การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6
5 - 7 พฤษภาคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การใช้ประโยชน์ของตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอลเป็นชีวมวลอัดแท่ง

THE UTILIZATION OF WET CAKE FROM ETHANOL INDUSTRY AS BIOMASS BRIQUETTES

วลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม
สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ โทร 0-2218-8091 โทรสาร 0-2254-7579 E-mail: walairat.u@chula.ac.th

บทคัดย่อ

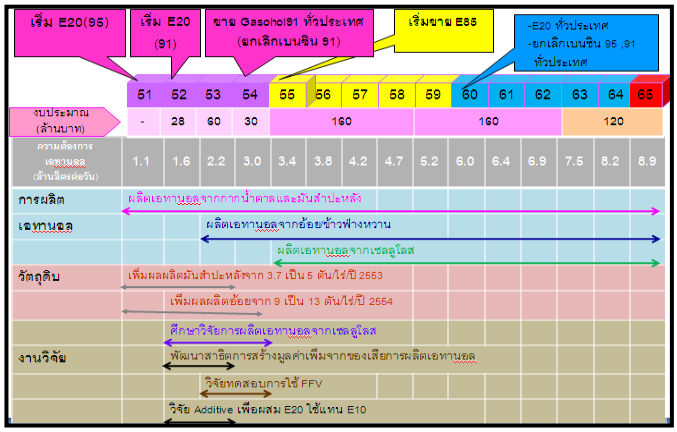
ตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอล คือกากมันสำปะหลังที่ผ่านการย่อยสลายและยีสต์ มีเนื้อร่วน สีดำกลิ่นค่อนข้างฉุนคล้ายกลิ่นยีสต์ที่มักถูกนำไปทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาตะกอนเปียกโดยการนำมาผลิตเป็นชีวมวลอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยการนำตัวอย่างตะกอนเปียกมาวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อน พบว่า ตะกอนเปียกมีค่าความชื้น 8.68% สารระเหย 67.76% เถ้า 15.75% คาร์บอนคงตัว 7.81 ค่าความร้อน 15,486 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งให้ปริมาณความร้อนระดับปานกลาง จากนั้นจึงนำเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งเพื่อให้มีขนาดและความหนาแน่นที่เหมาะสมในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงและนำไปวิเคราะห์อีกครั้ง ตะกอนเปียกอัดแท่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ซม. ยาว 10 ซม. ***มีค่าความชื้น 11.61% สารระเหย 68.82% เถ้า 16.59% คาร์บอนคงตัว 2.97 ค่าความร้อน 15,512 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ค่าซัลเฟอร์ 0.08%*** พบว่าค่าความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยการให้ค่าความร้อนสูงขึ้น และมีปริมาณซัลเฟอร์ต่ำมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานถ่านอัดแท่งจึงไม่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาคำนวณความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ในแง่ผลประหยัดเปรียบเทียบระหว่างการใช้ถ่านหินและตะกอนเปียกอัดแท่ง พบว่าโรงงานสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงไปได้ถึงปีละ ***118,545,000 บาท/ปี*** เมื่อเทียบกับต้นทุนของโครงการ (Fixed Cost) ตะกอนเปียกจึงมีความเหมาะสมอย่างมากในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงและมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

คำสำคัญ : *ตะกอนเปียก , ชีวมวลอัดแท่ง*

1. บทนำ

จากสถานการณ์พลังงานของประเทศที่มีอุปสงค์สูงและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่มีอุปทานที่ต้องพึ่งพาแหล่งน้ำมันดิบนำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาสูงส่งผลทำให้เกิดวิกฤตด้านพลังงานของประเทศ รัฐบาลจึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วน ที่จะต้องพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นที่สามารถผลิตขึ้นได้เองภายในประเทศ แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้กับประเทศไทยมีหลายแหล่ง เช่น พลังงานจากชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และพลังงานลม เป็นต้น แต่แหล่งพลังงานหลาย ๆ แหล่ง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม มีข้อจำกัดที่ต้องนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง การพัฒนาแหล่งพลังงานดังกล่าวจึงทำได้ยาก แม้ประเทศจะมีความได้เปรียบมากที่จะนำแหล่งพลังงานดังกล่าวมาใช้ แหล่งพลังงานที่เหมาะสมกับประเทศไทยในขณะนี้จึงเป็นพลังงานชีวมวล (Bioenergy) เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีแหล่งชีวมวลจากภาคการเกษตรมากมาย เช่น มันสำปะหลัง อ้อย แกลบ ชานอ้อย ฯลฯ จึงมีความได้เปรียบทางวัตถุดิบ ปัจจุบันหลายฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชนต่างให้ความสนใจกับการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวล เช่น ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ไบโอเอทานอล (Bioethanol) และไบโอดีเซล (Biodiesel)

จากความจำเป็นในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนที่หมุนเวียนเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถผลิตได้เองภายในประเทศ ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในรูปแบบของแก๊สโซฮอล์ของประเทศไทยขยายตัวอย่างมาก เมื่อ 12 ธันวาคม 2549 คณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบแนวทางการเปิดเสรีโรงงานเอทานอล ส่งผลให้อุตสาหกรรมเอทานอลเกิดการขยายตัวอย่างกว้างขวาง โดยตั้งเป้าหมายในปี พ.ศ. 2554 ให้มีการใช้เอทานอล 3 ล้านลิตร/วัน เพื่อทดแทน MTBE (Methyl Tert-Butyl Ether) ในน้ำมันเบนซิน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในน้ำมันเบนซิน 91 ในปี 2555 เริ่มจำหน่าย E85 ในปี 2560 จำหน่าย E20 และยกเลิกเบนซิน 95 และ 91 ทั่วประเทศ และในปี 2565 ให้มีการใช้เอทานอล 9 ล้านลิตร/วัน โดยส่งเสริมให้มีงานวิจัยต่าง ๆมากมายที่สอดรับกับแผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ 2551 – 2565 ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนพัฒนาแก๊สโซฮอล์ 2551 – 2565

จากนโยบายการส่งเสริมของภาครัฐส่งผลให้อุตสาหกรรมเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมีการขยายตัวอย่างมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาวงจรการผลิตเอทานอลตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างครบวงจรเป็นระบบ และเป็นอุตสาหกรรมตัวอย่างแก่อุตสาหกรรมอื่น จึงต้องมีการพิจารณาในหลายด้าน ได้แก่ การจัดการวัตถุดิบ การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต การจัดการด้านขนส่ง การตลาด รวมถึงการจัดการของเสียและผลพลอยได้จากการผลิต ซึ่งจำเป็นต้องดำเนินการพร้อมกันทุกภาคส่วน ***โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาถึงการจัดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเอทานอล***

อุตสาหกรรมเอทานอลในประเทศไทยใช้วัตถุดิบทางการเกษตรจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลังเป็นหลัก จากการประเมินปริมาณของวัตถุดิบอย่างคร่าวๆ ตามจำนวนโรงงานเอทานอลที่มีการขอใบอนุญาตจัดตั้งโรงงานเอทานอลเชื้อเพลิง พบว่าจะเกิดของเสีย (Waste) มากมาย เช่น โรงงานเอทานอลเชื้อเพลิง (มันสำปะหลัง) ขนาดกำลังการผลิตประมาณ 200,000 ลิตร/วัน จะมีปริมาณน้ำเสียจากการผลิตมากถึงปีละประมาณ 521,400 m^3 กากตะกอนเปียกจากกระบวนการผลิตประมาณ 82,500 ตัน/ปี โรงงานเอทานอลเชื้อเพลิง (กากน้ำตาล) ขนาดกำลังการผลิตประมาณ 100,000 ลิตร/วัน จะมีปริมาณน้ำเสียจากการผลิต มากถึงปีละประมาณ 330,000 m^3 ปริมาณกากหม้อกรองประมาณ 125,000 ตัน/ปี (ข้อมูลจริงจากโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพปี2552) ยังไม่นับรวมผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง คาดว่าในอนาคตอาจมีปริมาณน้ำเสีย 100 ล้าน m^3/ปี ของเสียประมาณ 10 ล้านตัน/ปี จะเห็นได้ว่ามีปริมาณน้ำเสีย และของเสียจากการผลิตมหาศาล หากโรงงานไม่มีระบบการจัดการที่ดีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสร้างความเดือดร้อนให้กับชาวบ้าน

จากการสำรวจสถานภาพการจัดการของเสียที่เกิดจากโรงงานผลิตเอทานอลที่มีอยู่ในปัจจุบันพบว่า น้ำเสียจะนำไปผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อได้พลังงานในรูปความร้อน ส่วนกากมันสำปะหลัง จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ ปุ๋ย เป็นต้นขณะเดียวกันการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมีการนำน้ำกากส่ามาใช้ในการผลิตปุ๋ย โดยผสมกับกากที่เหลือทิ้งจากการกรองน้ำเชื่อมของโรงงานน้ำตาล หรือชานอ้อย เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะศึกษา ***ตะกอนเปียก*** ที่เกิดจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้นเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงแข็งทดแทนเชื้อเพลิงหลัก อาทิเช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ในการผลิตความร้อนใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งถือเป็นการจัดการของเสียอย่างครบวงจรและเกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาเชื้อเพลิงอีกด้วย

2.ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอทานอล

เอทานอลหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เอทิลแอลกอฮอล์ คือแอลกอฮอล์ที่ได้จากการแปรรูปพืชผลทางเกษตรประเภทแป้งและน้ำตาล เช่น มันสำปะหลัง,อ้อย, กากน้ำตาล, ข้าวโพด เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการย่อยสลายและหมักเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลและกลั่นเป็นแอลกอฮอล์จนได้ความบริสุทธิ์ถึง 99.5%

เอทานอลมีสูตรโมเลกุล C_2H_5OH มีจุดเดือดประมาณ 78 องศาเซลเซียสคุณสมบัติโดยทั่วไปเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูง เนื่องจากมีออกซิเจนสูงถึง 35% ดังนั้นหากนำเอาเอทานอลไปผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดที่เผาไหม้ได้สมบูรณ์ขึ้น และช่วยลดการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งจะส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

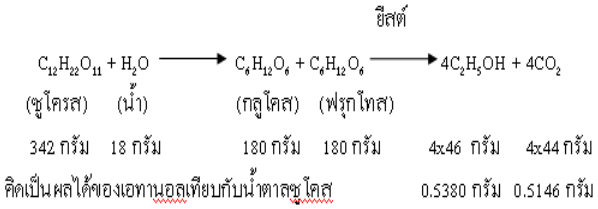
2.2 การผลิตเอทานอล

เอทานอลเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง เมื่อนำไปผสมกับน้ำมันสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ใช้ทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล โดยวัตถุดิบที่ใช้ผลิตเอทานอลแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรพวกธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้น
2. วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล บีทรูท ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น
3. วัตถุดิบประเภทเส้นใย เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด รำข้าว เป็นต้น

2.2.1 การหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาล

วัตถุดิบประเภทน้ำตาลที่ใช้การผลิตเอทานอล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล และบีทน้ำตาล ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครส ที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด คือ น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโทส ในการหมักเอทานอลจากน้ำตาลซูโครสนั้นมีขั้นตอนดังนี้ คือ ขั้นแรกน้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)ได้น้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสอย่างละโมเลกุล จากนั้นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสจะถูกยีสต์เปลี่ยนไปเป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 4 โมเลกุล



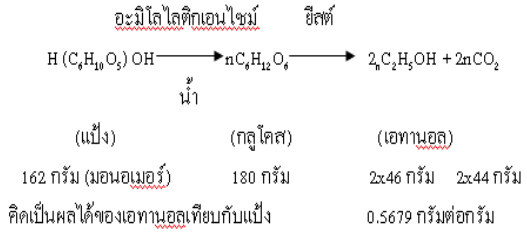
2.2.2 การหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้ง

วัตถุดิบประเภทแป้งที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรพวกธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง (ทั้งหัวมันสด และ

มันเส้น) มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้นโดยแป้งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เมื่อนำแป้งมาผ่านกระบวนการย่อย (Hydrolysis) ด้วยกรดหรือเอนไซม์จะได้น้ำตาลกลูโคสที่สามารถเข้าสู่กระบวนการหมักเอทานอลได้ โดยปัจจุบันจะนิยมย่อยแป้งด้วยเอนไซม์มากกว่ากรด เนื่องจากสามารถควบคุมการย่อยได้ง่ายกว่าและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์มีความบริสุทธิ์มากกว่า การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์จะประกอบด้วยการย่อย 2 ครั้ง คือ

1. การย่อยแป้งครั้งแรกหรือการทำให้แป้งเหลว (Liquefaction) ขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์แอลฟา อะมิเลส (α-amylase) ย่อยแป้งที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่าเด็กทรินซ์ (Dextrin)

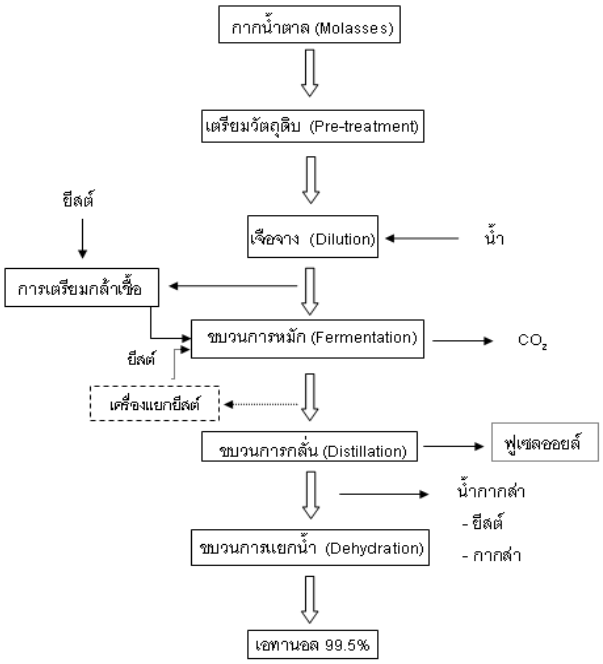
2. การย่อยแป้งครั้งสุดท้ายหรือการเปลี่ยนเป็นน้ำตาล (Saccharification) ขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์กลูโคอะมิเลส (Glucoamylase) ย่อยเด็กทรินซ์ที่อุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียส ให้ได้น้ำตาลกลูโคส ซึ่งยีสต์สามารถใช้หมักเป็นเอทานอลได้โดยกระบวนการหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้งสามารถแสดงได้ดังสมการ



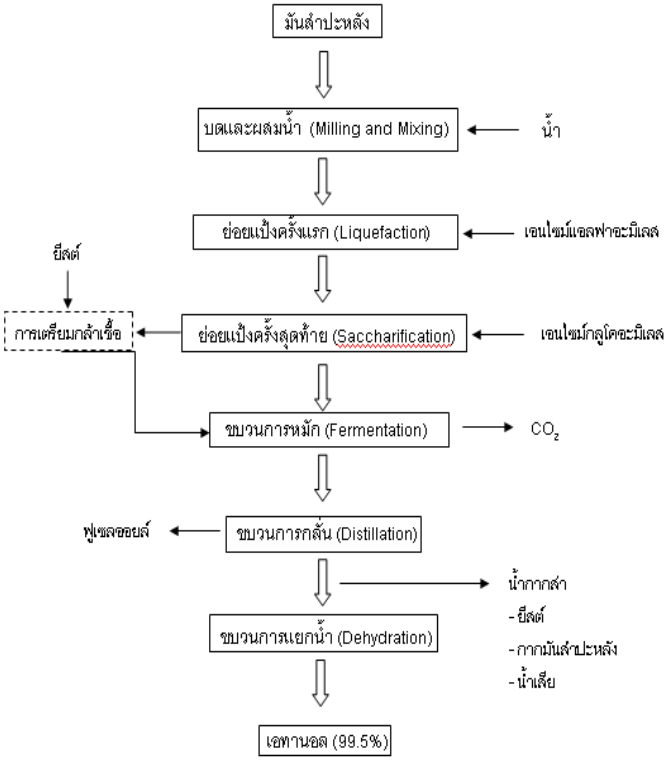
2.2.3 การหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทเส้นใย

วัตถุดิบประเภทเส้นใย ได้แก่ ฟางข้าว ซานอ้อย ซังข้าวโพด และเศษไม้ เป็นต้นวัตถุดิบประเภทนี้มีองค์ประกอบที่เป็น เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) โดยเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวและอยู่ในรูปผลึกมีลักษณะเป็นเส้นใยเหนียวและไม่ละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโทส(Pentose) หลายชนิด เช่น ไซโลส (Xylose) แมนโนส (Mannose) และอะราบิโนส (Arabinose) เป็นต้น ส่วนลิกนินเป็นพอลิเมอร์ของฟีนิล โพรเพน (Phenylpropane) ซึ่งทนต่อการย่อยสลายอย่างมาก

ขั้นตอนในการผลิตเอทานอล โดยทั่วไปจะประกอบด้วยการเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation) การหมัก (Fermentation) การกลั่น (Distillation) และการกำจัดน้ำ (Dehydration) ซึ่งในกรณีที่วัตถุดิบเป็นแป้งหรือวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส จะต้องมีขั้นตอนการย่อยเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อนการหมัก (Hydrolysis) แผนภาพการผลิตเอทานอลโดยใช้กากน้ำตาลและมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบแสดงดังภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 การผลิตเอทานอลโดยใช้กากน้ำตาล



รูปที่ 3 การผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลัง

2.3. โรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทย

จากการสำรวจสถานภาพการผลิตเอทานอลของโรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทยพบว่าโรงงานผลิตเอทานอลจะใช้วัตถุดิบหลัก 2 ประเภท คือ วัตถุดิบที่เป็นน้ำตาล ได้แก่ กากน้ำตาล และวัตถุดิบที่เป็นแป้ง ได้แก่ มันสำปะหลัง ทั้งนี้เทคโนโลยีที่ใช้ผลิตเอทานอลในประเทศไทยจะมีหลากหลาย เช่น Shandong ประเทศจีน เทคโนโลยีของ Katzen ประเทศสหรัฐอเมริกา เทคโนโลยีของ Maguin Interis ประเทศฝรั่งเศส เทคโนโลยี Praj และ Alfa Laval ประเทศอินเดีย เป็นต้น

โดยแต่ละเทคโนโลยีจะมีขั้นตอนการผลิตที่คล้ายกันแต่แตกต่างกันในรายละเอียดของกระบวนการผลิต โดยขั้นตอนในการผลิตทั่วไปจะประกอบด้วยการเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation) การหมัก (Fermentation)การกลั่น (Distillation) และ การกำจัดน้ำ (Dehydration) ในกรณีที่วัตถุดิบเป็นมันสำปะหลัง จะต้องมีขั้นตอนการย่อยเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อนการหมัก (Hydrolysis) รายละเอียดของกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลังในรูปของมันเส้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบมันสำปะหลังในรูปมันเส้นและกากน้ำตาล

วัตถุดิบและขั้นตอนการผลิต	กระบวนการผลิต	
	มันเส้น	กากน้ำตาล
1. การเตรียมวัตถุดิบ	- โม่ ผสมน้ำร้อนให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 17-25% TS	- การกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Calcium) ด้วย H_2so_4 และแยกตะกอนออก - เจือจางความเข้มข้นประมาณ 25% TS
2. การย่อยแป้งเป็นน้ำตาล	- ส่วนใหญ่ใช้ระบบการย่อยและหมักแบบ SSF (Simultaneous Saccharification and Fermentation) โดยย่อย Liquefaction ด้วยเอนไซม์ α-amylase 100-105°C 1-2 ชม. และ Presaccharification ด้วยเอนไซม์ Gluamylase 50-55°C 1-2 ชม.	- ไม่มี
3. การหมัก	-ย่อยและหมักแบบ SSF โดยระบบการหมักจะเป็นแบบ Batch Fermentation ทีละถัง - ประสิทธิภาพการหมักประมาณ 90-91% (น้อยกว่ากากน้ำตาลเนื่องจากสูญเสียประสิทธิภาพในขั้นตอนการย่อยด้วย)	- แบบ Continuous Fermentation, Fed Batch และ Batch - ประสิทธิภาพการหมักประมาณ 92%
4. การกลั่นและทำให้บริสุทธิ์	- Distillation และ Molecular Sieve Dehydration - ประสิทธิภาพการกลั่นประมาณ 98.5%	- Distillation และ Molecular Sieve Dehydration - ประสิทธิภาพการกลั่นประมาณ 98.5%

ที่มา : การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า , กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2.4 การจัดการของเสียและผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล

ในกระบวนการผลิตเอทานอลนอกจากจะได้เอทานอลแล้ว ยังมีผลพลอยได้อื่น ๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก และฟูเซลออยล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกลั่น รวมถึงของเสียจากกระบวนการผลิตคือน้ำเสีย หรือน้ำกากส่า ซึ่งมีเซลล์ยีสต์ปนอยู่เกิดขึ้นด้วย ทั้งนี้คุณภาพของน้ำกากส่าจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้และผลพลอยได้รวมถึงของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอลทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 2

จากการสำรวจ พบว่า การจัดการของเสียและผลพลอยได้ของโรงงานผลิตเอทานอลในปัจจุบัน พบว่า น้ำกากส่ายังไม่มีการแยกเซลล์ยีสต์มาใช้ประโยชน์ แต่จะนำน้ำกากส่าไปผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ภายในโรงงาน ในบางโรงงานที่มีการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมีการนำน้ำกากส่ามาใช้ในการผลิตปุ๋ย โดยผสมกับกากที่เหลือทิ้งจากการกรองน้ำเชื่อมของโรงงานน้ำตาล หรือชานอ้อย เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการนำ ***ตะกอนเปียก*** (ของเสีย) ที่เกิดจากขั้นตอนการกลั่นและการแยกน้ำจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น ในปัจจุบันทางโรงงานจะนำตะกอนเปียกไปผสมทำปุ๋ยเป็นอาหารสัตว์ หรือทิ้งรวมในบ่อน้ำเสียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นการจัดการที่ง่ายและสะดวกที่สุด ณ ปัจจุบัน โดยจะศึกษาความเหมาะสมและสมบัติในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 2 ข้อมูลการสำรวจโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง คำนวณที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน

วัตถุดิบและผลพลอยได้	ปริมาณและคุณภาพ			
	มันเส้น		กากน้ำตาล	
	ปริมาณ	คุณภาพ	ปริมาณ	คุณภาพ
วัตถุดิบ (INPUT)				
1. วัตถุดิบ (ตันต่อวัน)	350-370	- ความชื้น 12-16% - ปริมาณแป้ง 64%	540-550	-น้ำตาลทั้งหมด 48-50% - ของแข็งละลายได้ 80 บริกซ์
2. น้ำ (ลบ.ม. ต่อวัน)	1,200-1,500	-	1,000-1,300	-
3. สารเคมี				
- ยีสต์ผง (กก./วัน)	20-80	-	20-80	-
- เอนไซม์ (กก./วัน)	20-800	-	-	-
- สารเคมีอื่น (กก./วัน)	1,000-5,000	-	1,000-5,000	-
4. พลังงาน				
- ไฟฟ้า (Kw-hr/day)	25,000-47,000	380 V 50 Hz	22,000-44,000	380 V 50 Hz
- ไอน้ำ(ตัน./วัน)	300-500	3-10 บาร์	200-400	3-10 บาร์
ผลได้ (OUTPUT)				
1. เอทานอล(ลิตรต่อวัน)	150,000	ตาม มอก. (640-2533)	150,000	ตาม มอก. (640-2533)
2. CO_2 (ตัน ต่อวัน)	100-120	-	100-120	-
3. Fusel Oil (ลิตร/วัน)	300-600	-	300-600	-
4. น้ำกากส่า (ลบ.ม./วัน)	1,400-1,600	- TS 5-7% - COD 40,000-60,000 mg/l - BOD 15,000-35,000 mg/l	1,000-1,300	TS 15% - COD 100,000-150,000 mg/l - BOD 40,000-70,000 mg/l
4.1 ตะกอนเปียก (ตันต่อวัน)	100-200	20-30% TS		
4.2 น้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	1,200-1,400	TS 5-7% - COD 20,000-40,000 mg/l - BOD 10,000-30,000 mg/l	1,000-1,300	TS 10-12% - COD 120,000-150,000 ppm - BOD 40,000-70,000 ppm

ที่มา : การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า,กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2.5 ทบทวนวรรณกรรม

Youngmi et al. (2007) ประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งมีการใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบใน การผลิตเอทานอลจะมีการผลิต Distillers' dried grains with soluble เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรวมกันของกากที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ซึ่งเป็นส่วนของกากที่เป็นของแข็งหรือเรียกว่า wet cake (wet distillers' grains) กับส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ (thin stillage) หลังการกลั่นแยกเอทานอล แล้วทำแห้งเพื่อให้มีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 10 ถึง 12 เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์โดย Distillers' dried grains with soluble จะเป็นแหล่งของโปรตีนและพลังงานที่สำคัญสำหรับโคนมและโคเนื้อ อีกทั้งเป็นแหล่งของไฟเบอร์และฟอสฟอรัสของสัตว์จำพวกที่ไม่ใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง รวมทั้งสัตว์ปีกและสัตว์น้ำ โดยได้ทำการศึกษาส่วนประกอบของ Distillers' dried grains with soluble ดังตารางที่ 3

Scott Lander (2007) ได้ศึกษาการนำเนื้อ Distillers' dried grains with soluble 100% มาอัดแท่งโดยไม่ต้องใช้ตัวประสานได้สำเร็จ โดยออกแบบ mold เฉพาะสำหรับอัดเนื้อ Distillers' dried grains with soluble จากการทดลองนำเนื้อ Distillers' dried grains with soluble) มาอัดแท่งในครั้งแรกพบว่ามีค่า Pellet Durability Index (PDI) เป็นค่าความทนทาน 92% เมื่อเปรียบเทียบกับพืชพลังงานชนิดอื่นที่นำมาอัดแท่งเพื่อเป็นเชื้อเพลิงมีค่า PDI ประมาณ 99% เหตุที่ Distillers' dried grains with soluble มีค่า PDI ต่ำกว่าพืชพลังงาน เนื่องจากมีปริมาณลิกนินในปริมาณน้อยทำให้มีความยืดหยุ่นและทนต่อแรงบีบอัดได้น้อย หลังจากนั้นได้นำ Distillers' dried grains with soluble มาทดลองมาอัดแท่งใหม่ พบว่ามีค่า PDI สูงกว่าเดิมประมาณ 94% เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการอัดแท่งทั่วไปมีค่า PDI ประมาณ 72% ไม้มีค่า PDI 96% และได้ทดลองนำ Distillers' dried grains with soluble อัดแท่งในอัตราส่วน 10% มาเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินในโรงไฟฟ้า Corn Belt Power Cooperative's wisdom Station เมืองสเปนเซอร์ รัฐไอโอวา การเผาไหม้ Distillers' dried grains with soluble อัดแท่งให้ค่าความร้อนประมาณ 8,400 Btu/pounds ร่วมกับ ถ่านหิน บิทูมินัส 10,500 Btu/pounds ในการทดลองเดินระบบพบว่าไม่เกิดปัญหาใดในการเดินระบบ อีกทั้งยังลดการปลดปล่อยซัลเฟอร์อีกด้วย

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของ Distillers' dried grains with soluble (DDGS)

	Spiehs et al., mean value, coefficients of variation	**Belyea et al., mean (%)**
Moisture content (% total)	11.1	Na
Dry matter content (% total)	88.9 (1.7)	Na
Total mass closure	100.0	
Crude Protein	30.2% (6.4)	31.8
Crude Fat	10.9% (7.8)	11.9
Crude Fiber	8.8% (8.7)	10.2
Starch	Na	5.1
ADF	16.2% (28.4)	17.2
Ash	5.8% (14.7)	4.6

3. ขั้นตอนทำการทดลอง

<u>ขั้นตอนที่ 1</u>

1. ค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทยทางเว็บไซต์
3. เข้าพื้นที่โรงงานเป้าหมายเพื่อทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้นและนำตัวอย่างตะกอนเปียกมาวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อน

<u>ขั้นตอนที่ 2</u>

1. นำตัวอย่างตะกอนเปียก (wet cake) ผ่านการขึ้นรูปเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิคสำเร็จรูปเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่ง
2. นำตะกอนเปียกอัดแท่งมาวิเคราะห์แบบประมาณ และค่าความร้อนอีกครั้ง
   - ค่า Heating Value ตามมาตรฐาน ASTM 5865-04 (Gross Calorific Value)
   - ค่า Proximate Analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 31202-31205
3. ศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณผลประหยัดระหว่างการใช้ถ่านหินกับการใช้ตะกอนเปียกอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

1) เตาเผา TUBULAR FURNACE MODEL 12/65/550 ยี่ห้อ CARBOLITE
2) ตู้อบ TREMAK MODEL TS 8136
3) เตาเผา MUFFLE FURNACE MODEL ELF 11/14 (201) ยี่ห้อ CARBOLITE
4) BOMB CALORIMETER MODEL 6200 ยี่ห้อ PARR
5) เครื่องชั่งน้ำหนัก
6) เครื่องอัดขึ้นรูป

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองในส่วนแรก

4.1.1. ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน (จากแบบสอบถาม)

3.1.2 วัตถุดิบ

ตัวอย่างที่ใช้ คือ ตะกอนเปียกจากโรงงานผลิตเอทานอล มีลักษณะร่วนซุย สีดำ มีเศษกากของมันสำปะหลัง และมีกลิ่นฉุนคล้ายยีสต์ แสดงดังรูปที่ 4 และ 5

รูปที่ 4 ตัวอย่างตะกอนเปียกจากโรงงานเอทานอลจากมันเส้น

รูปที่ 5 ตะกอนเปียกหลังจากผ่านการไล่เอาความชื้นออกจะมีลักษณะจับกันเป็นก้อนแข็งของเศษกากมันสำปะหลัง

หัวข้อ	รายละเอียด
1. ชนิดและประเภทของโรงงาน	อุตสาหกรรมผลิตเอทานอล
2. กำลังการผลิตติดตั้ง	200,000 ลิตร / วัน
3. เวลาทำงานของโรงงาน (ชั่วโมง/ปี)	7,920 ชม./ปี
4. ปริมาณการใช้พลังงานของโรงงาน (ไฟฟ้า/ความร้อน) ตามรายการดังนี้	a. ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (kW-peak) : 3,620 b. การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี) : 22,750,000 c. ประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้ : ถ่านหิน d. ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (หน่วย/ปี) : 38,332.8 ตัน/ปี
5. ตะกอนเปียกเกิดจากส่วนใดของการผลิต และมีปริมาณวันละ	ส่วนของการกลั่นเอทานอล เกิดตะกอนเปียกประมาณวันละ 250 ตัน
6. ทางโรงงานมีวิธีการจัดการตะกอนเปียกอย่างไร	ขายให้กับผู้ที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์
7. ทางโรงงานมีการใช้งาน BOILER หรือไม่ ระยะเวลาในการทำงานของเครื่อง	● มี BOILER ขนาด 20 ตัน 2 ตัว ● ระยะเวลาในการทำงาน 24 ชม. 330 วัน/ปี
8. ชนิด หรือ ประเภทของ BOILER ที่ใช้งาน	เตาเผาตะกรับแบบเคลื่อนที่ได้ ใช้เชื้อเพลิงประเภทชีวมวล, ถ่านหิน, และก๊าซชีวภาพ
9. ความร้อนที่ได้จาก BOILER นำไปใช้ในส่วนใด	1. Disinfection 2. Fermentation 3. Disstillation 4. Dehydration

4.1.2 นำตัวอย่างตะกอนเปียกมาวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ใน การอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 4

จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอล สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากตะกอนเปียก คือ กากมันสำปะหลัง จัดเป็นของเสียชีวมวลที่เกิดจากอุตสาหกรรม ซึ่งเชื้อเพลิงประเภทนี้จะให้ปริมาณความร้อนค่อนข้างสูง

ตารางที่ 4 แสดงค่าวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อนของตะกอนเปียก

สมบัติ	ร้อยละขององค์ประกอบโดยน้ำหนัก
ความชื้น (% Moisture)	8.68
สารระเหย (% Volatile matter)	67.76
เถ้า (% Ash content)	15.75
คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)	7.81
ความร้อน (Gross Calorific Value)	15,486 (kJ/kg)

จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าตะกอนเปียกจากอุตสาหกรรมเอทานอลสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ เนื่องจากตะกอนเปียกคือกากมันสำปะหลัง จัดเป็นของเสียชีวมวลที่เกิดจากอุตสาหกรรมซึ่งเชื้อเพลิงประเภทนี้จะให้ปริมาณความร้อนค่อนข้างสูง

4.2 ผลการทดลองส่วนที่สอง

4.2.1 นำตัวอย่างตะกอนเปียก (wet cake) ผ่านการขึ้นรูปเป็นแท่งด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิคสำเร็จรูปผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

นำตะกอนเปียกความชื้นประมาณ 70% มาตากแดดประมาณ 2-3 ชั่วโมง ให้เหลือความชื้นประมาณ 30-40%

นำตะกอนเปียกเข้าสู่กระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดถ่านกำลังอัดสูงมาก

อัดถ่านให้ได้ขนาดที่ต้องการซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 ซม. ความยาวประมาณ 10-20ซม.

เมื่ออัดตะกอนเปียกได้ขนาดที่ต้องการแล้วเตรียมเข้าสู่กระบวนการอบอุณหภูมิประมาณ 80°C ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกให้เหลือประมาณ 10%

นำตะกอนเปียกอัดแท่งมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณน้ำหนักที่แท้จริงของตะกอนเปียก (ตะกอนเปียกอัดแท่ง 14 ก้อน มีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม)

4.2.2 นำตะกอนเปียกอัดแท่งมาวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อน แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อนของชีวมวลอัดแท่ง

สมบัติ	ร้อยละขององค์ประกอบโดยน้ำหนัก
ความชื้น (% Moisture)	11.61
สารระเหย (% Volatile matter)	68.82
เถ้า (% Ash content)	16.59
คาร์บอนคงตัว (Fix Carbon)	2.97
ความร้อน (Gross Calorific Value)	15,512 kJ/kg
สารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0876

ตารางที่ 6 แสดงค่าวิเคราะห์สมบัติโดยประมาณและค่าความร้อนของชีวมวล

Proximate analysis	แกลบ	ฟางข้าว	ชานอ้อย	ใบอ้อย	ไม้ยางพารา	ใยปาล์ม	กะลาปาล์ม
Moisture, %	12.00	10.00	50.73	9.20	45.00	38.50	12.00
Ash, %	12.65	10.39	1.43	6.10	1.59	4.42	3.50
Volatile Matter, %	56.46	60.70	41.98	67.80	45.70	42.68	68.20
Fixed Carbon, %	18.88	18.90	5.86	16.90	7.71	14.39	16.30
Higher heating value, (KJ/Kg)	**14,755**	**13,650**	**9,243**	**16,794**	**10,365**	**13,127**	**18,267**

Proximate analysis	ทะลายปาล์ม	ลำต้นปาล์ม	ทางปาล์ม	ซังข้าวโพด	ลำต้นข้าวโพด	เหง้ามันสำปะหลัง	เปลือกไม้ยูคาฯ
Moisture, %	58.60	48.40	78.40	40.00	41.70	59.40	60.00
Ash, %	2.03	1.20	0.70	0.90	3.70	1.50	2.44
Volatile Matter, %	30.46	38.70	16.30	45.42	46.46	31.00	28.00
Fixed Carbon, %	8.90	11.70	4.60	13.68	8.14	8.10	9.56
Higher heating value, (KJ/Kg)	**9,196**	**9,370**	**3,908**	**11,298**	**11,704**	**7,451**	**6,811**

ที่มา : http://www.efe.or.th

จากสมบัติแบบประมาณของตะกอนเปียกดังตารางที่ 5 เทียบกับสมบัติแบบประมาณของชีวมวล ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า

- ***ค่าความชื้น (% Moisture) 11.61*** ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการนำมาเป็นเชื้อเพลิง ถ้ามีความชื้นเกินร้อยละ 50 ก็ไม่เหมาะที่จะนำมาเผาไหม้
- ***สารระเหย (% Volatile matter) 68.82*** พบว่ามีค่าค่อนข้างสูง สารระเหย คือ ส่วนที่ลุกไหม้ง่ายสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนในที่ที่ไม่มีอากาศ ดังนั้นชีวมวลที่มีค่าสารระเหยสูงแสดงว่าติดไฟได้ง่าย
- ***เถ้า (% Ash content) 16.59*** มีค่าสูง ขี้เถ้าคือส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1-3 หากมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10-20 จะมีปัญหาการเผาไหม้และกำจัด
- พอสมควร ดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จะต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ***คาร์บอนคงตัว (Fix Carbon %) 2.97*** มีค่าต่ำ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความร้อน นอกจากจะเป็นการบ่งบอกถึงค่าความร้อนแล้ว คาร์บอนคงตัวยังบอกให้ทราบถึงเป็นของแข็งที่เป็นคาร์บอนที่เหลืออยู่
- ***Higher heating value, (KJ/Kg) 15,512*** ให้ค่าความร้อนปานกลาง สามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้
- ***สารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.08*** มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยมีการกำหนดมาตรฐานของถ่านอัดแท่งไม่เกิน 0.2% จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4.2.3 ศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อคำนวณผลประหยัดจากการใช้ถ่านหิน เปรียบเทียบกับการใช้ตะกอนเปียกอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง

4.2.3.1 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานระหว่างถ่านหินและตะกอนเปียก

ตารางที่ 7 ข้อมูลทั่วไปของเชื้อเพลิง

ข้อมูล	ถ่านหิน	ตะกอนเปียกอัดแท่ง
1. ค่าความร้อน	5,500 Kcal/Kg	3,705.10 Kcal/Kg
2. ปริมาณ	116.16 ตัน/วัน	172 ตัน/วัน
3. ราคา	3.25 บาท/กก.	-

ตารางที่ 8 ข้อมูลเบื้องต้นของการใช้พลังงานของ BOILER ขนาด 20 ตัน

BOILER	20	Ton/hr
OPERATE	24	Hr/day
	330	Day/year
Pressure	8	bar
Steam Product	158,400	Ton/year
Heat content of steam	660	Kcal/kg
Feed water inlet temp.	130	^{o}C
Efficiency of coal-fired boiler	0.72	
Energy Require	105,415,200,000	Kcal/year

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานระหว่างถ่านหินและตะกอนเปียกอัดแท่ง

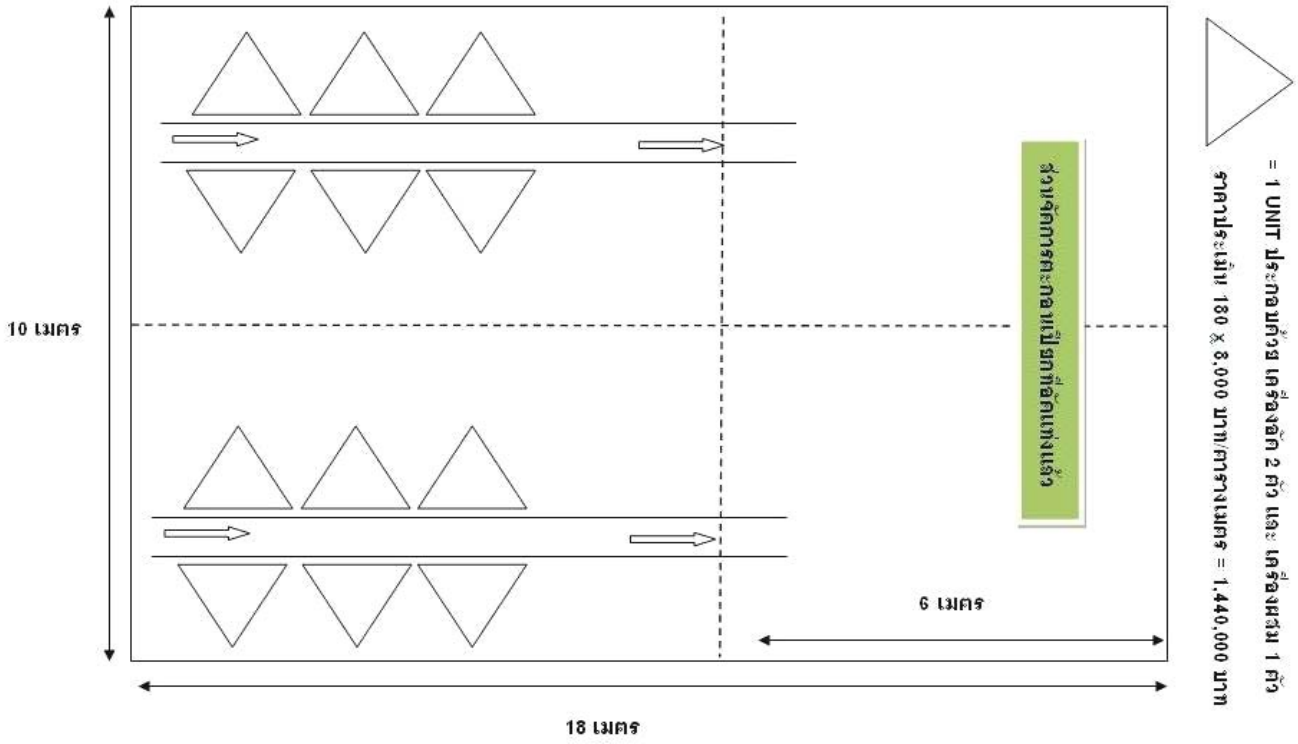
ถ่านหิน			ตะกอนเปียกอัดแท่ง		
Energy Require	105,415,200,000	Kcal/year	Energy Require	105,415,200,000	Kcal/year
GCV of coal	5,500	Kcal/kg	GCV of compressed wet cake	3,705	Kcal/kg
Mass of Coal require	19,166,400	Kg/year	Mass of compressed wet cake	28,452,146	Kg/year
Or	19,166	Ton/year	Or	28,452	Ton/year
Quantity	2	Unit	Quantity	2	Unit
Total Mass of Coal	38,332	Ton/year	Total Mass of Coal	59,604	Ton/year
Or	***116***	Ton/day	Or	***172***	Ton/day

ตารางที่ 10 การคำนวณการติดตั้งเครื่องอัดแท่งตะกอนเปียก

ปริมาณตะกอนเปียกที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง	เครื่องอัดแท่งกำลังการผลิต 300 กก./ชม.
172,000 กก./วัน	**172,000/300 ≅ 24 เครื่อง**

เมื่อคำนวณทราบถึงปริมาณตะกอนเปียกที่ใช้ในกระบวนการผลิตความร้อน เพื่อทดแทนการใช้ถ่านหิน จึงออกแบบผังกระบวนการผลิตตะกอนเปียกอัดแท่ง เพื่อสามารถผลิตให้เพียงพอกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องทดแทนเข้าไป ผังกระบวนการผลิตประกอบด้วย เครื่องผสมตะกอนเปียก 1 ตัว ต่อเครื่อง อัดแท่ง 2 ตัว ทั้งหมด 12 ชุด (เครื่องอัดแท่ง 24 เครื่อง กำลังการผลิต 300 กก./ชม.) โดยใช้พื้นที่ขนาด 18 x 10 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 แผนผังการวางระบบผลิตตะกอนเปียกอัดแท่ง ประกอบด้วยเครื่องผสม และ เครื่องไฮโดรลิคกำลังสูง



4.2.3.2 วิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านการเงิน

ตารางที่ 11 มูลค่าการลงทุนของโครงการ (Fixed Cost)

รายการ	ราคา	มูลค่าการลงทุน
1. อาคารขนาด 10 x 18 เมตร	8,000 บาท/ตารางเมตร	1,440,000 บาท
2. เครื่องผสม (MIXER)	82,000 บาท/เครื่อง	82,000 x 12 = 984,000 บาท
3. เครื่องอัดแท่ง	145,000 บาท/เครื่อง	145,000 x 24 = 3,480,000 บาท
4. เตาอบ	(8 ตัน/12 ชม.) 200,000 บาท	10 x 200,000 = 2,000,000 บาท
5. ระบบไฟฟ้าและติดตั้งเครื่องจักร	15,000 บาท/ชุด (เครื่องอัดแท่ง 2 เครื่อง ต่อเครื่องผสม 1 เครื่อง)	15,000 x 12 = 180,000 บาท
6. ระบบสายพานลำเลียงแบบมีมอเตอร์ขนาด 5 ตัน	550,000 บาท/ชุด	550,000 x 2 = 1,100,000 บาท
รวม		***9,184,000 บาท***

Variable Cost

- **ค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้า**

ปริมาณตะกอนเปียกอัดแท่ง		ตัน/วัน	172
	อัตราค่ากระแสไฟฟ้า	บาท/กก.	0.07
คิดเป็นค่ากระแสไฟฟ้า		บาท/วัน	12,040
	จำนวนวันที่ทำงาน	วัน/ปี	330
คิดเป็นค่ากระแสไฟฟ้า		บาท/ปี	***3,973,200***

- **ค่าใช้จ่ายด้านการซ่อมบำรุง**

เครื่องผสม + เครื่องอัดแท่ง		บาท/เครื่อง	11,350
	จำนวนเครื่อง	เครื่อง	24
		บาท/ปี	***272,400***

- **ค่าใช้จ่ายด้านบุคลากร**

พนักงานอัดแท่ง	24 คน	คน	บาท/เดือน	6,000
คิดเป็นเงิน			บาท/ปี	***1,728,000***

- **ค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงถ่านหิน**

ถ่านหิน		กิโลกรัม/ปี	38,332,800
	ราคาถ่านหิน	บาท/กิโลกรัม	3.25
		บาท/ปี	***124,581,600***

ตารางที่ 12 ตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

สรุปค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายการใช้ถ่านหิน	ค่าใช้จ่ายการใช้ตะกอนเปียก
ค่าใช้จ่ายต่อปี	38,332,800 x 3.25 ***=124,581,600 บาท/ปี***	(172 x 1,000 x 0.07 x 330) +(24x6,000x12)+ (11,350 x 24) ***= 5,973,600 บาท/ปี***

สรุป: จากตารางเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเห็นได้ชัดเจนว่าหากมีการนำตะกอนเปียกอัดแท่งมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนถ่านหินสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงไปได้ปีละ

124,581,600 – 5,973,600 = *118,545,000 บาท/ปี*

แม้จะนำต้นทุนของโครงการ (Fixed Cost) เข้ามาคำนวณด้วย ก็ยังมีความคุ้มทุนของโครงการ เนื่องจากตะกอนเปียกเป็นของเสียที่เกิดจากการผลิต และเกิดเป็นปริมาณมากทุกวัน การนำตะกอนเปียกมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงหลักจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการอย่างครบวงจรและประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาเชื้อเพลิงอีกด้วย

5. สรุปผลการวิจัย

ตะกอนเปียกจากการผลิตเอทานอลมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตความร้อน จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนในเบื้องต้นของตะกอนเปียก พบว่า มีค่าความร้อนระดับปานกลาง 15,486 KJ/Kg หลังจากผลิตเป็นชีวมวลอัดแท่งจึงนำมาวิเคราะห์แบบประมาณและค่าความร้อนอีกครั้ง พบว่าชีวมวลอัดแท่งมีค่า***ความชื้น 11.61% สารระเหย 68.82% เถ้า 16.59% คาร์บอนคงตัว 2.97% ความร้อน 15,512 KJ/Kg ปริมาณซัลเฟอร์ 0.08%*** ชีวมวลอัดแท่งมีค่าความร้อนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากการอัดแท่งเป็นการปรับปรุงสภาพของตะกอนเปียกให้มีองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอเป็นผลให้ค่าความร้อนสูงขึ้น ลักษณะทั่วไปของชีวมวลอัดแท่งสามารถติดไฟได้ง่ายเนื่องจากมีค่าสารระเหยสูง มีควันพอสมควรในช่วงจุดติดไฟสมบูรณ์ คาร์บอนคงตัวต่ำปริมาณของแข็งที่เหลือในชีวมวลอัดแท่งมีน้อย ให้มีปริมาณขี้เถ้าค่อนข้างสูงดังนั้น การออกแบบห้องเผาไหม้จำเป็นต้องพิจารณาถึงการรวบรวมขี้เถ้าออกจากห้องเผาไหม้อย่างมีประสิทธิภาพ ปลดปล่อยซัลเฟอร์ในปริมาณต่ำมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานถ่านอัดแท่งจึงไม่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม และเมื่อนำมาคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในแง่ผลประหยัดของเชื้อเพลิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้ถ่านหิน และ ชีวมวลอัดแท่ง พบว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนเชื้อเพลิงไปได้ถึงปีละประมาณ ***118,545,000 บาท/ปี*** เมื่อเทียบกับต้นทุนของโครงการ (Fixed Cost) ที่มีมูลค่าประมาณ 9,184,000 บาท ตะกอนเปียกจึงมีความเหมาะสมอย่างมากในการนำมาเป็นเชื้อเพลิงหลักเพื่อผลิตความร้อนในกระบวนการต่าง ๆของโรงงาน เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่ต้องจัดซื้อ และยังเป็นการจัดการของเสียให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังมีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างมาก

6. รายการอ้างอิง

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2551.นโยบายพลังงานทดแทนด้านเชื้อเพลิงเอทานอล. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th. [23/3/2552].

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th. [23/3/2552].

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2552.การส่งเสริมการผลิตการใช้เอทานอลของประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th. [23/3/2552].

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. กระทรวงพลังงาน. 2551. โรงงานที่ดำเนินการผลิตและที่อยู่ระหว่างก่อสร้างโรงงานเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.dede.go.th. [23/3/2552].

พลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, มูลนิธิ. คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแต่ละชนิด.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www.efe.or.th. [4/5/2552].

อัมพร ยังโหมด. เอกสารวิชาการเอทานอลจากมันสำปะหลัง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://210.246.186.28/fieldcrops/cas/eth/index.HTM. [14/5/2552].

Belyea,R.L., Rausch,K.D. and Tumbleson,M.E. 2004. Composition of corn and distillers' dried grains with soluble from dry grind ethanol processing. Journal of Bioresearch Technology 94 : 293-298.

Scott Landers. 2007. Perfecting the DDGS pellet. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http:// www. ethanolproducer.com . [/จ/5/2552].

Spiehs,M.J., Whitney, M.H. and Shurson,G.C. 2002. Nutrients database for distillers' dried grains with soluble produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. Journal of Animal Science 80 : 2639-2645.

Yongmi Kim, Nathan S. Moiser and Rick Hendrickson. 2008. Composition of corn dry-grind ethanol by-products : DDGS, wet cake and thin stillage.Journal of Bioresearch Technology 99 : 5165-5176.

1