

ศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้ง
ของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ปริญญานิพนธ์
ของ
พระภิกษุณี แท้จิ่ง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม 2546
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ศึกษาการลอกแ่งบนพื้นผิวด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้ง
ของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

บทคัดย่อ

ของ

พระรชมนต์ แซ่จ้ง

14 ส.ค. 2546

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม 2546

๒ ๒๒๕๐๑

พรรณมณฑน์ แซ่จั้ง. (2546). ศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. ปรินญาณพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, อาจารย์ ดร. บรรชา รัตนวิทย์.

งานวิจัยนี้ศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้า ด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยนำน้ำมาจากบ่อบำบัดน้ำทิ้ง ปริมาณ 10 ลิตร มีแบคทีเรียเริ่มต้นในการทดลองที่ปริมาณความเข้มข้น 2,040 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในการทดลองนี้เป็นการหมักแบบไร้อากาศและเป็นการหมักแบบต่อเนื่องโดยมีการเติมสารอาหารให้กับแบคทีเรียด้วยน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ปริมาณ 1 ลิตรต่อวัน ที่มีค่าซีไอดี 28,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผู้วิจัยได้ทำการหมักน้ำทิ้งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และเติมสารอาหารให้กับแบคทีเรียด้วยน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ทุกวัน ผลปรากฏว่า

1. น้ำทิ้งที่หมักครบ 7 วัน มีปริมาณแบคทีเรียจากการทดสอบด้วยเอ็มแอลวีเอสเอส 3,190 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. น้ำหมักครบ 14 วัน มีปริมาณแบคทีเรียจากการทดสอบด้วยเอ็มแอลวีเอสเอส 4,480 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. น้ำหมักครบ 21 วัน มีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจากการทดสอบด้วยเอ็มแอลวีเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลจากการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียปรากฏว่ามีแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง
4. เมื่อนำน้ำหมักที่ครบ 21 วัน มาทดสอบพบว่าค่าซีไอดี 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณเอ็มแอลเอสเอส 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเอ็มแอลวีเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มาลอกแป้งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่มีปริมาณสารลงแป้งร้อยละ 7.34 นำมาลอกแป้งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้เวลา 24 ชั่วโมง แบคทีเรียจะย่อยสลายแป้งจนหมด
5. เมื่อนำน้ำหมักที่ครบ 21 วันมาลอกแป้งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่มีปริมาณสารลงแป้งร้อยละ 7.34 นำมาลอกแป้งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง แบคทีเรียจะย่อยสลายแป้งจนหมด
6. เมื่อนำน้ำหมักที่ครบ 21 วันมาลอกแป้งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่มีปริมาณสารลงแป้งร้อยละ 7.34 นำมาลอกแป้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง แป้งจะย่อยสลายบางส่วน
7. เมื่อนำน้ำหมักที่ครบ 21 วันมาลอกแป้งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่มีปริมาณสารลงแป้งร้อยละ 7.34 นำมาลอกแป้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง แป้งจะย่อยสลายบางส่วน

8. การทดสอบความแข็งแรงคือการทดสอบแรงดึงขาดของผ้า โดยทดสอบผ้าก่อนการลอกแบ่ง ผ้าฝ้ายชิตติงที่มีปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34 ซึ่งทอแบบลายขัด โดยมีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 ขนาดเส้นด้าย 32 เทกซ์ มีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง 42 เส้นต่อตารางเซนติเมตร ในการทดลองผู้วิจัยใช้ผ้าในการทดลองมีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517 จากการทดสอบแรงดึงขาดของผ้าก่อนการลอกแบ่ง พบว่าแรงดึงขาดเฉลี่ยที่ทำให้ผ้าต้านยืนขาดมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 230.39 นิวตัน และแรงดึงขาดเฉลี่ยที่ทำให้ผ้าต้านพุ่งขาดมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 228.27 นิวตัน
9. เมื่อนำน้ำหมักที่ครบ 21 วันมาลอกแบ่งจากผืนผ้าฝ้ายชิตติงที่มีปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34 ซึ่งทอแบบลายขัด โดยมีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 ขนาดเส้นด้าย 32 เทกซ์ มีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง 42 เส้นต่อตารางเซนติเมตร จากการทดลองลอกแบ่งออกจากผืนผ้าที่ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมงแบ่งหมด และนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดพบว่าผ้าตามต้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 212.59 นิวตัน ผ้าต้านพุ่งมีแรงดึงขาดเฉลี่ย 211.26 นิวตัน โดยวิธีแช่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลาแช่ 20 ชั่วโมงแบ่งหมด เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดพบว่าผ้าตามต้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 210.84 นิวตัน ผ้าต้านพุ่งมีแรงดึงขาดเฉลี่ย 208.61 นิวตัน ผลจากการทดสอบแรงดึงขาดจากผ้าที่ผ่านการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517
10. เมื่อนำน้ำหมักที่ครบ 21 วันมาลอกแบ่งจากผืนผ้าฝ้ายชิตติงที่มีปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34 ซึ่งทอแบบลายขัด โดยมีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 ขนาดเส้นด้าย 32 เทกซ์ มีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง 42 เส้นต่อตารางเซนติเมตร จากการทดลองลอกแบ่งออกจากผืนผ้าที่ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง และนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดพบว่าผ้าตามต้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 209.89 นิวตัน ผ้าต้านพุ่งมีแรงดึงขาดเฉลี่ย 198.45 นิวตัน โดยวิธีแช่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลาแช่ 20 ชั่วโมง เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดพบว่าผ้าตามต้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 208.52 นิวตัน ผ้าต้านพุ่งมีแรงดึงขาดเฉลี่ย 209.00 นิวตัน ผลจากการทดสอบแรงดึงขาดจากผ้าที่ผ่านการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักที่ได้จากการเพาะเลี้ยง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้ามีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517

A STUDY OF FABRIC DESIZING USING BACTERIAL ENZYME FROM WASTE
WATER FERMENTATION OF TAPIOCA FLOUR INDUSTRY

AN ABSTRACT

BY

PASSAMON SAEJANG

**Presented in partial fulfillment of requirements
for the Master of Education degree in Industrial Education
at Srinakharinwirot University
May 2003**

Passamon Saejang. (2003). *A study of fabric desizing using bacterial enzyme from waste water fermentation of flour industry*. Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : GraduateSchool, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Pairust Vongyuttakrai, Dr.Bancha Ratanawai.

This research was a study of fabric desizing using bacterial enzyme from waste water fermentation of tapioca flour industry. The experiment was anaerobic digestion of tapioca waste and the process was continuous fermentation. The experiment was performed by using 10 liters reactors and continuous feeding. At first to bring bacterial from pond that have amount of bacterial 2,040 mg/l when analytical chemically, to continuous added nutrition by tapioca waste water to fix at COD 28,000 mg/l volume 1 liter everyday, pH 7.

The experiment found that:

1. The fermentation of 7 days found that mixed liquor volatile suspended solids in the filtered liquor were 3,190 mg/liter.
2. The fermentation of 14 days found that mixed liquor volatile suspended solids in the filtered liquor were 4,480 mg/liter.
3. The fermentation of 21 days found that mixed liquor volatile suspended solids in the filtered liquor were 5,760 mg/liter. It was showed that the bacterial were increases.
4. The fermentation of 21 days found 2,6991 mgCOD/liter, and the total solid content 18,089 mg/liter, and the mixed liquor suspended solids and mixed liquor volatile suspended solids in the filtered liquor were 6390,5760 mg/liter. When were desizing sheeting fabric has sizing to average 7.34% at 30-37 °C pH 7 by pad batch 100% pick up used 24 hours the bacterial were able to degraded.
5. The fermentation of 21 days. When were desizing sheeting fabric has sizing to average 7.34% at 30-37 °C pH 7 by soak the ratio of 10 : 1 used 20 hours the bacterial were able to degraded.
6. The fermentation of 21 days. When were desizing sheeting fabric has sizing to average 7.34% at 60-70 °C pH 7 by pad batch 100% pick up used 20 hours the bacterial were able to degraded partially.
7. The fermentation of 21 days . When were deziring sheeting fabric has sizing to average

7.34% at 60-70 °C pH 7 by soak the ratio of 10 : 1 used 20 hours the bacterial were able to degraded partially.

8. The tensile strength of sheeting fabric has sizing to average 7.34 %, woven fabric, warp yarn and weft yarn dimension 32 Tex, has number of warp and weft yarn 42 threadpercm² under Thai Industrial Standard 65-2517. The effect of testing tearing from warp fabric to average of 230.39 newtons and tearing from weft fabric to average of 228.27 newtons.
9. The fermentation of 21 days. When were desizing sheeting fabric has sizing to average 7.34% at 30-37 °C pH 7 by pad batch 100% pick up used 24 hours. The effect of testing tearing from warp fabric to average of 212.59 newtons and tearing from weft fabric to average of 211.26 newtons, and by soak the ratio of 10 : 1 used 20 hours. . The effect of testing tearing from warp fabric to average of 210.84 newtons and tearing from weft fabric to average of 208.61 newtons both quilted the Thai Industrial Standard 65-2517.
10. The fermentation of 21 days. When were desizing sheeting fabric has sizing to average 7.34% at 60-70 °C pH 7 by pad batch 100% pick up used 20 hours. The effect of testing tearing from warp fabric to average of 209.89 newtons and tearing from weft fabric to average of 198.45 newtons, and by soak the ratio of 10 : 1 used 20 hours. . The effect of testing tearing from warp fabric to average of 208.52 newtons and tearing from weft fabric to average of 209.0 newtons both quilted the Thai Industrial Standard 65-2517.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
ศึกษาการลอกแบ่งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้ง
ของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ของ
นางสาวพรรณมณฑ์ แซ่จ้ง

ได้รับการอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาพร หะวานนท์)
วันที่...เดือน...ปี พ.ศ. 2546

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธาน
(อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. บรรชา รัตนวัย)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร. อุวิทย์ สุวคันธกุล)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ โอภาส สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาอย่างดียิ่ง จาก อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์ดร. บรรชา รัตนวัย กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ตลอดจนอาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุคันทรกุล และอาจารย์โอภาส สุขหวาน ซึ่งเป็นกรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม ที่กรุณาร่วมให้คำปรึกษาและแนะนำพร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คุณสมณทนา สุขสมิทธิ ผู้จัดการแผนกจัดซื้อ บริษัทอุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้เก็บน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ และอนุเคราะห์ให้เก็บแบคทีเรียจากบ่อบำบัดน้ำทิ้งในการนำมาหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียจนทำให้การทดลองครั้งนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณไชยยงค์ พึ่งเกรียติไพโรจน์ หัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบสิ่งทอ กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ใช้เครื่องทดสอบแรงดึงขาดและกรุณาให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณเกษม ปิงชลิตโสภี หัวหน้าห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้ตลอดจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ชัชวาลย์ งามศรี หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ และอาจารย์ทุกท่าน รวมถึงอาจารย์สมชาย อุดร รุ่นน้องเคมีสิ่งทอรุ่น 23 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ ที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำต่างๆ และอำนวยความสะดวกด้านต่างๆ ให้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ เคมีสิ่งทอรุ่น 22 คุณจันทนา สอนพฤกษา ผู้ช่วยหัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบสิ่งทอ บริษัทธนูลักษณ์จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะการทดสอบต่างๆ และขอขอบพระคุณคุณประสงค์ กรรโมปกรณ์ รุ่นพี่เคมีสิ่งทอรุ่น 13 หัวหน้าห้องทดสอบ บริษัทไทยวาโก้ จำกัด (มหาชน) ขอขอบคุณเพื่อนๆ เคมีสิ่งทอรุ่น 22 ภาควาย คุณเสาวณี พงศ์สุวกร ผู้ช่วยหัวหน้าห้องปฏิบัติการทดสอบ บริษัทไทยวาโก้ จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำปรึกษาและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ในเรื่องการทดสอบสิ่งทอ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณคงศักดิ์ สุภาสุรย์ ผู้จัดการบริษัทรับตรวจสินค้าแฟชั่นที่ให้ข้อเสนอแนะและช่วยเหลือด้านต่างๆ และคุณปฐมพงศ์ บุตรถิรชัย ที่ให้การช่วยเหลือในการวิเคราะห์น้ำ

สุดท้ายผู้วิจัยขออ้อมระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ครู อาจารย์ ที่ให้ความรู้ให้กำลังใจ สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมาตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

พระรฆมณห์ แซ่จั้ง

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
X ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
สมมุติฐาน.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลังและการผลิตแป้งมันสำปะหลัง.....	8
การตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้ง.....	23
การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์.....	29
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับขั้นตอนการเตรียมสิ่งทอและการทดสอบคุณสมบัติสิ่งทอ	48
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	74
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	81
ประชากร.....	81
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	81
สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง.....	82
วิธีดำเนินการศึกษาทดลอง.....	82
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	91
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	93
5 สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	114
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	114
ประชากรที่ศึกษา.....	114
ตัวแปรที่จะศึกษา.....	114
วิธีดำเนินการวิจัย.....	115
สรุปผลการวิจัย.....	115
อภิปรายผล.....	118
ข้อเสนอแนะ.....	120

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป.....	120
บรรณานุกรม.....	122
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก จดหมายขอความอนุเคราะห์.....	128
ภาคผนวก ข ภาพแสดงขั้นตอนในการทดสอบและภาพประกอบเกี่ยวกับอุปกรณ์.....	132
ภาคผนวก ค ค่าข้อมูลในการทดสอบ.....	142
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	145

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ลักษณะน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังชนิดสไลด์แห้ง.....	19
2	ลักษณะน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังชั้นสอง.....	20
3	แสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน.....	22
4	การแบ่งจุลินทรีย์ตามระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ.....	45
5	แสดงผลการลอกแป้งระหว่างแอลฟาอะไมเลสและเบตาอะไมเลส.....	55
6	แสดงสภาวะสูงสุดที่ใช้ในการขจัดแป้งของเอนไซม์อะไมเลส.....	57
7	แสดงสมบัติน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์.....	94
8	แสดงสมบัติน้ำทิ้งระหว่างการหมัก.....	95
9	แสดงสมบัติน้ำหมักก่อนและหลังการลอกแป้งจากผืนผ้าด้วยน้ำหมักจากการทดลอง วันที่7.....	97
10	แสดงสมบัติน้ำหมักก่อนและหลังการลอกแป้งจากผืนผ้าด้วยน้ำหมักจากการทดลอง วันที่14.....	99
11	แสดงสมบัติน้ำหมักก่อนและหลังการลอกแป้งจากผืนผ้าด้วยน้ำหมักจากการทดลอง วันที่21.....	101
12	แสดงการทดสอบการหาปริมาณแป้งบนผ้า.....	102
13	แสดงความแข็งแรงก่อนการลอกแป้ง.....	103
14	แสดงการทดสอบความแข็งแรงของผ้าที่ผ่านการลอกแป้งด้วยน้ำหมัก.....	105
15	แสดงการทดสอบความแข็งแรงของผ้าที่ผ่านการลอกแป้งด้วยเอนไซม์.....	107
16	แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผ้าเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำทิ้งและการใช้..... เอนไซม์.....	109
17	ตารางเปรียบเทียบความแข็งแรงของผ้าหลังการลอกแป้งด้วยน้ำหมักและเอนไซม์.....	110

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	6
2	กรรมวิธีการผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเกรดหนึ่ง.....	13
3	กรรมวิธีการผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเกรดสอง.....	14
4	โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน.....	15
5	การย่อยอะไมโลเพคตินด้วยแอลฟาอะไมเลสทำให้เกิดเด็คซ์ทริน.....	16
6	การย่อยอะไมโลเพคตินด้วยเบตาอะไมเลสทำให้เกิดมอลโตสเด็คซ์ทริน.....	17
7	กราฟแสดงการเจริญของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงในระบบแบทช์.....	32
8	การจำแนกวิธีการลอกแบริ่ง.....	53
9	แสดงการเกิดมอลโตสโดยเอนไซม์ชนิดต่างๆ.....	56
10	กระบวนการลอกแบริ่งออกจากผืนผ้าโดยเครื่องวินช์.....	61
11	กระบวนการลอกแบริ่งออกจากผืนผ้า.....	63
12	การเตรียมชิ้นทดสอบแบบแกรบ.....	65
13	การเตรียมชิ้นทดสอบแบบเรเวสล์ขนาดกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร.....	66
14	การเตรียมชิ้นทดสอบแบบเรเวสล์ขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร.....	66
15	การเตรียมชิ้นทดสอบแบบแกรบปรับปรุง.....	68
16	การเตรียมชิ้นทดสอบแบบแกรบดัดแปลง.....	70
17	วิธียัดชิ้นทดสอบ.....	72
18	แสดงขั้นตอนการหมักและการลอกแบริ่งออกจากผืนผ้า.....	90
19	แสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	115
20	แสดงบ่อน้ำบาดน้ำทิ้งของโรงงานบริษัทอุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่ง.....	132
21	แสดงบริเวณบ่อน้ำบาดที่มีแบคทีเรียเจริญอยู่มาก.....	132
22	แสดงการใช้อุปกรณ์ในการเก็บน้ำตัวอย่าง.....	133
23	แสดงการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในขวด.....	133
24	แสดงจุดที่เก็บแบคทีเรีย.....	133
25	แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการรีฟลักซ์หาปริมาณซีไอดี.....	134
26	แสดงการติเตรตเพื่อหาจุดสมมูล.....	134
27	แสดงการวัดพีเอชของน้ำด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์.....	134
28	แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์หาปริมาณแอมแอลเอสเอส.....	135
29	แสดงวิธีวิเคราะห์หาปริมาณแอมแอลเอสเอส.....	135

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
30	แสดงการวางกระดาดากรองลงในกรวยบुकเนอร์.....135
31	แสดงการนำกระดาดากรองที่ทำการกรองแล้ววางในจานระเหยเพื่อเตรียมเข้าเตาเผา....136
32	แสดงการนำกระดาดากรองเข้าเตาเผา 550 องศาเซลเซียส.....136
33	แสดงการนำกระดาดากรองเข้าอบที่ 110 องศาเซลเซียส.....136
34	แสดงการแพดด้วยเครื่องแพด.....137
35	แสดงการนำผ้าหลังแพดเข้าตู้อบที่ 60 องศาเซลเซียส.....137
36	แสดงลักษณะเครื่องเขย่าที่ใช้ในการทดสอบ.....138
37	แสดงการทดสอบการลอกแบ่งด้วยเครื่องเขย่า.....138
38	แสดงเครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้า.....139
49	แสดงปากจับของเครื่องทดสอบ.....140
40	แสดงวิธีทดสอบแรงดึงขาดแบบวิธีแกรบ.....140
41	แสดงการเดินเครื่องทดสอบ.....140
42	แสดงการทดสอบขณะแรงดึงขาดสูงสุดที่ทำให้ผ้าขาด.....140

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมส่งออกที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ แต่การส่งออกสิ่งทอประสบปัญหารายได้ตกต่ำหลังจากที่เคยขยายตัวสูงจนเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ให้ประเทศสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากแต่เดิมไทยมีฐานทรัพยากรแรงงานราคาถูกจำนวนมาก จึงมีความสามารถในการแข่งขันสูง แต่ปัจจุบันค่าแรงงานปรับตัวสูงขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมโดยรวมลดลงเมื่อเทียบกับประเทศที่มีค่าจ้างแรงงานราคาถูก เช่น จีน เวียดนาม อินโดนีเซีย ที่ผลิตสินค้าระดับเดียวกัน และมีการนำเข้าวัตถุดิบโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เคมี ซึ่งต้องนำเข้าเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ผู้ผลิตต้องแบกรับต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น (พิชัย พงษ์วีรัตน์, 2540 : 8) สำหรับในประเทศไทยมีการนำเข้าเอนไซม์มาใช้งานในอุตสาหกรรมทางด้านอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมผลิตผงซักฟอก และอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นกลุ่มหลัก โดยมีการใช้เอนไซม์เป็นปริมาณถึง 70% ของตลาดเอนไซม์ทั้งหมด (ศิริศักดิ์ สารโสภณ, 2542 : 31) และยังต้องนำเข้าเอนไซม์จากต่างประเทศเป็นมูลค่าปีละหลายล้านบาท ดังนั้นการศึกษากการผลิตเอนไซม์จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการผลิตขึ้นใช้เองในประเทศ และยังเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นใช้ภายในประเทศแทนการพึ่งพาหรือการนำเข้าจากต่างประเทศ (ขจีนาฏ โพธิเวสกุลและคณะ, 2542 : 2) และจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมเกษตรทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตร รวมทั้งน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้บางอย่างได้ถูกนำกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ปุ๋ย อาหารสัตว์ หรือเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ (Lane, 1984 : 245) แต่ก็ยังมีวัสดุเหลือทิ้งบางส่วนที่ยังถูกปล่อยให้สูญเปล่า ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเพื่อกำจัดและนำเอาวัสดุของเสียมาใช้ประโยชน์มากขึ้นโดยอาศัยเทคโนโลยีที่เหมาะสม มีการปรับปรุงเทคโนโลยีชีวภาพให้ดีขึ้น สามารถนำไปสู่อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือการผลิตเชิงพาณิชย์ เป็นธุรกิจที่มีมูลค่ามหาศาล และนับวันจะเติบโตอย่างรวดเร็ว นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง รวมถึงประโยชน์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ (อาภรณ์ จันทรสมวงศ์, 2541 : 50) ในขณะที่สภาพพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติได้คาดการณ์เศรษฐกิจรวมของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2543 มีมูลค่าถึง 250,000 ล้านดอลลาร์ โดยมีสัดส่วนตลาดดังนี้ เป็นภาคอุตสาหกรรม 35% บริการ 60% และเกษตรน้อยกว่า 5% หากเปลี่ยนรูปวัสดุการเกษตรที่มีราคาต่ำแปรรูปให้เป็นสินค้าเกษตรอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีจุลชีววิทยาให้เป็นประโยชน์ ผลิตภัณฑ์ที่มีราคาดีขึ้น ก็จะทำให้รายได้ส่วนตลาดของเกษตรเติบโตและสูงขึ้นแน่นอน (บุษบา ยงสมิทธิ์, 2541 : 259-260)

อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำจำนวนมาก ประมาณว่าในการผลิตแป้ง 1 ตัน มีน้ำทิ้งที่จำต้องบำบัด 20 ลูกบาศก์เมตร โรงงานผลิตแป้งมันส่วนใหญ่มีกำลังผลิตวันละ 100

ตัน จะมีน้ำที่ออกจากโรงงานมากกว่าวันละ 2,000 ลูกบาศก์เมตร ในรูปซีไอดี 4,950 – 45,200 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชระหว่าง 4.2 – 6.0 (มรกต ตันติเจริญ และ คณะ. 2534 : 13) จากรายงานการวิจัยพบว่าน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังเมื่อแยกโดยใช้เครื่องตีแคนเตอร์ ประกอบด้วยปริมาณสารอาหารมีไนโตรเจน 0.6 กก./ตัน, ฟอสฟอรัส 0.09 กก./ตัน, โพแทสเซียม 2.0 กก./ตัน, แมกนีเซียม 1.5 กก./ตัน มีค่า บีไอดี 20 กก./ตัน (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540 : 26) ซึ่งแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหามลพิษทางน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ คือ การนำน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีสารอินทรีย์หรือแร่ธาตุอาหารไปเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลาย หรือใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์และแร่ธาตุเหล่านั้นได้ แล้วนำจุลินทรีย์นั้นไปใช้ประโยชน์อีกทีหนึ่ง โดยอาศัยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยอาศัยจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตกรดอินทรีย์ (Acidogenic bacteria) ซึ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตกรดอินทรีย์จะทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกลาง ค่า pH ประมาณ 5.5 หรือต่ำกว่า (Tata, Energy Reserch Institue. 1985 : 5) จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ พวกเซลลูโลส ไขมัน โปรตีน ให้เป็นโมเลกุลเล็กลงและละลายน้ำได้ เช่น กรดอะซิติก กรดแลกติก กรดบิวทีริก และ เอทานอล (Donald. 1987 : 96) ผลที่ได้จากกระบวนการหมักดังกล่าวจะใช้แบบที่เรียวย่อยสลายแป้งบนผืนผ้าแบบที่เรียผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยแป้ง โดยการลอกแป้งเป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นสำหรับผ้าทอ เนื่องจากในการทอผ้าจะต้องมีการลงแป้งเส้นด้ายยีนก่อนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทอ เมื่อนำผ้าที่ทอเสร็จแล้วไปทำการย้อมแป้งที่เคลือบอยู่บนเส้นด้ายจะมีผลกระทบต่อการดูดซึมน้ำและสารเคมีจึงจำเป็นที่จะต้องขจัดออกไป (กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2540 : 3) ในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ มีการนำเอนไซม์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างมากมาย สำหรับในอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น การลอกแป้งโดยใช้สารเอนไซม์ เป็นการใช้งานที่รู้จักกันมากที่สุด เอนไซม์อะไมเลสสามารถทำลายแป้งแต่มันจะไม่มีผลกระทบกับเซลลูโลสเลย ลักษณะการทำงานที่เฉพาะเจาะจงนี้ทำให้มันมีความเหมาะสมอย่างยิ่งกับการลอกแป้ง และก็ได้มีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางมานานกว่า 50 ปีแล้ว (กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2534 : 3)

การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมโดยชีววิธี (Bioremediation) เป็นกระบวนการที่นำจุลินทรีย์มาใช้ในการป้องกัน กำจัด หรือลดปริมาณสารมลพิษ ทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ซึ่งปนเปื้อนอยู่ใน สิ่งแวดล้อม การฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมโดยชีววิธีนี้กำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เสียค่าใช้จ่ายน้อย และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีการนี้ ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อ สิ่งแวดล้อม เพราะสารมลพิษจะถูกเปลี่ยนไปเป็นมวลชีวภาพของเซลล์จุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสารที่คงตัวและไม่เป็นพิษ (กรประภา เครือวัลย์. 2543 : 7)

ผู้วิจัยจึงเห็นว่าวิธีการที่จะช่วยลดปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ยังเหลืออยู่ในน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังคือ วิธีการทางชีวภาพ โดยการนำน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ไป เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ทำการหมักให้ได้เอนไซม์นำไปใช้ในการลอกแป้งบนผืนผ้าช่วยลดปัญหาด้านทุนการผลิตทั้งยังเป็นการลดปัญหาสภาพแวดล้อม

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ความสำคัญของการวิจัย

ผลจากการวิจัยเรื่องนี้ เป็นประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอในการเตรียมวัสดุสิ่งทอ คือ

1. เพื่อทดแทนเอนไซม์ที่ได้จากการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ผู้ผลิตต้องแบกรับต้นทุนในการผลิตที่สูง โดยการนำน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์มาทำการหมักให้ได้แบคทีเรีย โดยแบคทีเรียจะผลิตเอนไซม์เพื่อนำไปใช้ในการลอกแป้งบนผืนผ้าได้
2. เป็นการลดต้นทุนในการผลิตในขั้นตอนการเตรียมผ้า โดยนำน้ำทิ้งมาใช้แทนน้ำที่จะต้องใช้ในขั้นตอนการลอกแป้งบนผืนผ้า ทำให้ประหยัดวัตถุดิบที่เข้ากระบวนการทั้งปริมาณน้ำและเอนไซม์

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาทดลองในครั้งนี้ บรรลุผลตามจุดมุ่งหมายที่ได้ตั้งไว้ ผู้ทดลองได้กำหนดขอบเขตการศึกษาไว้ดังต่อไปนี้คือ

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ น้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่นำมาจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่ง จำกัด

ตัวแปรที่ศึกษา

1. สมบัติของน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังก่อนทำการหมัก ทำการวิเคราะห์หาสมบัติด้านเคมี วิเคราะห์ในด้านปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารแขวนลอยระเหย พีเอช
2. สมบัติของน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังระหว่างทำการหมัก วิเคราะห์หาสมบัติในด้าน ปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรีย
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก
4. การทดสอบการลอกแป้งบนผืนผ้า
5. อุณหภูมิที่ทดสอบ
6. ระยะเวลาที่ทดสอบการลอกแป้ง
7. การทดสอบคุณสมบัติของผ้า
8. สมบัติของน้ำทิ้งหลังการลอกแป้ง วิเคราะห์หาสมบัติในด้าน ปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรีย

นิยามศัพท์เฉพาะ

การลอกแบ่งบนผืนผ้า

หมายถึง การขจัดสารลงแบ่งออกจากผืนผ้าที่ได้จากการลงแบ่งเส้นด้ายยืนในการทอผ้าด้วยการย่อยแบ่งออกด้วยเอนไซม์

เอนไซม์ที่ได้จากแบคทีเรีย

หมายถึง เอนไซม์จากแบคทีเรียที่ได้จากการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

น้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

หมายถึง น้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังที่ถูกแยกออกจากเนื้อแป้ง ด้วยเครื่องตีแคนเตอร์และซูเปอร์เรเตอร์โดยใช้หลักแรงหนีศูนย์กลาง น้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์จะประกอบไปด้วย ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ รวมทั้งพวกเส้นใยและกาก

สมบัติของน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังก่อนทำการหมัก

หมายถึง สมบัติทางเคมีของน้ำทิ้ง โดยนำน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์มาทดสอบ ปริมาณซีไอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรีย (ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน)

ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก

หมายถึง ระยะเวลาที่สั้นที่สุดต้องใช้ในการหมัก เป็นระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมักถูกกำจัด เพื่อให้แบคทีเรียสามารถเพิ่มจำนวนให้มีปริมาณคงที่ ใช้ควบคุมประสิทธิภาพของกระบวนการหมักแบบชีวภาพ โดยอัตราการย่อยสลายในกระบวนการหมักจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักอินทรีย์สารจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นก็จะลดลง

สมบัติน้ำทิ้งระหว่างการหมัก

หมายถึง การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของน้ำทิ้งระหว่างการหมักน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ โดยนำน้ำทิ้งที่ได้จากการเก็บกักที่ระยะเวลาต่างๆ มาทดสอบปริมาณซีไอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรีย

อุณหภูมิที่ทดสอบ

หมายถึง อุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยแบ่งออกจากผืนผ้า โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส

สมบัติน้ำทิ้งหลังการลอกแบ่ง

หมายถึง การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของน้ำทิ้งหลังผ่านการย่อยแบ่งบนผืนผ้าออกแล้ว โดยนำน้ำทิ้งที่ได้มาทดสอบปริมาณซีไอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรีย (ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน)

การทดสอบการลอกแบ่งบนผืนผ้า

หมายถึง ระยะเวลาที่เอนไซม์อะไมเลสที่ได้จากการหมักน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์มาทำการย่อยแบ่งบนผืนผ้าตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งปริมาณแบ่งบนผืนผ้าหมด (ใช้หน่วยเป็นชั่วโมง) โดยจะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยปริมาณแบ่งบนผืนผ้าที่ลดลงเนื่องจากถูก

ไฮโดรไลส์ด้วยเอนไซม์อะไมเลส ปริมาณแป้งที่ลดลงจะขึ้นกับอุณหภูมิ ระยะเวลา ที่ใช้ในการลอกแป้งและ ปริมาณเอนไซม์ (ปริมาณสารลงแป้งใช้หน่วยเป็นมิลลิกรัม) โดยมีเกณฑ์ดังนี้

ระยะเวลาในการลอกแป้ง 2 และ 18 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสด้วยเอนไซม์อะไมเลสเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แป้งจะถูกย่อยไปร้อยละ 49 และร้อยละ 75

ระยะเวลาในการลอกแป้ง 2 และ 18 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสด้วยเอนไซม์อะไมเลสเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แป้งจะถูกย่อยไปร้อยละ 85 และร้อยละ 89 (สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา. 2540 : 9)

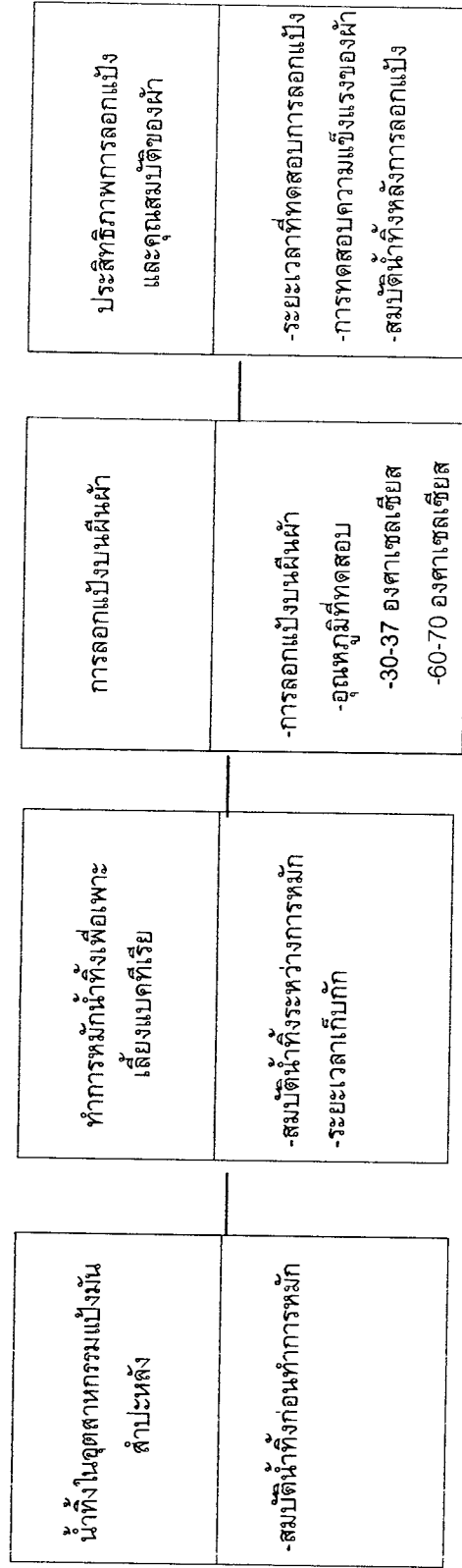
การทดสอบผลการลอกแป้งว่ามีแป้งเหลืออยู่มากหรือน้อย สังเกตสีที่ได้จากการทดสอบด้วยสารละลาย ไอโอดีน

ผลการทดสอบ	ถ้าเป็นสีน้ำเงิน	แสดงว่ามีแป้งอยู่บนผ้าแป้งยังไม่สลายตัว
	ถ้าเป็นสีม่วงแดง	แสดงว่าแป้งบางส่วนถูกย่อยเป็นเด็คซ์ทริน
	ถ้าเป็นสีน้ำตาลแดง	แสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายหมด
	ถ้าเป็นสีเหลือง	แสดงว่าไม่มีแป้งเหลืออยู่เลย

การทดสอบหาความแข็งแรงของผ้า

หมายถึง การทดสอบหาแรงดึงขาดของผ้าฝ้ายขัดดิ่งตามแนวผ้าด้านยืนและผ้าด้านพุ่ง โดยวิธีทดสอบ แรงดึงขาด(Grab Test) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121-2526 และแรงดึงที่ทำให้ผ้าขาดตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 65-2517 ต้องทนแรงดึงไม่น้อยกว่า 196 นิวตัน หรือ 20 กิโลกรัมแรง

กรอบแนวคิดในการวิจัย (Conceptual framework)



ภาพประกอบ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมุติฐานการวิจัย

การลอกแบ่งบนผืนผ้าด้วยการใช้เอนไซม์ที่ทำการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรม
แบ่งมันสำปะหลังได้หมด และมีความแข็งแรงของผืนผ้าตามเกณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 65-2517

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาทดลองการลอกแป้งออกจากผืนผ้า ผู้ทดลองได้ค้นคว้าเอกสารตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้การศึกษาทดลองครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ดังนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลังและการผลิตแป้งมันสำปะหลัง
2. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้ง
3. การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์
4. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับขั้นตอนการเตรียมสิ่งทอและการทดสอบคุณสมบัติสิ่งทอ
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลังและการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังและอุตสาหกรรมผลิตมันสำปะหลังมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย เพราะมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ เกษตรกรปลูกกันแพร่หลายไปทั่วทุกภาคของประเทศไทย มันสำปะหลังโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือชนิดขม (Bitter Type) และชนิดหวาน (Sweet Type) โดยชนิดขมใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

อุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch อุตสาหกรรมผลิตแป้งตัดแปรและอุตสาหกรรมผลิตแป้งแปรรูป โดยที่แป้งมันสำปะหลังชนิด Native Starch เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำ ในกระบวนการผลิตมาก และกำเนิดน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง โดยผลจากการศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณและความสกปรกของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้

สรุปได้ว่าในขณะที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดนี้ได้จำนวน 1 ตัน จะเกิดน้ำเสียที่มีปริมาณ 10-20 ลูกบาศก์เมตร และมีค่าบีโอดีประมาณ 55-200 กิโลกรัม ซีโอดีประมาณ 130-400 กิโลกรัม ของแข็งแขวนลอย 40-140 กิโลกรัม ฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 0.2-0.6 กิโลกรัม และไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ 3-10 กิโลกรัม (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540 : 9)

1.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

หลักการสำคัญในการผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดนี้ คือการสกัดแป้งออกจากเซลล์ของรากมันสำปะหลัง โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัด เพราะโปรตีน เกลือแร่ สิ่งแปลกปลอมอื่นๆ สามารถละลายน้ำได้ดีและใช้เครื่องกลเช่นการเหวี่ยงแยก (Centrifuge) ในอัตรารอบสูงๆ (แรงแยกสูง) เนื่องจากโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกับแป้งมาก การสกัดแป้งให้มีความบริสุทธิ์สูงๆ จะทำให้ได้แป้งที่มีคุณภาพคงที่

ขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีดังนี้

1. การกำจัดเศษรากมันสำปะหลัง ในระหว่างการเก็บเกี่ยวควรกำจัดเศษรากมันสำปะหลังที่ติดมาด้วย ออกให้หมด เนื่องจากเศษของรากเหล่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปอกเปลือก การขูดและบด รากมันลดลง รวมถึงเป็นการเพิ่มปริมาณกากมันที่จะต้องกำจัดอีกด้วย

2. การรับและตรวจสอบคุณภาพหัวมันสำปะหลัง หลังจากรากมันสำปะหลังถูกส่งมายังโรงงานและผ่านการชั่งน้ำหนัก รวมทั้งการทดสอบหาปริมาณแป้งโดยอาศัยหลักของการลอยตัว (Bouyancy) ของวัตถุในของเหลวเพื่อตีราคาในการซื้อขายแล้ว รากมันจะถูกนำมาเทรวมกันไว้บนลานวัตถุดิบ เพื่อรอเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไปโดยทั่วไปรากมันมักจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตภายใน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันมิให้ปริมาณแป้งในหัวมัน ลดต่ำลง การเก็บรักษารากมันสดควรจะทำให้ในที่ร่มเพื่อป้องกันแสงแดด นอกจากนี้ยังควรแบ่งรากมันสดเป็นส่วนๆ ตามระยะเวลาที่ส่งถึงโรงงานที่แตกต่างกันอีกด้วย (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540 : 15)

3. การเตรียมรากมันสำปะหลัง

3.1 การกำจัดเศษดินทรายรากมันสำปะหลังที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วจะถูกส่งเข้าสู่ ตะแกรงร่อนดินและทราย (Sand Removal Drum) เพื่อกำจัดดินทรายที่ติดมากับรากมันและทำให้ผิวนอกของรากมันหลุดออก

3.2 การปอกเปลือกและการล้างรากมันสำปะหลังรากมันสำปะหลังที่ผ่านจากตะแกรงร่อนดิน ทราย จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องปอกเปลือกและเครื่องล้างรากมันสำปะหลัง ซึ่งจะใช้วิธีฉีดน้ำพ่นเป็นฝอยเพื่อทำความสะอาดรากมันที่ถูกปอกเปลือกแล้ว เศษเปลือกมันสำปะหลังจะถูกเก็บรวบรวมไว้และขายให้แก่เกษตรกรที่จะนำไปใช้เพาะเห็ด ในขั้นตอนนี้จะเกิดน้ำทั้งจากการล้างรากมันสำปะหลัง 1.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตันรากมันสำปะหลังสด (ในกรณีที่ไม่มีมีการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่)

4. การบดรากมันสำปะหลัง

4.1 การสับและขูดรากมันสำปะหลังรากมันสำปะหลังที่สะอาดจะถูกส่งไปยังเครื่องสับหัวมันโดยใช้รางส่งซึ่งติดตั้งด้วยโซ่ (Chain Conveyor) หรือบางโรงงานอาจใช้เครื่องตักขูดรากมัน (Rasp Bucket Conveyor) เครื่องสับรากมันจะสับรากมันให้เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว แล้วชิ้นมันนี้จะตกเข้าสู่เครื่องขูดรากมัน (Root Rasper) ซึ่งอยู่ด้านล่างทำให้ได้มันสำปะหลังชิ้นละเอียดยิ่งขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดแป้งกระบวนการบดและขูดรากมันสำปะหลังก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการแยกน้ำ (fruit water) ด้วยเครื่องตีแคนเตอร์ ประกอบด้วยปริมาณน้ำใช้ 0.4 ลูกบาศก์เมตรต่อตันรากมันสำปะหลังสด ในขั้นตอนการผลิตนี้กรดไฮโดรไซยานิกจะละลายอยู่ในน้ำ (fruit water) ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจึงทำด้วยโลหะชนิดดีเพื่อป้องกันการเกิดสารประกอบเฟอร์โรไซยานิก (Ferrocyanics) ซึ่งจะทำให้แป้งมีสีเหลือง

4.2 การแยกน้ำในหัวรากมัน (fruit water) ด้วยตีแคนเตอร์ (Decanter) รากมันสำปะหลังสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากถึงประมาณ 60-70% และในน้ำ (fruit water) ยังมีสารอาหารที่จำเป็นต่อพืช ได้แก่ โพแทสเซียม (K) สารประกอบไนโตรเจน (N) และสารประกอบฟอสฟอรัส (P) ในปริมาณสูง ซึ่งจุลินทรีย์

สามารถย่อยสลายได้ง่ายทำให้เกิดสารประกอบอัลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ดังนั้นหากในการผลิตแป้งมันสำปะหลังไม่มีขั้นตอนแยกน้ำ (fruit water) นี้ออกมาจากแป้งมันสำปะหลังจะทำให้คุณภาพแป้งที่ได้ต่ำลง

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังหลายแห่งจึงทำการแยกน้ำในหัวรากมัน (fruit water) ออกมาก่อนโดยการใช้เครื่องดีแคนเตอร์ อย่างไรก็ตามความสามารถในการแยกขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ น้ำทิ้งที่แยกมานี้จะปนกับน้ำทิ้งจากขั้นตอนการสับและบดรากมันสำปะหลังสด ดังนั้นวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการแยกน้ำทิ้งในหัวรากมัน (fruit water) ด้วยดีแคนเตอร์ ได้แก่ 1.0 ลบ.ม. ต่อตันรากมันสด

5. การสกัดแป้ง หลังจากทำการแยกน้ำ (fruit water) ออกจากรากมันสำปะหลังแล้ว กากมันจะถูกเติมน้ำและถูกนำเข้าสู่เครื่องสกัดแป้ง (Extractor) เพื่อแยกเซลลูโลสออกจากแป้ง โดยทั่วไปจะเป็นการสกัดแบบหลายครั้ง (multi-stage extractor) โรงงานส่วนใหญ่จะใช้ชุดสกัด 3 ชุดแต่โรงงานขนาดใหญ่อาจใช้ชุดสกัดถึง 4 ชุดต่อเนื่องกัน โดยชุดแรกซึ่งเป็นการสกัดหยาบจะใช้ตะแกรงขนาด 60-80 เมช (mesh) และชุดสุดท้ายจะเป็นการสกัดละเอียดโดยใช้ผ้ากรองขนาด 90 เมช การทำงานของเครื่องสกัดแป้งทั้ง 2 ชุดนี้เป็นเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยง ใช้หลักของแรงหนีศูนย์กลาง ในขณะที่เครื่องหมุนอยู่จะมีมันสำปะหลังละเอียดส่งเข้ามาตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันก็จะมีน้ำเจือปนเข้ามาอย่างสม่ำเสมอในรูปของ counter-current น้ำที่ใช้ในการสกัดแป้งนี้จะกลายเป็นน้ำทิ้งจากขั้นตอนการแยกแป้งซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป

เพื่อยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งจะเปลี่ยนโมเลกุลของแป้งเป็นกรดแลคติกโดยเฉพาะในกรณีที่โรงงานไม่มีการแยกน้ำ (fruit water) ออกก่อนหรือไม่สามารถแยกน้ำ (fruit water) ออกได้หมดจึงมักจะมีการเติมน้ำกำมะถันลงไปในช่วงขั้นตอนของการสกัดแป้งด้วย กากมันสำปะหลังจากขั้นตอนการสกัดแป้งจะมีน้ำอยู่ในปริมาณมากถึง 90-95% และมีปริมาณแป้งน้อยมาก กากมันสำปะหลังจะถูกแยกออกจากน้ำแป้งเพื่อนำเข้าสู่เครื่องอัดกากและนำไปตากแดดเพื่อนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ต่อไป

น้ำแป้งจากกระบวนการสกัดแป้งจะมีความเข้มข้นประมาณ 3 Be' (54 กิโลกรัมแป้งแห้งในน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร) สำหรับสิ่งเจือปนอื่นๆ ทั้งที่ละลายน้ำเช่น โปรตีน ไขมัน น้ำตาลหรือน้ำ (fruit water) ที่เหลือ และสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น กากมัน และเยื่อใย จะถูกกำจัดออกในขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้งซึ่งเป็นขั้นตอนต่อไป โดยสรุป กระบวนการสกัดแป้ง ประกอบด้วย น้ำกำมะถัน 2.2 ลูกบาศก์เมตรต่อตันรากมันสำปะหลังสด น้ำทิ้งจากเครื่องอัดกาก 0.2 ลูกบาศก์เมตร/ตันรากมันสำปะหลังสด

6. การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้ง เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาชีวเคมีจากจุลินทรีย์ ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของแป้งลดลง การผลิตแป้งมันสำปะหลังจึงต้องกระทำภายในเวลาอันสั้นที่สุด ดังนั้นในกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นของแป้งจึงมักเป็นกระบวนการต่อเนื่องที่ไม่มีถึงพักเช่นเดียวกับกระบวนการอื่นๆ ข้างต้นน้ำแป้งที่ถูกแยกออกจากกากมันสำปะหลังจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องแยก (separators) ซึ่งอาจเป็นเครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยง (Centrifugal separators) หรือ ไฮโดรไซโคลอน (Hydrocyclone) โดยโรงงานส่วนใหญ่จะใช้เครื่องแยกชนิดหมุนเหวี่ยง และเพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณภาพดีจึงมักใช้เครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยงจำนวน 2 ชุดเพื่อแยกกากมันออกให้หมดและทำให้น้ำแป้งเข้มข้น ภายหลังการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้งจะได้ น้ำแป้งที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 20 ถึง 22 Be' น้ำที่ใช้ในการล้างแป้งที่เติมในเครื่องแยกแบบหมุนเหวี่ยงนี้

อาจจะเป็นน้ำหรือน้ำกำมะถันก็ได้ ในขั้นตอนการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแข็งโดยใช้ centrifuge separator ต้องการน้ำใช้ 1.2 ลบ.ม.ต่อตันรากมันสด กำเนิดน้ำทิ้ง 2.0 ลบ.ม.ต่อตันรากมันสด

7. การทำให้แข็งแห้งและการบรรจุผลิตภัณฑ์ น้ำแข็งจะถูกแยกน้ำออกจากแข็งโดยการใช้เครื่องเซนติฟิวจ์ (centrifuge) ซึ่งจะทำให้ได้แข็งที่มีความชื้น 32-38% ทางเลือกของการทำให้น้ำแข็งแห้งด้วยการใช้เครื่องกรองสูญญากาศ ที่จะทำให้ได้แข็งที่มีความชื้น 40-45% นั้นไม่นิยมใช้ในโรงงานผลิตแข็งมันสำปะหลังในประเทศไทย เนื่องจากจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการอบแข็งแห้งเพิ่มขึ้นแข็งที่ถูกแยกเอาน้ำออกแล้วจะถูกพ่นเข้าสู่ท่อไอร้อน ซึ่งมีลมร้อนประมาณ 200°C จากเตาเผา (Bumer) เป่าเข้ามาด้วยความดันสูง ความแรงของลมจะพัดเอาแข็งขึ้นไปตามท่อที่สร้างเป็นปล่องสูง แล้วตกมาสู่ไซโคลน (Cyclone) ระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้แข็งแห้งเป็นช่วงเวลานั้นๆ เพื่อป้องกันการรวมตัวของแข็งเป็นเม็ดและเพื่อป้องกันการสลายตัวของแข็งอีกทางหนึ่งด้วย

แข็งมันที่ได้จากไซโคลนจะเป็นแข็งที่แห้งและละเอียดแต่ยังร้อนอยู่ ซึ่งจะต้องทำให้เย็นโดยทันที ด้วยการใช้ไซโคลนเย็น (Cooling Cyclone) ทั้งไซโคลนร้อน และไซโคลนเย็นจะต้องมีประสิทธิภาพในการแยกแข็งจากอากาศได้สูงถึง 99.95% หลังจากนั้นแข็งมันจะมีความชื้นอยู่ระหว่าง 12 ถึง 13% ก่อนจะถูกปล่อยลงสู่เครื่องร่อนแข็ง (Sifter) และทำการบรรจุต่อไป อากาศเสียที่มีแข็งปนเปื้อนที่เกิดจากเครื่องเป่าลมร้อนและลมเย็นนี้จะถูกบำบัดและนำแข็งกลับมาสู่กระบวนการผลิตใหม่ด้วย Bag filters หรือ Scrubbers

ลมร้อนที่ใช้ในการทำให้แข็งแห้งเกิดจากการเผาน้ำมันเตา และผ่านการกรองก่อนจะถูกเป่าเข้าสู่เครื่องอบแห้งเพื่อป้องกันแข็งถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกเพื่อให้คุณภาพของแข็งมีความสม่ำเสมอ แข็งที่แห้งแล้วจะถูกร่อนผ่านตะแกรงก่อนที่จะบรรจุลงสู่ไซโล โดยส่วนใหญ่ไซโลจะมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะบรรจุแข็งที่เกิดจากการผลิตใน 24 ชั่วโมงได้ การบรรจุแข็งลงถุงของโรงงานที่มีขนาดเล็กจะใช้ระบบกึ่งอัตโนมัติ ส่วนโรงงานที่มีขนาดใหญ่จะใช้ระบบอัตโนมัติในการเปิดถุงและบรรจุแข็งลงถุง (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540 : 17-19) น้ำทิ้งจากกระบวนการทำให้แข็งแห้ง 1.0 ลบ.ม.ต่อตันรากมันสำปะหลัง

8. การผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกนำไปใช้ในการป้องกันกิจกรรมของจุลินทรีย์ ที่จะเปลี่ยนโมเลกุลแข็งเป็นกรดแลคติก และป้องกันการเปลี่ยนสีของแข็งจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไซยานิกและออกซิเจน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ฟอกแข็งให้มีสีขาวด้วย

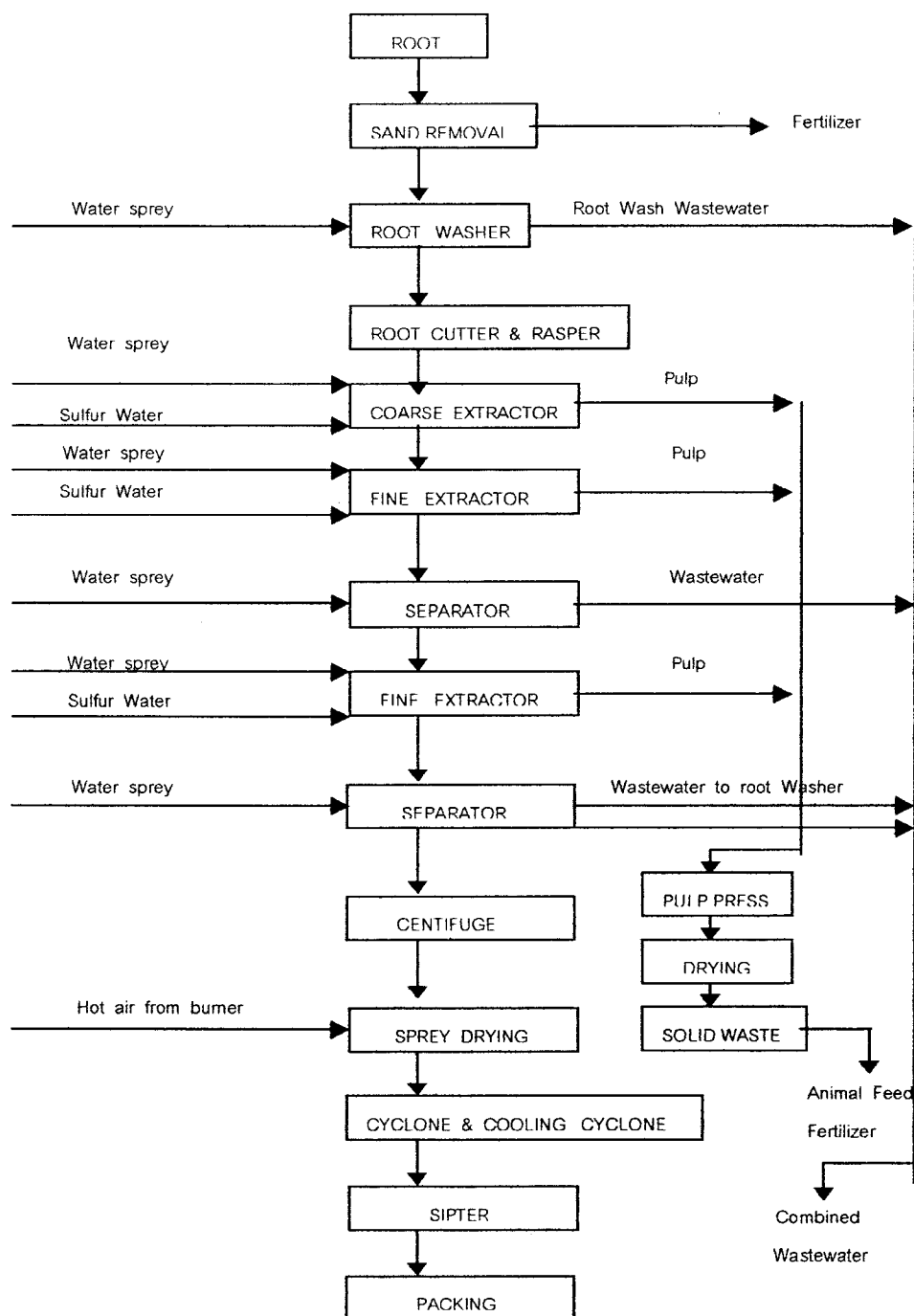
ในปัจจุบันโรงงานไม่จำเป็นต้องผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เอง โดยอาจซื้อจากผู้ผลิตตรงที่บรรจุในภาชนะแล้ว นอกจากนี้โรงงานยังอาจใช้โซเดียมไบซัลไฟต์แทนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้อีกด้วย

ความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มากเกินไปในน้ำล้างแข็งในขั้นตอนการสกัดแข็ง จะทำให้ความหนืดของแข็งลดลง สำหรับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการสกัดแข็งคือ มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณ 0.05 % ในน้ำใช้ และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดจะต้องน้อยที่สุดด้วย

การเตรียมสารละลายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือกรดซัลฟูริก (Sulphuric acid) ใช้วิธีการเผากำมะถันแล้วผ่านก๊าซที่เกิดขึ้นลงในน้ำจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำไปใช้คือประมาณ 0.05% จึงเก็บกรดซัลฟูริกที่เกิดขึ้นในถังไม้ หรือ ถังสแตนเลส (Stainless steel) เพื่อป้องกันการกัดกร่อน

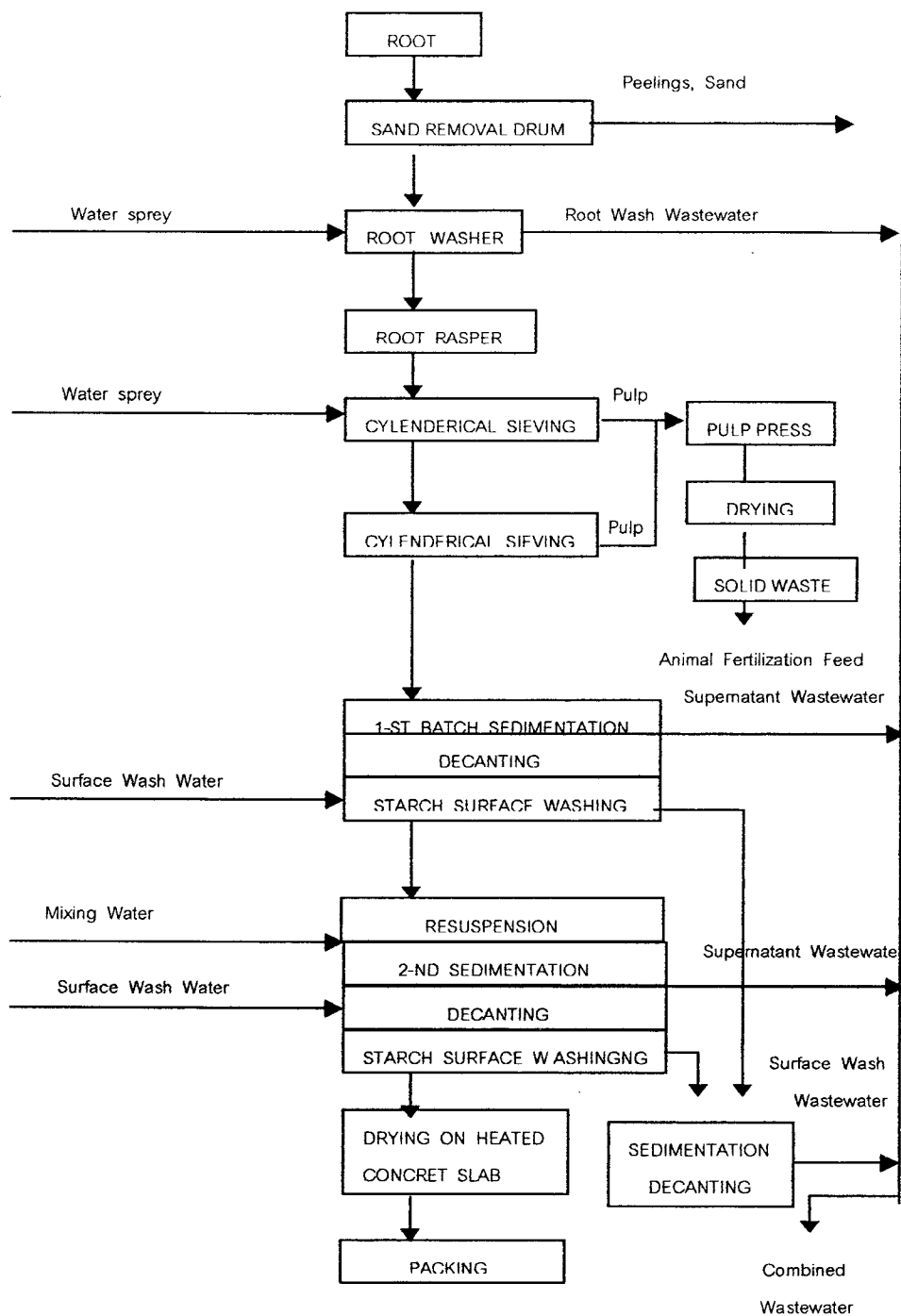
กำมะถัน 1 กิโลกรัม ต้องการอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้ 35 ลูกบาศก์เมตร และได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2 กิโลกรัม ดังนั้นในการเตรียมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.05% จำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรจำเป็นต้องใช้

กำมะถันประมาณ 0.25 กิโลกรัม นั่นคือในการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากรากมันสด 1 ตันจึงต้องการกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.05% จำนวน 0.3 ลูกบาศก์เมตรหรือคิดเป็นกำมะถัน 0.1 กิโลกรัม (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงานกรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2540 : 20)

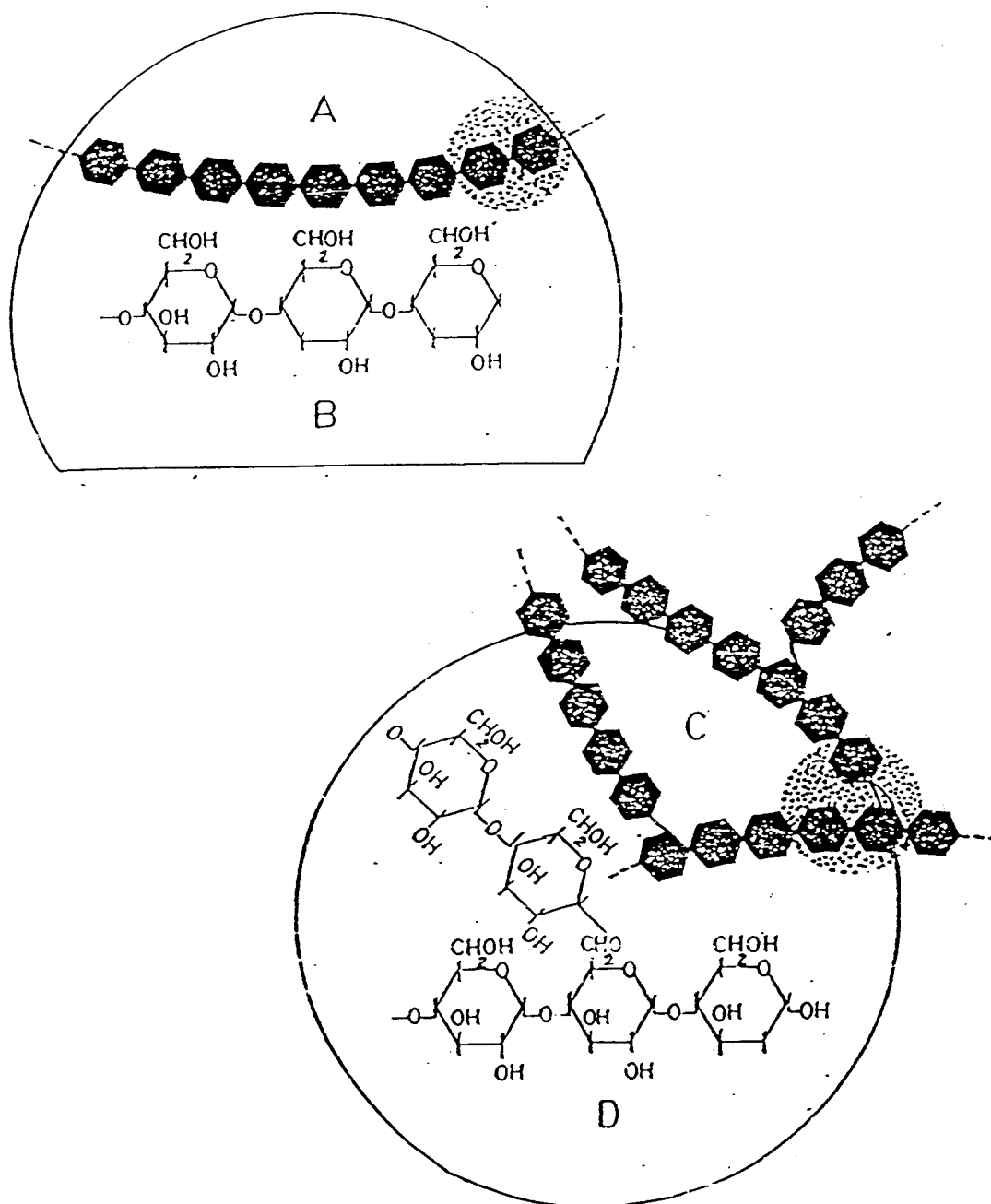


ภาพประกอบ 2 กรรมวิธีการผลิตแยมมันสำปะหลังเกรดหนึ่ง (สลัดแห้ง)

ที่มา: สุรินทร์ และคณะ (2525)

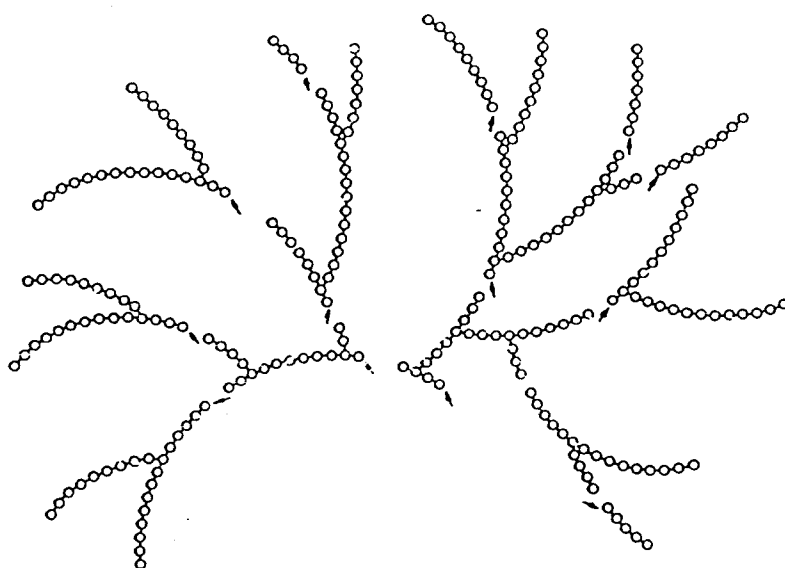


ภาพประกอบ 3 กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังเกรดสอง (อึ้งไฟ)
ที่มา:สุรินทร์และคณะ(2525)

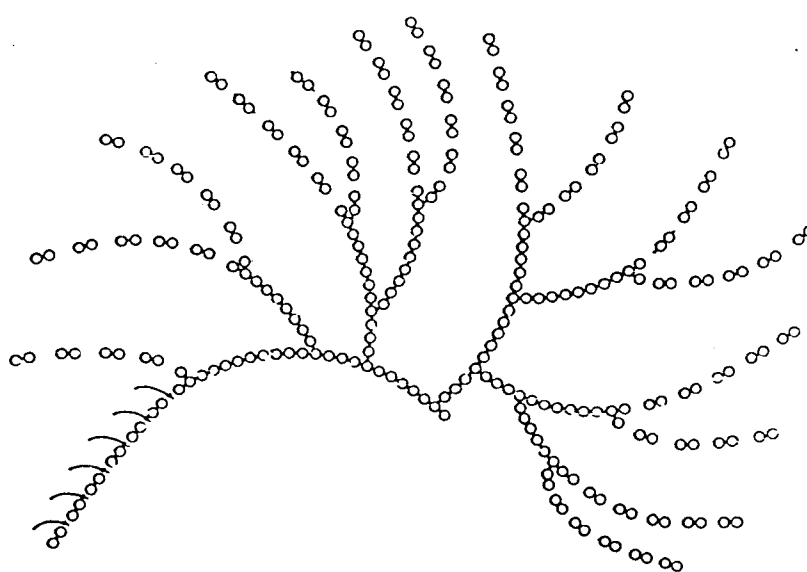


ภาพประกอบ 4 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน (Meyer, 1976)

- A : ภาพแสดงการเรียงตัวของโมเลกุลของอะไมโลส
- B : ภาพขยายโครงสร้างทางเคมีของอะไมโลส
- C : ภาพแสดงการเรียงตัวของโมเลกุลของอะไมโลเพคติน
- D : ภาพขยายโครงสร้างทางเคมีของอะไมโลเพคติน



ภาพประกอบ 5 การย่อยอะไมโลเพคตินด้วยแอลฟาอะไมเลสทำให้เกิดเด็กซ์ทริน
(Lillian. 1970 : 78)



ภาพประกอบ 6 การย่อยอะไมโลเพคตินด้วยเบตาอะไมเลสทำให้เกิดมอลโตสและเดกซ์ทริน
(Lillian. 1970 : 79)

1.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

โรงงานแป้งมันสำปะหลังเป็นโรงงานที่ใช้น้ำในกระบวนการผลิตค่อนข้างมาก ถ้าคิดเทียบจากวัตถุดิบแล้วจะใช้น้ำระหว่าง 5-10 เท่าของปริมาณวัตถุดิบ หรือถ้าคิดเทียบกับผลผลิตปริมาณน้ำทิ้งจะมี 30-50 เท่าของผลผลิต นอกจากจะมีปริมาณมากแล้วน้ำทิ้งยังมีความสกปรกสูงเมื่อวัดในรูปของบีโอดี สารแขวนลอย และอื่นๆ เช่น โรงงานที่มีกำลังการผลิตแป้งมัน 60 ตันต่อวัน จะมีน้ำเสียถึง 2,400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือคิดเป็นน้ำหนักรวมทุกบีโอดีประมาณ 12,000 กิโลกรัมบีโอดีต่อวัน ซึ่งเทียบเท่ากับความสกปรกที่มาจากประชากรถึง 300,000 คน (มานะ อัครวงกูร. 2526 :111)

ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังแบบสไลต์แห้ง (เกรดหนึ่ง) และแบบอึ่งไฟ (เกรดสอง) นั้นมีความแตกต่างกันพอประมาณ น้ำทิ้งจากการผลิตแป้งแบบสไลต์แห้งนั้นมาจาก การล้างหัวมัน (root washing) และเครื่องแยก (separator) ซึ่งน้ำทิ้งรวมทั้งหมดรวมกันเป็นน้ำทิ้งรวม (combined waste) และมีลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีดังแสดงในตาราง 1

ส่วนน้ำทิ้งจากการผลิตแป้งมันสำปะหลังแบบอึ่งไฟซึ่งเป็นแบบเก่า นั้น มาจากการล้างหัวมัน (root washing) และน้ำที่ปล่อยทิ้งจากการตกตะกอนในถังตกตะกอนชั้นต่างๆ และลักษณะของน้ำทิ้งดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 1 ลักษณะน้ำทิ้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังชนิดสไลด์แห้ง

Item	Unit	Raw Wastewater		
		Root Washing	Separature	Combined
Temperature	°C	27.0-31.0	28.0-30.0	23.0-33.0
PH	-	4.2-7.1	4.1-6.0	3.4-6.0
Suspended Solid	mg/l	344-7,280	1,110-4,200	793-8,400
Volatile Suspended Solids (VSS)	mg/l	980-6,040	1,010-1,990	752
Total Solids (TS)	mg/l	1,770-8,850	5,310-7,940	3,560-6,800
Total Volatile Solids (TVS)	mg/l	1,270-7,110	4,850-7,020	3,188-3,628
Settleable Solids	mg/l	10-100	15-110	21-200
Volatile Fatty Acids	mg/l as CH ₃ COOH	255-500	265-1,080	130-1,200
COD	mg/l	2,000-12,780	7,460-13,250	3,100-19,500
BOD	mg/l	200-3,750	4,800-11,660	3,000-8,407
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	mg/l	40-50	118-154	0.75-242
Ammonia-Nitrogen	mg/l	0-10	4-29	0-22
Organic-Nitrogen	mg/l	14.5-40	101-340	0.75-220
Phosphate	mg/l	1.22-24	3-31	0-17

ที่มา : สุเมธ ชวเดช และเกษม ปิงขวลิตโสภี 2529 : 9)

ตาราง 2 ลักษณะน้ำทิ้งโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับผลิตปุ๋ย

Item	Unit	Raw Wastewater			After 2-hr settle Root washer
		1 st-sed. tank	2 st-sed. tank	tank root washer	
Temperature	°C	26.5-28.0	26.5- 28.0	28.0-31.0	-
PH	-	5.5-6.0	4.0-6.0	6.0-6.5	-
Suspended Solid	mg/l	540-710	47-316	3,960-6,050	-
Volatile Suspended Solids (VSS)	mg/l	496-696	41-266	3,080-3,365	247-334
Total Solids (TS)	mg/l	6,700-12,220	2,650-6,535	7,640-26,850	1,440-2,260
Total Volatile Solids (TVS)	mg/l	4,790-9,940	2,150-4,910	2,050-4,550	900-1,800
Settleable Solids	mg/l	0	0	-	-
Volatile Fatty Acids	mg/l as CH ₃ COOH	1,475-2,800	770-1,300	315-500	300-400
COD	mg/l	7,980-14,635	3,875-4,155	7,600-16,200	1,575-2,720
BOD	mg/l	6,200-11,250	2,600-3,710	2,600-3,330	900-1,600
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	mg/l	86-165	33-53	58-67	16-27
Ammonia-Nitrogen	mg/l	11-20	9-12	6-10	2-5
Organic-Nitrogen	mg/l	75-145	24-41	52-57	14-22
Phosphate	mg/l	14-28	7-10	5-7	3-11

ที่มา : สุเมธ ขาเดช และเกษม ปิงขาคิตโสภี 2529 : 10)

1.2 แป้งมันสำปะหลัง (tapioca , cassavana , manioc , sago flour/starch)

1.2.1 ลักษณะสำคัญทางเคมีและทางกายภาพ

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยอัตราส่วนระหว่างคาร์บอน, ไฮโดรเจน, และออกซิเจน เท่ากับ 6:10:5 มีสูตรโมเลกุลเท่ากับ $(C_6H_{10}O_5)_n$ จะประกอบด้วยโพลีเมอร์ (polymer) 2 ชนิดคือ อะไมโลส (amylose) อะไมโลเพกติน (amylopectin) โพลีเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เป็นโฮโมโพลีเมอร์คือมีกลูโคสเป็นโมโนเมอร์ เหมือนกัน และอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะมีค่าคงที่ในแป้งแต่ละชนิด อะไมโลส (amylose) เป็นโพลีเมอร์แบบสายตรง โดยโมโนเมอร์คือกลูโคสจะเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α -D-(1-4) glycosidic linkage ประมาณ 200-2,000 หน่วย เป็นโพลีเมอร์สายตรงมีอยู่ประมาณร้อยละ 17 ส่วนอะไมโลเพกตินเป็นโพลีเมอร์ที่มีกิ่งก้านและแขนง ประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันเป็นโซ่แขนงที่ทุกๆ 20-30 หน่วยของพันธะ α -D-(1-4) glycosidic linkage ด้วยพันธะ α -D-(1-6) glycosidic linkage และเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในแป้งประมาณร้อยละ 83 อะไมโลสสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนได้สารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ สารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลสและไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปริมาณแป้งได้ อะไมโลเพกตินเป็นหนึ่งในโพลีเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่พบในธรรมชาติ จะมี degree of polymerization เฉลี่ยมากกว่า 1 ล้าน (มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยมากกว่า 200 ล้าน) น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของอะไมโลเพกตินไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งเลย และมีค่ามากกว่าประมาณ 1,000 เท่าเมื่อเทียบกับของอะไมโลส ปริมาณอะไมโลสในแป้งมันสำปะหลังพบว่าอยู่ระหว่าง 17-20% น้ำหนักแห้งของแป้ง ทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพกตินรวมกันจะเท่ากับหรือมากกว่า 99% น้ำหนักแห้งของแป้ง ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณแป้ง และปริมาณอะไมโลสแล้ว จะสามารถหอะไมโลเพกตินได้ (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกติน. 2540 : 1-6)

โดยทั่วไปเม็ดแป้งจะมีขนาดตั้งแต่ 2-100 ไมครอน อาจมีรูปกลม รูปไข่ และอื่นๆ เม็ดแป้งจะใส ไม่มีสี ผิวหน้าจะเรียบ ที่ผิวหน้าของเม็ดแป้งจะมีรูเล็กๆ ขนาด $0.7-20^{\circ}A$ จำนวนมากกระจายตัวบนผิวของเม็ดแป้งและแสดงคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งคือความสามารถในการเบี่ยงเบนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ เม็ดแป้งจะมีโครงสร้างหรือลักษณะที่เรียกว่า birefringence หรือกากบาท ซึ่งจะเห็นเป็น polarization crosses เมื่อตรวจเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสง polarized เม็ดแป้งมันสำปะหลังมีรูปกลมปลายด้านหนึ่งเป็นรอยตัด จึงมีลักษณะคล้ายรูปถ้วย มีขนาดตั้งแต่ 5-35 ไมครอน (0.005-0.035 มม.) เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 15 ไมครอน (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรการวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดแป้ง. 2540 : 2)

ตาราง 3 แสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
1. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	1. ละลายน้ำได้ดีกว่า
2. เมื่อต้มในน้ำจะหนืดขึ้นน้อยกว่าแต่ข้นกว่า	2. จะหนืดขึ้นมากกว่าแต่ใส
3. ให้สีน้ำเงินแก่กับสารไอโอดีน	3. ให้สีม่วงหรือน้ำตาล
4. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ $\alpha 1,4$	4. โมเลกุลต่อกันคล้ายกิ่งไม้ด้วยพันธะ $\alpha 1,4$ และ $\alpha 1,6$
5. ประกอบด้วยกลูโคส 200-2,000 หน่วย	5. ประกอบด้วยกลูโคสมากกว่า 10,000 หน่วย
6. เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

1.2.2 การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) ของแป้ง

เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เป็นจำนวนมากและยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่ออยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย เนื่องจากพันธะระหว่างโมเลกุลของเม็ดแป้งในบริเวณที่เป็นผลึก เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งตอนแรกจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของเม็ดแป้ง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ซึ่งเรียกว่า ช่วงอุณหภูมิเจลาตินในเซชัน ความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างในเม็ดแป้งเข้าด้วยกันแตกออก ทำให้ดูดซึมน้ำได้มากขึ้น เป็นผลทำให้เม็ดแป้งพองตัวทำให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิมหลายเท่า เม็ดแป้งจะสูญเสียลักษณะ birefringence เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวหรือเจลาตินในเซชันที่อุณหภูมิต่างกัน โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงต่างกันประมาณ 10 องศาเซลเซียส การพองตัวของเม็ดแป้งทำให้ละลายน้ำได้ดีขึ้น จะมีความใสและความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลือน้อยลง เม็ดแป้งจะเคลื่อนไหวยากขึ้นทำให้เกิดความหนืดขึ้นปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการพองตัวของเม็ดแป้งคือแรงยึดระหว่างพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้ง (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรการวิเคราะห์ความหนืด. 2540 : 9)

1.2.3 การเกิดรีโทรเกรเดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวใกล้กันและเกิดพันธะ

ไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุล จะได้โครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการตูดน้ำเข้ามาอีก ถ้าปล่อยให้อุณหภูมิต่ำลงอีก จะเกิดการจับเรียงตัวเป็นโครงสร้างดังกล่าวแน่นขึ้น โมเลกุลน้ำจะถูกบีบออกมาจนออกเจล (syneresis) ความหนืดจะเพิ่มขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรเกรเดชันแบ่ง (สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรการวิเคราะห์ความหนืด. 2540 : 9)

2. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้ง

ตัวกำหนดต่าง ๆ ที่ใช้แสดงลักษณะของน้ำทิ้งที่ทำการวิเคราะห์กันอยู่ทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การวิเคราะห์ทางกายภาพ (Physical methods) ได้แก่ อุณหภูมิ ความขุ่น สี กลิ่น
2. การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical methods) ได้แก่ พีเอช ซีโอดี บีโอดี
3. การวิเคราะห์ทางชีวภาพ (Biological methods) ได้แก่ การตรวจหาโคลิฟอร์ม การนับจากจานเพาะเชื้อมาตรฐาน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 23)

2.1 การวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ

วิเคราะห์หาสิ่งต่างๆ จากตัวอย่างน้ำที่รองรับมาเพื่อวิเคราะห์คุณภาพ เช่น สี กลิ่น ความขุ่น และการนำไฟฟ้า ซึ่งมีการวิเคราะห์ของแต่ละอย่างแตกต่างกันออกไปคือ

2.1.1 ลักษณะสีของน้ำ

วัดโดยนำตัวอย่างน้ำมาแยกโดยใช้แรงเหวี่ยงเพื่อให้ของแข็งที่แขวนลอยอยู่ตกตะกอนจนหมดได้น้ำใส นำน้ำใส่นั้นใส่ลงในหลอดเนสเลอร์ นำไปเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ในกรณีที่มีสีของน้ำมีความเข้มข้นมากจะต้องเจือจาง

2.1.2 ลักษณะกลิ่น

การตรวจสอบกลิ่นจะต้องนำตัวอย่างน้ำมาเจือจางด้วยน้ำที่ปราศจากกลิ่น จนได้กลิ่นน้ำที่น้อยที่สุดจะต้องมีผู้สูดกลิ่นอย่างน้อย 5 คน และต้องเก็บไว้ในขวดแก้วและต้องวิเคราะห์ทันทีที่เก็บมา แต่ถ้าจำเป็นจะต้องเก็บไว้จะต้องเก็บโดยปิดฝาแช่ตู้เย็นที่ปราศจากกลิ่นใดๆ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.1.3 ความขุ่น

การวัดความขุ่นของน้ำเนื่องจากมีสารแขวนลอยต่างๆ อยู่ เช่น ดิน ตะกอน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แพลงตอนและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่นๆ ควรวิเคราะห์ทันทีที่เก็บตัวอย่างมา แต่ถ้าจำเป็นไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในวันนั้นจะต้องเก็บรักษาตัวอย่างไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส และควรทำการวิเคราะห์ภายใน 24 ชั่วโมง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 24)

2.1.4 สภาพการนำไฟฟ้า

สภาพการนำไฟฟ้าเป็นตัวเลขที่บ่งถึงความสามารถของตัวอย่างน้ำในการนำกระแสไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในตัวอย่างน้ำและอุณหภูมิขณะทำการวัด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของความเข้มข้นของสารประกอบในน้ำที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า

สารประกอบอินทรีย์ของกรด ต่าง และเกลือ ตามลำดับ ในทางกลับกันสารประกอบอินทรีย์ เช่น ซูโครส เบนซิน จะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2535 : 27)

2.2 การวิเคราะห์ทางด้านเคมี

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่สำคัญในการตรวจวิเคราะห์

2.2.1 ของแข็ง (Solid)

ของแข็ง หมายถึง สารทุกอย่างในของเหลวยกเว้นน้ำ ของแข็งประกอบด้วยสารอินทรีย์ และอนินทรีย์มากมายหลายชนิด จึงวิเคราะห์โดย Gravimetric Method เพราะคุณสมบัติของสารที่เป็นของแข็งแต่ละตัวแตกต่างกัน การวิเคราะห์ของแข็งในน้ำเสีย มีการทำเพื่อหาดังนี้คือ

2.2.2.1 ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solids)

หมายถึงปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากน้ำตัวอย่างจนหมด แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103–105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปลอ่ยให้เย็นในเตสลิเกเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้น จะได้ปริมาณของของแข็งทั้งหมด มีหน่วยเป็น มก./ลบ.ตม. (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 50)

2.2.1.2 ตะกอนหนัก (Settleable Solids)

หมายถึงของแข็งจมตัวสู่ก้นภาชนะ เมื่อตั้งทิ้งไว้ในที่สงบ ภายในเวลา 1 ชั่วโมงการวิเคราะห์ควรให้น้ำตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้อง และหลีกเลี่ยงที่มีแสงแดดปริมาตรของของแข็ง ถูกตรวจวัดและรายงานในหน่วยมิลลิลิตรต่อลิตร

2.2.1.3 ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended Solid)

หมายถึงส่วนที่เหลือค้างบนกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐานของ 0.45 μm หลังจากกรองตัวอย่างและนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย ในน้ำตัวอย่างที่ได้กำจัด Dettleable Solid ออกจากน้ำเสียในถังตกตะกอนแล้ว เพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์ที่จะเข้าระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา และใช้ในการควบคุมระบบบำบัดด้วย

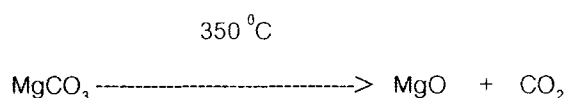
2.2.1.4 ปริมาณสารละลาย (Dissolved Solids)

หมายถึงสารที่สามารถผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน แล้วยังคงเหลืออยู่หลังจากระเหยไอน้ำจนแห้งแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 หรือ 108 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์ที่ 105 องศาเซลเซียส จะได้ค่าสูงกว่าที่ 108 องศาเซลเซียส เพราะการอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส โลหะไฮดรอกไซด์บางชนิดยังคงมีน้ำละลายอยู่ ทำให้ได้ค่าสูงกว่า ส่วนการอบแห้งที่ 108 องศาเซลเซียส สารอินทรีย์จะลดลงโดยระเหยเป็นไอแต่ยังไม่ถูกทำลาย คลอไรด์และเกลือในเตรทจะสูญหายไปไบคาร์บอเนตจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นคาร์บอเนต ซึ่งบางส่วนอาจสลายเป็นรูปของออกไซด์ หรือเกลือโดยทั่วไป ทั้งที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์เป็นหลัก

2.2.1.5 ปริมาณสารระเหยและปริมาณสารคงตัว (Volatile Solids)

คือของแข็งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ ตรวจวัดโดยนำกระดาษที่วิเคราะห์หาของแข็งแขวนลอยแล้ว หรือถ้วยกระเบื้องระเหยที่วิเคราะห์หาของแข็งละลายทั้งหมดแล้ว ไปเผาที่อุณหภูมิ 550

องศาเซลเซียส น้ำหนักของแข็งที่หายไปคือ ของแข็งระเหย มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร การทดสอบนี้มีข้อผิดพลาดหลายอย่างเนื่องจากการระเหยหายไปของน้ำในผลึก การระเหยหายไปของสารอินทรีย์ก่อนเผา การออกซิเดชันที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์บางชนิด และการสลายของเกลือแร่ระหว่างการเผาไหม้ การทำให้ของแข็งทั้งหมดร้อนที่ 550 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำและสารอินทรีย์ระเหยไป ที่ช่วงอุณหภูมิ 550-600 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ถูกต้อง ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้สารอินทรีย์อาจจะไม่ถูกออกซิไดซ์ในเวลาที่กำหนด แต่การสลายตัวของเกลืออินทรีย์จะลดลงด้วยเกลืออินทรีย์ส่วนใหญ่จะคงตัว ยกเว้น Magnesium Carbonate ที่ถูกสลายที่อุณหภูมินี้ตามสมการ



การวิเคราะห์หา Volatile Solids เพื่อตรวจหาคุณลักษณะของน้ำเสียโดยประมาณ และเพื่อใช้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

2.2.2 เอมแอลเอสเอส (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS)

หมายถึงปริมาณหรือความเข้มข้นของจุลชีพ (microorganisms) ในถังเติมอากาศในระบบเอกทิวเตดสลัดจ์ คิดเป็นปริมาณสารแขวนลอยของมิกซ์ลิกัวร์ (Mixed Liquor) ซึ่งหมายถึงของผสมระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนจุลชีพในถังเติมอาหาร

ประโยชน์ของการหาเอมแอลเอสเอส ก็เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราส่วนของอาหารต่อมวลจุลชีพ (Food to Mass ratio, F/M) ซึ่งคิดจากอัตราส่วนระหว่างบีโอดีที่เข้าสู่ถังเติมอากาศนั้น อัตราส่วนนี้เป็นตัวกำหนดและควบคุมระบบบำบัดที่สำคัญ เพราะเป็นค่าที่ใช้คุมขนาดของถังเติมอากาศ เวลาในการเติมอากาศ ปริมาณตะกอนจุลชีพ และประสิทธิภาพของระบบบำบัด ระบบบำบัดแบบเอกทิวเตดสลัดจ์ที่มีประสิทธิภาพในการลดบีโอดีได้สูงกว่าร้อยละ 90 มีค่าอัตราส่วนอาหารต่อมวลจุลชีพปกติไม่เกิน 0.4 และมีเอมแอลเอสเอสประมาณ 4,000-5,000 มก./ลบ.ตม. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเอมแอลเอสเอส ใช้วิธีเดียวกับการหาปริมาณสารแขวนลอยโดยใช้มิกซ์ลิกัวร์ แทนตัวอย่างน้ำทิ้ง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 52)

2.2.3 เอมแอลวีเอสเอส (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids, MLVSS)

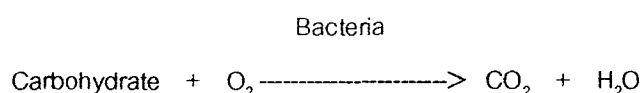
หมายถึงปริมาณอินทรีย์สารที่เป็นของแข็ง และใช้เป็นตัวแทนมวลจุลชีพได้ดีกว่าเอมแอลเอสเอส (ซึ่งจะรวมของแข็งทั้งที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร) มักจะมีค่าเป็นประมาณร้อยละ 50-80 ของค่าเอมแอลเอสเอส ประโยชน์ของการหาเอมแอลวีเอสเอสก็เช่นเดียวกันกับเอมแอลเอสเอส คือใช้เป็นเครื่องชี้ปริมาณจุลชีพในระบบบำบัด และใช้เป็นค่ากำหนดในการออกแบบหรือควบคุมการทำงานของระบบบำบัดได้ถูกต้องกว่าเอมแอลเอสเอส วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเอมแอลวีเอสเอส ใช้วิธีการหาเช่นเดียวกับการหาปริมาณสารแขวนลอยระเหย โดยใช้มิกซ์ลิกัวร์แทนตัวอย่างน้ำทิ้ง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 53)

2.2.4 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand ; BOD)

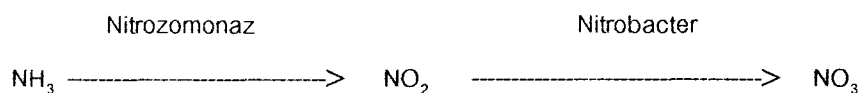
หมายถึงปริมาณของออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ค่าบีโอดี เป็นค่าที่ใช้ออกถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีที่ใช้ประเมินความสกปรกของน้ำเสียเนื่องจากออกซิเจนในอากาศสามารถละลายน้ำได้ในจำนวนจำกัดคือประมาณ 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นในน้ำเสียที่มีความสกปรกมากจำเป็นต้องให้ปริมาณความสกปรกเจือจางลงอยู่ในระดับซึ่งสมดุลพอดีกับปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ ซึ่งเกี่ยวข้องกับจุลชีพในน้ำ จึงจำเป็นต้องทำให้มีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลชีพคือมีอาหารเสริมสำหรับจุลชีพ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น

ปฏิกิริยาของบีโอดี ในการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย แบ่งเป็น 2 ระยะ

ระยะที่ 1 เป็นการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอน ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในเวลา 5-10 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังสมการ

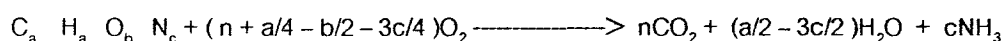


ระยะที่ 2 เป็นการย่อยสลาย Inorganic Nitrogen Compounds (Nitrification) และจะดำเนินการ ถึง Stable ประมาณ 20 วัน



2.2.5 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการ



สารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดยกเว้น Aromatic Hydrocarbon จะถูกออกซิไดซ์โดย Strong Oxidizing Agent ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด และ Amino Nitrogen จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย

2.2.6 ไนโตรเจน (Nitrogen)

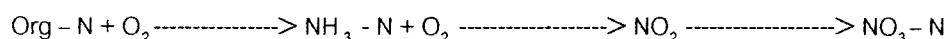
สารประกอบไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของพืช

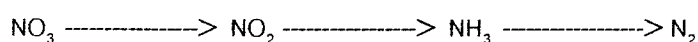
สัตว์และของเสียที่ขับถ่ายออกมา

2. สารประกอบอินทรีย์ในโตรเจน เช่น แอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท ซึ่งอาจอยู่ในรูปของปุ๋ย หรือเกลือของยูเรียสารประกอบไนโตรเจนรูปต่างๆ มีความสัมพันธ์กันโดยสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นรูปสารอนินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวและสารอนินทรีย์ในรูปต่างๆ ก็อาจเปลี่ยนกลับไปได้โดยแบคทีเรีย ซึ่งกระบวนการคือ การเปลี่ยนสารอินทรีย์ในรูปที่ไม่ละลาย ให้เป็นรูปที่ละลายและแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ กระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนแบ่งเป็น

1. Oxidation กระบวนการออกซิเดชันของสารประกอบไนโตรเจนจะเกิดในระบบที่ออกซิเจนอย่างเหลือเฟือ โดยอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็น $\text{NH}_3\text{-N}$ และ $\text{NH}_3\text{-N}$ จะเกิดออกซิเดชันเป็น ไนไตรท์ และ ไนเตรท เรียกว่า กระบวนการ Nitrification



2. Reduction กระบวนการนี้จะเกิดในระบบที่มีออกซิเจนลดลงหรือขาดออกซิเจนแบคทีเรียจะนำออกซิเจนในสารประกอบไนเตรทมาให้เกิดปฏิกิริยาตรงข้ามกับ Denitrification



ผลสุดท้ายที่ได้คือ ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นปัญหาในระบบบำบัดน้ำเสีย เพราะจะทำให้ Sludge ลอยตัวขึ้น

2.2.5 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูปของฟอสเฟต โพลีฟอสเฟตและอินทรีย์ฟอสเฟต ซึ่งอินทรีย์ฟอสเฟตนี้สามารถเปลี่ยนกลับมาเป็นฟอสเฟตโดยการต้มกับกรด และการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดโดยการทำให้เกิดสี

2.3 การวิเคราะห์ทางด้านชีวภาพ

ในธรรมชาติหรือในระบบบำบัดใดๆ เมื่อมีอาหารหรือน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์อยู่ จุลชีพทุกชนิดจะเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเจริญเติบโตของจุลชีพจะขึ้นอยู่กับการต้องการ ปริมาณ และชนิดของอาหาร อัตราการย่อยสลาย และสภาพแวดล้อมของจุลชีพแต่ละชนิด ระบบบำบัดน้ำทิ้งมักเกี่ยวข้องกับระบบบำบัดทางชีววิทยา บทบาทของจุลชีพ (microorganisms) จุลชีพที่สำคัญเหล่านี้ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา สาหร่าย โปรโตซัว ไทเฟอเรีย และครัสเตเชียน ปริมาณและชนิดจุลชีพเหล่านี้จะเป็นตัวชี้บอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดว่าดีหรือเลว การตรวจกระทำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์

2.3.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำทิ้งด้วยกล้องจุลทรรศน์

แบคทีเรีย (bacteria) เป็นจุลชีพที่สำคัญที่สุดในระบบบำบัดน้ำทิ้งแบบชีววิทยา เนื่องจากสามารถย่อย

ทำลายสารอินทรีย์ทั้งชนิดที่ละลายน้ำและชนิดที่ไม่ละลายน้ำ โดยปกติแบคทีเรียเป็นจุลชีพเซลล์เดียว มีรูปร่างเซลล์เดียว มีรูปร่างเป็นแท่ง (rod) กลม (coccus) หรือเป็นเกลียว (spiral) แต่ชนิดที่สำคัญที่สุดได้แก่ชนิดที่มีรูปร่างเป็นแท่งเคลื่อนไหวได้ ซึ่งในบางครั้งอาจจะอยู่รวมเป็นกลุ่ม (cluster) หรือเป็นลูกโซ่ (chain)

เชื้อรา (fungi) จัดเป็นพืชชั้นต่ำ หลายเซลล์ ไม่มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) จึงสังเคราะห์แสงไม่ได้ เซลล์พืช (vegetative cells) มีชื่อเฉพาะเรียกว่าไมซีเลียม (mycelium) ซึ่งประกอบไปด้วยไซโตพลาสซึม (cytoplasm) มีหลายนิวเคลียส เชื้อราส่วนใหญ่อยู่ในดินและในน้ำ ดำรงชีพได้โดยใช้พลังงานจากขบวนการหายใจหรือการหมักสลายตัวของสารอินทรีย์ละลายในธรรมชาติ บางชนิดดำรงชีพแบบปรสิต (parasite) อยู่บนพืชหรือสัตว์อื่น

สาหร่าย (protozoa) เป็นพืชเซลล์เดียวหรือหลายเซลล์ มีสารคลอโรฟิลล์ ทำให้สามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ได้จากแสงอาทิตย์และคาร์บอนไดออกไซด์ บางชนิดสามารถใช้สารอินทรีย์จากธรรมชาติได้โดยไม่ต้องใช้แสงอาทิตย์ ปฏิกริยาชีวเคมีของการสังเคราะห์สารอินทรีย์ของสาหร่ายนี้ยังได้ออกซิเจนออกมาด้วย จึงเป็นประโยชน์แก่แบคทีเรีย

โปรโตซัว (protozoa) เป็นสัตว์เซลล์เดียวสามารถเจริญเติบโตได้โดยอาศัยสารอินทรีย์ อาหารของโปรโตซัวส่วนใหญ่ได้แก่แบคทีเรีย โปรโตซัวแบ่งตามลักษณะรูปร่างได้ 3 กลุ่มคือ อมیبอย (amoeboid) มีหนวด (flagellate) และมีขน (ciliate)

โรติเฟอร์ (rotifer) เป็นสัตว์หลายเซลล์ มีเขี้ยวรอบบริเวณปาก ซึ่งใช้ทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่และบิอาหารเข้าปาก ปกติโรติเฟอร์จะกินสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายเป็นอาหาร โรติเฟอร์สามารถยึดติดตัวไปมาได้โดยอาศัยหางเป็นรูปแฉกที่ยึดติดกับผนังซึ่งอยู่กับที่ เช่น ผนังของบ่อเติมอากาศ (aeration tank) และผนังบ่อตกตะกอน (settling tank)

ครัสเตเชียน (crustacean) เป็นสัตว์หลายเซลล์ มีเปลือกแข็งหุ้มตัวสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดำรงชีวิตอยู่ได้โดยกินสารอินทรีย์ที่ไม่ละลาย สาหร่ายและแบคทีเรียอย่างได้แก่ แดฟเนีย (daphnia) และ โคปีปอด (copepod) (ธงชัย พรหมสวัสดิ์ . 2525 : 229-230)

2.3.2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางแบคทีเรีย

มาตรฐานของน้ำที่จะกำหนดปริมาณของแบคทีเรียและต้องเป็นชนิดโคลิฟอร์มซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากอุจจาระของคนและสัตว์เลือดอุ่น การตรวจสอบน้ำนั้นปราศจากเชื้อโรคหรือไม่ ทำได้โดยการหาแบคทีเรียเช่น โคลิฟอร์มถ้าตรวจสอบพบแสดงว่าน้ำนั้นน่าจะไม่ใช่ปลอดภัย แบ่งได้ 2 ชนิดตามแหล่งที่มาของมัน

1. ฟิคัลโคลิฟอร์ม พวกนี้อาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น ถูกขับถ่ายออกมาพร้อมกับอุจจาระ ทุกครั้งที่เกิดโรคระบาดเกี่ยวกับทางเดินอาหาร จะพบแบคทีเรียชนิดนี้ ตัวอย่างเช่น อี.โคไล (E.coli)

2. นอนฟิคัลโคลิฟอร์ม พวกนี้อาศัยอยู่ในดินและพืช อันตรายน้อยกว่าพวกแรก แต่ใช้เป็นแบคทีเรียชี้แนะถึงความไม่สะอาดของน้ำได้ ตัวอย่างเช่น เอ.แอโรจีเนส (A. aerogenes)

แบคทีเรียที่ถูกเลือกเป็นแบคทีเรียที่มีอยู่หลายตัวด้วยกัน คือ โคลิฟอร์ม สเตรปโตคอคคัส (streptococcus) คลอสทริเดียม (clostridium) พิวโดโมนาส (pseudomonas) การที่จะเลือกใช้ชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งน้ำที่จะตรวจ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 235)

2.3.3 การตรวจหาโคลิฟอร์ม

การตรวจหาโคลิฟอร์มที่นิยมใช้กันอยู่มี 3 วิธี

1. วิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number, MPN or Multiple Tube Technique)
2. วิธีเยื่อกรอง (Membrane Filter)
3. วิธีนับจากจานเพาะเชื้อมาตรฐาน (Standard Plate Count)

(ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 235-236)

3. การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์

จุลินทรีย์แพร่กระจายอยู่ทั่วไปในแหล่งต่างๆ ตามธรรมชาติ เช่น ในดิน น้ำ ตามร่างกายของคน สัตว์ บนผิวและภายในต้นพืช ในอาหาร รวมทั้งในอากาศ ซึ่งมีแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์ แหล่งธรรมชาติที่จุลินทรีย์เจริญนั้น จะประกอบไปด้วยสภาวะแวดล้อมที่สมบูรณ์และจุลินทรีย์ต้องการปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อการเจริญของแต่ละประเภท หรือชนิดของจุลินทรีย์ เช่น บางชนิดต้องการสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แต่บางชนิดต้องการสภาวะที่มีออกซิเจน แต่ปัจจัยเพื่อการเจริญที่มีความสำคัญยิ่ง ได้แก่ สารอาหาร ที่มีคุณสมบัติเป็นแหล่งของพลังงาน แหล่งธาตุคาร์บอน แหล่งธาตุไนโตรเจน แหล่งเกลือแร่ แหล่งวิตามิน ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ จะต้องพิจารณาว่าจะเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ประเภทใด ทั้งนี้เพื่อจะจัดเตรียมสูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ และปรับสภาวะแวดล้อมอื่นๆ ให้เหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่ต้องการจะเพาะเลี้ยง (กาญจนา ชีระกุล. 2538 : 45) การเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ นอกจากจะขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารอาหารเลี้ยงเชื้อด้วย ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิด มีความต้องการสารอาหารที่แตกต่างกัน จุลินทรีย์บางกลุ่มใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน ขณะที่บางกลุ่มใช้สารอนินทรีย์ แหล่งสารอาหารในอาหารเลี้ยงเชื้อที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์มีดังนี้ คือ

1. แหล่งพลังงาน (energy source) เป็นสารอาหารที่จุลินทรีย์นำไปสร้างพลังงานเพื่อการเจริญและกิจกรรมต่างๆ สารอาหารเหล่านี้ ได้แก่ กลูโคส ไขมัน หรือ เกลือแอมโมเนีย

2. แหล่งคาร์บอน (carbon source) เป็นสารอาหารที่จุลินทรีย์นำไปสร้างเป็นส่วนประกอบของเซลล์ ส่วนที่เป็นธาตุคาร์บอน สารอาหารดังกล่าว ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส หรือคาร์บอนไดออกไซด์

ความต้องการแหล่งพลังงาน และแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์เพื่อการเจริญนั้น ทำให้สามารถจำแนกจุลินทรีย์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือจุลินทรีย์ chemoheterotroph ซึ่งใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน กับกลุ่ม chemolithotroph ซึ่งใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน

ไม่ทนการสัมผัสกับอากาศ นั่นคือไม่ทนการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศในระหว่างการถ่ายเชื้อ และต้องการสภาวะไร้ออกซิเจนในการเจริญ (กาญจนา วีระกุล. 2538 : 61)

กระบวนการหมัก

การหมักในทางจุลชีววิทยาอุตสาหกรรมหมายถึง กระบวนการผลิตผลผลิตใดๆ ก็ตาม ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จำนวนมาก (mass culture) ซึ่งจะครอบคลุมทั้งกระบวนการแบบใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (สมใจ ศิริโชค. 2539 : 1)

การหมักแบ่งตามลักษณะของกระบวนการที่ใช้

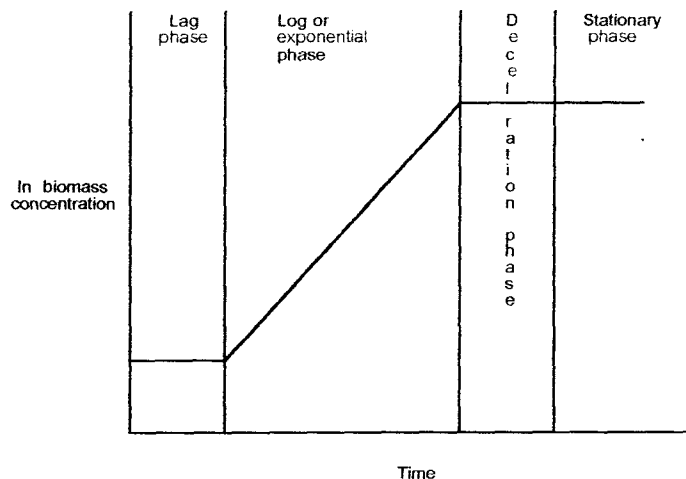
1. Batch fermentation เป็นการหมักแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งทำในระบบปิดที่มีสารอาหารเริ่มต้นปริมาณจำกัด เมื่อใส่จุลินทรีย์ที่ต้องการเพาะเลี้ยงลงไปในระบบแล้ว จะไม่มีการเติมสารอาหารใดๆ เพิ่มลงไปอีก
2. Continuous fermentation เป็นการหมักแบบต่อเนื่อง โดยมีการเติมอาหารใหม่และถ่ายอาหารเก่าออกจากระบบในอัตราเดียวกันตลอดเวลา ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องอาหาร
3. Fed-batch fermentation เป็นการหมักที่มีการเติมสารอาหารบางอย่างเพิ่มลงไปในการที่ใส่เพาะเลี้ยงจุลินทรีย์เป็นระยะๆ เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญและใช้สารอาหารได้อย่างเต็มที่ โดยไม่มีการถ่ายอาหารเก่าออก (สมใจ ศิริโชค. 2539 : 4)

การหมักแบ่งตามความต้องการอากาศได้เป็น

1. Aerobic fermentation เป็นการหมักที่ต้องการอากาศ เช่น การหมักกรดอะซิติก และการดัดรีก
2. Anaerobic fermentation เป็นการหมักที่ไม่ต้องการอากาศ เช่น การหมักอะซิโตนและบิวทานอล (สมใจ ศิริโชค. 2539 : 3)

3.1.1 การหมักแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch fermentation)

Batch fermentation เป็นกระบวนการหมักที่ทำโดยเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบปิด มีปริมาณสารอาหารเริ่มต้นจำกัด เมื่อใส่จุลินทรีย์ลงในอาหาร ระยะแรกเซลล์จะยังไม่มีการเพิ่มจำนวน เรียกว่า lag phase เนื่องจากเป็นระยะที่เชื้อกำลังปรับตัว ระยะเวลาในช่วง lag phase นี้ ในกระบวนการหมักระดับอุตสาหกรรมจะต้องทำให้สั้นที่สุดเพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยใช้เชื้อเริ่มต้นที่เหมาะสม หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะมีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้นตามลำดับ จนกระทั่งเข้าสู่ log หรือ exponential phase ซึ่งเป็นระยะที่จุลินทรีย์มีอัตราการเจริญสูงสุดและคงที่ (Stanbury and Whitaker. 1984 : 11)



ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงการเจริญของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงในระบบ Batch

ที่มา : Stanbury and Whitaker. 1984 :11

3.1.2 กระบวนการหมัก

กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารในสภาวะไร้ออกซิเจน สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียสามารถแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ (Acid Production) และขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน (Methane Production)

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนไฮโดรไลซิส

ในขั้นตอนนี้สารอินทรีย์เชิงซ้อน (Complex Organic Compound) ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถละลายน้ำได้ให้เป็นสารโมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้นั้นเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการเอนไซม์จุลินทรีย์สามารถสร้างเอนไซม์แล้วปล่อยออกมานอกเซลล์ เพื่อย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่ปล่อยออกมานอกเซลล์ (Extracellular Enzyme) จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้เป็นพวก Hydrolytic Bacterial และ Fermentative bacteria ทำให้สารอินทรีย์แตกตัวมีขนาดเล็กลงและที่ละลายน้ำได้ และเคลื่อนย้ายเข้าไปในเซลล์ที่จุลินทรีย์สามารถใช้สารโมเลกุลเล็กเหล่านี้เพื่อสร้างพลังงานและสังเคราะห์ส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้คืออะไร ขึ้นอยู่กับชนิดสารตั้งต้น เช่น ถ้าสารตั้งต้นเป็นคาร์โบไฮเดรต จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Simple sugar) โปรตีนเปลี่ยนไปเป็นเปปไทด์ หรือกรดอะมิโน ไขมันจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล นอกเหนือจากการย่อยที่เกิดจาก Hydrolytic Bacteria แล้วยังอาจมีปฏิกิริยาที่เกิดจากพวก Fermentative Bacteria ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์พวกสารประกอบแอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์ ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์รวมอยู่ด้วย ชนิดและปริมาณของแบคทีเรียในถังหมัก จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ (กาญจนา ธีระกุล. 2538 : 115)

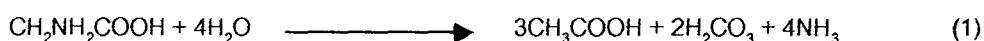
Complex polysaccharide	----->	simple sugar
protein	----->	peptide + amino acid
fat	----->	glycerol + fatty acid

การย่อยสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต

สารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตพบว่ามีส่วนมากเป็นพวก α -glycoside เช่น Starch sucrose glycogen และ amylose จะถูกย่อยสลายได้ง่ายโดยเอนไซม์ amylase ซึ่งถูกขับออกมาจากจุลินทรีย์ สารประกอบประเภทเพคตินถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ Pectinase และ amylase ส่วนพวกเซลลูโลส มีลักษณะคล้ายแป้งเป็นโพลีเมอร์ของกลูโคส (D-glucose) เชื่อมต่อกันด้วย β -(1, 4) เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักของผนังเซลล์พืชถูกย่อยสลายได้ยากแต่มีโปรตีนบางชนิดและแบคทีเรียบางสายพันธุ์ เช่น Clostridium sp. ซึ่งสามารถย่อยสลายเซลลูโลสเป็นเซลโลไบโอส ซึ่งถูกย่อยสลายต่อไปได้กระบวนการไร้อากาศ อัตราการย่อยสลายถูกจำกัดโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ ส่วนสารพวกลิกนินเป็นสารประกอบที่มีความอยู่ตัวสูง และเป็นอนุพันธ์ของ phenylpropane ซึ่งประกอบด้วย aromatic alcohol กับ side chain มีคาร์บอน 3 ตัว ลิกนินถูกย่อยสลายได้ยาก ดังนั้นถ้าสารประกอบใดมีลิกนินเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ทำให้การย่อยสลายลดลงถึงร้อยละ 30

การย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน

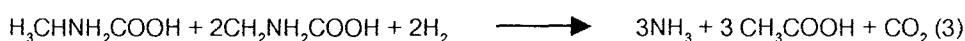
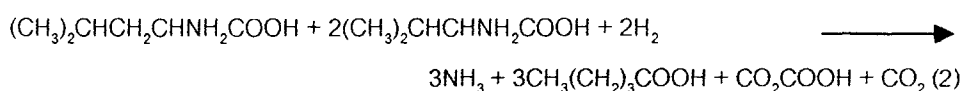
การย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน สารประกอบไนโตรเจน เช่น โปรตีน ยูเรีย เพียวรีน (purine) และไพริมิดีน (pyrimidine) มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายโดยผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ได้กรดอะมิโน ซึ่งกรดอะมิโนบางชนิดจะถูกย่อยสลายให้ผลผลิตเป็นไพรวาท ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสารตัวกลางชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนและจุลินทรีย์ จุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายโปรตีนในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ได้แก่ พวก Clostridium โปรตีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิดเชื่อมกันด้วยพันธะเปปไทด์ ซึ่งการย่อยสลายถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ protease และ peptidase เอนไซม์เหล่านี้อยู่ที่ผนังของเซลล์ หรืออยู่อย่างอิสระ และมีความจำเพาะเจาะจงต่อตำแหน่งของกรดอะมิโนในสายเปปไทด์ การย่อยสลายโปรตีนจึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งของกรดอะมิโน และกรดอะมิโนที่ได้จะถูกย่อยสลายต่อไปเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน หรือถูกนำไปใช้สร้างเซลล์ใหม่ได้โดยตรง แต่ในกระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศ นอกจากนี้นั้ยังมีกรดอะมิโนบางชนิดที่เปลี่ยนแปลงเป็นกรดอินทรีย์ระเหยได้ โดยไม่ต้องผ่านการเป็นกรดไพรวิก เช่น ถ้ากรดอะมิโนเป็นไกลซีน เมื่อย่อยสลายโดย Clostridium histolyticum จะเป็นอะซิเตท ดังสมการ (1)



ถ้ากรดอะมิโนเป็น ธีโรนีน เมื่อถูกย่อยสลายโดย Clostridium histolyticum จะได้เป็นอะซิเตท แต่เมื่อถูกย่อยสลายโดย Clostridium sporosphenifis จะได้เป็นโพรพิอเนตและถ้าถูกย่อยโดย Clostridium propionicum จะได้โพรพิอเนตกับบิวทีเรต

นอกจากนี้ มีกระบวนการย่อยสลายกรดอะมิโนโดยปฏิกิริยาควบคู่ระหว่าง Oxidation และ reduction deamination ของกรดอะมิโน 2 โมเลกุลนั้นเกิดขึ้นโดยโมเลกุลเป็นฝ่ายรับอิเล็กตรอน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า Stickland

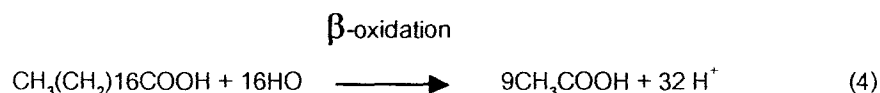
ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยา Oxidation Reduction ของลูซีนกับเวเลินได้กรดไอโซแวลริก ถ้าเป็นปฏิกิริยา Oxidation-Reduction ของอะลานีนและไกลซีน ได้กรดอะซิติก ดังสมการ (2) และ (3)



นอกจากนี้สารประกอบไนโตรเจนพวกเพียวรีน สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลุ่ม non-methanogenic bacteria ผลผลิตที่ได้จะขึ้นอยู่กับแบคทีเรียที่ใช้ในการย่อยสลาย เช่น uracil ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย Clostridium uracilium จะได้ผลผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย ถ้าเป็นแบคทีเรียพวก Clostridium acidurici จะได้ผลผลิตเป็นกรดอะมิโน กรดฟอร์มิก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย

ไขมัน เป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นอินทรีย์ เช่น เอสเทอร์ เมทานอล ไขมันเป็นสารที่ย่อยสลายได้ยาก ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุลินทรีย์ Clostridium sp. บางชนิดสร้างเอนไซม์ lipase ออกมาเพื่อย่อยไขมัน ไขมันจะถูกย่อยให้เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดพาลามิติก กรดไขมันจะถูกย่อยสลายในกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการ β -oxidation กลีเซอรอล จะถูกสลายต่อ ตามกระบวนการ glycolysis ให้ผลผลิตเป็นกรดไพรูวิก ซึ่งต่อไปจะถูกย่อยสลายไปในลักษณะเช่นเดียวกันกับการสลายสารพวกคาร์โบไฮเดรต ส่วนกรดไขมัน เช่น สเตียริกจะถูกออกซิไดส์ด้วยปฏิกิริยา β -oxidation ให้กรดอะซิติก และไฮโดรเจนอิสระ เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ดังสมการ (4)



ต่อมาได้มีการศึกษาและยอมรับว่ากระบวนการ β -oxidation ก็สามารถเกิดในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจุลินทรีย์จึงสามารถย่อยสลายกรดไขมันสายยาวไปเป็นกรดอะซิติกได้ การย่อยสลายกรดไขมันสายยาวโดยกระบวนการ β -oxidation เกิดได้ดีทั้งในที่มีหรือไม่มีออกซิเจน ได้สารตัวกลางคือ

โพธิ์พื่อเนต และบิวทีเรต ซึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นอะซิเตตและไฮโดรเจน

ขั้นตอนที่ 2 การผลิตกรดอินทรีย์

ขั้นตอนนี้เป็นการย่อยสลายผลิตภัณฑ์ จากขั้นตอนไฮโดรไลซิส เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ และใช้เป็นพลังงาน พลังงานที่ได้นี้ จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นวัตถุดิบประสงค์ 3 อย่าง

1. Biosynthesis คือ การสร้างสารประกอบของเซลล์จากแอมโมเนียมฟอสเฟต และแหล่งของคาร์บอน ซึ่งมีขั้นตอนมากมาย และต้องการพลังงานในการสร้างสารประกอบต่าง ๆ

2. Active transport จุลินทรีย์มีการเลือกสารประกอบจากสารอาหารที่ต้องการนำเข้าสู่เซลล์โดยต้องต้านกับระดับความเข้มข้นของสารภายในและภายนอกเซลล์ มีพลังงานสะสมที่เพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยานี้เกิดเร็วขึ้น

3. Motility เนื่องจากจุลินทรีย์บางชนิดมีแฟลกเจลลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จึงต้องการพลังงานเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของแฟลกเจลลา

อินทรีย์สารโมเลกุลเล็กจากขั้นตอนไฮโดรไลซิสจะถูกแบคทีเรียพวก facultative และ obligate anaerobe ซึ่งเป็นพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ดีทั้งในสภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน เจริญเติบโตในช่วง pH 6.5 – 7.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบ่งตัวเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าภายในเวลา 24 ชั่วโมง จะใช้อินทรีย์สารเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานเกิดกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งผลของปฏิกิริยาทำให้สารที่อยู่ในรูปออกซิไดส์ และรีดิวส์ พวกที่อยู่ในรูปออกซิไดส์ ส่วนใหญ่เป็นพวกกรดอินทรีย์ระเหย (volatile fatty acid) ที่มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 อะตอม เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทีริก (butyric) กรดแวลริก (Valeric acid) เป็นต้น แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในช่วงนี้คือ แบคทีเรียที่สร้างกรด หรือ non-methanogenic bacteria พวกที่อยู่ในรูปรีดิวส์มีอยู่หลายอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย และตัวรับอิเล็กตรอน ตัวอย่างเช่น แบคทีเรียที่สร้างกรดบางชนิดใช้ไฮโดรเจนไอออนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนทำให้เกิดไฮโดรเจนโมเลกุลขึ้นมา แต่ผลของปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์ตัวอื่นๆ เช่น แอลกอฮอล์ ที่มีคาร์บอนไม่เกิน 5 อะตอม ไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมาก ถ้าหากไม่มีการสร้างไฮโดรเจนโมเลกุลขึ้นมาแบคทีเรียที่สร้างกรดเหล่านี้จะใช้สารประกอบอินทรีย์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนทำให้เกิดผลของปฏิกิริยาที่อยู่ใน รูปรีดิวส์ชนิดอื่นๆ เช่น เมทานอล เอทานอล โพรพานอล บิวทานอล หรือกรดแลกติก นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดยังสามารถสร้างกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนโมเลกุล และ acetyl-CoA จากกรดอินทรีย์ระเหยที่ขนาดโมเลกุลใหญ่โดยเอนไซม์ formate hydrogen lyase หรือผลของปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปรีดิวส์อื่นๆ ที่เกิดในปฏิกิริยาช่วงแรก ตัวอย่างของปฏิกิริยาประเภทนี้คือการเปลี่ยนกลูโคสเป็นไพรูเวต และแลคเตท

แบคทีเรียแอนแอโรบต้องการปริมาณออกซิเจนต่ำประมาณ 2-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศปกติ และแบคทีเรียที่ไม่ต้องการก๊าซออกซิเจนสำหรับการเจริญเติบโตเรียกว่า anaerobe พบว่าแบคทีเรียเหล่านี้ต้องการสภาวะรีดิวซ์ในอาหารเลี้ยงเชื้อมีทั้งกลุ่มที่เป็น facultative anaerobe ซึ่งเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจนแบคทีเรียเหล่านี้ใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนในการสังเคราะห์ ATP โดยวิธี aerobic respiration กลุ่ม obligate anaerobe

เป็น anaerobe ที่เจริญในสภาวะรีดิวซ์เท่านั้น จัดแบ่งแบคทีเรียเหล่านี้ได้เป็นอีก 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งสามารถทนการสัมผัสกับอากาศในระหว่างการถ่ายเชื้อได้ แต่เจริญในสภาวะรีดิวซ์เท่านั้น กับอีกกลุ่มหนึ่งไม่ทนการสัมผัสกับอากาศนั้นคือไม่ทนการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ (กาญจนา ชีระกุล .2538 : 61)

จากตัวอย่างที่กล่าวมา เป็นขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ซึ่งให้ผลผลิตเป็นสารพวกกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และพวกแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล ซึ่งจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์กลุ่ม methanogenic bacteria เพื่อเกิดเป็นก๊าซมีเทนจากการรีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีไฮโดรเจนเป็นแหล่งอิเล็กตรอน (กาญจนา ชีระกุล. 2538 : 62) และคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ปริมาณซัลโฟไดคัลลง ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัด ในการควบคุมระบบบำบัดจำเป็นต้องควบคุมสภาพต่างๆ ให้เหมาะสม เพื่อให้แบคทีเรียทั้งสองประเภททำงานได้ต่อเนื่องและสมดุลกัน สภาพดังกล่าวที่สำคัญได้แก่ สภาพไร้ออกซิเจนอิสระ ค่าพีเอช อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความเป็นต่างกรดอินทรีย์ระเหย ความเป็นต่างไบคาร์บอเนต (bicarbonate alkalinity) โลหะเป็นพิษ อัตราการเติมสารอินทรีย์ต่อวัน (loading) เวลาในการบำบัด (hydraulic retention time, HRT) และอายุของตะกอนแบคทีเรีย (sludge retention time, SRT) การวิเคราะห์ค่าต่างๆ เป็นประจำทุกวันเพื่อทราบถึงสภาพการทำงานของระบบว่ามีประสิทธิภาพหรือไม่

3.1.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิดที่เจริญเติบโตร่วมกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปได้อย่างดีเยี่ยม กระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีปัจจัยต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องหลายอย่างที่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากหรือน้อย ได้แก่ อัตราการป้อนอินทรีย์สาร (organic loading rate) องค์ประกอบของวัตถุดิบ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ค่าความเป็นต่าง(alkalinity) อุณหภูมิ ระยะเวลาเก็บกัก(hydraulic retention time, HRT) และปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นต้น ปัจจัยต่างๆ สามารถจำแนกออกได้ดังนี้

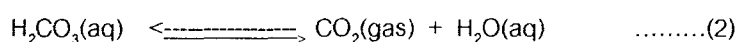
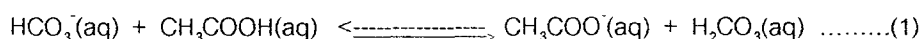
อาหารเสริมสร้าง ระบบแบบนี้ต้องการอาหารเสริมสร้างต่ำมาก อัตราส่วนบีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส ที่ต้องการต่ำสุดเท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 ถ้าต่ำกว่าที่ต้องการ จำเป็นจะต้องเพิ่มเติมให้ครบ สารที่นิยมใช้ในการเพิ่มเติมคือยูเรียและกรดฟอสฟริก (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 258)

สภาพไร้ออกซิเจนอิสระ ระบบบำบัดจะต้องอยู่ในสภาพที่ปราศจากออกซิเจนอิสระ เนื่องจากออกซิเจนอิสระไม่เอื้ออำนวยต่อสภาพการทำงานของแบคทีเรียประเภทนี้ (obligate anaerobic bacteria) โดยเฉพาะพวกมีเทนฟอร์มเมอร์

อุณหภูมิ ในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระนั้น แบคทีเรียสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่างกัน 2 ช่วง คือ ช่วงเมโซฟิลิก (mesophilic range) คือช่วงอุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และช่วงเทอร์โมฟิลิก (thermophilic range) คือช่วงอุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่าช่วงดังกล่าว แบคทีเรียทำงานได้ไม่ดีประสิทธิภาพของระบบจะลดต่ำลง

พีเอช สภาพเป็นกรดหรือสภาพเป็นด่างมีความสำคัญต่อระบบบำบัดทางชีววิทยามาก ถ้าเป็นกรดหรือด่างมากเกินไปจะทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีถึงขั้นเป็นพิษทำให้ระบบล้มเหลวได้ น้ำทิ้งก่อนจะส่งเข้าระบบต้องปรับพีเอชให้เป็นกลาง (พีเอช 7) หรือให้มีค่าอยู่ในช่วง 6-8 สำหรับระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อพีเอชของระบบมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.6-7.8 ในการควบคุมระบบบำบัดจึงต้องตรวจสอบค่าพีเอชเป็นประจำทุกวัน ซึ่งค่าพีเอชมักจะต่ำลงเนื่องจากมีการดอินทรีย์ต่างๆ เกิดขึ้น ถ้าค่าพีเอชลดต่ำลงมากอย่างกระทันหันสามารถทำให้ระบบล้มเหลวได้ทันที (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 258-259) แบคทีเรียที่สร้างกรดสามารถทนพีเอชได้ต่ำถึง 4.5 โดยไม่เป็นอันตราย เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้ย่อยและก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ดังนั้นจึงคงทนต่อสภาพพีเอชที่เป็นกรดได้ดี สำหรับการเปลี่ยนแปลงพีเอชภายในถังปฏิกรณ์นั้นเกิดเนื่องจากปริมาณของอินทรีย์สารที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ถ้ามีการป้อนอินทรีย์สารเข้าสู่ระบบมากแบคทีเรียที่สร้างกรดจะทำการย่อยสลายอินทรีย์สารเหล่านั้นให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจึงเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในระบบ

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นผิดปกติในระบบการหมักเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าระบบกำลังจะล้มเหลว การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นี้อาจจะเนื่องจากน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายปนอยู่มาก ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากในสภาพไม่มีออกซิเจนอิสระ สภาวะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระบบหมัก แสดงให้เห็นดังสมการ



ถ้าระบบปกติปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเพียงขั้นตอนเดียวตามสมการที่ (1)

ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดและความเป็นด่างไปคาร์บอเนต ความเป็นด่างทั้งหมดมีความสำคัญน้อยกว่าความเป็นด่างไปคาร์บอเนตในการใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาวะการทำงานของระบบหมัก เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ค่าความเป็นด่างไปคาร์บอเนตจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เมื่อมีการดอินทรีย์เกิดขึ้นในระบบอันเนื่องมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในขั้นแรก ทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ถ้ามีความเป็นด่างไปคาร์บอเนตต่ำหรือหรือกรดอินทรีย์มากเกินไป จนทำลายแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีอยู่หมดไป ทำให้เกิดมีการดอินทรีย์อิสระเหลืออยู่ เป็นเหตุให้ค่าพีเอชลดต่ำลงมาก จำเป็นต้องปรับพีเอชให้ขึ้นมาอยู่ในช่วงปกติทันทีโดยใช้โซดาไฟหรือปูนลอม

ปริมาณซีโอดี บีโอดี และสารแขวนลอย การตรวจวิเคราะห์ค่า ซีโอดี บีโอดี และสารแขวนลอยในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบและน้ำสุดท้ายที่ผ่านระบบบำบัด ก็เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบว่าดีหรือเลว ผิดปกติหรือไม่ ในระบบถังหมัก (anaerobic digester) มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและบีโอดีได้ร้อยละ 55-60 และร้อยละ 75-80 กำจัดสารแขวนลอยได้ร้อยละ 60-75

กรดอินทรีย์ระเหย ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยเท่านั้นที่ถือว่าเป็นตัวชี้ให้เห็นสภาพการทำงานของระบบหมักที่แท้จริง ในการควบคุมระบบบำบัดไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์หาปริมาณที่แท้จริงว่าเป็นเท่าไร เพียงแต่วิเคราะห์หาปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยที่เหลืออยู่ในระบบเท่านั้น ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยอาจเพิ่มขึ้นถึงจุดที่เป็นอันตรายต่อระบบ ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ค่าพีเอชและความเป็น

ต่างทั้งหมดอาจจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนอาจถือได้ว่ายังไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง กรดอินทรีย์ระเหยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นตัวกลางที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ในระบบที่มีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยจะทำให้พีเอชของระบบลดต่ำลง และถ้าพีเอชมีค่าลดลงต่ำกว่า 6.5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทน หากไม่แก้ไขจนพีเอชมีค่าลดลงถึง 4.5-5.0 จะมีผลทำให้ระบบเสียสมดุลระหว่างขั้นการผลิตกรดและขั้นการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งสามารถสังเกตได้คือมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวและมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบต่ำมาก ดังนั้นในการติดตามควบคุมการทำงานของถังปฏิกรณ์จำเป็นต้องวิเคราะห์หาปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและวัดค่าพีเอชควบคู่กันไปด้วยเสมอ เมื่อตรวจพบว่าการทำงานของระบบมีแนวโน้มจะเสียสมดุล กล่าวคือมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยสูงมากค่าความเป็นด่างต่ำและค่าพีเอชต่ำกว่า 6.5 จำเป็นต้องมีการแก้ไขระบบให้คืนสู่สภาพสมดุลดังนี้

ก. ปรับพีเอชให้เป็นกลางโดยการเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้แก่ระบบ (ถังปฏิกรณ์) วิธีนี้เป็นการแก้ไขที่ได้ผลอย่างรวดเร็วแต่เสียค่าใช้จ่ายสูงและมีข้อเสียที่สำคัญคือ ก่อให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบ เช่น ในกรณีใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ฟอสเฟตมักเกิดตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตในระบบ

ข. ลดปริมาณการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบให้น้อยลง เป็นวิธีการที่ให้ผลดีมากกว่า ไม่เปลืองค่าใช้จ่ายและไม่เกิดผลแทรกซ้อนเกี่ยวกับตะกอนในภายหลัง โดยทั่วไปกรดอินทรีย์ที่พบในถังปฏิกรณ์ส่วนใหญ่ได้แก่ กรดอะซิติก บิวทิริก และกรดโพรพิโอนิก (ส่วนมากเป็นกรดอะซิติก) ในสภาวะที่พีเอชเป็นกลาง กรดเหล่านี้อยู่ในรูปอะซิเตท บิวทิเรท และโพรพิโอเนท ที่มีความเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนต่ำกว่าที่อยู่ในรูป free acid form ในสภาวะปกติปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในถังปฏิกรณ์ไม่ควรเกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบางกรณีอาจทนได้ถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของอะซิติก

3.1.4 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์

จากการศึกษาวิจัยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศภายในถังปฏิกรณ์ ซึ่งประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลายประเภท เช่น แบคทีเรีย ฟังไจ และโปรโตซัว เป็นต้น พบว่าแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่หลักในปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ ส่วนจุลินทรีย์อื่นอาจมีส่วนช่วยเหลือทางด้านระบบนิเวศของถังปฏิกรณ์ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีโครงสร้างซับซ้อนจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของก๊าซชีวภาพ จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ non-methanogenic bacteria และ methanogenic bacteria

แบคทีเรียกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน (non-methanogenic bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มนี้ที่พบส่วนใหญ่เป็น facultative bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะแวดล้อมที่มีและไม่มีอากาศ โดยได้รับพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ CO_2/H_2 แอมโมเนีย และซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วง พีเอช 4.0-6.5 ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบ่งตัวเพิ่มจำนวนได้เป็น 2 เท่าภายในเวลา 24 ชั่วโมง

1. Hydrolytic/Fermentative bacteria

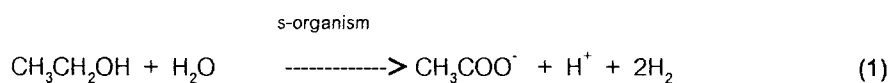
แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศโดยการผลิตเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ส่งผ่านเข้าไปในเซลล์แล้วเปลี่ยนเป็นสารอื่นๆ เช่น แอลกอฮอล์ อะซิเตท และโพรพิโอเนท เป็นต้น จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ จุลินทรีย์ที่อยู่ใน Family Enterobacteriaceae, Bacillaceae, Lactobacillaceae และ Streptococaceae

2. Acetogenic bacteria

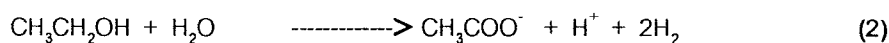
แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกย่อยสลายสารที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 แล้วให้กรดอะซิติกเป็นผลผลิต แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อยคือ

Hydrogen producing acetogenic bacteria

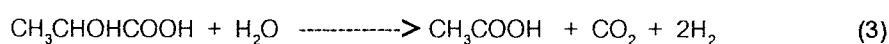
แบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอน Hydrolysis ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบหลายตัวได้กรดอะซิติกและไฮโดรเจน หรือกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนเป็นผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลาย ดังแสดงตามสมการต่อไปนี้



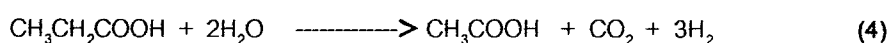
Desulfovibrio



Desulfovibrio



Desulfovibrio



แบคทีเรียในกลุ่มนี้โดยรวมแล้วเรียกว่า S-organism เป็นแบคทีเรียที่สามารถออกซิไดส์เอทานอลเป็นกรดอะซิติกได้ดังสมการ 1 นอกจากนี้แล้วแบคทีเรียที่อยู่ใน Genus Desulfovibrio ก็จัดอยู่ในแบคทีเรียกลุ่มนี้เช่นกัน ในสภาวะที่ขาดแคลนซัลเฟต แบคทีเรีย Desulfovibrio สามารถออกซิไดส์ เอทานอล และแลคเตทไปเป็นอะซิเตทได้ ดังสมการที่ 2-4 ในระหว่างการย่อยสลายแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ดึงออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบไปใช้ทำให้ปริมาณออกซิเจนในระบบลดลง เกิดสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย methanogenic bacteria ซึ่งทำหน้าที่ดึงไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นไปใช้ทำให้ระบบมีความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำเหมาะสมต่อเทอร์โมไดนามิกส์ของการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแอลกอฮอล์เป็นอะซิเตท

แบคทีเรียที่สร้างมีเทน (methanogenic Bacteria)

แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีเทนส่วนใหญ่จัดอยู่ในพวก Obligate anaerobic bacteria เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.0-7.8 ทำให้มีความทนทานต่อสภาวะ

แวดล้อมได้น้อยและมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทน โดยเฉลี่ยต้องใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า เมื่อพิจารณาจากกระบวนการเมตาบอลิซึมพบว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทนนี้มีลักษณะที่แตกต่างไปจากแบคทีเรียอื่นๆ

สุนทร ขวเดชและเกษม ปิงขวลิตโสภี (2529 : 17) ได้กล่าวถึงสารอินทรีย์จะถูกดูดซึมเป็นอาหารโดยแบคทีเรียพวกสร้างกรดก่อน แล้วกรดอินทรีย์ที่ถูกสร้างบางส่วนจะถูกดูดซึมเป็นอาหารโดยแบคทีเรียพวกสร้างมีเทน ดังนั้นสารอินทรีย์ส่วนที่ถูกดูดซึมไปแล้วจึงถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ เชลแบคทีเรีย คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน สารพวกแอมโมเนียและน้ำ สุนทร ขวเดช (2530:109) ทดลองเปรียบเทียบระบบย่อยสลายไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองขั้นตอนและขั้นตอนเดียว เพื่อผลิตกรดอินทรีย์และก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ระบบหมักเป็นแบบ anaerobic contact process หรือ anaerobic activated sludge พบว่าระบบหมักสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพการผลิตกรดอินทรีย์สูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้ง 1 วัน โดยมีอัตราการป้อนสารอินทรีย์ 21.92 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งจะผลิตกรดอินทรีย์ได้สูงสุด 4.29 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และพบว่าที่สภาวะเหมาะสมไม่จำเป็นต้องควบคุมพีเอชในถังหมัก กรดอินทรีย์ที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ได้แก่ กรดอะซิติก 34.4 เปอร์เซ็นต์ กรดไพรูวิก 6.5 เปอร์เซ็นต์ กรดบิวไทริก 26.2 เปอร์เซ็นต์ กรดเวเลอริก 10.6 เปอร์เซ็นต์ และกรดคาโปรอิก 21.3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการหมักมีเทนจากการทดลองหมักกรด พบว่าสภาวะแวดล้อมสำหรับระบบหมักมีเทนที่เวลาเก็บกัก 5 วัน ตรงกับอัตราป้อนสารอินทรีย์ 3,064 กิโลกรัมซีไอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่สภาวะเหมาะสมนี้ระบบสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 4.87 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรของกรดอินทรีย์ โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดของระบบประมาณ 88.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักขั้นตอนเดียวพบว่า การผลิตก๊าซมีเทนและกำจัดสารอินทรีย์ต้องใช้เวลาเก็บกักสูงกว่า 8 วัน โดยที่เวลาเก็บกัก 13 วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี 95 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทน 0.501 ลูกบาศก์เมตรถึงหมักต่อวัน

3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเอนไซม์อะไมเลสของเชื้อแบคทีเรีย

การสร้างเอนไซม์อะไมเลสขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ช่วงการเจริญ (growth phase) แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน เกลือของสารอินทรีย์ อิทธิพลของความเป็นด่าง (pH) ในอาหารเลี้ยงเชื้อ และอิทธิพลของอุณหภูมิในขณะที่เลี้ยงเชื้อ

ช่วงการเจริญ (growth phase)

เมื่อนำแบคทีเรียไปเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ๆ เชลล์จะยังไม่มีการเพิ่มจำนวน ต่อมาจะเจริญอย่างรวดเร็ว จากนั้นแบคทีเรียจะมีอัตราการเจริญคงที่และเริ่มมีจำนวนลดน้อยลงในที่สุด การเจริญของแบคทีเรียแบ่งได้เป็น 4 ระยะ

1. ระยะพัก (lag phase) เมื่อนำแบคทีเรียมาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดใหม่ ที่แตกต่างไปจากเดิม แบคทีเรียจะไม่แบ่งเซลล์อย่างทันทีทันใด ดังนั้นเซลล์ในระยะนี้จึงมีจำนวนเท่าเดิม แต่ขนาดของเซลล์จะใหญ่ขึ้น เพราะแต่ละเซลล์จะมีการสังเคราะห์โปรตีนพลาสซึมและสารต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น เอนไซม์ หรือ DNA

2. ระยะแบ่งตัวทวีคูณ (logarithmic phase) ระยะที่แบคทีเรียจะมีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว เซลล์ในระยะนี้จะมีอัตราการเจริญสูงกว่าระยะอื่นๆ และแบคทีเรียทุกเซลล์ในระยะนี้จะมีขบวนการเมตาบอลิซึมตลอดจนสมบัติทางสรีรวิทยาในระดับที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ระยะเวลาในช่วง log phase ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ พีเอช สารอาหารต่างๆ อุณหภูมิ

3. ระยะคงจำนวนเซลล์ (stationary phase) เป็นระยะที่จำนวนประชากรของแบคทีเรียมีจำนวนสูงสุด และจะคงที่ เนื่องจากเกิดสภาวะสมดุลระหว่างการทวีจำนวนและการตาย เพราะสภาวะแวดล้อมเริ่มเปลี่ยนแปลงมีสารพิษต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น กรดอินทรีย์ต่างๆ

4. ระยะเซลล์ตาย (death phase) เป็นระยะสุดท้ายในการเจริญของแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อ ระยะนี้แบคทีเรียจะตายอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการขาดแคลนสารอาหารและมีปริมาณสารพิษเพิ่มมากขึ้นจนแบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้ (บัญญัติ สุขศรีงาม. 2539 : 137-138)

ลัตถาพร ศรีมหาสงคราม.(2525 : บทคัดย่อ) ศึกษาเชื้อ *B. subtilis* และ *B. amyloliquefaciens* พบว่าการผลิตเอนไซม์อะไมเลสจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และสูงสุดในช่วง stationary phase คือ 60 ชั่วโมง

แหล่งคาร์บอน

คาร์บอนเป็นธาตุที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์เซลล์และพลังงาน จุลินทรีย์ที่เจริญในสภาวะไม่มีอากาศ จะใช้แหล่งคาร์บอนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ในการสังเคราะห์เซลล์ กระบวนการหมักโดยทั่วไปนิยมใช้แหล่งคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งคาร์บอน คาร์โบไฮเดรตที่มีปริมาณมาก และนิยมใช้ ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง (สมใจ ศิริโชค. 2537 : 85) ในหลายปีมาแล้วมีรายงานว่าการจะสร้างเอนไซม์อะไมเลสได้จะต้องมี inducer อย่างไรก็ดีตาม ยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอนนัก สุทธิ ภมรสุมิตและวินัย กลิ่นหอม (2534 : 24) ได้รายงานการใช้สารอาหารได้แก่ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และรำข้าว นำมาทำเป็นแหล่งคาร์บอน และใช้ถั่วพูหรือถั่วเหลืองมาทำเป็นแหล่งไนโตรเจน สามารถใช้ในการเลี้ยงเชื้อราเพื่อสังเคราะห์เอนไซม์กลูโคอะไมเลส พบว่าการใช้แหล่งคาร์บอนราคาถูกดังกล่าวมีผลให้ได้ปริมาณกิจกรรมเอนไซม์สูงกว่าการใช้แหล่งคาร์บอนจากสารอาหารบริสุทธิ์ราคาแพง เช่น มอลโตส กลูโคส และแป้งบริสุทธิ์ ที่น่าสนใจคืออัตราเร็วในการผลิตเอนไซม์ ดูได้จากเวลาเพาะเลี้ยงเชื้อราผ่านไประยะ 3 วัน หรือ 96 ชั่วโมง สอดคล้องกับลัตถาพร ศรีมหาสงคราม (2525 : 38) พบว่าน้ำทิ้งจากโรงงานที่เกี่ยวข้องกับแป้ง เช่น ข้าวโพด แป้งมันสำปะหลังพบแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากสามารถใช้แป้งเป็นแหล่งคาร์บอน และจากการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์บอน ผลปรากฏว่าแป้งมันสำปะหลัง 7 เปอร์เซ็นต์จะให้การเจริญของเชื้อ และผลิตเอนไซม์สูงสุดในเวลา 60 ชั่วโมง และจากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังลงในอาหารเหลวมากขึ้นทำให้เชื้อเจริญดีขึ้น ผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้มากขึ้นด้วยจนถึงจุดหนึ่งการผลิตเอนไซม์จะคงที่แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณแป้งมากขึ้นก็ตาม และหลังจากนั้นการผลิตเอนไซม์จะค่อยๆ ลดลง

แหล่งไนโตรเจน

เซลล์จุลินทรีย์มีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง ความต้องการไนโตรเจนของจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป จุลินทรีย์บางชนิดสามารถเจริญได้ในอาหารที่มีอนินทรีย์ไนโตรเจน แต่บางชนิดจะต้องการไนโตรเจนจากสารอินทรีย์ แหล่งอนินทรีย์ไนโตรเจนที่นิยมใช้ใน

อุตสาหกรรมการหมัก ได้แก่ แอมโมเนียมซัลเฟต เกลือแอมโมเนียม และไนเตรท (สมใจ ศิริโชค. 2537 : 92)

ลัตถาพร ศรีมหาสงคราม (2525: 49) ได้กล่าวถึงแหล่งไนโตรเจนที่ให้การเจริญและการผลิตเอนไซม์ที่ดีที่สุดคือเปปโตเน ส่วนเคซีนไฮโดรไลเซท ทรีพติกเคสเปปโตเน แอสพาราจีน บีฟแอคแทรก ให้ผลรองลงมาตามลำดับ ส่วนเกลือแอมโมเนียมไนเตรทและเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต ทำให้เชื้อแบคทีเรียผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้ต่ำและได้น้อย สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ว่าส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ดีคือ เปปโตเนเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์เป็นแหล่งไนโตรเจน แป้งมันสำปะหลังเข้มข้น 7 เปอร์เซ็นต์เป็นแหล่งคาร์บอน แสดงว่าแหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอินทรีย์ช่วยให้เชื้อแบคทีเรียผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้มากขึ้น ตรงข้ามกับแหล่งไนโตรเจนที่เป็นสารอนินทรีย์ทำให้ผลิตเอนไซม์อะไมเลสในปริมาณต่ำ นอกจากนี้การผลิตเอนไซม์อะไมเลสแปรผันโดยตรงกับการเจริญของเซลล์ถ้าเซลล์เจริญเติบโตก็ผลิตเอนไซม์ได้มากด้วย

เกลือของสารอินทรีย์

เกลือแร่เป็นสารอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ carbon sources และ nitrogen sources แต่ก็ขาดไม่ได้ เพราะเกลือแร่มีความสำคัญในการควบคุมขบวนการอิเลคโตรไลทของเซลล์ สำหรับความต้องการของจุลินทรีย์นั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิด แต่โดยทั่วไปแล้วเกลือแร่ที่แบคทีเรียและจุลินทรีย์ต้องการมาก ได้แก่ แมกนีเซียม โพแทสเซียม มังกานีส แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เนื่องจากนำไปใช้เป็น cofactor ของเอนไซม์ (บัญญัติ สุขศรีงาม. 2539 :164)

สายสมร ล้ายอง (2522 : 84) ได้กล่าวถึงกลไกในการทำงานของแอลฟาอะไมเลสและพบว่าการทำงานของเอนไซม์นั้นต้องอาศัยไอออนของคลอไรด์ในความเข้มข้นอย่างน้อย 0.01 M

3.2.1 ชนิดและลักษณะของเอนไซม์อะไมเลส

การที่เซลล์จะดำรงชีวิตอยู่ได้และเจริญเติบโตจนสืบพันธุ์ได้นั้น เนื่องจากได้รับสารอาหารเข้ามาในเซลล์ และจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงมีทั้งการรวมสารโมเลกุลเล็กเข้าเป็นสารโมเลกุลใหญ่ เพื่อสร้างส่วนต่างๆ ของเซลล์ หรือเป็นการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง เพื่อปล่อยพลังงานออกมา พลังงานนี้จึงนำไปใช้ในการสังเคราะห์สารใหม่ในเซลล์ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งต้องการเอนไซม์เพียงปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นเพื่อเร่งปฏิกิริยา เอนไซม์เป็นสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเร่งปฏิกิริยาเคมี โดยที่ตัวมันเองไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้วเรียกว่าคะตะลิสต์อินทรีย์ (organic catalyst) ซึ่งสร้างขึ้นโดยเซลล์ที่มีชีวิต (นงเยาว์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. 2541 : 135) เอนไซม์จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นจะเกิดได้ต่อเมื่อมีสารอาหารหรือสับสเตรต ซึ่งจะเป็นตัวเหนี่ยวนำให้เซลล์สร้างเอนไซม์ ถ้าไม่มีสับสเตรตเซลล์จะไม่สร้างเอนไซม์ และเรียกสับสเตรตนี้ว่า ตัวเหนี่ยวนำ (inducer) เอนไซม์ที่สร้างโดยแบคทีเรียแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่

ก. เอนไซม์ที่สร้างขึ้นแล้วถูกปล่อยออกมานอกเซลล์ (extracellular enzyme) ทำหน้าที่ย่อยสารอาหารที่อยู่นอกเซลล์ เพื่อจะได้ดูดซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ง่าย

ข. เอนไซม์ที่อยู่ตามบริเวณขอบผิวของเยื่อเซลล์ (periphery enzyme) ทำหน้าที่ในการดูดซึมการเข้าออกของสารให้แก่เซลล์

ค. เอนไซม์ที่ทำหน้าที่อยู่ภายในเซลล์ (intracellular enzyme) เพื่อสร้างพลังงานและสารต่างๆ ให้แก่เซลล์ (กาญจนา ธีระกุล. 2538 : 116)

เอนไซม์อะไมเลสเป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นภายในเซลล์แล้วถูกขับออกมาทำงานภายนอกเซลล์ เรียกว่า เอกซ์ตราเซลล์ูลาร์เอนไซม์ (extracellular enzyme) เมื่อทำปฏิกิริยากับสับสเตรตแล้วทำให้โมเลกุลเล็กลงจนเข้าสู่เซลล์ได้ (นงเยาว์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. 2541 : 138) ซึ่งสามารถย่อยแบ่งได้ พบในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์หลายชนิด แบ่งตามตำแหน่งของการย่อยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) endoamylase ซึ่งย่อยสลายแบ่งแบบสุ่มที่ตำแหน่ง $\alpha(1-4)$ glycosidic linkage ถ้าการย่อยสลายไม่สมบูรณ์จะได้กลูโคส มอลโทส และเด็คซ์ตริน ถ้าการย่อยสลายสมบูรณ์จะได้มอลโทสและกลูโคส เอนไซม์ประเภทนี้คืออัลฟาอะไมเลส 2) exoamylase ซึ่งย่อยแบ่งจาก non-reducing end เข้าไป เอนไซม์ประเภทนี้ได้แก่ เบต้าอะไมเลสและกลูโคอะไมเลส เบต้าอะไมเลสจะย่อยที่ตำแหน่ง $\alpha(1-4)$ glycosidic linkage เข้าไปที่ละ 2 หน่วยของกลูโคส แต่ไม่สามารถย่อยสลาย bond ที่ต่อแบบ $\alpha-D(1-6)$ linkage ได้ ดังนั้นผลที่ได้้นอกจากน้ำตาลมอลโทสแล้ว จะมีพวก limit dextrin ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงปนอยู่ด้วย ส่วนกลูโคอะไมเลสหรือแกมมาอะไมเลส สามารถย่อยแบ่งได้อย่างสมบูรณ์จาก non-reducing end ที่ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ $\alpha(1-6)$ bond, $\alpha(1-3)$ bond และ $\alpha(1-6)$ bond เข้าไปที่ละ 1 หน่วย ผลจะได้กลูโคสเพียงอย่างเดียว

ชนิดของอะไมเลส

แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) มีชื่อทางการค้าที่รู้จักกันว่า Temamyl และมีชื่อสามัญว่า ไดแอสเทส (diastase) มีชื่อตามระบบว่า α -1,4-glucan 4-glucanohydrolase พบทั่วไปทั้งในอาณาจักรพืชและสัตว์ ตลอดจนทั้งในคนจะพบในส่วนของน้ำลาย ตับอ่อน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายแป้ง เป็นโอลิโกและไดแซคคาไรด์ ซึ่งจะถูกย่อยในลำไส้เล็กก่อนที่จะซึมผ่านผนังลำไส้สร้างกลายเป็นเอนไซม์ที่มีมวลโมเลกุลประมาณ 50,000 ลักษณะที่สำคัญของเอนไซม์ในการย่อยสลายก็คือ เเจาะจงต่อการย่อยสลายพันธะไกลโคซิลของแป้งที่ α -1,4 ในลักษณะตัดภายในสายโพลิเมอร์อย่างได้ผลผลิตเป็นกลูแคน (glucan) และลิมิตเด็คซ์ตริน (limit dextrin) มีหน่วยกลูโคสประมาณ 2-6 หน่วย และยังมีโครงสร้างรูปเดิม (α -configuration)

เบตาอะไมเลส (β -amylase) มีชื่อตามระบบว่า α -1,4-glucan maltohydrolase ซึ่งพบทั่วไปในพืชชั้นสูง เช่น ข้าวบาร์เลย์ในลักษณะกำลังงอกเป็นข้าวมอลต์, ข้าวสาลี, ข้าวไรน์, ถั่วเหลืองและมันเทศ มักพบร่วมกับแอลฟาอะไมเลส มีมวลโมเลกุล 152,000 มี pH optimum ที่ 5.6 ปฏิกิริยาการย่อยสลายของเบตาอะไมเลสจะเจาะจงต่อพันธะไกลโคซิลของแป้งที่ α -1,4 ในลักษณะการตัดสายโพลิเมอร์อย่างเป็นระเบียบจากปลายสาย ด้านไม่มีหมู่รีดิวซ์เข้าสู่ภายในสายไปที่ละ 1 หน่วยของมอลโทส หรือที่ละ 2 หน่วยของกลูโคส และจะหยุดปฏิกิริยาที่พันธะไกลโคซิลที่ α -1,6 ดังนั้นผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาการย่อยสลายแป้งหรือไกลโคเจนจะเป็นกลูแคน, ลิมิตเด็คซ์ตริน และส่วนใหญ่เป็นมอลโทสที่มีโครงรูปต่างไปจากเดิม คือได้ β -configuration หรือเบตามอลโทส

แอมมาอะไมเลส หรือ กลูโคอะไมเลส หรือ อมิลอกลูโคซิเดส (γ -amylase, Glucoamylase, Amyloglucosidase) มีชื่อเรียกตามระบบว่า α -1,4-glucan glucohydrolase เป็นเอนไซม์ที่พบทั่วไปในจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย รา มี pH optimum ที่ 4.0-4.4 ลักษณะที่สำคัญของปฏิกิริยาการย่อยสลายแป้ง ก็คือสามารถย่อยสลายได้หลายพันธะ ไม่ว่าจะเป็นพันธะไกลโคซิดที่เป็น α -1,4, α -1,6 และ α -1,3 แต่จะช้ากว่า α -1,4 การตัดสายโพลีเมอร์จะเหมือนกับเบตาอะไมเลส แต่ตัดปลายสายเข้าไปที่ละ 1 หน่วยของกลูโคส ดังนั้นผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นกลูโคสที่มีโครงรูปต่างไปจากเดิม คือได้ β -configuration หรือ เบตาดีกลูโคส และส่วนของกลูแคน และลิมิตเดกซ์ทริน (ปรานี อ่านเปรื่อง. 2543 : 121-122)

ผลของเอนไซม์อะไมเลสที่มีต่อแป้ง

ในโมเลกุลของแป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ ประกอบด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน องค์ประกอบของทั้งสองชนิดนี้เปลี่ยนแปลงได้ อะไมโลสประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสต่อกันเป็น chain ยาวด้วย α -(1-4) glycosidic bond ไม่มีการแตกแขนง มีความยาวประมาณ 1,100-4,400 หน่วยของกลูโคส มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็น micelle ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนให้สีน้ำเงิน ส่วนอะไมโลเพกตินประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสที่ต่อกันด้วย α -(1-4) glycosidic bond ซึ่งมีการแตกแขนงทุกๆ 25 หน่วยของกลูโคส ตรงตำแหน่งที่แตกแขนงต่อกันด้วย α -(1-6) glycosidic bond นอกจากนั้นยังพบหน่วยของกลูโคสที่ต่อกันแบบ α -(1-3) linkage อีกด้วย น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลเพกตินสูงถึง 1 ล้าน ละลายน้ำอยู่ในรูป colloidal solution ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนให้สีน้ำตาล แป้งดิบมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ (nondispersible) และต้านทานต่อการย่อยสลายของเอนไซม์ แป้งที่อยู่ในรูป granule หรือแป้งดิบจะไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ต้องให้ความร้อนแก่แป้งให้อยู่ในรูปสารละลาย จะทำให้เกิดการ gelatinization เกิดความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจาก granule ของแป้งขยายตัวดูดซึมน้ำเข้าไปทำให้สูญเสียลักษณะ birefringence ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ได้เร็วขึ้น

อิทธิพลของความเป็นกรดต่าง (pH) ต่อการทำงานของเอนไซม์

อิทธิพลของ pH ที่มีต่อการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากทำให้เกิดการแตกตัวของ side-chain groups โดยกรุปที่มีความจำเพาะ 2 กรุปคือ substrate binding group และ catalytic group ซึ่งจะทำให้ได้กราฟเส้นโค้งรูปประฆังเกิดจากการเขียนระหว่างค่าของ pH กับ activity แตกต่างกันไป ตามธรรมชาติของกรุปทั้งสองนี้ แอลฟาอะไมเลสจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่นจากน้ำลายมนุษย์ จากตับอ่อนของมนุษย์ และจากตับอ่อนของหมู พบว่ามีค่า pH optimum เท่ากันคือ pH 6.9 ในขณะที่เอนไซม์จาก B. subtilis จาก A. oryzae และจากมอลท์ของข้าวบาเลย์ต้องการ pH ที่เป็นกรดกว่าคือ 4.0-6.0 แอลฟาอะไมเลสส่วนใหญ่จะคงทนต่อ pH ซึ่งมีช่วงจาก 4.0-10.0 อัลฟาอะไมเลสจากแบคทีเรียจะทำงานได้ดีอยู่ในช่วง pH 3.0-9.5 และ pH ที่เหมาะสมที่สุดคือ pH 6.0

สายสมร ลำยอง (2522 : 84) ได้กล่าวถึงช่วงพีเอชที่เหมาะสมของการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจะอยู่ในช่วง 6.9-7.2 และถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจะอยู่ที่ 50-

55 องศาเซลเซียสแต่ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสก็ทำงานได้ดีเช่นกัน ลัดดาพร ศรีมหาสงคราม (2525 : 50) ได้กล่าวว่าถ้าในอาหารเลี้ยงเชื้อมีพีเอชเริ่มต้นต่ำหรือสูงเกินไป การผลิตเอนไซม์จะได้น้อยขึ้นอยู่กับความคงตัวของเอนไซม์ เชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่จะมีพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมเป็นกลางคือประมาณ 7.0 ได้แก่ *B. subtilis* และ *B. amyloliquefaciens*

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อการทำงานของเอนไซม์

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งของสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ เซลล์ของจุลินทรีย์ไม่มีการควบคุมการที่เอนไซม์ในการควบคุมการถ่ายเทเข้าออกของความร้อนของเซลล์ ดังนั้นอุณหภูมิภายนอกจึงมีผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์ในระบบเมตาบอลิซึมซึ่งหมายถึงการมีผลต่อการเจริญ นอกจากนั้นการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิยังส่งผลให้มีการเปลี่ยนวิถี (pathway) จุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปในระบบนิเวศมีเอนไซม์ที่ทำงานได้ดีตลอดจนทนต่อการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิในช่วงที่ต่างกัน จุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญมากที่สุด (optimum temperature) ต่างกัน เมื่ออุณหภูมิต่ำลงต่ำกว่า optimum temperature จุลินทรีย์จะเจริญช้าลงตามลำดับจนถึงระดับอุณหภูมิหนึ่งที่เรียกว่า minimum temperature ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เชื้อเจริญได้ช้าที่สุด และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงต่ำกว่านั้นจะไม่มีการเจริญ ในทำนองเดียวกันเมื่ออุณหภูมิยิ่งสูงกว่า optimum temperature เชื้อจะเจริญได้ช้าลงตามลำดับเช่นเดียวกันจนถึงระดับอุณหภูมิหนึ่งที่เชื้อเจริญได้ช้าที่สุดซึ่งเรียกว่า maximum temperature และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นกว่านี้จุลินทรีย์จะหยุดเจริญ นอกจากนั้นอุณหภูมิที่สูงกว่า maximum temperature ยังทำให้เกิดการ denature ของเอนไซม์ภายในเซลล์เป็นผลทำให้จุลินทรีย์เริ่มตายถึงแม้ว่าจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมี optimum temperature, minimum temperature และ maximum temperature แตกต่างกันไปแต่ก็สามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ กลุ่มที่เจริญได้ดีเฉพาะเมื่ออยู่ในที่อุณหภูมิต่ำ (psychrophile) กลุ่มที่เจริญได้ดีทั้งในที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิปานกลาง (psychrotroph) กลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (mesophile) และกลุ่มที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (thermophile) (กาญจนา วีระกุล. 2538 : 110) ดังรายละเอียดในตาราง

ตาราง 4 การแบ่งจุลินทรีย์ตามระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ

กลุ่มจุลินทรีย์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	ต่ำสุด (minimum)	เหมาะสม (optimum)	สูงสุด (maximum)
Psychrophile	(-5) to (+5)	12-15	15-20
Psychrotroph	(-5) to (+5)	25-30	30-35
Mesophile	5-15	30-37	35-45
Thermophile	40-45	55-75	60-90

ลัดดาพร ศรีมหาสงคราม (2525 : 50) ได้กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในขณะเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตเอนไซม์พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเชื้อ *B. subtilis* คือ 30-35 องศาเซลเซียส และเชื้อ *B. amyloliquefaciens* คือ 37 องศาเซลเซียส จะทำให้เชื้อเจริญดีที่สุดและผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้สูงสุด

3.2.2 แหล่งของเอนไซม์อะไมเลส

เอนไซม์อะไมเลสจะพบอยู่ทั่วไปในสิ่งมีชีวิต ทั้งนี้เพราะเป็นเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ของแป้ง ซึ่งเป็นอาหารสำคัญอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต แต่ปริมาณเอนไซม์ที่พบนั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของอวัยวะและชนิดของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ อย่างเช่นจะพบทั่วไปในพืชได้แก่ มันเทศ ข้าวโมลต์ ถั่วเหลือง และเมล็ดข้าวที่กำลังงอก ที่พบในสัตว์มักพบในปาก เช่น น้ำลายมนุษย์ ในตับอ่อน เช่น ตับอ่อนของหมู เอนไซม์ที่ผลิตขึ้นเป็นอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะผลิตขึ้นมาจากพืช สัตว์ หรือจุลินทรีย์ เอนไซม์ที่ผลิตได้จากพืชแม้ว่าจะใช้วัตถุดิบจากพืชในปริมาณมากก็ตามก็ยังให้ผลผลิตต่ำ สำหรับเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นจากสัตว์นั้นส่วนมากเป็นผลผลิตได้จากโรงงานฆ่าสัตว์ แต่เอนไซม์ที่ผลิตทั้งจากพืชและสัตว์จะไม่เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้น แหล่งที่ได้รับความนิยมสนใจมากขณะนี้คือจุลินทรีย์ ทั้งนี้เพราะเป็นแหล่งที่ไม่มีความจำกัดมากเหมือนพืชและสัตว์และมีข้อได้เปรียบทางด้านเทคนิคหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพในการย่อยของเอนไซม์จากจุลินทรีย์นั้นมีขอบเขตกว้างและใช้ค่าใช้จ่ายน้อย (อรพิน ภูมิภมร. 2523 : 197)

จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลส

จุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ และรา

เชื้อราที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสย่อยแป้งมีหลายสายพันธุ์ และมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แตกต่างกัน เชื้อราที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสโดยเฉพาะราในกลุ่ม *Aspergillus* ได้แก่ *A. niger*, *A. candidus*, *A. oryzae* ราในกลุ่ม *Mucoraceae* fungi ได้แก่ *Rhizopus* sp., *Mucor* sp., *M. rouxii*, *Amylomyces rouxii* และราชนิดอื่นๆ เช่น *Penicillium* sp., *Monilia* sp. (สุทธิ ภมรสมิตร และวินัย กลิ่นหอม. 2534 : 1)

ยีสต์ที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้แก่ *Endomycopsis fibuligera*, *E. capsularis*, *E. linderi*, *E. javanensis*, *E. burtonii*, *Trichosporon variable*, *Candida* sp., *Sporobolomyces* sp., *Torulopsis* sp., *T. mogii*, *T. norvegensis*, *Saccharomyces diastaticus*, *Pichia* sp., *P. farinose*, *Hansenula* sp.

แบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้แก่ *Bacillus subtilis*, *B. mesentericus*, *B. stearothermophilus*, *B. macerans*, *B. polymyxa*, *B. diastaticus*, *Clostridium acetobutylicum*, *Aerobacillus macerans*, *Aerobacillus polymyxa*, *Bacterium cassavanum*, *Phytomonas destructans*, *Actinomyces microflavus*, *Phytomonas* sp. และ *Sarcina* sp (วิลาวัลย์ เจริญจิระตระกูล. 2539 :34)

อินเกลและอีริกสัน (Ingle and Erickson. 1978 : 257) รายงานว่า เอนไซม์อะไมเลสที่ได้จากแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นแอลฟาอะไมเลส เขาได้จัดแบ่งเอนไซม์อะไมเลสตามอุณหภูมิและความเป็นกรดต่างออกเป็นสามกลุ่มคือ 1) thermophilic amylase แอลฟาอะไมเลสที่ทนอุณหภูมิสูง; 2) alkaline amylase แอลฟา

อะไมเลสที่ทำงานในสภาพที่เป็นด่าง 3) acidic amylase แอลฟาอะไมเลสที่ทำงานในสภาพที่เป็นด่าง พบว่ามีแบคทีเรียบางชนิดที่ผลิตเอนไซม์ที่ทนความร้อนและมีความคงทนต่อความเป็นกรดต่างในช่วงกว้าง เช่น *B. acidocaldarius* และ *B. licheniformis* ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากทางอุตสาหกรรม แบคทีเรียที่ทนอุณหภูมิสูงมักจะผลิตเอนไซม์อะไมเลสที่คงตัวที่อุณหภูมิสูงด้วย

3.2.4 การนำเอนไซม์อะไมเลสไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมทอผ้า

กรรมวิธีในการทอผ้าจะต้องนำด้ายดิบมาซึ่งให้ตึงบนเครื่องทอ ดังนั้นจะทำให้ด้ายดิบขาดได้ง่าย ฉะนั้นก่อนที่จะนำมาทอต้องนำเส้นด้ายไปชุบน้ำแป้งเพื่อให้เส้นด้ายมีความทนทานต่อแรงดึง หลังจากทอผ้าเป็นผืนแล้วต้องนำเอาแป้งที่ตกค้างออกไปโดยนำไปย่อยด้วยเอนไซม์อะไมเลส แล้วจึงนำไปซักด้วยน้ำร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์ วิธีนี้ใช้ได้กับการทอผ้าจากฝ้าย ขนแกะ และแพรเทียม

การทำน้ำผลไม้ให้ใส

โดยปกติน้ำผลไม้คั้นจะมีลักษณะขุ่นเพราะมีปริมาณแป้งสูง จึงต้องใส่เอนไซม์อะไมเลสลงไป บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาฟาเรนไฮต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นกรองน้ำตาล นำไปทำเยลลี่ต่อไป

อุตสาหกรรมการทำขนมปัง

ปกติจะเติมเอนไซม์อะไมเลสชนิด dextrinogenic enzyme ลงไปในแป้งที่ใช้ทำขนมปังเพื่อให้โมเลกุลขนาดใหญ่ๆ ของแป้งเล็กลงได้ และเติมชนิด saccharogenic enzyme เพื่อเปลี่ยนแป้งบางส่วนให้เป็นน้ำตาล

การผลิตแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์

ในประเทศจีนได้เริ่มมีการผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อราย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลมาตั้งแต่สมัยโบราณ จากรายงานปรากฏว่าญี่ปุ่นได้ใช้หลักการนี้ของจีนผลิตแอลกอฮอล์เมื่อประมาณ 1700 ปีมาแล้ว ปัจจุบันการผลิตแอลกอฮอล์ในญี่ปุ่นก็ยังนิยมใช้เอนไซม์ที่สามารถย่อยแป้งจากเชื้อรา ซึ่งแตกต่างจากแถบยุโรปและอเมริกา ซึ่งมักจะใช้ข้าวมอลท์กันในระยะแรก แต่ปัจจุบันนี้ทั้งในยุโรปและอเมริกาได้หันมาใช้อัลฟาอะไมเลสและกลูโคอะไมเลสจากราแทนเอนไซม์จากข้าวมอลท์

การผลิตกลูโคสและน้ำเชื่อมจากแป้ง

ในระยะแรกการผลิตกลูโคสและน้ำตาลอื่นๆ มักจะใช้วิธีการย่อยแป้งด้วยกรดแต่เพียงอย่างเดียว แต่สำหรับการใช้กรดเพียงอย่างเดียว นั้น การย่อยขั้นระหว่างกลูโคสจะเกิดขึ้นแบบสุ่ม ฉะนั้นจะได้ทั้งสารที่มีโมเลกุลของกลูโคสโมเลกุลเดียวไปจนถึงสารที่มีกลูโคส 4 โมเลกุลหรือมากกว่านั้น อย่างเช่น กลูโคส มอลโทส มอลโตไตรโอส และเตตราแซคคาไรต์ ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น เช่น การเกิดสารเจเนดิโอไบโอส กรดลิวูลินิก และสารพวกเฟอฟีรอล ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีแก่น้ำเชื่อม มักจะมีรสขมเกิดขึ้นด้วยเสมอ (อรพิน ภูมิภมร. 2523 : 210) ในปัจจุบันการผลิตน้ำเชื่อมจากแป้งโดยขบวนการของเอนไซม์กำลังเป็นที่นิยมกันมาก โดยเฉพาะการผลิตกลูโคสและน้ำเชื่อมที่มีกลูโคสโดยใช้เอนไซม์กลูโคอะไมเลส ที่ได้จาก *A. niger* หรือ *Rhizopus* sp. ใส่ลงไปในเด็กซ์ตรินแบบ high temperature liquefaction และ ที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เด็กซ์ตรินจะถูกย่อยเป็นกลูโคส โดยใช้เวลาประมาณ 2 วัน (อรพิน ภูมิภมร. 2523 : 210)

3.2.3 การผลิตเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในอุตสาหกรรม

จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ผลิตเอนไซม์เป็นการค้ำนั้น ปกติจะคัดเลือกเอาพวก aerobic organisms จุลินทรีย์ชนิดต่างๆ จะผลิตเอนไซม์ได้ต่างๆ กัน จุลินทรีย์บางชนิดจะผลิตเอนไซม์และขับออกมานอกเซลล์ ซึ่งเรียกเอนไซม์ชนิดนี้ว่า extracellular enzyme ส่วนจุลินทรีย์อีกจำพวกหนึ่งจะผลิตเอนไซม์ขึ้นแต่เก็บอยู่ภายในเซลล์ เรียกเอนไซม์ชนิดนี้ว่า intracellular enzyme และการที่จะได้เอนไซม์ชนิดนี้ จำเป็นจะต้องทำเซลล์ให้แตกก่อน ซึ่งมีกรรมวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก แต่สำหรับเอนไซม์ที่ผลิตเป็นการค้าส่วนใหญ่จะเป็นจำพวก extracellular enzyme เพราะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า กรรมวิธีการผลิตเอนไซม์ในอุตสาหกรรมที่เป็นการค้ามี 2 วิธีคือ

1. semi-solid culture เป็นกรรมวิธีที่ใช้ผลิตเอนไซม์เป็นการค้าในเอเชีย โดยเฉพาะญี่ปุ่น ซึ่งปัจจุบันใช้อยู่ วิธีการโดยทั่วไปคือเลี้ยงจุลินทรีย์ (โดยเฉพาะเชื้อราซึ่งใช้มากกว่าแบคทีเรีย) ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อซึ่งประกอบด้วยอาหารที่เป็นของแข็ง และส่วนผสมของน้ำ 50% อาหารเลี้ยงเชื่อนี้อาจจะป็นรำข้าวเจ้า หรือรำข้าวสาลี หรือแหล่งคาร์บอนอื่นๆ ในบางครั้งอาจจะต้องมีการเสริมสารอาหารพวกโปรตีน เกลือ ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตเอนไซม์ เมื่อทำการ sterile อาหารเลี้ยงเชื้อและทำให้เย็นแล้ว จึงใส่จุลินทรีย์ที่จะให้ผลิตเอนไซม์ลงบนอาหาร โดยแผ่กระจายไปบนถาด แล้วจึง incubate ไว้ในตู้หรือห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ในขณะที่ incubate ไว้จะมีอากาศที่ผ่านการฆ่าเชื้อผ่านเข้าไปในถาดเลี้ยงจุลินทรีย์ เพื่อผลิตเอนไซม์ ในระหว่าง incubate อยู่จะตรวจดู activity ของเอนไซม์ทุกวัน จนได้ปริมาณที่สูงที่สุดจึงทำการแยกเอนไซม์ออก โดยการสกัดเอนไซม์ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยน้ำหรือบัฟเฟอร์ แล้วทำการกรองส่วนของเหลวที่กรองได้คือเอนไซม์

2. Submerged culture เป็นกรรมวิธีที่ใช้ผลิตเอนไซม์ทั้งที่เป็นเชื้อรา และแบคทีเรีย เป็นการเลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตเอนไซม์ในอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งแหล่งสารอาหารคาร์บอน หรือไนโตรเจนจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ หรืออนินทรีย์ก็ได้ โดยทั่วไปแหล่งอาหารจะเป็นสารประกอบอินทรีย์โดยมีส่วนที่เป็นของแข็ง 2-6% และนอกนั้นเป็นของเหลว นอกจากนี้ยังอาจจะมีสารอาหารอื่นๆ อีกเพื่อการเจริญของจุลินทรีย์และผลิตเอนไซม์ การผลิตเอนไซม์แบบ submerged culture ถ้าทำในห้องปฏิบัติการแล้วอาจจะใช้ flask และ incubate ไว้บน shaker โดยมีอัตราการสั่นแตกต่างกันไปแล้วแต่ความเหมาะสมของเอนไซม์ที่ผลิตแต่ละชนิด ผลจากการสั่นนี้ทำให้จุลินทรีย์ที่เลี้ยงใน flask ได้รับอากาศตลอดเวลา นอกจากเลี้ยงใน shaker flask แล้ว ยังอาจจะเลี้ยงใน fermentator ซึ่งประกอบไปด้วย stirrer เครื่อง sterile อากาศ, เครื่องวัดและควบคุมพีเอช, เครื่องควบคุมอุณหภูมิ, เครื่องควบคุมฟอง (อรพิน ภูมิภมร. 2523 : 5-6)

4. ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการเตรียมสิ่งทอและการทดสอบคุณสมบัติของผ้า

4.1 การลงแป้งเส้นด้ายยืน

ในขณะที่เครื่องทอผ้ากำลังทำงาน เส้นด้ายยืนจะถูกแรงกระทำในสองลักษณะคือ แรงดึงเส้นด้ายยืน อันเนื่องมาจากการปรับความตึง การเปิดปิดตะกอล และการกระทบหน้าผ้า และแรงอันเนื่องมาจากการเสียดสี

จากพื้นหรือรูตะกอก และแผ่นเบรต ทั้งหมดนี้มีส่วนทำให้เส้นด้ายขาดในขณะทอผ้า ดังนั้นจุดประสงค์ของการลงแป้งเส้นด้ายยีน (warp sizing) คือเพื่อลดอัตราเส้นด้ายขาดซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการทอและคุณภาพผ้าสูงขึ้น (ลิลลี่ โกศียานนท์. 2541 : 176) แป้งธรรมชาติเหมาะที่จะใช้กับฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นสารที่มีราคาถูกและช่วยให้ประสิทธิภาพในการทอดีกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นๆ (Clifford Presston. 1986 : 65)

4.1.1 ปริมาณการลงแป้งเส้นด้ายที่เหมาะสม

แป้งธรรมชาติหรือแป้งสังเคราะห์จากสารเคมีถูกผสมกับน้ำให้อยู่ในลักษณะของสารละลาย เมื่อเส้นด้ายถูกเคลือบด้วยน้ำแป้ง และผ่านการอบแห้ง สารเหล่านั้นจะก่อรูปเป็นแผ่นฟิล์มห่อหุ้มรอบเส้นด้าย และส่วนหนึ่งซึมผ่านเข้าไปภายในเส้นด้าย ปริมาณแป้งที่ติดไปกับเส้นด้ายจะต้องเหมาะสม หากติดน้อยเกินไป หรือเคลือบอยู่เฉพาะผิวรอบนอก เส้นด้ายจะไม่ทนต่อการเสียดสี ปลายเส้นใยจะโผล่จากเส้นด้าย อาจพันกับเส้นข้างเคียง หรือเกาะตัวกันเองเป็นปมเล็กๆ และขาดในที่สุด ซึ่งสร้างความยุ่งยากในการทอ และได้ผิวสัมผัสไม่สวย ถ้าแป้งติดมากเกินไปเส้นด้ายจะขาดมากขึ้นเนื่องจากเส้นด้ายสูญเสียการยืดตัว และโค้งงอตัว นอกจากนั้นยังสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการลงแป้งและขั้นตอนการไล่แป้ง (desizing)

ปริมาณการติดแป้งที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการดังนี้

1. คุณภาพเส้นด้ายก่อนลงแป้ง เช่น ความยืดตัว ปริมาณขนของเส้นด้าย (hairiness)
2. โครงสร้างผ้า เช่น ลายขัด ลายตะแยง หรือลายซาติน ตลอดจนความถี่เส้นด้ายยีน และพุ่งโครงสร้างและความถี่ต่างกันมีความยากง่ายในการทอต่างกัน
3. ประเภทของสารลงแป้งที่ใช้ เช่น แป้งธรรมชาติหรือแป้งสังเคราะห์ และสัดส่วนในการผสม
4. ประเภทของเครื่องทอ และความเร็วรอบ
5. อุณหภูมิและความชื้นภายในห้องทอ

จากที่กล่าวมาทั้งหมดพบว่า การที่จะกำหนดปริมาณแป้งติด (size pick up) ในระดับที่เหมาะสมนั้น เป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อนเนื่องจากมีองค์ประกอบที่เป็นตัวแปรมาก ดังนั้นจำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางทฤษฎีในหลายส่วนที่เกี่ยวข้องกับการลงแป้ง การเก็บข้อมูลทางสถิติและทักษะของผู้ที่ปฏิบัติงานในส่วนของการลงแป้ง

4.1.2 สารลงแป้ง

สารที่ใช้ในการลงแป้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. แป้ง ได้แก่ สารประเภทแป้งที่ได้จากแป้งธรรมชาติ เช่น แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) แป้งข้าวโพด (corn starch) และแป้งมันฝรั่ง (potato starch) และแป้งสังเคราะห์จากสารเคมี เช่น พีวีเอ หรือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) และอะคริลิก (acrylic) เป็นต้น

2. สารอื่นๆ ได้แก่ สารหล่อลื่นประเภทน้ำมันและไข (oiling and wax) สารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ (anti-static agent) สารกำจัดฟอง (anti-foaming agent) และสารป้องกันเชื้อรา (mildew proofing) เป็นต้น

4.1.3 แป้งธรรมชาติ

แป้งธรรมชาติใช้ในการลงแป้งกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูก และมีคุณสมบัติการก่อ

รูปเป็นแผ่นฟิล์ม เคลือบเส้นด้ายได้ดีกับเส้นด้ายฝ้าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโครงสร้างผ้าที่ไม่แน่นมากนัก แต่ถ้าวเป็นโครงสร้างผ้าเนื้อแน่น และต้องการเปอร์เซ็นต์ติดแป้งสูง แป้งธรรมชาติจะไม่เหมาะเนื่องจากการผสมน้ำ แป้งที่ความเข้มข้นสูง แป้งจะหนืดมาก และซึมผ่านเข้าไปในเส้นด้ายไม่สะดวก ถ้าอุณหภูมิในถังแป้งหรือท่อส่งน้ำแป้งต่ำลงแป้งจะแปรสภาพเป็นเจลที่หนืดขึ้น นอกจากนี้ในขั้นตอนการไล่แป้งออก (desizing) จะต้องใช้เอนไซม์ (enzyme) เป็นตัวขจัดแป้งออกจากเส้นด้าย ในขณะที่แป้งสังเคราะห์จากสารเคมีไม่ต้องใช้ แป้งธรรมชาติใช้กันทั่วๆ ไปได้แก่

1. แป้งสาธู เป็นแป้งที่ใช้กันแพร่หลายมาก่อน เป็นแป้งที่มีเม็ดแป้งค่อนข้างใหญ่สามารถทำเป็นแป้งเปียกได้ดี มีความหนืดต่ำและจะยิ่งลดลงหากต้มนานๆ ตามธรรมชาติแป้งสาธูจะกลายเป็นวันที่อุณหภูมิ 78 - 82 องศาเซลเซียส ใช้เวลาต้มประมาณ 2-6 ชั่วโมง แต่ถ้าเติมโซดาไฟลงไปจะใช้เวลาต้มน้อยลง (ใช้โซดาไฟ 0.5 % ของน้ำหนักแป้ง) นอกจากนี้การเติมโซดาไฟลงไปจะช่วยให้แป้งสาธูเหนียวยิ่งขึ้น แป้งสาธูเป็นวัสดุที่ใช้ลงแป้งในอุตสาหกรรมทอผ้าได้ผลมาเป็นเวลานานแล้ว และสามารถใช้ได้กับผ้าเกือบทุกชนิดตลอดจนสภาพการทอต่างๆ กัน

2. แป้งข้าวโพดแป้งข้าวโพดใช้กันมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอเมริกา ซึ่งอาจจะใช้ในลักษณะของแป้งข้าวโพดล้วนๆ หรือแป้งข้าวโพดที่ผ่านกรรมวิธีอื่นแล้วแป้งข้าวโพดตามธรรมชาตินั้นต้องใช้เวลาดำเนินการจึงจะทำให้เม็ดแป้งแตกกลายเป็นวัน การเติมโซดาไฟลงไปเล็กน้อยจะช่วยให้การต้มง่ายขึ้น และเพิ่มความเหนียวยิ่งขึ้นด้วย ความหนืดของแป้งข้าวโพดจะไม่เปลี่ยนแปลงแม้จะต้มนานเพียงใดก็ตาม แป้งข้าวโพดจะกลายเป็นวันที่อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส และใช้เวลาต้ม 2-3 ชั่วโมง จึงจะใช้ได้สำหรับแป้งข้าวโพดที่ผ่านกรรมวิธีใช้เวลาต้มน้อยกว่าเพียง 45-60 นาทีเท่านั้น ตามปกติจะเริ่มเป็นวันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความหนืดจะสูงสุดเมื่อต้ม 30 นาที ถ้าต้มนานเกินไปความหนืดจะลดลงเล็กน้อย อาจจะกล่าวได้ว่าการต้มนานๆ ไม่ทำให้ความหนืดของแป้งเปลี่ยนไปแต่อย่างใด

3. แป้งข้าวเจ้า ใช้มากสำหรับในโรงงานทอผ้าในประเทศไทย ส่วนประกอบของแป้งข้าวเจ้ามีดังนี้

แป้ง	78.23 %
ไขมัน	0.74 %
เซลลูโลส	3.06 %
น้ำตาลและยาง	0.45 %
สารประกอบของไฮโดรเจน	6.8 %
เถ้า	0.81 %
น้ำ	9.11 %

แป้งข้าวเจ้าจะกลายเป็นวันที่เมื่อต้มเมื่ออุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส เมื่อต้ม 1-2 ชั่วโมง แป้งข้าวเจ้ามีเม็ดแป้งเล็กที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาต้มจนจึงจะกลายเป็นแป้งเปียก แต่ก็มีส่วนดีในแง่ที่มันสามารถในการซึมเข้าไปในเนื้อผ้าได้ดี ถึงแม้ว่าการใช้เวลาต้มจะทำให้ความหนืดลดลงก็ตาม

4. แป้งมันสำปะหลัง เป็นแป้งที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันปกติมีความหนืดพอๆ กับแป้งสาธู และจะลดลงเมื่อต้มนานๆ ตามปกติถ้าต้มแป้งสาธูที่อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส เม็ดแป้งจะพองตัวและมีความหนืดสูงสุดอยู่ประมาณ 10 นาที และต่อจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งคงที่ (ฉัตร วัฒนศิริ. มปป : 4-5)

4.1.4 การผสมน้ำแป้งจากธรรมชาติ

แป้งธรรมชาติโดยทั่วไปประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนคือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) มีสัดส่วนประมาณ 20 : 80 ตามลำดับ อะไมโลเพกทิน ซึ่งอยู่ส่วนรอบนอกมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำร้อน ความหนืดสูง ส่วนอะไมโลส ละลายได้ดีในน้ำร้อน และมีความหนืดต่ำ ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นการผสมควรใช้น้ำอุณหภูมิต่ำ เพื่อให้อะไมโลเพกทิน ดูดซึมน้ำและค่อยๆ พองตัวด้วยการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นทีละน้อยเมื่ออุณหภูมิประมาณ 60 – 70 องศาเซลเซียส อะไมโลสจะเริ่มละลายในน้ำจนกระทั่งถึง 90 องศาเซลเซียส แป้งจะแตกตัวเต็มที่ในช่วงนี้แป้งจะมีความหนืดสูง และเมื่อต้มต่อไปด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ความหนืดจะค่อยๆ ต่ำลงจนถึงจุดคงที่ ดังนั้นก่อนบ่มน้ำแป้งจากถั่วลิสงไปยังเครื่องลงแป้งจะต้องตรวจสอบความหนืดให้คงที่ หรือที่เรียกว่าแป้งสุกเต็มที่ แป้งที่ยังไม่หนืดคงที่จะไปเคลือบเฉพาะผิวนอกเส้นด้าย ไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเส้นด้ายได้สะดวก ถ้าต้มแบบฝาเปิดโดยทั่วไปเมื่อน้ำแป้งเดือด หรืออุณหภูมิประมาณ 97 องศาเซลเซียส ให้ต้มต่อไปอีก 40 – 45 นาที ถ้าเป็นถึงระบบความดันสูงเมื่ออุณหภูมิถึง 120 องศาเซลเซียส ให้ต้มต่อไปอีก 20 – 25 นาที แป้งธรรมชาติสามารถนำไปดัดแปลงเพื่อให้มีคุณสมบัติดีขึ้น เช่น ซีเอ็มซี หรือคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส CMC (carboxy methyl cellulose) โดยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าอีเทอร์ิฟิเคชัน eterification ด้วยกรดโมโนคลอโรอะซิติก แป้งจะมีความหนืดคงที่ แผ่นฟิล์มของแป้งซีเอ็มซีทนต่อการเสียดสี และมีความโค้งงอตัวได้ดีขึ้น (ลิลลี่ โกตียานนท์. 2541)

4.1.5 การควบคุมเปอร์เซ็นต์แป้งติด

เปอร์เซ็นต์แป้งติด (size pick up) คือเป้าหมายหลักที่จะต้องควบคุมเพื่อทอดผ้าให้ได้ผลดี องค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อการที่แป้งติดไปกับเส้นด้ายนั้นมีมาก แต่ที่สำคัญคือเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเนื้อสารในน้ำแป้ง และปริมาณน้ำแป้งที่ติดไปกับเส้นด้าย เมื่อยังมีไดออบแห้ง ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์เป็นสมการได้ดังนี้

$$\% \text{ size pick up} = \% \text{ size concentration} \times \text{wet pick up}$$

เมื่อ $\% \text{ size pick up}$ คือ $\%$ แป้งติดไปกับเส้นด้ายเมื่ออบแห้งแล้ว

$\% \text{ size concentration}$ คือ $\%$ ความเข้มข้นของเนื้อสารในน้ำแป้ง

$\% \text{ wet pick up}$ คือ $\%$ อัตราส่วนแป้งติดไปกับเส้นด้ายเมื่อยังไม่อบแห้ง

$$\text{wet pick up} = \frac{\% \text{ size pick up}}{\% \text{ size concentration}}$$

(ลิลลี่ โกตียานนท์. 2541 : 193-194)

4.2 การลอกแป้ง

การลอกแป้ง เป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นสำหรับผ้าทอ เนื่องจากในการทอผ้าจะต้องมีการลงแป้งเส้นด้ายยืนก่อน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทอ แต่เมื่อนำผ้าที่ทอเสร็จแล้วไปทำการย้อมแป้งที่เคลือบอยู่บนเส้นด้ายจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ และสารเคมีของเส้นใย ดังนั้นจึงเป็นที่ต้องทำการขจัดออกไป และการลอกแป้งสำคัญมากสำหรับผ้าย้อม ด้ายฝ้ายมักจะลงแป้งด้วยแป้งธรรมชาติซึ่งไม่สามารถขจัดออกได้ในขั้นตอนการสกาวิธีธรรมชาติเหมือนแป้งชนิดอื่นๆ เช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ โพลีไวนิลอะซิเตตและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซึ่งแป้งเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้กับใยสังเคราะห์ สามารถกำจัดได้โดยใช้น้ำร้อนหรือในสารละลายด่างอ่อนหรือในน้ำสบู่ (กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2540 : 3)

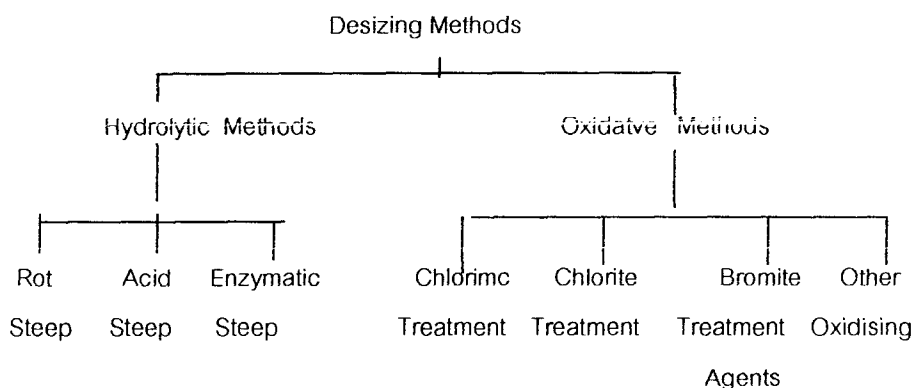
ขั้นตอนการลอกแป้งมีความสำคัญพอสรุปได้ดังนี้คือ

1. การลอกแป้งทำให้ผ้ามีคุณสมบัติในการเปียกน้ำได้ดีและสม่ำเสมอ อันจะช่วยทำให้การตกแต่งผ้าในขั้นตอนต่อไป เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สามารถประหยัดเวลาและสารเคมีที่ใช้
2. ทำให้ผ้ามีคุณสมบัติในการดูดติดสีและสารเคมีอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน
3. ทำให้ผ้ามีความนุ่มต่อผิวสัมผัส ไม่หยาบและแข็งกระด้าง (สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา .2543)

การลอกแป้งออกเป็นการทำให้แป้งถูกย่อยออกไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ (Water-soluble degradation products) โครงสร้างทางเคมีของแป้ง (Starch) เป็น Poly-glucopyranose ซึ่งมี Straight Chain เป็นอะไมโลส และ branch chain เป็นอะไมโลเพกติน ทั้ง 2 ตัวนี้ไม่ละลายน้ำแต่สามารถทำให้ละลายได้โดยการไฮโดรไลส์ลูกโซ่โมเลกุลที่ยาวให้เป็นลูกโซ่โมเลกุลสั้นๆ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของโพลีเมอร์ที่ว่าเมื่อ Degree ของการโพลีเมอร์ไรส์ลดลง การละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะที่เหมาะสม แป้ง (Starch) จะถูกไฮโดรไลส์เป็นขั้นๆ ดังนี้



ในการลอกแป้งปฏิกิริยาไฮโดรไลส์จะถึงขั้นที่เป็นเดกซ์ตริน การลอกแป้งเป็นขบวนการทางเคมี อัตราเร็วของการไฮโดรไลส์ของแป้งสามารถควบคุมได้ เช่น ถ้าในน้ำยาลอกแป้ง (desizing liquor) ที่แรง ขบวนการจะสมบูรณ์ในเวลาสั้น ดังนั้นก็ใช้ขบวนการต่อเนื่อง (Continuous Process) ได้ แต่ถ้าน้ำยาอ่อน ขบวนการควรจะเป็นการหมัก (Batch Process)



ภาพประกอบ 8 การจำแนกวิธีการลอกแป้ง (Classification of Desizing Method)

สามารถจำแนกออกได้ดังแสดงใน Diagram ที่มา : สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา. 2540 : 4)

การลอกแป้งโดยวิธีไฮโดรไลส์ (Hydrolytic Methods) มี 3 วิธีด้วยกันดังในแผนผังด้านบน ซึ่งจะได้อธิบายแต่ละวิธีดังนี้

1. การแช่เปื่อย (Rot Steep) เป็นวิธีที่เก่าแก่และถูกที่สุดใน 3 วิธีด้วยกัน วิธีนี้โดยผ่านผ้าในน้ำอุ่น 40 องศาเซลเซียส แล้วอัดด้วย padding mangle ใช้ 100% expression ต่อจากนั้นทิ้งผ่านาน 24 ชั่วโมง Microorganism (Bacteria) ที่อยู่ในน้ำอุ่น (25-40 องศาเซลเซียส) จะเพิ่มมากขึ้น (โดยการแบ่งตัว) และจะผลิตเอนไซม์ ทำหน้าที่เป็นตัวย่อยแป้งให้เหลวต่อจากนั้นล้างน้ำ วิธีนี้ไม่ค่อยมีประโยชน์ เนื่องจากขบวนการย่อยเกิดช้า และต้องใช้เนื้อที่มากในการเก็บผ้าหมัก

2. แช่ด้วยกรด (Acid Steep) โดยการใช้กรดเกลือเจือจาง (dil HCl) หรือกรดกำมะถันเจือจาง (dil H_2SO_4) ในการไฮโดรไลส์แป้ง สารละลายกรดดังกล่าวใช้เข้มข้น 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ แช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมงหรืออาจใช้ความเข้มข้น 0.25 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) นาน 8-12 ชั่วโมง การไฮโดรไลส์ของแป้งเป็นขบวนการคายความร้อน (Exothermic Process) และขณะที่เกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิของผ้าจะสูงขึ้น บางครั้งอาจสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูง อัตราเร็วของการไฮโดรไลส์จะเพิ่มขึ้น การใช้กรดอาจมีอันตรายต่อผ้า กรดแร่เจือจางจะไม่ย่อย หรือไฮโดรไลส์เซลลูโลสภายใต้สภาวะที่กำหนด (ความเข้มข้นไม่มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์, อุณหภูมิไม่สูงกว่า 50 องศาเซลเซียส, เวลา) แต่ถ้าผ้าที่อัดสารละลายกรดเจือจางนี้ถูกกับอากาศระเหยที่หมัก จะเกิดการระเหยของน้ำ ทำให้ความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น และถ้าความเข้มข้นขึ้นสูงไปเซลลูโลสจะถูกไฮโดรไลส์จะมีผลทำให้เส้นใยเปื่อยและจะเป็นเฉพาะแห่ง ซึ่งจะเห็นได้ชัดหลังจากที่นำผ้านี้ไปย้อม จะให้สีไม่สม่ำเสมอ วิธีหลีกเลี่ยงการสัมผัส กับอากาศโดยการคลุมด้วยผ้ากระสอบที่ชื้น หรือหมักในที่ที่มีผ้าปิด วิธีนี้ แป้งเกือบทั้งหมดจะถูกย่อยให้เหลวลง กลายเป็นสารละลายน้ำได้และวิธีนี้จะขจัดแป้งออกได้มากกว่าวิธีการแช่เปื่อย แต่ต้องระมัดระวังให้มาก เพราะจะเป็นอันตรายต่อผ้า ถ้าไม่ควบคุมสภาวะให้ดี วิธีนี้ใช้กรดทำปฏิกิริยากับแป้ง ความแรงของกรด ความเข้มข้น และ

อุณหภูมิเป็นตัวแปรในการทำปฏิกิริยาของกรด กรดสามารถย่อยสลายเส้นใยได้โดยเฉพาะเส้นใยฝ้าย ดังนั้นเวลาใช้กรดกำจัดแป้งให้ระวังเรื่องการทำลายเส้นใย (ลิลลี่ โกศลยานนท์. 2541 : 220)

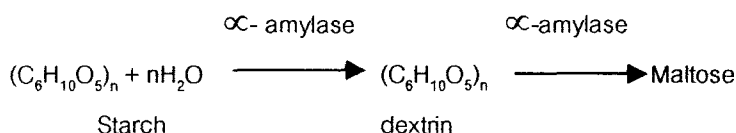
3. การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ (Enzyme Desizing) การลอกแป้งโดยใช้เอนไซม์เป็นวิธีที่ใช้มากที่สุดกับผ้าฝ้ายที่ทำการลงแป้งด้วยแป้งธรรมชาติ แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสจะมีการนำมาใช้มากกว่า (Clifford Presston .1986 : 66) วิธีจัดแป้งโดยการแช่จนเปื่อย (rot steeping) นั้นโอกาสที่เชื้อราจะเกิดบนผ้าในระหว่างการแช่มีมาก แต่ถ้าใช้เอนไซม์ในการจัดแป้งจะไม่เกิดเชื้อราเลย วิธีนี้เป็นวิธีที่ให้ผลดีที่สุดในการจัดแป้งออกจากผ้า เอนไซม์เป็นสาร Biocatalyst ซึ่งแตกต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ธรรมดาเนื่องจากมันมีปฏิกิริยาเฉพาะ เป็น Thermo - labile ใช้พลังงานในการ activate ต่ำ (Low energy of activation) และ active ในช่องแคบๆ ของพีเอชอาจแบ่งเอนไซม์ตามชื่อของตัวที่ถูกทำลายโดยเอนไซม์นั้นๆ ได้ดังนี้

เอนไซม์อะไมเลส จะย่อย อะไมโลส

เอนไซม์โปรเตส จะย่อย โปรตีน

เอนไซม์เซลลูเลส จะย่อย เซลลูโลส

ในการทดลองลอกแป้ง เมื่อใช้เอนไซม์ในปริมาณที่พอเหมาะใส่ลงในแป้งชั้นๆ คล้ายวุ้น (gelatinised starch paste) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ แป้งจะเปลี่ยนไปเป็นของเหลวแล้วแป้งถูกเปลี่ยนไปเป็นเดกซ์ตริน หลังจากนั้นก็จะถูกย่อยต่อไปเป็นมอลโตส จากมอลโตสก็จะย่อยไปเป็นเดกซ์โตสดังสมการ



แป้งที่ใช้ในการลงแป้ง (Sizing) จะประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์อยู่ 2 ชนิดคือ อะไมโลสและอะไมโลเพคตินในอัตราส่วน 1 ต่อ 4 ถึง 1 ต่อ 5 ทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพคตินจะประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลดีกลูโคสเรียงต่อกัน อะไมโลสประกอบด้วยหน่วยกลูโคส (glucose unit) ระหว่าง 100-700 หน่วย เชื่อมต่อกันที่ C ตัวที่ 1 และตัวที่ 4 อะไมโลเพคตินประกอบด้วยหน่วยกลูโคส 500 -2000 หน่วยเชื่อมต่อกันที่ C ตัวที่ 1 และตัวที่ 4 และระหว่าง C ตัวที่ 1 กับตัวที่ 6 เป็น branched chains (สายสมร ล้ายอง. 2522 : 83)

โดยทั่วไป เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการลอกแป้ง (enzymatic desizing agent) อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. Dextrinogenic หรือ α - amylase

2. Saccharogenic หรือ β - amylase

ทั้งแอลฟาและเบตาอะไมเลสจะทำหน้าที่คล้ายกัน คือ ไฮโดรไลส์ glucosidic linkage ในโมเลกุลของแป้ง (Starch) แต่จุดซึ่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นต่างกัน แอลฟาอะไมเลสจะย่อยสลายแป้งที่ chain อย่างอิสระ ทำให้ Degree of Polymerization ของแป้งลดลงอย่างรวดเร็ว แอลฟาอะไมเลสจึงได้ชื่ออีกชื่อหนึ่งว่า

Dextrinogenic และเป็นตัวทำให้แป้งที่ถูกย่อยเหลวลงเนื่องจากถูกไฮโดรไลส์เป็นเดกซ์ตริน มีความหนืดลดลงจากเดิมด้วยเดกซ์ตริน นี้จะละลายน้ำและขจัดออกจากผ้าได้ (กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2540 : 8)

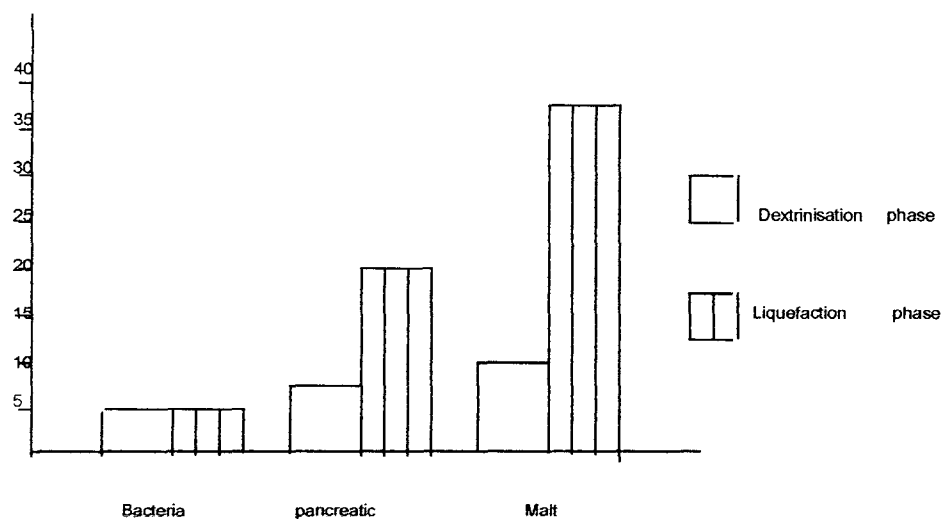
ส่วนเบตาอะไมเลสจะทำหน้าที่ขจัด maltose units ที่อยู่ที่ปลายของ polymer chain ที่ถูก reduced ทำให้ polymer chain สั้นลงไป เมื่อเบตาอะไมเลสย่อยแป้งที่ตำแหน่ง end glucose unit ของอะไมโลเพคติน ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นแต่จะหยุดเมื่อถึง C₁ - C₆ linkage และจะเข้าไปจับที่จุดที่เป็น branch นี้เดกซ์ตริน ซึ่งเหลือจากปฏิกิริยาของเบตาอะไมเลสจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและไม่ละลายน้ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอะไมเลสทั้ง 2 ตัวแล้วจะเห็นว่าแอลฟาอะไมเลสสำคัญกว่าในการลอกแป้ง เพราะว่ามันจะทำให้โมเลกุลของแป้งแตกออกเป็นเดกซ์ตรินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ได้รวดเร็วกว่า ดังตัวอย่างประสิทธิภาพของการลอกแป้งของเอนไซม์ แสดงให้เห็นดังนี้

ตาราง 5 แสดงผลการลอกแป้งระหว่างแอลฟาอะไมเลสและเบตาอะไมเลส

Duration of Reaction (hr)	Temperature (°C)	Amylase		
		α - amylase	β - amylase	Mixt of α - and β - amylase
		% residue		
2	30	41	95	46
18	30	25	84	22
2	50	15	68	11
18	50	11	24	10

แม้ว่าเอนไซม์หลายตัวจะสามารถทำให้เป็นผลึกได้ แต่การแยกเอนไซม์ที่บริสุทธิ์ออกมาทำได้ยากและเอนไซม์ที่บริสุทธิ์นี้ไม่อยู่ตัว (unstable) เพราะฉะนั้นในอุตสาหกรรมจึงใช้เอนไซม์ที่เตรียมอย่างไม่บริสุทธิ์ (impure preparation) สารพวกนี้ประกอบด้วยเอนไซม์ปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น (โดยน้ำหนัก) ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเอนไซม์ที่เตรียมต่างกันก็ย่อมแตกต่างกันด้วย เช่น เอนไซม์จากมอลต์ (malt) ประกอบด้วยแอลฟาและเบตาอะไมเลส เอนไซม์จากแบคทีเรีย (bacteria) และแพนครีส (pancreas) ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแอลฟาอะไมเลส ดังนั้นความสามารถในการย่อยให้ได้มอลโตสจึงแตกต่างกัน

% maltose



ภาพประกอบ 9 แสดงการเกิดมอลโตสโดยเอนไซม์ชนิดต่างๆ

ที่มา : สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา. 2540 : 10

จากรูปจะเห็นว่า malt extract จะมีปริมาณของเบตาอะไมเลส มากกว่าเอนไซม์ที่ได้จากแบคทีเรีย และแพนক্রีต Pancretatic enzyme ได้จาก waste product ที่ได้จากโรงงานฆ่าสัตว์น้ำ waste นี้มาสกัดด้วยน้ำ แล้วทำให้เข้มข้นขึ้น ต่อจากนั้นนำมาตกตะกอนโดยเติมแอลกอฮอล์ กรองออกทำให้แห้ง เอนไซม์ตัวนี้จะไม่ active ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและด่าง และจะถูกออกซิไดส์โดยอากาศที่มีความชื้นอยู่ด้วย สิ่งสำคัญในการลอกแป้งด้วยเอนไซม์ คือ ถ้าไม่ควบคุมสภาวะ เช่น พีเอช อุณหภูมิ ให้เหมาะสมประสิทธิภาพในการลอกแป้งจะถูกทำลาย activity ของเอนไซม์จะถูกทำลายหรือไม่ active ที่อุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส เอนไซม์แต่ละตัวจะ active โดยเฉพาะของมันที่สภาวะหนึ่ง ดังแสดงให้เห็นจากตาราง

ตาราง 6 แสดงสภาวะสูงสุดที่ใช้ในการจัดแบ่งของเอนไซม์อะไมเลส

อะไมเลส	optimum pH	optimum temp (°C)
Pancrease	6.8-7.0	40-55
Malt alpha	4.6-5.2	55-65
Malt beta	4.6-5.2	40-50
Bacterial	5-7	60-70

เอนไซม์ส่วนใหญ่จะทำหน้าที่ได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 40–60 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ activity จะลดลงหรือถูกทำลาย

ในห้องปฏิบัติการ อาจหาค่า activity ของเอนไซม์อะไมเลส ได้โดย

1. ติดตามผลของอัตราการลดลงของความหนืดของน้ำแป้งชั้นๆ ที่เหลวขึ้น (rate of decrease of viscosity of starch paste in the liquefaction phase)

2. โดยทำการวัดปริมาณของ Reducing group ที่เพิ่มขึ้น (Saccharification)

3. หาอัตราเร็วของสีน้ำเงินของสารประกอบเชิงซ้อนของไอโอดีน แป้ง ที่หายไป

สายสมร สำยอง (2522 : 84) ได้กล่าวถึงการตรวจสอบการย่อยแป้งมักจะใช้สารไอโอดีนเป็นตัวทดสอบ โดยสังเกตจากการเกิดสีน้ำเงินเมื่อใส่ไอโอดีนลงไป เกิดเนื่องจากการทำปฏิกิริยากับอะไมโลส โดยไอโอดีนจะถูกตรึงไว้กับหน่วยย่อยของกลูโคสที่ต่อกันเป็นเกลียวอยู่ ทำให้เกิดสีน้ำเงินขึ้น ถ้าเป็นอะไมโลเพกตินจะให้สีแดงหรือสีม่วงกับไอโอดีน การตรวจสอบการย่อยแป้งถ้ามีสีน้ำเงินแสดงว่ายังมีแป้งที่ยังไม่ถูกสลายไป แต่ถ้าไม่ปรากฏสีน้ำเงินก็แสดงว่าแป้งมีการสลายตัวไปหมดแล้วซึ่งเป็นการให้ผลการตรวจสอบอย่างหายาๆ ว่ามีการย่อยสลายของแป้งเพราะ ถ้ามีโมเลกุลของแป้งที่ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสมากกว่า 30 หน่วย จะพบสีน้ำเงินเกิดขึ้น ถ้ามีเพียง 8-12 หน่วยจะให้สีแดง ถ้าเหลือหน่วยย่อยของกลูโคสเพียง 6 หน่วยหรือน้อยกว่า 6 จะไม่มีสี ซึ่งการอ่านผลนั้นจะต้องอ่านทันที หลังจากเติมไอโอดีนลงไปแล้วสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นในแป้งอาจจะจางลง ทำให้อ่านผลไม่ชัด

การทดสอบผลการลอกแป้ง

หลังจากกำจัดแป้งแล้วจำเป็นต้องทดสอบว่ามีแป้งเหลืออยู่มากหรือน้อย การตรวจสอบผลการลอกแป้ง อาศัยการดูปริมาณแป้งที่เหลือบนผ้า ซึ่งวิธีที่ง่ายที่สุด คือ การหยดด้วยสารละลายที่เหมาะสม และสังเกตคูสีที่ได้ (ตำริ สุโชชนัง และ เพ็ญศรี ทองนพคุณ. 2543 : 42)

การทดสอบแป้งธรรมชาติ

สารเคมีที่ใช้ : สารละลายไอโอดีน 0.01%

วิธีเตรียม : ชั่งโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.4 กรัม นำมาละลายน้ำประมาณ 100 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด จึงเติมไอโอดีนที่ชั่งไว้ 1.3 กรัมลงไป คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกันนำไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลายที่มีปริมาตร 1 ลิตร

วิธีทดสอบ : หยดสารละลายไอโอดีนที่เตรียมไว้ 1 หยด ลงบนผ้าที่จะทดสอบ หรือหยดลงในสารละลายน้ำร้อนที่สกัดได้จากผ้า

ผลการทดสอบ : ถ้าเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่ามีแป้งอยู่บนผ้าแป้งยังไม่สลายตัว

ถ้าเป็นสีม่วงแดง แสดงว่าแป้งบางส่วนถูกย่อยเป็นเด็คซ์ตรินซ์

ถ้าเป็นสีน้ำตาลแดง แสดงว่าแป้งถูกย่อยสลายหมด

ถ้าเป็นสีเหลือง แสดงว่าไม่มีแป้งเหลืออยู่เลย

การวิเคราะห์หาปริมาณแป้ง

ตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารแต่ละอย่าง ให้ใช้ตัวอย่างครั้งละสองชิ้น และให้ดึงตัวอย่างออกจากแต่ละริมของตัวอย่างหลายๆ เส้นเพื่อกันมิให้คายหลุดไประหว่างการทดสอบ แต่ละตัวอย่างต้องหนักไม่น้อยกว่า 5 กรัม

การอบตัวอย่างจนน้ำหนักคงที่

ตัวอย่างที่อบจนแห้งและจะถือว่าน้ำหนักคงที่ได้ เมื่อความแตกต่างของน้ำหนักในการชั่งสองครั้งไม่มากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักที่ชั่งครั้งหลัง และแต่ละครั้งต้องชั่งห่างกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 นาที

วิธีทดสอบ

อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 ถึง 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แخذตัวอย่างในสารละลายเอนไซม์ และคนโดยสม่ำเสมอแล้วล้างตัวอย่างให้ทั่วด้วยน้ำกลั่นร้อนหลายๆ ครั้ง ในการล้างแต่ละครั้งต้องบีบตัวอย่างให้แห้งแล้วอบตัวอย่างให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ความเข้มข้นของสารละลาย อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสารละลายกับตัวอย่าง อุณหภูมิและเวลาในการแช่ตัวอย่าง ให้ถือตามที่ผู้ทำสารละลายนั้นได้กำหนดไว้

การคำนวณ

คำนวณปริมาณแป้งตามสูตรข้างล่างนี้

$$\text{ปริมาณแป้ง (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักอบแห้งครั้งแรก} - \text{น้ำหนักอบแห้งครั้งหลัง}}{\text{น้ำหนักอบแห้งครั้งแรก}} \times 100$$

(คำริ สุพรรณัง และ เพ็ญศรี ทองนพคุณ. 2543 : 43)

4.3 การลอกแป้งบนผืนผ้า

โดยปกติแล้วใยฝ้ายจะมีสิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น พวกไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลลิ่ง และเศษเปลือกเมล็ดฝ้าย ซึ่งในขั้นตอนการปั่นด้ายสิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้ยังไม่ถูกขจัดออกไป ยิ่งกว่านั้นยังเพิ่มสิ่งเจือปนพวกน้ำมันหล่อลื่นและฝุ่นที่เกาะติดกับน้ำมันเข้าไปในเส้นด้ายอีกด้วย และเมื่อนำเส้นด้ายไปทอเป็นผืนผ้าเส้นด้ายที่เป็นเส้นด้ายยืนนั้นจะต้องมีความเรียบ เหนียว ยืดหยุ่น ทนทานต่อการเสียดสีของกระสวยและฟันหวี จำเป็นต้องมีการลงแป้ง โดยใช้สารจำพวกแป้ง ยาง เรซิน กาว หรือ โพลีเมอร์ และสารช่วยยวมนตัวอื่นๆ ผสมกัน ก็เป็นสิ่งเจือปนเข้ามาอีกพวกหนึ่งสำหรับผืนผ้า สิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนของเส้นด้ายหรือผืนผ้าเหล่านี้ จะเป็นสิ่งห่อหุ้มป้องกันการแทรกซึมของน้ำ สารเคมี และสีย้อม พิมพ์ หรือตกแต่งผ้าให้ดูสวยงามด้วยสีสรร มีความเรียบสม่ำเสมอของสี และการตกแต่งต่างๆ ก็จำเป็นต้องทำการขจัดสิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนออกไปจากผืนผ้า แป้งเป็นองค์ประกอบสำคัญในสารลงแป้งและเป็นตัวปัญหาสำคัญเนื่องจากแป้งจะไม่ละลายน้ำแม้ในน้ำร้อนเดือด ส่วนสารช่วยอื่นๆ ที่ผสมอยู่ด้วยส่วนใหญ่สามารถละลายได้ในน้ำ จึงเป็นการยากที่จะขจัดแป้งออกจากผ้าโดยสิ้นเชิงด้วยวิธีการซักผ้าตามปกติทั่วไป หลักในการขจัดแป้งก็คือ ทำให้แป้งสลายตัวเปลี่ยนสภาพจนสามารถละลายได้ในน้ำ และน้ำก็จะล้างแป้งที่เปลี่ยนสภาพแล้วออกจากผ้าไปได้ นั่นก็คือใช้กรรมวิธีเปลี่ยนสภาพแป้งให้เป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้โดยวิธีการทางเคมีหรือชีวเคมี เช่น การแช่กรด การแช่ให้เบื่อย หรือการใช้สารเคมีพวกออกซิไดซิงเอเจนท์ ทำให้แป้งสลายตัวจึงล้างน้ำออก แต่วิธีการที่กล่าวมานี้ไม่ได้ผลในการขจัดแป้งอย่างสมบูรณ์ที่ได้ผลดีเป็นที่นิยมแพร่หลายทั่วไปคือ การใช้เอนไซม์ขจัดแป้ง (สุชาติ อินทรโชติ. มปป : 2) ปริมาณของเอนไซม์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณแป้งบนผืนผ้าและวิธีการที่ใช้ นอกจากนี้ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่แต่ละบริษัทขายยังไม่เท่ากัน ดังนั้นก่อนการใช้เอนไซม์จึงควรทดลองดูเสียก่อน

วิธีการลอกแป้ง อาจทำได้หลายวิธี

1. โดยการจุ่มอัดน้ำยา หลังจากนั้นทิ้งไว้เป็นเวลา 6-12 ชั่วโมง ในแท้งค์เก็บหรือในรถเข็น
2. โดยการใช้เครื่องย้อมสี เช่น จิ๊กเกอร์ (Jigger) วินช์ (winch) บีม (beam) ฯลฯ
3. โดยวิธีการกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous method) เช่น ทำการอัดน้ำยาแล้วแช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิหนึ่ง และในเวลาพอสมควรที่จะทำให้แป้งสลายตัว
4. โดยวิธีการต่อเนื่อง (Fully continuous method) เช่น อัดน้ำยาแล้วผ่านเข้าเครื่องอบไอน้ำ (pad-steam process)

วิธีการ : ในการปฏิบัติการ จะกล่าวถึงเฉพาะการขจัดแป้งโดยใช้เอนไซม์เท่านั้น ซึ่งใช้กรรมวิธีตามสูตรดังต่อไปนี้

เอนไซม์ (Enzyme desizing agent)	2 - 3	กรัมต่อลิตร
เกลลิ่ง	3	กรัมต่อลิตร
สารช่วยเปียก (Wetting agent)	1	กรัมต่อลิตร

ใช้อัตราส่วนของผ้าต่อน้ำ (liquor ratio) = 1 : 30 โดยซึ่งสารจากการคำนวณในสูตรข้างบนละลายในน้ำ 30 เท่าของน้ำหนักผ้า นำสารละลายตั้งไฟ จะได้อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส จึงเอาผ้าลงแช่เป็น

เวลา 1-2 ชั่วโมง หรือจนแบ่งละลายออกหมด (โดยการทดสอบ) จึงนำผ้าไปซักน้ำร้อนประมาณ 10-15 นาที จึง
สลัดตากให้แห้ง (สุชาติ อินทรโชติ.มปป : 2)

4.3.1 ตัวอย่างสูตรการลอกแป้งบนผืนผ้า

ตัวอย่างสูตรไล่แป้งในเครื่องจิกเกอร์ (Jigger)

เอนไซม์	2-5	กรัมต่อลิตร
สารช่วยเปียก (Wetting Agent Nonionic)	1-2	กรัมต่อลิตร
โซเดียมคลอไรด์ (หรือตามคำแนะนำ)	5	กรัมต่อลิตร
สารลดความกระต้างของน้ำ (Complexing Agent)	1	กรัมต่อลิตร

กรดอะซีติก เพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5

อุณหภูมิ 65-75 °C หรือ 98 °C 3-4 Passages

อัตราส่วนของผ้าต่อน้ำ L : R = 1 : 3

ไล่แป้ง————>ล้างด้วยน้ำร้อน (หรือ scouring) —————>ล้างด้วยน้ำเย็น

ตัวอย่างสูตรไล่แป้งในเครื่องวินช์เบค (Winch beck)

เอนไซม์	0.5-1	กรัมต่อลิตร
สารช่วยเปียก (Wetting Agent Nonionic)	0.5-1	กรัมต่อลิตร
โซเดียมคลอไรด์ (หรือตามคำแนะนำ)	1	กรัมต่อลิตร
สารลดความกระต้างของน้ำ (Complexing Agent)	1	กรัมต่อลิตร

กรดอะซีติก เพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5

อุณหภูมิ 65-70 °C หรือ 98 °C เวลา 45-60 นาที

อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ L : R = 1 : 20

ไล่แป้ง————>ล้างด้วยน้ำร้อน (หรือ scouring) —————>ล้างด้วยน้ำเย็น

ตัวอย่างสูตรไล่แป้งในเครื่องจุ่มอัดน้ำยา (Pad batch) 100% pick up

เอนไซม์	2-5	กรัมต่อลิตร
สารช่วยเปียก (Wetting Agent Nonionic)	1-2	กรัมต่อลิตร
โซเดียมคลอไรด์ (หรือตามคำแนะนำ)	5	กรัมต่อลิตร
สารลดความกระต้างของน้ำ (Complexing Agent)	1	กรัมต่อลิตร

กรดอะซีติก เพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5

อุณหภูมิ 65-70 °C หรือ 98 °C เวลา 4-6 ชั่วโมง

ไล่แป้ง————>ล้างด้วยน้ำร้อน (หรือ scouring) —————>ล้างด้วยน้ำเย็น

(ลิลลี่ โกศลยานนท์. 2541 : 229-230)

4.3.2 การลอกแป้งบนผืนผ้าสำหรับเอนไซม์ธรรมชาติ

1. การลอกแป้งออกจากผืนผ้าด้วยเครื่องอบไอน้ำ (continuous Pad-Stream)

ล้างด้วยน้ำร้อน : 90°C นาน 20 นาที
 ล้างด้วยน้ำเย็น : ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 นาที
 Pick up Difference 20 – 30 %

ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 นาที ให้ผ้าดูดซับน้ำ

ผ่านไอน้ำที่อุณหภูมิ 70°C – 80°C นาน 30 นาที

ผ่านน้ำร้อน : 90°C นาน 10 – 20 นาที

ผ่านน้ำเย็นที่อุณหภูมิห้องนาน 7 นาที

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในช่วงผ่านไอน้ำ

ปริมาณเอนไซม์ (A.M.E. 85) 3 – 10 กรัมต่อลิตร

ปริมาณสารช่วยเปียก (Non-ionic Wetting Agent) 2 – 5 กรัมต่อลิตร

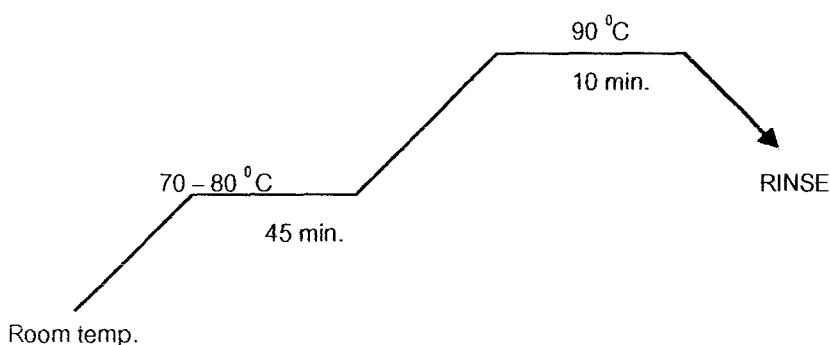
2. เครื่องจิกเกอร์ (Jigger Method)

เอนไซม์ (A.M.E. 85) : 1 - 3 กรัมต่อลิตร
 สารช่วยเปียก (Scour NF-60) : 1 - 2 กรัมต่อลิตร
 สารลดความกระด้าง (Mequest WZN): 1 - 2 กรัมต่อลิตร
 L.R. = 3 : 1 : อุณหภูมิ = 70°C ; 4 - 6 นาที

3. เครื่องวินช์ (Winch Method)

เอนไซม์ (A.M.E. 85) : 0.5 - 2 กรัมต่อลิตร
 สารช่วยเปียก (Scour NF - 60) : 0.5 - 1.0 กรัมต่อลิตร
 สารลดความกระด้าง (Mequest WZN): 0.5 - 1.0 กรัมต่อลิตร

อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ L:R : 10 : 1



ภาพประกอบ 10 กระบวนการลอกแป้งออกจากผืนผ้าโดยเครื่องวินช์

ที่มา : เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณกุล. 2540 : 86

4. โดยการจุ่มอัดน้ำยา (Cold – Pad – Batch (CPB))

เอนไซม์ (A.M.E. 85) : 1 – 5 กรัมต่อลิตร

สารช่วยเปียก (Scour NF-60) : 2 – 3 กรัมต่อลิตร

Pick up = 100 % ; ระยะเวลาในการหมัก = 6 – 12 ชั่วโมง

4.3.3 การลอกแป้งบนผืนผ้าสำหรับเอนไซม์อุณหภูมิสูง

1. การลอกแป้งออกจากผืนผ้าด้วยเครื่องอบไอน้ำ (Continuous Pad – Stream)

เอนไซม์ (HT – 36) 3-10 กรัมต่อลิตร

สารช่วยเปียก (Ex. Scour NF – 60) 2-5 กรัมต่อลิตร

Impregnation Temp. : 60 – 70 °C

Liquor Pick up Different : 20 – 30 %

Reaction Temp. (Steam) : 95 – 100 °C

Reaction Time : 5 – 10 min.

2. การลอกแป้งออกจากผืนผ้าด้วยเครื่องจิกเกอร์ (Jigger)

เอนไซม์ (HT – 36) 2-5 กรัมต่อลิตร

สารช่วยเปียก (Ex. Scour NF – 60) 1-2 กรัมต่อลิตร

สารลดความกระด้าง (Mequest WZN) 0.5 – 1.0 กรัมต่อลิตร

อัตราส่วนน้ำต่อผ้า (Liquor Ratio): 3 : 1

อุณหภูมิ : 90 – 100 °C

เวลาที่ใช้ : 2 – 4 ends.

3. การลอกแป้งออกจากผืนผ้าด้วยเครื่องวินช์ (Winch)

เอนไซม์ (HT – 36) 1-3 กรัมต่อลิตร

สารช่วยเปียก (Ex. Scour NF – 60) 0.5-1 กรัมต่อลิตร

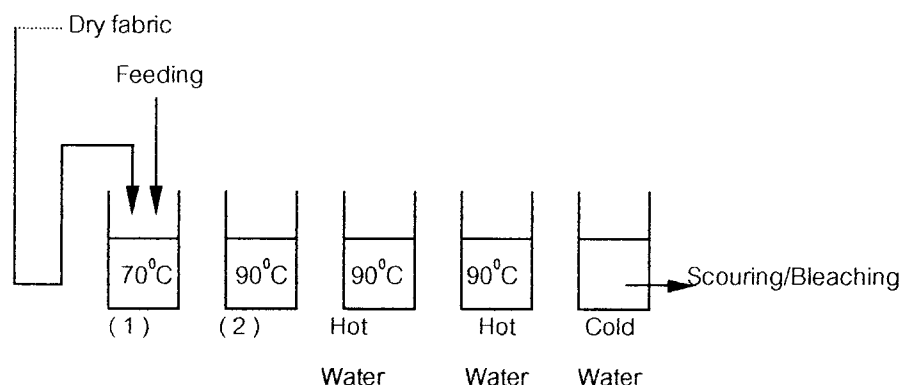
สารลดความกระด้าง (Mequest WZN) 0.5 – 1.0 กรัมต่อลิตร

อัตราส่วนน้ำต่อผ้า (Liquor Ratio): 10 : 1

อุณหภูมิ (Temp) : 90 – 95 °C

เวลา (Treating Time) : 15 – 30 min

4. การลอกแป้งออกจากผืนผ้าด้วยระบบ Open – Soaper



ภาพประกอบ 11 กระบวนการลอกแป้งออกจากผืนผ้า

ที่มา : เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2540 : 88

เอนไซม์ (HT – 36)	3-10 กรัมต่อลิตร
สารช่วยเปียก (Ex. Scour NF – 60)	2-5 กรัมต่อลิตร
สารลดความกระด้าง (Mequest WZN)	0.5 – 1.0 กรัมต่อลิตร

ถัง (1) และ (2) ในตอนเริ่มต้น ให้เติมเอนไซม์ตามปริมาณที่กำหนดให้ เมื่อเริ่มดำเนินการไปแล้วให้เติมเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นตามกำหนดลงในถัง (1) เท่านั้น วิธีนี้ควรวิ่งผ้าช้า ๆ (เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2540 : 86-88)

4.4 การทดสอบหาความแข็งแรงของผ้าและแฟคเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติของผ้า นอกจากเราจะทดสอบโครงสร้างของผ้าแล้ว ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือแรงดึงขาดของผ้า แรงดึงขาดของผ้าจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ผ้าแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันเนื่องมาจากขบวนการผลิต ดังนั้นความแข็งแรงของผ้าก็มาจากหลายองค์ประกอบด้วยกัน (ไชยรงค์ ฟิงเกรียติไพโรจน์. 2543 : 1)

การทดสอบหาความแข็งแรงของผ้า (fabric strength) มีหลายวิธีเช่น การทดสอบหาแรงดึงผ้าขาด การทดสอบหาแรงฉีกผ้าขาด การทดสอบหาแรงดันทะลุผ้า

การทดสอบหาแรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้ผ้าขาดโดยวิธีแกรบและสตรีป

ชิ้นผ้าจะถูกยึดไว้กับเครื่องดึง เมื่อมีแรงดึงผ้าจะถูกยืดตัวออกจนขาดในที่สุด แรงที่ใช้ดึงให้ชิ้นทดสอบขาดเรียกว่า แรงดึงขาด (breaking load) และความยาวที่เพิ่มขึ้นขณะที่ชิ้นทดสอบขาดคิดเป็นร้อยละของความยาวเดิมเรียกว่า การยืดตัวขณะขาด (breaking extension หรือ elongation at break)

การทดสอบหาความต้านแรงฉีกขาดของผ้าทอ

วิธีทดสอบแบบแรก ชิ้นทดสอบผ้าทอจะถูกตัดเป็นรอยแยกไว้ก่อน ปลายรอยแยกทั้งสองข้างของรอยแยกจะถูกเครื่องจับไว้ เครื่องจะดึงที่ปลายทั้งสองให้รอยขาดที่ตัดไว้เพิ่มขึ้น แรงที่ทำให้เส้นด้ายขาดจะถูกบันทึกไว้ จากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ย

วิธีทดสอบแบบที่สอง โดยใช้เครื่องเอลเมนดอร์ฟ (Elmendorf) สามารถทำได้โดยตัดผ้าให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานกำหนด ยก pendulum ของเครื่องขึ้น แล้วหนีบผ้าไว้กับเครื่อง ใช้ใบมีดของเครื่องตัดผ้าให้ขาดตามที่มาตรฐานกำหนด จากนั้นปล่อย pendulum ให้ตกลงมาตัดผ้าจนขาด เครื่องจะบอกค่าเฉลี่ยแรงฉีกขาด

การทดสอบหาความต้านแรงดันทะลุและระยะโป่งทะลุของผ้า

การทดสอบนี้นิยมใช้ทดสอบกับผ้าถัก ผ้าชิ้นทดสอบจะถูกวางลงบนโต๊ะแฟรมและถูกรัดด้วยวงแหวน โต๊ะแฟรมจะเริ่มโป่งออกเนื่องจากการเพิ่มความดัน โต๊ะแฟรมจะดันผ้าจนกระทั่งผ้าขาดความดันสูงสุดที่ดันขึ้นทดสอบรูปกลมให้โป่งออกจนขาดคือ ความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength) (ลิลลี่ โกศลยานนท์. 2541 : 317-319)

4.4.1 การทดสอบหาแรงดึงขาดของผ้า (Tensile strength)

จะเป็นการทดสอบหาความแข็งแรงของผ้าแนวเส้นยืนและแนวเส้นพุ่งของเส้นด้าย ตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนดขึ้นซึ่งได้แก่ ขนาดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบ, ระยะทดสอบ, ความเร็วของเครื่องทดสอบ เป็นต้น หลักพื้นฐานของการทดสอบหาแรงดึงขาดของผ้าก็คือ การเพิ่มแรงกระทำขึ้นทดสอบอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ซึ่งจะมีผลทำให้ชิ้นทดสอบมีการยืดตัวออกจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด

นอกจากนี้เรายังพบว่าอายุการใช้งานของผ้าส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและการยืดตัวของผ้า สมมุติกำหนดให้องค์ประกอบอื่น ๆ คงที่ ผ้าที่มีแรงดึงขาดต่ำแต่มีการการยืดตัวสูงจะมีอายุการใช้งานสูงกว่าผ้าที่แรงดึงขาดสูงแต่มีการยืดตัวต่ำ โดยทั่วไปแล้ว ผ้าทอ, ผ้าไม่ทอไม่ถักหรือผ้าอัดจะมีการทดสอบหาแรงดึงขาดของผ้ามากกว่า 1 วิธีโดยทุกวิธีการทดสอบสามารถทดสอบได้ทั้งในสภาวะแห้งและสภาวะเปียกซึ่งสามารถแบ่งวิธีการทดสอบออกได้เป็น 4 วิธีดังนี้คือ

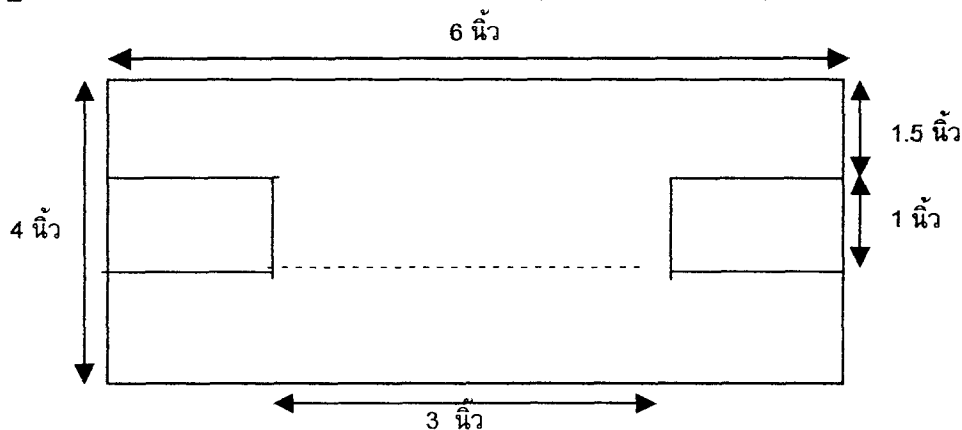
1. การทดสอบแบบแกรบ (Grab Test) จะเป็นการทดสอบหาแรงดึงขาดของผ้าตามสภาพการใช้งาน ค่าของแรงดึงขาดของวิธีนี้คือแรงต้านทานของเส้นด้ายตามความกว้างที่กำหนด รวมกับแรงต้านทานเสริมของเส้นด้ายที่อยู่สองข้าง

1.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 5 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว โดยให้ด้านยาวขนานกับทิศทางของการดึง ดึงเส้นด้ายออกตามยาวของชิ้นทดสอบทั้งสองข้างเท่าๆ กันจนเหลือความกว้าง 4 นิ้ว ชิ้นทดสอบจะต้องยาวพอที่จะให้ปลายของชิ้นทดสอบยื่นพ้นปลายทั้งสองของปากจับชิ้นทดสอบข้างละไม่น้อยกว่า 0.5 นิ้ว (10 มิลลิเมตร) ลากเส้นตรงให้ห่างจากขอบของชิ้นทดสอบ 1.5 นิ้ว (37 มิลลิเมตร) ยาวตลอดความยาวชิ้นทดสอบและขนานกับเส้นด้ายตามแนวยาว

1.2 ขนาดปากจับชิ้นทดสอบจะมีขนาด 1x1 นิ้ว (25x25 มิลลิเมตร) หรือขนาด 1x2 นิ้ว

(25x50 มิลลิเมตร) โดยให้ด้านที่มีขนาด 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) ตั้งฉากกับทิศทางของแรงโดยกำหนดระยะทดสอบเท่ากับ 3 นิ้ว

1.3 ความเร็วของเครื่องทดสอบ ปรับความเร็วของเครื่องทดสอบให้ขึ้นทดสอบขาดภายในเวลา 20±3 วินาที หรือใช้ความเร็วของเครื่อง 12 นิ้วต่อนาที (300 มิลลิเมตรต่อนาที)



ภาพประกอบ 12 การเตรียมชิ้นทดสอบแบบแกรบ

ที่มา : ไซยงค์ พึ่งเกียรติไพโรจน์.2541 : 65

2.การทดสอบแบบเรเวลล์ (Ravelled Strip) ใช้ทดสอบหาแรงดึงขาดของผ้าตามขนาดความกว้าง เฉพาะตามที่กำหนดให้คือความกว้าง 30 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตร

2.1 ชิ้นทดสอบสำหรับความกว้าง 30 มิลลิเมตร ผ้าที่จะทดสอบหาแรงดึงขาดที่ความกว้าง วิธีนี้ จะเป็นพวกผ้าหนาๆ เช่น ผ้าใบ ผ้าใบทำรองเท้า เป็นต้น

2.1.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร สำหรับผ้าที่มีจำนวนเส้นด้ายต่อ 5 เซนติเมตรน้อยกว่า 60 เส้น ตึงเส้นด้ายออกตามยาวของชิ้นทดสอบทั้ง 2 ข้างเท่าๆ กัน จนกระทั่งเหลือความกว้าง 30 มิลลิเมตร สำหรับตัวอย่างที่ตัดตามแนวเส้นด้ายพุ่ง และต้องมีเส้นด้ายเหลืออยู่เกินความกว้าง 30 มิลลิเมตร ข้างละ 4 เส้น สำหรับตัวอย่างที่ตัดตามแนวด้ายยืน โดยกำหนดระยะทดสอบเท่ากับ 200 มิลลิเมตร

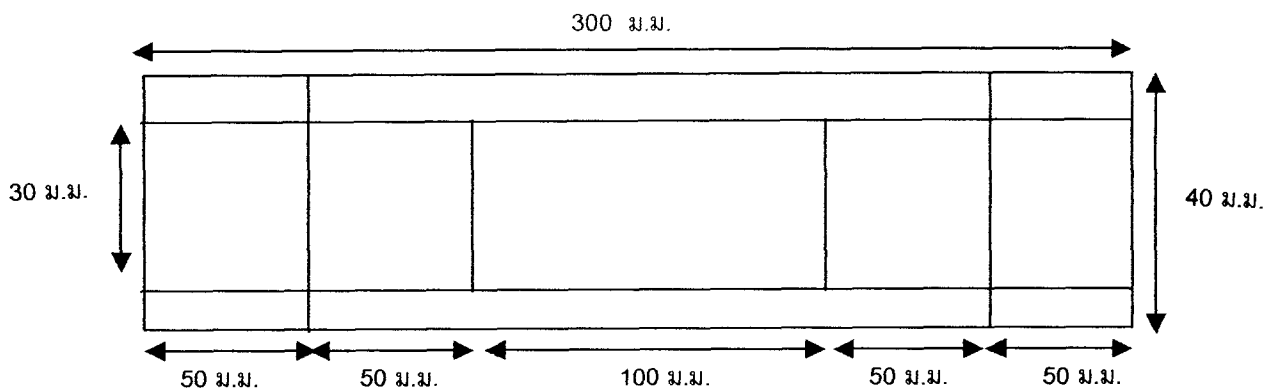
2.1.2 ความเร็วของเครื่องทดสอบ กำหนดความเร็วของเครื่อง 200 มิลลิเมตรต่อนาที

2.2 ชิ้นทดสอบสำหรับความกว้าง 50 มิลลิเมตร ผ้าที่จะทดสอบหาแรงดึงขาดที่ความกว้างนี้ จะเป็นผ้าทั่วๆ ไป เสื้อผ้าสวมใส่ เป็นต้น

2.2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 60 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร ตึงเส้นด้ายออกตามด้านยาวของชิ้นทดสอบทั้ง 2 ข้างเท่าๆ กัน จนกระทั่งเหลือความกว้าง 50 มิลลิเมตร และกำหนดระยะทดสอบเท่ากับ 200 มิลลิเมตร

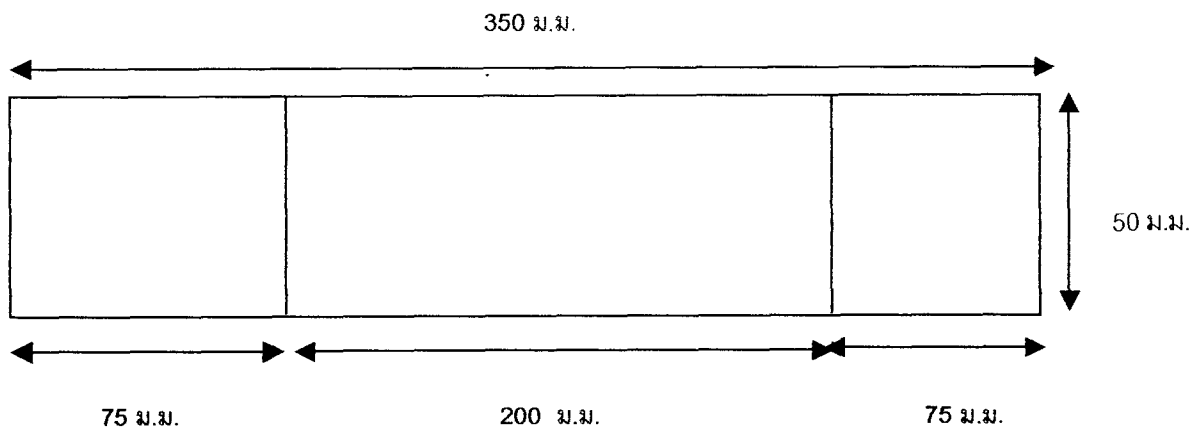
2.2.2 ความเร็วของเครื่องทดสอบ กำหนดความเร็วของเครื่องทดสอบ

100 มิลลิเมตรต่อนาที



ภาพประกอบ 13 การเตรียมชิ้นทดสอบแบบเรเวิล์ขนาดกว้าง 30 มิลลิเมตร X 300 มิลลิเมตร

ที่มา : ไชยยงค์ พึ่งเกรียติไพโรจน์. 2541 : 65



ภาพประกอบ 14 การเตรียมชิ้นทดสอบแบบเรเวิล์ขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร x 200 มิลลิเมตร

ที่มา : ไชยยงค์ พึ่งเกรียติไพโรจน์. 2541 : 66

3. การทดสอบแบบคัตสติป (Cut stip) เป็นการทดสอบหาแรงดึงขาดของผ้าที่ดัดแปลงมาจากแบบ เรเวลล์คือ การทดสอบแบบคัตสติปจะใช้ทดสอบกับผ้าหนา ๆ ผ้าอบน้ำ ผ้าสังเคราะห์และผ้าที่ไม่ดึงเส้นด้าย ออกได้ตามแนวยาวของชิ้นทดสอบ โดยจะทดสอบที่ขนาดความกว้าง 1 นิ้ว (25.4 มิลลิเมตร) และ 2 นิ้ว (51 มิลลิเมตร)

3.1 ชิ้นทดสอบสำหรับความกว้าง 1 นิ้ว

3.1.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 2 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ดึงเส้นด้ายออกตามยาวของชิ้นทดสอบทั้ง 2 ข้างเท่าๆ กัน จนเหลือความกว้าง 1 นิ้ว ในกรณีผ้าที่ไม่สามารถดึงเส้นด้ายออกได้ตามแนวยาวในการเตรียมชิ้นทดสอบต้องพยายามตัดชิ้นทดสอบให้แนวยาวขนานกับเส้นด้ายมากที่สุด โดยกำหนดระยะทดสอบเท่ากับ 3 นิ้ว

3.1.2 ความเร็วของเครื่องทดสอบ ปรับความเร็วของเครื่องให้ชิ้นทดสอบขาดภายใน เวลา 20 ± 3 วินาที

3.2 ชิ้นทดสอบสำหรับความกว้างขนาด 2 นิ้ว

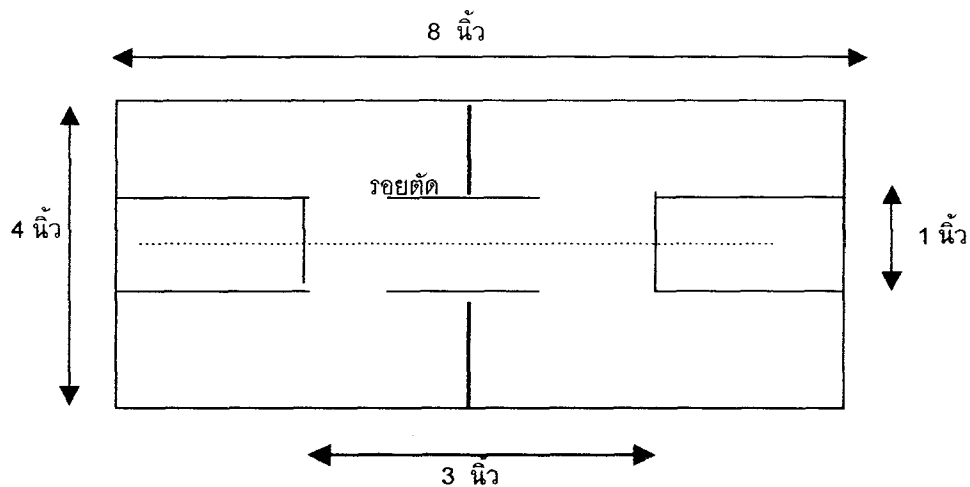
3.2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 3 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ดึงเส้นด้ายออกตามยาวของชิ้นทดสอบทั้ง 2 ข้างเท่าๆ กัน จนเหลือความกว้าง 2 นิ้ว ในกรณีผ้าที่ไม่สามารถดึงเส้นด้ายออกได้ตามแนวยาว ในการเตรียมชิ้นทดสอบต้องพยายามตัดชิ้นทดสอบให้แนวยาวขนานกับเส้นด้ายมากที่สุด โดยกำหนดระยะทดสอบเท่ากับ 3 นิ้ว

3.2.2 ความเร็วของเครื่องทดสอบ ปรับความเร็วของเครื่องให้ชิ้นทดสอบขาดภายใน เวลา 20 ± 3 วินาที

4. การทดสอบแบบกรับปรุงแต่ง (Modified grab) เป็นการทดสอบแรงดึงขาดของเส้นด้ายโดยดัดแปลงมาจากแบบกรับ กล่าวคือ จะตัดชิ้นทดสอบตามขวางตรงจุดกึ่งกลางของด้านยาวเข้าไปทั้ง 2 ข้าง ให้เหลือความกว้างที่กำหนด เพื่อลดแรงต้านทานเสริมของเส้นด้ายข้างเคียง

4.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 5 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว ดึงเส้นด้ายออกตามยาวของชิ้นทดสอบทั้ง 2 ข้าง จนเหลือความกว้าง 4 นิ้ว ความยาวของชิ้นทดสอบจะต้องยาวพอที่จะยื่นพ้นปลายทั้ง 2 ข้างของปากจับ ลากเส้นตรงที่จุดกึ่งกลางของด้านกว้างตลอดความยาวชิ้นทดสอบ ตัดตามขวางที่จุดกึ่งกลางของด้านยาวทั้ง 2 ข้างเข้าไปข้างละเท่า ๆ กัน จนให้เหลือความกว้างตรงกลาง โดยกำหนดระยะทดสอบ 3 นิ้ว

4.2 ความเร็วของเครื่องทดสอบ ปรับความเร็วของเครื่องทดสอบให้ชิ้นทดสอบขาดภายใน เวลา 20 ± 3 วินาที (ชัยยงค์ ฟิงเกรียติไพโรจน์ 2543 : 64-67)



ภาพประกอบ 15 การเตรียมชิ้นทดสอบแบบแกรบปรับปรุง
ที่มา : ไชยงค์ พึ่งเกียรติไพโรจน์. 2541 : 67

4.4.2 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของผ้า

1. ชนิดของเส้นใย ผ้าที่ทอด้วยเส้นใยต่างชนิดกัน ความแข็งแรงของผ้าแตกต่างกัน เช่นผ้าที่ทอด้วยเส้นใยโพลีเอสเตอร์แข็งแรงกว่าผ้าที่ทอด้วยเส้นใยฝ้าย แม้แต่จะทอด้วยเส้นใยชนิดเดียวกัน แต่คุณสมบัติของเส้นใยต่างกัน (ขนาดของเส้นใย, ความยาวของเส้นใย, ความแข็งแรงของเส้นใย เป็นต้น) ความแข็งแรงก็แตกต่างกัน
2. เส้นด้าย โครงสร้างของเส้นด้าย (ขนาด, จำนวนเกลียวต่อนิ้ว, จำนวนเส้นควบ เป็นต้น) มีผลต่อความแข็งแรงของผ้า และคุณสมบัติอื่น ๆ ของเส้นด้าย ก็มีผลต่อความแข็งแรงของผ้าเช่นเดียวกัน เช่นความแข็งแรงของเส้นด้าย, ความสม่ำเสมอ, เกรด เป็นต้น
3. โครงสร้างของผ้า, ขนาดของเส้นด้าย, จำนวนเส้นด้ายต่อนิ้ว, น้ำหนักผ้า, ลายทอ เป็นต้น มีผลต่อความแข็งแรงของผ้า
4. ความชื้น ความชื้นมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย กล่าวคือ เส้นใยมีการดูดความชื้นจากอากาศแตกต่างกัน ซึ่งบางชนิดจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น
5. วิธีการทดสอบ การทดสอบหาความแข็งแรงของผ้า มีหลายวิธี เช่นแรงดึงขาด แรงฉีกขาด และแรงดันโปร่งทะลุ ซึ่งแต่ละวิธียังมีการแบ่งรายละเอียดการทดสอบแตกต่างกันอีก เช่น การกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบ, ระยะทดสอบ, ความเร็วของเครื่อง และเงื่อนไขอื่น ๆ ซึ่งการทดสอบแต่ละแบบ แต่ละวิธีย่อมมีผลแรงดึงขาดของผ้าแตกต่างกัน
6. ชนิดของเครื่องทดสอบ เครื่องทดสอบหาความแข็งแรงของผ้ามี 3 แบบ แต่ละวิธีมีวิธีและหลักการทำงานไม่เหมือนกัน การใช้เครื่องทดสอบที่แตกต่างกัน ผลของแรงดึงขาดย่อมแตกต่างกัน ซึ่งไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

7. มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงทดสอบ เนื่องจากมีมาตรฐานที่จะใช้อ้างอิงมีมากมาย การใช้มาตรฐานใดอ้างอิงอาจจะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตเอง หรือความต้องการของผู้ใช้ มาตรฐานต่าง ๆ เช่น มาตรฐานไทย, ISO, ASTM, BS เป็นต้น แต่ละมาตรฐานมีหลักการและวิธีการทดสอบคล้ายกัน แต่รายละเอียดและเงื่อนไขอาจจะแตกต่างกัน ดังนั้นในการทดสอบเมื่อใช้มาตรฐานใดทดสอบก็ควรใช้มาตรฐานนั้นเป็นตัวเปรียบเทียบหรือใช้อ้างอิง (ไชยรงค์ ฟิ่งเกียรติไพโรจน์. 2543 : 1-2)

4.4.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบสิ่งทอ แรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้ผ้าขาด โดยวิธีแบริบและวิธีแบริบดัดแปลง มอก. 121-2526

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบหาความแข็งแรงของผ้าโดยทำการอ้างอิงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121-2526 กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบสิ่งทอ แรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้ผ้าขาดโดยวิธีแบริบและวิธีแบริบดัดแปลง มอก. 121-2526 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. มาตรฐานนี้กำหนดวิธีหาแรงดึงที่ทำให้ผ้าขาดโดยวิธีแบริบ โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงชนิดอัตราการยืดตัวคงที่ (constant-rate-of-extension, CRE) หรือชนิดอัตราการเพิ่มแรงดึงคงที่ (constant-rate-of-loading, CRL) หรือชนิดอัตราการเคลื่อนที่ของปากจับคงที่ (constant-rate-of-traverse, CRT) มาตรฐานนี้ใช้กับผ้าทอ (woven fabric) ผ้าไม่ทอ (nonwoven fabric) และผ้าสักหลาดอัด (felt) แต่ไม่ใช้กับผ้าถัก (knitted fabric)

มาตรฐานนี้แบ่งวิธีทดสอบเป็น 2 วิธีคือ

1. วิธีแบริบ ใช้ทดสอบความต้านแรงดึงขาดของผ้า ตามสภาพการใช้งาน ซึ่งหมายถึง แรงต้านทานของเส้นด้ายในความกว้างที่กำหนด รวมทั้งแรงต้านทานเสริมจากเส้นด้ายข้างเคียง

2. วิธีแบริบแบบดัดแปลง ใช้ทดสอบความต้านแรงดึงขาดของผ้าที่เลาะยาก หรือผ้าที่มีความต้านแรงดึงขาดสูง

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. วิธีแบริบ หมายถึง วิธีทดสอบแรงดึงชนิดหนึ่ง โดยที่ปากจับของเครื่องทดสอบยึดเฉพาะบางส่วนของชิ้นทดสอบเท่านั้น

2. วิธีแบริบดัดแปลง หมายถึง การทดสอบตามวิธีแบริบ แต่กำหนดให้ตัดชิ้นทดสอบตามขวาง ตรงจุดกึ่งกลางของด้านยาวเข้าไปทั้ง 2 ข้าง ให้เหลือความกว้างที่กำหนด เพื่อลดแรงต้านทานเสริมจากเส้นด้ายข้างเคียง

2. เครื่องทดสอบ

2.1 เครื่องทดสอบแรงดึงชนิดใดชนิดหนึ่งตามข้อ 1 ซึ่งสามารถปรับความเร็วใช้ชิ้นทดสอบขาดภายในเวลา 20 ± 3 วินาที

2.2 นาฬิกาจับเวลา

2.3 ที่จับ (clamp) ประกอบด้วยปากจับ (jaws) ทำด้วยโลหะที่มีหน้าสัมผัสแบนเรียบ และขณะเริ่มทดสอบให้ปรับระยะพิงกักระหว่างที่ยึดเท่ากับ 75 ± 1 มิลลิเมตร

2.4 ปากจับ

2.4.1 วิธีแบริบ ใช้ข้างหนึ่งของปากจับแต่ละคู่มีขนาด 25 มิลลิเมตร x 25 มิลลิเมตร หรือ

ขนาด 25 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ส่วนอีกข้างหนึ่งให้มีขนาดอย่างน้อยเท่ากับคู่ของมัน ในกรณีที่ปากจับขนาด 25 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ต้องให้ด้านยาว 50 มิลลิเมตร ขนานกับทิศทางของการดึงปากจับแต่ละคู่ ต้องประกบกันพอดี และทั้งสองคู่ต้องอยู่ในแนวเดียวกัน

2.4.2 วิธีแปรบดัดแปลง ให้ข้างหนึ่งของปากจับแต่ละคู่มีขนาด 30 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร หรือมากกว่า โดยมีด้านยาวขนานกับทิศทางของการดึง อีกข้างหนึ่งขนาด 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตรหรือมากกว่า

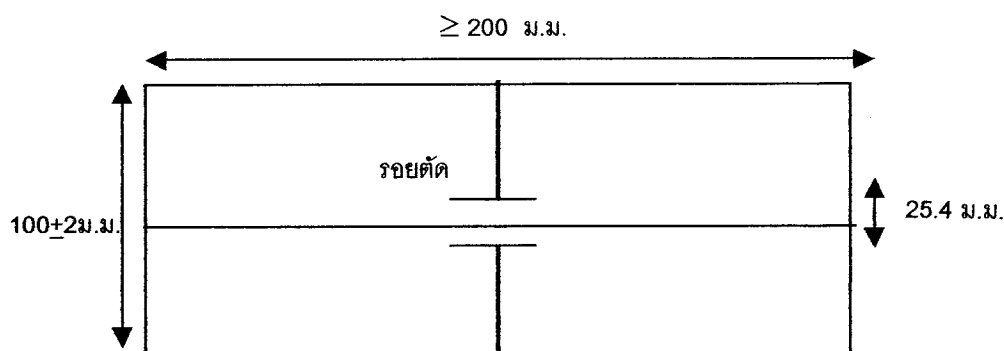
3. ขั้นตอนทดสอบ

3.1 การเลือกขั้นตอนทดสอบเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่าง การทดสอบหาค่าแรงดึงขาดตามแนวด้ายยืน ให้ตัดชิ้นทดสอบจากหมู่ด้ายยืนต่างเส้นกันโดยให้ด้านยาวขนานกับด้ายยืน การทดสอบหาค่าแรงดึงขาดตามแนวด้ายพุ่ง ให้ตัดชิ้นทดสอบจากด้ายพุ่งต่างหลอดกันโดยให้ด้านยาวขนานกับด้ายพุ่ง ไม่ว่ากรณีใดๆ ให้ตัดชิ้นทดสอบห่างจากริมผ้าไม่น้อยกว่าหนึ่งในสิบของความกว้างของผ้า

3.2 ขนาดชิ้นทดสอบ

3.2.1 วิธีแปรบดัดแปลง ตัดชิ้นทดสอบกว้าง 100 ± 2 มิลลิเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร โดยให้ด้านยาวขนานกับทิศทางของการดึง ชิ้นทดสอบต้องยาวพอที่จะยื่นพ้นปลายทั้งสองของปากจับข้างละไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร ลากเส้นตรงห่างจากขอบของชิ้นทดสอบ 37 มิลลิเมตร ยาวตลอดความยาวของชิ้นทดสอบและขนานกับเส้นด้ายตามแนวยาว

3.2.2 วิธีแปรบดัดแปลง ตัดชิ้นทดสอบกว้าง 100 ± 2 มิลลิเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 200 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบต้องยาวพอที่จะยื่นพ้นปลายทั้งสองของปากจับข้างละไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร ลากเส้นตรงที่จุดกึ่งกลางของด้านกว้างตลอดความยาวชิ้นทดสอบ ตัดตามขวางที่จุดกึ่งกลางของด้านยาวทั้งสองข้างเข้าไปข้างละเท่าๆ กัน ให้เหลือความกว้างตรงกลาง 25 มิลลิเมตร ดังรูป



ภาพประกอบ 16 ชิ้นทดสอบสำหรับวิธีแปรบดัดแปลง

ที่มา : สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2526 : 65

ในกรณีของผ้าที่มีความต้านแรงดึงขาดสูง ให้ตัดชิ้นทดสอบยาวไม่น้อยกว่า 400 มิลลิเมตร ในกรณีที่ชิ้นทดสอบมีจำนวนเส้นด้ายต่อ 25 มิลลิเมตร น้อยกว่า 25 เส้นและไม่เป็นจำนวนเต็ม ให้เหลือเส้นด้ายไว้เป็นจำนวนเต็มโดยปัดเศษทิ้งไป ซึ่งทำให้ความกว้างของส่วนที่จะทดสอบไม่ครบ 25 มิลลิเมตร ดังนั้นในการคำนวณหาแรงดึงขาดต้องเทียบเป็นแรงดึงขาดต่อ 25 มิลลิเมตร

3.3 จำนวนชิ้นทดสอบ ให้ใช้ชิ้นทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้น สำหรับการทดสอบแนวด้ายยืนและ 3 ชิ้นสำหรับการทดสอบแนวด้ายพุ่ง

4. การปรับสภาวะ

4.1 การปรับสภาวะขั้นต้น ให้กระทำในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละ 10 ถึง 25 อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส จนประมาณว่าชิ้นทดสอบอยู่ในสภาวะสมดุล

4.2 การปรับสภาวะขั้นที่สอง ให้กระทำในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส จนชิ้นทดสอบอยู่ในสภาวะสมดุล คือน้ำหนักของชิ้นทดสอบในช่วงเวลาห่างกันไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 0.25

5. วิธีทดสอบ

5.1 ให้ทดสอบที่ความสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 2 อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส

5.2 จัดให้ที่ยึดทั้งสองห่างกัน 75 ± 1 มิลลิเมตรปรับเครื่องทดสอบให้ชิ้นทดสอบขาดระหว่างระหว่างร้อยละ 10 ถึง 90 ของขีดความสามารถของเครื่องภายในเวลา 20 ± 3 วินาที

5.3 ยึดชิ้นทดสอบให้ที่ยึดทั้งสองอยู่ในแนวกึ่งกลางของชิ้นทดสอบโดยให้ด้านยาวขนานกับทิศทางของการดึง และให้มีความตึงสม่ำเสมอตลอดแนวความกว้างของที่ยึด

5.4 เมื่อทดสอบหาการยืดตัว ให้ยึดชิ้นทดสอบไว้ด้วยที่ยึดอันแรกในแนวกึ่งกลางของชิ้นทดสอบดึงชิ้นทดสอบให้ตึงด้วยแรงดึงประมาณร้อยละ 0.5 ของแรงดึงขาดเสียก่อน แล้วยึดชิ้นทดสอบกับที่ยึดอันที่สอง

5.5 เดินเครื่องดึงชิ้นทดสอบจนขาด บันทึกค่าแรงดึงขาด การยืดตัวและเวลาที่ใช้ในการดึงขาดของชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นแรก ถ้าค่าเฉลี่ยของเวลาดึงกล่าวอยู่ในช่วง 20 ± 3 วินาที ให้ทดสอบชิ้นทดสอบที่เหลือต่อไปในภาวะเดียวกัน บันทึกเวลาที่ใช้ในการดึงขาดของชิ้นทดสอบทุกชิ้น ถ้าค่าเฉลี่ยของเวลาในการดึงขาดของชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นแรก ไม่อยู่ในช่วงเวลาดึงกล่าว ให้ทดสอบใหม่ โดยปรับเครื่องทดสอบจนได้ช่วงเวลากำหนด

5.6 ถ้าชิ้นทดสอบลื่นหลุดตรงปากจับ หรือถ้าจำนวนชิ้นทดสอบขาดห่างจากขอบปากจับภายในระยะ 5 มิลลิเมตรเกินกว่าร้อยละ 25 ให้ตัดแปลงโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้ และให้รายงานวิธีที่ตัดแปลงด้วย

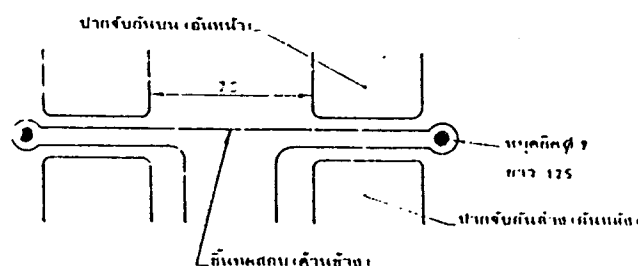
5.6.1 บุนแผ่นกันลื่น (jaw padding) ที่ปากจับ

5.6.2 เคลือบสารกันลื่นบนชิ้นทดสอบบริเวณปากจับ

5.6.3 ตัดแปลงผิวหน้าของปากจับ เพื่อช่วยให้สังเกตการลื่น หรือการเคลื่อนที่ของชิ้นทดสอบได้ง่ายควรขีดเส้นตรงลงบนชิ้นทดสอบให้ชัดเจนของปากจับ

5.7 ในกรณีที่ผ้ามีความต้านแรงดึงขาดสูงซึ่งจะทดสอบโดยวิธีแบบดัดแปลง และลื่นหลุดจากปากจับได้ง่าย ให้ยึดชิ้นทดสอบด้วยที่ยึดดังแสดงในรูป ถ้าจำเป็นจะบุนแผ่นกันลื่นระหว่างปากจับก็ได้ ขันที่ยึดให้เกิดแรงยึดอย่างสม่ำเสมอ ทัวผิวหน้าของปากจับอันบน (หรืออันหน้า) และรอบๆ หมุดยึดโดยไม่ให้แน่นหรือ

หลวมเกินไป ถ้าขันแน่นเกินไปจะทำให้ชิ้นทดสอบขาดข้างหน้าปากจับ และถ้าขันหลวมไปจะทำให้ชิ้นทดสอบเลื่อนหลุด



ภาพประกอบ 17 วิธียึดชิ้นทดสอบ

6. วิธีคำนวณ

6.1 แรงดึงขาด ค่าแรงดึงของแรงดึงขาดสำหรับชิ้นทดสอบเป็นนิวตัน

6.2 การยืดตัว ค่าแรงดึงของการยืดตัวของชิ้นทดสอบเป็นร้อยละจากความยาวของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นเทียบกับระยะพิคเจอร์ในข้อ 2

4.4.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผ้าฝ้ายขีดตึง มอก. 65-2517

กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมผ้าฝ้ายขีดตึง มอก. 65-2517 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผ้าฝ้ายขีดตึง หมายถึง ผ้าเนื้อนุ่ม ทอแบบลายขัด โดยมีอัตราส่วนจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่ง ในหนึ่งหน่วยความยาวประมาณ 1 ต่อ 1 และโดยทั่วไปน้ำหนักรวมต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเส้นด้ายยืนจะเท่ากับหรือน้ำหนักกว่าของเส้นด้ายพุ่ง

2. เส้นด้ายที่ใช้ทอผ้าฝ้ายขีดตึง มีขนาดตั้งแต่ 25-60 เทกซ์ (เทกซ์ หมายถึง ขนาดของเส้นด้ายคำนวณโดยน้ำหนักของเส้นด้ายเป็นกรัมต่อความยาว 1000 เมตร) จำนวนเส้นด้ายยืนและพุ่งไม่น้อยกว่า 32 เส้นต่อหนึ่งตารางเซนติเมตร (80 เส้นต่อหนึ่งตารางนิ้ว)

3. แรงดึงที่ทำให้ผ้าขาด

3.1 ผ้าฝ้ายขีดตึงชนิดไม่ฟอก ต้องทนแรงดึงไม่น้อยกว่า 196 นิวตัน (20 กิโลกรัมแรง)

3.2 ผ้าฝ้ายขีดตึงชนิดฟอกขาว และย้อมสีต้องทนแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 176 นิวตัน (18 กิโลกรัมแรง) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม : 2517)

4. การทดสอบ

4.1 ภาวะการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบใดๆ ให้เก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศา

เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65±2 เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ในการทดสอบทุกครั้ง หากไม่ได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ให้ทำการทดสอบ ณ ภาวะการทดสอบนี้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2517 : 1-6)

4.2 การหาขนาดเส้นด้าย

1. ในการทดสอบ ให้ใช้เส้นด้ายซึ่งเลาะออกจากตัวอย่างผ้าจำนวน 10 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างยาว 1 เมตร สำหรับเส้นด้ายพุ่ง หากตัวอย่างยาวไม่พอให้ใช้ตัวอย่างยาว 500 มิลลิเมตร เส้นด้ายควมให้ใช้ตัวอย่างยาว 250 มิลลิเมตร สำหรับหาขนาดของเส้นด้ายแต่ละเส้น

2. เส้นด้ายควม สำหรับเส้นด้ายควม ให้ทำการเปลี่ยนแปลงความยาวเนื่องจากการคลายเกลียว จัดระยะระหว่างที่จับของเครื่องทดสอบเกลียว ให้ห่างกัน 250±0.25 มิลลิเมตร ค่อยๆ ดึงเส้นด้ายออกจากผ้าแล้ว ยึดเข้ากับที่จับ ดึงเส้นด้ายด้วยแรง 0.25 กรัมแรงต่อเท็กซ์ คลายเกลียวเส้นด้าย แล้ววัดความยาวของเส้นด้ายแต่ละเส้น

3. นำตัวอย่างที่วัดความยาวแล้ว ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแต่ละเส้นให้ได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

4. คำนวณหาการเปลี่ยนแปลงความยาวต่อหน่วยความยาวโดยใช้สูตร

$$C = \frac{U - T}{T}$$

C คือ ความยาวที่เปลี่ยนต่อหน่วยความยาวของเส้นด้ายเมื่อคลายเกลียว

T คือ ความยาวของเส้นด้ายควม เป็นมิลลิเมตร

U คือ ความยาวของเส้นด้ายควมเมื่อคลายเกลียว เป็นมิลลิเมตร

5. คำนวณหาขนาดเส้นด้ายแต่ละเส้น โดยใช้สูตรดังนี้

$$W = \frac{G \times 1000}{(1 + C) M}$$

W คือ ขนาดของเส้นด้าย เป็นเท็กซ์

G คือ น้ำหนักที่ชั่งได้ของตัวอย่าง เป็นกรัม

C คือ ความยาวที่เปลี่ยนต่อหน่วยความยาว (เท่ากับศูนย์สำหรับเส้นด้ายที่ไม่ได้ควม)

M คือ ความยาวของตัวอย่าง เป็นเมตร

4.3 การหาจำนวนเส้นด้ายต่อหนึ่งเซนติเมตร ปูผ้าที่จะทดสอบลงบนพื้นเรียบสม่ำเสมอ จัดผ้าให้เรียบ วางเครื่องนับจำนวนเส้นด้าย (counting device) ทับลงบนผ้าที่ห่างจากริมขอบผ้าไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร และห่างจากปลายผ้า 2 เมตร นับจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งต่อหนึ่งหน่วยความยาว ทดสอบซ้ำบนส่วนต่างๆ ตามแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่งอย่างละไม่น้อยกว่าห้าแห่ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยจำนวนเส้นด้ายต่อหนึ่งเซนติเมตร

4.4 การหาน้ำหนักผ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ชิ้นทดสอบอาจเป็นชิ้นเดียวพื้นที่อย่างน้อย 100 ตารางเซนติเมตร หรือ เป็นชิ้นทดสอบชิ้นเล็กๆ หลายชิ้น ซึ่งมีพื้นที่รวมกันอย่างน้อย 100 ตารางเซนติเมตร และแต่ละชิ้นต้องตัดจากตำแหน่งที่มีเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งไม่ซ้ำกัน ชิ้นทดสอบต้องตัดห่างจากริมขอบผ้าอย่างน้อยหนึ่งในสิบของความกว้างของผ้า ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบเป็นกรัม ในกรณีที่ใช้ชิ้นทดสอบชิ้นเล็กๆ หลายชิ้น ให้ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบเหล่านั้นรวมกันหาพื้นที่รวมของชิ้นทดสอบเหล่านั้น แล้วคำนวณหาน้ำหนักเป็นกรัมต่อหนึ่งตารางเมตรของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2517 : 7)

4.5 การทดสอบหาแรงดึงที่ทำให้ผ้าขาด ตัดตัวอย่างผ้าเพื่อทดสอบขนาด 60x350 มิลลิเมตร ให้ด้านยาวขนานกับแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง แนวละห้าชิ้น แต่ละชิ้นต้องตัดจากตำแหน่งที่มีเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งไม่ซ้ำกันและห่างจากริมของผ้า 100 มิลลิเมตร

ดึงด้ายออกตามด้านยาวของชิ้นทดสอบทั้งสองข้างเท่าๆ กันจนกระทั่งเหลือความกว้างเป็น 50 มิลลิเมตร กำหนดความยาวของช่วงทดสอบเป็น 200 มิลลิเมตร ดึงชิ้นทดสอบเข้ากับที่จับ ให้ที่จับทั้งสองข้างห่างกันเท่ากับความยาวของช่วงทดสอบ ซึ่งชิ้นทดสอบให้ดึง ดึงผ้าให้ขาดด้วยอัตราเร็ว 100 มิลลิเมตรต่อนาที คำนวณหาค่าเฉลี่ยของแรงดึงที่ทำให้ผ้าขาดทั้งแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2517 : 9)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยการศึกษาการนำน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเดอร์ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในการลอกแป้งบนผืนผ้าได้ทำการศึกษาค้นคว้าและศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานต่างๆ กัน เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาประกอบการคัดเลือกตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ภฤติกานต์ มหาวรรณ. (2523 : บทคัดย่อ) ได้ทำการคัดเลือกเชื้อราต่างๆ ในโรงงานผลิตแป้งต่างๆ ได้แยกเชื้อราที่สามารถย่อยแป้งไว้คัดเลือกจำนวน 854 ไอโซเลตและทำการแยกเชื้อราที่มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งต่ำออกไป โดยวัดจากคุณสมบัติ liquifaction และ dextrinization ของแป้ง ได้เชื้อที่มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า และแป้งมัน อยู่ในระดับ +++ และ ++++ ได้แก่ Aspergillus , Rhizopus, Mucor, Penicillium และ Amylomyces ปรากฏว่าเชื้อราที่ได้จากแหล่งต่างกัน จะมีความสามารถในการย่อยแป้งแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน ขึ้นกับความคุ้นเคยของเชื้อราต่อแป้งชนิดต่างๆ กัน เช่น เชื้อจากโรงงานผลิตแป้งสาขุ คือ Aspergillus และ Rhizopus ย่อยแป้งมันได้เร็วกว่าแป้งชนิดอื่น คือใช้เวลาเพียง

12 ชั่วโมงก็สามารถย่อยแป้งมัน 3% ในอาหารเลี้ยงเชื้อ 5 มิลลิลิตรได้หมด นำเชื้อราที่เหลือมาทำการคัดเลือกอย่างละเอียด ได้ *Aspergillus niger* V. Tiegh เชื้อเดียวที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้สูงสุดในการย่อยแป้งทั้ง 3 ชนิดเป็นเชื้อที่แยกได้จากแป้งของโรงงานผลิตแป้งสาธิตอำเภอบางแสน สามารถสร้างเอนไซม์อะไมเลสได้สูงสุด 37.5 unit ใน starch broth ที่มีแป้ง 1% 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 วัน สภาพที่เหมาะสมในการสร้างเอนไซม์อะไมเลสของเชื้อได้ *Aspergillus niger* V. Tiegh พบว่าใช้อาหารที่มีส่วนผสมจาก ชั่งข้าวโพดป่น : แป้งถั่วเหลือง : แป้งมัน เป็น 5 : 3 : 2 โดยมี pH ที่เหมาะสมในการสร้างเอนไซม์ของเชื้อราตัวนี้ ส่วนช่วงเวลาการสร้างเอนไซม์ได้สูงสุดคือวันที่ 4 ของการเลี้ยงเชื้อ จากการทดสอบกิจกรรมเอนไซม์อะไมเลส จาก ได้ *Aspergillus niger* V. Tiegh นี้พบว่ามี optimum pH อยู่ที่ pH 5 และ optimum temperature 55 °C

ลัดดาพร ศรีมหาสงคราม. (2525 : บทคัดย่อ) ได้ทำการคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้จำนวน 332 สายพันธุ์ เชื้อสายพันธุ์ที่ผลิตเอนไซม์ได้สูงสุดคือ *Bacillus subtilis* PR₁ ซึ่งแยกจากแป้งหมักทำขนมจีนจากจังหวัดนครราชสีมา และได้นำเชื้อสายพันธุ์นี้มาศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการผลิตเอนไซม์อะไมเลสเปรียบเทียบกับเชื้อ *B. amyloliquefaciens* IAM B₁₅₁₂ ผลการศึกษาหาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ได้ว่า ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อที่ดีคือ เปปโตเนซึ่มซัน 0.5 เปอร์เซ็นต์เป็นแหล่งไนโตรเจน แป้งมันสำปะหลังซึ่มซัน 7 เปอร์เซ็นต์เป็นแหล่งคาร์บอน มี pH 7.0 อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส สำหรับเชื้อ *B. subtilis* PR₁ และ *B. amyloliquefaciens* B₁₅₁₂ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณกล้าเชื้อ 1 เปอร์เซ็นต์ เขย่าด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที พบว่าการผลิตเอนไซม์อะไมเลสจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และสูงสุดในช่วง stationary phase คือ 60 ชั่วโมง activity สูงสุด 100 unit/ml สำหรับเชื้อ *B. subtilis* PR₁ และ 81 unit/ml สำหรับเชื้อ *B. amyloliquefaciens* B₁₅₁₂

คุณสมบัติของเอนไซม์อะไมเลสที่ผลิตได้มีความเหมาะสมในการย่อยแป้งมันสำปะหลังที่ pH 6.0 อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส และมีความคงตัวของเอนไซม์ที่ pH 6.0-7.5 อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 20 นาที ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสจะลดลง และจากการศึกษาการเจริญของเชื้อ *Bacillus* ในถังหมัก โดยใส่กล้าเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์ อาหารเลี้ยงเชื้อ pH 7.0 ที่อุณหภูมิ 33 องศา *B. amyloliquefaciens* B₁₅₁₂ เซลเซียสสำหรับเชื้อ *B. subtilis* PR₁ และ 37 องศาเซลเซียสสำหรับเชื้อ *B.* ให้ความเร็วในการกวน 300 รอบต่อนาที ให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรอาหารต่อนาที ผลปรากฏว่าเชื้อ *B. subtilis* PR₁ จะให้เอนไซม์อะไมเลส activity สูงสุด 397 unit/ml ภายในเวลา 64 ชั่วโมง และ *B. amyloliquefaciens* B₁₅₁₂ ให้เอนไซม์มี activity สูงสุด 270 unit/ml ภายในเวลา 60 ชั่วโมง

การแยกเอนไซม์ให้บริสุทธิ์บางส่วนโดยการตกตะกอนด้วยเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่อิ่มตัว (saturation) 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเอนไซม์ที่ผลิตจาก *B. subtilis* PR₁ และ *B. amyloliquefaciens* B₁₅₁₂ มีความบริสุทธิ์ขึ้น 9 และ 6 เท่าตามลำดับ เมื่อนำเอนไซม์เหล่านี้มาทำให้แห้งแข็ง (lyophilization) พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ลดลงจากเริ่มแรก 26 เปอร์เซ็นต์สำหรับเอนไซม์ที่ได้จาก *B. amyloliquefaciens* B₁₅₁₂

การนำเอนไซม์ที่ตกตะกอนได้มาย่อยสลายแป้งมันสำปะหลัง 70 กรัมในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.0 ปริมาตร 1 ลิตร ทั้งที่อยู่ในสภาพแป้งดิบและแป้งที่ต้มจนเดือดเอนไซม์ผลิตโดยเชื้อ *B. subtilis* PR₁ ย่อยสลายแป้งที่ต้มแล้วได้ 334 unit/ml และแป้งดิบ 43 unit/ml ส่วนเอนไซม์จากเชื้อ *B. amyloliquefaciens* B₁₅₁₂ ย่อยสลายแป้งต้มแล้วได้ 336 unit/ml และแป้งดิบได้ 23 unit/ml แสดงว่าเอนไซม์อะไมเลสย่อยแป้งที่ต้มแล้วได้ดีกว่าแป้งดิบ และเอนไซม์จาก *B. subtilis* PR₁ ย่อยสลายแป้งดิบได้ดีกว่า *B. amyloliquefaciens* B₁₅₁₂ ถึงสองเท่า

สุเมธ ชวเดช และ เกษม ปิงชลิตโสภี. (2530) จากการทดลองผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ Anaerobic Contact ขนาด 25 ลิตร และความจุอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ตลอดจนการทดลอง การเติมน้ำทิ้งเป็นแบบต่อเนื่องจุลินทรีย์ที่ออกจากถังปฏิกรณ์จะถูกตกตะกอนแล้วสูบกลับเข้าถังปฏิกรณ์ใหม่ จุดประสงค์ในการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง พบว่าในการผลิตกรดอินทรีย์จากน้ำทิ้งนี้ ควรใช้น้ำทิ้งที่มีค่าซีโอดีสูง 22,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และเติมอาหารเสริม (ฟอสฟอรัส) ซึ่งมีความเหมาะสมกว่าในน้ำทิ้งที่มีค่าซีโอดีต่ำเพียง 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่เติมอาหารเสริม สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดอินทรีย์นี้ควรควบคุมระบบที่ HRT 1 วัน อัตราการป้อนอินทรีย์สารประมาณ 22 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน ซึ่งให้ประสิทธิภาพและอัตราการผลิตกรดอินทรีย์สูง แต่ประสิทธิภาพและอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่ำสุด นอกจากนี้ยังพบว่า ที่อัตราการป้อนอินทรีย์สาร 21.39 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน HRT 1 วัน ไม่จำเป็นต้องควบคุม pH ในถังปฏิกรณ์ให้เป็นกลาง เมื่อไม่มีการควบคุม pH ระบบการหมักผลิตกรดอินทรีย์มีความเข้มข้นสูงถึง 5,800 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการผลิตกรดอินทรีย์ (VFA production rate) สูงถึง 4.67 กิโลกรัมในรูปกรดน้ำส้มต่อลูกบาศก์เมตรถึงปฏิกรณ์ต่อวัน และประสิทธิภาพการเปลี่ยนเป็นอินทรีย์สารเป็นกรดอินทรีย์สูงถึง 0.4 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมอินทรีย์สารที่ถูกขจัด กรดอินทรีย์ที่ผลิตได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปหมักต่อเป็นก๊าซมีเทนหรือเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสง โดยไม่ต้องเติมสารอาหารเสริม และปรับ pH แต่อย่างใด

มรกต ดันติเจริญและคณะ (2534 : 4-5) ได้ศึกษากระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนนอกจากจะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์และยังได้ก๊าซชีวภาพกลับมาใช้เป็นพลังงานได้อีก โดยได้ศึกษาการบำบัดและผลิตพลังงานจากน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลัง เมื่อนำน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 1,950-45,200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทดลองใส่ในถังปฏิกรณ์แบบมีตัวกรองและแบบตรึงฟิล์มขนาดความจุ 50 ลิตร ในห้องปฏิบัติการพบว่าสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 80 ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นประมาณ 2.9 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรของถังหมักต่อวัน มีก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 60-70 จากข้อมูลคณะผู้วิจัยจึงได้สร้างโรงงานต้นแบบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นที่โรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี โดยใช้ถังหมักแบบมีตัวกรอง ขนาดความจุ 160 ลูกบาศก์เมตร สามารถรับน้ำทิ้งได้ประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 500 ลูกบาศก์เมตร (ก๊าซชีวภาพ 10-13 ลูกบาศก์เมตรเทียบเท่าน้ำมันดีเซล 6 ลิตร) โรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่งซึ่งมีกำลังผลิตวันละ 70-80 ตัน ใช้น้ำมันเตาอบแห้งแป้งวันละ 2,400 ลิตร และใช้กำลังไฟฟ้ากับเครื่องจักร 320 กิโลวัตต์ จะมีน้ำทิ้ง 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ถ้าทำการ

ก่อสร้างถึงปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศและนำพลังงานกลับไปใช้ในการอบแห้งแ่งและผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถคุ้มทุนภายใน 3 ปี

วิบูลย์ นุชประมูล (2535 : บทคัดย่อ) เป็นการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศ จากการทดลองในขั้นการหมักเพื่อผลิตกรดอินทรีย์โดยใช้กากมะเขือเทศเข้มข้น 10 และ 20 กรัมต่อลิตร ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน น้ำหมักที่กรองได้มีปริมาณสารอินทรีย์สารเฉลี่ยเท่ากับ 1,754 และ 2,817 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 4.3 และ 4.22 การก่อกำจัดกาบร้อยละ 20.23 และ 12.74 ของของแข็งทั้งหมด ส่วนขั้นตอนการหมักเพื่อผลิตก๊าซมีเทน ได้ศึกษาอัตราการป้อนอินทรีย์สารที่เหมาะสมพบว่าเมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สารสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงขึ้น เมื่ออัตราการป้อนอินทรีย์สารสูงกว่า 1.7 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน ปริมาณกรดอินทรีย์จะเหมาะสมในถึงปฏิกรณ์มากขึ้น การขจัดอินทรีย์สารจะลดลงแต่ไม่มีผลต่อปริมาณของก๊าซมีเทน การศึกษาผลระยะเวลาเก็บกักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่า เมื่อใช้น้ำหมักที่มีความเข้มข้นของอินทรีย์สารประมาณ 1.5 กรัมซีโอดีต่อลิตรป้อน โดยมีระยะเวลาเก็บกักลดลงจาก 10 วัน เป็น 5 และ 2 วัน จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นคือเพิ่มจาก 0.06 ลิตรต่อลิตรเป็น 0.13 และ 0.27 ลิตรต่อลิตร พีเอชของน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ลดลงจาก 7.05 เป็น 6.98 และ 6.64 ตามลำดับ แต่ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและการขจัดอินทรีย์สาร

สุพรรณิ ชาญประเสริฐ (2536 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาถึงผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ในถึงปฏิกรณ์ขนาด 4 ลิตร ในขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ใช้กากมะเขือเทศผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์ให้มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้นน้ำหมักที่กรองได้จะมีปริมาณอินทรีย์สารในรูปซีโอดีและปริมาณกรดอินทรีย์จะสูงขึ้น ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10 วัน น้ำหมักที่ได้มีปริมาณอินทรีย์สารสูงถึง 2,303 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และปริมาณกรดอินทรีย์จะเท่ากับ 1,116 มิลลิกรัมต่อลิตร นำน้ำหมักที่ได้จากถังปฏิกรณ์ที่มีระยะเวลา 10 วัน มาปรับพีเอชเป็น 7.0 เพื่อใช้ป้อนเป็นวัตถุดิบสำหรับขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ผลการทดลองเมื่อป้อนอินทรีย์สาร 1.5 กรัมซีโอดีต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.35 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่เติม หรือ 0.45 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกทำลาย และสามารถขจัดอินทรีย์สารในรูปซีโอดีได้ร้อยละ 79.54

จากการศึกษาการนำน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในการลอกแป้งบนผืนผ้า ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดของนักวิชาการและงานวิจัยที่สนับสนุนการศึกษาจึงได้รวบรวมนำมาสรุปดังนี้

คุณสมบัติของน้ำทิ้ง

มรกต ตันติเจริญและคณะ(2534 : บทคัดย่อ)ได้ทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ น้ำทิ้งที่มีปริมาณซีโอดีอยู่ในช่วง 1,950-45,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหมักแบบไม่ใช้อากาศโดยทดลองในถึงปฏิกรณ์แบบมีตัวกรอง และแบบตรึงฟิล์มขนาดความจุ 50 ลิตร พบว่าสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ถึงร้อยละ 80 ซึ่งสอดคล้องกับ สุเมธ ขวเดชและเกษม ปิงขวลิตโสภี (2529 : 16) ได้รายงานผลการศึกษากำจัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เวลาในการกำจัดหรือเวลากักเก็บในถังหมักประมาณ 6.25 วัน ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ที่พีเอชจะสูงกว่าที่พีเอช5 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเป็น 67.5 และ 31.4 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการทดลองพบว่าน้ำทิ้งจาก

โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังสามารถนำมาผลิตกรดอินทรีย์โดยไม่จำเป็นต้องเติมธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และสอดคล้องกับ ธิตา เกิดกำไร (2524 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาการกักน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีฟิกส์เบด แอโรชัน โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ถังเดิมอากาศขนาด 5 ลิตร ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำทิ้งเข้าในถัง 3.0 ลิตรต่อวัน มีจุลินทรีย์เริ่มต้น 2,500 มิลลิกรัม ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 92.4 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ และสอดคล้องกับ วิบูลย์ นุชประมูล(2535 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาการหมักกากมะเขือเทศ ที่มีความเข้มข้น 10 และ 20 กรัมต่อลิตร หมักนาน 3 วัน นำน้ำหมักที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์สารในรูปของซีโอดีได้เท่ากับ 1,754 และ 2,817 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชของน้ำหมักมีค่า 4.30 และ 4.22 น้ำหนักของกากลดลงร้อยละ 20.23 และ 12.74 ของของแข็งทั้งหมด หรือร้อยละ 19.61 และ 12.15 ของของแข็งระเหย

ระยะเวลาเก็บกัก

สุรพล สายพานิช (2529 : 42) ได้ทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งรวมของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้กระบวนการตะกอนเร่งคอนแทคสแตปิลเซชันแบบแอนแอโรบิค ใช้ถังคอนแทคขนาด 9.5 ลิตร และถังสแตปิลเซชันขนาด 41.3 ลิตร ระยะเวลาในการบำบัดในถังคอนแทคมีค่าระหว่าง 3.01 ถึง 6.71 ชั่วโมง และในถังสแตปิลเซชันระหว่าง 26.15 ถึง 58.31 ชั่วโมง พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งรวมได้ 74 เปอร์เซ็นต์ ที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5.8 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สอดคล้องกับ สุพรรณิชาญประเสริฐ (2536 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาถึงผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน ในถังปฏิกรณ์ขนาด 4 ลิตร ที่ระยะเวลาเก็บกัก 5 วัน ที่พีเอช 7 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.35 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่เติม หรือ 0.45 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกทำลาย และสามารถจัดสารอินทรีย์สารในรูปซีโอดีได้ร้อยละ 79.54

อุณหภูมิ

สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา (2540 : 11) ได้กล่าวถึงสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการขจัดแป้ง โดยใช้แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส โดยมีพีเอชสูงสุดประมาณ 5-7 อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการลอกแป้งอยู่ระหว่าง 60-70 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับ อรพิน ภูมิภมร(2523 : 210) ได้กล่าวถึงการใช้แอลฟาอะไมเลสใช้เป็นสาร desizing ในโรงงานทอผ้าโดยจะใช้แอลฟาอะไมเลส ในการทำให้แป้งออกจากสิ่งทอ โดยแช่เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส และสอดคล้องกับ สุทธิ ภมรสมิตร และ วินัย กลิ่นหอม(2534 : 23) ได้ศึกษาการผลิตน้ำเชื่อมกลูโคสโดยการแปรรูปแป้งให้เป็นน้ำเชื่อมกลูโคสต้องผ่านกระบวนการ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเรียกว่าลิกวิแฟรชัน (Liquefaction) เป็นการแปรรูปแป้งให้กลายเป็นมอลโตเดกซ์ตริน (maltodextrin) ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส ใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสบริสุทธิ์ 1 มิลลิกรัมต่อแป้ง 1 กิโลกรัม เมื่อได้มอลโตเดกซ์ตรินแล้วต้องนำไปทำกระบวนการซัคคาริฟิเคชัน (Saccharification) เพื่อแปรรูปมอลโตเดกซ์ตรินให้กลายเป็นน้ำเชื่อมกลูโคส ใช้เอนไซม์บริสุทธิ์ 1.1 มิลลิกรัมต่อแป้ง 1 กิโลกรัม และใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาที่ทำการลอกแบ่ง

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล (2540 : 87) ได้กล่าวถึงการลอกแบ่งบนผืนผ้าโดยวิธี cold pad batch โดยใช้เอนไซม์อะไมเลส (A.M.E.85) 1-5 กรัมต่อลิตร ทำการลอกแบ่งที่อุณหภูมิห้อง มีเปอร์เซ็นต์ pick up 100 เปอร์เซ็นต์ จะให้เวลาในการหมักนาน 6-12 ชั่วโมง สอดคล้องกับ บริษัทแคเรียนท์เคมีคอลจำกัด (2546) ได้กล่าวถึงการนำแบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส มาใช้ในการลอกแบ่งบนผืนผ้าโดยวิธี cold pad-batch โดยใช้เอนไซม์ 3-6 มิลลิลิตรต่อลิตร พีเอช 6-6.5 เปอร์เซ็นต์ pick up 80-100% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะให้ระยะเวลาในการลอกแบ่งนาน 6-12 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลานาน 2-3 ชั่วโมง และสอดคล้องกับ ลิลลี่ โกศัลยานนท์ (2541 : 229) ได้กล่าวถึงวิธีการลอกแบ่งบนผืนผ้าโดยเครื่องวินส์เบค โดยกำหนดอัตราส่วนวัสดุต่อน้ำที่ใช้ 1 : 20 ใช้ปริมาณเอนไซม์ 0.5-1 กรัมต่อลิตร พีเอช 6.5 อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 45-60 นาที

การทดสอบปริมาณแบ่งที่ลดลง

สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา (2540 : 9) ได้รายงานไว้ถึงผลการลอกแบ่งโดยใช้เอนไซม์อะไมเลส โดยทำการทดสอบการลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 18 ชั่วโมงสามารถย่อยแบ่งออกได้ถึง 78 เปอร์เซ็นต์ และถ้าทำการทดสอบการลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 18 ชั่วโมงสามารถย่อยแบ่งออกได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์

ทดสอบความแข็งแรงของผ้า

Clifford Preston (1986 : 44) ได้กล่าวถึงฝ้ายที่ขึ้นเมื่อสัมผัสกับอากาศ เชื้อราจะเกิดขึ้นทีละเล็กละน้อยซึ่งเป็นปัญหาในกระบวนการผลิตที่เป็นไปได้ยากที่จะไม่ให้เกิดขึ้นและเป็นไปไม่ได้ที่จะกำจัดออก ในกระบวนการผลิตถ้าใช้ระยะเวลานานจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ tensile strength ลดลง เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสถูกย่อยโดยราและแบคทีเรีย โดยเอนไซม์เซลลูเลสจากเชื้อราไฮโดรไลส์เซลลูโลสทำให้เส้นใยเกิดการพองตัวและทำให้เกิดการละลาย เป็นเหตุทำให้ค่า DP (degree of polymerization) ลดลงทำให้น้ำหนักผ้าลดลง ซึ่งเอนไซม์เซลลูเลสได้มาจาก *Trichoderma viride* และ *Trichoderma koningii* สอดคล้องกับ มณฑา โกเฮง (2537 : 79) ได้กล่าวว่าฝ้ายที่อยู่ในสภาพที่เปียกชื้นและอับไม่ทนต่อเชื้อเห็ดรา โดยราดำจะขึ้นได้ง่ายบนฝ้ายทำให้เกิดจุดดำฝังแน่นในเส้นใย แบคทีเรียจะทำให้ผ้าที่หมักแฉะไว้นานๆ มีกลิ่นเหม็นและเปื่อยขาดได้ง่าย และสอดคล้องกับ วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา (2542 : 110) ได้กล่าวว่าโดยปกติผ้าฝ้ายเกิดราได้ง่าย เนื่องมาจากแบคทีเรียที่ตกค้างมาจากการลงแบ่งทำให้เป็นปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของรา ดังนั้นผลจากการนำน้ำหมักจากน้ำทิ้งแบ่งมันสำปะหลังมาทำการลอกแบ่งบนผืนผ้าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความแข็งแรงของผ้าลดลง จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบความแข็งแรงของผ้า

จากรายงานการวิจัยต่างๆ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย โดยนำน้ำทิ้งจากโรงงานแบ่งมันสำปะหลังซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนในการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียเพื่อผลิตเอนไซม์อะไมเลสมีความเป็นไปได้สูง และยังช่วยในการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย ดังนั้นจึงสนใจที่จะศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการหมักแบบไร้อากาศ เช่น คุณสมบัติของน้ำทิ้ง ระยะเวลาเก็บกัก และอุณหภูมิซึ่งเมื่อนำมาหมักแล้วทำการทดสอบการลอกแบ่งบนผืนผ้า ดังนั้นจึงสนใจที่จะศึกษาผลการทดสอบการลอกแบ่ง จากคุณสมบัติน้ำทิ้งหลังผ่านการหมัก

ทดสอบปริมาณแป้งที่ลดลง ระยะเวลาที่ทำการลอกแป้งและการทดสอบความแข็งแรงของผืนผ้า โดยจะนำน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์มาหมักเพื่อเพาะเลี้ยงแบคทีเรียให้ผลิตเอนไซม์ มีการควบคุมความเข้มข้นของอินทรีย์สารในน้ำทิ้งที่มีค่าซีไอดี 28,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผสมกับตะกอนแบคทีเรียที่เก็บมาจากบ่อบำบัดน้ำเสียจากบริษัท แป้งมันบ้านโป่ง จำกัด ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 7 ทำการหมักแบบเก็บกัก โดยช่วงแรกให้แบคทีเรียปรับสภาพนาน 1 สัปดาห์ ทำการควบคุมระยะเวลาเก็บกักโดยเริ่มเก็บน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณซีไอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารแขวนลอยระเหย ทุก 7 วัน หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดนำไปใช้ในการลอกแป้งบนผืนผ้า ด้วยผ้าฝ้ายชนิดดัดที่มีปริมาณแป้งร้อยละ 6-10 ทำการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 2 ช่วงที่ อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะหาประสิทธิภาพการลอกแป้งบนผืนผ้า ดูจากระยะเวลาที่ทำการลอกแป้งจนปริมาณแป้งบนผืนผ้าหมดด้วยการทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน ผลการทดสอบจะให้สีเหลืองแสดงว่าปริมาณแป้งย่อยสลายหมด หลังจากนั้นคำนวณหาปริมาณแป้งที่ถูกย่อยสลาย หลังจากนั้นนำผ้าที่ทำการลอกแป้งออกแล้วนำมาทดสอบความแข็งแรงของผืนผ้า เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพผ้าที่ทำการลอกแป้งด้วยน้ำหมักและเอนไซม์ที่นำมาจากผู้ผลิตเอนไซม์รายหนึ่ง ด้วยการทดสอบแรงดึงขาดของผ้า ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121-2526

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้ทดลองได้นำน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมาทำการตรวจสอบคุณภาพ แล้วทำการหมัก เพื่อให้ได้เอนไซม์ จากนั้นนำน้ำทิ้งที่ทำการหมักมาทดสอบการลอกแป้งออกจากผืนผ้า ตรวจสอบปริมาณแป้งที่ลดลงขณะทำการทดสอบการลอกแป้ง จากนั้นนำผ้าที่ทดสอบการลอกแป้งออกแล้ว มาทดสอบหาความแข็งแรงของผ้ารวมทั้งตรวจคุณภาพน้ำทิ้งหลังใช้งานแล้ว รายละเอียดของวิธีดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย

1. ประชากร
2. วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง
3. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง
4. วิธีดำเนินการ
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ น้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยนำน้ำทิ้งมาจาก บริษัทอุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่ง จำกัด กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้จากการสุ่มเก็บน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ โดยจะทำการสุ่มเก็บเป็น 3 ครั้ง ครั้งแรกจะทำการสุ่มเก็บน้ำทิ้งในวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2545 การสุ่มเก็บน้ำทิ้งในครั้งที่สองในวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2545 การสุ่มเก็บน้ำทิ้งในครั้งที่สามในวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2545

2. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้วัตถุดิบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการทำการหมักน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง การทดสอบการลอกแป้งบนผืนผ้า การทดสอบความแข็งแรงของผ้า ดังนี้คือ

2.1 วัตถุดิบ ได้แก่ ผ้าฝ้ายชนิดตึง 100% ที่ผ่านการลงแป้งเส้นด้ายยีนด้วยแป้งธรรมชาติ กำหนดเปอร์เซ็นต์แป้งติด 6-10% ทอแบบลายขัด มีขนาดเส้นด้าย 25-60 เท็กซ์

2.2 เครื่องมือ ได้แก่ ถังหมักขนาด 10 ลิตร เครื่องกวน (Magnetic Stirrer) เครื่องทดสอบแรงดึงชนิดอัตราการยืดตัวคงที่ (Constant - rate - of - extension, CRE) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121-2526

2.3 เครื่องมือกลุ่มวิเคราะห์ ได้แก่ เตาไฟฟ้า เทอร์โมมิเตอร์ พีเอชมิเตอร์ กระบอกตวง เครื่องชั่ง

3. สถานที่และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

3.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง ในการศึกษาทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ต้องการและสมบูรณ์ จะขอใช้สถานที่ในการทดลองในการวิเคราะห์น้ำจะขอใช้สถานที่ที่ บริษัท รับตรวจสินค้าพืชนทะเล จำกัด (Overseas Merchant Inspection CO;LTD) 12-14 ถนนเย็นอากาศ ซอย3 ซ่งนนทบุรี ยานนาวา กรุงเทพมหานคร และการทดสอบความแข็งแรงของผ้าที่ กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม เขตกล้วยน้ำไท คลองเตย กรุงเทพมหานคร

3.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาทดลอง โดยการทดลองจะใช้เวลา 4 เดือน คือช่วงเดือนมิถุนายน 2545 ถึงเดือน กันยายน 2545 โดยการทำกรรมสิทธิ์น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรงมันสำปะหลัง วิเคราะห์น้ำทิ้งก่อนทำการหมัก ระหว่างทำการหมัก และหลังทำการหมัก และทำการทดสอบการลอกแป้งบนผืนผ้า ทดสอบความแข็งแรงของผ้า ให้ได้ตามระยะเวลาที่กำหนด

4. วิธีการดำเนินการศึกษาทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 การสูบน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์และเก็บแบคทีเรียจากบ่อบำบัดน้ำทิ้ง

ในการทดลองผู้วิจัยได้สูบน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ทั้งหมด 3 ครั้งจากบริษัท แป้งมันบ้านโป่ง จำกัด เมื่อทำการสูบน้ำทิ้งแต่ละครั้งจะนำมาวิเคราะห์ โดยนำมาวิเคราะห์หาปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารแขวนลอยระเหย และทำการวัดพีเอช ส่วนแบคทีเรียที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้ทำการเก็บโดยใช้อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง (Sampling water) ในบริเวณที่มีฟองก๊าซผุดขึ้นมากในบ่อบำบัดน้ำทิ้ง โดยจุ่มลงไปในระดับความลึกประมาณ 1-2 เมตร นำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณซีโอดี ปริมาณความเข้มข้นของจุลชีพ และทำการตรวจวัดพีเอช

4.2 ทำการหมักน้ำทิ้ง และวิเคราะห์น้ำทิ้งจากกระบวนการหมัก

โดยนำแบคทีเรียที่เก็บมาปริมาณ 10 ลิตร เติมสารอาหารให้กับแบคทีเรียทุกวันปริมาณ 1 ลิตรด้วยน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ โดยควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำให้คงที่ตลอดการทดลองที่ปริมาณซีโอดี 28,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการทดลองนี้ไม่มีการเติมสารอาหารเสริม (การควบคุมความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งโดยการวิเคราะห์หาปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งที่นำมาจากเครื่องตีแคนเตอร์ แล้วคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางจนได้ค่าซีโอดีประมาณ 28,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหมักในถังปฏิกรณ์ โดยการหมักเป็นแบบเก็บกัก (Batch process) ที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ควบคุมพีเอชที่ 7 ตลอดการทดลอง โดยการปรับพีเอชด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์ 20 เปอร์เซ็นต์ (weight by volume) น้ำทิ้งในถังหมักถูกกวน

ตลอดเวลาด้วย Magnetic stirrer ครบ 1 สัปดาห์ เริ่มเก็บน้ำจากระบบมาตรวจวิเคราะห์ปริมาณซีไอดี และ ปริมาณความเข้มข้นของแบคทีเรีย ซึ่งนำหมักก่อนการวิเคราะห์หึงดเติมน้ำดีแคนเตอร์ 1 วันเพื่อให้แน่ใจว่าแบ่ง ได้ถูกย่อยสลายหมด โดยการทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนถ้าปรากฏเป็นสีเหลืองแสดงว่าแบ่งถูกย่อยสลาย หมดไม่มีแบ่งเหลืออยู่เลย และนำน้ำหมักที่หมักได้ตามระยะเวลาไปทดสอบกิจกรรมการย่อยแบ่ง โดยให้ ทดสอบกับน้ำแบ่งสูงที่เตรียมไว้ เพื่อทราบผลระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยแบ่ง ก่อนนำไปทดสอบการลอกแบ่งกับ ผ่า วิเคราะห์น้ำหมักทุก 7 วัน และทำการหมักนานประมาณ 1 เดือน

4.3 ทดสอบการลอกแบ่งออกจากผืนผ้าด้วยน้ำหมัก

ก่อนการทดสอบการลอกแบ่ง ผู้วิจัยได้นำน้ำหมักที่ได้มาหากิจกรรมการย่อยแบ่งเพื่อได้ทราบข้อมูล ก่อนการนำมาทดสอบการลอกแบ่ง โดยนำน้ำหมักที่ได้มาทดสอบการย่อยกับน้ำแบ่งสูงที่มีแบ่งอยู่ 6-10 เปอร์เซ็นต์ จับเวลาจนกระทั่งน้ำแบ่งถูกย่อยจนหมดเมื่อได้ระยะเวลาตามกำหนดแล้วจึงนำมาใช้ทดสอบการ ลอกแบ่งจากผืนผ้า

ในการทดสอบการลอกแบ่ง ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 วิธี วิธีแรกคือวิธีจุ่มอัดน้ำยา (Pad batch 100% pick up) ปรับพีเอชที่ 7 ในน้ำหมักก่อนการจุ่มอัดน้ำยาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำ ผ้าจุ่มแช่ไว้สักครู่ให้เปียก แล้วนำเข้าเครื่องแพด เมื่อแพดเสร็จนำเข้าเครื่องอบโดยกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 30-37 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจดบันทึกเวลาเริ่มต้นจนกระทั่งแบ่งถูก ย่อยสลายหมด โดยใช้วิธีทดสอบหาแบ่งในทางปฏิบัติด้วยวิธีทดสอบกับสารละลายไอโอดีน โดยหยดสาร ละลายไอโอดีน 2-3 หยดลงบนผ้า สังเกตสีที่เกิดขึ้น ถ้าปรากฏสีเหลืองแสดงว่าแบ่งถูกย่อยสลายหมด จึงไม่มี แแบ่งเหลืออยู่เลย

อีกวิธีโดยการกำหนดให้มีอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุ (L:R = 10 : 1) คำนวณปริมาณน้ำที่ใช้กับผ้าที่ ทดสอบ โดยผ้าที่ใช้ในการทดสอบเป็นผ้าฝ้ายชนิดดิมมีปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 6-10 โดยชั่งผ้าที่ใช้ทดสอบ หนักประมาณ 10 กรัม คำนวณน้ำที่ใช้ในการลอกแบ่ง ปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้พี เอช 7 นำผ้าจุ่มแช่ นำเข้าเครื่องเขย่าโดยกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 30-37 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จับเวลาจนกระทั่งแบ่งถูกย่อยสลายหมด โดยใช้วิธีทดสอบหาแบ่งในทางปฏิบัติด้วยวิธีทดสอบ กับสารละลายไอโอดีน โดยหยดสารละลายไอโอดีน 2-3 หยดลงบนผ้า สังเกตสีที่เกิดขึ้น ถ้าปรากฏสีเหลือง แสดงว่าแบ่งถูกย่อยสลายหมด ไม่มีแบ่งเหลืออยู่เลย หลังจากทดสอบการลอกแบ่งแล้วนำสารละลายน้ำที่ได้ จากการสกัดแบ่งนำมาวิเคราะห์หาสมบัติน้ำด้วยการหาปริมาณซีไอดี ปริมาณแบคทีเรีย และทำการวัดค่าพีเอช

4.4 ทดสอบการลอกแบ่งออกจากผืนผ้าด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส

ผู้วิจัยได้นำเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสมาใช้ในการทดลองเปรียบเทียบกับน้ำหมักที่ได้จากการ เพาะเลี้ยงแบคทีเรีย โดยกำหนดปริมาณสารเคมีและปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการทดลองดังนี้

ปริมาณการใช้เอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสด้วยวิธีการลอกแบ่งแบบจุ่มอัดน้ำยา โดยวิธี pad-batch หรือ pad-pile มีปริมาณการใช้สารเคมีดังต่อไปนี้

	สภาวะเย็น	สภาวะร้อน
ปริมาณแอนไฮม์	3-6 มิลลิกรัมต่อลิตร	3-5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์	0.4 กรัมต่อลิตร	0.4 กรัมต่อลิตร
ปริมาณโซเดียมคลอไรด์	3 กรัมต่อลิตร	3 กรัมต่อลิตร
Pick-up	80-100%	80-100%
พีเอช	6-6.5	6-6.5
อุณหภูมิ	30 องศาเซลเซียส	60-70 องศาเซลเซียส
เวลา	6-12 ชั่วโมง	2-3 ชั่วโมง

เตรียมสารละลายโดยกำหนดปริมาณการใช้ตามข้อมูลข้างบน นำผ้าจุ่มแช่น้ำยาที่เตรียมไว้สักครู่ให้เปียก แล้วนำเข้าเครื่องแพด เมื่อแพดเสร็จนำผ้าเข้าเครื่องอบโดยกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 30-37 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจดบันทึกเวลาเริ่มต้นจนกระทั่งแห้งถูกย่อยสลายหมด โดยใช้วิธีทดสอบหาแบ่งในทางปฏิบัติด้วยวิธีทดสอบกับสารละลายไอโอดีน โดยหยดสารละลายไอโอดีน 2-3 หยดลงบนผ้า สังเกตสีที่เกิดขึ้น ถ้าปรากฏสีเหลืองแสดงว่าแห้งถูกย่อยสลายหมด จึงไม่มีแบ่งเหลืออยู่เลย

อีกวิธีโดยการกำหนดให้มีอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุ (L:R = 10 : 1) คำนวณปริมาณน้ำที่ใช้กับผ้าที่ทดสอบ โดยผ้าที่ใช้ในการทดสอบเป็นผ้าฝ้ายชนิดที่มีปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 6-10 โดยชั่งผ้าที่ใช้ทดสอบหนักประมาณ 10 กรัม คำนวณน้ำที่ใช้ในการลอกแบ่ง

ปริมาณการใช้แอนไฮม์แบบที่เรียวแอลฟาอะไมเลสโดยวิธีการไม่ต่อเนื่อง โดยการใช้เครื่องจักรต่างๆ และมีปริมาณการใช้สารเคมีดังต่อไปนี้

	เครื่องจักรเกอร์	เครื่องวินช์	เครื่องเจ็ท
อัตราส่วนน้ำย้อมต่อวัสดุ (liquor ratio)	2:1-5:1	8:1-20:1	6:1-10:1
ปริมาณแอนไฮม์แบบที่เรียวแอลฟาอะไมเลส	2-3 มล./ล	2-4 มล./ล	2-3 มล./ล
ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์	0.4 กรัม/ล	0.4 กรัม/ล	0.4 กรัม/ล
ปริมาณโซเดียมคลอไรด์	2 กรัม/ล	2 กรัม/ล	2 กรัม/ล
พีเอช	6.0-6.5	6.0-6.5	6.0-6.5
อุณหภูมิ	60-70 °C	60-70 °C	60-70 °C
เวลา	60-90 นาที	60 นาที	60 นาที

เตรียมสารละลายที่ใช้ตามวิธีการใช้ด้านบน แล้วนำผ้าจุ่มแช่ นำเข้าเครื่องเขย่าโดยกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 30-37 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส จิบเวลาจนกระทั่งแห้งถูกย่อยสลายหมด โดยใช้วิธีทดสอบหาแบ่งในทางปฏิบัติด้วยวิธีทดสอบกับสารละลายไอโอดีน โดยหยดสารละลายไอโอดีน 2-3 หยดลงบนผ้า สังเกตสีที่เกิดขึ้น ถ้าปรากฏสีเหลืองแสดงว่าแห้งถูกย่อยสลายหมด ไม่มีแบ่งเหลืออยู่เลย

4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณแป้งบนผืนผ้า

4.5.1 ทำการชั่งน้ำหนักผ้าก่อนทำการลอกแป้ง 5 ชิ้น และให้ตั้งค้ายออกจากแต่ละริมของตัวอย่างหลายๆ เส้นเพื่อกันมิให้ด้ายหลุดในระหว่างการทดสอบ แต่ละตัวอย่างต้องหนักไม่น้อยกว่า 5 กรัม อยบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ เมื่อความแตกต่างของน้ำหนักในการชั่งสองครั้งไม่มากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักที่ชั่งครั้งแรก และแต่ละครั้งต้องชั่งห่างกันเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 15 นาที ทำการบันทึกน้ำหนักไว้

4.5.2 ทำการลอกแป้งด้วยการแช่ตัวอย่างในสารละลายเอนไซม์และคนโดยสม่ำเสมอแล้วล้างตัวอย่างให้ทั่วด้วยน้ำกลั่นร้อนหลายๆ ครั้ง ในการล้างแต่ละครั้งต้องบีบตัวอย่างให้แห้งแล้วอบตัวอย่างให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ทุกชิ้น ทำการบันทึกน้ำหนักไว้

4.5.3 คำนวณปริมาณแป้ง โดยการเอาน้ำหนักผ้าก่อนทำการทดสอบการลอกแป้งลบหลังทำการทดสอบการลอกแป้ง

4.5.4 นำน้ำหนักผ้าทั้ง 5 ชิ้น มาทำการหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบการลอกแป้งบนผืนผ้า แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์แป้งที่ลดลง

4.6 ทดสอบผ้าหลังการทดสอบการลอกแป้ง

โดยการทดสอบแรงดึงและการยืดตัวที่ทำให้ผ้าขาด โดยวิธีแกรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121-2526

4.6.1 ตัดชิ้นทดสอบกว้าง 100 ± 2 มิลลิเมตร และยาวไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร ให้ใช้ชิ้นทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้น สำหรับการทดสอบแนวด้ายยืน และ 3 ชิ้น สำหรับการทดสอบแนวด้ายพุ่งให้ทดสอบที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2 อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส

4.6.2 จัดให้ที่ยึดทั้งสองอันห่างกัน 75 ± 1 มิลลิเมตร ปรับเครื่องทดสอบให้ชิ้นทดสอบขาดระหว่างร้อยละ 10 ถึง 90 ของขีดความสามารถของเครื่องภายในเวลา 20 ± 3 วินาที

4.6.3 ยึดชิ้นทดสอบให้ที่ยึดทั้งสองอยู่ในแนวกึ่งกลางของชิ้นทดสอบโดยใช้ด้ายยาวขนานกับทิศทางของการดึง และให้ความตึงสม่ำเสมอตลอดแนวความกว้างของที่ยึด

4.6.4 เมื่อจะทดสอบหาการยืดตัว ให้ยึดชิ้นทดสอบไว้ด้วยที่ยึดอันแรกในแนวกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ ดึงชิ้นทดสอบให้ตึงด้วยแรงดึงประมาณร้อยละ 0.5 ของแรงดึงขาดเสียก่อน แล้วยึดชิ้นทดสอบกับที่ยึดอันที่สอง

4.6.5 เดินเครื่องดึงชิ้นทดสอบจนขาด บันทึกค่าแรงดึงขาด การยืดตัวและเวลาที่ใช้ในการดึงขาดของชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นแรก ถ้าค่าเฉลี่ยของเวลาดึงกล่าวอยู่ในช่วง 20 ± 3 วินาที ให้ทดสอบชิ้นทดสอบที่เหลือต่อไปในภาวะเดียวกัน บันทึกเวลาที่ใช้ในการดึงขาดของชิ้นทดสอบทุกชิ้น ถ้าค่าเฉลี่ยของเวลาในการดึงขาดของชิ้นทดสอบ 3 ชิ้นแรกไม่อยู่ในช่วงเวลาดึงกล่าว ให้ทดสอบใหม่โดยปรับเครื่องทดสอบจนได้ช่วงเวลากำหนด

4.7 การวิเคราะห์น้ำทิ้ง

4.7.1 การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี เป็นการหาปริมาณอินทรีย์สารในน้ำหมักโดยวิธี open reflux (APHA, AWWA, WPCF, 1985 : 533-535) โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์อินทรีย์สารด้วยสารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง (strong chemical oxidant) ในสารละลายที่เป็นกรด (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2525)

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในการรีฟลักซ์ (refluxing apparatus) ประกอบด้วย

1. ขวดกลมก้นแบน (flat bottom flask) ชนิดที่มีปากแบบกรวยจอยท์ (ground joint) ขนาดความจุ 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. เครื่องควบแน่น (condensor)
4. เตาแผ่นร้อน (hot plate)

วิธีวิเคราะห์

1. ใส่เมอคิวรี (II) ซัลเฟต (HgSO_4) ปริมาณ 0.4 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์ เติมน้ำหมักหรือน้ำหมักที่ทำให้เจือจางแล้วลงไป 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่มีความเข้มข้น 0.0417 โมลาร์ จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วค่อยๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นซึ่งมีซิลเวอร์ซัลเฟตเจือปนอยู่ (ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต 22 กรัมในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ขวด ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม) จำนวน 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลูกแก้ว 5-6 เม็ดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดือดอย่างรุนแรง

2. นำขวดรีฟลักซ์ต่อกับเครื่องควบแน่น แล้วรีฟลักซ์หรือต้มให้เดือดเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น ล้างเครื่องควบแน่นด้วยน้ำกลั่นก่อนที่จะถอดเครื่องควบแน่นออกจากขวดรีฟลักซ์

3. เจือจางส่วนผสมที่ได้ด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรประมาณ 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้ววิเคราะห์ปริมาณของไดโครเมตที่มากเกินไปด้วยสารละลายมาตรฐานไอโอดีน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ โดยใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อถึงจุดสมมูลสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

4. ทำแบลนด์ (blank) โดยใช้ น้ำกลั่น 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรแทนน้ำหมัก และทำการวิเคราะห์พร้อมไปกับตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี (มก./ลบซม.)} = \frac{(a-b) \times M \times 8,000}{\text{ปริมาตรของน้ำหมัก (ลบซม.)}}$$

a = ปริมาตรของไอร้ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตซึ่งใช้ติเตรตกับแบลงค์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

b = ปริมาตรของไอร้ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟตซึ่งใช้ติเตรตกับน้ำหมัก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M = ความเข้มข้นของไอร้ออน (II) แอมโมเนียมซัลเฟต (โมลาร์)

4.7.2 การวิเคราะห์หาปริมาณของแข็ง

ปริมาณของแข็งทั้งหมด เป็นปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากการระเหยน้ำออกจากน้ำหมักทั้งหมด โดยนำน้ำหมักปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในถ้วยระเหย และนำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปลอ่ยให้เย็นลงในเดสิคเคเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้น เทียบหาปริมาณของของแข็งทั้งหมดซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. จานระเหย (evaporating dish)
2. เครื่องอ่างไอน้ำ (steam bath หรือ water bath)
3. ตู้อบความร้อน
4. เดสิคเคเตอร์
5. เครื่องชั่งละเอียด

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมจานระเหย จานที่ใช้ต้องอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ปลอ่ยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์ (desiccator) แล้วชั่งหาน้ำหนัก
2. เลือกใช้ปริมาตรของน้ำตัวอย่างให้เหมาะสม โดยปกติใช้ 50 หรือ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. ค่อยๆ รินน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณของของแข็งทั้งหมด ลงในถ้วยระเหยที่ตั้งบนเครื่องอ่างไอน้ำ เมื่อไอน้ำระเหยออกหมด นำจานระเหยไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปลอ่ยให้เย็นในเดสิคเคเตอร์
4. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักของปริมาณสารทั้งหมด ซึ่งคำนวณเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{\text{น้ำหนักของสารทั้งหมด (มก.)} \times 1,000}{\text{ปริมาตรของน้ำหมักตัวอย่าง (ลบ.ซม.)}}$$

4.7.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารแขวนลอย (ปริมาณแอมแอลเอสเอส) ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว “ Whatmann “ GF/C (Nonfiltrable Solids) มีหน่วยเป็น มก./ลบ.ดม.

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 ซม.
2. กรวยกรองบุคเนอร์ (Buchner pump)
3. เครื่องดูดอากาศ (suction pump)
4. ตู้อบความร้อน (drying oven) 25-180 องศาเซลเซียส
5. เติสสิกเกเตอร์ (desiccator)
6. เครื่องชั่งละเอียด (analytical balance)

วิธีการวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเตสสิกเกเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
2. เลือกปริมาตรน้ำตัวอย่างซึ่งจะให้ค่าของแข็งออกมาโดยประมาณอย่างน้อยที่สุด 2.5 มก. (เพิ่มขึ้นจากน้ำหนักของกระดาษกรอง)
3. วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ
4. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกเพื่อให้ติดแน่นกับกรวยบุคเนอร์
5. กรองน้ำตัวอย่างตามปริมาตรที่ต้องการโดยอาศัยแรงดูดช่วย
6. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างของแข็งที่ติดอยู่ข้างกรวยจนหมดและรอจนกว่าจะแห้ง
7. ปิดเครื่องดูดอากาศ แล้วใช้ปากคีบคีบกระดาษกรองใส่ภาชนะทนไฟ เช่น จานเพาะเชื้อ (petri dish) กระจกนาฬิกา (watch glass) หรือถ้วยอลูมิเนียม (aluminium cup) นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง
8. ทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้องในเตสสิกเกเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณ

$$\text{มก./ลบ.ดม. ปริมาณแอมแอลเอสเอส} = \frac{\text{น้ำหนักของสารแขวนลอย (มก.)} \times 1,000}{\text{ลบ.ดม. ของน้ำตัวอย่างที่ใช้}}$$

4.7.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารแขวนลอยระเหย (ปริมาณแอมแอลวีเอสเอส) เป็นปริมาณของสารที่สลายไปได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ ส่วนตะกอนที่เหลืออยู่ไม่สลายไปเรียกว่าปริมาณสารคงตัว ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์

เครื่องมือและอุปกรณ์

เตาเผา (muffle furnace) ใช้ได้ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

1. นำจานระเหยที่วิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมดแล้วเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 15-20 นาที) ปลอ่ยให้เย็นในแคลิเคเตอร์
2. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จะได้น้ำหนักสารคงตัวที่เหลืออยู่ ซึ่งจะนำไปคำนวณหาปริมาณของของแข็งระเหย

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณสารคงตัว (มก./ล.)} = \frac{\text{น้ำหนักของสารคงตัว (มก.)} \times 1,000}{\text{ปริมาตรของน้ำหนักตัวอย่าง (ลบ.ซม.)}}$$

$$\text{ปริมาณสารระเหยทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{\text{ปริมาณสารทั้งหมด (มก./ล.)} - \text{ปริมาณสารคงตัว (มก./ล.)}}{\text{มก./ล.}}$$



ภาพประกอบ 18 แสดงขั้นตอนการหมักและการลอกแป้งออกจากผืนผ้า

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาค่าร้อยละ (Percentage) โดยใช้สูตร

$$P = \frac{f}{N} \times 100$$

P แทนร้อยละ

f แทนความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ

N แทนจำนวนความถี่ทั้งหมด

2. หาค่าเฉลี่ย (arithmetic mean) โดยใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทนผลรวมทั้งหมดในกลุ่ม

N แทนจำนวนคะแนนในกลุ่ม

3. หาค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยใช้สูตร

$$S = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

S แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทนคะแนนแต่ละตัว

N แทนจำนวนคะแนนในกลุ่ม

$\sum$ แทน ผลรวม

4.เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผ้า โดยใช้ t-test

$$t = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

t แทน ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบค่าวิกฤต

ในการแจกแจงแบบ t เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

$\overline{X_1}, \overline{X_2}$ แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

S_1^2, S_2^2 แทน ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

n_1, n_2 แทน จำนวนสมาชิกกลุ่มตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการหมักน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยการหมักแบบไร้อากาศ ตามกระบวนการที่ได้กำหนดไว้แล้ว จากนั้นนำน้ำหมักที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณภาพ แล้วนำน้ำหมักที่ได้มาทำการทดสอบการลอกแป้งออกจากผืนผ้า ผลจากการทดสอบการลอกแป้งนำผ้าที่ผ่านการทดสอบการลอกแป้งแล้ว มาทดสอบความแข็งแรงของผ้า โดยทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121-2526 จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลนำเสนอในรายละเอียด โดยแยกเป็น 3 ขั้นตอน

ตอนที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งก่อนและระหว่างการหมัก

ตอนที่ 2 การทดสอบการลอกแป้งออกจากผืนผ้า และการตรวจสอบคุณภาพน้ำหลังการลอกแป้ง

ตอนที่ 3 การทดสอบความแข็งแรงของผ้า

ตอนที่ 1 ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งก่อนและระหว่างการหมัก

การทดลองการหมักน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ โดยการหมักแบบไร้อากาศ ได้มีการสูบน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์มาวิเคราะห์หาสมบัติน้ำทิ้ง โดยสูบน้ำทิ้ง 3 ครั้ง และทำการเก็บแบคทีเรียจากระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบชีวภาพมาทำการวิเคราะห์หาสมบัติน้ำทิ้ง ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งเครื่องดีแคนเตอร์ และน้ำทิ้งในบ่อบำบัดน้ำทิ้ง มีผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 7

ตาราง 7 แสดงสมบัติน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์

สมบัติน้ำทิ้งจากเครื่องดี แคนเตอร์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	การสุ่มเก็บน้ำมาตรวจสอบ			แบคทีเรียที่นำมาจาก บ่อบำบัดน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	หมายเหตุ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ปริมาณซีโอดี	28,884	34,561.2	29,083	11,852	
ของแข็งทั้งหมด	24,164	23,016	22,598	9,933	
ปริมาณสารแขวนลอย	5,030	5,260	5,400	2,260	
ปริมาณสารแขวนลอยระเหย	4,970	5,240	5,130	2,040	
พีเอช	3.4	4.2	3.9	4.4	

จากตาราง 7 สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ พบว่าน้ำทิ้งที่สุ่มเก็บมาทดสอบทั้ง 3 ครั้งมีปริมาณซีโอดี 28,884 มิลลิกรัมต่อลิตร 34,561 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 29,083 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ มีปริมาณของแข็ง 24,164 มิลลิกรัมต่อลิตร 23,016 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 22,598 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสารแขวนลอย 5,030 มิลลิกรัมต่อลิตร 5,260 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 5,400 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 4,970 มิลลิกรัมต่อลิตร 5,240 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 5,130 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ พีเอชอยู่ระหว่าง 3.4-4.2 ส่วนแบคทีเรียที่เก็บมาจากบ่อบำบัดน้ำทิ้ง บ่อที่ 2 เมื่อนำมาทำการทดสอบผลการทดสอบมีปริมาณซีโอดี 11,852 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 9,933 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 2,260 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 2,040 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4.4

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางเคมีจะทราบสมบัติน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ว่ามีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำทิ้งเป็นปริมาณที่ได้ทำการทดสอบด้วยปริมาณซีโอดีซึ่งมีปริมาณซีโอดีค่อนข้างสูง และผลจากการวิเคราะห์ทางเคมีทราบปริมาณแบคทีเรียจากน้ำทิ้งในระบบบำบัดมีปริมาณ 2,040 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นทำการเพาะเลี้ยงโดยนำแบคทีเรียที่มีปริมาณ 2,040 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 ลิตร เติบโตอาหารให้แบคทีเรียด้วยน้ำทิ้งจากดีแคนเตอร์ที่มีค่าซีโอดี 28,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลการเพาะเลี้ยงแสดงรายละเอียดตามตาราง 8

ตาราง 8 แสดงสมบัติน้ำทิ้งระหว่างการหมัก

โดยการหมักจะเป็นแบบไร้อากาศ เป็นระบบหมักแบบ Continuous fermentation เป็นการหมักแบบต่อเนื่อง โดยมีการเติมสารอาหารใหม่และถ่ายอาหารเก่าออกจากระบบในอัตราเดียวกันตลอดเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก	ทำการหมัก 3 ครั้ง	ปริมาณซีโอดี (COD) mg/l	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) mg/l	ปริมาณสารแขวนลอย (MLSS) mg/l	ปริมาณสารแขวนลอยระเหย (MLVSS) mg/l	หมายเหตุ
แบคทีเรียที่เก็บจากบ่อบำบัด		11,852	9,933	2,260	2,040	
7 วัน	ถังที่ 1 ถังที่ 2 ถังที่ 3	22,509.6 14,342.4 11,852.4	13,226 9,933 11,995	3,220 3,080 3,860	3,190 2,800 3,340	ทำการปรับพีเอชที่ 7 ทดลอง
14 วัน	ถังที่ 1 ถังที่ 2 ถังที่ 3	22,809 21,962 21,115.2	18,363 12,474 15,593	4,800 4,300 4,840	4,480 4,040 4,560	อุณหภูมิที่ทำการหมัก 30-37 องศาเซลเซียส
21 วัน	ถังที่ 1 ถังที่ 2 ถังที่ 3	26,991 24,900 23,266	18,089 14,072 16,080	6,390 6,570 6,120	5,760 5,150 5,660	

จากการทดลองการหมักน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ โดยจะนำตะกอนแบคทีเรียที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำทิ้งมาเป็นปริมาณ 10 ลิตร โดยนำมาตรวจสอบสมบัติน้ำทิ้งพบว่าปริมาณซีโอดี 11,852 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 9,933 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 2,260 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ

แขวนลอยระเหย 2,040 มิลลิกรัมต่อลิตรมาทำการเพาะเลี้ยงต่อโดยมีการเติมอาหารให้กับแบคทีเรียด้วยน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ปริมาณ 1 ลิตรทุกวัน ที่มีปริมาณซีโอดี 28,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 24,164 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 5,030 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 4,970 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้พีเอชที่ 7 ตลอดการทดลอง ทุกสัปดาห์นำน้ำที่ได้มาตรวจสอบสมบัติ ซึ่งก่อนจะนำน้ำมาทำการทดสอบ 1 วันงดเติมอาหารให้กับแบคทีเรียเพื่อให้แน่ใจว่าแบง์ได้ถูกย่อยสลายหมดแล้ว (ด้วยการนำน้ำหมักนั้นมาทดสอบกับสารละลายไอโอดีน) ซึ่งปรากฏว่าไม่เกิดสีกับสารละลายไอโอดีน

ผลจากการหมักที่ระยะเวลา 7 วัน มีปริมาณแบคทีเรียประมาณ 2,800-3,340 มิลลิกรัมต่อลิตร การหมักที่ระยะเวลา 14 วัน มีปริมาณแบคทีเรียประมาณ 4,040-4,560 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลา 21 วัน มีปริมาณแบคทีเรียประมาณ 5,150-5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงว่าปริมาณแบคทีเรียมีจำนวนเพิ่มขึ้นระหว่างทำการหมัก และเมื่อนำน้ำที่ได้จากการหมักที่มีปริมาณแบคทีเรีย 3,190 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำการลอกแ่งออกจากผิวน้ำ และนำน้ำที่ได้หลังการลอกแ่งมาทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 9

ตอนที่ 2 การทดสอบการลอกแบ่งออกจากผืนผ้า และการตรวจสอบคุณภาพน้ำหลังการลอกแบ่ง

ตาราง 9 แสดงสมบัติน้ำหมักก่อนและหลังการลอกแบ่งจากผืนผ้า โดยน้ำหมักจากการทดลองวันที่ 7 และระยะเวลาที่ใช้ในการลอกแบ่ง โดยทำการลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 และ 60-70 องศาเซลเซียส

สมบัติน้ำหมัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ซีโอดี (COD)	ของแข็ง ทั้งหมด (TS)	สาร แขวน ลอย (MLSS)	สารแขวน ลอย ระเหย (MLVSS)	พีเอช	ระยะเวลาที่ใช้ในการลอก แบ่ง
น้ำหมักก่อนลอกแบ่ง	22,509.6	13,226	3,220	3,190	7	-แพดแบทช์ 30-37 องศา เซลเซียส 61 ชั่วโมง -อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ
น้ำหมักหลังการลอกแบ่ง ที่ 30-37 องศาเซลเซียส	24,302.4	20,168	4,190	3,950	5.4	10 ต่อ 1 30-37 องศา เซลเซียส 43 ชั่วโมง -แพดแบทช์ 60-70 องศา
น้ำหมักหลังการลอกแบ่ง ที่ 60-70 องศาเซลเซียส	23,904	17,714	3,750	3,530	6.2	เซลเซียสแบ่งไม่หมด -อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 60-70 องศา เซลเซียส แบ่งไม่หมด

จากตาราง 9 เมื่อนำน้ำหมักที่มีปริมาณซีโอดี 22,509 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 13,226 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 3,220 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 3,190 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 เมื่อนำมาลอกแบ่งจากผ้าที่มีปริมาณร้อยละของสารลงแบ่ง 7.34 ที่ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพดแบทช์ใช้ระยะเวลา 61 ชั่วโมง ถ้ามีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 จะใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 43 ชั่วโมง และที่ 60-70 องศาเซลเซียส เมื่อทำการลอกแบ่งโดยวิธีแพดแบทช์และเมื่อมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ผลคือเมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนปรากฏว่าเป็นสีม่วงแสดงว่ายังมีปริมาณแบ่งเหลืออยู่ หลังการลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดแบ่งมาทดสอบสารละลายไอโอดีนปรากฏเป็นสีเหลือง แสดงว่าแบ่งถูกย่อยจนหมด เมื่อนำมาทดสอบสมบัติน้ำปรากฏว่ามีปริมาณซีโอดี 24,302 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 20,168 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 4,190 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารแขวนลอยระเหย 3,950 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการตรวจ

วัดพีเอชที่ได้ปรากฏมีพีเอช 5.4 และเมื่อนำน้ำหลังการลอกแบ่งมาทำการทดสอบที่ 60-70 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดแบ่งมาทดสอบสารละลายไอโอดีนปรากฏเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าแบ่งถูกย่อยไม่หมด เมื่อนำมาทดสอบสมบัติปรากฏว่ามีปริมาณซีไอดี 23,904 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 17,714 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 3,750 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารแขวนลอยระเหย 3,530 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการตรวจวัดพีเอชที่ได้ปรากฏมีพีเอช 6.2

จากผลการทดสอบแสดงว่าการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักที่มีปริมาณแบคทีเรีย 3,190 มิลลิกรัมต่อลิตร การลอกแบ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียสปรากฏว่าใช้เวลาย่อยแบ่งหมดประมาณ 43-61 ชั่วโมง เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการลอกแบ่งมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น และเมื่อวัดพีเอชปรากฏว่าลดต่ำลงแสดงว่ามีกรดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงว่าแบคทีเรียในน้ำหมักย่อยสลายแบ่งให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ทำให้พีเอชของน้ำลดลง ส่วนที่ 60-70 องศาเซลเซียสที่ใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่งเท่ากันปรากฏว่ายังเหลือปริมาณแบ่งอยู่เมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนปรากฏสีม่วงแดงซึ่งแสดงว่าแบ่งถูกย่อยได้ไม่หมด เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการทดสอบการลอกแบ่งมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณสารแขวนลอยระเหยเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าเป็นปริมาณแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีแบ่งจากสารลงแบ่งบนผืนผ้าหุ้ดมารวมด้วยกับน้ำหมัก เมื่อนำน้ำมาทดสอบพีเอชปรากฏว่าพีเอชลดลงเล็กน้อยแสดงว่าแบ่งได้ถูกย่อยสลายได้ไม่หมดเมื่อเปรียบเทียบกับพีเอชที่ได้จากการลอกแบ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียส และเมื่อนำน้ำที่ได้จากการหมักที่มีปริมาณแบคทีเรีย 4,480 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำการลอกแบ่งออกจากผืนผ้า และนำน้ำที่ได้หลังการลอกแบ่งมาทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 10

ตาราง 10 แสดงสมบัติน้ำหมักก่อนและหลังการลอกแ่งจากผืนผ้า โดยน้ำหมักจากการทดลองวันที่ 14 และระยะเวลาที่ใช้ในการลอกแ่ง โดยทำการลอกแ่งที่อุณหภูมิ 30-37 และ 60-70 องศาเซลเซียส

สมบัติน้ำหมัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ซีโอดี (COD)	ของแข็ง ทั้งหมด (TS)	สาร แขวน ลอย (MLSS)	สารแขวน ลอย ระเหย (MLVSS)	พีเอช	ระยะเวลาที่ใช้ในการลอก แ่ง
น้ำหมักก่อนการลอกแ่ง	22,908	18,363	4,800	4,480	7	-แพคแบทช์ 30-37 องศา เซลเซียส 35 ชั่วโมง -อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ
น้ำหมักหลังการลอกแ่ง ที่ 30-37 องศาเซลเซียส	25,995.6	20,871	7,088	6,360	5.7	10 ต่อ 1 30-37 องศา เซลเซียส 30 ชั่วโมง -แพคแบทช์ 60-70 องศา เซลเซียส
น้ำหมักหลังการลอกแ่ง ที่ 60-70 องศาเซลเซียส	26,892	19,346	6,230	5,690	6.3	แ่งไม่หมด -อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 60-70 องศา เซลเซียส แ่งไม่หมด

จากตาราง 10 เมื่อนำน้ำหมักที่มีปริมาณซีโอดี 22,908 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,363 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 4,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 4,480 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 เมื่อนำมาลอกแ่งจากผ้าที่มีปริมาณร้อยละของสารลงแ่ง 7.34 ที่ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพคแบทช์ใช้ระยะเวลา 35 ชั่วโมง ถ้ามีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 จะใช้ระยะเวลาในการลอกแ่ง 30 ชั่วโมง และเมื่อทำการลอกแ่งที่ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพคแบทช์และเมื่อมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ผลคือเมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนปรากฏว่าเป็นสีม่วงแสดงว่ายังมีปริมาณแ่งเหลืออยู่ หลังการลอกแ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดแ่งมาทดสอบสารละลายไอโอดีนปรากฏเป็นสีเหลือง แสดงว่าแ่งถูกย่อยจนหมด เมื่อนำมาทดสอบสมบัติปรากฏว่ามีปริมาณซีโอดี 25,995 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 20,871 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 7,088 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารแขวนลอยระเหย 6,360 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการตรวจวัดพีเอชที่ได้ปรากฏมีพีเอช 5.7 และเมื่อนำน้ำหลังการลอกแ่งที่ 60-70 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดแ่งมาทดสอบสารละลายไอโอดีนปรากฏเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าแ่งถูกย่อยไม่หมด เมื่อนำมาทดสอบสมบัติปรากฏว่ามีปริมาณ

ซีไอดี 26,892 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 19,346 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 6,230 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารแขวนลอยระเหย 5,690 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการตรวจวัดพีเอชที่ได้ปรากฏมีพีเอช 6.3

จากผลการทดสอบแสดงว่าการลอกแ่งด้วยน้ำหมักที่มีปริมาณแบคทีเรีย 4,480 มิลลิกรัมต่อลิตร การลอกแ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียสปรากฏว่าใช้เวลาย่อยแ่งหมดประมาณ 30-35 ชั่วโมง เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการลอกแ่งมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น และเมื่อวัดพีเอชปรากฏว่าลดต่ำลงแสดงว่ามีกรดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงว่าแบคทีเรียในน้ำหมักย่อยสลายแ่งให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ทำให้พีเอชของน้ำลดลง ส่วนที่ 60-70 องศาเซลเซียสที่ใช้ระยะเวลาในการลอกแ่งเท่ากันปรากฏว่ายังเหลือปริมาณแ่งอยู่เมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนปรากฏสีม่วงแดงซึ่งแสดงว่าแ่งถูกย่อยได้ไม่หมด เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการทดสอบการลอกแ่งมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณสารแขวนลอยระเหยเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าเป็นปริมาณแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีแ่งจากสารลงแ่งบนผืนผ้าหลุมารวมตด้วยกับน้ำหมัก เมื่อนำน้ำมาทดสอบพีเอชปรากฏว่าพีเอชลดลงเล็กน้อยแสดงว่าแ่งได้ถูกย่อยสลายได้ไม่หมดเมื่อเปรียบเทียบกับพีเอชที่ได้จากการลอกแ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียส และเมื่อนำน้ำที่ได้จากการหมักที่มีปริมาณแบคทีเรีย 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทำการลอกแ่งออกจากผืนผ้า และนำน้ำที่ได้หลังการลอกแ่งมาทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 11

ตาราง 11 แสดงสมบัติน้ำหมักก่อนและหลังการลอกแ่งจากผืนผ้า โดยน้ำหมักจากการทดลองวันที่ 21 และระยะเวลาที่ใช้ในการลอกแ่ง โดยทำการลอกแ่งที่อุณหภูมิ 30-37 และ 60-70 องศาเซลเซียส

สมบัติน้ำหมัก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ซีโอดี (COD)	ของแข็ง ทั้งหมด (TS)	สาร แขวน ลอย (MLSS)	สารแขวน ลอย ระเหย (MLVSS)	พีเอช	ระยะเวลาที่ใช้ในการลอก แ่ง
น้ำหมักก่อนการลอกแ่ง	26,991	18,089	6,390	5,760	7	-แพดแบทช์ 30-37 องศา เซลเซียส 24 ชั่วโมง -อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ
น้ำหมักหลังการลอกแ่ง ที่ 30-37 องศาเซลเซียส	32,569.2	21,169	6,810	6,160	5.3	10 ต่อ 1 30-37 องศา เซลเซียส 20 ชั่วโมง -แพดแบทช์ 60-70 องศา
น้ำหมักหลังการลอกแ่ง ที่ 60-70 องศาเซลเซียส	38,844	26,843	8,240	7,390	6.8	เซลเซียสแ่งไม่หมด -อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 60-70 องศา เซลเซียส แ่งไม่หมด

จากตาราง 11 เมื่อนำน้ำหมักที่มีปริมาณซีโอดี 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 เมื่อนำมาลอกแ่งจากผ้าที่มีปริมาณร้อยละของสารลงแ่ง 7.34 ที่ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพดแบทช์ใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ถ้ามีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 จะใช้ระยะเวลาในการลอกแ่ง 20 ชั่วโมง เมื่อทำการลอกแ่งที่ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพดแบทช์และเมื่อมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ผลคือเมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนปรากฏว่าเป็นสีม่วงแสดงว่ายังมีปริมาณแ่งเหลืออยู่ หลังการลอกแ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดแ่งมาทดสอบสารละลายไอโอดีนปรากฏเป็นสีเหลือง แสดงว่าแ่งถูกย่อยจนหมด เมื่อนำมาทดสอบสมบัติน้ำปรากฏว่ามีปริมาณซีโอดี 32,569.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 21,169 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 6,810 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารแขวนลอยระเหย 6,160 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการตรวจวัดพีเอชที่ได้ปรากฏมีพีเอช 5.3 และหลังการลอกแ่งที่ 60-70 องศาเซลเซียส เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดแ่งมาทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนปรากฏเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าแ่งถูกย่อยไม่หมด เมื่อนำมาทดสอบสมบัติน้ำปรากฏว่ามี

ปริมาณซีไอดี 38,844 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 26,843 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 8,240 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณสารแขวนลอยระเหย 7,390 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการตรวจวัดพีเอชที่ได้ปรากฏมีพีเอช 6.8 จากผลการทดสอบแสดงว่าการลอกแ่งด้วยน้ำหมักที่มีปริมาณแบคทีเรีย 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร การลอกแ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียสปรากฏว่าใช้เวลาย่อยแ่งหมดประมาณ 20-24 ชั่วโมง เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการลอกแ่งมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น และเมื่อวัดพีเอชปรากฏว่าลดต่ำลงแสดงว่ามีกรดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงว่าแบคทีเรียในน้ำหมักย่อยสลายแ่งให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ทำให้พีเอชของน้ำลดลง ส่วนที่ 60-70 องศาเซลเซียสที่ใช้ระยะเวลาในการลอกแ่งเท่ากันปรากฏว่ายังเหลือปริมาณแ่งอยู่เมื่อทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีนปรากฏให้สีม่วงแดงซึ่งแสดงว่าแ่งถูกย่อยได้ไม่หมด เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการทดสอบการลอกแ่งมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณสารแขวนลอยระเหยเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าเป็นปริมาณแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีแ่งจากสารลงแ่งบนผืนผ้าหลุดมารวมด้วยกับน้ำหมัก เมื่อนำน้ำมาทดสอบพีเอชปรากฏว่าพีเอชลดลงเล็กน้อยแสดงว่าแ่งได้ถูกย่อยสลายได้ไม่หมดเมื่อเปรียบเทียบกับพีเอชที่ได้จากการลอกแ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียส จากการนำผ้าฝ้ายชิตดิงที่นำมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบการลอกแ่ง เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณแ่งที่มีอยู่บนผ้าโดยทำการลอกแ่งด้วยเอนไซม์ผลการวิเคราะห์แสดงรายละเอียดตามตาราง 12

ตาราง 12 แสดงการทดสอบหาปริมาณแ่งบนผ้า

น้ำหนักผ้าก่อนการลอก (กรัม)	น้ำหนักผ้าหลังการลอกแ่ง (กรัม)	น้ำหนักแ่งที่เป็น สารลงแ่งจากการ ลงแ่งเส้นด้ายยืน บนผ้า (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนัก แ่งที่เป็นสารลง แ่ง
11.23	10.39	0.83	7.47
11.15	10.34	0.80	7.21
10.64	9.86	0.77	7.31
11.39	10.55	0.83	7.36
11.50	10.67	0.83	7.21
		ร้อยละของค่าเฉลี่ย 7.34	

จากตาราง 12 เมื่อทดสอบหาปริมาณแบริ่งบนผืนผ้า โดยทำการเอาสารลงแบริ่งออกจากผืนผ้าโดยการลอกแบริ่งออกด้วยสารละลายเอโนไซม์ จนกระทั่งแบริ่งถูกย่อยสลายจนหมด โดยหยดสารละลายไอโอดีนลงบนผ้าปรากฏเป็นสีเหลือง อบให้แห้งแล้วชั่งหาปริมาณแบริ่งที่หายไป ผลปรากฏว่าเมื่อทำการทดสอบกับผ้าทั้ง 5 ชิ้น ร้อยละของน้ำหนักแบริ่งอยู่ระหว่าง 7.21-7.47 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยได้ร้อยละของค่าเฉลี่ยคือ 7.34

ผลจากการทดสอบการลอกแบริ่งออกจากผืนผ้าที่เป็นผ้าฝ้ายชนิดดิงที่นำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ปริมาณสารลงแบริ่งที่เป็นแบริ่งธรรมชาติ โดยมีปริมาณสารลงแบริ่งอยู่บนผ้าร้อยละ 7.34 และเมื่อนำผ้าฝ้ายชนิดดิงมาหาค่าคุณสมบัติของผ้า และหาความแข็งแรงของผ้าก่อนที่จะนำมาใช้ทดสอบการลอกแบริ่งผลจากการวิเคราะห์สามารถแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 13

ตอนที่ 3 การทดสอบความแข็งแรงของผ้า

ตาราง 13 แสดงความแข็งแรงของผืนผ้าก่อนการลอกแบริ่ง

การทดสอบความแข็งแรงของผ้าทางด้านยืนก่อนการทดสอบการลอกแบริ่ง		การทดสอบความแข็งแรงของผืนผ้าทางด้านพุ่งก่อนการทดสอบการลอกแบริ่ง	
แรงสูงสุดที่ทำให้ผ้าขาด (นิวตัน)	ร้อยละของระยะยืดตัวสูงสุดก่อนผ้าขาด	แรงสูงสุดที่ทำให้ผ้าขาด (นิวตัน)	ร้อยละของระยะยืดตัวสูงสุดก่อนผ้าขาด
225.709	18.693	229.443	18.667
234.785	19.333	229.084	18.013
233.338	22.000	226.307	18.667
225.609	19.360		
232.532	20.000		
ค่าเฉลี่ย 230.395	ค่าเฉลี่ย 19.877	ค่าเฉลี่ย 228.278	ค่าเฉลี่ย 18.449

จากตาราง 13 เมื่อนำผ้าฝ้ายชนิดดิง ซึ่งเป็นผ้าที่ทอแบบลายขัด มีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 และจากการหาขนาดของเส้นด้าย โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง เส้นด้ายยืนมีขนาด 31.94 เท็กซ์ และ 31.78 เท็กซ์ และเส้นด้ายพุ่งมีขนาด 31.46 เท็กซ์ และ 31.26 เท็กซ์ (เท็กซ์ หมายถึง ขนาดเส้นด้ายคำนวณโดยนำหนักของเส้นด้ายเป็นกรัมต่อความยาว 1000 เมตร) จากการทดสอบหาขนาดของเส้นด้าย ทำให้ทราบว่าเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนที่ใช้ในการทอผ้าฝ้ายชนิดดิงมีขนาดประมาณ 32 เท็กซ์ และมีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง 42 เส้นต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจากมาตรฐาน มอก. 65-2517 ผ้าฝ้ายชนิดดิงชนิดไม่ฟอก ซึ่งเป็น

ผ้าที่ทอแบบลายขัด และมีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 ซึ่งมีขนาด 25-60 เท็กซ์ มีจำนวนเส้นด้ายยืน และเส้นด้ายพุ่งไม่น้อยกว่า 32 เส้นต่อตารางเซนติเมตร ต้องทนแรงดึงไม่น้อยกว่า 196 นิวตัน (20 กิโลกรัม แรง) ซึ่งจากการทดสอบแรงดึงขาดพบว่าแรงดึงที่ทำให้ผ้าด้ายยืนขาดมีค่าเฉลี่ย 230.395 นิวตัน และแรงดึงที่ทำให้ผ้าด้ายพุ่งขาดมีค่าเฉลี่ย 228.278 นิวตัน ซึ่งพบว่าผ้าที่ใช้ในการทดลองมีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517 หลังจากการลอกแบ่งออกจากผืนผ้าแล้ว เมื่อนำผ้าที่ได้ไปทดสอบความแข็งแรงของผ้าแล้วผลการวิเคราะห์แสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 14

ตาราง 14 แสดงการทดสอบความแข็งแรงของผ้าหลังการลอกแบ่ง โดยใช้ผ้าหมักที่มีปริมาณซีไอดี 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย (एमएलएसएस) 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระยะเหว (एमแอลวีएसएस) 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7

การลอกแบ่งโดยใช้น้ำหมัก ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง		การทดสอบ ความแข็งแรง ของผ้า	ครั้งที่ทำการทดสอบความแข็งแรงของผ้า					
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่า เฉลี่ย
โดยวิธีแพดแบทช์ 30-37 องศา เซลเซียส	ผ้าด้านยืน	Strength	210.280	215.530	208.320	215.630	213.220	212.596
		elongation	30.693	27.333	24.680	28.013	28.666	27.877
	ผ้าด้านพุ่ง	strength	205.560	215.270	212.960			211.263
		elongation	24.693	23.360	24.027			24.027
โดยให้มีอัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 30-37 องศา เซลเซียส	ผ้าด้านยืน	strength	217.280	211.840	216.750	202.770	205.600	210.848
		elongation	30.667	30.693	28.680	29.360	29.333	29.747
	ผ้าด้านพุ่ง	strength	212.030	222.340	191.460			208.610
		elongation	26.693	24.667	24.027			25.129
โดยวิธีแพดแบทช์ 60-70 องศา เซลเซียส	ผ้าด้านยืน	strength	214.450	217.540	203.470	203.560	210.430	209.890
		elongation	30.027	30.680	28.000	29.347	30.013	29.613
	ผ้าด้านพุ่ง	strength	192.770	207.000	195.600			198.457
		elongation	22.667	23.333	23.347			23.116
โดยให้มีอัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 60-70 องศา เซลเซียส	ผ้าด้านยืน	strength	202.470	207.230	206.560	217.320	209.020	208.520
		elongation	32.693	30.680	30.027	31.360	28.666	30.685
	ผ้าด้านพุ่ง	strength	215.910	196.100	215.000			209.003
		elongation	24.027	23.333	23.347			23.569

จากตาราง 14 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า การลอกแบ่งด้วยน้ำหมักจากน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ โดยมีสมบัติน้ำทิ้งดังนี้ มีค่าซีไอดี 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการลอกแบ่งที่พีเอช 7 ที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีแพดแบทช์จะใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 24 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 212.59 นิวตัน และทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 211.26 นิวตัน และเมื่อกำหนดให้ม็อดราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 จะใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 20 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 210.84 นิวตัน และทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 208.61 นิวตัน และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียสด้วยวิธีแพดแบทช์จะใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 20 ชั่วโมง ผลไม่สามารถลอกแบ่งได้หมดเมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีนเป็นสีน้ำเงิน เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 209.89 นิวตัน และทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 198.45 นิวตัน และเมื่อกำหนดให้ม็อดราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 20 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 208.52 นิวตัน และทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 209.00 นิวตัน

จากการลอกแบ่งบนผืนผ้าด้วยการใช้เอนไซม์ที่ทำการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ด้วยน้ำที่มีปริมาณแบคทีเรีย 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาลอกแบ่งด้วยผ้าฝ้ายขีดดิ่งที่มีปริมาณร้อยละของสารลงแบ่ง 7.34 เมื่อนำมาทดสอบการลอกแบ่งแล้วทำการทดสอบความแข็งแรงของผ้า ผลปรากฏว่าผ้าที่ผ่านการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักเมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้ามีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517 และการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสหลังจากการลอกแบ่งแล้วนำผ้าไปทดสอบความแข็งแรงของผ้าผลการทดสอบแสดงได้ดังตาราง 15

ตาราง 15 แสดงการทดสอบความแข็งแรงของผ้าหลังการลอกแป้ง โดยใช้เอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส ปริมาณ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแคลเซียมคลอไรด์ 0.4 กรัมต่อลิตร ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 3 กรัมต่อลิตร พีเอช 6-6.5

การลอกแป้งโดยใช้เอนไซม์		การทดสอบ ความแข็งแรง ของผ้า	ครั้งที่ทำการทดสอบความแข็งแรงของผ้า					
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
โดยวิธีแพดแบทช์ 30-37 องศา เซลเซียส	ผ้าด้านเย็น	Strength	194.771	200.621	192.915	195.978	196.664	196.189
		elongation	32.027	34.693	32.027	34.000	33.360	33.221
	ผ้าด้านพุ่ง	strength	200.780	223.631	205.853			210.088
		elongation	24.027	24.693	24.013			24.244
โดยให้มีอัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 30-37 องศา เซลเซียส	ผ้าด้านเย็น	strength	212.977	202.375	201.363	205.041	210.084	206.368
		elongation	30.667	30.027	27.333	28.000	27.333	28.672
	ผ้าด้านพุ่ง	strength	213.898	199.980	198.172			204.017
		elongation	24.000	22.680	24.027			23.569
โดยวิธีแพดแบทช์ 60-70 องศา เซลเซียส	ผ้าด้านเย็น	strength	202.407	200.129	208.204	191.863	194.424	199.405
		elongation	32.027	30.680	31.347	30.013	30.680	30.949
	ผ้าด้านพุ่ง	strength	195.697	211.501	214.942			207.380
		elongation	22.000	23.373	24.000			23.124
โดยให้มีอัตราส่วน น้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 60-70 องศา เซลเซียส	ผ้าด้านเย็น	strength	197.975	202.228	211.967	202.521	201.217	203.182
		elongation	29.360	29.360	27.360	26.680	27.360	28.024
	ผ้าด้านพุ่ง	strength	203.800	194.860	188.150			195.603
		elongation	21.340	22.680	21.340			21.786

จากตาราง 15 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า การลอกแบ่งด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสปริมาณ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีแพดแบทช์จะใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 114 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงเฉลี่ย 196.18 นิวตัน และทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 210.08 นิวตัน และเมื่อกำหนดให้มีอัตราน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 จะใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 90 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 206.36 นิวตัน และทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 204.01 นิวตัน และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียสด้วยวิธีแพดแบทช์ จะใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 7 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 199.40 นิวตัน และทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 207.38 นิวตัน และเมื่อกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 จะใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 3 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 203.18 นิวตัน และทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 195.60 นิวตัน

จากการลอกแบ่งบนผืนผ้าฝ้ายชนิดดัดที่มีปริมาณร้อยละของสารลงแบ่ง 7.34 ด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำผ้าหลังการทดสอบการลอกแบ่งออกมาทำการทดสอบความแข็งแรงของผ้าผลปรากฏว่าผ้าที่ผ่านการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้ามีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517 จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแข็งแรงของผ้าหลังจากการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักจากการทดลองและจากการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแสดงรายละเอียดได้ตามตาราง 16

ตาราง 16 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผ้าเปรียบเทียบระหว่างใช้น้ำหมักและการใช้เอนไซม์

การลอกแบ่งโดยใช้น้ำหมักที่ได้จากการเพาะเลี้ยง		ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผ้า(นิวตัน)	การลอกแบ่งโดยใช้เอนไซม์		ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผ้า(นิวตัน)
โดยวิธีแพดแบทช์ 30-37 องศาเซลเซียส	ผาด้านยืน	212.596	โดยวิธีแพดแบทช์ 30-37 องศาเซลเซียส	ผาด้านยืน	196.189
	ผาด้านพุ่ง	211.263		ผาด้านพุ่ง	210.088
โดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ที่ 30-37 องศาเซลเซียส	ผาด้านยืน	210.848	โดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ที่ 30-37 องศาเซลเซียส	ผาด้านยืน	206.368
	ผาด้านพุ่ง	208.610		ผาด้านพุ่ง	204.017
โดยวิธีแพดแบทช์ 60-70 องศาเซลเซียส	ผาด้านยืน	209.890	โดยวิธีแพดแบทช์ 60-70 องศาเซลเซียส	ผาด้านยืน	199.405
	ผาด้านพุ่ง	198.457		ผาด้านพุ่ง	207.380
โดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ที่ 60-70 องศาเซลเซียส	ผาด้านยืน	208.520	โดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ที่ 60-70 องศาเซลเซียส	ผาด้านยืน	203.182
	ผาด้านพุ่ง	209.003		ผาด้านพุ่ง	195.603

จากตาราง 16 เมื่อนำค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผ้าหลังการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักและเอนไซม์เปรียบเทียบกัน ผลที่ได้คือการลอกแบ่งด้วยวิธีแพดแบทช์ 30-37 องศาเซลเซียสด้วยน้ำหมักค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผาด้านยืน 212.596 นิวตัน และผาด้านพุ่ง 211.263 นิวตัน ส่วนการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผาด้านยืน 196.189 นิวตัน ส่วนผาด้านพุ่ง 210.088 นิวตัน และการลอกแบ่งโดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ที่ 30-37 องศาเซลเซียสค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผาด้านยืน 210.848 นิวตัน และผาด้านพุ่ง 208.610 นิวตัน ส่วนการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผาด้านยืน 206.368 นิวตัน และผาด้านพุ่ง 204.217 นิวตัน ส่วนการลอกแบ่งด้วยวิธีแพดแบทช์ 60-70 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำหมักค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผาด้านยืน 209.89 นิวตันและผาด้านพุ่ง 198.457 นิวตัน และการการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์ค่าเฉลี่ย

ความแข็งแรงของผ้าด้านยืน 199.405 นิวตัน และผ้าด้านพุ่ง 207.38 นิวตัน การลอกแบ่งโดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ ที่ 60-70 องศาเซลเซียสด้วยน้ำหมักค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผ้าด้านยืน 208.52 นิวตันและผ้าด้านพุ่ง 209.003 นิวตัน ส่วนการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของผ้าด้านยืน 203.182 นิวตัน และผ้าด้านพุ่ง 195.603 นิวตัน

ตาราง 17 ตารางเปรียบเทียบความแข็งแรงของผ้าหลังการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักและเอนไซม์

วิธีทดสอบ		ความแข็งแรงของผ้าที่ทดสอบด้วยน้ำทิ้งที่ได้จากการหมัก		ความแข็งแรงของผ้าที่ทดสอบด้วยเอนไซม์		t
		$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	
โดยวิธีแพดแบทช์ 30-37 องศาเซลเซียส	ด้านยืน	212.596	3.234	196.189	2.856	8.501 *
	ด้านพุ่ง	211.263	5.072	210.088	11.999	1.218
โดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อผ้า 10 ต่อ 1 ที่ 30-37 องศาเซลเซียส	ด้านยืน	210.848	6.518	206.368	5.006	2.583
	ด้านพุ่ง	208.61	15.721	204.017	8.605	1.576
โดยวิธีแพดแบทช์ 60-70 องศาเซลเซียส	ด้านยืน	209.89	6.342	199.405	6.493	0.156
	ด้านพุ่ง	198.457	7.532	207.380	10.263	0.443
โดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อผ้า 10 ต่อ 1 ที่ 60-70 องศาเซลเซียส	ด้านยืน	208.52	5.472	203.182	5.232	-1.213
	ด้านพุ่ง	209.003	11.183	195.603	7.851	1.698

มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เกณฑ์ 196 นิวตัน

C.V = 2.776

จากตาราง 17 แสดงว่าผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงโดยใช้การทดสอบแบบ t-test ระหว่างการลอกแบ่งโดยใช้หมักและการใช้เอนไซม์แบบที่เรียวแอลฟาอะไมเลสซึ่งผลการทดสอบโดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ที่ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพดแบทช์ และมีอัตราส่วนน้ำต่อผ้า 10 ต่อ 1 ที่ 60-70 องศา

เซลเซียส ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนการลอกแบ่งโดยวิธีแพดแบทช์ 30-37 องศาเซลเซียสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการหมักเพาะเลี้ยงแบบที่เรียจากน้ำหมักของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยนำตะกอนแบบที่เรียกที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำทิ้งมาเป็นปริมาณ 10 ลิตร ทำการเพาะเลี้ยงแบบ Continuous Fermentation มีการเติมสารอาหารให้กับแบคทีเรียทุกวันเป็นปริมาณ 1 ลิตร ด้วยน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ที่มีปริมาณซีโอดี 28,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 24,164 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 5,030 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 4,970 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้พีเอช 7 เมื่อนำน้ำหมักที่มีปริมาณซีโอดี 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 เมื่อนำมาทำการลอกแบ่งด้วยผ้าฝ้ายชนิดดัดที่มีร้อยละของสารลงแบ่งที่เป็นแบ่งธรรมชาติ 7.34 ที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพดแบทช์ โดยมีเปอร์เซ็นต์ปิคอัพ 100% ใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 24 ชั่วโมงแบ่งหมดเมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีนปรากฏว่าเป็นสีสารละลายไอโอดีน เมื่อทำการลอกแบ่งโดยกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อผ้า 10 ต่อ 1 ปรากฏว่าใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 20 ชั่วโมงแบ่งหมดเมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีนเมื่อหยดลงบนผ้าปรากฏสีสารละลายไอโอดีน เมื่อทำการลอกแบ่งที่ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพดแบทช์ โดยมีเปอร์เซ็นต์ปิคอัพ 100% ใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 20 ชั่วโมง เมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีนปรากฏว่าเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าแบ่งถูกย่อยไม่หมด เมื่อทำการลอกแบ่งโดยกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อผ้า 10 ต่อ 1 ปรากฏว่าใช้ระยะเวลาในการลอกแบ่ง 20 ชั่วโมง เมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีนเมื่อหยดลงบนผ้าปรากฏสีน้ำเงิน

เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการลอกแบ่งมาทดสอบสมบัติน้ำทิ้งผลปรากฏว่าการลอกแบ่งโดยกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อผ้า ที่ 30-37 องศาเซลเซียส เมื่อหยดสารละลายไอโอดีนไปในสารละลายที่ได้จากการลอกแบ่งปรากฏว่าเป็นสีสารละลายไอโอดีนซึ่งแสดงว่าแบ่งถูกย่อยสลายหมด และเมื่อทำการทดสอบน้ำปรากฏว่ามีปริมาณซีโอดี 32,569.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 21,169 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 6,810 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 6,160 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5.3 ซึ่งแสดงว่าน้ำหลังการลอกแบ่งเมื่อนำมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารแขวนลอยระเหยเพิ่มขึ้น แสดงว่าน้ำหลังการลอกแบ่งมีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ส่วนเมื่อนำสารละลายที่ได้จากการลอกแบ่งที่ 60-70 องศาเซลเซียส โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อผ้า 10 ต่อ 1 เมื่อหยดสารละลายไอโอดีนไปในสารละลายที่ได้จากการลอกแบ่งปรากฏว่าเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งแสดงว่าแบ่งถูกย่อยสลายไม่หมด และเมื่อทำการทดสอบน้ำปรากฏว่ามีปริมาณซีโอดี 38,844 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 26,843 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 8,240 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 7,390 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6.8 แสดงว่าน้ำหลังการลอกแบ่งเมื่อนำมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารแขวนลอยระเหยเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าน้ำที่ได้หลังการลอกแบ่งมีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นเนื่องจากในน้ำมีปริมาณแบ่งปะปนอยู่ด้วย

เมื่อนำผ้าฝ้ายชิตติง ซึ่งเป็นผ้าที่ทอแบบลายขัด มีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 เส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งที่ใช้ในการทอมีขนาด 32 เทกซ์ และมีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง 42 เส้นต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจากการทดสอบแรงดึงขาดโดยทำการทดสอบทางด้านด้ายยืน 5 ครั้ง พบว่าแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 230.395 นิวตัน และเมื่อทำการทดสอบทางด้านด้ายพุ่ง 3 ครั้ง พบว่าแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านพุ่งมีค่า 228.278 นิวตัน ซึ่งพบว่าผ้าที่ใช้ในการทดลองมีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517 ซึ่งต้องทนแรงดึงไม่น้อยกว่า 196 นิวตัน (20 กิโลกรัมแรง)

เมื่อนำน้ำหมักที่ได้มีปริมาณซีโอดี 26.991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอย 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารแขวนลอยระเหย 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 เมื่อนำมาทำการลอกแป้งด้วยผ้าฝ้ายชิตติงที่มีร้อยละของสารลงแป้งที่เป็นแป้งธรรมชาติ 7.34 ที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพดแบทช์ โดยมีเปอร์เซ็นต์ปีค็อพ 100% ใช้ระยะเวลาในการลอกแป้ง 24 ชั่วโมงแป้งหมด เมื่อนำผ้าหลังจากที่ลอกแป้งแล้วมาทดสอบแรงดึงขาดผลปรากฏว่ามีแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 212.59 นิวตันและผ้าด้านพุ่ง 211.26 นิวตัน และเมื่อกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลาในการลอกแป้ง 20 ชั่วโมงแป้งหมด เมื่อนำมาทดสอบแรงดึงขาดพบว่ามีแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 210.83 นิวตันและผ้าด้านพุ่ง 208.61 นิวตัน และการลอกแป้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีแพดแบทช์ โดยมีเปอร์เซ็นต์ปีค็อพ 100% ใช้ระยะเวลาในการลอกแป้ง 20 ชั่วโมง แป้งถูกย่อยได้บางส่วน เมื่อนำผ้าหลังจากที่ลอกแป้งแล้วมาทดสอบแรงดึงขาดผลปรากฏว่ามีแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 209.89 นิวตันและผ้าด้านพุ่ง 198.45 นิวตัน และเมื่อกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อผ้า 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลาในการลอกแป้ง 20 ชั่วโมง แป้งถูกย่อยได้บางส่วน เมื่อนำมาทดสอบแรงดึงขาดพบว่ามีแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 208.52 นิวตันและผ้าด้านพุ่ง 209.00 นิวตัน ซึ่งผลการทดสอบปรากฏว่าสอดคล้องกับสมมุติฐานซึ่งสามารถลอกแป้งออกจากผืนผ้าได้และมีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517

การลอกแป้งด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสปริมาณ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วยวิธีแพดแบทช์ ที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส จะใช้ระยะเวลาในการลอกแป้ง 114 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้ามีแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 196.18 นิวตัน และแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านพุ่ง 210.08 นิวตัน และเมื่อกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้ามีแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 206.36 นิวตัน และแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านพุ่ง 204.01 นิวตัน และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียสด้วยวิธีแพดแบทช์ จะใช้ระยะเวลาในการลอกแป้ง 3 ชั่วโมง เมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้ามีแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 199.40 นิวตัน และมีแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านพุ่งได้ค่าเฉลี่ย 207.38 นิวตัน และเมื่อกำหนดให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยผ้าด้านยืน 203.18 นิวตัน และผ้าด้านพุ่ง 195.60 นิวตัน การลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยการใช้เอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาลอกแป้งด้วยผ้าฝ้ายชิตติงที่มีปริมาณร้อยละของสารลงแป้ง 7.34 เมื่อนำมาทดสอบการลอกแป้งแล้วทำการทดสอบความแข็งแรงของผ้าผลปรากฏว่าผ้าที่ผ่านการลอกแป้งด้วยน้ำหมักเมื่อนำมาทดสอบความแข็งแรงของผ้ามีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517 และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยของผ้าหลังการลอกแป้งด้วยน้ำหมักและเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสด้วยการทดสอบ t-test พบว่าผลการทดสอบด้วยวิธีต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนการลอกแป้งโดยวิธีแพดแบทช์ 30-37 องศาเซลเซียสมิ

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ระหว่างการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักและเอนไซม์แบคทีเรีย
แอลฟาอะไมเลส

บทที่ 5

สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การทดลองการลอกแป้งออกจากผืนผ้า จากการหมักน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ ผู้ทำการทดลองได้ดำเนินการตามหัวข้อดังนี้ คือ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ประชากรที่ศึกษา

ได้แก่ น้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ที่นำมาจาก บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่ง จำกัด

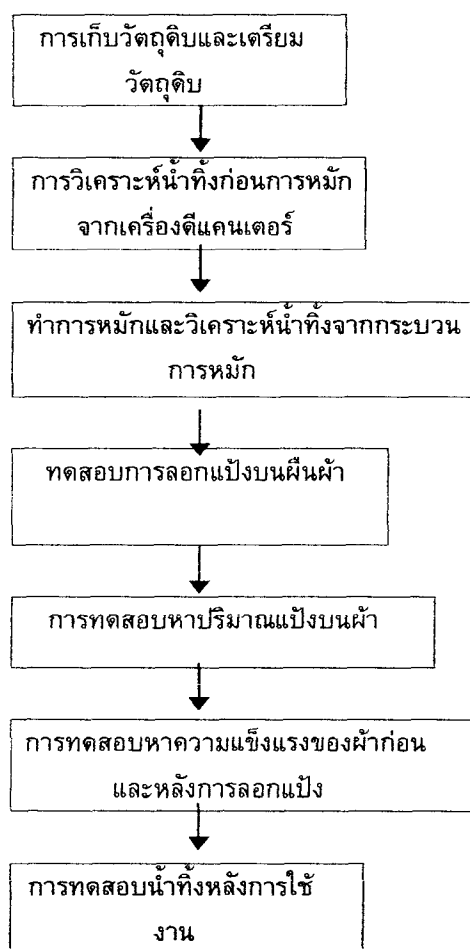
ตัวแปรที่จะศึกษา

ในการทดลองในครั้งนี้ ผู้ทดลองได้กำหนดตัวแปรที่จะทำการศึกษาไว้ดังนี้

1. สมบัติของน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังก่อนทำการหมัก ทำการวิเคราะห์หาสมบัติด้านเคมี วิเคราะห์ในด้าน ปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารแขวนลอย ปริมาณสารแขวนลอยระเหย
2. สมบัติของน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังระหว่างทำการหมัก วิเคราะห์หาสมบัติในด้าน ปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรีย
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก
4. การทดสอบการลอกแป้งบนผืนผ้า
5. อุณหภูมิที่ทดสอบ
6. ระยะเวลาที่ทดสอบการลอกแป้ง
7. การทดสอบคุณสมบัติของผ้า
8. สมบัติของน้ำทิ้งหลังการลอกแป้ง วิเคราะห์หาสมบัติในด้าน ปริมาณซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรีย

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้ศึกษาได้กำหนดขั้นตอนในการทดลอง โดยเรียงขั้นตอนตามลำดับดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 19 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน

สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดสอบน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์และการทดสอบน้ำทิ้งระหว่างการหมัก

ในการทดลองการหมักน้ำทิ้งเป็นการหมักแบบไร้อากาศและเป็นการหมักแบบต่อเนื่อง โดยมีการเติมสารอาหารให้กับแบคทีเรียด้วยน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ปริมาณ 1 ลิตรทุกวัน ที่มีค่าซีโอดีอยู่ที่ 28,000

มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาให้เป็นอาหารให้กับแบคทีเรียปริมาณ 10 ลิตร ที่นำมาจากบ่อน้ำบาดาลทั้ง บริษัท แป้งมันบ้านโป่งจำกัด มีแบคทีเรียเริ่มต้นในการทดลองที่ปริมาณความเข้มข้น 2,040 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหมักน้ำทิ้งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ที่พีเอชเท่ากับ 7 น้ำทิ้งที่หมักครบ 7 วัน มีปริมาณแบคทีเรียจากการทดสอบด้วยเอมแอลวีเอสเอส 3,190 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำหมักครบ 14 วันมีปริมาณแบคทีเรียจากการทดสอบด้วยเอมแอลวีเอสเอส 4,480 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำหมักครบ 21 วันมีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจากการทดสอบด้วยเอมแอลวีเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลจากการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียปรากฏว่ามีแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2. การนำน้ำหมักที่เพาะเลี้ยงไว้มาใช้ในการลอกแบ่งจากผืนผ้าและการทดสอบน้ำหลังการลอกแบ่งเมื่อนำน้ำหมักครบ 7 วันมาทดสอบพบว่ามีค่าซีไอดี 22,509.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 13,226 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียเอสเอส 3,220 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียเอสเอส 3,190 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มาใช้ในการลอกแบ่งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่ปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34

นำมอลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 61 ชั่วโมง แบคทีเรียย่อยสลายแบ่งหมด แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 43 ชั่วโมงแบ่งจะย่อยสลายจนหมด ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 43 ชั่วโมง แบ่งถูกย่อยสลายได้บางส่วน แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 43 ชั่วโมงแบ่งถูกย่อยสลายได้บางส่วน และสารละลายน้ำทิ้งหลังการลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

เมื่อนำน้ำหมักครบ 14 วันมาทดสอบพบว่ามีค่าซีไอดี 22,908 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,363 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียเอสเอส 4,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียเอสเอส 4,480 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มาใช้ในการลอกแบ่งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่ปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34 นำมอลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 35 ชั่วโมง แบคทีเรียย่อยสลายแบ่งหมด แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 30 ชั่วโมงแบ่งจะย่อยสลายจนหมด ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 30 ชั่วโมง แบ่งถูกย่อยสลายได้บางส่วน แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 30 ชั่วโมงแบ่งถูกย่อยสลายได้บางส่วน และสารละลายน้ำทิ้งหลังการลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

เมื่อนำน้ำหมักครบ 21 วันมาทดสอบพบว่ามีค่าซีไอดี 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียเอสเอส 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มาใช้ในการลอกแบ่งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่ปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34 นำมอลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง แบคทีเรียย่อยสลายแบ่งหมด แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมงแบ่งจะย่อยสลายจนหมด ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง แบ่งถูกย่อยสลายได้บางส่วน แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมงแบ่งถูกย่อยสลายได้บางส่วน และสารละลายน้ำทิ้งหลังการลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาทดสอบปรากฏว่ามีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

3. การทดสอบการลอกแบ่งด้วยแบคทีเรียเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

จากการทดลองการลอกแบ่งโดยใช้เอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลสปริมาณ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมน้ำแคลเซียมคลอไรด์ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร โซเดียมคลอไรด์ 3 กรัมต่อลิตร ปรับพีเอช 6-6.5 ทำการลอกแบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 114 ชั่วโมงแบ่งถูกย่อยสลายจนหมด โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลา 90 ชั่วโมงแบ่งถูกย่อยสลายจนหมด ส่วนการลอกแบ่งที่ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 7 ชั่วโมงแบ่งถูกย่อยสลายจนหมด แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลา 2-3 ชั่วโมงแบ่งถูกย่อยสลายจนหมด

4. การทดสอบความแข็งแรงของผ้าก่อนและหลังการทดสอบการลอกแบ่งออกจากผืนผ้า

การทดสอบความแข็งแรงของผ้าก่อนการลอกแบ่ง ผ้าฝ้ายชนิดดิงซึ่งมีปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34 ซึ่งทอแบบลายขัด มีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 มีขนาด 32 เท็กซ์ มีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง 42 เส้นต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 65-2517 ผ้าฝ้ายชนิดดิงชนิดไม่ฟอก ซึ่งทอแบบลายขัด มีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 มีขนาด 25-60 เท็กซ์ มีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งไม่น้อยกว่า 32 เส้นต่อตารางเซนติเมตร ต้องทนแรงดึงไม่น้อยกว่า 196 นิวตัน (20 กิโลกรัมแรง) ซึ่งจากการทดสอบแรงดึงขาดของผ้าก่อนการลอกแบ่ง พบว่าแรงดึงขาดเฉลี่ยที่ทำให้ผ้าด้านยืนขาดมีค่า 230.39 นิวตัน และแรงดึงเฉลี่ยที่ทำให้ผ้าด้านพุ่งขาดมีค่า 228.27 นิวตัน ซึ่งพบว่าผ้าฝ้ายชนิดดิงที่ผู้วิจัยใช้ในการทดลองมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ยตามมาตรฐาน มอก. 65-2517

เมื่อนำผ้าผ่านการลอกแบ่งด้วยน้ำที่ได้จากการหมักโดยมีสมบัติน้ำคือ มีปริมาณซีไอดี 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมแอลเอสเอส 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณแอมแอลวีเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 เมื่อนำมาลอกแบ่งจากผืนผ้าที่ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมงแบ่งหมด เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดพบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 212.59 นิวตัน และผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 211.26 นิวตัน โดยวิธีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมงแบ่งถูกย่อยสลายหมด เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดทางด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 210.84 นิวตัน และผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 208.61 นิวตัน เมื่อนำมาลอกแบ่งจากผืนผ้าที่ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดพบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 209.89 นิวตัน และผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 198.45 นิวตัน โดยวิธีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดทางด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 208.52 นิวตัน และผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 209.00 นิวตัน ผลจากการทดสอบแรงดึงขาดจากผ้าที่ผ่านการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517

ส่วนผ้าที่ผ่านการลอกแบ่งด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำมาลอกแบ่งจากผืนผ้าที่ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 114 ชั่วโมงแบ่งหมด เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงพบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 196.18 นิวตัน และผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 210.08 นิวตัน โดยวิธีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลา 90 ชั่วโมงแบ่งหมด เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดพบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 206.36 นิวตัน และผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 204.01 นิวตัน และเมื่อนำมาลอกแบ่งจากผืนผ้าที่ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 7 ชั่วโมงแบ่งหมด เมื่อนำผ้ามาทดสอบ

แรงดึงขาดพบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 199.40 นิวตัน และผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 207.38 นิวตัน โดยวิธีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 ใช้ระยะเวลา 2-3 ชั่วโมงเบ่งหมด เมื่อนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาดพบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 203.18 นิวตัน และผ้าด้านพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 195.60 นิวตัน ซึ่งจากผลการทดสอบแรงดึงขาดจากผ้าที่ผ่านการลอกเบ่งด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส ผลจากการทดสอบแรงดึงขาดจากผ้าที่ผ่านการลอกเบ่งด้วยเอนไซม์แบคทีเรียแอลฟาอะไมเลส มีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก. 65-2517

อภิปรายผล

1.จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ผู้วิจัยได้ทำการหมักน้ำทิ้งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ที่พีเอชเท่ากับ 7 โดยมีแบคทีเรียเริ่มต้น 2,040 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งที่หมักครบ 7 วันมี ปริมาณแบคทีเรียจากการทดสอบด้วยเอนแอลเอสเอส 3,190 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งที่หมักครบ 14 วันมี ปริมาณแบคทีเรียจากการทดสอบด้วยเอนแอลเอสเอส 4,480 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งที่หมักครบ 21 วันมี ปริมาณแบคทีเรียจากการทดสอบด้วยเอนแอลเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลจากการหมักปรากฏว่าแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับลัตถภาพ ศรีมหาสงคราม. (2525 : 38) กล่าวว่าน้ำทิ้งจากโรงงานที่เกี่ยวข้องกับแป้ง เช่น ข้าวโพด แป้งมันสำปะหลังพบแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากสามารถใช้แป้งเป็นแหล่งคาร์บอน และจากการศึกษาปริมาณแป้งมันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์บอน ผลปรากฏว่าแป้งมันสำปะหลัง 7 เปอร์เซ็นต์จะให้การเจริญของเชื้อและผลิตเอนไซม์สูงสุดในเวลา 60 ชั่วโมง สอดคล้องกับธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2525 : 258) กล่าวถึงอุณหภูมิในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระนั้นแบคทีเรียสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่างกัน 2 ช่วงคือ ช่วงเมโซฟิลิก (mesophilic range) คือช่วงอุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และช่วงเทอร์โมฟิลิก (thermophilic range) คือช่วงอุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่าช่วงดังกล่าว แบคทีเรียทำงานได้ไม่ดีประสิทธิภาพของระบบจะลดต่ำลง

2.การลอกเบ่งออกจากผืนผ้าด้วยการใช้เอนไซม์ที่ทำการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้ผ้าหมักที่มีปริมาณซีไอดี 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเอนแอลเอสเอส 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมแอลวีเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 มาใช้ในการลอกเบ่งออกจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่มีปริมาณสารลงแป้งร้อยละ 7.34 นำมาลอกเบ่งที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แบคทีเรียจะย่อยสลายแป้งจนหมด แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง แบคทีเรียจะย่อยสลายแป้งจนหมด และการทดสอบการลอกเบ่งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลาประมาณ 20 ชั่วโมง แบคทีเรียจะย่อยสลายแป้งได้บางส่วน แบบมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง แบคทีเรียจะย่อยสลายแป้งได้บางส่วน จากการทดสอบการลอกเบ่งที่ 30-37 องศาเซลเซียสด้วยน้ำหมักที่มีปริมาณแบคทีเรียน้อยจะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายแป้งบนผ้านี้นานกว่าน้ำหมักที่มีปริมาณมากจะใช้เวลาในการลอกเบ่งน้อยลง และที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียสไม่สามารถลอกเบ่งออกจากผืนผ้า

ได้หมด สามารถลอกแบ่งออกจากผืนผ้าได้บางส่วน เนื่องจากปริมาณเอนไซม์อาจไม่เพียงพอที่จะใช้ในการย่อยสลายแบ่งได้หมด สอดคล้องกับสุชาติ อินทรโชติ. (มปป : 2) ได้กล่าวว่าปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการลอกแบ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแบ่งบนผืนผ้าและวิธีการที่ใช้ และสอดคล้องกับเกษม พิพัฒน์ปัญญาภูล (2540 : 87) ได้กล่าวถึงการลอกแบ่งบนผืนผ้าด้วยวิธี cold pad batch โดยใช้เอนไซม์อะไมเลส (A.M.E.) 1-5 กรัมต่อลิตร ทำการลอกแบ่งที่อุณหภูมิห้อง มีเปอร์เซ็นต์ pick up 100% จะใช้เวลาในการหมักนาน 6-12 ชั่วโมง และสอดคล้องกับกาญจนา ธีระกุล. (2538 : 110) ได้กล่าวถึงอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของจุลินทรีย์ อุณหภูมิภายนอกมีผลโดยตรงต่อการทำงานของเอนไซม์ในระบบเมตาบอลิซึมซึ่งหมายถึงการมีผลต่อการเจริญกลุ่มจุลินทรีย์ Mesophile มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญมากที่สุดที่ 30-37 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 5-15 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์จะเจริญช้าลงและเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 34-45 องศาเซลเซียสทำให้เกิดการ denature ของเอนไซม์ภายในเซลล์เป็นผลทำให้จุลินทรีย์เริ่มตาย

3.เมื่อนำน้ำหมักครบ 21 วันมาทดสอบพบว่ามีความชื้น 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมแอลเอสเอส 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมแอลวีเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มาใช้ในการลอกแบ่งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่ปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34 ซึ่งทอแบบลายขัด โดยมีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 ขนาดเส้นด้าย 32 เทกซ์ มีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง 42 เส้นต่อตารางเซนติเมตร จากการทดลองลอกแบ่งออกจากผืนผ้าที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมงแบ่งหมด และนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาด พบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 212.59 นิวตัน ผ้าด้านพุ่งมีแรงดึงขาดเฉลี่ย 211.26 นิวตัน โดยวิธีแช่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมงแบ่งหมด และนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาด พบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 210.84 นิวตัน ผ้าด้านพุ่งมีแรงดึงขาดเฉลี่ย 208.61 นิวตัน ผลจากการทดสอบแรงดึงขาดของผืนผ้าตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 121-2526 จากผ้าที่ผ่านการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก.65-2517

4.เมื่อนำน้ำหมักครบ 21 วันมาทดสอบพบว่ามีความชื้น 26,991 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด 18,089 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมแอลเอสเอส 6,390 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมแอลวีเอสเอส 5,760 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มาใช้ในการลอกแบ่งจากผืนผ้าฝ้ายชนิดดิงที่ปริมาณสารลงแบ่งร้อยละ 7.34 ซึ่งทอแบบลายขัด โดยมีจำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่ง 1 ต่อ 1 ขนาดเส้นด้าย 32 เทกซ์ มีจำนวนเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง 42 เส้นต่อตารางเซนติเมตร จากการทดลองลอกแบ่งออกจากผืนผ้าที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส โดยวิธีจุ่มอัดใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง และนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาด พบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 209.89 นิวตัน ผ้าด้านพุ่งมีแรงดึงขาดเฉลี่ย 198.54 นิวตัน โดยวิธีแช่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ 10 ต่อ 1 โดยวิธีแช่ใช้ระยะเวลา 20 ชั่วโมง และนำผ้ามาทดสอบแรงดึงขาด พบว่าผ้าด้านยืนมีค่าแรงดึงขาดเฉลี่ย 208.52 นิวตัน ผ้าด้านพุ่งมีแรงดึงขาดเฉลี่ย 209.00 นิวตัน ผลจากการทดสอบแรงดึงขาดของผืนผ้าตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 121-2526 จากผ้าที่ผ่านการลอกแบ่งด้วยน้ำหมักที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มีค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน มอก.65-2517

จากการนำน้ำหมักมาใช้ในการลอกแป้งไม่มีผลทำให้ความแข็งแรงของผ้าลดลง เป็นสาเหตุให้ผ้าเปียกในการทดลองนี้สามารถที่จะนำไปลอกแป้งออกจากผืนผ้าในขั้นตอนการเตรียมผ้าได้จริงแต่มีข้อจำกัดคือสามารถทำการลอกแป้งแบบแบทช์ ที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจนำไปใช้ในอุตสาหกรรมโดยนำไปใช้ร่วมกับเครื่องย้อม เช่น เครื่องจิกเกอร์ เครื่องวินช์ เครื่องแพด หรือการแพดแบทช์ หรือการแพดโรว ส่วนการลอกแป้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียสเมื่อทำการทดลองแป้งถูกย่อยสลายไม่หมด จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการทำงานที่อุณหภูมินี้ได้ ซึ่งในการวิจัยนี้ผู้วิจัยเห็นว่าสามารถที่จะนำน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมาใช้ทดแทนเอนไซม์ที่นำมาใช้ได้และยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีและน้ำ ในขั้นตอนการเตรียมผ้า

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. สนับสนุนให้โรงงานสิ่งทอ และหน่วยงานอื่นเห็นถึงความสำคัญในการนำน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนเอนไซม์และยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิต และยังเป็นการลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม
2. จัดให้มีแหล่งค้นคว้าข้อมูลทางวิชาการขึ้นในหน่วยงาน และจัดให้มีการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มพูนความรู้เพื่อประโยชน์ในการนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์
3. ศึกษาความแตกต่างระยะเวลาในการลอกแป้งต่อปริมาณแบคทีเรียในน้ำทิ้งว่าจะมีผลอย่างไรต่อความแข็งแรงของผ้า
4. ในการทดลองการลอกแป้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ด้วยน้ำหมักจากน้ำทิ้งจากเครื่องตีแคนเตอร์ในการทดลองซึ่งสามารถย่อยแป้งได้เพียงบางส่วน ซึ่งน้ำหมักที่ทำการเพาะเลี้ยงอาจมีปริมาณเอนไซม์ไม่เพียงพอในการย่อยสลายแป้งบนผ้า ซึ่งในการทดลองอาจทำการเพาะเลี้ยงให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มมากกว่าในการทดลองในงานวิจัยนี้ และหาสภาวะที่เหมาะสมมากกว่า

ข้อเสนอแนะสำหรับทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาผลการนำน้ำทิ้งที่หมักจากน้ำทิ้งเครื่องตีแคนเตอร์ที่ใช้ในการลอกแป้งจากผ้าแล้ว เมื่อนำกลับมาใช้อีกจะมีผลกระทบใดบ้าง
2. ศึกษาผลการลอกแป้งเมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรม โดยนำไปใช้ในขบวนการผลิตว่ามีผลกระทบใดบ้าง โดยนำไปใช้กับเครื่องย้อม เช่น เครื่องจิกเกอร์ เครื่องวินช์ เครื่องแพด ว่าเมื่อนำไปใช้แล้วเกิดปัญหาใดบ้าง และเมื่อนำผ้าที่ผ่านการลอกแป้งในขั้นตอนการเตรียมผ้าเมื่อนำผ้าไปย้อมจะมีผลกระทบใดบ้าง

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กาญจนา ธีระกุล. (2538). *จุลชีววิทยาการปฏิบัติการ*. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกษม พัทธพันธ์ปัญญานุกูล. (2540). *การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- กฤตติกา มหารณ. (2523). *การคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการย้อมย้อม*. ปรินซ์นิพนธ์ วท.ม.(จุลชีววิทยา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรประภา เครือวัลย์. (2543, มกราคม-กุมภาพันธ์). “การใช้จุลินทรีย์สำหรับการฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อมโดยชีววิธี,” วารสารวิทยาศาสตร์. ปีที่54(ฉบับที่1) : 7-9
- กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2534). *การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ*. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
- ขจีนาฏ โพธิ์เวชกุลและคณะ. (2542). *การคัดเลือกจุลินทรีย์เพื่อผลิตเอนไซม์อะไมเลส*. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ฉัตร วัฒนดิเรก. (มปป). *การลงย้อม*. กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
- จำรัส สุโขชนังและเพ็ญศรี ทองนพคุณ. (2543). *คู่มือวิเคราะห์ความบกพร่องของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ*. ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.
- ไชยยงค์ พึ่งเกียรติไพโรจน์. (2541). *เอกสารทางวิชาการเรื่อง การทดสอบหาความแข็งแรงของผ้า และแฟคเตอร์ที่เกี่ยวข้อง*. งานวางแผนและจัดบริการ กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ.
- ธิดา เกิดกำไร. (2524). *ศึกษาการกำจัดน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีฟิกส์เบดแอเรนซ์* วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2525). *คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง*. โดยคณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้งสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นงเยาว์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. (2541). *จุลชีววิทยาทั่วไป*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อัดสำเนา.
- บัญญัติ สุขศรีงาม. (2539). *จุลชีววิทยาทั่วไป*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. อัดสำเนา.
- บุษบา ยงสมิทธิ์. (2542). *จุลชีววิทยาการหมักวิตามินและสารสี*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อัดสำเนา.
- ปาริชาติ วัฒนา ประภา เพื่องฟูพงศ์ และ มัลลย์ เมืองน้อย. (2519). *การผลิต Starch syrup จากแป้งมันสำปะหลังโดยการไฮโดรไลส์ด้วยเอนไซม์ กรด และเอนไซม์กับกรดร่วมกัน*. รายงานผลการวิจัยประเภทอาจารย์และศาสตราจารย์ ประจำปี 2519. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปราณี อานเปื้อง. (2543). *เอนไซม์ทางอาหาร*. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พิชัย พงษ์วิรัตน์. (2540, กรกฎาคม-กันยายน). “อุตสาหกรรมสิ่งทอ,” จุลสารสิ่งทอ. ปีที่6(ฉบับที่21) : 8-

- มานะ อัครวาท. (2526). การประยุกต์คอนแทกสเตปป์ไลเซชันสำหรับน้ำเสียแ่งมันซึ่งผ่านการบำบัดแบบแอนแอโรบิค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร.
- มรกต ดันติเจริญและคณะ. (2534ก). การบำบัดและใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งโรงงานแ่งมันสำหรับปลา. สถาบันพัฒนาและฝึกอบรม หน่วยปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาชีวเคมีและโรงงานต้นแบบ ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.
- (2534ข). การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียโรงงาน. สรุปโครงการนิทรรศการเทคโนโลยีครั้งที่ 6 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- มณฑา โกเฮง. (2537). สิ่งทอเบื้องต้น. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- ลิลลี่ โกศลยานนท์. (2541). คู่มือวิชาการสิ่งทอ. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ลัดดาพร ศรีมหาสงคราม. (2525). การผลิตเอนไซม์อะไมเลสจากแบคทีเรียเพื่อย่อยแ่งมันสำหรับปลา. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สายสมร ล้ายอง. (2522). ปฏิกริยาชีวเคมีพื้นฐานในการทดสอบแบคทีเรีย.
- สุชาติ อินทรโชติ. (มปป). ปฏิบัติการจัดสิ่งสกปรกจากจานจากฝ่ายคืบ. กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ในพิศมัย ภูริสินสิทธิ์ และศักรินทร์ ภูมิรัตน์ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ประโยชน์ และเพื่อกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานแ่งมันสำหรับปลาในระดับห้องปฏิบัติการ ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ กรุงเทพฯ.
- สุพล สายพานิช. (2529). การบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานแ่งมันสำหรับปลา โดยกระบวนการเร่งคอนแทกสเตปป์ไลเซชันแบบแอนแอโรบิค ในพิศมัย ภูริสินสิทธิ์ และศักรินทร์ ภูมิรัตน์. การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อใช้ประโยชน์และเพื่อกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานแ่งมันสำหรับปลาในระดับห้องปฏิบัติการ ศูนย์พันธุ์วิศวกรรม และเทคโนโลยีแห่งชาติ กรุงเทพฯ.
- สุพรรณิ ขาญประเสริฐ. (2536). ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการหมักกากมะเขือเทศแบบบ่ออากาศสองชั้นตอน. . กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- สุเมธ ขวเดช. (2530). รายงานวิจัยระบบย่อยสลายไร้ออกซิเจนอิสระแบบสองชั้นตอน, กรกฎาคม 2530 . สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- สุเมธ ขวเดช และ เกษม ปิงชลิตโสภี. (2529). โครงการ วิจัยพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์และเพื่อกำจัดน้ำเสียจากโรงงานแ่งมันสำหรับปลา เรื่อง การผลิตกรดอินทรีย์จำน้ำทิ้งจากโรงงานแ่งมันสำหรับปลา. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- สุทธิ ภมรมิตและวินัย กลิ่นหอม. (2534). การใช้ผลิตภัณฑ์พลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตรเพื่อผลิตเอนไซม์กลูโคอะไมเลส. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตมหาสารคาม.
- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. (2540). คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมแ่งมันสำหรับปลาแ่งมันดัดแปร และแ่งมันแปรรูป. กรุงเทพฯ : กระทรวงฯ.

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2526). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบสิ่งทอ มอก.121 เล่ม 16-2526*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา. (2540). *กระบวนการเตรียมวัสดุสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์*. กรุงเทพฯ : สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา.
- สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. (2540). *เอกสารประกอบโครงการความร่วมมือและการถ่ายทอดเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง การวิเคราะห์ความหนืด* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. (2540). *เอกสารประกอบโครงการความร่วมมือและการถ่ายทอดเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง การวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดแป้ง* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร. (2540). *เอกสารประกอบโครงการความร่วมมือและการถ่ายทอดเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคติน* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2517). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผ้าฝ้ายขีดตึง มอก. 65-2517 เล่ม 91 ตอนที่38* กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- สภาวิจัยแห่งชาติ. (มปป). *รายงานการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง อุตสาหกรรมไร้สารพิษความจริงหรือความฝัน*. กรุงเทพฯ : สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช สภาวิจัยฯ.
- สุนัย โชตินิรนาท. (2539). *การผลิตน้ำตาลรีดิวซ์จากกากมันสำปะหลังโดยใช้เอนไซม์และอัลตราฟิลเทรชัน*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สมใจ ศิริโชค. (2537). *เทคโนโลยีการหมัก*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมีชีวภาพ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- วิบูลย์ นุชประมูล. (2535). *การหมักกากมะเขือเทศแบบอับอากาศสองขั้นตอน*. กรุงเทพฯ : ปริญญา นิพนธ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- วิลาวัณย์ เจริญจิระตระกูล. (2539). *จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญด้านอาหาร*. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. (2542). *วิทยาศาสตร์เส้นใย*. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศิริศักดิ์ สาระโสภณ. (2542). *การใช้เอนไซม์ในทางอุตสาหกรรม*. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- อาภรณ์ จันทรสมวงศ์. (2541, พฤษภาคม-สิงหาคม). “เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อสิ่งแวดล้อม ความสำเร็จ ความคาดหวัง และปัญหาที่ท้าทาย,” *นิเวศวิทยา*. ปีที่25(ฉบับที่2) : 50
- อรพิน ภูมิภมร. (2523). *ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหมัก*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- APHA,AWWA,WPCF. (1985). *Standard Method for The Examination of Water and*

- Clariant. (2001). *Batosol TK.TH liquid a desizing agent based on bacterial alpha amylases for the cold or hot enzymatic desizing.*
- Clifford Preston. (1986). *The Dyeing of Cellulosic Fibres.* The Eastern Press. London.
- Donald, L.W. (1987). *Bioenvironmental Systems* Boca Raton. Florida
- Microbial amylases. *Advances in Applied Microbiology.*
- Ingle, M. B. and R. J. Erickson. (1987). *Bacterial α -amylase* . *Advances in Applied Microbiology.*
- Lane, A.G. (1984). "*Laboratory Scale Anaerobic Digestion of fruit and vegetable solid waste*, "Biomass.
- Larges, A. N. and C. A. Tannenbaum. (1978). *Production of glucose from tapioca and farinka demandioca.* J. of Food Science.
- Lillian Hoagland Meyer. (1970). *Food Chemistry*, Reinhold, New york.
- Meyer. L.H. (1976). *Food Chemistry*, Reinhold, New york.
- Stanbury. P.F. and A. Whitaker. (1984). *Principles of Fermentation Technology.* Oxford : Pergamon Press.
- TATA. (1985). *Energy Research Institute Biogas Technology* TATA Energy Documentation and Information Centre, India

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
จดหมายขอความอนุเคราะห์



ที่ ทม 1012/ 2564

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๕ เมษายน 2545

เรื่อง ขอเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้จัดการ บริษัท อุตสาหกรรมแป้งมันบ้านโป่ง จำกัด

เนื่องด้วย นางสาวพรหมนธ์ แซ่จ้ง นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “ศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์บรรชา รัตนชัย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขออนุญาตเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์ และเก็บตะกอนแบคทีเรียจากระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อศึกษาและนำน้ำทิ้งมาใช้เป็นวัตถุดิบในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยนำไปใช้ในขั้นตอนการลอกแป้งออกจากผืนผ้า

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวพรหมนธ์ แซ่จ้ง ได้เก็บข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์อภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5726, 5644

โทรสาร. 02-258-4119

ที่ ทม 1012/๒๙/5



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

/4 มีนาคม 2546

เรื่อง ขอให้ห้องปฏิบัติการเคมีเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้จัดการห้องปฏิบัติการเคมี บริษัท รับตรวจสินค้าโพ้นทะเล จำกัด

เนื่องด้วย นางสาวพรหมณต์ แซ่จ้ง นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง "ศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง" โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร อาจารย์บรรชา รัตนวัย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย โดยขอให้ห้องปฏิบัติการเคมี เพื่อทดสอบการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ในระหว่างเดือนมีนาคม 2546

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวพรหมณต์ แซ่จ้ง ได้ใช้ห้องปฏิบัติการเคมีดังกล่าว ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5618, 5731

ที่ ทม 1012/ ๒๕๖๖



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๖ เมษายน ๒๕๖๖

เรื่อง ขอใช้สถานที่เพื่อการทดลองวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ

เนื่องด้วย นางสาวพรหมนธ์ แซ่จ้ง นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์เรื่อง “ศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง” โดยมี อาจารย์ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และ อาจารย์บรรชา รัตนวัย เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขอใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบ ตรวจสอบสิ่งทอทางกายภาพ และขอใช้เครื่องทดสอบแรงดึงชนิดอัตราการยืดตัวคงที่ เพื่อทำการทดสอบ คุณสมบัติของผ้า หลังจากที่ได้ทดสอบการลอกแป้งของผ้าไปแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวพรหมนธ์ แซ่จ้ง ได้ใช้ห้องปฏิบัติการดังกล่าว ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์อภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5726, 5644

โทรสาร. 02-258-4119

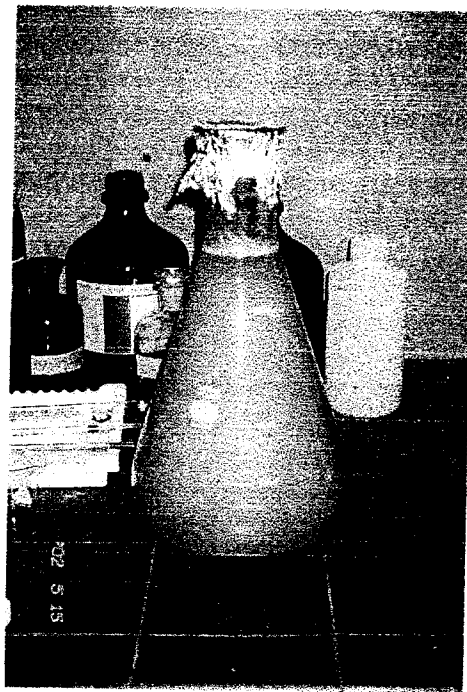
ภาคผนวก ข
ภาพแสดงขั้นตอนในการทดสอบและภาพประกอบเกี่ยวกับอุปกรณ์



ภาพประกอบ 20 แสดงบ่อน้ำขังของโรงงานบริษัทอุตสาหกรรมแป้งมัน
บ้านโป่ง จำกัด



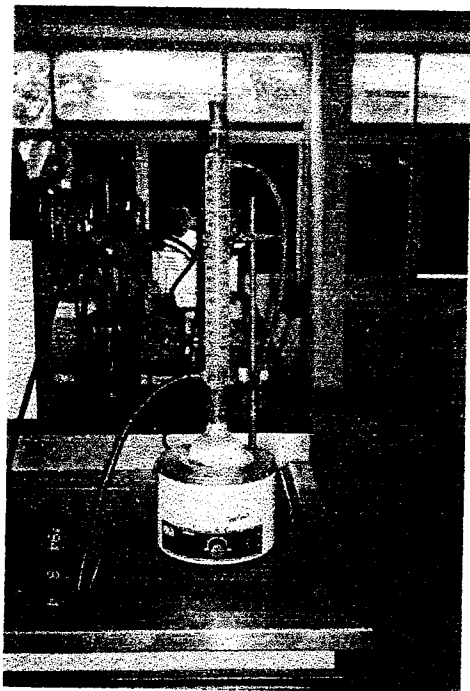
ภาพประกอบ 21 แสดงบ่อน้ำขังเสีย บริเวณบ่อที่ 2 ซึ่งมีแบคทีเรีย
เจริญอยู่มาก เนื่องจากเกิดฟองก๊าซผุดขึ้นมากมาย



ภาพประกอบ 22 แสดงการใช้อุปกรณ์ในการเก็บน้ำตัวอย่างในบ่อน้ำบาดาลน้ำเสีย
ภาพประกอบ 23 แสดงการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในขวด

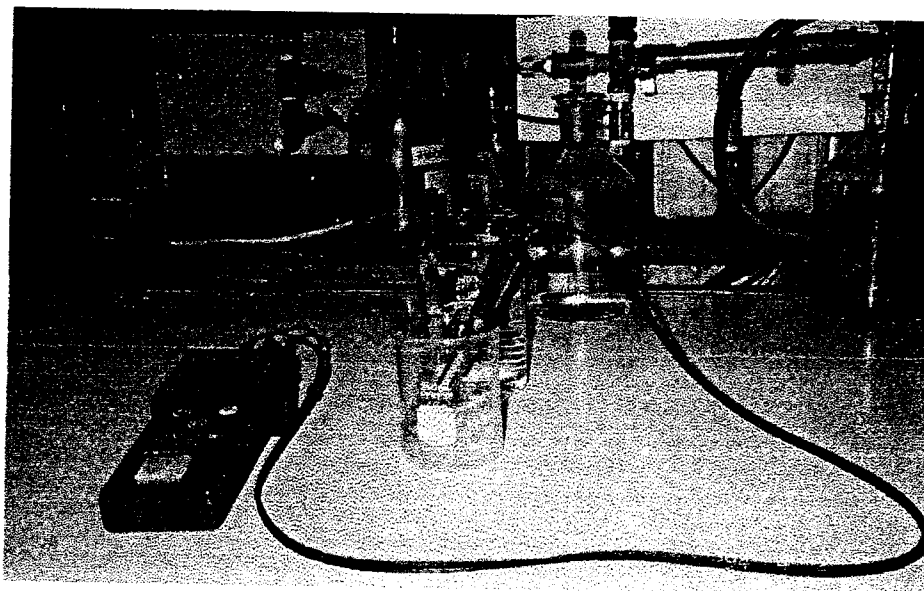


ภาพประกอบ 24 แสดงบริเวณทางออกของบ่อน้ำบาดาลที่ 2 ซึ่งเป็นจุดที่เก็บแบคทีเรีย

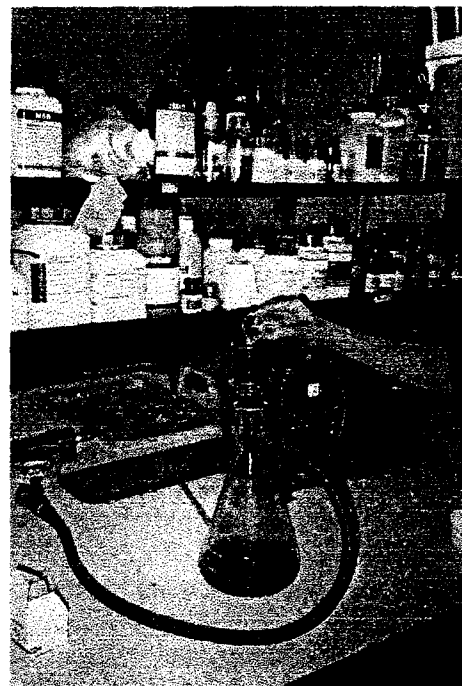
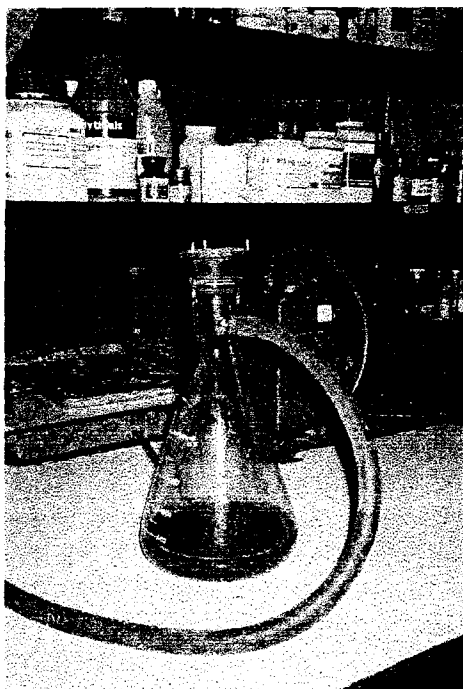


ภาพประกอบ 25 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการรีฟลักซ์หาปริมาณซีโอดี

ภาพประกอบ 26 แสดงการติเตรตเพื่อหาจุดสมมูลย์

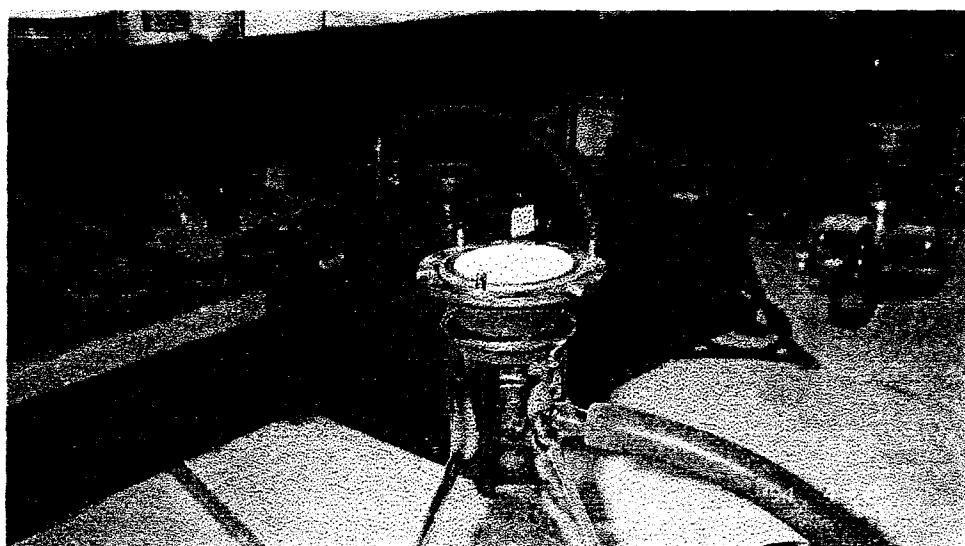


ภาพประกอบ 27 แสดงการวัดพีเอชของน้ำทิ้งด้วยพีเอชมิเตอร์

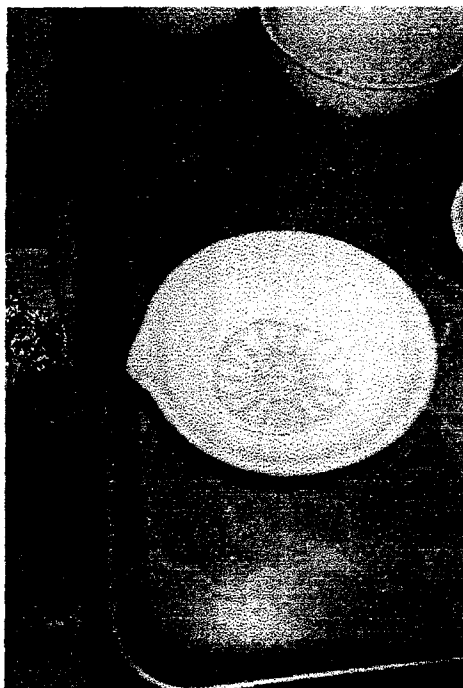


ภาพประกอบ 28 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์หาปริมาณแอมแอลเอสเอส

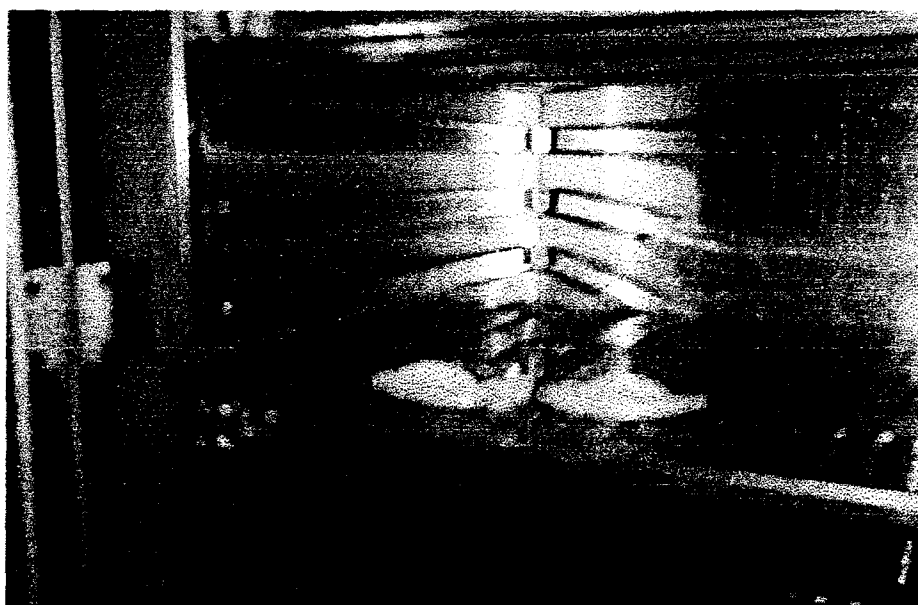
ภาพประกอบ 29 แสดงวิธีวิเคราะห์หาปริมาณแอมแอลเอสเอส



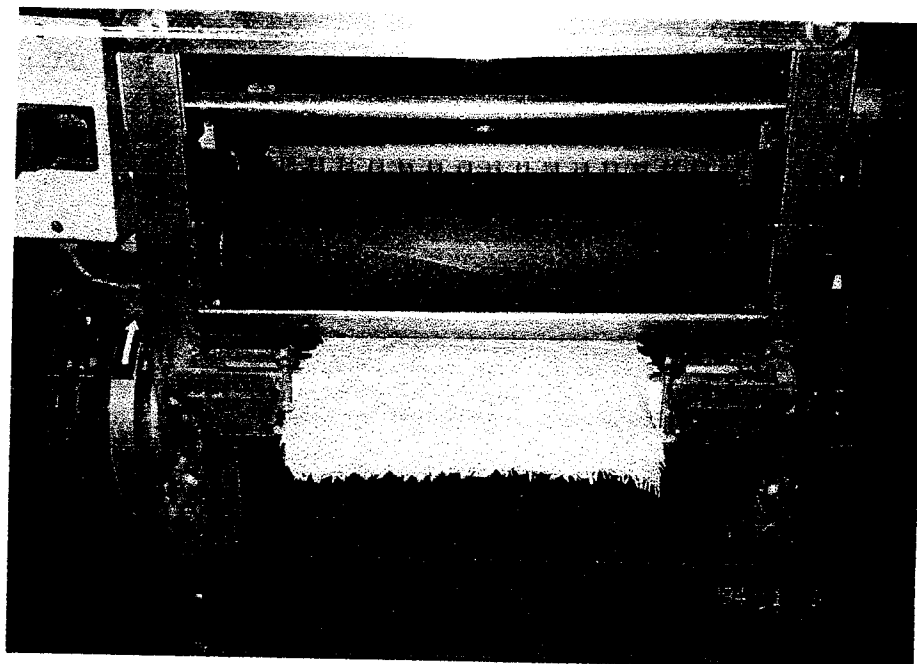
ภาพประกอบ 30 แสดงการวางกระดาศกรองลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดอากาศ



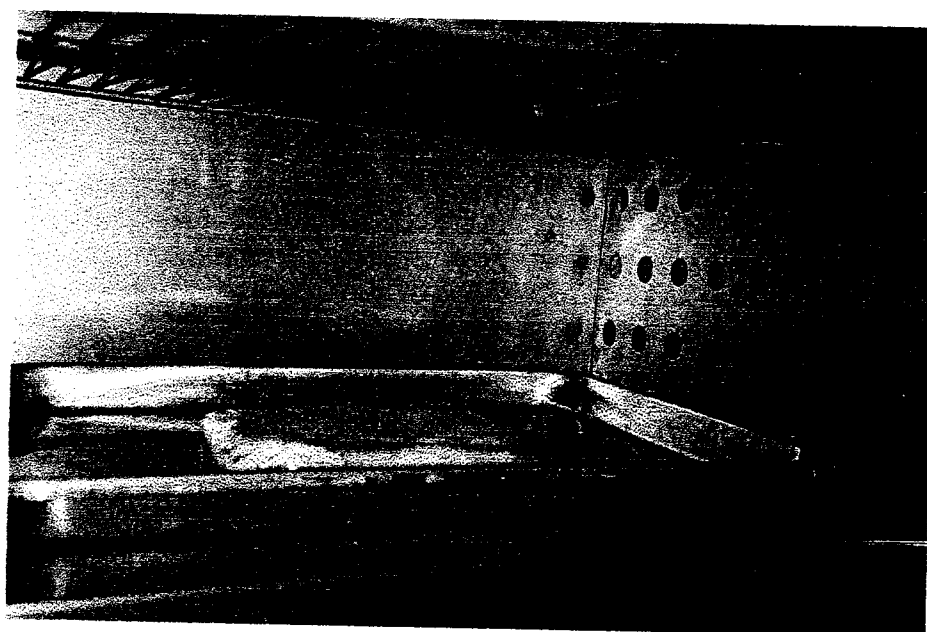
ภาพประกอบ 31 แสดงการนำกระดาษกรองที่ทำการกรองแล้ววางในจานระเหยเพื่อเตรียมเข้าเผา
ภาพประกอบ 32 แสดงการนำกระดาษกรองเข้าเตาเผา 550 องศาเซลเซียสเพื่อหาสารแขวนลอย



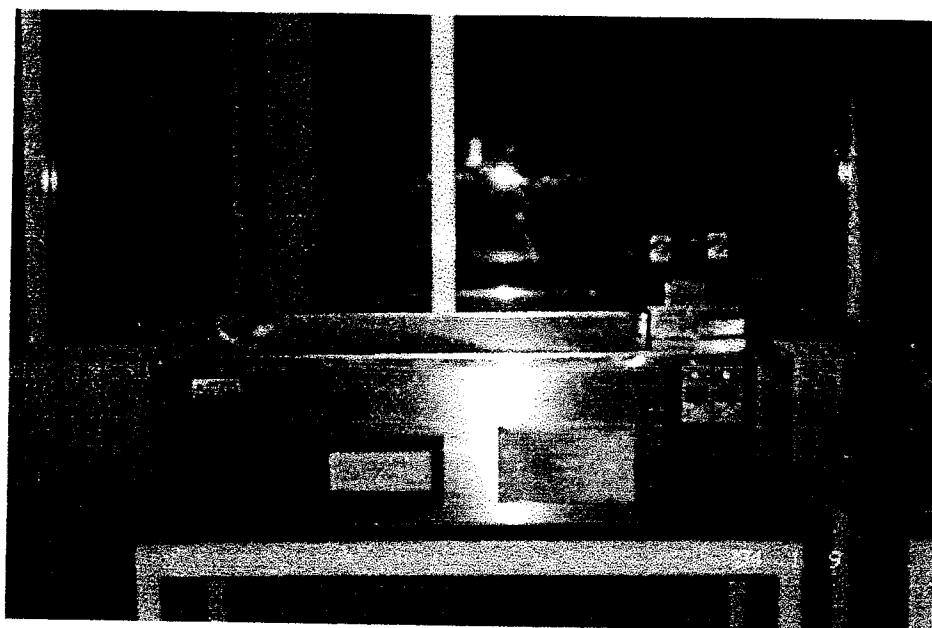
ภาพประกอบ 33 แสดงการนำกระดาษกรองเข้าอบในตู้อบที่ 110 องศาเซลเซียส



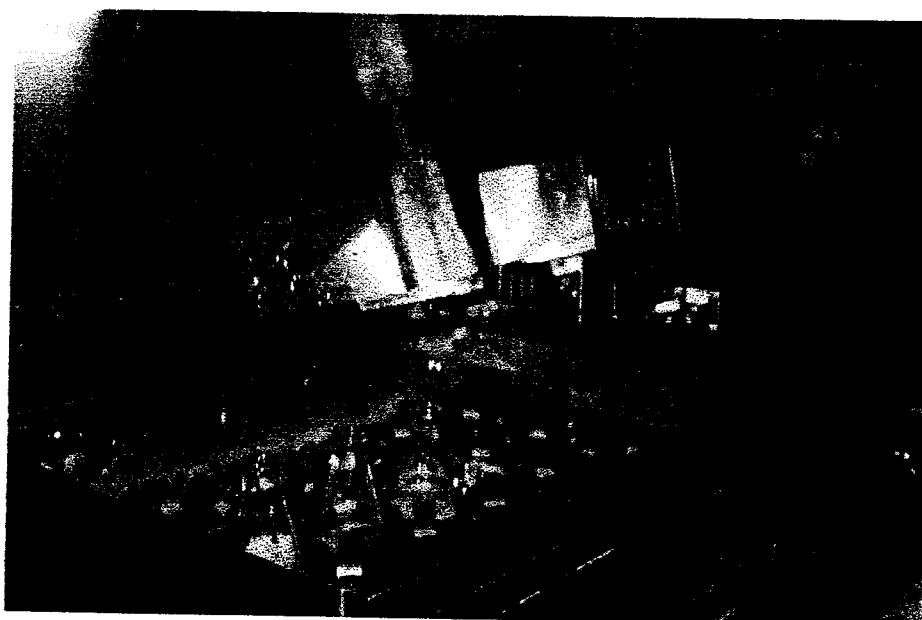
ภาพประกอบ 34 แสดงการแพดด้วยเครื่องแพดโดยกำหนดปิกอัฟ 100% pick up



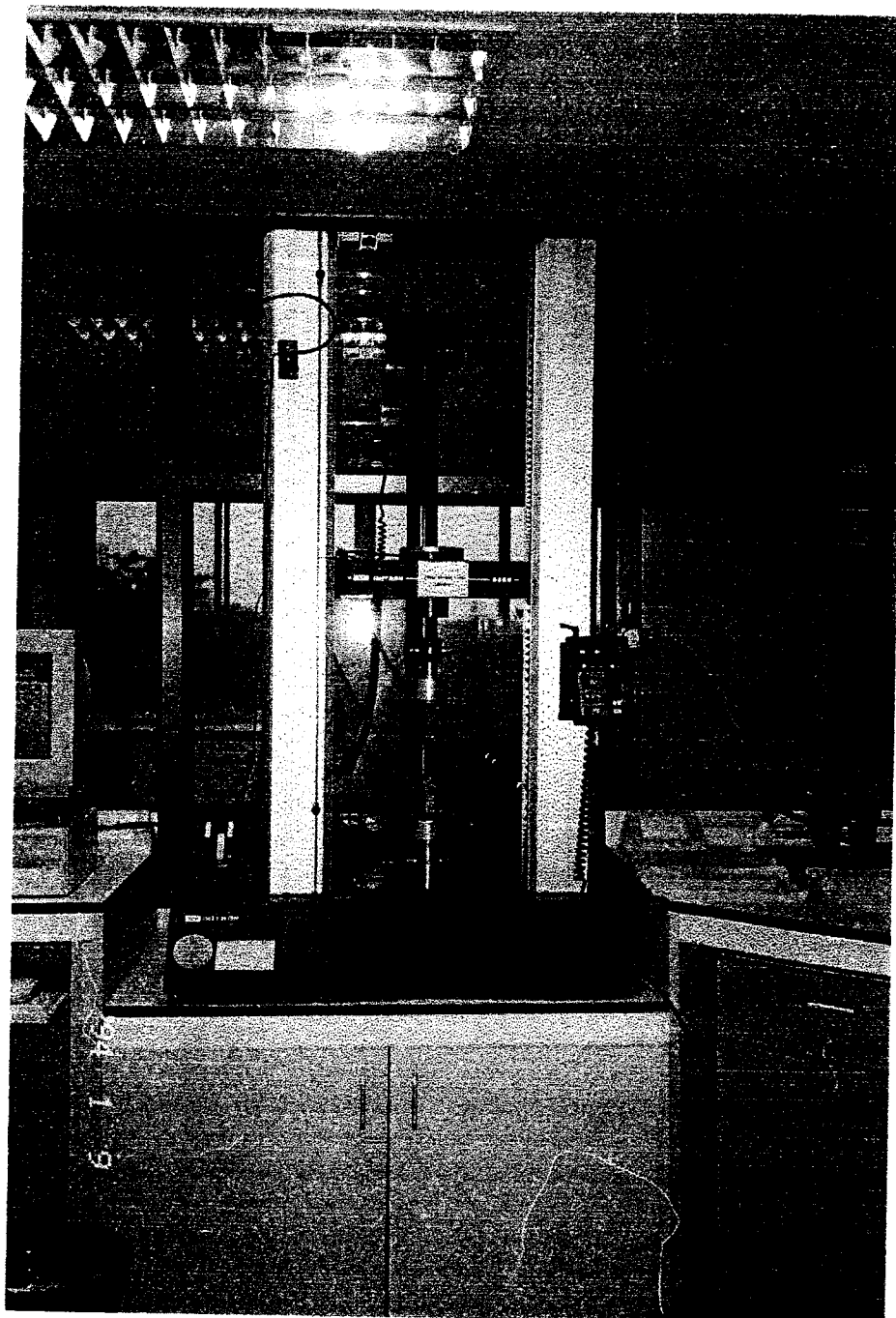
ภาพประกอบ 35 แสดงนำผ้าหลังแพดเข้าตู้อบที่ 60 องศาเซลเซียส



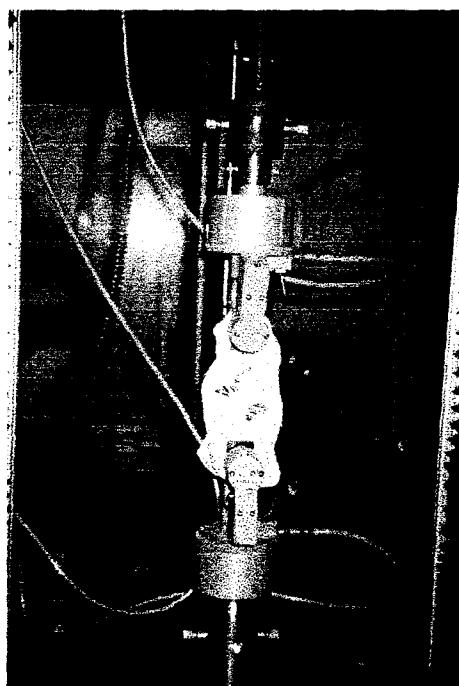
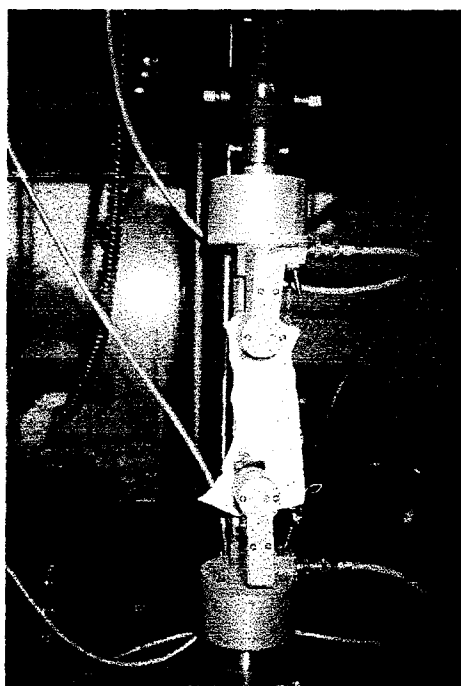
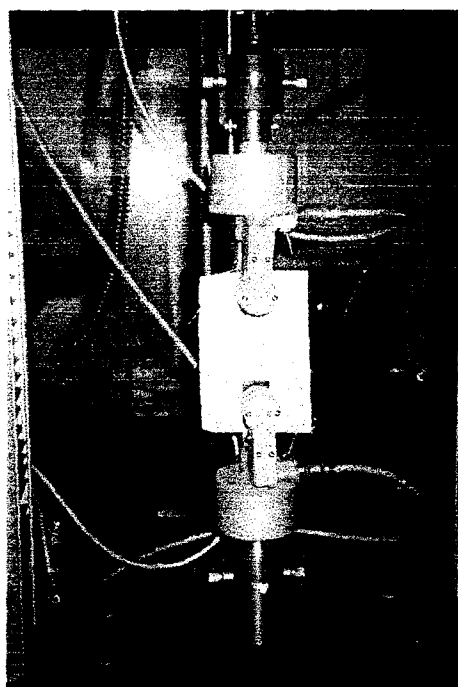
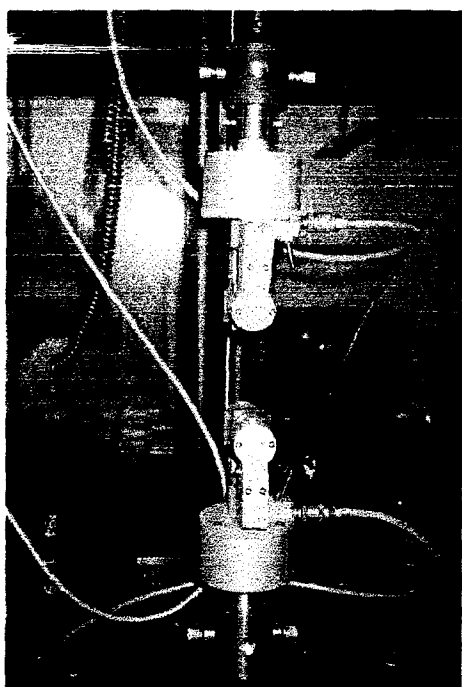
ภาพประกอบ 36 ลักษณะเครื่องเขย่าที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพประกอบ 37 แสดงการทดสอบการลอกแบ่งด้วยเครื่องเขย่า



ภาพประกอบ 38 แสดงเครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้า



ภาพประกอบ 39 แสดงปากจับของเครื่องทดสอบมีขนาด 25 X 25 มิลลิเมตร

ภาพประกอบ 40 แสดงวิธีทดสอบแรงดึงขาดแบบวิธีแกรบ

ภาพประกอบ 41 แสดงการเดินเครื่องทดสอบ

ภาพประกอบ 42 แสดงการทดสอบขณะแรงดึงขาดสูงสุดที่ทำให้ผ้าขาด

ภาคผนวก ค
ค่าข้อมูลในการทดสอบ

F-PT-49 Rev.00
Textile Industry Division
Bureau of Industry Sectors Development

Grab Test : ASTM D 5034-95, (TISI 121-Book 16-2526)
Sample Size : 100x150 mm. or (4x6 in)
Length 75 mm. (3 in) , Speed 300 mm/min. (20+-3sec.)

Test type: Tensile
Operator name: Passamon
Identification: Sample 1-72
Interface Type: 5500

Instron Corporation
Series IX Automated Materials Testing System Sample 7.27.00
Test Date: Tuesday, August 27, 1902

Sample Rate (pts/secs.): 10,000
Crosshead Speed: 30,000 mm/min
2nd Crosshead Speed: 0.0000 mm/min
Humidity (%): 65
Temperature: 25 C
Full Scale Load Range: 1.000 kN

Sample comments: sample 1-72

	Load at Max.Load (N)	Elongation at Maxload (%)
1	225.709	18.693
2	234.785	19.333
3	233.338	22.000
4	225.609	19.360
5	232.532	20.000
6	229.443	18.667
7	229.084	18.013
8	226.307	18.667
9	194.771	32.027
10	200.621	34.693
11	192.915	32.027
12	195.978	34.000
13	196.664	33.360
14	200.780	24.027
15	223.631	24.693
16	205.853	24.013
17	212.977	30.667
18	202.375	30.027
19	201.363	27.333
20	205.041	28.000
21	210.084	27.333
22	213.898	24.000
23	199.980	22.680
24	198.172	24.027
25	202.407	32.027
26	200.129	30.680
27	208.204	31.347
28	191.863	30.013
29	194.424	30.680
30	195.697	22.000
31	211.501	23.373
32	214.942	24.000
33	197.975	29.360
34	202.228	29.360
35	211.967	27.360
36	202.521	26.680
37	201.217	27.360
38	203.800	21.340

	Load at Max.Load (N)	Elongtion at Maxload (%)
39	194.860	22.680
40	188.150	21.340
41	210.280	30.693
42	215.530	27.333
43	208.320	24.680
44	215.630	28.013
45	213.220	28.666
46	205.560	24.693
47	215.270	23.360
48	212.960	24.027
49	217.280	30.667
50	211.840	30.693
51	216.750	28.680
52	202.770	29.360
53	205.600	29.333
54	212.030	26.693
55	222.340	24.667
56	191.460	24.027
57	214.450	30.027
58	217.540	30.680
59	203.470	28.000
60	203.560	29.347
61	210.430	30.013
62	192.770	22.667
63	207.000	23.333
64	195.600	23.347
65	202.470	32.693
66	207.230	30.680
67	206.560	30.027
68	217.320	31.360
69	209.020	28.666
70	215.910	24.027
71	196.100	23.333
72	215.000	23.347

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวพรพรรณณ์ แซ่จั้ง
วันเดือนปีเกิด	20 สิงหาคม 2512
สถานที่เกิด	644/7 ซอยร่วมมิตร ถนนจันทน์ เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	629/164 ซอยเศตะพราหมณ์ ถนนสาธุประดิษฐ์ แขวงบางโพงพาง เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร 10120
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกย่อย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทภัทยาอุตสาหกรรม จำกัด
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2523	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนสตรีมหาพฤฒาราม
พ.ศ. 2526	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนสตรีมหาพฤฒาราม
พ.ศ. 2530	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส) จาก สถาบันราชมงคล วิทยาเขต เทคนิคกรุงเทพ
พ.ศ. 2536	วศบ. จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
พ.ศ. 2546	กศ.ม. จากศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร