บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

จากผลการทดลองศึกษาปฏิกริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเตาทดลอง รวมทั้งการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้น เป็นผลวิเคราะห์พื้นฐาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำร่อง ในการออกแบบเตาขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ ในระดับปฏิบัติงานจริง เตาที่ใช้ทดลอง เป็นเตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น กล่าวคือ กระบวนการเกิดปฏิกริยาหลักอยู่ที่กระบวนการไพโรไลซิส ในการกลั่นสลายชีวมวล ด้วยความร้อนเพื่อผลิตถ่านและแยกสารระเหยรวมทั้งน้ำและน้ำมันทาร์ โดยถ่านซึ่งมีองค์ประกอบคาร์บอนเป็นหลัก จะถูกใช้ในการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง อันได้แก่ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ก๊าซไฮโดรเจน, ก๊าซมีเทน และ ก๊าซที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆโดยปฏิกริยาหลักคือปฏิกริยารีดักชั่นและปฏิกริยาไฮโดรไลซิส

เตาไพโรไลซิสที่ใช้ทดลอง มีความแตกต่างจากเตาไพโรไลซิสที่ใช้งานจริง คือ แหล่งพลังงานความร้อน ที่จะใช้ในการกลั่นสลายชีวมวลนั้น สำหรับเตาทดลองใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยผ่านขดลวดซึ่งสมมุติฐานเป็นพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้วัสดุเชื้อเพลิง (ถ่าน) ในชั้นเผาไหม้ของเตาขนาดใช้งานจริง และอีกประการหนึ่ง เตาทดลองใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากแหล่งภายนอก(ถังก๊าซ)เพื่อการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ในขณะที่เตาปฏิบัติงานจริงจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้วัสดุเชื้อเพลิง

ผลวิเคราะห์ที่ได้จากเตาทดลอง ประสงค์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและควบคุมเตาขนาดปฏิบัติงานจริง โดยมีแนวทาง ดังนี้

ก) อัตราการป้อนวัสดุเข้าเตา เตาไพโรไลซิสจะมีลักษณะการป้อนวัสดุเข้าทางตอนบน ไหลเข้าสู่ภายในเตาสวนกลับทิศทางการไหลของก๊าซ ซึ่งบังเกิดผลดีต่อการผลิตก๊าซ กล่าวคือ ชั้นวัสดุจะทำหน้าที่ในการกรองก๊าซ ทำให้ก๊าซที่ผลิตได้สะอาดมีคุณภาพ และมีอุณหภูมิไม่สูงเกินไป อันจะช่วยลดขนาดของอุปกรณ์ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ในการผลิตถ่านจากแกลบ 41.9 กรัม จะต้องทำการป้อนวัสดุ 100 กรัม หรือ ในการผลิตถ่านจากขี้เลื่อยอัด 30.3 กรัมจะต้องป้อนวัสดุประมาณ 100 กรัม (ผลการทดลองที่ 5.1) สำหรับในการใช้ถ่านเพื่อผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ถ่านจะถูกใช้ในปฏิกริยารีดักชั่นประมาณ 7-8 เปอร์เซ็นต์ และถูกใช้ในปฏิกริยาไฮโดรไลซิสประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาเก็บกักถ่าน 90 นาที (ผลการทดลองที่ 5.6.1)

ข) อัตราการให้อากาศ การให้อากาศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเตาปฏิบัติงานจริง เพื่อการใช้ออกซิเจนในการสันดาปกับถ่านในชั้นเผาไหม้เพื่อให้พลังงานความร้อน อัตราการให้อากาศพอจะคำนวณได้โดยคร่าว จากผลการทดลองการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเตาทดลอง ซึ่งประมาณว่าอัตราการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แก่ชั้นปฏิกริยารีดักชั่น จะให้ผลดีในช่วง 20-40 มล.ต่อนาที (ผลการทดลองที่ 5.3) โดยหมายถึง ต้องให้อากาศเพื่อการสันดาปในชั้นเผาไหม้เพื่อผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงอัตราดังกล่าว โดยประมาณ 60-120 มล.ต่อนาที (ผลการทดลองที่ 5.3.3)

ค) อัตราการให้ไอน้ำ การให้ไอน้ำสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เตาผลิตก๊าซ กล่าวคือ การให้ไอน้ำเพื่อทำปฏิกริยาไฮโดรไลซิสกับถ่านคาร์บอน [$C(s) + H_2O(g) \longrightarrow CO(g) + H_2O(g)$] ในชั้นรีดักชั่นสามารถช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้ประมาณ 31.35 เปอร์เซ็นต์ หรือทำให้ได้ค่าความร้อนของก๊าซที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นประมาณ 18.23 เปอร์เซ็นต์ (ผลการทดลองที่ 5.4.3) โดยให้อัตราการให้ไอน้ำ 10 มล.ต่อนาที

ง) อัตราการขับถ่านออกจากเตา ปริมาณถ่านส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกริยาภายในเตารวมส่วนขี้เถ้าแล้วจะมีปริมาณ 58.7 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของแกลบ และประมาณ 31.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของขี้เลื่อยอัด (ผลการทดลองที่ 5.1 และผลการทดลองที่ 5.6.1) จากระยะเวลาเก็บกักถ่านในเตาทดลอง 90 นาที สำหรับการประยุกต์ใช้กับเตาปฏิบัติงานจริง หากคิดส่วนของถ่านคาร์บอนที่ต้องถูกใช้ไปเพื่อการเผาไหม้ให้พลังงานความร้อนประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ จะเหลือถ่านออกจากเตาประมาณ 23.5-35.2 กรัม ต่อน้ำหนักแกลบ 100 กรัม และประมาณ 12.5-18.7 กรัม ต่อน้ำหนักขี้เลื่อยอัด 100 กรัม

จ) ปริมาณและคุณค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เตาแบบไพโรไลซิสจะเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบกลายเป็นผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ ส่วนที่เป็นของเหลวทาร์ ส่วนที่เป็นของแข็ง(ถ่าน) และส่วนที่เป็นก๊าซ สำหรับแกลบจะให้ปริมาณส่วนของเหลวทาร์ประมาณ 18.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถสกัดเอาน้ำมันทาร์ที่มีค่าความร้อน 5,540 คาลอรี่ต่อกรัมได้ประมาณ 3.15 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการกลั่นและใช้เครื่องเหวี่ยง และได้ส่วนของแข็งทาร์ ที่มีค่าความร้อน 6,200 คาลอรี่ต่อกรัม ประมาณ 2.83 เปอร์เซ็นต์ (ผลการทดลองที่ 5.7.1)

ในส่วนที่เป็นของแข็ง(ถ่านแกลบ) ซึ่งมีค่าความร้อน 4,620 คาลอรี่ต่อกรัม (ผลการทดลองที่ 5.6.2) จะผลิตได้ประมาณ 61.8 เปอร์เซ็นต์และในส่วนที่เป็นก๊าซ ซึ่งมีค่าความร้อนเฉลี่ย 1,340 คาลอรี่ต่อกรัม (ผลการทดลองที่ 5.4.2) จะผลิตได้ปริมาณ 19.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในกรณีของขี้เลื่อยอัด จะให้ปริมาณส่วนที่เป็นของเหลวทาร์ 36.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีองค์ประกอบของน้ำมันทาร์ ที่มีค่าความร้อน 6,870 คาลอรี่ต่อกรัม ประมาณ 10.8 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบของแข็งทาร์ ที่มีค่าความร้อน 6,380 คาลอรี่ต่อกรัม ประมาณ 5.67 เปอร์เซ็นต์ สามารถผลิตถ่านขี้เลื่อยอัด ซึ่งมีค่าความร้อน 5,540 คาลอรี่ต่อกรัม ได้ประมาณ 33.9 เปอร์เซ็นต์ และผลิตก๊าซที่มีค่าความร้อนเฉลี่ย 1,908 คาลอรี่ต่อกรัม (ผลการทดลองที่ 5.3.4) ได้ประมาณ 30.1 เปอร์เซ็นต์

ฉ) การใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้ สำหรับเตาแบบไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น จุดมุ่งหมายสำคัญคือ การผลิตก๊าซเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ส่วนถ่านและน้ำมันทาร์ที่ได้ถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์รอง (By-product) ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิด สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อการเผาไหม้ให้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ กล่าวคือ ก๊าซที่ผลิตได้สามารถเผาไหม้โดยตรงเพื่อให้ความร้อนในการอบเมล็ดพืช หรือเป็นเชื้อเพลิงผลิตไอน้ำในหม้อน้ำ หรืออาจนำมาผ่านการกรองแล้วป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์สันดาปภายใน ใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านที่ได้สามารถนำมาอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืนทั้งในระดับครัวเรือน และอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไอน้ำสำหรับหม้อน้ำในโรงงานต่าง ๆ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาถลุงโลหะ หรือกระบวนการให้ความร้อนอื่น ๆ น้ำมันทาร์ที่ได้สามารถผสมกับน้ำมันเตาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำ หรือนำมาผ่านการทำให้บริสุทธิ์เพิ่มขึ้น เพื่อลดปริมาณกรดคาร์บอนิก โดยวิธีเอสเตอร์ริฟิเคชั่น

(Esterification) ก็จะสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงให้แก่เครื่องยนต์สันดาปภายใน อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น น้ำมันครีโอโซท (Creosote oil) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีค่ามากที่สุด ในน้ำมันทาร์ อันประกอบด้วยกลุ่มฟีนอล (Phenols) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเรซิน เป็นต้น

6.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป

การศึกษาวิจัยที่น่าสนใจในขั้นต่อไป คือการสร้างเตาจำลองขนาดนำร่อง (Pilot scale) เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 30-50 ซม. โดยให้มีชั้นเผาไหม้เชื้อเพลิง (Combustion) ภายในตัวเตา เพื่อเป็นแหล่งป้อนพลังงานให้แก่ชั้นอื่น ๆ อันได้แก่ ชั้นรีดักชั่น (Reduction) ชั้นไพโรไลซิส (Pyrolysis) และชั้นทำแห้ง (Drying) ครบทุกกระบวนการภายในตัวเตา เพื่อจะได้ศึกษาถึงการแบ่งชั้นอุณหภูมิจริงภายในเตา อันจะสามารถจะกำหนดขนาดความหนาของแต่ละชั้นปฏิกริยาได้ถูกต้องและเหมาะสม ก่อนที่จะตัดสินใจนำไปใช้ในการสร้างเตาระดับปฏิบัติงานจริง (Pilot plant) โดยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพตัวเตาเป็นสำคัญ ส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์การแยกผลิตภัณฑ์ และทำความสะอาดก๊าซ เป็นความสำคัญอันดับรอง การควบคุมการทำงานของเตาไพโรไลซิสแบบไหลขึ้น โดยกำหนดอุณหภูมิที่ทางออกของก๊าซ เป็นเรื่องที่น่าศึกษายิ่งว่า ปัจจัยที่จะเป็นตัวกำหนดทางอ้อมนั้น จะใช้อัตราการให้อากาศในชั้นเผาไหม้หรือใช้อัตราการป้อนวัสดุเข้าเตา อันไหนจะให้ผลดีกว่ากันในการที่จะรักษาระดับอุณหภูมิและชั้นปฏิกริยาต่างๆ ภายในเตาให้คงที่อยู่ตลอดเวลา นับเป็นสิ่งท้าทายในการศึกษาวิจัยต่อไป