

จะประกอบไปด้วยวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบที่เหมาะสมแก่การผลิตเอทานอลต่อไป ทั้งนี้การใช้ประโยชน์ของเอทานอล คือ การนำไปส่วนผสมหลักให้กับเชื้อเพลิงน้ำมัน หรือที่เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนให้กับรถยนต์ ทั้งนี้ถ้าราคาเอทานอล 12.70 บาทต่อลิตร ที่ได้จากส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่ 1:1 (ตารางที่ 4.18) ไปผสมกับน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกแทน 91 โดยใช้อัตราส่วนของเอทานอลต่อน้ำมันเบนซินเป็น 1:9 จะทำให้ราคาของแก๊สโซฮอล์ได้ถูกลงไป โดยที่ต้นทุนที่เกิดขึ้นเป็นการประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตเอทานอลที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นการเสนอแนวทางใช้เป็นประโยชน์ในการพัฒนาให้เกิดเป็นรูปธรรมมากขึ้น

ตารางที่ 22    ต้นทุนการผลิตเอทานอลต่อลิตรในวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 99.5

| วัตถุดิบ                                          | ปริมาณวัตถุดิบ<br>สำหรับผลิต<br>เอทานอล 1 ลิตร<br>(กิโลกรัม) | ราคาวัตถุดิบ<br>เฉลี่ย<br>(บาท/กิโลกรัม) | ต้นทุนวัตถุดิบใน<br>การผลิต<br>เอทานอล 1 ลิตร<br>(บาท) |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| กากน้ำตาล*                                        | 4.0                                                          | 3.80                                     | 15.20                                                  |
| อ้อย*                                             | 14.0                                                         | 0.80                                     | 11.20                                                  |
| มันสำปะหลัง-มันเส้น**                             | 2.50-7.52                                                    | 1.10-4.00                                | 9.75-10.80                                             |
| ปลายข้าว*                                         | 2.70                                                         | 6.00                                     | 16.20                                                  |
| ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์*                               | 2.70                                                         | 4.16                                     | 11.23                                                  |
| อัตราส่วนผสมของเปลือกและกากมัน<br>สำปะหลังที่ 1:1 | 5.0                                                          | 3.26                                     | 12.70                                                  |

ที่มา ; \*    กล้านรงค์ ศรีวรรต และคณะ, 2549

          \*\*        สุวิทย์ เตีย และคณะ, 2548 และกล้านรงค์ ศรีวรรต และคณะ, 2549

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเปลือกและกากมันสำปะหลังที่เป็นของเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล โดยทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีต่อผลผลิตน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกและกากมันสำปะหลัง ปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซิสในเปลือกและกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์เซลลูเลส แอลฟาอะไมเลส และอะไมโลไกลโคซิเดส สัดส่วนผสมของเปลือกมันสำปะหลังและกากมันสำปะหลัง ผลผลิตของน้ำตาลและเอทานอลที่ได้ รวมถึงการคำนวณค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิตเอทานอลจากส่วนผสมหลักของเปลือกและกากมันสำปะหลัง ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1    องค์ประกอบทางเคมีในเปลือกและกากมันสำปะหลังจากการวิเคราะห์พบว่า เปลือกมันสำปะหลังมีองค์ประกอบที่เป็นเซลลูโลสและแป้งอยู่ร้อยละ 35.01 ± 5.99 และ 28.09 ± 6.44 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ส่วนในกากมันสำปะหลังก็มีปริมาณเซลลูโลสและแป้งอยู่ร้อยละ 16.56 ± 0.82 และ 60.39 ± 6.44 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งในการศึกษาได้ผสมเปลือกและกากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก เพื่อผลิตน้ำตาลและเอทานอลต่อด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ และกระบวนการหมักด้วยยีสต์ตามลำดับ โดยปริมาณเซลลูโลสมีอยู่ร้อยละ 16.56 ± 0.82, 19.63 ± 1.10, 22.65 ± 1.95 และ 25.75 ± 2.92 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณแป้งอยู่ร้อยละ 60.39 ± 6.44, 54.78 ± 4.21, 50.57 ± 4.21 และ 44.9 ± 2.43 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

4.2. ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้เป็นกลุ่มตัวแทนในการทดลองจาก 4 อัตราส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 พบว่าจากการศึกษาใช้ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสในช่วง 5-40 ยูนิต พบว่า การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ปริมาณ 30 ยูนิต ค่าความเป็นกรดต่าง 5.0 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เกิดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูง คือ  $0.326 \pm 0.004$  และ  $0.367 \pm 0.004$  กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

ส่วนปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และอะไมโลกลูโคซิเดสที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซิสแป้งในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้เป็นกลุ่มตัวแทนในการทดลองจาก 4 อัตราส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 พบว่าจากการศึกษาใช้ปริมาณเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในช่วง 3-15 ยูนิต และอะไมโลกลูโคซิเดสในช่วง 2-10 ยูนิต พบว่า การไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ปริมาณ 9 ยูนิต ค่าความเป็นกรดต่าง 6.0 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำการไฮโดรไลซิสต่อด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดสที่ปริมาณ 6 ยูนิต ค่าความเป็นกรดต่าง 4.0 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง มีผลให้เกิดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูง คือ  $1.257 \pm 0.007$  และ  $1.048 \pm 0.004$  กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

4.3 ในการศึกษาการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 30 ยูนิต ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 5.0 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า ผลผลิตที่เกิดขึ้นได้น้ำตาล  $0.226 \pm 0.002$ ,  $0.298 \pm 0.004$ ,  $0.325 \pm 0.007$  และ  $0.393 \pm 0.002$  กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ในระหว่างการใช้เซลลูเลสและแป้งไป โดยที่เซลลูเลสและแป้งที่ถูกใช้ไปในการไฮโดรไลซิสในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ด้วยเอนไซม์เซลลูเลสมีปริมาณเซลลูโลสที่ถูกใช้ไปร้อยละ  $91.01 \pm 0.98$ ,  $93.12 \pm 1.25$ ,  $92.57 \pm 0.96$  และ  $93.24 \pm 1.75$  ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และปริมาณแป้งที่ถูกใช้ไปร้อยละ  $1.03 \pm 0.11$ ,  $0.92 \pm 0.07$ ,  $1.12 \pm 0.21$  และ  $0.88 \pm 0.19$  ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การที่ปริมาณแป้งที่ถูกใช้ไปบางส่วน (partial hydrolysis) ในแต่ละอัตราส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลัง อาจเป็นเพราะในการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ 50 องศาเซลเซียส และสภาวะความเป็นกรดต่างที่ 5.0 ที่มีความเป็นกรดอ่อนสามารถไฮโดรไลซิสแป้งได้เพียงบางส่วน

ส่วนการศึกษาการไฮโดรไลซิสแป้งในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 9 ยูนิต ค่าความเป็นกรดต่าง 6.0 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำการไฮโดรไลซิสต่อด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส 6 ยูนิต ค่าความเป็นกรดต่าง 4.0 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง พบว่า ผลผลิตที่เกิดขึ้นได้น้ำตาล  $1.209 \pm 0.006$ ,  $1.195 \pm 0.007$ ,  $1.155 \pm 0.001$  และ  $1.092 \pm 0.006$  กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ในระหว่างการใช้เซลลูเลสและแป้งไป โดยที่เซลลูเลสและแป้งที่ถูกใช้ไปในการไฮโดรไลซิสในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และอะไมโลกลูโคซิเดสมีปริมาณแป้งที่ถูกใช้ไปร้อยละ  $91.53 \pm 1.19$ ,  $81.48 \pm 1.48$ ,  $89.71 \pm 1.15$  และ  $81.78 \pm 2.04$  โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และปริมาณเซลลูโลสที่ถูกใช้ไปร้อยละ  $1.66 \pm 0.07$ ,  $1.54 \pm 0.22$ ,  $1.32 \pm 0.59$  และ  $1.95 \pm 0.63$  โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การที่ปริมาณเซลลูโลสที่ถูกใช้ไปบางส่วนในแต่ละอัตราส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลัง อาจเกิดจากสาเหตุในการไฮโดรไลซิสแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสในช่วงแรกที่ใช้อุณหภูมิสูงที่ 90 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะมีผลทำให้โครงสร้างของผนังพืชที่เป็นเซลลูโลสถูกทำลาย จึงทำให้เซลลูโลสถูกใช้ไปบางส่วนในระหว่างการใช้เซลลูเลสและแป้ง

4.4 น้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเซลลูโลสและแป้งในส่วนผสมของเปลือกและกากมันสำปะหลังที่อัตราส่วน 0:1, 1:5, 1:2 และ 1:1 โดยน้ำหนัก ด้วยการทำงานร่วมกันของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด คือ เอนไซม์เซลลูเลส แอลฟาอะไมเลส และอะไมโลกลูโคซิเดส พบว่า ผลผลิตน้ำตาลที่ได้มีค่า  $3.13 \pm 0.08$ ,  $3.46 \pm 0.04$ ,  $3.33 \pm 0.01$  และ  $3.70 \pm 0.02$  กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับหรือที่ความเข้มข้น จากการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่ปริมาณ 30 ยูนิต ค่าความเป็น