ผลและวิจารณ์

เครื่องต้นแบบผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

1. องค์ประกอบหลักและหน้าที่การทำงานของชุดอุปกรณ์ผลิตน้ำส้มสายชูหมักมีดังนี้ (ภาพที่ 13 และ ภาพภาคผนวก ก.)

1.1 ชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ ทำจากสแตนเลสเบอร์ 304 เป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 480 มิลลิเมตร ตัวถังสูง 350 มิลลิเมตร ก้นถังมีการปั๊มนูน ตัวถังมีขาตั้งทำจากสแตนเลสเบอร์ 304 และมีบ่ารองรับฝาปิด ซึ่งฝาปิดทำจากสแตนเลสเบอร์ 304 เปิดปิดโดยใช้บานพับมีสปริงช่วยในการยกฝาเปิด ระบบการล็อคฝาจะใช้สกรูยึดแบบมือหมุนจำนวน 9 ตัว ตัวถังมีท่อทางเข้าเชื้อเริ่มต้น ทำจากท่อสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว และท่อทางออกของอากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำจากท่อสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว ปลายท่อทางออกจะปิดด้วยกล่องพลาสติกพีพีบรรจุภายในด้วยสำลี สำหรับท่อทางออกของแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักทำจากท่อสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ซึ่งท่อนี้จะต่อไปที่ปั๊มสแตนเลส ขนาด 1/2 แรงม้า สำหรับใช้ดูดแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักไปยังชุดถังหมักน้ำส้มสายชู ส่วนภายในถังหมักจะมีตะแกรงกรองเนื้อผลไม้ให้แยกออกจากน้ำหมัก แต่ยังคงแช่เนื้อผลไม้ในน้ำหมักอยู่ได้ตลอดระยะเวลาการหมัก ทำจากตะแกรงสแตนเลสเบอร์ 304 ลึกลงไปจากปากถังหมัก 220 มิลลิเมตร นอกจากนี้ภายในตัวถังหมัก จะมีท่อเสียบเทอร์โมคัพเปิลยื่นเข้าไปในตัวถังหมักขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว เพื่อใช้ในการวัดและควบคุมอุณหภูมิภายในถังหมักไม่ให้สูงจนเกิดไป เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจมีผลต่อเชื้อยีสต์ที่ใช้ในการหมักเอธิลแอลกอฮอล์

1.2 กรวยเติมเชื้อเริ่มต้นของชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ ทำจากจากสแตนเลสเบอร์ 304 เป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 180 มิลลิเมตร สูง 150 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับท่อทางเข้าเชื้อเริ่มต้น

1.3 ท่อก๊าซให้ความร้อนชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ ทำจากท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ต่อกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมติดตั้งอยู่ในตำแหน่งใต้ถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์

1.4 ชุดถังหมักน้ำส้มสายชู (กรดอะซิติก) ทำจากสแตนเลสเบอร์ 304 เป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 480 มิลลิเมตร ตัวถังสูง 350 มิลลิเมตร ก้นถังมีการปั๊มนูน ตัวถังจะมีขาตั้งทำจากสแตนเลสเบอร์ 304 และตัวถังจะมีบ่ารองรับฝาปิด ซึ่งฝาปิดทำจากสแตนเลสเบอร์ 304 เปิดปิดโดยใช้บานพับ มีสปริงช่วยในการยกฝาเปิด ระบบการล็อคฝาจะใช้สกรูยึดแบบมือหมุนจำนวน 9 ตัว ตัวถังมีท่อทางเข้าเชื้อเริ่มต้น ทำจากท่อแตนเลสเบอร์ 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ท่อทางเข้าและออกของอากาศ ทำจากท่อสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว ปลายท่อทางเข้าและออกจะปิดด้วยไส้กรองอากาศชนิด HEPA สำหรับท่ออากาศเข้าถังหมักก่อนผ่านไส้กรองอากาศชนิด HEPA จะต่อเข้ากับปั๊มลมเพื่อให้อากาศ ภายในถังหมักน้ำส้มสายชูจะต่อท่อให้อากาศเข้าไปภายในถังหมักให้อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าน้ำหมัก เพื่อให้การให้อากาศสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งท่อนี้ทำจากท่อสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/4 นิ้ว สามารถถอดล้างได้เมื่อมีปัญหาการอุดตันของท่อให้อากาศ สำหรับท่อทางออกของน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมัก ทำจากท่อสแตนเลสเบอร์ 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว

1.5 กรวยเติมเชื้อเริ่มต้นของชุดถังหมักน้ำส้มสายชู ทำจากจากสแตนเลสเบอร์ 304 เป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 180 มิลลิเมตร สูง 150 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับท่อทางเข้าเชื้อเริ่มต้น

1.6 ท่อก๊าซให้ความร้อนชุดถังหมักน้ำส้มสายชู ทำจากท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ต่อกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมติดตั้งอยู่ในตำแหน่งใต้ถังหมักน้ำส้มสายชู

1.7 ชุดตะแกรงกรองกากผลไม้ออกจากแอลกอฮอล์ ที่หมักได้จากชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ ทำจากตะแกรงสแตนเลสเบอร์ 304 2 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 2 ขนาด คือ 4 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ชุดตะแกรงกรองกากผลไม้ออกจากแอลกอฮอล์นี้จะต่อกับท่อที่ทำจากท่อ สเตนแลสเบอร์ 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ไปยังชุดถังหมักน้ำส้มสายชู

1.8 ปั๊มสเตนเลส ขนาด 1/2 แรงม้า ใช้สำหรับดูดแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมัก จากชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ไปยังชุดถังหมักน้ำส้มสายชู โดยดูดแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมัก ผ่านชุดตะแกรงกรองกากผลไม้ออกจากแอลกอฮอล์ก่อนเข้าสู่ชุดถังหมักน้ำส้มสายชู และปั๊มตัวเดียวกันนี้ยังสามารถปรับให้ทำหน้าที่ในการดูดให้น้ำส้มสายชูที่กำลังทำการหมัก ให้เกิดการไหลเวียนภายในถังตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อป้องกันหัวเชื้อผลิตน้ำส้มสายชูขาดอากาศหายใจ นอกจากนี้ปั๊มตัวเดียวกันนี้ยังสามารถปรับให้ทำหน้าที่ในการดูดน้ำร้อนให้เวียนในระบบ เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่อาจปนเปื้อนมากับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบถังหมักทั้งหมด

1.9 ปั๊มลมเพื่อให้อากาศ ขนาด 185 วัตต์ สามารถปั๊มลมได้ 160 ลิตรต่อนาที จะต่อเข้ากับไส้กรองอากาศชนิด HEPA ก่อนดันอากาศ ที่ต้องให้แก่น้ำส้มสายชูที่กำลังหมักอยู่ภายในถังหมักน้ำส้มสายชู

1.10 ชุดกล่องควบคุมไฟฟ้าของ ระบบระบายความร้อนที่อาจเกิดขึ้น ในระหว่างการหมักเอธิลแอลกอฮอล์ จะใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ด้วยพัดลมระบายอากาศโดยผ่านเทอร์โมคัพเปิล เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่อาจมีผลต่อเชื้อยีสต์ที่ใช้ในการหมักเอธิลแอลกอฮอล์ ชุดกล่องควบคุมไฟฟ้านี้ยังสามารถควบคุมการเปิดและปิดปั๊มสเตนเลสได้อย่างอัตโนมัติ

2. วิธีและขั้นตอนการใช้งานชุดอุปกรณ์ผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

2.1 ขั้นตอนการหมักเอธิลแอลกอฮอล์

2.1.1 เติมน้ำเปล่าลงในชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ จำนวน 3 ลิตร ปิดฝาถังหมักและจุดท่อก๊าซให้ความร้อนชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ ต้มจนเดือดเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นทำลายจุลินทรีย์ที่อาจจะปนเปื้อนภายในถังหมัก และปล่อยน้ำร้อนทิ้งทางท่อทางออกของแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักที่อยู่ด้านล่างของถังหมัก

2.1.2 เตรียมน้ำผลไม้ที่ต้องการหมักตามสูตรที่เหมาะสม ใส่ลงในชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว โดยเทผ่านตะแกรงกรองเนื้อผลไม้ เพื่อให้ชิ้นผลไม้ถูกกักเก็บไว้ภายในตะแกรงและแยกออกจากน้ำหมัก แต่ยังคงแช่เนื้อผลไม้ในน้ำหมักอยู่ได้ตลอดระยะเวลาการหมัก ปิดฝาถังหมักทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่เหมาะสำหรับการฆ่าเชื้อน้ำหมัก

2.1.3 เติมเชื้อเริ่มต้นที่เตรียมไว้ ลงในกรวยเติมเชื้อเริ่มต้นของชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์และเปิดสวิชต์ควบคุมพัดลมระบายความร้อน พร้อมตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมัก ระบบระบายความร้อนจะทำงานอัตโนมัติ เมื่ออุณหภูมิในการหมักเกินค่าที่ตั้งไว้ เพื่อให้เชื้อทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.4 เมื่อครบระยะเวลาในการหมักเอธิลแอลกอฮอล์ ปล่อยน้ำหมักออกจากถังหมักทางท่อทางออกของแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักที่อยู่ด้านล่างของถังหมัก พร้อมเปิดสวิชต์ให้ปั๊มสเตนเลสทำการดูดเอธิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักอย่างต่อเนื่อง เพื่อส่งน้ำหมักนี้ไปยังชุดถังหมักน้ำส้มสายชู โดยผ่านชุดตะแกรงกรองกากผลไม้ออกจากแอลกอฮอล์ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้วจึงเปิด

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ฝาถังแยกเอาชิ้นเนื้อผลไม้ออกจากตะแกรงกรองเนื้อผลไม้ ทำการล้างถังและตะแกรงกรองเนื้อผลไม้ด้วยน้ำสะอาดก่อนเริ่มต้นหมักเอธิลแอลกอฮอล์ในรอบต่อไป

2.2 ขั้นตอนการหมักน้ำส้มสายชู

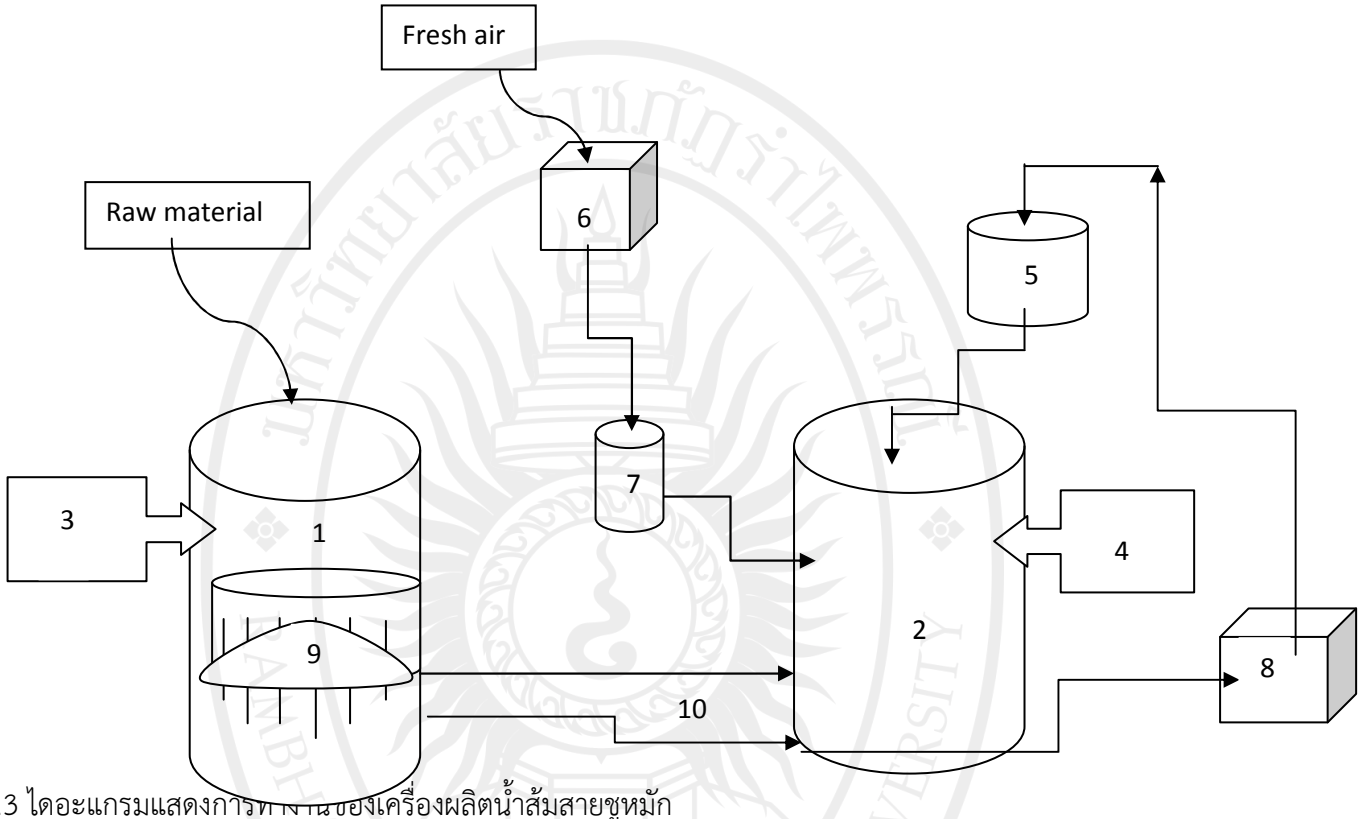
2.2.1 เติมน้ำเปล่าลงในชุดถังหมักน้ำส้มสายชู จำนวน 3 ลิตร ปิดฝาถังหมัก และจุดท่อก๊าซให้ความร้อนชุดถังหมักน้ำส้มสายชู ต้มจนเดือดเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ไอน้ำที่เกิดขึ้นทำลายจุลินทรีย์ที่อาจจะปนเปื้อนภายในถังหมัก และปล่อยน้ำร้อนออกจากถังหมักเพื่อนำไปฆ่าเชื้อที่ชุดตะแกรงกรองกากผลไม้ออกจากแอลกอฮอล์ โดยผ่านปั๊มสเตนเลสและปล่อยทิ้งทางท่อระบายที่ต่อจากชุดตะแกรงกรองกากผลไม้ออกจากแอลกอฮอล์

2.2.2 เปิดสวิชต์ ให้ปั๊มสเตนเลส ลำเลียงเอธิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักจากชุดถังหมักเอธิลแอลกอฮอล์อย่างต่อเนื่อง เพื่อส่งน้ำหมักนี้ไปยังชุดถังหมักน้ำส้มสายชูโดยผ่านชุดตะแกรงกรองกากผลไม้ออกจากแอลกอฮอล์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว

2.2.3เติมเชื้อเริ่มต้นที่เตรียมไว้ลงในกรวยเติมเชื้อเริ่มต้นของชุดถังหมักน้ำส้มสายชู และเปิดสวิชต์ควบคุมปั๊มเติมอากาศให้กับถังหมัก พร้อมทั้งเปิดสวิชต์ปั๊มสเตนเลสและตั้งเวลาเปิดปิดแบบช่วง เพื่อให้ปั๊มสูบน้ำหมักให้มีการไหลเวียนภายในถังหมักเป็นระยะ และเพื่อให้เกิดกระบวนการหมักแบบใช้อากาศของเชื้อผลิตกรดอะซิติก

2.2.4 เมื่อครบระยะเวลาในการหมักน้ำส้มสายชู ปล่อยน้ำหมักออกจากถังหมักทางท่อทางออกของน้ำส้มสายชูที่ได้จากการหมักที่อยู่ด้านล่างของถังหมัก เมื่อนำน้ำส้มสายชูที่ได้ออกจากถังหมักจนหมดแล้ว ทำการล้างถังพร้อมท่อต่างๆที่ผ่านการใช้งานด้วยน้ำสะอาด และใช้วิธีสูบน้ำล้างผ่านระบบเหล่านี้ด้วยปั๊มสเตนเลสก่อนเริ่มต้นหมักน้ำส้มสายชูในรอบต่อไป โดยขั้นตอนการทำงานดังกล่าวเป็นไปตามไดอะแกรมดังภาพที่ 13

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 13 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องผลิตน้ำส้มสายชูหมัก

(1) ถังหมักเอทธิลแอลกอฮอล์ (5) ตะแกรงกรองละเอียด (7) ตัวกรองอากาศ (10) ท่อนำส่งไวน์
(2) ถังหมักกรดอะซิติก (6) ปั๊มอากาศ (8) ปั๊มหมุนเวียนน้ำหมัก
(3), (4) กรวยเติมเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นและสารอาหาร (9) ตะแกรงกรองกากวัตถุดิบ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ระดับขยายส่วนด้วยเครื่องต้นแบบ

จากการกระบวนการในการหมักแอลกอฮอล์ด้วยเชื้อ *S. cerevisiae* (TISTR 5606) และหมักกรดอะซิติกด้วยเชื้อ *A. aceti* (TISTR 354) ด้วยเครื่องต้นแบบ ที่อุณหภูมิหมัก 30±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน โดยใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ 1-10 อัตราส่วน ผลการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. ผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์

จากผลการวิจัยในตารางที่ 2 พบว่าในทุกทรีตเมนต์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการหมักผันแปรลดลงตามระยะเวลาของการหมัก เมื่อระยะเวลาของการหมักนานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดต่ำลง โดยในแต่ละอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และเมื่อสิ้นสุดการหมักในวันที่ 14 ที่อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำ 1 : 6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงต่ำมากที่สุด เท่ากับ 5.02% โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับทรีตเมนต์อื่น แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับที่อัตราส่วน 1 : 1

2. ผลต่อค่าพีเอชในขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์

ผลของค่าพีเอชจากตารางที่ 3 พบว่า ค่าพีเอชในทุกทรีตเมนต์ผันแปรลดลงตามระยะเวลาของการหมักและอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำ 1 : 10 มีค่า พีเอชลดลงต่ำสุดในวันที่ 14 ของการหมัก เท่ากับ 3.10 โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับที่อัตราส่วน 1 : 9 ซึ่งมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.13 แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับทรีตเมนต์อื่น

3. ผลต่อปริมาณแอลกอฮอล์ในขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์

ผลของการหมักแอลกอฮอล์ จากผลในตารางที่ 4 พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์ในทุกทรีตเมนต์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก โดยที่อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำ 1:1 1:2 และ1:3 กระบวนการหมักให้ปริมาณแอลกอฮอล์เริ่มตั้งแต่วันแรกของการหมัก ขณะที่อัตราส่วน 1:4 ถึง 1:10 กระบวนการหมักให้ปริมาณแอลกอฮอล์ในวันที่ 3 ของการหมัก โดยในช่วง 1-7 วันแรกของการหมัก พบว่า ที่อัตราส่วน 1:4 ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดไม่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับที่อัตราส่วน 1:1 1:2 1:3 และ 1:5 โดยอัตราส่วน 1:3 ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด 9.70% ในวันที่ 10ของการหมัก ดังนั้นจากขั้นตอนการหมักเพื่อให้เกิดแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องต้นแบบดังกล่าว แสดงถึงอัตราส่วนของวัตถุดิบและระยะเวลาในการหมักเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ จากผลการการวิจัยนี้เมื่อคำนึงถึงต้นทุนและระยะเวลาในการผลิต จะพบว่า การสร้างแอลกอฮอล์เกิดขึ้นได้ช้า อัตราการเกิดแอลกอฮอล์ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผลไม้ชนิดอื่นๆ จากรายงานวิจัยของ วริศชนม์และประมวล (2553) ได้พัฒนากระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูหมักในระดับขยายส่วนด้วยเครื่องต้นแบบ พบว่า ในขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์ด้วยสับปะรดที่อัตราส่วน 1:1 ในระยะเวลา 7 วันของการหมักได้แอลกอฮอล์สูงสุด 18.13 % ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของชนิดวัตถุดิบที่มีผลต่อการเกิดแอลกอฮอล์ ด้วย

วัตถุดิบบางชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสม โดยเฉพาะน้ำตาลซึ่งได้จากวัตถุดิบจะเป็นแหล่งสารประกอบคาร์บอนที่สำคัญของเชื้อยีสต์ โดยยีสต์ได้นำไปใช้เพื่อสร้างและเผาผลาญเป็นพลังงาน และทำการเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นเอธิลแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้มีปริมาณเอธิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลามากขึ้น (Tesfaye et al., 2002) จากรายงานวิจัยของ ศรีปาน และคณะ (2556) พบว่า เงาะเป็นผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เนื้อเงาะมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 12.83% โดยมีปริมาณซูโครส 9.17% กลูโคส 1.90 % ฟรุคโตส 1.72% และ แมนโนส 0.04% อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าเงาะจะมีปริมาณน้ำตาลที่สูงเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการหมักได้ดี แต่เนื่องจากเงาะมีองค์ประกอบของสารแทนนินสูง ซึ่งแทนนินนี้มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สารแทนนินนี้พบได้ทั้งส่วนของเปลือก เมล็ดและเนื้อผลโดยเฉพาะในช่วงก่อนการสุก (Fila et al., 2012 ; วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2557) ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลต่อการยับยั้งหรือชะลอกิจกรรมของยีสต์ ทำให้การสร้างแอลกอฮอล์ต้องใช้เวลานานขึ้นและมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่สูงเท่าที่ควร

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องต้นแบบในระดับขยายส่วนเป็นระยะเวลา 14 วัน

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

Ratio	Total Soluble Solid (%)													
Fruit : water	1	2	3	4	5	6	7	6	9	10	11	12	13	14
1:1	16.97^{ab}	13.35^{d}	9.85^{d}	8.04^{e}	7.37^{c}	7.19^{c}	7.02^{bc}	6.97^{b}	7.00^{b}	7.37^{b}	7.00^{abc}	7.08^{ab}	7.15^{a}	7.13^{a}
1:2	16.42^{abc}	13.60^{cd}	10.62^{d}	8.60^{e}	7.00^{c}	6.48^{c}	6.17^{c}	5.95^{bc}	5.77^{bc}	6.15^{c}	6.51^{bcd}	5.91^{bcd}	5.85^{abc}	5.91^{b}
1:3	16.86^{abc}	14.75^{bc}	12.55^{bc}	10.44^{c}	8.73^{c}	7.53^{c}	6.60^{c}	6.04^{bc}	5.81^{bc}	5.96^{c}	5.73^{cd}	5.76^{bcd}	5.77^{bc}	5.77^{b}
1:4	16.39^{abc}	14.37^{cd}	12.28^{bc}	10.13^{cd}	8.30^{c}	6.79^{c}	6.00^{c}	5.66^{bc}	5.64^{bc}	5.55^{c}	5.51^{cd}	5.46^{cd}	5.50^{c}	5.61^{b}
1:5	15.37^{d}	14.06^{cd}	12.01^{c}	10.11^{cd}	8.35^{c}	6.88^{c}	5.77^{c}	5.22^{c}	5.11^{c}	5.08^{c}	5.04^{d}	4.99^{d}	5.04^{c}	5.08^{b}
1:6	15.93^{cd}	14.53^{bc}	13.30^{b}	12.04^{b}	10.75^{b}	9.53^{b}	8.19^{b}	6.95^{b}	5.88^{bc}	5.26^{c}	5.06^{d}	4.95^{d}	4.90^{c}	5.02^{b}
1:7	17.15^{a}	16.35^{a}	15.42^{a}	14.64^{a}	13.70^{a}	12.81^{a}	11.76^{a}	10.55^{a}	9.37^{a}	8.24^{ab}	6.82^{abc}	6.02^{bcd}	5.55^{c}	5.42^{b}
1:8	17.17^{a}	16.28^{a}	15.26^{a}	14.41^{a}	13.50^{a}	12.33^{a}	11.50^{a}	10.21^{a}	9.10^{a}	7.97^{b}	6.99^{abc}	6.17^{bcd}	5.64^{bc}	5.62^{b}
1:9	16.73^{abc}	16.02^{a}	15.19^{a}	14.37^{a}	13.37^{a}	12.51^{a}	11.44^{a}	10.57^{a}	9.62^{a}	8.53^{ab}	7.59^{ab}	6.62^{abc}	5.86^{abc}	5.33^{b}
1:10	16.13^{bcd}	15.61^{ab}	14.84^{a}	14.15^{a}	13.30^{a}	12.57^{a}	11.66^{a}	11.02^{a}	10.22^{a}	9.33^{a}	8.44^{a}	7.64^{a}	6.95^{ab}	6.19^{ab}

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 3 ค่าพีเอชในขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องต้นแบบในระดับขยายส่วนเป็นระยะเวลา 14 วัน

Ratio Fruit : water	pH													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1:1	4.46^{a}	3.90^{a}	3.71^{a}	3.70^{a}	3.75^{a}	3.79^{a}	3.86^{a}	3.87^{a}	3.89^{a}	3.91^{a}	3.87^{ab}	3.95^{a}	3.96^{a}	3.99^{a}
1:2	4.41^{a}	3.61^{b}	3.46^{b}	3.44^{b}	3.51^{b}	3.55^{b}	3.61^{b}	3.63^{b}	3.65^{b}	3.68^{b}	3.72^{ab}	3.76^{b}	3.78^{b}	3.81^{b}
1:3	4.26^{abc}	3.58^{b}	3.42^{bc}	3.41^{b}	3.39^{b}	3.39^{c}	3.43^{c}	3.47^{c}	3.52^{c}	3.55^{c}	3.92^{a}	3.61^{c}	3.64^{bc}	3.67^{c}
1:4	4.36^{ab}	3.34^{c}	3.24^{d}	3.24^{c}	3.25^{c}	3.28^{d}	3.34^{cd}	3.41^{c}	3.47^{c}	3.55^{c}	3.54^{bc}	3.58^{c}	3.60^{c}	3.62^{c}
1:5	4.08^{c}	3.35^{c}	3.23^{d}	3.20^{c}	3.20^{c}	3.24^{d}	3.29^{de}	3.39^{c}	3.45^{c}	3.52^{c}	3.55^{bc}	3.60^{c}	3.61^{c}	3.63^{c}
1:6	4.25^{abc}	3.65^{b}	3.42^{bc}	3.27^{c}	3.21^{c}	3.19^{de}	3.20^{e}	3.22^{d}	3.25^{d}	3.29^{d}	3.34^{cd}	3.38^{d}	3.55^{c}	3.44^{d}
1:7	4.31^{abc}	3.56^{b}	3.31^{cd}	3.20^{c}	3.13^{c}	3.09^{e}	3.07^{f}	3.08^{e}	3.07^{e}	3.08^{e}	3.12^{d}	3.16^{e}	3.23^{d}	3.29^{e}
1:8	4.24^{abc}	3.50^{bc}	3.29^{d}	3.18^{c}	3.12^{c}	3.08^{e}	3.07^{f}	3.07^{e}	3.06^{e}	3.08^{e}	3.14^{d}	3.17^{e}	3.20^{d}	3.26^{e}
1:9	4.14^{bc}	3.11^{d}	2.91^{e}	2.88^{d}	2.87^{d}	2.90^{f}	2.88^{g}	2.95^{f}	2.95^{f}	2.97^{f}	3.01^{d}	3.05^{f}	3.08^{d}	3.13^{f}
1:10	4.14^{bc}	3.10^{d}	2.88^{e}	2.83^{d}	2.81^{d}	2.84^{f}	2.86^{g}	2.91^{f}	2.91^{f}	2.94^{f}	2.98^{d}	3.03^{f}	3.06^{d}	3.10^{f}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 4 ปริมาณแอลกอฮอล์ในขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องต้นแบบในระดับขยายส่วนเป็นระยะเวลา 14 วัน

Ratio Fruit: water	Alcohol concentration (%)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1:1	0.22^{a}	3.03^{a}	5.67^{a}	7.50^{a}	8.04^{a}	8.12^{ab}	8.56^{a}	8.37^{b}	8.41^{a}	8.31^{bc}	8.15^{bc}	7.71^{c}	7.71^{ab}	7.54^{bc}
1:2	0.11^{ab}	2.39^{b}	4.96^{b}	7.03^{a}	8.13^{a}	8.48^{a}	8.57^{a}	8.65^{ab}	8.84^{a}	8.94^{ab}	8.74^{abc}	9.12^{ab}	8.50^{a}	8.48^{abc}
1:3	0.11^{ab}	2.01^{bc}	3.96^{c}	5.71^{b}	7.22^{ab}	7.95^{ab}	8.75^{a}	9.40^{a}	9.04^{a}	9.70^{a}	9.61^{a}	9.61^{a}	8.91^{a}	9.11^{a}
1:4	0.00^{b}	1.56^{c}	3.44^{c}	5.24^{b}	6.31^{b}	7.31^{ab}	9.00^{a}	9.00^{ab}	9.00^{a}	9.00^{ab}	9.00^{ab}	9.18^{ab}	9.00^{a}	8.82^{ab}
1:5	0.00^{b}	1.45^{cd}	3.30^{c}	4.87^{b}	6.15^{b}	7.14^{b}	8.91^{a}	8.91^{ab}	9.00^{a}	9.00^{ab}	9.00^{ab}	9.00^{ab}	9.00^{a}	8.91^{a}
1:6	0.00^{b}	0.88^{d}	2.04^{d}	3.10^{c}	4.16^{c}	5.25^{c}	6.64^{b}	7.33^{c}	8.65^{a}	8.82^{ab}	8.66^{abc}	8.66^{abc}	8.66^{a}	8.61^{ab}
1:7	0.00^{b}	0.00^{e}	0.77^{ef}	1.85^{de}	2.64^{d}	3.53^{de}	4.59^{cd}	5.17^{d}	6.10^{b}	6.75^{de}	7.53^{cd}	8.12^{bc}	8.95^{a}	9.1^{0a}
1:8	0.00^{b}	0.00^{e}	1.25^{e}	2.24^{cd}	2.63^{d}	4.16^{cd}	4.88^{c}	5.34^{d}	6.25^{b}	7.42^{cd}	7.67^{cd}	8.29^{bc}	8.53^{a}	8.44^{abc}
1:9	0.00^{b}	0.00^{e}	0.55^{f}	1.30^{de}	2.11^{d}	3.16^{de}	3.73^{de}	4.66^{de}	5.42^{bc}	6.17^{ef}	6.77^{de}	7.48^{c}	8.02^{ab}	8..36^{abc}
1:10	0.00^{b}	0.00^{e}	0.22^{f}	1.00^{e}	1.55^{d}	2.43^{e}	3.24^{e}	3.87^{e}	4.37^{c}	5.21^{f}	5.84^{e}	6.37^{d}	6.93^{b}	7.24^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กระบวนการหมักกรดอะซิติกระดับขยายส่วนด้วยเครื่องต้นแบบ

1. ผลต่อปริมาณกรดอะซิติกในขั้นตอนการผลิตกรดอะซิติก

ในผลของการผลิตกรดอะซิติกโดยให้มีความเข้มข้นของปริมาณแอลกอฮอล์เริ่มต้นที่ 8 % โดยปริมาตร และปริมาณกรดอะซิติก 1% โดยปริมาตร จากผลในตารางที่ 5 พบว่าปริมาณกรดอะซิติกในทุกทรีตเมนต์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก และปริมาณเริ่มลดลงหรือคงที่ในวันที่ 13-14 ของการหมัก โดยปริมาณกรดอะซิติกยังลดลงตามอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ลดลง จากตารางที่ 4 พบว่า ที่อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำ 1 : 1 ให้ปริมาณกรดอะซิติกสูงสุด เท่ากับ 6.76 % ในวันที่ 13 ของการหมัก โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับทรีตเมนต์อื่น

2. ผลทางด้านจลนพลศาสตร์ของการหมัก

จากการใช้ประโยชน์ของเอธิลแอลกอฮอล์โดยเชื้อ *A. aceti* (TISTR 354) อัตราการผลิตกรดอะซิติกและปริมาณกรดอะซิติก (ตารางที่ 6) พบว่า ที่อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำ 1 : 1 มี อัตราการผลิตกรดอะซิติกสูงสุด 0.85 กรัมต่อลิตร/ชั่วโมง และให้ปริมาณกรดอะซิติกสูงสุด เท่ากับ 64.6 กรัมต่อลิตร โดยอัตราการผลิตกรดอะซิติกลดลงตามอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ลดลง โดยความสัมพันธ์ของการใช้แอลกอฮอล์และปริมาณกรดอะซิติกของเชื้อ *A. aceti* (TISTR 354) ในขั้นตอนการหมักแสดงในภาพที่ 14

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดอะซิติกในขั้นตอนการหมักกรดอะซิติกด้วยเครื่องต้นแบบในระดับขยายส่วนเป็นระยะเวลา 14 วัน

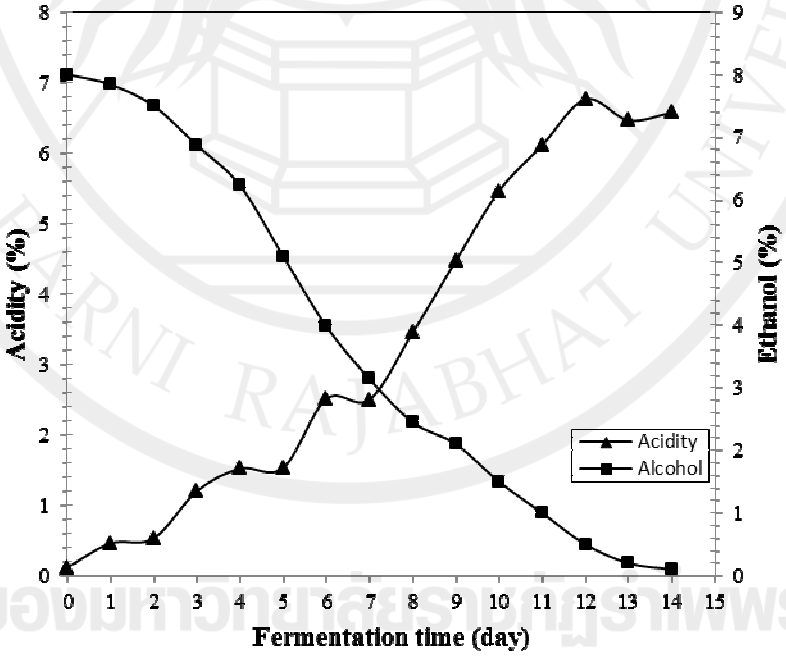
Ratio Fruit : water	Concentration of Acetic acid (%)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1:1	0.34^{a}	0.46^{a}	0.53^{a}	0.53^{a}	1.52^{a}	1.53^{a}	2.51^{a}	2.50^{a}	3.45^{a}	4.47^{a}	5.46^{a}	6.11^{a}	6.76^{a}	6.46^{a}
1:2	0.25^{b}	0.35^{b}	0.38^{b}	0.42^{b}	1.40^{b}	1.40^{b}	2.40^{b}	2.40^{b}	3.37^{b}	4.37^{b}	5.34^{ab}	5.80^{ab}	5.84^{b}	5.84^{b}
1:3	0.23^{b}	0.29^{c}	0.33^{c}	0.32^{c}	1.37^{b}	1.37^{b}	2.40^{b}	2.40^{b}	3.37^{b}	4.37^{b}	5.33^{b}	5.83^{ab}	5.31^{c}	5.30^{c}
1:4	0.19^{c}	0.22^{d}	0.26^{d}	0.29^{cd}	1.30^{c}	1.31^{c}	2.30^{c}	2.31^{c}	3.31^{bc}	4.28^{b}	5.27^{b}	5.45^{b}	5.24^{d}	5.24^{d}
1:5	0.18^{c}	0.22^{de}	0.24^{d}	0.28^{d}	1.28^{cd}	1.31^{c}	2.29^{cd}	2.29^{c}	3.28^{c}	4.27^{b}	5.27^{b}	5.43^{b}	5.22^{d}	5.22^{d}
1:6	0.16^{cd}	0.18^{fg}	0.21^{e}	0.24^{e}	1.26^{cd}	1.28^{cd}	2.29^{cd}	2.30^{c}	3.32^{bc}	3.34^{c}	4.35^{c}	4.49^{c}	4.42^{e}	4.40^{e}
1:7	0.15^{cde}	0.18^{fgh}	0.20^{ef}	0.22^{ef}	1.22^{d}	1.25^{d}	2.27^{de}	2.28^{c}	3.29^{c}	3.30^{c}	4.32^{c}	4.42^{c}	4.32^{ef}	4.26^{f}
1:8	0.16^{cd}	0.19^{ef}	0.20^{ef}	0.21^{ef}	1.25^{cd}	1.25^{d}	2.26^{de}	2.26^{c}	3.28^{c}	3.33^{c}	4.35^{c}	4.40^{c}	4.38^{ef}	4.34^{ef}
1:9	0.12^{de}	0.16^{gh}	0.17^{ef}	0.19^{f}	1.22^{d}	1.24^{d}	2.25^{de}	2.26^{c}	3.27^{c}	3.28^{c}	4.28^{c}	4.39^{c}	4.30^{f}	4.27^{f}
1:10	0.11^{e}	0.15^{h}	0.17^{f}	0.19^{f}	1.22^{d}	1.24^{d}	2.24^{e}	2.26^{c}	3.26^{c}	3.27^{c}	4.26^{c}	4.37^{c}	4.28^{f}	4.25^{f}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรที่ต่างกันตามแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 6 จลนพลศาสตร์ของการผลิตกรดอะซีติกในกระบวนการหมักด้วยเครื่องต้นแบบในระดับขยายส่วน ที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการหมัก 14 วัน

Ratio Fruit : water	Acetic acid Productivity (g/L^{-h})	Acetic acid Concentration (g/L)
1:1	0.85	64.6
1:2	0.80	58.4
1:3	0.78	53.0
1:4	0.74	52.4
1:5	0.73	52.2
1:6	0.74	44.0
1:7	0.69	42.6
1:8	0.71	43.4
1:9	0.62	42.7
1:10	0.65	42.5



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ของการใช้แอลกอฮอล์และปริมาณกรดอะซิติก ในน้ำหมักที่มีอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำ 1 : 1 ด้วยเชื้อ *A. aceti* (TISTR 354) ที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส

กรดอะซิติกที่ผลิตขึ้นนี้เกิดขึ้นมาจากกระบวนการหมัก โดยในกระบวนการหมักอาศัยการทำงาน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการหมักเพื่อให้เกิดเอธิลแอลกอฮอล์ด้วยการทำงานของเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* (TISTR 5606) จากนั้นทำการหมักต่อในขั้นที่สองเพื่อให้เกิดกรดอะซิติก โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย *A. aceti* (TISTR 354) เพื่อเปลี่ยนเอทานอลให้เป็นกรดอะซิติกในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยถังหมักต้นแบบที่ใช้ในกระบวนการหมักเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch type) เมื่อสิ้นสุดการหมัก น้ำส้มสายชูหรือกรดอะซิติกจะถูกเก็บเกี่ยวนำออก และน้ำหมักจะถูกเติมลงไปใหม่เพื่อดำเนินการหมักในครั้งต่อไป

จากผลการการผลิตกรดอะซิติกในเครื่องต้นแบบมีประสิทธิภาพการผลิตค่อนข้างต่ำ สาเหตุดังกล่าวอาจเป็นผลจากการเติมอากาศ ด้วยการปล่อยให้มีการไหลเวียนของน้ำหมักสัมผัสกับออกซิเจนมากจนเกินไปจากการใช้ปั๊มดูดน้ำหมักแล้วปล่อยลงในถังหมักตลอดในช่วงของการหมัก ทำให้เกิดการสูญเสียเอทานอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดอะซิติก ซึ่งการเติมอากาศที่มากจนเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการระเหยของเอทานอลได้ (Boonmee and Intarapanich, 2006) Nanba et al.(1984); Park et al.(1991) ; Krisch and Szajani (1997) ได้กล่าวถึงในสภาพการหมักกรดอะซิติก การปล่อยให้มีการไหลเวียนของน้ำหมักสัมผัสกับออกซิเจนมากจนเกินไปด้วยความเร็วสูง 160 ลิตรต่อนาที ซึ่งสภาพดังกล่าวอาจก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า overoxidation ซึ่งจะเปลี่ยนกรดอะซิติกให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้

จากรายงานวิจัยของ มัลลิกา และคณะ (2550) ได้ศึกษาการผลิตกรดอะซิติกของแบคทีเรียผลิตกรดอะซิติก 3 สายพันธุ์ ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ พบว่า ความเข้มข้นของกรดจากการผลิตทั้ง 3 สายพันธุ์ทั้งในสภาวะที่อุณหภูมิแปรปรวนและควบคุมอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 43-46 กรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณกรดอะซิติกที่ได้มีค่าต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงในฟลาส์ก เนื่องจากการสูญเสียเอทานอลจากการให้อากาศในช่วงระยะเวลาเริ่มต้นที่สภาวะค่าความเป็นกรดด่างยังไม่เหมาะสมต่อการผลิตกรด ทั้งนี้กรด อะซิติกจะถูกเริ่มผลิตอย่างรวดเร็วเมื่อค่า pH ในถังหมักลดลงอยู่ในช่วง pH 3.5-4.0 ซึ่งการระเหยออก

ผลของการขาดออกซิเจนหรือการให้อากาศที่ขัดข้องดังกล่าวในระหว่างการหมักอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดผลกระทบต่อเชื้อ *Acetobacter* เป็นอย่างมากเพราะเชื้อนี้จะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว (Frazier, 1988; Jarai, 1972 ; Hitschmann and Stockinger, 1985) วราวุฒิและรุ่งนภา(2532) ได้กล่าวว่าผลของการทำลายเซลล์ *Acetobacter* ในระหว่างการขาดออกซิเจนยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆที่

เกี่ยวข้องกับการหมักด้วยได้แก่ ความเข้มข้นทั้งหมดของกรดอะซิติกและแอลกอฮอล์ในน้ำหมัก ความเข้มข้นของกรดอะซิติกและความเร็วของการหมัก เป็นต้น และยังรวมถึงระยะเวลาที่ขาดออกซิเจนด้วย ดังนั้นการผลิตน้ำส้มสายชูหมักที่ต้องใช้น้ำหมักที่มีความสูงของน้ำหมักเพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการให้อากาศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะต้องปรับระบบการเติมอากาศในปริมาณที่เหมาะสมไม่ก่อให้เกิดการ overoxidation

นอกจากนี้ในการผลิตน้ำส้มสายชูหมักด้วยเครื่องต้นแบบนี้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเชื้อ *Acetobacter* เช่นการใช้วัสดุเพื่อช่วยยึดเซลล์เชื้อ *Acetobacter* ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันเช่น charcoal pellets (Horiuchi et al, 2000) เป็นต้น วราวุฒิ และคณะ (2553) ได้แนะนำถึงกระบวนการผลิตแบบ Quick process เป็นกระบวนการหมักที่นำไวน์ผ่านภาชนะที่มีความสูง โดยมีการเพิ่มพื้นที่ของการเจริญของเชื้อแบคทีเรียอะซิติกถังหมักที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ Generator การใช้ถังหมักดังกล่าวจะต้องมีตัวกลางบรรจุอยู่ภายในเพื่อให้เชื้อแบคทีเรียอะซิติกเจริญยึดเกาะกับตัวกลาง กระบวนการหมักนี้เกิดขึ้นโดยการปล่อยให้ไวน์ไหลจากด้านบนลงสู่ก้นถังไหลผ่านตัวกลางและพ่นอากาศเข้าทางก้นของถัง ทั้งนี้ตัวกลางจะเลือกใช้วัสดุประเภทเฉื่อย(Inert material) เพื่อช่วยยึดเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียอะซิติก วัสดุต่างๆที่เลือกใช้ประกอบด้วย Ceramic Support พลาสติกในกลุ่ม Lipophilic fibrous support เช่นPolypropylene, Polyethylene, Polystyrenes, Polyethylene terephthalate หรือ Polyurethane เศษไม้ (De Ory et al., 2003) ชานอ้อย (Kocher et al., 2006) และใยบวบ (Krusong et al., 2007) เป็นต้น เพื่อช่วยให้การหมักเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการหมักสูงขึ้นและให้ปริมาณกรดอะซิติกในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

จากการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้ายของน้ำส้มสายชูหมักที่ได้จากกระบวนการผลิตในขั้นต้นด้วยเครื่องต้นแบบในระดับขยายส่วน โดยผลิตภัณฑ์ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 เดือน และวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะซิติก เมทานอล และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ผลดังแสดงในตารางที่ 7

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตได้มีคุณภาพได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ของชุมชนตามมาตรฐาน มผช. 321/2547 ซึ่งสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(2547) ระบุไว้ว่าน้ำส้มสายชูหมักนั้นจะต้องมีปริมาณกรดอะซิติกไม่ต่ำกว่า 4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณเมทานอลไม่เกิน 420 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะต้องไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อลิตรในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์น้ำส้มสายชูหมักที่ผลิตจึงมีคุณภาพเพียงพอและสามารถที่จะนำไปขยายระดับการผลิตเป็นอุตสาหกรรมต่อไปได้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะซิติก เมทานอล และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำส้มสายชูหมักจากเงาะด้วยเครื่องต้นแบบในระดับขยายส่วน

Products	Acetic acid (g/cm^3)	Metanol (mg/L)	SO_2 (mg/L)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

1	5.39	ไม่พบ	ไม่พบ
2	6.21	ไม่พบ	ไม่พบ
3	6.03	ไม่พบ	ไม่พบ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี