



คู่มือ
การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงาน
สำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง



สสว. »



กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL PROMOTION

สวท
NSTDA



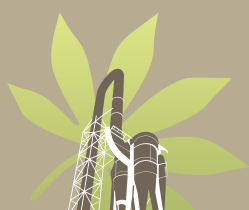
คู่มือ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานสำหรับ อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

เจ้าของลิขสิทธิ์

สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

พิมพ์ครั้งที่ 1: พฤษภาคม 2559



สสว. »



กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL PROMOTION

สทศ
NSTDA

สารจากผู้บริหาร



กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของอุตสาหกรรมแปรงไม้สำหรับล้างจาน ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ แปรงไม้สำหรับล้างจานมากกว่าร้อยละ 60 ถูกใช้ในการผลิตแปรงไม้สำหรับล้างจาน ประเทศไทยถือเป็นผู้ส่งออกแปรงไม้สำหรับล้างจานอันดับหนึ่งของโลก โดยมีปริมาณส่งออกในปี พ.ศ. 2558 จำนวนราว 3 ล้านต้น หรือมูลค่ารวม 42,000 ล้านบาท โดยที่ผ่านมา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้มีบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ หรือ MOU เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรและประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแปรงไม้สำหรับล้างจาน ณ วันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2554 กำหนดระยะเวลา 3 ปี มีเป้าหมายหลักเพื่อดำเนินงานต่อเนื่องและขยายผลการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแปรงไม้สำหรับล้างจาน จากโครงการพัฒนาศักยภาพบุคลากรด้านพลังงานและทรัพยากรสำหรับอุตสาหกรรมแปรงไม้สำหรับล้างจาน (เดิมเป็นความร่วมมือระหว่างสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติกับหน่วยงานความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ)) ในการพัฒนา บุคลากร และองค์ความรู้ในการจัดหลักสูตรเพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของอุตสาหกรรมแปรงไม้สำหรับล้างจานไทยโดยการนำองค์ความรู้ เทคโนโลยี และเทคนิคจากงานวิจัยและระบบการจัดการที่เหมาะสมมาพัฒนาให้เกิดความเหมาะสมกับสถานประกอบการ

ในปี พ.ศ. 2558 กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมได้จัดทำโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแปรงไม้สำหรับล้างจาน ภายใต้โครงการสนับสนุนเครือข่าย SME ใน 18 กลุ่มจังหวัด โดยมีสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติเป็นที่ปรึกษาในการดำเนินงาน เพื่อให้เกิดการต่อเนื่องในการเพิ่มขีดความสามารถและศักยภาพการแข่งขันของอุตสาหกรรมแปรงไม้สำหรับล้างจาน และเกิดความสำเร็จสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้

นางยุพรัตน์ ศตวิริยะ
ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม
กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

สารจากผู้รับผิดชอบโครงการ



กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม โดยสำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม ได้รับมอบหมายให้ดำเนินงานโครงการพัฒนาการรวมกลุ่มและเชื่อมโยงอุตสาหกรรม (คลัสเตอร์) มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ปัจจุบันได้มีกลุ่มอุตสาหกรรมที่พัฒนาแล้วทั่วประเทศ รวม 77 คลัสเตอร์ ในหลากหลายสาขา ซึ่งในการพัฒนากลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มีการรวมกลุ่มและพัฒนาคลัสเตอร์แป้งมันสำปะหลังโดยศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดชลบุรี จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดนครราชสีมา เนื่องจากเห็นว่า การพัฒนาในรูปแบบคลัสเตอร์จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันของประเทศโดยรวมได้ โดยอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังปัจจุบันมีโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native cassava starch) ทั่วประเทศประมาณ 70 โรงงาน ซึ่งโรงงานกว่ากึ่งหนึ่งได้มีการพัฒนาทั้งด้านการผลิต การใช้ทรัพยากรบุคคล การลดต้นทุนและพลังงาน ภายใต้บันทึกข้อตกลงความร่วมมือระหว่าง กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 - 2556 และในปี พ.ศ. 2558 มีการดำเนินงานโครงการเพื่อพัฒนาต่อเนื่องภายใต้โครงการสนับสนุนเครือข่าย SME ใน 18 กลุ่มจังหวัด ของสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม โดยมี สวทช. เป็นที่ปรึกษาดำเนินการ แบ่งเป็น 3 ประเภทการพัฒนา ได้แก่ 1. หลักสูตรเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเน้นการลดต้นทุน 2. หลักสูตรการพัฒนานวัตกรรม และ 3. หลักสูตรต่อยอด Benchmarking ทั้ง 3 หลักสูตร มีการฝึกอบรมภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติและให้คำปรึกษาแนะนำเชิงลึกในสถานประกอบการโดยที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญ อีกทั้ง ในการนี้คณะทำงานได้ดำเนินการจัดทำ “คู่มือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง” นี้ขึ้น โดยหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อบุคลากรในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจได้ต่อไป

นางกระเกด ไซติชินรัตน์
ผู้อำนวยการส่วนส่งเสริมการรวมกลุ่มอุตสาหกรรม
สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม
กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

สารจากบรรณาธิการ



อุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง อาทิ มันเส้น มันอัดเม็ด สาคุและแป้งมันสำปะหลัง รายใหญ่ที่สุดของโลก คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 115,889 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2558 โดยแป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการส่งออกถึงร้อยละ 36 ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมันสำปะหลัง ดังนั้นกรอบยุทธศาสตร์วิจัยและพัฒนาของประเทศในปี พ.ศ. 2555 - 2559 จึงมีเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากร้อยละ 70 เป็นร้อยละ 85 โดยใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อีกทั้ง ค่ามาตรฐานเชิงประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย (Benchmarking Index) ของแต่ละโรงงานมีความแตกต่างอย่างมากในกลุ่มผู้ประกอบการ ทั้งจากประสิทธิภาพการผลิต การใช้เทคโนโลยี หรือการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่แตกต่างกัน

คู่มือ “การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง” นี้จัดทำภายใต้โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย ของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมและสำนักงานวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ภายใต้โครงการสนับสนุนเครือข่าย SME ใน 18 กลุ่มจังหวัด โดยมีสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติเป็นที่ปรึกษาในการดำเนินงาน เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังได้รับความรู้และความเข้าใจในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เนื้อหาสำคัญประกอบด้วย ทฤษฎีและหลักการของกระบวนการผลิต ปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานผลิต จุดควบคุมและการวัดประสิทธิภาพหน่วยผลิต โดยครอบคลุมทุกหน่วยผลิต ตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การลดขนาด การสกัด การเพิ่มความเข้มข้นและทำความสะอาด การอบแห้งและบรรจุ รวมทั้งรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์หม้อไอน้ำ เทคโนโลยีการบำบัดของเสียจากกระบวนการผลิต ความปลอดภัยในการผลิต และการเก็บและบันทึกค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการผลิตและการใช้ทรัพยากร เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบเชิงประสิทธิภาพทั้งในส่วน of โรงงานตนเอง โรงงานในเครือข่าย และกลุ่มอุตสาหกรรม

ดร.วรินทร์ สงคศิรี
บรรณาธิการ

สารบัญ

บทที่ 1	ทฤษฎีและหลักการของกระบวนการผลิต	7
บทที่ 2	การเตรียมวัตถุดิบ	11
บทที่ 3	การลดขนาด	19
บทที่ 4	การสกัด	25
บทที่ 5	การเพิ่มความเข้มข้นและทำความสะอาด	33
บทที่ 6	การลดความชื้น	41
บทที่ 7	การบรรจุ	49
บทที่ 8	หม้อไอน้ำ (Boiler)	53
บทที่ 9	การเก็บข้อมูลการผลิตและการใช้ทรัพยากรของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ (KPI)	63
บทที่ 10	เทคโนโลยีการบำบัดของเสียจากกระบวนการผลิต	73
บทที่ 11	กรณีศึกษาอุบัติเหตุจากการผลิต การใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง	85

ทฤษฎีและหลักการของกระบวนการผลิต

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง^[1]

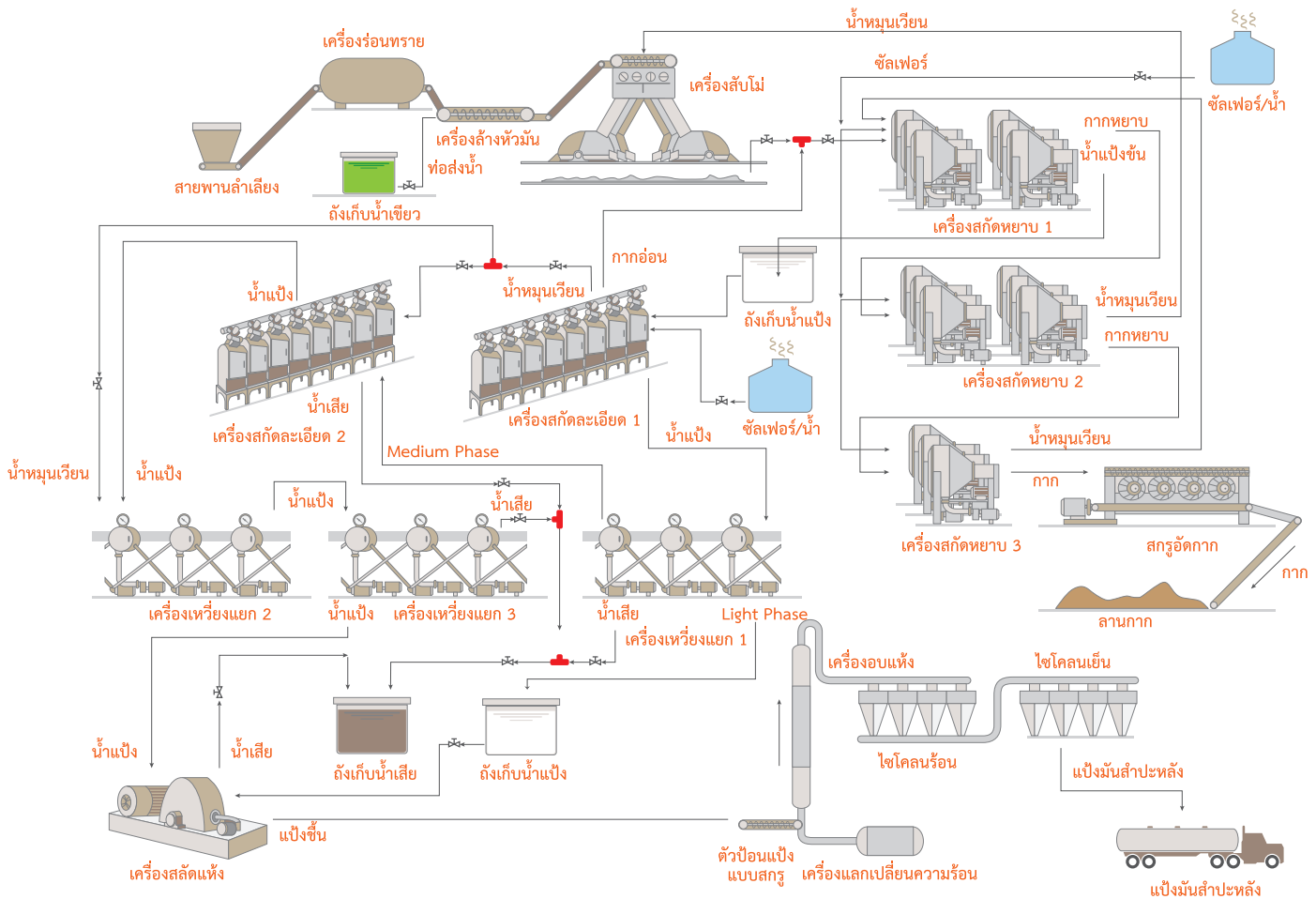
โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่ของไทยผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบหรือ Native Cassava Starch เพื่อเป็นวัตถุดิบสำคัญของอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมอื่น เช่น สิ่งทอ กาว กระดาษ เครื่องสำอาง ยา เป็นต้น รวมทั้งบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ การผลิตแป้งมันสำปะหลังแบ่งออกตามลักษณะของแป้งที่ผลิตได้ 3 ลักษณะ คือ ผลิตภัณฑ์แป้งแห้ง (Dry starch) แป้งหยาบ (Wet starch) และแป้งน้ำ (Starch slurry)

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง^[1, 2]

อดีต: การผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นเพียงอุตสาหกรรมในครัวเรือน กรรมวิธีการผลิตเป็นแบบง่าย ๆ โดยมีเริ่มจากการซังน้ำหนักและวัดเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมัน นำหัวมันไปล้าง แล้วส่งเข้าเครื่องสับและม่ กรองผ่านตะแกรง ปล่อยให้แป้งตกตะกอน แยกชั้นแป้งขึ้นมาตากบนพื้นคอนกรีตร้อนซึ่งความร้อนได้จากแสงแดดหรือเตาฟืน จากนั้นบดแป้งแห้งสนิทให้ละเอียดก่อนนำบรรจุถุง

ปัจจุบัน: กรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังใช้เครื่องจักรที่ทันสมัยขึ้น โดยขั้นตอนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง 8 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1. การรับวัตถุดิบ
2. การทำความสะอาดและเตรียมหัวมันสำปะหลัง
3. การสับม่
4. การสกัดแป้ง
5. การกำจัดกากอ่อน
6. การเหวี่ยงแยกแป้ง
7. การสไลด์แห้งและการอบแห้ง
8. การบรรจุแป้ง แสดงดังภาพที่ 1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของแต่ละโรงงานมีขั้นตอนหลักที่คล้ายคลึงกัน แต่อุปกรณ์หรือเครื่องจักรและการจัดเรียงในแต่ละขั้นตอนอาจจะแตกต่างกัน



ภาพที่ 1 ฟังก์ชันกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตแบริ่งน้ำมันสำหรับรถบรรทุก

การรับวัตถุดิบ

หัวมันสำหรับผลิตแบริ่งส่งมายังโรงงานโดยรถบรรทุก จะผ่านขั้นตอนการล้างน้ำหนัก และวัดปริมาณแบริ่ง โดยอาศัยหลักของการลอยตัวของวัตถุในของเหลวเพื่อระบุราคาในการซื้อขาย หลังจากนั้นถูกนำมาเทรวมกันไว้บนลานกองมันสำหรับผลิตที่เป็นพื้นคอนกรีต เพื่อรอเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป

การทำความสะอาดและเตรียมหัวมันสำหรับผลิต

หัวมันสำหรับผลิตบนลานรับซื้อหัวมันจะถูกตัดเข้าถังปล่อยหัวมันผ่านสายพานลำเลียง และเข้าสู่เครื่องร่อนทรายเพื่อร่อน ดิน ทราย และ รากไม้ที่ติดอยู่ที่ผิว หรือรวมเรียกว่า “เปลือกดิน” ออกจากหัวมัน จากนั้นหัวมันจะถูกล้างโดยเครื่องล้างหัวมัน ซึ่งมีลักษณะเป็นใบกวน ลักษณะเหมือนกับพายเพื่อผลักให้หัวมันเคลื่อนที่ไปยังบ่อล้างถัดไป อีกทั้งหัวมันจะเสียดสีกับใบกวนซึ่งเป็นการปอกเปลือกหัวมันอีกด้วย ในขั้นตอนนี้มีการดักเศษโลหะที่อาจติดมากับหัวมันไม่ให้หลุดเข้าไปในกระบวนการผลิตอีกด้วย

การสับโม

หัวมันสะอาดที่ผ่านการล้างจะถูกลำเลียงขึ้นสายพานเพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องสับโมเพื่อลดขนาดหัวมันให้มีขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว จากนั้นชิ้นมันขนาดเล็กจะถูกลำเลียงผ่านท่อที่มีลักษณะเป็นรูปขาทางกงลงสู่เครื่องโม ภายในมีลูกโมซึ่งมีลักษณะเป็นลูกกลิ้งทรงกระบอกและมีใบเลื่อยเล็ก ๆ ทำหน้าที่หมุน ขูดหัวมันให้เป็นชิ้นเล็กละเอียด มีการเติมน้ำเพื่อให้สามารถไม่หัวมันได้ง่ายขึ้น บางโรงงานใช้น้ำหมุนเวียนเพื่อประหยัดน้ำและลดการสูญเสียแบ่งไปกับน้ำทิ้ง ในขั้นตอนนี้จะได้ชิ้นมันเล็กละเอียดและมีลักษณะคล้ายของเหลวข้นซึ่งมีส่วนผสมของแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่าง ๆ

การสกัดแป้ง

ชิ้นมันขนาดเล็กจะเอียงจากเครื่องสับโมจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องสกัดขั้นที่หนึ่งหรือเรียกว่าเครื่องสกัดหยาบ แยกเม็ดแป้งน้ำแป้งออกจากเส้นใยและกาก โดยใช้ น้ำเป็นตัวพา ซึ่งถูกเรียกในโรงงานว่า “เทอร์โบหยาบ” มีลักษณะเป็นตะกร้ากรอง โดยมีทางเข้าด้านบนของเครื่อง และมีการฉีดน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อช่วยพาเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กผ่านตะแกรงกรองโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แรงเหวี่ยงจะทำให้เม็ดแป้งซึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็กผ่านตะแกรงกรอง ส่วนกากมันจะถูกหมุนเหวี่ยงออกทางด้านบนของเครื่องก่อนเข้าสู่เครื่องสกัดกากและเครื่องอัดกากเพื่อเก็บเม็ดแป้งที่สูญเสียไปกับกากต่อไป บางโรงงานมีการนำน้ำแป้งที่ได้จากเครื่องโม ป้อนเข้าเครื่องดีแคนเตอร์ก่อนป้อนน้ำแป้งเข้าเครื่องสกัด เพื่อแยกน้ำทิ้งที่มีโปรตีนและไขมันซึ่งเป็นสิ่งเจือปนออกจากน้ำแป้งโดยอาศัยหลักของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเช่นเดียวกับเครื่องสกัด

การกำจัดกากอ่อน

น้ำแป้งจากเครื่องสกัดหยาบจะถูกส่งมายัง หน่วยกำจัดกากอ่อนใช้เครื่องสกัดละเอียด หรือ “เทอร์โบผ้า” ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายเครื่องสกัดหยาบ ภายในเครื่องสกัดละเอียดจะมีผ้าในลอนติดอยู่ที่ตะแกรงสแตนเลสสำหรับรองรับกากอ่อนที่ปะปนมากับน้ำแป้ง นอกจากนี้ บางโรงงานมีการใช้เครื่องร่อนกากอ่อนระบบสั่น รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือวงกลมวางในแนวนอนและสั่นอยู่ตลอดเวลา เม็ดแป้งซึ่งมีขนาดเล็กจะสามารถผ่านตะแกรงกรอง เพื่อเข้าสู่เครื่องแยกในขั้นตอนต่อไป ส่วนกากอ่อนจะถูกแยก และส่งไปรวมกับกากหยาบเพื่อที่เข้าเครื่องสกัดกากและอัดกากต่อไป

การเหวี่ยงแยกแป้ง

น้ำแป้งที่ออกจากเครื่องสกัดละเอียดจะถูกนำมาทำให้บริสุทธิ์และเข้มข้นขึ้นโดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยกแป้งหรือไฮโดรไซโคลน โดยอาศัยหลักการแยกด้วยความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ ภายในเครื่องแยกมีแผ่นจานรูปกรวยคว่ำเอียงเรียงซ้อนกัน เมื่อหมุนจะเกิดการแยกชั้น แป้งเข้มข้นจะถูกเหวี่ยงลงมาที่ขอบนอกของแผ่นจานแล้วผ่านออกทางหัวฉีดหรือฉนวนหนู (Nozzle) ส่วนน้ำเสียและสิ่งเจือปนในน้ำแป้งจะถูกแยกออกทางท่อด้านบนเนื่องจากความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะ สำหรับบางโรงงานใช้ไฮโดรไซโคลนซึ่งมีหลักการทำงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเช่นกัน น้ำแป้งจะถูกฉีดเข้าด้านบนและเคลื่อนที่คล้ายพายูทอร์นาโดผ่านส่วนทรงกระบอก (Cylindrical section) และส่วนทรงกรวย (Cone section) และตกลงสู่ส่วนล่าง (Underflow) ส่วนที่เป็นน้ำเสียและสิ่งเจือปนจะถูกแยกออกที่ส่วนบน (Overflow)

การสลัดแห้งและการอบแห้ง

น้ำแป้งจากหน่วยแยกจะผ่านเข้าสู่กระบวนการลดความชื้นด้วยเครื่องสลัดแห้งให้มีความชื้นประมาณ 30 – 35% เครื่องสลัดแห้งมีลักษณะเป็นตะกร้ากรอง โดยน้ำแป้งจะถูกป้อนเข้าสู่ส่วนกลางของเครื่อง เมื่อมีแรงเหวี่ยงจะดันให้น้ำผ่านฝากรองออกไปด้านล่าง เรียกน้ำส่วนนี้ว่า “น้ำสลัดแห้ง” ส่วนเนื้อแป้งจะถูกกรองไว้ที่ผิวฝากรองในตะกร้าและมีใบมีดปาดแป้งให้ตกลงไปข้างเครื่อง แป้งที่ได้เรียกว่า “แป้งหยาบ” และส่งไปยังกระบวนการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ซึ่งใช้อากาศร้อนอุณหภูมิประมาณ 180 - 200 องศาเซลเซียส พาแป้งลอยขึ้นสูง 25 - 30 เมตร น้ำในแป้งจะถูกระเหยออก ทำให้แป้งมีน้ำหนักลดลงจึงเคลื่อนที่ออกจากเครื่องอบแห้งไปสู่ไซโคลนร้อนและไซโคลนเย็น ความชื้นแป้งขาออกไม่เกิน 13% ตามมาตรฐานแป้งผลิตภัณฑ์

การบรรจุ

แป้งที่ผ่านการลดอุณหภูมิจะถูกแยกขนาดโดยผ่านเครื่องร่อนแป้งเพื่อแยกแป้งที่มีความหยาบออก แป้งที่ผ่านการอบแห้งจะถูกตรวจสอบความชื้น ถ้าความชื้นมากอาจปรับลดอัตราการป้อนของแป้งที่เข้าเครื่องอบแห้ง เพื่อให้แป้งมีความชื้นน้อยลงตามที่ต้องการ การเก็บรักษาแป้งหลังจากการบรรจุแล้วทำได้โดยการวางเรียงกระสอบแป้งบนที่รองรับแล้วซ้อนถุงแป้งเป็นชั้น ๆ พยายามหลีกเลี่ยงการทับซ้อนกันถึง 4 หรือ 5 เมตร โดยใช้หลักการเคลื่อนย้ายถุงแป้งแบบมาก่อนใช้ก่อน (First - in, First - out: FIFO)

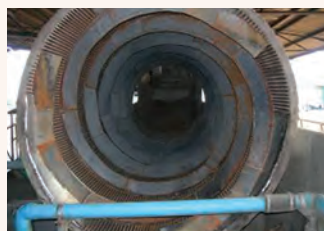
แสดงเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอน



หัวมันสำปะหลัง



ถังปล่อยหัวมัน



เครื่องร่อนทราย



เครื่องล้างหัวมันสำปะหลัง



เครื่องสับไม้



เครื่องสกัดแป้ง
หรือเครื่องเทอร์โบ



เครื่องดีแคนเตอร์



เครื่องแยกกากอ่อน



เครื่องเหวี่ยงแยกแป้ง



เครื่องไฮโดรไซโคลน



เครื่องสไลด์แห้ง



เครื่องอบแห้ง



ไซโคลนที่ใช้ดักแป้งหลังอบแห้ง



เครื่องบรรจุ



โกดังเก็บแป้งมันสำปะหลัง



สกรูอัดกาก



สายพานอัดกาก



กากมัน



ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ



บ่อเปิดเพื่อบำบัดน้ำเสียชั้นหลัง

[1] Thai Tapioca Starch Association, Tapioca Starch Exported from Thailand [Online], Available: <http://www.thaitapiocastarchassociation.com>.

[2] Sriroth, K. and Piyachomkwan, K., 2000, "Tapioca Starch Production Process" Starch Technology, 2nd ed., Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand.

การเตรียมวัตถุดิบ

หัวมันสำปะหลังประกอบด้วยเปลือกนอก เปลือกในและเนื้อมันสำปะหลังโดยเม็ดเงินมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะพบในส่วนเนื้อมันสำปะหลัง (ประมาณ 85%) แสดงดังภาพที่ 2 หัวมันสำปะหลังเมื่อตัดตามขวาง ประกอบด้วย เปลือกชั้นนอก เปลือกชั้นใน และเนื้อมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นส่วนสะสมแป้ง เม็ดเงินมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นทรงกลมหรือทรงรีคล้ายรูปไข่ มีขนาด 5-35 ไมครอน โดยเม็ดเงินส่วนใหญ่ ประมาณ 85% จะอยู่ในส่วนเนื้อมันสำปะหลัง อีก 15% อยู่ในส่วนเปลือกชั้นใน ส่วนเปลือกนอกพบว่ามีเม็ดเงินน้อยมาก^[1]



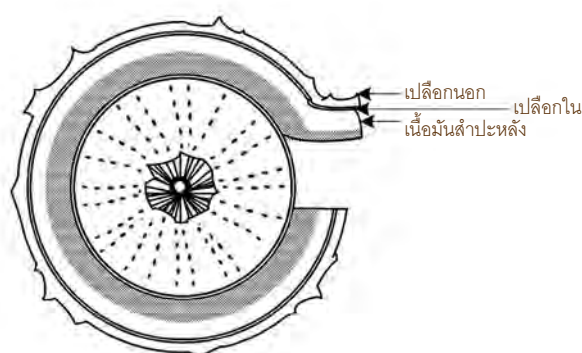
เปลือกนอก



เปลือกใน



เนื้อมันสำปะหลัง

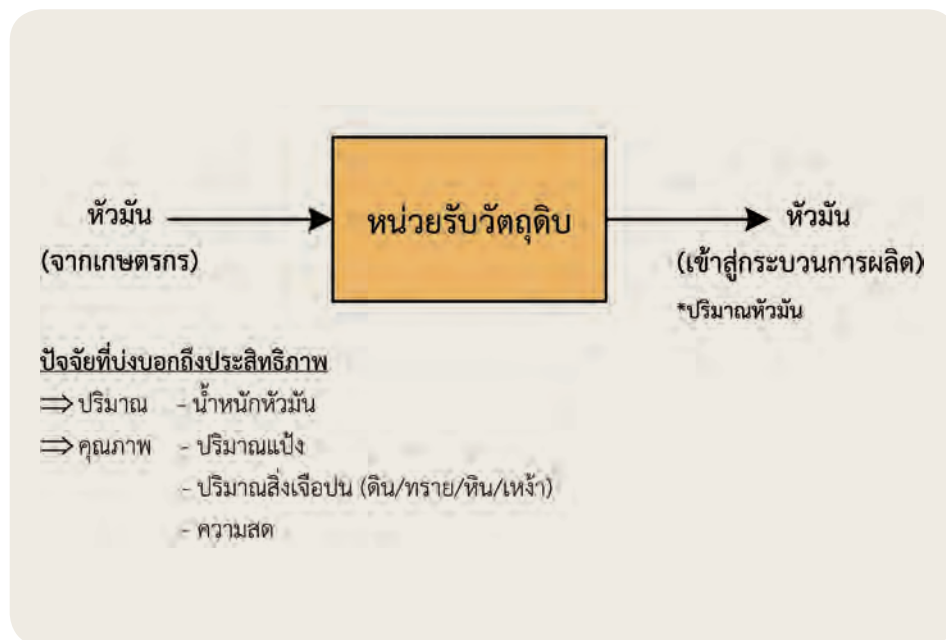


ภาพที่ 2 หัวมันสำปะหลัง

การรับวัตถุดิบ

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังดิบ หรือ native cassava starch เริ่มต้นจากมันสำปะหลังถูกขนส่งมายังโรงงาน ทางฝ่ายผลิตทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมันสำปะหลังเพื่อทำการวัดองค์ประกอบของแป้งในหัวมัน เนื่องจากปริมาณแป้งมีผลต่อราคาของมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังมีการตรวจเพื่อหาตำหนิ ปริมาณเหง้า รวมทั้งเศษดิน เพื่อกำหนดราคาซื้อขายหัวมัน โดยหัวมันที่ดีจะต้องสด ไม่มีส่วนที่เป็นลำต้นที่เรียกว่าเหง้าติดอยู่มาก มีดินทรายปนน้อย และมีปริมาณแป้งในหัวมันสูง ซึ่งโดยเฉลี่ยปริมาณแป้งในหัวมันจะมีค่าประมาณ 24 - 27% ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ และช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว^[2]

แผนภาพการผลิตของหน่วยรับวัตถุดิบ



การวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพของหน่วยรับซื้อหัวมัน ได้แก่ ปริมาณหัวมัน ปริมาณแป้ง ปริมาณสิ่งเจือปน (ดิน ทราย เหง้า) โดยประสิทธิภาพของหน่วยรับซื้อหัวมันที่ดี ได้แก่ หัวมันมีปริมาณเพียงพอต่อการผลิต มีความสด มีปริมาณแป้งในหัวมันสูง และมีสิ่งเจือปน ได้แก่ เหง้าและดินทรายเจือปนในปริมาณน้อย

1. น้ำหนักของหัวมัน

วัตถุประสงค์: ทราบปริมาณหัวมันที่เข้าสู่กระบวนการผลิต วางแผนการผลิตและการใช้ทรัพยากร เช่น น้ำ ไฟฟ้า ความร้อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุดวัด: จุดรับซื้อหัวมัน

วิธีการวัด: ชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่ง (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 หัวมันสำปะหลัง

2. ปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสด^[3]

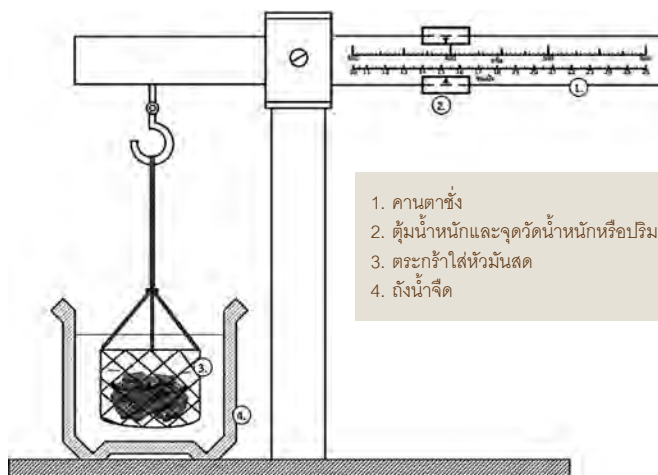
วัตถุประสงค์: กำหนดราคาซื้อขายหัวมัน และคาดการณ์ปริมาณแป้งที่สามารถผลิตได้

จุดวัด: จุดรับซื้อหัวมัน

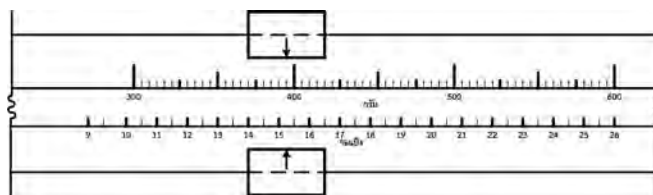
วิธีการวัด: สุ่มตัวอย่างหัวมันสด 5 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักในอากาศและในน้ำโดยเครื่อง Reiman scale การวัดปริมาณร้อยละของแป้งในหัวมันสำปะหลังสดใช้หลักการของความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของหัวมัน (ภาพที่ 4 – 6) ความแม่นยำในการประเมินปริมาณแป้งในหัวมันสามารถเพิ่มขึ้นได้ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างหลายตำแหน่งและหลายครั้ง อาทิ การเก็บตัวอย่าง ณ จุดรับซื้อหน้าโรงงาน 5 ตำแหน่ง และ ณ ลานรับหัวมัน เพิ่มอีก 3 ตำแหน่ง



ภาพที่ 4 เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง
ในหัวมันสด (Reiman scale)
ในหน่วยรับวัตถุดิบ



ภาพที่ 5 ตาชั่งสำหรับชั่งหัวมันสด



ภาพที่ 6 คานของตาชั่งที่มีมาตรเทียบปริมาณแป้ง (ร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์)

3. ปริมาณสิ่งเจือปน (ดินทราย หินและเหง้า)

วัตถุประสงค์: กำหนดราคาซื้อขายหัวมัน และวางแผนกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ

จุดวัด: จุดรับซื้อหัวมัน

วิธีการวัด: ชั่งน้ำหนักหรือทำการตรวจสอบ ปริมาณเหง้าและเศษดินทรายที่ติดมากับหัวมัน โดยภาพที่ 7 ก แสดงหัวมันที่มีปริมาณสิ่งเจือปนมาก และ ภาพที่ 7 ข แสดงหัวมันที่มีปริมาณสิ่งเจือปนน้อย



ภาพที่ 7 ก หัวมันที่มีปริมาณสิ่งเจือปนมาก



ภาพที่ 7 ข หัวมันที่มีปริมาณสิ่งเจือปนน้อย

4. ความสด

วัตถุประสงค์: กำหนดราคาซื้อหัวมัน และวางแผนกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ

จุดวัด: จุดรับซื้อหัวมัน

วิธีการวัด: จัดเกรดความสดของหัวมัน โดยสังเกตลักษณะความสดใหม่ สี และเนื้อสัมผัส (ภาพที่ 8)



หัวมันเกรด A มีความสดดี



หัวมันเกรด B มีความสดพอใช้



หัวมันเกรด C ไม่มีความสด

ภาพที่ 8 การจัดเกรดหัวมันตามสภาพความสด

จุดควบคุมและตรวจสอบ (Checklist)

จุดควบคุมและตรวจสอบ	รายละเอียดวัตถุประสงค์
จุดรับซื้อวัตถุดิบ	☐ ปริมาณหัวมันที่รับซื้อ ☐ ปริมาณแป้งในหัวมัน (ร้อยละ) ☐ ปริมาณดินทราย ☐ ปริมาณเปลือกดิน ☐ ปริมาณเปลือกสด ☐ ความสด

หัวมันสดที่ผ่านการตรวจคุณภาพจะถูกกองไว้บนลานรับหัวมัน ก่อนการลำเลียงไปใส่ไว้ในถังปล่อยหัวมัน (Hopper) เพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ถังปล่อยหัวมันที่ใช้บรรจุหัวมันสำหรับแปรรูป

การทำความสะอาด



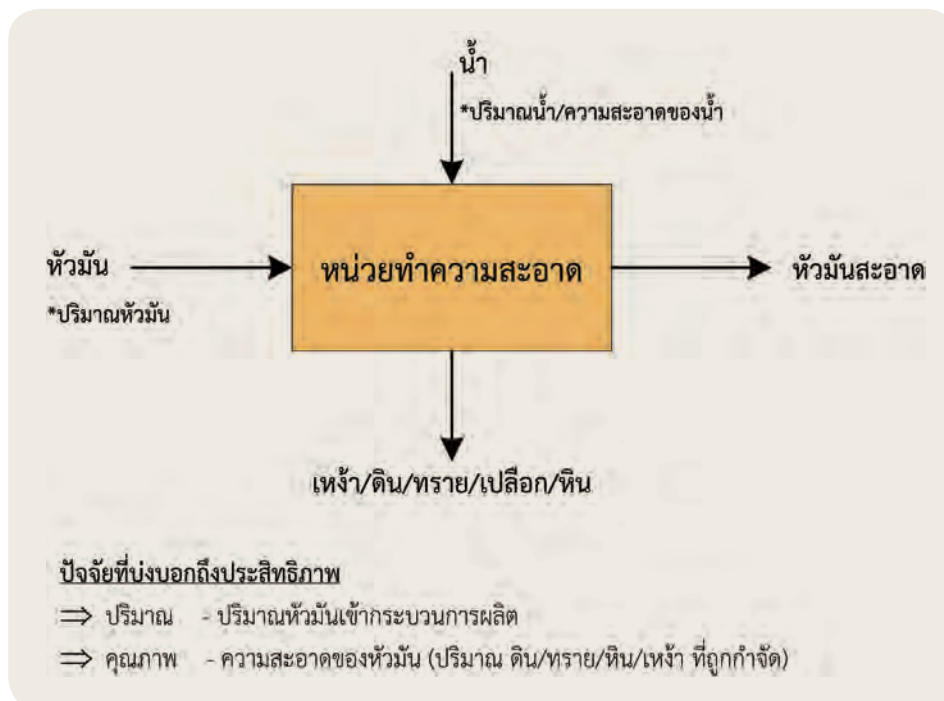
ภาพที่ 10 เครื่องร้อนหิน ดิน ถวาย สำหรับแยกสิ่งสกปรกออกจากหัวมันสำปะหลัง



ภาพที่ 11 เครื่องล้างหัวมันสำปะหลัง

หลังจากหัวมันสำปะหลังถูกลำเลียงมาไว้ในถังปล่อยหัวมันแล้ว หัวมันสำปะหลังจะเข้าสู่กระบวนการกำจัดเหง้าออกโดยใช้พนักงานดับเหง้า จากนั้นหัวมันจะถูกลำเลียงโดยสายพานเข้าสู่เครื่องร้อนหิน ดิน และทราย โดยเครื่องร้อนทรายมีลักษณะเป็นอุโมงค์ที่มีการหมุนตามแนวนอน หัวมันจะถูกหมุนและเคลื่อนตัวตามเกลียวด้านใน ทำให้ดินทรายและเศษเปลือกที่ปะปนมากับหัวมันหล่นผ่านตะแกรงออกไป (ภาพที่ 10) จากนั้นหัวมันจะถูกล้างให้สะอาดอีกครั้งโดยผ่านเครื่องล้างหัวมันที่บ่อล้าง เครื่องล้างจะมีลักษณะคล้ายใบพาย เพื่อปอกเปลือกหัวมันและทำให้หัวมันเคลื่อนที่ไปยังบ่อล้างถัดไป (ภาพที่ 11) ซึ่งน้ำที่ใช้ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำหมุนเวียนจากหน่วยการผลิตอื่น และน้ำดีในขั้นตอนล้างสุดท้าย^[3]

แผนภาพการผลิตของหน่วยทำความสะอาด



1. ปริมาณหัวมันที่เข้าสู่กระบวนการผลิต

วัตถุประสงค์: ทราบปริมาณหัวมันที่เข้าสู่กระบวนการผลิต และพิจารณาจำนวนพนักงานในการสับเหง้าและจำนวนเครื่องจักรในการทำความสะดวก รวมทั้งปริมาณน้ำในกระบวนการล้าง

จุดควบคุม: ถังปล่อยหัวมัน (Hopper)

วิธีการควบคุม: ชั่งน้ำหนักที่เครื่องชั่งที่สายพาน (ภาพที่ 12 ก) หรือการนับปากของรถดัก (ภาพที่ 12 ข) และปรับปริมาณหัวมันโดยปรับขนาดช่องเปิดของถังปล่อยหัวมัน



ภาพที่ 12 ก การชั่งน้ำหนักที่สายพาน



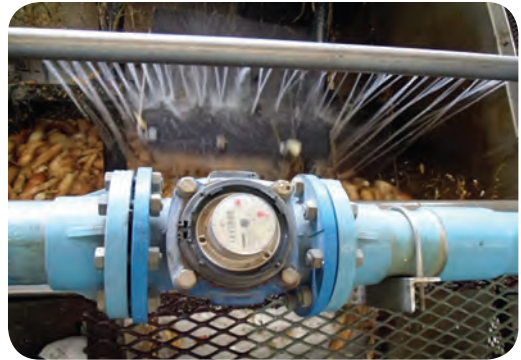
ภาพที่ 12 ข การนับปากของรถดัก

2. ปริมาณและความสะอาดของน้ำในบ่อล้าง

วัตถุประสงค์: ควบคุมปริมาณและความสะอาดของน้ำ ทั้งน้ำดีและน้ำหมุนเวียน เพื่อให้หัวมันที่ออกจากกระบวนการ มีความสะอาด มีสิ่งเจือปนน้อย

จุดควบคุม: บ่อล้างหัวมัน

วิธีการควบคุม: ใช้มิเตอร์วัดปริมาณน้ำ (ภาพที่ 13) หรือสังเกตจากระดับของน้ำในบ่อล้าง และปรับปริมาณน้ำโดยการปรับวาล์ว รวมทั้งพิจารณาความสะอาดของน้ำโดยปรับสัดส่วนน้ำดีและน้ำหมุนเวียนที่ใช้



ภาพที่ 13 มิเตอร์วัดปริมาณน้ำ

การวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพของหน่วยทำความสะอาด ได้แก่ ความสะอาดของหัวมัน โดยประสิทธิภาพของหน่วยทำความสะอาดที่ดี ได้แก่ หัวมันมีปริมาณเพียงพอต่อการผลิตและมีความสะอาด (มีสิ่งเจือปน ได้แก่ เหง้า ดินทราย เปลือกและหิน เจือปนในปริมาณน้อย)

1. ปริมาณหัวมันที่ออกจากบ่อล้าง

วัตถุประสงค์: ทราบปริมาณหัวมันที่เข้าสู่กระบวนการผลิต วางแผนการผลิตและการใช้ทรัพยากร เช่น น้ำ ไฟฟ้า ความร้อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุดวัด: สายพานก่อนลำเลียงเข้าสู่กระบวนการสับไม่

วิธีการวัด: ชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งที่สายพาน

2. ความสะอาดของหั่วมัน

2.1 ปริมาณเหง้าที่ติดไปกับหั่วมันและจากหน่วยสับเหง้า

วัตถุประสงค์: ป้องกันเหง้าที่ติดกับหั่วมันเข้าสู่กระบวนการผลิต เนื่องจากเหง้าเป็นส่วนที่ไม่มีแป้งและมีความแข็ง ซึ่งอาจส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะปริมาณไฟฟ้าและการใช้ฟืนในเครื่องสับไม้

จุดวัด: สายพานก่อนลำเลียงเข้าสู่กระบวนการสับไม้

วิธีการวัด: ชั่งน้ำหนักเหง้าที่สับ และสังเกตปริมาณเหง้าที่ติดไปกับหั่วมัน (ภาพที่ 14 ก และ 14 ข)



ภาพที่ 14 ก การสับเหง้า



ภาพที่ 14 ข หั่วมันสำปะหลัง

2.2 ปริมาณเปลือกและดินทราย

วัตถุประสงค์: ป้องกันสิ่งเจือปนเข้าสู่กระบวนการผลิต และสามารถควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้คุณภาพ ตามที่ลูกค้าต้องการ

จุดวัด: เครื่องร่อนทราย และเครื่องล้างหั่วมัน

วิธีการวัด: ชั่งน้ำหนักเปลือกและดินทราย และสังเกตปริมาณสิ่งเจือปนที่ติดไปกับหั่วมัน (ภาพที่ 15 ก และ 15 ข)



ภาพที่ 15 ก เปลือกมันสำปะหลัง



ภาพที่ 15 ข ดินทรายจากเครื่องร่อนทราย

2.3 ปริมาณหิน

วัตถุประสงค์: ป้องกันหินเข้าสู่กระบวนการผลิต เนื่องจากจะทำให้เครื่องจักรเสียหายโดยเฉพาะหน่วยสับไม้ และอาจจะต้องหยุดกระบวนการผลิต

จุดวัด: เครื่องดักหิน (ภาพที่ 16)

วิธีการวัด: ชั่งน้ำหนักหินจากเครื่องดักหิน และตรวจสอบจากพนักงานในสายการผลิต



ภาพที่ 16 เครื่องดักหิน

จุดควบคุมและตรวจสอบ (Checklist)

จุดควบคุมและตรวจสอบ	รายละเอียด Checklist ก่อนเริ่มการผลิต	รายละเอียด Checklist ระหว่างการผลิต
รดักหัวมัน	☐ จำนวนพนักงานรดักหัวมัน ☐ การทำงานของรดัก (ปกติ/ไม่ปกติ)	☐ ปริมาณการใช้น้ำมัน ☐ สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น
ถึงปล่อยหัวมัน	☐ ความสะอาดถึงปล่อยหัวมัน ☐ การทำงานของช่องปล่อยหัวมัน ☐ ☐	☐ จำนวนการดัก (ปาก) ☐ ปริมาณหัวมันเข้ากระบวนการผลิต ☐ การดักหัวมัน (กองที่-เวลา) ☐ การหยุดซ่อมเครื่องจักร/สาเหตุ
จุดสับเหง้า	☐ จำนวนพนักงานสับเหง้า ☐ ตำแหน่งการสับเหง้า ☐ การทำงานของสายพาน (ปกติ/ไม่ปกติ)	☐ ปริมาณเหง้าที่ติดกับหัวมัน ☐ การทำงานของสายพาน (ปกติ/ไม่ปกติ) ☐
เครื่องร่อนทราย	☐ ความเร็วรอบเครื่องร่อน ☐ ขนาดรูตะแกรง ☐ ความสะอาดเครื่องร่อน ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ) ☐	☐ ความสะอาดเครื่องร่อน ☐ ปริมาณดินทรายที่ติดกับหัวมัน ☐ ปริมาณเปลือกดินที่ติดกับหัวมัน ☐ สภาพหัวมัน ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ)
เครื่องล้างหัวมัน	☐ ปริมาณน้ำสะอาด ☐ ปริมาณน้ำวน ☐ ความเร็วใบกวน ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ) ☐	☐ ปริมาณน้ำต่อหัวมัน ☐ ความสะอาดของน้ำล้าง ☐ ความสะอาดของหัวมัน ☐ ปริมาณดินทราย ☐ ปริมาณเปลือกน้ำ ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ)
เครื่องดักหิน	☐ ปริมาณหินเริ่มต้น ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ) ☐	☐ ปริมาณหินที่เข้าไปในกระบวนการผลิต ☐ การระบายหินตามช่วงเวลา ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ)

- [1] Sutherland, J.A. and Elfick, J., 2014, School of Education, University of Queensland, Cassava Project [Online], Available: <http://www.uq.edu.au>.
- [2] Diop, A. and Calverley, D.J.B., 1998, "Storage and Processing of Roots and Tubers in the Tropics", Technical notes series, Food and agricultural industries Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, p. 60.
- [3] Siroth, K. and Piyachomkwan, K., 2000, "Tapioca Starch Production Process" Starch Technology, 2nd ed., Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand.

การลดขนาด

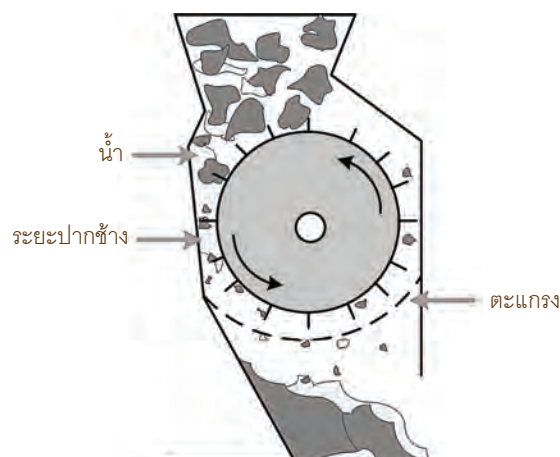
หน้าที่สำคัญของเครื่องสับโม คือ การลดขนาดหัวมันสำปะหลังให้เล็กลง หัวมันสำปะหลังที่ผ่านขั้นตอนการล้างหัวมันสำปะหลังแล้ว จะถูกลำเลียงด้วยสายพานเพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องสับหัวมันสำปะหลัง เพื่อลดขนาดหัวมันสำปะหลังให้มีขนาดเล็กลงประมาณ 1-2 นิ้ว จากนั้นหัวมันสำปะหลังขนาดเล็กจะถูกลำเลียงผ่านท่อที่มีลักษณะเป็นรูปกากบาทลงสู่เครื่องโม (ภาพที่ 17 ก) ภายในเครื่องโมมีลักษณะเป็นเครื่องหมุนคล้ายลูกกลิ้งทรงกระบอกติดใบเลื่อยขนาดเล็กจำนวนมากเพื่อทำหน้าที่ซูดหัวมันที่ตกลงมาให้เป็นชิ้นละเอียด (ภาพที่ 17 ข) เครื่องโมจะทำลายผนังเซลล์ (Cell wall) ของมันสำปะหลังให้แตก เพื่อแยกเม็ดแป้งออกมา ในระหว่างการโมมีการเติมน้ำเพื่อให้สามารถโมหัวมันได้ง่ายขึ้น โดยมากเป็นน้ำหมุนเวียนเพื่อเป็นการประหยัดน้ำและลดการสูญเสียแบ่งไปกับน้ำทิ้ง ในขั้นตอนนี้จะได้ของเหลวข้น ที่มีส่วนผสมของเม็ดแป้ง น้ำ กากมัน และสิ่งเจือปนต่าง ๆ ก่อนเข้าสู่หน่วยสกัดเพื่อแยกเม็ดแป้งต่อไป^[1]



ภาพที่ 17 ก เครื่องโมบับหัวมันสำปะหลัง

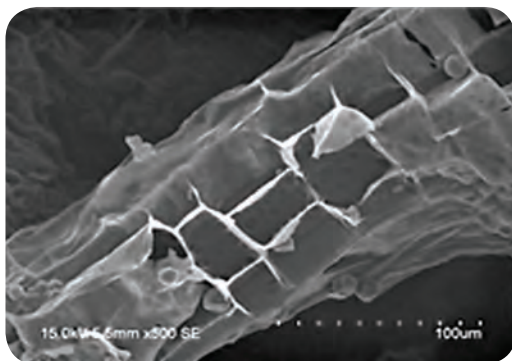


ภาพที่ 17 ข การจัดเรียงฟันใบบนลูกกลิ้งเครื่องโม

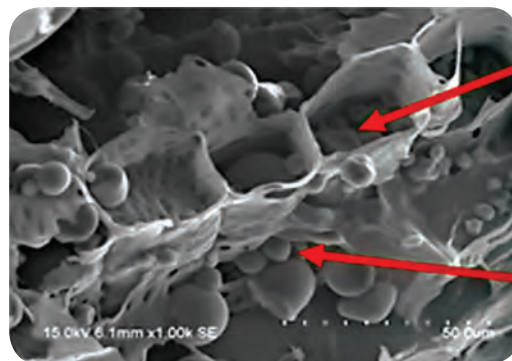


ภาพที่ 17 ค ภาพตัดขวางเครื่องโม

เม็ดแป้งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ เม็ดแป้งอิสระ คือเม็ดแป้งที่สามารถหลุดลอดออกจากเส้นใยได้และอยู่อย่างอิสระ และเม็ดที่ติดในกาก คือเม็ดแป้งที่ไม่สามารถหลุดลอดออกมาและยังคงติดอยู่กับเส้นใย (ภาพที่ 18) ด้วยเหตุผลนี้การลดขนาดมันสำปะหลังเพื่อให้เส้นใยเกิดการฉีก ส่งผลทำให้เม็ดแป้งที่ติดกับกากเหล่านี้หลุดลอดออกมาจากเส้นใยได้ ซึ่งในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีหน่วยสับไม้เพื่อลดขนาดมันสำปะหลัง และแยกเม็ดแป้งออกมาจากเส้นใย^[2]



หัวมันบด (กำลังขยาย 500 เท่า)



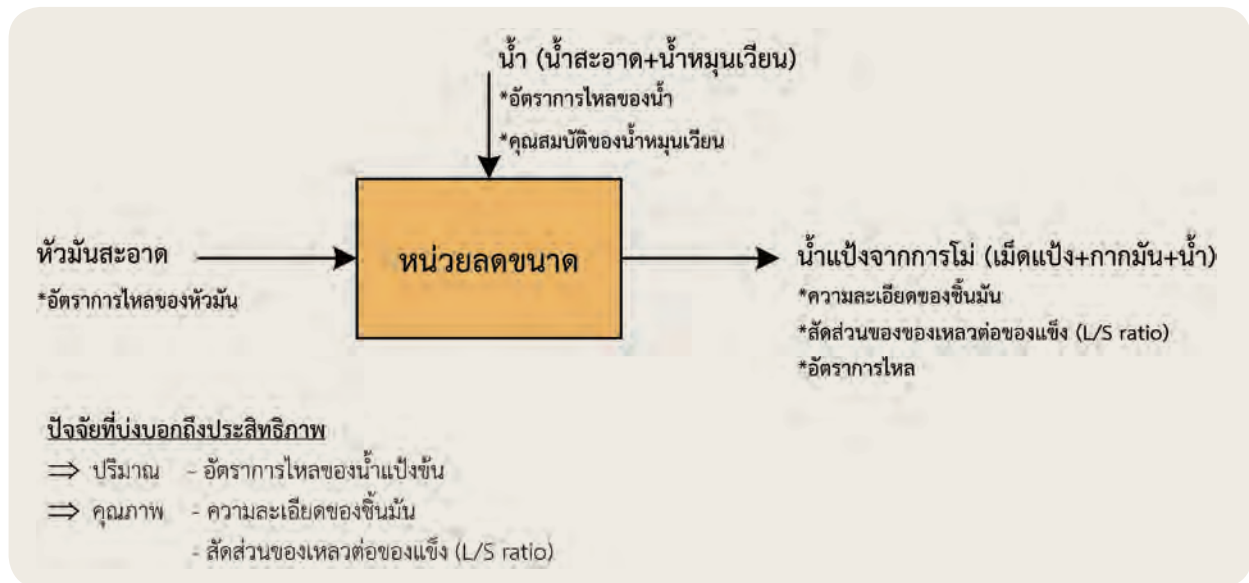
หัวมันบด (กำลังขยาย 1000 เท่า)

ภาพที่ 18 น้ำแป้งจากเครื่องมือ ประกอบด้วย เม็ดแป้ง (เม็ดแป้งอิสระและเม็ดแป้งที่ติดในกาก) กากมัน น้ำ และสิ่งเจือปนต่าง ๆ

ปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดชั้นมันบดของหัวมันสำปะหลัง^[3]

1. อัตราการป้อนหัวมันสำปะหลัง ควรต้องทำการป้อนวัตถุดิบหัวมันสำปะหลังเข้าสู่เครื่องสับไม่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งควรมีอุปกรณ์ในการป้อนลำเลียงวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เพื่อให้หัวมันสำปะหลังที่จะทำการลดขนาดลงสู่เครื่องไม่ได้อย่างสม่ำเสมอ
2. ความเร็วรอบของลูกกลิ้งสับไม้ มีความสัมพันธ์ต่อขนาดอนุภาคของชิ้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับไม้ โดยความเร็วรอบของการสับไม้สูง ส่งผลให้ได้ขนาดอนุภาคอาหารที่มีขนาดละเอียดมากขึ้น ถ้าความเร็วรอบช้าเกินไปเป็นผลให้การเสียดสีระหว่างฟันไม้กับหัวมันสำปะหลังลดลง แต่ถ้าความเร็วรอบเร็วเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องสับไม้โดยไม่จำเป็น
3. ระยะห่างหรือขนาดของฟันไม้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสับไม้ได้คือ ถ้าฟันไม้เป็นชนิดร่องถี่หรือมีความละเอียดจะได้ชิ้นมันสำปะหลังมีลักษณะละเอียด แต่อัตราการสับไม้จะลดลง ในขณะที่ถ้าฟันไม้เป็นชนิดร่องห่างจะได้ชิ้นมันสำปะหลังมีลักษณะหยาบ และอัตราการสับไม้จะเพิ่มสูงขึ้น
4. ระยะช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งสับไม้หรือระยะปากข้าง สามารถกำหนดขนาดของอนุภาคชิ้นมันสำปะหลังที่ผ่านการสับไม้ได้โดยการปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง โดยเมื่อต้องการชิ้นมันสำปะหลังที่มีขนาดเล็กก็ทำการปรับระยะระหว่างลูกกลิ้งให้มีขนาดเล็กลง และเมื่อต้องการชิ้นมันสำปะหลังที่มีขนาดใหญ่ก็ทำการปรับระยะห่างออกได้ตามต้องการ
5. ลักษณะตะแกรงและขนาดของรูเปิดบนตะแกรงด้านล่าง ซึ่งขนาดของรูตะแกรง มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการสับไม้ อัตราการผลิตขนาดอนุภาคของชิ้นมันสำปะหลังที่จะสามารถผ่านเครื่องสับไม้ เพื่อส่งไปหน่วยผลิตต่อไป หากพื้นที่เปิดของรูตะแกรงต่อแรงม้าของเครื่องบดสับไม้ไม่เพียงพอ จะส่งผลให้เกิดความร้อนระหว่างการสับไม้ และส่งผลให้ชิ้นมันสำปะหลังเกิดการลื่นออกจากเครื่องสับไม้ แต่ถ้าพื้นที่เปิดของรูตะแกรงสูง ส่งผลให้ขนาดชิ้นมันสำปะหลังหยาบ และมีเม็ดแป้งที่ติดกับกากในปริมาณมาก

แผนภาพการผลิตของหน่วยลดขนาด



1. อัตราการป้อนหัวมันสำปะหลัง

วัตถุประสงค์: ควบคุมปริมาณหัวมันที่เข้าเครื่องสับโม้ให้เหมาะสมและสม่ำเสมอ ไม่เกินกำลังการผลิตของเครื่องสับโม้ เพื่อให้ได้ชั้นมันที่เล็กละเอียดและมีความสม่ำเสมอ

จุดควบคุม: สายพานก่อนเข้ามีดสับ

วิธีการวัด: ชั่งน้ำหนักที่เครื่องซึ่งที่สายพาน หรือวัดได้จากปริมาณหัวมันที่ป้อนเข้าสู่เครื่องสับโม้ต่อเวลา (ภาพที่ 19) และสามารถปรับอัตราการป้อนหัวมันโดยปรับขนาดช่องเปิดของถังปล่อยหัวมัน



ภาพที่ 19 การป้อนหัวมันสำปะหลังเข้าเครื่องสับโม้

2. ปริมาณน้ำดีและน้ำหมุนเวียน

วัตถุประสงค์: ควบคุมปริมาณน้ำดีและน้ำหมุนเวียนให้เหมาะสมในการทำงานของเครื่องสับโม้ (น้ำช่วยให้หัวมันเคลื่อนที่ในเครื่องโม้ได้ดีขึ้น และเป็นตัวพาเมล็ดแบ่งออกมาจากหัวมันโม้) เพื่อให้ชั้นมันจากการโม้มีความละเอียดและสม่ำเสมอ รวมทั้งน้ำแบ่งหลังการโม้มีความเข้มข้นหรือสัดส่วนระหว่างของแข็งต่อของเหลวอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

จุดควบคุม: ท่อน้ำดีและน้ำหมุนเวียนที่ป้อนเข้าเครื่องโม้

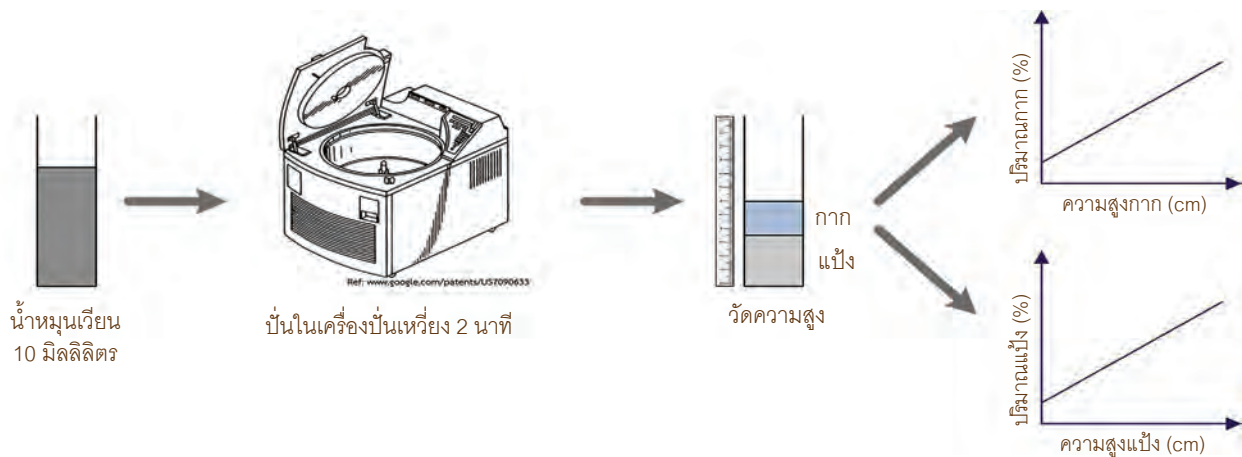
วิธีการวัด: ใช้มิเตอร์วัดปริมาณน้ำ หรือสังเกตจากความเข้มข้นของน้ำแบ่งหลังการโม้ และสามารถปรับปริมาณน้ำโดยการปรับวาล์วหรือปรับอัตราการป้อนหัวมันเข้าเครื่องสับโม้

3. สมบัติของน้ำหมุนเวียน เช่น ปริมาณแป้งหรือกาก

วัตถุประสงค์: ควบคุมสมบัติน้ำแบ่งหลังการโม้โดยเฉพาะความเข้มข้นหรือสัดส่วนระหว่างของแข็งต่อของเหลวให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และสามารถพิจารณาการใช้น้ำหมุนเวียนจากหน่วยผลิตอื่นๆ เพื่อเก็บกลับแบ่งและลดปริมาณการใช้น้ำดี

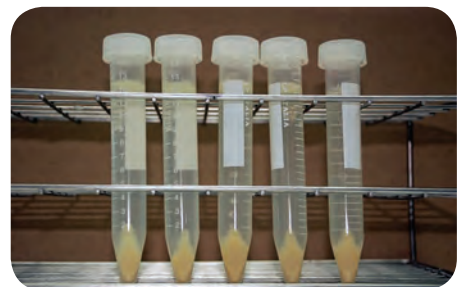
จุดควบคุม: น้ำหมุนเวียนที่ป้อนเข้าเครื่องโม้

วิธีการวัด: วัดปริมาณแป้งหรือกากในน้ำหมุนเวียน แสดงดังภาพที่ 20 ก



ภาพที่ 20 ก การวัดปริมาณแบ่งหรือกากในน้ำมันปาล์ม

- ตวงน้ำมันปาล์มปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วยหลอดปั่นเหวี่ยง (หลอดขนาด 15 มิลลิลิตร)
- ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เป็นเวลา 2 นาที
- วัดความสูงของชั้นแบ่งและชั้นกาก แสดงดังภาพที่ 20 ข
- คำนวณปริมาณแบ่งหรือกาก (%) จากความสูงชั้นแบ่งและกากโดยใช้กราฟมาตรฐาน (Calibration)



ภาพที่ 20 ข การวัดความสูงของชั้นแบ่งและชั้นกาก

การวัดประสิทธิภาพ

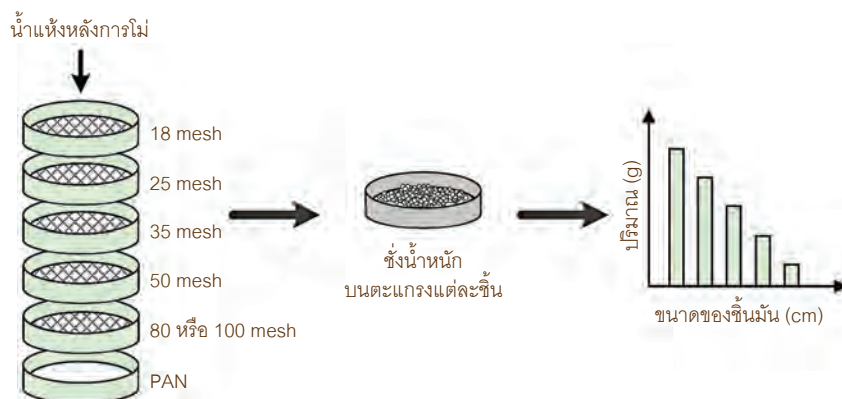
การวัดประสิทธิภาพของหน่วยลดขนาด ได้แก่ ขนาดและความสม่ำเสมอของชิ้นมันหลังการโม่ ปริมาณแบ่งอิสระและแบ่งที่ติดในกาก และสัดส่วนของแข็งต่อของเหลว โดยประสิทธิภาพของหน่วยหน่วยลดขนาดที่ดี ได้แก่ ชิ้นมันที่มีขนาดละเอียดและสม่ำเสมอ รวมทั้งความเข้มข้นของน้ำแบ่งหลังการโม่หรือสัดส่วนของแข็งต่อของเหลวต้องคงที่และเหมาะสม

1. ขนาดและความสม่ำเสมอของชิ้นมันหลังการโม่

วัตถุประสงค์: เพิ่มปริมาณเม็ดแบ่งที่ถูกแยกออกจากหัวมันสำปะหลัง เนื่องจากหน่วยลดขนาดทำหน้าที่ทำลายผนังเซลล์ (Cell wall) ของแบ่งมันสำปะหลังให้แตกออกเพื่อแยกเม็ดแบ่งออกมา โดยชิ้นมันจากการโม่ที่มีขนาดเล็กละเอียดจะมีปริมาณแบ่งที่ถูกแยกออกจากหัวมันมากกว่าชิ้นมันที่มีขนาดใหญ่

จุดวัด: น้ำแบ่งหลังการโม่

วิธีการวัด: ใช้การร่อนผ่านตะแกรงกรองขนาดต่างๆ เช่น 18, 25, 35, 50, 80, 100 mesh โดยรูตะแกรงขนาดใหญ่จะเรียงอยู่ด้านบน และเรียงตามลำดับ ขนาดและความสม่ำเสมอของชิ้นมันไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการป้อนหัวมันสำปะหลัง ความเร็วรอบลูกกลิ้งสับไม่ ลักษณะฟันไม่ ระยะปากข้างและลักษณะตะแกรงด้านล่าง (ภาพที่ 21)

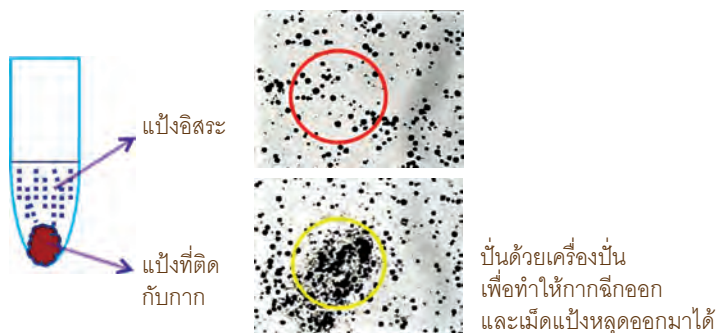


ภาพที่ 21 การวิเคราะห์ขนาดและความสม่ำเสมอของชิ้นมันหลังการโม่

2. ปริมาณแ่งอิสระและแ่งที่ติดกับกาก

วัตถุประสงค์: เพื่อเพิ่มปริมาณแ่งอิสระ (แ่งที่ถูกแยกออกจากหัวมัน) หรือ ลดปริมาณแ่งที่ติดในกาก จะสัมพันธ์กับขนาดชิ้นมันสำปะหลัง หากชิ้นมันมีขนาดเล็กจะเสียปริมาณแ่งอิสระจะสูง ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้น

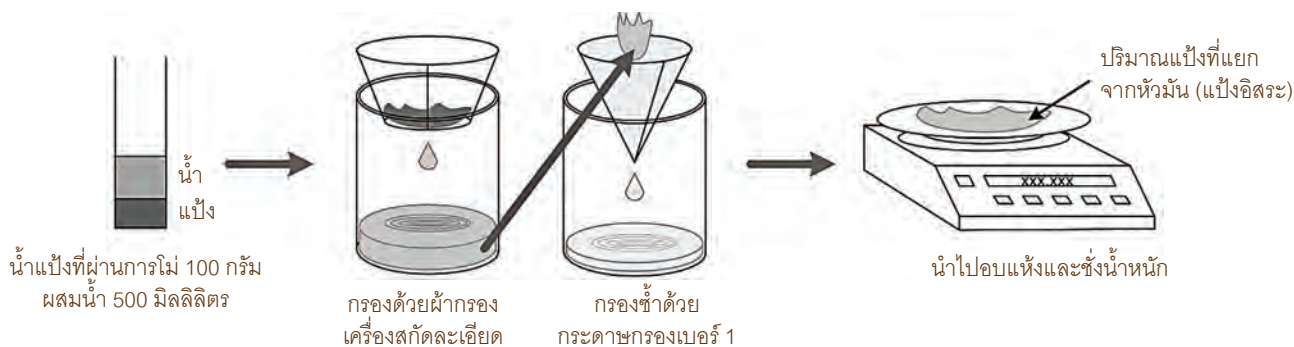
จุดวัด: น้ำแ่งหลังการไม่



ภาพที่ 22 ก การวิเคราะห์แ่งอิสระและแ่งที่ติดกับกาก

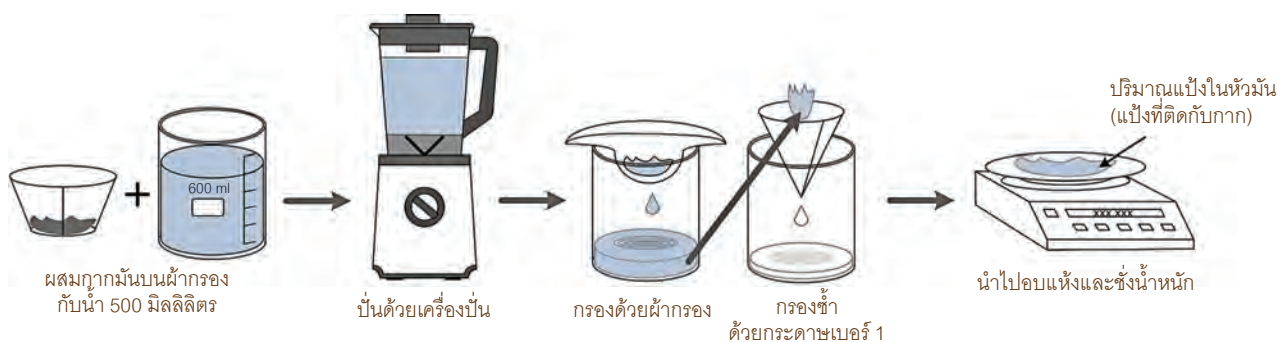
วิธีการวัด:

- เตรียมน้ำแ่งที่ผ่านการไม่บดมา 100 กรัม
- ผสมน้ำ 500 มิลลิลิตร และนำมารองด้วยผ้ากรองเครื่องสกัดละเอียด (แสดงดังภาพที่ 22 ก)
- นำน้ำส่วนที่ผ่านการกรองด้วยผ้ากรอง นำมารองซ้ำด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
- นำตัวอย่างแ่งบนกระดาษกรองเบอร์ 1 มาอบแห้ง และชั่งน้ำหนักแ่ง โดยปริมาณแ่งที่ค้างบนกระดาษกรอง คือ ปริมาณแ่งที่แยกจากหัวมัน (แ่งอิสระ) แสดงดังภาพที่ 22 ข



ภาพที่ 22 ข การวิเคราะห์ปริมาณแ่งอิสระ

- จากนั้นนำกากมันบนผ้ากรองมาผสมน้ำ 500 มิลลิลิตร มาปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ผสมเข้าด้วยกัน
- นำมารองด้วยผ้ากรอง และนำน้ำกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 มาอบแห้ง และชั่งน้ำหนักแ่งบนกระดาษกรอง โดยปริมาณแ่งที่ค้างบนกระดาษกรอง คือ ปริมาณแ่งในหัวมัน (แ่งที่ติดกับกาก)
- ประสิทธิภาพเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์จาก ปริมาณแ่งอิสระ และปริมาณแ่งที่ติดกับกาก โดยหากปริมาณแ่งอิสระมากบ่งบอกถึงประสิทธิภาพเครื่องไม่ที่สูง แสดงดังภาพที่ 22 ค



ภาพที่ 22 ค การวิเคราะห์ปริมาณแ่งที่ติดกับกาก

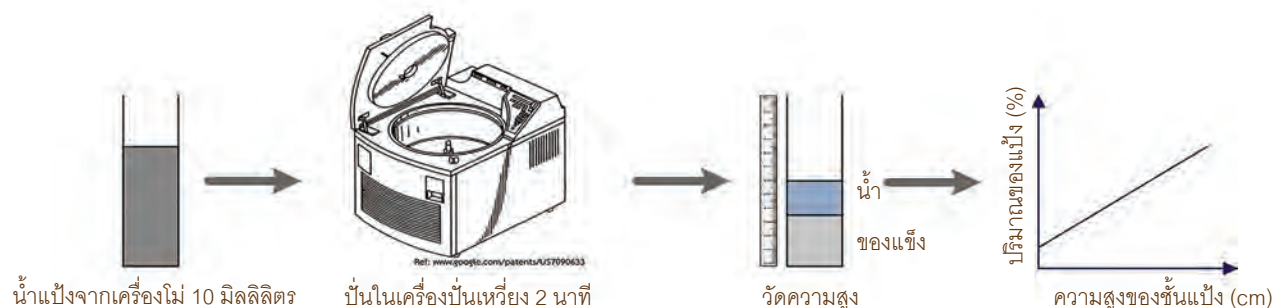
3. สัดส่วนของแข็งต่อของเหลว (Liquid-to-Solid Ratio หรือ L/S ratio)

วัตถุประสงค์: ควบคุมสัดส่วนของแข็งต่อของเหลว เนื่องจากน้ำเป็นตัวพาเม็ดแยกให้แยกออกจากหัวมันและช่วยในการโม่บด สัดส่วนของแข็งต่อของเหลวคงที่และอยู่ที่ระดับ 5.5 – 6.5 (ความเข้มข้นน้ำแป้งหลังโม่ประมาณ 15%)

จุดวัด: น้ำแป้งหลังการโม่

วิธีการวัด: (แสดงดังภาพที่ 23)

- ตวงน้ำแป้งจากเครื่องโม่ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วยหลอดปั่นเหวี่ยง (หลอดขนาด 15 มิลลิลิตร)
- ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เป็นเวลา 2 นาที
- วัดความสูงของชั้นของแข็ง จากก้นหลอดถึงความสูงของกากและชั้นแป้ง
- คำนวณปริมาณของแข็ง (%) หรือสัดส่วนระหว่างของเหลวต่อของแข็ง โดยใช้กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)
- ถ้าความสูงของชั้นของแข็งไม่ได้ตามเกณฑ์ที่โรงงานกำหนด
 - น้อยเกินไป ต้องเพิ่มอัตราการป้อนน้ำแป้งเข้า หรือลดน้ำเข้าเครื่องโม่
 - มากเกินไป ต้องลดอัตราการป้อนน้ำแป้งเข้า หรือเพิ่มน้ำเข้าเครื่องโม่



ภาพที่ 23 การวิเคราะห์สัดส่วนของแข็งต่อของเหลว

จุดควบคุมและตรวจสอบ (Checklist)

จุดควบคุมและตรวจสอบ	รายละเอียด Checklist ก่อนเริ่มการผลิต	รายละเอียด Checklist ระหว่างการผลิต
มิดสับ	☐ ตำแหน่งมิดสับ ☐ การทำงานของมิดสับ (ปกติ/ไม่ปกติ)	☐ ความลื่นของมิดสับ ☐ การทำงานของมิดสับ (ปกติ/ไม่ปกติ)
เครื่องโม่	☐ ความเร็วรอบเครื่องโม่ ☐ ความสูง/ขนาด/ระยะห่างของฟันโม่ ☐ ระยะปากข้าง ☐ ขนาด/ลักษณะตะแกรงกรอง ☐ ความสะอาดของเครื่อง ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ)	☐ อัตราการป้อนมันสำปะหลัง ☐ การเปลี่ยนฟันโม่ (เครื่องที่-เวลา) ☐ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ☐ การทำงานของเครื่องโม่ (ล้น/ไม่ล้น) ☐ จุดตรวจแม่เหล็ก ☐
น้ำแป้งจากการโม่	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ขนาดชั้นมันโม่ ☐ ปริมาณแป้งอิสระ ☐ ปริมาณแป้งที่ติดในกาก ☐ สัดส่วนของเหลวต่อของแข็ง
ท่อน้ำดี/น้ำหมุนเวียน	☐ ☐ ☐	☐ ปริมาณน้ำดีที่ใช้ ☐ ปริมาณน้ำหมุนเวียนที่ใช้ ☐ สมบัติน้ำหมุนเวียน

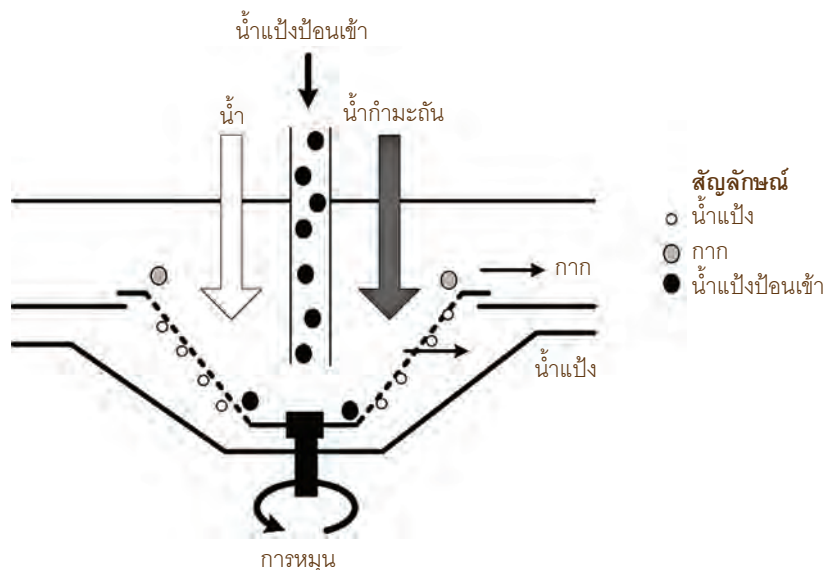
- [1] Sriroth, K. and Piyachomkwan, K., 2000, "Tapioca Starch Production Process" Starch Technology, 2nd ed., Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand.
- [2] Saengchan, K., Noparatana, M., Lerdlattaporn, R. and Songkasiri, W. Enhancement of starch–pulp separation in centrifugal–filtration process: Effects of particle size and variety of cassava root on free starch granule separation. Food and Bioproducts Processing. 2015 (95), 208 – 217.
- [3] Sinprasert, K., Pimsamam, J., Saengchan, K. and Songkasiri, W. "Effects of rotational speed, number of saw blade and height of saw blade teeth on rasper performance in cassava starch production process." The 4th TIChE International Conference 2014 "Changes: Cleaner Energy, Leaner Processes, Better Living", Furama Hotel, Chiangmai, Thailand, December 18 – 19, 2014.

การสกัด

เครื่องสกัดแบ่ง หรือ “เทอร์โบ” หรือ “หม้อกรอง” เป็นเครื่องจักรที่ใช้แยกน้ำแบ่งออกจากเส้นใยและกาก น้ำแบ่งที่ได้จากเครื่องนี้จะถูกบ้อนเข้าสู่เครื่องสกัดน้ำแบ่งหรือเครื่องสกัดหยาบซึ่งมีลักษณะเป็นตะกร้ากรองที่อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยน้ำแบ่งจะถูกบ้อนเข้าทางตอนบนของเครื่อง และมีการฉีดน้ำอย่างสม่ำเสมอเพื่อช่วยในการแยกเม็ดแบ่งออกจากหัวมันสำปะหลังไม่ แรงเหวี่ยงจะทำให้เม็ดแบ่งซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็กสามารถผ่านการกรองลงถึงรวม ส่วนกากมันจะถูกเหวี่ยงออกทางตอนบนของเครื่องสกัดก่อนบ้อนเข้าสู่เครื่องสกัดกากและอัดกาก ภายในเครื่องสกัดมีลักษณะเป็นตะกร้ากรองทรงหงายเจาะรู และหมุนโดยใช้มอเตอร์ (ภาพที่ 24 ก และ 24 ข) เครื่องสกัดแบ่งตามหน้าที่การกรองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดสกัดหยาบ (Coarse Extractor) และชุดสกัดละเอียด (Fine Extractor) น้ำแบ่งจากการไม่จะถูกบ้อนเข้าสู่ชุดสกัดหยาบเพื่อแยกกากหยาบออกแล้วจึงเข้าสู่ชุดสกัดละเอียดเพื่อแยกกากอ่อน กากหยาบและกากอ่อนที่ได้จะถูกเหวี่ยงออกทางด้านบนของตะกร้ากรองแล้วเข้าสู่เครื่องสกัดชุดสกัดกากและเครื่องอัดกากต่อไป^[1]



ภาพที่ 24 ก เครื่องสกัดแบบตะกร้ากรองทรงหงาย (เครื่องเทอร์โบ)



ภาพที่ 24 v เครื่องสกัดแบบตะแกรงกรองทรงกรวย (เครื่องเทอร์โบ)

เครื่องสกัดหยาบมีตะแกรงกรองเป็นสแตนเลส ขนาดรูกรอง 70-90 mesh ใช้มอเตอร์ขนาด 7.5 แรงม้า มีการใช้น้ำช่วยในการสกัดแป้งออกจากกากหยาบ ส่วนเครื่องสกัดละเอียดตะแกรงกรองเป็นสแตนเลสมีรูกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 ซม. และใช้ผ้ากรองไนลอนทรงกรวยเหมือนตะแกรงกรองวางด้านบนแล้วยึดด้วยสายรัดโลหะ ผ้ากรองที่ใช้มีขนาดรูกรองสองแบบคือ 100-120 mesh และ 140-200 mesh ในขั้นตอนนี้มีการใช้น้ำกำมะถันและน้ำดีช่วยในการสกัดแป้งจากกาก น้ำกำมะถันช่วยกำจัดการเกิดเมือกที่อุดตันแผ่นกรอง ป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียแป้งจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์และช่วยฟอกสีแป้งให้ขาว^[1]

หน้าที่ของเครื่องสกัด^[2]

หน่วย	หน้าที่สำคัญ
การสกัดหยาบ	1. แยกเม็ดแป้งอิสระ (Free starch) ที่ได้จากเครื่องโม่ ออกจากน้ำแป้ง 2. แยกเม็ดแป้งที่ติดในหัวมันโม่ (Bound starch) ให้หลุดเพิ่มออกมา ** เรียกเม็ดแป้งนี้ว่า “เม็ดแป้งกึ่งอิสระ (Semi-bound starch)”
การสกัดละเอียด	แยกโปรตีนและกากอ่อนออกจากน้ำแป้ง
การสกัดกาก	แยกน้ำแป้งออกจากกาก

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสกัด^[3]

1. ความเร็วรอบของเครื่องสกัด:

ความเร็วรอบของเครื่องสกัดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการสกัดแป้งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเร็วรอบมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งประสิทธิภาพการสกัดจะเริ่มลดลง เพราะความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำแป้งมีเวลาอยู่ในเครื่องสกัดลดลงและไหลไปกับกากออกมากขึ้น ทำให้การสกัดแป้งเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์

2. การดัดน้ำบนตะแกรงกรอง:

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องสกัดคือการอุดตันของตะแกรงกรอง ซึ่งมีผลให้อัตราการไหลของน้ำแป้งขาออกลดลง สิ่งที่โรงงานต้องให้ความสำคัญ คือ การพยายามไม่ให้มีการสะสมตัวของกากบนตะแกรงกรองหรือทำให้กากมีการฟุ้งกระจายเพื่อให้เม็ดแป้งสามารถแยกออกจากกากได้ดีขึ้น ซึ่งปัจจัยหลักการดัดน้ำเข้าเครื่องสกัด คือ ความถี่ของการฉีด ปริมาณและความเร็วของน้ำฉีด รวมทั้งมุมการฉีดน้ำบนตะแกรงกรอง

3. สัดส่วนระหว่างของเหลวต่อของแข็งหรือความเข้มข้นของน้ำแป้งเข้าเครื่องสกัด:

ประสิทธิภาพการสกัดแป้งจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่ใช้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถแยกเม็ดแป้งออกจากกากสูงชัน แต่โรงงานจำเป็นต้องควบคุมการใช้น้ำในหน่วยสกัดโดยพิจารณาถึงความเข้มข้นของน้ำแป้งขาออกให้อยู่ตามเกณฑ์ที่โรงงานควบคุม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ปริมาณน้ำในเครื่องสกัดอย่างเพียงพอต่อการแยกเม็ดแป้งออกมาจากกาก แต่ต้องไม่ทำให้น้ำแป้งขาออกเจือจางมากเกินไป เพราะมีผลต่อสมบัติของน้ำแป้งขาเข้าหน่วยผลิตถัดไป

4. ขนาดชั้นมันบดหลังการม่ก่อนเข้าเครื่องสกัด:

ขนาดของชั้นมันบดสำหรับหลังบดที่มีขนาดเล็กทำให้ประสิทธิภาพการสกัดแป้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการม่ทำให้ชั้นมันมีขนาดเล็กลง กากหรือเยื่อใยเกิดการฉีกออก และเม็ดแป้งที่อยู่ในเยื่อใยหลุดออกมาได้มากกว่าชั้นมันขนาดใหญ่ แต่การม่ชั้นมันให้มีขนาดเล็กมาก ส่งผลให้การใช้พลังงานในการม่สูง ปริมาณกากอ่อนในผลิตภัณฑ์สุดท้ายสูง และเม็ดแป้งอาจแตกเสียหายได้

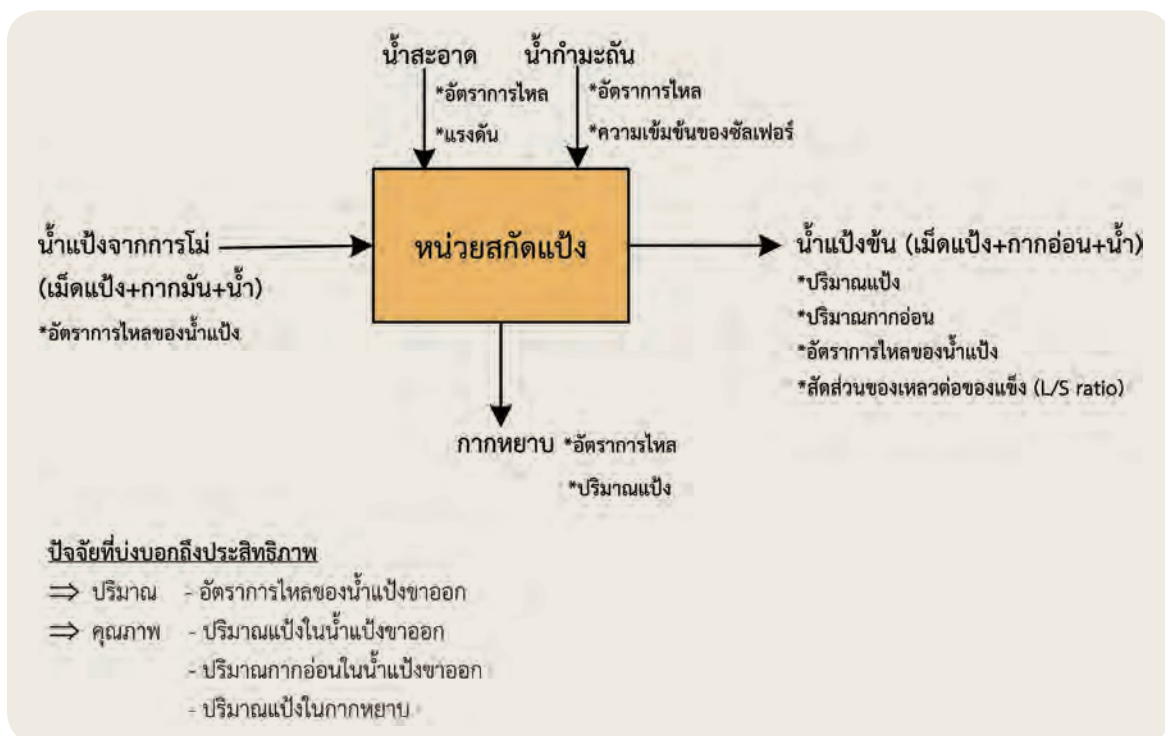
5. รูปร่างของตะแกรกรอง:

การใช้ตะแกรกรองแบบพื้นผิวคลื่นจะช่วยชะลอการเคลื่อนที่ของกาก ทำให้มีประสิทธิภาพการลดน้ำของกากมากกว่าผิวเรียบแต่จะเกิดการอุดตันของกากบริเวณรอยคลื่น ทำให้ประสิทธิภาพการเก็บกลับแป้งลดลง

6. ขนาดรูของตะแกรงกรอง:

รูตะแกรงขนาดใหญ่ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำแป้งขาออกสูงชันเนื่องจากรูตะแกรงขนาดใหญ่จะมีการอุดตันน้อยกว่า แต่ปริมาณกากในน้ำแป้งจะสูงขึ้น

แผนภาพการผลิตของหน่วยสกัดแป้ง



1. อัตราการป้อนน้ำแป้งเข้าเครื่องสกัด

วัตถุประสงค์: ควบคุมอัตราการไหลของน้ำแป้งเข้าเครื่องสกัดให้เหมาะสมและสม่ำเสมอ ไม่เกินกำลังการผลิตของเครื่องจักร

จุดควบคุม: ท่อป้อนน้ำแป้งเข้าเครื่องสกัด

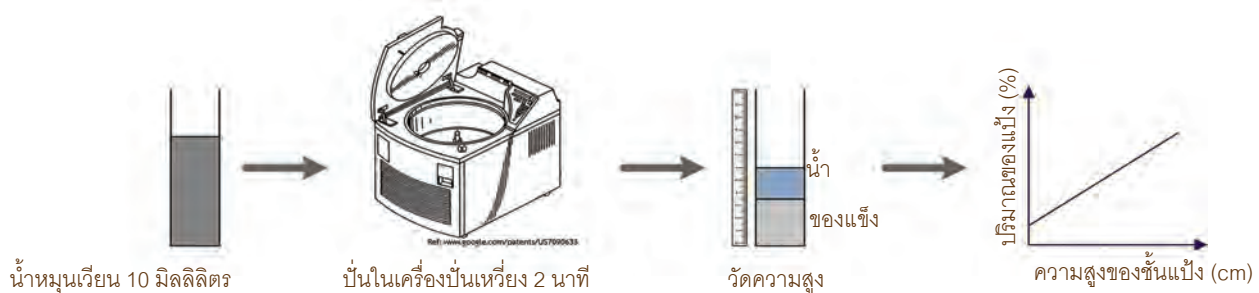
วิธีการวัด: ใช้มิเตอร์วัดปริมาณน้ำแป้ง และสามารถปรับอัตราการป้อนน้ำแป้งโดยการปรับวาล์ว

2. สัดส่วนของแข็งต่อของเหลว

วัตถุประสงค์: ควบคุมสัดส่วนของแข็งต่อของเหลว เนื่องจากน้ำเป็นตัวพาเม็ดแยกให้แยกออกจากหัวมันและช่วยในการสกัด สัดส่วนของแข็งต่อของเหลวคงที่และอยู่ที่ระดับ 5.5-6.5 (ความเข้มข้นน้ำแป้งหลังไม่ประมาณ 15%)

จุดควบคุม: ท่อป้อนน้ำแป้งเข้าเครื่องสกัด

วิธีการวัด: (แสดงดังภาพที่ 25)



ภาพที่ 25 การวิเคราะห์สัดส่วนของแข็งต่อของเหลวในน้ำแป้งที่เข้าเครื่องสกัด

3. ปริมาณและแรงดันน้ำฉีดบนตะแกรงกรอง

วัตถุประสงค์: ควบคุมปริมาณและแรงดันน้ำฉีดบนตะแกรงกรองให้เหมาะสม เนื่องจากน้ำที่ฉีดบนตะแกรงกรอง จะช่วยลดการอุดตันของกากบนตะแกรงกรอง ทำให้กากเกิดการฟุ้งกระจาย และเม็ดแป้งผ่านชั้นกากและตะแกรงกรองได้ดีขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสกัดแป้งดีขึ้น

จุดควบคุม: ท่อน้ำฉีด

วิธีการวัด: วัดจากเกจวัดความดันที่ติดตั้งที่ท่อน้ำฉีด และพิจารณาความถี่และระยะเวลาในการฉีดที่เหมาะสม

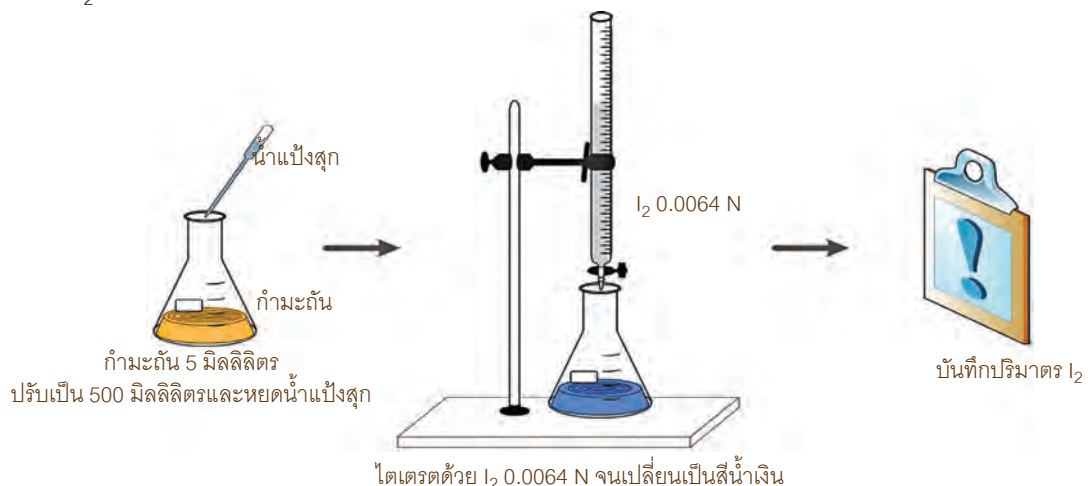
4. ปริมาณและความเข้มข้นของน้ำกำมะถัน^[1]

วัตถุประสงค์: ควบคุมปริมาณการเติมกำมะถันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ กำมะถันที่ใช้ในหน่วยสกัด มีหน้าที่ป้องกันการอุดตันของตะแกรงจากเมือกโปรตีน ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์และฟอกสีแป้งให้ขาว แต่การเติมกำมะถันมากเกินไป มีผลเสียต่อผลิตภัณฑ์แป้ง คือ ความหนืดและการฟองตัวลดลง รวมทั้งมีผลต่อสุขภาพผู้บริโภคอีกด้วย

จุดวัด: ท่อน้ำกำมะถัน

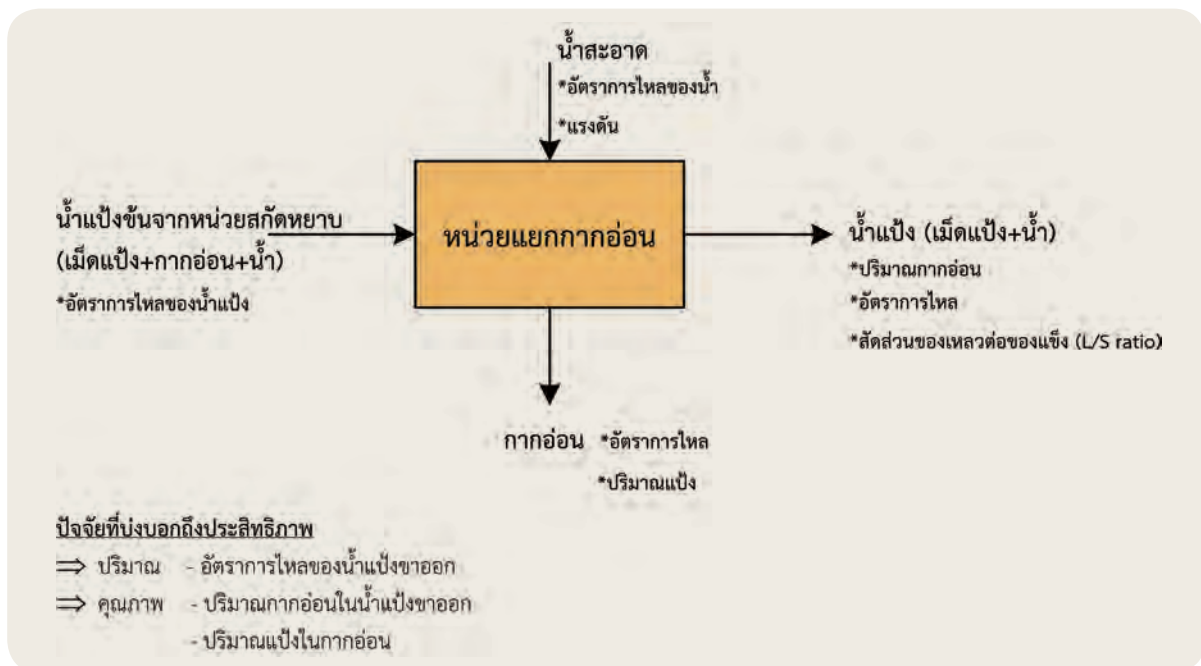
วิธีการวัด: วัดปริมาณได้จากมิเตอร์วัดปริมาตรน้ำ ส่วนความเข้มข้นใช้การไทเทรตกับไอโอดีนหรือวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ด้วยมิเตอร์วัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) แสดงดังภาพที่ 26

- ใช้น้ำกำมะถัน 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร 500 มิลลิลิตร
- หยดน้ำแป้งสุกเป็นอินดิเคเตอร์
- ไทเทรตด้วย I_2 0.0064 N จนเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน
- บันทึกปริมาตร I_2 ที่ใช้และคำนวณหาปริมาณกำมะถันที่ตกค้าง



ภาพที่ 26 การวิเคราะห์ปริมาณและความเข้มข้นของน้ำกำมะถัน

แผนภาพการผลิตของหน่วยแยกกากอ่อน



การวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพของหน่วยสกัด ได้แก่ ความเข้มข้นน้ำแป้งขาออก ปริมาณกากในน้ำแป้งขาออก และปริมาณแป้งในสายกาก โดยประสิทธิภาพของหน่วยสกัดที่ดี ได้แก่ น้ำแป้งขาออกมีความเข้มข้นเหมาะสม มีปริมาณแป้งสูงและมีกากอ่อนน้อย ส่วนสายกากมีปริมาณแป้งที่สูญเสียน้อย

$$\text{ประสิทธิภาพของหน่วยสกัด} = \frac{\text{ความเข้มข้นแป้งในน้ำแป้งขาออก} \times \text{อัตราการใช้ของน้ำแป้งขาออก}}{\text{ความเข้มข้นแป้งในน้ำแป้งขาเข้า} \times \text{อัตราการใช้ของน้ำแป้งขาเข้า}} \times 100$$

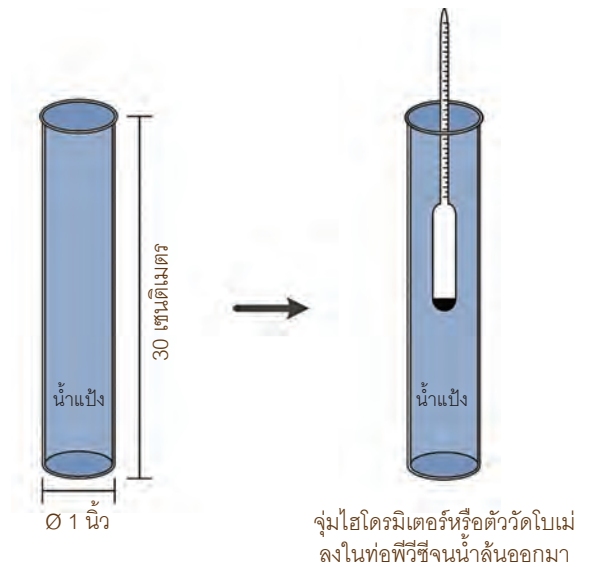
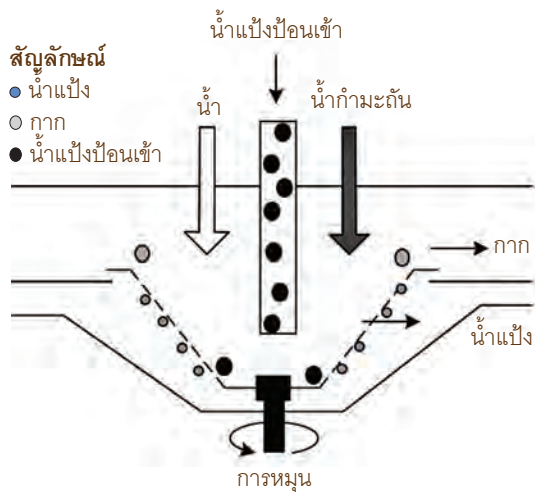
1. ความเข้มข้นน้ำแป้งขาออก

วัตถุประสงค์: ความเข้มข้นน้ำแป้งขาออกสะท้อนถึงประสิทธิภาพการสกัด น้ำแป้งขาออกต้องมีปริมาณแป้งสูง และมีความเข้มข้นประมาณ 5-7 โบเม

จุดวัด: น้ำแป้งขาออก

วิธีการวัด: (แสดงดังภาพที่ 27)

- ตวงน้ำแป้งขาออกเครื่องสกัดลงในท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว สูง 30 ซม.
- จุ่มไฮโดรมิเตอร์หรือตัววัดโบเมลงในท่อพีวีซี จนน้ำล้นออกมา
- รอจนระดับน้ำคงที่และอ่านค่าโบเมที่ได้ (ปกติอยู่ระหว่าง 5-6 โบเม หรือแล้วแต่เกณฑ์ของโรงงาน)
- * ถ้าค่าโบเมหรือความเข้มข้นของน้ำแป้งขาออกไม่ได้ตามข้อกำหนด
 - ต่ำกว่า 5 โบเม ต้องลดการนำฉีดเข้าเครื่องเทอร์โบ
 - สูงกว่า 6 โบเม ต้องเพิ่มการนำฉีดเข้าเครื่องเทอร์โบ



ตวงน้ำแป้งจากเครื่องสกัดลงในท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว สูง 30 เซนติเมตร

ภาพที่ 27 การวิเคราะห์ความเข้มข้นน้ำแป้งขาออก

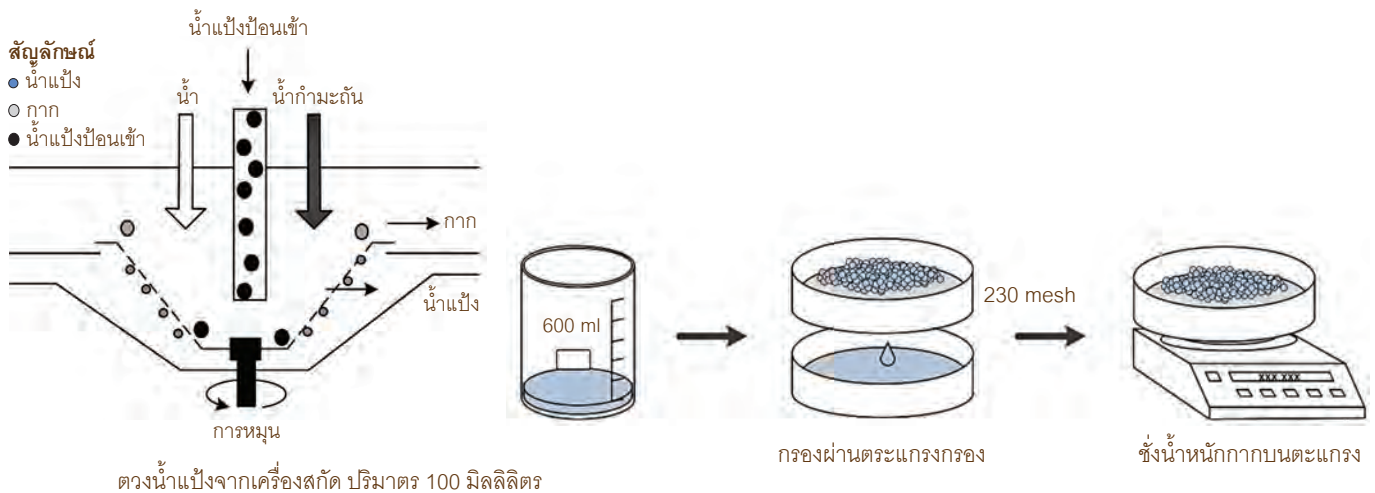
2. ปริมาณกากในน้ำแป้งขาออก

วัตถุประสงค์: วัดประสิทธิภาพการแยกกากออกจากน้ำแป้ง โดยน้ำแป้งขาออกต้องมีปริมาณกากน้อย

จุดวัด: น้ำแป้งขาออก

วิธีการวัด: (แสดงดังภาพที่ 28)

- ตวงน้ำแป้งจากเครื่องสกัด ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- กรองผ่านตะแกรงกรองขนาด 230 mesh
- ชั่งน้ำหนักกากที่ตกค้างบนผ้ากรอง



ภาพที่ 28 การวิเคราะห์ปริมาณกากในน้ำแป้งขาออก

3. ปริมาณแป้งในกาก

วัตถุประสงค์: ปริมาณแป้งในกากสะท้อนถึงประสิทธิภาพการสกัดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นน้ำแป้งขาออก กากมันจากเครื่องสกัดต้องมีปริมาณแป้งในกากน้อยหรือมีการสูญเสียแป้งไปกับสายกากน้อย

จุดวัด: กากมันจากเครื่องสกัด

วิธีการวัด: (แสดงดังภาพที่ 29)

- ชั่งกากมันที่ออกจากเครื่องสกัด ด้วยเครื่องชั่ง จำนวน 200 กรัม สำหรับวิเคราะห์
- นำกากมัน 200 กรัม ผสมน้ำ 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นรวมกันด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้

- นำมากรองด้วยผ้าขาวบางหรือตะแกรงขนาด 250 mesh
 - นำส่วนน้ำแป้งที่ผ่านการกรองมา 10 มิลลิลิตร ใส่หลอดปั่นเหวี่ยง (หลอดขนาด 15 มิลลิลิตร)
 - บั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เป็นเวลา 2 นาที
 - วัดความสูงทั้งหมดของแป้ง (เฉพาะส่วนที่เป็นสีขาว) ตั้งแต่กันหลอดแล้วบันทึกผล โดยความสูงของชั้นแป้ง
- * ถ้าความสูงของชั้นแป้งเกินกว่าค่าที่กำหนด ต้องลดอัตราการป้อนน้ำแป้งเข้าหรือเพิ่มการฉีดน้ำเข้าเครื่องสกัด



ภาพที่ 29 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งในกาก

จุดควบคุมและตรวจสอบ (Checklist)

จุดควบคุมและตรวจสอบ	รายละเอียด Checklist ก่อนเริ่มการผลิต	รายละเอียด Checklist ระหว่างการผลิต
เครื่องสกัด	☐ ความเร็วรอบเครื่องสกัด ☐ ขนาด/ลักษณะตะแกรงและผ้ากรอง ☐ ความสะอาดของเครื่องและตะแกรง ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ)	☐ อัตราการป้อนน้ำแป้ง ☐ การทำงานของเครื่องสกัด (ล้น/ไม่ล้น) ☐ การอุดตันของผ้ากรอง ☐ การล้างตะแกรงเครื่องสกัด
น้ำแป้งขาออก	☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ อัตราการไหลของน้ำแป้ง ☐ ความเข้มข้น (โบเม) ☐ สัดส่วนของเหลวต่อของแข็ง ☐ ปริมาณแป้ง ☐ ปริมาณกาก
กากมัน	☐ ☐ ☐	☐ อัตราการไหลของกาก ☐ ปริมาณแป้งในกาก ☐ ความชื้นของกาก
ท่อน้ำดี/น้ำหมุนเวียน	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ปริมาณน้ำดีที่ใช้ ☐ ปริมาณน้ำหมุนเวียนที่ใช้ ☐ สมบัติน้ำหมุนเวียน ☐ แรงดันและความถี่การฉีดน้ำ
น้ำกำมะถัน	☐ ระบบผลิตน้ำกำมะถัน ☐ ความเข้มข้นน้ำกำมะถัน ☐ ปริมาณน้ำกำมะถันในถังพัก	☐ ปริมาณน้ำกำมะถันที่ใช้ ☐ ความเข้มข้นน้ำกำมะถัน ☐

- [1] Sriroth, K. and Piyachomkwan, K., 2000, "Tapioca Starch Production Process" Starch Technology, 2nd ed., Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand.
- [2] Saengchan, K., Nopharatana, M., Lerdlattaporn, R. and Songkasiri, W. Enhancement of starch-pulp separation in centrifugal-filtration process: Effects of particle size and variety of cassava root on free starch granule separation. Food and Bioproducts Processing. 2015 (95), 208 – 217.
- [3] Saengchan, K., Nopharatana, M. and Songkasiri, W. Recovery of tapioca starch from pulp in a conical basket centrifuge—Effects of rotational speed and liquid to solid (L/S) ratio on cake formation and starch-pulp separation efficiency. Separation and Purification Technology. 2014 (127), 192 – 201.

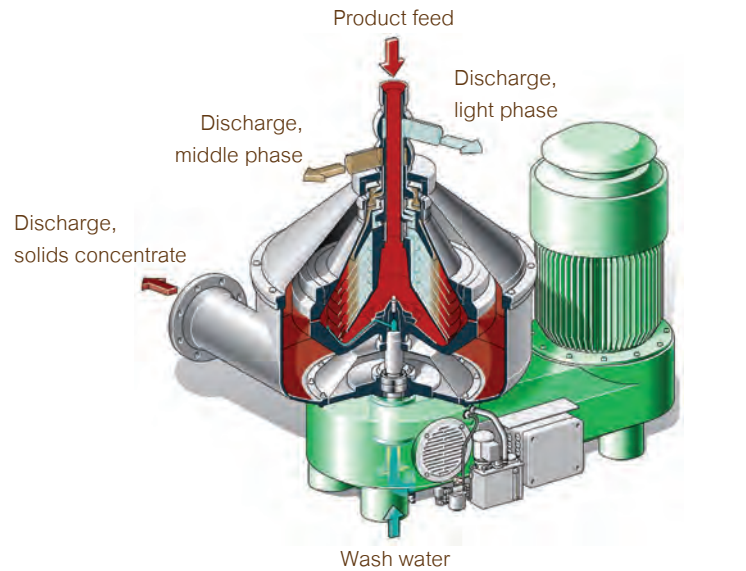
การเพิ่มความเข้มข้นและทำความสะอาด

ในกระบวนการผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง หนึ่งในหน่วยผลิตที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก คือ หน่วยแยก มีหน้าที่ทำให้น้ำแบริ่งมีความเข้มข้นและความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น รวมทั้งส่งผลต่อการสูญเสียแบริ่งในน้ำเสียอีกด้วย โดยทั่วไปเครื่องจักรที่ใช้ในหน่วยแยกของการผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง คือ เครื่องแยกหรือไฮโดรไซโคลน

เครื่องเหวี่ยงแยก

สำหรับเครื่องแยกแต่ละชุดจะมีการเติมน้ำสะอาดเพื่อไปละลายสารประกอบโปรตีน กำมะถัน รวมทั้งสิ่งเจือปนอื่นๆ ให้ออกมาพร้อมกับสายน้ำเสียของเครื่องแยก ส่งผลให้น้ำแบริ่งหลังผ่านกระบวนการเหวี่ยงแยกมีความสะอาดและบริสุทธิ์มากขึ้น เครื่องแยกมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ จานหมุนที่วางคว่ำซ้อนกันที่แกนกลาง มอเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการหมุน โดยมีท่อป้อนน้ำแบริ่งเข้าทางด้านบน และท่อทางออกสำหรับน้ำแบริ่งชั้น (Heavy phase) และน้ำทิ้ง (ส่วน Medium phase และ Light phase) แสดงดังภาพที่ 30

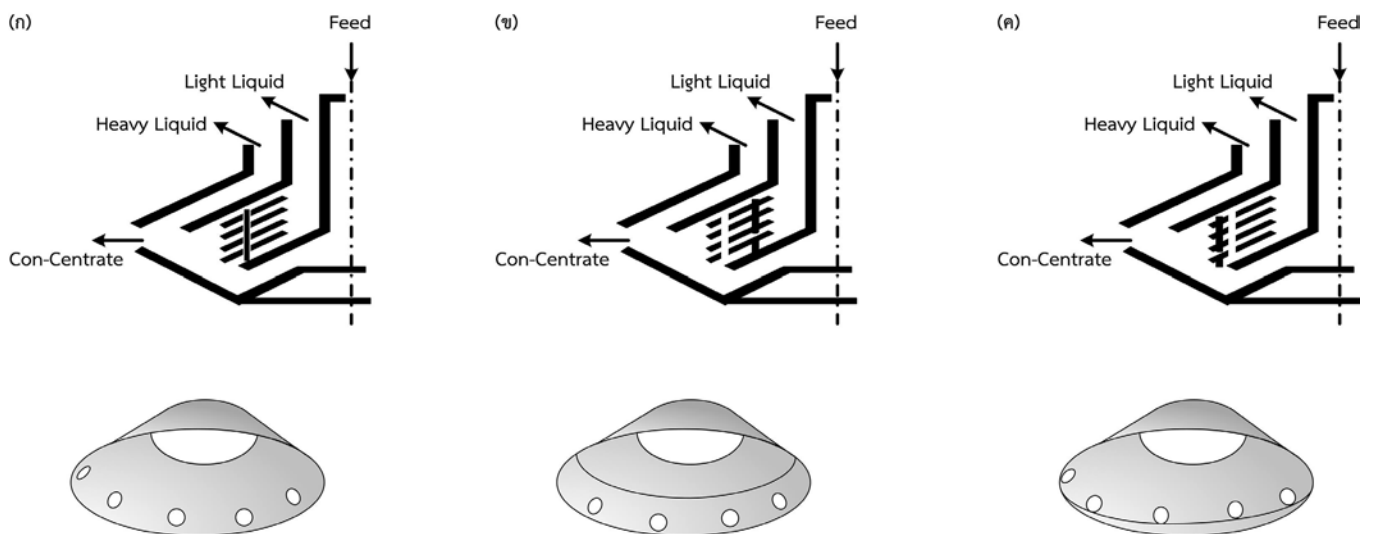
หลักการทำงานของเครื่องเหวี่ยงแยก คือ น้ำแบริ่งจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องแยกเข้ามาตามแกนหมุนของเครื่อง ซึ่งน้ำแบริ่งจะถูกเหวี่ยงออกไปตามความเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นระหว่างที่เครื่องเหวี่ยงแยกทำงาน ภายใต้อิทธิพลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ของแข็งที่มีน้ำหนักมากกว่าจะถูกเหวี่ยงให้ออกจากจานหมุนไปรวมกันที่ขอบด้านนอกของเครื่องเหวี่ยงแยกเกิดเป็นชั้นของแบริ่งชั้น ในขณะที่เฟสของเหลวจะไหลขึ้นข้างบน ทำให้เกิดการแยกชั้นขึ้นระหว่างเฟสที่หนักคือแบริ่ง และเฟสที่เบากว่าคือน้ำ ชั้นของแบริ่งชั้นจะถูกระบายออกจากเครื่องแยกโดยหัวฉีด (Nozzle) ซึ่งขนาดและจำนวนของหัวฉีดอาจแตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่อง หัวฉีดเหล่านี้จำเป็นต้องมีน้ำสะอาดคอยฉีดเพื่อป้องกันการอุดตันอยู่เสมอ ดังนั้นจำนวนและขนาดของหัวฉีด อัตราการไหลของน้ำแบริ่งเข้า และปริมาณน้ำที่ฉีดให้กับหัวฉีด จึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกแบริ่งของเครื่องเหวี่ยงแยกทั้งสิ้น^[1, 2]



ที่มา: <http://fuyiseparator.en.made-in-china.com/>

ภาพที่ 30 เครื่องเหวี่ยงแยก

การสูญเสียแบ่งไปกับน้ำเสียของเครื่องแยก ขึ้นอยู่กับการเกิดชั้นอินเตอร์เฟสจากแรงหมุนเหวี่ยงของเครื่องแยก ซึ่งระยะของอินเตอร์เฟสที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบและการเดินเครื่องแยก ภาพที่ 31 ก แสดงระยะอินเตอร์เฟสที่เหมาะสม และมีการแยกได้ดี เฟสเบาและเฟสหนักแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน คือมีอินเตอร์เฟสตรงกันกับรูบนจานแยกพอดี เฟสเบาในที่นี้คือส่วนของน้ำทิ้ง และเฟสหนักคือน้ำแบ่งชั้น ภาพที่ 31 ข แสดงการเหลื่อมของเฟสหนักเข้าไปในเฟสเบาทำให้เกิดการแยกได้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากมีเฟสหนักติดไปกับเฟสเบา ซึ่งส่งผลให้มีแบ่งหลุดติดไปกับน้ำเสีย กรณีนี้เกิดจากหัวฉีดมีขนาดเล็กเกินไปหรืออัตราการไหลขาเข้ามากเกินไป ส่วนภาพที่ 31 ค แสดงเฟสเบาเหลื่อมเข้าไปในเฟสหนักทำให้ความเข้มข้นขาออกของน้ำแบ่งชั้นไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งการเลื่อนของอินเตอร์เฟสกรณีนี้มีผลมาจากอัตราการไหลขาเข้าน้อยเกินไปหรือหัวฉีดมีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้น สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องเหวี่ยงแยก คือการทำให้ชั้นของอินเตอร์เฟสอยู่ในตำแหน่งที่ตรงกับรูเจาะของจาน ซึ่งต้องใช้ขนาดหัวฉีดและอัตราการไหลของแบ่งขาเข้าที่เหมาะสม^[1, 2]



ภาพที่ 31 การเกิดอินเตอร์เฟสที่ระยะต่าง ๆ ของจานแยกแบบมีรูเจาะ

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องเหวี่ยงแยก^[2]

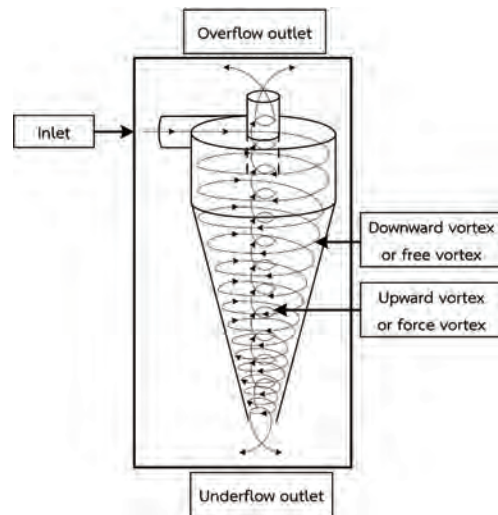
ความเร็วรอบ: ความเร็วรอบสูงส่งผลให้เพิ่มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทำให้แยกแป้งออกจากน้ำได้ดีขึ้น

ความสะอาดของจานหมุน: ความสะอาดของจานหมุนส่งผลต่อประสิทธิภาพของการแยก โดยถ้าจานสกปรก หรือมีเมือกมาเกาะมาก จะทำให้ขบวนการแยก อนุภาคแป้งไม่สามารถแยกออกจากน้ำได้ ประสิทธิภาพของการแยกจึงลดลง

ขนาดของหัวฉีด หรือ nozzle: หัวฉีดมีขนาดใหญ่จะทำให้ได้น้ำแป้งชั้นออกมาปริมาณมาก แต่จะมีน้ำหลุดรอดออกมาด้วยเช่นเดียวกัน ส่งผลให้ความเข้มข้นขาออกของน้ำแป้งลดลง ส่วนหัวฉีดที่มีขนาดเล็ก จะสามารถเพิ่มความเข้มข้นขาออกของน้ำแป้งได้ดี แต่ปริมาณน้ำแป้งที่ได้ลดลงและหัวฉีดเกิดการอุดตันได้ง่าย

อัตราการไหลของน้ำแป้งเข้า: อัตราการป้อนน้ำแป้งมากเกินไป จะทำให้เกิดการเหวี่ยงที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีน้ำแป้งส่วนหนึ่งล้นออกมา ก่อนที่จะถูกเหวี่ยงแยก ขณะเดียวกันถ้าอัตราการป้อนน้ำแป้งต่ำจะทำให้ปริมาณน้ำแป้งชั้นที่แยกได้ลดลง

ไฮโดรไซโคลน



ภาพที่ 32 ไฮโดรไซโคลน

ปัจจุบันหลายโรงงานหันมาใช้ไฮโดรไซโคลน (hydrocyclone) แทนเครื่องเหวี่ยงแยกในขั้นตอนการทำความสะอาดและเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้ง เนื่องจากหากเดินระบบเหมาะสม หน่วยแยกโดยไฮโดรไซโคลนจะใช้น้ำน้อยกว่าเครื่องเหวี่ยงแยก อีกทั้งไฮโดรไซโคลนไม่มีชิ้นส่วนอุปกรณ์ทำงานที่เคลื่อนไหวทำให้บำรุงรักษาง่าย ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งน้อย และมีความปลอดภัยสูง จุดเริ่มต้นของไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกอนุภาคของแข็งออกจากสารละลาย นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคมี ปิโตรเคมี เหมืองแร่ เป็นต้น

หลักการแยกของไฮโดรไซโคลนอาศัยหลักการการเคลื่อนที่แบบหมุนทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เกิดการแยกสารโดยใช้ความแตกต่างของความหนาแน่นหรือขนาดของอนุภาคที่เคลื่อนที่ ไฮโดรไซโคลนประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ส่วนทรงกระบอกซึ่งเชื่อมติดกับส่วนที่เป็นทรงกรวย ของไหลจะถูกป้อนเข้าที่ท่อส่วนทรงกระบอกทางด้านบนซึ่งเรียกว่า ท่อป้อนของไหล ของไหลจะถูกป้อนเข้าไฮโดรไซโคลนตามแนวเส้นสัมผัสและเคลื่อนที่แบบหมุนวนภายในตัวไฮโดรไซโคลน สารละลายเจือจางจะถูกขับออกทางที่ท่อด้านบนของส่วนที่เป็นทรงกระบอก (Overflow หรือ Vortex finder) ส่วนสารละลายเข้มข้นจะถูกขับออกที่ท่อซึ่งอยู่ปลายสุดของส่วนที่เป็นทรงกรวย (Underflow) แสดงดังภาพที่ 32^[3]

ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกแ่งและการทำงานของไฮโดรไซโคลน^[3, 4]

1. ความดันลด

ค่าความดันลดใช้ในการออกแบบระบบป้อนน้ำแ่งเข้าไฮโดรไซโคลน และปรับอัตราการไหลทางออกด้านล่าง การวัดความดันลดทำได้โดยติดตั้งเกจวัดความดัน Pressure gauge ที่ท่อทางเข้า และท่อทางออกด้านบน และอ่านค่าความแตกต่างของความดัน การเพิ่มอัตราการไหลป้อนเข้าทำให้น้ำแ่งมีแรงเหวี่ยงมากขึ้น ความดันลดจึงมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ผลที่ได้คือ ขนาดของเม็ดแ่งที่ไหลออกทางออกด้านล่างมีความละเอียดเพิ่มขึ้น เม็ดแ่งไปกับสายน้ำเสียน้อยลง หรือสามารถเก็บกลับเม็ดแ่งได้มากขึ้น

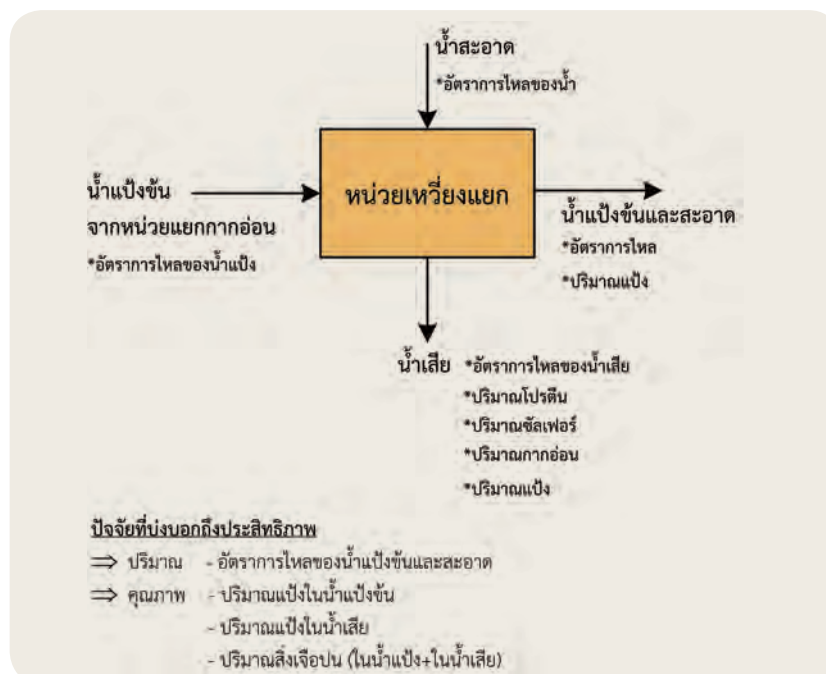
2. ความเข้มข้นของน้ำแ่งเข้า

ความเข้มข้นของน้ำแ่งที่เพิ่มขึ้น เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนืดและขนาดเม็ดแ่งที่ตกตะกอน การเพิ่มความเข้มข้นทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำแ่งหมุนวนภายในตัวไฮโดรไซโคลนเกิดขึ้นน้อยกว่าเดิม เพราะมีแรงต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น ดังนั้น จุดตัด หรือ cut size จึงขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิมหรือเม็ดแ่งที่จะออกไปกับสายน้ำเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้น

3. เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกน้ำเสียและน้ำแ่ง

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออกน้ำเสียด้านบน ควรมีขนาดใหญ่เพียงพอเพื่อป้องกันเม็ดแ่งไหลลัดออกทางท่อทางออกด้านบน และบังคับให้อนุภาคละเอียดไหลออกทางรูเปิดของท่อทางออกด้านบน (ขนาดต้องใหญ่กว่ารัศมีความเร็วตามแนวเส้นสัมผัสสูงสุด แต่เล็กกว่าตำแหน่งความเร็วในแนวแกนเป็นศูนย์) ส่วนขนาดรูเปิดของทางออกด้านล่างหรือทางออกน้ำแ่งขึ้นต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะขับเม็ดแ่งที่สะสมด้านล่างให้ไหลผ่านออกมาได้ ซึ่งการออกแบบที่ดีน้ำแ่งขาออกด้านล่างต้องถูกปล่อยออกมาทำมุม 20-30° กับแนวแกน เส้นผ่านศูนย์กลางของทางออกด้านล่างที่ใหญ่เกินไป จะทำให้ความเข้มข้นสารละลายที่ไหลผ่านทางออกด้านล่างมีค่าลดลง และยังทำให้น้ำส่วนเกินพาอนุภาคละเอียดที่ยังไม่ได้แยกไหลผ่านทางออกด้านบนที่เพิ่มขึ้น

แผนภาพการผลิตของหน่วยเหวี่ยงแยก



1. อัตราการป้อนน้ำแ่งเข้าหน่วยเหวี่ยงแยก

วัตถุประสงค์: ควบคุมอัตราการไหลของน้ำแ่งเข้าหน่วยเหวี่ยงแยกให้เหมาะสมและสม่ำเสมอ ไม่เกินกำลังการผลิตของเครื่องจักร

จุดควบคุม: ท่อป้อนน้ำแ่งเข้าหน่วยเหวี่ยงแยก

วิธีการวัด: ใช้มิเตอร์วัดปริมาตรน้ำแ่ง และสามารถปรับอัตราการป้อนน้ำแ่งโดยการปรับวาล์ว

2. ความเข้มข้นน้ำแป้งขาเข้า

วัตถุประสงค์: ควบคุมความเข้มข้นน้ำแป้งขาเข้า (ปกติอยู่ระหว่าง 5-7 โบเม่ หรือแล้วแต่เกณฑ์ของโรงงาน)

จุดควบคุม: ท่อป้อนน้ำแป้งเข้าหน่วยเหวี่ยงแยก

วิธีการวัด: ใช้ไฮโดรมิเตอร์

3. ปริมาณของน้ำดี

วัตถุประสงค์: ควบคุมปริมาณน้ำดีที่ป้อนเข้าเครื่องและเลี้ยงหัว Nozzle ปริมาณน้ำดีต้องมากพอที่จะป้องกันหัวฉีดอุดตันและทำความสะอาดน้ำแป้งได้ แต่ต้องไม่มากเกินไปจนความเข้มข้นน้ำแป้งขาออกต่ำหรือเจือจาง

จุดควบคุม: ท่อน้ำดีที่ป้อนเข้าเครื่อง

วิธีการวัด: ใช้มิเตอร์วัดปริมาณน้ำ และสามารถปรับอัตราการฉีดน้ำโดยการปรับวาล์ว

การวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพของหน่วยเหวี่ยงแยก ได้แก่ ความเข้มข้นน้ำแป้งขาออก ปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำแป้งขาออก ได้แก่ กำมะถันและโปรตีน และปริมาณแป้งในสายน้ำเสีย โดยประสิทธิภาพของหน่วยเหวี่ยงแยกที่ดี ได้แก่ น้ำแป้งขาออกมีความเข้มข้นเหมาะสม มีปริมาณแป้งสูง และมีสิ่งเจือปนน้อย ส่วนสายน้ำเสียมีปริมาณแป้งที่สูญเสียน้อย

1. ความเข้มข้นน้ำแป้งขาออก

วัตถุประสงค์: ความเข้มข้นน้ำแป้งขาออกสะท้อนถึงประสิทธิภาพการเหวี่ยงแยก น้ำแป้งขาออกต้องมีปริมาณแป้งสูง และมีความเข้มข้นประมาณ 19-21 โบเม่

จุดวัด: น้ำแป้งขาออก

วิธีการวัด:

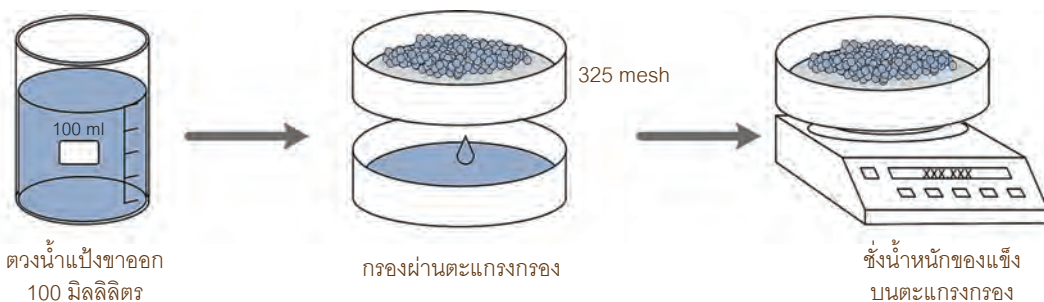
- ตวงน้ำแป้งขาออกเครื่องสกัดลงในท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว สูง 30 ซม.
 - จุ่มไฮโดรมิเตอร์หรือตัววัดโบเม่ลงในท่อพีวีซี จนน้ำล้นออกมา
 - รอจนระดับน้ำคงที่และอ่านค่าโบเม่ที่ได้ (ปกติอยู่ระหว่าง 19-21 โบเม่ หรือแล้วแต่เกณฑ์ของโรงงาน)
- * ถ้าค่าโบเม่หรือความเข้มข้นของน้ำแป้งขาออกไม่ได้ตามข้อกำหนด
- ถ้าความเข้มข้นต่ำเกินไป ต้องลดน้ำฉีดเข้าเครื่องแยก
 - ถ้าสูงความเข้มข้นสูงเกินไป ต้องเพิ่มน้ำฉีดเข้าเครื่องแยก

2. ปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำแป้งขาออก

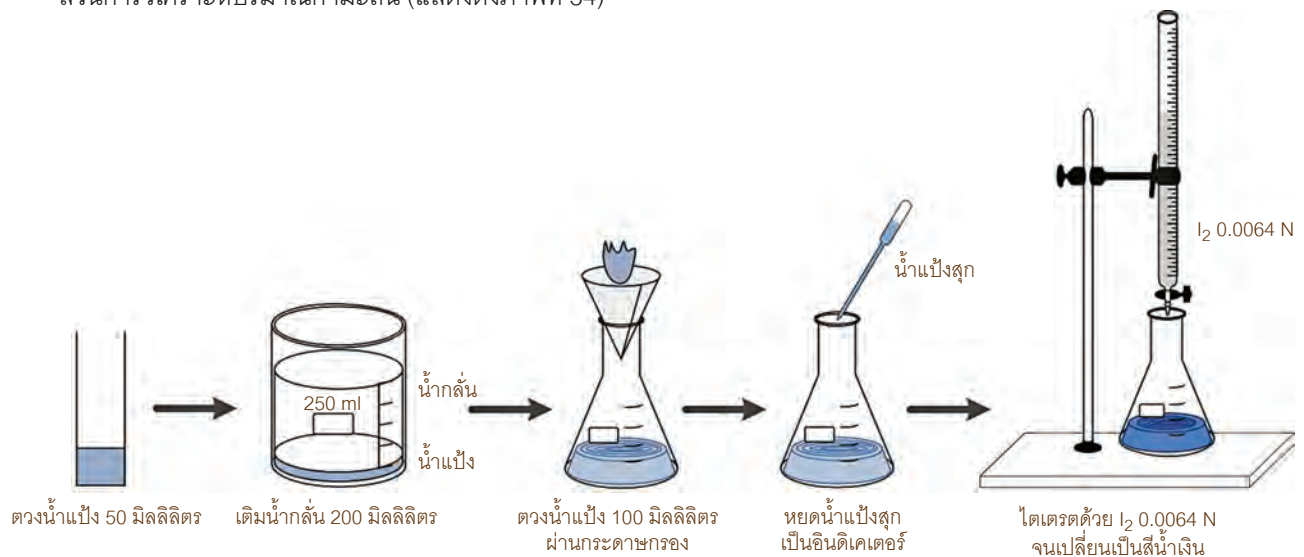
วัตถุประสงค์: วัดประสิทธิภาพการแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำแป้ง โดยน้ำแป้งขาออกต้องมีปริมาณโปรตีน กำมะถันและกากอ่อนน้อย

จุดวัด: น้ำแป้งขาออก

วิธีการวัด: ปริมาณโปรตีนและกากอ่อน ใช้การกรองผ่านกระดาษกรอง (แสดงดังภาพที่ 33)



ภาพที่ 33 การวิเคราะห์ปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำแป้งขาออก



ภาพที่ 34 การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน

- ตวงน้ำแ่ง 50 มิลลิลิตร ใส่ปิกรเกอร์ 250 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร
- กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ลงในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มิลลิลิตร
- ตวงส่วนที่ผ่านกระดาษกรอง 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่
- หยดน้ำแ่งสุกเป็นอินดิเคเตอร์
- ไตเตรตด้วย I_2 0.0064 N จนเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน
- บันทึกปริมาตร I_2 ที่ใช้และคำนวณหาปริมาณกำมะถันที่ตกค้าง

3. ปริมาณแ่งในสายน้ำเสีย

วัตถุประสงค์: ปริมาณแ่งในน้ำเสียสะท้อนถึงประสิทธิภาพการเหวี่ยงแยกเช่นเดียวกับความเข้มข้นน้ำแ่งขาออก น้ำเสียจากหน่วยเหวี่ยงแยกต้องมีปริมาณแ่งในน้อยหรือมีการสูญเสียแ่งไปกับน้ำเสีย

จุดวัด: น้ำเสียขาออก

วิธีการวัด:

- ตวงน้ำเสียจากเครื่องแยก ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วยหลอดปั่นเหวี่ยง
- ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง เป็นเวลา 2 นาที
- วัดความสูงของชั้นแ่งจากกันหลอด ถ้าความสูงของชั้นแ่งสูงเกินไป (แ่งสูญเสียกับน้ำเสียมาก) ต้องลดอัตราการป้อนน้ำแ่งขาเข้า

จุดควบคุมและตรวจสอบ (Checklist)

จุดควบคุมและตรวจสอบ	รายละเอียด Checklist ก่อนเริ่มการผลิต	รายละเอียด Checklist ระหว่างการผลิต
เครื่องเหวี่ยงแยก	☐ ความเร็วรอบเครื่องเหวี่ยงแยก ☐ ลักษณะจานเหวี่ยงแยก ☐ ความสะอาดจานเหวี่ยงแยก ☐ ขนาดและจำนวนหัวฉีด ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ)	☐ อัตราการป้อนน้ำแป้ง ☐ การทำงานของเครื่อง (ล้น/ไม่ล้น) ☐ การอุดตันของจานเหวี่ยง ☐ การล้างเครื่อง
ไฮโดรไซโคลน	☐ ลักษณะดอกไฮโดรไซโคลน ☐ ความสะอาดดอกไฮโดรไซโคลน ☐ ขนาดและจำนวนดอกไฮโดรไซโคลน ☐ การทำงานของปั๊ม ☐ การทำงานของเครื่อง (ปกติ/ไม่ปกติ)	☐ อัตราการป้อนน้ำแป้ง ☐ ความดัน ☐ การทำงานของเครื่อง (ล้น/ไม่ล้น) ☐ การอุดตันของดอกไฮโดรไซโคลน ☐ การล้างเครื่อง
น้ำแป้งขาออก	☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ อัตราการไหลของน้ำแป้ง ☐ ความเข้มข้น (โบเม) ☐ สัดส่วนของเหลวต่อของแข็ง ☐ ปริมาณแป้ง ☐ ปริมาณสิ่งเจือปน
น้ำเสีย	☐ ☐	☐ อัตราการไหลของน้ำเสีย ☐ ปริมาณแป้งในน้ำเสีย
ท่อน้ำดี	☐ ☐ ☐ ☐	☐ ปริมาณน้ำดีที่ใช้ ☐ ปริมาณน้ำหมุนเวียนที่ใช้ ☐ สมบัติน้ำหมุนเวียน ☐ แรงดันและความถี่การฉีดน้ำ

[1] Svarovsky, L., 2000, *Solid-Liquid Separation*, 4th Ed., Oxford: Butterworth-Heinemann.

[2] Wallace, W.L., 1998, *Industrial Centrifugation Technology*, McGraw-Hill, 430 p.

[3] Svarovsky, L., 2000, "Hydrocyclones" *Solid-Liquid Separation*, 4th ed., Butterworth & Co (Publishers) Ltd, London, pp. 191-243.

[4] Saengchan, K., Nopharatana, A. and Songkasiri, W., 2009, "Enhancement of Tapioca Starch Separation with a Hydrocyclone: Effects of Apex Diameter, Feed Concentration, and Pressure Drop on Tapioca Starch Separation with a Hydrocyclone", *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Vol. 48, No. 1, pp. 195-202.

[5] Siroth, K. and Piyachomkwan, K., 2000, "Tapioca Starch Production Process" *Starch Technology*, 2nd ed., Kasetsart University Press, Bangkok, Thailand.

การลดความชื้น

เทคโนโลยีการอบแห้งประกอบด้วยหน่วยการสไลด์แห้งและหน่วยการอบแห้ง หน่วยการสไลด์แห้งอาศัยหลักการเหวี่ยง เพื่อลดปริมาณน้ำให้มากที่สุด ก่อนการส่งต่อไปยังหน่วยการอบแห้งซึ่งใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเป็นเครื่องจักรสำคัญในการลดความชื้นของแป้งผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามมาตรฐานทางการตลาด นอกจากนี้กระบวนการผลิตในส่วนนี้ยังประกอบด้วย การลดอุณหภูมิของแป้งผลิตภัณฑ์ภายหลังจากการอบ โดยการผ่านไซโคลนก่อนส่งไปหน่วยบรรจุภัณฑ์ หัวข้อนี้นำเสนอทฤษฎีและหลักการของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม รูปแบบ และการทำงานของเครื่องจักร รวมทั้งปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของหน่วยอบแห้ง

หน่วยสไลด์แห้ง

การทำงานของเครื่องสไลด์แห้ง (Peeler Centrifuge) แสดงดังภาพที่ 35 ก ประกอบด้วย 7 ขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 35 ข)

1. ขั้นตอนเตรียมความพร้อมก่อนสไลด์แห้ง

ตะกร้าจะเริ่มหมุนเหวี่ยงในอัตราที่เหมาะสมสำหรับอัตราการป้อนสายป้อนเข้า

2. ขั้นตอนป้อนสายป้อนเข้า

ของเหลวชั้นจะถูกป้อนเข้าเครื่องสไลด์แห้งและกระจายไปบนตะกร้ากรองผ่านท่อสายป้อนเข้า เพื่อก่อตัวเป็นแป้งหนานบนผิวตะกร้ากรอง

3. ขั้นตอนเร่งอัตราหมุนเหวี่ยง

ตะกร้าจะถูกเร่งให้อยู่ในอัตราที่เหมาะสม การกรองและการสไลด์แห้งจะดำเนินไปภายในอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงโลก ของเหลวจะไหลผ่านตะกร้ากรองและออกจากเครื่องสไลด์แห้ง



ภาพที่ 35 ก เครื่องสไลด์แห้ง

4. ขั้นตอนการล้าง

น้ำจะถูกฉีดเข้าเครื่องสลัดแห้งเพื่อชะล้างแป้งหนามบนตะกร้ากรองหลังจากสลัดแห้ง

5. ขั้นตอนการหมุนเหวี่ยง

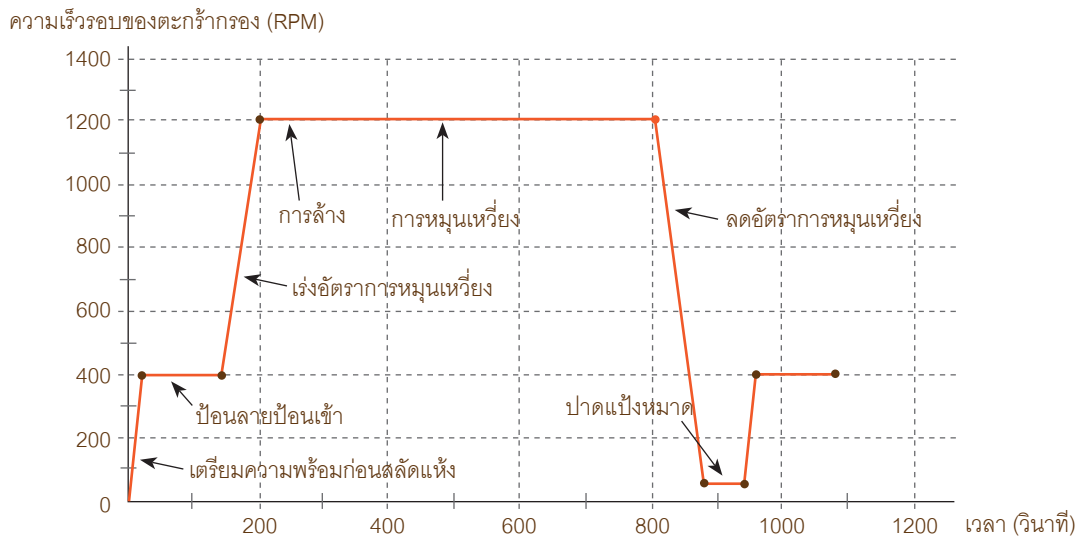
ตะกร้ายังคงหมุนเหวี่ยงเพื่อให้ได้แป้งหมากตามที่ต้องการ เวลาในการหมุนเหวี่ยงจะขึ้นกับคุณลักษณะของสายป้อนเข้า

6. ขั้นตอนลดอัตราการหมุนเหวี่ยง

ตะกร้าจะถูกลดอัตราการหมุนเหวี่ยงลงเมื่อได้แป้งหมากตามที่ต้องการ

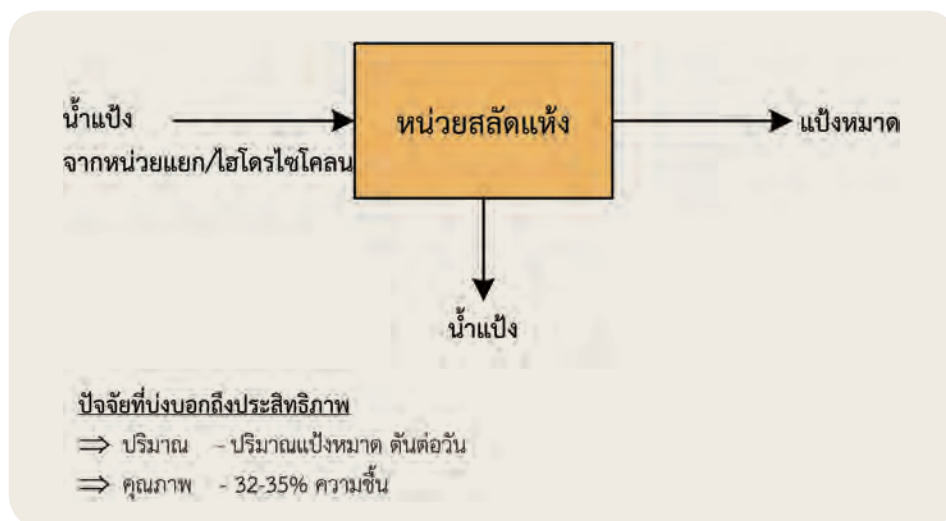
7. ขั้นตอนปาดแป้งหมาก

ใบมีดปาดจะยกตัวสูงขึ้นและปาดแป้งหมากขณะที่ตะกร้าหมุนในอัตราที่ช้าลง แป้งหมากจะถูกปาดออกจากเครื่องสลัดแห้ง



ภาพที่ 35 v ขั้นตอนการทำงานของเครื่องสลัดแห้ง

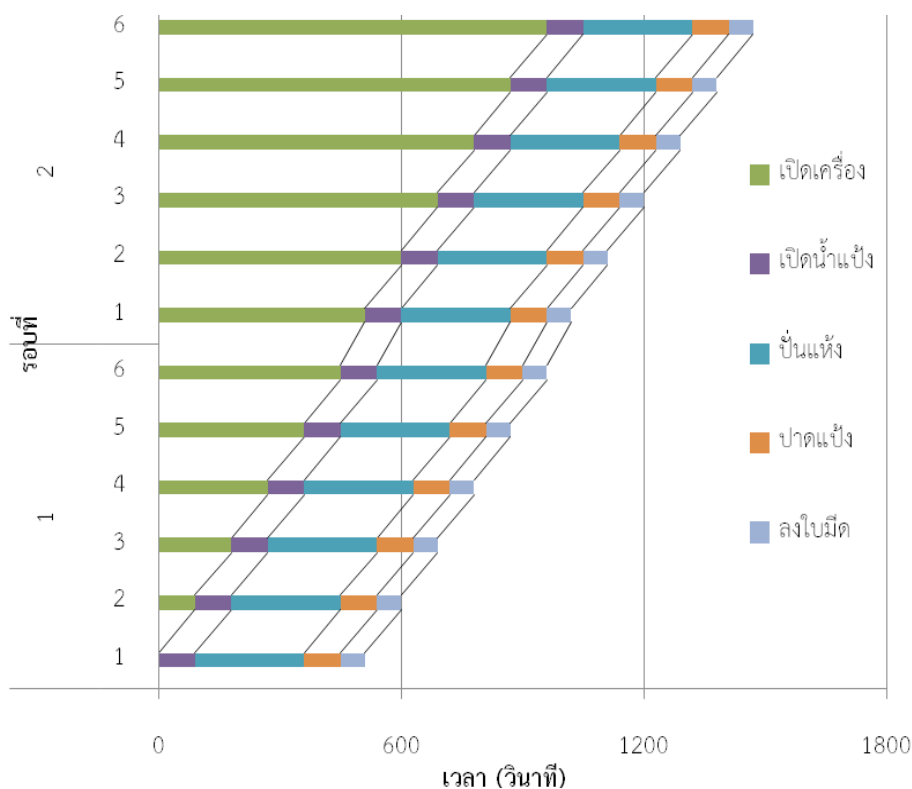
แผนภาพแสดงการผลิตของหน่วยสลัดแห้ง



การควบคุมเครื่องสลัดแห้ง

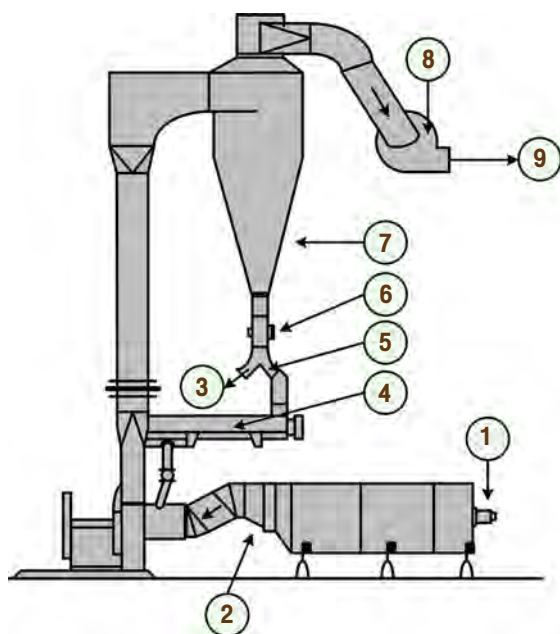
ชนิดของตัวแปร	ตัวแปร	ผลต่อประสิทธิภาพ
ตัวแปรดำเนินการ	ขนาดอนุภาค ↓	แบ่งออกไปกับน้ำล้างสลัด ↑
	อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว ↑	% ความชื้น ↓
	% ความชื้นขาเข้า ↓	% ความชื้น ↓
ตัวแปรด้านการออกแบบ	ระยะเวลาในการปั่นแห้ง ↑	% ความชื้น ↓
	ความเร็วรอบ ↑	% ความชื้น ↓
	รัศมีของตะกร้า ↑	% ความชื้น ↓
	ขนาดรูผ้ากรอง ↓	% ความชื้น ↑
	ระยะห่างระหว่างใบมีดปาดกับตะกร้า ↓	% ความชื้น ↑ ปริมาณแบ่ง ↑

หลักการทำงานของเครื่องสลัดแห้งคือ น้ำแบ่งจะถูกป้อนเข้าไปในตะกร้ากรองที่หมุนด้วยความเร็วสูง ผ่านทางสายป้อนเข้าซึ่งวางตัวในแนวนอน การกรองจะเริ่มระหว่างขั้นตอนการป้อนน้ำแบ่งขึ้นจนกระทั่งของเหลวไหลผ่านชั้นแบ่งหมาด จากนั้นแบ่งหมาดจะสะสมบนผ้ากรองและถูกปาดออกด้วยใบมีด เครื่องสลัดแห้งมีการทำงานแบบกะและเป็นวัฏจักรที่ความเร็วหมุนเหวี่ยงคงที่ การดำเนินงานของหน่วยสลัดแห้งควรวางแผนโดยใช้หลักการผลิตแบบทันเวลาพอดี ซึ่งเป็นระบบการผลิตแบบไหลต่อเนื่อง มีการวางแผนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นระเบียบและถูกต้องตามลำดับ กระบวนการตามวงจรรอบการทำงาน (Cycle time) ดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 แนวทางการปฏิบัติงานของหน่วยสลัด

หน่วยการอบแห้ง: เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic dryer) (แสดงดังภาพที่ 37)



1. หัวเผาให้ความร้อนอากาศ
2. ท่ออากาศร้อน
3. ผลิตภัณฑ์อบแห้ง
4. เครื่องผสมวัสดุขึ้น/ผลิตภัณฑ์อบแห้ง
5. ช่องแบ่งวัสดุขึ้น/ผลิตภัณฑ์อบแห้ง
6. ล็อกอากาศ
7. ไซโคลน
8. พัดลมระบายอากาศ
9. อากาศขาออก

ภาพที่ 37 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (Pneumatic dryer) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Flash dryer เป็นเครื่องอบแห้งวัสดุของแข็งที่มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดเล็ก เช่น ผง ผุ่น หรือ เม็ดขนาดเล็ก ที่สามารถถูกพาไปกับลมร้อนได้ โดยวัสดุจะถูกป้อนให้ผสมและไหลตามไปพร้อมกับลมร้อนในท่อ บางครั้งถูกเรียกว่าท่ออบ ท่ออบที่วุ่นนี้โดยทั่วไปมักติดตั้งท่อในแนวตั้งให้มีการไหลของลมร้อนขึ้นในแนวตั้ง ช่วยให้วัสดุกระจายไหลในท่อทั่วพื้นที่หน้าตัดได้ดีขึ้น (วัสดุบางประเภทที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เล็กน้อยมีแนวโน้มจะกองที่ท้องท่อได้ง่าย ถ้าไหลในแนวนอน หรือเมื่อมีการไหลผ่านช่อง) เป็นเครื่องอบแห้งที่ทำการอบได้แบบต่อเนื่องระยะเวลาในการอบสั้น ประมาณ 2-5 วินาที ขึ้นอยู่กับวัสดุและความเร็วลม ดังนั้นขนาดวัสดุจึงมีความสำคัญและเป็นปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ ที่ส่งผลต่ออัตราการระเหยของน้ำ คือ 1) วัสดุที่มีขนาดอนุภาคเล็กช่วยให้มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศร้อนได้มาก จึงทำให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนไปยังวัสดุที่อบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบนี้สูงมาก และ 2) การที่วัสดุมีขนาดอนุภาคที่เล็ก ดังนั้นระยะทางการแพร่ของน้ำภายในเนื้อวัสดุมายังผิวด้านนอกของวัสดุจึงสั้น หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า ความต้านทานในการแพร่ของน้ำจากด้านในออกมาสู่พื้นที่ผิวด้านนอกของวัสดุต่ำมาก จนแทบไม่มีผล หรือมีผลน้อยต่ออัตราการระเหยของน้ำอันเนื่องมาจากการควบคุมโดยการแพร่ของน้ำภายในวัสดุเลย อัตราการระเหยของน้ำจึงขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนมาที่วัสดุเป็นหลัก จึงเป็นจุดเด่นหรือหัวใจของเครื่องอบแห้งแบบนี้ และเป็นที่มาของการใช้ชื่อเรียกว่า Flash dryer สมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมอยู่ในช่วง 3,500 - 8,000 kJ/kg ของน้ำที่ระเหย หรือมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 28 - 64% หรือมีอัตราการระเหยน้ำอยู่ในช่วง 250-1,250 kg evaporation water/m²-h ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 750 kg/m²-h (m² เป็นหน่วยตารางเมตร คือ พื้นที่ผิวภายในของท่ออบแห้ง)

การออกแบบการลำเลียงของเครื่องอบเป็นแบบส่วนผสมระหว่างวัสดุกับอากาศแบบเจือจาง หรือคิดเป็นอัตราส่วนวัสดุต่ออากาศ (โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน 6 สำหรับการอบแห้งแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วนวัสดุต่ออากาศโดยประมาณ 0.4 โดยทั่วไปความเร็วของวัสดุอยู่ที่ประมาณ 80% ของความเร็วอากาศ

องค์ประกอบ (ชิ้นส่วน) หลักของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

1. ระบบป้อนวัสดุที่จะอบแห้ง

ประกอบด้วยอุปกรณ์ย่อยดังนี้

- 1.1 **ถังรักษาสสมดุล (Balance Tank)** เป็นถังรองรับวัสดุเพื่อรอป้อนเข้าเครื่องอบ ช่วยรักษาอัตราการป้อนวัสดุเข้าเครื่องอบให้คงที่ ไม่ให้เกิดการขาด หรือเกิน
- 1.2 **ใบกวนวัสดุในถังรักษาสสมดุล (Stirrer)** ป้องกันไม่ให้วัสดุเกาะเป็นป้อนในถัง จนไม่สามารถไหลเข้ารางป้อนได้ โดยการทำให้วัสดุเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาด้วยการกวนในถัง และช่วยให้วัสดุที่กำลังเกาะเป็นก้อนแตกออก สามารถเคลื่อนที่ลงรางป้อนได้ นอกจากนี้บางครั้งวัสดุที่ส่งมายังถังอาจจะมี ความชื้นเปลี่ยนแปลงอยู่บ้าง การกวนผสมอยู่ตลอดเวลาจะทำให้ความชื้นของวัสดุที่ผสมอยู่ในถังค่อนข้างมีความชื้นใกล้เคียงกัน(Uniform)
- 1.3 **เกลียวป้อน (Screw feeder)** ทำหน้าที่รับวัสดุที่ตกลงมาจากถังรักษาสสมดุล แล้วส่งแรงผลักดันวัสดุด้วยการหมุนของเกลียวส่งวัสดุเข้าเครื่องอบ ด้วยอัตราที่คงที่ตามรอบการหมุนของเกลียว และ/หรือสามารถปรับอัตราการป้อนวัสดุได้ค่อนข้างละเอียดจากการปรับความเร็วรอบการหมุน
- 1.4 **ตัวกระจายวัสดุ (Distributor)** ติดตั้งเอาไว้ที่ปลายรางของเกลียวป้อนเนื่องจากวัสดุที่มีความชื้นเมื่อถูกส่งด้วยแรงผลักดันจากเกลียวป้อนส่วนใหญ่มักจะเกาะกันเป็นก้อนๆ ทำให้ตัววัสดุไม่สามารถทำงานได้ทัน หรือมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องทำให้แตกหรือกระจายก่อนที่จะเข้าเครื่องดี

2. ตัวตีวัสดุ (Disintegrator) ทำหน้าที่ตีก้อนวัสดุที่ป้อนให้แตกกระจาย และมีขนาดเล็กจนสามารถไหลหรือถูกพาไปกับลมร้อนได้ ติดตั้งต่อจากตัวกระจายวัสดุของระบบป้อนก่อนที่จะเข้าเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

3. พัดลมเป่า และพัดลมดูดอากาศ (Forced draft fan and Induced draft fan) สำหรับทำหน้าที่ส่งลมให้ไหลผ่านท่ออบให้ได้ตามปริมาณ และความเร็วที่ต้องการ เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม นิยมใช้พัดลมดูดอากาศเป็นพัดลมหลัก เพื่อให้การป้อนวัสดุเป็นไปได้ง่าย ลมร้อนและวัสดุไม่ฟุ้งกระจายสวนเกลียวป้อนวัสดุออก จึงออกแบบให้ภายในท่ออบมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (ดูดเข้า) ในบางกรณีที่มีความดันตกคร่อมของแผงท่อผลิตลมร้อน และแผ่นกรองอากาศเข้าแผงท่อร้อนสูงอาจจะมี การติดตั้งพัดลมเป่าอากาศเข้าเครื่องอบแห้งช่วย โดยส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมใช้เพียงพัดลมดูดอากาศ

4. แผงก่อผลิตลมร้อน (Hot Air Generator) เป็นอุปกรณ์ผลิตลมร้อนสำหรับการอบแห้ง ประกอบด้วยชุดท่อความร้อนสำหรับถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้ง ให้สามารถผลิตลมร้อนที่มีอุณหภูมิได้ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของการอบแห้ง ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้ระบบให้ความร้อนกับอากาศเป็นแบบที่แหล่งจ่ายพลังงานไม่ได้ผสมเข้าไปกับอากาศโดยตรง แต่เป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากสารบรรจุความร้อน เช่น น้ำมันร้อน หรือไอน้ำ ผ่านชุดท่อร้อนสู่อากาศ (Indirect Air heater) ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นอาหาร กรณีที่ไม่ใช้วัสดุที่ใช้เป็นอาหารมักใช้รูปแบบการให้ความร้อนโดยตรง (Direct Air Heater) เช่น เผาเชื้อเพลิงโดยตรงที่หัวเผา(Burner) แล้วผสมแก๊สร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมเข้าไปกับอากาศที่จะใช้ในการอบแห้งใช้โดยตรง ซึ่งวิธีนี้จะลดต้นทุนชุดแผงชุดท่อร้อนได้ค่อนข้างมาก และไม่ต้องมีเครื่องหม้อต้มน้ำมันร้อน หรือหม้อไอน้ำ

5. แผงกรองอากาศ (Air filter) ทำหน้าที่กรองอากาศที่จะใช้ในการอบแห้ง ลดปริมาณฝุ่นละอองที่อยู่ในอากาศที่จะใช้ในการอบแห้ง ลดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร

6. ท่ออบ(Drying and conveying duct) ทำหน้าที่ลำเลียงลมร้อนและวัสดุที่จะอบแห้งให้ไหลไปในท่อ ด้วยความเร็วของการไหล และระยะเวลาที่เหมาะสม เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมร้อนกับวัสดุที่จะอบแห้งและเกิดการระเหยน้ำออกจากวัสดุได้ในอัตราที่ต้องการปกติติดตั้งท่อในแนวตั้งเพื่อให้วัสดุกระจายได้เต็มพื้นที่หน้าตัดท่อ และเกิดความเร็วที่แตกต่างกันระหว่างวัสดุและลมร้อนจนเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและระเหยน้ำได้ดี

7. ไซโคลน (Cyclone) เป็นอุปกรณ์แยกวัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศหลังจากผ่านเครื่องอบแห้งแล้ว และได้ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ ประสิทธิภาพของไซโคลนมีข้อจำกัดคือไม่สามารถดักจับฝุ่นผงที่ละเอียดเกินไปได้ 100% ดังนั้นจึงมีวัสดุบางส่วนที่มีขนาดเล็กมากจนไซโคลนไม่สามารถแยกออกมาได้สูญเสียไปกับลมร้อนระหว่างการอบแห้ง

8. วาล์วโรตารี (Rotary air locked valve) ติดตั้งที่ปลายของขาไชโคลนเพื่อหมุนพาว์สตุที่ตกอยู่ที่ขาด้านล่างของไชโคลนออกจากระบบอบแห้งเพื่อเก็บหรือลดอุณหภูมิต่อ และป้องกันไม่ให้มีอากาศภายนอกไหลย้อน(สวน)กลับเข้าระบบ ประสิทธิภาพของวาล์วโรตารีในการป้องกันอากาศภายนอกไหลย้อนกลับเข้าไปในระบบมีส่วนสำคัญในการป้องกันไม่ให้วัสดุที่แยกด้วยไชโคลนแล้วหลุดหรือถูกพากลับเข้าไปในอากาศร้อนอีกครั้ง
9. แผงควบคุม และเครื่องมือวัด (Control panel and Instrument) ประกอบด้วยการควบคุมปริมาณลมร้อน เช่น ควบคุมความเร็วรอบของพัดลม ควบคุมอัตราการป้อนวัสดุ วัดและควบคุมอุณหภูมิลมร้อน เป็นต้น

การควบคุมเครื่องอบแห้ง

ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ประกอบด้วยอุณหภูมิของอากาศขาเข้า อัตราการป้อนวัตถุดิบ และความชื้นของแป้งขาเข้า

1. อุณหภูมิของอากาศ:

การอบแห้งแป้งมันสำปะหลังในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมนั้น แป้งและอากาศร้อนมีการเคลื่อนที่เป็นแบบไหลตามกัน อากาศร้อนที่เข้ามาตอนแรกที่มีอุณหภูมิสูงและสัมผัสกับอนุภาคที่เปียกอยู่จึงไม่มีผลต่อคุณภาพวัตถุดิบ ในขณะที่อุณหภูมิมีความชื้นลดลงทางตอนปลายของเครื่อง อุณหภูมิของอากาศจะมีค่าลดลงและผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับความร้อนมากเกินไป

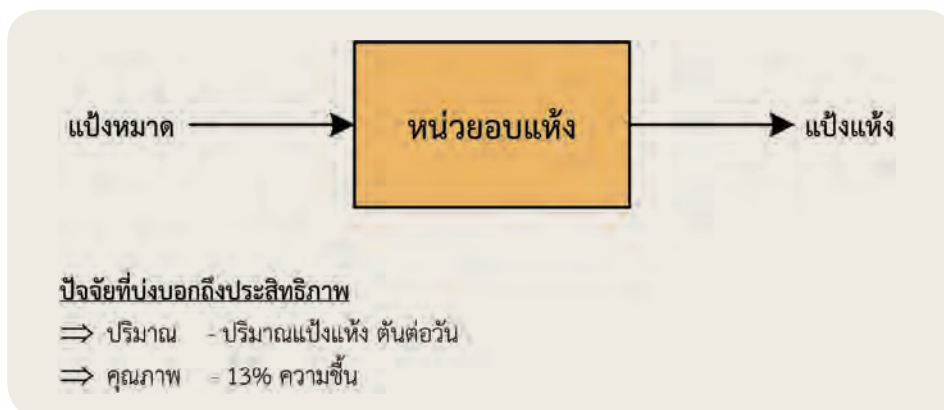
2. อัตราการป้อนแป้ง:

โรงงานแป้งมันสำปะหลังโดยทั่วไปใช้อัตราการป้อนแป้งจะถูกควบคุม โดยอุณหภูมิขาออกของเครื่องอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิของอากาศสูงกว่าที่ตั้งไว้ แสดงว่าต้องเพิ่มอัตราการป้อนแป้งอีก ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น แสดงว่าแป้งได้รับความร้อนมากขึ้นและทำให้แป้งแห้งมากเกินไป จึงจำเป็นต้องใส่แป้งเพิ่มเข้าไปในท่ออบแห้งให้มากขึ้น จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงจนถึงระดับที่กำหนด

3. ความชื้นขาเข้าของแป้ง:

ก่อนเข้าเครื่องอบแห้งแป้งจะถูกลดความชื้นโดยเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำ ซึ่งมีปริมาณความชื้นขาเข้าของแป้งก่อนเข้าเครื่องอบแห้งควรอยู่ที่ระหว่าง 50 - 55 % ฐานแห้ง แต่ในทางปฏิบัติความชื้นแป้งอาจมีความเปลี่ยนแปลงและไม่แน่นอนอยู่สูง ขึ้นกับประสบการณ์ของผู้ที่เหวี่ยงแยกน้ำออกว่าจะปล่อยให้แป้งถูกเหวี่ยงเป็นเวลานานเท่าใดก่อนปล่อยแป้งสู่เครื่องอบแห้ง และในบางช่วงเวลาแป้งอาจขาดตอนและทำให้การควบคุมการอบแห้งทำได้ยาก

แผนภาพการผลิตของหน่วยอบแห้ง



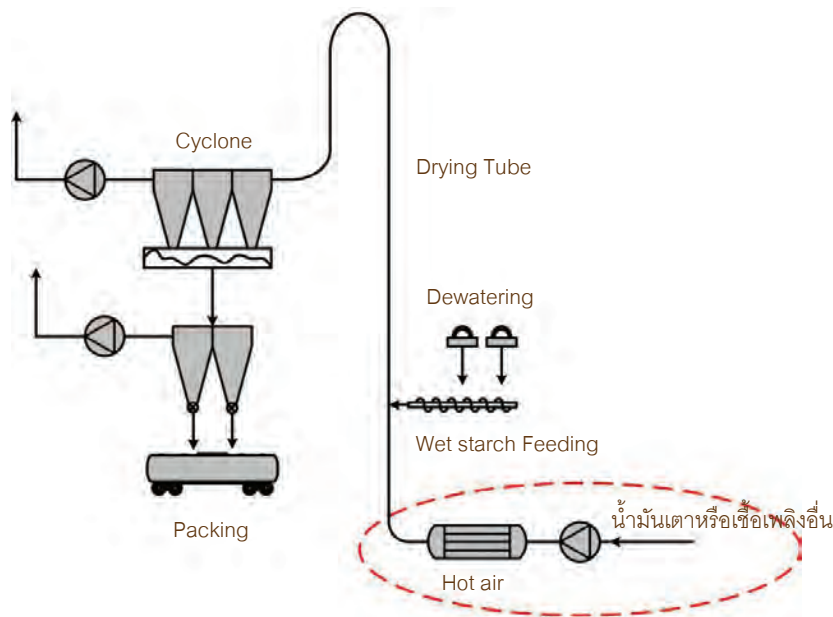
การวัดประสิทธิภาพ

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแป้ง

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแป้ง = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งแป้ง (เมกกะจูล/ปริมาณตันแป้งแห้งที่ผลิต)

วิธีปฏิบัติ (แสดงดังภาพที่ 38)

1. เตรียมข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด
2. บันทึกข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการอบแห้งในหน่วยลูกบาศก์เมตร
3. บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ในการอบแห้งในหน่วยลิตร
4. บันทึกข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการอบแห้งในหน่วยตัน
5. บันทึกข้อมูลปริมาณไอน้ำที่ใช้ในการอบแห้งในหน่วยตัน
6. บันทึกข้อมูลความชื้นแป้งหมาดจากเครื่องสไลด์
7. คำนวณปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง (เมกกะจูลต่อตันแป้งแห้ง)



ภาพที่ 38 การวัดปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแป้ง

จุดควบคุม

ควรมีการตรวจสอบ เช่น การอบแห้งแป้งจากความชื้น 35% ให้เหลือ 12% ต้องใช้พลังงานการอบแห้งทั้งสิ้น 1,321 เมกกะจูล/ตันแป้งแห้ง ถ้าประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง 85% ต้องใช้น้ำมันเตา 35 ลิตรหรือก๊าซชีวภาพประมาณ 70 ลูกบาศก์เมตร/แป้งแห้ง 1 ตัน

จุดควบคุมและตรวจสอบ (Checklist)

จุดควบคุมและตรวจสอบ	รายละเอียด
หน่วยสลับ	☐ % ความชื้น ☐ ความเร็วรอบ ☐ ระยะเวลาการปั่นแห้ง ☐ ผ้าเก่า/ผ้าใหม่ ☐ ปริมาณกัมมะถัน
หน่วยอบแห้ง	☐ % ความชื้น ☐ อุณหภูมิแก๊สขาเข้า ☐ อัตราการป้อนแป้ง

การตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องอบแห้ง

เพื่อให้เครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้ตามสมรรถนะ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบการทำงานเป็นประจำเพื่อการบำรุงรักษาอุปกรณ์ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตารางข้างล่างนี้เป็นแนวทางการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบ	การบำรุงรักษา	บันทึกการตรวจสอบ	รอบระยะเวลาการบำรุงรักษา
ความสะอาดแผงชุดท่อผลิตลมร้อน	ความแตกต่างของอุณหภูมิตัวกลางให้ความร้อนขาเข้ากับอุณหภูมิอากาศร้อนที่ออกจากแผง	เมื่อมีความแตกต่างมากขึ้น อาจเกิดจากความสกปรกของชุดท่อความร้อน จำเป็นต้องทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่ติดผิวท่อความร้อน	รายวัน	รายเดือน หรือเมื่อตรวจพบว่าผิดปกติ
ความสะอาดของแผ่นกรองอากาศ	ความแตกต่างของความดันอากาศหน้าแผ่นกรองกับหลังแผ่นกรอง	ความสกปรกบนแผ่นกรองอากาศทำให้เกิดความดันตกคร่อมแผ่นกรองสูงขึ้น ต้องทำความสะอาดผ้ากรอง	รายวัน	รายสัปดาห์
แผ่นใบกวาดของวาล์วโรตารี	- สังเกตการณ์หลุดของวัสดุ (ผลิตภัณฑ์) ที่ปลายทางออกของเครื่องอบ - ตรวจสอบใบของวาล์วโรตารีโดยตรง	เปลี่ยนใบเมื่อพบว่าใบเริ่มสึก หรือมีช่องว่าง (Clearance) ของขอบใบกับตัวเสื้อวาล์วมากขึ้น	รายเดือน	รายเดือน หรือเมื่อมีการตรวจพบ
น้ำมันเกียร์ระบบเกียร์ทดรอบ	- ระดับน้ำมัน - สี - อายุน้ำมันที่เปลี่ยนรอบก่อน	- เติมน้ำมันเพิ่ม - เปลี่ยนเมื่อถึงรอบ	รายวัน	เมื่อตรวจพบ หรือเมื่อถึงรอบ
ตลับลูกปืนและจาระบี	- อุณหภูมิตลับลูกปืน	ตลับลูกปืน และจาระบี	รายเดือน	เมื่อตรวจพบ หรือเมื่อถึงรอบ
ความสกปรกที่ใบพัดลมดูดอากาศ	- วัดการกินกระแสของมอเตอร์พัดลม - ตรวจสอบการสั่นของพัดลม - ตรวจสอบสิ่งสกปรกที่ติดบนใบพัดลม	เมื่อมอเตอร์กินกระแสมากขึ้น หรือพัดลมสั่นมากขึ้น ส่วนหนึ่งอาจเกิดจากมีฝุ่น/ผงของผลิตภัณฑ์ติดอยู่ที่ใบพัดลม ต้องทำความสะอาด	รายวัน	รายเดือน หรือเมื่อมีการตรวจพบ

1) ทนงค์ ฉายาวัฒนะ, 2559, “เอกสารประกอบการนำเสนอกิจกรรมเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ผ่านหลักสูตรการพัฒนาศักยภาพบุคลากรและการจัดทำฐานข้อมูลค่ามาตรฐานเชิงประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากร, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

การบรรจุ

แป้งที่ผลิตได้หลังจากอบแห้งจะมีความชื้นไม่เกิน 13% ส่วนแป้งร้อนที่ไม่ผ่านตะแกรงจะแยกลงท่อเก็บไว้ในถุง เพื่อรอทำการละลาย กลับเข้าสู่กระบวนการผลิต ส่วนแป้งที่ร้อนผ่านตะแกรงถูกลำเลียงเข้าสู่หีบบรรจุ แสดงดังภาพที่ 39

1. ในกรณีบรรจุภัณฑ์ขนาด 20 - 30 กิโลกรัม

บรรจุโดยใช้หีบบรรจุธรรมดา ซึ่งนำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลแล้วเย็บปากกระสอบโดยใช้เครื่องเย็บ

2. ในกรณีบรรจุภัณฑ์ขนาด 50 กิโลกรัม

บรรจุโดยใช้หีบบรรจุอัตโนมัติหรือหีบบรรจุธรรมดา ซึ่งนำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบธรรมดาหรือเครื่องชั่งแบบดิจิตอลแล้วเย็บปากกระสอบโดยใช้เครื่องเย็บ

3. ในกรณีบรรจุภัณฑ์ขนาด 500 กิโลกรัมขึ้นไป

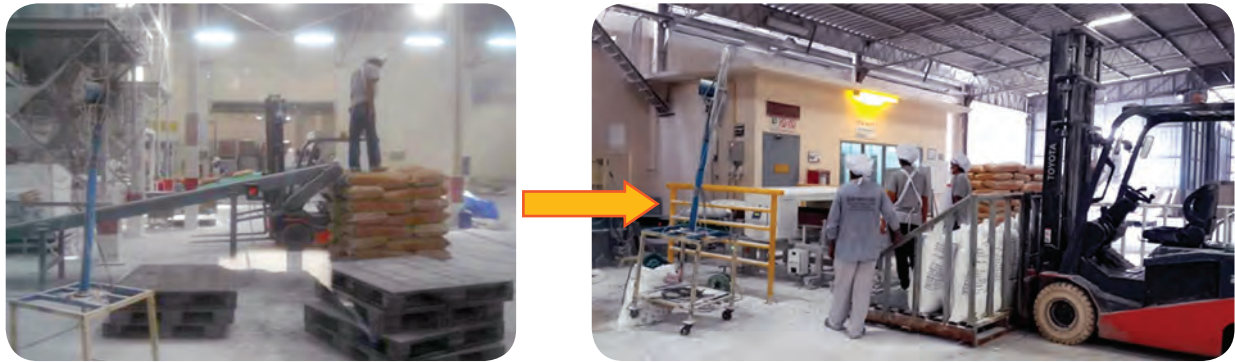
บรรจุโดยใช้หีบบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ แล้วลำเลียงโดยใช้โฟรคลิฟท์ครั้งละ 1 กระสอบ ไปซึ่งน้ำหนักที่เครื่องชั่งแบบดิจิตอลขนาดใหญ่ไว้ แล้วลำเลียงเข้าสู่ที่สำหรับจัดวางในคลังสินค้า



ภาพที่ 39 การบรรจุแป้ง

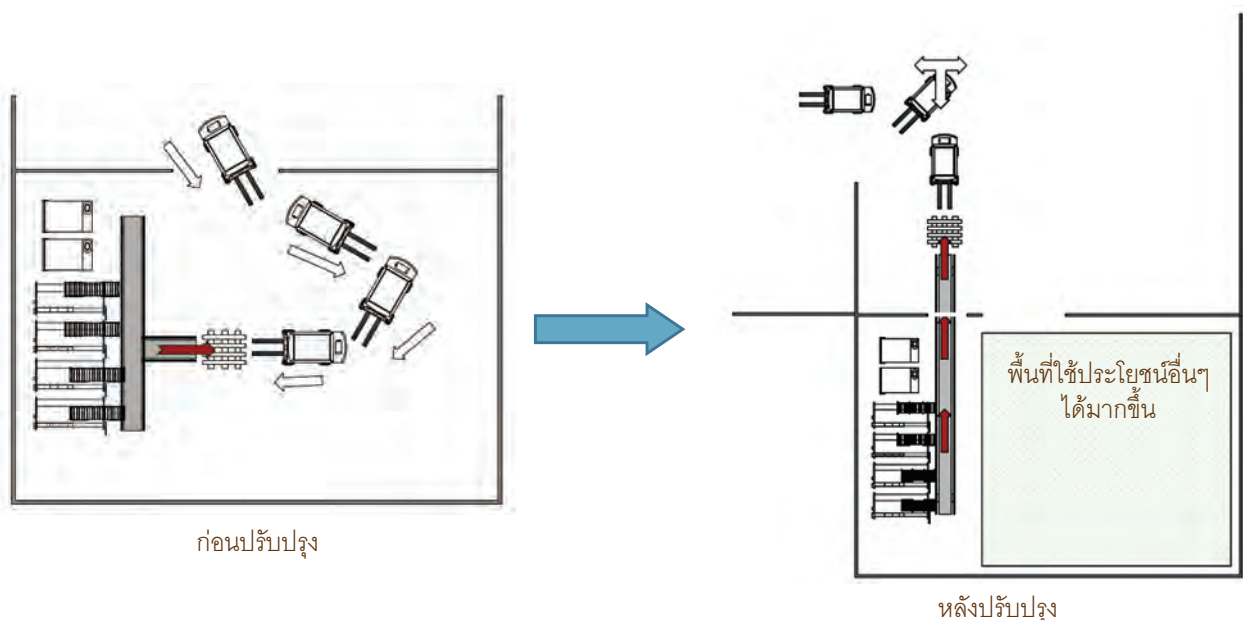
การควบคุม

แผนกบรรจุแป้งควรมีการตรวจสอบไม่ให้เกิดความสูญเสียเปล่าขึ้น อาทิ การทำความสะอาดตะแกรงร่อน ซึ่งอาจต้องหยุดเครื่องจักร ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ลดลง อีกทั้งอาจมีการสูญเสียแบ่งระหว่างการบรรจุ แสดงดังภาพที่ 40 ควรนำเทคนิคการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรมาใช้ และปรับวิธีการดำเนินงาน เพื่อลดการฟุ้งกระจายของแป้ง



ภาพที่ 40 การกระจายตัวของฝุ่นแป้งในแผนกบรรจุถุงก่อนและหลังปรับปรุง

ขั้นตอนการขนย้ายถุงแป้งเข้าคลังสินค้า สามารถเกิดการสูญเสียเปล่าของน้ำมันเชื้อเพลิงได้จากทิศทางการขนย้าย ดังนั้นบริษัทควรปรับปรุงสายพานให้มีระยะสั้นเพื่อประหยัดระยะเวลาขนย้ายและน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงดังภาพที่ 41 รวมทั้งปรับแผนผังโรงงานเพื่อลดระยะทางในการขนส่ง อาทิการปรับปรุงเส้นทางการขนย้ายใหม่ โดยการเจาะประตูทางออกจากท้ายสายการผลิตแป้งตรงแผนบรรจุให้สามารถให้รถยกวิ่งออกด้านหลัง และตรงไปยังโกดังด้านหลังด้วยระยะทางที่สั้นขึ้น



ภาพที่ 41 การปรับปรุงขั้นตอนการขนย้ายถุงแป้งเข้าคลังสินค้า



ภาพที่ 42 การปรับปรุงการเจาะตู้เพื่อขนย้ายสินค้าจากห้องบรรจุถุงไปยังคลังสินค้า เพื่อลดระยะทางการขนย้าย

การวัดประสิทธิภาพ

$$\text{ประสิทธิภาพการบรรจุ} = \frac{\text{แป้งที่ผลิตได้ที่ความชื้นไม่เกิน 13\%}}{\text{แป้งทั้งหมดที่บรรจุ}} \times 100$$

$$\text{แป้งทั้งหมดที่บรรจุได้} = \text{แป้งที่ผลิตได้ที่ความชื้นไม่เกิน 13\%} - \text{แป้งตกเกรด} - \text{แป้งตกพื้น}$$

จุดควบคุมและตรวจสอบ (Checklist)

จุดควบคุมและตรวจสอบ	รายละเอียด
หน่วยบรรจุ	☐ ปริมาณความชื้น ☐ ระยะเวลาในการเปลี่ยนตะแกรง ☐ ขั้นตอนการขนย้ายถุงเข้าคลังสินค้า ☐ ปริมาณแป้งร่อนที่ไม่ผ่านตะแกรง ☐ ปริมาณแป้งตกพื้น ☐ ปริมาณแป้ง Off spec

ระบบ Utility

หม้อไอน้ำ (Boiler)

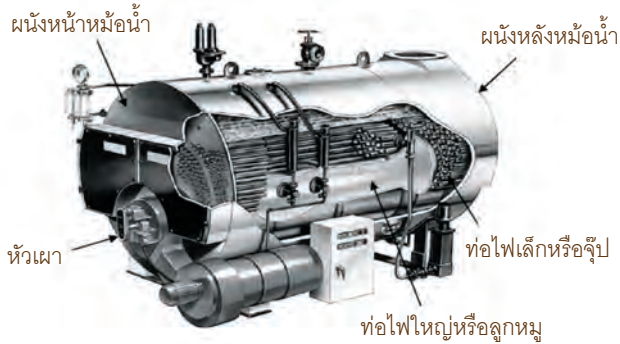
หม้อไอน้ำ หมายถึง เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดภาชนะปิด ทำด้วยเหล็กกล้าหรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ซึ่งได้รับการออกแบบและสร้างอย่างแข็งแรงถูกต้องตามหลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม ภายในภาชนะบรรจุไอน้ำและไอน้ำ

คำจำกัดความของหม้อไอน้ำตามกฎหมายกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดมาตรการความปลอดภัยเกี่ยวกับหม้อไอน้ำ หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อนำความร้อน และภาชนะรับแรงดันในโรงงาน พ.ศ. 2549 ระบุว่า หม้อไอน้ำ หมายถึง ภาชนะปิดสำหรับบรรจุไอน้ำที่มีปริมาณความจุเกิน 2 ลิตรขึ้นไป เมื่อได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงหรือแหล่งพลังงานความร้อนอื่น น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำภายใต้ความดันมากกว่า 1.5 เท่าของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล หรือ ภาชนะปิดสำหรับบรรจุไอน้ำซึ่งใช้ในการผลิตไอน้ำร้อนที่มีพื้นที่ผิวรับความร้อนตั้งแต่ 8 ตารางเมตรขึ้นไป

การทำงานของหม้อไอน้ำ

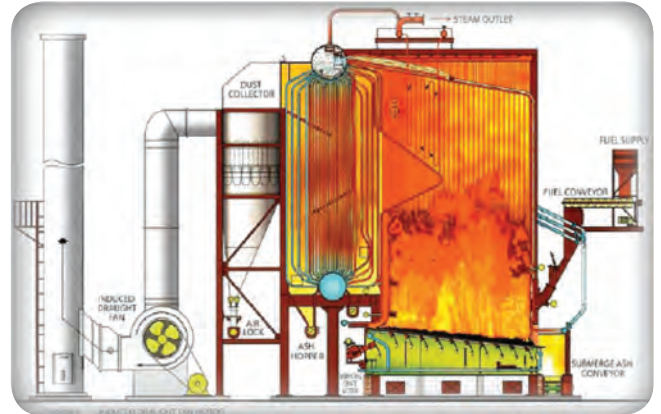
หม้อไอน้ำจะได้รับความร้อนจากภายนอก หรือภายในก็ได้ จากนั้นจะส่งผ่านความร้อนต่อไปยังน้ำที่อยู่ภายในหม้อไอน้ำจนกระทั่งน้ำกลายเป็นไอน้ำ ส่วนใหญ่แล้วจะมีหน้าที่ในการสร้างไอน้ำเพื่อใช้ส่งผ่านความร้อนไปยังเครื่องจักร ทำให้ต้นทุนค่าพลังงานถูกลงกว่าการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องจักร

ประเภทของหม้อไอน้ำ



หม้อน้ำที่มีท่อไฟที่ก๊าซร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำที่รับความร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายนอกท่อ

ภาพที่ 43 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler)



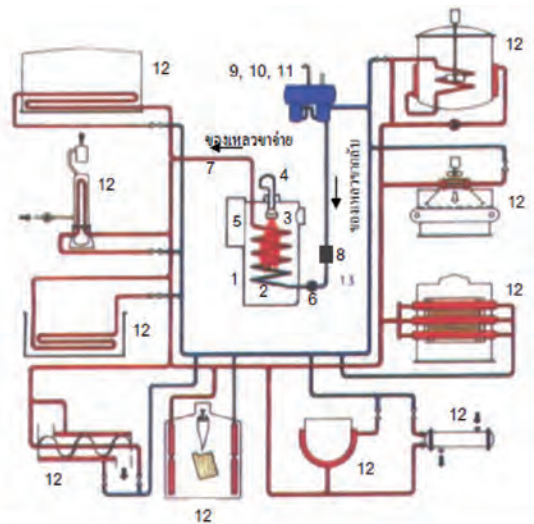
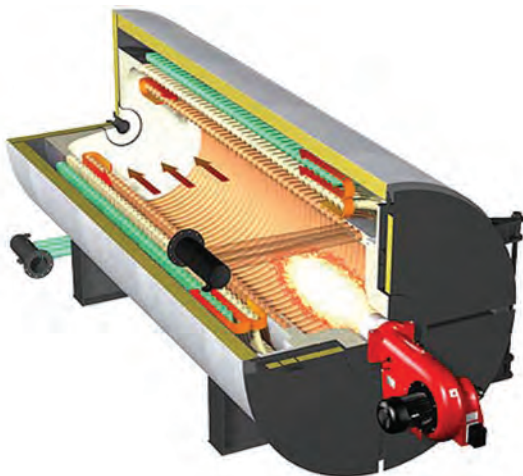
เป็นหม้อน้ำที่มีน้ำอยู่ภายในท่อน้ำ รับความร้อนจากก๊าซร้อนที่ไหลผ่านอยู่ภายนอกท่อเพื่อระเหยกลายเป็นไอน้ำ

ภาพที่ 44 หม้อน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler)

หม้อต้มน้ำมันร้อน (Hot Oil Boiler)

หม้อต้มน้ำมันที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อถ่ายเทความร้อน (Thermal oil boiler or heater) หรือที่นิยมเรียกกันว่าหม้อต้มน้ำมันร้อน (Hot oil boiler) เป็นอุปกรณ์นำความร้อนที่อาศัยน้ำมัน (Thermal oil) ที่มีอุณหภูมิสูงเป็นสื่อถ่ายเทความร้อนจากหม้อต้มน้ำมันร้อน น้ำมันที่ใช้เป็นสื่อถ่ายเทความร้อนจะไหลผ่านท่อซึ่งขดเป็นวง (Heating coil) อยู่ภายในหม้อต้มน้ำมันร้อน วัสดุที่ใช้ทำท่อต้องทนอุณหภูมิได้สูงเกินกว่า 350°C และสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี ขนาดของท่อน้ำมันต้องออกแบบให้เหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้งานและผ่านการทดสอบความปลอดภัย

อุปกรณ์ในระบบหม้อต้มน้ำมันที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อถ่ายเทความร้อนและระบบหมุนเวียนของเหลว



รายการอุปกรณ์

1-หม้อต้ม	5-ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า	9-ถังไล่อากาศ
2-ชุดท่อน้ำมัน	6-เครื่องสูบลวของเหลวหมุนเวียน	10-ถังรับการขยายตัว
3-ห้องเผาไหม้	7-ท่อหมุนเวียนของเหลว	11-ถังเก็บของเหลว
4-หัวเผา	8-ไส้กรอง	12-อุปกรณ์ที่ใช้ของเหลวร้อน

ภาพที่ 45 หม้อต้มน้ำมันร้อน

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำหรือหม้อน้ำมันร้อน

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ คือ ความสามารถของหม้อไอน้ำที่จะเปลี่ยนพลังงานที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงให้กลายเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของไอน้ำ ซึ่งก็คือ อัตราส่วนของพลังงานออกที่ได้ประโยชน์(ไอน้ำ)ต่อพลังงานที่ใส่เข้าไป (เชื้อเพลิง)

การวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำทางตรง (Boiler Efficiency by direct method)

$$\text{ประสิทธิภาพ} = (\text{Heat output/Heat input}) \times 100$$

$$\text{หม้อไอน้ำ (วัดทางตรง)} = \frac{\text{อัตราการผลิตไอน้ำ (ก.ก.ไอน้ำ/ชั่วโมง)} \times (\text{เอนทาลปีของไอน้ำ} - \text{เอนทาลปีของน้ำป้อน}) (\text{กิโลจูล/ ก.ก.ไอน้ำ})}{\text{อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (ก.ก./ ชั่วโมง)} \times \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูล/ ก.ก.เชื้อเพลิง)}} \times 100$$

$$\text{หม้อต้มน้ำมันร้อน (วัดทางตรง)} = \frac{\text{อัตราการไหลของน้ำร้อน} \times C_{pm} \times (T_{\text{oil supply}} - T_{\text{oil return}})}{\text{อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (ก.ก./ ชั่วโมง)} \times \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูล/ ก.ก.เชื้อเพลิง)}} \times 100$$

การวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ หรือหม้อต้มน้ำมันร้อน (ทางอ้อม)

เป็นการวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ ที่ได้จากการนำความร้อนสูญเสียในรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดจากการผลิตไอน้ำ มาหักออกจากพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ หรือเรียกว่า วิธีความร้อนสูญเสีย (Heat loss method)

$$\text{ประสิทธิภาพทางอ้อม} = 100 - \text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียพลังงานในรูปแบบต่างๆ}$$

จำนวนเท่าของการระเหยหรืออัตราส่วนการผลิตของหม้อไอน้ำ

หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่ผลิตขึ้นและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการระเหยไอน้ำจำนวนนั้น

$$\text{จำนวนเท่าของการระเหย} = \frac{\text{ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้น (กก./ชั่วโมง, t/h)}}{\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (กก./ชั่วโมง, mm}^3\text{/h)}}$$



ตารางที่ 1 ข้อมูลการตรวจสอบและการคำนวณการสูญเสียของก๊าซเสีย

หัวข้อ	รายการ		หน่วย	หมายเหตุ
(1)	อัตราการผลิต		%	
(2)	เชื้อเพลิง	ชนิดเชื้อเพลิง	-	
		อัตราการใช้ (F)	ลิตร/ชม.	
			กก./ชม.	
		อุณหภูมิ (TF1)	°C	
		ค่าความร้อนต่ำ (LHV)	kcal/kg	
		ราคาน้ำมัน (CF)	บาท/ลิตร	
		ความถ่วงจำเพาะ (SpGr)		
		ความจุความร้อนจำเพาะ (Cp)	kcal/(nm ³ °C)	
(3)	ก๊าซเสียสภาพเดิม	ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (A ₀)	nm ³ /kgF (liq)	A ₀ = (0.85HL/1000) + 2.0
			nm ³ /kgF(solid)	A ₀ = (1.01HL/1000) + 0.5
			nm ³ /nm ³ เชื้อเพลิง	A ₀ = 1/0.21 (0.5 H ₂ + 0.5 CO + 2CH ₄ + 3.5C ₂ H ₆ + 3 C ₂ H ₄ + 5C ₃ H ₈ + 6.5C ₄ H ₁₀ - O ₂)
		ปริมาณ %O ₂	%	จากการวัด
		ปริมาณ % CO ₂	%	จากการวัด
		ปริมาณ CO	PPM	จากการวัด
		อุณหภูมิก๊าซเสีย (TG ₁)	°C	จากการวัด
		อัตราส่วนอากาศ(M ₁)	เชื้อเพลิงเหลวและ เชื้อเพลิงแข็ง	M = 21/(21-O ₂) M = CO ₂ max/CO ₂ $CO_2max = \frac{1.867C}{G_0 - (11.2H + 1.244W_0)}$
			เชื้อเพลิงก๊าซ	M = $\frac{(1 + (O_2 - 0.5OC)G)}{0.21A_0}$
		ปริมาณอากาศที่ใช้จริง (A)	nm ³ /kgF	A = MA ₀
		ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎี (G ₀)	nm ³ /kgF (liq)	G ₀ = 1.11HL/1000
			nm ³ /kgF(solid)	G ₀ = 0.89HL/1000 + 1.65
			nm ³ /nm ³ เชื้อเพลิง	G ₀ = 1 + A ₀ - 0.5(H ₂ + CO - C ₂ H ₆ + 2C ₃ H ₈ - 3C ₄ H ₁₀)
		ปริมาณก๊าซเสียจริง (G ₁)	nm ³ /kgF	G = G ₀ + (M - 1)A ₀
			nm ³ /nm ³ เชื้อเพลิง	G = G ₀ - (H ₂ + 2CH ₄ + 3 C ₂ H ₆ + 2C ₂ H ₄ + 4C ₃ H ₈ + 5C ₄ H ₁₀)
		ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Cp _m)	0.33 kcal/(nm ³ °C)	ค่าความร้อนจำเพาะเฉลี่ย
(4)	การสูญเสียความร้อนของก๊าซเสียก่อนการปรับปรุงการเผาไหม้ (L ₁)		kcal/kgF	L ₁ = G ₁ × Cp _m × (TG ₁ - T ₀)
(5)	ก๊าซเสียหลังการปรับปรุงการเผาไหม้และผิวถ่ายความร้อน	ปริมาณ % O ₂	%	ปริมาณ % O ₂ ที่เหมาะสมในก๊าซเสีย
		ปริมาณ % CO ₂	%	ปริมาณ % CO ₂ ที่เหมาะสมในก๊าซเสีย
		อุณหภูมิก๊าซเสีย (TG ₂)	°C	อุณหภูมิก๊าซเสียที่คาดหวังไว้หลังจากการทำความสะอาดผิวถ่ายเทความร้อน
		อัตราส่วนอากาศ (M ₂)		อัตราส่วนอากาศหลังการปรับปริมาณอากาศใหม่
		ปริมาณก๊าซเสียจริง (G ₂)	nm ³ /kgF	G = G ₀ + (M ₂ - 1)A ₀

หัวข้อ	รายการ	หน่วย	หมายเหตุ
(6)	การสูญเสียความร้อนของก๊าซเสียหลังจากปรับปรุงการเผาไหม้ (L_2)	kcal/kgF	$L_2 = G_2 \times C_{pm} \times (T_{G2} - T_0)$
(7)	ปริมาณความร้อนสูญเสียลดลง	kcal/h	$(L_1 - L_2) \times F$
(8)	คิดเป็นปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง	ลิตร/ปี	$(7) / (LHV \times SpGr) \times \text{เวลาทำงานใน 1 ปี}$
(9)	คิดเป็นมูลค่า	บาท/ปี	$(8) \times CF$

ตารางที่ 2 การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ

สิ่งที่ต้องตรวจสอบหรือบำรุงรักษา	ระยะเวลา				
	1 วัน	7 วัน	1 เดือน	3-6 เดือน	1 ปี
เกจวัดความดันและท่อเข้าเกจ		O			M
สวิตช์ควบคุมความดัน		O			M
คุณสมบัติของน้ำที่ป้อนเข้าหม้อไอน้ำ	O				
เครื่องปรับปรุงคุณภาพน้ำ		O		M	
เครื่องสูบน้ำป้อน		O		M	
วาล์วกันกลับ			O	M	
ล้นนิรภัย		O		M	
ชุดหัวฉีด		O		M	
ตาไฟ		O		M	
กระจกส่องดูการเผาไหม้			O	M	
อุปกรณ์อุ่นน้ำมัน		O		M	
ไส้กรองน้ำมัน			O	M	
ถังเก็บน้ำมัน			O		M
ท่อน้ำ ท่อไฟเพดานเตาด้านสัมผัสไฟ				O	M
อิฐทนไฟ, ฉนวนกันความร้อน				O	M
ปลั๊กหลอมละลาย				O	M
เหล็กยึดโยง				O	M
ฝาหอย, ช่องทำความสะอาด				O	M
ถังพักไอน้ำ				O	M
อุปกรณ์แยกน้ำ				O	M
ก้นถังไอน้ำ				O	M
รับรองความปลอดภัยของหม้อไอน้ำโดยวิศวกร					M

หมายเหตุ: O หมายถึง การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ เช่น การระบายน้ำ การระบายไอน้ำ การอัดน้ำ ฯลฯ
M หมายถึง การบำรุงรักษา การปรับปรุงแก้ไข การทำความสะอาด การเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ ฯลฯ

[illegible]

หมายเหตุ: ¹ให้กรอกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง ²สรุปการทำงานของคุณและอุปการะ: ☐ ปกติ ☐ ไม่ปกติ มีปัญหา คือ

ตารางที่ 5 การตรวจสอบและบำรุงรักษาหม้อต้มน้ำมันร้อน

รายการที่ต้องตรวจสอบและบำรุงรักษา	1 วัน	7 วัน	1 เดือน	6 เดือน	1 ปี
1. หม้อต้มที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อถ่ายเทความร้อน					
- ตรวจสอบหารอยรั่วที่ฝาหน้าและฝาหลัง	O				
- สภาพจนวนกันความร้อนที่หม้อต้มฯ			O		E
2. อุปกรณ์ในระบบหมุนเวียนของเหลว					
- ความดันภายในถังรับการขยายตัว (กรณีใช้ซิลด้วยไนโตรเจน)	O				
- ระดับของเหลวที่ถังรับการขยายตัว	O				
- ระดับของเหลวที่ถังเก็บ	O				
- อุณหภูมิของเหลวในถังรับการขยายตัว	O				
- เครื่องควบคุมระดับของเหลวในถังรับการขยายตัว	O				E
- สภาพถังรับการขยายตัว				O	E
- สภาพถังเก็บของเหลว				O	E
- สภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน				O	E
3. ห้องเผาไหม้ หัวเผา และระบบเชื้อเพลิง					
- หัวเผา หรือระบบป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง				O	E
- สภาพชุดท่อของเหลวในห้องเผาไหม้					E
- สภาพอิฐทนไฟในห้องเผาไหม้					E
- ตรวจสอบภายในห้องเผาไหม้				O	
- ล้างทำความสะอาดห้องเผาไหม้					E
- ตรวจสอบความดันน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวเผา	O				
- ตรวจสอบรอยรั่วซึมของน้ำมันเชื้อเพลิง	O				
- ตรวจสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้		E			
- ทำความสะอาดหัวฉีด		E			
- ทำความสะอาด Flame sensor		E			
- ทำความสะอาดเซ็นเซอร์สปาร์ก		E			
- ทำความสะอาดไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง		E			
- ทำความสะอาดอุปกรณ์ของหัวเผา					E
- ระบายตะกอนกันถังเก็บและพักน้ำมันเชื้อเพลิง				O	
4. อุปกรณ์ความปลอดภัยและเครื่องมือวัด					
- เกจวัดความดันของเหลวในระบบ	O				E
- เกจวัดอุณหภูมิของเหลวในระบบ	O				E
- เกจวัดอุณหภูมิปล่อง	O				E
- สัญญาณเตือนภัยอัตโนมัติ			O		E
- ลีนินรัย		O			E

รายการที่ต้องตรวจสอบและบำรุงรักษา	1 วัน	7 วัน	1 เดือน	6 เดือน	1 ปี
- ตรวจสอบทดสอบความปลอดภัยในการใช้งาน					E
- ตรวจสอบเทอร์โมสแตท				O	
- ตรวจสอบสวิตช์ความดันแตกต่าง				O	
- ตรวจสอบลูกกลอยรักษาระดับของเหลว				O	
- เครื่องยนต์สำรองขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าฉุกเฉิน				O	E
5. เครื่องสูบลมของเหลวหมุนเวียนและมอเตอร์					
- เครื่องสูบลมของเหลวหมุนเวียนในระบบ				O	
- เครื่องเติมของเหลวเข้าระบบ				O	
- ตรวจสอบลูกปืน (ฟังจากเสียงผิดปกติ)	O				
- ตรวจสอบรอยรั่วของชุดกันรุน	O				
- ตรวจสอบข้อต่อเพลลา			O		
- ตรวจสอบนอตยึดส่วนต่าง ๆ ของเครื่องสูบลม			O		
6. ระบบท่อและอุปกรณ์ประกอบท่อ					
- วาล์วไล่อากาศในระบบท่อทางส่งของเหลว				O	
- สภาพท่อทางของเหลว				O	E
- วาล์วปิด เปิด ของเหลวในระบบ					E
- ไล์กรองของเหลว					E
- ตรวจสอบการรั่วไหลของของเหลว			O		
- ตรวจสอบชุดรองรับการขยายตัวของท่อ			O		
- ตรวจสอบฉนวนกันความร้อนของท่อและวาล์ว			O		
- ทดสอบเปิดปิดวาล์วเพื่อไม่ให้วาล์วติดตาย			O		
7. ของเหลวที่ใช้เป็นสื่อทำความร้อน					
- คุณภาพของเหลวที่ใช้เป็นสื่อทำความร้อนในระบบ				E	
- ตรวจสอบความดันก๊าซเฉื่อย (ถ้ามี)	O				

หมายเหตุ: O หมายถึง การตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ และบันทึกค่าโดยผู้ควบคุม
E หมายถึง การตรวจสอบบำรุงรักษา การปรับปรุงแก้ไข การเปลี่ยนหรือซ่อม และอื่น ๆ โดยวิศวกร

อ้างอิง

- จากวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี
- คู่มือการใช้งานและดูแลบำรุงรักษาหม้อน้ำโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ : ความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำสำนักความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2553
- คู่มือการใช้งานและการดูแลรักษาหม้อต้มน้ำที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อทำความร้อนโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ : ความปลอดภัยในการใช้งานหม้อน้ำสำนักความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2553
- ตำราอบรม “ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส ด้านปฏิบัติ” ด้านความร้อน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

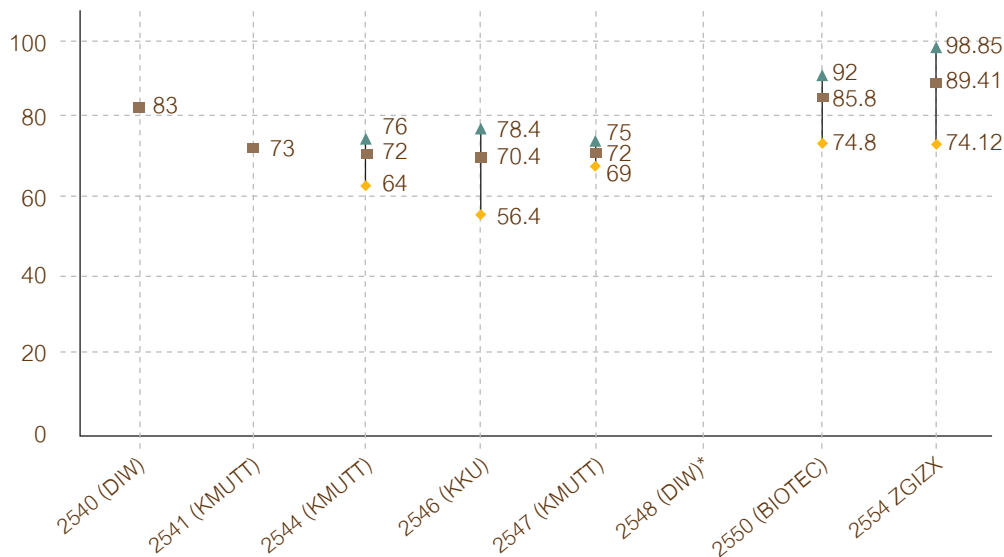
การเก็บข้อมูลการผลิตและการใช้ทรัพยากร ของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ดัชนีชี้วัดความสำเร็จ (KPI)

ประสิทธิภาพการผลิตและการสูญเสียแป้งจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ^[1]

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังในอดีตเป็นกรรมวิธีการผลิตเป็นแบบง่าย ๆ เครื่องจักรและกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน และใช้แรงงานคนเป็นหลัก แต่ปัจจุบันอุตสาหกรรมได้พัฒนาและปรับกรรมวิธีการผลิตแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องจักรที่ทันสมัยขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 46 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการผลิตแป้งมันสำปะหลังตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2540 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ปัญหาสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังในอดีต คือ ไม่มีการเก็บข้อมูลการผลิตอย่างเป็นระบบ รวมทั้งพิจารณาประสิทธิภาพการผลิตเพียงกำลังการผลิตเท่านั้น

ปัจจุบันการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิต มุ่งเน้นทั้งปริมาณการผลิต แป้ง การใช้ทรัพยากรการผลิตและการจัดการของเสียจากกระบวนการผลิต กลุ่มโรงงานแป้งมันสำปะหลังจึงหันมาใช้ในการจัดทำฐานข้อมูลค่ามาตรฐานเชิงประสิทธิภาพของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังผ่านการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ (Key Performance Index: KPI) เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตและการใช้ทรัพยากรของโรงงานให้คุ้มค่า โดยมุ่งเน้นการเก็บข้อมูล การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล การนำเสนอข้อมูลเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงร่วมกัน ในขณะเดียวกันข้อมูลดังกล่าวยังเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดแนวทางในการพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังได้ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์สำคัญของการจัดทำฐานข้อมูลฯ คือ เพื่อวิเคราะห์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิต การใช้ทรัพยากรในการผลิต การผลิตพลังงานทดแทน (ก๊าซชีวภาพ) ของโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นเป้าหมายประสิทธิภาพการผลิต พฤติกรรมการใช้ทรัพยากรการผลิตของโรงงานและสามารถหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า รวมทั้งกระตุ้นให้กลุ่มอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมีการเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบและนำข้อมูลที่ได้เก็บมาวิเคราะห์ผลทางด้านวิศวกรรมได้ด้วยตนเอง



ภาพที่ 46 ประสิทธิภาพการผลิตแอมโมเนียสำหรับบำบัดน้ำเสียตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540-2554

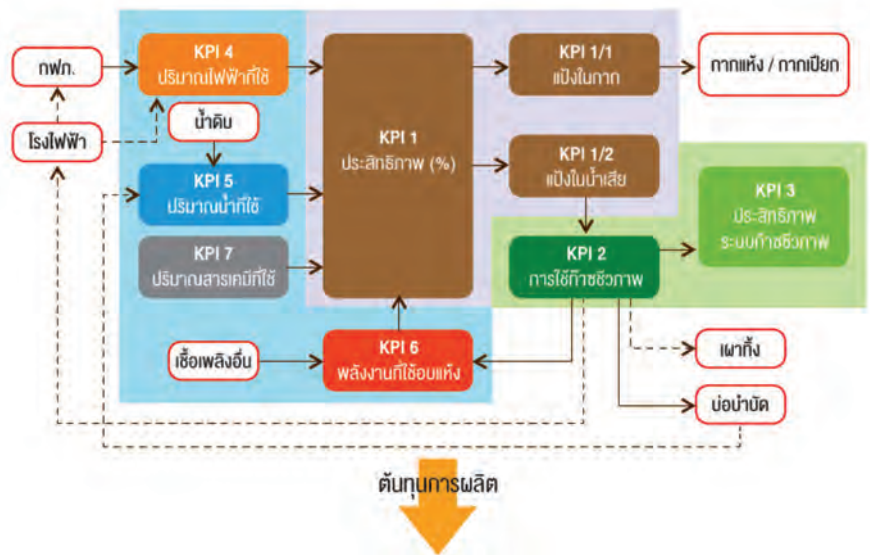
ที่มา: โครงการการพัฒนาบุคลากรด้านพลังงานและอุตสาหกรรมแอมโมเนียสำหรับบัณฑิตวิศวกรรม พลังงาน และสิ่งแวดล้อม, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

KPI ทั้ง 7 พร้อมระบุวิธีการวัดและการคำนวณ KPI

กิจกรรมการทำ Benchmarking Index ซึ่งเป็นกลยุทธ์ในการพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่อง โดยเปรียบเทียบผลการปฏิบัติของตนเองกับหน่วยงานอื่นที่มีการบริหารจัดการที่ดีกว่าหรือได้รับการยอมรับ โดยมีการวางแผนการเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ มีการตัดสินใจถึงเป้าหมายชนิดของข้อมูล รวมถึงตัวชี้วัดความสำเร็จ (Key Performance Indices หรือ KPIs) กิจกรรมนี้รวมถึงการวิเคราะห์หาสาเหตุหรือหาวิธีการที่จะปรับปรุงการทำงานของตนเองให้ดีขึ้นที่สามารถวัดและตรวจสอบได้ โดยทำให้ดีเท่ากับหรือทำให้ดีกว่าหน่วยงานที่เปรียบเทียบ เพื่อยกระดับการปฏิบัติงานในแต่ละดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ (KPIs) จนได้แนวทางปฏิบัติที่ดี (Best Practice) ซึ่งเป้าหมายสำคัญของการทำ Benchmarking Index ทำให้องค์กรสามารถตอบคำถาม 4 ข้อ ได้ดังนี้ คือตำแหน่งขององค์กรในธุรกิจหรืออุตสาหกรรม (where are we?) องค์กรที่เป็นผู้นำในธุรกิจหรืออุตสาหกรรม (Who is the best?) องค์กรที่เป็นผู้นำมีวิธีการปฏิบัติอย่างไร (How do they do it?) และวิธีการที่องค์กรสามารถปฏิบัติได้ดีกว่า (How can we do it better?)

สำหรับอุตสาหกรรมแอมโมเนีย มีคำแนะนำดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ (Key Performance Indices – KPI) เป็นเป้าหมายหลักในการระบุการปรับปรุงประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลให้การปลดปล่อยของเสียลดลง โดย KPI ของอุตสาหกรรมแอมโมเนียหลังจากการกำหนดโดยองค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (GIZ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ซึ่งมีทั้งสิ้น 7 ดัชนี แสดงดังภาพที่ 47 ดังนี้

- KPI 1: ประสิทธิภาพรวมของการผลิต (%) จากปริมาณแอมโมเนียสูญเสียในกากมัน (KPI 1/1) และสูญเสียไปกับน้ำเสีย (KPI 1/2)
- KPI 2: ปริมาณก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ประโยชน์ (ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพที่ใช้ต่อตันแอมโมเนีย)
- KPI 3: อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อภาระสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด (ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพที่ผลิตต่อ กก. COD ที่ถูกกำจัด)
- KPI 4: ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวม (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันแอมโมเนีย)
- KPI 5: ปริมาณน้ำที่ใช้รวม (ลบ.ม. ต่อตันแอมโมเนีย)
- KPI 6: ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง (เมกกะจูลต่อตันแอมโมเนีย)
- KPI 7: ปริมาณสารเคมีที่ใช้รวม (กก. ต่อตันแอมโมเนีย)



ภาพที่ 47 ตัวชี้วัดความสำเร็จ (Key Performance Indices หรือ KPIs)

KPI 1 ประสิทธิภาพกระบวนการผลิต และสัดส่วนการสูญเสียแบ่งในกากและในน้ำเสีย (%)

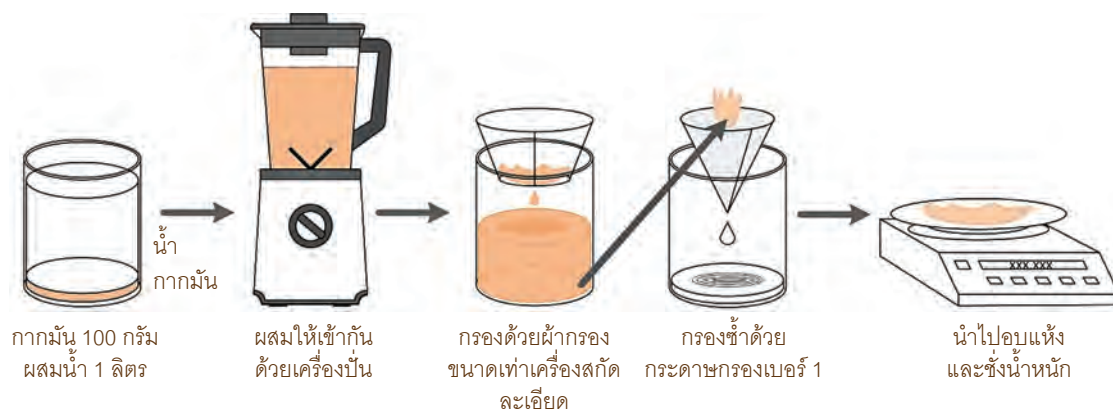
KPI 1 เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพรวมกระบวนการผลิต ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพรวมของกระบวนการผลิตหรือประสิทธิภาพในการแยกเม็ดแบ่งออกจากหัวมันลำปะหลัง รวมทั้งมีการประเมินค่าสัดส่วนการสูญเสียแบ่งส่วนใหญ่ระหว่างกระบวนการผลิต คือ การสูญเสียแบ่งในกากมัน (KPI 1/1) และในน้ำเสีย (KPI 1/2)

KPI 1 หาได้จากสัดส่วนร้อยละของปริมาณผลผลิตแบ่งรวมที่ผลิตได้ (รวมทั้งแบ่งแห้ง แบ่งหมาด น้ำแบ่ง) ต่อปริมาณแบ่งเริ่มต้นที่เข้าสู่กระบวนการผลิต

$$\text{ประสิทธิภาพกระบวนการผลิต} = \frac{\text{ปริมาณแบ่งที่ผลิตได้ทั้งหมด (ตัน)}}{\text{ปริมาณแบ่งที่เข้ากระบวนการผลิต (ตัน)}} \times 100$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 1
- ประสิทธิภาพการผลิต หรือค่า KPI 1 สูงเกิน 100% - ประสิทธิภาพการผลิตจากการบันทึกมีความคลาดเคลื่อน	- การบันทึกปริมาณหัวมันเข้ากระบวนการผลิตคลาดเคลื่อน เนื่องจากการตัดกองมันเข้ากระบวนการผลิตในแต่ละวัน - เปอร์เซ็นต์แบ่งที่วัดได้น้อยกว่าค่าที่เป็นจริง เนื่องจากการหักเปอร์เซ็นต์หัวมันและไม่มีการบันทึกลงระบบ หรือเปอร์เซ็นต์แบ่งที่บันทึกมาจากการซื้อขาย ไม่ใช่เข้ากระบวนการผลิตจริง - ไม่มีการบันทึกปริมาณแบ่งแห้งที่กลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่	- การลดการสูญเสียแบ่งไปกับกากสามารถทำได้โดย - การใช้ชุดสกัดหยาบและละเอียดให้เหมาะสม - การควบคุมสัดส่วนของเหลวต่อของแข็ง (L/S ratio) ประมาณ 5.5-6.5 - การควบคุมปริมาณและแรงดันน้ำฉีดเข้าเครื่องสกัด - การใช้น้ำกำมะถัน เพื่อป้องกันการเกิดเมือกโปรตีน - การใช้ชุดเครื่องจักรให้เพียงพอต่อปริมาณน้ำแบ่งเข้า - การทำความสะอาดตะแกรงกรอง - การควบคุมค่าการสูญเสียให้อยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานยอมรับได้และสม่ำเสมอ - การกำหนดมาตรฐานการทำงาน และจุดควบคุม (Work Instruction: WI) เพื่อควบคุมประสิทธิภาพของเครื่องสกัด และประสิทธิภาพการผลิตรวมของกระบวนการผลิต

KPI 1/1 หาได้จากสัดส่วนของแป้งที่หลงเหลืออยู่ในกากมันสำปะหลังต่อปริมาณแป้งเริ่มต้นที่เข้าสู่กระบวนการผลิต โดยปริมาณแป้งที่สูญเสียในกากมัน หาได้จาก



ภาพที่ 48 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งในกากมัน สำหรับ KPI 1/1

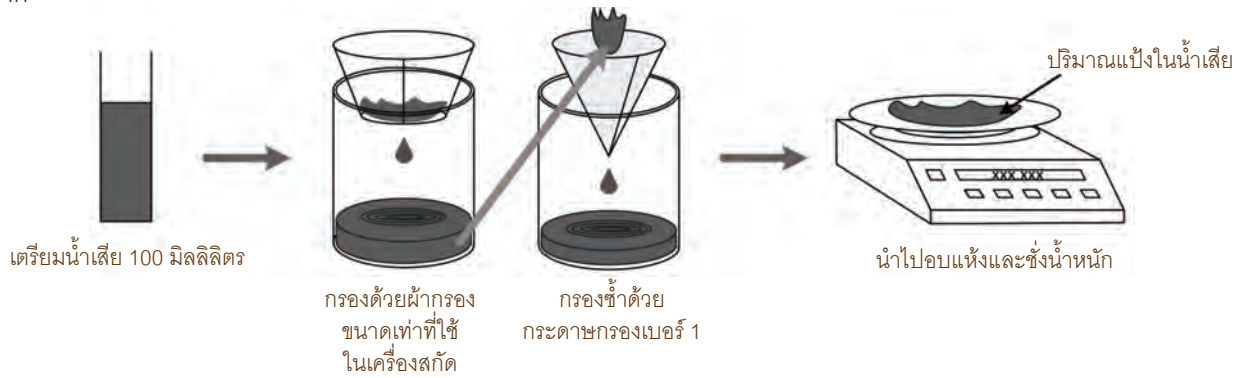
การวิเคราะห์ปริมาณแป้งในกากมัน แสดงดังภาพที่ 48

- เตรียมกากมัน 100 กรัม
- นำกากมัน 100 กรัม ผสมน้ำ 1 ลิตร
- ปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ผสมเข้าด้วยกัน
- นำมากรองด้วยผ้ากรองขนาดเท่าที่ใช้ในเครื่องสกัดละเอียด
- นำน้ำส่วนที่ผ่านการกรอง มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
- นำตัวอย่างแป้งในกระดาษกรองเบอร์ 1 มาอบแห้ง
- บันทึกข้อมูลปริมาณแป้งในกากมัน (%)

$$\text{ปริมาณแป้งสูญเสียในกาก} = \frac{\text{ปริมาณแป้งที่สูญเสียในกากมัน (ตัน)}}{\text{ปริมาณแป้งที่เข้าสู่กระบวนการผลิต (ตัน)}} \times 100$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 1/1
1. ปริมาณแป้งในกากมันสำปะหลังมีค่าสูงมาก 2. ข้อมูลการสูญเสียแป้งในกากมันสำปะหลังจากการบันทึกมีความคลาดเคลื่อน	1. การบันทึกข้อมูลกากมันที่ขายได้ ผิดพลาดหรือใช้การคำนวณปริมาณกากจากหัวมันเริ่มต้น 2. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณแป้งในกากใช้วิธีการแตกต่างกัน 3. ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ เช่น ขั้นตอนการปั่นกากมัน อุณหภูมิในการอบตัวอย่าง หรือขนาดรูกกระดาษกรองที่ใช้ 4. หน่วยการบันทึกปริมาณแป้งในกากแตกต่างกัน	1. การลดการสูญเสียแป้งไปกับกากสามารถทำได้โดย - การเลือกใช้ชุดสกัดกากอัดกากหรือสายพานอัดกาก - การลดความชื้นของกากมันสุดท้าย - การควบคุมสัดส่วนของเหลวต่อของแข็ง (L/S ratio) - การควบคุมปริมาณและแรงดันน้ำฉีดเข้าเครื่องสกัดกาก - การใช้ชุดเครื่องจักรให้เพียงพอต่อปริมาณกากมันเข้า 2. การควบคุมค่าการสูญเสียให้อยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานยอมรับได้และสม่ำเสมอ 3. การกำหนดมาตรฐานการทำงานและจุดควบคุม (Work Instruction: WI) เพื่อควบคุมการสูญเสียแป้งในกากมัน

KPI 1/2 หาได้จากสัดส่วนของแป้งที่หลงเหลืออยู่ในน้ำเสียต่อปริมาณแป้งเริ่มต้นที่เข้าสู่กระบวนการผลิต โดยปริมาณแป้งที่สูญเสียในน้ำเสียหาได้จาก



ภาพที่ 49 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งในน้ำเสีย สำหรับ KPI 1/2

การวิเคราะห์ปริมาณแป้งในน้ำเสีย แสดงดังภาพที่ 49

- เตรียมน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร
- นำมากรองด้วยผ้ากรองขนาดเท่าที่ใช้ในเครื่องสกัด
- นำน้ำส่วนที่ผ่านการกรอง มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
- นำตัวอย่างแป้งในกระดาษกรองเบอร์ 1 มาอบแห้ง
- บันทึกข้อมูลปริมาณแป้งในน้ำเสีย (%)

$$\text{ปริมาณแป้งสูญเสียในน้ำเสีย} = \frac{\text{ปริมาณแป้งที่สูญเสียในน้ำเสีย (ตัน)}}{\text{ปริมาณแป้งที่เข้าสู่กระบวนการผลิต (ตัน)}} \times 100$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 1/2
1. ปริมาณแป้งในน้ำเสีย มีค่าสูงมาก 2. ข้อมูลการสูญเสียแป้งในน้ำเสียจากการบันทึก มีความคลาดเคลื่อน	1. การบันทึกปริมาณน้ำเสียผิดพลาด หรือไม่มีมิเตอร์วัดปริมาณน้ำเสีย 2. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณแป้งในน้ำเสีย แตกต่างกัน 3. ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ เช่น อุณหภูมิในการอบเกิน 60°C ไม่มีการกรองน้ำเสียผ่านกระดาษกรอง หรือขนาดรกระดาษกรองที่ใช้แตกต่างกัน 4. หน่วยการบันทึกปริมาณแป้งในกาก แตกต่างกัน เช่น เปอร์เซ็นต์ หรือ กรัมแป้งต่อกรัมตัวอย่าง หรือความสูงของชั้นแป้งหลังการปั่นเหวี่ยง	1. การลดการสูญเสียแป้งไปกับน้ำเสีย - การเลือกใช้ชุดเครื่องแยก หรือไฮโดรไซโคลน - การใช้ชุดเครื่องจักรให้เพียงพอ ต่อปริมาณน้ำแป้งเข้าชุดเครื่องแยก หรือไฮโดรไซโคลน - การใช้ขนาดหัวฉีดเครื่องแยก ให้เหมาะสมต่อความเข้มข้นน้ำแป้งเข้า และการออกแบบเครื่องจักร - การควบคุมความเข้มข้นน้ำแป้งเข้าให้คงที่ - การทำความสะอาดเครื่องแยก 2. การควบคุมค่าการสูญเสียให้อยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานยอมรับได้และสม่ำเสมอ 3. การกำหนดมาตรฐานการทำงาน และจุดควบคุม (Work Instruction: WI) เพื่อควบคุมการสูญเสียแป้งในน้ำเสีย

KPI 2 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ประโยชน์ (ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพ/ตันแป้งแห้ง)

KPI 2 เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ประโยชน์ เป็นค่าที่แสดงถึงการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการอบแห้งหรือการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ภายในโรงงานหรือส่งจำหน่ายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

KPI 2 สามารถประเมินสัดส่วนการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพต่อปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมด

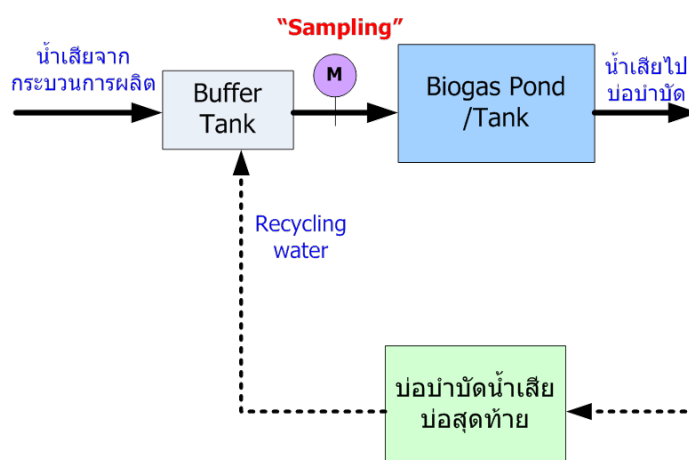
$$\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ประโยชน์} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ (ลบ.ม.)}}{\text{ปริมาณแป้งแห้งที่ผลิตได้ (ตัน)}}$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 2
1. การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพมีค่าสูงมาก 2. ปริมาณก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ประโยชน์และที่ผลิตได้มีความคลาดเคลื่อน	1. การบันทึกเพียงปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพต่อตันแป้ง ซึ่งไม่มีการบันทึกเปอร์เซ็นต์มีเทน 2. การติดตั้งมิเตอร์วัดปริมาณก๊าซชีวภาพเป็นมิเตอร์รวม ซึ่งควรแยกเป็นเฉพาะใช้ในกระบวนการผลิต 3. การบันทึกปริมาณก๊าซชีวภาพที่ส่งไประบบอบแห้งหรือระบบผลิตกระแสไฟฟ้าไม่ถูกต้อง	1. การควบคุมคุณสมบัติของก๊าซให้คงที่ โดยควบคุมเปอร์เซ็นต์มีเทนให้คงที่และอยู่ในช่วง 50-60% และควบคุมให้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีความชื้นต่ำ 2. การสร้างบ่อเก็บก๊าซให้มีขนาดเพียงพอ 3. การปรับลักษณะหัวเผาให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของก๊าซ 4. การออกแบบท่อ หัวเผาและอุปกรณ์ให้ทนกับสภาวะกัดกร่อน 5. การสอบเทียบมิเตอร์สำหรับวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้และนำไปใช้ประโยชน์

KPI 3 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อภาระอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด (ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพต่อ กก.COD ที่ถูกกำจัด)

KPI 3 เป็นดัชนีชี้วัดอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อภาระอินทรีย์สารที่ถูกกำจัด เป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อสารอินทรีย์ภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ถูกกำจัดทิ้ง โดยดัชนีนี้สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพได้

ตามทฤษฎีค่า KPI 3 ควรมีค่า 0.55 ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพที่ผลิตต่อ กก.COD ที่ถูกกำจัด หาก KPI 3 มีค่าต่ำ สามารถบ่งบอกถึงความผิดปกติของระบบผลิตก๊าซชีวภาพได้



$$\text{อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อภาระสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบ (ลบ.ม.)}}{\text{ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม.)} \times \text{สารอินทรีย์ที่ถูกกำจัด (กก./ลบ.ม.)}}$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 3
- อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อภาระอินทรีย์สารที่ถูกกำจัดมีค่าสูงกว่าทฤษฎี (0.55 ลบ.ม. ก๊าซชีวภาพที่ผลิตต่อ กก.COD ที่ถูกกำจัด) - อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อภาระอินทรีย์สารที่ถูกกำจัดที่บันทึกมีความคลาดเคลื่อน	- ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดค่าซีโอดีไม่เหมาะสม คือ ควรเก็บที่บ่อรวมน้ำเสียและหลังออกจากระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ - การบันทึกอัตราการไหลน้ำเสียไม่ถูกต้องหรือมิเตอร์วัดปริมาณน้ำเสียไม่ถูกต้อง - กำหนดให้ค่า KPI 3 เป็นค่าคงที่ (ไม่ได้มาจากการเก็บตัวอย่างจริง)	- การควบคุมการป้อนสสารเข้าให้เหมาะสมและคงที่ - ปริมาณภาระสารอินทรีย์ - ปริมาตรที่ป้อนเข้า - การควบคุมค่าตัวแปรที่กำหนด มีดังนี้ - COD ขาเข้าและขาออก - pH, VFA, Alkalinity - ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ - องค์ประกอบของก๊าซ เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ - ค่ากิจกรรมของกลุ่มเชื้อที่ผลิตก๊าซมีเทน (Specific methanogenic activity หรือ SMA)

KPI 4 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต (กิโวลต์-ชั่วโมงต่อตันแป้งแห้ง)

KPI 4 เป็นดัชนีชี้วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตแป้ง เป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในกระบวนการผลิตต่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ โดยคิดเทียบที่ค่าความชื้น 0% ฐานเปียก สามารถบ่งบอกถึงต้นทุนการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังได้

$$\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต} = \frac{\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวม (กิโวลต์ ชั่วโมง)}}{\text{ปริมาณแป้งแห้งที่ผลิตได้ (ตัน)}}$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 4
- ข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีความคลาดเคลื่อน - ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือในแต่ละหน่วยการผลิตได้	- ไม่มีการแยกโรงงานตามผลิตภัณฑ์ที่ผลิตก่อนการเปรียบเทียบภายในกลุ่ม เช่น โรงที่ผลิตแป้งแห้ง แป้งหมัดหรือน้ำแป้ง - ไม่มีการเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าติดตั้งของโรงงาน ว่าใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าค่าติดตั้งหรือไม่ - มิเตอร์วัดปริมาณไฟฟ้าเป็นมิเตอร์รวม ไม่ได้แยกเฉพาะสายการผลิต ไม่มีข้อมูลการใช้ปริมาณไฟฟ้าแยกเป็นรายวันอย่างชัดเจน	- การบริหารจัดการหัวมันสำปะหลังที่เข้ากระบวนการผลิตให้ได้อย่างต่อเนื่อง และเต็มกำลังการผลิตของเครื่องจักรตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน - พิจารณาการเดินเครื่องเปล่า (Free load) - ปรับเครื่องจักรให้ทำงานเต็มกำลังของเครื่องและตรงตามหน้าที่ - กำหนดมาตรฐานการตัดสินใจหยุดการผลิตหรือเดินเครื่องต่อเนื่อง - การตัดสินใจในการเลือกช่วงการผลิตหรือเดินเครื่องแบบ On peak หรือ Off peak

KPI 5 ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (ลบ.ม. ต่อตันแป้งแห้ง)

KPI 5 เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตแป้ง เป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนการใช้น้ำรวมทั้งหมดในกระบวนการผลิต โดยรวมทั้งน้ำดิบ น้ำประปาและน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย ต่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ โดยคิดเทียบกับที่ค่าความชื้น 0% ฐานเปียก สามารถบ่งบอกถึงต้นทุนการใช้น้ำในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังได้

$$\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต} = \frac{\text{ปริมาณการใช้น้ำรวมในกระบวนการผลิต (ลบ.ม.)}}{\text{ปริมาณแป้งแห้งที่ผลิตได้ (ตัน)}}$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 5
- ข้อมูลปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีความคลาดเคลื่อน - ไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต หรือในแต่ละหน่วยการผลิตได้	- ไม่มีการบันทึกน้ำบำบัด (น้ำเขียว) ที่นำเข้ากระบวนการผลิต - ไม่มีมิเตอร์แยกปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตและส่วนอื่น ๆ ของโรงงาน - มิเตอร์วัดปริมาณน้ำชำรุด หรือไม่มีการสอบเทียบ	- การควบคุมการใช้น้ำในหน่วยล้างหัวมัน - ปริมาณน้ำบำบัดหรือน้ำวน แต่ควรระวังเรื่องการปนเปื้อนจุลินทรีย์ - ปริมาณน้ำดีที่สเปรย์ในบ่อสุดท้าย - การควบคุมการใช้น้ำในหน่วยสกัด - ปริมาณน้ำที่ใช้ในชุดสกัดหยาบ L/S ratio ประมาณ 5.5-6.5 - ส่วนชุดสกัดละเอียด ประมาณ 10-15 - ปริมาณและแรงดันน้ำฉีดในเครื่องเทอร์โบ - ปริมาณน้ำวนกลับและน้ำดีที่เติมในรางกาก เพื่อให้บ่มกากได้อย่างสม่ำเสมอ - การควบคุมการใช้น้ำในหน่วยแยก - ปริมาณน้ำเลี้ยงหัวจิต - ปริมาณน้ำดีที่เติมก่อนเข้าเครื่องแยก - ความเข้มข้นน้ำแป้งขาเข้าต้องสม่ำเสมอ - การทำความสะอาดเครื่องแยก - การควบคุมการใช้น้ำในหน่วยผลิตก้ามะถัน ซึ่งความเข้มข้นน้ำก้ามะถันต้องให้คงที่ โดยควบคุมอัตราการป้อนก้ามะถัน อัตราการสเปรย์น้ำ และประสิทธิภาพของปั๊มไอก้ามะถัน

KPI 6 ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งแป้ง (เมกะจูลต่อตันแป้งแห้ง)

KPI 6 เป็นดัชนีชี้วัดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแป้ง เป็นค่าที่แสดงถึงสัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมด ทั้งก๊าซชีวภาพ เชื้อเพลิงชีวมวล ไขมันและน้ำมันเชื้อเพลิง ในกระบวนการอบแห้งต่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ โดยคิดเทียบกับที่ค่าความชื้น 0% ฐานเปียก สามารถบ่งบอกถึงต้นทุนการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และประสิทธิภาพของระบบอบแห้งแป้งได้

หากโรงงานมีการใช้พลังงานความร้อนสูงหรือต่ำมากกว่าค่าทางทฤษฎี ต้องมีการคำนวณพลังงานความร้อนที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี (การอบแห้งแป้งจากความชื้น 35% เหลือ 12% ต้องใช้พลังงานในการอบแห้งทั้งสิ้น 1,321 MJ ต่อตันแป้งแห้ง โดยประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง 85% จะใช้น้ำมันเตา 35 ลิตร หรือก๊าซชีวภาพประมาณ หรือ 70 ลบ.ม. หรือไอน้ำ 0.5 ตัน ต่อการอบแห้งแป้ง 1 ตัน)

$$\text{ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งแป้ง} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งแป้ง (เมกะจูล)}}{\text{ปริมาณแป้งแห้งที่ผลิตได้ (ตัน)}}$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 6
1. การใช้พลังงานความร้อนในการอบแห้งแป้งมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี 2. ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนในการอบแห้งแป้งที่บ้านที่มีความคลาดเคลื่อน	1. การบันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้งมีความคลาดเคลื่อน 2. ไม่มีการคำนวณพลังงานความร้อนที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี 3. ไม่มีการแยกโรงงานตามผลิตภัณฑ์ที่ผลิตก่อนการเปรียบเทียบภายในกลุ่ม เช่น โรงที่ผลิตแป้งแห้ง แป้งหมาด หรือน้ำแป้ง 4. ไม่มีการพิจารณาปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ใช้อบแห้งแป้ง	1. ควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ - ความชื้นแป้งหมาด - อัตราการป้อนแป้งหมาดโดยกำหนดมาตรการป้องกันแป้งหมาดขาดราง - อุณหภูมิอากาศร้อนที่เข้า – ออก - อัตราการไหลเชิงปริมาตร - ความเร็วของอากาศในท่ออบ 2. สอบเทียบเครื่องมือที่ใช้วัดทุกจุดอย่างสม่ำเสมอ

KPI 7 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต (กก. ต่อตันแป้งแห้ง)^[2]

KPI 7 เป็นดัชนีชี้วัดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแป้ง (กก. ต่อตันแป้งแห้ง) เป็นค่าที่แสดงสัดส่วนการใช้สารเคมีทั้งหมดในกระบวนการผลิตต่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ โดยคิดเทียบกับค่าความชื้น 0% ฐานเปียก โดยพิจารณาสารเคมีตามกลุ่มการใช้งานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่

- สารเคมีที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตแป้ง เช่น กำมะถันก้อน โซเดียมซัลไฟด์ โซเดียมและโพแทสเซียมไบซัลไฟด์ โซเดียมและโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์
- สารเคมีที่ใช้สำหรับกระบวนการเตรียมน้ำ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) แคลเซียมออกไซด์ (ปูนขาว) กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) อะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม)
- สารเคมีที่ใช้สำหรับกระบวนการล้างเครื่องจักรและกระบวนการผลิต เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) คลอรีน รวมทั้งสารซักฟอก สารทำความสะอาด น้ำยาฆ่าเชื้อ
- สารเคมีที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต (โซดาแอช) ยูเรีย เฟอริกคลอไรด์ โคบอลต์คลอไรด์ นิกเกิลคลอไรด์

$$\text{ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต} = \frac{\text{ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต (กก.)}}{\text{ปริมาณแป้งแห้งที่ผลิตได้ (ตัน)}}$$

ปัญหาที่พบจากการเก็บข้อมูล	สาเหตุของปัญหา	แนวทางการปฏิบัติที่ดีสำหรับ KPI 7
1. ข้อมูลปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีความคลาดเคลื่อน 2. ไม่มีการบันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต	1. ไม่มีการแยกโรงงานตามคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย 2. ไม่มีการวัดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ใช้เพียงการคาดคะเนหรือประมาณการ	1. พิจารณาการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต โดยต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์สุดท้าย 2. เลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต และสามารถจัดการได้ง่าย

[1] ดร.วรินทร์ สงคศิริ, 2554, “โครงการความร่วมมือ การพัฒนาศักยภาพบุคลากรด้านพลังงานและทรัพยากรสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย ระหว่าง สวทช. และ GTZ ภายใต้โครงการ Thai-German Programme on Enterprise Competitiveness (T-G PEC)”, ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

[2] ดร.วรินทร์ สงคศิริ, 2559, “โครงการการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังผ่านหลักสูตรการพัฒนาศักยภาพบุคลากรและการจัดทำฐานข้อมูลค่ามาตรฐานเชิงประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากร”, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ความเชื่อมโยงของ KPI และกระบวนการผลิตหน่วยต่างๆ

กระบวนการ	จุดควบคุม	ผลต่อค่า KPI	
		KPI หลัก	KPI อื่น
หัวมันสำปะหลัง	ปริมาณหัวมันสำปะหลัง เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมัน เหง้า หิน ดิน ทราาย	KPI 1 KPI 1 KPI 1	
ร้อนทราาย	ขนาดของตะแกรงร้อน	KPI 1	
ล้าง	ปริมาณน้ำ ปริมาณสารเคมี	KPI 5 KPI 7	KPI 1 KPI 1
ม่	ปริมาณหัวมันสำปะหลัง ปริมาณน้ำดี การเปลี่ยนฟันม่ (ควบคุมโดยค่าการกินกระแส) ปริมาณสารเคมี	KPI 1 KPI 5 KPI 1 KPI 7	KPI 4 KPI 1
สกัดหยาบและสกัดกาก	อัตราการป้อนน้ำแป้งขาเข้า สัดส่วนของเหลวต่อของแข็ง (L/S ratio) ปริมาณและแรงดันน้ำฉีด ความถี่ในการล้างตะแกรง ความเข้มข้นน้ำแป้งขาออก ปริมาณสารเคมี ปริมาณแป้งในกาก	KPI 1 KPI 1 KPI 1, KPI 1/1 KPI 1, KPI 1/1 KPI 1 KPI 7 KPI 1, KPI 1/1	KPI 5 KPI 5 KPI 5 KPI 1
สกัดละเอียด	อัตราการป้อนน้ำแป้งขาเข้า ปริมาณและแรงดันน้ำฉีด ความถี่ในการล้างผ้ากรอง ปริมาณสารเคมี ปริมาณกากในน้ำแป้งขาออก	KPI 1 KPI 1, KPI 1/1 KPI 1, KPI 1/1 KPI 7 KPI 1	KPI 5 KPI 5 KPI 1
แยก	อัตราการป้อนน้ำขาเข้า ปริมาณน้ำดี ความเข้มข้นน้ำแป้งขาเข้า-ขาออก ปริมาณกากอ่อนในน้ำแป้งขาออก ปริมาณโปรตีนและซิลเฟอร์ในน้ำแป้งขาออก ปริมาณสารเคมี ปริมาณแป้งในน้ำเสีย	KPI 1 KPI 1 KPI 1 KPI 1 KPI 1 KPI 7 KPI 1, KPI 1/2	KPI 5 KPI 1 KPI 3
สลัด	การเปลี่ยนผ้าเครื่องสลัด ปริมาณแป้งในน้ำหางสลัด ความชื้นแป้งหมาด	KPI 1 KPI 1 KPI 1	KPI 2, KPI 6
อบแห้ง	อุณหภูมิอบแห้ง อุณหภูมิลมร้อน ความชื้นแป้งขาออก ปริมาณการใช้ก๊าซชีวภาพและเชื้อเพลิง	KPI 6 KPI 6 KPI 1 KPI 6	
บรรจุ	ปริมาณแป้งตักฝุ่น แป้งหยาบ และแป้งตกพื้น	KPI 1	
ผลิตภัณฑ์	ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ความขาว ความหนืด ปริมาณกากอ่อน ซิลเฟอร์ สิ่งเจือปน	KPI 1	
ระบบก๊าซชีวภาพ	อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทน	KPI 3 KPI 3	KPI 2 KPI 2

[1] วรินทร์ สงคศิริ, 2554, “โครงการพัฒนาศักยภาพบุคลากรด้านพลังงานและทรัพยากรสำหรับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย” องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศเยอรมัน และสำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

[2] กาญจนา แสงจันทร์, 2559, “เอกสารประกอบการนำเสนอกิจกรรมเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ผ่านหลักสูตรการพัฒนาศักยภาพบุคลากร และการจัดทำฐานข้อมูลค่ามาตรฐานเชิงประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากร, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

เทคโนโลยีการบำบัดของเสียจากระบบการผลิต

การบำบัดของเสียประเภทของแข็ง

1. การบำบัดและใช้ประโยชน์จากราก เหง้า ดิน ทราาย

ของเสียประเภทของแข็งที่เกิดจากระบบการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่ ราก เหง้า ดิน ทราาย และกากมันสำปะหลัง การนำราก เหง้า ดิน และทราายไปใช้ประโยชน์ หรือเพิ่มมูลค่ายังมีไม่แพร่หลายนัก ปัจจุบันของเสียประเภทนี้ถูกนำไปใช้ในการเพาะปลูก เช่น เป็นวัสดุเสริมในดิน

2. การบำบัดและใช้ประโยชน์จากกากมัน

กากมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง และจัดได้ว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นของแข็งที่มีปริมาณมากที่สุดจากระบบการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยลักษณะทั่วไปของกากมันสำปะหลังจะเป็นสีขาวครีมและมีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 75-80 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง 1 ตันจะก่อให้เกิดกากมันสำปะหลังโดยประมาณ 2.3 ตันที่ความชื้นร้อยละ 80 (Chavalparit et al., 2009) องค์ประกอบหลักของกากมันสำปะหลัง ได้แก่ แป้งร้อยละ 50-70 เส้นใยหรือลิกโนเซลลูโลสร้อยละ 10-35 โปรตีนร้อยละ 1.5-6 และไขมันร้อยละ 0.1-4 โดยน้ำหนักแห้งดังตารางที่ 6 นอกจากนี้กากมันสำปะหลังยังมีแร่ธาตุในปริมาณที่ต่ำประกอบด้วย Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} และ Zn^{2+} ในปริมาณ 155 : 40 : 1 และ 100 : 4 : 21 มิลลิกรัมต่อกรัมของกากมันสำปะหลังแห้ง ตามลำดับ [1, 5]

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	ปริมาณโดยน้ำหนักแห้ง (%)				
	ซูบีย์ โซตินีรนาท (2539)	Agu (2543)	กระทรวงอุตสาหกรรม (2540)	อินยากรณ์ นาวินวรณ (2542)	กล้านรงค์ ศรีรอต และคณะ (2548)
ความชื้น	-	71.70	-	-	-
คาร์โบไฮเดรต	66.22	58.02	56	67.46	62.46
เส้นใย	15.26	13.53	35.9	11.58	-
เซลลูโลส	-	14.35	-	-	10.98
โปรตีน	3.39	2.30	5.3	1.85	1.57
ไขมัน	0.24	1.00	0.1	4.18	0.15
เถ้า	2.65	1.50	2.7	-	2.09
อื่นๆ	-	9.3	-	-	-

กากมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายวิธี ได้แก่ การผลิตอาหารสัตว์ การผลิตก๊าซชีวภาพ และการผลิตเอทานอล

การบำบัดของเสียประเภทของเหลว

1. การบำบัดและใช้ประโยชน์จากน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมที่มีการน้ำในกระบวนการผลิตเป็นปริมาณมาก และน้ำที่ใช้เกือบทั้งหมดจะกลายเป็นน้ำเสีย โดยส่วนหนึ่งจะสูญหายไปในการบวนการผลิตแห้ง และอบแห้ง ส่วนลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีค่าความสกปรกในรูปบีโอดี ซีโอดีและปริมาณของแข็งสูง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดค่อนข้างต่ำ นั้นสะท้อนให้เห็นว่าองค์ประกอบในน้ำเสียดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ออกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังแสดงในตารางที่ 10.2

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยของลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ออกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง^[4]

พารามิเตอร์	โรงงานขนาดเล็ก	โรงงานขนาดกลาง	โรงงานขนาดใหญ่	มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2539
pH	4.75	4.69	6.33	5.5-9.0
COD (mg/l)	13,000	15,000	19,300	400
BOD (mg/l)	6,465	10,555	12,645	60
TKN (mg/l)	228	248	512	200
TS (mg/l)	13,030	12,550	19,845	-
SS (mg/l)	7,445	5,790	6,990	150
TDS (mg/l)	5,580	6,820	12,850	5000

การบำบัดน้ำเสียเป็นการกำจัดสารปนเปื้อนที่เป็นสาเหตุให้คุณภาพน้ำลดลง การบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ วิธีการบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) วิธีการบำบัดทางเคมี (Chemical treatment) และวิธีการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) สำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพนับเป็นวิธีการที่เหมาะสม เนื่องจากของเสียอยู่ในรูปสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic treatment)

การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนหมายถึง การบำบัดที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยไม่ต้องการก๊าซออกซิเจน ระบบบำบัดชนิดนี้มีข้อดีคือ ใช้พลังงานน้อย ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซมีเทนซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ใช้เป็นก๊าซหุงต้ม ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า มีตะกอนส่วนเกินน้อย สามารถใช้ลดความเข้มข้นจากน้ำเสียโรงงานย้อมผ้า แต่เป็นระบบที่เริ่มต้นเดินระบบยากและใช้เวลานาน น้ำที่บำบัดแล้วยังมีค่าความสกปรกที่เกินมาตรฐานไม่สามารถปล่อยออกสู่แหล่งน้ำได้ อาจมีกลิ่นเหม็นเนื่องจากก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลาย เช่น ก๊าซไข่เน่า (H_2S) ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่นิยม ได้แก่ ระบบบ่อหมัก (Anaerobic pond) ถังเกราะ (Septic tank) ถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) และถังหมักไร้ออกซิเจนแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic fixed film) เป็นต้น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงมักถูกใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อให้คุณภาพน้ำทิ้งสุดท้ายเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถดำเนินการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนรวมทั้งอุปกรณ์และติดตั้งภาพที่ 50



ระบบบำบัดแบบบ่อเปิด (Open pond) ^[3]

โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมเกษตร น้ำเสียจากโรงงานจึงมีอินทรีย์สารอยู่สูง ระบบบำบัดน้ำเสียดั้งเดิมที่โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังส่วนใหญ่ใช้เป็นระบบเปิดที่เป็นบ่อขุดหลายๆ บ่อไหลอย่างต่อเนื่องกัน ซึ่งใช้พื้นที่ในการบำบัดสูง เนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำ บ่อบำบัดจึงมีขนาดใหญ่ ระบบบำบัดน้ำเสียระบบบ่อเปิดประกอบด้วย บ่อหมัก (Anaerobic ponds) ติดตามด้วยบ่อกึ่งหมัก (Facultative ponds) และบ่อผึ่ง (Aerobic ponds) ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีวภาพ (Biological wastewater treatment) โดยมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการที่ใช้สิ่งมีชีวิตหรือจุลินทรีย์ต่างๆ มาทำการย่อยสลายเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อแหล่งน้ำธรรมชาติ

ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลังที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ประกอบด้วยบ่อบำบัดแบบหมัก บ่อบำบัดแบบกึ่งหมัก และบ่อบำบัดแบบผึ่ง ตามลำดับ

บ่อบำบัดแบบหมัก (Anaerobic ponds)

เป็นบ่อดินขนาดใหญ่ มีความลึกประมาณ 3.0-4.0 เมตร สามารถรับน้ำเสียที่มีภาระอินทรีย์ (Organic loading rate) ได้มาก หรือมีค่าบีโอดีสูงๆ จนทำให้บ่อไม่สามารถผลิตออกซิเจนเนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์แสงภายในบ่อสามารถทำให้ไม่เกิดขึ้นได้ โดยการลดพื้นที่ผิวของบ่อ เพิ่มความลึกของบ่อ และเพิ่มภาระการรับสารอินทรีย์ขึ้น ในระหว่างที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อ สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะถูกแบคทีเรียทำลายด้วยปฏิกิริยาเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้น้ำทิ้งมักมีกลิ่นเหม็นอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารประกอบซัลไฟด์อื่นๆ และบางส่วนจะเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำเสียจะถูกปล่อยเข้ามาในบริเวณก้นบ่อ เพื่อให้มีโอกาสสัมผัสกับชั้นของตะกอน จุลินทรีย์ที่จมตัวอยู่ที่ก้นบ่อ และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะถูกปล่อยออกไปตามท่อที่อยู่ตรงข้ามกับท่อน้ำเข้า และท่อน้ำออกนี้จะต้องอยู่ต่ำกว่าระดับไซชั่นที่ปกคลุมบ่อ ไม่จำเป็นต้องมีการกวนตะกอนให้เกิดการหมุนเวียนภายในบ่อ เพราะก๊าซที่เกิดขึ้น เกิดจากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ มีปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดการหมุนเวียนของตะกอนจุลินทรีย์ภายในบ่อได้อย่างพอเพียง

บ่อบำบัดแบบกึ่งหมัก (Facultative ponds)

เป็นบ่อดินที่มีความลึกน้อยกว่าบ่อหมัก โดยมีความลึกประมาณ 1.0-2.5 เมตร การทำงานของจุลินทรีย์ในบ่อกึ่งหมักมี 3 เขต คือ เขตบนเป็นการทำงานของแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic bacteria) และจะมีสาหร่ายเกิดขึ้นอยู่ร่วมกัน เขตก้นบ่อเป็นการทำงานของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ที่จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ก้นบ่อ และเขตรอยต่อเป็นการทำงานของแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ในสภาพที่มีออกซิเจนน้อย คือสามารถอาศัยได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative bacteria)

บ่อบำบัดแบบบ่อผึ่ง (Aerobic ponds)

เป็นบ่อดินกว้าง มีความลึกน้อยที่สุดในทั้งสามบ่อบำบัด คือมีความลึกประมาณ 1.0-1.5 เมตร จุลินทรีย์ในระบบซึ่งประกอบด้วย แบคทีเรียและสาหร่าย ดำรงชีพอยู่ด้วยการพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน และสาหร่ายจะสังเคราะห์แสงโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนของแบคทีเรีย ให้ก๊าซออกซิเจนออกมา ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียที่ใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสีย และให้ผลผลิตออกมาเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะถูกสาหร่ายนำไปใช้เป็นวัฏจักร นอกจากนี้ก๊าซออกซิเจนที่แบคทีเรียจะนำมาใช้อาจได้จากบรรยากาศรอบๆ บ่อบำบัด ลักษณะของจุลินทรีย์จะแขวนลอยอยู่ในบ่อ การทำให้เกิดสภาพที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในบ่ออย่างทั่วถึงนั้น บ่อจึงไม่ควรลึก เพราะออกซิเจนจากบรรยากาศจะแทรกซึมลงไปได้มากขึ้น และสาหร่ายจะได้มีโอกาสรับแสงแดดเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์มากขึ้น รอบๆ บ่อไม่ควรปลูกต้นไม้ใหญ่หรือสิ่งกีดขวางที่จะบดบังกระแสลมและแสงแดด

ระบบบำบัดแบบปิด (Closed system)

ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบผสมกวน (Completely stirred tank reactor; CSTR)

เป็นถังปฏิกรณ์ (Closed anaerobic tank system) ซึ่งเป็นระบบบำบัดไร้อากาศที่ใช้จุลินทรีย์ เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์ ติดตั้งอุปกรณ์กวาดตะกอน (Scraper) ตรงด้านล่างของถังปฏิกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด ถังปฏิกรณ์มีจุดเด่นคือการกวนผสมภายในถังตลอดเวลาทำให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์อย่างทั่วถึง ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพได้อีกด้วยระบบนี้เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารแขวนลอยในน้ำเสียจะได้ ก๊าซชีวภาพเป็นผลพลอยได้ลอยสู่ด้านบนบนเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง^[2]

ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic baffled reactor; ABR)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ในถังยาว การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นลักษณะไหลขึ้น ไหลลง (หรือซ้ายขวา) สลับกันไปหลายครั้ง เมื่อน้ำเสียไหลไปตามช่องทางที่ออกแบบไว้ภายในบ่อ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะสัมผัสกับจุลินทรีย์ระหว่างการเดินทาง ภายในบ่อจนกว่าความสกปรกจะลดลงตามลำดับก่อนจะออกจากระบบ

ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบชั้นสลัดจ์ (Upflow anaerobic sludge blanket; UASB)

หลักการของระบบนี้จะให้น้ำเสียไหลขึ้น น้ำเสียที่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์จะถูกบดเข้าจากทางด้านล่างระหว่างที่ไหลขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์นั้นสารอินทรีย์จะสัมผัสกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายคือ จุลินทรีย์จะจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ (Granules) เส้นผ่านศูนย์กลางราว 1-2 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติในการตกตะกอนได้ดีมาก ภายในระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นน้ำและชั้นตะกอน โดยจะมีระบบแยกน้ำใสภายในถังปฏิกรณ์ และมีระบบเก็บรวบรวมก๊าซที่ผลิตขึ้นเพื่อนำออกจากถังปฏิกรณ์ วิธีการคือมีเม็ดตะกอนจุลินทรีย์สามารถกระจายอยู่ทั่วไปในระบบโดยไม่ต้องเกาะยึดกับวัสดุตัวกลาง (Inert media) จึงจะประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุตัวกลางได้ ระบบนี้เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยต่ำ

ระบบบำบัดแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ชนิดไร้อากาศ (Anaerobic fixed film reactor; AFFR)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้วัสดุตัวกลางบรรจุอยู่ในระบบถังปฏิกรณ์ ระบบบำบัดแบบนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีการกักเก็บเซลล์จุลินทรีย์ให้คงอยู่ในระบบบำบัด โดยการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ไว้บนผิววัสดุตัวกลาง (Media หรือ Supporting materials) เช่น ตาข่ายในลอนหรือเชือกในลอน เป็นต้น ในรูปของฟิล์มชีวะ (Biofilm) ซึ่งสามารถลดการสูญเสียจุลินทรีย์ออกไปพร้อมกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดทำให้ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างคงที่และสามารถกลับสู่สภาวะทำงานปกติได้เร็ว หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบหรือเกิดการสะสมของสารอินทรีย์สูงเกินไป^[4]

การเริ่มต้นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

การเริ่มต้นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศอาจใช้ระยะเวลานาน 4-6 เดือน ระยะเวลาดังกล่าวการเริ่มต้นระบบสามารถถูกทำให้สั้นลงได้โดยการควบคุมปัจจัยสำคัญให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น คุณภาพและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น ชนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ปริมาณการป้อนน้ำเสีย ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อเชื้อจุลินทรีย์ ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียและระยะเวลาเชื้อจุลินทรีย์ภายในระบบ

คุณภาพและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบควรนำมาจากกระบบบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบคุณสมบัติคล้ายคลึงกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ซึ่งจะช่วยให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียได้เร็ว กรณีที่ไม่สามารถหาแหล่งเชื้อจุลินทรีย์ อาจใช้เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่บำบัดน้ำเสียประเภทอื่น หรือใช้มูลโค มูลสุกร เป็นเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น แต่การกระทำดังกล่าวอาจทำให้ระยะเวลาการเริ่มต้นระบบต้องใช้เวลาอย่างมาก

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นระบบควรใส่ในปริมาณมากเท่าที่จะทำได้ นอกจากนั้นยังควรมีการเติมเชื้อเป็นระยะ หรือมีการวนเชื้อจุลินทรีย์กลับเข้าระบบ เพื่อรักษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อื่นจะช่วยให้การเริ่มต้นระบบเป็นไปได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

ชนิดและคุณสมบัติของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

การที่น้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายง่าย จะเอื้อประโยชน์ต่อกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูง หากน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก หรือประกอบด้วยสารพิษ หรือโลหะหนัก อาจทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพลดต่ำลง

ปริมาณการป้อนน้ำเสีย

ปริมาณน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบต้องเหมาะสมกับสัดส่วนเชื้อจุลินทรีย์ การป้อนน้ำเสียที่มากเกินไปในช่วงเริ่มต้นระบบ อาจเร่งอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อกลุ่มผลิตกรด ซึ่งทำให้ pH ในระบบลดลงจนเป็นเหตุให้เชื้อกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนหยุดการทำงาน จนเป็นเหตุให้ระบบล้ม ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นระบบควรป้อนน้ำเสียอย่างช้าๆ เมื่อจุลินทรีย์ปรับสภาพเข้ากับปริมาณป้อนน้ำเสียนั้นได้แล้ว จึงทำการเพิ่มปริมาณการป้อนน้ำเสีย จะทำให้รักษาสสมดุลของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบ และจะทำให้ระบบสามารถรับปริมาณการป้อนน้ำเสียสูงๆ ได้ในภายหลัง

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อเชื้อจุลินทรีย์

นอกจากสารอาหาร เชื้อจุลินทรีย์ยังต้องการธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและเพื่อการทำงานของเอนไซม์ ธาตุอาหารเหล่านั้น เช่น ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส อาหารเสริม (Trace element) บางชนิดเชื้อจุลินทรีย์ต้องการในปริมาณน้อยแต่ขาดไม่ได้ เช่น นิเกิล โคบอลต์ เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมกนีเซียม แคลเซียม โบรอน เซลีเนียม ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม และโมลิบดีนัม เป็นต้น

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เชื้อจุลินทรีย์อยู่ในรูปแบบเม็ดตะกอน แคลเซียมและเป็นอาหารเสริมที่ช่วยกระตุ้นการสร้างเม็ดตะกอน แต่ปริมาณแคลเซียมและเหล็กที่มากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ได้เช่นกัน

ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสีย

ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic retention time, HRT) สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรถังปฏิกรณ์ (ลูกบาศก์เมตร) หารด้วยอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน) การเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด การเพิ่มระยะเวลากักเก็บน้ำเสียทำได้โดยการเพิ่มขนาดระบบหรือขนาดถังปฏิกรณ์ หรือการลดอัตราการป้อนน้ำเสีย แต่การเพิ่มขนาดระบบหรือถังปฏิกรณ์อาจต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้นตาม

การลดระยะเวลากักเก็บน้ำเสียจนต่ำเกินไปอาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ จนเป็นเหตุให้เชื้อจุลินทรีย์เหลืออยู่น้อย และอาจเป็นเหตุทำให้ระบบล่มในที่สุด

ควรเริ่มต้นระบบด้วยอัตราการป้อนสารอินทรีย์ต่ำ และระยะเวลากักเก็บน้ำสูง เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสีย จากนั้นจึงค่อยๆ เพิ่มอัตราป้อนสารอินทรีย์และลดระยะเวลากักเก็บน้ำเสียในภายหลัง

ระยะเวลาที่กักเก็บเชื้อจุลินทรีย์

ระยะเวลาที่กักเก็บเชื้อจุลินทรีย์ (Sludge retention time, SRT) ไม่ควรมีน้อยกว่า 10 วัน เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ทันเชื้อจุลินทรีย์ที่หลุดออกจากระบบ การรักษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ภายในระบบอาจทำได้โดยติดตั้งตัวกลางให้เชื้อเกาะ หรือการเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์สามารถทำได้โดยการเวียนเชื้อที่หลุดออกจากระบบกลับเข้าสู่ทางน้ำเข้าซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

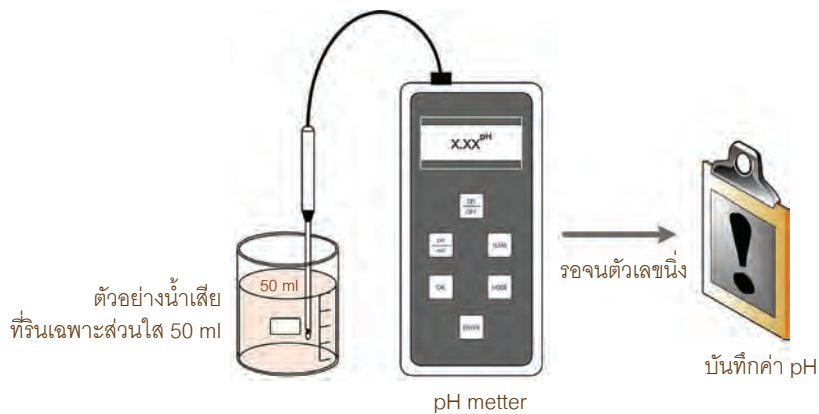
การเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ระหว่างการเดินระบบควรมีการตรวจวัดค่าเพื่อติดตามสภาวะการทำงานของระบบบำบัด โดยค่าที่จำเป็น ดังนี้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างสะท้อนการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ 2 กลุ่มภายในระบบ ถ้าเชื้อจุลินทรีย์ทำงานร่วมกันได้อย่างสมดุล ค่าความเป็นกรด-ด่างภายในระบบควรอยู่ในช่วง 6.8-7.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทน แต่เมื่อไรก็ตามที่เชื้อกลุ่มผลิตกรดมีอัตราการเจริญเติบโตเร็วกว่าเชื้อกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน จะทำให้เกิดการสะสมของกรดภายในระบบ และนั่นเป็นเหตุให้ pH ลดต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมจนเป็นอันตรายต่อเชื้อจุลินทรีย์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

1. เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ทางน้ำขาเข้าและทางน้ำขาออกถึงปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพจำนวนจุดละ 100 มิลลิลิตร
2. พักให้ตกตะกอนหรือใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงประมาณ 5 นาที
3. รินเฉพาะส่วนใสจำนวน 50 มิลลิลิตร
4. วัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วย pH meter
5. บันทึกค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ทางน้ำขาเข้าและทางน้ำขาออกของถังปฏิกรณ์

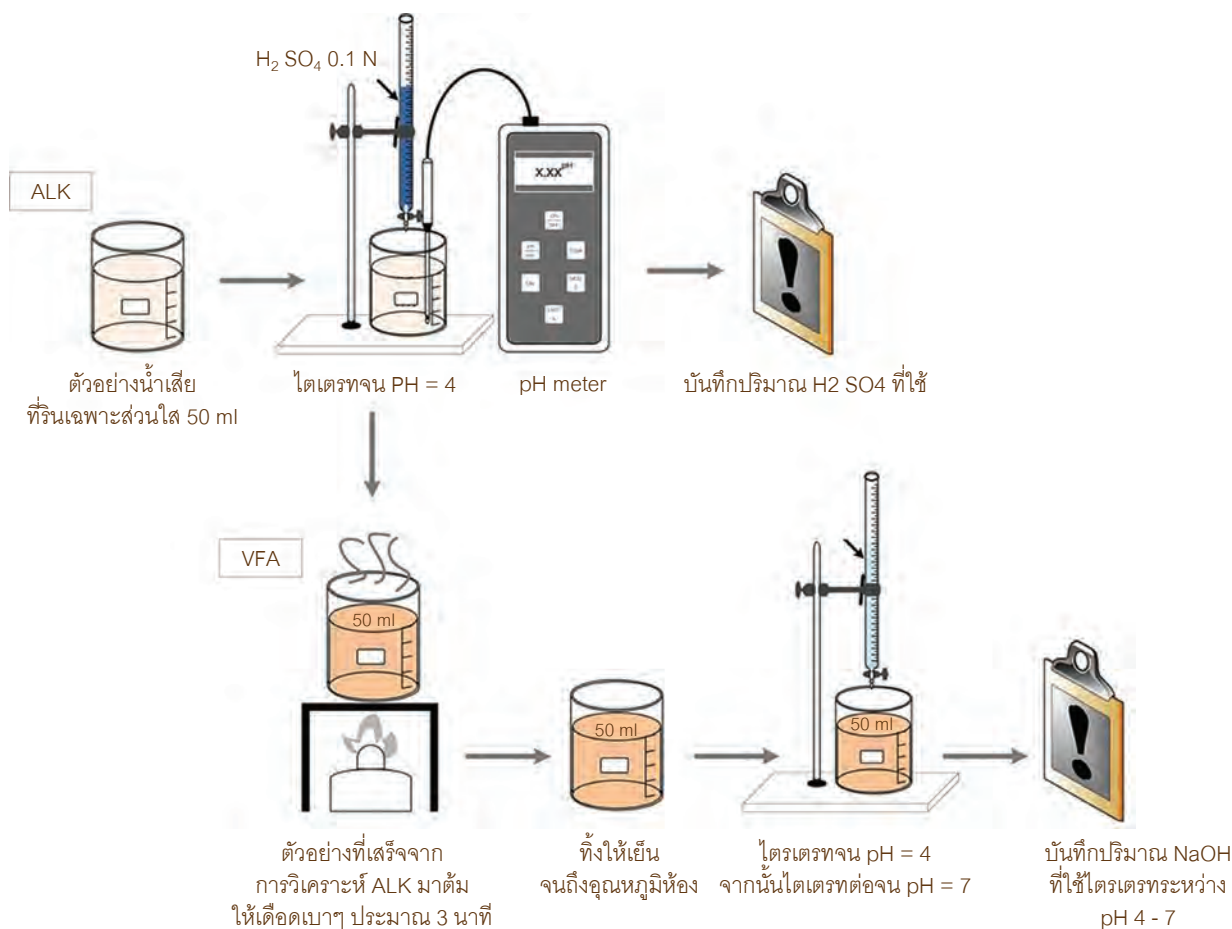
ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity, Alk)

ความเป็นด่างภายในระบบถูกวัดเป็นค่า มิลลิกรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร (CaCO_3/L) โดยค่าที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณค่าความเป็นด่างสูงสะท้อนถึงความสามารถในการรักษาระดับ pH ภายในระบบ ระหว่างการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแอมโมเนียปัสหลัง ค่าความเป็นด่างอาจเพิ่มขึ้นได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งทำให้ระบบมีความสามารถในการรักษาระดับ pH ตามธรรมชาติ ในบางกรณีถ้าปริมาณค่าความเป็นด่างลดต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมอันเกิดจากการสะสมอาจจำเป็นต้องมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนตให้แก่ระบบ ควรหลีกเลี่ยงการใช้ปูนขาวเนื่องจากอาจเกิดการตกตะกอนสะสมภายในระบบ

กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids, VFA)

การที่กรดระเหยง่ายสะสมภายในระบบปริมาณมากเป็นสัญญาณของระบบล้มเหลว การที่กรดสะสมจนทำให้ pH ลดต่ำกว่า 6.8 อาจเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทน กรณีเกิดกรดสะสมควรหยุดการป้อนน้ำเสียเข้า อาจทำการเวียนน้ำเสียจากบ่อท้ายที่มีปริมาณกรดต่ำมาช่วยเจือจางกรดภายในระบบจนกว่าปริมาณกรดจะลดลงจนถึงภาวะปกติอีกครั้ง จากนั้นจึงเริ่มการป้อนน้ำเสียเข้าระบบอีกครั้ง โดยเริ่มจากป้อนน้ำเสียที่ค่า COD ต่ำ ๆ จากนั้นจึงค่อย ๆ เพิ่มอัตราการป้อนน้ำเสียให้มากขึ้น

ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างและกรดอินทรีย์ระเหยง่าย แสดงดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 การวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างและกรดอินทรีย์ระเหยง่าย

- นำตัวอย่างที่เสร็จจากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างมาไทเทรตด้วยกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) 0.1 N จน pH = 4
- บันทึกปริมาณกรดซัลฟิวริกที่ใช้ไปเพื่อใช้คำนวณค่าความเป็นด่างของน้ำเสียเข้าและขาออกของถังปฏิกรณ์

$$\text{ค่าความเป็นด่าง (CaCO}_3\text{/L)} = \frac{(\text{ปริมาณ H}_2\text{SO}_4 \text{ ที่ใช้ไป}) \times (\text{ความเข้มข้นของ H}_2\text{SO}_4 \text{ 0.1 N}) \times 50,000}{(\text{ปริมาณน้ำเสียตัวอย่าง})} \times 100$$

- นำตัวอย่างในข้อ 2 ไปต้มให้เดือดเบาๆ เป็นเวลา 3 นาที
- พักให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง
- ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 N จน pH = 4
- ไทเทรตต่อจน pH = 7
- บันทึกปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรตระหว่าง pH 4-7 เพื่อใช้คำนวณปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าและขาออกของถังปฏิกรณ์

$$\text{กรดอินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = \frac{(\text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ปรับ pH จาก 4 เป็น 7}) \times (\text{ความเข้มข้นของ NaOH 0.1 N}) \times 50,000}{(\text{ปริมาณน้ำเสียตัวอย่าง})} \times 100$$

อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและสัดส่วนมีเทน

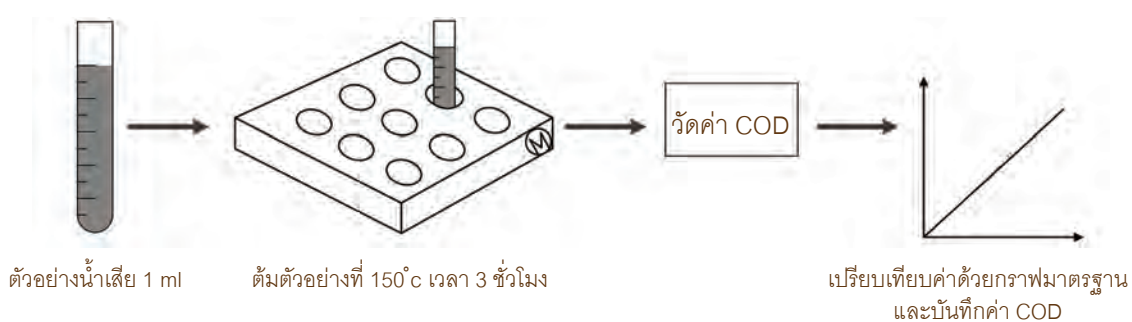
สัดส่วนการผลิตก๊าซมีเทนสะท้อนประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์และประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ ถ้าสัดส่วนของก๊าซมีเทนลดต่ำลงอาจเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซมีเทนถูกยับยั้งการทำงาน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพควรผลิตก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนมีเทน 60-65% และควรมีสัดส่วนการผลิตก๊าซมีเทนไม่น้อยกว่า 0.35 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม COD ที่ถูกกำจัด

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (COD)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีประสิทธิภาพควรมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (COD) มากกว่า 85% หากพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนน้อยกว่า 70% แสดงว่าระบบเริ่มเข้าสู่ภาวะล้มเหลว

ขั้นตอนการวิเคราะห์ แสดงดังภาพที่ 53

หลอดวิเคราะห์ COD



ภาพที่ 53 การวิเคราะห์ค่า COD

1. นำตัวอย่างน้ำเสียที่ทางน้ำเข้าและทางน้ำออกของถังปฏิกรณ์จุดละ 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลายวิเคราะห์ COD สำเร็จรูป
2. ต้มที่ 150 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. ทิ้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง
4. วัดค่า COD ด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงที่ 550 นาโนเมตร
5. เปรียบเทียบค่าด้วยกราฟมาตรฐาน
6. บันทึกค่า COD ของน้ำเสียขาเข้าและขาออกของถังปฏิกรณ์

จุดควบคุมและตรวจสอบ (Checklist)

การตรวจวัดค่าเชิงประสิทธิผลและวิเคราะห์การทำงานของระบบบำบัดควรกระทำทุกวัน โดยค่าที่ควรตรวจวิเคราะห์คือ

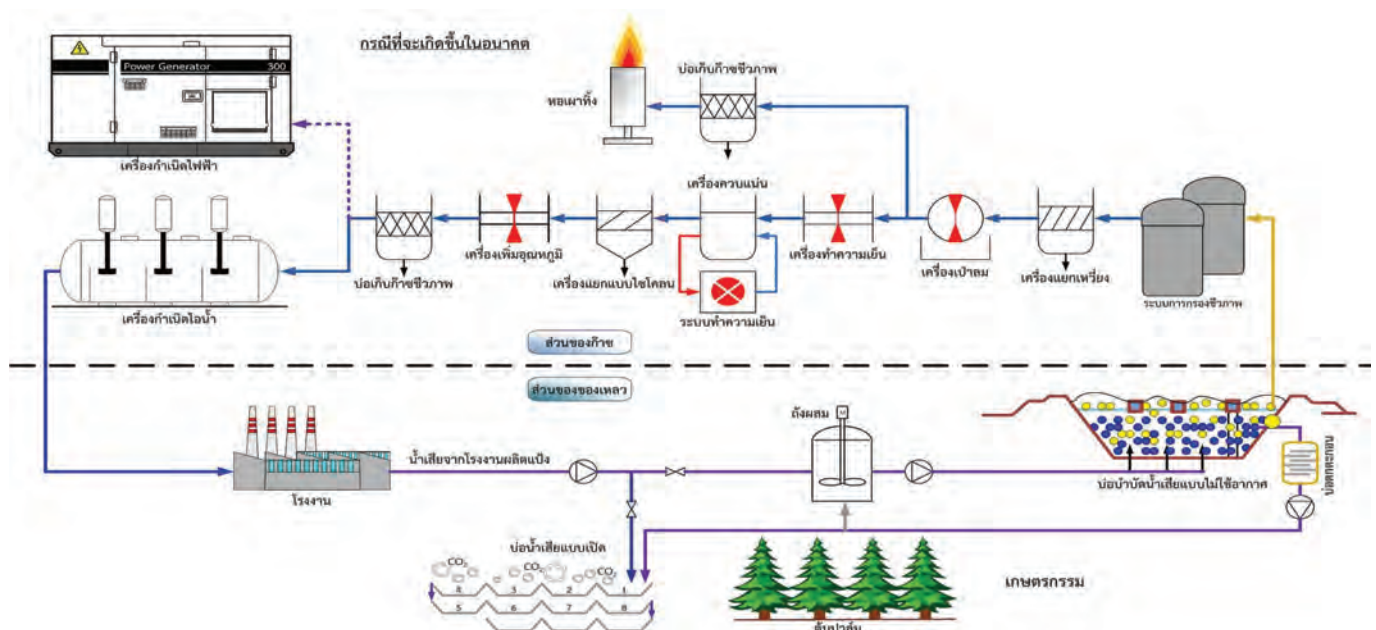
จุดควบคุมและตรวจสอบ	รายละเอียด Checklist ก่อนการเดินระบบ	รายละเอียด Checklist ระหว่างการเดินระบบ
ถังปฏิกรณ์ผลิตก๊าซชีวภาพ	☐ คุณภาพและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น ☐ ชนิดและคุณสมบัติของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ☐ ปริมาณการป้อนน้ำเสีย ☐ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อเชื้อจุลินทรีย์ ☐ ระยะเวลาที่กักเก็บน้ำเสีย ☐ ระยะเวลาที่กักเก็บเชื้อจุลินทรีย์	☐ ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในระบบหรือในถังปฏิกรณ์ ☐ กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids, VFA) ☐ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ☐ ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity, Alk) ☐ ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (COD) ☐ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ☐ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ☐ ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ ☐ สัดส่วนก๊าซมีเทน

- [1] จิราภรณ์ โลหังศ์วัฒน์, 2525, "การผลิตกรดซิตริกจากกากมันสำปะหลังโดยใช้เชื้อ *Aspergillus niger*", มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] อีรพล วัฒนโกศลม, 2548, "ฐานข้อมูลระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง", คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [3] วันทนา เกียรติสมาน, 2543, "การศึกษาความเหมาะสมของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในการชลประทาน", มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [4] ไสภิดา บุญเอนกทรัพย์, สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และภาวิณี ชัยประเสริฐ, 2541, "การศึกษาคุณสมบัติน้ำทิ้งในขั้นตอนกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง", 19-21 ตุลาคม, การประชุมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ ครั้งที่ 24, ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์, กรุงเทพฯ
- [5] Chavalparit, O., & Ongwandee, M., 2009, "Clean technology for the tapioca starch industry in Thailand", *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 105-110

กรณีศึกษาอุบัติเหตุจากการผลิต การใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

ความเป็นมาและสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบัน โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และได้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas) ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ หม้อน้ำหรือหม้อต้มที่ใช้ของเหลว เป็นสื่อนำความร้อน โดยเป็นพลังงานหมุนเวียน ที่สามารถทดแทนเชื้อเพลิงต่างๆ และช่วยลดต้นทุนการผลิตของโรงงานอย่างคุ้มค่า แสดงดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ปัญหาอุบัติเหตุจากการผลิต การขนส่ง และการใช้ก๊าซชีวภาพ

ระหว่างปี พ.ศ. 2549 - 2555 ได้เกิดอุบัติเหตุเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพหลายครั้ง ณ โรงงานผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ทำให้มีผู้บาดเจ็บรวม 45 ราย เสียชีวิตรวม 25 ราย ทรัพย์สินเสียหายรวมกันมากกว่า 200 ล้านบาท

กรณีศึกษาที่หนึ่ง

กรณีศึกษา การระเบิดของก๊าซชีวภาพที่ห้องสูบลมส่งก๊าซ



การระเบิดของก๊าซชีวภาพที่ห้องสูบลมส่งก๊าซ ซึ่งจากการสอบสวนอุบัติเหตุ สามารถลำดับเหตุการณ์ ดังนี้

- เกิดปัญหาแบริ่งมันที่ผ่านปล่องอบมีความชื้นสูง อบแห้งแล้วไม่แห้ง
- สาเหตุที่อบแห้งแล้วไม่แห้ง ตรวจพบว่า เกิดจากลมที่ใช้อบแห้งไม่ร้อน
- ลมที่ใช้อบแห้งไม่ร้อน เกิดจากน้ำมันสื่อนำความร้อนที่เข้า Air Heater อุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งเกิดจาก Burner ซึ่งใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่หม้อน้ำมันร้อนดับลง เนื่องจากความดันก๊าซชีวภาพต่ำเกินไป
- พนักงาน 3 คน จึงได้เดินมาตรวจสอบที่ห้องสูบลมส่งก๊าซชีวภาพ และพบการแตกรั่วอย่างรุนแรงของก๊าซชีวภาพที่ข้อต่อรับการขยายตัว ซึ่งติดตั้งอยู่ระหว่าง Blower กับถังดักความชื้น
- ในขณะที่พนักงานทั้งสามคนอยู่ในบริเวณห้องสูบลมส่งก๊าซ ก๊าซชีวภาพได้เกิดระเบิดขึ้น ทำให้พนักงานทั้งหมดถูกไฟลวก บาดเจ็บสาหัส และต่อมาเสียชีวิตสองคน

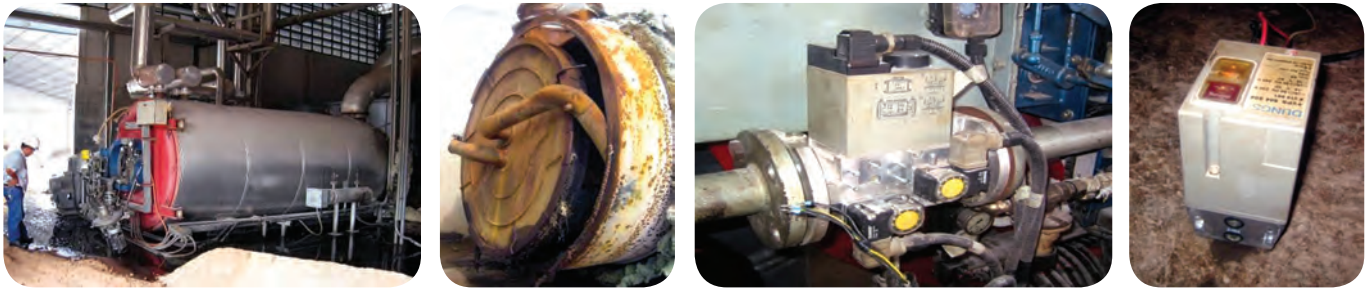
ข้อสันนิษฐาน

สาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องสูบลมส่งก๊าซ-ก๊าซที่รั่วไหลจากการแตกรั่วที่ข้อต่อรับการขยายตัวของท่อสูบลมส่งก๊าซ มีการผสมกับอากาศ โดยมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่ระเบิดได้ (ระหว่างความเข้มข้นต่ำสุด LEL กับความเข้มข้นสูงสุด UEL)

- ก๊าซที่อยู่ในช่วงความเข้มข้นที่ระเบิดได้ มีการระบายออกจากห้องได้ช้า เนื่องจากห้องสูบลมส่งก๊าซ มีผนังคอนกรีตล้อมรอบ มีช่องระบายอากาศน้อย และมีหลังคาโค้งครอบอาคารไว้ ก๊าซชีวภาพจึงสะสมอยู่ในห้องสูบลมส่งก๊าซปริมาณมาก
- มีแหล่งจุดไฟ (Ignition Source) ภายในห้องสูบลมส่งก๊าซ จากอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ไม่เป็นแบบป้องกันการระเบิด (Explosion proof) เช่น Breaker switch, มอเตอร์, หลอดไฟ Fluorescent สวิตช์ ปลั๊ก
- พนักงานอาจมีการปิดสวิตช์มอเตอร์เครื่องสูบลมส่งก๊าซเพื่อหยุดการรั่วไหล หรือเปิดสวิตช์ไฟแสงสว่าง ทำให้เกิดประกายไฟ และเกิดการจุดระเบิดก๊าซชีวภาพที่สะสมในห้องขึ้น

กรณีศึกษาที่สอง

กรณีศึกษา การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน



การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน ทำให้มีผู้ได้รับบาดเจ็บ 2 คน ทรัพย์สินเสียหายรวมเป็นเงิน > 3 ล้านบาท ซึ่งจากการสอบสวนอุบัติเหตุ ลำดับเหตุการณ์ได้ดังนี้

- 13:30 น. ผู้ควบคุมได้พยายามจุดเตาหม้อน้ำมันโดยจุด LPG ให้เป็น Pilot Burner แล้วป้อน Biogas เข้าห้องเผาไหม้ แต่จุดไม่ติด แม้พนักงานจะพยายามจุดเตาอยู่หลายครั้ง
- 14:00 น. ในขณะที่กำลังจุดเตาโดยมีพนักงานที่เกี่ยวข้อง 2 คน ยืนอยู่บริเวณหน้าหัวเผา เพื่อสังเกตความผิดปกติในการทำงานของหัวเผา พบว่าพัดลมมีการ Pre purge และหัวเทียนมีการสปาร์คตามปกติ แต่ในห้องเผาไหม้ไม่มีเปลวไฟ และทันใดนั้นได้เกิดการระเบิดในห้องเผาไหม้ขึ้น
- แรงระเบิดทำให้หัวเผาแตกขาดหลุดร่วงจากผนังหน้า พนักงานทั้งสองคนที่ยืนอยู่บริเวณหน้าหัวเผาได้รับบาดเจ็บ ท่อน้ำมันแตกรั่ว มีน้ำมันสีความร้อนรั่วไหลออกจากผนังด้านหลังของหม้อน้ำมันร้อน

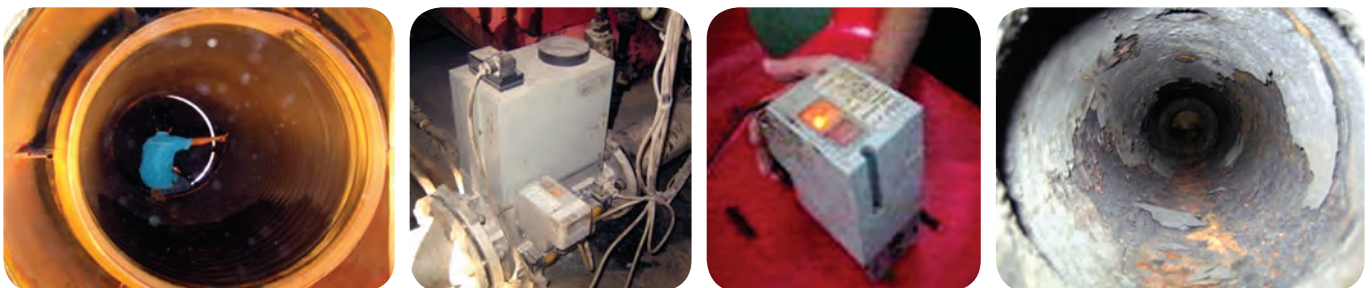
ข้อสันนิษฐาน

สาเหตุการระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน

- มีการชำรุดของอุปกรณ์ความปลอดภัย Valve Proving Systems ซึ่งทำหน้าที่ตรวจสอบการรั่วของวาล์วจ่ายก๊าซ โดยเกิดจากความสกปรกของก๊าซชีวภาพ การชำรุดดังกล่าวทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้าควบคุม หัวเผาจึงทำงานลัดขั้นตอน
- มีการรั่วไหลของ Biogas ผ่านวาล์วจ่ายก๊าซ Double Solenoid Valve อย่างรุนแรง เข้าสู่ห้องเผาไหม้ตลอดเวลา แม้หัวเผ่าจะมีการไล่อากาศเชื้อเพลิงที่ตกค้างภายในห้องเผาไหม้ตามลำดับการทำงานแล้ว แต่ในขณะที่จุดเตา พัดลมจะมีการหยุด ทำให้ Biogas ที่รั่วไหลและสะสมอยู่ในห้องเผาไหม้ มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง Flammability limits in air : 5.0-15.0 vol.% เมื่อหัวเทียนมีการจุด LPG ติดเป็นเปลวไฟ จึงเกิดการจุดระเบิดส่วนผสม Biogas กับอากาศ ในห้องเผาไหม้ขึ้นแบบทันทีทันใด

กรณีศึกษาที่สาม

กรณีศึกษา การระเบิดของก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้หม้อน้ำมันร้อน



ข้อสันนิษฐาน

สาเหตุเกิดจากการรั่วไหลของวาล์วจ่ายก๊าซ (Double Solenoid Valve) และการชำรุดของอุปกรณ์ความปลอดภัย Valve Proving Systems
สาเหตุเกิดจากความสกปรกของก๊าซชีวภาพ

กรณีศึกษาที่สี่

กรณีศึกษา การแตกขาดของผ้าใบที่ปิดคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพและเกิดเพลิงไหม้คอกโรงงาน

มีการแตกขาดของผ้าใบที่ปิดคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพและเกิดเพลิงไหม้คอกโรงงานทั้งหลัง มีผู้บาดเจ็บจากการถูกไฟคลอกอย่างทันทีทันใด ทั้งผู้ภายในและภายนอกอาคารโรงงานที่อยู่ใต้ทิศทางลมในระยะประมาณ 200 เมตร รวม 38 ราย ซึ่งต่อมาได้ทยอยเสียชีวิตหลังจากเกิดเหตุ แสดงดังภาพที่ 55 และ 56

เกิดความเสียหายต่ออาคาร เครื่องจักร เช่น มอเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด ตู้เมนสวิตช์ สายไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า ท่อน้ำ PVC รถยนต์ ฯลฯ ทรัพย์สินและค่าเสียหายต่างๆ รวมประมาณ 150 ล้านบาท



ภาพที่ 55 สภาพปกติของบ่อผลิตและเก็บก๊าซชีวภาพที่ปิดคลุมด้วยผ้าใบ HDPE และสภาพบ่อหลังจากผ้าใบแตกขาด



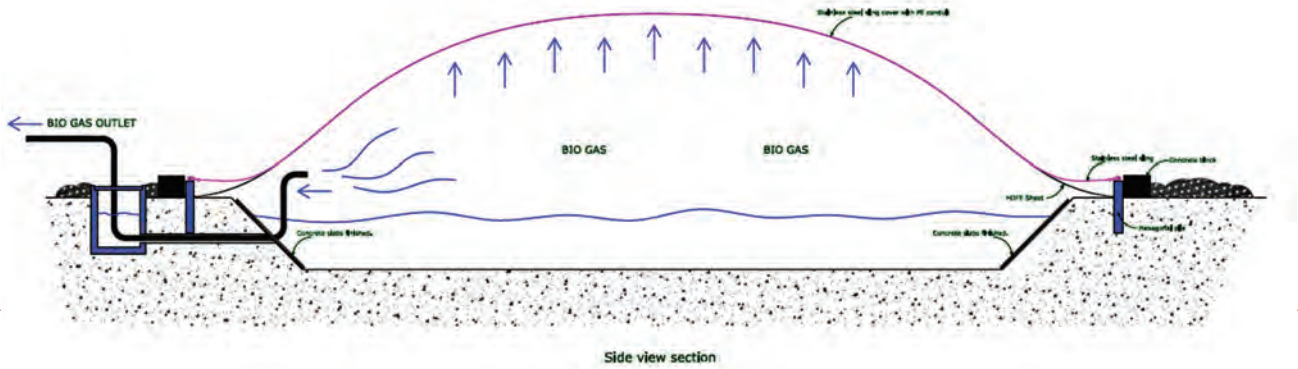
ภาพที่ 56 โรงงานผลิตแอมโมเนียที่ถูกไฟคลอก และสภาพเครื่องจักร อุปกรณ์ภายในโรงงานที่เสียหายจากไฟคลอก

ข้อสันนิษฐาน

สาเหตุการแตกขาดของผ้าใบที่ปิดคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพและการเกิดเพลิงไหม้คอกโรงงาน

การหาสาเหตุการแตกขาดของผ้าใบที่ปิดคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพ มีการพิจารณาตั้งแต่ความปลอดภัย ในการออกแบบและการติดตั้งผ้าใบ สภาพแวดล้อมทางกายภาพ ข้อมูลจากผู้อยู่ในเหตุการณ์ ลักษณะการแตกขาดของผ้าใบ คุณสมบัติของผ้าใบ การเสื่อมสภาพของผ้าใบ และมีการนำข้อมูลต่างๆ มาประมวล วิเคราะห์หาจุดที่ผ้าใบเริ่มแตกขาดและสาเหตุการแตกขาด หลังจากการแตกของผ้าใบและก๊าซถูกพัดผ่านโรงงาน อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ก๊าซเกิดการติดไฟหรือจุดระเบิดขึ้น ซึ่งจากการตรวจสอบ สามารถสรุปผลและวิเคราะห์หาสาเหตุได้ดังนี้ (ภาพที่ 57)

1. การออกแบบและการติดตั้งผ้าใบคลุมบ่อเก็บก๊าซชีวภาพไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม วิศวกรที่รับรองความปลอดภัย มิได้ใช้หลักวิศวกรรมในการคำนวณออกแบบ
2. บ่อเก็บก๊าซชีวภาพมีขนาดใหญ่หรือเก็บก๊าซชีวภาพมากเกินไป ตามมาตรฐานความปลอดภัย ควรเก็บก๊าซชีวภาพแต่ละบ่อ ไม่ควรเกิน 5,000 ลูกบาศก์เมตร แต่วิศวกรได้ออกแบบบ่อเก็บก๊าซชีวภาพให้มีขนาด 30,000 ตารางเมตร เก็บก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 120,000 ลูกบาศก์เมตร



3. การติดตั้งผ้าใบไม่มีการควบคุมหรือป้องกันการกระเพื่อมของผ้าใบ ใช้ผ้าใบชนิด HDPE หนา 1.2 มิลลิเมตร เชื่อมแบบตะเข็บคู่ต่อกัน เป็นผืนเดียว ปิดคลุมบ่อทั้งหมดโดยใช้ดินกลบทับชายผ้าใบรอบบ่อเก็บก๊าซ โดยเก็บก๊าซที่ความดัน 2-5 มิลลิบาร์ ในขณะที่เก็บก๊าซชีวภาพผ้าใบจะโป่งสูงขึ้นประมาณ 5-6 เมตร ก่อนการแตกขาดของผ้าใบ ได้เกิดลมพัดแรงซึ่งทำให้ผ้าใบเกิดการกระเพื่อมอย่างรุนแรง จึงทำให้ผ้าใบริมรอยเชื่อมเกิดการเสื่อมสภาพจากความล้าจนเกิดการแตกขาดในที่สุด
4. ลักษณะการแตกขาดของผ้าใบ ผ้าใบขาดริมรอยเชื่อมตลอดความกว้างของบ่อเก็บก๊าซประมาณ 120 เมตร นอกจากนี้ผ้าใบยังขาดขาดริมบ่อที่มีดินกลบทับอีกทั้งสามด้าน ดินที่กลบทับผ้าใบที่ฉีกขาดถูกยกตัวขึ้น ซึ่งแสดงว่าหลังจากผ้าใบขาดขาดริมรอยเชื่อมยาวประมาณ 120 เมตร กระแสลมได้พัดเข้าใต้ผ้าใบและเกิดแรงยกตัวที่มากกว่าความดันก๊าซชีวภาพปกติและมากกว่าน้ำหนักของดินที่กลบทับด้วย
5. ก๊าซชีวภาพที่แตกรั่วจากบ่อเก็บก๊าซชีวภาพถูกลมพัดผ่านเข้าสู่อาคารผลิตแบริ่งมันสำปะหลัง ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์ พบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าข้างบ่อเก็บก๊าซและในอาคารโรงงานทั้งหมด เช่น มอเตอร์ ไฟฟ้าแสงสว่าง ตู้เมนสวิตช์ สายไฟฟ้า เป็นชนิดไม่ทนต่อการระเบิด จึงมีแหล่งจุดไฟ (Ignition Source) จำนวนมากที่ทำให้ก๊าซติดไฟและเกิดไฟคลอกโรงงานทั้งหลังขึ้น

กรณีศึกษาที่ห้า

กรณีศึกษา การเสียชีวิตของพนักงานบริเวณบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่ผ้าใบฉีกขาด



การสอบสวนอุบัติเหตุ

จากการสอบถามผู้จัดการส่วนก๊าซชีวภาพได้ทราบว่า ในวันเกิดเหตุ พนักงาน (ผู้เสียชีวิต) ได้กลิ่นเหม็นจากก๊าซชีวภาพ จึงชวนเพื่อนพนักงาน (ผู้ได้รับบาดเจ็บ) แยกกันเดินตรวจรอบบ่อเก็บก๊าซชีวภาพเพื่อหาจุดรั่ว ซึ่งพนักงานผู้เสียชีวิตพบการฉีกขาดของผ้าใบคลุมบ่อเก็บก๊าซ และพยายามนำกระสอบอุดรอยรั่ว โดยไม่มีหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ พนักงานดังกล่าวได้หมดสติและเสียชีวิตอยู่บนผ้าใบ พนักงานอีกคนมาพบเห็น จึงพยายามเข้าช่วย และได้รับบาดเจ็บจากการสูดดมก๊าซชีวภาพเช่นเดียวกัน

ข้อมูลการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ บริเวณที่เกิดเหตุ เป็นบ่อหมักก๊าซชีวภาพชนิดไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Cover Lagoon) ซึ่งมีความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ 10,000 ลบ.ม./วัน

- ลักษณะรูปทรงของบ่อนี้ไม่เป็นรูปทรงทางเรขาคณิตที่แน่นอน ซึ่งไม่สมมาตรกัน โดยไม่สามารถระบุปริมาณการเก็บก๊าซที่ชัดเจนได้
- ผ้าใบที่คลุมปิดด้านบนรอบบ่อเป็น HDPE ความหนาประมาณ 1.2 – 1.5 มม. สภาพเก่า มีรอยปะทั่วไป
- บ่อนี้อยู่ห่างจากอาคารหม้อน้ำประมาณ 10 เมตร และห่างจากพื้นที่เก็บกากมัน ประมาณ 20 เมตร
- ขอบบ่อที่เกิดอุบัติเหตุ มีการปลูกไม้ยืนต้นติดชิดกับขอบบ่อ
- การซึ่ลก๊าซรอบขอบผ้าใบ ใช้ดิน-ทราย อัดกลับผ้าใบรอบบ่อ
- อุปกรณ์ระบบไฟฟ้าบริเวณรอบบ่อ เป็นชนิดไม่ป้องกันการระเบิด
- การติดตั้งอุปกรณ์เผาก๊าซชีวภาพส่วนเกิน (Flare) เป็นระบบ Open Flare สูงประมาณ 2 เมตร อยู่บริเวณด้านหน้าของบ่อ โดยห่างจากบ่อก๊าซแบบ UASB ประมาณ 8 เมตร ห่างจากอาคารหม้อน้ำประมาณ 10 เมตร และห่างจากขอบบ่อที่เกิดอุบัติเหตุ ประมาณ 20 เมตร
- ลักษณะของผ้าใบที่คลุมบ่อ นอกจากจุดที่รั่วไหลและเกิดอุบัติเหตุแล้ว ยังมีร่องรอยการปะช่อมรอยรั่วของผ้าใบอีกหลายจุด ในส่วนที่เกิดเหตุครั้งนี้ ผ้าใบมีการฉีกขาดยาวประมาณ 50 เซนติเมตร

ข้อสันนิษฐาน

สาเหตุการเกิดอุบัติเหตุ

1. **การบาดเจ็บหรือเสียชีวิตของพนักงาน** มีสาเหตุจาก
 - ผู้บาดเจ็บหรือเสียชีวิต ขาดอากาศหายใจ เนื่องจากแก๊สที่รั่วไหลในปริมาณมาก มาแทนที่ออกซิเจน
 - ผู้บาดเจ็บหรือเสียชีวิต ได้สูดดมแก๊ส H₂S (แก๊สไข่เน่า) ซึ่งเป็นแก๊สพิษความเข้มข้นสูงจาก Biogas ที่รั่วไหล
2. **การฉีกขาดของผ้าใบ** มีสาเหตุจาก
 - ผ้าใบคลุมบ่อเสื่อมสภาพ จากความร้อนของแสงแดด
 - เกิดการกระเพื่อมของผ้าใบจากแรงลม และเกิดการหักงอซ้ำๆของผ้าใบ จนเกิด Stress Fatigue ส่งผลให้ผ้าใบเกิดการฉีกขาด และก๊าซรั่วไหล

มาตรการป้องกันและข้อเสนอแนะ

1. บ่อก๊าซชีวภาพที่เกิดอุบัติเหตุอยู่ใกล้พื้นที่ปฏิบัติงาน และอยู่ใกล้แหล่งความร้อน หากเกิดการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ อาจเกิดผลกระทบอย่างรุนแรง ควรทบทวน ทำเล ที่ตั้งของบ่อผลิตก๊าซชีวภาพ หรือแยกพื้นที่ปฏิบัติงานที่เป็นแหล่งความร้อนออกไป
2. ควรปรับปรุงลักษณะของบ่อและผ้าใบที่คลุมบ่อให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาการพังทลาย และเสื่อมสภาพของผ้าใบจากความล้า (Stress Fatigue)
3. ควรตรวจสอบความแข็งแรงของผ้าใบคลุมบ่อ รวมถึงการยึดตรึงที่ชายผ้าใบบริเวณขอบบ่อ
4. ควรติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซ อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์ความปลอดภัยเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ ให้เพียงพอเหมาะสม เช่น เครื่องวัดความดัน อุปกรณ์ระบายก๊าซ (Pressure/Vacuum Relief valve)
5. ทบทวนลักษณะทำเลที่ตั้งและอัตราการเผาทำลายก๊าซของระบบเผาไหม้ก๊าซส่วนเกิน (Flare)
6. จัดหาอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลให้ครบถ้วนถูกต้อง เหมาะสม เพียงพอกับการใช้งาน และควบคุมการใช้งานอย่างเคร่งครัด
7. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานรอบบ่อ และบริเวณใกล้เคียง ควรเป็นชนิดป้องกันการระเบิด (Explosion Proof) โดยให้มีการตรวจสอบรับรองความปลอดภัยในการใช้งานระบบไฟฟ้าประจำปี
8. ควรหามาตรการป้องกันแรงกระทำผ้าใบจากลมภายนอก ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับผ้าใบ
9. ควรควบคุมอัตราการผลิตและใช้งานของก๊าซให้เหมาะสม หรือแบ่งขนาดของบ่อให้เล็กและมีความสูงไม่มาก และควรสร้างบ่อให้มีลักษณะรูปทรงที่สมมาตรเพื่อป้องกันการเสียหายของผ้าใบ

10. ควรจัดทำขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติงาน พร้อมควบคุมการปฏิบัติอย่างเคร่งครัด
11. ควรปรับปรุงพื้นที่รอบขอบบ่อ ไม่ควรมีไม้ยืนต้น เนื่องจากกิ่งหรือต้นไม้อาจหักโค่น และรากของต้นไม้อาจซ่อนใต้ ส่งผลให้ผ้าใบฉีกขาดและเกิดการรั่วไหลของก๊าซชีวภาพ
12. อบรมให้ความรู้ วิธีการปฏิบัติงาน รวมถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น แก่พนักงานผู้เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่อง

มาตรการป้องกันอุบัติเหตุจากก๊าซชีวภาพทั่วไป

จากการศึกษาค้นคว้าเอกสารเกี่ยวกับมาตรการความปลอดภัยจากการผลิต การเก็บและการใช้ก๊าซชีวภาพของกลุ่มประเทศอเมริกาเหนือ พบว่ามีประเทศที่มีการดำเนินการที่ชัดเจนสามารถนำมาเป็นข้อมูลประกอบการกำหนดมาตรการความปลอดภัยจากการผลิต การเก็บ และการใช้ก๊าซชีวภาพของประเทศไทยได้ คือประเทศแคนาดา ซึ่งมีรายละเอียดที่สำคัญ 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่หนึ่ง

ข้อกำหนดทั่วไปในการใช้มาตรฐาน ประกอบด้วย ขอบเขตการใช้มาตรฐาน โดยมาตรฐาน จะครอบคลุมถึงระบบการติดตั้ง ระบบผลิต ก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสีย การผลิต การจัดการ การควบคุม การลำเลียง การเก็บ โครงสร้างของระบบ การนำไปใช้ประโยชน์ การปรับปรุงคุณภาพ และการระบายก๊าซออกจากระบบ มาตรฐานครอบคลุมถึงความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน การซ่อมบำรุง สำหรับการจัดการ การควบคุม การลำเลียง การเก็บ โครงสร้างของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสีย ขอบเขตของแต่ละตอนในมาตรฐาน รวมทั้งมีรายละเอียดของคำนิยาม คำย่อ และสิ่งตีพิมพ์หรือหนังสืออ้างอิง

ส่วนที่สอง

ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย

1. **ข้อกำหนดทั่วไป** จะมีรายละเอียดประกอบด้วย การอนุญาต เกี่ยวกับอุปกรณ์ อุปกรณ์เสริม ส่วนประกอบ และเครื่องมือ เครื่องใช้ เครื่องจักร คุณลักษณะของผู้ปฏิบัติงาน คุณสมบัติ, คุณวุฒิ, ความเหมาะสมของบุคคลากร การควบคุมแหล่งจุดไฟ การแยกส่วนด้วย กลอุปกรณ์ความปลอดภัย การมี การใช้อุปกรณ์ เครื่องมือและวัสดุต่างๆ การยินยอม การร่วมมือกับมาตรฐานอื่นๆ ข้อกำหนดสำหรับการปฏิบัติงาน
2. **สิ่งที่จำเป็นในการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องวัด ในระบบก๊าซชีวภาพ** ประกอบด้วย การตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องวัด เงื่อนไขสภาพที่สามารถเข้าถึงได้ หน้าที่ ความรับผิดชอบของผู้ติดตั้ง อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องวัด ที่ใช้งานและการเกิดความเสียหาย
3. **รูปแบบเฉพาะที่จำเป็นสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องวัดในระบบก๊าซชีวภาพ** ประกอบด้วย ข้อกำหนดทั่วไป เครื่องอัดก๊าซหรืออากาศ หม้อน้ำ หัวเผาก๊าซทิ้ง เครื่องยนต์ใช้ก๊าซซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ เตาเผาต่างๆ
4. **อากาศสำหรับการเผาไหม้ ช่องลม และการระบายอากาศ** ประกอบด้วย ข้อกำหนดทั่วไป ชุดแผ่นปรับลมแบบทำงานอัตโนมัติ การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความดันลม อุปกรณ์ดูดหรือป้อนลม
5. **ระบบท่อ อุปกรณ์เชื่อมต่อในระบบก๊าซชีวภาพ** ประกอบด้วย ข้อกำหนดทั่วไป วัสดุ สิ่งที่ต้องการสำหรับรูปแบบเฉพาะของระบบ ท่อและอุปกรณ์เชื่อมต่อ การไล่อากาศ การเดินท่อก๊าซผ่านกำแพง ผนัง และส่วนที่กันแยก การเดินท่อแบบฝังกลบ การระบุหรือชี้บ่ง ท่อก๊าซ วาล์วปิดเปิดด้วยมือ กับดักหยดน้ำ เครื่องมือตรวจวัดในระบบก๊าซชีวภาพ วาล์วกันกลับ กับดักตะกอน ช่องไล่ลม อุปกรณ์ปรับ ความดันก๊าซอัตโนมัติ ไล่อากาศ
6. **ถังปฏิกรณ์และถังเก็บก๊าซชีวภาพ** ประกอบด้วย ความลึกของน้ำที่แช่ถังกันก๊าซรั่วที่ขอบถัง การเคลือบผิว ช่องคนลวดหรือช่อง สำหรับเข้าไปตรวจหรือซ่อมแซม การถ่ายก๊าซออก การส่งจ่ายก๊าซผสม การระบายน้ำล้น การระบายความดันหรือสุญญากาศบน ถังปฏิกรณ์ ภาชนะเก็บก๊าซชีวภาพ ถังดักตะกอน จุดตรวจสอบ
7. **อาคารและการบริการอาคารสำหรับระบบก๊าซชีวภาพ** ประกอบด้วย ห้องที่ติดตั้งเครื่องอัดอากาศ ห้องที่ติดตั้งหม้อน้ำ พื้นที่อันตราย อุปกรณ์ตรวจหาก๊าซที่ติดไฟได้

8. **การทดสอบระบบถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ** การทดสอบการรั่วของถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ ความดันในการทดสอบถังปฏิกรณ์ก๊าซชีวภาพ การทดสอบสุญญากาศ การทดสอบภายหลังการทำความสะอาด การทดสอบด้วยความดันสำหรับระบบท่อ
9. **การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบก๊าซชีวภาพ** ประกอบด้วย ข้อกำหนดทั่วไป การกีดกันของระบบท่อ แผนงานและการบันทึก การบำรุงรักษาระบบผลิตก๊าซชีวภาพ การบำรุงรักษาเครื่องอัดก๊าซและกลอุปกรณ์ระบาย การบำรุงรักษาवालว การบำรุงรักษาตัวเรือนที่ปกป้องवालวระบายความดันและสุญญากาศ การบำรุงรักษากับดักหยดน้ำ การบำรุงรักษาระบบ การตรวจหาก๊าซรั่ว ระบบระบายอากาศสำหรับพื้นที่อันตราย

[1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553, “คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม” กรมโรงงานอุตสาหกรรม

[2] ศุภวัฒน์ ธาตากรมงคล, 2559, “เอกสารประกอบการนำเสนอกิจกรรมเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ผ่านหลักสูตรการพัฒนาศักยภาพบุคลากรและการจัดทำฐานข้อมูลค่ามาตรฐานเชิงประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากร, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

ผู้เขียนและเรียบเรียง

- นายประสงค์ นิลบรรจง ที่ปรึกษา
รองอธิบดี กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- นางยุพรัตน์ ศตวิริยะ ที่ปรึกษา
ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- นางการะเกด โชติชินรัตน์ ที่ปรึกษา
ผู้อำนวยการส่วนส่งเสริมการรวมกลุ่มอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- นายชัยวัฒน์ คำไทย ที่ปรึกษา
นักวิชาการอุตสาหกรรมปฏิบัติการ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- ดร.อรรณพ นพรัตน์ ที่ปรึกษา
ผู้อำนวยการสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ดร.วรินทร์ สงคศิริ บรรณาธิการ
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- นางสาวรีเบรย์ เลิศสิทธกรณ์ รองบรรณาธิการ
ศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการจัดการ และใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ดร.กาญจนา แสงจันทร์
ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
- นายกนกชัย ฉายาวิวัฒนะ
สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- นายศุภวัฒน์ ธาตารมมงคล
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- นายสุรเดช ภัทรวิเชียร
คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น
- นายถาวร รัตติโกวาพาณิชย์
ศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการจัดการ และใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



สำนักพัฒนาการจัดการอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระราม 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 4538 โทรสาร 0 2534 3426