TAIB-01

การผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดด้วยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกันแบบย่อยน้ำตาลก่อนการหมักและเติมอากาศระหว่างการหมัก

* สกานต์เหลืองเกรียงไกร[1], เชาว์อินทร์ประสิทธิ์[1]และ พรทิพย์ศิริสุนทราลักษณ์[2]

[1]*ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140*

[2]*คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110*

ผู้เขียนติดต่อ: สกานต์ เหลืองเกรียงไกร E-mail:oyoyoa-31@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดด้วยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน (Simultaneous Saccharification and Fermentation, SSF) แบบย่อยน้ำตาลก่อนการหมัก (Pre-Saccharification) ด้วยเอนไซม์ GC147 และเติมอากาศระหว่างการหมักด้วยปริมาณอากาศในอัตรา 5 ลิตรต่อนาที และที่ระยะเวลาในการเติมอากาศที่แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ แบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) แบบเติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และแบบเติมอากาศในช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง) โดยใช้ถังหมักขนาด 60 ลิตร และความเข้มข้นของมันเส้นบด 25%โดยน้ำหนัก พบว่า สภาวะการผลิตเอทานอลที่เหมาะสมที่สุด คือ การหมักแบบเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง) เพราะสามารถลดระยะเวลาการหมักลง 6 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักแบบปกติ โดยให้ปริมาณเอทานอลใกล้เคียงกัน สำหรับการหมักแบบเติมอากาศตลอดการหมัก แม้จะให้เอทานอลเร็วเท่ากับการหมักแบบเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก แต่ให้ปริมาณเอทานอลต่ำกว่าการหมักแบบอื่น แสดงให้เห็นว่าการเติมอากาศในปริมาณที่เหมาะสม และ ถูกเวลา จะช่วยลดระยะเวลาผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดด้วยกระบวนการ SSF และให้ปริมาณเอทานอลใกล้เคียงกับการหมักแบบปกติ

คำสำคัญ: เอทานอล, มันเส้นบด, กระบวนการย่อยให้เป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน, การให้อากาศ

1. บทนำ

กระบวนการหมักเอทานอลแบบย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน (Simultaneous Saccharification and Fermentation, SSF) ด้วยเอนไซม์ GC147 ที่ผ่านการทำ Pre-Saccharification คือ การหมักเอทานอลที่ประกอบด้วยกระบวนการย่อยแป้งครั้งแรกด้วยเอนไซม์ α-amylase และย่อยต่อด้วยเอนไซ Glucoamylase ในระยะเวลาสั้นๆ ต่อจากนั้นเติมยีสต์ลงในถังหมักพร้อมกับการย่อยแป้งในคราวเดียวกัน [1]

ในกระบวนการหมักเอทานอล ต้องการสภาวะที่เหมาะสมหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของน้ำตาล ความเข้มข้นของเอทานอล อุณหภูมิ และ pH เป็นต้น นอกจากนี้อากาศหรือออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำหมัก เป็นสภาวะหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการหมักเอทานอล โดยออกซิเจนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนขั้นสุดท้ายในลูกโซ่การหายใจ นอกจากนั้นออกซิเจนยังทำหน้าที่เป็น growth factor ของยีสต์ ซึ่งออกซิเจนมีความสำคัญในระดับอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลในขั้นตอนของการเตรียมกล้าเชื้อ (starter) โดยทั่วไปกล้าเชื้อ ที่ใช้สำหรับการหมักแบบแบตช์จะเป็นแอโรบิก สตาร์เตอร์ (aerobic starter) ที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อในสภาพที่มีออกซิเจน และกึ่งมีออกซิเจน (semi-aerobic) จะทำให้ชีวมวลหรือเซลล์ยีสต์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากยีสต์จะมีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นในขณะที่การผลิตเอทานอลลดลง [2]

การเติมอากาศในระหว่างการหมักในปริมาณ และเวลาที่เหมาะสม ในระหว่างกระบวนการหมักเอทานอล น่าจะเป็นการเพิ่มปริมาณเซลล์ยีสต์ให้กับกระบวนการหมัก เพื่อลด

ระยะเวลาในการผลิตเอทานอล ทำให้กระบวนการหมักเอทานอลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักเอทานอลแบบปกติ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเติมอากาศในเวลาต่าง ๆ กันเพื่อศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเติมอากาศในระหว่างการผลิตเอทานอลแบบย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน (Simultaneous Saccharification and Fermentation)

การเติมอากาศในระหว่างการหมักในปริมาณ และเวลาที่เหมาะสม ในระหว่างกระบวนการหมักเอทานอล น่าจะเป็นการเพิ่มปริมาณเซลล์ยีสต์ให้กับกระบวนการหมัก เพื่อลดระยะเวลาในการผลิตเอทานอล ทำให้กระบวนการหมักเอทานอลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการหมักเอทานอลแบบปกติ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเติมอากาศในเวลาต่าง ๆ กันเพื่อศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเติมอากาศในระหว่างการผลิตเอทานอลแบบย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน (Simultaneous Saccharification and Fermentation)

2. อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

ถังหมักขนาด 60 ลิตร พร้อมระบบการกวน, ระบบควบคุมอุณหภูมิ, ระบบการวัด pH และระบบการให้อากาศ

มันเส้นที่ผ่านการบดให้ละเอียด (ศูนย์อาหารสัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ. กำแพงแสน จ.นครปฐม)

ยีสต์แห้ง Saccharomyces cerevisiae ชื่อทางการค้า Fali Green (AB Mauri, China) อัตราการส่วนในการใช้เท่ากับ ยีสต์แห้ง 0.6-1.2 กรัมต่อแป้ง 1000 กรัม

เอนไซม์ α-amylase ชื่อทางการค้า GC358 (Genencor International Wisconsin Inc., U.S.A.) ใช้ในอัตราส่วน 0.20-0.24 กรัมต่อแป้ง 1000 กรัม

เอนไซม์ glucoamylase ชื่อทางการค้า GC147 (Genencor International Wisconsin Inc., U.S.A.) ใช้ในอัตราส่วน 0.50-0.75 กรัมต่อแป้ง 1000 กรัม

วิธีการทดลอง

1. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของมันเส้นบด

สุ่มตัวอย่างมันเส้นบด มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมันเส้นบด คือ ความชื้น วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2000) และปริมาณแป้ง วิเคราะห์ตามวิธีโพลาริเมตริก (Polarimetric method)

2. การย่อยมันเส้นบดครั้งแรก (Liquefaction) ด้วยเอนไซม์ GC358

ในขั้นตอนการทำ Liquefaction เป็นการทำให้แป้งมีขนาดโมเลกุลเล็กลง น้ำแป้งที่ย่อยแล้วในช่วงนี้จะเรียกว่ามอลโทเด็กซ์ทริน (Maltodextrin) โดยเริ่มจากการเตรียมน้ำแป้งโดยใช้มันเส้น 15 กิโลกรัมผสมกับน้ำ 45 กิโลกรัม (ความเข้มข้นของมันเส้น 25%) เติมแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.H_2O$) 2 กรัมต่อแป้ง 1000 กรัม หลังจากนั้นปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 5.7-5.8 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 20% แล้วจึงเติมเอนไซม์ GC358 0.2 กรัมต่อแป้ง 1000 กรัม นำไปให้ความร้อน และควบคุมอุณหภูมิที่ 83-85 องศาเซลเซียส โดยกวนด้วยความเร็วรอบ 70 รอบต่อนาที เพื่อย่อยมันเส้นครั้งแรกนาน 2 ชั่วโมง

3. การทำ Pre-Saccharification ด้วยเอนไซม์ GC147

การทำ Pre-Saccharification เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำตาล Maltodextrin ที่ได้จากการทำ Liquefaction เป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งจะใช้เวลาในการย่อยไม่นาน เพื่อไม่ให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมีมากเกินไป โดยเริ่มการทำ Pre-Saccharification ด้วยเอนไซม์ GC147 หลังจากการทำ Liquefaction เสร็จแล้ว โดยทำการลดอุณหภูมิลงจาก 83-85 องศาเซลเซียส เป็น 63-65 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมินี้ไว้ จากนั้นปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 4.4-4.6 โดยใช้กรดซัลฟูริก (H2SO4) เข้มข้น 20% แล้วจึงเติมเอนไซม์ GC147 0.6 กรัมต่อแป้ง 1000 กรัม โดยกวนด้วยความเร็วรอบ 70 รอบต่อนาที ทำ Pre-Saccharification นาน 1 ชั่วโมง

4. การเตรียมกล้าเชื้อยีสต์แห้ง

การเตรียมกล้าเชื้อยีสต์แห้ง Fali Green เริ่มโดยการทำรีไฮเดรต (Rehydrated) ยีสต์แห้ง โดยผสมน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิ 35±5 องศาเซลเซียส 80 มิลลิลิตร กับ glucose 2 กรัม และเทผสมกับยีสต์แห้ง ทิ้งไว้ 15-30 นาที กล้าเชื้อยีสต์ที่พร้อมที่จะใส่ลงไปในถังหมักจะมี

ลักษณะ คือ มีฟองขึ้นเป็นจำนวนมาก มีสีน้ำตาลอ่อน และมีกลิ่นจากการที่ยีสต์เกิดกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งการรีไฮเดรต (Rehydrated) ยีสต์แห้งเป็นการทำให้ยีสต์คืนตัวก่อนเติมลงในถังหมัก เพื่อให้ยีสต์ปรับตัว และพร้อมสำหรับกิจกรรมในกระบวนการหมัก

5. การผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดโดยกระบวนการ SSF ที่ผ่านการทำ Pre-Saccharification ด้วยเอนไซม์ GC147 โดยการหมักแบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) เติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง)

การผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดโดยกระบวนการ SSF ที่ผ่านการทำ Pre-Saccharification ด้วยเอนไซม์ GC147 โดยการให้อากาศในระหว่างกระบวนการหมัก เพื่อศึกษาการผลิตเอทานอล และเวลาที่ใช้ในการผลิตเอทานอลเมื่อมีการให้อากาศ ซึ่งการทดลองนี้จะแบ่งเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ ไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) เติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง) โดยเริ่มกระบวนการหมักเอทานอลหลังจากการทำ Pre-Saccharification เสร็จแล้ว โดยทำการลดอุณหภูมิลงจาก 63-65 องศาเซลเซียส เป็น 30-33 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมินี้ไว้ จากนั้นปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 4.4-4.6 โดยใช้กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 20% แล้วจึงเติมยีสต์แห้ง Fali Green 0.6 กรัมต่อแป้ง 1000 กรัม ที่เตรียมจากหัวข้อที่ 4 โดยกวนด้วยความเร็วรอบ 70 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 2, 4, 6, 12, 24, 36, 42, 48, 54, 60, 66 และ72 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยวิธี Lane and Eynon's volumetric method, ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid, TSS) โดย Hand Refractometer และความเข้มข้นของเอทานอลโดย GC (Gas Chromatography) ในการทดลองที่มีการให้อากาศเข้าไปในถังหมัก อากาศที่ให้เข้าไปในถังหมักจะใช้อัตรา 5 ลิตรต่อนาที ซึ่งอากาศจะถูกกรองด้วย Syringe Filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร ก่อนเข้าสู่ถังหมัก เพื่อกำจัดเชื้อที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ

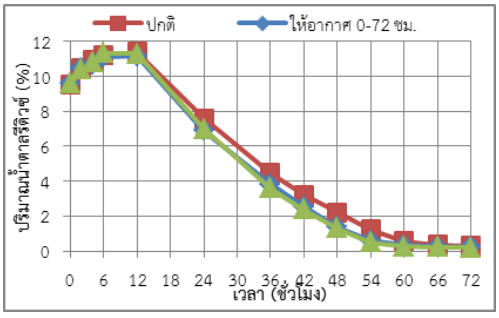
3. ผลการทดลอง

1. การศึกษาองค์ประกอบของมันเส้นบด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของมันเส้นบดที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล พบว่า มันเส้นบด มีปริมาณแป้งประมาณ 64.94% และมีความชื้น 10.34 %(มาตรฐานเปียก)

2. ผลของการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบด โดยการหมักแบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) เติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง)

จากภาพที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดโดยการหมักแบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) เติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง) พบว่า การใช้น้ำตาลรีดิวซ์ของทั้ง 3 แบบมีแนวโน้มที่เหมือนกัน



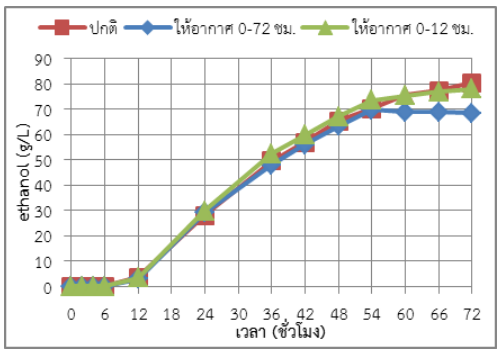
รูปที่ 1 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบด โดยการหมักแบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) เติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง)

แต่การหมักแบบปกติ มีการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ที่ช้ากว่าการหมักแบบให้อากาศ 0-72 ชั่วโมง และ 0-12 ชั่วโมง คือในช่วง 0-12 ชั่วโมงแรกของกระบวนการหมักมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเนื่องจากเซลล์ยีสต์อยู่ในขั้นตอนการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมใหม่ของอาหารเลี้ยง [3] และเอนไซม์ GC147 ยังคงทำงานเปลี่ยนแป้งมันสำปะหลังบดให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ ต่อมาในช่วง 12-60 ชั่วโมง น้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างมากจนน้ำตาลในกระบวนการหมักใกล้หมด เนื่องจากเซลล์ยีสต์ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งในการเจริญเติบโต แบ่งเซลล์ และผลิตเอทานอล หลังจากช่วง 60-72 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ถูกใช้จนใกล้หมดจึงทำให้

เซลล์ยีสต์เริ่มหยุดกิจกรรมต่าง ๆ ในกระบวนการหมัก และตายลงในที่สุด [3]

3. ผลของปริมาณการผลิตเอทานอลในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบด โดยการหมักแบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) เติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง)

จากภาพที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้จากการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดโดยการหมักแบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) เติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง) พบว่าในช่วงแรกของการหมัก (0-6 ชั่วโมง) เป็นระยะการปรับตัว และ การแบ่งตัวของเซลล์ยีสต์เซลล์ยีสต์จึงไม่มีการเพิ่มปริมาณเอทานอล [3] ต่อจากนั้นในช่วงของการหมัก (6-24 ชั่วโมง) ของการหมัก พบว่ามีการเพิ่มปริมาณของเอทานอลในปริมาณที่ใกล้เคียงกันของการหมักทั้งสามแบบ แต่หลังจากการหมัก 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า ปริมาณการผลิตเอทานอลโดยการหมักแบบให้อากาศ 0-72 ชั่วโมง ผลิตเอทานอลได้น้อยกว่าการหมักแบบปกติ และการหมักแบบให้อากาศ 0-12 ชั่วโมงแรกของการหมัก และในระยะสุดท้ายของการหมัก พบว่าการหมัก



รูปที่ 2 ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบด โดยการหมักแบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ) เติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง)

แบบให้อากาศ 0-72 ชั่วโมงมีปริมาณการผลิตเอทานอลน้อยกว่าการหมักแบบไม่ให้อากาศ และ การหมักแบบให้อากาศในช่วง 0-12 ชั่วโมงแรกของการหมัก โดยการหมักแบบไม่ให้อากาศ และ การหมักที่มีการให้อากาศในช่วง 0-12 ชั่วโมงแรกของการหมัก ให้ผลปริมาณเอทานอลที่ใกล้เคียงกัน และจากปริมาณการเพิ่มปริมาณของเอทานอลในช่วงเวลาที่ 54-72 ชั่วโมง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใกล้หมด และปริมาณ เอทานอลที่มีอยู่ในน้ำหมักมากเกินไป ส่งผลให้อัตราการผลิตเอทานอลลดลง จนมีปริมาณการผลิตเอทานอลน้อยมากจนอาจจะไม่คุ้มค่าต่อการหมักต่อไปด้วย

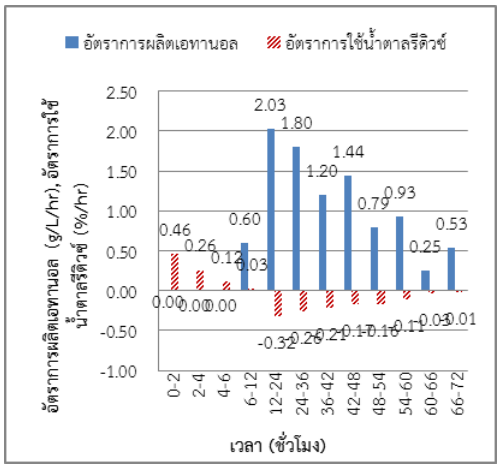
4. ผลการเปรียบเทียบอัตราการผลิตเอทานอล และอัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ของการหมักทั้ง 3 แบบ

จากภาพที่ 3 A เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการผลิตเอทานอล และอัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ของการหมักแบบไม่เติมอากาศ พบว่าในช่วงต้นของการหมัก ความแตกต่างของปริมาณเอทานอล และ อัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์มีค่าสูงแสดงว่ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นสูงในช่วงต้นของการหมัก แต่ในช่วงการผลิตที่ช่วงเวลา 60-66 ชั่วโมง และ 66-72 ชั่วโมง มีปริมาณการผลิตเอทานอล ลดลงต่ำกว่าช่วงเวลา 54-60 ชั่วโมง นั่นแสดงว่า เวลาที่ 60 ชั่วโมง ผลิตเอทานอลได้ 75.73 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลืออยู่ 0.56% เป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบไม่ให้อากาศ

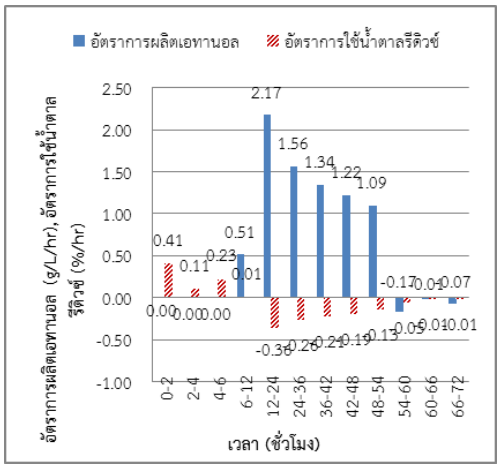
สำหรับภาพที่ 3 B เปรียบอัตราการผลิตเอทานอล และอัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ ของการหมักแบบเติมอากาศตลอดระยะเวลาในการหมัก ซึ่งมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตเอทานอล และ อัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์เหมือนกับการหมักแบบไม่ใช้อากาศ แต่การเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลา 54-60 ชั่วโมง, 60-66 ชั่วโมง และ 66-72 ชั่วโมง ลดลงต่ำกว่าที่เวลา 48-54 ชั่วโมง นั่นแสดงว่า เวลาที่ 54 ชั่วโมง ผลิตเอทานอลได้ 69.78 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลืออยู่ 0.58% เป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบให้อากาศตลอดระยะเวลาในการหมัก

การเปรียบอัตราการผลิตเอทานอล และอัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ ของกระบวนการหมักแบบเติมอากาศ 5 ลิตรต่อนาที ในช่วง 0-12 ชั่วโมงแรกของการหมักแสดงในภาพที่ 3 C พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการผลิตเอทานอล และอัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ นั้นมีแนวโน้มเหมือนกับการหมักแบบอื่น แต่ค่าในช่วงเวลา 54-60 ชั่วโมง, 60-66 ชั่วโมง และ 66-72 ชั่วโมง ลดลงต่ำกว่าที่เวลา 48-54 ชั่วโมง นั่นแสดงว่า เวลาที่ 54 ชั่วโมง ผลิตเอทานอลได้ 73.37 กรัมต่อลิตร และมี

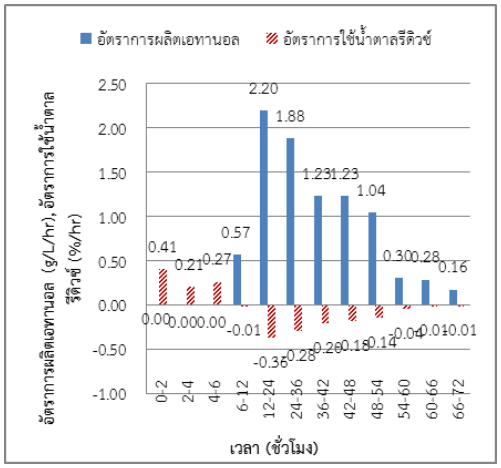
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลืออยู่ 0.49% เป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมักแบบให้อากาศ 0-12 ชั่วโมงแรกของการหมัก



A



B



C

รูปที่ 3 อัตราการผลิตเอทานอล และอัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ ของการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบด (A คือ การหมักแบบไม่เติมอากาศ (การหมักแบบปกติ), B คือ การหมักแบบเติมอากาศตลอดการหมัก (0-72 ชั่วโมง) และ C คือ การหมักแบบเติมอากาศช่วงแรกของการหมัก (0-12 ชั่วโมง))

4. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดทำให้สรุปเวลาที่เหมาะสมของการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดโดยกระบวนการ SSF ที่ผ่านการทำ Pre-Saccharification ด้วยเอนไซม์ GC147 โดยการให้อากาศ และการหมักแบบปกติ ดังนี้

การหมักแบบปกติ ใช้เวลาในการผลิตเอทานอล 60 ชั่วโมง ผลิตเอทานอลได้ 75.73 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เหลืออยู่ 0.56%

การหมักแบบให้อากาศ 5 ลิตรต่อนาที ตลอดระยะเวลาในการหมัก ใช้เวลาในการผลิตเอทานอล 54 ชั่วโมง ผลิตเอทานอลได้ 69.78 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เหลืออยู่ 0.58%การหมักแบบให้อากาศ 0-12 ชั่วโมง ใช้เวลาในการผลิตเอทานอล 54 ชั่วโมง ผลิตเอทานอลได้ 73.37 กรัมต่อลิตร และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เหลืออยู่ 0.49%

การหมักแบบให้อากาศ 0-12 ชั่วโมง เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการผลิตเอทานอล เนื่องจากใช้เวลาที่น้อยกว่าการหมัก แบบไม่เติมอากาศ และให้ปริมาณ เอทานอลที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนการหมักแบบให้อากาศตลอดกระบวนการหมักผลิต เอทานอลได้เร็วเท่ากับการหมักแบบให้อากาศ 0-12 ชั่วโมง แต่ให้ปริมาณเอทานอลที่ต่ำกว่าการหมักแบบปกติ และการหมักแบบให้อากาศ 0-12 ชั่วโมง ดังนั้น การให้อากาศในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยให้ลดระยะเวลาในการผลิตเอทานอลจากมันเส้นบดลงได้ และให้ปริมาณเอทานอลที่ใกล้เคียงกับการหมักแบบปกติ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานประจำปี 2552 และทุนสนับสนุนระดับบัณฑิตศึกษาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ธันยาภรณ์ เวทย์ไทยสงค์ (2548). การผลิตเอทานอลจากมันเส้นโดยกระบวนการย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] สาวิตรี ลิ่มทอง (2549). ยีสต์ ความหลากหลายและเทคโนโลยีชีวภาพ, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3] Kukec A., M. Berovic, S. Celan and M. Wondra (2001). The Role of On-line Redox Potentail Measurement in Sauvignon blance Fermentation, Food Technol. Biotechnol, Vol. 40(1) 49-55.