทาน (Watt) L คือความยาวสกรูชนถ่ายวัสดุ (m) N คือความเร็วรอบของเพลาสกรู (Hz) และ D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบสกรู (m)

ในส่วนของการล้างขับสำหรับการชนถ่ายวัสดุ โดยทั่วไปแล้วจะขึ้นอยู่กับอัตราการชนถ่ายวัสดุ ความหนาแน่นของวัสดุ และระยะทางชนถ่ายวัสดุ ดังนั้นจึงสามารถประมาณค่ากำลังขับสำหรับการชนถ่ายวัสดุได้จากสมการที่ 3.8

$$P_m = F_f F_p F_m m_s g L \quad (3.8)$$

เมื่อ P_m คือกำลังขับที่ใช้ชนถ่ายวัสดุ (watt) F_f คือแฟกเตอร์ใบสกรู (ตารางที่ 3.2) F_p คือแฟกเตอร์ใบพัด (ตารางที่ 3.4) F_m คือแฟกเตอร์วัสดุ (ตารางที่ 3.3) ρ_b คือความหนาแน่นวัสดุ (kg/m^3) V คืออัตราการชนถ่ายเชิงปริมาตร (m^3/sec) และ L คือระยะทางชนถ่ายวัสดุ (m)

และจะสามารถทราบค่าโดยประมาณของแฟกเตอร์วัสดุได้จากชนิดของวัสดุ ซึ่งได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.5 ส่วนกำลังขับสำหรับยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.9

$$P_v = m_s g H \quad (3.9)$$

เมื่อ P คือกำลังขับสำหรับยกวัสดุขึ้นตามแนวตั้ง (Watt) และ H คือระยะทางตามแนวตั้ง (m)

ดังนั้นกำลังขับรวมสำหรับสกรูขนถ่ายวัสดุ สามารถคำนวณได้จากการรวมกำลังขับทั้งสาม ประกอบเข้าด้วยกันแล้วคูณด้วยแฟกเตอร์กำลัง (F_o) และหารด้วยประสิทธิภาพการส่งกำลังขับ (η)

$$P = \frac{(P_f + P_m + P_v) F_o}{\eta} \quad (3.10)$$

เมื่อ P คือกำลังขับรวม (watt) F_o คือแฟกเตอร์กำลังขับ (รูปที่ 3.12) ถ้า $P_f + P_m$ มีค่ามากกว่า 4 KW ให้ใช้ค่า $F_o = 1.0$ และ η คือประสิทธิภาพการส่งรับกำลังขับ (โดยทั่วไปมีค่า 0.85-0.95)

ตารางที่ 3.2 แฟกเตอร์ชนิดโบสกรู F_f

ชนิดของสกรู	แฟกเตอร์ชนิดโบสกรูตามขนาดของแฟกเตอร์ความเต็มราง			
	15%	30%	45%	95%
โบสกรูมาตรฐาน	1.0	1.0	1.0	1.0
โบตัด	1.10	1.15	1.20	1.3
โบตัดและพับ	N.R.	1.50	1.70	2.2
โบแบบบริบบอน	1.05	1.14	1.20	-

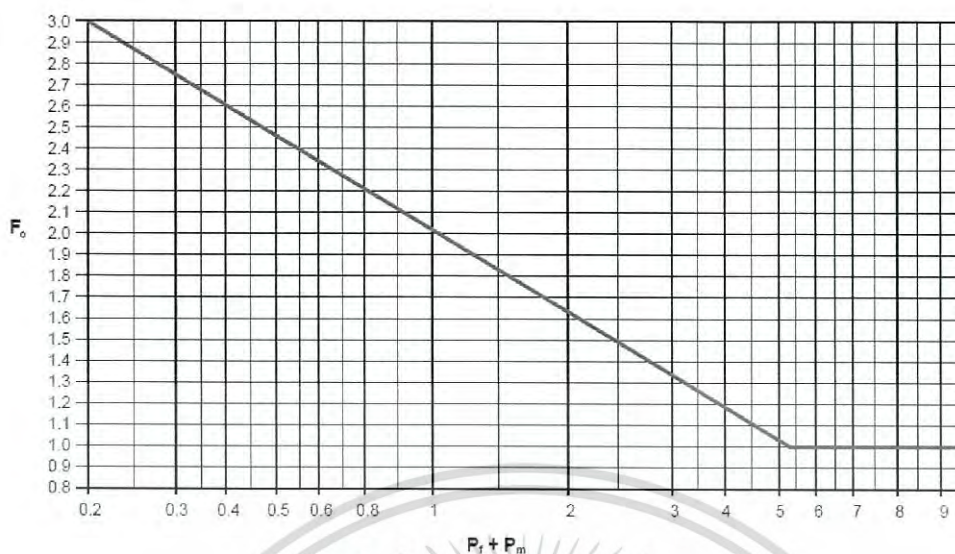
ตารางที่ 3.3 ค่าประมาณของแฟกเตอร์ของวัสดุ (F_m)

ประเภทวัสดุ	ค่าแฟกเตอร์วัสดุ (F_m)
ประเภทที่ 1	0.5 – 1.0
ประเภทที่ 2	1.0 – 2.0
ประเภทที่ 3	2.0 – 3.0
ประเภทที่ 4	3.0 – 4.0

ตารางที่ 3.4 แฟกเตอร์โบพัด (F_p)

จำนวนโบพัดต่อระยะพิตช์	0	1	2	3	4
แฟกเตอร์โบพัด (F_p)	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แฟกเตอร์กำลังขับ (F_o)

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างแฟกเตอร์วัสดุ (F_m)

รายชื่อวัสดุ	ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3)	แฟกเตอร์วัสดุ (F_m)
Alumina	880-1040	1.8
Ammonium nitrate	720-990	1.3
Barytes (powder)	1920-2880	2.0
Bentonite (powder)	800-960	0.7
Cement (Portland)	1510	1.4
Coal (-15 mm)	780-980	1.0
Cullet (fine)	1280-1920	2.0
Flour (wheat)	530-640	0.6
Fly ash	480-720	2.0
Gypsum (fine)	960-1280	1.6
Oats (crushed or rolled)	300-380	0.6
Peas (dried)	720-800	0.5
PVC (pallets)	320-480	0.6
Rice	700-800	0.4
Sand	1440-1920	1.7-2.6
Sawdust (dry)	160-208	0.7
Soup powder, detergent	240-800	0.9
Sugar (dry granulated)	800-880	1.0-1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Talcum powder	800-960	0.8
Wheat	720-770	0.4
Wood (flour)	260-580	0.4
Wood (shavings)	130-260	1.5

3.2 เชื้อเพลิงแข็ง [1]

เชื้อเพลิง หมายถึง สารที่สามารถเผาไหม้ได้โดยง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศ หรือออกซิเจน เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้ตามสภาพทางกายภาพ เป็นเชื้อเพลิงแก๊ส เชื้อเพลิงเหลว และเชื้อเพลิงแข็ง แต่สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเชื้อเพลิงแข็งเท่านั้น

เชื้อเพลิงแข็งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติได้แก่ ไม้ ชีวมวล ฟิต ถ่านหิน ขยะจากที่อยู่อาศัย และจากอุตสาหกรรมบางประเภทก็จัดว่าเป็นเชื้อเพลิงแข็งเช่นเดียวกัน องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งนอกจากจะประกอบด้วยคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นส่วนมากแล้วยังประกอบด้วยออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน น้ำ และเถ้าอีกด้วย ตัวอย่างเช่นไม้มีออกซิเจนอยู่ถึง 45% (โดยมวลและไม้รวมน้ำกับเถ้า) ในขณะที่ถ่านหินแอนทราไซต์มีอยู่เพียง 2% เท่านั้นดังแสดงในตารางที่ 3.6

ความชื้นในเชื้อเพลิงแข็งปรากฏอยู่สองรูปแบบ รูปแบบแรกเป็นน้ำอิสระ (free water) แทรกตัวอยู่ระหว่างผนังเซลล์ของไม้ หรือในรูพรุนเล็กๆของถ่านหิน ซึ่งน้ำจะถูกดูดซับเข้าไปโดยอิทธิพลของความตึงผิว (capillary effect) รูปแบบที่สองเป็นน้ำที่ถูกดูดกลืนไว้อย่างเชิงกายภาพ (physical absorption หรือ bound water) ความชื้นในเชื้อเพลิงแข็งมีผลกระทบต่ออัตราการเผาไหม้และประสิทธิภาพโดยรวมของการเผาไหม้

เถ้าในเชื้อเพลิงแข็งคือสารอนินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังจากที่เชื้อเพลิงเผาไหม้หมดแล้ว ไม้มีเถ้าน้อยมาก ในขณะที่ถ่านหินมีสูงถึง 10% หรือมากกว่า คุณลักษณะของเถ้ามีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบอุปกรณ์เผาไหม้ และอุปกรณ์การถ่ายโอนความร้อน ทั้งนี้เพื่อหาทางลดปัญหาจากการเกิดเป็นสแลก (slag fouling) การกัดกร่อน (erosion) และการผุกร่อน (corrosion) ลงได้

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างปริมาณออกซิเจน น้ำ และเถ้าในเชื้อเพลิงแข็งชนิดต่างๆ

เชื้อเพลิง	ออกซิเจน, % (หลักอ้างอิงแห้งและไม่คิดเถ้า)	ความชื้น, % (ไม่คิดเถ้า)	เถ้า, % (หลักอ้างอิงแห้ง)
ไม้	45	15-50	0.1-1.0
ฟิต	35	90	0.1-10
ถ่านหินลิกไนต์	25	30	> 5
ถ่านหินบิทูมินัส	5	5	> 5
ถ่านหินแอนทราไซต์	2	4	> 5
เชื้อเพลิงจากขยะ	40	24	10-15

องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งจะถูกรายงานในลักษณะตามที่ได้รับมา (as-received basis) หรือในลักษณะหลักอ้างอิงแห้ง (dry basis) หรือในลักษณะหลักอ้างอิงแห้ง และไม่คิดเถ้า (dry, ash-free basis) ดังนั้นการระบุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแข็งต้องระบุเงื่อนไขให้ถูกต้องเพราะเกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่าความร้อนทางสูง และทางต่ำโดยตรง ทำให้ช่วยพิจารณาได้อย่างถูกต้องว่าความร้อนแฝงของน้ำที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นอิสระ (free water) หรือน้ำที่ถูกดูดกลืนในเชื้อเพลิง (bound water) หรือน้ำที่เกิดจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

3.2.1 ประเภท และลักษณะของเชื้อเพลิงแข็ง

3.2.1.3. เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass)

ชีวมวลหมายถึงสิ่งที่ได้จากสิ่งมีชีวิต หรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย ทะลายปาล์ม เศษไม้ และมูลสัตว์ เป็นต้น โดยเชื้อเพลิงชีวมวลโดยส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$) และ ลิกนิน ($C_{40}H_{44}O_6$) ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเท่านั้น จากข้อมูลผลผลิตทางการเกษตรของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2549–2550 พบว่า



รูปที่ 3.12 ชีวมวลในประเทศไทย

ชีวมวลจากข้าว

แกลบ จากข้อมูลพบว่ามีปริมาณการผลิตข้าวทั้งประเทศเท่ากับ 28.61 ล้านตัน และคิดเป็นปริมาณแกลบเท่ากับ 3.95 ล้านตัน โดยมีการนำแกลบเหล่านี้มาใช้งานคิดเป็นปริมาณรวม 0.86 ล้านตันหากนำปริมาณแกลบคงเหลือดังกล่าวมาหักด้วยปริมาณการสูญเสียของแกลบที่เกิดจากการขัดสี การฟุ้งกระจายทั้งในระหว่างกระบวนการต่างๆ และการขนส่ง ดังนั้นปริมาณแกลบคงเหลือที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำมาใช้งานได้จะมีค่าสุทธิเท่ากับ 3.09 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเทียบเท่า 843 ktoe และมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 320 MW

ฟางข้าว จากข้อมูลสามารถประเมินปริมาณฟางข้าวเท่ากับ 34.04 ล้านตันเมื่อนำมาคิดปริมาณที่เก็บรวบรวมได้ (ฟางข้าวมีประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวม 10%) ปริมาณฟางข้าวคงเหลือที่สามารถนำมาใช้งานได้จะมีค่าสุทธิเท่ากับ 3.40 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 926.10 ktoe และคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 352 MW

ชีวมวลจากข้าวโพด

ชังข้าวโพด พบว่ามีปริมาณการผลิตข้าวโพดทั้งประเทศเท่ากับ 4.40 ล้านตัน และคิดเป็นปริมาณชังข้าวโพดเท่ากับ 0.84 ล้านตัน โดยมีการนำชีวมวลเหล่านี้มาใช้ในภาคต่างๆคิดเป็นปริมาณรวม 74,000 ตัน ทำให้ปริมาณชีวมวลคงเหลือมีค่าเท่ากับ 0.43 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 124.6 ktoe และคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 47.31 MW

ชีวมวลจากอ้อย

ยอดและใบอ้อย จากข้อมูลพบว่ามีปริมาณการผลิตอ้อยทั้งประเทศเท่ากับ 70 ล้านตัน คิดเป็นชีวมวลประเภทยอดและใบอ้อยเท่ากับ 16.8 ล้านตัน เมื่อนำมาคิดประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวม (40 %) จะมีชีวมวลคงเหลือสุทธิ 6.72 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 1,935.7 ktoe และคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 735 MW

กากอ้อย จากข้อมูลสามารถประเมินปริมาณกากอ้อยเท่ากับ 21 ล้านตัน ชีวมวลประเภทนี้มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม โดยปัจจุบันได้ถูกแปรไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อนในโรงงานผลิตน้ำตาล และบางโรงงานนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า จึงทำให้ชีวมวลประเภทนี้หมดไปกับการใช้ในโรงงานเป็นหลัก แม้แต่มีความต้องการใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นๆ แต่ก็ไม่มีวัตถุดิบมาป้อน หลายโรงได้เริ่มเสาะหาเชื้อเพลิงประเภทอื่นมาใช้ร่วมกับกากอ้อยเนื่องจากภาวะขาดแคลนของกากอ้อย

ชีวมวลจากมันสำปะหลัง

ลำต้นมันสำปะหลัง จากข้อมูลพบว่ามีปริมาณการผลิตมันสำปะหลังทั้งประเทศเท่ากับ 17.6 ล้านตัน และคิดเป็นปริมาณลำต้นมันสำปะหลัง 2.11 ล้านตัน เมื่อนำปริมาณชีวมวลคงเหลือดังกล่าวมาคิดประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวม (40%) จะมีปริมาณชีวมวลสุทธิเท่ากับ 0.84 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเทียบเท่า 198 ktoe และคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 75 MW

เหง้ามันสำปะหลัง จากข้อมูลผลผลิตเหง้ามันสำปะหลังสามารถประเมินปริมาณเหง้ามันได้เท่ากับ 1.76 ล้านตัน เมื่อนำปริมาณชีวมวลคงเหลือดังกล่าวมาคิดประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวม (40%) จะมีปริมาณชีวมวลสุทธิเท่ากับ 0.7 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเทียบเท่า 131 ktoe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 50 MW ในปัจจุบันแทบไม่มีการนำเอาเหง้ามันสำปะหลังมาใช้ผลิตพลังงาน เนื่องจากการเก็บรวบรวมมีความยากลำบาก และต้นทุนการขนส่งสูง

ชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน

ทางใบและก้านปาล์ม จากข้อมูลพบว่าปริมาณการผลิตปาล์มน้ำมันทั้งประเทศเท่ากับ 8.75 ล้านตัน และคิดเป็นปริมาณทางใบและก้านเท่ากับ 2.36 ล้านตัน เมื่อคิดประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวม (65%) และการนำไปใช้ประโยชน์จะมีปริมาณชีวมวลคงเหลือสุทธิ 1.54 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อนเทียบเท่า 481 ktoe และคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า 183 MW

กากใยปาล์ม จากข้อมูลผลผลิตของกรมส่งเสริมการเกษตร ปาล์มน้ำมันมีปริมาณของกากใยปาล์มที่ได้เท่ากับ 1.31 ล้านตัน โดยชีวมวลประเภทนี้จะถูกใช้เป็นที่เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อหักปริมาณที่ถูกใช้งานออกจะมีชีวมวลคงเหลือสุทธิ 0.23 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อน 81.3 ktoe และคิดเป็นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 31 MW

กะลาปาล์ม จากข้อมูลสามารถประเมินปริมาณกะลาปาล์มได้เท่ากับ 0.53 ล้านตัน โดยมีการใช้ชีวมวลประเภทนี้ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อเป็นเชื้อเพลิงคิดเป็นปริมาณรวม 18,000 ตัน และใช้ในประเภทอื่นๆ 147,000 ตัน ดังนั้นจะมีชีวมวลคงเหลือสุทธิ 0.31 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อน 114 ktoe และคิดเป็นการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 43 MW เป็นระยะเวลา 1 ปี

ทะลายปาล์ม จากข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันของกรมส่งเสริมการเกษตร สามารถประเมินปริมาณของทะลายปาล์มได้เท่ากับ 2.01 ล้านตัน โดยมีการนำชีวมวลประเภทนี้ถูกนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าคิดเป็นปริมาณรวม 80,000 ตัน และใช้ในประเภทอื่นๆเช่น ทำปุ๋ย และเพาะเห็ดคิดเป็นปริมาณ 160,000 ตัน ดังนั้นจะมี ชีวมวลคงเหลือสุทธิ 1.13 ล้านตัน คิดเป็นค่าพลังงานความร้อน 385 ktoe และคิดเป็นการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 146 MW เป็นระยะเวลา 1 ปี

ชีวมวลจากไม้ยางพารา

ซีลี้อยและเศษไม้ยางพารา จากรายงานของสถาบันวิจัยยางพาราทำให้ทราบว่าในแต่ละปีจะมีต้นยางพาราที่มีอายุเกิน 25 ปี ซึ่งครบรอบที่จะต้องทำการตัด คิดเป็นพื้นที่ยางพาราที่ถูกตัดฟัน 500,000 ไร่ต่อปี จะได้ปริมาณของไม้ยางพารา 200 ล้านตัน ซึ่งไม้ยางพาราที่ถูกตัดจะนำไปเข้ากระบวนการแปรรูปไม้เพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์ ดังนั้นจะมีชีวมวลที่ได้ภายหลังกระบวนการผลิตคิดเป็นเศษไม้ 3.6 ล้านตัน และซีลี้อย 8 ล้านตัน เมื่อหักปริมาณที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์จะมีเศษไม้คงเหลือ 3.55 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานความร้อน 1,862 ktoe และพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 707 MW ในส่วนของซีลี้อยจะมีปริมาณคงเหลือ 1,037 ktoe และพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 394 MW เป็นระยะเวลา 1 ปี

ชีวมวลที่ได้จากไม้ยูคาลิปตัส

ไม้ยูคาลิปตัสจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเป็นส่วนใหญ่ โดยผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัสทั้งประเทศมีปริมาณรวม 6.8 ล้านตันต่อปี มีชีวมวลเกิดขึ้นคือไม้ฟืนและเปลือกไม้ โดยไม้ฟืนจะ

ถูกนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า สำหรับเปลือกไม้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน เมื่อประเมินจำนวนของชีวมวลคงเหลือพบว่าจะมีไม้พื้คงเหลือเท่ากับ 0.57 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานความร้อน 167 ktoe และพลังงานไฟฟ้า 63.5 MW สำหรับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีปริมาณคงเหลือ 0.61 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานความร้อน 186 ktoe และพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 70.5 MW เป็นระยะเวลา 1 ปี

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์โดยประมาณ และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของ RDF และเชื้อเพลิงต่างๆ (อ้างอิงเชื้อเพลิงแห้งและไม่คิดเถ้า)

องค์ประกอบ	ชนิดเชื้อเพลิง				
	ไม้	ฟีด	ถ่านหิน ลิกไนต์	ถ่านหิน บิทูมินัส	เชื้อเพลิง จากขยะ (RDF)
ผลการวิเคราะห์โดยประมาณ (wt %)					
สารระเหย	81	65	55	40	85
คาร์บอนคงตัว	19	35	45	60	15
ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (wt %)					
ไฮโดรเจน	6	6	5	5	7
คาร์บอน	50	55	68	78	52
กำมะถัน	0.1	0.4	1	2	0.3
ไนโตรเจน	0.1	1	1	2	0.6
ออกซิเจน	44	38	25	13	40
ค่าความร้อนทางสูง (HHV), (MJ/kg)	20	22	23	33	22

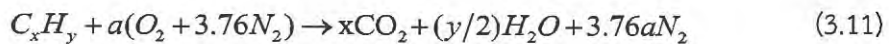
3.3 การเผาไหม้ (Combustion) [1]

การเผาไหม้ (combustion) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างเชื้อเพลิงหรือสารที่สามารถเผาไหม้กับโมเลกุลของออกซิโดเซอร์ ซึ่งปกติคือออกซิเจนจากอากาศ โดยสารที่สามารถเผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิงคือ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และกำมะถัน (S) เป็นต้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงภายในเวลาอันรวดเร็ว และเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนให้พลังงานจากการเผาไหม้ออกมา ซึ่งลักษณะของปฏิกิริยามีความซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ และทางเคมีของสภาวะตั้งต้น ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีปัจจัยครบสามอย่างนั่นคือ เชื้อเพลิง ออกซิโดเซอร์ และสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์ เช่น แหล่งความร้อน ประกายไฟ และการสร้างสภาวะกอดัดให้มีความดันสูง อุณหภูมิสูง เพื่อจุดติดไฟ เป็นต้น

3.3.1 สตอยชิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเผาไหม้ที่ stoichiometry เป็นการคำนวณปริมาณออกซิไดเซอร์ที่พอดีในการเผาไหม้ อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นถ้าปริมาณออกซิไดเซอร์มากกว่าที่สภาวะ stoichiometry นั้นหมายถึงการเผาไหม้นั้นมีส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบบาง (fuel lean) ในทางกลับกัน เมื่อมีปริมาณออกซิไดเซอร์น้อยกว่าที่สภาวะ stoichiometry หมายถึงมีส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบหนา (fuel rich) การหาความสัมพันธ์แบบ stoichiometry ทำได้โดยการเขียนสมการการเผาไหม้ สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) จะสามารถเขียนสมการการเผาไหม้ได้ดังนี้



เมื่อ

$$a = x + y/4 \quad (3.12)$$

สัดส่วนของปริมาณออกซิเจนในอากาศซึ่งมักนิยมพิจารณาให้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นอากาศแห้งประกอบไปด้วยออกซิเจน 21% โดยปริมาตร และไนโตรเจน 79% โดยปริมาตร นั่นคือแต่ละโมลของออกซิเจนมีไนโตรเจน 3.76 โมล ซึ่งการหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ตามทฤษฎีหรือตาม stoichiometry สามารถหาได้จาก

$$(A/F)_{stoic} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}} \right) = \frac{7.76a}{1} \frac{MW_{air}}{MW_{fuel}} \quad (3.13)$$

เมื่อ MW_{air} และ MW_{fuel} เป็นน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ และเชื้อเพลิงตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณอื่นๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

อัตราส่วนสมมูล (equivalent ratio, Φ) เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกว่าส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นแบบstoichiometry หนา หรือบาง ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stoic}}{(A/F)} = \frac{(F/A)}{(F/A)_{stoic}} \quad (3.14)$$

จากนิยามจะเห็นได้ว่า สำหรับส่วนผสมหนา (fuel rich) จะมีค่า $\Phi > 1$ ส่วนผสมบาง (fuel lean) จะมี $\Phi < 1$ และสำหรับ stoichiometry จะมี $\Phi = 1$ ซึ่งอัตราส่วนสมมูลนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่มีประโยชน์มากในการบ่งบอกสมรรถนะของพารามิเตอร์อื่นๆ ได้แก่ % stoichiometry air คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศที่ใช้จริงในการเผาไหม้คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอากาศตามทฤษฎี ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนสมมูลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%stoichiometry\ air = \frac{100\%}{\Phi} \quad (3.15)$$

และเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน (% excess air) คือปริมาณที่บอกให้ทราบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่เปอร์เซ็นต์โดยคิดจากอากาศทางทฤษฎีที่มีค่าเท่ากับ 100

$$\%excess\ air = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \cdot 100\% \quad (3.16)$$

3.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเผาไหม้

3.3.2.1 ปริมาณอากาศที่เพียงพอต่อการเผาไหม้ (Sufficient air to combustion) ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงให้สมบูรณ์จำเป็นต้องมีสัดส่วนของอากาศหรือออกซิเจนที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาเผาไหม้ โดยปริมาณอากาศที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์เรียกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากหัวข้อที่ผ่านมา

3.3.2.2 ระยะเวลาในการเผาไหม้ (Burning time) เนื่องจากในการทำปฏิกิริยาจำเป็นต้องอาศัยเวลาเพื่อที่จะให้ได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งหากระยะเวลาในการเผาไหม้ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงต่ำ และนับว่าเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วย

3.3.2.3 อุณหภูมิของการเผาไหม้ (Combustion Temperature) เป็นที่ทราบกันดีว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นเป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งความเร็วของการเกิดปฏิกิริยานั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยานั้นเป็นสำคัญด้วย โดยหากอุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าสูง ความเร็วของการเผาไหม้ก็จะมีค่ามาก

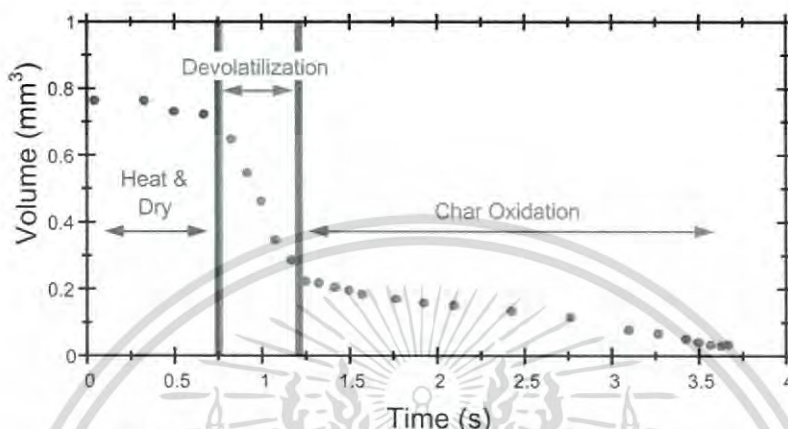
3.3.2.4 ความปั่นป่วนระหว่างการเผาไหม้ (Turbulent) เนื่องจากในการเผาไหม้นั้นเป็นการทำปฏิกิริยาของเชื้อเพลิง และออกซิเจนในอากาศ ซึ่งหากระหว่างการเผาไหม้มีความปั่นป่วนเกิดขึ้นจะทำให้เกิดการคลุกเคล้ากันอย่างดีของเชื้อเพลิงและออกซิเจน ทำให้โอกาสที่ออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง และเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มีมากขึ้น

3.4 การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง (Solid Fuel Combustion) [1]

เมื่อเชื้อเพลิงอยู่ท่ามกลางกระแสการไหลของอากาศร้อน เชื้อเพลิงจะเกิดการสูญเสียมวลในสามช่วงได้แก่ (i) การทำแห้ง (drying) จากนั้นอนุภาคจะได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่สามารถเกิดการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) (ii) การปล่อยสารระเหย (devolatilization) อนุภาคเชื้อเพลิงเกิดการแยกสลายด้วยความร้อน ได้สารระเหยอินทรีย์ที่เผาไหม้ได้ และถ่านชาร์ (char) เป็นผลิตภัณฑ์ (iii) การเผาไหม้ถ่านชาร์ (char combustion) เกิดขึ้นหลังจากการแยกสลายด้วยความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนสิ้นสุดลง โดยที่สารระเหยจะถูกเผาไหม้พร้อมๆกันกับกระบวนการเผาไหม้ถ่านชาร์ ความสำคัญของแต่ละช่วงต่อการสูญเสียมวลจะขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบของเชื้อเพลิงว่ามี ความชื้น สารระเหย อินทรีย์ ถ่านคงตัว และเศษเถ้าอยู่มากน้อยเพียงใด สำหรับอนุภาคนาขนาดเล็กกระบวนการทั้งสามจะเกิดขึ้นตามลำดับกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.13 กลไกการเผาไหม้สำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งขนาดเล็ก

3.4.1 การทำแห้งของเชื้อเพลิงแข็ง (Drying)

ความชื้นมีอยู่ในเชื้อเพลิงแข็งได้ 2 รูปแบบ คือ น้ำอิสระ (free water) อยู่ในช่องว่างเล็กๆในเชื้อเพลิง และน้ำยึดเหนี่ยว (bound water) ซึ่งเป็นน้ำที่ถูกดูดซับไว้บนโครงสร้างพื้นผิวภายในของเนื้อเชื้อเพลิง พิจารณาอนุภาคเชื้อเพลิงขนาดเล็กที่อยู่ภายใต้แก๊สร้อน จะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา และการแผ่รังสีไปยังพื้นผิวของอนุภาคเชื้อเพลิง ส่งผลให้อุณหภูมิของอนุภาคสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ จนน้ำเกิดการระเหย และถูกไล่ออกมาภายนอก

3.4.2 การปล่อยสารระเหย (Devolatilization)

เมื่อการทำแห้งสิ้นสุดลง ในขณะที่อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เชื้อเพลิงจะเริ่มการย่อยสลายด้วยความร้อน ในกระบวนการนี้จะมีสารระเหยอินทรีย์ออกมาภายนอกเชื้อเพลิง กระบวนการปลดปล่อยสารระเหยนี้จึงอาจถูกเรียกว่าเป็นช่วงไพโรไลซิส (pyrolysis) อัตราการปล่อยสารระเหยและผลิตภัณฑ์จากไพโรไลซิสจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และชนิดของเชื้อเพลิง สารระเหยที่ปล่อยออกมาจะผสมกับอากาศที่แพร่เข้ามารอบๆ เมื่ออุณหภูมิถึงจุดติดไฟก็จะเกิดเป็นเปลวไฟขึ้นรอบๆอนุภาคเชื้อเพลิงแข็ง เปลวไฟที่เกิดขึ้นก็ให้ความร้อนกับไปยังเชื้อเพลิง ส่งเสริมให้การปล่อยสารระเหยดีขึ้น สำหรับเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ ความชื้นจะถูกขับออกมาพร้อมกับสารระเหย ความชื้นนี้จะส่งผลให้อุณหภูมิของเปลวไฟที่เกิดขึ้นรอบๆเชื้อเพลิงต่ำลง

อัตราการปล่อยสารระเหย หรือการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสอาจจะนำเสนอได้ด้วยสมการปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่ง ดังนี้

$$\frac{dm_v}{dt} = -m_v k_{pr} \quad (3.17)$$

โดยที่ $k_{pr} = -k_0 \exp(-E_{pr} / RT_p)$ และ $m_v = m_p - m_c - m_a$ มวลของสารระเหยเท่ากับมวลของอนุภาคเชื้อเพลิงลบออกด้วยมวลของถ่านชาร์ และของเศษเถ้า อัตราการเกิดไฟโรไลซิสจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของเชื้อเพลิงหากอุณหภูมิของอนุภาคเชื้อเพลิงคงที่ ค่าพลังงานกระตุ้น และค่าคงที่หน้า exponential ต้องหาจากการทดลอง สำหรับเชื้อเพลิงขนาดใหญ่ จะใช้เวลานานในการรับความร้อนจนถึงอุณหภูมิการปลดปล่อยสารระเหย และกระบวนการไฟโรไลซิสจะเริ่มจากผิวนอก แล้วค่อยๆ เคลื่อนเข้าไปด้านในของเชื้อเพลิง หากมีการให้ความร้อนต่อเชื้อเพลิงในอัตราที่สูงกว่าปกติ อัตราการปลดปล่อยสารระเหยที่ได้ อาจจะมีมากขึ้นตามไปด้วย

การจุดติดไฟของเชื้อเพลิงแข็งสามารถเกิดขึ้นได้กับ การจุดติดไฟของถ่านชาร์บนผิวของเชื้อเพลิง และการจุดติดไฟของสารระเหยบนชั้นขีดขอบรอบๆ ผิวของเชื้อเพลิง แบบใดจะเกิดก่อนขึ้นอยู่กับอัตราการพา และการแผ่รังสีความร้อนไปยังเชื้อเพลิงแข็ง ถ้าการแผ่รังสีความร้อนมีค่าสูง ผิวของเชื้อเพลิงก็จะร้อนขึ้นเร็ว แต่สารระเหยที่ปล่อยออกมาจะถูกพัดออกไปก่อนที่จะมีส่วนผสมที่เผาไหม้ได้เกิดขึ้น การติดไฟจึงเกิดขึ้นที่ผิวก่อน ถ้าอัตราการให้ความร้อนที่ผิวของเชื้อเพลิงต่ำ สารระเหยจะจุดติดไฟได้ก่อน เพราะสารระเหยมีอุณหภูมิจุดติดไฟต่ำกว่าชาร์ สารระเหยเหล่านี้เผาไหม้รวดเร็ว และให้พลังงานความร้อนออกมามากเมื่อเทียบกับคาร์บอนคงตัว หรือถ่านชาร์ที่เหลืออยู่หลังกระบวนการปลดปล่อยสารระเหย โดยที่เวลาล่าช้าในการจุดติด (ignition time delay) จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค การแพร่ทางความร้อน อัตราการให้ความร้อน และอัตราการเกิดไฟโรไลซิส เป็นต้น

3.4.3 การเผาไหม้ถ่านชาร์ (Burning of Carbon)

ขั้นตอนสุดท้ายของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง คือการเผาไหม้ถ่านชาร์ ลักษณะของถ่านชาร์จะมีความพรุน (porous) สูงมาก ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวภายในมากในระดับ 100 ตารางเมตรต่อกรัมสำหรับชาร์จากถ่านหิน และ 10,000 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับถ่านชาร์จากไม้ เมื่อไม่มีสารระเหยปล่อยออกมาแล้ว ออกซิเจนในอากาศก็สามารถแพร่เข้าไปด้านในของถ่านชาร์ได้ การเผาไหม้ของถ่านชาร์แบบนี้เป็นกระบวนการเผาไหม้พื้นผิวสัมผัส (surface burning) ระหว่างสองสถานะที่ไม่เหมือนกัน หรืออาจจะเรียกว่าการเผาไหม้แบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous combustion) ซึ่งมีขั้นตอนสำคัญดังนี้

- ก. การขนส่งออกซิเจนไปยังพื้นผิวของเชื้อเพลิงด้วยการพา หรือการแพร่
- ข. การดูดซับโมเลกุลออกซิเจนไว้บนผิวเชื้อเพลิง
- ค. ออกซิเจนที่ถูกดูดกลืนไว้ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงได้สารผลิตภัณฑ์ และถูกดูดกลืนไว้ที่ผิวเชื้อเพลิง
- ง. สารผลิตภัณฑ์ถูกปล่อยออกมาที่ผิวเชื้อเพลิง
- จ. สารผลิตภัณฑ์แพร่ออกจากผิวเชื้อเพลิง

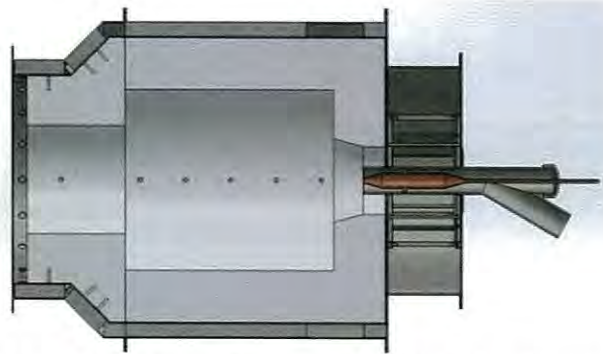
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนเหล่านี้เกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับ ขั้นตอนไหนเกิดขึ้นช้าที่สุดจะเป็นตัวกำหนดอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้น ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็ก อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และการไหลของของไหลรอบอนุภาคเป็นไปอย่างช้าๆ จะพบว่าขั้นตอน ค. (ปฏิกิริยาการเผาไหม้) จะเกิดขึ้นช้ากว่าขั้นตอน จ. (การแพร่ออกไปจากผิวเชื้อเพลิงของสารผลิตภัณฑ์) ดังนั้นอัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยอัตราจลน์ทางเคมี (chemical kinetics หรือ kinetically control) เป็นหลัก ซึ่งอัตราการเผาไหม้ขึ้นกับอุณหภูมิ exponential โดยไม่ขึ้นกับขนาดอนุภาค และการไหลแต่อย่างใด นอกจากนี้ จากการที่อัตราการแพร่สูงกว่าอัตราการเผาไหม้ ทำให้ความเข้มข้นของการเผาไหม้ที่ผิวเชื้อเพลิงไม่ได้แตกต่างจากบริเวณกระแสวิกฤตที่อยู่ห่างออกไปจากผิวเชื้อเพลิงมากนัก

ในทางตรงกันข้าม ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่ มีอุณหภูมิลดลง และการไหลโดยรอบอนุภาคเป็นไปอย่างรวดเร็ว จะได้ว่าขั้นตอน ค. (ปฏิกิริยาการเผาไหม้) จะเกิดเร็วกว่าขั้นตอน ก. และ จ. มาก (การแพร่เข้าหาผิวเชื้อเพลิงของออกซิเจน และการแพร่ออกไปจากผิวเชื้อเพลิงของสารผลิตภัณฑ์) ดังนั้น อัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ผิวของเชื้อเพลิง (diffusionally control) เป็นหลัก ซึ่งอัตราการเผาไหม้จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคมากกว่าขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้ จากการที่อัตราการเผาไหม้สูงกว่าอัตราการแพร่จะส่งผลให้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ผิวเชื้อเพลิงมีค่าน้อยมากจนอาจตัดทิ้งได้ เพราะถูกนำไปใช้ในการเผาไหม้ที่ผิวเชื้อเพลิงเกือบหมดนั่นเอง

3.5. เทคโนโลยีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชนิดผง [1]

จากการทดสอบสมรรถนะของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber) จะพบว่าชุดใบบิด (swirl blades) ที่ทำการออกแบบ สามารถสร้างกระแสอากาศหมุนควงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยได้ แต่กระแสหมุนควงที่ได้นั้นมีความรุนแรงที่ค่อนข้างต่ำ จากผลการทดสอบพฤติกรรมของเปลวไฟ และการเผาไหม้ที่เกิดจากมุมมองของใบบิดทั้งสามมุมที่ทำการทดสอบ จะพบว่าจะมีเพียงมุมใบบิดที่ 100 องศา ที่จะสามารถสร้างกระแสหมุนควงที่มีความรุนแรงเพียงพอต่อการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหมุนวน จึงทำให้การเผาไหม้จะเกิดขึ้นบริเวณกลางค่อนมาหาส่วนต้นของห้องเผาไหม้ช่วย ซึ่งการที่จุดเริ่มต้นของการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ หรือฐานของเปลวไฟอยู่ที่บริเวณส่วนต้นของหัวเผาเช่นนี้ จะส่งผลดีต่อเสถียรภาพของการเผาไหม้ จนส่งผลให้เกิดการเผาไหม้อย่างมีเสถียรภาพ และต่อเนื่องได้โดยไม่เกิดปรากฏการณ์เป่าดับ แต่อย่างไรก็ตามย่านการเผาไหม้ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดย่อมได้ โดยสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำได้สูงสุดประมาณ 0.5 ตันต่อชั่วโมง ห้องเผาไหม้ช่วยจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงภาพตัดของหัวเผาชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาดอนุภาคเชื้อเพลิงต่อลักษณะของเปลวไฟ โดยทำจากการเปรียบเทียบลักษณะของเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้อนุภาคสามขนาด ได้แก่ อนุภาคขนาดเล็กกว่า 1.5 mm, อนุภาคขนาดเล็กกว่า 1.0 mm และอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.5 mm ตามลำดับ จะพบว่า การเผาไหม้อนุภาคเชื้อเพลิงขนาดเล็กกว่า 0.5 mm, ลักษณะเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในทางที่ดี ใช้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สั้น และให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าเปลวไฟที่เกิดจากอีกสองกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า

นอกเหนือจากต้นแบบหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงแล้ว เพื่อให้งานวิจัยสามารถดำเนินการต่อได้ จึงต้องทำการออกแบบระบบสนับสนุนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง ซึ่งได้แก่ระบบป้อนเชื้อเพลิงห้องเผาไหม้ และระบบบำบัดไอเสีย เป็นต้น โดยในการออกแบบจะถูกจำกัดขอบเขตด้วยกำลังความร้อนสูงสุดของหัวเผาที่ 1 MW ซึ่งระบบการเตรียมเชื้อเพลิงและการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้นั้น ถือเป็นหัวใจหลักที่จะทำให้การทดลองเผาไหม้มีเสถียรภาพและสามารถเก็บค่าพารามิเตอร์เพื่อพัฒนาห้องเผาไหม้ช่วยต่อไปได้

3.6 เครื่องมือวัดการไหล

3.6.1 บทนำ

อัตราการไหลเป็นตัวแปรหลักๆ ในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตประเภทต่างๆ ทั้งในอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันและปิโตรเคมี รวมไปถึงอุตสาหกรรมเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติ ที่ต้องมีการควบคุมและแสดงค่าบนหน่วยแสดงผลของระบบควบคุมพื้นฐาน เครื่องมือวัดที่จะนำไปใช้วัดอัตราการไหลนั้นมีอยู่ด้วยกันหลากหลายชนิด การเลือกใช้งานประเภทใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะและข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

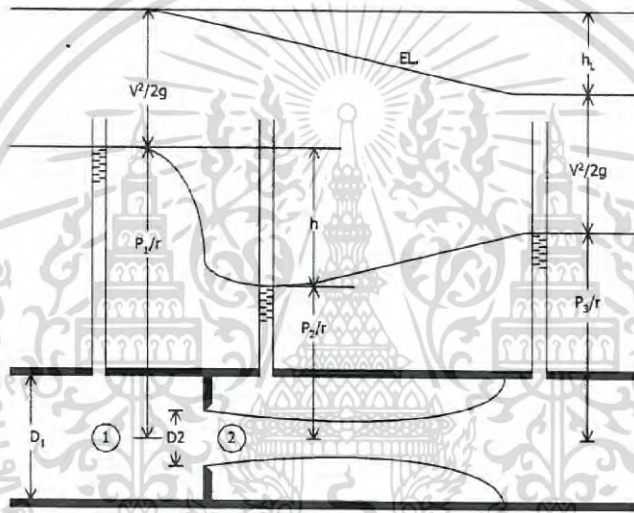
ค่าการไหลเป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยในการแสดงพฤติกรรมของกระบวนการผลิต ในช่วงเริ่มต้นการออกแบบกระบวนการผลิตควรต้องมีการพิจารณาในเรื่องชนิดและการติดตั้ง เครื่องมือวัดการไหลที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต ค่าความแม่นยำของค่าการไหลที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดการไหลจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการควบคุมที่แม่นยำ การกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต หรือการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานที่ถูกต้อง ถ้าต้องการค่าการไหลที่มีความแม่นยำสูง ต้องมีการพิจารณารายละเอียดเพิ่มเติม จากเครื่องมือวัดการไหลแบบทั่วไป อาทิเช่น สั่งซื้อชุดการวัดจากผู้ผลิตโดยตรง, ต้องมีการจัดเตรียม ท่อทาง (Pipe straight run) ที่มากขึ้นทั้งทางด้านหน้าและด้านหลังของเครื่องมือวัดการไหล นอกจากนั้นยังต้องมีการปรับเทียบเครื่องมือวัดเป็นระยะๆ ตลอดช่วงการใช้งาน

3.6.2 การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส

จากการค้นพบว่า เมื่อมีการไหลผ่านส่วนของท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดที่ลดลง ทำให้ความดันของไหลในท่อหลังจากผ่านส่วนที่มีพื้นที่หน้าตัดที่เล็กกว่านั้นจะลดลง และค่าความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นนี้ จะเป็นสัดส่วนแบบรากที่สอง (square root) กับอัตราการไหล ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การไหลผ่านแผ่นออริฟิส

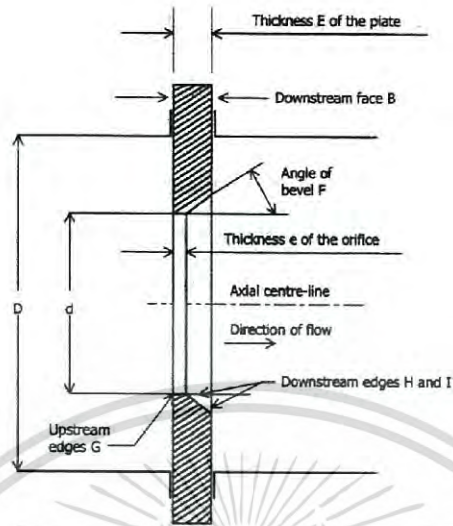
จากรูปที่ 3.15 สามารถเขียนสมการ จุดที่ 1 และ จุดที่ 2 ได้ดังนี้

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2 \quad (3.18)$$

3.6.3 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

แผ่นออริฟิสมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูไว้สำหรับให้ของไหลผ่าน ในการติดตั้งจะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างหน้าแปลน (Orifice flange) ของท่อในลักษณะตั้งฉากกับกระแสการไหล เนื่องจากมีการจัดทำได้ง่ายและมีราคาถูก จึงทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นแล้วยังมีความเชื่อถือ ในการวัดอัตราการไหลเป็นอย่างดี แผ่นออริฟิสสามารถทำขึ้นจากวัสดุได้หลายชนิด รวมทั้งวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนจากของไหลที่นำไปใช้งาน เช่น 316 Stainless steel, Monel หรือ Inconel Orifice Plate ลักษณะพื้นฐานของแผ่นออริฟิสมาตรฐาน ISO 5167 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ลักษณะพื้นฐานของของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO 5167

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของรูที่ผ่านออริฟิส

ตามมาตรฐาน ISO 5167 ค่าความหนา e ของแผ่นออริฟิสอยู่ระหว่าง $0.005D$ ถึง $0.02D$ และค่าความหนา E จะอยู่ระหว่างขนาดความหนา e ถึง $0.05D$ โดยทั่วไปแล้ว ขนาดรูที่แผ่นออริฟิสจะแสดงในรูปอัตราส่วนระหว่าง เส้นผ่าศูนย์กลางรูกับเส้นผ่าศูนย์กลางในท่อหรือ ค่า $\beta = d/D$ ซึ่งปกติจะมากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75 ข้อดีและข้อเสียของการวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิสเป็น ดังนี้

- ข้อดี

สะดวกในการติดตั้ง, ราคาถูก, มีแบบและวัสดุหลายชนิดให้เลือกใช้

- ข้อเสีย

แผ่นออริฟิสจะมีความไวต่อความเสียหายเมื่อเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากแผ่นออริฟิสเป็นแผ่นโลหะที่ต้องสัมผัสกับกระแสการไหลอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้อาจโค้งงอหรือสึกหรอได้ง่ายและต้องการระยะท่อที่เป็นทางตรง (straight run) มากกว่าแบบอื่น

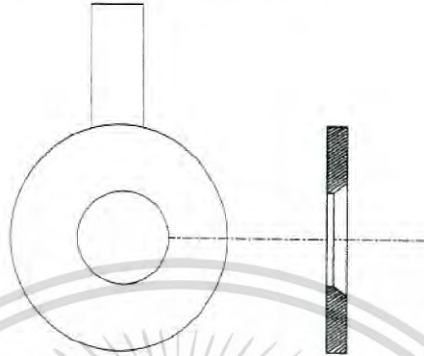
แผ่นออริฟิสมีหลายแบบให้เลือกขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนี้ Concentric, Eccentric, Segmental และ Quadrant Orifice Plate

3.6.4 Concentric Orifice Plate หรือ Square edge

เป็นชนิดพื้นฐานของแผ่นออริฟิสและสามารถนำไปใช้กับของไหลได้เกือบทุกประเภท ยกเว้นของไหลที่มีสารแขวนลอย, มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็งและของไหลที่มีความหนืดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่างจากแผ่นออริฟิส สามารถใช้ได้หลายแบบดังนี้ แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Tape) , แบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) และ แบบต่อที่จุด Corner (Corner Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ลักษณะ Concentric Orifice Plate ตามมาตรฐาน ISO 5167

- ค่าความหนา e ของแผ่นออริฟิสจะอยู่ระหว่าง $0.005D$ ถึง $0.02D$
- ค่าความหนา E จะอยู่ระหว่างขนาดความหนา e ถึง $0.05D$
- ขนาดรูที่แผ่นออริฟิสจะแสดงในรูปอัตราส่วน $\beta = d/D$ โดย $0.20 \leq \beta \leq 0.75$

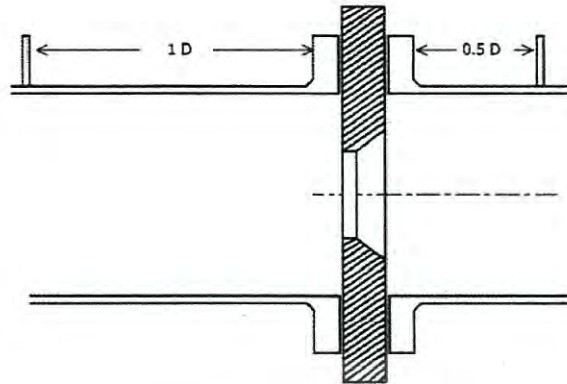
3.6.5 จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่าง (Pressure Tappings)

ในการใช้งานแผ่นออริฟิสสำหรับวัดอัตราการไหลจะต้องมีจุดต่อสำหรับใช้วัดค่าความดันความแตกต่าง ทางด้านหน้า (Upstream) และทางด้านหลัง (Downstream) อย่างน้อยด้านละหนึ่งจุด เพื่อใช้สำหรับต่อไปยังเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure transmitters) ที่ใช้วัดค่าความดันความแตกต่างที่เกิดจากแผ่นออริฟิส ดังนี้

3.6.5.1 จุดต่อที่ระยะ D และ $0.5D$ (Vena Contracta Taps)

จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่ท่อแทนที่จะอยู่หน้าแปลน ซึ่งวัดจากทางด้านหน้าของแผ่นออริฟิสออกไปที่ระยะ $1D$ และด้านหลังของแผ่นออริฟิสออกไปที่ระยะ $0.5D$ ซึ่งแสดงการติดตั้งจุดวัดดังรูปที่ 3.18 โดยระยะอาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับค่า β ของแผ่นออริฟิสที่เลือกใช้โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- $\beta < 0.6$, ระยะด้านหน้าเท่ากับ $D \pm 0.1D$ และระยะด้านหลังเท่ากับ $0.5D \pm 0.02D$
- $\beta > 0.6$, ระยะด้านหน้าเท่ากับ $D \pm 0.1D$ และระยะด้านหลังเท่ากับ $0.5D \pm 0.01D$



รูปที่ 3.18 จุดต่อวัดความดันที่ระยะ D และ $0.5D$ (Vena Contracta Taps)

ข้อจำกัดของการเลือกใช้จุดต่อแบบนี้

- $d \geq 12.5$ มิลลิเมตร
- 50 มิลลิเมตร $\leq \beta \leq 1000$ มิลลิเมตร
- $0.20 \leq \beta \leq 0.75$
- $Re \geq 5000$; สำหรับ $0.2 \leq \beta \leq 0.45$
- $Re \geq 10000$; สำหรับ $\beta > 0.45$

3.6.6 การหาค่า Reynold Number (Re)

ค่า Reynold Number (Re) คือค่าที่ใช้ออกลักษณะการไหลในท่อเป็นแบบใด สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Re = \frac{\rho v D_H}{\mu} = \frac{v D_H}{\nu} = \frac{Q D_H}{\nu A} \quad (3.19)$$

3.6.7 การหาอัตราการไหลเชิงมวล

จาก Bernoulli equation; $\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2$ (3.20)

กำหนดให้ 1. steady state

2. incompressible flow

3. Uniform flow

4. $Z_1 = Z_2$

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) = \frac{\rho v_2^2}{2} [1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2] \quad (3.21)$$

และจาก $A_1 V_1 = A_2 V_2$; $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2$ (3.22)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ (2) แทนในสมการที่ (1) จะได้
$$V_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - (A_2/A_1)^2)}} \quad (3.23)$$

สามารถหาอัตราการไหลเชิงมวลจาก
$$\dot{m} = \rho A_2 V_2 \quad (3.24)$$

แทนสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (4) จะได้
$$\dot{m} = \rho A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - (A_2/A_1)^2)}} \quad (3.25)$$

ทำการจัดรูป
$$\dot{m} = \rho \frac{A_2}{\sqrt{(1 - (A_2/A_1)^2)}} \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad (3.26)$$

แต่ในความเป็นจริงจะมีการสูญเสีย จึงมีการเพิ่มเทอมของ Discharge coefficient (C) เข้าไปในสมการที่ (5) จะได้

$$\dot{m}_{actual} = \frac{CA_2}{\sqrt{(1 - (A_2/A_1)^2)}} \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad (3.27)$$

จากการออกแบบ
$$\beta = \frac{D_2}{D_1} \quad (3.28)$$

เพราะฉะนั้นจะได้
$$\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 = \beta^4 \quad (3.29)$$

นำสมการที่ (7) แทนในสมการที่ (6) จะได้
$$\dot{m}_{actual} = \frac{CA_2}{\sqrt{(1 - \beta^4)}} \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad (3.30)$$

เรียกเทอม $\frac{1}{\sqrt{(1 - \beta^4)}}$ ว่า *velocity of approach factor*;

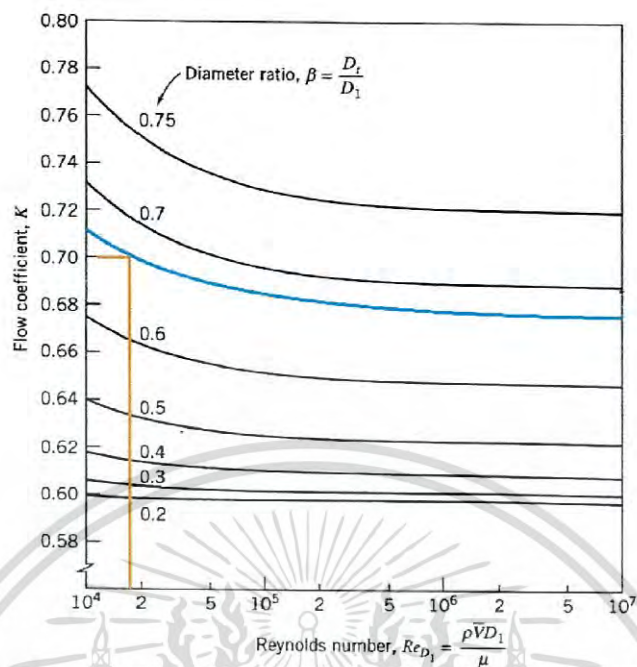
$$K \equiv \frac{C}{\sqrt{(1 - \beta^4)}} \quad (3.31)$$

นำสมการที่ (9) แทนในสมการที่ (8) จะได้ ;

$$\dot{m}_{actual} = KA_2 \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} \quad (3.32)$$

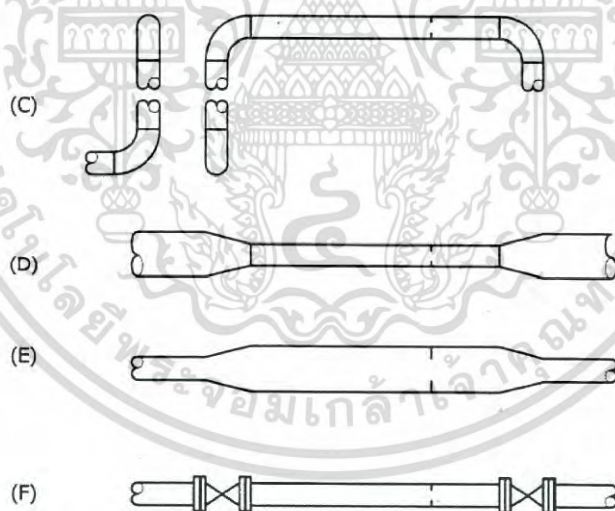
และสามารถหาค่า Flow coefficients (K) ของออริฟิสประเภท Concentric Orifice Plate หรือ Square edge ได้จากรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 Flow coefficients for concentric orifices

3.6.8 ความต้องการท่อทางตรงเมื่อติดตั้งออร์ฟิสในท่อที่มีลักษณะแตกต่างกัน



รูปที่ 3.20 การติดตั้งออร์ฟิสในท่อแบบต่างๆ

เพื่อให้ของไหลในท่อมีการจัดเรียงตัวจนเป็นลักษณะการไหลราบเรียบก่อนที่จะมาถึงแผ่นออร์ฟิสและหลังเคลื่อนผ่านแผ่นออร์ฟิสไปแล้วจากการติดตั้งท่อที่มีลักษณะต่างๆดังรูปที่ 3.20 ซึ่งจะส่งผลให้การวัดค่าความดันตกคร่อมแผ่นออร์ฟิสมีความแม่นยำจึงต้องเว้นระยะทางตรงก่อนเข้าออร์ฟิส (Up-stream) และหลังออกจากออร์ฟิส (Down-Stream) ดังแสดงรูปที่ 3.21

* Values expressed as multiples of D (Pipe diameter)

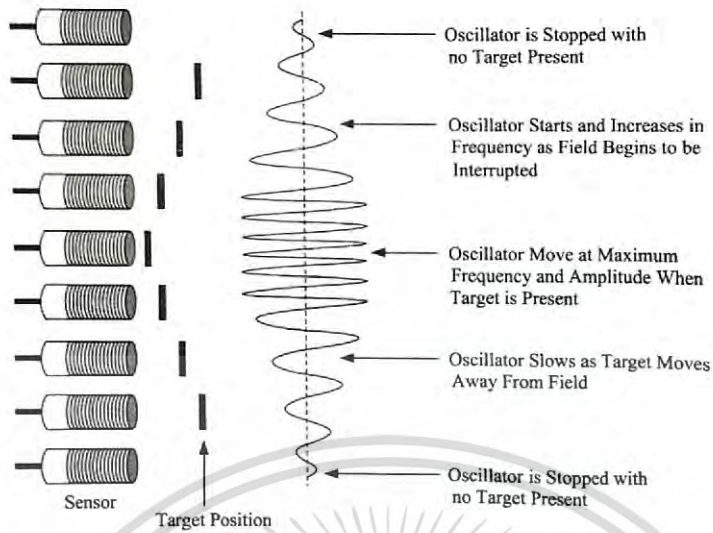
Beta ratio	Upstream (Inlet) side of the primary devices							Downstream (Outlet) side of the primary devices
	Single bend or tree	Two bends in the same plans	Two bends in the different plans (C)	Reducer	Expander	Globe valve fully open	Ball or Gate valve fully open	
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(F)	
0.20	10	14	34	5	16	18	12	4
0.25	10	14	34	5	16	18	12	4
0.30	10	16	34	5	16	18	12	5
0.35	12	16	36	5	16	18	12	5
0.40	14	18	36	5	16	20	12	6
0.45	14	18	38	5	17	20	12	6
0.50	14	20	40	6	18	22	12	6
0.55	16	22	44	8	20	24	14	6
0.60	18	26	48	9	22	26	14	7
0.65	22	32	54	11	25	28	16	7
0.70	28	36	62	14	30	32	20	7
0.75	36	42	70	22	38	36	24	7
0.80	46	50	80	30	54	44	30	7

รูปที่ 3.21 ความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรงเมื่อติดตั้งแผ่นออริฟิสในท่อลักษณะต่างๆ

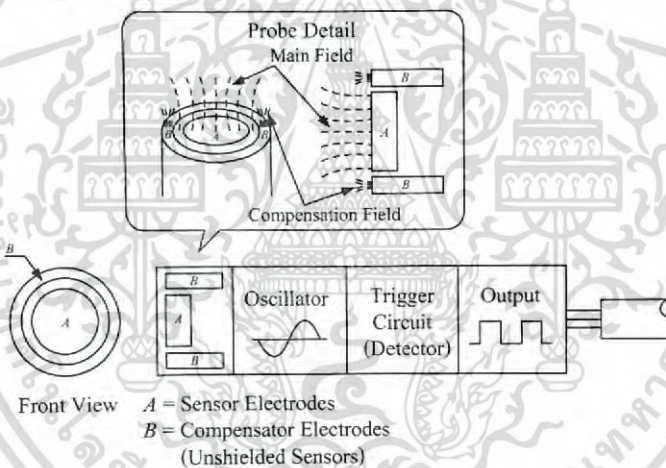
3.7 เซนเซอร์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors) มีหลักการในการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ อันเนื่องมาจากระยะห่างและชนิดของวัตถุที่ต้องการตรวจวัด สามารถตรวจวัดได้ทั้งชนิดที่เป็นโลหะ และอโลหะ การเปลี่ยนแปลงค่าความจุนั้น เกิดขึ้นต่อเมื่อมีวัตถุเข้ามาใกล้กับบริเวณเซนเซอร์ซึ่งมีการแผ่กระจายของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากวงจร R-C Oscillator และเมื่อค่าความจุเปลี่ยนแปลงไปจนถึงค่าๆหนึ่งจะเกิดสถานะที่เรียกว่า R-C Resonance ซึ่งมีผลทำให้เกิดการอสซิลเลชันของสัญญาณดังรูปที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆอย่างด้วยกัน เช่น ระยะของวัตถุที่ต้องการตรวจวัด ชนิดของวัตถุ และที่สำคัญคือค่าคงที่ทางไดอิเล็กตริกของวัตถุแต่ละชนิด ถ้าใช้ Capacitive Sensors ทำการตรวจวัดวัตถุที่เป็นโลหะ ระยะของการตรวจวัดจะเท่ากันทั้งหมดโดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ โดย Capacitive Sensors มีส่วนประกอบพื้นฐาน 5 ส่วนคือ หัววัดหรือแผ่นประจุตัวนำ ตัวกำเนิดความถี่ (Oscillator) วงจรทริกเกอร์ (Trigger Circuit) อุปกรณ์จัดระดับสัญญาณทางด้านเอาต์พุต (Solid-State Output Switch Device) และชุดปรับความไวในการตรวจวัด (Adjustment Potentiometer) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ระยะการเกิดออสซิลเลตในขณะตรวจจับวัตถุของ Capacitive Sensors



รูปที่ 3.23 ส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ Capacitive Sensors

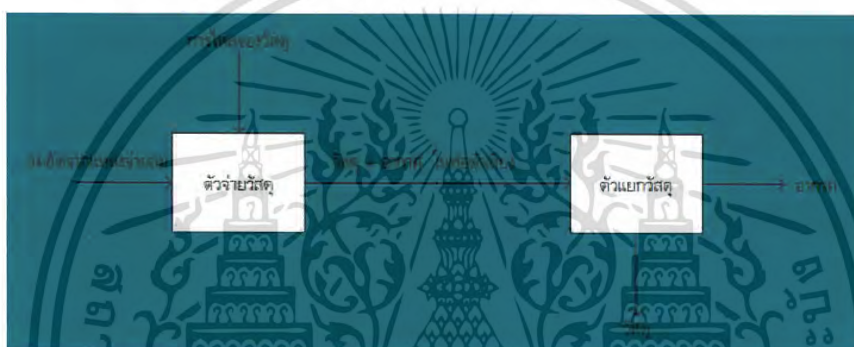
Capacitive Sensors มีข้อดีคือ สามารถเซนเซอร์วัตถุได้ทั้งชนิดที่เป็นโลหะและอโลหะ ตลอดจนของแข็งและของเหลว มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และมีลักษณะที่หลากหลายเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน ส่วนข้อด้อยนั้นคือ มีระยะเซนเซอร์ที่สั้นคือประมาณ 1 นิ้ว มีความไวต่อองค์ประกอบต่างๆ และไม่สามารถควบคุมหรือแยกแยะวัตถุที่ต้องการเซนเซอร์ได้ถ้ามีวัตถุอื่นอยู่ใกล้กับตัวเซนเซอร์เนื่องจากเซนเซอร์ชนิดนี้สามารถตรวจจับได้ทุกชนิด

3.8 การขนถ่ายวัสดุด้วยลมเป็องตัน

ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมมีหลักการทำงานที่ง่ายและเหมาะสำหรับการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวล (Bulk Material) ซึ่งจะอยู่ในรูปของเม็ดและผง ไปตามท่อลมที่มีความดันบวกหรือความดันลบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(สูญญากาศ) และยังสามารถขนวัสดุต่างๆได้มากมายทั้งในอุตสาหกรรมการผลิต ทางเกษตร เคมีภัณฑ์ ฯลฯ

ในความจริงแล้ววัสดุที่มีลักษณะแห้งเป็นเม็ดหรือผงที่ใช้ในระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมได้ทั้งสิ้น ปัจจุบันมีการใช้ระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมสำหรับก้อนหินที่มีขนาดใหญ่ถึง 70 มม., ไม้ที่ยังมีชีวิต วัสดุที่มีรูปร่างต่างๆ ซึ่งมีขนาดโตขึ้นหรือมีความหนาแน่นมากขึ้นก็ต้องใช้ความเร็วลมในการขนมากขึ้น ซึ่งมีกฎอยู่ว่า “ขนาดท่อขนถ่ายวัสดุจะต้องมีขนาดอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 3 เท่าของขนาดวัสดุที่โตที่สุดที่จะขน เพื่อป้องกันการอุดตันของวัสดุในท่อขนถ่าย” โดยส่วนประกอบเบื้องต้นที่สำคัญของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมอาจแบ่งได้เป็น 4 ส่วนซึ่งระบบต่างๆ จะมีการจัดเรียงส่วนประกอบทั้งสี่ส่วนนี้แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ส่วนประกอบเบื้องต้นที่สำคัญของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

ส่วนประกอบเบื้องต้นได้แก่ 1.ตัวต้นกำเนิดลม (Air Mover) 2.ตัวจ่ายวัสดุเข้าไปในท่อลำเลียง (Feeding System) 3.ท่อลำเลียงวัสดุ (Pipe Line) 4.ตัวแยกวัสดุ/อากาศ (Separation System)

3.8.1 การแบ่งชนิดของระบบขนส่งวัสดุด้วยลม

เราสามารถแบ่งชนิดของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมได้หลายชนิด แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิดดังนี้

3.8.1.1 แบ่งตามปริมาณวัสดุโดยเฉลี่ยที่ไหลในท่อ

การแบ่งชนิดของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมแบบนี้เป็นที่นิยมนับมากที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ การไหลแบบเบาบาง (Dilute Phase or Lean Phase) และ การไหลแบบหนาแน่น (Dense Phase) เราอาจใช้ค่า Phase Density เพื่อแยกความแตกต่างระหว่างลักษณะการไหลของวัสดุได้ โดยที่ ϕ จะเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของมวลวัสดุ (m_s) ต่ออัตราการไหลของมวลอากาศ (m_f)

$$\phi = m_s / m_f$$

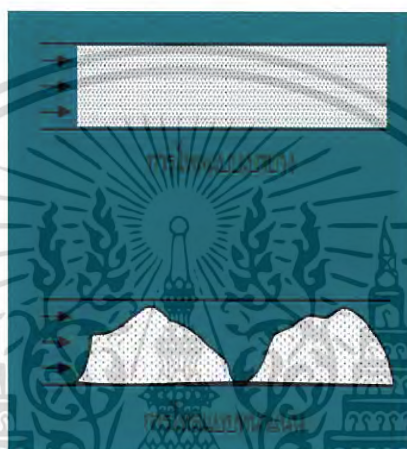
1. ระบบการไหลแบบเบาบาง (Dilute Phase) จะใช้ปริมาณอากาศมากกว่าทำให้มีความเร็ว

ในท่อสูงกว่าความเร็วต่ำสุดที่จะสามารถพาวัสดุให้ลอยอยู่ในกระแสการไหลของลมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ความดันต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่า Phase Density ไม่เกิน 15 (ขึ้นกับชนิดของวัสดุด้วย) ซึ่งการไหลแบบนี้จะเป็นการไหลแบบคงที่ (Steady Flow)

2. ระบบการไหลแบบหนาแน่น (Dense Phase) จะมีปริมาณอากาศที่น้อยกว่าทำให้ความเร็วในท่อต่ำกว่าความเร็วต่ำสุดที่จะสามารถพาวัสดุให้ลอยอยู่ในกระแสการไหลของลมได้ ขณะที่ความดันสูง และมีการไหลของวัสดุที่อาจคงที่ หรือไม่คงที่ก็ได้ โดยทั่วไปจะมีค่า Phase Density มากกว่า 15 (ขึ้นกับชนิดของวัสดุด้วย) ลักษณะการไหลของวัสดุแสดงในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ลักษณะการไหลของวัสดุในท่อ

3.8.1.2 แบ่งตามความดันในระบบ

การแบ่งชนิดของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลมแบบนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมกันมาก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นระบบย่อยๆ ดังนี้

1. ระบบสุญญากาศ (Vacuum System) เหมาะกับการขนถ่ายวัสดุจากหลายแหล่งไปยังปลายทางแห่งเดียว แต่เราสามารถทำให้ระบบสามารถขนถ่ายวัสดุจากต้นทางหลายแห่งไปยังปลายทางหลายแห่งได้โดยการเดินท่อให้เหมาะสม ระบบสุญญากาศเป็นระบบที่ต้องใช้ความเร็วเข่นถ่ายสูงกว่าระบบความดันเนื่องจากความหนาแน่นของลมในระบบต่ำกว่า และใช้ความดันสุญญากาศไม่เกิน 12 in-Hg ข้อดีคือหากเกิดการรั่วขึ้นวัสดุจะไม่ฟุ้งกระจายออกสู่บรรยากาศภายนอก
2. ระบบความดัน (Pressure System) จะมีถังเก็บวัสดุที่มีตัวจ่ายวัสดุเข้าไปในท่อลำเลียง พร้อมกับมีแหล่งจ่ายลมเข้าไปในท่อผสมกับวัสดุ เพื่อส่งวัสดุไปยังปลายทางที่อาจมีหลายแห่งได้โดยปลายทางแต่ละแห่งจะมีตัวแยกวัสดุกับอากาศ ข้อควรระวังคือ ตัวจ่ายวัสดุอาจจะมีลมรั่วกลับไปยังถังเก็บวัสดุผ่านตัวจ่ายวัสดุได้ ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถขนถ่ายวัสดุได้ตามต้องการ ระบบความดันยังสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น

- ระบบความดันต่ำ ใช้ความดันสูงถึง 14.7 PSIG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบความดันปานกลาง ใช้ความดันสูงระหว่าง 15-45 PSIG
 - ระบบความดันสูง ใช้ความดันสูงระหว่าง 45-125 PSIG
3. ระบบผสม ระหว่างระบบความดันกับระบบสุญญากาศ (Combined Positive-Negative Pressure) จะใช้แหล่งจ่ายลมเพียงตัวเดียวทำหน้าที่ทั้งดูดและเป่าวัสดุ จึงสามารถขนถ่ายวัสดุจากต้นทางหลายแห่ง ไปยังปลายทางหลายแห่งได้ ข้อดีของระบบนี้คือ ใช้แหล่งจ่ายลมเพียงตัวเดียว ท่อทางดูดของระบบโดยทั่วไปควรจะสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากระบบสุญญากาศเมื่อเทียบกับระบบความดันแล้วจะมีการใช้พลังงานมากกว่า เนื่องจากระบบสุญญากาศจะมีความหนาแน่นของลมต่ำกว่าระบบของความดัน
 4. ระบบปิด (Closed Loop System) ระบบปิดนี้จะใช้ก๊าซชนิดอื่นที่ไม่ใช้อากาศ เช่น ไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ อีกทั้งยังนำเอาก๊าซที่ใช้ในการขนถ่ายแล้วกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากการใช้ก๊าซอื่นจะมีค่าใช้จ่ายมากขึ้นจึงได้ชื่อว่าระบบปิด ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะการขนถ่ายด้วยความดันแบบเบาบาง (Dilute Phase) แต่สำหรับการขนถ่ายวัสดุด้วยระบบสุญญากาศหรือแบบหนาแน่น (Dense Phase) ก็สามารถทำงานได้เช่นกัน ระบบนี้จะเหมาะสำหรับวัสดุแห้ง วัสดุที่เป็นพิษ หรือวัสดุที่สามารถระเบิดได้ รวมไปถึงวัสดุที่ไม่ต้องการให้สัมผัสกับความชื้นในอากาศด้วย

3.8.1.3 แบ่งตามความดันของระบบขนถ่ายวัสดุด้วยลม

จะแบ่งตามชนิดของแหล่งจ่ายลมที่ใช้ในระบบโดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิดคือ

1. ระบบที่ใช้พัดลม (Fan System) โดยพัดลมที่ใช้จะเป็นพัดลมหอยโข่ง (Centrifugal Fan) ซึ่งจะทำความดันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 kPa ซึ่งจะใช้กับการขนถ่ายวัสดุที่มีอัตราการขนถ่ายไม่สูงมากนักและระยะทางขนถ่ายใกล้ๆ
2. ระบบที่ใช้โบลเวอร์ (Positive Displacement Blower System) ซึ่งจะทำความดันสูงสุดได้ไม่เกิน 100 kPa
3. ระบบที่ใช้คอมเพรสเซอร์ (Single Stage Compressor System) ซึ่งจะทำความดันสูงสุดได้ไม่เกิน 250 kPa
4. ระบบความดันสูง (High Pressure System) ซึ่งจะทำความดันสูงสุดได้ไม่เกิน 700 kPa

3.8.1.4 แบ่งตามการจ่ายวัสดุ

แบ่งตามความสามารถในการจ่ายวัสดุของอุปกรณ์จ่ายวัสดุในระบบ โดยสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

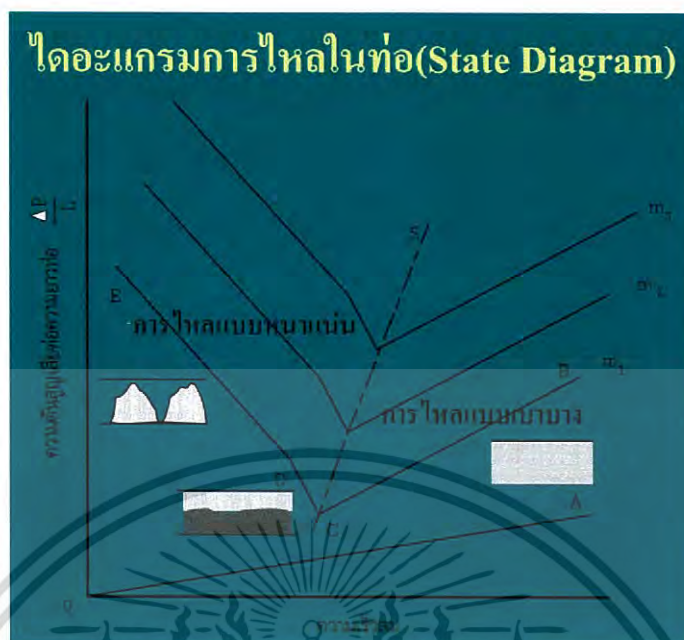
1. ระบบที่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุได้ (Controlled Feed System) โดยระบบนี้จะใช้อุปกรณ์จ่ายวัสดุที่ควบคุมการจ่ายได้โดยตรง เช่น โรตารีวาล์ว สกรู เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบที่ไม่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายวัสดุได้ (Non-Controlled Feed System) จะมีตัวจ่ายที่ไม่สามารถควบคุมการจ่ายวัสดุได้ โดยระบบนี้จะใช้อุปกรณ์จ่ายวัสดุที่ควบคุมการจ่ายได้โดยตรง เช่น หัวดูด ถังจ่ายวัสดุ วาล์วล็อกสองชั้นและตัวจ่ายวัสดุแบบเวนจูรี เป็นต้น

3.8.2 ไตอะแกรมการไหลในท่อ (State Diagram)

จากรูปที่ 3.26 จะเห็นว่าในแกนตั้งเป็นความดันสูญเสียต่อความยาวของท่อส่วนในแกนนอนจะเป็นความเร็วลมในท่อขนถ่ายวัสดุ โดยมี m_1 , m_2 และ m_3 เป็นอัตราการขนถ่ายวัสดุโดยที่ $m_1 < m_2 < m_3$ เส้น OA จะแสดงถึงความสูญเสียเนื่องจากลมอย่างเฉื่อยไหลไปในท่อขนถ่ายวัสดุที่ตำแหน่ง A เมื่อมีการจ่ายวัสดุเข้าไปในท่อด้วยอัตราการจ่ายวัสดุ m_1 จะทำให้ความดันในระบบเพิ่มขึ้นไปอยู่ที่ตำแหน่ง B จากนั้นถ้าลดความเร็วของลมลงโดยที่อัตราการขนถ่ายวัสดุคงที่ ก็จะทำให้ความดันในระบบลดลงจนถึงจุด C จะเป็นจุดที่ความเร็วลมยังสามารถพาวัสดุให้ไหลไปในท่อโดยวัสดุยังลอยอยู่ในกระแสรไหลของลมได้ เรียกว่า Saltation Velocity สำหรับท่อในแนวนอน และเรียกว่า Choking Velocity สำหรับท่อแนวตั้ง และที่จุดนี้จะเป็นจุดที่มีความดันต่ำสุดในระบบอีกด้วย จากจุด C ถ้าความเร็วลมลดลงอีกจนอยู่ในช่วง CD วัสดุจะไม่สามารถลอยตัวอยู่ในกระแสรไหลของลมได้ ในบางกรณีวัสดุจะกองตัวที่พื้นผิวท่อด้านล่างแล้วทำให้พื้นที่หน้าตัดท่อลดลง ทำให้ลมที่ไหลอยู่เหนือวัสดุมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนสามารถไหลโดยมีการไหลแบบเบาบางบนชั้นวัสดุอีกทีหนึ่ง เรียกว่า Stable Stationary Bed แต่ในบางกรณีวัสดุจะตกลงที่พื้นผิวท่อด้านล่างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนปิดหน้าตัดท่อทั้งหมดและถ้าความดันลมไม่เพียงพอก็จะเกิดการอุดตันของวัสดุในท่อ แต่ถ้าความดันเพียงพอลมจะผลักวัสดุให้กระจายออกไปทำให้ความดันในระบบไม่คงที่เรียกว่า Moving Bed ดังนั้นโดยทั่วไปเราจะไม่ให้มีการขนถ่ายวัสดุโดยมีความเร็วอยู่ในช่วงนี้ หลังจากนั้นถ้าความเร็วลมลดลงอีกในช่วง DE วัสดุที่กองตัวที่พื้นผิวท่อจะแยกตัวออกจากกันและมีการไหลแบบหนาแน่นและคงที่ Stable Dense Phase จากรูปที่ 3.24 ถ้าลากเส้นระหว่างจุดที่มีความเร็วลมต่ำสุดที่จะพาวัสดุให้ไหลไปได้ในท่อ เราจะได้เส้นแบ่งระหว่างการไหลแบบเบา (ทางขวาของเส้น) และการไหลแบบหนาแน่น (ทางซ้ายของเส้น)



รูปที่ 3.26 ไดอะแกรมการไหลในท่อ (State Diagram)

จึงพอสรุปได้ว่าระบบที่มีความดันต่ำสุด (จุด C) ซึ่งจุดนี้เป็นจุดแบ่งลักษณะการไหลแบบเบาบางและแบบหนาแน่น โดยทางขวามือของจุดนี้จะมีลักษณะการไหลแบบเบาบาง ส่วนทางซ้ายมือของจุดนี้จะมีลักษณะการไหลแบบหนาแน่น และจะมีช่วง Unstable Area ซึ่งวัสดุจะเกิดการไหลแบบหนาแน่นและแบบเบาบางสลับกันไป ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับท่อขึ้นจึงไม่เหมาะสมที่จะให้มีการขนถ่ายวัสดุในช่วงนี้ ซึ่งช่วงนี้จะอยู่ทางซ้ายมือของจุดที่มีความดันต่ำสุดในระบบ(ช่วง CD) ข้อสังเกตจากรูปที่ 3.26 พบว่าในช่วงการไหลแบบหนาแน่นถ้าเราเพิ่มปริมาณอากาศหรือเพิ่มความดันให้กับระบบจะทำให้สามารถขนถ่ายวัสดุได้มากขึ้น แต่ในช่วงการไหลแบบเบาบางการเพิ่มการไหลของอากาศอาจทำให้ขนถ่ายวัสดุได้น้อยลงเนื่องจากการไหลแบบวกวน

3.8.3 มุมกองวัสดุ (Repose Angle)

เมื่อวัสดุถูกเทให้ทับกันจนเป็นกองวัสดุจะมีการเลื่อนไถลของวัสดุจนเกิดมุมกองวัสดุขึ้นตามธรรมชาติและเรียกว่า “มุมกองวัสดุ” (Repose Angle) ซึ่งมุมกองของวัสดุนี้จะสามารถนำไปใช้เพื่อการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบขนถ่ายวัสดุได้ มุมกองของวัสดุนี้ยังบอกถึงคุณสมบัติในการไหลของวัสดุสามารถนำไปคำนวณหาปริมาตรของวัสดุในขณะที่อยู่บนอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุและถึงเก็บนำไปคำนวณหารูปทรงของถังเก็บวัสดุที่เหมาะสม มุมกองของวัสดุโดยทั่วไปจะมีมุมกองสถิตของวัสดุและมุมกองพลศาสตร์ของวัสดุ มุมกองสถิตหมายถึง มุมกองของวัสดุที่อยู่บนพื้นผิวที่อยู่กับที่ ส่วนมุมกองพลศาสตร์ของวัสดุหมายถึง มุมกองของวัสดุบนพื้นผิวที่กำลังเคลื่อนที่ เช่น ในกรณีที่วัสดุอยู่บนสายพานลำเลียงจะมีมุมกองลดลง

3.9 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) [11,12]

PLC (Programmable Logic Controller) เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติต่างๆ แทนการควบคุมแบบเก่าที่เป็นวงจรรีเลย์ ที่มีการเดินสายและการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงานยุ่งยาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำ PLC มาใช้เนื่องจากมีการใช้งานที่ง่ายเพียงต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต สำหรับการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรก็ทำโดยการแก้ไขที่โปรแกรมเท่านั้น อีกทั้งยังใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย มีความแม่นยำ (Accuracy) สูง สะดวกในการออกแบบวงจรควบคุม เพราะมีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ และสามารถตรวจสอบข้อผิดพลาด (Self Diagnostic) ภายใน PLC ซึ่งสามารถหาสาเหตุ และแก้ไขข้อขัดข้องได้อย่างรวดเร็ว อีกหนึ่งปัจจัยต่อการนำเครื่องควบคุมชนิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมเตาเผาชีวมวลชนิดผง คือมีใช้งานอยู่กว้างขวางในอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นโรงงานไฟฟ้า โรงกลั่นน้ำมัน หรือการควบคุมเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ซึ่งการศึกษาและการนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้สามารถสร้างพื้นฐานการเรียนรู้ต่อไปได้ ในการเขียนโปรแกรมผู้ใช้งาน สามารถเขียนได้ถึง 3 ภาษาด้วยกัน ได้แก่ Statement List (ST) , Ladder Diagram (LD) และ Function Block (FDB) แต่ละภาษาจะมีจุดเด่นที่แตกต่างกันออกไป เริ่มตั้งแต่โปรแกรมภาษา Statement List (ST) เป็นภาษาที่ใกล้เคียงกับภาษา Assembly มากจัดได้ว่าเป็นภาษาระดับล่างที่เครื่องควบคุมสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลได้ทันที และใช้เวลาในการประมวลผลที่สั้น กระชับ และรวดเร็ว แต่มีอุปสรรคทางด้านการทำงาน ความเข้าใจกับผู้ใช้งานอื่นเนื่องมาจากเป็นภาษาระดับล่างนั่นเอง ภาษาถัดมาคือโปรแกรมภาษา Ladder Diagram (LD) เป็น โปรแกรมรูปภาพที่คล้ายกับการต่อวงจรรีเลย์ การเขียนจะเป็นการเอารูปภาพมาต่อเรียงกันเริ่มจากซ้ายไปขวาในแนวนอนและจากบนลงล่างในแนวตั้ง เมื่อดำเนินการแล้วเสร็จก็จะได้โปรแกรมผู้ใช้งานทันที โปรแกรมรูปภาพลักษณะนี้สามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี จึงเป็นที่นิยมใช้งานกันทั่วไปในกลุ่มตะวันออกหรือเอเชีย สำหรับภาษาสุดท้ายได้แก่ Function Block (FDB) เป็นโปรแกรมภาษารูปภาพเช่นกัน นิยมใช้กันในกลุ่มตะวันตกหรือสหภาพยุโรป ซึ่งก็ไม่ได้แตกต่าง ไปจาก Ladder Diagram

3.9.1 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC

โดยทั่วไปนั้นโครงสร้างพื้นฐานของ PLC จะประกอบไปด้วยส่วนหลัก 5 ส่วนคือ

3.9.1.1 หน่วยอินพุต (Input Unit)

จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์อินพุตเข้ามาและส่งสัญญาณต่อไปยังส่วนประมวลผล (CPU) โดยสัญญาณที่รับเข้ามานั้นมีทั้งรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล (ON/OFF) หรือสัญญาณแอนะล็อก (Analog)

3.9.1.2 หน่วยประมวลผล (CPU)

จะทำหน้าที่ควบคุมและจัดการระบบทั้งหมดของ PLC เช่นการสั่งให้ระบบทำงาน

ตามคำสั่งที่ถูกโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำ ควบคุมการรับส่งข้อมูลและส่งถ่ายข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.1.3 หน่วยความจำ (Memory)

จะทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน โดยขนาดของหน่วยความจำถูกแบ่งออกเป็นบิตข้อมูล (Data Bit) ภายในหน่วยความจำ 1 บิตจะมีค่าสถานะทางลอจิกเป็น 0 หรือ 1 แล้วแต่คำสั่ง ซึ่ง PLC จะประกอบด้วยหน่วยความจำ 2 ชนิดคือ ROM RAM

3.9.1.4 หน่วยเอาต์พุต (Output Unit)

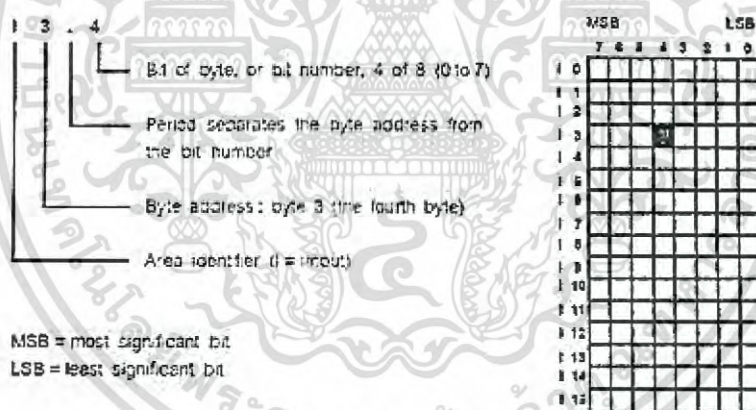
ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก CPU และส่งออกไปควบคุมอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ภายนอก เช่น การควบคุมมอเตอร์ รีเลย์ โซลินอยด์ เป็นต้น

3.9.1.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาแรงดันไฟฟ้าให้กับ CPU หน่วยความจำ และหน่วยอินพุตเอาต์พุต

3.9.2 หน่วยความจำ ชนิดของข้อมูลและตำแหน่ง Address

พื้นที่หน่วยความจำจะต้องมีการระบุ Address ซึ่งประกอบด้วยหน่วยความจำ ที่เป็น byte และ bit ดังแสดงในรูป 3.1



รูปที่ 3.27 การกำหนดตำแหน่ง Address [11]

เมื่อพิจารณาดังรูปที่ 3.27 จะเห็นได้ว่าหน่วยความจำที่อ้างถึงคือ I3.4 ซึ่ง I นั้นเป็นการระบุถึงการใช้หน่วยความจำ Input เลขสามนั้นบ่งบอกตำแหน่งของไบท์ และเลขสี่ระบุถึงเลขบิตที่สี่จากจำนวนแปดบิตของหนึ่งไบท์

การกำหนด Address ของ Input, Output และหน่วยความจำ สามารถกำหนดขนาดได้ทั้ง Bit byte word และ Double word โดยโปรแกรมจะใช้ตัวอักษรเป็นตัวระบุชนิดของข้อมูล โดยมีรูปแบบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.8 แสดงการใช้ตัวอักษรกำหนดชนิดและขนาดของข้อมูล [12]

รูปแบบ	ขนาดข้อมูล 1 บิต	ขนาดข้อมูล 1 ไบท์	ขนาดข้อมูล 1 เวิร์ด	ขนาดข้อมูล 2 เวิร์ด
อุปกรณ์อินพุต	I	IB	IW	ID
อุปกรณ์เอาต์พุต	Q	QB	QW	QD
หน่วยความจำ	M	MB	MW	MD

หลังจากที่กำหนดชนิดและขนาดของข้อมูลของอุปกรณ์ที่ต้องการอ้างอิงถึงแล้ว จะต้องกำหนดตำแหน่งใช้ตัวเลขในการระบุซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การอ้างอิงถึงข้อมูล แบบบิต จะต้องระบุตัวเลข 2 ชุดคือไบท์ของข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งแอดเดรสของโมดูล และบิทของข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Channel ที่ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุต หรือเอาต์พุตตัวอย่างเช่น

I 0.0 หมายถึง ข้อมูลอินพุตมีขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบท์ที่ 0 บิทที่ 0

Q 2.7 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุตขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบท์ที่ 2 บิทที่ 7

M 0.0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำขนาด 1 บิต ในตำแหน่งไบท์ที่ 0 บิทที่ 0

การอ้างอิงถึงข้อมูล แบบไบท์ ในกรณีที่เราต้องการจะเข้าถึงข้อมูลที่มีขนาด 8 บิต หรือขนาด 1 ไบท์ เราสามารถที่จะทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรที่ระบุถึงชนิดและขนาดของข้อมูลก่อน จากนั้นระบุตัวเลข 1 ชุด คือ ไบท์ของข้อมูล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งแอดเดรสของโมดูลอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตที่ทำการเชื่อมต่อกับ PLC

IB 0 หมายถึง ข้อมูลอินพุตที่มีขนาด 1 ไบท์ ในตำแหน่งไบท์ที่ 0 หรือ อุปกรณ์อินพุตที่ต่อเชื่อมกับโมดูลแอดเดรส 0 จำนวนทั้ง 8 Channels (ในกรณีที่ดิจิทัลโมดูลที่มีจำนวน Channel ไม่เกิน 8 Channels) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอินพุตตั้งแต่บิทที่ 0.0-0.7

QB 2 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุต ที่มีขนาด 1 ไบท์ในตำแหน่งไบท์ที่ 2 หรืออุปกรณ์เอาต์พุต ที่ต่อเชื่อมกับโมดูลแอดเดรส 2 จำนวนทั้ง 8 Channels (ในกรณีที่ดิจิทัล โมดูลที่มีจำนวน Channel ไม่เกิน 8 Channels) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลเอาต์พุตตั้งแต่บิทที่ 2.0-2.7

MB 0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำ ที่มีขนาด 1 ไบท์ในตำแหน่งไบท์ที่ 0 ประกอบด้วยข้อมูลในหน่วยความจำตั้งแต่บิทที่ 0.0-0.7

การอ้างอิงถึงข้อมูลแบบเวิร์ด ในกรณีที่ต้องการจะเข้าถึงข้อมูลที่มีขนาด 16 บิต หรือขนาด 2 ไบท์ สามารถทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรระบุถึง ชนิดและขนาด ของข้อมูลก่อน จากนั้นระบุตัวเลขอีก 1 ชุด คือตำแหน่งเวิร์ดข้อมูล ในแต่ละเวิร์ดประกอบด้วย ไบท์สูง (บิทที่ 8-15) และไบท์ต่ำ (บิทที่ 0-7) โดยไบท์สูงจะอยู่ในตำแหน่งที่มีตัวเลขต่ำกว่า เช่น ข้อมูลเวิร์ดที่ 0 จะประกอบด้วย ข้อมูลไบท์ที่ 0 (ไบท์สูง) และ ข้อมูลไบท์ที่ 1 (ไบท์ต่ำ) แล้วตำแหน่งไบท์ของข้อมูลจะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของโมดูล ของอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตที่ทำการเชื่อมต่อกับ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IW 32 หมายถึง ข้อมูลอินพุต ที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วยไบท์ที่ 32 และไบท์ที่ 33 ซึ่งเป็นตำแหน่งดิจิทัลอินพุตจำนวน 16 บิตที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดของ PLC SIMATIC S7-300

QW 32 หมายถึงข้อมูลเอาต์พุต ที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วย ไบท์ที่ 32 และไบท์ที่ 33 ซึ่งเป็นตำแหน่งดิจิทัลเอาต์พุตจำนวน 16 บิตที่ติดตั้งอยู่บนบอร์ดของ PLC SIMATIC S7-300

MW 0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำ ที่มีขนาด 1 เวิร์ด ตำแหน่งเวิร์ดที่ 0 ซึ่งประกอบด้วยไบท์ที่ 0 และไบท์ที่ 1

การอ้างอิงถึงข้อมูลแบบ 2 เวิร์ด (Double Word) ในกรณีที่เราต้องการจะอ้างอิงถึงข้อมูลที่มีขนาด 32 บิต หรือ ขนาด 4 ไบท์ หรือ 2 เวิร์ด เราสามารถทำได้โดยการกำหนดตัวอักษรที่ระบุถึงชนิดและขนาดของข้อมูลก่อน จากนั้นจะต้องระบุตัวเลขอีก 1 ชุด คือ ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดของข้อมูล ซึ่งในแต่ละดับเบิลเวิร์ดสูง (บิตที่ 31-16) และเวิร์ดต่ำ (บิตที่ 15-0) โดยเวิร์ดสูงจะอยู่ในตำแหน่งที่มีตัวเลขต่ำกว่า เช่น ข้อมูลดับเบิลเวิร์ดที่ 0 จะประกอบด้วยข้อมูลเวิร์ดที่ 0 (เวิร์ดสูง) และข้อมูลเวิร์ดที่ 2 (เวิร์ดต่ำ)

ID 32 หมายถึง ข้อมูลอินพุตที่มีขนาด 2 เวิร์ด ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วย เวิร์ดที่ 32 และ 34

QD 32 หมายถึง ข้อมูลเอาต์พุตที่มีขนาด 2 เวิร์ด ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดที่ 32 ซึ่งประกอบด้วยเวิร์ดที่ 32 และ 34

MD 0 หมายถึง ข้อมูลจากหน่วยความจำที่มีขนาด 2 เวิร์ด ตำแหน่งดับเบิลเวิร์ดที่ 0 ซึ่งประกอบด้วย เวิร์ดที่ 0 และ 2

เครื่องควบคุม PLC SIMATIC S7-300 สามารถทำการอ้างอิงถึงข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต แบบ Direct access ได้โดยเข้าถึงข้อมูลที่เป็นไบท์ เวิร์ด และดับเบิลเวิร์ด ได้เท่านั้น ซึ่งเราจะใช้ตัวอักษร PI (Peripheral Input), PQ (Peripheral Output) เป็นตัวระบุว่าการอ้างอิงถึง ข้อมูลแบบ Direct access และตามด้วยตัวอักษรที่ใช้ในการกำหนดขนาดของข้อมูล แล้วตามด้วยตัวเลขระบุตำแหน่ง ซึ่งเป็นการกำหนดตำแหน่งการรับข้อมูลและการส่งข้อมูล

PIW 256 หมายถึง การอ้างอิงถึงข้อมูลอินพุต ตำแหน่งเวิร์ดที่ 256 แบบ Direct access ที่มีขนาด 1 เวิร์ด

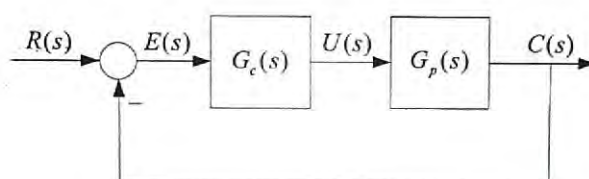
PQW 256 หมายถึง การอ้างอิงถึงข้อมูลเอาต์พุต ตำแหน่งเวิร์ดที่ 256 แบบ Direct access ที่มีขนาด 1 เวิร์ด ซึ่งรูปแบบของข้อมูลภายใน PLC แสดงได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 รูปแบบของข้อมูลและจำนวนย่านข้อมูล [11]

Elementary	Description	Range
BOOL	Boolean	0 และ 1
BYTE	Unsigned Byte	0 ถึง 255
BYTE	Signed Byte (Simatic mode for SHRB instruction only)	-128 ถึง +127
WORD	Unsigned Integer	0 ถึง 65535
INT	Signed Integer	-32768 ถึง +32767
DWORD	Unsigned Double Integer	0 ถึง 4294967295
DINT	signed Double Integer	-2147483648 ถึง +2147483647
REAL	IEEE 32 bit floating point	+1.175495E-38 ถึง +3.402823E+38

3.10 พื้นฐานตัวควบคุม [15]

โครงสร้างที่เป็นระบบควบคุมที่เป็นพื้นฐานการใช้งานนั้นนิยมพิจารณาระบบวงปิดในรูประบบควบคุมป้อนกลับหนึ่งหน่วยแสดงดังรูปที่ 3.28 ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ $G_p(s)$ และตัวควบคุม (Controller) หรือตัวชดเชย (Compensator) $G_c(s)$ วัตถุประสงค์พื้นฐานในการออกแบบระบบควบคุมนั้น ได้แก่ การออกแบบให้ระบบวงปิดมีเสถียรภาพ และมีสมรรถนะที่ดีเป็นไปตามข้อกำหนด โดยปกติแล้วกระบวนการที่พบและใช้อยู่ในชีวิตประจำวันนั้นมาสามารถปรับแต่งให้มีฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s)$ เป็นไปตามที่ต้องการได้ เนื่องจากฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพของกระบวนการโดยตรง อาทิเช่น การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มักเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งผลิตสำเร็จจากโรงงานแล้ว และผู้ใช้งานจะไม่ไปแก้ไขให้กระทบกระเทือนโครงสร้างภายใน ดังนั้นสิ่งที่สามารถทำได้เพื่อปรับให้ระบบควบคุมวงปิดมีสมรรถนะเป็นไปตามต้องการ คือการออกแบบตัวควบคุม $G_c(s)$ (หรือปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ในกรณีโครงสร้างของตัวควบคุมถูกเลือกไว้ก่อนหน้าแล้ว) ให้เหมาะสมกับระบบนั้นๆ



รูปที่ 3.28 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับแบบลบบหนึ่งหน่วย [6]

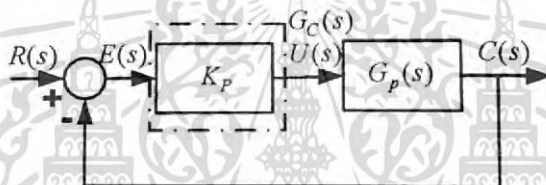
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นฐานตัวควบคุมที่นิยมใช้งานในอุตสาหกรรมประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบสัดส่วน หรือตัวควบคุมแบบพี (Proportional controller: P controller) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับการอินทิเกรต หรือตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus integral controller: PI controller) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับการอินทิเกรตและการอนุพันธ์ หรือตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional plus integral plus Derivative controller: PID controller)

โดยตัวที่ควบคุมที่นำมาใช้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับการอินทิเกรต หรือตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus integral controller: PI controller)

3.10.1 ตัวควบคุมแบบพี (Proportional controller: P controller)

สัญญาณควบคุม $u(t)$ แปรผันตรงหรือเป็นสัดส่วนกับค่าความผิดพลาด $e(t)$ โดยระบบควบคุมแบบพีมีลักษณะดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบพี [6]

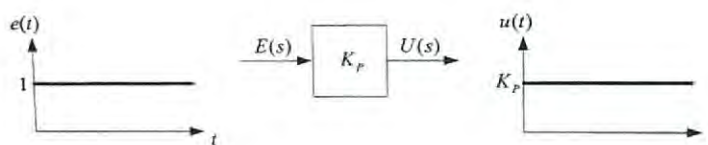
จะได้เอาต์พุตของตัวควบคุมเมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด $e(t)$ สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 3.16

$$u(t) = K_p e(t) \quad (3.16)$$

หรือฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ ดังรูปที่ 3.20 จะได้ดังสมการที่ 3.17

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (3.17)$$

เมื่อ K_p คือเกนหรืออัตราขยายเชิงสัดส่วน (Proportional gain) ซึ่งเป็นบวกและนิยมให้มีค่ามากกว่า 1 ดังนั้นการทำงานของตัวควบคุมแบบพีจึงไปในแนวเดียวกันกับการปรับค่าเกน (Gain adjustment) โดยรูปที่ 3.30 แสดงให้เห็นถึงผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย



รูปที่ 3.30 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ตัวควบคุมแบบพีไอโดยมากไม่สามารถทำให้ระบบควบคุมมีผลตอบสนองเป็นไปตามข้อกำหนดได้ โดยจากรูปที่ 3.30 จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนวงปิดดังสมการที่ 3.18

$$T(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)} \quad (3.18)$$

เมื่อพิจารณากรณีกระบวนการฟังก์ชันถ่ายโอน $G_p(s)$ เป็นชนิด 0 โดย $\lim_{s \rightarrow 0} G_p(s) = K > 0$ และระบบวงปิด $T(s)$ มีเสถียรภาพแล้ว พบว่าระบบวงปิดจะมีค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว e_{ss} ต่อสัญญาณอ้างอิงขั้นบันไดหนึ่งหน่วยเสมอ เนื่องจากระบบวงปิดมีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็น $G_c(s)G_p(s) = K_p G_p(s)$ ซึ่งจะยังคงเป็นชนิด 0 โดยสามารถคำนวณค่าคงที่ความผิดพลาดเชิงตำแหน่ง K_p ได้เป็นดังสมการที่ 3.19

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G_p(s)G_c(s) = K_p K < \infty \quad (3.19)$$

ดังนั้นค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว e_{ss} มีค่าดังสมการที่ 3.20

$$e_{ss} = \frac{1}{1 + K_p} = \frac{1}{1 + K_p K} > 0 \quad (3.20)$$

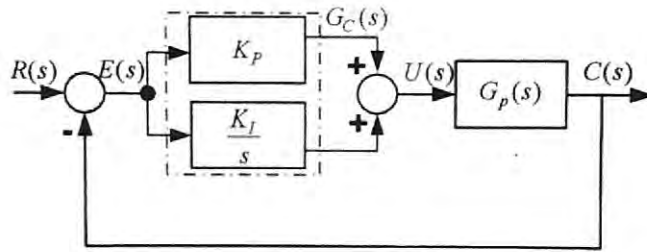
หรือจากสมการที่ 3.18 เห็นได้ว่าค่าเกณฑ์ความถี่ศูนย์ของระบบวงปิดมีค่าเป็น $\frac{K_p K}{1 + K_p K}$ นั่นคือเมื่อ

$r(t) = u(t)$ แล้ว $c(t)$ จะลู่เข้าสู่ $\frac{K_p K}{1 + K_p K}$ สอดคล้องกับค่า e_{ss} ในสมการที่ 3.20

ดังนั้นจากค่า e_{ss} ในสมการที่ 3.20 สรุปได้ว่าหากปรับค่าเกน K_p ให้มีค่ามากขึ้นแล้วความผิดพลาดในสภาวะคงตัวจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามยังมีค่ามากกว่าศูนย์ นั่นคือการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอสามารถลดค่าความผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวของระบบวงปิดได้ ถ้าในกรณีที่กระบวนการเป็นระบบอันดับหนึ่งมาตรฐานการปรับค่าเกน K_p ให้มีค่ามากขึ้นส่งผลให้ผลตอบสนองมีความเร็วเพิ่มขึ้น ความผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวลดลง และในกรณีที่กระบวนการเป็นระบบอันดับสองมาตรฐานการเพิ่มค่า K_p จะทำให้ผลตอบสนองวงปิดมีแนวโน้มที่จะเกิดค่าพุ่งเกินแต่ทำให้ช่วงเวลาขึ้นลดลง โดยมีช่วงเวลาเข้าที่ประมาณเท่าเดิม และมีความถี่การแกว่งสูงขึ้น

3.10.2 ตัวควบคุมแบบพีไอ (Proportional plus integral controller: PI controller)

สัญญาณควบคุม $u(t)$ แปรผันตรงหรือเป็นสัดส่วนกับค่าความผิดพลาด $e(t)$ และอินทิเกรตของค่าความผิดพลาด โดยระบบควบคุมแบบพีไอมีลักษณะดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบพีไอ

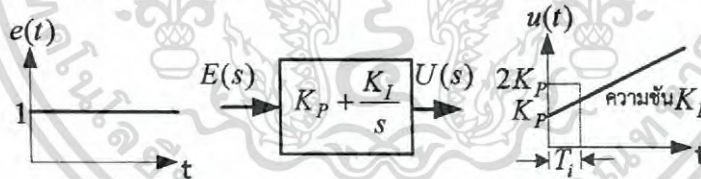
จะได้เอาต์พุตของตัวควบคุมเมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด $e(t)$ อธิบายได้ดังสมการที่ 3.21

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^1 e(t) dt = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^1 e(t) dt \right) \quad (3.21)$$

สอดคล้องกับฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ ในรูป 3.32 ได้เป็นสมการที่ 3.22

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (3.22)$$

เมื่อ K_I คืออัตราขยายเชิงอินทิเกรต (Integral gain) และ T_i คือค่าเวลาอินทิเกรต (Integral time) โดยมีผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วยที่แสดงดังรูปที่ 3.22



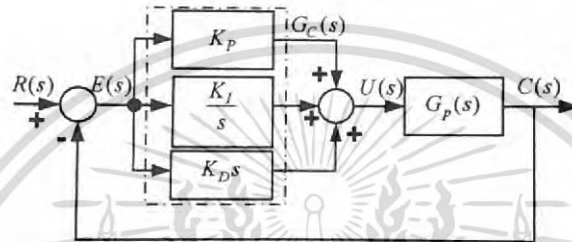
รูปที่ 3.32 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอต่อสัญญาณขั้นบันไดหนึ่งหน่วย

สังเกตได้ว่าตัวควบคุมแบบพีไอมีโพลหนึ่งตัวอยู่ที่จุดกำเนิด ($s=0$) และซีโรที่ $s=1/T_i$ โดยเฉพาะการที่มีโพลอยู่จุดกำเนิด ทำให้เพิ่มชนิดของระบบวงเปิดขึ้นหนึ่งระดับ ซึ่งจะช่วยให้ปรับปรุงสมรรถนะในสถานะอยู่ตัว อาทิเช่น ถ้ากระบวนการ $G_p(s)$ เป็นระบบชนิด 0 และเลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีไอแล้วจะทำให้ค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวของผลตอบสนองวงปิดต่อสัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเป็นศูนย์ (หากระบบวงปิดมีเสถียรภาพ) อย่างไรก็ตามการใส่ตัวควบคุมที่มีคุณลักษณะแบบการอินทิเกรต เช่นการควบคุมแบบพีไอนี้จะเพิ่มมุมเฟส (phase lag) ในช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งอาจจะทำให้ระบบที่ได้รับการชดเชยแล้วมีเสถียรภาพลดลงหรืออาจไม่มีเสถียรภาพได้ ดังนั้นการเลือกพารามิเตอร์ K_I และ T_i ต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อรับรองเสถียรภาพและผลตอบสนองชั่วคราวที่เหมาะสมของระบบวงปิด นอกจากนี้แล้วจะเห็นได้ว่าตัวควบคุมแบบพีไอมีลักษณะเป็นวงจกรองความถี่ต่ำผ่าน (low-pass) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

filter) จึงช่วยลดผลขององค์ประกอบความถี่สูง (high frequency component) ซึ่งมักเป็นผลจากสัญญาณรบกวนภายในระบบได้

3.10.3 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (Proportional integral derivative controller: PID Controller)

สำหรับตัวควบคุมแบบพีไอดีนั้น สัญญาณควบคุม $u(t)$ แปรผันตรงหรือเป็นส่วนกับค่าความผิดพลาด $e(t)$ รวมทั้งผลอินทิเกรตและอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด โดยระบบควบคุมแบบพีไอดีมีลักษณะดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบพีไอดี

จะได้เอาต์พุตของตัวควบคุมเมื่อรับอินพุตเป็นความผิดพลาด $e(t)$ อธิบายได้ดังสมการที่ 3.23

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.23)$$

ซึ่งให้ฟังก์ชันถ่ายโอน $G_c(s)$ ในรูปที่ 3.24 จะได้ดังสมการ 3.24

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (3.24)$$

เมื่อ K_d คืออัตราขยายเชิงอนุพันธ์ (Derivative gain) และ T_d คือค่าเวลาอนุพันธ์ (Derivative time) โดยการควบคุมแบบพีไอดีจะเพิ่มจำนวนซีโรให้กับระบบเท่ากับ 2 ตัวและเพิ่มจำนวนโพล 1 ตัว และทำให้ชนิดของระบบเพิ่มขึ้น 1 ดังนั้นตัวควบคุมแบบพีไอดีจึงสามารถปรับปรุงผลตอบสนองชั่วคราวและผลตอบสนองในสภาวะอยู่ตัว แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ K_p , T_i และ T_d ให้มีค่าเหมาะสม

จากที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลโดยในการควบคุมนั้นจะใช้สำหรับการควบคุมอัตราการไหลของ

อากาศทั้งสามส่วน รวมถึงการควบคุมของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเขียนโปรแกรมของเครื่องควบคุม PLC

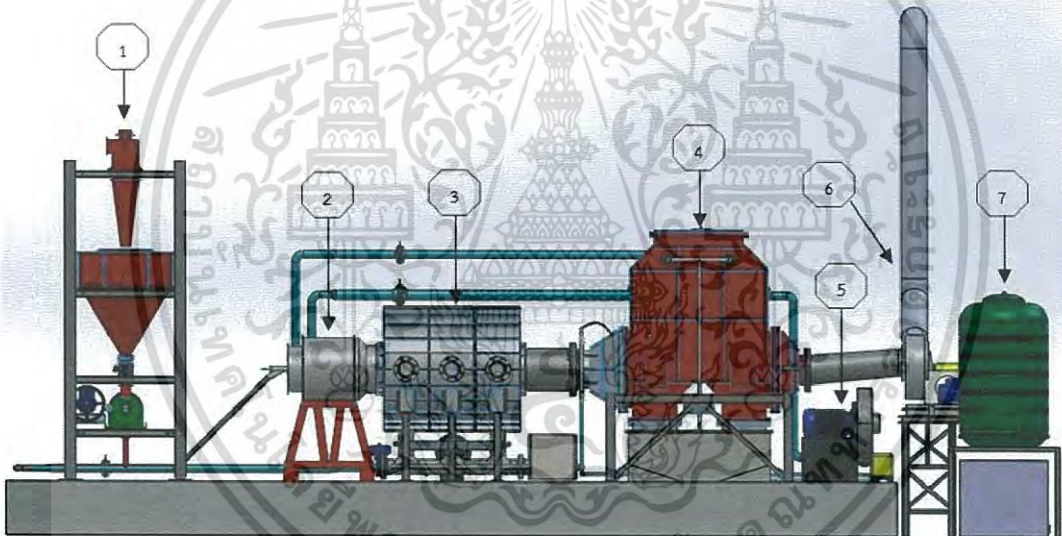


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคำนวณ และการออกแบบชุดทดสอบ

เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการต่อเนื่อง จึงขออ้างถึงการศึกษาข้อควรปรับปรุงของระบบเดิม เพื่อที่จะสามารถคำนวณและออกแบบพัฒนาชุดทดลอง ให้สามารถทำงานได้ต่อเนื่องและมีผลผลิตที่สูงขึ้น ในหัวข้อนี้จะนำเสนอถึงรายละเอียดการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีต่างๆ ที่ได้เสนอในบทที่ 3 ได้แก่ กลศาสตร์ของไหล หลักการขนถ่ายวัสดุ เป็นต้น เพื่อให้ได้มาซึ่งชุดทดสอบการบดและลำเลียง เชื้อเพลิงชีวมวลผง ซึ่งนอกเหนือจากส่วนอุปกรณ์ที่ต้องออกแบบเพิ่มเติมแล้ว ทางทีมวิจัยจะต้องออกแบบระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง โดยการเพิ่มเติมวงจรไฟฟ้าที่ชุดควบคุมมอเตอร์และการเขียนโปรแกรม (PLC) ให้สอดคล้องกัน ซึ่งรูปแบบของชุดทดสอบเดิมแสดงดังรูปที่ 4.1



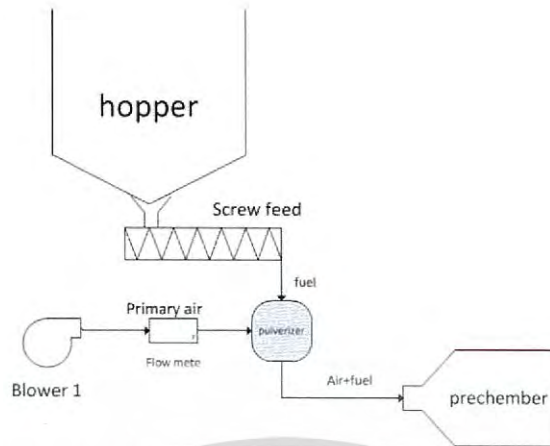
รูปที่ 4.1 ชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง (1) ระบบบด และป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลผง, (2) หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล, (3) ห้องเผาไหม้, (4) ระบบบำบัดไอเสีย wet scrubber, (5) ระบบป้อนอากาศ, (6) พัดลมดูดอากาศ และปล่องควัน, (7) บ่อตกตะกอน และระบบหมุนเวียนน้ำ

4.1 การวิเคราะห์ข้อควรปรับปรุงของระบบเดิมในส่วนการบดและลำเลียง

ในช่วงที่ผ่านมาได้มีการทดลองบดและลำเลียงเชื้อเพลิงมาหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบพบปัญหาและข้อจำกัดที่แตกต่างกันทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนและพัฒนารูปแบบการทำงานอย่างเป็นลำดับ จึงขอยกตัวอย่างและอธิบายการทดลองแต่ละแบบโดยสังเขปดังนี้

4.1.1 การทดลองบดและเก็บเชื้อเพลิงแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การนำเชื้อเพลิงเม็ดลงสู่เครื่องบดแล้วส่งเข้าหัวเผาโดยตรง

ในเบื้องต้นได้กำหนดเป้าหมายที่จะทำการทดลองเผาโดยการนำเชื้อเพลิงเม็ดมาป้อนลงสู่เครื่องบดชนิด (Pin mill) และนำเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดพ่นเข้าสู่หัวเผาโดยตรง โดยคาดว่าจะทำให้มีช่วงเวลาและระยะทางที่เชื้อเพลิงอยู่ในลักษณะที่เป็นผงสั้นที่สุด เนื่องจากความกังวลทางด้านความปลอดภัยของเชื้อเพลิงที่อยู่ในลักษณะผงซึ่งสามารถติดไฟและระเบิดได้ง่าย ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 เชื้อเพลิงอัดเม็ดและเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้ว

จากการทดลองพบว่าแรงลมที่เกิดจากการทำงานของเครื่องบดชนิดพินมิล (Pin mill ในรูปที่ 5) เกินความต้องการใช้ในการเผาไหม้ที่ทุกย่านการทดลอง จึงมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนรูปแบบในการส่งเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้

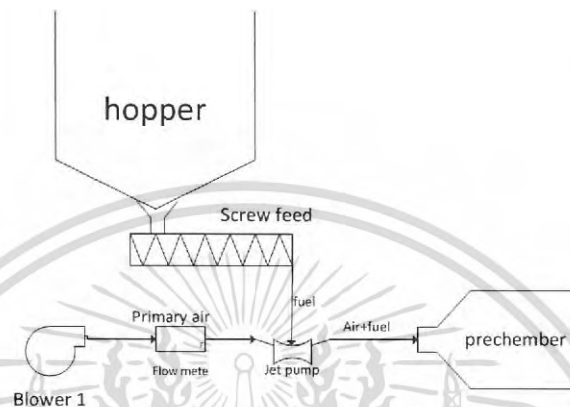


รูปที่ 4.4 ลักษณะเครื่องบดชนิด Pin mill ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การทดลองบดและเก็บเชื้อเพลิงแบบที่ 2

ในการทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะแก้ไขข้อจำกัดของการทดลองแบบที่ 1 โดยทำการบดเชื้อเพลิงเม็ดให้เป็นผงแล้วทำการเก็บไว้ให้เพียงพอต่อความต้องการทดลองแต่ละครั้ง หลังจากนั้นก็ทำการบรรจุเชื้อเพลิงผงลงสู่ฮอปเปอร์แล้วจึงขนถ่ายลำเลียงสู่หัวเผา ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การนำเชื้อเพลิงผงที่บรรจุในฮอปเปอร์เข้าหัวเผา

การบรรจุเชื้อเพลิงเม็ดสู่ฮอปเปอร์แล้วทำการบดเก็บนั้นมีความซับซ้อนและทำด้วยความยากลำบากอันเนื่องมาจาก 1) ในการแยกอากาศที่เกิดจากการทำงานของเครื่องบดและเชื้อเพลิงออกจากกันนั้นขาดเครื่องมือที่มีความเหมาะสม ทำให้มีการอุดตันที่ Bag filter และการอุดตันนั้นจะค่อยๆ ลามมาจะถึงเครื่องบด เป็นเหตุให้ต้องมีการถอดประกอบเพื่อทำการแก้ไขอยู่บ่อยครั้ง ทำให้เกิดความล่าช้าไม่ต่อเนื่อง 2) เนื่องจากต้องใช้ฮอปเปอร์ที่มีอยู่อันเดียวร่วมกัน ในการเปลี่ยนโหมดจากการบดเชื้อเพลิงผงเพื่อเก็บมาเป็นการทดลองเผาเชื้อเพลิงนั้น ต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์หลายชิ้นส่วน เช่น เปลี่ยนท่อตรงที่ส่งเชื้อเพลิงเม็ดมาสู่เครื่องบดมาเป็น Jet Chamber เพื่อทำหน้าที่ฉีดพ่นเชื้อเพลิงผงโดยอากาศเข้าห้องเผาใหม่โดยต้องทำการถอดฝาเครื่องบดออกเพื่อให้สามารถติดตั้ง Jet Chamber ได้ดังที่แสดงในรูปที่ 4.6 และต้องทำการเปลี่ยนทิศทางและหน้าที่ของท่ออากาศและท่อเชื้อเพลิง ทำให้ในการเปลี่ยนโหมดแต่ละครั้งต้องใช้เวลาและกำลังคนในการจัดเตรียมพอสมควร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 ความแตกต่างระหว่างโหมดการบดเชื้อเพลิงผงเพื่อเตรียมทดลองและโหมดการนำเชื้อเพลิงผงมาทดลองเผา

3) พบว่าการบดเชื้อเพลิงโดยใช้ตะแกรงขนาดรู 0.5 มม. เพื่อใช้ในการทดลองนั้น เครื่องบดชนิดพินมิลนี้สามารถผลิตเชื้อเพลิงผงในอัตราที่ต่ำมากไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ (ในการทดลองการเผาที่ 1 MW ความร้อน ต้องการเชื้อเพลิงประมาณ 3.8 กก./นาท หรือประมาณ 230 กก./ชม.) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันมากระหว่างความสามารถผลิตเชื้อเพลิงผงกับความต้องการใช้ จึงทำให้ต้องใช้เวลามากในการบดเชื้อเพลิงให้เป็นผงเพื่อเตรียมทดลอง แต่สามารถนำเชื้อเพลิงที่บดแล้วมาทดลองจริงได้ไม่นาน และยังไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของสถานที่เก็บเชื้อเพลิงผงรวมถึงปัญหาเรื่องเชื้อเพลิงอัดเม็ดเมื่อถูกทำให้เป็นผงแล้วจะสามารถดูดความชื้นในบรรยากาศได้ดีทำให้คุณภาพของเชื้อเพลิงตกลง



รูปที่ 4.7 อัตราการบดเชื้อเพลิงที่ขนาดรูตะแกรงต่างๆ

4.1.3 วิเคราะห์ปัญหาจากการทดลองบดและเก็บเชื้อเพลิงแบบที่ 1 และแบบที่ 2

4.1.3.1 ปัญหาหลักที่เกิดจากการทดลองในแบบที่ 1 พบว่า

ก. การต่อท่อเพื่อนำเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงนั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจาก มีอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากการทำงานของเครื่องบดเกินความต้องการที่เราต้องใช้ใน ห้องเผาไหม้ทุกย่านการทดลอง

4.1.3.2 ปัญหาหลักที่เกิดจากการทดลองในแบบที่ 2 พบว่า

ก. เกิดการอุดตันที่ถุงดักฝุ่นโดยคาดว่า มีสาเหตุมาจาก ฝุ่นดักฝุ่นที่มีใช้อยู่มีพื้นที่ผิวในการระบายอากาศไม่เพียงพอและความถี่ของถุงมีความถี่สูงเกินไปทำให้เกิดการอันของอากาศ เมื่อเกิดการอันอากาศจะไหลช้าลงทำให้เชื้อเพลิงที่ถูกพาโดยอากาศเคลื่อนที่ช้าลงและ ค่อยๆสะสมในท่อจนเกิดการอุดตัน

- ข. อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงที่ต้องบดผ่านตะแกรงขนาดรู 0.5 มม. ของเครื่องบดชนิดพินมิล นั้นมีอัตราการผลิตที่ต่ำ ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้
- ค. เมื่อเกิดปัญหาดังที่กล่าวไว้ในข้อที่ 4.1.2 ในการออกแบบระบบเดิมที่มีฮอปเปอร์อันเดียว แต่มีความจำเป็นต้องสับเปลี่ยนเชื้อเพลิงสองชนิดนั้นทำให้เกิดความยุ่งยากซับซ้อนในการ ถอดและสับเปลี่ยนอุปกรณ์หลายชิ้น

4.2 การจัดหาเครื่องบด

เนื่องจากเครื่องบดมีราคาสูงเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าและเหมาะสมในการจัดหาเครื่องบดเพื่อใช้ในการวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการหาข้อมูลและทดสอบเบื้องต้นกับผู้ที่มีความรู้ในอุตสาหกรรมทั้งผู้ขาย และผู้ใช้งานโดยตรงโดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การเยี่ยมชมโรงงานผลิตเครื่องบดและขายในอุตสาหกรรมอาหาร(พุทธมณฑลสาย 2)

เครื่องบดขนาดใหญ่ที่มีในร้านนี้ส่วนมากจะเป็นแบบชนิดพินมิล(Pin mill) ในเบื้องต้นผู้ขายมีความเห็นว่าเครื่องบดที่มีอยู่ในร้านที่เป็นชนิดพินมิล(Pin mill)ไม่เหมาะสมที่จะบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีความแข็งมากและไม่สามารถบดเชื้อเพลิงให้เป็นผงได้ในอัตรา 240 กก./ชม. ตามที่กำหนด ผู้วิจัยจึงได้นำซีดีและซีดีไปเพื่อขอทดสอบสมรรถนะแต่ผู้ขายมีข้อแม้ในการขอทดสอบว่า 1.) ต้องเสียค่า สึกหรือในการทดลอง 2.) เมื่อทดลองเสร็จและอัตราการบดได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้แล้วต้องซื้อ กลับทันที จากข้อแม้ดังกล่าวและเมื่อเทียบกับราคาตาเครื่องที่ค่อนข้างสูง ประกอบกับความไม่พร้อมในการเตรียมเงินและรถในการขนส่ง ผู้ช่วยวิจัยและอาจารย์ที่ปรึกษาจึงลงความเห็นว่าจะระงับการทดสอบไว้ก่อน

4.2.2 การเยี่ยมชมโรงงานแปรรูปอาหารสัตว์ (ลพบุรี)

มีจุดมุ่งหมายคือต้องการดูสภาพและทดสอบสมรรถนะเครื่องบด(Hammer mill) ขนาดใหญ่มีสองแต่ยังอยู่ในสภาพดีที่เหลือใช้ในโรงงานดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยได้รับการบอกกล่าวจากผู้ประกอบการว่าเครื่องบดนี้สามารถทำการบดกากมันได้ที่อัตราประมาณ 1 ton/hr แต่เนื่องจากไม่มีเอกสารรับรองและวัสดุที่ถูกบดเป็นคนละชนิดกับความต้องการผู้วิจัยจึงทำการเดินทางเพื่อดูและทดสอบการบดเบื้องต้นโดยเตรียมเชื้อเพลิงไม้ยางพาราอัดแท่งไปด้วยจำนวนหนึ่ง ซึ่งผลการทดสอบในเบื้องต้นเป็นที่น่าพอใจคือเครื่องบดทำงานได้ดี มีอัตราการบดผ่านตะแกรงขนาดรู 1 มม. ได้มากกว่า 340 กก./ชม. (ประมาณที่ 1.5 MW ความร้อน สำหรับไม้ยางพารา) ผู้วิจัยได้รายงานผลการทดสอบแก่อาจารย์ที่ปรึกษาให้พิจารณาแล้วและได้ทำการสอบถามต่อรองราคาจนเป็นที่พอใจทั้งสองฝ่ายแล้วจึงได้ลงความเห็นที่จะเลือกซื้อเครื่องบดชนิดนี้มาใช้งานในการวิจัย ในการเยี่ยมชมครั้งนี้ อาจารย์ที่ปรึกษายังได้แลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมให้มีความเหมาะสมปลอดภัยและการลดต้นทุนในการผลิต ผู้ช่วยวิจัยยังได้แนวคิดเรื่องมัลติฟิเลเตอร์ มาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ปัญหาในเรื่องการอุดตันของระบบลำเลียงเชื้อเพลิงผงด้วยลมอันเนื่องมาจากพื้นที่ผิวของฟิลเตอร์เดิมมีน้อยไม่เพียงพอต่อการระบายอากาศในระบบ



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของเครื่องบดชนิด Hammer mill

ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการทดสอบความสามารถในการบดของเครื่องบดชนิด Hammer mill นี้เมื่อถูกนำมาใช้ในกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงผง โดยจะแสดงผงในรูปของอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในบทที่ 5 ต่อไป

4.3 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์สำหรับพัดลม

หา Head Loss เมื่อ

- ท่อ PVC มีค่า ความขรุขระ=0.0015 มม. ที่ T=25 องศาเซลเซียส
- ความสูงท่อ 5 ม.
- ความยาวท่อรวม 8-9 ม.
- ELBOW 45 องศา 3 ตัว K = 0.4
- ข้อต่อสามทาง 2 ตัว K = 0.6
- ท่อขนาด 4 นิ้ว D = 101.6 มม.
- ความเร็วในท่อ 10 m/s โดยกำหนดจากความเร็วของอากาศชั้นต่ำที่ทางเข้าของไซโคลน โดยประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 98 %

จากตาราง μ ที่ 25 องศาเซลเซียส = $1.85 \cdot 10^{-5}$

$$\text{จากสมการแบร์นูลลี} \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + f \frac{l V^2}{D 2g} + \frac{KLV^2}{2g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา Major loss จาก

$$\text{สมการ } h_f = \frac{fLV^2}{2gD} \text{ หาค่า } f \text{ จากตาราง Moody diagram โดยหาจาก } Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

$$Re = \frac{1.84 \times 10 \times 0.1016}{1.85 \times 10^{-5}} = 65024$$

$$\text{ความขรุขระ} = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0.0000015}{0.1016} = 1.47 \times 10^{-5}$$

จาก Moody Diagram ได้ค่า $f = 0.019$

$$\therefore h_f = \frac{0.019 \times 9 \times 10^2}{2(9.81)(0.1016)} = 8.578 \text{ m.}$$

หา Minor loss จากสมการ $\frac{KV^2}{2g}$

$$\text{ข้อต่อ 45 องศา 2 ตัว} = \frac{2 \times 0.4 \times 10^2}{2 \times 9.81} = 4.077 \text{ m}$$

$$\text{ข้อต่อ 3 ทาง 2 ตัว} = \frac{3 \times 0.6 \times 10^2}{2 \times 9.81} = 9.174 \text{ m}$$

$$\text{ทางออกจากไซโคลน 2 ทาง} = \frac{2 \times 10^2}{2 \times 9.81} = 10.20 \text{ m}$$

$$\therefore \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + 8.578 + (9.174 + 10.20 + 4.077)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = Z_2 - Z_1 + 32.029$$

$$\Delta P = (5 + 32.029) \times 1.184 \times 9.81 = 430.093 \text{ Pa}$$

ความดันสูญเสียทั้งหมดในระบบ = ความดันสูญเสียจากระบบท่อ + ความดันสูญเสียจากฟิลเตอร์

$$\therefore \Delta P = 430.093 + 498.177 = 928.27 \text{ Pa}$$

$$\text{Safety Factor}(3.5) = 928.27 \times 3.5 = 3248.945 \text{ Pa}$$

$$H_{\text{loss}} = \frac{3248.945}{1.184 \times 9.81} = 279.71 \text{ m}$$

หาขนาดของมอเตอร์พัดลม

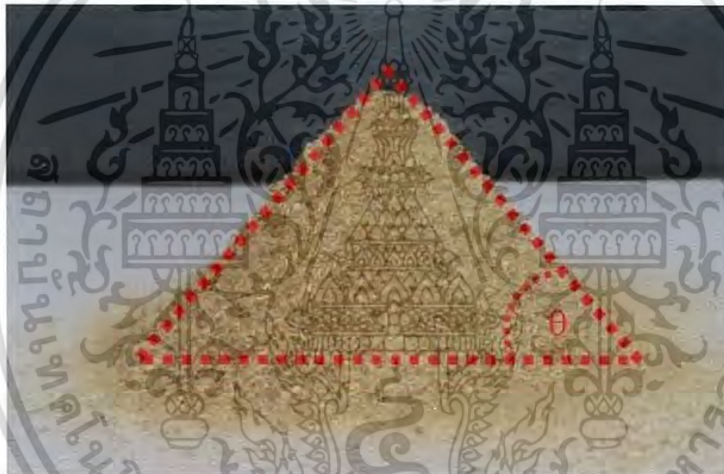
$$\text{กำลังมอเตอร์} = \Delta P \cdot Q = 3248.946 \times 0.08107 = 259.916 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากพัดลมที่สามารถจัดหามาได้นั้นมีขนาด 2 KW และทำความเร็วลมในท่อขนาด 2.5 นิ้ว ที่ใช้สำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงผงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บได้ที่ความเร็วลมประมาณ 21.7 - 23 m/s ซึ่งมากเกินไปความต้องการของระบบแต่ถือว่าเป็นผลดีสำหรับการขนถ่ายเชื้อเพลิงในอัตราสูงๆ และยังส่งผลดีต่อการแยกผงเชื้อเพลิงออกจากการแผลมพาหะในเครื่องแยกอนุภาคด้วยไซโคลน รายละเอียดของการออกแบบและสมรรถนะ สามารถสืบค้นได้ในงานวิจัยของสมาชิกในห้องปฏิบัติการของนางสาวสิริธิดา สุขทั่ว [2] ทั้งนี้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินพัดลม เพื่อสร้างกระแสลมพาหะนี้จะได้กล่าวถึงในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลองในบทที่ 6

4.4 การออกแบบ Hopper

ในการออกแบบถังพักเชื้อเพลิงนั้น มีข้อควรพิจารณาก่อนทำการออกแบบดังนี้ ไม่ว่าจะเป็น ปริมาตรที่ต้องการ สมบัติของวัสดุ ความหนาแน่น และมุมกองของวัสดุ เป็นต้น

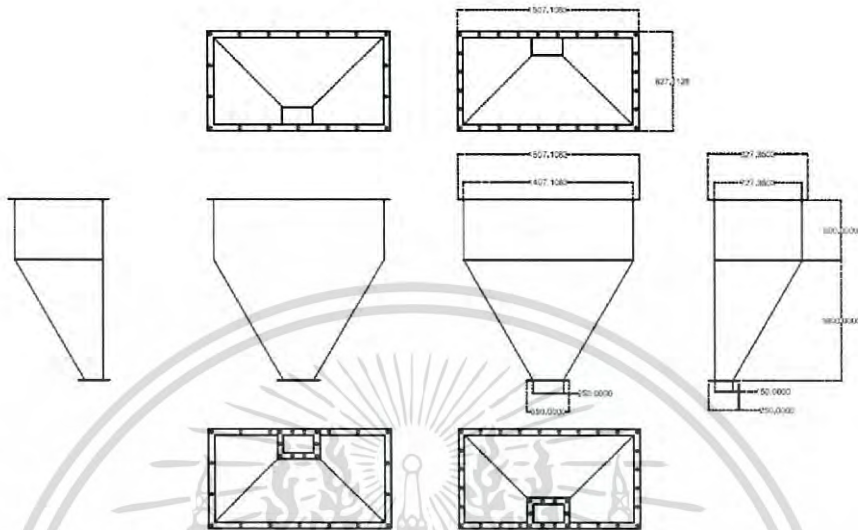


รูปที่ 4.9 มุมกองของวัสดุ

มวลวัสดุเมื่อถูกเทออกจากภาชนะบรรจุก็จะเกิดการเลื่อนไหลกลายเป็นกองวัสดุตามธรรมชาติ มุมที่พื้นผิวของวัสดุกระทำกับพื้นราบจะ เรียกว่า มุมกองวัสดุ (angle of repose) ซึ่งมุมกองวัสดุนี้จะสามารถบอกถึงคุณสมบัติในการไหลของวัสดุ สามารถนำไปคำนวณหาปริมาตรของวัสดุที่อยู่บนอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ และในถังเก็บวัสดุได้อีกด้วย เมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 แสดงมุมกองของกลุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลผง ซึ่งจากรูปจะพบว่าเชื้อเพลิงดังกล่าวจะมีมุมกองของวัสดุ (θ) อยู่ที่ประมาณ 50 องศา ซึ่งมุมนี้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณปริมาตรถังพักเชื้อเพลิงต่อไป

จึงทำการออกแบบและจัดสร้างฮอปเปอร์สำหรับบรรจุเชื้อเพลิงผงให้มีความปลอดภัยและมีปริมาตรเพียงพอสำหรับการทดลองเผาเชื้อเพลิงที่ 1 MW ความร้อน อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เมื่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงผงมีค่าประมาณ 396 กก./ลบ.ม. โดยรูปทรงต้องคำนึงถึงการกองของเชื้อเพลิงผงให้น้อยที่สุดโดยพิจารณาถึงมุมกองเชื้อเพลิงตามธรรมชาติที่ประมาณ 50 องศา จึงออกแบบให้ด้านที่มีความลาดเอียงของถังพักทั้งสามด้านทำมุม 60 องศากับแนวระนาบ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถติดตั้งอุปกรณ์สันเพิ่มเติมเพื่อลดการกองของเชื้อเพลิง โดยที่ฮอปเปอร์ที่ออกแบบนั้นมีลักษณะดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ลักษณะของฮอปเปอร์ที่ใช้บรรจุเชื้อเพลิง

4.4.1 การคำนวณหาปริมาตรของฮอปเปอร์เพื่อให้สามารถบรรจุเชื้อเพลิงเพื่อการทดลองเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที

เมื่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงมีค่าประมาณ 396 กก./ลบ.ม. และอัตราการใช้เชื้อเพลิงผงที่ 1 MW ความร้อนอยู่ที่ประมาณ 230 กก./ชม.

ปริมาตรของฮอปเปอร์ที่ออกแบบไว้มีขนาดประมาณ 1.868 ลบ.ม.

ฉะนั้นจะสามารถจุเชื้อเพลิงได้

$$m = 1.868 \times 396 = 739.726 \text{ kg}$$

แต่ในความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถใส่เชื้อเพลิงผงให้เต็มความจุได้ เนื่องจากการลำเลียงเชื้อเพลิงผ่านไซโคลนลงสู่ฮอปเปอร์ทางด้านบนนั้นเชื้อเพลิงจะกองในลักษณะภูเขารูปกรวยหรือพีระมิด

จึงประมาณความจุเชื้อเพลิงของฮอปเปอร์ไว้ที่

$$m = 0.898 \times 396 = 355.608 \text{ kg}$$

เพราะฉะนั้นฮอปเปอร์สามารถจุเชื้อเพลิงสำหรับการทดลองได้เป็นเวลาประมาณ

$$T = \frac{355.608}{230} = 1.546 \text{ hr}$$

4.5 การออกแบบ Bag house

ทำการออกแบบและ Bag house ให้มีพื้นที่ผิวสำหรับถ่ายเทอากาศอย่างเพียงพอ เพื่อไม่ให้เกิดการอันของอากาศสูงเกินไปจนทำให้เกิดการอุดตันและกรองอากาศออกจากฝุ่นเชื้อเพลิงขนาดเล็กที่หลุดลอยออกมาจากไซโคลน มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ลักษณะของ Bag house ที่ได้ออกแบบใหม่

โดยภายในตัว Bag house จะบรรจุถุงผ้า(filter)จำนวนสองใบ โดยแต่ละใบมีพื้นที่สำหรับถ่ายเทอากาศดังนี้

$$A = 2\pi rh = 2\pi 0.2 \times 1 = 1.257 \text{ m}^2$$

มีจำนวนสองใบใน Baghouse $\therefore A_{Total} = 1.257 \times 2 = 2.513 \text{ m}^2$

และเลือกฟิลเตอร์ที่มีอัตราการซึมผ่านที่ $17.3 \text{ cc/cm}^2/\text{sec}$ หรือเท่ากับ $0.173 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sec}$

ดังนั้นฟิลเตอร์สามารถรองรับอากาศผ่านได้ $0.173 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{sec} \times 2.513 \text{ m}^2 = 0.4247 \text{ m}^3/\text{sec}$

4.6 การออกแบบ Orifice Plate

จากเงื่อนไขความต้องการอากาศของอากาศปฐมภูมิ ทุตติยภูมิและตติยภูมิ เข้าสู่หัวเผาที่ 0.75 MW จะได้ว่า

Pri. air volume flow	0.0332	m^3/sec
Sec. air volume flow	0.2159	m^3/sec
Ter. air volume flow	0.0830	m^3/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้อัตราการไหลและได้ค่า Flow coefficients (K) จากรูปที่ 4.12 แล้ว นำค่าความต้องการอากาศสูงสุดของแต่ละท่อไปคำนวณขนาดของ Orifice plate ตามมาตรฐาน ISO 5167 โดยแสดงการคำนวณความต้องการใช้อากาศของแต่ละย่านการทดลองเผาไม้คือ 750 kW, 500 kW และ 250 kW ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการคำนวณขนาดของออริฟิสที่ 750 kW

รายการ	ขนาดท่ออากาศ 1		ขนาดท่ออากาศ 2		ขนาดท่ออากาศ 3		Unit
	2"	3"	3"	4"	3"	4"	
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ, OD	60.3000	88.9000	88.9000	114.3000	88.9000	114.3000	mm
ความหนาท่อ, t	3.9100	5.4900	5.4900	6.0200	5.4900	6.0200	mm
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, D	52.4800	77.9200	77.9200	102.2600	77.9200	102.2600	mm
พื้นที่หน้าตัดท่อ, A1	0.0022	0.0048	0.0048	0.0082	0.0048	0.0082	m ²
Thickness of orific, e	0.6560	0.9740	0.9740	1.2783	0.9740	1.2783	mm
	1.0000	1.0000	1.0000	1.5000	1.0000	1.5000	mm
	1	1	1	1	1	1	1=OK, 0=Fail
Thickness of plate, E	1.8120	2.4480	2.4480	3.3065	2.4480	3.3065	mm
	2.0000	2.5000	2.5000	3.5000	2.5000	3.5000	mm
	1	1	1	1	1	1	1=OK, 0=Fail
อัตราการไหล, Q	0.0332	0.0332	0.2159	0.2159	0.0830	0.0830	m ³ /s
ความเร็ว	15.3570	6.9662	45.2803	26.2903	17.4155	10.1117	m/s
Re	5157.98	3473.95	22580.73	17206.05	8684.89	6617.71	
**B	0.6700	0.6700	0.6700	0.6700	0.6700	0.6700	
เส้นผ่านศูนย์กลางรู orific, d	35.1616	52.2064	52.2064	68.5142	52.2064	68.5142	mm
	35.0000	52.0000	52.0000	68.5000	52.0000	68.5000	mm
dP	6.8140	1.3850	64.7100	19.9500	10.2000	2.8710	in.water

ในช่องสีเขียวแสดงให้เห็นถึงขนาดของออริฟิสที่เหมาะสม

ผลจากตารางการคำนวณขนาดออริฟิสจะเห็นว่าในการติดตั้งออริฟิสในท่อที่ 1 และ 2 นั้นค่าความดันแตกต่างกันสูงมาก จำเป็นต้องใช้การติดตั้งท่อในแบบ E เพื่อต้องการลดความดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นออริฟิสให้เครื่องมือวัดที่อยู่สามารถวัดได้และเพื่อป้องกันการ Over Load ของพัดลมในทั้งสองไลน์ ส่วน คือการขยายท่อในส่วนที่ติดตั้งแผ่นออริฟิสขึ้นท่อละ 1 นิ้ว ในไลน์ที่สามนั้นติดตั้งในท่อแบบ C เนื่องจากมีความดันตกคร่อมระหว่างแผ่นออริฟิสเหมาะสมอยู่แล้วคือการใช้ท่อขนาดเดิม

ตารางที่ 4.2 แสดงการคำนวณขนาดของออริฟิที่ 500 kW

รายการ	ขนาดท่ออากาศ 1		ขนาดท่ออากาศ 2		ขนาดท่ออากาศ 3		Unit
	2"	3"	3"	4"	3"	4"	
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ,	60.3000	88.9000	88.9000	114.3000	88.9000	114.3000	mm
ความหนาท่อ, t	3.9100	5.4900	5.4900	6.0200	5.4900	6.0200	mm
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ, D	52.4800	77.9200	77.9200	102.2600	77.9200	102.2600	mm
พื้นที่หน้าตัดท่อ, A1	0.0022	0.0048	0.0048	0.0082	0.0048	0.0082	m ²
Thickness of orific, e	0.6560	0.9740	0.9740	1.2783	0.9740	1.2783	mm
	1.0000	1.0000	1.0000	1.5000	1.0000	1.5000	mm
	1	1	1	1	1	1	1=OK, 0=Fail
Thickness of plate, E	1.8120	2.4480	2.4480	3.3065	2.4480	3.3065	mm
	2.0000	2.5000	2.5000	3.5000	2.5000	3.5000	mm
	1	1	1	1	1	1	1=OK, 0=Fail
อัตราการไหล, Q	0.0221	0.0221	0.1439	0.1439	0.0554	0.0554	m ³ /s
ความเร็ว	10.2380	4.6441	30.1869	17.5269	11.6103	6.7411	m/s
Re	3438.65	2315.97	15053.82	11470.70	5789.93	4411.81	
**B	0.6700	0.6700	0.6700	0.6700	0.6700	0.6700	
เส้นผ่านศูนย์กลางรู orific, d	35.1616	52.2064	52.2064	68.5142	52.2064	68.5142	mm
	35.0000	52.0000	52.0000	68.5000	52.0000	68.5000	mm
dP	3.0020	0.6132	27.0800	8.7080	3.8730	1.2760	in.water

ตารางที่ 4.3 แสดงการคำนวณขนาดของออริฟิที่ 250 kW

รายการ	ขนาดท่ออากาศ 1		ขนาดท่ออากาศ 2		ขนาดท่ออากาศ 3		Unit
	2"	3"	3"	4"	3"	4"	
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ, OD	60.300	88.900	88.900	114.300	88.900	114.300	mm
ความหนาท่อ, t	3.910	5.490	5.490	6.020	5.490	6.020	mm
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ, D	52.480	77.920	77.920	102.260	77.920	102.260	mm
พื้นที่หน้าตัดท่อ, A1	0.002	0.005	0.005	0.008	0.005	0.008	m ²
Thickness of orific, e	0.656	0.974	0.974	1.278	0.974	1.278	mm
	1.000	1.000	1.000	1.500	1.000	1.500	mm
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1=OK, 0=Fail
Thickness of plate, E	1.812	2.448	2.448	3.307	2.448	3.307	mm
	2.000	2.500	2.500	3.500	2.500	3.500	mm
	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1=OK, 0=Fail
อัตราการไหล, Q	0.011	0.011	0.072	0.072	0.028	0.028	m ³ /s
ความเร็ว	5.119	2.322	15.093	8.763	5.805	3.371	m/s
Re	1719.327	1157.986	7526.912	5735.351	2894.966	2205.904	
**B	0.670	0.670	0.670	0.670	0.670	0.670	
เส้นผ่านศูนย์กลางรู orific, d	35.162	52.206	52.206	68.514	52.206	68.514	mm
	35.000	52.000	52.000	68.500	52.000	68.500	mm
dP	0.755	0.155	6.568	2.158	0.964	0.319	in.water

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากตารางการคำนวณขนาดออริฟิสทั้งสามตารางจะเห็นว่า ในช่องสี่เหลี่ยมความดันแตกต่างกัน ได้ออกมานั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ ในย่านที่มีการไหลสูงความดันแตกต่างกันไม่สูงจนเกินไปจนส่งผลให้เกิดความดันสูญเสียมากและในย่านที่มีอัตราการไหลไม่สูงมากความดันแตกต่างกันก็ยังมีค่ามากพอที่เครื่องมือวัดสามารถวัดได้ และขนาดออริฟิสก็แสดงผลตามตารางที่ 4.1 - 4.3 และแสดงความต้องการระยะเส้นตรงทั้งด้านหน้าและด้านหลังออริฟิสของแต่ละท่อดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงระยะเส้นตรงทั้งด้านหน้าและด้านหลังออริฟิสของแต่ละท่อเป็นดังนี้

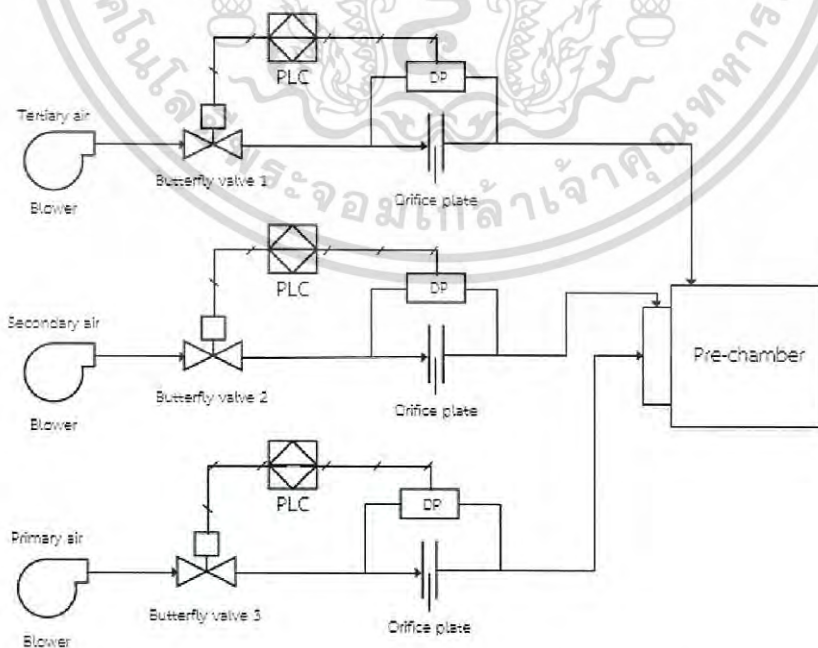
		ท่อ 1	ท่อ 2	ท่อ 3	หน่วย
ความยาว Upstream	30D	2337.6	3067.8	2337.6	mm.
ความยาว Downstream	7D	545.4	715.8	545.4	mm.

4.7 ระบบควบคุมอากาศที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผงและใช้ในการเผาไหม้ [16,17]

ในการควบคุมอากาศให้สอดคล้องกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้น ได้มุ่งเน้นในส่วน ของระบบอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ทั้งสามส่วนและระบบเตรียมเชื้อเพลิงผง

4.7.1 ระบบอากาศสำหรับการเผาไหม้

ในการควบคุมระบบอากาศทั้งสามส่วนโดยใช้ PLC นั้น อุปกรณ์หลักที่สำคัญ ประกอบด้วย วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) และ Differential Pressure Transmitter ร่วมกับ แผ่นออริฟิสดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยในการพัฒนาควบคุมรวมถึงการสอบเทียบระบบอากาศสำหรับการเผาไหม้ทั้งสามส่วนได้ร่วมมือกับกับผู้วิจัยร่วม [4]



รูปที่ 4.12 ระบบจ่ายอากาศสำหรับหัวเผาชีวมวลชนิดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1.1 อากาศปฐมภูมิ (Primary Air)

ท่อของอากาศปฐมภูมินั้นท่อช่วงที่ติดตั้งแผ่นออริฟิสมิขนาด 3 นิ้ว โดยแผ่นออริฟิสมิพื้นที่หน้าตัด 0.0021 ตารางเมตร ซึ่ง Differential Pressure Transmitter ที่ใช้ปรับย่านการวัดไว้ที่ 0-10 mbar โดยคำนวณหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (Mass Flow Rate) ได้ เมื่อค่า C เป็นค่าคงที่กำหนดให้เท่ากับ 0.7 และค่า A_2 คือพื้นที่หน้าตัดแผ่นออริฟิส โดยค่า ρ เป็นค่าความหนาแน่นของอากาศกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.184 (kg/m³) จากนั้นทำการคูณ 100 เพื่อแปลงหน่วยจากมิลลิบาร์ (mbar) เป็น ปาสกาล (Pa) ซึ่งจะได้

$$\dot{m} = 0.022879\sqrt{\Delta P}$$

เมื่อได้สมการอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศส่วนปฐมภูมิแล้ว จึงนำไปเขียนโปรแกรมใน TIA Portal V13 ซึ่งค่า ΔP นั้นจะได้มาจาก Differential Pressure Transmitter โดยการนำสัญญาณเข้ามาที่เครื่องควบคุม (PLC) มาคำนวณและแปลงค่าเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อไป

4.7.1.2 อากาศทุติยภูมิ (Secondary Air)

ท่อของอากาศทุติยภูมินี้มีความพิเศษกว่าอากาศส่วนอื่นคือ อากาศส่วนนี้นอกจะมีส่วนใช้ในการเผาไหม้แล้วยังทำหน้าที่ขนถ่ายเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วย โดยท่อช่วงที่ติดตั้งแผ่นออริฟิสมิขนาด 4 นิ้ว ซึ่งแผ่นออริฟิสมิพื้นที่หน้าตัด 0.00368 ตารางเมตร ซึ่ง Differential Pressure Transmitter ปรับย่านการวัดไว้ที่ 0-100 mbar โดยคำนวณหาค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (Mass Flow Rate) ได้ เมื่อค่า C เป็นค่าคงที่กำหนดให้เท่ากับ 0.7 และค่า A_2 คือพื้นที่หน้าตัดแผ่นออริฟิส โดยค่า ρ เป็นค่าความหนาแน่นของอากาศกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.184 (kg/m³) จากนั้นทำการคูณ 100 เพื่อแปลงหน่วยจากมิลลิบาร์ (mbar) เป็น ปาสกาล (Pa) ซึ่งจะได้

$$\dot{m} = 0.039694\sqrt{\Delta P}$$

เมื่อได้สมการอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศส่วนทุติยภูมิแล้ว จึงนำไปเขียนโปรแกรมใน TIA Portal V13 ซึ่งค่า ΔP นั้นจะได้มาจาก Differential Pressure Transmitter โดยการนำสัญญาณเข้ามาที่เครื่องควบคุม (PLC) มาคำนวณและแปลงค่าเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อไป

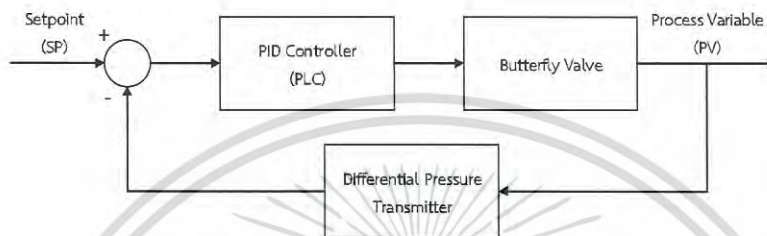
4.7.1.3 อากาศตติยภูมิ (Tertiary Air)

ในส่วนของอากาศตติยภูมินั้นขนาดท่อมิขนาด 3 นิ้ว เช่นเดียวกับกับอากาศปฐมภูมิ เพราะฉะนั้นสมการที่ใช้คำนวณหาอัตราการไหลอากาศเชิงมวลจึงใช้สมการเดียวกับอากาศส่วนปฐมภูมิ Differential Pressure Transmitter แต่ปรับย่านการวัดที่ 0-50 (mbar) โดยการนำสัญญาณเข้ามาที่เครื่องควบคุม (PLC) มาคำนวณและแปลงค่าเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตรต่อไป

4.7.1.4 การควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly control valve) ทั้งสามด้วยรูปแบบการควบคุมชนิด PI Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนากระบวนการควบคุมของวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly control valve) ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนคือ อากาศปฐมภูมิ อากาศทุติยภูมิ และอากาศตติยภูมิ ด้วยการนำการควบคุมชนิดพีไอเอามาใช้งาน โดยลักษณะของการควบคุมนั้นมืองค์ประกอบคือ ฟังก์ชันพีไอเอของโปรแกรม TIA Portal V13 วาล์วปีกผีเสื้อ และ Differential Pressure Transmitter ที่สามารถหาค่าอัตราการไหลของอากาศเชิงปริมาตรดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีลักษณะการควบคุมดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ระบบการควบคุมอัตราการไหลของอากาศ Primary Air Secondary Air และ Tertiary Air การควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อสำหรับควบคุมอากาศทั้งสามส่วนนั้นสามารถทำได้ด้วยการที่ผู้ใช้งานกำหนดค่า Set point (SP) ที่เป็นค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตร ($Q, m^3/s$) ที่หน้าจอแสดงผลจากนั้นจะเข้าสู่ฟังก์ชันการควบคุมชนิดพีไอเอ เพื่อนำไปควบคุมวาล์วปีกผีเสื้อ โดยการควบคุมนั้นจะเป็นไปตามค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตร ($Q, m^3/s$) ที่ทำการสอบเทียบไว้ก่อนหน้านี้ด้วย Hot wire anemometer โดยวัดสอบเทียบกับเครื่องมือวัดชนิด Differential Pressure Transmitter

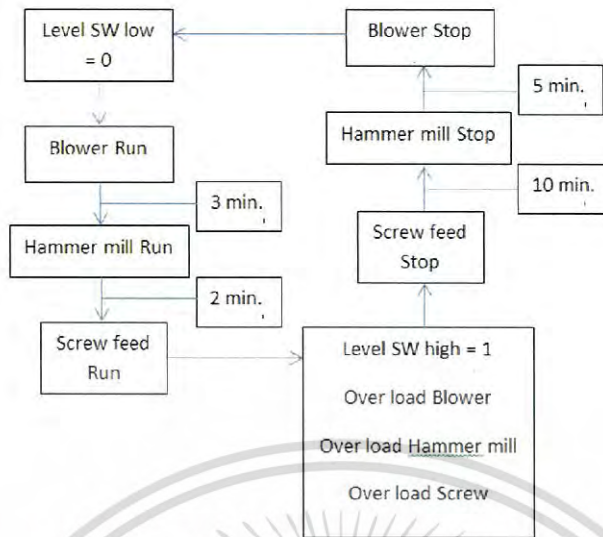
โดยโครงการนี้ได้เลือกการควบคุมชนิดพีไอ (PI Controller) สำหรับการควบคุมการไหลของอากาศทั้งสามส่วนเพราะ การควบคุมการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้นั้นต้องการให้เข้าหาเป้าหมาย (Setpoint) ได้อย่างรวดเร็วแต่ไม่ต้องการให้เกิดการ Overshoot หรือ Undershoot ของอัตราการไหลอากาศจากการควบคุม อันเนื่องมาจากคุณลักษณะของวาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly control valve) ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากในช่วงการเปิดที่ 30-70 เปอร์เซ็นต์วาล์ว ซึ่งเป็นช่วงใช้งานที่ดีสำหรับควบคุมการป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้ทั้งสามส่วน

4.8 การทำให้ระบบเตรียมเชื้อเพลิงเป็นอัตโนมัติ

4.8.1 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์

การเขียนโปรแกรมในการเตรียมเชื้อเพลิงให้เป็นอัตโนมัตินั้นมีจุดมุ่งหมายให้สามารถสั่งการอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ เช่น อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมใบสกรู เครื่องบดและพัดลมที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผง เหล่านี้ได้จากทั้งที่ตู้ควบคุมเหมือนเดิมและคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับ PLC โดยให้สามารถสั่งงานเฉพาะแต่ละอุปกรณ์ (Manual) หรือให้อุปกรณ์ทำงานเป็นลำดับขั้นตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม (Auto) ซึ่งมีวงจรการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

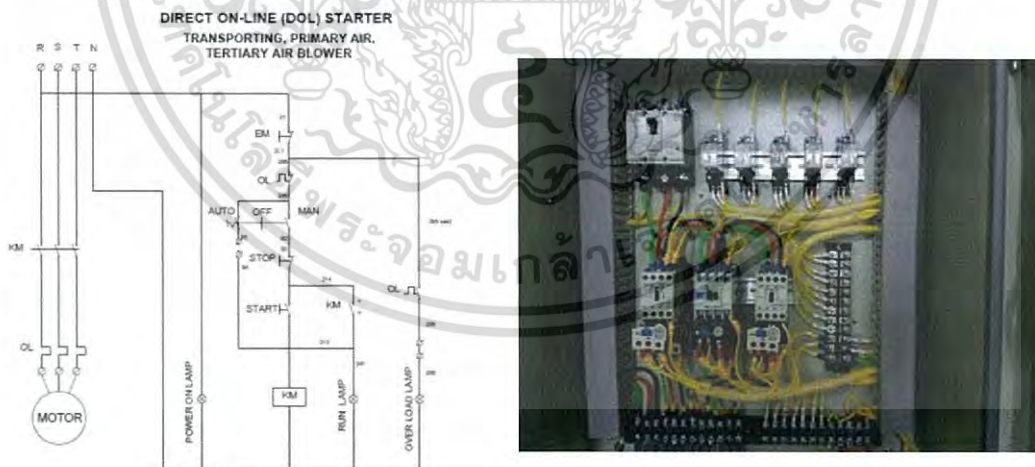


รูปที่ 4.14 ลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงอัตโนมัติ

4.8.2 การตัดแปลงวงจรควบคุมมอเตอร์เพื่อให้ระบบเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลผงให้ทำงานได้อัตโนมัติ

โดยวงจรที่จำเป็นต้องตัดแปลงเพื่อทำให้เครื่องจักรและตัวควบคุมสามารถรับรู้สถานะและรับคำสั่งได้มีสองวงจร คือวงจรควบคุมของพัดลมลำเลียงเชื้อเพลิงผงและวงจรควบคุมเครื่องบด

4.8.2.1 การตัดแปลงวงจรควบคุมพัดลมลำเลียงเชื้อเพลิงผง

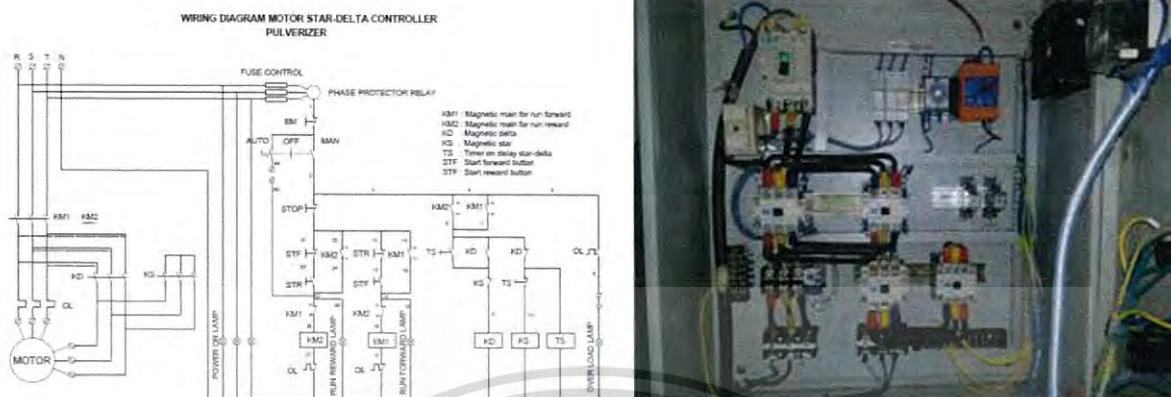


รูปที่ 4.15 แสดงวงจรถมการทำงานของพัดลมลำเลียงเชื้อเพลิงผง

ทำการเพิ่มอุปกรณ์คือ Selector Switch และ Relay ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งควบคุมการทำงานในโหมดอัตโนมัติผ่าน PLC และส่งสถานะการ Over Load ของพัดลมลำเลียงเชื้อเพลิงผงกลับมายัง PLC ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญกับความปลอดภัยของเครื่องจักรและบุคลากร โดยมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.2.2 การดัดแปลงวงจรควบคุมเครื่องบด



รูปที่ 4.16 วงควบคุมการทำงานของเครื่องบด

ทำการเพิ่มอุปกรณ์คือ Selector Switch และ Relay ซึ่งทำหน้าที่รับคำสั่งควบคุมการทำงานในโหมดอัตโนมัติผ่าน PLC และส่งสถานะการ Over Load ของเครื่องบดกลับมายัง PLC ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญกับความปลอดภัยของเครื่องจักรและบุคลากร โดยมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 4.16

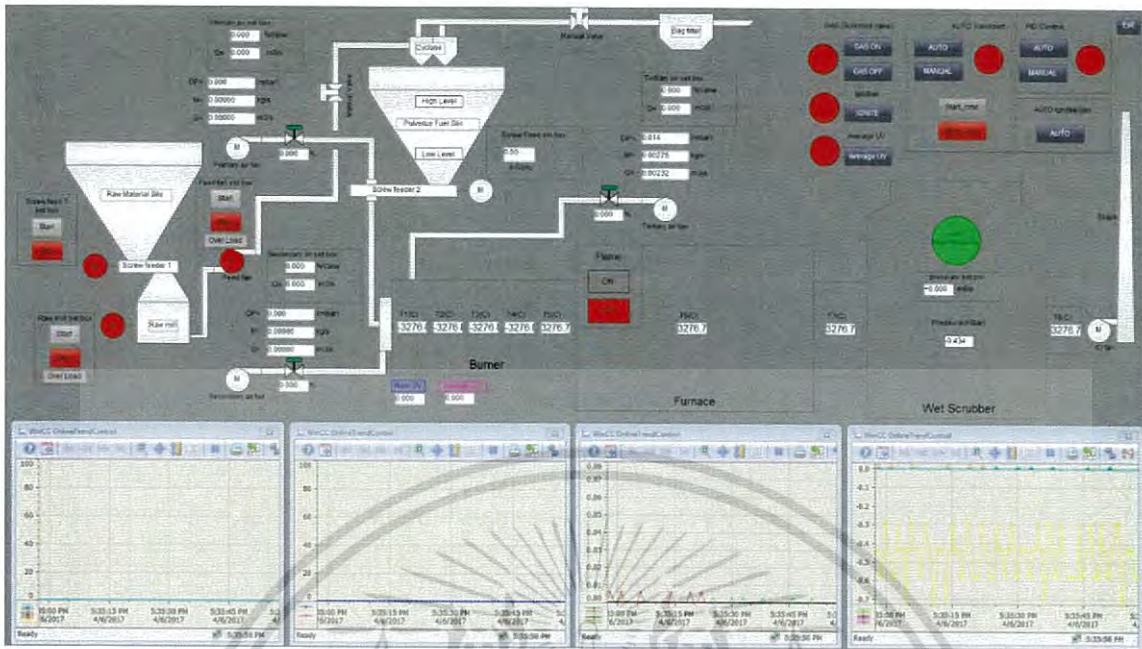
4.9 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานเพื่อควบคุม

การเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน การแสดงผลผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์ โดยแสดงค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ผ่านการประมวลผลแล้ว รวมไปถึงการรับค่าหรือคำสั่งจากผู้ควบคุมในการควบคุมระบบ และการสั่งงานของกระบวนการต่างๆ ซึ่งโครงการนี้ใช้โปรแกรม Simatic WinCC Explorer ซึ่งอ้างอิงคำสั่งสัญญาณต่างๆมาจากโปรแกรม TIA Portal V13 โดยต้องกำหนดชื่อ (Tag) ให้ครบทุกสัญญาณ

4.9.1 ลักษณะ Graphics ที่เขียนโดยโปรแกรม Simatic WinCC Explorer

เมื่อกำหนด Tag ครบทุกสัญญาณแล้ว การเขียน Graphics เพื่อทำการแสดงผลและควบคุมโดยผู้ใช้งาน ซึ่งหน้ากราฟฟิคที่เขียนไว้นั้นแสดงได้ดังรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานและบันทึกผลของระบบควบคุมสำหรับเตาเผาชีวมวลชนิดผง

จอแสดงผลและการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน ในส่วนของการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสาม มีรายละเอียดดังนี้

1. ส่วนแสดงผลจะประกอบด้วย Differential Pressure (mbar), Mass Flow Rate (kg/s), Volume Flow Rate (m^3/s), %Butterfly valve ของอากาศทั้งสาม รวมไปถึงกราฟแสดงค่าต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นแนวโน้มของค่าต่างๆ

2. ส่วนของการควบคุมโดยการใส่ค่าที่ต้องการ (Set point) ประกอบด้วย Volume Flow Rate ($Q, m^3/s$) สำหรับการควบคุมอากาศทั้งสาม การใส่ค่า %Valve เพื่อให้วาล์วเปิดปิดแบบ Manual การใส่ค่าเฮิรตซ์ (Hz) เพื่อควบคุมสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง

3. ปุ่มคำสั่งจะประกอบไปด้วย ปุ่ม Auto-Manual ของระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิงและระบบ PI Control ปุ่มการเปิด-ปิด โซลินอยด์วาล์วแก๊ส LPG ปุ่มการสั่ง Ignite ปุ่มการสั่งงานการเฉลี่ยค่าสัญญาณของ UV Sensor และปุ่มการสั่งงานเปิด-ปิด แบบ Manual ของระบบบดและลำเลียง

จากที่กล่าวมาแล้วนี้เป็นอธิบายถึงการพัฒนากระบวนการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วน และพัฒนาส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน รวมไปถึงการสร้างเสริมและพัฒนาเตรียมเชื้อเพลิง โดยนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมชนิด PLC (Programmable Logic Control) และในส่วนของตัวโปรแกรมจะถูกแสดงในภาคผนวก

บทที่ 5

อุปกรณ์ เ็นไข และวิธีการทดลอง

สำหรับบทนี้จะนำเสนอถึงอุปกรณ์เครื่องมือวัด ในการตรวจจับสัญญาณต่างๆเพื่อนำมาควบคุมระบบการเผาไหม้ อีกทั้งเงื่อนไขในการดำเนินการและวิธีการทดลอง เพื่อทดสอบความสามารถของการควบคุม การจุดติดและตรวจจับเปลวไฟรวมไปถึงวิเคราะห์สัญญาณของเครื่องมือวัดเปลวไฟ (ultraviolet sensor) ภายในห้องเผาไหม้ช่วยช่วย (pre-chamber) เป็นต้น

5.1 อุปกรณ์การควบคุมและเครื่องมือวัด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ชุดควบคุม

ชุดควบคุมที่ใช้ในการทดลองคือ เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable logic control ,PLC) ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC)

รูปที่ 5.1 คือชุดควบคุมที่จะทำการรับสัญญาณจากเครื่องมือวัดและส่งสัญญาณเพื่อการควบคุมซึ่งในการทดลองนี้ใช้ Siemens Simatic s7-300 มีรายละเอียดชนิดและรุ่นดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดชุดควบคุม (PLC)

ช่องที่	ชนิด	รุ่น	ตำแหน่ง I	ตำแหน่ง Q
1	PS 307 10A	6ES7 307-1KA02-0AA0	-	-
2	CPU 315-2 PN/DP MP/DP interface PROFINET interface	6ES7 315-2EH14-0AB0	- 2047* 2046*	-
3	DI 16x24VDC	6ES7 321-1BH02-0AA0	0...1	-
4	DO 16x24VDC/0.5A	6ES7 322-1BH01-0AA0	4...5	-

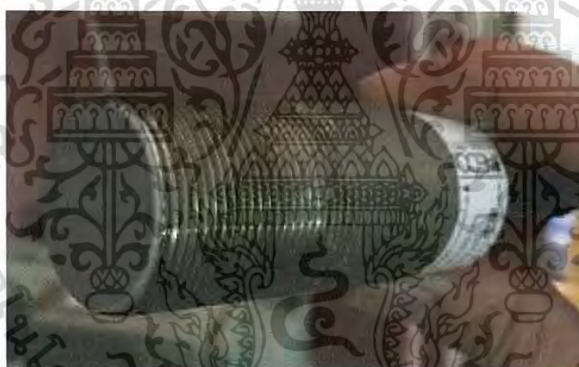
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5	AI 8x13BIT	6ES7 331-1KF02-0AB0	288...303	-
6	AI 8x13BIT	6ES7 331-1KF02-0AB0	304...319	-
7	AO 4x12BIT	6ES7 332-5HD01-0AB0	-	320...327

ตารางที่ 5.1 แสดงถึงรายละเอียดชนิดของโมดูลซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยจ่ายไฟขนาด 10A หน่วยประมวลผล หน่วยรับสัญญาณดิจิทัลจำนวน 16 ช่อง หน่วยส่งสัญญาณดิจิทัล 16 ช่อง หน่วยรับสัญญาณอนาล็อก 8 ช่องจำนวน 2 ตัว หน่วยส่งสัญญาณอนาล็อก 4 ช่อง รวมไปถึงแสดงถึงตำแหน่งการเข้าถึงข้อมูลของการรับ (I) และการส่งข้อมูล (Q)

5.1.2 อุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดระดับเชื้อเพลิงติดตั้งอยู่บริเวณถังเก็บเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง โดยทำการติดตั้งทั้งหมด 2 ตำแหน่ง เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงมีปริมาณที่ต่ำหรือมีปริมาณที่สูง ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เครื่องมือวัดระดับเชื้อเพลิงชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors) ดังรูปที่ 5.2 และตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงแสดงได้ ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.2 เครื่องมือวัดระดับชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensors)

ตำแหน่ง High Level

ตำแหน่ง Low Level



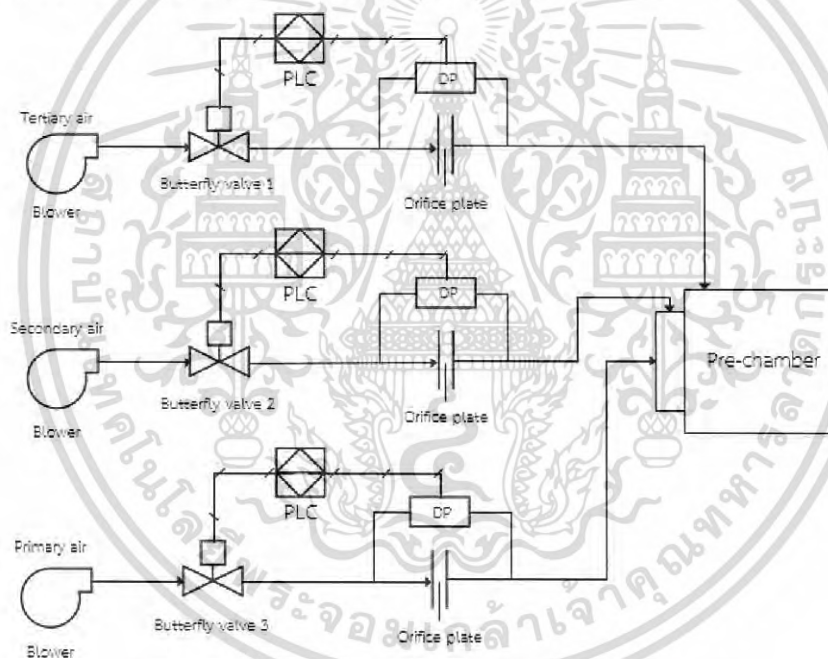
รูปที่ 5.3 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ระบบอากาศสำหรับการเผาไหม้

ระบบจ่ายอากาศสำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง ถูกออกแบบให้อากาศแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. อากาศส่วนที่หนึ่ง (primary air) มีหน้าที่สำหรับลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และเป็นอากาศส่วนหนึ่งที่ใช้ในการเผาไหม้
2. อากาศส่วนที่สอง (secondary air) เป็นอากาศหลักที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งถูกออกแบบให้อากาศไหลผ่านใบพัด (swirl blades) ทำหน้าที่บังคับทิศทางการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย ส่งผลให้อากาศส่วนนี้เข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยในลักษณะที่มีการหมุนควง ซึ่งการหมุนควงของอากาศนี้มีอิทธิพลต่อการเผาไหม้มาก
3. อากาศส่วนที่สาม (tertiary air) ทำหน้าที่หล่อเย็นห้องเผาไหม้ช่วย และเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber)



รูปที่ 5.4 ระบบจ่ายอากาศสำหรับหัวเผาชีวมวลชนิดผง

จากรูปที่ 5.4 จะแสดงการควบคุมอากาศทั้งสามส่วนประกอบด้วยอุปกรณ์เหล่านี้คือ พัดลม (blower) 3 เครื่องสำหรับอากาศทั้ง 3 ส่วน วาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) orifice plate และ pressure transmitter ซึ่งวาล์วปีกผีเสื้อจะถูกควบคุม PLC ด้วยวิธีการควบคุมแบบพีไอดีซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศที่วัดได้จาก pressure transmitter



รูปที่ 5.5 วาล์วควบคุมชนิดปีกผีเสื้อ (butterfly control valve)

จากรูปที่ 5.5 วาล์วปีกผีเสื้อมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ primary air secondary air และ tertiary air ที่จะเข้าอยู่ห้องเผาไหม้โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนลิ้นวาล์ว ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลจำเพาะของวาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) สำหรับอากาศทั้งสามส่วน

ข้อมูลจำเพาะ	อากาศ		
	primary air	secondary air	tertiary air
ยี่ห้อและรุ่น	Heli HL-05	Heli HL-05	Heli HL-05
ขนาดวาล์ว	3 นิ้ว	4 นิ้ว	3 นิ้ว
กำลังไฟฟ้า	220 โวลต์	220 โวลต์	220 โวลต์
ทอร์คมอเตอร์	10 นิวตัน-เมตร	10 นิวตัน-เมตร	10 นิวตัน-เมตร
องศาการหมุน	0-90°	0-90°	0-90°
รูปแบบการส่งสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์
รูปแบบการรับสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์



รูปที่ 5.6 Differential pressure transmitter ของอากาศสำหรับการเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.6 เครื่องมือวัดชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยหลักความแตกต่างของความดัน โดยทำการวัดความดันสองจุดที่อยู่ระหว่าง orifice plate มีลักษณะการติดตั้งดังรูปที่ 5.7 จากนั้นอุปกรณ์จะทำการส่งสัญญาณที่วัดได้ไปยังเครื่องควบคุมซึ่งสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศต่อไปได้ ข้อมูลจำเพาะและย่านการใช้งานแสดงได้ดังตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.7 ลักษณะการติดตั้ง Orifice plate และ Differential Pressure Transmitter

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลจำเพาะของ Differential pressure transmitter ของอากาศทั้งสามส่วน

ข้อมูลจำเพาะ	อากาศ		
	primary air	secondary air	tertiary air
ยี่ห้อและรุ่น	KIMO CP112-PN	KIMO CP113-PN	KIMO CP113-PN
กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ	24 VDC	24 VDC	24 VDC
การตอบสนอง	1/e(63%)0.3s	1/e(63%)0.3s	1/e(63%)0.3s
ความแม่นยำ	± 1.5 % of reading ± 3Pa	± 1.5 % of reading ± 3Pa	± 1.5 % of reading ± 3mmH ₂ O
ย่านการใช้งาน	0-10 mbar	0-100 mbar	0-50 mbar
รูปแบบการส่งสัญญาณ	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์	4-20 มิลลิแอมป์



รูปที่ 5.8 ลักษณะของ Orifice plate ที่ใช้วัดอัตราการไหลร่วมกับ Differential Pressure Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ตู้ควบคุมมอเตอร์และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

สำหรับชุดทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงนั้น มีการใช้มอเตอร์สำหรับพัดลม (Blower) เครื่องบดชนิด Hammer mill และสกรู เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ขับพัดลมอากาศหุติยภูมิและเครื่องบดมีขนาดใหญ่ จึงมีการใช้ตู้ควบคุมมอเตอร์แบบซอฟตสตาร์ท (Star-Delta) เพื่อทำการควบคุมการปิด-เปิดของมอเตอร์ ส่วนมอเตอร์ที่ใช้ขับพัดลมอากาศปฐมภูมิ ตติยภูมิมีและพัดลมที่ใช้ขนถ่ายเชื้อเพลิงผงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บมีขนาดเล็กจึงใช้ชุดควบคุมมอเตอร์แบบ Direct On Line ดังแสดงในรูปที่ 5.9



ก)

ข)

รูปที่ 5.9 ก) ตู้สตาร์ทมอเตอร์สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง อากาศส่วนที่สาม และโบเวอร์ลำเลียงเชื้อเพลิงชนิดผงเข้าไปเก็บในถังเก็บเชื้อเพลิง ข) ตู้สตาร์ทมอเตอร์สำหรับอากาศส่วนที่สอง มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองบางส่วนมีการควบคุมความเร็วรอบซึ่งประกอบด้วย สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง และพัดลมดูดแก๊สไอเสีย ซึ่งจะถูกควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ที่แสดงดังรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11 ตามลำดับ



รูปที่ 5.10 อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Schneider รุ่น ATV312 สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 อินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Winner รุ่น WIN-V63 สำหรับสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผงและพัดลมดูดแก๊สไอเสีย

โดยในการทดลองนั้นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้นั้นตอนแรกมีลักษณะอัดแท่งเพื่อควบคุมความชื้น จากนั้นจะถูกนำมาบดด้วยเครื่องบดชนิด hammer mill เพื่อให้เป็นผงก่อนนำไปเผาไหม้ ซึ่งตู้ควบคุมสำหรับการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องบด แสดงดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ตู้สตาร์ทเครื่องบดเชื้อเพลิงชนิดค้อนเหวี่ยง (hammer mill)

5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง

5.2.1 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber)

ห้องเผาไหม้ช่วยทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของการเผาไหม้เนื่องจากเชื้อเพลิงแข็งชนิดผง จะเกิดการเผาไหม้ได้ยากกว่าเชื้อเพลิงแบบของเหลวหรือแบบก๊าซ ซึ่งเริ่มแรกห้องเผาไหม้ช่วยนี้จะถูกอุ่นด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เพื่อให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงผงจะติดสามารถติดไฟได้เอง แล้วจึงหยุดการจ่ายแก๊ส LPG โดยภายในจะมีใบพัด (swirl blades) ที่ช่วยให้อากาศหมุนวนควงภายในห้องเผาไหม้ โดยอนุภาคเชื้อเพลิงจะเริ่มเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง (drying) กระบวนการ

ปลดปล่อยสารระเหยและเผาไหม้ส่วนหนึ่งจะเกิดในห้องเผาไหม้ช่วยนี้ หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงชนิดห้องเผาไหม้ช่วยแสดงได้ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber)

5.2.2 ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล

ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้หลักสำหรับการเผาไหม้ที่ยังไม่หมดจากห้องเผาไหม้ช่วย ซึ่งกระบวนการการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในนี้ ซึ่งห้องเผาไหม้แสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 ลักษณะของห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผง

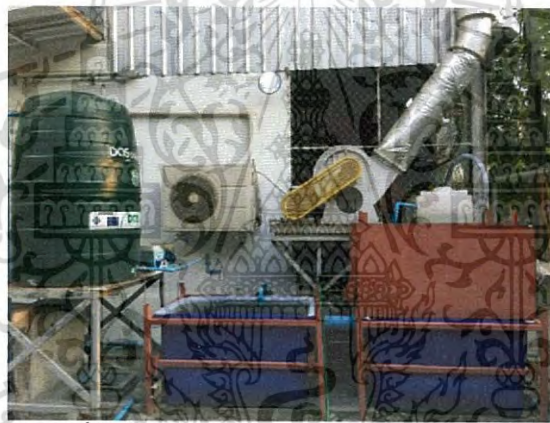
5.2.3 ระบบบำบัดไอเสีย

ระบบบำบัดไอเสียในการทดลองนี้เป็นการรวมระบบลดอุณหภูมิไอเสีย (evaporative cooling) และระบบกำจัดฝุ่นแบบเปียก (wet scrubber) เข้าไว้ด้วยกันรูปที่ 5.15 แสดงห้องบำบัดไอเสีย โดยภายในทำการติดตั้งหัวฉีดมา่น้ำ และมีระบบหมุนเวียนน้ำ รวมไปถึงการติดตั้งพัดลมดูดแก๊สไอเสีย และปล่องไอเสีย เป็นต้น ซึ่งลักษณะในการจัดวางตำแหน่งของระบบบำบัดไอเสียแสดงดังรูปที่ 5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

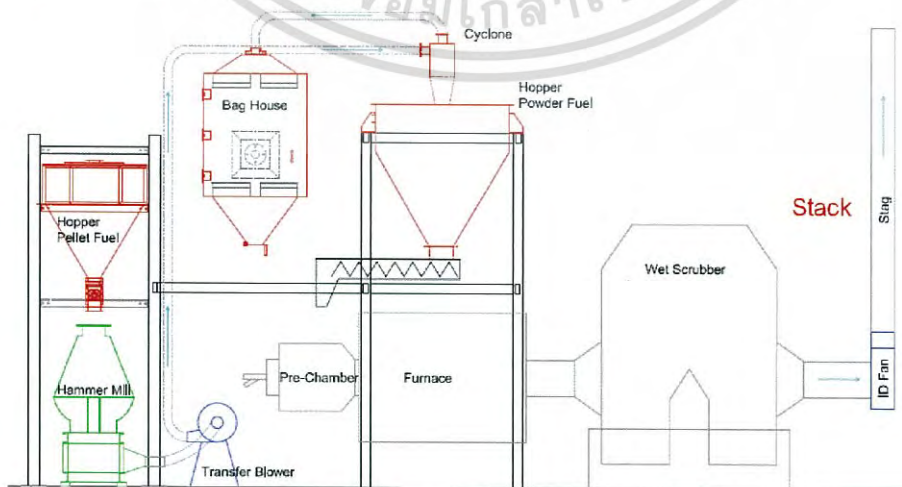


รูปที่ 5.15 ถังบำบัดไอเสีย (evaporative scrubber)



รูปที่ 5.16 บ่อตกตะกอน และพัดลมดูดไอเสีย

5.3 ระบบบดและลำเลียงเชื้อเพลิง



รูปที่ 5.17 แสดงภาพรวมของระบบที่มีการเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.17 พบว่าเชื้อเพลิงชนิดอัดแท่งจะถูกเก็บอยู่ในถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดอัดแท่ง (silo wood pellet) จากนั้นจะถูกลำเลียงด้วยสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิง (screw conveyor) เพื่อเข้าสู่เครื่องบดชนิดค้อนเหวี่ยง เมื่อทำการบดแล้วจะถูกลำเลียงโดยพัดลมขนถ่ายเชื้อเพลิงไปยังถังเก็บเชื้อเพลิงชนิดผง (silo pulverized fuel) เมื่อได้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงแล้ว จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่หัวเผาช่วย (pre-chamber) โดยจะถูกลำเลียงด้วยสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงผง (screw feeder) ซึ่งในส่วนปลายนั้นจะมีพัดลมอากาศส่วนที่หนึ่งเป็นตัวเป่าให้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผงเข้าสู่หัวเผาไหม้ช่วย

5.3.1 สกรู

ในโครงการนี้มีสกรูทั้งหมดสองตัวคือ 1.สกรูเดิม ทำหน้าที่ขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดแท่ง (wood pellet) เข้าสู่เครื่องบดชนิด Hammer mill และ 2.สกรูใหม่ ทำหน้าที่ขนถ่ายเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องอากาศปฐมภูมิเพื่อให้อากาศปฐมภูมิพัดพาเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย



รูปที่ 5.18 สกรูสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงผงเข้าห้องเผาไหม้

5.3.2 เครื่องบด

เครื่องบดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องบดชนิด Hammer Mill ดังแสดงในรูปที่ 5.19 ถูกนำมาแทนที่เครื่องบดชนิด Pin Mill ที่มีอัตราการบดต่ำ (ที่ตะแกรงขนาด 1 มม. ผลิตได้ 45.6 kg/hr) จากการทดสอบพบว่าอัตราเครื่องบดชนิด Hammer Mill สามารถทำได้มากกว่า 240 kg/hr ที่ขนาดตะแกรงเดียวกัน เครื่องบดนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 22 kW เป็นตัวขับ มีใบมีด 24 ใบสามารถเพิ่มได้ถึง 48 ใบ สามารถเลือกตะแกรงขนาดรูต่างๆ สำหรับใช้กรองเชื้อเพลิงได้ตามต้องการ ซึ่งอัตราการบดจะขึ้นอยู่กับขนาดรูตะแกรงที่เลือกใช้คือ เมื่อเราใช้ตะแกรงขนาดรูเล็กอัตราการบดจะต่ำและอัตราการบดจะสูงขึ้นเมื่อเลือกตะแกรงที่มีขนาดรูใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 ลักษณะของเครื่องบดชนิด Hammer mill

เราสามารถกำหนดอัตราการผลิตสูงสุดเบื้องต้นได้โดย การดูว่าเชื้อเพลิงเริ่มพ่นออกจากช่องด้านข้างของเครื่องบดดังแสดงในรูปที่ 5.20 ถ้ามีเชื้อเพลิงออกมาเราควรหยุดการป้อนเชื้อเพลิงอัดเม็ดและปล่อยให้เครื่องบดทำการบดของที่อยู่ในเสียก่อน

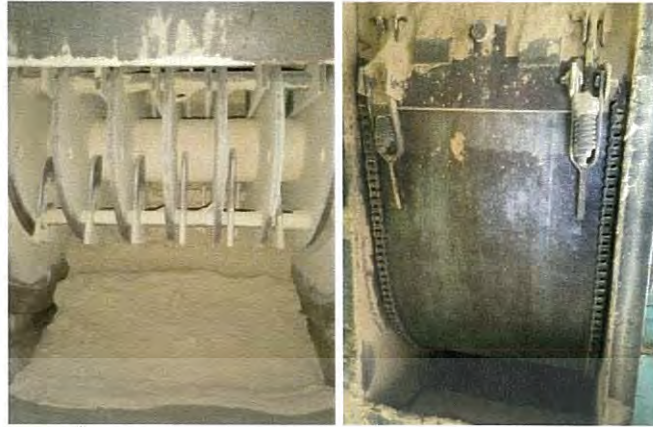


รูปที่ 5.20 เครื่องบดชนิด Hammer mill เมื่อเริ่มเกิดการอันเนื่องจากระบายวัสดุไม่ทัน

ซึ่งเครื่องบดนี้สามารถทำงานได้ในหลายลักษณะเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเครื่องบดดังแสดงในรูปที่ 5.21

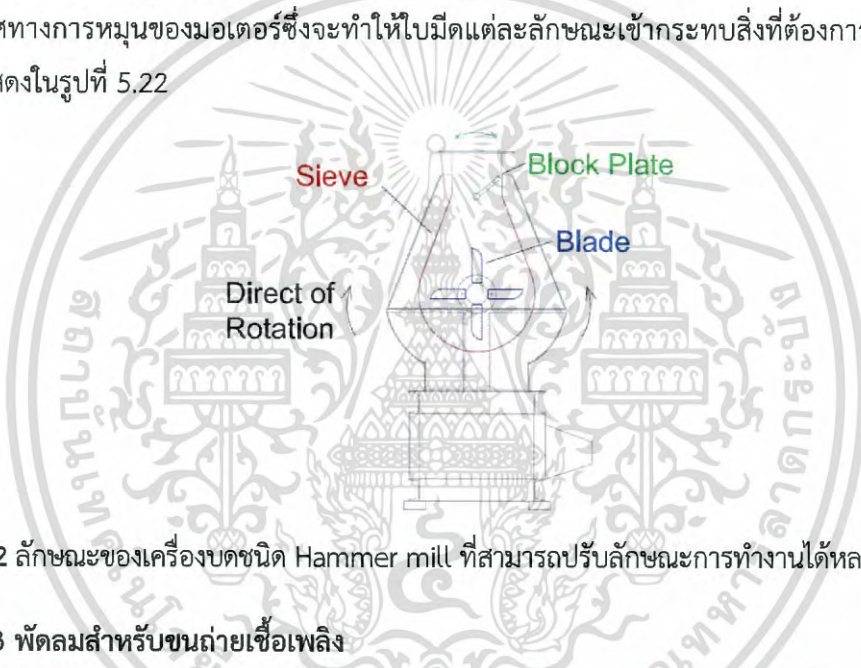
1. สามารถเลือกขนาดรูตะแกรงได้หลากหลายตามต้องการ ซึ่งส่งผลโดยตรงกับอัตราการผลิตและขนาดเชื้อเพลิงที่ได้
2. สามารถกำหนดทิศทางของ Block Plate
3. ลักษณะของใบมีด ดังแสดงในรูปที่ 5.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 ลักษณะของโม่มีดและตะแกรงภายในเครื่องบด

4. ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ซึ่งจะทำให้โม่มีดแต่ละลักษณะเข้ากระทบสิ่งที่ต้องการบด ดังแสดงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 ลักษณะของเครื่องบดชนิด Hammer mill ที่สามารถปรับลักษณะการทำงานได้หลายส่วน

5.3.3 พัดลมสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิง

พัดลมในส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงนี้ใช้สำหรับการขนถ่ายเชื้อเพลิงผงที่อยู่ภายในเครื่องบดไปสู่ถังเก็บมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.23 ซึ่งสามารถจัดหามาภายใต้งบประมาณที่จำกัดโดยมีขนาดของมอเตอร์ 1.5 kW/2.0 HP, 2840 r/min, 380 V, 50 Hz, 3.4 A, $\cos\phi$ 0.85



รูปที่ 5.23 พัดลมสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงผงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการดูดเชื้อเพลิงผงภายในเครื่องบดนั้นผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งท่อสำหรับช่วยดูดเชื้อเพลิง โดยมีการเจาะรูตามแนวยาวของท่อแล้วทำการต่อกับท่อลมด้านดูดของพัดลมแล้วทำการติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งต่ำสุดของห้องเก็บผงภายในเครื่องบดดังรูปที่ 5.24 เนื่องจากไม่สามารถขนถ่ายเชื้อเพลิง โดยอาศัยแรงดูดที่บริเวณผนังของเครื่องบดได้



รูปที่ 5.24 การติดตั้งท่อสำหรับช่วยดูดเชื้อเพลิงผงภายในเครื่องบด

หลังจากทำการติดตั้งท่อสำหรับช่วยดูดเชื้อเพลิงผงแล้ว ได้ทำการทดสอบดูดเชื้อเพลิง ต่อเนื่องเป็นเวลามากกว่า 1 ชั่วโมง ที่อัตราการบดมากกว่า 228 kg/hr (ที่อัตราการเผาไหม้ 1 MW ความร้อน) พบว่าท่อดูดทำหน้าที่ช่วยดูดเชื้อเพลิงผงภายในเครื่องบดได้ดี เชื้อเพลิงที่อยู่ภายในเครื่องบด มีการสะสมในอัตราคงที่ดังแสดงในรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 การกองสะสมของเชื้อเพลิงผงในเครื่องบดเมื่อทำการบดอย่างต่อเนื่อง

5.3.4 ไซโคลน

ในส่วนของไซโคลนนี้สามารถสืบค้นข้อมูลด้านการคำนวณ ออกแบบ และจัดสร้างจาก วิทยานิพนธ์ของนักวิจัยร่วมในโครงการคือนางสาวสิริธิดา สุขทั่ว [2] ในการทดสอบใช้งานพบว่า ไซโคลนมีประสิทธิภาพในการคัดแยกขนาดเชื้อเพลิงออกจากอากาศที่ใช้ลำเลียงอยู่ประมาณ 98 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับความเร็วลมเข้าไซโคลน ซึ่งไซโคลนที่ใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 ไซโคลน

5.3.5 ตู้สำหรับติดตั้งฝักรองดักฝุ่น (Baghouse)

ทำหน้าที่แยกเชื้อเพลิงผงละเอียดที่ไม่สามารถแยกได้ด้วยไซโคลน ออกจากอากาศที่ใช้ในการขนถ่าย เพื่อไม่ให้หลุดออกเป็นมลพิษสู่อากาศภายนอก และยังทำหน้าที่เก็บเชื้อเพลิงผงขนาดเล็กๆ ที่สามารถเผาไหม้ได้ดีไว้ได้อีกด้วยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 Bag House

5.3.6 ถังเก็บเชื้อเพลิงผง (Hopper)

ในส่วนของถังเก็บเชื้อเพลิง ทำหน้าที่เก็บเชื้อเพลิงผงไว้สำหรับการทดลองเผาไหม้ โดยออกแบบให้สามารถเก็บเชื้อเพลิงผงได้ประมาณ 355 kg หรือประมาณ 1.5 ชม. ที่ย่านการเผาไหม้ 1 MW ความร้อน มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 ถังเก็บ (Hopper)

5.4 เงื่อนไข และวิธีการทดลอง

สำหรับหัวข้อนี้จะนำเสนอถึงเงื่อนไข และขั้นตอนในการทดสอบสมรรถนะของชุดอุปกรณ์ทดสอบ ซึ่งจะเน้นที่การทดสอบสมรรถนะของระบบเตรียมเชื้อเพลิง และการลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber) เป็นหลัก

5.4.1 การหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยสกรู

หัวข้อนี้จึงเป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่าย (kg/s) กับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์ (Hz) ของเชื้อเพลิงซีเลื่อยอัดแท่ง ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างความสัมพันธ์ หรือความเชื่อมโยงระหว่างชุดสกรูลำเลียงที่ได้ทำการออกแบบบเชื้อเพลิง โดยมีวิธีการดังนี้

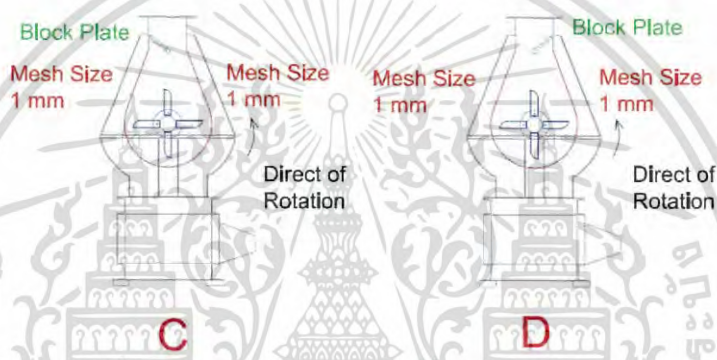
1. บรรจุเชื้อเพลิงลงในถังพักเชื้อเพลิง (hopper)
2. ปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์สกรู ซึ่งการทดลองจะเริ่มต้นที่ 1 Hz
3. นำภาชนะที่ผ่านการชั่งน้ำหนักเริ่มต้น มารองรับเชื้อเพลิงบริเวณทางออกของรางสกรู
4. เปิด switch มอเตอร์ของสกรูขนถ่าย และอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้เชื้อเพลิงถูกถ่ายออกสู่ภาชนะรองรับที่เตรียมไว้ โดยจับเวลา 1 นาที แล้วปิดการจ่ายกระแสที่อินเวอร์เตอร์
5. นำเชื้อเพลิงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และบันทึกค่าลงในตารางบันทึกผลการทดลอง
6. ทดลองซ้ำตามข้อที่ 2-5 โดยปรับเพิ่มความถี่ของกระแสไฟฟ้าขึ้นทีละ 1 Hz ถึง 5 Hz

5.4.2 การทดสอบการบิดในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเครื่องบดชนิด Hammer mill เครื่องนี้มีลักษณะทางกายภาพที่สามารถเปลี่ยนลักษณะการทำงานได้หลากหลายดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 5.3.2 เมื่อได้รับเครื่องบดมาแล้วจึงทำการทดลองบดโดยกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่องบดให้ต่างกัน และแสดงผลของการเปรียบเทียบในรูปของ Sieve Analysis โดยเก็บตัวอย่างของแต่ละเงื่อนไขการทดลองปริมาณ 200 กรัม ในเบื้องต้นนั้นได้มีการทดลองบดเชื้อเพลิงโดยใช้ตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 มม. ทั้งสองข้างแล้วพบว่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงได้น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ คือสามารถผลิตได้ 2.7 กก./นาที่ แต่ความต้องการใช้สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 40 กก./นาที่ จึงได้ทำการเปลี่ยนขนาดรูตะแกรงเป็น 1 มม. ทั้งสองด้านพบว่าสามารถผลิตได้มากกว่าความต้องการสูงสุด และทำการทดสอบในส่วนต่างๆ เพิ่มเติมดังนี้

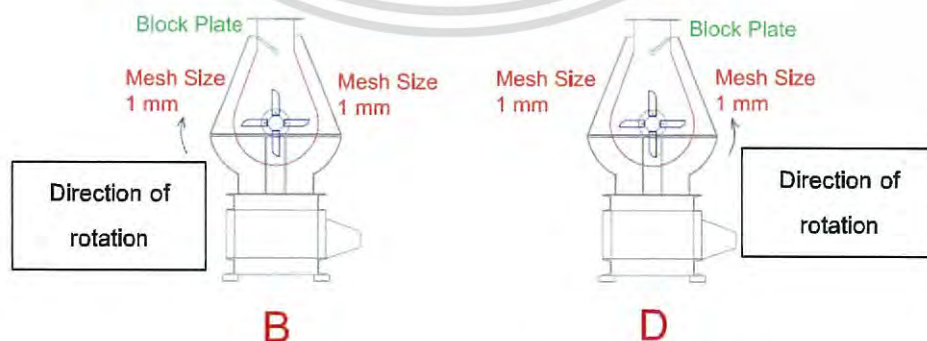
5.4.2.1 ทำการเปรียบเทียบการกำหนดทิศทางของ Block plate



รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ C และ D

การดำเนินการทดสอบในหัวข้อนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนทิศทางของ Block Plate มีผลกับขนาดเชื้อเพลิงที่ได้ออกมาอย่างไร โดยกำหนดให้การทำงานของ Hammer mill เป็นดังรูปที่ 5.29 คือ 1. ขนาดตะแกรงเป็น 1 มม. ทั้งสองข้าง 2. กำหนดทิศทางการหมุนให้เป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา 3. ทำการเปลี่ยนตำแหน่ง Block Plate

5.4.2.2 ทำการเปรียบเทียบลักษณะของใบมีด

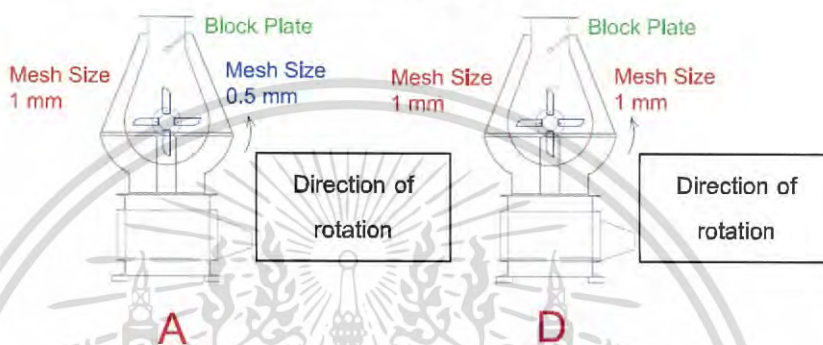


รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ B และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากโม่เม็ดที่ได้รับมามีลักษณะเป็นสันตรงหนาเรียบ อีกด้านหนึ่งมีความโค้ง สันนูนมนดังรูปที่ 2 จึงกำหนดให้การทำงานของ Hammer mill เป็นดังรูปที่ 5.30 คือ 1.ขนาดตะแกรงเป็น 1 มม. ทั้งสองข้าง 2.สลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ด้านที่ต่างกันของโม่เม็ดกระทบกับเชื้อเพลิง (Wood Pellet) 3.กำหนดตำแหน่งของ Block Plate ให้รับการปะทะกับเชื้อเพลิงที่ถูกโม่เม็ดกระทบเข้ามา

5.4.2.3 ทำการเปลี่ยนตะแกรงให้ด้านหนึ่งเป็นขนาดรู 0.5 มม.



รูปที่ 5.31 เปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ A และ D

แต่เชื้อเพลิงผงที่ผลิตได้จากตะแกรงขนาด 1 มม. มีขนาดใหญ่ทำให้การเผาไหม้ในช่วงเริ่มอุ่นเตายากขึ้น ซึ่งในโครงการของนายชินภัทร ชูระการ [1] เดิมนั้นใช้เชื้อเพลิงที่บดผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กซึ่งทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นและง่ายกว่า จึงลองเปลี่ยนให้ตะแกรงด้านหนึ่งของเครื่องบดชนิด Hammer mill เป็นขนาด 0.5 มม. โดยคาดหวังว่าเชื้อเพลิงที่ได้จะมีขนาดเล็กลง แต่อัตราการผลิตยังคงสูงพอความต้องการใช้ โดยกำหนดให้การทำงานของ Hammer mill เป็นแบบ A ดังรูปที่ 5.31 คือ 1.ตะแกรงด้านซ้ายมีขนาด 1 มม. ตะแกรงทางด้านขวามีขนาดเป็น 0.5 มม. 2.ทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกา 3.กำหนดตำแหน่งของ Block Plate ให้อยู่ทางด้านขวาเพื่อรองรับการปะทะกับเชื้อเพลิงที่ถูกโม่เม็ดกระทบเข้ามา

5.4.3 การทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องบด

เครื่องบดที่ทำการติดตั้งเข้ากับระบบป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลผงนั้น เป็นเครื่องบดสำเร็จรูปที่ได้จัดหาจากผู้ประกอบการที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ เนื่องจากไม่มีข้อมูลจำเพาะของเครื่องบด จึงจำเป็นต้องทดสอบเพื่อหาค่ากำลังการผลิต ซึ่งข้อมูลเบื้องต้นได้รับมาโดยเป็นการบอกกล่าวและได้เป็นค่าโดยประมาณ ซึ่งทางผู้ขายไม่ได้ระบุไว้ว่าเป็นค่าที่มาจากทดสอบบดวัสดุชนิดใด หรือใช้รูตะแกรงขนาดเท่าใด ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบกำลังการผลิตที่เครื่องบดสามารถทำได้จริงกับเชื้อเพลิงที่จะนำมาทดสอบนั้นคือซีลี้อยัดแท่ง เพื่อเป็นการประเมินถึงสมรรถนะของเครื่องบด และแนวทางในการทดลองในลำดับถัดไปด้วย โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1. บรรจุซีลี้อยัดแท่ง (pellet) ลงในถังพักเชื้อเพลิง (hopper)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่มอเตอร์สกรู โดยเริ่มต้นที่ 1.0 Hz
3. เปิด switch มอเตอร์ของสกรูขนถ่าย และอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้เชื้อเพลิงถูกป้อนไปยังเครื่องบด แล้วปิดการจ่ายกระแสที่อินเวอร์เตอร์
4. นำภาชนะมารองรับเชื้อเพลิงที่ออกจากเครื่องบด ที่ใช้ตะแกรงที่มีรูขนาด 0.5 mm + 1.0 mm โดยจับเวลา 3 นาที แล้วปิดการจ่ายกระแสที่อินเวอร์เตอร์
5. นำเชื้อเพลิงที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย และบันทึกค่าลงในตาราง
6. ทดลองซ้ำตามข้อที่ 2-5 โดยปรับเพิ่มความถี่ของกระแสไฟฟ้าขึ้นทีละ 0.5 จนถึง 5 Hz
7. ทดลองซ้ำตามข้อที่ 2-6 โดยเปลี่ยนตะแกรงเป็นขนาดรู 1.0 mm.

5.4.4 การทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่บดจากเงื่อนไขที่แตกต่างกันตามการตั้งค่าเครื่องบด

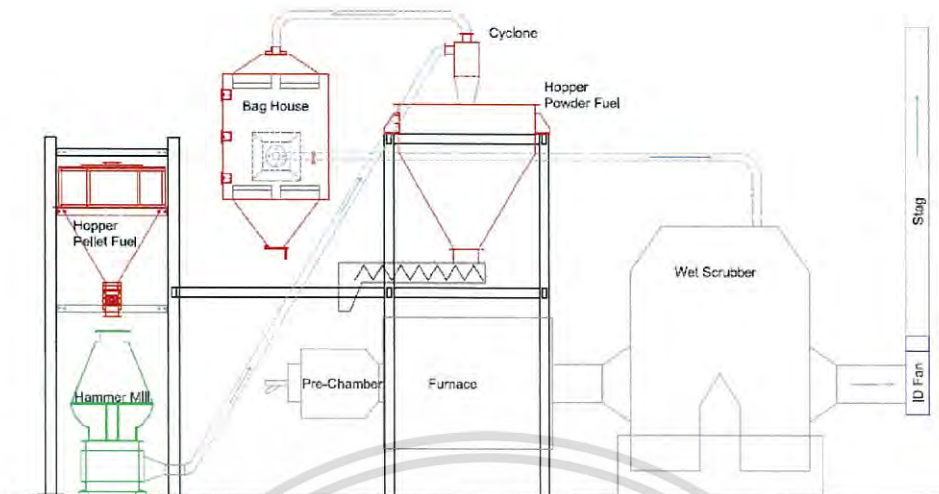
หัวข้อนี้จะเป็นการนำตัวอย่างของเชื้อเพลิงที่บดผ่านตะแกรงที่การตั้งค่าเครื่องบดที่แตกต่างกัน โดยตะแกรงที่ใช้มีขนาด 0.5 mm. และ 1.0 mm. มาทำการวิเคราะห์แยกขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงเพื่อดูว่าขนาดของเชื้อเพลิงที่ได้จะมีขนาดเท่าไร โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1. ทำความสะอาดตะแกรง แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่ละเบอร์บันทึกค่า
2. นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกัน โดยให้ตะแกรงขนาดใหญ่อยู่ชั้นบนสุด ซึ่งสามารถเรียงลำดับได้ดังนี้ 75, 150, 180, 300, 355 และ 425 โดยมีหน่วยเป็น Micron
3. นำเชื้อเพลิงตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 200 กรัม ใส่ไปในตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาให้แน่น แล้วนำเข้าเครื่องเขย่าใช้เวลาในการเขย่าประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำตะแกรงแต่ละอันไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตะแกรงรวมกับเชื้อเพลิงที่ค้างอยู่บนตะแกรง จดบันทึกค่า
4. ทำความสะอาดตะแกรงให้เรียบร้อยก่อนที่จะทำการทดลองครั้งต่อไป
5. ทำการทดลองซ้ำข้อ 2-4

5.4.5 ทดสอบการขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บ

เนื่องจากในระยะแรกทางทีมผู้วิจัยยังไม่สามารถจัดหาพัฒนาสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บได้ ระหว่างนั้นจึงมีการพยายามทดสอบเพื่อหาวิธีลำเลียงเชื้อเพลิงโดยมีการทดสอบแต่ละแบบพอสังเขปดังนี้

5.4.5.1 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่ฮอปเปอร์ แบบที่ 1

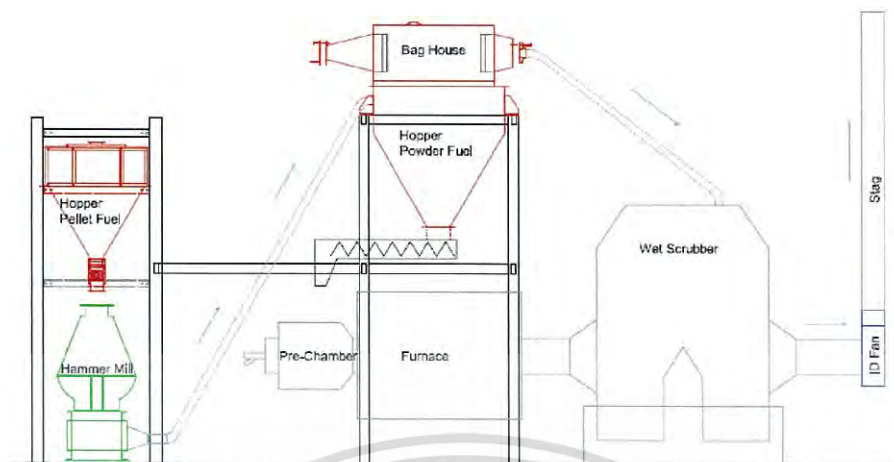


รูปที่ 5.32 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสตูฮอปเปอร์ แบบที่ 1

เนื่องจากในช่วงเวลานั้นยังไม่มีพัฒนาการสำหรับใช้ส่งเชื้อเพลิงโดยตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ในตอนแรก เพื่อให้การทดลองสามารถดำเนินต่อไปได้จึงจำเป็นต้องอาศัยแรงดูดจาก ID Fan ในการขนถ่ายผงเชื้อเพลิง ซึ่งในการบดและขนถ่ายเชื้อเพลิงแต่ละครั้งต้องอุดรอยรั่วของอากาศตามจุดต่างๆ เช่น ช่องอากาศเข้าประกอบด้วยช่องอากาศปฐมภูมิ ช่องอากาศทุติยภูมิและช่องอากาศตติยภูมิ เป็นต้น เพื่อให้ระบบภายในเป็นระบบปิดจนเกิดสูญญากาศ การเดินท่อสำหรับใช้ลำเลียงผงเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสตูฮอปเปอร์นั้นใช้ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว ตามคำแนะนำของผู้ประกอบการที่ร่วมโครงการวิจัยเนื่องจากผู้ประกอบการมีประสบการณ์ในการเลือกท่อสำหรับขนถ่ายกากมันด้วยลม เมื่อติดตั้งอุปกรณ์รวมถึงการเดินท่อเรียบร้อยแล้วจึงทำการทดลองขนถ่ายผงเชื้อเพลิงจริงตามรูปที่ 5.32 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ตั้งของ ID Fan อยู่ห่างไกลจากเครื่องบดอีกทั้งลมยังต้องเดินทางผ่าน เวิร์ตสคลับเบอร์ ไชโคลน แบ็กเฮาส์ ทำให้เกิดการสูญเสียในระบบมาก เมื่อทดสอบเบื้องต้นด้วยการใช้มือป้องที่ปลายท่อมีความรู้สึกวาลมดูดนั้นค่อนข้างเบาและมีความเร็วลมต่ำ และเมื่อทดสอบดูดเชื้อเพลิงผงความเร็วของอากาศเข้าไชโคลนที่ต่ำส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการคัดแยกเชื้อเพลิงออกจากอากาศ การคัดแยกผงเชื้อเพลิงกับอากาศด้วยไชโคลนจึงไม่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพคือแยกอากาศกับผงเชื้อเพลิงออกจากกันไม่ได้ การใช้ ID Fan ที่มีกำลังอยู่จำกัดนั้น ไม่สามารถใช้กับการจัดวางอุปกรณ์ในรูปแบบนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องทำการแก้ไขดังแสดงในหัวข้อถัดไป

5.4.5.2 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสตูฮอปเปอร์ แบบที่ 2

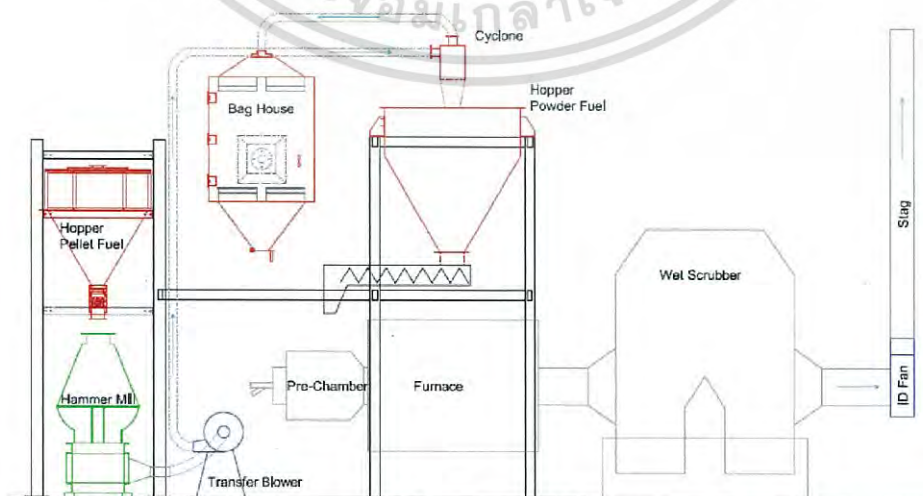
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.33 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่อุปเปอร์ แบบที่ 2

เมื่อการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในรูปแบบที่ 1 ไม่มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องทำการดัดแปลงบางส่วนเพื่อให้การทดลองสามารถเดินต่อไปได้ คือยังอาศัยแรงดูดจาก ID FAN เหมือนเดิม แต่ลดความดันสูญเสียในระบบลงด้วยการทำการเอาไซโคลนออกพร้อมทั้งย้ายแบ็กเฮาส์ขึ้นไปวางบนฮอปเปอร์เพื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศและลดระยะการเดินทางของอากาศระหว่าง ID FAN และเครื่องบดให้สั้นลง ในการนำแบ็กเฮาส์ขึ้นไปติดตั้งบนฮอปเปอร์นั้นจำเป็นต้องดัดแปลงโครงสร้างคือ ในการแยกเชื้อเพลิงกับอากาศออกจากกันนั้นอาศัยเพียงฟิลเตอร์ที่อยู่ใบบ็กเฮาส์เท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 5.33 แต่ยังมีข้อเสียคือต้องทำความสะอาดฟิลเตอร์ด้วยการเคาะหรือการตบเป็นระยะคือทุกๆ เวลาประมาณ 20 นาทีในการบดเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง ทำการเพิ่มความเร็วของอากาศที่ใช้ขนถ่ายด้วยการลดขนาดท่อ PVC จาก 4 นิ้ว เหลือ 2.5 นิ้ว ผลคือสามารถลำเลียงเชื้อเพลิงได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่ตรงตามจุดประสงค์ที่ออกแบบไว้ในเรื่องของการบดเติมเชื้อเพลิงขณะทำการทดลองเผาระยะยาวได้เพราะยังต้องอาศัยแรงดูดจาก ID Fan และความเร็วอากาศที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิงยังต่ำอยู่

5.4.5.3 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่อุปเปอร์ แบบที่ 3



รูปที่ 5.34 การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่อุปเปอร์ แบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเวลาต่อมา ทีมวิจัยสามารถจัดหาพัดลมสำหรับใช้ขนถ่ายผงเชื้อเพลิงจากเครื่องบดสู่ฮอปเปอร์เมื่อทดสอบโดยการดูดผงเชื้อเพลิงผ่านพัดลมไปเข้าสู่ไซโคลนแล้วผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ คือ พัดลมสามารถดูดเชื้อเพลิงผงในเครื่องบดได้ดี และสามารถส่งไปที่ไซโคลนด้วยความเร็วที่สูง เพียงพอที่จะคัดแยกเชื้อเพลิงกับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อย้ายแบ็คเฮาส์กลับลงมาแล้วนำไซโคลนไปติดตั้งใช้งานเหมือนแบบที่ 1 แล้วจึงได้ทำการแก้ไขการเดินทางของอากาศใหม่ดังรูปที่ 5.34 ทำให้ส่วนการบดและส่วนการเผาสามารถแยกออกจากกันได้โดยอิสระ กล่าวคือ ในกรณีที่ใช้เวลาในการทดลองเผายาวนานแล้วเชื้อเพลิงผงใกล้หมด ระบบสามารถบดเพิ่มขึ้นไปสู่ฮอปเปอร์ได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุที่ไม่ได้ใช้ ID Fan ร่วมกันอีกต่อไป ส่งผลให้รอบการทำงานสะอาดฟิลเตอร์ยาวนานขึ้น เพราะมีไซโคลนทำหน้าที่แยกอากาศกับเชื้อเพลิงออกจากอากาศในเบื้องต้น โดยประสิทธิภาพไซโคลนอยู่ที่ประมาณ 98%

5.4.6 การเก็บค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อประเมินอัตราการใช้พลังงานในการเตรียมเชื้อเพลิง

ในหัวข้อนี้เป็นการเก็บค่ากระแสไฟฟ้า ที่มอเตอร์ของแต่ละอุปกรณ์ในขณะที่ทำงานในส่วนของระบบเตรียมเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วย สกรู เครื่องบด และพัดลมที่ใช้ลำเลียง ในแต่ละย่านการบดที่ต่างกันโดยมีวิธีการทดลองดังนี้

1. ทำการเดินพัดลม เครื่องบด และสกรูตามลำดับโดยเว้นระยะสัก 2-3 นาที เพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้เต็มที่
2. เลือกปรับความถี่ (Hz) ของสกรูตามย่านการบดโดยเริ่มจากน้อยไปมากจนถึงอัตราขนถ่ายที่ 228 kg/hr
3. ทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ตามแต่ละย่านการจ่ายเชื้อเพลิง

5.4.7 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย

สำหรับหัวข้อนี้จะเป็นการสังเกตถึงสิ่งต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย ซึ่งการทดลองนี้จะเริ่มสังเกตตั้งแต่เริ่มอุ่นเตาจนถึงการเผาไหม้ที่ย่าน 300 KW โดยมีหัวข้อสังเกตโดยเฉพาะดังนี้

5.4.7.1 ปริมาณของลมที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิงผง

โดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศปฐมภูมิที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย โดยทดลองปรับอยู่ 4 ค่าคือ 25% 20% 15% และ 10% ตามลำดับ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศปฐมภูมินี้มีอิทธิพลต่อลักษณะการเผาไหม้ภายในเตามาก

5.4.7.2 เปอร์เซนต์การเปิดของวาล์วควบคุมชนิดปีกผีเสื้อ

เนื่องจากการเผาไหม้ที่ย่านต่ำคือในช่วงอุ่นเตาการเปิดของวาล์วควบคุมที่จะอยู่ในเปอร์เซนต์ที่ต่ำอันส่งผลต่อการไหลของอากาศที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผง จึงจำเป็นต้องหาวิธีการทำงานที่ปลอดภัยจากการอุดตันในท่อของเชื้อเพลิงผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.7.3 การทำงานของพัดลมดูด (ID Fan)

การทำงานของพัดลมดูด (ID Fan) จะมีอิทธิพลต่ออากาศทั้งสามส่วนที่ใช้สำหรับการเผาไหม้ คือ ยิ่งดูดแรงจะทำให้อัตราการไหลของอากาศทั้งหมดรวมถึงอากาศปฐมภูมิจะเพิ่มขึ้น และมีอิทธิพลต่อลักษณะเปลวไฟในห้องเผาไหม้ช่วยซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยตรง จึงจำเป็นต้องหายานการทำงานที่เหมาะสมสำหรับพัดลมดูดไอเสีย (ID Fan)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง

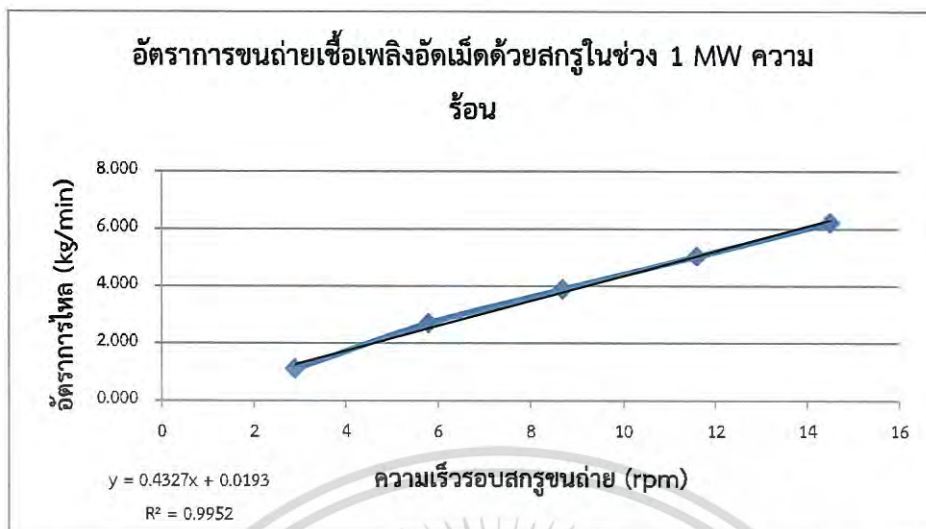
จากบทที่ผ่านมาเราได้ทราบถึงหลักการในการออกแบบชุดทดสอบการเตรียมเชื้อเพลิง รวมไปถึงถึงวิธีการทดสอบการทำงานของชุดทดสอบ และเงื่อนไขการทดสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว สำหรับบทนี้จึงเป็นการนำเสนอผลการทดลอง และการอภิปรายผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจะนำไปสู่ข้อสรุปทางด้านสมรรถนะการทำงานของระบบต่างๆ รวมไปถึงถึงการจ่ายเชื้อเพลิงผงบสำหรับการทำงานที่ปลอดภัยต่อเนื่องสำหรับห้องเผาไหม้ช่วยต่อไป

6.1 การหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยสกรู

ระบบป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยสกรูถือเป็นระบบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อชุดทดสอบการเตรียมเชื้อเพลิงและการเผาไหม้เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นระบบที่ส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผา หากเชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาในลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง อาจส่งผลให้การเผาไหม้เกิดความไม่ต่อเนื่อง ความดันหรือพฤติกรรมของการเผาไหม้ภายในหัวเผาเปลี่ยนไปอย่างกะทันหัน ซึ่งอาจจะนำไปสู่ปรากฏการณ์เป่าดับได้ ดังนั้นระบบการเตรียมเชื้อเพลิงที่ดีต้องสามารถผลิตเชื้อเพลิงได้ทันและเพียงพอต่อความต้องการใช้ ในทำนองเดียวกันระบบป้อนเชื้อเพลิงที่ดีต้องสามารถลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถตอบสนองการเปลี่ยนอัตราการป้อนได้อย่างรวดเร็ว

6.1.1 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ใช้เป็นชนิดเดียวกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในโครงการเดิม จึงได้อ้างอิงข้อมูลในส่วนการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากงานวิจัยของนายชินภัทร ชูธการ [1] ดังนี้ ตัวแปรต้นที่เป็นตัวกำหนดหรือควบคุมความเร็วรอบของสกรูขนถ่ายคือความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ เพื่อความสะดวกในการใช้ข้อมูลจึงต้องหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg/min) ต่อความเร็วรอบมอเตอร์ขนถ่าย (rpm) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

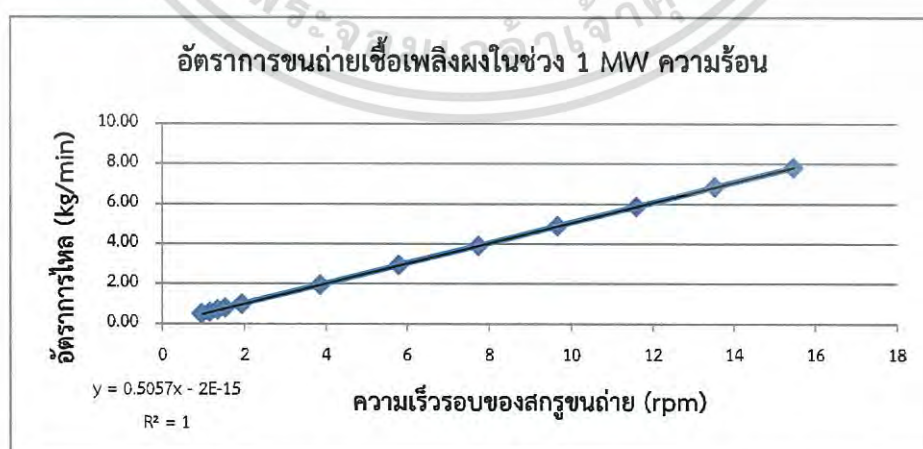


รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดแท่ง (kg/min) – ความเร็วรอบมอเตอร์ขนถ่าย (rpm)

จากรูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อความเร็วรอบมอเตอร์ขนถ่าย (rpm) ซึ่งเราสามารถควบคุมการส่งเชื้อเพลิงอัดแท่งเข้าสู่เครื่องบดโดยสกรู 1 นี้ได้ด้วยการเลือกปรับความถี่นี้

6.1.2 การทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลผง

ทำการพิจารณาอัตราการขนถ่ายของเชื้อเพลิงผงที่จะถูกนำไปใช้ในการทดลองการเผาไหม้ต่อไป นั่นคือซีลีเยบดละเอียด ที่มีความหนาแน่นประมาณ 396 kg/m^3 เพื่อความสะดวกในการใช้ข้อมูลสำหรับการทดลองเผาไหม้จึงต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงผง (kg/min) ต่อความเร็วรอบมอเตอร์ขนถ่าย (rpm) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงผง (kg/min) - ความเร็วรอบมอเตอร์ขนถ่าย (rpm)

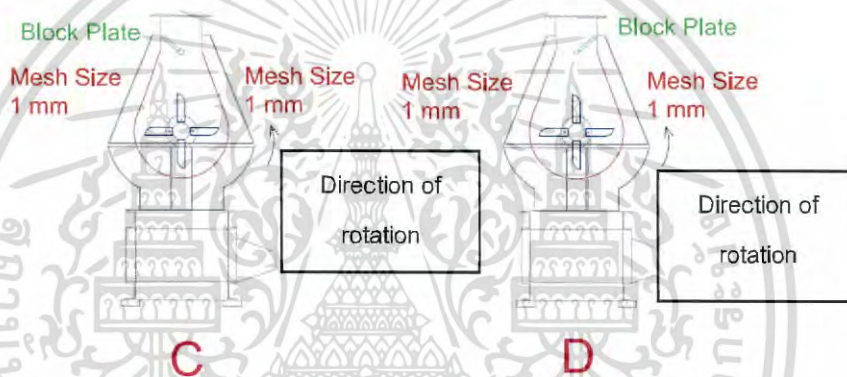
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6.2 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายต่อความเร็วรอบของสกรูและต่อความถี่ของกระแสไฟฟ้ามีความเป็นเชิงเส้น ซึ่งที่การทดลองเผาไหม้สูงสุดที่ได้ทำในขณะนี้ยังไม่เกิน 500 kW ความร้อน และที่ย่านการเผาไหม้นี้ มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 1.8558 kg/min หรือใช้ความถี่ 4.14 Hz

6.2 การทดสอบความสามารถของเครื่องบดชนิด Hammer mill

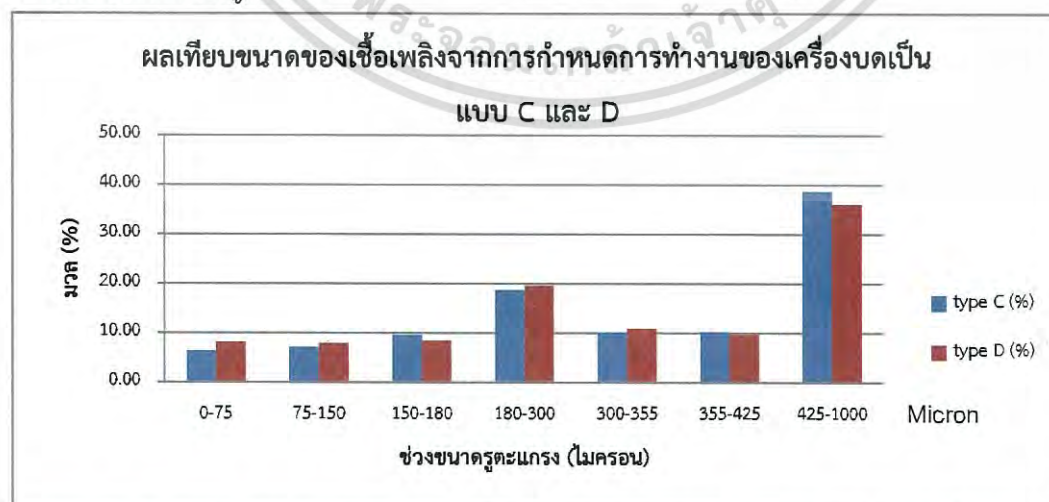
เนื่องจากเครื่องบดชนิด Hammer mill เครื่องนี้มีลักษณะทางกายภาพที่สามารถเปลี่ยนลักษณะการทำงานได้หลากหลายดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.4.2 จึงทำการทดลองบดโดยกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่องบดให้ต่างกันดังนี้

6.2.1 ทำการเปรียบเทียบการกำหนดทิศทางของ Block plate



รูปที่ 6.3 เปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ C และ D

การดำเนินการทดสอบในหัวข้อนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนทิศทางของ Block Plate โดยเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ C และ D ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งผลกับขนาดของเชื้อเพลิงที่ได้แสดงในรูปที่ 6.4

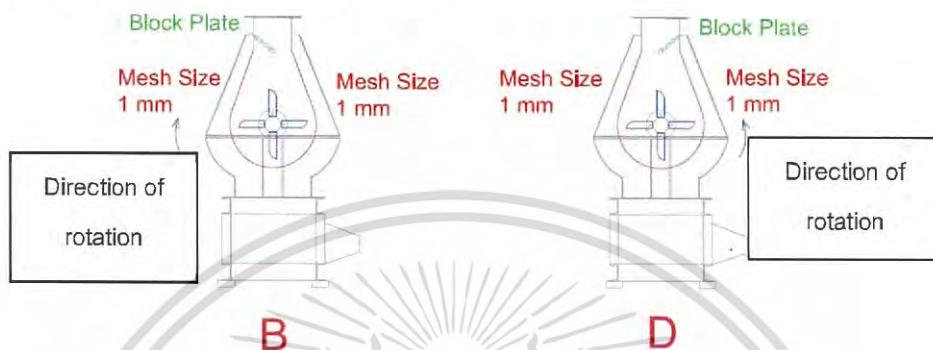


รูปที่ 6.4 ผลการเปรียบเทียบการบดเชื้อเพลิงไม้ยางพาราด้วยวิธี Sieve Analysis โดยทำการปรับเปลี่ยนทิศทางของ Block Plate ด้วยการตั้งการทำงานของเครื่องบดเป็นแบบ C และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลเชิงพาณิชย์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

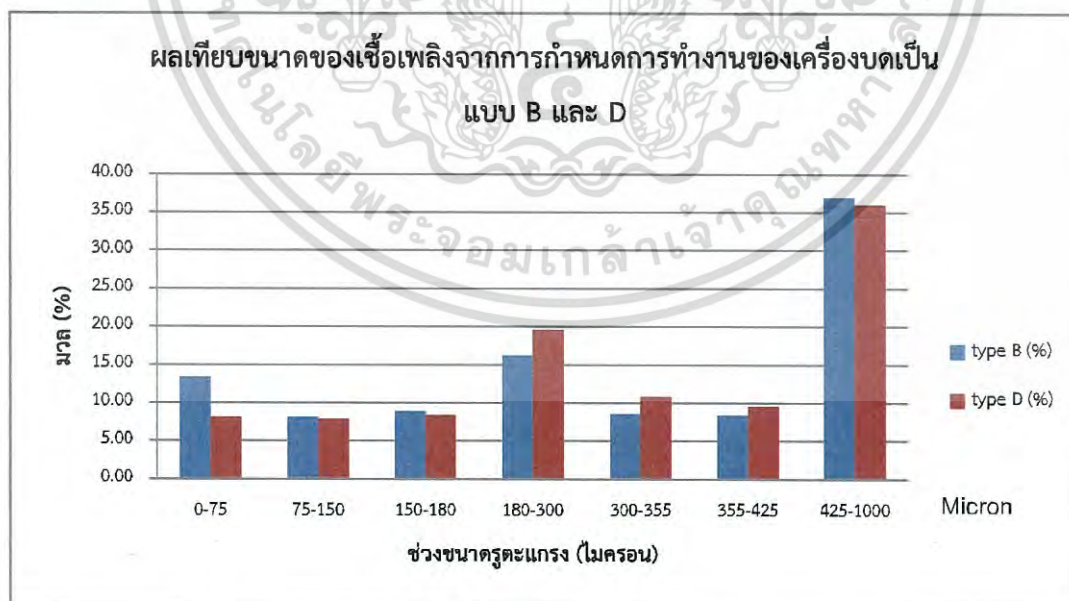
จะเห็นว่าโดยรวมแล้ว การตั้งเครื่องบดแบบ D จะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่า 425 ไมครอนลงมา ในปริมาณมากกว่าการตั้งเครื่องบดแบบ C ซึ่งจะทำให้การเผาไหม้ดีกว่า สอดคล้องกับสมมติฐานเรื่อง การที่เชื้อเพลิงวิ่งเข้าปะทะกับ Block Plate จะช่วยให้การบดผงไม้ยางพาราได้ดีขึ้น

6.2.2 ทำการเปรียบเทียบลักษณะของใบมีด



รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ B และ D

เนื่องจากใบมีดที่ได้รับมาด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นสันตรงหน้าเรียบ อีกด้านหนึ่งมีความโค้ง สันนูนมน จึงกำหนดให้เป็นอีกตัวแปรหนึ่งในการศึกษาการทำงานของ Hammer mill เพื่อทดสอบอิทธิพลของลักษณะใบมีดต่อขนาดของเชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ B และ D ดังรูปที่ 6.5 ซึ่งผลกับขนาดของเชื้อเพลิงที่ได้แสดงในรูปที่ 6.6

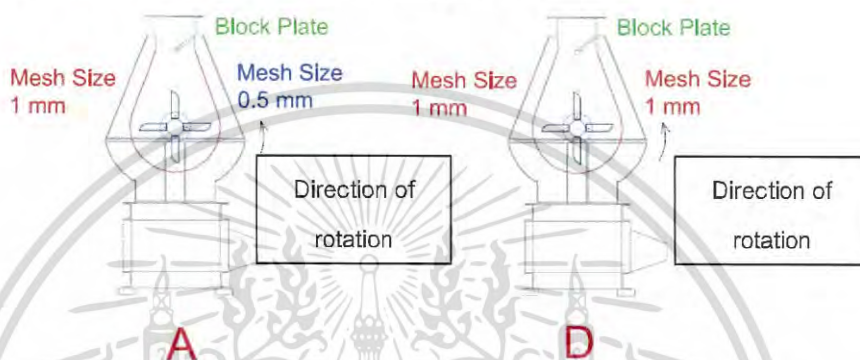


รูปที่ 6.6 ผลการเปรียบเทียบการบดเชื้อเพลิงไม้ยางพาราด้วยวิธี Sieve Analysis โดยเปลี่ยนด้านของใบมีดที่ใช้สับเชื้อเพลิง ด้วยการเซตการทำงานเครื่องบดแบบ B และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

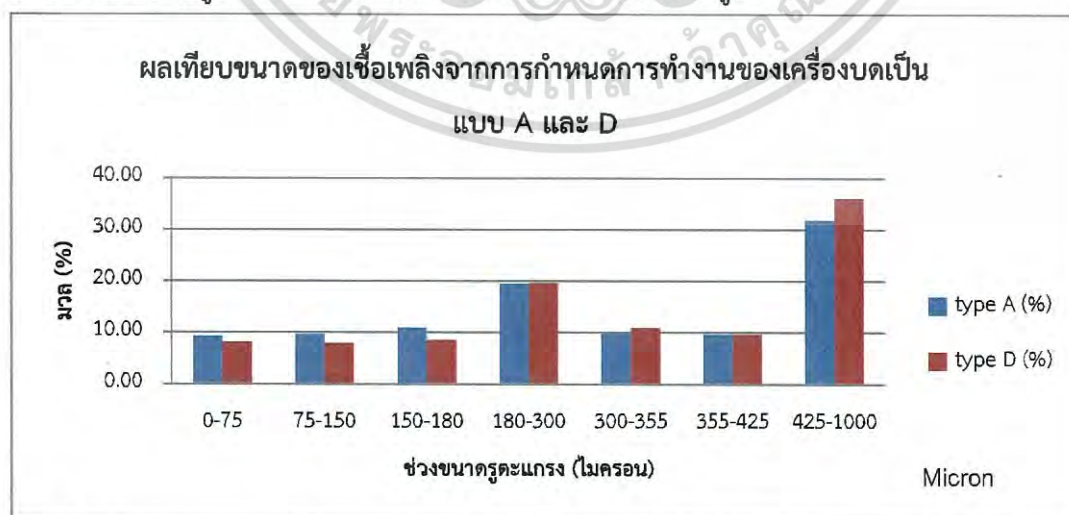
จะเห็นว่าโดยรวมแล้ว การตั้งเครื่องบดแบบ D จะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดตั้งแต่ 425 ไมครอนขึ้นไปน้อยกว่าการตั้งเครื่องบดแบบ B ซึ่งการมีเชื้อเพลิงขนาดต่ำกว่า 425 ไมครอนมากกว่าจะทำให้การเผาไหม้ดีกว่า เพราะลักษณะของไม้ยางพาราอัดเม็ด(Wood Pellet) ที่นำมาบดนั้น มีลักษณะโดยรวมแข็งและเปราะเมื่อถูกกระแทกด้วยใบมีดที่มีสันตรงเรียบจึงแตกตัวได้ง่ายกว่า ส่วนด้านที่โค้งสันนูนมนหรือลึบสันให้คมคาดว่าจะเหมาะกับการบดสิ่งทีลักษณะมีความเป็นกากโยมากกว่า

6.2.3 ทำการเปลี่ยนตะแกรงให้ด้านหนึ่งเป็นขนาดรู 0.5 มม.



รูปที่ 6.7 การเปรียบเทียบการเซตเครื่องบดแบบ A และ D

แต่เชื้อเพลิงผงที่ผลิตได้จากตะแกรงขนาด 1 มม. มีขนาดใหญ่ทำให้การเผาไหม้ในช่วงเริ่มอุ่นเตายากขึ้น ซึ่งในโครงการของนายชินภัทร ชูระการ [1] เดิมนั้นใช้เชื้อเพลิงที่บดผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กซึ่งทำให้การเผาไหม้ดีขึ้นและง่ายกว่า จึงทำการเปลี่ยนให้ตะแกรงด้านหนึ่งของเครื่องบดชนิด Hammer mill เป็นขนาด 0.5 มม. โดยคาดหวังว่าเชื้อเพลิงที่ได้จะมีขนาดเล็กลง แต่อัตราการผลิตยังคงสูงพอความต้องการใช้ โดยเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ A และ D ดังรูปที่ 6.7 ซึ่งผลกับขนาดของเชื้อเพลิงที่ได้แสดงในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 ผลการเปรียบเทียบขนาดของผงเชื้อเพลิงไม้ยางพารา ด้วยวิธี Sieve Analysis โดยเปลี่ยน

ตะแกรงด้านหนึ่งเป็นขนาดรู 0.5 มม. ด้วยการเซตการทำงานของเครื่องบดให้เป็นแบบ A และ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติเนาไปไซประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องบดทั้งสามลักษณะจะเห็นว่าโดยรวมแล้ว การตั้งเครื่องบดแบบ A จะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดตั้งแต่ 425 ไมครอนขึ้นไปน้อยกว่าการตั้งเครื่องบดแบบ D ซึ่งการมีเชื้อเพลิงขนาดต่ำกว่า 425 ไมครอนมากกว่าจะทำให้การเผาไหม้ง่ายกว่า เพราะว่าตะแกรงด้าน 0.5 มม. จะทำหน้าที่ช่วยหน่วงเชื้อเพลิงให้อยู่ในเครื่องบดนานขึ้นเพื่อที่เชื้อเพลิงจะถูกบดในเครื่องบดนานพอจนมีขนาดเล็กลง แต่อัตราการผลิตยังคงสูงเนื่องจากยังมีตะแกรงอีกข้างหนึ่งที่มีขนาด 1 มม.คอยทำหน้าที่ระบายผงออกมา ไม่ทำให้ปริมาณผงไม่อยู่ในห้องบดมากเกินไปจนทำให้เกิดการ Over Load ที่มอเตอร์

โดยอัตราการผลิตของการตั้งเครื่องบดแบบ A อยู่ที่ 171.3 kg/hr (2.855 kg/min, 0.0476 kg/s ที่ 770 kW ความร้อน) เหมาะสำหรับช่วงที่การทดลองเผาไม่เกิน 700 kW ความร้อน ซึ่งอัตราการผลิตของการตั้งเครื่องบดแบบ D จะให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีขนาดมากกว่า 425 ไมครอน มากกว่าแบบ A อยู่ประมาณ 4 % แต่สามารถผลิตเชื้อเพลิงได้ผงมากกว่า 300.72 kg/hr (5.012 kg/min, 0.0835 kg/s ที่ 1350 kW ความร้อน) ซึ่งสามารถบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้เป็นผงเกินเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 1000 kW

6.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการเปลี่ยนลักษณะการทำงานของเครื่องบด

จากผลที่ได้นี้สามารถเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องบดจากเปอร์เซ็นต์ของเชื้อเพลิงที่ผ่านการทำ Sieve Analysis ว่าลักษณะการทำงานแบบใดให้เชื้อเพลิงที่รอดผ่านตะแกรงขนาด 425 micron ได้ปริมาณมากที่สุด อันแสดงว่ามีเชื้อเพลิงที่มีขนาดต่ำกว่าขนาด 425 micron โดยรวมในปริมาณมาก ซึ่งจะอำนวยความสะดวกได้ดีกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ เมื่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงง่ายขึ้นจะส่งผลให้การเผาไหม้มีเสถียรภาพมากขึ้นและยังส่งผลให้ใช้เวลาในการอุ่นเตาล้าง

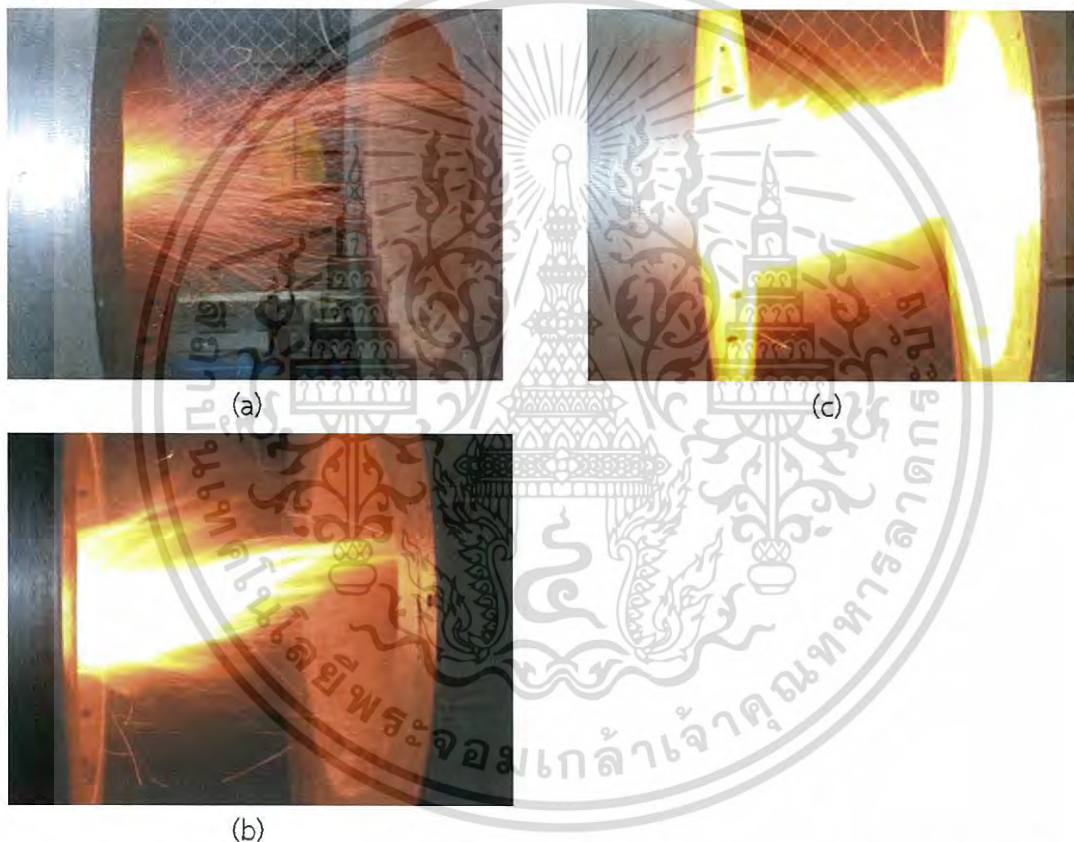
จะเห็นว่าลักษณะการบดที่ให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีขนาดต่ำกว่าขนาด 425 micron ในปริมาณมากเรียงลำดับได้ดังนี้คือแบบ A > D > B > C คือแบบ A จะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กมากกว่าแบบ D เล็กน้อย แต่แบบ D สามารถผลิตเชื้อเพลิงผงได้ในอัตราที่สูงกว่าทั้งยังมีความคุ้มค่าทางต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงมากกว่าแบบ A จากผลดังกล่าวนี้จึงเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ D เป็นหลักในการบดไม้ยางพาราอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงผงในการทดลอง

6.2.5 อิทธิพลของขนาดอนุภาคเชื้อเพลิงต่อพฤติกรรมการณ์เผาไหม้ [1]

เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นชนิดเดียวกับที่ใช้ในโครงการเดิม จึงได้อ้างอิงข้อมูลบางส่วนเกี่ยวกับการทดลองอิทธิพลของขนาดอนุภาคเชื้อเพลิงจากงานวิจัยของนายชินภัทร ชูธการ [1] ในหัวข้อนี้ จึงเป็นการอ้างอิงผลการตรวจสอบพฤติกรรมการณ์เผาไหม้ของหัวเผาชนิดห้องเผาไหม้ช่วย (pre-chamber) ที่ขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน เพื่อระบุขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ได้ความเหมาะสมกับหัวเผา โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้อนุภาคเชื้อเพลิงขนาดดังกล่าว

เมื่ออนุภาคเชื้อเพลิงวิ่งเข้าปะทะกับเปลวไฟนาร์องของแก๊ส LPG อนุภาคเชื้อเพลิงจะเข้าสู่กระบวนการแห้ง (drying) อุณหภูมิของอนุภาคสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ จนน้ำเกิดการระเหย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนการคำนวณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นอุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเข้าสู่กระบวนการปลดปล่อยสารระเหย (devolatilization) กระบวนการเผาไหม้สารระเหย และการเผาไหม้ถ่านชาร์ (char combustion) ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลา (resident time) ในการเกิดกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วของแก๊สร้อนที่พัดพาอนุภาค และขนาดของอนุภาค เป็นต้น เมื่อพิจารณาลักษณะเปลวไฟบริเวณช่องทางออกของหัวเผาที่ตั้งแสดงในรูปที่ 6.9 พบว่าลักษณะของเปลวไฟที่เกิดจากอนุภาคเชื้อเพลิงที่ลอดผ่านรูตะแกรงขนาด 1.5 mm. จะมีลักษณะที่เป็นเส้นทางเดินของปฏิกิริยาการเผาไหม้อนุภาคชาร์อย่างเห็นได้ชัดเจน นั้นแสดงว่าระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (resident time) ภายในห้องเผาไหม้ช่วยสั้นกว่าระยะเวลาที่อนุภาคขนาดดังกล่าวต้องการใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งพฤติกรรมนี้จะส่งผลให้การเผาไหม้อาจเกิดขึ้นแบบสมบูรณ์ได้ยากขึ้น



รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลผงที่มีขนาดของอนุภาคต่างกัน (a) อนุภาคขนาด 1.5 mm., (b) อนุภาคขนาด 1.0 mm. และ (c) อนุภาคขนาด 0.5 mm. [1]

เมื่อพิจารณาการเผาไหม้อนุภาคเชื้อเพลิงที่ลอดผ่านรูตะแกรงขนาด 1 mm. ลักษณะของเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในทางที่ดีกว่าเปลวไฟที่เกิดจากอนุภาคขนาด 1.5 mm. คือปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งทั้งสามปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ช่วย แต่ยังคงปรากฏเห็นเส้นทางเดินของปฏิกิริยาการเผาไหม้อนุภาคชาร์ที่หลุดออกมาจากห้องเผาไหม้ช่วยมากพอสมควร ถึงแม้ว่าปฏิกิริยาการเผาไหม้ชาร์จะเลื่อนเข้าไปเกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ช่วย แต่จากลักษณะของ

เปลวไฟที่เกิดขึ้น คาดการณ์ว่าปฏิกิริยาการเผาไหม้ซาร์นั้นน่าจะเกิดขึ้นที่บริเวณผนังทางออกของห้องเผาไหม้ช่วย หรือส่วนปลายของห้องเผาไหม้ช่วย จึงทำให้ยังสังเกตเห็นเส้นทางเดินของปฏิกิริยา ดังกล่าว ในขณะที่เมื่อพิจารณาการเผาไหม้อนุภาคเชื้อเพลิงที่ลอดผ่านรูตะแกรงขนาด 0.5 mm. ลักษณะของเปลวไฟที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มไปในทางที่ต่ำกว่าเปลวไฟที่เกิดจากอนุภาคสองขนาดที่ผ่านมา สังเกตเห็นเส้นทางเดินของปฏิกิริยาการเผาไหม้ซาร์บ้างเล็กน้อย สอดคล้องกับทฤษฎีการเผาไหม้ อนุภาคเชื้อเพลิงแข็ง ปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเริ่มเกิดขึ้นที่บริเวณผิวภายนอกของอนุภาค แล้วค่อยๆ ลามเข้าหาใจกลางของอนุภาค เมื่ออนุภาคเชื้อเพลิงมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ฐานของเปลวไฟจะค่อยๆ เลื่อนออกไปสู่บริเวณส่วนปลายของห้องเผาไหม้ เนื่องจากที่สภาวะการเผาไหม้เดียวกัน เชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ต้องการใช้ระยะเวลาในกระบวนการปลดปล่อยสารระเหยที่ค่อนข้างนาน ส่งผลทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ซาร์เกิดล่าช้าตามไปด้วย นอกจากนี้การเผาไหม้อนุภาคเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กจะให้อุณหภูมิที่สูงกว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงขนาดใหญ่ ซึ่งบ่งชี้ว่าอนุภาคเชื้อเพลิงขนาดเล็กมีระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สั้นกว่า

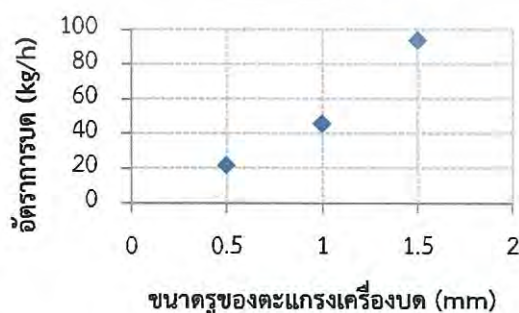
จะเห็นว่าเชื้อเพลิงที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะทำให้การดำเนินการควบคุมการเผาไหม้ได้ง่ายกว่าเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องบด อันจะได้เชื้อเพลิงที่มีขนาดต่างๆ ออกมาดังแสดงในหัวข้อที่ 6.2.1 – 6.2.3

6.3 การทดสอบกำลังการผลิตของเครื่องบด

เพื่อให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของอัตราการบดจึงได้อ้างอิงข้อมูลในส่วนการทดลองหาอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากงานวิจัยของนายชินภัทร ชูธการ [1] ดังหัวข้อที่ 6.1.2 นี้ เครื่องบดเป็นอุปกรณ์ที่ถูกเพิ่มเติมเข้ามาเพื่อแก้ปัญหาคุณภาพของเชื้อเพลิง และเนื่องจากเครื่องบดที่ทำการติดตั้งนั้น เป็นเครื่องบดสำเร็จรูปที่ได้รับมาจากผู้ผลิต จึงต้องทำการทดสอบสมรรถนะต่างๆ ของเครื่อง ได้แก่ อัตราการผลิต และการวิเคราะห์ขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด เป็นต้น

6.3.1 การทดสอบความสามารถของเครื่องบดชนิด Pin mill

เป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบอัตราการผลิตที่แท้จริง เมื่อขนาดของตะแกรงเปลี่ยนไป



รูปที่ 6.10 การเปรียบเทียบอัตราการผลิตของเครื่องบดต่อขนาดรูของตะแกรงเครื่องบด [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบกำลังการผลิตจริงกับข้อมูลจากผู้ผลิต [1]

รุ่น MODEL	มอเตอร์ POWER (Hp : kW)	รอบเครื่อง* SPEED (RPM)	กำลังการผลิต CAPACITY (kg/hr)			
			จากผู้ผลิต	จากการทำงานจริง ตามขนาดตะแกรง		
				0.5 mm	1.0 mm	1.5 mm
YPT-302 (F/S)	5 : 3.7	4000	150-300	21.42	45.60	93.96

จากการทดสอบการทำงาน of เครื่องบดแบบ Pin mill ที่มีความเร็วรอบของจานหมุนประมาณ 4000 รอบต่อนาที ใช้มอเตอร์ขนาด 5 Hp โดยใช้ตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 mm, 1 mm, และ 1.5 mm. พบว่าเมื่อตะแกรงมีขนาดรูที่ใหญ่ขึ้น เครื่องบดจะมีอัตราการบดที่มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6.7 แต่เมื่อเทียบกับกำลังการผลิตที่ได้จากผู้ผลิต จะเห็นได้ว่ากำลังการผลิตจริงของเครื่องบดนั้นน้อยมาก สาเหตุเนื่องจากขนาดตะแกรงที่ทางผู้ผลิตรับรองอัตราการผลิตมานั้นอาจจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่ใช้ในการทดสอบมาก หรือเนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้ในการบดนั้นมีคุณสมบัติที่ต่างกัน อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาใช้ในการทดสอบนั้นเป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใย และมีความเหนียวสูง จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของอัตราการบดที่ต่ำ ซึ่งลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนและหลังการบดแสดงดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 ลักษณะเชื้อเพลิงชีวมวล (a) ลักษณะเชื้อเพลิงก่อนกระบวนการบด และ (b) ลักษณะเชื้อเพลิงหลังผ่านกระบวนการบด [1]

6.3.1.1 การทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดจากเครื่องบดชนิด Pin mill

จากการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงที่บดผ่านตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 mm ซึ่งเชื้อเพลิงที่ผ่านตะแกรงนั้นจะต้องมีขนาดเล็กกว่า 0.5 mm เมื่อนำไปทดสอบขนาดของเชื้อเพลิงที่แท้จริงผ่านวิธีการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (sieve analysis) จะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 6.2 ซึ่งพบว่าอนุภาคเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.180-0.299 mm คิดเป็น 25.53 % รองลงมาคือขนาดเล็กเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่า 0.075 mm คิดเป็น 24.39 % ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.425 mm. จะมีสัดส่วนอยู่เพียง 2.57 % เท่านั้น แสดงว่าเชื้อเพลิงที่ได้มีความละเอียดกว่าขนาดที่ต้องการคือขนาด 0.5 mm ซึ่งจะส่งผลดีต่อระบบการเผาไหม้ นั่นคือความละเอียดของเชื้อเพลิงชีวมวล ทำให้พื้นที่ผิวในการเผาไหม้มีมากขึ้นเทียบกับเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่กว่าในปริมาตรที่เท่ากัน ทำให้ระบบเผาไหม้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ซึ่งค่าสัดส่วนของขนาดอนุภาคเชื้อเพลิงที่ได้มานั้นจะถูกนำไปใช้เป็นตัวแปรควบคุมในการพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลต่อไป

ตารางที่ 6.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด

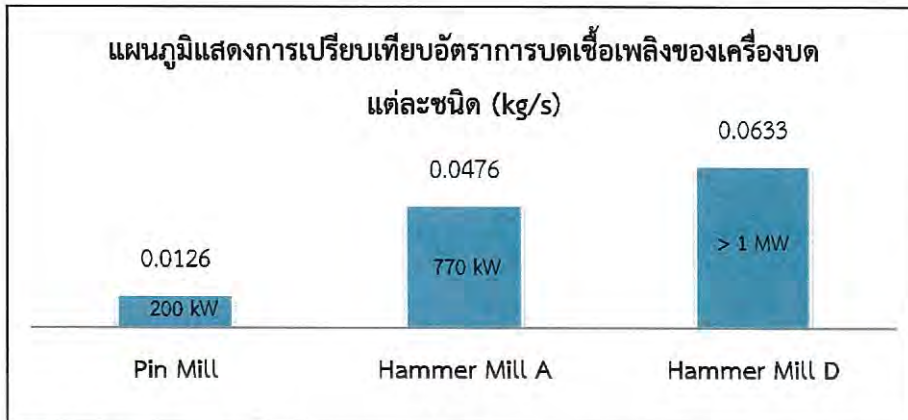
ขนาดอนุภาคเชื้อเพลิง	% by mass
425 - 500 μm	2.57
300 - 424 μm	16.83
180 - 299 μm	25.53
150 - 179 μm	12.56
75 - 149 μm	18.12
0 - 74 μm	24.39

6.3.1.2 วิเคราะห์การทำงานของเครื่องบดชนิด Pin mill

เนื่องจากการทดสอบการเผาไหม้นั้นต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีความละเอียดที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงต้องใช้ตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 mm. แต่เนื่องจากตะแกรงขนาดดังกล่าวส่งผลให้เชื้อเพลิงค้างอยู่ในเครื่องบดเป็นเวลานาน และอัตราการบดของเครื่องบดค่อนข้างที่จะต่ำ ไม่เพียงพอต่อการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อทดสอบการเผาไหม้ที่กำลังความร้อนสูงๆ (200 kW ขึ้นไป) หากทำการป้อนเชื้อเพลิงแบบเม็ดลงมาสู่เครื่องบดอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราที่สูงกว่ากำลังผลิตของเครื่องบด จะทำให้เกิดการอัดแน่นของเชื้อเพลิงภายในเครื่องบด จนหมุ่นไม่สามารถทำงานได้เป็นผลทำให้เครื่องบดนั้นหยุดการทำงาน นั่นคือ การทำงานที่เกินขีดจำกัดของเครื่องบด โดยระยะเวลาก่อนที่เครื่องบดนั้นจะทำงานเกินขีดจำกัดนั้นน้อยกว่าระยะเวลา 30 นาที ที่ต้องการให้ระบบทำงานต่อเนื่อง เพื่อไม่ให้เครื่องบดเป็นอุปสรรคของงานวิจัย และให้ระบบทั้งหมดทำงานได้อย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในขอบเขตการศึกษา จึงได้ทำการแยกเครื่องบดออกจากระบบ และทำการบดเชื้อเพลิงเก็บสะสมไว้ จนได้ปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งานทดสอบการเผาไหม้

6.3.2 การทดสอบความสามารถของเครื่องบดชนิด Hammer mill

เนื่องจากเครื่องบดที่ทำการติดตั้งเข้ากับระบบป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลผมนั้น เป็นเครื่องบดสำเร็จรูปที่ได้จัดหามาจากผู้ประกอบการที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ เนื่องจากไม่มีข้อมูลจำเพาะของเครื่องบด จึงจำเป็นต้องทดสอบเพื่อหาลำดับการผลิตที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.4.4



รูปที่ 6.12 เปรียบเทียบอัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงระหว่าง Pin mill กับ Hammer mill

จากการทดลองพบว่าเมื่อเลือกลักษณะการทำงาน of เครื่องบดแบบ A จะสามารถทำการบดเชื้อเพลิงในอัตราสูงสุดอย่างปลอดภัยดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.3.2 ได้ที่อัตรา 171.3 kg/hr (2.26 Hz ของสกรู 1 เทียบเท่าที่ 770 kW ความร้อน) แต่ในลักษณะการทำงาน of เครื่องบดเป็นแบบ D สามารถทำอัตราการบดเชื้อเพลิงได้ต่อเนื่องที่มากกว่า 228 kg/hr (มากกว่า 1000 kW ความร้อน) แต่จะทำให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ในสัดส่วนที่มากขึ้นเล็กน้อย แต่อัตราการบดสามารถทำได้มากกว่าความต้องการใช้สูงสุด ดังแสดงการเปรียบเทียบอัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงในรูปที่ 6.12

6.4 ทดสอบการขนถ่ายจากเชื้อเพลิงผงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บ

ในหัวข้อนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะหาขีดจำกัดของระบบเตรียมเชื้อเพลิงโดยการทดลองทำการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงผงสู่ถังเก็บไปพร้อมกันแล้วทำการสังเกต พบว่า

1. พัดลมที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผงนี้ สามารถขนถ่ายเชื้อเพลิงผงที่อัตราการบด 228 kg/hr (1 MW ความร้อน) ซึ่งเป็นความต้องการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดได้โดยต่อเนื่องไม่ติดขัด โดยมีความเร็วลมที่ใช้ขนถ่ายอยู่ในช่วง 21-24 m/s ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกขนถ่าย กล่าวคือ เมื่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกขนถ่ายมากขึ้นความเร็วลมที่ใช้ลำเลียงจะลดลง โดยแสดงค่า Phase Density ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 แสดงค่า Phase Density ในส่วนของระบบการเตรียมเชื้อเพลิง

kW ความร้อน	Air conv. (kg/s)	Fuel (kg/s)	Phase Density
100	0.0929	0.0062	0.07
200	0.0929	0.0124	0.13
400	0.0929	0.0248	0.27
600	0.0929	0.0371	0.40
800	0.0929	0.0495	0.53
1000	0.0929	0.0619	0.67

2. เครื่องบดชนิด Hammer mill นี้เป็นข้อจำกัดของระบบเตรียมเชื้อเพลิงเมื่อเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ A คือสามารถทำการบดเชื้อเพลิงในอัตราสูงสุดอย่างปลอดภัยได้ที่อัตรา 171.3 kg/hr (สกรู 1 บ้อนความถี่ 2.26 Hz, ที่ 770 kW ความร้อน) ซึ่งย่านการทดลองในปัจจุบันยังไม่เกินที่ 500 kW ความร้อน เพราะฉะนั้นการบดในย่านนี้ จึงยังเพียงพอสำหรับการทดลองเผาอย่างต่อเนื่องได้ แต่หากในอนาคตเมื่อมีการพัฒนาหัวเผาให้สามารถรองรับการเผาเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพได้ ก็สามารถเพิ่มอัตราการบดโดย เลือกลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ D ซึ่งจะให้อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงมากขึ้น จนสูงกว่าความต้องการทดลองเผาใหม่ที่ย่านสูงสุดคือ 1 MW ความร้อน

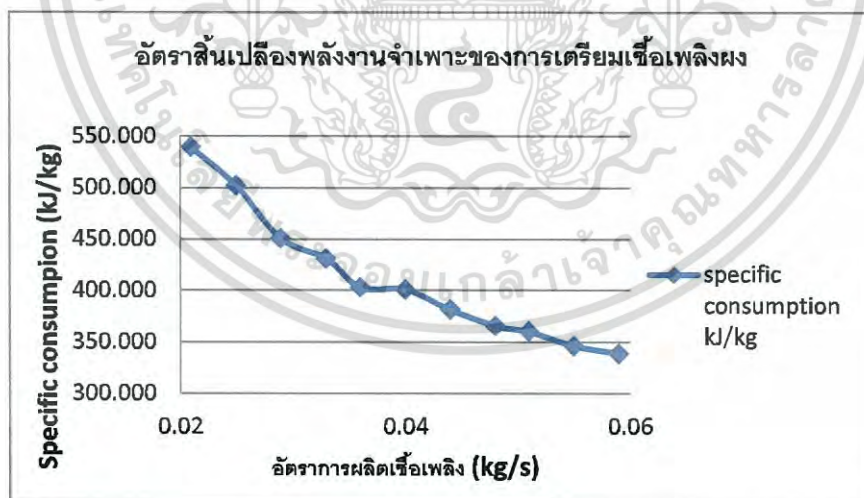
6.5 การเก็บค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อประเมินอัตราการใช้พลังงานในการเตรียมเชื้อเพลิง

ในการใช้พลังงานสำหรับสกรูและพัดลมที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงนั้นรวมกันอยู่ที่ไม่เกิน 2.237 kW ขึ้นอยู่กับอัตราการบดของเครื่องบดในขณะนั้น ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องบดนั้นจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราการบด ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ล้วนต้องใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน จึงทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนของปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้จากการบด โดยแสดงในรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.13 เปรียบเทียบระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปและพลังงานความร้อนที่ได้

จะเห็นว่าการกินพลังงานไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับปริมาณอัตราการบดเชื้อเพลิง และเราสามารถระบุอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการเตรียมเชื้อเพลิงที่ได้แสดงในรูปที่ 6.14



รูปที่ 6.14 อัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการเตรียมเชื้อเพลิง

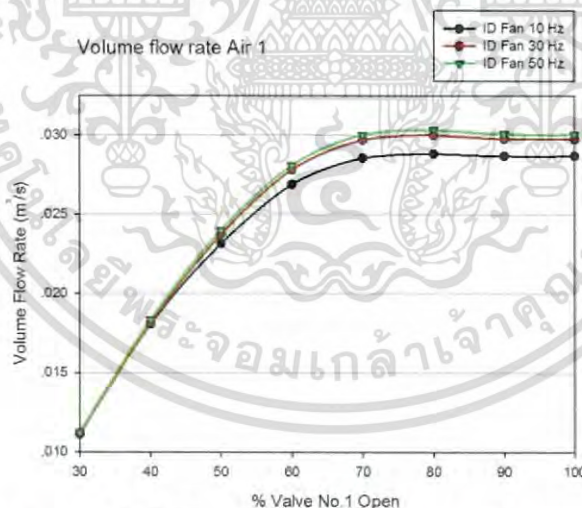
จากรูปที่ 6.14 จึงกล่าวได้ว่ายิ่งผลิตเชื้อเพลิงในอัตราสูงจะมีคุ่มค่าทางด้านพลังงานมากกว่าการผลิตในอัตราต่ำๆ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องลักษณะเครื่องบดทำให้ทำงานแบบใด ซึ่งจะส่งผลต่อขนาดของเชื้อเพลิงที่ออกมาด้วย กล่าวคือสามารถทำการบดเชื้อเพลิงต่อเนื่องได้ที่อัตรา 171.3 kg/hr (770 kW ความร้อน) ที่ขนาดตะแกรง 0.5+1.0 มม. ซึ่งให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่า 425 ไมครอนในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณที่มากกว่าคือ 31.76 % และสามารถดูดเชื้อเพลิงต่อเนื่องได้ที่อัตรามากกว่า 226 kg/hr (มากกว่า 1 MW ความร้อน) ที่ขนาดตะแกรง 1.0+1.0 มม. แต่ขนาดของเชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่กว่า 425 ไมครอน จะอยู่ที่ 35.93 % ดังแสดงในหัวข้อที่ 6.2.3 โดยพลังงานที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงผง 0.063 kg/s (1MW ความร้อน) มีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 329.2 kJ/kg คิดเป็นประมาณ 2 % เมื่อเทียบพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ จึงสรุปว่าการเตรียมเชื้อเพลิงผงมีความคุ้มค่าต่อการควบคุมการเปลี่ยนย่านการเผาไหม้ที่รวดเร็วกว่าการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ด

6.6 การศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย

6.6.1 การทำงานของวาล์วควบคุมการไหลของอากาศ (Butterfly Control Valve)

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการไหลของการทดลองนี้คือวาล์วควบคุมชนิดปีกผีเสื้อที่มีลักษณะการไหลสัมพันธ์กับการทำงานของวาล์วดังรูปที่ 6.12 เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ พบว่า ช่วงการทำงานของวาล์วระหว่าง 70 % -100 % วาล์วจะอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันระหว่างเกือบเปิดสุดกับเปิดสุดแต่การไหลของอากาศแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงและช่วงการทำงานการทำงานของวาล์วระหว่าง 0 % -30% วาล์วจะอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันระหว่างเกือบปิดสุดกับปิดสุด ซึ่งทั้งสองช่วงดังกล่าวมานี้การไหลของอากาศแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงซึ่งยากต่อการควบคุมพบว่าวาล์วควบคุมการไหลชนิดปีกผีเสื้อนั้นสามารถใช้งานได้ดีในช่วงการเปิดที่ 30-70%



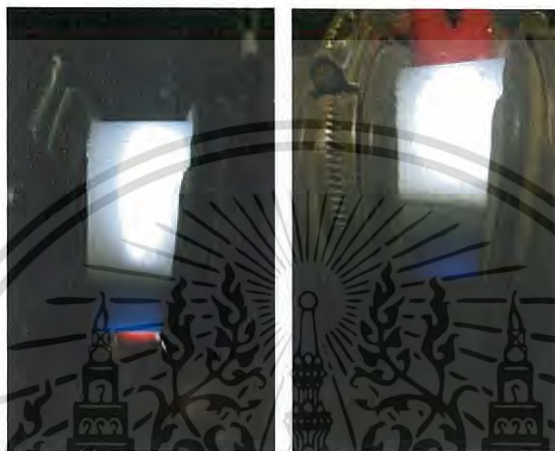
รูปที่ 6.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและการทำงานของ ID FAN

6.6.2 อิทธิพลจากความเปลี่ยนแปลงความดันในเตาของเนื่องจากการทำงานของ ID Fan

จากรูปที่ 6.15 แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ ID FAN ที่มีผลต่ออัตราการไหลของอากาศผ่านวาล์วจากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการทำงานของ ID FAN สูงขึ้นทำให้เกิดลมดูดที่แรงขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้เพื่อรักษาอัตราการไหลของอากาศให้คงที่วาล์วจึงเปิดน้อยลง เมื่อวาล์วปิดตัวลงทำให้ลมที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงมีความดันในการผลักเชื้อเพลิงน้อยลงเข้าไปใกล้ลักษณะการการลำเลียงแบบดูดมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อวาล์วเปิดน้อยกว่า 30 % และเนื่องจากการลำเลียงแบบดูดต้องใช้ความเร็วลมในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนถ่ายวัสดุมากกว่าแบบผลึก จึงส่งผลให้การขนถ่ายเชื้อเพลิงด้วยลมด้อยลงคือเชื้อเพลิงเริ่มกองมากขึ้นในท่อที่ใช้ลำเลียง โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงการกองของเชื้อเพลิงในท่อขนส่งจากการเปลี่ยนความถี่ควบคุมของ ID FAN เมื่ออัตราขนส่งของอากาศและเชื้อเพลิงที่คงที่ ดังแสดงการเปรียบเทียบการจ่ายเชื้อเพลิงที่อัตราการเผาไหม้ 300 kW ความร้อน (ปริมาณเชื้อเพลิงผง 0.01856 kg/s ใช้อากาศในการลำเลียง 0.0173 kg/s) ระหว่างการทำงานของ ID FAN ที่ 10 Hz และ 14 Hz ในรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.16 แสดงการกองของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียงที่การทำงานของ ID FAN ที่ 10 Hz และ 14 Hz ตามลำดับ

จากรูปที่ 6.16 ในรูปฝั่งซ้ายมือคือการกำหนดความถี่ควบคุมของ ID FAN ไว้ที่ 10 Hz ซึ่งจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงกองสะสมในท่อลำเลียงน้อยกว่ารูปทางขวามือซึ่งกำหนดการควบคุมของ ID FAN ไว้ที่ 14 Hz โดยสังเกตจากการทะลุผ่านของแสง ยังมีเชื้อเพลิงกองในท่อสะสมในท่อมากขึ้นเท่าใดยิ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดการอุดตันในท่อขนส่งเชื้อเพลิงอาจทำให้การเผาไหม้ต้องหยุดชะงักอย่างฉับพลัน และพบว่า นอกจากปริมาณอากาศและความเร็วของอากาศที่ใช้ขนส่งจะมีอิทธิพลต่อการขนส่งแล้ว ความเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้นในท่อขนส่งจะมีอิทธิพลต่อการขนถ่ายเชื้อเพลิงอย่างมากด้วย

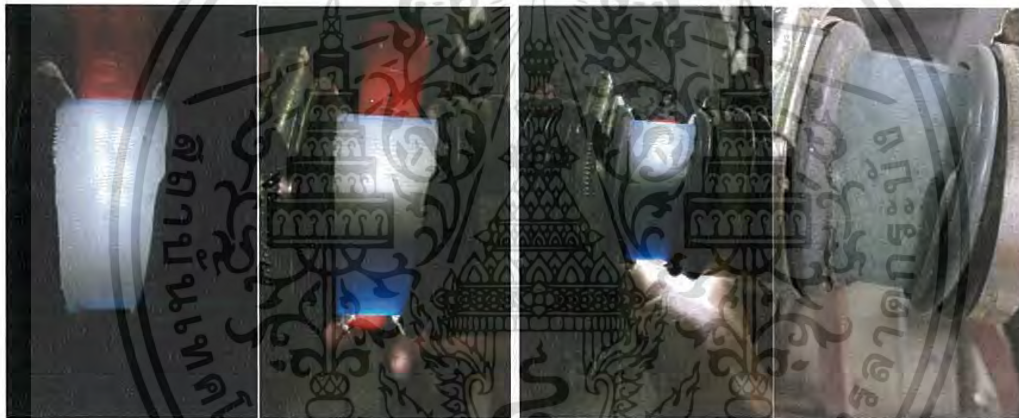
6.6.3 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิง

ได้ทำการทดลองเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศปฐมภูมิหรือลมที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยเทียบกับอากาศที่ใช้สำหรับเผาไหม้ทั้งหมด (กำหนด Excess Air 15%) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 6.4 และจากการทดลองเผาไหม้ของนายรศเรฐ์ พิกุลเงิน [3] พบว่าเมื่อกำหนดอัตราส่วนของอากาศทั้งสามส่วนเป็น (Air 1 : Air 2 : Air 3) อยู่ที่ (15 % : 75 % : 10 %) นี้ ให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เหมาะสมที่สุดสำหรับห้องเผาไหม้ช่วย ซึ่งแต่ละการปรับเปลี่ยนแต่ละอัตราส่วนอากาศจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ช่วยโดยตรง จากตารางที่ 6.4 จะเห็นว่าในแถวที่ 3

ค่า Ratio ของ Air 1 อยู่ที่ 15 % จะให้ค่า Phase Density อยู่ที่ 1.07 มีเชื้อเพลิงกองค้างในท่อลำเลียงอยู่ที่ 60 % ของความสูงท่อดังแสดงในรูปที่ 6.13

ตารางที่ 6.4 แสดงลักษณะการกองของวัสดุในท่อที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนอากาศของลมปฐมภูมิ

กำลังเครื่อง	Ratio Air 1	Valve air	Air 1 flow rate	Fuel	Phase Density	ลักษณะปรากฏ เชื้อเพลิงกองใน ท่อ
KW	%	%	kg/s	kg/s		
300	25	51.2	0.0288	0.01856	0.64	0%
300	20	41.5	0.0231	0.01856	0.80	40%
300	15	37.5	0.0173	0.01856	1.07	60%



รูปที่ 6.17 แสดงการกองของเชื้อเพลิงในท่อลำเลียงที่อัตราส่วนอากาศปฐมภูมิ 25% 20% 15% 10% ตามลำดับ

จากรูปที่ 6.17 แสดงการกองของวัสดุ(เชื้อเพลิงผง)ในท่อที่ใช้ลำเลียงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนอัตราส่วนอากาศปฐมภูมิ (Air1) ที่ใช้ลำเลียงเป็น 25% 20% 15% 10% ตามลำดับ พบว่ายิ่งใช้ปริมาณอากาศลำเลียงมากเชื้อเพลิงจะกองในท่อน้อย จากลักษณะการกองของเชื้อเพลิงในท่อดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วของอากาศลดลงวัสดุจะไม่สามารถลอยตัวอยู่ในกระแสการไหลของลมได้ ในบางกรณีวัสดุจะกองตัวที่พื้นผิวท่อด้านล่างแล้วทำให้พื้นที่หน้าตัดท่อลดลง ทำให้ลมที่ไหลอยู่เหนือวัสดุมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนสามารถไหลโดยมีการไหลแบบเบาบางบนชั้นวัสดุอีกทีหนึ่ง และพบว่าที่อัตราส่วนอากาศปฐมภูมิ 10% เกิดการอุดตันในท่อส่งเชื้อเพลิงคือปริมาณอากาศไม่เพียงพอที่จะสามารถลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยได้ จากลักษณะการกองของเชื้อเพลิงในท่อดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเป็นเกิดจากเชื้อเพลิงผงตกลงที่พื้นผิวท่อด้านล่างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนปิดหน้าตัดท่อทั้งหมดและถ้าความดันลมไม่เพียงพอก็จะเกิดการอุดตันของวัสดุในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6.4 ความเร็วลมต่ำสุดในการขนถ่ายเชื้อเพลิง

จากการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถคำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่อากาศปฐมภูมิ (Air 1) ที่จะให้ขนถ่ายเชื้อเพลิงได้ โดยคำนวณจากเงื่อนไขของการเผาไหม้ที่เหมาะสมที่สุดคือ Excess Air 15% โดยจะมีอัตราส่วนของอากาศทั้งสามเป็น (Air 1 : Air 2 : Air 3) อยู่ที่ (15 % : 75 % : 10 %) ซึ่งเป็นอัตราส่วนต่ำสุดที่สามารถขนถ่ายเชื้อเพลิงได้และอัตราการทดลองที่ 300 kW ความร้อน มีค่า Phase Density = 1.07 ท่อที่ใช้ในการขนส่งเชื้อเพลิงมีขนาด 2 นิ้ว ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.054 มม. ขนาดใหญ่สุดของเชื้อเพลิงที่ถูกขนส่งคือ 1 มม. ใช้สมการของ Rizk ในดังแสดงในสมการที่ 1 จะได้

$$\mu = \frac{1}{10^x} * \left(\frac{V_{st}}{g * D} \right)^y$$

โดยที่

$$x = 1.44d + 1.96$$

$$y = 1.1d + 2.5$$

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุ (mm)

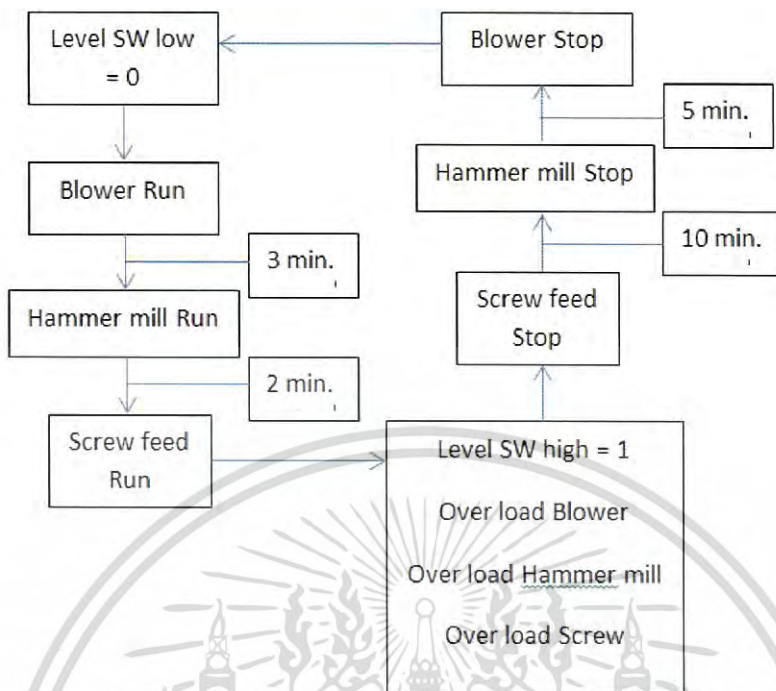
μ = อัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Phase Density)

เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ 1 จะได้ $V_{st} = 4.75$ m/s

แต่ในความเป็นจริงความเร็วของอากาศปฐมภูมิ (Air 1) ขนาด 2 นิ้ว ที่อัตราการเผาไหม้ 300 kW ความร้อนอยู่ที่ประมาณ 7.55 m/s เมื่ออัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่ใช้ขนส่งเพิ่มขึ้นเริ่มมีเชื้อเพลิงกองที่พื้นผิวท่อมากขึ้น เมื่อหน้าตัดท่อเล็กลงอากาศและเชื้อเพลิงที่ใช้ขนถ่ายอยู่ด้านบนของกองเชื้อเพลิงจะเป็นการไหลแบบเบาบาง จนกว่าเชื้อเพลิงจะกองจนเต็มหน้าตัดท่อ

6.7 การพัฒนาระบบเตรียมเชื้อเพลิงให้เป็นอัตโนมัติ

จากการเพิ่มเติมอุปกรณ์หลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 5 และได้ทดสอบอัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงบแล้วว่าได้ตามเป้าหมายดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 6.3.2 จึงทำการเขียนโปรแกรมสำหรับช่วยในส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงให้เป็นอัตโนมัตินั้นมีจุดมุ่งหมายให้สามารถสั่งการอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบได้ เช่น อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมใบสกรู เครื่องบดและพัดลมที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผงบ เหล่านี้ได้จากทั้งจากตู้ควบคุมเหมือนเดิมและคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับ PLC โดยให้สามารถสั่งงานเฉพาะแต่ละอุปกรณ์ (Manual) หรือให้อุปกรณ์ทำงานเป็นลำดับขั้นตามที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม (Auto) ซึ่งมีวงจรถ่ายการทำงานดังแสดงในรูปที่ 6.18



รูปที่ 6.18 แสดงวงจรการทำงานของการเตรียมเชื้อเพลิงอัตโนมัติ

จากรูปที่ 6.18 การทำงานเริ่มต้นคือเซนเซอร์ตรวจวัดระดับเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งต่ำจะตรวจจับว่ามีเชื้อเพลิงอยู่หรือไม่ ถ้าตรวจไม่พบเชื้อเพลิงโปรแกรมจะสั่งให้พัดลมที่ใช้งานถ่ายเชื้อเพลิงทำงานและหน่วงเวลาไว้ 3 นาที เพื่อให้พัดลมสามารถทำงานได้เต็มที่ จากนั้นเครื่องบดจะเริ่มทำงานและหน่วงเวลาไว้ 2 นาที เพื่อให้เครื่องบดทำงานได้เต็มที่ จากนั้นสกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัตโนมัติจะเริ่มทำงานและจะทำงานจนกว่าเซนเซอร์ตรวจวัดระดับเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งสูง โปรแกรมก็จะสั่งให้สกรูขนถ่ายเชื้อเพลิงอัตโนมัติหยุดทำงานและหน่วงเวลาไว้ 10 นาที เพื่อให้เครื่องบดทำการบดเชื้อเพลิงที่ค้างอยู่ภายในเครื่องบดให้หมดเพื่อป้องกันการ Over Load ของเครื่องบดจากการเริ่มทำงานครั้งต่อไป เมื่อเครื่องบดหยุดทำงานไปเป็นเวลา 5 นาที พัดลมที่ใช้งานถ่ายเชื้อเพลิงจะหยุดทำงาน ในช่วงเวลา 5 นาทีที่เครื่องบดหยุดทำงานพัดลมขนถ่ายจะดูดเชื้อเพลิงที่ตกค้างอยู่ในเครื่องบดจนอยู่ในปริมาณน้อย เมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงจนอยู่ในระดับต่ำกว่าเซนเซอร์ตรวจวัดระดับเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งต่ำไม่สามารถตรวจเจอขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงก็จะเริ่มใหม่อีกครั้ง

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบประโยชน์ที่ได้จากการพัฒนาระบบเตรียมเชื้อเพลิง

รายการ	ระบบเดิม	ระบบใหม่
เวลาที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงผง	> 5 hr	< 30 min
จำนวนคนที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงผง	4-5 persons	2-3 persons
อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงต่อเนืองสูงสุด	23 kg/hr	> 228 kg/hr
ความเป็นอัตโนมัติ	×	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

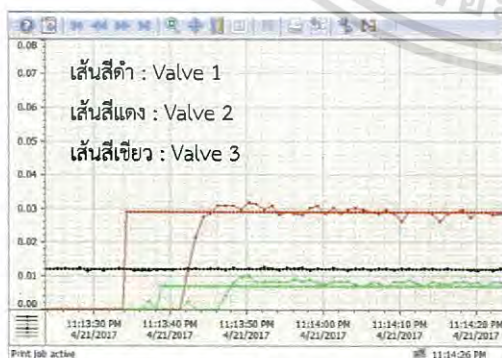
ประโยชน์ที่ได้รับหลังจากพัฒนาระเตรียมเชื้อเพลิงให้เป็นอัตโนมัติคือ ใช้เวลาในการเตรียมเชื้อเพลิงสั้นลงจากระบบเดิมอย่างน้อย 5 เท่า คือระบบเตรียมเชื้อเพลิงในปัจจุบันสามารถผลิตเชื้อเพลิงได้ $2.855 \text{ kg/min} = 770 \text{ kW}$ ความร้อน ที่ขนาดตะแกรง $0.5+1.0 \text{ มม.}$ และสามารถผลิตเชื้อเพลิงได้มากกว่า $3.8 \text{ kg/min} = 1 \text{ MW}$ ความร้อน ที่ขนาดตะแกรง $1.0+1.0 \text{ มม.}$ ได้ทันทีต่อเนื่องหรือสามารถผลิตเชื้อเพลิงผงขณะที่ทำการทดลองเผาไหม้อยู่ได้ ซึ่งยังช่วยลดโอกาสที่เชื้อเพลิงผงจะเสื่อมคุณภาพลงเนื่องจากการดูดความชื้นที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบข้างลงได้ดังได้แสดงในตารางที่ 6.5

6.8 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเผาไหม้

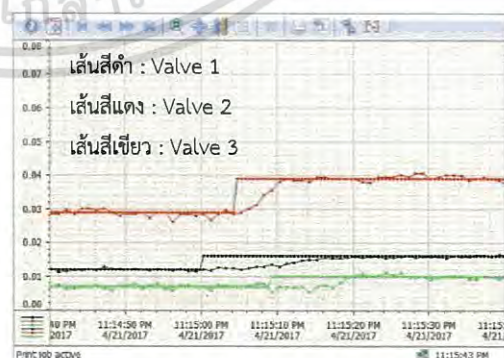
ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาร่วมกับนายันทพล จันคง [4] จะกล่าวถึงการควบคุมอัตราการไหลของอากาศซึ่งใช้วาล์วปีกผีเสื้อเป็นวาล์วควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมชนิด PI ซึ่งค่าเป้าหมายที่ป้อนให้ระบบ (Setpoint) คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร ($Q, \text{m}^3/\text{s}$) ของอากาศทั้งสามส่วนประกอบด้วย อากาศปฐมภูมิ อากาศทุติยภูมิ อากาศตติยภูมิ โดยการวัดอัตราการไหลจะใช้แผ่นออริฟิสร่วมกับ Differential Pressure Transmitter จากนั้นต้องการควบคุมอากาศทั้งสามส่วนให้เป็นไปตามค่า Setpoint ที่ตั้งไว้โดยการปรับ Butterfly Control Valve ซึ่งการทดลองนี้จะทำการปรับเปลี่ยนค่า PI (Proportional plus Integral controller: PI controller) เพื่อศึกษาหาค่าที่ทำให้อัตราการไหลเข้าสู่เป้าหมายได้อย่างรวดเร็วและไม่เกิดการ OverShoot หรือ UnderShoot

6.8.1 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุม PI ครั้งที่ 1

ในการทดลองครั้งที่ 1 นี้มีการใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.15$ $K_i=1$ สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง มีการใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.05$ $K_i=0.2$ สำหรับอากาศส่วนที่สอง และใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.2$ $K_i=1$ สำหรับอากาศส่วนที่สาม เพื่อดูการตอบสนองในช่วงของการเร่งค่ากำลังความร้อนทุกๆ 50 kW โดยแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 6.19

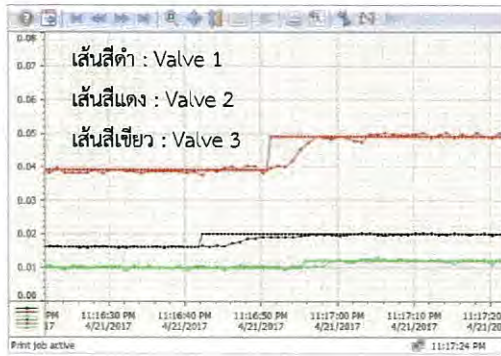


(ก)

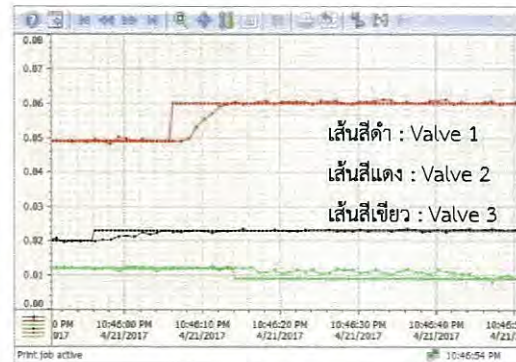


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



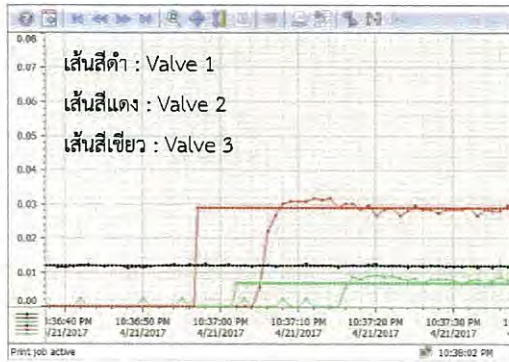
(ง)

รูปที่ 6.19 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s) ของอากาศครั้งที่ 1 (ต่อ)

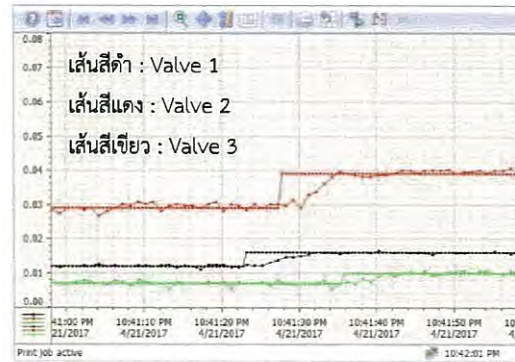
จากรูปที่ 6.19 เป็นการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนที่เริ่มตั้งแต่อำนาจความร้อน 100kW ไปสู่ 300kW โดยเพิ่มครั้งละ 50kW เมื่อพิจารณาพบว่าการควบคุมอัตราการไหลของอากาศส่วนที่หนึ่ง มีการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ช้าในช่วง 8-16 วินาที ของการเพิ่มกำลังความร้อน แต่จะไม่เกิดค่าพุ่งเกิน ซึ่งค่าความผิดพลาดเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวนั้นสามารถยอมรับได้ ต่อมาในอากาศส่วนที่สองนั้นพบว่าในช่วงกำลังความร้อน 100 kW ไปสู่ 150 kW ในรูปที่ 6.19 (ก) นั้นมีการพุ่งเกิดเพียงเล็กน้อยก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยใช้เวลาประมาณ 8 วินาที โดยในช่วงการเพิ่มกำลังความร้อนอื่นนั้น สามารถตอบสนองได้ดีสามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ในเวลาที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงเวลาประมาณ 6 วินาที ต่อมาในอากาศส่วนที่สาม พบว่าในช่วงเริ่มการเปิดวาล์วนั้นผลตอบสนองที่ได้มีค่าพุ่งเกินและใช้เวลานานประมาณ 36 วินาที กว่าที่จะเข้าสู่สภาวะสมดุล อันเนื่องมาจากการใช้อัตราการไหลของอากาศที่ต่ำ เช่นเดียวกับกับรูปที่ 6.19 (ข) และ (ง) ที่ใช้เวลานานอยู่ในช่วง 10-30 วินาที ในการเข้าสู่สภาวะคงตัว แต่สามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ดีในช่วงกำลังความร้อน 200 kW ไปสู่ 250 kW ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้ จะต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวควบคุมต่อไป

6.8.2 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุม PI ครั้งที่ 2

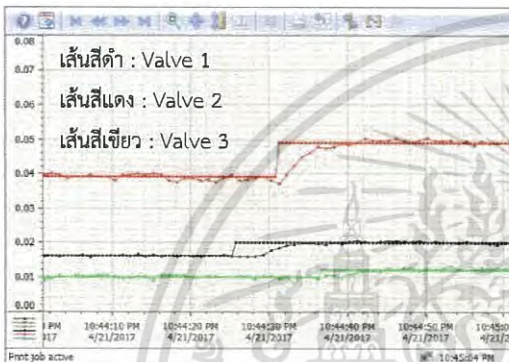
ในการทดลองครั้งที่ 2 นี้มีการใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.2$ $K_i=0.4$ สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง มีการใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.05$ $K_i=0.2$ สำหรับอากาศส่วนที่สอง และใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.12$ $K_i=0.8$ สำหรับอากาศส่วนที่สาม เพื่อดูการตอบสนองในช่วงของการเร่งค่ากำลังความร้อน โดยแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 6.20



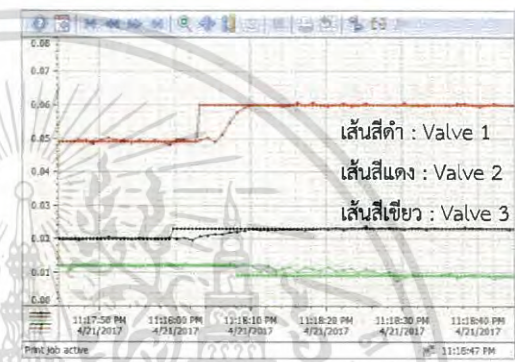
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 6.20 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s) ของอากาศครั้งที่ 2

เมื่อพิจารณาถึงผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากรูปที่ 6.19 ผู้วิจัยจึงทำการปรับแต่งค่าควบคุมเพื่อทดสอบถึงผลตอบสนองที่เกิดขึ้น โดยในรูปที่ 6.20 สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่งได้มีการเพิ่ม ค่า Kp เพื่อเพิ่มช่วงเวลาการขึ้น (Rise time) และทำการลดค่า Ki เพื่อให้สามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ไวขึ้น ซึ่งผลที่ได้นั้นเป็นที่น่าพอใจ สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ทุกช่วงกำลังความร้อนสามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้อยู่ในเวลา 8 วินาที โดยในหัวข้อต่อไปสำหรับอากาศส่วนที่หนึ่งผู้วิจัยจำทำการเพิ่มค่า Kp และลดค่า Ki ลงอีกเพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลง

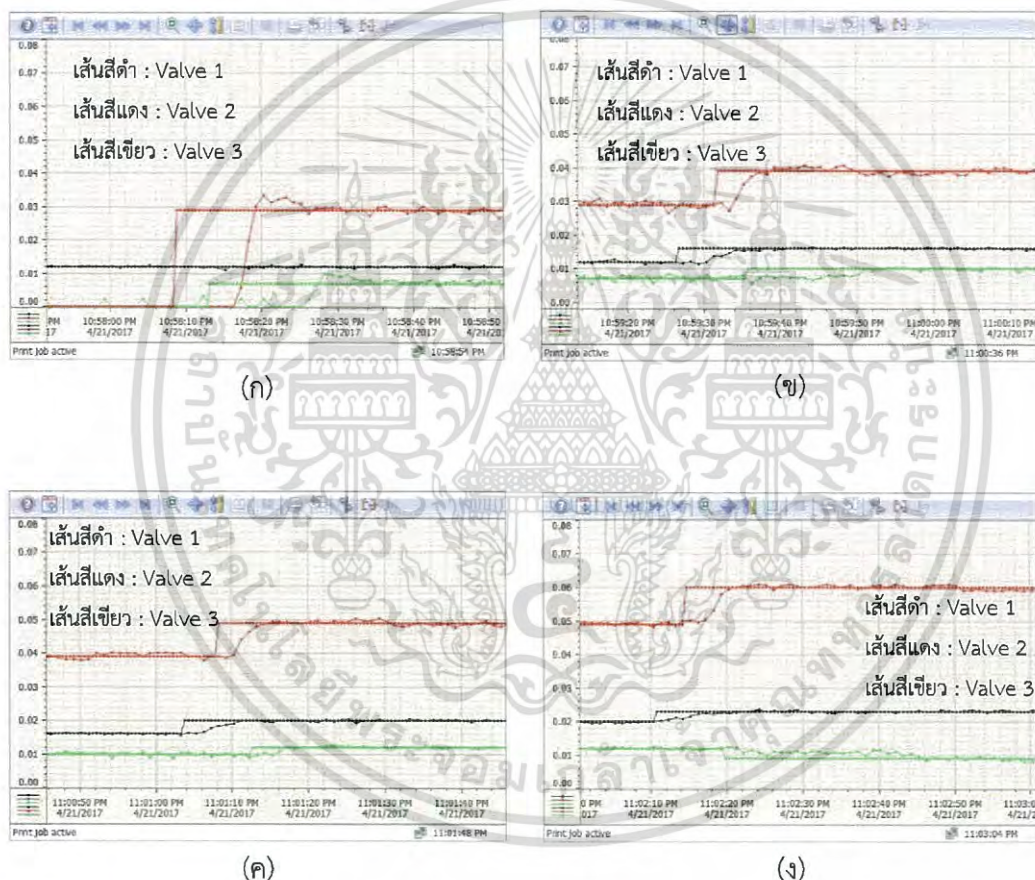
สำหรับอากาศส่วนที่สอง จากการทดลองครั้งที่ 1 ในรูป 6.19 ได้ผลเป็นที่น่าพอใจจึงทำการปรับเพิ่มค่า Ki และดูการเปลี่ยนแปลงซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 6.20 พบว่ามีช่วงเวลาขึ้นที่ไวกว่าแต่เกิดค่าพุ่งเกินที่สูงกว่าในช่วงกำลังความร้อนที่ 100kW ไปสู่ 150 kW ดังรูปที่ 6.20 (ก) ส่วนเวลาการเข้าสู่สภาวะสมดุลนั้นต่างกันเพียงเล็กน้อย และมีค่าผิดพลาดที่สถานะคงตัวต่างกันเล็กน้อยเมื่อทำการเปรียบเทียบในรูปที่ 6.19 (ง) และ รูปที่ 6.20 (ง) ซึ่งเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวอยู่ในช่วงเวลา 8 วินาที

ส่วนอากาศส่วนที่สามนั้นผู้วิจัยทำการปรับแต่งค่าการควบคุม โดยทำการลด Kp และทำการลด Ki ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นจากรูปที่ 6.20 (ก) มีช่วงเวลาการขึ้น (Rise time) ที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองครั้งที่ 1 อยู่ประมาณ 4 วินาที แต่สามารถเข้าสู่สภาวะคงตัวได้เร็วกว่า โดยใช้เวลาประมาณ 10 วินาที ต่อมาเมื่อพิจารณาในรูปที่ 6.20 (ข) นั้นกับพบว่ามีช่วงเวลาการขึ้น (Rise time)

ที่เร็วกว่าการทดลองครั้งที่ 1 อยู่ที่ 5 วินาที และเมื่อพิจารณารูปที่ 6.20 (ง) เปรียบเทียบกับรูปที่ 6.19 (ง) และ รูปที่ 6.21 (ง) ซึ่งเป็นช่วงกำลังการทดลองเดียวกันพบว่าสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วที่สุด โดยอยู่ที่ประมาณ 20 วินาที

6.8.3 ผลการทดลองการปรับแต่งตัวควบคุม PI ครั้งที่ 3

ในการทดลองครั้งที่ 3 นี้มีการใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.25$ $K_i=0.2$ สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่ง มีการใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.1$ $K_i=0.2$ สำหรับอากาศส่วนที่สอง และใส่ค่าตัวควบคุม $K_p=0.15$ $K_i=0.6$ สำหรับอากาศส่วนที่สาม เพื่อดูการตอบสนองโดยแสดงผลการทดลองได้ดังรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 ผลตอบสนองต่อการควบคุมอัตราการไหลเชิงปริมาตร (m^3/s) ของอากาศครั้งที่ 3

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองการปรับแต่งค่าการควบคุมครั้งที่ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 6.21 สำหรับอากาศส่วนที่หนึ่งผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มค่า K_p และลดค่า K_i ลง โดยคาดว่าจะได้ผลตอบสนองที่ดีขึ้น พบว่ามีช่วงเวลากการเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เร็วขึ้นในทุกๆช่วงการเปลี่ยนแปลงกำลังความร้อน ซึ่งมีช่วงเวลาอยู่ที่ 6-8 วินาที สำหรับอากาศส่วนที่สอง หลังจากที่ทำกรเพิ่มค่า K_p พบว่าเกิดค่าพุ่งเกินและสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้โดยไม่แตกต่างจากการทดลองครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 มากนัก โดยมีช่วงเวลาที่ประมาณ 6 วินาที สำหรับอากาศส่วนที่สามนั้นถึงแม้ว่าจะลดค่าตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สว่นไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรควบคุม K_i ลงแล้วแต่ผู้วิจัยต้องการให้มีการตอบสนองที่ไวขึ้นจึงทำการเพิ่มค่า K_p ปรากฏว่ายังใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่สภาวะสมดุลดังรูปที่ 6.21 (ก) (ข) และ (ง) โดยใช้เวลาประมาณ 8-26 วินาที และมีค่าพุ่งเกินเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ผ่านมา

การทดลองที่ได้จากการควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนโดยใช้ตัวควบคุมชนิด PI Control ในสภาวะการดำเนินการเผาไหม้จริง ซึ่งจากการทดลองควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสามส่วนสามารถสรุปค่าเกณฑ์ที่ใช้ได้ดังแสดงในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แสดงค่าเกณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศในแต่ละส่วน

	K_p	K_i
AIR 1	0.25	0.2
AIR 2	0.05	0.1
AIR 3	0.12	0.8

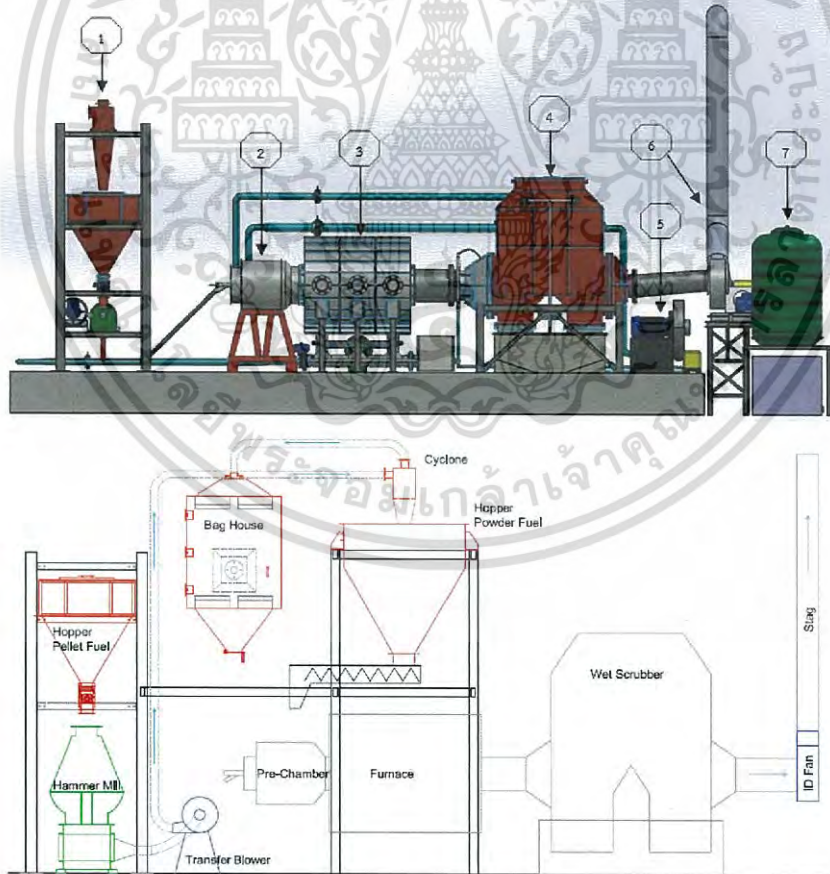
จากค่าดังกล่าวสามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ได้ดี ไม่เกิดการพุ่งของที่เกินค่าเป้าหมายมากนักและเข้าสู่สภาวะสมดุลในเวลาที่ยอมรับได้

บทที่ 7

สรุป และข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

สำหรับการทดสอบสมรรถนะของระบบเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวลผง จะเน้นไปที่การทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์ในระบบแต่ละตัวที่มีการเพิ่มขึ้นมาจากระบบเดิมที่มีปัญหาทางด้านความต่อเนื่องและอัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 1.2.1 โดยอุปกรณ์ที่มีการเพิ่มเติมเปลี่ยนแปลงประกอบด้วย เครื่องบด Hammer mill ถึงเก็บเชื้อเพลิงที่ผ่านการบด (Hopper) ตู้สำหรับติดตั้งถุงผ้ากรองดักฝุ่น (Baghouse) และพัดลมสำหรับใช้ลำเลียง เพื่อให้ระบบเตรียมเชื้อเพลิงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบมีความเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 7.1 เนื่องจากระบบเตรียมเชื้อเพลิงผงและการควบคุมอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เป็นระบบที่มีความสำคัญต่อสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผาจึงขอสรุปสิ่งที่ได้ทำมาดังต่อไปนี้



รูปที่ 7.1 แสดงการเปรียบเทียบระบบภาพรวมของระบบเก่าและระบบใหม่ที่มีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกรูสำหรับขนถ่ายเชื้อเพลิงผงได้ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงจากขนาดเดิมของ นายชินภัทร ชูระการ [1]] ลง $\frac{3}{4}$ เท่า เมื่อมีขนาดเล็กลงมอเตอร์ขับเคลื่อนจะใช้ความเร็วรอบในการขนถ่ายสูงขึ้นจากเดิม ซึ่งจะทำให้อินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมมอเตอร์ได้ดีขึ้นเมื่อต้องการใช้เชื้อเพลิงน้อยในย่านการเผาไหม้ที่ต่ำกว่า 300 kW ความร้อน เมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงต่อความเร็วรอบใบสกรูขนถ่าย จะพบว่าตัวแปรทั้งสองให้ความสัมพันธ์กันในลักษณะเป็นเชิงเส้น เนื่องจากสกรูขนถ่ายที่ทำการออกแบบมีรางสกรูที่สั้น ส่งผลให้การสูญเสียระหว่างการขนถ่ายเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นตัวแปรต้นที่ส่งผลต่ออัตราการขนถ่ายวัสดุจะถูกตัดเหลือเพียงตัวแปรเดียวนั้นคือ ความหนาแน่นของวัสดุ โดยอัตราขนถ่ายวัสดุของสกรูสามารถครอบคลุมย่านที่ต้องการทดลองได้คือ ที่การทดลองเผาไหม้ 1MW ความร้อน ต้องการใช้เชื้อเพลิงผงประมาณ 3.8 kg/min (0.063 kg/s) ความเร็วรอบของมอเตอร์จะอยู่ที่ประมาณ 116 rpm ความเร็วรอบของสกรูอยู่ที่ 7.73 rpm ความถี่ที่ใช้ควบคุมมีค่าประมาณ 4 Hz

เมื่อพิจารณาถึงการทดสอบสมรรถนะของเครื่องบดชนิด Hammer Mill ที่มีลักษณะทางกายภาพที่สามารถเปลี่ยนลักษณะการทำงานได้หลากหลาย พบว่าทิศทางของ Block Plate ที่ทำหน้าที่รับภาระปะทะจากเชื้อเพลิงที่ถูกใบมีดเหวี่ยงมาจะให้ขนาดเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่า ลักษณะของใบมีดในเครื่องบดเมื่อเลือกด้านที่มีลักษณะเป็นสันตรงหน้าเรียบเข้าปะทะเชื้อเพลิงจะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่าด้านที่มีความโค้งและสันนูนมน สันนิษฐานว่าเนื่องจากเชื้อเพลิงที่นำมาบดถูกอัดมาเป็นแท่งมีความแข็งและเปราะเมื่อถูกบดด้วยใบมีดด้านที่เป็นสันหน้าตรงเรียบจะมีพื้นที่การปะทะเชื้อเพลิงมากกว่าด้านนูนมนซึ่งคาดว่าจะเหมาะกับการบดสิ่งที่มีลักษณะมีความเป็นกากใยมากกว่า การเลือกใช้ตะแกรงที่มีขนาดรูต่างๆ จะเป็นการเลือกขนาดเชื้อเพลิงที่เราต้องการนำไปใช้ซึ่งเมื่อเลือกขนาดรูตะแกรงที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาบดเชื้อเพลิงในเครื่องบดน้อยลงส่งผลให้อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงมีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดรูของตะแกรงที่เลือกใช้ ในขณะที่การเลือกใช้ตะแกรงที่มีขนาดรูเล็กเครื่องบดต้องใช้เวลาบดนานขึ้นเพื่อที่จะบดเชื้อเพลิงจนมีขนาดเล็กกว่าขนาดรูตะแกรง จากการทดลองพบว่าเมื่อเลือกตะแกรงที่มีขนาดรู 0.5 มม. ทั้งสองข้างของเครื่องบดจะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กละเอียดแต่อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงจะอยู่ในเกณฑ์ต่ำไม่พอใช้ เมื่อเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ D ตะแกรงมีขนาดรู 1.0 มม. และ 1.0 มม. ทั้งสองข้างของเครื่องบดจะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะทำให้เผาไหม้ยากขึ้นแต่อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงจะสูงขึ้นเกินกว่า 300.72 kg/hr (0.0835 kg/s) หรือมากกว่าการเผาไหม้ที่ 1.35 MW ความร้อน และหากเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ A ตะแกรงที่มีขนาดรู 1.0 มม. ทางด้านซ้ายของเครื่องบดและ 0.5 มม. ทางด้านขวาของเครื่องบด จะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กเฉลี่ยมากกว่าการเลือกลักษณะการทำงานของเครื่องบดแบบ D มม. แต่ให้อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผงสูงสุดอยู่ที่ 171.3 kg/hr หรือที่การเผาไหม้ประมาณที่ 770 kW ความร้อน ซึ่งเหมาะสมกับช่วงที่การทดลองเผาไหม้ยังไม่เกิน 770 kW ซึ่งในระบบเดิม (Pin mill) สามารถผลิตเชื้อเพลิงผงได้อย่างมากที่สุดที่เป็นไปได้คือ 45.36 kg/hr (0.0126 kg/s 200kW ความร้อน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงการขนถ่ายเชื้อเพลิงผงจากเครื่องบดสู่ถังเก็บเพื่อหาขีดจำกัดของระบบเตรียมเชื้อเพลิง จากการทดลองโดยทำการบดและลำเลียงเชื้อเพลิงผงสู่ถังเก็บไปพร้อมกันแล้วทำการสังเกตพบว่า พัฒนที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงผงนี้ สามารถขนถ่ายเชื้อเพลิงผงที่อัตราการบด 228 kg/hr (1 MW ความร้อน) ซึ่งเป็นความต้องการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดได้โดยต่อเนื่องไม่ติดขัด โดยมีความเร็วลมที่ใช้ขนถ่ายอยู่ในช่วง 21-24 m/s ในท่อขนาด 2.5 นิ้ว

การพัฒนากระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงและการควบคุมการไหลของอากาศทั้งสามส่วนประกอบด้วยอากาศปฐมภูมิ หุติยภูมิ และตติยภูมิ ให้เป็นอัตโนมัติโดยใช้วาล์วควบคุมชนิดปิกมีเสื่อ Differential Pressure transmitter ร่วมกับแผ่นออริฟิส และ PLC (programmable logic control) ในการตรวจวัดและควบคุมการไหลของอากาศ ซึ่งมีความสามารถในการแก้ไขลำดับขั้นตอนและการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ง่ายกว่าการแก้ไขฮาร์ดแวร์ ทั้งยังเป็นอุปกรณ์ที่จัดหาง่าย มีความน่าเชื่อถือ มีใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม ผลที่ได้คือใช้เวลาในการเตรียมเชื้อเพลิงสั้นลงจากระบบเดิมอย่างน้อย 5 เท่า และสามารถผลิตเชื้อเพลิงได้ทันทีต่อเนื่องหรือสามารถผลิตเชื้อเพลิงผงขณะที่ทำการทดลองเผาไหม้อยู่ได้ ซึ่งเป็นการช่วยลดโอกาสที่เชื้อเพลิงผงจะเสื่อมคุณภาพลงเนื่องจากการดูดความชื้นที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบข้างลงได้จากการที่บดเก็บไว้นานๆ สามารถลดขั้นตอนและจำนวนคนในการเตรียมเชื้อเพลิงในแต่ละครั้งเหลือเพียง 2-3 คน ในการทำหน้าที่ดำเนินงานและเฝ้าระวัง ทั้งยังช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้วิจัยหัวเผาในการเก็บค่าพารามิเตอร์เพื่อพัฒนาหัวเผาได้โดยสามารถรักษาอัตราการไหลของอากาศให้คงที่แม้มีการรบกวนจากภายนอก และสามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศได้สะดวกรวดเร็วขึ้นโดยสั่งจากคอมพิวเตอร์ในห้องควบคุม

เมื่อพิจารณาถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเตรียมเชื้อเพลิง พบว่าการใช้พลังงานสำหรับสกรูและพัฒนที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงนั้นรวมกันอยู่ที่ไม่เกิน 2.237 kW ขึ้นอยู่กับอัตราการบดของเครื่องบดในขณะนั้น ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องบดนั้นจะเปลี่ยนตามอัตราการบด จึงทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากการบด จะเห็นว่าการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับอัตราการบดเชื้อเพลิงในย่านสูง จึงกล่าวได้ว่ายิ่งผลิตเชื้อเพลิงผงในอัตราสูงจะมีคัมค่าทางด้านพลังงานมากกว่าการผลิตในอัตราต่ำๆ คือ ที่อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผง 0.063 kg/s (1MW ความร้อน) มีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 329.2 kJ/kg ซึ่งในขณะนี้ที่การทดลองเผาไหม้ยังไม่เกิน 500 kW ความร้อน เราจึงเลือกสักขณะการทำงานของเครื่องบดแบบ A ที่สามารถทำการบดเชื้อเพลิงต่อเนื่องได้ที่อัตรา 171.3 kg/hr (0.04758 kg/s 770 kW ความร้อน) ซึ่งให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่า 425 ไมครอนในปริมาณที่มากกว่าคือ 31.76 % ที่จะทำให้การเผาไหม้ง่ายกว่า แต่สำหรับการทดลองเผาในย่านสูงๆ เราควรเลือกสักขณะการทำงานของเครื่องบดแบบ D ที่สามารถทำการบดเชื้อเพลิงต่อเนื่องได้ที่อัตรามากกว่า 300.72 kg/hr (0.0835 kg/s 1.35 MW ความร้อน) เนื่องจากความคัมค่าทางด้านพลังงานกล่าวคือ การใช้พลังงานในการเตรียมเชื้อเพลิงผงเทียบกับค่าพลังงานของความร้อนของเชื้อเพลิง โดยพลังงานที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงจะอยู่ที่ประมาณ 2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูตให้นำไปใช้ประโยชน์ดานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพลังงานความร้อนที่ได้ จึงมีความน่าสนใจ เมื่อพิจารณาข้อดีของการควบคุมการเปลี่ยนย่านการเผาไหม้ที่รวดเร็วกว่าการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ด

เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ซึ่งมีความสำคัญต่อการเผาไหม้อย่างมาก พบว่า

7.1.1 การทำงานของวาล์วควบคุมการไหลของอากาศ (Butterfly Control Valve) สามารถใช้งานได้ดีคือควบคุมการไหลตัวอย่างมีประสิทธิภาพในช่วงการเปิดระหว่าง 30-70%

7.1.2 การเปลี่ยนแปลงความดันในเตาของอินเน็องมาจากเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ควบคุม ID Fan พบว่าเมื่ออัตราการทำงานของ ID FAN สูงขึ้นทำให้เกิดลมดูดที่แรงขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้เพื่อรักษาอัตราการไหลของอากาศให้คงที่วาล์วจึงเปิดน้อยลง เมื่อวาล์วปิดตัวลงทำให้ลมที่ใช้ลำเลียงเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นในการผลึกเชื้อเพลิงน้อยลงเข้าใกล้ลักษณะการการลำเลียงแบบดูดมากขึ้นโดยเฉพาะเมื่อวาล์วเปิดน้อยกว่า 30 % และเนื่องจากการลำเลียงแบบดูดต้องใช้ความเร็วลมในการขนถ่ายวัสดุมากกว่าแบบผลึกตัน จึงส่งผลให้การขนถ่ายเชื้อเพลิงด้วยลมด้อยลงควรหลีกเลี่ยงช่วงการเปิดของวาล์วปีกผีเสื้อต่ำกว่า 30% ควรกำหนดการทำงานของ ID FAN อยู่ระหว่าง 10-12 Hz

ตารางที่ 7.1 แสดงการป้อนเชื้อเพลิงผงโดยใช้อากาศปฐมภูมิที่สามารถทำได้ในย่านการเผาไหม้ต่างๆ

อัตราการเผาไหม้ KW ความร้อน	อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง kg/s	ปริมาณอากาศ kg/s	Phase Density	Valve Air 1 %	ความสามารถในการ ลำเลียงเชื้อเพลิงผง
100	0.00618	0.0049	0.792880259	21.8	X
150	0.00928	0.0073	0.786637931	24.7	X
200	0.01237	0.0098	0.792239289	27.5	X
250	0.01546	0.0122	0.789133247	30.4	มีความเสี่ยงอุดตัน
300	0.01856	0.0146	0.786637931	33.3	✓
350	0.02165	0.0171	0.789838337	36.2	✓
400	0.02475	0.0195	0.787878788	39.1	✓

7.1.3 อัตราส่วนปริมาณอากาศที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่ายิ่งปริมาณอากาศที่ใช้ลำเลียงมากเชื้อเพลิงจะกองในท่อน้อย จากลักษณะการกองของเชื้อเพลิงในท่อดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วของอากาศลดลงวัสดุจะไม่สามารถลอยตัวอยู่ในกระแสการไหลของลมได้ ในบางกรณีวัสดุจะกองตัวที่พื้นผิวท่อด้านล่างแล้วทำให้พื้นที่หน้าตัดท่อลดลง ทำให้ลมที่ไหลอยู่เหนือวัสดุมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนสามารถไหลโดยมีการไหลแบบเบาบางบนชั้นวัสดุอีกทีหนึ่ง และพบว่าที่อัตราส่วนอากาศปฐมภูมิ 10% ในทุกย่านการทดลองเผาไหม้จะเกิดการอุดตันในท่อส่งเชื้อเพลิงคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณอากาศมีความเร็วและความดันไม่เพียงพอที่จะสามารถลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยได้ ดังนั้นอัตราส่วนของอากาศปฐมภูมิต่ำสุดที่ยอมรับได้คือ 15 % ที่การทดลองเผาไหม้ตั้งแต่ 300 kW ความร้อนขึ้นไป จึงแสดงการเปรียบเทียบการขนถ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ย่านการทดลองเผาต่างๆ ในตารางที่ 7.1 จะเห็นว่าที่ย่านการเผาไหม้ต่ำกว่า 300 kW การทำงานของวาล์วจะอยู่ต่ำกว่า 30 % ซึ่งเป็นย่านที่ควรหลีกเลี่ยง จึงจำเป็นต้องยอมรับการเพิ่มขึ้นของอากาศส่วนเกินจากการรักษาการเปิดวาล์วปฐมภูมิไม่ให้ต่ำกว่า 30 % เพื่อที่จะสามารถอุ่นเตาที่ย่านการเผาไหม้ต่ำๆ ได้

7.1.4 นอกจากความเร็วของลมที่ใช้ในการขนถ่ายเชื้อเพลิงแล้ว ควรพิจารณาในส่วนของความดันในท่อด้วย เนื่องจากความดันที่ต่างกันจะให้ผลของการกองเชื้อเพลิงในท่อขนส่งไม่เท่ากัน กล่าวคือที่ความเร็วในการขนส่งเชื้อเพลิงเท่ากันระบบที่มีความดันในท่อมักกว่าจะสามารถขนส่งเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าและมีเชื้อเพลิงกองในท่อน้อยกว่าระบบที่มีความดันในท่อต่ำ

ตารางที่ 7.2 เปรียบเทียบความต้องการอากาศและเชื้อเพลิงที่เป้าหมาย 1 MW ความร้อน กับปริมาณที่สามารถทำได้ในปัจจุบัน

อากาศและเชื้อเพลิงที่ใช้	เป้าหมาย 1 MW	ปัจจุบันทำได้		ข้อจำกัด
อัตราการผลิตเชื้อเพลิงผง	0.0633 kg/s	0.0835 kg/s	1.35 MW	อยู่ที่พัดลมที่ใช้ในการขนส่งเชื้อเพลิง
AIR 1	0.0488 m ³ /s	0.0289 m ³ /s	650 kW	ขนาดของพัดลมและชุดเครื่องมือวัด
AIR 2	0.2439 m ³ /s	0.1740 m ³ /s	715 kW	ขนาดของพัดลมและชุดเครื่องมือวัด
AIR 3	0.0325 m ³ /s	0.0472 m ³ /s	> 1MW	

ทั้งนี้การส่งอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ยังมีข้อจำกัดจากอุปกรณ์บางส่วน เช่น พัดลม ขนาดของแผ่นออริฟิสที่เมื่อมีอัตราการไหลสูงความดันแตกต่างกันจะมากขึ้นด้วย และ Differential Pressure transmitter ที่มีย่านการวัดที่จำกัด รวมถึงช่วงการทำงานของวาล์วควบคุมชนิดปีกผีเสื้อที่มีย่านการควบคุมการไหลที่ดีในช่วงการเปิดวาล์วระหว่าง 30 % - 70 % ประกอบกับข้อจำกัดของพัดลมป้อนอากาศปฐมภูมิ ทำให้สามารถทดลองเผาไหม้ได้ในย่านที่ 300 kW ถึง 650 kW ความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 7.2 โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองเผาไว้ที่ อากาศส่วนเกิน 15 % อัตราส่วนระหว่างอากาศปฐมภูมิ : ทดียงภูมิ : ตติยภูมิ มีค่าเท่ากับ 15 % : 75 % : 10 % ตามลำดับ

7.2 ข้อเสนอแนะ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับระบบการเตรียมเชื้อเพลิงและการส่งเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อประโยชน์สำหรับการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผงต่อไปในอนาคต หรือเพื่อนำข้อมูลการวิจัยไปต่อยอด และนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการเตรียมเชื้อเพลิงและการส่งเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วยในภาคอุตสาหกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.1 หากมีงบประมาณมากพอ ควรเลือกอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่ขวางการไหล และสร้างความดันสูญเสียน้อย เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการผลิตลมและลดความสามารถในการขนถ่ายเชื้อเพลิงในระบบลง

7.2.2 ควรเลือกอุปกรณ์ควบคุมการไหลที่สามารถควบคุมได้ตลอดย่าน 0 - 100% ของการทำงานเช่น โกลบวาล์ว (Glob Valve) หรืออินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมการทำงานของพัดลมซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดลมโดยตรง เป็นต้น

7.2.3 ควรเลือกพัดลมที่ใช้ในระบบขนถ่ายเชื้อเพลิงโดยคำนึงถึงความสามารถในการสร้างความดันและอัตราการไหลเป็นหลัก เนื่องจากพัดลมปฐมภูมิที่มีใช้ในการทดลองสำหรับส่งอากาศเข้าห้องเผาไหม้นั้นไม่สามารถป้อนอากาศได้เพียงพอสำหรับยานการเผาไหม้ที่มากกว่า 650 kW ความร้อน

7.2.4 ยังสามารถศึกษาการทำงานของเครื่องบดเพิ่มเติมเนื่องจากเครื่องบดยังสามารถเพิ่มจำนวนใบมีดและยังสามารถเปลี่ยนลักษณะรูปทรงของใบมีดได้ โดยคาดว่า การเปลี่ยนจำนวนและลักษณะของใบมีดจะทำให้อัตราการผลิตและขนาดของเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยรวมถึงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงจากผลการทดลองในปัจจุบัน

7.2.5 ในการออกแบบถังเก็บเชื้อเพลิงควรออกแบบให้ด้านที่เอียงทำมุมมากกว่า 60 องศา กับแนวระดับ เนื่องจากการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงผงมีการกองค้างในถังเก็บไม่ไหลลงสู่รางสกรู โดยลักษณะการกองค้างของเชื้อเพลิงทำมุมประมาณ 70-80 องศา กับแนวระดับ แม้จะติดตั้งอุปกรณ์สั่นสะเทือนที่ถังเก็บแล้วก็ตาม หรือควรออกแบบท่อลมทำหน้าที่พ่นอากาศเป็นช่วงๆ สำหรับหลายกองเชื้อเพลิงในถังเก็บ

7.2.6 ควรทำชุดควบคุมความดันภายในห้องเผาไหม้ให้มีเสถียรภาพ โดยการเลือกเซนเซอร์และตำแหน่งติดตั้งให้เหมาะสมเนื่องจากอุณหภูมิของแก๊สไอเสียมากกว่า 1,100 องศาเซลเซียสก่อนที่จะถูกลดอุณหภูมิ เพราะความดันภายในห้องเผาไหม้นั้นมีผลกระทบต่อความปลอดภัยในการทดลองและความดันในระบบลำเลียงเชื้อเพลิงผงสูง ซึ่งความดันในระบบลำเลียงเชื้อเพลิงส่งผลต่อเสถียรภาพของจ่ายเชื้อเพลิงอันเป็นหัวใจหลักของเผาไหม้ อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อลักษณะการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ช่วยอันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเผาไหม้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชินภัทร ธุระการ. การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2558.
- [2] สิริจิตา สุขหัว. การศึกษาสนามการไหลและเส้นทางชีวมวลด้วยวิธีเชิงตัวเลขในเครื่องคัดแยกแบบไซโคลน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2560. (อยู่ระหว่างการขออนุมัติสอบวิทยานิพนธ์)
- [3] นรเศรษฐ์ พิกุลเงิน. ผลกระทบของสัดส่วนการป้อนอากาศต่อสมรรถนะของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดฝุ่น. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2560. (อยู่ระหว่างการขออนุมัติสอบวิทยานิพนธ์)
- [4] นันทพล จันคง. การพัฒนาระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณการเผาไหม้สำหรับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดผง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2560. (อยู่ระหว่างการขออนุมัติสอบวิทยานิพนธ์)
- [5] Yi Yang et al. "The Experimental Research on the Pneumatics Transport of Pulverized Biomass Micron Fuel". School of Energy & Power Engineering. Huazhong University of Science & Technology. Wuhan, China
- [6] Guan Qingliang et al. "Flow patterns of pneumatic conveying of pulverized coal in horizontal pipes for pressurized conditions". Key laboratory for Thermal Science and Power Engineering of Ministry of Education. Department of Thermal Engineering. Tsinghua University. Beijing, China
- [7] Xu Chuanlong et al. "Charging of Coal Powder Particles in Dense Phase Pneumatic Conveying System at Low Pressure". School of Energy and Environment. Southeast University. NanJing. China
- [8] Geon Pyo Lim. "Development and Application of boiler combustion air Flow control algorithm for coal-fired power plant" Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). vol.8, 2013, pp. 662-667
- [9] สำเร็จ จักรใจ. การเผาไหม้ (Combustion). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Stephen R. Turns. **An Introduction to Combustion Concept and Applications.** third edition. Singapore. Mc Graw Hill. 2012.
- [11] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. **พลังงานชีวมวล.** [online]. Available : <http://www2.dede.go.th/>
- [12] ทีมงาน SCM Institution. **คล่องแคล่ว PLC ตอนการใช้งานSIEMENS S7-200.** กรุงเทพมหานคร. พีดีเอแม็กซ์. 2548.
- [13] วิศรุต ศรีรัตนะ. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม.** บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 2554
- [14] วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. **เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). 2550.
- [15] ถาวร เบญจนาสุทธี. **พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม (Fundamentals of Control Engineering).** สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม. คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [16] พรชัย จงจิตไพศาล. **ระบบการขนถ่ายวัสดุด้วยลม (Pneumatic Conveying System).** พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). 2549.
- [17] System Manual. STEP7 Professional V13 SP1. SIEMENS. [online]. Available : https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109011420/STEP_7_Professional_V13_1_enUS_en-US.pdf?download=true
- [18] An Overview of the Most Important Documents and Link. TIA Portal. [online]. Available : <https://support.industry.siemens.com/cs/document/65601780/tia-portal-an-overview-of-the-most-important-documents-and-links-controller?dti=0&lc=en-WW>
- [19] Technical Documentation and Software. Support Download. Helmholtz. [online]. Available : https://www.helmholtz.de/sup.down,115_116.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

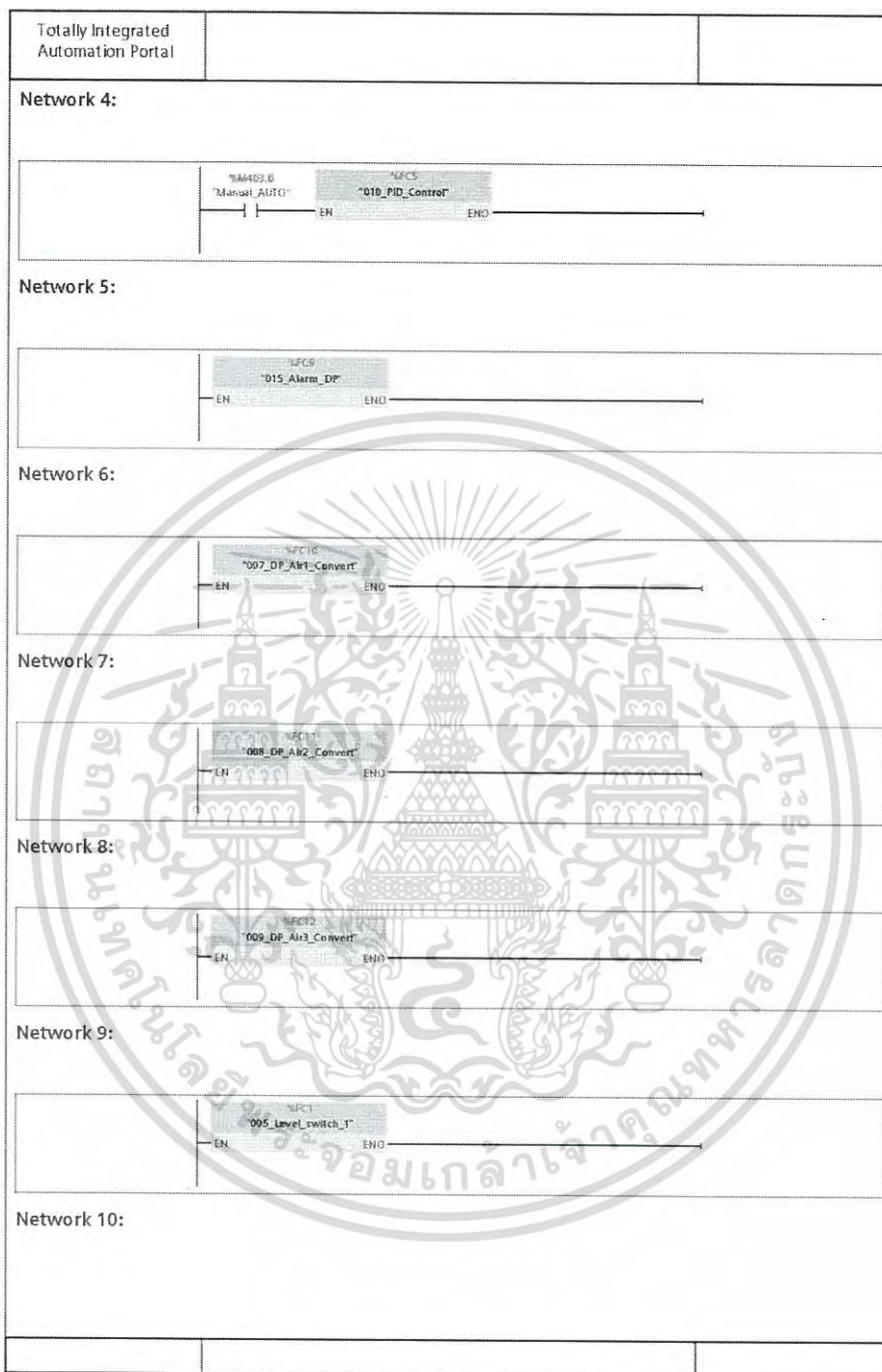
โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

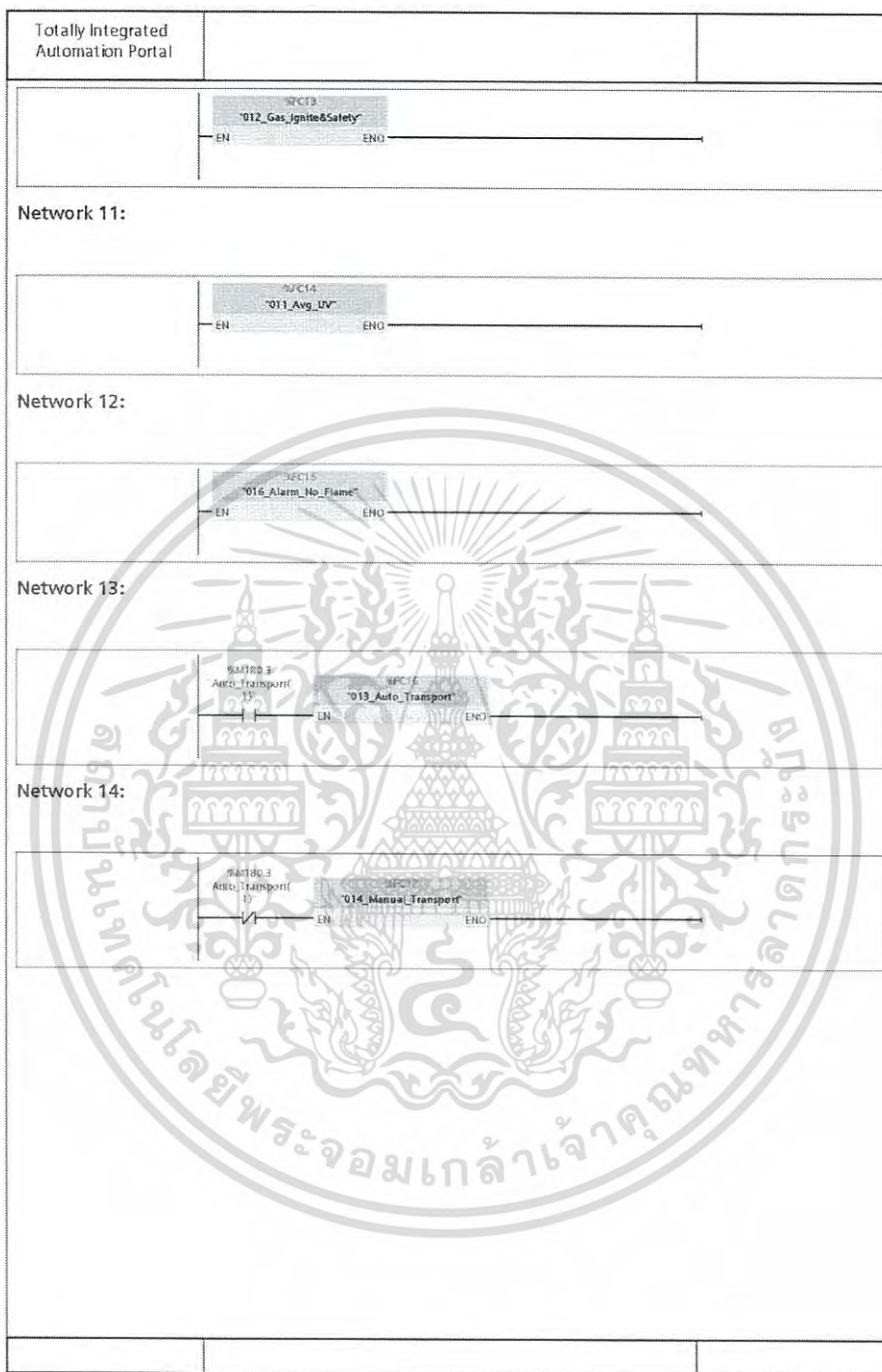
ก.1 โปรแกรมระบบควบคุมและตรวจจับสัญญาณ (Ladder Diagram)

Totally Integrated Automation Portal			
Program blocks			
Main [OB1]			
Main Properties			
General			
Name	Main	Number	1
Language	LAD	Numbering	automatic
Type	OB		
Information			
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author	
Family		Version	0.1
		Comment	
		User-defined ID	
Name	Data type	Default value	
▼ Temp			
OB1_EV_CLASS	Byte		
OB1_SCAN_1	Byte		
OB1_PRIORITY	Byte		
OB1_OB_NUMBR	Byte		
OB1_RESERVED_1	Byte		
OB1_RESERVED_2	Byte		
OB1_PREV_CYCLE	Int		
OB1_MIN_CYCLE	Int		
OB1_MAX_CYCLE	Int		
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time		
Constant			
Network 1:			
Network 2:			
Network 3:			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal			
Program blocks 008_DP_Air2_Convert [FC11]			
008_DP_Air2_Convert Properties			
General			
Name	008_DP_Air2_Convert	Number	11
Language	LAD	Numbering	automatic
Type	FC		
Information			
Title		Author	
Family		Version	0.1
Comment	User-defined ID		
Name		Data type	
Input			
Output			
InOut			
Temp			
Constant			
▼ Return			
008_DP_Air2_Convert		Void	
Network 1:			
Network 2:			
Network 3:			

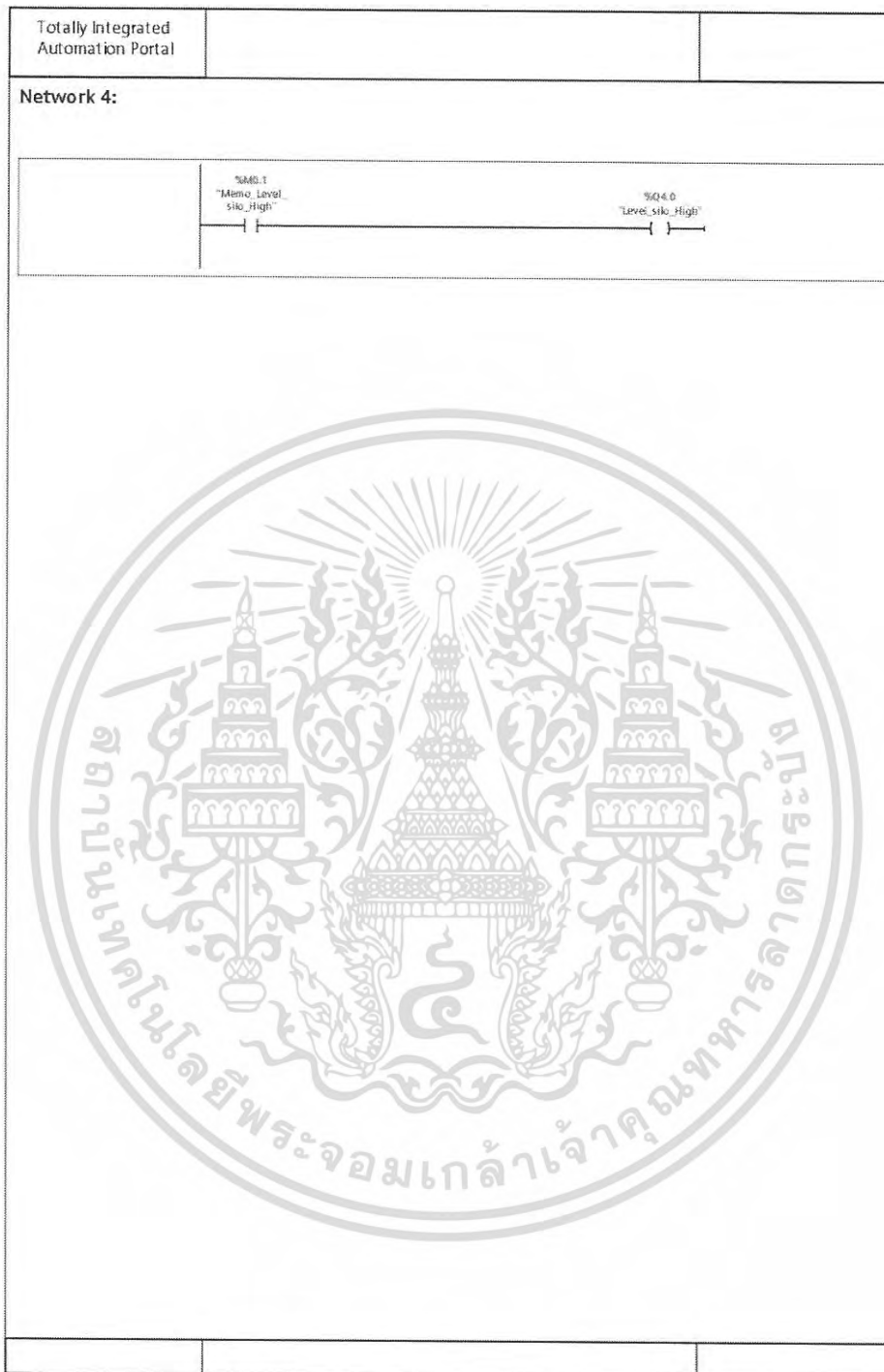
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal																																																													
<p>Program blocks</p> <p>009_DP_Air3_Convert [FC12]</p> <p>009_DP_Air3_Convert Properties</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6">General</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 15%;">Name</td> <td style="width: 25%;">009_DP_Air3_Convert</td> <td style="width: 15%;">Number</td> <td style="width: 15%;">12</td> <td style="width: 15%;">Type</td> <td style="width: 20%;">FC</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td>Numbering</td> <td>automatic</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="6">Information</th> </tr> <tr> <td>Title</td> <td></td> <td>Author</td> <td></td> <td>Comment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> <td>User-defined ID</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">Name</th> <th style="width: 20%;">Data type</th> <th style="width: 20%;">Default value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Input</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Output</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>InOut</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Temp</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Constant</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Return</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>009_DP_Air3_Convert</td> <td>Void</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Network 1:</p> <p>Network 2:</p> <p>Network 3:</p>		General						Name	009_DP_Air3_Convert	Number	12	Type	FC	Language	LAD	Numbering	automatic			Information						Title		Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID		Name	Data type	Default value	Input			Output			InOut			Temp			Constant			Return			009_DP_Air3_Convert	Void	
General																																																													
Name	009_DP_Air3_Convert	Number	12	Type	FC																																																								
Language	LAD	Numbering	automatic																																																										
Information																																																													
Title		Author		Comment																																																									
Family		Version	0.1	User-defined ID																																																									
Name	Data type	Default value																																																											
Input																																																													
Output																																																													
InOut																																																													
Temp																																																													
Constant																																																													
Return																																																													
009_DP_Air3_Convert	Void																																																												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal																																																							
<p>Program blocks</p> <p>005_Level_switch [FC1]</p> <p>005_Level_switch Properties</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">General</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Name</td> <td>005_Level_switch</td> <td>Number</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td>Numbering</td> <td>automatic</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Information</td> </tr> <tr> <td>Title</td> <td></td> <td>Author</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Comment</td> <td>User-defined ID</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Data type</th> <th>Default value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Input</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Output</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>InOut</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Constant</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>▼ Return</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>005_Level_switch</td> <td>Void</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Network 1:</p> <p>Network 2:</p> <p>Network 3:</p>				General				Name	005_Level_switch	Number	1	Language	LAD	Numbering	automatic	Information				Title		Author		Family		Version	0.1			Comment	User-defined ID	Name	Data type	Default value	Input			Output			InOut			Temp			Constant			▼ Return			005_Level_switch	Void	
General																																																							
Name	005_Level_switch	Number	1																																																				
Language	LAD	Numbering	automatic																																																				
Information																																																							
Title		Author																																																					
Family		Version	0.1																																																				
		Comment	User-defined ID																																																				
Name	Data type	Default value																																																					
Input																																																							
Output																																																							
InOut																																																							
Temp																																																							
Constant																																																							
▼ Return																																																							
005_Level_switch	Void																																																						

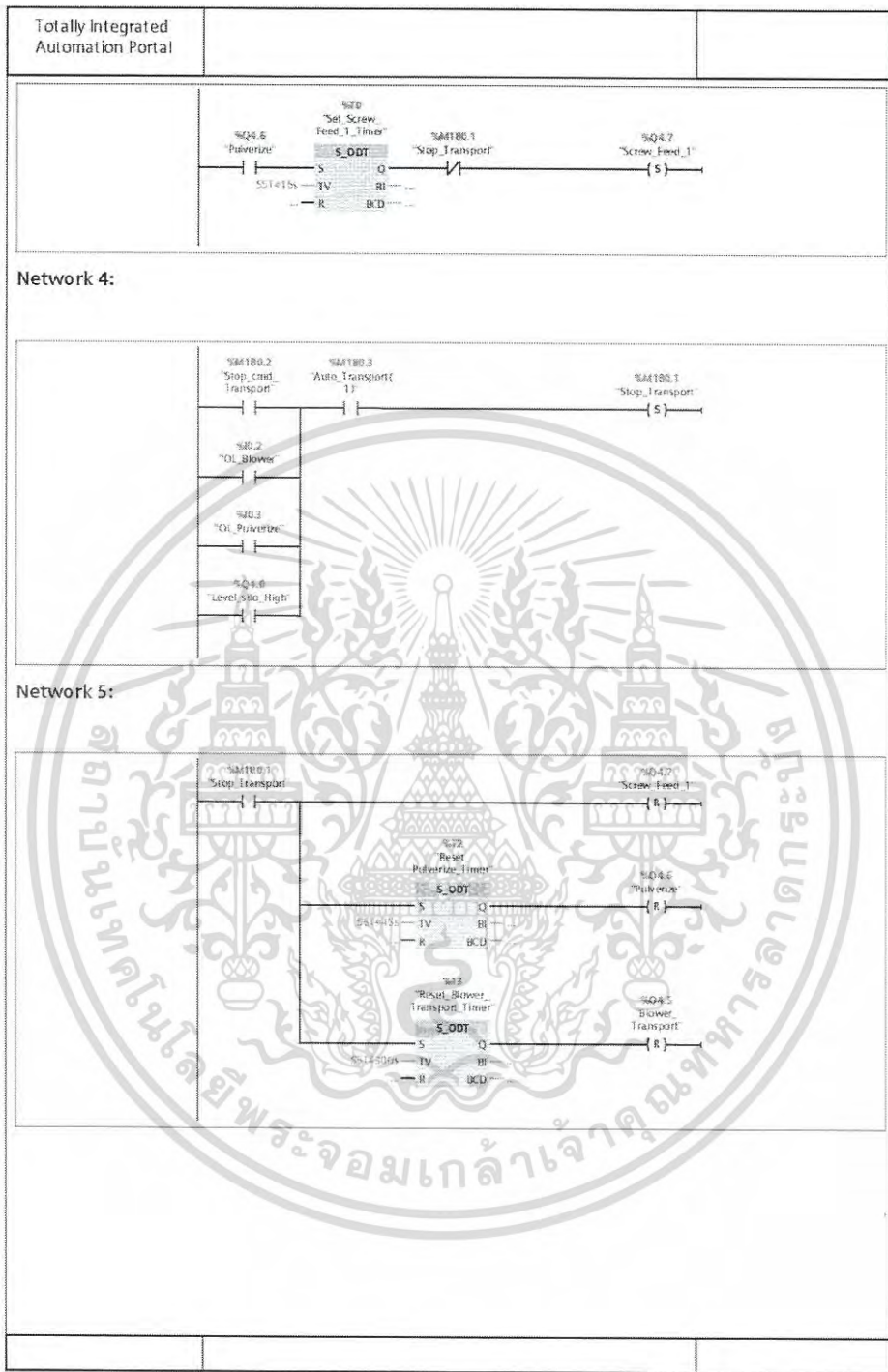
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal																																																		
<p>Program blocks</p> <p>013_Auto_Transport [FC16]</p> <p>013_Auto_Transport Properties</p> <p>General</p> <table border="1"> <tr> <td>Name</td> <td>013_Auto_Transport</td> <td>Number</td> <td>16</td> <td>Type</td> <td>FC</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td>Numbering</td> <td>automatic</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Information</p> <table border="1"> <tr> <td>Title</td> <td></td> <td>Author</td> <td></td> <td>Comment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> <td>User-defined ID</td> <td></td> </tr> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Data type</th> <th>Default value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Input</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Output</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>InOut</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Constant</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Return</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>013_Auto_Transport</td> <td>Void</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Network 1:</p> <p>Network 2:</p> <p>Network 3:</p>			Name	013_Auto_Transport	Number	16	Type	FC	Language	LAD	Numbering	automatic			Title		Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID		Name	Data type	Default value	Input			Output			InOut			Temp			Constant			Return			013_Auto_Transport	Void	
Name	013_Auto_Transport	Number	16	Type	FC																																													
Language	LAD	Numbering	automatic																																															
Title		Author		Comment																																														
Family		Version	0.1	User-defined ID																																														
Name	Data type	Default value																																																
Input																																																		
Output																																																		
InOut																																																		
Temp																																																		
Constant																																																		
Return																																																		
013_Auto_Transport	Void																																																	


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



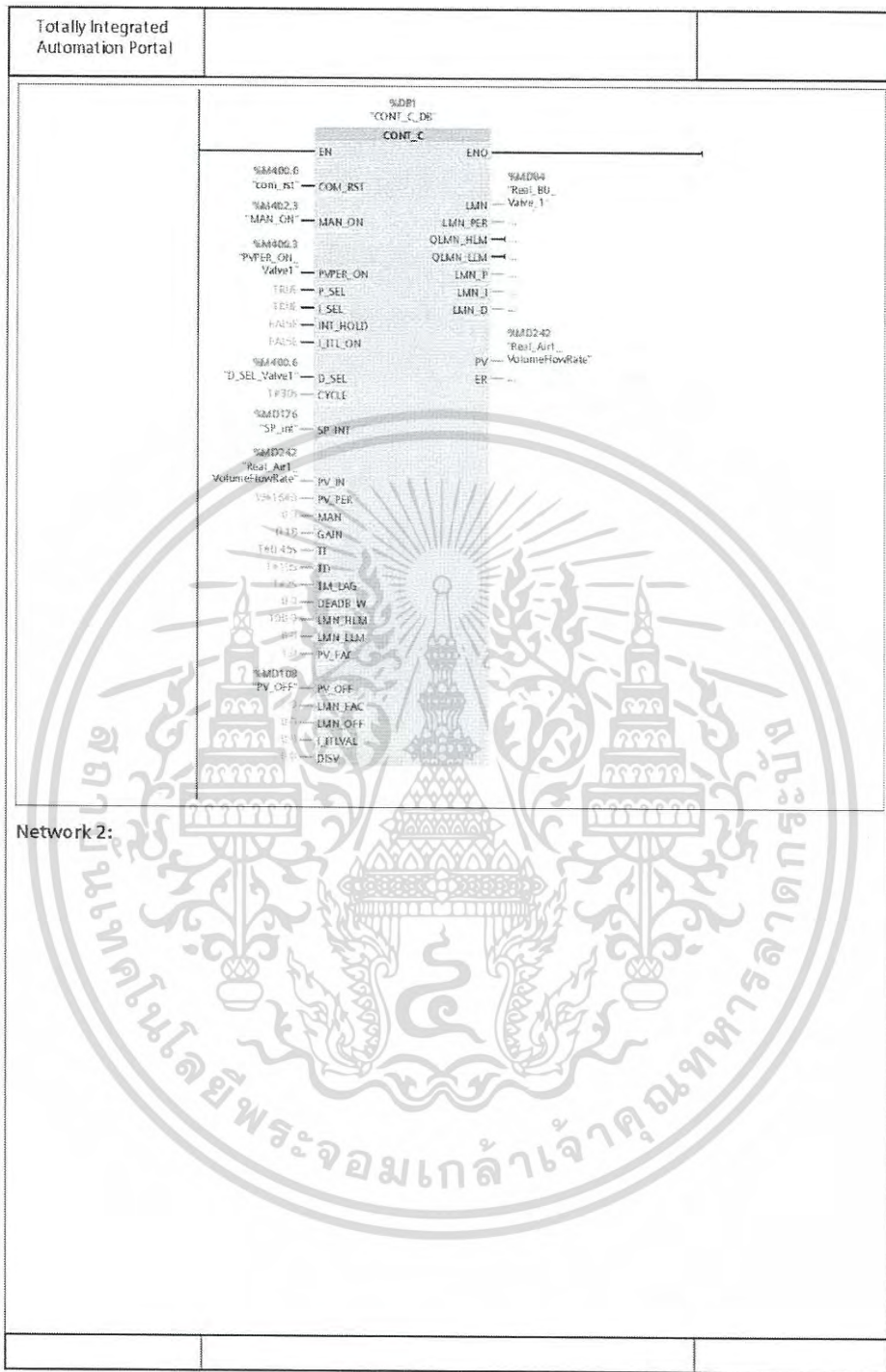
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal																																																													
<p>Program blocks</p> <p>014_Manual_Transport [FC17]</p> <p>014_Manual_Transport Properties</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">General</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Name</td> <td>014_Manual_Transport</td> <td>Number</td> <td>17</td> <td>Type</td> <td>FC</td> </tr> <tr> <td>Language</td> <td>LAD</td> <td>Numbering</td> <td>automatic</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="5">Information</th> </tr> <tr> <td>Title</td> <td></td> <td>Author</td> <td></td> <td>Comment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Family</td> <td></td> <td>Version</td> <td>0.1</td> <td>User-defined ID</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>Data type</th> <th>Default value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Input</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Output</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>InOut</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temp</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Constant</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Return</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>014_Manual_Transport</td> <td>Void</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Network 1:</p>			General					Name	014_Manual_Transport	Number	17	Type	FC	Language	LAD	Numbering	automatic			Information					Title		Author		Comment		Family		Version	0.1	User-defined ID		Name	Data type	Default value	Input			Output			InOut			Temp			Constant			Return			014_Manual_Transport	Void		
General																																																													
Name	014_Manual_Transport	Number	17	Type	FC																																																								
Language	LAD	Numbering	automatic																																																										
Information																																																													
Title		Author		Comment																																																									
Family		Version	0.1	User-defined ID																																																									
Name	Data type	Default value																																																											
Input																																																													
Output																																																													
InOut																																																													
Temp																																																													
Constant																																																													
Return																																																													
014_Manual_Transport	Void																																																												

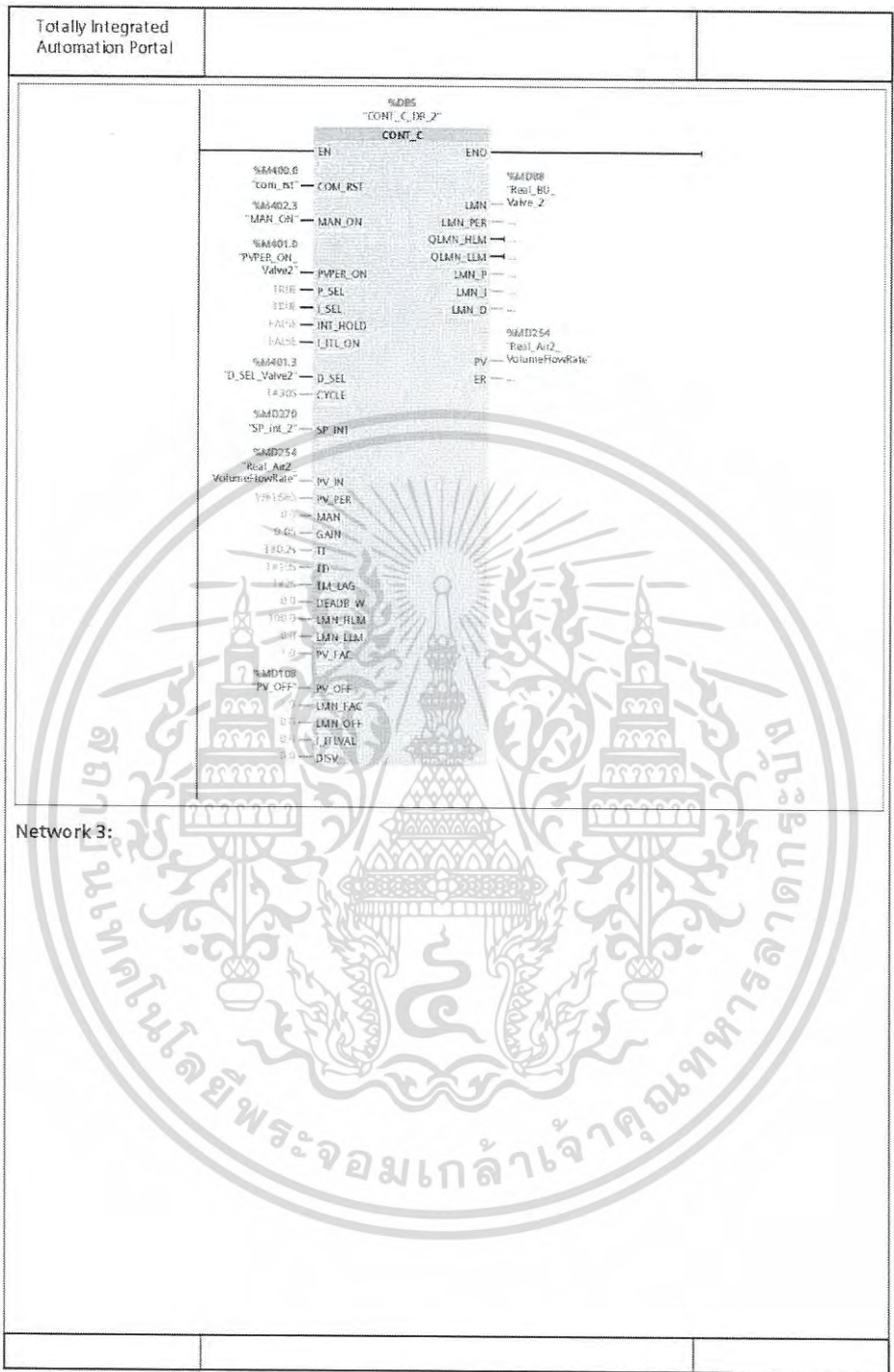
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Totally Integrated Automation Portal					
Program blocks 010_PID_Control [FC5]					
010_PID_Control Properties					
General					
Name	010_PID_Control	Number	5	Type	FC
Language	LAD	Numbering	automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	
Name		Data type		Default value	
Input					
Output					
InOut					
Temp					
Constant					
Return					
010_PID_Control		Void			
Network 1:					
					

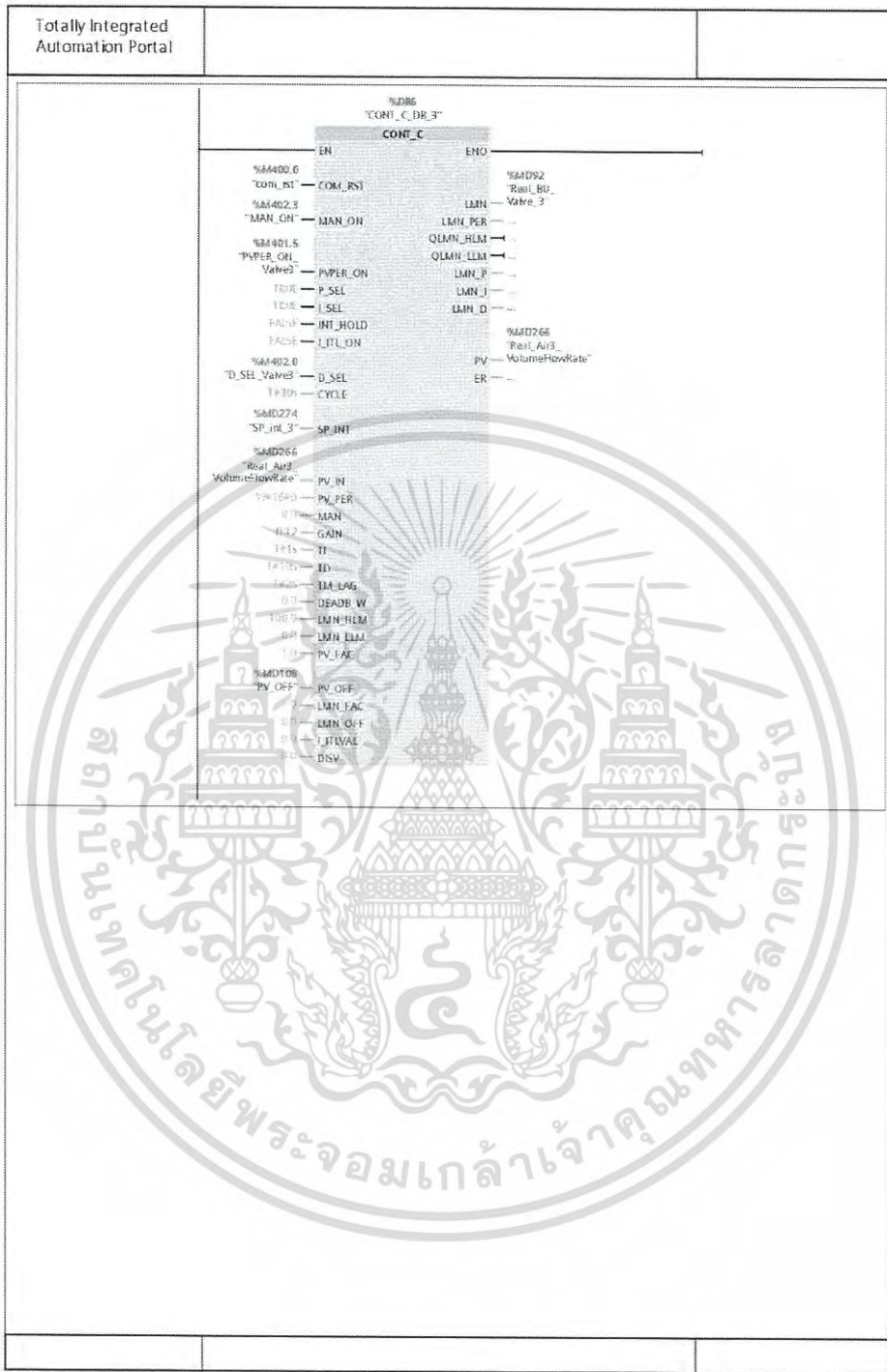
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 ชื่อ ชนิดข้อมูล และตำแหน่ง (PLC Tag)

Totally Integrated Automation Portal			
Digital [71]			
PLC tags			
PLC tags			
Name	Data type	Address	Retain
Bipolar_Scale2	Bool	%M400.1	
reset_PID_Valve1	Bool	%M400.2	
PVPER_ON_Valve1	Bool	%M400.3	
P_SEL_Valve1	Bool	%M400.4	
I_SEL_Valve1	Bool	%M400.5	
D_SEL_Valve1	Bool	%M400.6	
reset_PID_Valve2	Bool	%M400.7	
PVPER_ON_Valve2	Bool	%M401.0	
P_SEL_Valve2	Bool	%M401.1	
I_SEL_Valve2	Bool	%M401.2	
D_SEL_Valve2	Bool	%M401.3	
reset_PID_Valve3	Bool	%M401.4	
PVPER_ON_Valve3	Bool	%M401.5	
P_SEL_Valve3	Bool	%M401.6	
I_SEL_Valve3	Bool	%M401.7	
D_SEL_Valve3	Bool	%M402.0	
Bipolar_Scale1	Bool	%M402.1	
MAN_ON	Bool	%M402.3	
Manual_AUTO	Bool	%M403.0	
Gas_OnOff	Bool	%M500.0	
Ignite_ONOFF	Bool	%M500.4	
Ignite_ON	Bool	%Q4.3	
Level_silo_Low_input	Bool	%I0.0	
Level_Silo_High_input	Bool	%I0.1	
Memo_Level_silo_Low	Bool	%M0.0	
Memo_Level_silo_High	Bool	%M0.1	
Level_silo_High	Bool	%Q4.0	
Level_silo_Low	Bool	%Q4.1	
GasON	Bool	%Q4.2	
Memo_GasOn	Bool	%M500.2	
Memo_Ignite_ON	Bool	%M500.5	
Reset_CTU_Avg_UV	Bool	%M300.2	
Start_Avg_UV	Bool	%M300.0	
Avg_UV_Timer	Bool	%M300.1	
Memo_Avg_UV_Out	Bool	%M300.3	
P_TRIG_UV_0	Bool	%M300.4	
P_TRIG_UV_1	Bool	%M300.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

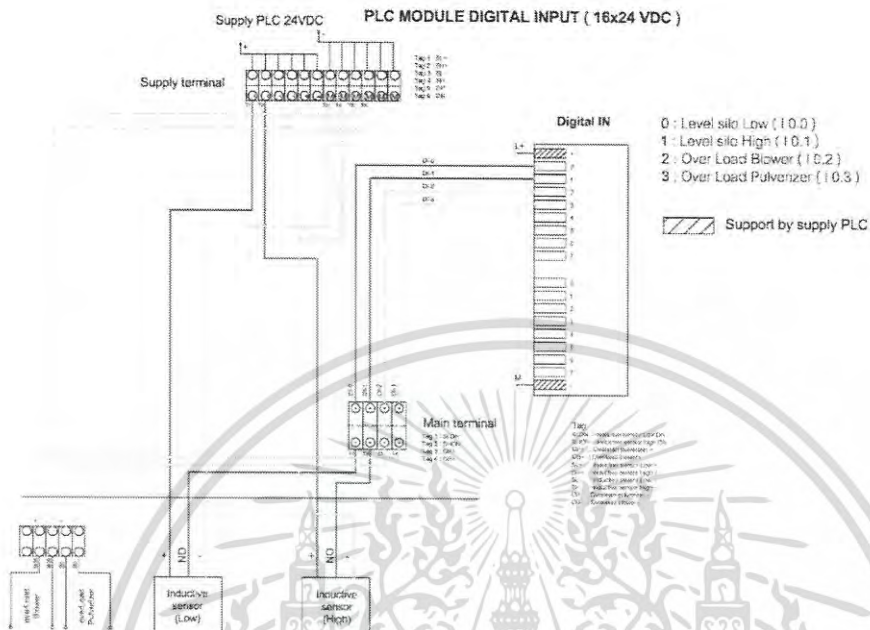
Totally Integrated Automation Portal			
Name	Data type	Address	Retain
P_TRIG_UV_2	Bool	%M300.6	
P_TRIG_UV_3	Bool	%M300.7	
P_TRIG_UV_4	Bool	%M347.0	
Auto_Ignite	Bool	%M500.6	
Avg_variance_UV_Timer	Bool	%M404.0	
Reset_CTU_Avg_Variance_UV	Bool	%M404.1	
P_TRIG_Variance_UV_0	Bool	%M415.0	
P_TRIG_Variance_UV_1	Bool	%M415.1	
P_TRIG_Variance_UV_2	Bool	%M415.2	
P_TRIG_Variance_UV_3	Bool	%M415.3	
P_TRIG_Variance_UV_4	Bool	%M415.4	
Memo_Avg_Variance_UV_Out	Bool	%M415.5	
Alarm_No_Flame_Out	Bool	%Q4.4	
Memo_Alarm_No_Flame	Bool	%M500.7	
Start_cmd_Transport	Bool	%M180.0	
Stop_Transport	Bool	%M180.1	
OL_Blower	Bool	%I0.2	
OL_Pulverize	Bool	%I0.3	
Blower_Transport	Bool	%Q4.5	
Pulverize	Bool	%Q4.6	
Screw_Feed_1	Bool	%Q4.7	
Stop_cmd_Transport	Bool	%M180.2	
Auto_Transport(1)	Bool	%M180.3	
Start_Blower_Transport	Bool	%M180.4	
Start_Pulverize	Bool	%M180.6	
Start_Screw1	Bool	%M181.0	
Stop_Blower_Transport	Bool	%M180.5	
Stop_Pulverize	Bool	%M180.7	
Stop_Screw1	Bool	%M181.1	
Set_Screw_Feed_1_Timer	Timer	%T0	
Set_Pulverize_Timer	Timer	%T1	
Reset_Pulverize_Timer	Timer	%T2	
Reset_Blower_Transport_Timer	Timer	%T3	
Delay_Shutdown	Timer	%T4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

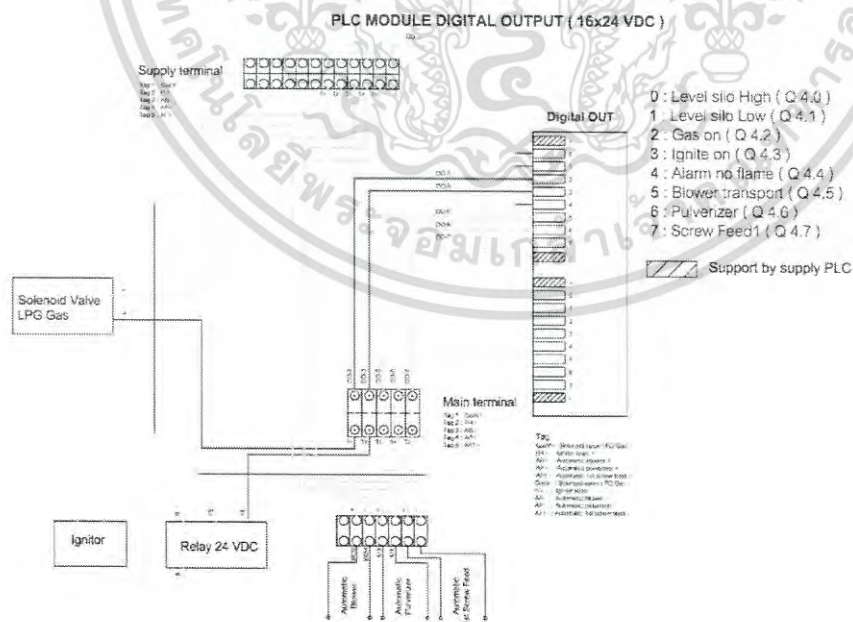


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 วงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อภายนอกกับ Module PLC



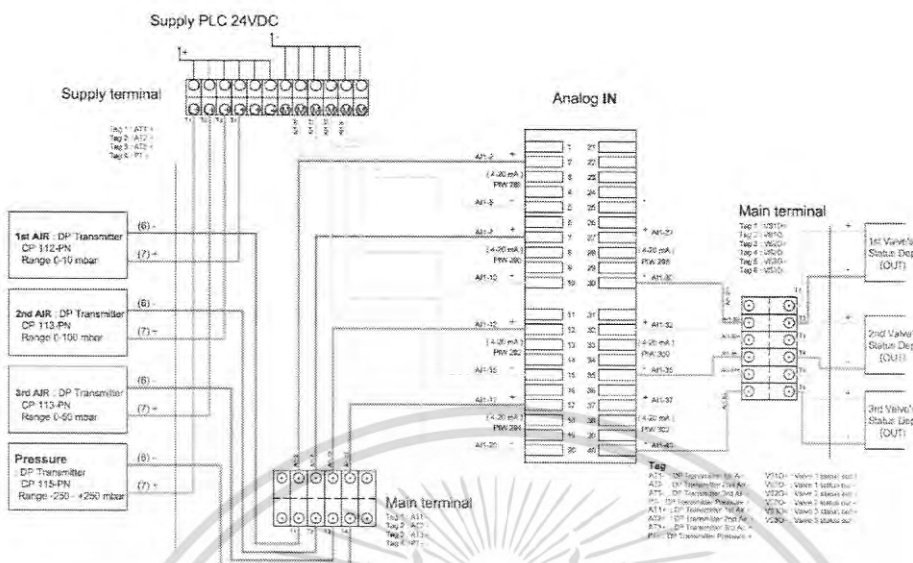
รูปที่ ข.1.1 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Digital Input Module



รูปที่ ข.1.2 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Digital Output Module

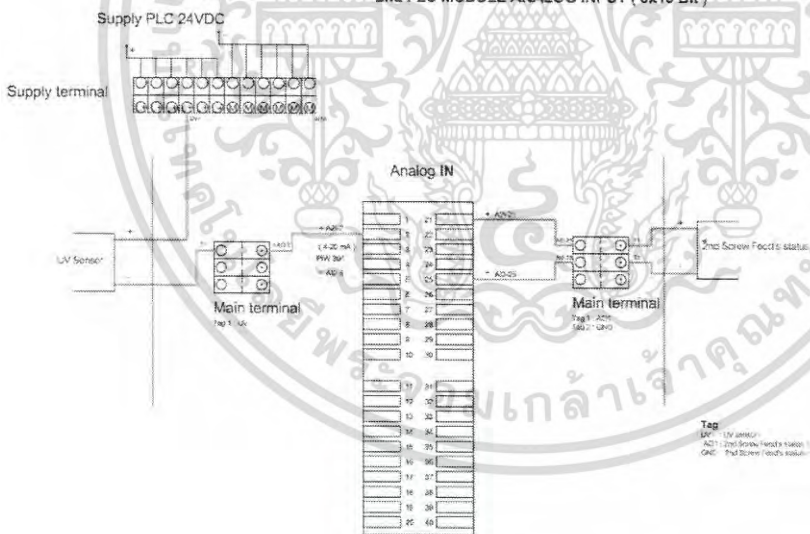
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1st PLC MODULE ANALOG INPUT (8x13 Bit)



รูปที่ ข.1.3 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 1

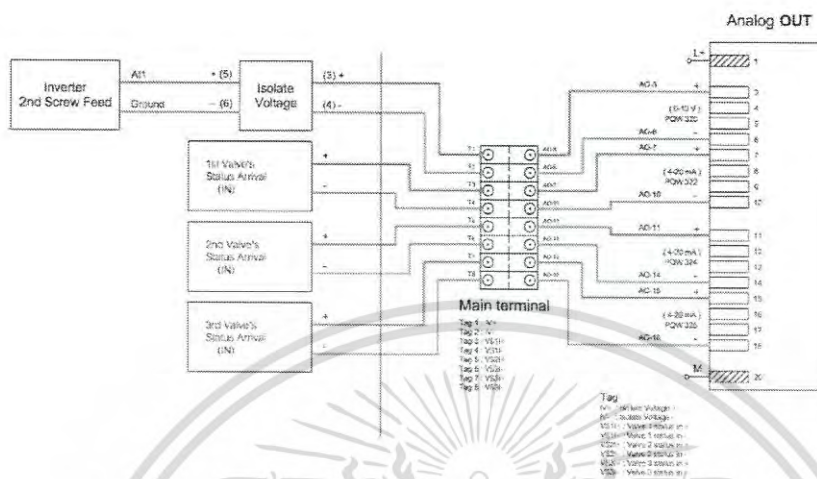
2nd PLC MODULE ANALOG INPUT (8x13 Bit)



รูปที่ ข.1.4 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Input Module 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

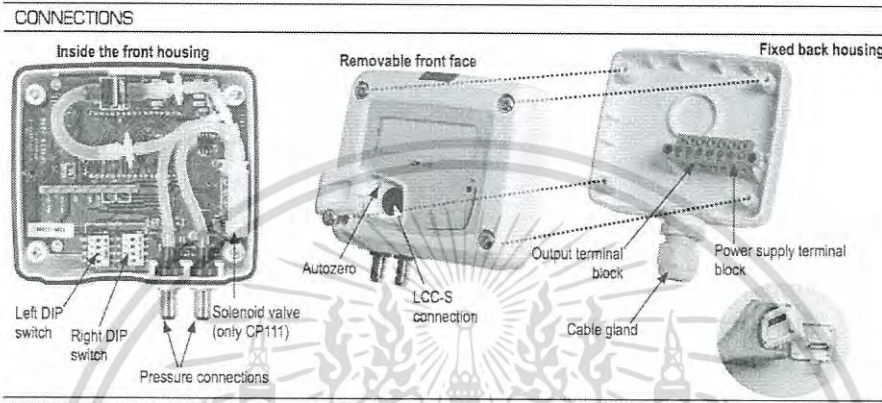
PLC MDDULE ANALOG OUTPUT (4-12 Bit)



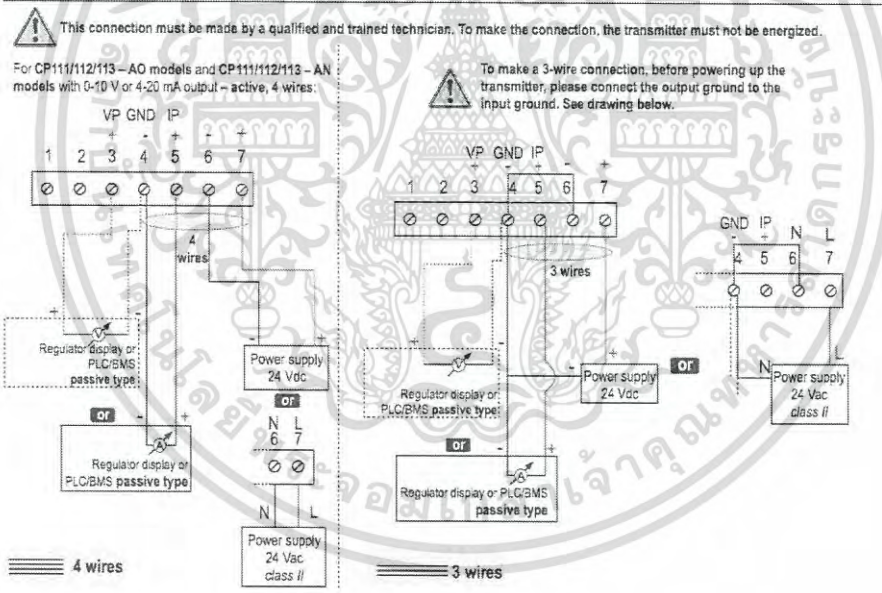
รูปที่ ข.1.5 วงจรไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับ Analog Output Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TECHNICAL SPECIFICATIONS	
Output / Supply	- active sensor 0-10 V or 4-20 mA (lim. 24 Vac/Vdc ±10%), 3-4 wires - passive loop 4-20 mA (power supply 16/30 Vdc), 2 wires - common mode voltage <30 VAC - maximum load: 500 Ohms (4-20 mA) / minimum load: 1 K Ohms (0-10 V)
Consumption	CP111: 3 VA (0-10 V) or 3 VA (4-20 mA) CP112 and CP113: 2 VA (0-10 V) or 0.6 VA (4-20 mA)
European directives	2014/30/EU EMC; 2014/35/EU Low Voltage; 2011/65/EU RoHS II; 2012/19/EU WEEE
Electrical connection	Screw terminal block for cables from 0.05 to 2.5 mm ² or from 30 to 14 AWG Carried out according to the code of good practice
Communication to PC	USB-mini DIN cable
Environment	Air and neutral gases



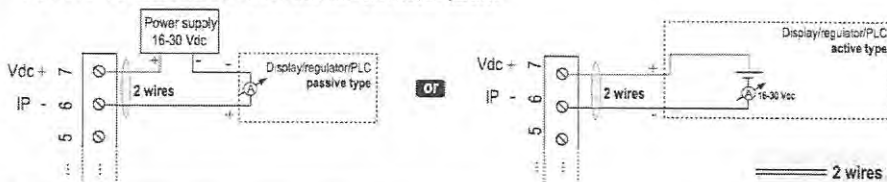
ELECTRICAL CONNECTIONS – as per NFC15-100 standard



รูปที่ ข.2.2 รายละเอียดอุปกรณ์และการเชื่อมต่อของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For CP112/113 – PO models and CP112/113 – PN models with 4-20 mA output – passive :



SETTINGS AND USE OF THE TRANSMITTER

Auto-calibration

CP 111 pressure transmitter has a temperature compensation of the gain from 0 to 50°C and an auto-calibration process that guarantees over the time an excellent stability and a perfect reliability of the measurement on low and high ranges.
 Auto-calibration principle: the microprocessor of the transmitter drives a solenoid valve that compensates the possible drifts on the sensitive element over the time. The compensation is performed by the permanent adjustment of the zero. So the measurement of the differential pressure is then independent from the environmental conditions of the transmitter.

Advantage: no drift
Frequency of auto-calibration: resetable or from 1 to 60 minutes

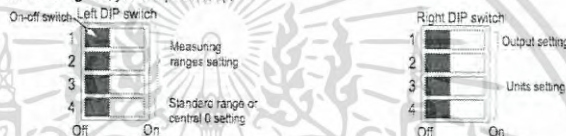
Autozero

To perform an autozero, unplug the 2 pressure connections tubes and press the "Autozero" key.
 On the CP111 transmitter, it is not necessary to unplug the 2 pressure connection tubes.
 When an autozero has been performed, "On" green light turns off then turns on, and on transmitters equipped with a display "autoZ" is displayed.

Configuration

Warning: To configure the transmitter, it must not be energized. Then, you can make the settings required, with the DIP switches (as shown on the drawing below). When the transmitter is configured, you can power it up.

To configure the transmitter, unscrew the 4 screws from the housing then open it, DIP switches allowing the different settings are then accessible.



Measuring range settings – left DIP switch

To set a measuring range, put the 1, 2 and 3 on-off switches as indicated in the table below.

Type of transmitter	Combination 1			Combination 2			Combination 3			Combination 4			Combination 5		
	CP111	CP112	CP113	CP111	CP112	CP113	CP111	CP112	CP113	CP111	CP112	CP113	CP111	CP112	CP113
Pa	20	100	1000	30	250	2500	40	500	5000	50	750	7500	100	1000	10000
mmH ₂ O	2.0	10.0	100.0	3.0	25.0	250.0	4.0	50.0	500	5.0	75.0	750.0	10.0	100.0	1000.0
mbar	0.2	1	10.00	0.3	2.5	25.00	0.4	5.0	50.00	0.5	7.5	75.00	1.00	10.00	100.00
inWG	0.06	0.40	4.00	0.12	1.00	10.00	0.16	2.00	20.00	0.20	3.00	30.00	0.40	4.00	40.00
mmHg	0.20	0.80	8.00	0.22	2.00	20.00	0.30	4.00	40.00	0.40	6.00	60.00	0.80	8.00	80.00
daPa	2.0	10.0	100	3.0	25.0	250.0	4.0	50.0	500.0	5.0	75.0	750.0	10.0	100.0	1000.0
kPa	0.020	0.100	1.00	0.030	0.250	2.50	0.040	0.500	5.00	0.050	0.750	7.50	0.100	1.000	10.00
hPa	0.20	1.00	10.00	0.30	2.50	25.00	0.40	5.00	50.00	0.50	7.50	75.00	1.00	10.00	100.00

- Measuring ranges of the CP111 transmitter on the ±100 Pa range according to the measurement unit
- Measuring ranges of the CP112 transmitter on the ±1000 Pa range according to the measurement unit
- Measuring ranges of the CP113 transmitter on the ±10 000 Pa range according to the measurement unit.

Example:

- From 0 to 750 mmH₂O, measuring range is 750 mmH₂O.
- From -500 Pa to +500 Pa, measuring range is 1000 Pa

รูปที่ ข.2.3 การเชื่อมต่อและการกำหนดย่านใช้งานของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard range / central zero setting – left DIP switch

To set the type of measuring range, put the on-off switch 4 as indicated beside:

Example 0-100 Pa: Full scale / 0 (0 / 100 Pa)
Central zero (-50 Pa / 0 / +50 Pa)

Configurations	Full scale	Central zero
Combinations		



Please follow carefully the combinations beside with the DIP switch. If the combination is wrongly done, the following message will appear on the display of the transmitter "CONF ERROR". In that case, you will have to unplug the transmitter, place the DIP switches correctly, and then power the transmitter up.

Output setting – right DIP switch (CP111/112/113 – AO and CP111/112/113 – AN models)

To set the type of analogue output, please put the on-off switch of the output as shown beside:

Configurations	4-20 mA	0-10 V
Combinations		

Units setting – right DIP switch

To set a measurement unit, put the on-off switches 2, 3 and 4 of the units as shown in the table below.

Configurations	Pa	mmH ₂ O	mbar	InWG	mmHG	daPa	kPa	hPa
Combinations								

CONFIGURATION VIA LCC-S SOFTWARE (option)

An easy and friendly configuration with the software!

You can configure your own intermediary ranges.

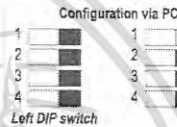
Caution : the minimum difference between the high range and the low range is 20.

For example, it is possible to set the instrument from -20 to 0 Pa, from 0 to +20 Pa, or from -10 to +10 Pa...

To access the configuration via software:

- Set the DIP switches as shown beside. *Note: the on-off switch 1 of the right DIP switch can be in any position (selection of the analogue output 0-10 V or 4-20 mA).*
- Connect the cable of the LCC-S to the connection of the transmitter.
- Please refer to the user manual of the LCC-S to make the configuration.

Caution: the configuration of the parameters can be done either with the DIP switch or via software (you can not combine both solutions).

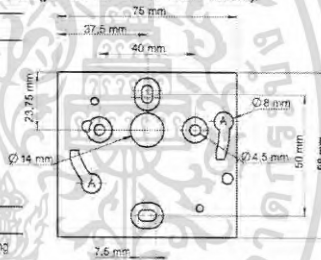


MOUNTING

To mount the transmitter, mount the ABS plate on the wall (drilling: Ø6 mm, screws and pins are supplied). Insert the transmitter on the fixing plate (see A on the drawing beside). Rotate the housing in clockwise direction until you hear a "click" which confirms that the transmitter is correctly installed.



Once the transmitter is installed and powered up, please make an autozero to guarantee the correct working of the transmitter in any position.



MAINTENANCE

Please avoid any aggressive solvent. Please protect the transmitter and its probes from any cleaning product containing formalin, that may be used for cleaning rooms or ducts.

OPTIONS AND ACCESSORIES

- KIAL-100A: Power supply class 2, 230 Vac input, 24 Vac output
- KIAL-100C: Power supply class 2, 230 Vac input, 24 Vdc output
- LCC-S: configuration software with USB cable
- Connection tube
- Connection fittings
- Through-connections
- Straight connections
- Spherical coupling nut

Only the accessories supplied with the device must be used.

PRECAUTIONS FOR USE

Please always use the device in accordance with its intended use and within parameters described in the technical features in order not to compromise the protection ensured by the device.

Once returned to KIMO, required waste collection will be assured in the respect of the environment in accordance with European guidelines relating to WEEE.

www.kimo.fr

EXPORT DEPARTMENT
Tel : +33.1.50.06.69.25 - Fax : +33.1.50.06.69.29
e-mail : export@kimo.fr

Distributed by :

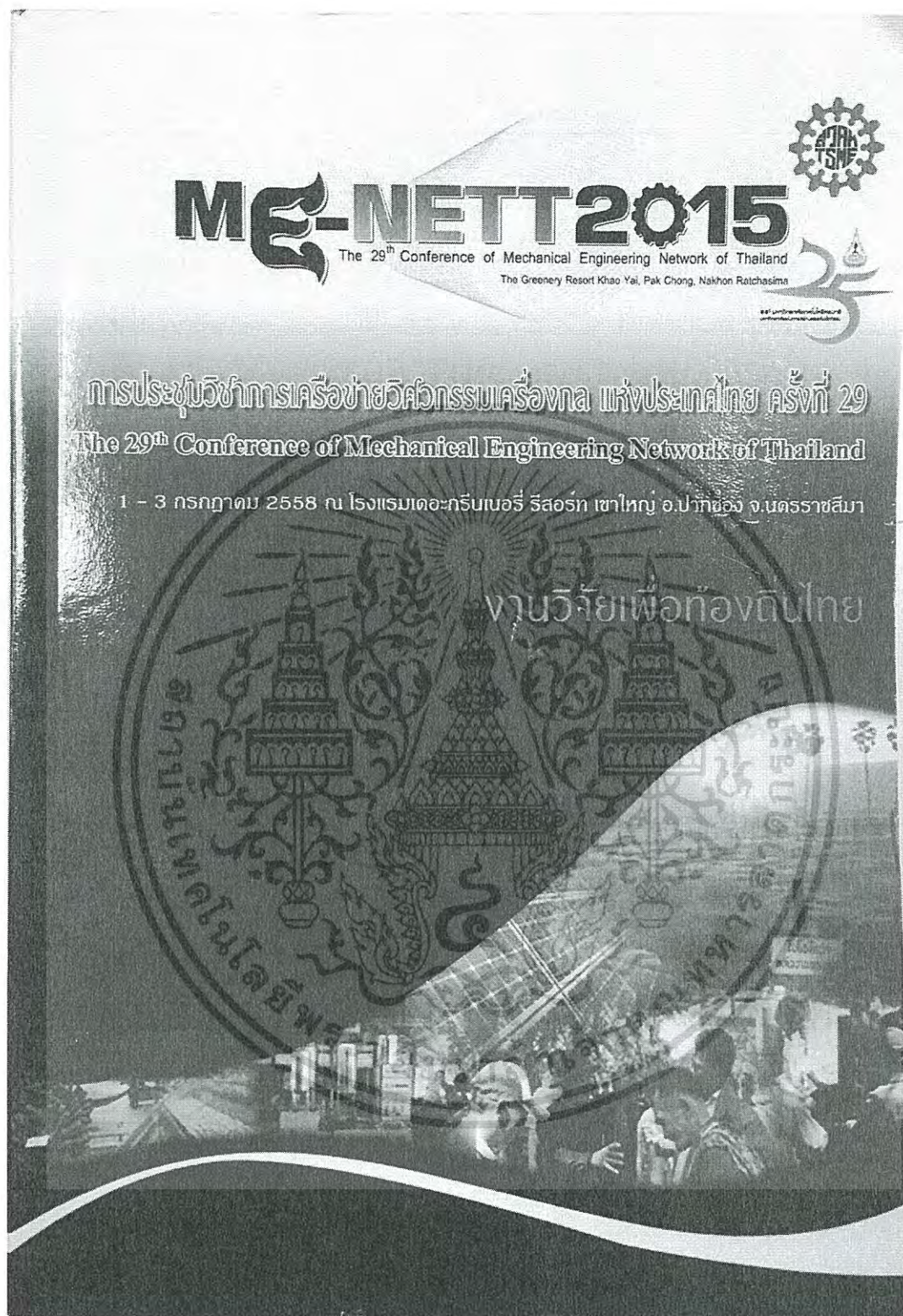
F1ang - CP111-112-113 - 27/01/2017 - RCS (21) Pérouse 349 252 055 Non contractual document - We reserve the right to modify the characteristics of our products without prior notice.

รูปที่ ข.2.4 การกำหนดรูปแบบการส่งสัญญาณและหน่วยของการวัดของ Differential Pressure Transmitter สำหรับอากาศส่วนที่ 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRC-03

การพัฒนาระบบการควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาใหม่
เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW

Development of continuous flow control system of pulverized fuel and air in a 1 MW biomass
fired burner

ทีรพัฒน์ เทพพิบ¹, จารุวัตร เจริญสุข²

¹ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
²อีเมล: teclama@kmitl.ac.th โทรศัพท์: 023 264 157, โทรสาร: 023 264 156

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาใหม่ เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW ความร้อน กิจกรรรมประกอบด้วย 1) การพิจารณาขีดจำกัดและการติดตั้งอุปกรณ์ ปรับเปลี่ยนอัตราการไหล 2) การติดตั้งเครื่องมือวัดพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ เพื่อส่งสัญญาณเตือนกลับไปยังชุดอุปกรณ์ประมวลผล ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเฉพาะ (characteristic) ของระบบย่อยแต่ละระบบเพื่อกำหนดองค์ประกอบ ของรูปแบบการควบคุมชนิด สัดส่วน ปริพันธ์ อินทิเกรต เพื่อการควบคุมแบบอัตโนมัติในอนาคต โดยการตอบสนองของ ระบบที่ให้ความสนใจจะทำการควบคุม ได้แก่ 1) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชนิดเม็ดจากแหล่งกักเก็บสู่ระบบการบดเชื้อเพลิง อัดเม็ดให้เป็นผง 2) การส่งเชื้อเพลิงชีวมวลผงด้วยลมที่ไต่เป็นอากาศปฐมภูมิ (primary air) และ 3) อัตราการไหลของ อากาศทุติยภูมิ (secondary air) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบป้อนอากาศและเชื้อเพลิงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการดำเนินงานได้อย่างมีเสถียรภาพตามค่าที่กำหนดไว้ นอกจากนี้จะทำการทดสอบเพื่อหา ขีดจำกัดของการดำเนินเชื้อเพลิงผง ผลการวิจัยและพัฒนาแบบควบคุมการไหลอากาศและเชื้อเพลิงที่ได้ จะถูกรวมกับ ระบบควบคุมด้านความปลอดภัย และการควบคุมเชิงไมโครดำเนินการเมื่อมีการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่าอัตราการ บดสูงสุดที่ให้น้ำหนักเชื้อเพลิงที่หนึ่งประตอ (ขนาดรูตะแกรง 0.5 mm) ที่ไม่ทำให้เกิดการสะสมของเชื้อเพลิง คือ 0.3 kg/min ในขณะที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงของระบบป้อนเชื้อเพลิงในรูปแบบผงจำกัดอยู่ที่ประมาณ 5.7 kg/min การป้อนเชื้อเพลิงของ ห้องเจดมีอัตราการส่งเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้ตลอดอย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิคือ 0.030 m³/s (DP = 2.37 mbar) อากาศทุติยภูมิคือ 0.185 m³/s (DP = 25.57 mbar) และอากาศทุติยภูมิคือ 0.073 m³/s (DP = 16.22 mbar) ทั้งนี้การพัฒนาระบบและดำเนินการอย่างต่อเนื่องจะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในภายหลังเมื่อเข้าสู่เครื่องเป่าพม่าของ การพัฒนา

คำหลัก: หัวเผาใหม่เชื้อเพลิงชีวมวล, การควบคุมชนิด สัดส่วน ปริพันธ์ อินทิเกรต, การควบคุมการไหล

Abstract

This paper presents the development of continuous flow control system of pulverized fuel and air in a 1 MW biomass fired burner. The activity involves with: 1) selection of sensors and actuators, 2) installation of these instruments for measurement of essential parameters, and 3) characterization of each subsystem for finding the combination of PID mode of control. The responses of fuel and air feeding systems under current interest are: 1) the feed rate of pellet from storage tank to the pulverizer unit, 2) transport of pulverized fuel to the burner by the primary air and 3) secondary air flow rate. The current objective of this work is to control the above responses of the fuel and air feeding system. Moreover, tests will be carried out to find fuel transportation characteristic by primary air at various feeding rate as provided by fuel feeding system. The control system developed in this work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRC-03

will then be integrated with other control units such as condition monitoring unit and eventually the combustion control unit. From experiment it was found that the maximum pulverizing rate (operated at 0.5 mm in sieving diameter) is 0.3 kg/min, while the limit capacity of screw feeder when operated with pulverized fuel is 5.7 kg/min. The primary air was able to carry fuel particle to the burner throughout the operation range. However fuel particle has deposited in dead zone within the hopper and jet pump structure. The maximum flow rate of primary air is 0.030 m³/s (DP = 2.37 mbar), secondary air is 0.185 m³/s (DP = 25.57 mbar) and tertiary air is 0.076 m³/s (DP = 18.22 mbar). Next attempt of this work is to improve the pulverizer and pumping units so that it will operate smoothly within the operation range of the burner.

Keywords: Biomass fired burner, PID control, Flow control

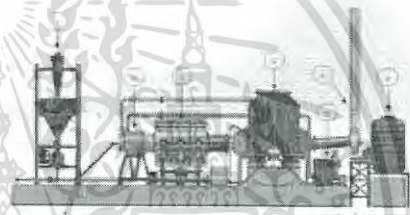
1. บทนำ

บทความนี้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานความก้าวหน้าผลถึงปัญหาและวิธีแก้ปัญหาในการเก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลอง ซึ่งจะขอกล่าวถึงในส่วนของทฤษฎีเบื้องต้น เชื้อเพลิงหุง อากาศปฐมภูมิ หรือภูมิผลคดียภูมิ การเลือกระบบหม้อหุง ดัดตั้ง และการวัด เพื่อนำมาเทียบได้กับใบกำหนดค่าพารามิเตอร์และออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสม

2. ภาพรวมของระบบ

เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นระบบใหญ่ที่มีส่วนประกอบที่ซับซ้อนมากจะขออธิบายให้ละเอียดโดยสังเขปดังนี้ เชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบนี้มีสองชนิดคือ เชื้อเพลิง LPG และเชื้อเพลิงไม้ยางพาราอัดเม็ด (Wood pellet) ที่มีข้อดีในเรื่องของความปลอดภัยในการเก็บรักษาและความสะดวกในการขนส่ง โดยจะถูกเก็บไว้ในถังเก็บ (หมายเลข 1 ในรูปที่ 1) ในการเริ่มต้เตา เชื้อเพลิง LPG จะถูกใช้ในการอุ่นเตาเมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ต้องการแล้วระบบจะเริ่มจ่ายเชื้อเพลิงเม็ดโดยสกรูพืดเข้าสู่เครื่องบด เครื่องบดจะบดเชื้อเพลิงจนมีขนาดเล็กลงที่จะผ่านตระแกรงแล้วไหลเข้าสู่หัวเผา (หมายเลข 2 ในรูปที่ 1) อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะได้นำมาจากพัดลมอัดอากาศ (หมายเลข 3 ในรูปที่ 1) เมื่อเชื้อเพลิงหุงติดไฟจนมีความเสถียรภาพแล้วจะตัดการป้อน LPG ไล่ซึ่งที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงจะกระทำให้เป็นตรงและตั้งจับใน Wet scrubber (หมายเลข 4 ในรูปที่

1) และถูกดูดไปสู่ท่อไอเสียด้วยพัดลมดูดไอเสีย (หมายเลข 5 ในรูปที่ 1) ส่วนน้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิไอเสียและดักจับฝุ่นละอองใน Wet scrubber จะถูกดูดส่งไปยังหอกลั่นและระบบหมุนเวียนน้ำ (หมายเลข 7 ในรูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของระบบ

2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบ

1. ส่วนเก็บเชื้อเพลิง บดเชื้อเพลิงและป้อนเชื้อเพลิง
2. หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล
3. หม้อเผาไหม้
4. ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนและน้ำบดไอเสีย
5. พัดลมอัดอากาศในส่วนปฐมภูมิ-คดียภูมิ
6. พัดลมดูดไอเสีย และท่อไอเสีย
7. ส่วนดึงเก็บน้ำที่ใช้ในระบบรวมทั้งย้อมดักตะกอน

2.2 รายละเอียดของส่วนต่าง ๆ

เนื่องจากการดำเนินงานเชื้อเพลิงแข็งชนิดผง ในที่นี้ใช้ไม้ยางพาราอัดเม็ด (Wood pellet) เข้าสู่หัวเผานั้นมีหลายส่วนประกอบที่ทำงานสอดคล้องกัน จึงขอแยกเป็น ส่วน ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRC-03

2.2.1 ส่วนลำเลียงเชื้อเพลิง

ส่วนนี้ประกอบด้วยข้อต่อแปรรูปกับเชื้อเพลิง
 ลำเลียงเชื้อเพลิงโดยในท่อกว้างที่ติดอยู่ข้างล่าง มอเตอร์ของ
 ใบสกรูจะถูกควบคุมความเร็วรอบการหมุนด้วย Inverter
 เชื้อเพลิงที่ออกจากใบสกรูจะลงเข้ามาในเครื่องบดหรือที่
 อากาศปฐมภูมิซึ่งจะออกตัวในส่วนวิธีทดลองและการ
 แก้ปัญหาในส่วนต่อไป

2.2.2 ส่วนของอากาศปฐมภูมิและตติยภูมิ

ในส่วนอากาศปฐมภูมิและตติยภูมิ นั้น
 ประกอบด้วยที่ลดขนาด 1 แรงม้า และ 5 แรงม้า
 ตามลำดับ ควบคุมการไหลโดยใช้คอนโทรลวาล์ว และวัด
 อัตราการไหลโดยอาศัยความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจาก
 การที่อากาศไหลผ่านแผ่นเออร์ทิคัลด้วยเซนเซอร์วัดความ
 ดันแตกต่าง แต่เนื่องจากปริมาณที่ต้องทำให้ไหล
 ของอากาศปฐมภูมิและตติยภูมิประกอบด้วยแผ่นเออร์ทิคัล
 นี้จะทำให้เกิดความดันแตกต่างที่ค่อนข้างมาก เกิดความ
 สูญเสียแรงดัน จึงเลือกใช้วิธีการขยายท่อทั้งก่อนเข้าและ
 ด้านหลังตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นเออร์ทิคัล ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2



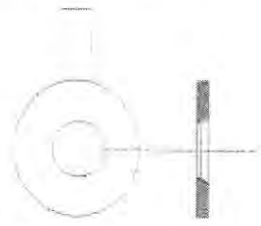
รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งเออร์ทิคัลในท่อแบบขยาย

2.2.3 ส่วนของอากาศตติยภูมิ

ในส่วนอากาศตติยภูมินี้ประกอบด้วยที่ลด
 ขนาด 5 แรงม้า อัดลมเข้าไปในท่อขนาด 3 นิ้ว ควบคุม
 การไหลโดยใช้คอนโทรลวาล์ว และวัดอัตราการไหลโดย
 อาศัยความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการที่อากาศไหล
 ผ่านแผ่นเออร์ทิคัลด้วยเซนเซอร์วัดความดันแตกต่าง

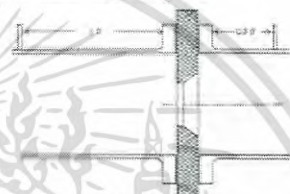
2.2.5 ในการออกแบบบอร์นิงพีซของท่ออากาศทั้งสาม

ออกแบบตามมาตรฐาน ISO 5187 ที่ยานพา
 หนะงาน 1 MW โดยเลือกใช้เออร์ทิคัลแบบ Concentric
 Orifice Plate ตามรูปที่ 3



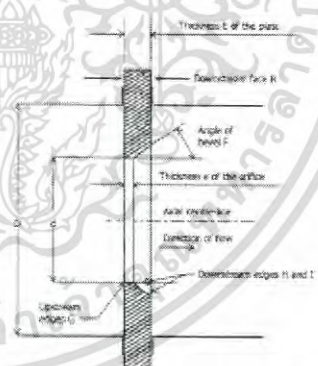
รูปที่ 3 แสดงลักษณะ Concentric Orifice Plate

และเลือกใช้จุดต่อสำหรับวัดความดันแตกต่าง
 (Pressure Tapping) แบบจุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D
 (Vena Contracta Taps) ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงจุดต่อวัดค่าความดันแตกต่างแบบ Vena Contracta Taps

ลักษณะพื้นฐานของแผ่นเออร์ทิคัลตามมาตรฐาน
 ISO 5187 สามารถดูได้จากรูปที่ 3



รูปที่ 5 แสดงลักษณะพื้นฐานของแผ่นเออร์ทิคัลตาม
 มาตรฐาน ISO 5187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRC-03

เมื่อคำนวณตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 5167 จะให้ความละเอียดของออร์ทิโกที่ตามตัวตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของออร์ทิโกตามท่อ

	ท่อ 1	ท่อ 2	ท่อ 3
D (mm)	88.9 (3")	114.3 (4")	88.9 (3")
d (mm)	52.20	66.51	52.20
E (mm)	2.5	3.5	2.5
e (mm)	1.0	1.5	1

เนื่องจากเราใช้การขยายท่อแบบ ในรูปที่ 2 ซึ่งมีความต้องการระยะต้นตรงนั้นต่ำกว่าก่อนเข้าและหลังออกจากออร์ทิโกเป็นระยะ 30D และ 7D ตามลำดับ จึงได้ผลตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงระยะต้นตรงทั้งด้านหน้าและด้านหลังออร์ทิโกของแต่ละท่อเป็นดังนี้

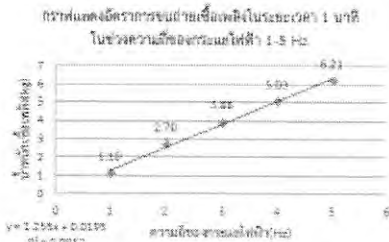
	ท่อ 1(mm)	ท่อ2 (mm)	ท่อ3 (mm)
Upstream	2337.6	3067.8	2337.6
Downstream	545.4	715.8	545.4

3. การทดสอบ

เนื่องจากมีการทดสอบหลายส่วน จึงขอแบ่งส่วนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การลื่นไหลของเชื้อเพลิงแบบที่ 1

ในตอนแรกนั้นจะเริ่มทำการทดลองโดยการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ด(Wood pellet)นั้นไม่เก็บไว้บนหลอดป้อนดีแล้วแต่ลำเลียงเข้าสู่ใบสกรูเข้าเครื่องบด จากนั้นเชื้อเพลิงที่รับทราบคแล้วจะถูกลำเลียงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ชนิดของวิธีนี้คือเชื้อเพลิงมีความปลอดภัยในการเก็บรักษาไม่พียงชนิดไฟง่าย โนอันแรกทำการทดลองโดยใช้วาล์วและช่างนำหนักเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ไหลผ่านใบสกรูที่แต่ละย่านความถี่ไฟฟ้า ผลที่ได้แสดงตามกราฟที่ 1 ด้านล่างกราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดเม็ดกับความสัมพันธ์ที่ไฟฟ้าใช้ควบคุมผลเคอร์



หลังจากได้ผลการทดลองดังตารางข้างต้นแล้ว

จึงทำการทดลองเป็นลำดับดังนี้

3.1.1 ลำเลียงเชื้อเพลิงอัดเม็ดผ่านใบสกรูเข้าสู่เครื่องบด แล้วปล่อยให้เชื้อเพลิงตกลงห้องเผาไหม้ท่อน้ำที่เข้าเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยอากาศปฐมภูมิ

ปัญหาที่พบจากค่าเฉลี่ยเชื้อเพลิงแบบนี้คือ ไม่สามารถวัดปริมาณอากาศที่เกิดจากพัดลมอากาศปฐมภูมิและอากาศที่เกิดจากเครื่องบดได้จึงต้องเปลี่ยนวิธี

3.1.2 ลำเลียงเชื้อเพลิงอัดเม็ดผ่านใบสกรูเข้าสู่เครื่องบด แล้วต่อท่ออากาศปฐมภูมิในลักษณะอนุกรมกับเครื่องบดส่งเชื้อเพลิงผสมกับอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้

ปัญหาที่พบจากการทดลองแบบนี้คือ ปริมาณอากาศที่เกิดจากเครื่องบดมากเกินความต้องการของทุกย่านการทดลองจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนวิธี

3.2 การลำเลียงเชื้อเพลิงแบบที่ 2

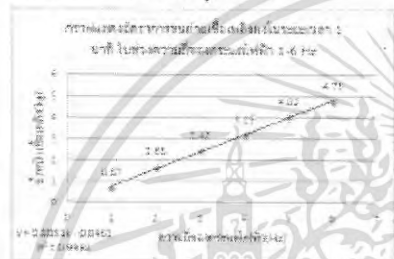


รูปที่ 6 แสดงส่วนเชื่อมท่อของท่อป้อนป้อนเครื่องบด

DRC-03

เนื่องจากการนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาบดแล้วส่งเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงได้เกิดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้ว จึงจำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดเก็บไว้ปริมาณหนึ่ง เมื่อได้ปริมาณตามต้องการแล้วจึงนำขึ้นเทเก็บไว้บนชอปเปอร์ จากนั้นจึงลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่โบลทูลู แล้วปล่อยให้ไหลสู่ห้องเจตน์มีมแล้วจึงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของเชื้อเพลิงผงกับความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมโบลทูลูแสดงดังกราฟต่อไปนี้

กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเชื้อเพลิงผงกับความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมมอเตอร์



จากกราฟจะเห็นได้ว่าน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ได้จากแต่ละย่านความถี่นั้นมีความเป็นเส้นตรงสอดคล้องความต้องการใช้

3.2.1 ปัญหาที่พบบ่อยหลายประการดังนี้

1. เชื้อเพลิงมีการอัดแน่นและแข็งตัวไม่ไหลลงโบลทูลู จึงต้องมีคนคอยเคาะหรือถอนเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลา แนวทางแก้ไขในอนาคต ต้องมีการติดตั้งเครื่องถ่วงหรือเครื่องเคาะที่ชอปเปอร์
2. เชื้อเพลิงเมื่อเป็นผงแล้วสามารถขึ้นฝ้าง่ายกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ด
3. ในการบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้ป็นเม็ดความยุ่งยากอยู่สองประการคือ หนึ่งการเก็บฝุ่นผงของเชื้อเพลิงทำได้ยาก เนื่องจากลมที่เกิดจากเครื่องบดมีปริมาณสูง จึงใช้วิธีต่อท่อเข้าสู่ไซโคลนแล้วใช้ถุงกระดาษรวบรวมตัวกรองของเครื่องดูดฝุ่น อาจมีการรั่วและปลิวไปตามลมได้บางส่วน และต้องทำความสะอาดตัวกรองเป็นระยะๆ

เนื่องจากต้องการบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้มีขนาดเล็กจนเกือบเท่าฝุ่นแป้ง เครื่องบดจึงใช้เวลานานในการบดและบดได้ในปริมาณที่น้อย ส่วนนี้คาดว่าอาจต้องเปลี่ยนเครื่องบดในอนาคต ซึ่งการบดเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องสูงสุดทำได้ประมาณ 300 กรัมต่อนาที ซึ่งความต้องการใช้งานที่ 1 MW อยู่ที่ประมาณ 3.8 กิโลกรัมต่อ นาที

3.3 ทดลองเผาเชื้อเพลิงขนาดต่างๆ เพื่อดูลักษณะการเผาไหม้

เนื่องจากเครื่องบดสามารถเปลี่ยนขนาดรูของตระแกรงเพื่อให้ได้ความละเอียดจากการบดต่างกัน จึงทำการทดสอบบดเชื้อเพลิงผ่านตระแกรงออกมาตามขนาดคือ 1.5 มม., 1.0 มม. และ 0.5 มม. แล้วทำการทดสอบเผา เพื่อสังเกตลักษณะเปลวไฟของเชื้อเพลิงแต่ละขนาด ได้ผลการทดลองดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 7 แสดงการเผาเชื้อเพลิงที่บดผ่านตระแกรงขนาด 1.5 มม.

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าเชื้อเพลิงได้จากการบดผ่านตระแกรง ขนาด 1.5 มม. ติดไฟได้ยากและเผาไหม้ได้ไม่หมดเป็นจำนวนมาก แต่ในทางกลับกันในการเลือกซื้อเชื้อเพลิงเพื่อเก็บเชื้อเพลิงไว้รอการบดละเอียดในครั้งต่อไปอาจจะจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งทำให้ลดราคาเชื้อเพลิงได้สัดส่วนหนึ่ง

DRC-03



รูปที่ 8 แสดงการเผาเชื่อมเหล็กที่ขนาดความหนาของแผ่น 1.0 มม.

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าเชื่อมเหล็กโดยใช้คลื่นอัลตราซาวด์ยังมีส่วนที่บวมใหม่เหนืออยู่บางส่วน



รูปที่ 9 แสดงการเผาเชื่อมเหล็กที่ขนาดความหนาของแผ่น 0.5 มม.

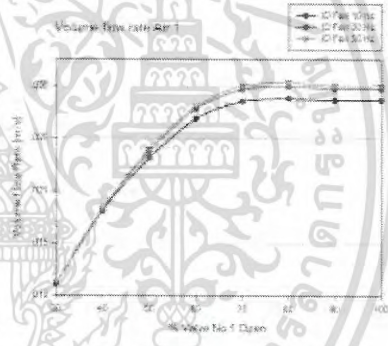
จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าเชื่อมเหล็กที่ขนาดความหนาของแผ่น 0.5 มม. ซึ่งมีความละเอียดมากที่สุดนี้เกิดโพรงและรอยแตกใหม่เกิดขึ้นใหม่เหนืออยู่บางส่วน ผลการวิเคราะห์การเผาใหม่จะแจ้งทำการศึกษาริจัยต่อไปในอนาคต

3.4 การทดลองหาอัตราการไหลของอากาศ

เป็นการทดลองในระบบปิดโดยใช้ภาชนะของความดันแตกต่างกันที่เกิดจากการเปิดปิดของวาล์ว และอิทธิพลของพัดลมดูดอากาศที่เข้าการเปิดปิดต่างๆ ว่าส่งผลต่อการป้อนอากาศเข้าอย่างไร โดยเราใช้อินเวอร์ในการควบคุมพัดลมดูดอากาศขนาด 5 แรงม้า โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ไฟฟ้าตั้งแต่ 0-50 Hz โดยคิดอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิประมาณ 35 เซลเซียส อากาศมีความหนาแน่นประมาณ 1.14 kg/m³

3.4.1 การทดลองอากาศปฐมภูมิ

เครื่องวัดความดันแตกต่างของท่อ 1 มีย่านการวัดอยู่ที่ 0-10 mbar ต่อช่วงระหว่างออร์ทิโกตามขนาดแสดงในตารางที่ 2 ได้ผลการทดลองดังกราฟต่อไปนี้
ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (m³/s) กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 1



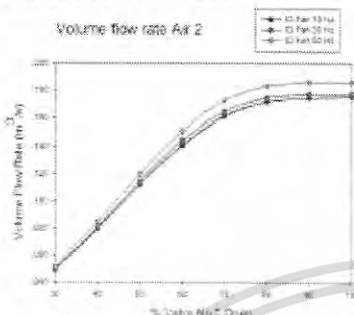
จะเห็นว่าการเปิดพัดลมดูดอากาศที่เข้าต่างๆ (10-50 Hz) มีผลต่อการไหลของอากาศปฐมภูมิลดลง ซึ่งสามารถนำไปกำหนดเป็นเกณฑ์ในการกำหนดอัตราการไหลด้วยระบบควบคุมต่อไป

3.4.2 การทดลองอากาศทุติยภูมิ

เครื่องวัดความดันแตกต่างของท่อ 2 มีย่านการวัดอยู่ที่ 0-100 mbar ต่อช่วงระหว่างออร์ทิโกตามขนาดแสดงในตารางที่ 2 ได้ผลการทดลองดังกราฟต่อไปนี้

DRC-03

กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (ลิตร)กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 2

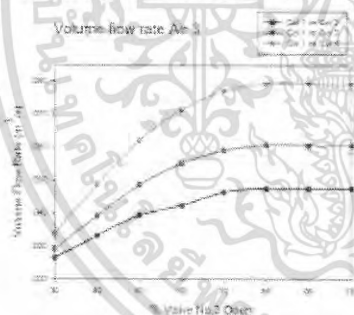


จะเห็นว่าอัตราการเปิดพัดลมดูดอากาศที่มีขนาดต่างๆ (10-50 Hz) มีผลต่อการไหลของอากาศที่ความถี่เล็กน้อย ซึ่งสามารถนำไปกำหนดเป็นค่าแก้ไขในการกำหนดอัตราการไหลด้วยระบบควบคุมต่อไป

3.4.3 การทดลองอากาศสดคือลม

เครื่องวัดความดันแตกต่างของห้อง 3 มีขนาดการวัดอยู่ที่ 0-100 mbar ต่อกรรมระหว่างออร์ทิฟิกันขนาดแสดงในตารางที่ 2 ได้ผลการทดลองดังกราฟต่อไปนี้

กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (ลิตร)กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 3



จะเห็นว่าพัดลมดูดอากาศมีผลต่อการไหลของอากาศสดคือลมค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากเห็นได้ชัดว่าช่องทางการออกของอากาศสดคือลมอยู่ใกล้กับพัดลมดูด

อากาศมากกว่าช่องทางการอื่นและมีลักษณะเป็นคอขวด จึงได้รับอิทธิพลจากการเปิดพัดลมดูดอากาศค่อนข้างสูง

4. สรุป

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า เซลล์เพลิงที่ได้รับ การบรรจุน้ำมันตรงขนาด 0.5 มม. ให้การเผาไหม้ที่ ดีกว่าขนาดอื่น จึงใช้เซลล์เพลิงขนาดนี้เป็นเซลล์เพลิงหลัก ในการทดลอง และยังมิข้อจำกัดในเครื่องมือและอุปกรณ์ ต่างๆ เช่น เครื่องบดที่มีอัตราการผลิตต่ำไม่เพียงพอต่อ ความต้องการใช้ เมื่อเก็บเซลล์เพลิงไว้ในชอบบเปอร์ เซลล์เพลิงจะอึดตัวมีลักษณะเป็นโพรงไม่ไหลลงมาเข้าไบ สกรูซึ่งทำการบรรจุน้ำมันตรงขนาด ท่อเร่งก็มีไม่ ตามารถเผาเซลล์เพลิงที่ยังการทดลองที่ต่ำกว่า 100 kW หรือสูงกว่า 400 kW ได้อย่างต่อเนื่อง และการทำ ให้อุณหภูมิที่อากาศป้อนลมทำให้อัตราการไหลสูงของ อากาศลดลง ในการควบคุมอุณหภูมิในสกรูทำให้อุณหภูมิ ไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 1 Hz. มอเตอร์จึงไม่สามารถหมุนอย่าง ต่อเนื่องได้ การใช้เซลล์เพลิงและเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว ต่างๆ ที่ 3 ขนาดการทดลองคือที่ 0.25 Mw, 0.50 Mw และ 0.75 Mw ดังแสดงในตารางที่ 3 ด้านล่างนี้ ทั้งนี้การรู้ ความต้องการในส่วนต่างๆ ของระบบจะต้องมีการ กำหนดเฉพาะกรณีและตั้งสัญญาณตามคุณสมบัติ ที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การพัฒนาอุปกรณ์และตัวเลี้ยง เซลล์เพลิงให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องไม่เป็นที่ ใช้งานคือเป้าหมายต่อไปของการพัฒนา

ตารางที่ 3 การใช้น้ำมันแอมเซลล์เพลิงและอากาศที่ผ่านการ ทดลองต่างๆ

	0.25 Mw	0.50 Mw	0.75 Mw
Fuel (lit/min)	0.95	1.9	2.85
FC Volume Flow (m ³ /s)	0.011	0.022	0.033
SEC Volume Flow (m ³ /s)	0.072	0.144	0.215
IER Volume Flow (m ³ /s)	0.027	0.055	0.083
% Valve open 1	30	100	100
% Valve open 2	36	60	100
% Valve open 3	30	60	100

DRC-03

การประชุมวิชาการระดับนานาชาติของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศไทย ครั้งที่ 29
1-3 กรกฎาคม 2559 จังหวัดนครราชสีมา

ME-METT2015

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวีชัย ชูพันธ์, "Industrial Instrumentation Engineering and Design.(Part II: Instrument Engineering and Selection)
- [2] D.W.Sepiter, "Flow measurement", Instrument Society of America
- [3] ISO 5167-1:1991 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices.
- [4] Simatic 67-300 Manual Siemens, 2013
- [5] Simatic Manager Step7 V5,6, PLC Software
- [6] Helmholtz AEA300 Manual Edition5, 2011



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคเบิลขนาด 1 นิ้วเพื่อเชื่อมต่อขดลวดในเครื่องขนาดพอนมีขนาดเล็กลง แต่ขีดครากจะลึกยิ่งขึ้นเนื่องจากยังมีขดลวดอีกข้างหนึ่งที่มีขนาด 1 มม. โดยที่น้ำหนักที่ระบายลงออกมาทำให้บริเวณที่ไม่มีขดลวดเป็นไปจนทำให้เกิดการ Cover Load ที่น้อยลง จากผลที่ได้จึงถือว่าการดึงเครื่องแบบ A ในการทดลองไม่ยุ่งยากเป็นเหมือนการทดลอง เพื่อให้เห็นความคุ้มค่าในการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด

4.2 ส่วนการถ่วงเบี่ยง

ในการใช้พลังงานสำหรับสกรูและพัดลมที่ใช้ถ่วงเบี่ยงเชื่อมเหล็กน้อยอยู่ที่ไม่เกิน 2.237 kW ขึ้นอยู่กับอัตราการบนของเครื่องเบี่ยงในขณะนั้น

เหล่านี้ล้วนคือการใช้ไฟฟ้าบนแหล่งพลังงาน จึงทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนของปริมาณเชื่อมเหล็กที่ได้จากการบัด โดนแสดงในกราฟที่ 1



กราฟที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่รวมกันทั้งหมด

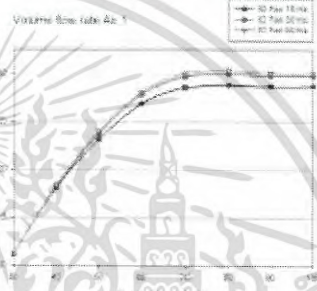


กราฟที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในการเชื่อมเชื่อมเหล็ก
จากกราฟที่ 1 จะเห็นว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับปริมาณการบัดเชื่อมเหล็กและ
เป็นพลังงานความร้อน และจากกราฟที่ 2 กลับได้ว่าจะมีผล

เชื่อมเหล็กในอัตราสูงจะมีค่าพาด้านพลังงานมากกว่าการผลิตในอัตราต่ำๆ

5. การถ่วงเบี่ยงเพื่อเพิ่มแรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย [7, 8]

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการไหลของการทดลองนี้คือตัวเทอร์มิสตาตวาล์วที่มีลักษณะการไหลกลับพันกับการทำงานของวาล์วตั้งกราฟที่ 2 โดยเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอากาศป้อนภูมิ พบว่า สามารถใช้งานได้ในช่วงการเปิดที่ 30-70% ส่วนช่วงการการทำงานของวาล์วระหว่าง 0-30% นั้น วาล์วจะเปิดน้อยมากซึ่งส่งผลกระทบบ้างมาก ในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย ในการทดลองเผาไหม้เชื่อมเหล็กในอัตราที่ต่ำ คือไม่สามารถถ่วงเบี่ยงเชื่อมเหล็กได้

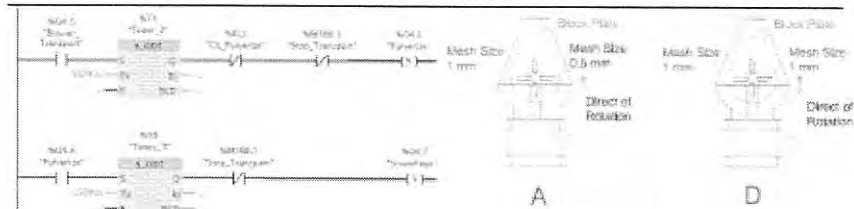


กราฟที่ 3 แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลของการทำงานของ ID FAN ที่ มีผลต่ออัตราการไหลของอากาศป้อนเผา จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการทำงานของ ID FAN สูงขึ้นทำให้เกิดลมดูดที่แรงขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้เชื้อเพลิงอัตราการไหลของอากาศป้อนก็จะสูงตามไปด้วย เมื่อวาล์วเปิดด้วยวาล์วให้ลมที่เข้าเลี้ยงเชื่อมเหล็กมีความดันในการผลักเชื้อเพลิงของวาล์วได้ลักษณะการถ่วงเบี่ยงตามมากขึ้นโดยเฉพาะมีวาล์วเปิดน้อยกว่า 30 % จึงส่งผลให้การถ่วงเบี่ยงด้วยลมดูดของ วาล์วคือ เชื่อมเหล็กเชื่อมมาขึ้นในท่อให้ถ่วงเบี่ยง ดังแสดงการเปรียบเทียบการจ่ายเชื้อเพลิงที่อัตราการเผาไหม้ 300 kW ความร้อน (ปริมาณเชื้อเพลิงถึง 0.01856 kg/s ใช้อากาศในการถ่วงเบี่ยง 0.0173 kg/s) และพลังงานทำงานของ ID FAN ที่ 10 Hz และ 14 HZ ในรูปที่ 7

ENETT13-080-EM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพประกอบวิชาการระดับบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิถิลิมเพอริ เชียงใหม่



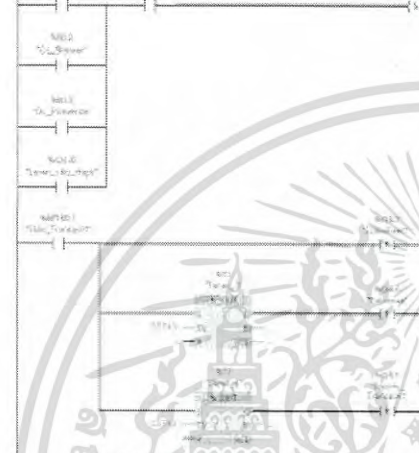
รูปที่ 6 แสดงการปรับขนาดให้เหมาะสมของแบบ A และ D

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคัดกรองขนาด 1 มม. มีขนาด
ใหญ่ทำให้การนำใหม่ในช่วงเริ่มสุดสายคลื่น ซึ่งในโครงการเดิม
ของนายศันภัทร ชูระกฤต [2015 : 123] นำถึงเชื้อเพลิงที่มีขนาด
ประมาณขนาด 0.5 มม. ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กซึ่งทำให้
การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และปล่อยควัน จึงต้องเปลี่ยนให้ตะแกรงด้านหนึ่ง
ของเครื่องชนิด Hammer mill เป็นขนาด 0.5 มม. โดยสาเหตุที่
นำเชื้อเพลิงที่ได้จะมีขนาดเล็ก แต่มีอัตราการผลิตยังคงสูงพอ
ความต้องการใช้ โดยกำหนดวิธีการทำงานของ Hammer mill เป็น
แบบ A ดังรูปที่ 6 คือ 1.ตะแกรงด้านซ้ายมีขนาด 1 มม. ตะแกรง
ทางด้านขวามีขนาดเป็น 0.5 มม. 2.ทิศทางการหมุนวนขึ้น
นำถัดไปทางหน้าของ Block Plate เพื่อป้องกันการอุดตัน
เพื่อรองรับการไหลเวียนของเชื้อเพลิงที่ถูกคัดกรองออกมา โดยสิ่งที่
ได้มีดังในแผนภูมิ 1

แผนภูมิที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบการคัดเชื้อเพลิงไม่
อย่างพาราติวบี Sieve 425 ไมครอน โดยไม่มีตะแกรงด้านหนึ่ง
เป็นขนาด 0.5 มม. ด้วยภาพตัดขวางที่วางบนเครื่องคัดพื้นดิน
แบบ A และ D



จะเห็นว่าจะเห็นได้ว่าโดยรวมแล้ว การตั้งเครื่องแบบ
A จะให้เชื้อเพลิงที่มีขนาดตั้งแต่ 425 ไมครอนขึ้นไปไม่มีการ
เซตเครื่องแบบ D ซึ่งการมีเชื้อเพลิงขนาดต่ำกว่า 425
ไมครอนในสัดส่วนที่มากกว่าจะทำให้การเผาไหม้ดีกว่า เนื่องจาก
ตะแกรงด้าน 0.5 มม.จะทำหน้าที่ช่วยนำเชื้อเพลิงให้อยู่ใน



รูปที่ 6 แสดงชุดควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
เมื่อศึกษาไปจนกระทั่งถึงได้ทดลองใช้งานเครื่องจักร
ผ่านคอมพิวเตอร์ พบว่าเครื่องจักรทำงานได้ปกติทั้งในโหมด
Manual และ Auto รวมทั้งโหมดการทำงานของโปรแกรมใน
กรณีเกิดเครื่องจักรเกิดกระแสเกินที่ติดตั้งมีระบบ Overload
Relay ทำงาน

4. การใช้พลังงานในการเตรียมเชื้อเพลิง
4.1 โบนัสการขาด
เนื่องจากเครื่องที่จัดหามาไม่สามารถจัดการให้
ทำงานได้พยามลักษณะ โบนัสต้องเปรียบเทียบการทำงานสอง
ลักษณะคือใช้พลังงานเท่ากันแต่ให้มาพร้อมเชื้อเพลิงที่ต่างกัน
ดังนี้ ที่อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง 2.26 Hz = 2.895 kg/m³
= 770 KW ความร้อน ใช้พลังงานไฟฟ้าไปทั้งหมดเฉลี่ย 16.36
KW

ไม่พอลดการนำเชื้อเพลิงลงเข้าสู่ไอน์โคเจนด้วยความเร็วที่
เหมาะสม ทำให้ประสิทธิภาพของโรงไอน์โคเจนเดิมก็ไม่ได้ดีเชื้อเพลิง
ที่บดแล้วซึ่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้ปริมาณมากทำให้เกิดการลุกไหม้เร็ว
เมื่อระบบเกิดการลุกไหม้บ่อยครั้งจึงทำให้ต้องแก้ไขบ่อยครั้ง
เสียเวลามาก

นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากในส่วนการเก็บเชื้อเพลิง
เนื่องจากระบบเดิมนั้นใช้ Hopper เดียวแต่ต้องสลับเปลี่ยน
เชื้อเพลิงกันคือ เมื่อเราต้องการบดเชื้อเพลิงเพื่อทดลอง
จะต้องทำการเดินไอน์โคเจนอาหารอัดแห้งใส่ใน Hopper และทำการ
การบดไปจนหมด ระหว่างนั้นเชื้อเพลิงซึ่งทับถมได้ต้องทำการ
จัดการกระจายเพื่อเก็บไว้ก่อนเมื่อคนเสร็จแล้วจึงค่อยใส่ถ่าน
นำเชื้อเพลิงผงที่บดไว้ขึ้นไปใส่ Hopper เดียวกับที่ใส่
เชื้อเพลิงไอน์โคเจนอาหารอัดแห้งที่กระจายอยู่ในขณะเชื้อเพลิง
ผงมีการกระจายอยู่จะต้องกระจายอุปกรณ์บดทิ้งให้หมด
ในกรณีที่ต้องการใช้เชื้อเพลิงอัดแห้งไม่หมดแล้วต้องการทำการ
ทดลองเผาเชื้อเพลิงนั้นต้องทำการย้ายเชื้อเพลิงอัดแห้งออกมาให้
หมดก่อนแล้วจึงใส่เชื้อเพลิงผงเข้าไปแทน ในทางตรงข้ามถ้า
หากมีเชื้อเพลิงเผาแล้วเชื้อเพลิงอัดแห้งก็อยู่ใน Hopper แต่
ปริมาณไม่เพียงพอสำหรับวงจรทดลองครั้งต่อไป ก็ต้องทำการ
ย้ายเชื้อเพลิงผงออกมาแล้วจึงใส่เชื้อเพลิงอัดแห้งไปเพื่อจบ
เก็บคือไป จะเห็นได้ว่าในระบบปกติซึ่งมีความง่ายมากในการ
เปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อทดลองเผาอย่างหนึ่งครั้งหรือทำการพัฒนา
ให้มีความละเอียดมากขึ้น คงปลอดภัยดีคือผู้ทดลอง นักวิจัย
หรือวิศวกรมีส่วนการเจริญเติบโตจึงเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญ
ของงานวิจัยที่จะพัฒนาเป็นโลกที่ดี

2.2 ภาพรวมของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลง

เพื่อทำการควบคุมและเชื้อเพลิงที่มีต่อหลักการกล
ผู้ซึ่งสนใจเพียงเพื่อความดีของการ และสามารถทำงานได้อย่าง
ต่อเนื่องไม่ติดขัดนั้น จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการ
บางส่วนและเพิ่มอุปกรณ์ต่างๆเข้าไป เพื่อช่วยในการทำงาน
และควบคุมให้มีความสะดวกมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงภาพรวมของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลง
โดยมีสิ่งที่ยังเทียบเคียงดังมี

1. เปลี่ยนเครื่องบดใหม่จากชนิด Pk Mill เป็นชนิด Hammer Mill เพื่อเพิ่มอัตราการบดเพิ่มให้สูงขึ้น พร้อมทั้งยกตัว Hopper ให้สูงขึ้นเพื่อรองรับการติดตั้งเครื่องบดใหม่
2. ทำโครงสร้างเพื่อรองรับ Bag House และ Hopper สำหรับเก็บกักเชื้อเพลิงที่ผ่านกระบวนการ
3. สร้าง Hopper สำหรับเก็บกักเชื้อเพลิงที่ผ่านการบดแล้ว โดยออกแบบให้สามารถรองรับเชื้อเพลิงแห้งได้ประมาณ 355 กิโลกรัม หรือสามารถเก็บเชื้อเพลิงเพื่อใช้งานที่อัตราการทดลองสูงสุด (230 kg/hr = 1 MW ความร้อน) ได้เป็นเวลานานถึง 6 ชั่วโมง
4. ทำการสร้างไอน์โคเจนเพื่อใช้ในการเผาเชื้อเพลิงกับอาคารทดลอง
5. ทำการสร้าง Bag House โดยออกแบบให้มีพื้นที่ของห้องเก็บประมาณ 2.543 m³ และเลือกฟิลเตอร์ที่มีอัตราการซึมผ่านที่ 17.5 cc/cm²/sec
6. จัดทำถังเก็บเพื่อใช้ในการกำจัดเชื้อเพลิงผงจากเครื่อง Pulverizer

ในส่วนที่มีการเพิ่มเติมจะสามารถแบ่งการทำงานหลักออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. การเตรียมเชื้อเพลิง เริ่มจากไอน์โคเจนอาหารอัดแห้งซึ่งไม่มีในถอยป้อนเข้าจึงจำเป็นต้องจะดูส่วนนี้ถึงขั้นวิเคราะห์และเลือกใช้ปริมาณควบคุมความเร็วยุติตัว 2. สลับเชื้อเพลิงที่บดแล้วซึ่งจะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมความเร็วยุติตัว ไปสู่ฮอปเปอร์ไอน์โคเจนที่ขังหน้าฟิลเตอร์ในการกักเชื้อเพลิงผงและอาคารที่ใช้กักเก็บมายกจากนั้นเชื้อเพลิงผงจะถูกเก็บไว้ในฮอปเปอร์ที่วางเหนือส่วนล่างของไอน์โคเจนซึ่งจะมุ่งไปยัง Bag House ที่ทำหน้าที่กรองเชื้อเพลิงผงที่มีขนาดใหญ่มากๆ ที่ยังปนกับอากาศออกเพื่อให้อาคารที่ใช้ไอน์โคเจน ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศที่ความสะอาด 2. ส่วนการนำเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วย โดยใช้สกรูที่มีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้วขึ้นไปตามสกรูของตัวจ่ายเชื้อเพลิงผงและใช้การควบคุมในการนำพาเชื้อเพลิงผงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ช่วย เมื่อได้อุปกรณ์ครบแล้วจึงทำการติดตั้งและทำการทดลองต่อไป จากนั้น มีการนำ PLC มาช่วยในการควบคุมส่วนต่างๆ ให้ทำงานอย่างเป็นลำดับตามหลักเกณฑ์

3. การใช้ PLC ควบคุมและการทำงานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

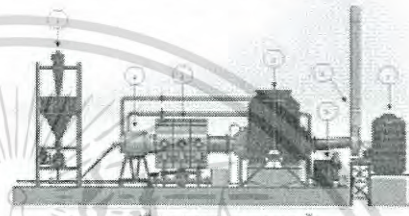
ระบบการควบคุมที่จะช่วยในเรื่องของการควบคุมแรงดันของสิ่งต่าง ๆ โดยยกเว้นแรงดันของเครื่องจักรในการทดลองและช่วยอำนวยความสะดวกต่างๆ ลดขั้นตอนการทำงานด้วยคนโดยใช้เครื่องจักรที่ทันสมัย จุดเด่นจะวิ่งต่างๆ ที่มีผลกับความถูกต้องคือความปลอดภัยถูกแทนที่ด้วยเซนเซอร์ ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ความปลอดภัยในการพัฒนาระบบการควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบอัตโนมัติ สำหรับตัวเผาใหม่เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบเดิมที่มีอยู่คือลดขั้นตอนการเตรียมการทดลองที่มีความยุ่งยากและใช้เวลานาน โดยหวังว่าขั้นตอนการลด การล้างเชื้อเพลิง การป้อนอากาศและเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาใหม่จะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและสามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ซึ่งถือเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการพัฒนาห้องเผาใหม่ด้วย (Pre Chamber) เนื่องจากการล้างเชื้อเพลิงและอากาศคือเป็นส่วนสำคัญต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของตัวเผา จึงจำเป็นต้องหาวิธีการลดขั้นตอนการล้างและลดขั้นตอนการเตรียมการทดลองของตัวเผา (ซึ่งเดิมใช้วิธีการล้างด้วยน้ำ) และขั้นตอนการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาใหม่ด้วยวิธีอัตโนมัติ และลดขั้นตอนการเตรียมการทดลองของตัวเผาใหม่ ซึ่งคาดว่าในอนาคตจะสามารถนำทั้งหมดที่กล่าวมาทั้งหมดไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. ภาพรวมของระบบ

2.1 ภาพรวมของระบบเดิม

เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบใหญ่ที่มีส่วนประกอบที่ค่อนข้างมากมายจะขออธิบายขั้นตอนโดยสังเขปในเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบนี้คือของแข็งคือ เชื้อเพลิง LPG และเชื้อเพลิงไม้ยางพาราอัดเม็ด (wood pellet) ที่มีข้อดีในเรื่องของความปลอดภัยในการมีรักษาและความสะดวกในการขนส่ง โดยจะถูกเก็บไว้ในส่วนเก็บ/หมายเลข 1 ในรูปที่ 1) ในการเพิ่มขีดความสามารถของเชื้อเพลิง LPG จะถูกใช้ในการอุ่นเตาเมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ติดเครื่องแล้วระบบจะเริ่มจ่ายเชื้อเพลิงเม็ดโดยสกรูพิดเข้าสู่

เครื่องบด เครื่องบดระบบเชื้อเพลิงชนิดเม็ดที่พอที่จะผ่านรูตะแกรงแล้วไหลเข้าสู่หัวหมายเลข 2 ในรูปที่ 1) อากาศที่ไหลในการเผาใหม่เชื้อเพลิงผงได้มาจากพัดลมอัดอากาศ (หมายเลข 5 ในรูปที่1) เมื่อเชื้อเพลิงผงติดไฟจนมีความเสถียรภาพแล้วจะติดการป้อน LPG ไอดีที่ติดจากการเผาเชื้อเพลิงผงจะถูกทำให้เย็นลงและดับจับใน Wet scrubber (หมายเลข 4 ในรูปที่ 1) และถูกดูดไปสู่ท่อไอดีด้วยพัดลมดูดไอดีหมายเลข 6 ในรูปที่ 1) ส่วนน้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิไอดีและดับจับนั้นของจับใน Wet scrubber จะถูกตกลงสู่บ่อตกตะกอนและระบบหมุนเวียนน้ำ (หมายเลข 7 ในรูปที่ 1)



รูปที่ 1. ชุดเผาพร้อมระบบเดิม

ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ

1. ส่วนเก็บเชื้อเพลิง ทรายเชื้อเพลิงและถังเก็บเชื้อเพลิง
2. หัวเผาเชื้อเพลิงแข็ง
3. พัดลมดูดไอดี
4. ส่วนลดอุณหภูมิไอดีด้วยน้ำ
5. พัดลมอัดอากาศในส่วนเติมลมอัดไอดี
6. พัดลมดูดไอดี และท่อไอดี
7. ส่วนเก็บน้ำที่ใช้ในระบบเดิมซึ่งบ่อตกตะกอน

เนื่องจากระบบเดิมมีข้อเสียที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนเชื้อเพลิงที่มีความยากลำบากคือ ส่วนการจุดเชื้อเพลิงที่มีอัตราการเผาของขนาดตะแกรง 0.5 มม. อยู่ที่ประมาณ 200 กก./ชม. และขนาดรูตะแกรง 1.0 มม. อยู่ที่ประมาณ 400 กก./ชม. จึงความถี่ของการให้เชื้อเพลิงจึงสูงอยู่อยู่ที่ 230 กก./ชม. จะเห็นได้ว่าเราต้องให้เวลาในการเตรียมเชื้อเพลิงมากกว่า 5 ชม. เพื่อที่จะสามารถทำการทดลองที่อัตราเผาในที่สูงได้ถึง 1 ชม. จึงขนาดของเชื้อเพลิงที่ผ่านรูตะแกรงและขนาดที่มีผลต่อการเผาไหม้โดยตรงคือขนาดเชื้อเพลิงผงที่มีขนาดเม็ดประมาณใหม่ไม่ได้ดีกว่าเชื้อเพลิงผงที่มีขนาดใหญ่มาก ซึ่งการเก็บเชื้อเพลิงที่บดแล้วนั้นมันมีการติดขัดอยู่บ่อยครั้งเนื่องจากกรรมวิธีที่ดำเนินการเชื้อเพลิงชนิดที่บดจะมีที่กีดจากการทำงานของเครื่องบดซึ่ง

ENETT13-080-BM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การพัฒนากระบวนการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาเชื้อเพลิงแข็งชนิดผง
ขนาด 1 MW
Development of continuous flow control system of pulverized fuel and air in a 1 MW
biomass burner**

พิรพัฒน์ เกษมณี¹, ศยาม สิงนวนรัมย์¹ และ จารุวัตร เจริญสุภา²*

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
² ผู้ติดต่อ: E-mail: jarnwatt.j@kmitl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 02-329-8351, เบอร์โทรสาร: 02-329-8352

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นโครงการต่อเนื่องจากโครงการ “การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม” ที่ใช้ไม้อัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง โดยมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาระบบการเตรียมเชื้อเพลิงให้เป็นแบบอัตโนมัติ และสามารถจ่ายเชื้อเพลิงให้เข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยให้ PLC และ DDC ในการตรวจวัดและควบคุมอย่างอิสระ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือชุดตัวขับเคลื่อนและบุคลากรในการเตรียมเชื้อเพลิง ระบบควบคุมอย่างอิสระตัวควบคุมเชิงตัวเลขที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการเก็บค่าพารามิเตอร์เพื่อพัฒนาหัวเผาได้ บทความนี้ยังกล่าวถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดำเนินงานของห้องเผาไหม้ของเผาไหม้ ซึ่งมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพและเสถียรภาพของเปลวไฟ และได้เสนอแนะการปรับปรุงงานในการเตรียมเชื้อเพลิงที่สัมพันธ์กับระบบของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในเอกสารนี้ด้วย

คำหลัก: การเผาไหม้ชีวมวล การดำเนินงานแบบต่อเนื่อง ระบบควบคุมอัตโนมัติ

Abstract

This research is a continuation of the project “Biomass burner development in industrial boiler” using wood pellet as fuel. The aim is to automate the fuel preparation system for continuous transport of pulverized fuel into the combustion chamber. Sensors and PLC were used to measure and control the equipment thus reduction in operation procedure and personnel can be achieved during fuel preparation. It provides facilities for researchers to conduct parameter study on burner development. This paper also reports factors that influence the transport of pulverized fuel into the combustion chamber. This is important for the performance and stability of flames. The result of the energy used for preparation of the fuel relative to the heating value of the fuel is also given.

Keywords: Biomass combustion, Continuous transport, Automatic control

1. บทนำ

ในการใช้งานไม้อัดแท่ง (Wood pellet) มาเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อนำไปใช้ในหม้อน้ำไอน้ำ (Boiler) จำเป็นต้องหาเทคโนโลยีหรือระบบที่เหมาะสมต่อการควบคุมหัวเผาที่มีความเหมาะสม ในที่นี้จะให้ความสนใจกับ

หัวเผาเชื้อเพลิงแข็งในลักษณะที่เป็ผง (Pulverized Burner)

งานวิจัยนี้เป็นโครงการต่อเนื่องที่พัฒนามาจากโครงการ “การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับผลิตไอน้ำในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร” โดยให้ไม้อัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน จึงมีโครงการต่อเนื่องมีส่วนที่ประสานพัฒนาเพิ่มเติมคือ

ENETT13-080-8M

สารบัญชานิติกรรมการช่วยแต่งตั้ง ขณะยังประเทศไต้หวัน ที่ 13
31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม พัลลัสมอลล์ เชียงใหม่

อันเกิดจากการไหลของอากาศที่ไม่เหมาะสม โดยเป็นการ
กำหนด Excess Air 15% จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าการทดลอง
ควรเริ่มการเผาไหม้ที่ย่าน 300 kW ความร้อน แต่ในกรณีที่เรา
ต้องเริ่มจุดเตาที่อัตราความหนาแน่นน้อยกว่า 300 kW ความร้อน
นั้น สามารถทำได้โดยลดปริมาณเพิ่มขึ้นของ 96 Excess Air

5. สรุป

ในส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงสามารถทำการบด
เชื้อเพลิงต่อเนื่องได้ทีอัตรา 171.3 kg/hr (770 kW ความร้อน)
สามารถลดขั้นตอนและเวลาในการทดลองได้ตามจุดมุ่งหมาย

ในส่วนการสังเกตเชื้อเพลิงและก๊าซที่ออกมาช่วยกัน
ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการวัดบ้าง เช่น ที่อัตราการ
ไหลของอากาศที่ต่างกัน ความเร็วของอากาศที่ต่างกัน การถ่ายเท
เชื้อเพลิงในตัวผสมกับก๊าซที่เชื้อเพลิงกองในถังให้ช้าลง
น้อยกว่าการวิ่งในชุดซึ่งผลคือการจุดต้นในท่อช้าลงได้
และสามารถกำหนดเงื่อนไขการทดลองแต่ละอันได้อย่างต่อเนื่อง
และปลอดภัยมากขึ้น ได้แก่ 1.การกำหนดให้กลายเป็นสารปฏิกิริยา
เคมีไม่ต่ำกว่า 30% 2.การลดอัตราการเพิ่ม Excess Air ที่ย่าน
การเผาไหม้ต่ำกว่า 300 kW ความร้อน 3.การเพิ่มอัตราส่วน
อากาศในถังให้มีมากขึ้นซึ่งส่งผลให้การทดลองที่เชื้อเพลิงในถัง
ที่ใส่ได้ง่ายและลักษณะของเปลวไฟและประสิทธิภาพการเผา
ไหม้ภายในห้องเผาไหม้จะดีขึ้น เป็นต้น

เนื่องจากผลการทดลองให้ผลวิเคราะห์ว่าสามารถ
ปรับเพิ่มได้ 15.9% ให้ประสิทธิภาพที่จุดและเมื่ออัตราส่วนอากาศ
ที่รวมเพิ่มที่ค่าประสิทธิผลการเผาไหม้จะลดลง เพราะฉะนั้น
การทดลองเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่กว่านี้เลยจึงจะเพิ่มเชื้อ
เพลิงให้เพิ่มขึ้นแบบหนาแน่นผสม

6. กิตติกรรมประกาศ

ทั้งนี้เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการใหม่ต้อง
ดำเนินการร่วมกับวิจัยอื่นหลายท่านจึงขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัย
ทุกท่านเป็นอย่างสูง ในความร่วมมือช่วยเหลือที่ได้นำเสนอข้อมูล
โดยมีรายละเอียดของกิจกรรมและรายการดังนี้

- นายบัณฑิต จันทอง - ช่วยในการทำโปรแกรม PLC เพื่อ
ควบคุมการเผาไหม้ ส่วนที่เกี่ยวกับเตา เชื้อเพลิงทดลอง
- นายพงษ์พันธ์ ผ่องพรม - ช่วยเก็บผลการทดลอง ปรับปรุง
ตัวไหลของแก๊ส จัดสร้างแผ่น Solid

- นายประสิทธิ์ พิทักษ์เงิน - ช่วยเก็บผลการทดลอง ปรับปรุง
ตัวไหลของแก๊ส จัดสร้างแผ่น Solid
- นางสาววิรัชดา สุขทวี - ทำการออกแบบใช้โคลน ช่วยเก็บ
ผลการทดลอง
- นายปฏิวัติ ธรรมรุ่งเรือง - ช่วยเดินท่อและเก็บผลการ
ทดลองการเผา การบดและการขนถ่ายผง ช่างและติดตั้ง
อุปกรณ์
- นายบัณฑิต คำนัสวีระบุญรัตน์ - ช่วยเดินท่อและเก็บผลการ
ทดลองการเผา การบดและการขนถ่ายผง ช่างและติดตั้ง
อุปกรณ์
- นางสาวพรพศ วิสุทธิวิทยกุล - ช่วยเดินท่อและเก็บผลการ
ทดลองการเผา การบดและการขนถ่ายผง ช่างและติดตั้ง
อุปกรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระ ชูเมือง, Industrial Instrumentation Engineering
สกล Design Part II: Instrument Engineering and
Selection
- [2] D.Waspiter, "Flow measurement", Instrument
Society of America
- [3] ISA 5167-1:1991 Measurement of fluid flow by
means of pressure differential devices
- [4] Simatic 37-300 Manual Siemens, 2013
- [5] Simatic Manager Step7 V9.5, PLC Software
- [6] Phoenix AEA300 Manual Edition, 2013
- [7] พงษ์ อังจักรพิทยา (2005) ระบบการถ่ายเทวัสดุด้วย
สายพานลำเลียงระบบส่งเสริมระบบอัตโนมัติ (ไทย-ญี่ปุ่น),
กรุงเทพมหานคร
- [8] David Mills (2009) Pneumatic Conveying Design
Guide, Butterworth-Heinemann, Oxford

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพีรพัฒน์ เทพลิบ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 7 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2533 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	63/2314 ถนนราษฎร์พัฒนา 5 แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10240
ประวัติการศึกษา	2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2558-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรโครงการ ประจำแผนก Control and Automation บริษัท พัฒน์กล จำกัด (มหาชน) 348 ถนนเฉลิมพระเกียรติ ร.9 แขวงหนองบอน เขตประเวศ จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10520



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้