รายงานโครงการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ระบบทำความสะอาดมันเส้น

Research and Development on Machines and Devices for Cassava Chips Cleaning System

นายอนุชิต ฉ่ำสิงห์

Mr.Anuchit Chamsing

ปี พ.ศ. 2560

รายงานโครงการวิจัย

โครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ระบบทำความสะอาดมันเส้น

Research and Development on Machines and Devices for Cassava Chips Cleaning System

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายอนุชิต ฉ่ำสิงห์

Mr.Anuchit Chamsing

ปี พ.ศ. 2560

คำปรารภ

รายงานชุดโครงการวิจัย “วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตรในการผลิตมันสำปะหลัง” เล่มนี้เป็นรายงานผลงานวิจัย ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2556 ถึง 30 กันยายน 2558 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุนการผลิต ลดการสูญเสียผลผลิต เพิ่มมูลค่าผลผลิต และแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ให้เกษตรกรในการปลูกมันสำปะหลัง โดยการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้มีเครื่องจักรกลเกษตรที่จำเป็น ชุดโครงการนี้ประกอบด้วย 6 โครงการหลักคือ 1) วิจัยและพัฒนาเครื่องกำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ยในไร่มันสำปะหลัง 2) วิจัยและพัฒนาเครื่องปลิดและขนย้ายหัวมันสำปะหลังขึ้นรถบรรทุก 3) วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับทำมันเส้นสะอาด 4) วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับการอบแห้งมันเส้น 5) การศึกษาและออกแบบเครื่องลดความชื้นกากมันสำปะหลังแบบลูกกลิ้งคู่ 6) การทดสอบและพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ในสภาพพื้นที่เพาะปลูกต่างๆ

เนื้อหาภายในชุดโครงการทั้งหมดในรายงานเล่มนี้มีจำนวน 6 บท ตามรายชื่อโครงการที่ได้รับสนับสนุนงบประมาณ ให้ดำเนินการวิจัย อย่างไรก็ตามบางโครงการ เป็นการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรต้นแบบมากกว่า 1 รายการ แต่เป็นเครื่องจักรกลเกษตรต้นแบบที่มีความสัมพันธ์กันในกระบวนการผลิต หรือกิจกรรมการผลิตของขั้นตอนการผลิตนั้นๆ

คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานเล่มนี้จะมีประโยชน์แก่นักวิจัย นักวิชาการเกษตร ตลอดจนเกษตรกร และผู้สนใจทั่วไป ที่จะได้ศึกษาและนำเทคโนโลยีไปใช้ให้เกิดประโยชน์การผลิตมันสำปะหลัง แม้ว่าการวิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบภายใต้โครงการนี้บางโครงกร จะยังไม่เสร็จสมบูรณ์ พร้อมต่อการเผยแพร่สู่การผลิตเชิงพาณิชย์ อันเนื่องมาจากปัญหานานัปการ แต่สามารถแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในหลักการ และเกิดองค์ความรู้ที่จะพัฒนาต่อยอดให้เสร็จสมบูรณ์ได้ในเวลาอันสั้นต่อไป

อนุชิต ฉ่ำสิงห์
วิศวกรการเกษตรชำนาญการพิเศษ
สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

สารบัญ

สารบัญ หน้า

กิตติกรรมประกาศ ข

ผู้วิจัย ค

บทนำ ง

บทที่ 1 วิจัยและพัฒนาเครื่องกำจัดวัชพืชและใส่ปุ๋ยในไร่มันสำปะหลัง

บทที่ 2 วิจัยและพัฒนาเครื่องปลิดและขนย้ายหัวมันสำปะหลังขึ้นรถบรรทุก

บทที่ 3 วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับทำมันเส้นสะอาด

บทที่ 4 วิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับการอบแห้งมันเส้น

บทที่ 5 การศึกษาและออกแบบเครื่องลดความชื้นกากมันสำปะหลังแบบลูกกลิ้งคู่

บทที่ 6 การทดสอบและพัฒนาเครื่องปลูกมันสำปะหลังแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ในสภาพพื้นที่เพาะปลูกต่างๆ

สรุปและข้อเสนอแนะ

บรรณานุกรม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอบคุณ ข้าราชการ ลูกจ้าง และพนักงานข้าราชการ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว และศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ในการร่วมดำเนินการวิจัยภายใต้ชุดโครงการนี้ ซึ่งเริ่มตั้งแต่การสร้างชุดทดสอบ การศึกษาปัจจัยการศึกษาที่เกี่ยวข้อง การสร้างเครื่องต้นแบบ ร่วมทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขเครื่องต้นแบบจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคุณนิทัศน์ ตั้งพินิจกุล ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ ขอบคุณผู้ประกอบการผลิตมันเส้น ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ รวมถึงการอนุเคราะห์ตัวอย่างมันเส้นในรูปแบบใดก็ตาม จนมีตัวอย่างมันเส้นมาทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และขอขอบคุณนายกอบชัย ไกรเทพ นายช่างเครื่องกลปฏิบัติการ ลูกจ้างประจำและนายช่างเครื่องกล พนักงานราชการ ที่ช่วยดำเนินการเกือบทุกกิจกรรมสนับสนุนในการดำเนินการวิจัยจนบรรลุวัตถุประสงค์ของกิจกรรมวิจัย

ผู้วิจัย

อนุชิต ฉ่ำสิงห์	**นายปรีชา อานันท์รัตนกุล**	**นายจิรวัส เจียตระกูล**
Anuchit Chamsing	ประสาท แสงพันธุ์ตา	วุฒิพล จันทร์สระคู
นางสาวปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร	Prasat Sangphanta	Wuttiphol Chansakoo

คำสำคัญ : **เครื่องจักรกลเกษตร เครื่องทำความสะอาดมันเส้น มันเส้นสะอาด**

Keywords : **agricultural machinery, cassava chip cleaning machinery, cleaned cassava chips**

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ..... x

ผู้วิจัย x

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ x

บทนำ..... x

บทคัดย่อ..... x

1. ชื่อกิจกรรมงานวิจัย 1 x

2. ชื่อกิจกรรมงานวิจัย 2 x

บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... x

บรรณานุกรม..... **x**

ภาคผนวก x

บทนำ

ประกอบด้วย

1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย (เน้นปัญหาที่ต้องแก้ไข ซึ่งต้องทำให้ได้ ผลผลิต (output) ตรงเป้าประสงค์ของโครงการ ตามวัตถุประสงค์)

2 วัตถุประสงค์

3 วิธีการวิจัย (แสดงความเชื่อมโยงระหว่างกิจกรรมงานวิจัย และอาจมีแผนภาพประกอบ)

บทคัดย่อ

เขียนย่อเรื่องราวของงานวิจัยในภาพรวมของโครงการวิจัยโดยผู้วิจัยต้องเขียนบทคัดย่อ**ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ปัญหา วัตถุประสงค์ และวิธีดำเนินการโดยสังเขป
- ผลของการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ การเสนอคำตอบให้แก่หัวข้อปัญหาที่ทำการศึกษาค้นคว้าและการค้นพบ ตลอดจนข้อเสนอแนะ (ถ้ามี) ที่เป็นประเด็นหลัก

ความยาวของบทคัดย่อภาษาไทยไม่ควรเกินกว่า 1 หน้า<u>กระดาษพิมพ์ ขนาด A4</u>

สำหรับบทคัดย่อภาษาอังกฤษให้แปลตามบทคัดย่อภาษาไทย

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ประกอบด้วย

1. ผลการวิจัยของโครงการ เน้นผลผลิต output ตรงเป้าประสงค์ของโครงการ ตามวัตถุประสงค์

2. ข้อเสนอแนะ (เชิงการนำไปใช้ประโยชน์ บอกผลลัพธ์ (outcome) ที่มีผลกระทบในทางกว้างที่นำผลผลิตไปใช้ หรือนำไปวิจัยต่อ)

บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังได้เป็นอันดับ 4 ของโลก รองจากประเทศไนจีเรีย บราซิล และอินโดนีเซียแต่เป็นประเทศผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับ 1 ของโลก ที่ครองส่วนแบ่งทางการตลาด 70 เปอร์เซ็นต์ มีมูลค่าส่งออกรวมมากกว่า 80,000 ล้านบาทต่อปี และมีพื้นที่ปลูก 8.44 ล้านไร่ เป็นอันดับ 4 รองจากข้าว ข้าวโพด และยางพารา มีผลผลิตรวมทั้งประเทศ 27.17 ล้านตันต่อปี โดยพื้นที่ปลูก 53.07 เปอร์เซ็นต์อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 30.20 เปอร์เซ็นต์อยู่ในภาคกลาง และ 16.73 เปอร์เซ็นต์อยู่ในภาคเหนือ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2556) อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง ยังเกี่ยวข้องกับเกษตรกรมากกว่า 2.6 ล้านคน มีการจ้างงานในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกกว่า 1 ล้านคน นับได้ว่าอุตสาหกรรมมันสำปะหลังมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554)

ผลิตภัณฑ์จากการแปรรูป ผลผลิตหลักของอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังของประเทศไทย คือมันเส้น/มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง และเอทานอล โดยสัดส่วนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 55, 40 และ 5ตามลำดับ โดยมันเส้น/มันอัดเม็ดมีการใช้ในประเทศร้อยละ19 และส่งออกร้อยละ 36 ส่วนแป้งมันสำปะหลัง มีใช้ในประเทศร้อยละ 8 ส่งออกร้อยละ 32 แม้การส่งออกผลิตภัณฑ์หลักมีมูลค่าเพียง 47,800 ล้านบาท แต่ผลิตภัณฑ์หลักที่ใช้ในประเทศทำให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องมูลค่ามากกว่า 300,000 ล้านบาท เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมการหมัก (ผงชูรส กรดไลซีน) และ อุตสาหกรรมอาหาร (ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์, 2550) การแปรรูปหัวมันสำปะหลังสดเป็นผลิตภัณฑ์มันเส้น ยังมีส่วนช่วยในการรักษาเสถียรภาพด้านราคาหัวมันสำปะหลังของประเทศ และเป็นกลไกหนึ่งของรัฐบาลในการช่วยแก้ปัญหาหัวมันสำปะหลังสดมีราคาตกต่ำให้เกษตรกร ด้วยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มันเส้นแล้วรอจำหน่ายในช่วงเวลาที่มีราคาเหมาะสม เป็นการช่วยลดการเสียโอกาสการใช้ที่ดินและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร โดยเฉพาะในเขตที่มีพื้นที่ปลูกไม่มาก พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังใหม่ ในเขตที่มีปัญหาไม่มีแหล่งรับซื้อที่เกษตรกรจะต้องรีบเก็บเกี่ยวและขาย

ปัจจุบันการผลิตมันเส้นของประเทศไทยพบทั้งการสับด้วยมือ และสับด้วยเครื่องสับหรือโม่เป็นมันเส้น แต่ส่วนใหญ่เป็นการสับเป็นมันเส้นด้วยเครื่อง แล้วนำไปตากแดด 2-3 วัน พร้อมต้องมีการพลิกกลบเป็นระยะๆ ตลอดช่วงการตากแห้ง แต่ปัจจุบันยังเครื่องสับมันเส้นที่ใช้อยู่ทั่วไปยังไม่มีเทคโนโลยีที่เหมาะสม ชิ้นมันที่ได้จากการใช้เครื่องสับมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำแห้ง หรือตากแห้ง เกิดการสูญเสียเนื่องจากการป่นเป็นฝุ่นผงในกิจกรรมการพลิกกลับ เกิดการปนของดิน ส่วนของเหง้าและสิ่งเจือปนอื่นๆ อีกมาก จัดเป็นมันเส้นคุณภาพไม่ดี ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง เช่นเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ มันเส้นอัดเม็ด หรือเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ จำเป็นต้องมีการจัดการเพิ่มเติม อาทิ ทำการคัดแยก และทำความสะอาดอีกครั้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มขั้นตอนและต้นทุนในการผลิต นอกจากนี้มันเส้นคุณภาพไม่ดียังส่งผลให้การส่งออกมีแนวโน้มลดลง แม้ความต้องการนำเข้าจากจีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก็ตาม อีกทั้งพบว่าไทยมีแนวโน้มได้รับผลกระทบจากการส่งออกมากขึ้น เนื่องจากประเทศเพื่อนบ้านมีการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกมากขึ้น สามารถผลิตมันเส้นสับมือทีมีลักษณะสวยงามและสะอาดกว่าของไทยมาก เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดเรื่องแรงงาน ผู้ส่งออกรวมถึงผู้ส่งออกไทยจะเข้าไปซื้อแล้วส่งออก หรือลักลอบนำเข้าแล้วส่งออกมันเส้นเหล่านี้ก่อน และจะส่งออกมันเส้นของไทยภายหลัง ประกอบกับ

สามารถส่งออกได้ในราคาที่ต่ำกว่าเนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำกว่า ทำให้ไทยขาดศักยภาพในการแข่งขันด้านราคา ส่งผลต่อเสถียรภาพ และระดับราคารับซื้อหัวมันสำปะหลังสดจากเกษตรกรในประเทศระดับหนึ่ง

การที่ไทยจะทำมันเส้นสับมือ หรือทำรูปลักษณ์ในทำนองเดียวกันกับประเทศเพื่อนบ้าน เพื่อให้มีศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดนั้นคงเป็นไปไม่ได้ เนื่องจากไทยมีการผลิตและแปรรูปในปริมาณมาก ประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงาน มีค่าจ้างแรงงานสูง ทำให้ต้นทุนการการแปรรูปสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาตลาดมันเส้นสำหรับกลุ่มผลิตอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมต่อเนื่องในประเทศ และตลาดส่งออกที่เป็นคู่ค้าเดิม ซึ่งยังมีความต้องการมันเส้นอยู่มากนั้น มีความจำเป็นต้องพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์มันเส้น หรือให้เป็นมันเส้นสะอาดอย่างแท้จริง หรืออย่างน้อยได้ตามเกณฑ์มาตรฐานมันเส้นเพื่อการส่งออกของกรมการค้าต่างประเทศก็นับว่าเป็นการเพียงพอ และจากข้อจำกัดในกระบวนการทำมันเส้น ตั้งแต่ขั้นตอนการทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังสดจนได้มันเส้นนั้น ยังคงขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสมและเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการ เช่นเครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังสด เครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการที่จะทำให้ได้ขนาดของมันเส้นสม่ำเสมอ ซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม และหน่วยวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามการพัฒนามันเส้นสะอาดจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาอย่างเร่งด่วน ดังนั้นในเบื้องต้นมีความจำเป็นต้องดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาการทำความสะอาดมันเส้นที่ได้จากระบบปฏิบัติเดิมอีกครั้ง เพื่อให้เป็นมันเส้นสะอาดตามต้องการก่อนจำหน่ายจะช่วยเพิ่มมูลค่าการจำหน่าย รวมถึงเป็นการเพิ่มศักยภาพการแข่งขัน ในการส่งออกมันเส้นอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งจากการตรวจเอกสารไม่พบว่ามีการวิจัยเกี่ยวข้องในการพัฒนามันเส้นที่ได้จากระบบการแปรรูปเดิมให้เป็นมันเส้นสะอาด แต่จากการสำรวจพบว่ามีผู้ประกอบการผลิตมันเส้นรายใหญ่ 1 ราย และเป็นผู้มีบทบาทสำคัญของการตลาดค้ามันสำปะหลังของประเทศ ได้มีการพัฒนาระบบทำความสะอาดมันเส้น จากระบบปฏิบัติเดิมให้เป็นมันเส้นสะอาดแล้วทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องตลาดจำหน่ายถึงไม่พอจำหน่าย และมีรายได้จากมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 15 อีกทั้งผู้ประกอบการรายดังกล่าวได้แจ้งว่ามีการเผยแพร่เทคโนโลยีนี้เป็นสาธารณะอย่างเปิดเผยแต่ไม่ได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการรายอื่นเท่าที่ควร จึงเสมือนว่าเป็นรายเดียวของประเทศไทยที่ดำเนินการในขั้นตอนนี้ โดยให้เหตุผลว่าผู้ประกอบการรายอื่นต่างประสบปัญหาคุณภาพมันเส้นเช่นกัน เพียงแต่ยังไม่ต้องการลงทุนเพิ่ม และผู้ประกอบการรายเดิมยังได้กล่าวว่าในระยะเวลาอันใกล้จะเริ่มประสบปัญหาการจำหน่ายทั้งในประเทศและการส่งออกอย่างมากขึ้น อันเนื่องจากการปริมาณการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น และการไม่มีข้อจำกัดในเรื่องแรงงานของประเทศเพื่อนบ้าน รวมถึงกรณีการที่ประเทศไทยจะเข้าสู่ AEC ผู้ประกอบการไทยจะมีศักยภาพในการแข่งขันต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจเอกสารและการวิเคราะห์ของคณะผู้วิจัยและจัดทำข้อเสนอโครงการนี้ และเมื่อมีศักยภาพการแข่งขันทั้งภายในประเทศและเพื่อการส่งออกต่ำ จะส่งผลต่อปริมาณการส่งออก และการบริโภคภายในประเทศ ทำให้ราคารับซื้อหัวมันสำปะหลังสดต่ำลง กระทบต่อรายได้ของเกษตรกร เป็นปัญหาของประเทศและต่อการผลิตมันสำปะหลังของประเทศ ดังนั้นคณะผู้วิจัย ผู้ประกอบการผลิตมันเส้นบางส่วน และผู้ประกอบการที่ใช้วัตถุดิบในการผลิตจากมันเส้นสะอาด มีความเห็นร่วมกันว่าในเบื้องต้นผู้ประกอบการไทยต้องมีการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์มันเส้นของไทยให้สูงขึ้นทั้งระบบ เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน เป็นการปกป้องและยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังของประเทศ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูป และพัฒนาผลิตภัณฑ์จากหัวมันสำปะหลัง

ภายใต้ข้อจำกัดการขาดแคลนเครื่องจักรในขั้นตอนแปรรูปที่มีอยู่ และอยู่ระหว่างดำเนินการวิจัยนั้นจำเป็นต้องได้รับการวิจัย โดยเฉพาะการต่อยอดการวิจัยการทำความสะอาดมันเส้นจากระบบปฏิบัติเดิมให้เป็นมันเส้นสะอาดและเครื่องจักรอื่นๆในการผลิตมันเส้นทั้งระบบจำเป็นต้องได้รับการศึกษาและพัฒนาต่อไป

การทบทวนวรรณกรรม

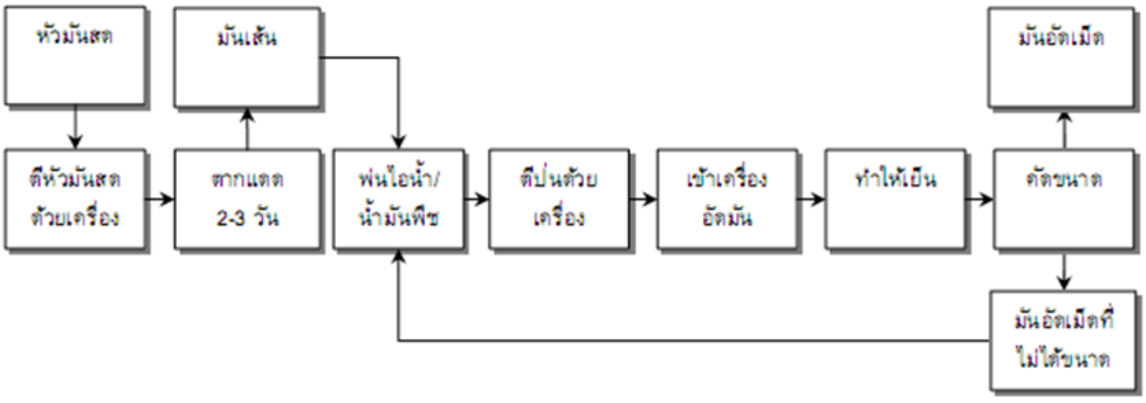
เพื่อแก้ปัญหาในกระบวนการแปรรูปมันสำปะหลัง โดยเฉพาะการขาดเครื่องจักร/เครื่องมือที่เหมาะสมในแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มันเส้นที่มีคุณภาพ หรือเพื่อการผลิตเป็นมันเส้นสะอาด ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่มากนักดังนี้

9.1 มันเส้น และมันเส้นสะอาด

กระบวนการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด (รูปที่ 1) ดำเนินการโดยนำหัวมันสำปะหลังสดเข้าเครื่องหั่นที่เรียกว่า เครื่องโม่มันเส้น ซึ่งจะหั่นหัวมันสดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตากแดดบนลานซีเมนต์ 2-3 วันให้แห้ง (ส่วนพัฒนาพลังงาน 2 สำนักพัฒนาพลังงาน, 2546) แต่เนื่องจากมีปัญหาด้านคุณภาพมันเส้นมาอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ ซึ่งได้มีการพยายามแก้ปัญหาและยกระดับคุณภาพมันเส้น ซึ่งแนวทางหนึ่งคือการกำหนดเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ได้กำหนดลักษณะที่ต้องการ แสดงในตารางที่ 1 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2523) ซึ่งจะเห็นว่าแม้จะมีการยกระดับมาตรฐานขึ้น แต่ยังไม่สอดคล้องกับมาตรฐานการส่งออก

เพื่อให้การผลิตมันเส้นเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานนี้ อุทัย และสุกัญญา (2545) ได้แนะนำวิธีการผลิตไว้ดังนี้

1) เมื่อขุดหัวมันสำปะหลังขึ้นมาต้องตัดหัวมันสำปะหลังแต่ละหัวแยกออกจากเหง้าหรือส่วนโคนของลำต้น อย่าให้มีส่วนของเหง้าหรือหัวจุกซึ่งมักเป็นไม้แข็ง สัตว์ย่อยและใช้ประโยชน์ไม่ได้ แม้ว่าในขบวนการผลิตอาหารจะนำไปบดจนละเอียดแล้วก็ตามซึ่งจะทำให้คุณค่าทางอาหารของมันเส้นนั้นลดลง เพราะหัวมันสดที่มีเหง้าติดมามักจะมีส่วนของดินทรายติดมาด้วย



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด

ที่มา: ปรารถนา และคณะ, 2552

ตารางที่ 1 ลักษณะผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเส้นที่ต้องการ

คุณลักษณะ	เกณฑ์คุณภาพมันเส้น	
	มาตรฐานคุณภาพมันเส้นสะอาด (มอก.52-2516)	(กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์)
แป้ง	ยังไม่กำหนด	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของน้ำหนัก
ทราย	ไม่เกินร้อยละ 3.0 ของน้ำหนัก	ไม่มากกว่าร้อยละ 2.0 ของน้ำหนัก
เส้นใย	ไม่มากกว่าร้อยละ 5.0 ของน้ำหนัก	ไม่มากกว่าร้อยละ 4.0 ของน้ำหนัก
ความชื้น	ไม่มากกว่าร้อยละ 14.0 ของน้ำหนัก	ไม่มากกว่าร้อยละ13.0 ของน้ำหนัก
กลิ่น และสี	ไม่ได้กำหนด	ไม่มีกลิ่นและสีผิดปกติ
ลักษณะภายนอก	ไม่ได้กำหนด	ไม่บูด เน่า หรือขึ้นรา
อื่นๆ	ไม่ได้กำหนด	ไม่มีแมลงที่ยังมีชีวิตอยู่

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2523)

2) เคาะหรือร่อนดินทรายที่ติดมากับหัวมันสำปะหลังออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อทำให้มันเส้นที่ได้มีดินทรายหรือเถ้าในปริมาณต่ำ ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้เลี้ยงสัตว์ และผู้ผลิตอาหารสัตว์ ในกรณีที่ใช้เครื่องร่อนดินทรายที่สามารถขูดส่วนเปลือกนอกของหัวมันออกไปได้บ้างยิ่งจะเป็นการทำให้คุณภาพของมันเส้นที่ได้ดียิ่งขึ้น ปริมาณเยื่อใยลดน้อยลงปริมาณทรายจะน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้มันเส้นเหมาะกับการใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการหมักต่าง ๆ และขายได้ราคาดี

3) การตัดหัวมันอาจใช้วิธีตัดด้วยแรงงานหรือตัดด้วยเครื่องก็ได้ การตัดด้วยแรงงานมี 2 แบบคือการตัดตามขวาง กับการตัดตามยาวของหัวมัน ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียต่างกันคือ การตัดตามขวางจะตัดได้ง่าย ตากแห้งเร็ว ขนาดชิ้นที่ได้พอเหมาะกับการใช้ผสมอาหารโคสามารถใช้มันเป็นชิ้นได้เลย หรือการป้อนเข้าเครื่องบดก็ทำได้ง่าย ไม่ค่อยมีปัญหาติดขัดระบบลำเลียง ส่วนการตัดตามยาวจะตัดค่อนข้างช้า และใช้เวลาตากแดดนานกว่า เนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่า นอกจากนี้การนำเข้าเครื่องบดหรือเครื่องผสมอาหารมักมีปัญหาติดขัดในระบบลำเลียง แต่การตัดตามยาวมีข้อดีคือการสูญเสียน้ำหนักน้อย และเปอร์เซ็นต์แป้งสูง การตัดด้วยเครื่องสามารถตัดได้รวดเร็วกว่าการตัดด้วยแรงงานมากเนื่องจากเครื่องตัดมีสมรรถนะสูง การตัดหัวมันสดด้วยเครื่องตัดจะมีส่วนของหัวมันสดที่ถูกหั่นจนป่น ซึ่งเมื่อตากเป็นมันเส้นแล้วจะกลายเป็นฝุ่นมากกว่าการตัดด้วยแรงงาน ยิ่งตั้งความเร็วในการตัดมากเท่าใดส่วนชิ้นมันที่ป่นก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น และทำให้เปอร์เซ็นต์การเป็นฝุ่นของมันเส้นสูงขึ้นด้วย การใช้เครื่องตัดจึงไม่ควรกำหนดให้ทำงานเร็วเกินไป เพราะจะทำให้ได้มันเส้นมีฝุ่นมากเกินกว่ามาตรฐานที่ผู้ใช้ต้องการ

4) ลานตากชิ้นมันควรเป็นลานซีเมนต์ถ้ามีการขัดผิวได้จะยิ่งดี เพราะจะป้องกันการปนเปื้อนของทรายในมันเส้น การใช้ลานดินตากมันเส้นจะทำให้ได้มันเส้นคุณภาพต่ำ เพราะจะมีเศษดินทรายปนมามาก ผู้ซื้อไม่ต้องการเป็นอย่างยิ่ง และสีของมันเส้นจะไม่ขาวสะอาด ซึ่งทำให้ผู้ใช้ไม่มีความเชื่อมั่น และไม่กล้าใช้

5) การกลับชิ้นมันระหว่างการตากก็มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ทรายในมันเส้น การใช้แรงงานคนกลับจะได้ชิ้นมันเส้นที่มีคุณภาพดีที่สุด การใช้เครื่องจักรหรือรถกลับชิ้นมันจะทำให้ชิ้นมันแตกหักเป็นฝุ่นมาก อีกทั้งชิ้นมันจะถูกบดอัดกับทรายบนลานมัน และทำให้มีเปอร์เซ็นต์ทรายสูงขึ้น ดังนั้นเครื่องจักรหรือรถกลับชิ้นมัน ควรจะมีอุปกรณ์ป้องกันมิให้ล้อรถบดทับชิ้นมัน หรือบดทับน้อยที่สุด ซึ่งจะช่วยลดการเป็นฝุ่นของมันเส้น และลดเปอร์เซ็นต์ทรายในมันเส้นลงด้วย อย่างไรก็ตาม คุณภาพของมันเส้นอาจปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยการร่อนแยกฝุ่น และทรายที่ติดมากับมันเส้นออกก่อนจะทำการส่งให้กับผู้ใช้ แต่เครื่องร่อนไม่สามารถแยกส่วนของเหง้าหรือต้นที่ติดมา หรือหากมีมาก็ให้ติดมาน้อยที่สุด ก็จะทำให้ได้มันเส้นที่มีคุณภาพดีเป็นที่ต้องการของผู้ใช้ และสามารถจำหน่ายได้ในราคาที่ดี

กรมวิชาการเกษตร (2528) กล่าวว่า ในระยะแรกการทำมันเส้นจะใช้เครื่องโม่มันเส้นเล็ก ๆ และตากบนลานซีเมนต์ เครื่องมืออุปกรณ์อื่น ๆ มีน้อย ใช้แรงงานคนในการลำเลียงมันเส้นไปตาก และคอยใช้คราดไม้พลิกกลับมันที่ตากบนลาน ในขณะนั้นค่าแรงงานเพียงวันละ 7-10 บาทต่อคนต่อวัน ต่อมาค่าแรงงานสูงขึ้นจึงมีการนำเครื่องจักรเข้ามาช่วยทำงานมากขึ้น เช่น เครื่องโม่ขนาดใหญ่ และรถตักขนหัวมันสดใส่เครื่องโม่ดังแสดงในรูปที่ 4 หัวมันสำปะหลังสดที่ออกมาจากเครื่องโม่มันจะถูกลำเลียงไปตากโดยรถโปรยมัน มีเครื่องกลับมันเส้น ขนาดลานตากก็ใหญ่ขึ้น เครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้ผลิตขึ้นใช้เองในประเทศ โดยเครื่องโม่หัวมันสดขนาดเล็กโม่ได้ชั่วโมงละ 3-5 ตัน ขนาดกลางชั่วโมงละ 20-30 ตัน และขนาดใหญ่ชั่วโมงละ 40-60 ตัน โรงงานมันเส้นเฉลี่ยมีลานตาก 7 ไร่ ใช้หัวมันสดเฉลี่ยรอบละ 109.31 ตัน และได้มันเส้นเฉลี่ย 49.91 ตัน การทำงานรอบหนึ่งหมายถึงโม่เสร็จ และนำไปตากแดด 2-3 วันจนแห้ง แต่ละโรงงานทำงานเฉลี่ยปีละ 8 เดือน โดยโรงงานจะเปิดดำเนินการแปรรูปมากในช่วงเดือนตุลาคม–เมษายน ปีหนึ่งจะผลิตมันเส้นได้ประมาณ 2,886 ตันต่อปีต่อโรงงาน ในปี 2548 ประเทศไทยมีลานมันเส้นประมาณ 500 แห่ง และมักเป็นลานมันเส้นขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่มากกว่า 50 ไร่ ส่วนลานมันขนาดกลาง และขนาดเล็กมีน้อย กำลังการผลิตของลานมันเส้นเฉลี่ยแห่งละประมาณ 120-150 ตันต่อวัน (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2548) นอกจากนี้กรมการค้าต่างประเทศได้มีการส่งเสริม และผลักดันการผลิตมันเส้นสะอาด โดยมีการขึ้นทะเบียนผู้ผลิตมันเส้นสะอาดซึ่งขณะนี้มีทั้งหมด 48 ราย (กรมการค้าต่างประเทศ, 2548)

รูปที 2 เครื่องโม่มันเส้นขนาดใหญ่

ที่มา : ดนัย (2537)

กรมวิชาการเกษตร (2528) กล่าวว่าการตากมันเป็นวิธีการกำจัดความชื้นจากหัวมันสดด้วยการระเหย ประเทศไทยใช้วิธีตากมันเส้นกลางแจ้งด้วยแสงแดด โดยเริ่มตากในตอนเช้า โดยนำมันเส้นที่หั่นแล้วไปกองที่ลานตากมันซึ่งปกติลานทำด้วยซีเมนต์มีร่องน้ำระบายน้ำ แล้วเกลี่ยให้เสมอ และกลับมันเส้นทุกๆ 1-2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5 ในกรณีที่มีการทำมันเส้นเป็นกิจการขนาดใหญ่มีลานกว้างอาจใช้รถแทรกเตอร์ในการทำงานดังแสดงในรูปที่ 6 เศษมันที่หัก และเป็นผงจะตกอยู่ในลานตาก เนื่องจากการตากด้วยแสงแดดจำเป็นต้องอาศัยดินฟ้าอากาศเป็นสำคัญ ระยะการตาก และคุณภาพมันเส้นจึงแตกต่างกันมาก ขนาด และความหนาของมันเส้นเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการตากแห้ง ในประเทศไทยการตากมันเส้นจำนวน 10 ตัน บนลานตากซีเมนต์ 1 ไร่ ในวันที่มีแดดจัด 3 วัน มันเส้นจะมีความชื้นสุดท้าย 18 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก)

รูปที่ 3 การตากมันเส้น
ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2528)

รูปที่ 4 การกลับมันเส้น
ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2528)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2551) ทดสอบได้พัฒนาเครื่องสับมันแบบจานนอนและเครื่องสับมันที่พัฒนาขึ้นสามารถสับมันเป็นแผ่นแต่ยังไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร ซึ่งถ้าเป็นลักษณะของมันเส้นที่ผ่านการสับด้วยเครื่องสับแบบจานรูของลานมันสำปะหลังทั่วไปจะมีลักษณะเป็นก้อนไม่สม่ำเสมอเช่นกัน โดยสมรรถนะการสับ 4.8 ตันต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการใช้พลังงานจำเพาะ 0.64กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์

Thanh et al. (1979) ได้ปรับปรุงจานตัดของเครื่องตัดแบบจานหมุน โดยดัดแปลงจานตัดแบบเดิมที่ทำให้ชิ้นมันมีขนาดไม่แน่นอน และมีขนาดใหญ่ ทำให้การตากใช้เวลานาน เนื่องจากต้องการให้ชิ้นมันมีขนาดเล็กลงและมีรูปแบบของชิ้นมันที่เป็นรูปแบบเดียวกันมากขึ้น ซึ่งหลังการออกแบบพบว่าสมรรถนะการตัดลดลงจาก 9-11 ตันต่อชั่วโมง เป็น 6-8 ตันต่อชั่วโมง โดยใช้มอเตอร์ขนาด 7.5 แรงม้าเป็นต้นกำลัง แต่ขนาดชิ้นมันมีขนาดเป็นรูปแบบเดียวกันมากขึ้น และขนาดชิ้นเล็กลง โดยชิ้นมันมีขนาดเฉลี่ย 5×2.4×0.6 เซนติเมตร

Visvanathan et al. (1996) ได้ศึกษาผลที่เกิดจากมุมเอียงของใบมีด และความเร็วในการตัด

หัวมันสำปะหลังตามแนวแกน ตัวอย่างเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวมันสำปะหลังที่ทำการศึกษาอยู่ในช่วง 37 ถึง 72 มิลลิเมตร และความชื้นอยู่ในช่วง 65-70 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) มุมที่ใช้ตัดหัวมันสำปะหลังคือ 30, 45, 60, 75 และ 90 องศา และความเร็วในการตัดที่ใช้ในการศึกษาคือ 1.81 2.68, 3.51 และ 4.90 เมตร/วินาที ผลที่ได้คือ ความเร็วน้อยที่สุดที่สามารถตัดหัวมันสำปะหลังได้คือ 2.5 เมตร/วินาที มุมตัดอยู่ระหว่าง 63-75 องศา และมุมใบมีดอยู่ระหว่าง 30-45 องศา

ธวัชชัย และวิรัตน์ (2548) ได้สร้างเครื่องสับมันสำปะหลังแบบใบมีดโยก สำหรับผลิตชิ้นมันเส้นสะอาด เพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสำหรับโคนม เครื่องต้นแบบมีส่วนประกอบหลักคือ ชุดทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังที่มีลักษณะเป็นตะแกรงหมุนเพื่อแยกสิ่งเจือปน ชุดป้อนหัวมันเข้าสู่ชุดใบมีดสับ ชุดใบมีดสับสร้างขึ้นเพื่อให้เป็นรูปแบบการสับตามขวาง และตัดแยกชิ้นมันเป็นรูปทรงแท่งยาว มีช่วงคมมีดตัด 10 เซนติเมตร ผลการทดลองปรากฏว่าตะแกรงชุดทำความสะอาดหัวมันหมุนด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที ป้อนหัวมันสำปะหลังครั้งละ 50 กิโลกรัม ในเวลา 2 นาที เปลือกติดค้างหลังการทำความสะอาด 19.2 เปอร์เซ็นต์ ชุดใบมีดสับหัวมันมีสมรรถนะเฉลี่ย 598.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการสับชิ้นมัน 85.4 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นเต็ม 57.1 เปอร์เซ็นต์ และชิ้นแตกหัก 42.1 เปอร์เซ็นต์

เครื่องสับหัวมันที่พัฒนาขึ้นสามารถสับมันเป็นแผ่น ซึ่งถ้าเป็นลักษณะของมันเส้นที่ผ่านการสับด้วยเครื่องสับแบบจานรูของลานมันสำปะหลังทั่วไปจะมีลักษณะเป็นก้อนไม่สม่ำเสมอ ซึ่งไม่มีความเหมาะสมต่อการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งจะแห้งไม่พร้อมกัน ทำให้สูญเสียพลังงานในการลดความชื้นมากขึ้น การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดด้วยเครื่องตัดชนิดอื่นเพื่อให้ได้ชิ้นมันที่มีขนาดสม่ำเสมอมากขึ้นสอดคล้องกับระยะเวลาที่เหมาะสมในการตากแห้งเพื่อลดความชื้น และลดการเกิดชิ้นมันขนาดเล็กซึ่งเป็นต้นเหตุของฝุ่นผง จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตมันสำปะหลังเส้นของประเทศให้สูงขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นผลดีกับเกษตรกรผู้ผลิตหัวมันสำปะหลังสด และผู้ประกอบการโรงงานมันเส้นรวมทั้งทำให้การส่งออกผลิตภัณฑ์มันเส้นไปต่างประเทศมีความยั่งยืน และเป็นที่น่าเชื่อถือในระยะยาวต่อไป

การผลิตมันเส้นทำได้โดยการแปรรูปหัวมันสดโดยใช้เครื่องตีสับหัวมันสำปะหลังให้เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ แล้วนำไปตากบนลานซีเมนต์ประมาณ 2-3 วัน หรือมากกว่านั้นหากเป็นฤดูฝน ซึ่งตามปกติแล้วการผลิตมันเส้น 1 กิโลกรัมต้องใช้หัวมันสด (มีปริมาณแป้งร้อยละ 25) 2-2.5 กิโลกรัม เมื่อแห้งดีแล้วจะต้องได้มาตรฐานความชื้นที่มีในมันเส้นประมาณร้อยละ 14 แล้วจึงทำการเก็บเพื่อส่งขายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมมันอัดเม็ดต่อไป แต่เนื่องจากในขบวนการแปรรูปจากหัวมันสดเป็นมันเส้นแห้งนั้น ยังไม่มีเครื่องจักรอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ดีพอ ทำให้มันเส้นที่ได้ภายหลังการทำแห้งจากลานตากมีลักษณะเป็นฝุ่นแป้ง และมีการปนของวัสดุอื่น เกิดมลภาวะทางอากาศ ทั้งทำให้การส่งออกมันสำปะหลังเส้นนั้นประสบปัญหาในเรื่องคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ คุณภาพต่ำกว่ามันเส้นปอกเปลือกของประเทศเพื่อนบ้าน มีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก และมีฝุ่นผงและทรายเจือปนมาก (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2548) แม้ในปี 2545-2549 รัฐบาลได้มียุทธศาสตร์มันสำปะหลังเพื่อการส่งออกมันสำปะหลังเส้นคุณภาพดี และแป้งมันสำปะหลังไปต่างประเทศ โดยเริ่มดำเนินการโครงการมันเส้นสะอาด ซึ่งเน้นกระบวนการทำความสะอาดด้วยการแยกดินและทรายออกจากหัวมันสำปะหลังสดก่อนการตัด

หรือสับ เพื่อลดการเจือปนของทรายในมันสำปะหลังเส้น และลดปริมาณฝุ่นจากการตากภายหลังกระบวนการสับหรือตัดหัวมันสำปะหลังสดด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน ด้วยการลับคมมีดของเครื่องหั่นแบบจานหมุนให้มีความคมทุกครั้งก่อนการตัดเพื่อให้เกิดชิ้นมันที่ป่นน้อยที่สุดซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฝุ่น (สิทธิชัย, 2549) ปัจจุบันโครงการผลิตมันเส้นสะอาด ได้ดำเนินการไปแล้ว 20 จังหวัด โดยคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายเพื่อสร้างลานมันเส้นสะอาดขนาด 400 ตารางเมตร รวม 10,000 ลาน และจัดอบรมเกษตรกรผู้เข้าร่วมโครงการ 10,000 ราย เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้พัฒนาเครื่องสับมันแบบจานนอน มีสมรรถนะการสับ 4.8 ตันต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพการใช้พลังงานจำเพาะ 0.64 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ แต่ขนาดของมันสำปะหลังเส้นยังไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร (ภาคีศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2551) แต่เนื่องจากอุตสาหกรรมต่อเนื่องมีความต้องการมันเส้นสะอาด เช่นเดียวกับมันสับมือของประเทศเพื่อนบ้าน ดังนั้นการคัดแยกเพื่อทำให้เป็นมันเส้นสะอาดจากขบวนการผลิตเดิม จะช่วยเพิ่มมูลค่าและรายได้ให้กับผู้ประกอบการ และเกษตรกรในอีกทางหนึ่ง

วิรัตน์ (2555) พัฒนาเครื่องหั่นชิ้นมันเส้น โดยมีหลักการทำงาน คือ ป้อนหัวมันสำปะหลังเข้าสู่ส่วนทำความสะอาดที่ใช้หลักการขัดสีของวัสดุกับผิววัตถุดิบในน้ำ เพื่อขัดผิวและล้างให้สะอาด แล้วลำเลียงส่งเข้าชุดใบมีดที่ใช้หลักการเฉือน และหั่นหัวมันให้ได้เป็นชิ้นมันเส้นสะอาด โดยใช้ต้นกำลังขับในเพลาเดียวกันทำให้ทุกส่วนทำงานต่อเนื่องพร้อมกัน ผลการทดสอบการทำงาน ที่ความเร็วรอบเพลาขับ 50 รอบต่อนาที เครื่องสามารถทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังจนไม่พบเห็นดินทรายปนเปื้อน โดยมีเปอร์เซ็นต์เปลือกติดค้างหลังการทำความสะอาด 14.44 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการหั่นชิ้นมันเส้น 1,457.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการหั่นชิ้นมัน 85.6 เปอร์เซ็นต์ ในการหั่นหัวมันสำปะหลังมีชิ้นมันเส้นเต็ม และมีชิ้นแตกหัก 85.2 เปอร์เซ็นต์ และ 11.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

วิรัตน์ และคณะ (2557) ดำเนินการสำรวจข้อมูล พัฒนาเครื่อง และถ่ายทอดเทคโนโลยี ผลการดำเนินงานพบว่า เกษตรกรในชุมชนที่เลี้ยงโคนม และที่หั่นมันเส้นมีความประสงค์เข้าร่วมการอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี และต้องการเครื่องล้างพร้อมหั่นขนาดเล็กที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก ทำงานคนเดียวได้ โดยมีต้นกำลังที่ใช้ไฟฟ้าในบ้านได้ จึงได้พัฒนาเครื่องตามความต้องการดังกล่าว รวมทั้งพัฒนาชุดล้างน้ำ ละชุดครอบใบมีดหั่น ให้สามารถเปิดทำความสะอาดได้สะดวก โดยมีผลการทดสอบคือ เมื่อใช้หัวมันสำปะหลังเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-8 cm. ปรับความเร็วรอบเพลาขับที่ 45 rpm. พบว่าเครื่องมีความสามารถในการล้างงพร้อมหั่นมันเส้นสะอาด 1,389 kg hr-1 มีชิ้นมันเส้นเต็ม 84.15 % และมี ชิ้นแตกหัก 11.32 % เมื่อทำการถ่ายอดเทคโนโลยีเครื่องล้างพร้อมหั่นมันเส้นสะอาดสำหรับชุมชนให้กับเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง ผู้เลี้ยงโคนมและผู้หั่นมันเส้นสะอาด จำนวน 2 กลุ่ม ๆ ละ 35 คน รวม 70 คน เสร็จสิ้นแล้ว พบว่าเกษตรกรให้ความสนใจทั้งภาคบรรยายและภาคปฏิบัติ รวมทั้งแสดงความคิดเห็นว่าหน่วยงานรัฐควรจัดหาเครื่องชนิดนี้ให้กับเกษตรกรหรือชุมชนเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและทำให้มีอาชีพเพิ่มขึ้น สวนผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้เข้ารับการอบรมพบว่ามีความพึงพอใจในการอบรมมากกว่า 80 % และขอให้จัดอบรมเพิ่มเติมให้กับเกษตรกรกลุ่มที่เหลืออีกจำนวนมาก

9.2 ระบบการกำจัดฝุ่น

เครื่องดักฝุ่น เป็นเครื่องแยกสารปนเปื้อนในอากาศแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตที่มีฝุ่นปริมาณความเข้มข้นสูงๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมการเจียระไนและขัดผิวโลหะต่างๆ อุตสาหกรรมเตาหลอมโลหะ หรือปล่องควันจากหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) เป็นต้น โดยทั่วไปสามารถจัดกลุ่มของระบบการจัดฝุ่นได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ เครื่องดักฝุ่นแบบแห้ง และ เครื่องดักฝุ่นแบบแห้ง แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะเครื่องดักฝุ่นแบบแห้ง ที่จะนำมาใช้ในโครงการวิจัยนี้

เครื่องดักฝุ่นแบบแห้ง

1.ไซโคลนดักฝุ่น (Cyclone dust collector)

ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับแยกอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากกระแสก๊าซโดยใช้แรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเกิดจากการทำให้กระแสก๊าซหมุนวน (Vortex) เนื่องจากรูปร่างลักษณะของไซโคลน กระแสที่ไหลเข้าสู่ไซโคลนตามแนวสัมผัสหรือตามแนวแกนโดยผ่าน Vanes ไม่ว่ากรณีใด การทำงานของไซโคลนขึ้นกับความเฉื่อย (Inertia) ของอนุภาคที่จะเคลื่อนในแนวเส้นตรง เมื่อก๊าซเปลี่ยนทิศทางหนีแรงศูนย์กลางจะเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลนและเคลื่อนลงถังพัก

ไซโคลนประกอบด้วยส่วนรูปทรงกระบอก และมีปลายเป็นรูปโคน อากาศเคลื่อนเข้าสู่ไซโคลนในแนวสัมผัสที่ใกล้ส่วนบนของเครื่องด้วยความเร็วประมาณ 20 ถึง 30 เมตรต่อวินาที เมื่ออากาศผ่านเข้ามาด้านในจะเกิดกระแสวน (เรียกว่า Main Vortex) ขึ้น ซึ่งทำให้เกิด แรงหนีศูนย์กลางเหวี่ยงอนุภาคไปยังผนังของไซโคลน เมื่อกระแสวนนี้เคลื่อนที่ลงจนถึงเกือบปลายโคน อากาศจะหมุน กลับเป็นกระแสวนที่เล็กกว่าเดิมเรียกว่า Core Vortex และเคลื่อนที่ไปตาม ตัวไซโคลนจนออกไปทางท่อออก (Vortex Finder) ที่อยู่ส่วนบนของเครื่อง นั้นคือมี กระแสวน 2 ชั้น เกิดขึ้นในทิศทางเดียวกัน (T.N.F. Engineering Industry. 1997)

สำหรับอนุภาคที่ถูกเหวี่ยงไปยังผนังของไซโคลนจะเคลื่อนที่ลงไปยังส่วนปลายของ โคนไปยังถังพัก เนื่องจากแรงเฉื่อยและแรงถ่วง ส่วนอากาศที่ไม่มีอนุภาค จะหมุนขึ้นผ่านท่อออก ที่อยู่ส่วนบนของไซโคลน ซึ่งเหมือนอากาศและฝุ่นที่ไหลเข้าสู่ไซโคลนจะถูกทำให้เกิดการหมุนวนเหมือนกับการหมุนของพายุไซโคลน ซึ่งแบ่งการหมุนวนออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นนอก เป็นการหมุนวนของอากาศที่มีทิศทางม้วนลงด้านล่างตามผนังไซโคลน ซึ่งจะพัดพาเอาฝุ่นหยาบออกมาด้วย ส่วนการหมุนวนชั้นใน เป็นการหมุนวนที่เกิดขึ้นที่ด้านล่างของไซโคลนโดยมีทิศทางม้วนขึ้นด้านบนตามแนวศูนย์กลางไซโคลน ซึ่งจะพัดพาฝุ่นละเอียดออกจากไซโคลนไปพร้อมกับอากาศได้ ประสิทธิภาพการแยกฝุ่นของไซโคลนจะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น มวล และความเร็วในการแยกฝุ่นออกจากอากาศ

แบบของไซโคลน

แบ่งตามลักษณะของการหมุนและการทำให้เกิดการหมุนของก๊าซ ได้ ดังนี้ และรูปที่ 5

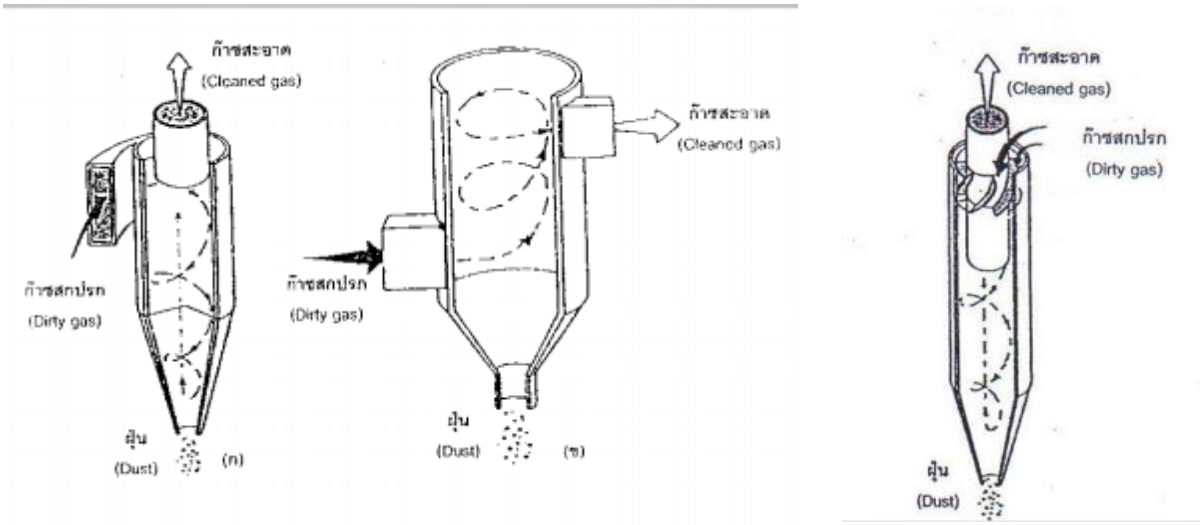
1. ไซโคลนแบบไหลกลับ (reverse-flow cyclones) มี ทางเข้ าแบบสัมผัส (tangential inlet) และทางเข้ าตามแนวแกน (axial inlet)

2. ไซโคลนแบบไหลตรง (straight-through-flow cyclones)

3. เครื่องเก็บที่ใช้ ใบพัด (impeller collectors cyclone)

2.เครื่องดักฝุ่นแบบผ้ากรอง (Bag House หรือ Bag Filter)

ทำงานโดยอาศัยหลักกลไกการกรอง (Filtration) อากาศที่มีสารปนเปื้อนไหลผ่านเข้าผ้ากรองหรือถุงกรอง ที่มีความละเอียดมากพอที่จะยอมให้เฉพาะอากาศเท่านั้นที่ไหลผ่านถุงกรองไปได้ ส่วนฝุ่นจะติดอยู่ที่ผิวหน้าของผ้ากรอง เครื่องดักฝุ่นแบบผ้ากรองหรือถุงกรองนี้มีประสิทธิภาพในการแยกฝุ่นสูงถึง 99.9% แต่ตัวระบบค่อนข้างใหญ่ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมาก ราคาผ้ากรอง หรือ ถุงกรองแพง และอายุการใช้งานของผ้ากรองมีจำกัด ต้องทำการเปลี่ยนเมื่อถึงเวลาที่กำหนด



(a) reverse-flow cyclones (b) straight-through-flow cyclones (c) impeller collectors cyclone

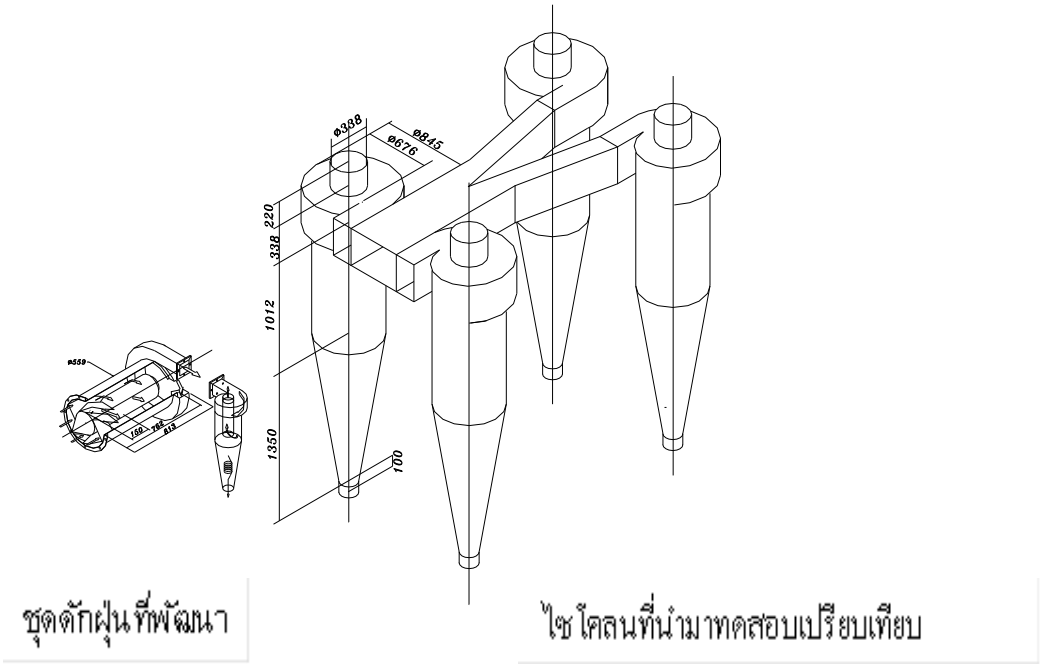
รูปที่ 5 ไซโคลนแบบต่างๆ แบ่งตามลักษณะของการหมุนและการทำให้เกิดการหมุนของก๊าซ

วิบูลย์และคณะ (2540) ได้ทำการออกแบบชุดพัดลมและชุดดักฝุ่นละอองจากปล่องควันของเตาเผาแกลบที่สำหรับเป็นแหลงกำเนิดความร้อนในการอบลดความชื้น โดยกล่าวว่าเขม่าและควันไฟที่ไหลออกทางปล่องควันมีฝุ่นละอองเถ้าปะปนไปด้วย เพื่อลดมลภาลดวะด้านฝุ่นละอองมิให้ฟุ้งกระจายไปในอากาศ จึงได้ออกแบบชุดดักฝุ่นเถ้าจากปล่องควัน พัดลมที่ใช้ดูดควันมีอัตราการไหล 230.67ม3/นาที ต้องใช้ไซโคลนดักฝุ่นเถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 ม สูง 6.00 ม ซึ่งมีขนาดใหญ่ หรือใช้แบบมัลติไซโคลนที่สามารถดักฝุ่นเถ้าได้ดีแต่มีราคาสูง และคณะผู้วิจัยจึงนำองค์ความรู้จากการวิจัยและพัฒนาชุดดักฝุ่นติดพัดลมแบบไหลตามแนวแกนสำหรับเครื่องอบแห้งเมล็ดพืช (วิบูลย์ และ คณะ, 2539) ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดเล็ก มาพัฒนาให้เป็นชุดดักฝุ่นที่ใช้กับพัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ในการพัฒนาเบื้องต้นได้นำชุดดักฝุ่นที่ใช้กับพัดลมแบบไหลตามแนวแกนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.56 ม. โดยทำการทดลอง 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ครีบบังคับลม 4 ใบ แบบที่ 2 ครีบบังคับลม 8 ใบ มาทดลองใช้กับพัดลมแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แล้วออกแบบใหม่ได้ออกแบบให้มีครีบบังคับลม 6 ใบ มีประสิทธิภาพการดักฝุ่นได้ 93 % ที่ปริมาณลม 182.2 - 185.3 ม3/ นาที โดยมีแรงดันสถิตสูญเสีย 103-105 ม.ม.น้ำ และได้มีการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักฝุ่นจากแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะต้องใช้

ไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.67 ม. สูง 2.6 ม นี้จำนวน 4 ลูก (รูปที่ 6) ผลการทดสอบพบว่าจะเห็นว่าประสิทธิภาพการดักฝุ่นในช่วงการใช้งานที่ปริมาณลมมากกว่า 166 ม3 / นาที จะไม่แตกต่างกัน แต่แรงดันสูญเสียของชุดดักฝุ่นที่พัฒนาขึ้นจะมากกว่าการใช้ไซโคลน 4 ลูก ประมาณ 20 ม.ม.น้ำ แต่เมื่อคำนึงถึงแรงดันสูญเสียรวมในระบบของการใช้ไซโคลน 4 ลูก เมื่อใช้กับเตาลมร้อน ที่ทางออกของไซโคลน แต่ละลูกจะต้องมีท่อลมต่อมาเข้ารวมกัน เพื่อให้ลมไหลออกปล่องควันปล่องเดียว ซึ่งจะทำให้แรงดันสูญเสียรวมในระบบเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ชุดดักฝุ่นที่พัฒนาขึ้นจะไม่แตกต่างกัน แต่ข้อดีของการใช้ชุดดักฝุ่นที่พัฒนาขึ้นนี้ คือราคาถูกกว่า และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่า

ยังมีทฤษฎีและการออกแบบอีกมากที่จะต้องศึกษา และนำมาใช้ออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามในส่วนของไซโคลนนี้จัดเป็นตัวแปรสำคัญของระบบ

จากการตรวจเอกสารจะเห็นได้ว่ากระบวนการแปรรูปมันสำปะหลังของไทยยังไม่มีเครื่องจักรในการแปรรูปที่เหมาะสม ตั้งแต่การทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังจนกระทั่งเป็นมันเส้น และมีงานวิจัยที่สนับสนุนการพัฒนาน้อยมาก อย่างเริ่มได้รับความสนใจจากหน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วแต่ยังอยู่ระหว่างดำเนินการ ในโครงการวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า เป็นการพัฒนาคุณภาพจากผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ ซึ่งมีผู้ประกอบการบางรายได้พัฒนาขึ้นแล้วในระดับหนึ่ง การพัฒนาต่อยอดจากองค์ความรู้ที่มีอยู่โดยเฉพาะเกี่ยวกับไซโคลนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น ลดต้นต้นทุนเครื่องจักรในระบบการทำความสะอาด โดยมีความเป็นไปได้และสำเร็จค่อนข้างสูง ตลอดจนมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้มีการพัฒนาต่อยอดสำหรับกิจกรรมการแปรรูปก่อนหน้านี้ได้อีก เช่น การลดการทำแห้งด้วยลานตกเป็นการใช้เครื่องอบ ซึ่งจะเป็นการลดการสูญเสียและการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์มันเส้นได้อีกมาก



รูปที่ 6 แสดงไซโคลน 4 ลูกที่นำมาทดสอบ เทียบกับ ชุดดักฝุ่นที่พัฒนา

ระเบียบวิธีการวิจัย

การศึกษาแบ่งเป็น 2 กิจกรรมวิจัย คือ ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มันเส้นที่ได้จากระบบปฏิบัติเดิม และ ออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบทำความสะอาดมันเส้น มีวิธีดำเนินการวิจัยในแต่ละกิจกรรมวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มันเส้นที่ได้จากระบบปฏิบัติเดิม มีวิธีดำเนินการดังนี้

1. สุ่มเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์มันเส้นจากโกดังเก็บมันเส้น หรือลานตากของผู้ประกอบการผลิตมันเส้น โกดัง/ลานมันเส้นต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในแต่ละภูมิภาคของประเทศ ซึ่งพิจารณาสุ่มเก็บตัวอย่างมันเส้นโกดัง/ลานมันที่เป็นสมาชิกชมรมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีขนาดตัวอย่างจากโรงงาน/ลานมันฯละประมาณ 30-50 กิโลกรัม
2. ทำการคัดแยกตัวอย่างมันเส้นที่รวบรวมมาจากข้อ 1 ออกเป็นส่วนๆ ตามลักษณะทางกายภาพ โดยเฉพาะด้านขนาด เพื่อศึกษาสัดสัดส่วนของขนาดชิ้นมันเส้นขนาดต่างๆ และฝุ่นแป้ง ด้วยหลักการคัดแยกโดยขนาดและน้ำหนัก จากนั้นคัดแยกเพื่อศึกษาปริมาณเศษสิ่งเจือปนอื่นที่ไม่ใช่ชิ้นมันเส้นของแต่ละขนาดชิ้นมันเส้นที่คัดแยก อาทิเศษลำต้น ชิ้นส่วนเหง้ามันฯ และอื่นๆ แล้วศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญในการคัดแยกด้วยลม เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญเพื่อการพิจารณาเลือใช้วิธีการคัดแยก และออกแบบเครื่องจักร และอุปกรณ์ในระบบการทำความสะอาดมันเส้นที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดวิธีดำเนินการดังนี้

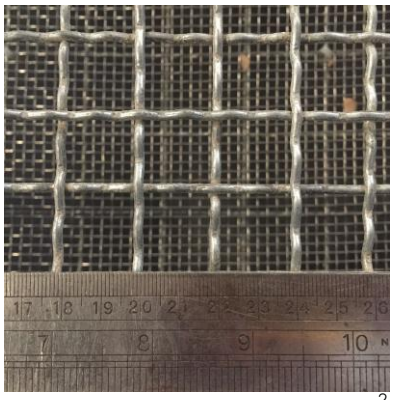
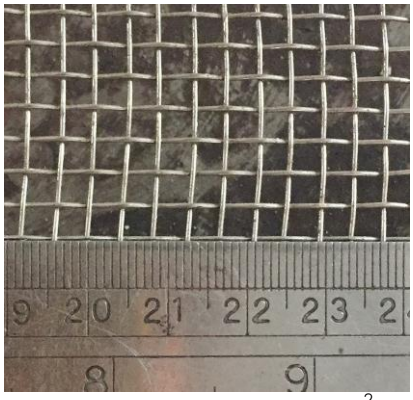
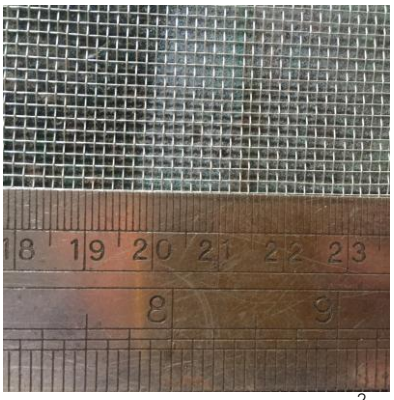
2.1 การคัดแยกด้วยขนาดและน้ำหนัก ดำเนินการโดย ออกแบบสร้างชุดทดสอบเป็นแบบตะแกรงโยกจำนวน 3 ชั้น ที่โยกด้วยความเร็วรอบหมุนลูกเบี้ยวตะแกรง 1,440 รอบ/นาที ระยะชัก 15 ซ.ม (รูปที่ 1) แต่ซ้ำของการคัดแยกใช้น้ำหนักตัวอย่างมันเส้น 10 กิโลกรัม ตะแกรงโยกดังกล่าวมีขนาดรูตะแกรงแตกกัน 3 ขนาด (รูปที่ 2) เพื่อแยกมันเส้นออกเป็นขนาดต่างๆ จำนวน 4 กลุ่ม คือ 1) ขนาดมากกว่า 20 x 20 มม.^{2} 2) ขนาดมากกว่า 4 x 4 มม.^{2} 3) ขนาดมากกว่า 2 x 2 มม.^{2} 4) ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม.^{2} หรือเป็นฝุ่นแป้ง ทั้งนี้ที่พิจารณาแยกเป็นสัดส่วนขนาดตั้งแต่ขนาด 20 x 20 มม.^{2} ลงมานั้น เนื่องจากพิจารณาเห็นว่าเป็นขนาดชิ้นมันเส้นที่โตกว่านนี้จัดเป็นขนาดชิ้นมันเส้นที่เหมาะสมทั่วไป

2.2 การคัดแยกสิ่งเจือปน ดำเนินการคัดแยกโดยใช้สายตาเพื่อคัดแยกระหว่างส่วนของชิ้นมันเส้นส่วนของลำต้น ส่วนของเศษเหง้า และสิ่งเจือปนอื่นๆ โดยปัจจัยเหล่านี้จัดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพมันเส้น โดยเฉพาะการนำมันเส้นไปใช้เพื่อเป็นอาหารสัตว์

2.3 การคัดแยกโดยใช้แรงลม จัดเป็นการคัดแยกตามเกณฑ์น้ำหนักของ ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาความเป็นได้ถึงการประยุกต์ใช้ลมเพื่อการคัดแยกตามขนาดและน้ำหนัก สิ่งเจือปน และฝุ่นแป้ง นั่นคือภายหลังจากได้ตัวอย่างตามข้อ 2.1. และ 2.2 แล้ว จะมีการนำมาทดสอบหาแรงลอยตัวของวัสดุ หรือความเร็วลมที่ทำให้วัสดุลอยตัว ซึ่งจัดเป็นความเร็วลมขั้นต่ำที่ต้องการในการที่จะทำให้วัตถุนั้นๆปลิวลอยตามลมได้ ดำเนินการโดยการประยุกต์ใช้เครื่องคัดขนาดเมล็ดพืชขนาดเล็ก (รูปที่ 3) ที่สามารถปรับความเร็วลมได้

เพื่อให้ทราบว่าความเร็วลมขั้นต่ำที่ต้องการสำหรับแต่ละกลุ่มขนาดชิ้นมันเส้น สิ่งเจือปน เป็นเท่าไหร่ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการทำความสะอาดมันเส้นต่อไป

รูปที่ 1 ตะแกรงโยก 3 ชั้น ที่สามารถคัดแยกขนาดได้เป็น 4 ขนาด

(ก) ขนาดรูตะแกรง 20 x 20 มม.^{2} (ข) ขนาดรูตะแกรง 4 x 4 มม.^{2} (ค) ขนาดรูตะแกรง 2 x 2 มม.^{2}

รูปที่ 2 ขนาดรูตะแกรงของตะแกรงโยก

รูปที่ 3 ประยุกต์ใช้เครื่องคัดขนาดเมล็ดพืชขนาดเล็กในการวัดแรงลอยตัวของชิ้นมันเส้น และวัสดุเจือปนวิเคราะห์ข้อมูลและเขียนรายงาน การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิจารณาจัดกลุ่มขนาดชิ้นมันเส้น และค่าข้อมูลพื้นฐานสำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการทำความสะอาดมันเส้นต่อไป

2. การออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบทำความสะอาดมันเส้น

1) ศึกษาและออกแบบระบบการคัดแยก เพื่อทำการคัดแยกให้ได้คุณลักษณะของมันเส้นที่ต้องการ และเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งอาจได้แก่ ส่วนของฝุ่นแป้ง มันเส้น เหง้ามัน สำปะหลัง ส่วนของลำต้น กรวด ทราย หินดิน และสิ่งเจอปนอื่นๆทราย ซึ่งรูปแบบหรือวิธีการคัดแยกอาจใช้หลักการที่แตกต่างกันไป อาทิ ความแตกต่างของขนาด น้ำหนัก โดยการใช้ตะแกรงร่อน ความแตกต่างของน้ำหนัก ตลอดจนรูปแบบของการคัดแยก การศึกษาจะดำเนินการโดยออกแบบ สร้างเป็นชุดทดสอบ และทดสอบศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีปัจจัยที่พิจารณาคือ ความเร็วลม ปริมาณฝุ่นแป้ง ชนิดและขนาดของสิ่งเจือปน และรูปแบบของการคัดแยกที่เหมาะสม

2) ศึกษาและออกแบบพัดลมดูด และไซโคลนดักฝุ่นแป้ง ดำเนินการโดยศึกษาหลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับระบบการดักฝุ่น ไซโคลน และพัดลมเพิ่มเติม แล้วออกแบบ ชนิด และขนาดของพัดลม และไซโคลนโดยใช้ข้อมูลจากวิธีการดำเนินการในข้อ 1 และ 2 ประกอบ แล้วสร้างเป็นชุดทดสอบเพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และออกแบบให้เป็นระบบคัดแยกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และมีต้นทุนต่ำสุด

3) ศึกษาและออกแบบส่วนประกอบสำคัญที่เหลือของระบบ เช่นกระพ้อ และสายพานลำเลียง

4) ออกแบบและติดตั้งระบบทำความสะอาด ในระบบการผลิตมันเส้นร่วมกับผู้ประกอบการผลิตมันเส้น

5) ทดสอบประเมินผลระบบ

6) ปรับปรุงแก้ไข

7) ทดสอบประเมินผลระบบระยะยาว

8) เขียนรายงาน

ผลการวิจัย

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มันเส้นที่ได้จากระบบปฏิบัติเดิม

1.1 การรวบรวมตัวอย่าง ได้ตัวอย่างมันเส้นจากระบบการปฏิบัติปัจจุบันจากโรงงาน/ลานมันฯ รวมทั้งสิ้น 10 โรงงาน/ลานมันฯ ชื่อโรงงาน/ลานมันฯดังแสดงในตาราง ผ 1 (ภาคผนวก) เพื่อนำมาทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ อย่างไรก็ตามจากการประเมินด้วยสายตา พบว่าแต่ละตัวอย่างที่เก็บรวบรวมม.านั้นมีขนาดหลากหลาย และมีส่วนของวัตถุเจือปน อาทิ เศษต้นมันฯ เหง้ามัน ดิน และอื่นๆในปริมาณที่มากพอสมควร (รูปที่ 4)

ตัวอย่างจากลานตากมันฯที่ 1

ตัวอย่างจากลานตากมันฯที่ 2

รูปที่ 4 มันเส้นที่สุ่มเก็บตัวอย่างมากจากลานตากมันเส้น ก่อนการคัดแยกขนาด

1.2 การคัดแยกด้วยขนาดและน้ำหนัก ภายหลังการคัดแยกด้วยตะแกรงโยก จะได้คุณสมบัติทางกายภาพตามขนาดและน้ำหนักมันเส้นพร้อมวัสดุปลอมปนอื่นๆ จำนวน 4 ขนาด คือ 1) ขนาดมากกว่า 20 x 20 มม.^{2} 2) ขนาดมากกว่า 4 x 4 มม.^{2} 3) ขนาดมากกว่า 2 x 2 มม.^{2} 4) ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม.^{2} หรือเป็นฝุ่นแป้ง ดังรูปที่ 5 และตารางที่ 1

ตะแกรงชั้นที่ 1 (ขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2})

ตะแกรงชั้นที่ 2 (ขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.^{2})

ตะแกรงชั้นที่ 3 (ขนาดโตกว่า 2 x 2 มม.^{2})

ถาดล่างสุด (ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม.^{2})

รูปที่ 5 ลักษณะทางกายภาพมันเส้นจากการแยกด้วยตะแกรงร่อน 3 ขนาด

จากผลการคัดแยกโดยใช้เกณฑ์ขนาดและน้ำหนัก ดังรูปที่ 5 ตารางที่ 1 และ ตารางที่ ผ2 จะพบว่าสัดส่วนของขนาดของชิ้นส่วนมันเส้นแต่ละโรงงาน/ลานตากมันเส้นมีความแปรปรวนมาก โดยขนาดชิ้นมันเส้นที่โตกว่า 20 x 20 มม.^{2} อยู่ในช่วง 23.84 – 50.84% และขนาดโซ่งจะเห็นได้ว่าสัดส่วนชิ้นมันเส้นมันเส้นขนาดใหญ่มีปริมาณค่อนข้างต่ำตกว่า 4 x 4 มม.^{2} อยู่ในช่วง 33.84 – 49.84% ที่เหลือเป็นส่วนที่ขนาดเล็กกว่า 4 x 4 มม.^{2} ซึ่งจำเป็นต้องคัดออกไปขายในรูปของผงแป้ง นั่นคือหากจะคัดแยกให้เป็นมันเส้นสะอาดดีที่สุดควรจะเป็นขนาดที่โตกว่า 20 x 20 มม.^{2} หรือในกลุ่มที่คุณภาพต่ำลงมาระดับหนึ่ง หรือมีราคาจำหน่ายที่ถูกลง คือ ขนาด 4 x 4 มม.^{2} ขึ้นไป

จากร้อยละของขนาดชิ้นมันเส้นที่เก็บรวบรวมมาจากมีโรงมัน/ลานมันฯต่างๆ มีความแปรปรวนมากดังกล่าว อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรในการสับหัวมันฯให้เป็นมันเส้น และการจัดการในการตาก ที่

ส่งผลถึงขนาดชิ้นมันเส้นที่ลดลง ดังนั้นหากโรงงาน/ลานมันจะทำการคัดแยกทำเป็นมันเส้นสะอาด จะมีศักยภาพในการทำได้เพียงบางโรงงาน/ลานมันฯ เท่านั้น รวมถึงจะต้องไปให้ความสำคัญกับการสับเป็นมันเส้น และการจัดการในการตาก ให้มีความเสียหายเนื่องจากการทำให้เป็นชิ้นมันเส้นที่มีขนาดเล็กหรือการป่นเป็นแป้งลง

ตารางที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนัก ของขนาดมันเส้นที่เหลือค้างบนตะแกรงชั้นต่างๆ จากมันเส้นตัวอย่างที่สุ่มเก็บมาจากผู้ประกอบการผลิตมันเส้นที่แตกต่างกัน

โรง/ลานมันฯ	ตะแกรงชั้นที่ 1 (ขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2})	ตะแกรงชั้นที่ 2 (ขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.^{2})	ตะแกรงชั้นที่ 3 (ขนาดโตกว่า 2 x 2 มม.^{2})	ถาดรองรับ (ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม.^{2})
1	44.84	44.84	3.35	6.97
2	50.84	37.17	6.06	5.93
3	49.51	43.83	2.83	3.84
4	28.51	47.18	11.18	13.14
5	35.18	49.84	6.84	8.14
6	41.84	42.51	7.84	7.81
7	29.18	46.51	11.84	12.47
8	23.84	48.51	11.84	15.81
9	45.18	35.18	8.51	11.14
10	40.51	33.84	10.51	15.14
สูงสุด	**50.84**	**49.84**	**11.84**	**15.81**
ต่ำสุด	**23.84**	**33.84**	**2.83**	**3.84**
เฉลี่ย	**38.94**	**42.94**	**8.08**	**10.04**
STD	**9.33**	**5.68**	**3.33**	**4.07**

1.3 การคัดแยกสิ่งเจือปน

ภายหลังการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยการใช้เกณฑ์ขนาดและน้ำหนัก พบว่าส่วนของมันเส้นมีวัสดุเจือปนจำนวนมาก โดยเฉพาะส่วนของเศษลำต้น และเหง้ามัน ในกลุ่มมันเส้นที่มีขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.^{2} (รูปที่ 6) ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพมันเส้น โดยเฉพาะการจำหน่ายเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ อาจไม่มีผู้รับซื้อ หรือจำหน่ายได้ในราคาที่ต่ำ จึงได้ทำการคัดแยกเพื่อศึกษาสัดส่วนการเจือปน และแนวทางในการคัดแยกออก เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์มันเส้น

มันเส้น (ก) ส่วนที่เป็นเหง้ามันสำปะหลัง (ข) ส่วนของลำต้นและอื่นๆ (ค)

รูปที่ 6 ขนาดมันเส้นที่โตกว่า 4 x 4 มม.^{2} เมื่อทำการคัดแยกจะพบว่ามีวัสดุปลอมปน อาทิ ส่วนของต้น เหง้า มันสำปะหลัง และวัสดุปลอมปนอื่นๆ

ตารางที่ 2 ร้อยละโดยน้ำหนักของสิ่งเจือปนที่ปนอยู่ในมันเส้นขนาดมันเส้นที่เหลือค้างบนตะแกรงชั้นต่างๆ จากมันเส้นตัวอย่างที่สุ่มเก็บมาจากผู้ประกอบการผลิตมันเส้นที่แตกต่างกัน

โรง/ลานมันฯ	ตะแกรงชั้นที่ 1 (ขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2})	ตะแกรงชั้นที่ 2 (ขนาดโตกว่า4 x 4 มม.^{2})
1	0.60	4.40
2	0.20	3.87
3	0.29	4.20
4	0.14	4.43
5	0.21	4.67
6	0.26	4.47
7	0.18	4.60
8	0.17	4.70
9	0.25	3.40
10	0.36	3.10
สูงสุด	**0.60**	**4.70**
ต่ำสุด	**0.14**	**3.10**
เฉลี่ย	**0.26**	**4.18**
STD	**0.13**	**0.55**

จากผลการคัดแยก (ตารางที่ 2 และ ตารางที่ ผ 2) พบว่าส่วนของวัสดุเจือปนขนาดใหญ่ที่ปนอยู่ในมันเส้นขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2} มีปริมาณน้อยกว่า 1% ส่วนที่ปนอยู่ในมันเส้นขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.^{2} มีอยู่ในช่วง 3-5.1% เฉลี่ย 4.18 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือหากพิจารณาในภาพรวมจะเห็นว่ามีสิ่งเจือปนในมันเส้นเกิน 3% หรือเกินมาตรฐานการส่งออก

1.4 การหาแรงลมต่ำสุดในการลอยตัว (Terminal velocity) เพื่อเป็นข้อมูลในออกแบบระบบการคัดแยกโดยใช้แรงลม

จากผลการทดลองเพื่อหาความเร็วลมที่ทำให้มันเส้นเริ่มขยับตัว และแรงลอยตัวของเศษลำต้น/เหง้ามันฯ พบว่าและแรงลอยตัวของเศษลำต้น/เหง้ามันฯ มีแนวโน้มสูงกว่าแรงลอยตัวของชิ้นมันเส้น แต่มีความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้ลมเพื่อการคัดแยกเศษลำต้น/เหง้ามันฯ โดยใช้แรงลม ทั้งนี้จำเป็นจะต้องทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อสรุปได้ชัดเจนมากขึ้น ส่วนขนาดที่เล็กกว่า 4 x 4 มม.^{2} **สามารถจะประยุกต์ใช้ลมเพื่อการคัดแยกได้**

ตารางที่ 3 แรงลมที่ทำให้ขนาดของมันเส้นต่างๆ ภายหลังการคัดแยกมีการเริ่มขยับตัว และลอยตัว

โรงงาน/ลาน	ซ้ำ	ตะแกรงชั้นที่ 1				ตะแกรงชั้นที่ 2				ตะแกรงชั้นที่ 3		ตะแกรงชั้นที่ 4	
		ชิ้นมันเส้น		เศษลำต้น/เหง้า		ชิ้นมันเส้น		เศษลำต้น/เหง้า		ชิ้นมันเส้น	ชิ้นมันเส้น	ชิ้นมันเส้น	
		ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)
1	1	5.81	10.38	5.21	9.2	3.72	5.81	3.96	6.85	0.55	1.46	0.46	1.29
	2	6.33	10.14	6.73	10.36	3.4	5.95	4.01	7.33	0.46	1.05	0.51	1.32
	3	6.27	7.87	7.66	10.38	3.96	5.65	4.36	8.17	0.54	2.06	0.65	1.28
2	1	6.95	10.31	7.95	8.79	4.53	7.97	4.11	7.14	0.71	1.09	0.51	1.34
	2	4.63	8.93	5.27	9.61	4.27	6.21	3.99	7.26	0.74	2.18	0.42	1.13
	3	4.28	9.82	5.67	9.83	3.11	4.46	3.54	6.97	0.56	1.93	0.36	0.98
3	1	4.35	9.78	5.74	10.56	2.55	5.36	3.12	7.01	0.42	2.31	0.24	1.38
	2	4.96	10.51	5.81	10.27	2.41	4.06	3.92	7.11	0.73	1.9	0.21	0.98
	3	4.88	9.14	5.78	7.94	3.91	6.14	5.58	7.93	0.65	1.25	0.37	1.86
4	1	4.60	7.60	6.45	10.12	3.18	5.17	4.36	6.23	0.81	1.35	0.60	2.10
	2	6.76	9.42	8.59	9.53	3.23	4.90	4.19	6.61	0.56	1.91	0.43	1.52
	3	5.70	8.40	6.81	8.85	2.19	3.53	4.60	7.01	0.43	2.59	0.30	1.85
5	1	7.52	9.14	6.59	10.31	3.74	5.37	3.25	7.85	0.82	1.57	0.56	1.83
	2	6.14	7.86	6.09	9.80	3.29	5.14	3.61	5.49	1.80	2.27	0.73	1.27
	3	4.67	7.77	4.97	9.28	2.89	4.90	5.42	7.10	0.71	2.05	0.46	1.57
6	1	6.50	8.89	7.51	9.36	4.08	5.38	5.60	7.70	0.60	2.19	0.35	1.63
	2	6.32	9.57	7.63	9.32	2.79	4.71	4.80	8.37	0.83	2.15	0.37	1.03
	3	7.10	9.76	6.51	9.63	3.14	4.82	3.77	7.14	0.94	2.17	0.53	1.76
7	1	5.92	9.20	6.40	8.52	2.88	3.61	3.37	6.38	1.20	2.13	0.20	1.36
	2	5.98	8.63	5.98	8.11	2.93	4.13	4.82	5.94	0.90	2.42	0.53	1.14
	3	5.32	7.38	6.62	9.76	3.20	4.84	4.90	6.64	1.20	2.23	0.56	1.05
8	1	5.91	7.83	6.95	10.10	2.99	4.47	5.52	6.65	0.61	2.35	0.57	1.45
	2	5.73	8.03	5.93	9.20	3.20	4.92	4.90	8.65	0.92	2.53	0.42	1.30
	3	6.10	7.54	6.88	9.49	2.38	5.68	3.95	5.96	0.96	2.44	0.53	1.86
9	1	6.00	9.30	7.30	8.35	4.72	7.98	4.30	7.65	0.93	2.72	0.51	1.90
	2	4.47	8.14	6.16	8.85	4.66	7.19	3.83	7.73	0.73	2.80	0.54	1.25
	3	6.64	8.70	7.34	9.32	4.42	5.46	6.04	7.67	0.99	1.73	0.50	2.10
10	1	8.34	9.32	6.80	9.97	1.10	3.39	6.00	8.73	0.63	2.52	0.56	2.26
	2	4.76	8.60	6.97	8.81	1.64	4.91	5.29	6.52	0.65	2.57	0.52	1.65
	3	4.86	9.23	5.68	8.56	3.92	5.38	4.07	6.01	1.47	2.48	0.67	1.91
สูงสุด		8.34	10.51	8.59	10.56	4.72	7.98	6.04	8.73	1.80	2.80	0.73	2.26
ต่ำสุด		4.28	7.38	4.97	7.94	1.10	3.39	3.12	5.49	0.42	1.05	0.20	0.98
เฉลี่ย		5.79	8.91	6.53	9.41	3.28	5.25	4.44	7.13	0.80	2.08	0.47	1.51
STD		1.01	0.91	0.86	0.71	0.87	1.11	0.82	0.82	0.31	0.48	0.13	0.36

หมายเหตุ ตะแกรงชั้นที่ 1 ขนาดมันเส้นโตกว่า 20 x 20 มม.^{2}, ตะแกรงชั้นที่ 2 ขนาดมันเส้นโตกว่า 4 x 4 มม.^{2}
ตะแกรงชั้นที่ 3 ขนาดมันเส้นโตกว่า 2 x 2 มม.^{2}, ตะแกรงชั้นที่ 4 ขนาดมันเส้นโตกว่า 2 x 2 มม.^{2}

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มันเส้นที่ได้จากระบบปฏิบัติเดิม

Study on Physical Property of Cassava Chipped from Current Practice

นายอนุชิต ฉ่ำสิงห์ นายวิบูลย์ เทเพนทร์ นายปรีชา อานันท์รัตนกุล นายจิรวัส เจียตระกูล นางสาวปรีดา วรรณ ไชยศรีชลธาร นายประสาท แสงพันธุ์ตา นายวุฒิพล จันทร์สระคู
กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมกลุ่มวิจัยวิศวกรรมผลิตพืช สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

1. บทคัดย่อ :

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมันเส้นในระบบการปฏิบัติเดิม ด้วยการรวบรวมตัวอย่างมันเส้นจากโรงงาน/ลานมันฯต่างๆในแต่ละภูมิภาครวม 10 ราย มาทำการคัดแยกโดยใช้เกณฑ์ขนาดและน้ำหนัก การหาปริมาณสิ่งเจือปน และความเร็วลมต่ำสุดที่จะให้แต่ละส่วนของการคัดแยกลอยตัว สำหรับเป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อใช้ในระบบการทำความสะอาดมันเส้น พบว่าขนาดชิ้นมันเส้นมากกว่า 20 x 20 มม^2 สัดส่วนระหว่างโรงงาน/ลานมันฯ มีความแปรปรวนสูงมาก แต่มีความเป็นไปได้จะคัดแยกให้เป็นมันเส้นที่ขนาดโตกว่า 4 x 4 มม^2 ขึ้นไป เป็นมันเส้นสะอาด ความเร็วลมต่ำสุดในการลอยตัวของเศษลำต้น/เหง้ามันฯ มีแนวโน้มสูงกว่าแรงลอยตัวของชิ้นมันเส้นแต่ไม่มาก มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ลมเพื่อการคัดแยกเศษลำต้น/เหง้าทำนองเดียวกับการคัดแยกขนาดที่เล็กกว่า 4 x 4 มม^2 (เฉลี่ย 7.13 และ 5.25 m/sec) มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ลมเพื่อการคัดแยกเศษลำต้น/เหง้าทำนองเดียวกับการคัดแยกขนาดที่เล็กกว่า 4 x 4 มม.^{2} แต่กาใช้ความเร็วลมที่สูงกว่า เพราะแรงลมที่ต้องการคัดขนาดที่เล็กกว่า 4 x 4 มม.^{2} และฝุ่นแป้ง ใช้แรงลมเฉลี่ยเพียง 2.08 m/s

Abstract: Study on physical properties of dry cassava chipped was conducted. Sample of dry cassava chipped from 10 manufactures were collected and experiment. Screen and weight Separation was used. The result show that ratio of cassava chipped size over 20 x 20 mm^2 **was quite high variation. Cassava chipped size over 4 x 4 mm^2 is feasible selected to be cleaned cassava chipped. Terminal velocity of material other than cassava chipped is really high than terminal velocity of cassava chipped in general but in less different. Therefore, separation of material other than cassava chipped out of cassava chipped is trend to be used similarly with separation of cassava chipped sized less than 4 x 4 mm^2 and cassava starch.**

.

2. คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังได้เป็นอันดับ 4 ของโลก รองจากประเทศไนจีเรีย บราซิล และอินโดนีเซียแต่เป็นประเทศผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับ 1 ของโลก ที่ครองส่วนแบ่งทางการตลาด 70 เปอร์เซ็นต์ มีมูลค่าส่งออกรวมมากกว่า 80,000 ล้านบาทต่อปี และมีพื้นที่ปลูก 8.92 ล้านไร่ เป็นอันดับ 4 รองจากข้าว ข้าวโพด และยางพารา มีผลผลิตรวมทั้งประเทศ 30.56 ล้านตันต่อปี โดยพื้นที่ปลูก 52.96 เปอร์เซ็นต์อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 25.26 เปอร์เซ็นต์อยู่ในภาคกลาง และ 21.77 เปอร์เซ็นต์อยู่ในภาคเหนือ (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2560)

ผลิตภัณฑ์จากการแปรรูป ผลผลิตหลักของอุตสาหกรรมแปรรูปมันสำปะหลังของประเทศไทย คือมันเส้น/มันอัดเม็ด แป้งมันสำปะหลัง เอทานอล และผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมการหมัก (ผงชูรส กรดไลซีน) และ อุตสาหกรรมอาหาร โดยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์หลักมูลค่า 79.9 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2560)

การแปรรูปหัวมันสำปะหลังสดเป็นผลิตภัณฑ์มันเส้น ยังมีส่วนช่วยในการรักษาเสถียรภาพด้านราคาหัวมันสำปะหลังของประเทศ และเป็นกลไกหนึ่งของรัฐบาลในการช่วยแก้ปัญหาหัวมันสำปะหลังสดมีราคาตกต่ำให้เกษตรกร ด้วยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มันเส้นแล้วรอจำหน่ายในช่วงเวลาที่มีราคาเหมาะสม เป็นการช่วยลดการเสียโอกาสการใช้ที่ดินและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร โดยเฉพาะในเขตที่มีพื้นที่ปลูกไม่มาก พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังใหม่ ในเขตที่มีปัญหาไม่มีแหล่งรับซื้อที่เกษตรกรจะต้องรีบเก็บเกี่ยวและขาย

ปัจจุบันการผลิตมันเส้นของประเทศไทยพบทั้งการสับด้วยมือ และสับด้วยเครื่องสับหรือโม่เป็นมันเส้น แต่ส่วนใหญ่เป็นการสับเป็นมันเส้นด้วยเครื่อง แล้วนำไปตากแดด 2-3 วัน พร้อมต้องมีการพลิกกลบเป็นระยะๆ ตลอดช่วงการตากแห้ง แต่ปัจจุบันยังเครื่องสับมันเส้นที่ใช้อยู่ทั่วไปยังไม่มีเทคโนโลยีที่เหมาะสม ชิ้นมันที่ได้จากการใช้เครื่องสับมีขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำแห้ง หรือตากแห้ง เกิดการสูญเสียเนื่องจากการป่นเป็นฝุ่นผงในกิจกรรมการพลิกกลับ เกิดการปนของดิน ส่วนของเหง้าและสิ่งเจือปนอื่นๆ อีกมาก จัดเป็นมันเส้นคุณภาพไม่ดี ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง เช่นเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ มันเส้นอัดเม็ด หรือเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ จำเป็นต้องมีการจัดการเพิ่มเติม อาทิ ทำการคัดแยก และทำความสะอาดอีกครั้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มขั้นตอนและต้นทุนในการผลิต นอกจากนี้มันเส้นคุณภาพไม่ดียังส่งผลให้การส่งออกมีแนวโน้มลดลง แม้ความต้องการนำเข้าจากจีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นก็ตาม อีกทั้งพบว่าไทยมีแนวโน้มได้รับผลกระทบจากการส่งออกมากขึ้น เนื่องจากประเทศเพื่อนบ้านมีการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกมากขึ้น สามารถผลิตมันเส้นสับมือทีมีลักษณะสวยงามและสะอาดกว่าของไทยมาก เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดเรื่องแรงงาน ผู้ส่งออกรวมถึงผู้ส่งออกไทยจะเข้าไปซื้อแล้วส่งออก หรือลักลอบนำเข้าแล้วส่งออกมันเส้นเหล่านี้ก่อน และจะส่งออกมันเส้นของไทยภายหลัง ประกอบกับสามารถส่งออกได้ในราคาที่ต่ำกว่าเนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำกว่า ทำให้ไทยขาดศักยภาพในการแข่งขันด้านราคา ส่งผลต่อเสถียรภาพ และระดับราคารับซื้อหัวมันสำปะหลังสดจากเกษตรกรในประเทศระดับหนึ่ง

การที่ไทยจะทำมันเส้นสับมือ หรือทำรูปลักษณ์ในทำนองเดียวกันกับประเทศเพื่อนบ้าน เพื่อให้มีศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดนั้นคงเป็นไปไม่ได้ เนื่องจากไทยมีการผลิตและแปรรูปในปริมาณมาก ประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงาน มีค่าจ้างแรงงานสูง ทำให้ต้นทุนการการแปรรูปสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาตลาดมันเส้น

สำหรับกลุ่มผลิตอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมต่อเนื่องในประเทศ และตลาดส่งออกที่เป็นคู่ค้าเดิม ซึ่งยังมีความต้องการมันเส้นอยู่มากนั้น มีความจำเป็นต้องพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์มันเส้น หรือให้เป็นมันเส้นสะอาดอย่างแท้จริง หรืออย่างน้อยได้ตามเกณฑ์มาตรฐานมันเส้นเพื่อการส่งออกของกรมการค้าต่างประเทศก็นับว่าเป็นการเพียงพอ และจากข้อจำกัดในกระบวนการทำมันเส้น ตั้งแต่ขั้นตอนการทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังสดจนได้มันเส้นนั้น ยังคงขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสมและเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการ เช่นเครื่องทำความสะอาดหัวมันสำปะหลังสด เครื่องสับหัวมันสำปะหลังที่เหมาะสมในการที่จะทำให้ได้ขนาดของมันเส้นสม่ำเสมอ ซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม และหน่วยวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามการพัฒนามันเส้นสะอาดจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาอย่างเร่งด่วน ดังนั้นในเบื้องต้นมีความจำเป็นต้องดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาการทำความสะอาดมันเส้นที่ได้จากระบบปฏิบัติเดิมอีกครั้ง เพื่อให้เป็นมันเส้นสะอาดตามต้องการก่อนจำหน่ายจะช่วยเพิ่มมูลค่าการจำหน่าย รวมถึงเป็นการเพิ่มศักยภาพการแข่งขัน ในการส่งออกมันเส้นอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งจากการตรวจเอกสารไม่พบว่ามีการวิจัยเกี่ยวข้องในการพัฒนามันเส้นที่ได้จากระบบการแปรรูปเดิมให้เป็นมันเส้นสะอาด แต่จากการสำรวจพบว่ามีผู้ประกอบการผลิตมันเส้นรายใหญ่ 1 ราย และเป็นผู้มีบทบาทสำคัญของการตลาดค้ามันสำปะหลังของประเทศ ได้มีการพัฒนาระบบทำความสะอาดมันเส้น จากระบบปฏิบัติเดิมให้เป็นมันเส้นสะอาดแล้วทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องตลาดจำหน่ายถึงไม่พอจำหน่าย และมีรายได้จากมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 15 อีกทั้งผู้ประกอบการรายดังกล่าวได้แจ้งว่ามีการเผยแพร่เทคโนโลยีนี้เป็นสาธารณะอย่างเปิดเผยแต่ไม่ได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการรายอื่นเท่าที่ควร จึงเสมือนว่าเป็นรายเดียวของประเทศไทยที่ดำเนินการในขั้นตอนนี้ โดยให้เหตุผลว่าผู้ประกอบการรายอื่นต่างประสบปัญหาคุณภาพมันเส้นเช่นกัน เพียงแต่ยังไม่ต้องการลงทุนเพิ่ม และผู้ประกอบการรายเดิมยังได้กล่าวว่าในระยะเวลาอันใกล้จะเริ่มประสบปัญหาการจำหน่ายทั้งในประเทศและการส่งออกอย่างมากขึ้น อันเนื่องจากการปริมาณการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น และการไม่มีข้อจำกัดในเรื่องแรงงานของประเทศเพื่อนบ้าน รวมถึงกรณีการที่ประเทศไทยจะเข้าสู่ AEC ผู้ประกอบการไทยจะมีศักยภาพในการแข่งขันต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจเอกสารและการวิเคราะห์ของคณะผู้วิจัยและจัดทำข้อเสนอโครงการนี้ และเมื่อมีศักยภาพการแข่งขันทั้งภายในประเทศและเพื่อการส่งออกต่ำ จะส่งผลต่อปริมาณการส่งออก และการบริโภคภายในประเทศ ทำให้ราคารับซื้อหัวมันสำปะหลังสดต่ำลง กระทบต่อรายได้ของเกษตรกร เป็นปัญหาของประเทศและต่อการผลิตมันสำปะหลังของประเทศ ดังนั้นคณะผู้วิจัย ผู้ประกอบการผลิตมันเส้นบางส่วน และผู้ประกอบการที่ใช้วัตถุดิบในการผลิตจากมันเส้นสะอาด มีความเห็นร่วมกันว่าในเบื้องต้นผู้ประกอบการไทยต้องมีการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ และยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์มันเส้นของไทยให้สูงขึ้นทั้งระบบ เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน เป็นการปกป้องและยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังของประเทศ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรหลังการเก็บเกี่ยว และการเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปตลอดห่วงโซ่การผลิตควรได้รับการวิจัยและพัฒนา แต่เนื่องจากการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพในกิจกรรมหลังการเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่างดำเนินการ และยังไม่ประสบผลสำเร็จ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้าด้วยการผลิตมันเส้นสะอาดจากมันเส้นที่มีระบบการผลิตในปัจจุบันด้วยระบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ โดยในกระบวนการออกแบบและพัฒนาจำเป็นต้องมีข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ แต่ไม่

พบว่ามีการศึกษามาก่อน ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพของมันเส้นที่มีการผลิตการผลิตอยู่ในปัจจุบัน เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบทำความสะอาดดังกล่าว

3. วิธีดำเนินการ :

อุปกรณ์ :

- เครื่องจักรและอุปกรณ์โรงงานต่างๆ ในการสร้างชุดทดสอบ และเครื่องต้นแบบ
- เครื่องต้นกำลัง และเครื่องมือวัดต่างๆ อาทิ มอเตอร์ต้นกำลัง Electrical Inverter เกียร์ทด เครื่องวัดรอบ เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า
- เครื่องชั่ง เครื่องวัดความเร็วลม และอุปกรณ์ในการทดสอบ ทดลองต่างๆ
- เครื่องคัดแยกเมล็ดโดยใช้แรงลม นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการวัดความเร็ววิกฤต

วิธีการ :

เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับระบบการทำความสะอาดมันเส้น มีวิธีดำเนินการศึกษาดังนี้

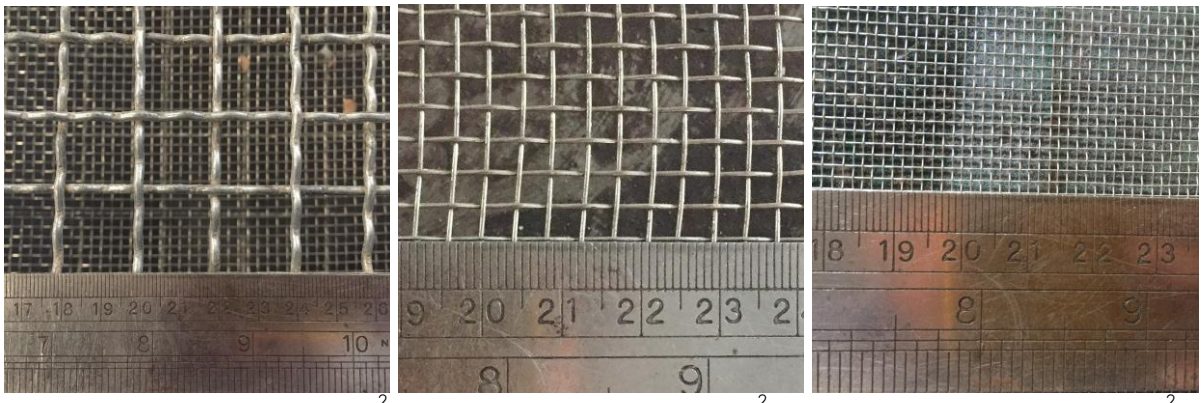
1. สุ่มเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์มันเส้นจากโกดังเก็บมันเส้น หรือลานตากของผู้ประกอบการผลิตมันเส้น โกดัง/ลานมันเส้นต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในแต่ละภูมิภาคของประเทศ ซึ่งพิจารณาสุ่มเก็บตัวอย่างมันเส้นโกดัง/ลานมันที่เป็นสมาชิกชมรมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีขนาดตัวอย่างจากโรงงาน/ลานมันฯละประมาณ 30-50 กิโลกรัม
2. ทำการคัดแยกตัวอย่างมันเส้นที่รวบรวมมาจากข้อ 1 ออกเป็นส่วนๆ ตามลักษณะทางกายภาพ โดยเฉพาะด้านขนาด เพื่อศึกษาสัดสัดส่วนของขนาดชิ้นมันเส้นขนาดต่างๆ และฝุ่นแป้ง ด้วยหลักการคัดแยกโดยขนาดและน้ำหนัก จากนั้นคัดแยกเพื่อศึกษาปริมาณเศษสิ่งเจือปนอื่นที่ไม่ใช่ชิ้นมันเส้นของแต่ละขนาดชิ้นมันเส้นที่คัดแยก อาทิเศษลำต้น ชิ้นส่วนเหง้ามันฯ และอื่นๆ แล้วศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญในการคัดแยกด้วยลม เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญเพื่อการพิจารณาเลือใช้วิธีการคัดแยก และออกแบบเครื่องจักร และอุปกรณ์ในระบบการทำความสะอาดมันเส้นที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดวิธีดำเนินการดังนี้

   2.1 การคัดแยกด้วยขนาดและน้ำหนัก ดำเนินการโดย ออกแบบสร้างชุดทดสอบเป็นแบบตะแกรงโยกจำนวน 3 ชั้น ที่โยกด้วยความเร็วรอบหมุนลูกเบี้ยวตะแกรง 1,440 รอบ/นาที ระยะชัก 15 ซ.ม (รูปที่ 1) แต่ซ้ำของการคัดแยกใช้น้ำหนักตัวอย่างมันเส้น 10 กิโลกรัม ตะแกรงโยกดังกล่าวมีขนาดรูตะแกรงแตกกัน 3 ขนาด (รูปที่ 2) เพื่อแยกมันเส้นออกเป็นขนาดต่างๆ จำนวน 4 กลุ่ม คือ 1) ขนาดมากกว่า 20 x 20 มม.^{2} 2) ขนาดมากกว่า 4 x 4 มม.^{2} 3) ขนาดมากกว่า 2 x 2 มม.^{2} 4) ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม.^{2} หรือเป็นฝุ่นแป้ง ทั้งนี้ที่พิจารณาแยกเป็นสัดส่วนขนาดตั้งแต่ขนาด 20 x 20 มม.^{2} ลงมานั้น เนื่องจากพิจารณาเห็นว่าเป็นขนาดชิ้นมันเส้นที่โตกว่านนี้จัดเป็นขนาดชิ้นมันเส้นที่เหมาะสมทั่วไป

2.2 การคัดแยกสิ่งเจือปน ดำเนินการคัดแยกโดยใช้สายตาเพื่อคัดแยกระหว่างส่วนของชิ้นมันเส้น ส่วนของลำต้น ส่วนของเศษเหง้า และสิ่งเจือปนอื่นๆ โดยปัจจัยเหล่านี้จัดเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพมันเส้น โดยเฉพาะการนำมันเส้นไปใช้เพื่อเป็นอาหารสัตว์

2.3 การคัดแยกโดยใช้แรงลม จัดเป็นการคัดแยกตามเกณฑ์น้ำหนักของ ทั้งนี้เพื่อเป็นการศึกษาความเป็นได้ถึงการประยุกต์ใช้ลมเพื่อการคัดแยกตามขนาดและน้ำหนัก สิ่งเจือปน และฝุ่นแป้ง นั่นคือภายหลังจากได้ตัวอย่างตามข้อ 2.1. และ 2.2 แล้ว จะมีการนำมาทดสอบหาแรงลอยตัวของวัสดุ หรือความเร็วลมที่ทำให้วัสดุลอยตัว ซึ่งจัดเป็นความเร็วลมขั้นต่ำที่ต้องการในการที่จะทำให้วัตถุนั้นๆปลิวลอยตามลมได้ ดำเนินการโดยการประยุกต์ใช้เครื่องคัดขนาดเมล็ดพืชขนาดเล็ก (รูปที่ 3) ที่สามารถปรับความเร็วลมได้ เพื่อให้ทราบว่าความเร็วลมขั้นต่ำที่ต้องการสำหรับแต่ละกลุ่มขนาดชิ้นมันเส้น สิ่งเจือปน เป็นเท่าไหร่ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการทำความสะอาดมันเส้นต่อไป

รูปที่ 1 ตะแกรงโยก 3 ชั้น ที่สามารถคัดแยกขนาดได้เป็น 4 ขนาด



(ก) ขนาดรูตะแกรง 20 x 20 มม.^{2} (ข) ขนาดรูตะแกรง 4 x 4 มม.^{2} (ค) ขนาดรูตะแกรง 2 x 2 มม.^{2}

รูปที่ 2 ขนาดรูตะแกรงของตะแกรงโยก

รูปที่ 3 ประยุกต์ใช้เครื่องคัดขนาดเมล็ดพืชขนาดเล็กในการวัดแรงลอยตัวของชิ้นมันเส้น และวัสดุเจือปน

3. วิเคราะห์ข้อมูลและเขียนรายงาน การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิจารณาจัดกลุ่มขนาดชิ้นมันเส้น และค่าข้อมูลพื้นฐานสำหรับเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบการทำความสะอาดมันเส้นต่อไป

- เวลาและสถานที่:

ระยะเวลา ตุลาคม 2558 – กันยายน 2559

สถานที่ ตัวอย่างมันเส้นรวบรวมจากลานตากมันเส้นภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือแล้วมาทำการศึกษา ณ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

8. ผลการทดลองและวิจารณ์ :

8.1 การรวบรวมตัวอย่าง ได้ตัวอย่างมันเส้นจากระบบการปฏิบัติปัจจุบันจากโรงงาน/ลานมันฯ รวมทั้งสิ้น 10 โรงงาน/ลานมันฯ ชื่อโรงงาน/ลานมันฯดังแสดงในตาราง ผ 1 (ภาคผนวก) เพื่อนำมาทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ อย่างไรก็ตามจากการประเมินด้วยสายตา พบว่าแต่ละตัวอย่างที่เก็บรวบรวมม.านั้นมีขนาดหลากหลาย และมีส่วนของวัตถุเจือปน อาทิ เศษต้นมันฯ เหง้ามัน ดิน และอื่นๆในปริมาณที่มากพอสมควร (รูปที่ 4)

ตัวอย่างจากลานตากมันฯที่ 1

ตัวอย่างจากลานตากมันฯที่ 2

รูปที่ 4 มันเส้นที่สุ่มเก็บตัวอย่างมากจากลานตากมันเส้น ก่อนการคัดแยกขนาด

8.2 การคัดแยกด้วยขนาดและน้ำหนัก ภายหลังการคัดแยกด้วยตะแกรงโยก จะได้คุณสมบัติทางกายภาพตามขนาดและน้ำหนักมันเส้นพร้อมวัสดุปลอมปนอื่นๆ จำนวน 4 ขนาด คือ 1) ขนาดมากกว่า 20 x 20 มม.^{2} 2) ขนาดมากกว่า 4 x 4 มม.^{2} 3) ขนาดมากกว่า 2 x 2 มม.^{2} 4) ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม.^{2} หรือเป็นฝุ่นแป้ง ดังรูปที่ 5 และตารางที่ 1

ตะแกรงชั้นที่ 1 (ขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2})

ตะแกรงชั้นที่ 2 (ขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.^{2})

ตะแกรงชั้นที่ 3 (ขนาดโตกว่า 2 x 2 มม.^{2})

ถาดล่างสุด (ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม.^{2})

รูปที่ 5 ลักษณะทางกายภาพมันเส้นจากการแยกด้วยตะแกรงร่อน 3 ขนาด

จากผลการคัดแยกโดยใช้เกณฑ์ขนาดและน้ำหนัก ดังรูปที่ 5 ตารางที่ 1 และ ตารางที่ ผ2 จะพบว่าสัดส่วนของขนาดของชิ้นส่วนมันเส้นแต่ละโรงงาน/ลานตากมันเส้นมีความแปรปรวนมาก โดยขนาดชิ้นมันเส้นที่โตกว่า 20 x 20 มม.^{2} อยู่ในช่วง 23.84 – 50.84% และขนาดโซึ่งจะเห็นได้ว่าสัดส่วนชิ้นมันเส้นมันเส้นขนาดใหญ่มีปริมาณค่อนข้างต่ำตกว่า 4 x 4 มม.^{2} อยู่ในช่วง 33.84 – 49.84% ที่เหลือเป็นส่วนที่ขนาดเล็กกว่า 4 x 4 มม.^{2} ซึ่งจำเป็นต้องคัดออกไปขายในรูปของผงแป้ง นั่นคือหากจะคัดแยกให้เป็นมันเส้นสะอาดดีที่สุดควรจะเป็นขนาดที่โตกว่า 20 x 20 มม.^{2} หรือในกลุ่มที่คุณภาพต่ำลงมาระดับหนึ่ง หรือมีราคาจำหน่ายที่ถูกลง คือ ขนาด 4 x 4 มม.^{2} ขึ้นไป

จากร้อยละของขนาดชิ้นมันเส้นที่เก็บรวบรวมมาจากมีโรงมัน/ลานมันฯต่างๆ มีความแปรปรวนมากดังกล่าว อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรในการสับหัวมันฯให้เป็นมันเส้น และการจัดการในการตาก ที่ส่งผลถึงขนาดชิ้นมันเส้นที่ลดลง ดังนั้นหากโรงงาน/ลานมันจะทำการคัดแยกทำเป็นมันเส้นสะอาด จะมีศักยกภาพในการทำได้เพียงบางโรงงาน/ลานมันฯ เท่านั้น รวมถึงจะต้องไปให้ความสำคัญกับการสับเป็นมันเส้น และการจัดการในการตาก ให้มีความเสียหายเนื่องจากการทำให้เป็นชิ้นมันเส้นที่มีขนาดเล็กหรือการป่นเป็นแป้งลง

ตารางที่ 1 ร้อยละโดยน้ำหนัก ของขนาดมันเส้นที่เหลือค้างบนตะแกรงชั้นต่างๆ จากมันเส้นตัวอย่างที่สุ่มเก็บมาจากผู้ประกอบการผลิตมันเส้นที่แตกต่างกัน

โรง/ลานมันฯ	ตะแกรงชั้นที่ 1 (ขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2})	ตะแกรงชั้นที่ 2 (ขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.^{2})	ตะแกรงชั้นที่ 3 (ขนาดโตกว่า 2 x 2 มม.^{2})	ถาดรองรับ (ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม.^{2})
1	44.84	44.84	3.35	6.97
2	50.84	37.17	6.06	5.93
3	49.51	43.83	2.83	3.84
4	28.51	47.18	11.18	13.14
5	35.18	49.84	6.84	8.14
6	41.84	42.51	7.84	7.81
7	29.18	46.51	11.84	12.47
8	23.84	48.51	11.84	15.81
9	45.18	35.18	8.51	11.14
10	40.51	33.84	10.51	15.14
สูงสุด	**50.84**	**49.84**	**11.84**	**15.81**
ต่ำสุด	**23.84**	**33.84**	**2.83**	**3.84**
เฉลี่ย	**38.94**	**42.94**	**8.08**	**10.04**
STD	**9.33**	**5.68**	**3.33**	**4.07**

8.2 การคัดแยกสิ่งเจือปน

ภายหลังการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้วยการใช้เกณฑ์ขนาดและน้ำหนัก พบว่าส่วนของมันเส้นมีวัสดุเจือปนจำนวนมาก โดยเฉพาะส่วนของเศษลำต้น และเหง้ามัน ในกลุ่มมันเส้นที่มีขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.^{2} (รูปที่ 6) ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพมันเส้น โดยเฉพาะการจำหน่ายเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ อาจไม่มีผู้รับซื้อ หรือจำหน่ายได้ในราคาที่ต่ำ จึงได้ทำการคัดแยกเพื่อศึกษาสัดส่วนการเจือปน และแนวทางในการคัดแยกออก เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์มันเส้น

มันเส้น (ก) ส่วนที่เป็นเหง้ามันสำปะหลัง (ข) ส่วนของลำต้นและอื่นๆ (ค)

รูปที่ 6 ขนาดมันเส้นที่โตกว่า 4 x 4 มม.^{2} เมื่อทำการคัดแยกจะพบว่ามีวัสดุปลอมปน อาทิ ส่วนของต้น เหง้า มันสำปะหลัง และวัสดุปลอมปนอื่นๆ

ตารางที่ 2 ร้อยละโดยน้ำหนักของสิ่งเจือปนที่ปนอยู่ในมันเส้นขนาดมันเส้นที่เหลือค้างบนตะแกรงชั้นต่างๆ จากมันเส้นตัวอย่างที่สุ่มเก็บมาจากผู้ประกอบการผลิตมันเส้นที่แตกต่างกัน

โรง/ลานมันฯ	ตะแกรงชั้นที่ 1 (ขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2})	ตะแกรงชั้นที่ 2 (ขนาดโตกว่า4 x 4 มม.^{2})
1	0.60	4.40
2	0.20	3.87
3	0.29	4.20
4	0.14	4.43
5	0.21	4.67
6	0.26	4.47
7	0.18	4.60
8	0.17	4.70
9	0.25	3.40
10	0.36	3.10
สูงสุด	**0.60**	**4.70**
ต่ำสุด	**0.14**	**3.10**
เฉลี่ย	**0.26**	**4.18**
STD	**0.13**	**0.55**

จากผลการคัดแยก (ตารางที่ 2 และ ตารางที่ ผ 2) พบว่าส่วนของวัสดุเจือปนขนาดใหญ่ที่ปนอยู่ในมันเส้นขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2} มีปริมาณน้อยกว่า 1% ส่วนที่ปนอยู่ในมันเส้นขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.^{2} มีอยู่ในช่วง 3-5.1% เฉลี่ย 4.18 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือหากพิจารณาในภาพรวมจะเห็นว่ามีสิ่งเจือปนในมันเส้นเกิน 3% หรือเกินมาตรฐานการส่งออก

8.3 การหาแรงลมต่ำสุดในการลอยตัว (Terminal velocity) เพื่อเป็นข้อมูลในออกแบบระบบการคัดแยกโดยใช้แรงลม

จากผลการทดลองเพื่อหาความเร็วลมที่ทำให้มันเส้นเริ่มขยับตัว และแรงลอยตัวของเศษลำต้น/เหง้ามันฯ พบว่าและแรงลอยตัวของเศษลำต้น/เหง้ามันฯ มีแนวโน้มสูงกว่าแรงลอยตัวของชิ้นมันเส้น แต่มีความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย แสดงว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้ลมเพื่อการคัดแยกเศษลำต้น/เหง้ามันฯ โดยใช้แรงลม ทั้งนี้จำเป็นจะต้องทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อสรุปได้ชัดเจนมากขึ้น ส่วนขนาดที่เล็กกว่า 4 x 4 มม.^{2} **สามารถจะประยุกต์ใช้ลมเพื่อการคัดแยกได้**

ตารางที่ 3 แรงลมที่ทำให้ขนาดของมันเส้นต่างๆ ภายหลังการคัดแยกมีการเริ่มขยับตัว และลอยตัว

โรงงาน/ลาน	ซ้ำ	ตะแกรงชั้นที่ 1				ตะแกรงชั้นที่ 2				ตะแกรงชั้นที่ 3		ตะแกรงชั้นที่ 4	
		ชิ้นมันเส้น		เศษลำต้น/เหง้า		ชิ้นมันเส้น		เศษลำต้น/เหง้า		ชิ้นมันเส้น	ชิ้นมันเส้น	ชิ้นมันเส้น	
		ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)	ความเร็วเริ่มขยับ (m/s)	ความเร็วลอยตัว (m/s)
1	1	5.81	10.38	5.21	9.2	3.72	5.81	3.96	6.85	0.55	1.46	0.46	1.29
	2	6.33	10.14	6.73	10.36	3.4	5.95	4.01	7.33	0.46	1.05	0.51	1.32
	3	6.27	7.87	7.66	10.38	3.96	5.65	4.36	8.17	0.54	2.06	0.65	1.28
2	1	6.95	10.31	7.95	8.79	4.53	7.97	4.11	7.14	0.71	1.09	0.51	1.34
	2	4.63	8.93	5.27	9.61	4.27	6.21	3.99	7.26	0.74	2.18	0.42	1.13
	3	4.28	9.82	5.67	9.83	3.11	4.46	3.54	6.97	0.56	1.93	0.36	0.98
3	1	4.35	9.78	5.74	10.56	2.55	5.36	3.12	7.01	0.42	2.31	0.24	1.38
	2	4.96	10.51	5.81	10.27	2.41	4.06	3.92	7.11	0.73	1.9	0.21	0.98
	3	4.88	9.14	5.78	7.94	3.91	6.14	5.58	7.93	0.65	1.25	0.37	1.86
4	1	4.60	7.60	6.45	10.12	3.18	5.17	4.36	6.23	0.81	1.35	0.60	2.10
	2	6.76	9.42	8.59	9.53	3.23	4.90	4.19	6.61	0.56	1.91	0.43	1.52
	3	5.70	8.40	6.81	8.85	2.19	3.53	4.60	7.01	0.43	2.59	0.30	1.85
5	1	7.52	9.14	6.59	10.31	3.74	5.37	3.25	7.85	0.82	1.57	0.56	1.83
	2	6.14	7.86	6.09	9.80	3.29	5.14	3.61	5.49	1.80	2.27	0.73	1.27
	3	4.67	7.77	4.97	9.28	2.89	4.90	5.42	7.10	0.71	2.05	0.46	1.57
6	1	6.50	8.89	7.51	9.36	4.08	5.38	5.60	7.70	0.60	2.19	0.35	1.63
	2	6.32	9.57	7.63	9.32	2.79	4.71	4.80	8.37	0.83	2.15	0.37	1.03
	3	7.10	9.76	6.51	9.63	3.14	4.82	3.77	7.14	0.94	2.17	0.53	1.76
7	1	5.92	9.20	6.40	8.52	2.88	3.61	3.37	6.38	1.20	2.13	0.20	1.36
	2	5.98	8.63	5.98	8.11	2.93	4.13	4.82	5.94	0.90	2.42	0.53	1.14
	3	5.32	7.38	6.62	9.76	3.20	4.84	4.90	6.64	1.20	2.23	0.56	1.05
8	1	5.91	7.83	6.95	10.10	2.99	4.47	5.52	6.65	0.61	2.35	0.57	1.45
	2	5.73	8.03	5.93	9.20	3.20	4.92	4.90	8.65	0.92	2.53	0.42	1.30
	3	6.10	7.54	6.88	9.49	2.38	5.68	3.95	5.96	0.96	2.44	0.53	1.86
9	1	6.00	9.30	7.30	8.35	4.72	7.98	4.30	7.65	0.93	2.72	0.51	1.90
	2	4.47	8.14	6.16	8.85	4.66	7.19	3.83	7.73	0.73	2.80	0.54	1.25
	3	6.64	8.70	7.34	9.32	4.42	5.46	6.04	7.67	0.99	1.73	0.50	2.10
10	1	8.34	9.32	6.80	9.97	1.10	3.39	6.00	8.73	0.63	2.52	0.56	2.26
	2	4.76	8.60	6.97	8.81	1.64	4.91	5.29	6.52	0.65	2.57	0.52	1.65
	3	4.86	9.23	5.68	8.56	3.92	5.38	4.07	6.01	1.47	2.48	0.67	1.91
สูงสุด		8.34	10.51	8.59	10.56	4.72	7.98	6.04	8.73	1.80	2.80	0.73	2.26
ต่ำสุด		4.28	7.38	4.97	7.94	1.10	3.39	3.12	5.49	0.42	1.05	0.20	0.98
เฉลี่ย		5.79	8.91	6.53	9.41	3.28	5.25	4.44	7.13	0.80	2.08	0.47	1.51
STD		1.01	0.91	0.86	0.71	0.87	1.11	0.82	0.82	0.31	0.48	0.13	0.36

หมายเหตุ ตะแกรงชั้นที่ 1 ขนาดมันเส้นโตกว่า 20 x 20 มม.^{2}, ตะแกรงชั้นที่ 2 ขนาดมันเส้นโตกว่า 4 x 4 มม.^{2}
ตะแกรงชั้นที่ 3 ขนาดมันเส้นโตกว่า 2 x 2 มม.^{2}, ตะแกรงชั้นที่ 4 ขนาดมันเส้นโตกว่า 2 x 2 มม.^{2}

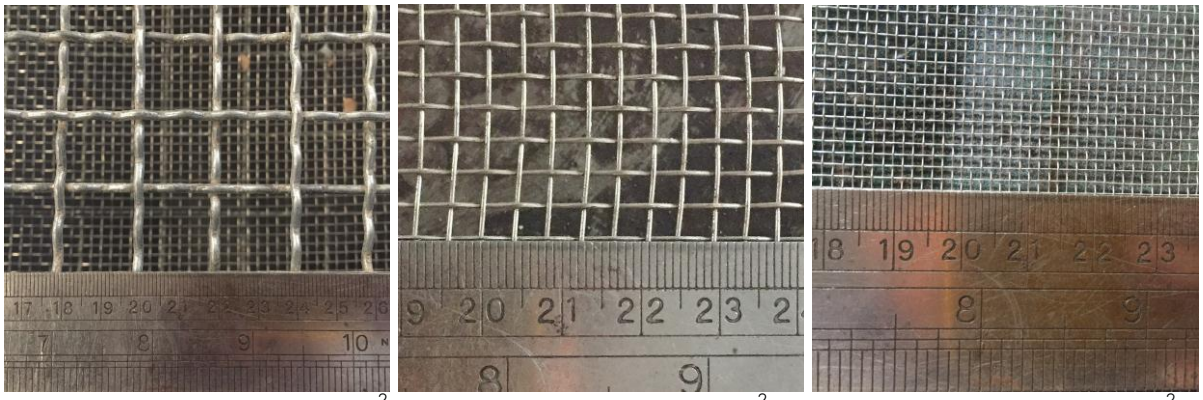
2. การออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบทำความสะอาดมันเส้น

2.1 ศึกษาและออกแบบระบบการคัดแยก

จากการศึกษาหลักการคัดแยกเพื่อนำมาใช้ในการทำความสะอาดมันเส้น ให้เป็นมันเส้นสะอาด พบว่ามี 3 หลักการที่เป็นไปได้คือ 1) การคัดแยกโดย**ใช้ขนาดเป็นเกณฑ์**ในการคัดแยก ซึ่งดำเนินการโดยใช้ตะแกรงที่มีขนาดแตกต่างกันมาใช้เพื่อร่อนทำความสะอาด และคัดแยกเป็นขนาดต่างๆตามต้องการ 2) การคัดแยกโดย**ใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์**ในการคัดแยก และ 3) การคัดแยกโดย**ใช้ทั้งขนาดและน้ำหนักร่วมกัน**

2.1.1 การคัดแยกโดยใช้ขนาดเป็นเกณฑ์ ซึ่งระหว่างทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมันเส้นที่ทำการรวบรวมมาจากโรงงานทำมันเส้น และลานตากต่างๆ มาศึกษา นั้นได้มีการสร้างเป็นเครื่องคัดแยกในลักษณะชุดทดสอบเพื่อทำการคัดแยกดูการกระจายตัวของขนาดชิ้นมันเส้น ซึ่งได้มีการออกแบบสร้างเป็นชุดทดสอบเป็นแบบตะแกรงโยกจำนวน 3 ชั้น ที่โยกด้วยความเร็วรอบหมุนลูกเบี้ยวตะแกรง 1,440 รอบ/นาที ระยะชัก 15 ซ.ม (รูปที่ 1) แต่ซ้ำของการคัดแยกใช้น้ำหนักตัวอย่างมันเส้น 10 กิโลกรัม ตะแกรงโยกดังกล่าวมีขนาดรูตะแกรงแตกกัน 3 ขนาด (รูปที่ 2) เพื่อแยกมันเส้นออกเป็นขนาดต่างๆ จำนวน 4 กลุ่ม คือ 1) ขนาดมากกว่า 20 x 20 มม. ทั้งนี้พิจารณาว่าขนาดที่โตกว่านี้เป็นขนาดชิ้นมันเส้นที่โตกว่านนี้จัดเป็นขนาดชิ้นมันเส้นที่เหมาะสมทั่วไป 2) ขนาดมากกว่า 4 x 4 มม. 3) ขนาดมากกว่า 2 x 2 มม. 4) ขนาดเล็กกว่า 2 x 2 มม. หรือเป็นฝุ่นแป้ง และจากการทดสอบเพื่อศึกษาดังกล่าวพบว่ามีการฟุ้งกระจายของฝุ่นแป้งคละคลุ้งมาก

รูปที่ 1 ตะแกรงโยก 3 ชั้น ที่สามารถคัดแยกขนาดได้เป็น 4 ขนาด



(ก) ขนาดรูตะแกรง 20 x 20 มม.^{2} (ข) ขนาดรูตะแกรง 4 x 4 มม.^{2} (ค) ขนาดรูตะแกรง 2 x 2 มม.^{2}

รูปที่ 2 ขนาดรูตะแกรงของตะแกรงโยก

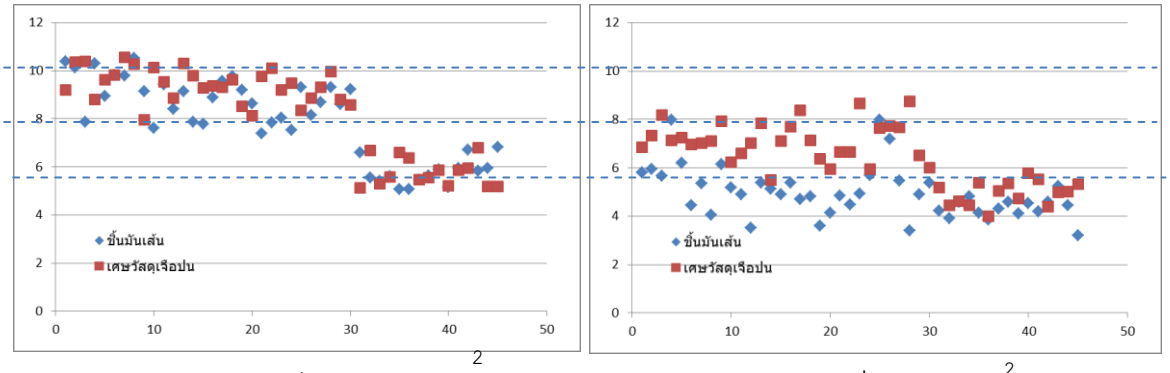
ผลการทำงานพบว่านอกเหนือจากการใช้เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นมันเส้นแล้ว พิจารณาเห็นว่าไม่เหมาะสมที่จะใช้หลักการนี้มาใช้เพื่อการออกแบบเครื่องต้นแบบ ทั้งนี้เนื่องจากมีการฟุ้งกระจายของฝุ่นแป้งคละคลุ้งมาก ต้องการพื้นที่ตะแรงขนาดใหญ่เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของกิจการ จำเป็นต้องมีกลไกซับซ้อนเพื่อให้เป็นเครื่องร่อนที่สามารถทำงานได้ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนและการไม่ยอมรับนำไปใช้งานจึงไม่นำเอาหลักการนี้มาใช้เพื่อการออกแบบเป็นเครื่องต้นแบบ

2.1.2 การคัดแยกโดยใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์ในการคัดแยก

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นมันเส้นด้านน้ำหนัก พบว่าการคัดแยกโดย**ใช้น้ำหนักเป็นเกณฑ์**ในการคัดแยกมีความเป็นไปได้สูงมาก เนื่องจากสามารถออกแบบการใช้แรงลมดูดให้เหมาะกับขนาดที่ต้องการได้ ซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่ยากและมีผลการศึกษาเรื่องความต้องการแรงลมที่ขนาดชิ้นมันเส้นแตกต่างกันอยู่แล้ว เครื่องต้นแบบจะไม่มีกลไกซับซ้อน และไม่มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นแป้งคละลุ้งมาก เพราะสามารถนำหลักการของไซโคลนดักฝุ่นมาประยุกต์ใช้งานได้

แต่จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นมันเส้นดังกล่าวยังพบว่า นอกเหนือจากความแตกต่างด้านขนาดแล้วยังมีเศษสิ่งเจือปนขนาดใหญ่เช่นเศษต้น และเศษเหง้ามันสำปะหลัง ปนอยู่ด้วย และส่งผลต่อราคาขายที่จะได้รับ โดยเฉพาะในการจำหน่ายเพื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์ จึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพยายามทำการคัดแยกเอาสิ่งเจือปนเหล่านี้ออกให้ได้มากที่สุด นอกเหนือจากการคัดแยกเอาฝุ่นแป้ง และสิ่งเจือปนขนาดเล็กออกไป

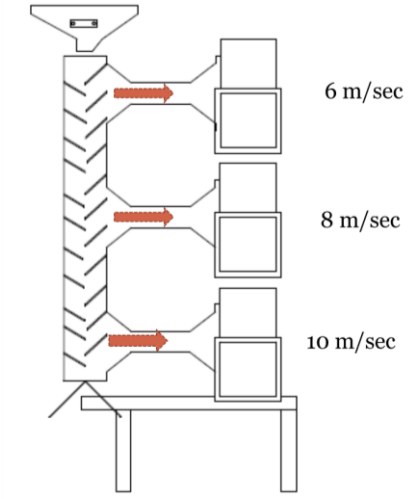
จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้านน้ำหนักมันเส้นจากการวัดแรงลอยตัวด้วยแรงลม ของมันเส้นและส่วนของเศษสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ที่มีขนาดโตกว่า 10 x 10 ม.ม.^{2} พบว่าเศษวัสดุเจือปนมีแนวโน้มมีน้ำหนักมากกว่า มีค่าความเร็วลมวิกฤตสูงกว่าแต่ไม่แตกต่างกันมากนัก และพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะแยกเป็นกลุ่มของขนาดและน้ำหนักได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ที่ความเร็วลม 6, 8 และ 10 เมตร/วินาที (รูปที่ 3)



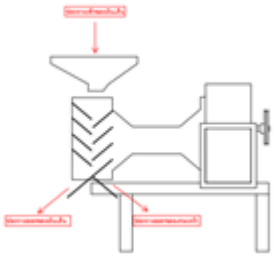
1) ขนาดมากกว่า 20 x 20 มม.^{2} 2) ขนาดมากกว่า 4 x 4 มม.^{2}

รูปที่ 3 ความเร็วลมวิกฤตที่ทำให้มันเส้น และส่วนของเศษสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ลอยตัว

จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงมีแนวคิดจะสร้างเครื่องต้นแบบที่ให้สามารถคัดแยกเศษสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ออกจากชิ้นมันเส้นได้ด้วย นอกเหนือจากการทำให้เป็นมันเส้นสะอาดธรรมดา โดยการทำเป็นชุดคัดแยกเป็น 3 ชุด ที่มีระดับความเร็วลมดูดต่างกัน 3 ระดับ คือ 6, 8 และ 10 เมตร/วินาที ตามลำดับ ด้วยแนวคิดที่ว่า ขนาดชิ้นมันเส้นที่เล็กจะถูกคัดแยกก่อน และส่วนของเศษสิ่งเจือปนซึ่งส่วนใหญ่มีน้ำหนักเบากว่าจะถูกดูดให้ไปไกลกว่า ส่วนที่มีขนาดโตกว่าจะหล่นลงมาโดยน้ำหนักและถูกชุดคัดแยกแต่ละชั้นทำการคัดแยกทำนองเดียวกับชั้นบนสุดเพียงแต่มีความเร็วลมดูดสูงกว่า เนื่องจากขนาดชิ้นมันเส้นใหญ่กว่า ดังรูปที่ 4 แต่เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย จึงได้มีการสร้างชุดทดสอบเพื่อศึกษาความเป็นได้ก่อน (รูปที่ 5) และได้ผลดังรูปที่ 6 จากนั้นทำการทดสอบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาความเป็นไป จึงยังไม่มีการรวบรวมข้อมูลเชิงตัวเลข



รูปที่ 4 แนวคิดการสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถทำการคัดแยกเศษสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ได้



รูปที่ 5 ชุดทดสอบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดแยกเศษวัสดุเจอปนออกจากมันเส้น

รูปที่ 6 ชิ้นมันเส้นสะอาดจากผลการทดสอบศึกษาความเป็นไปได้ตามสมมุติฐาน

จากเงื่อนไขของหน่วยงานที่มุ่งเน้นให้เป็นเครื่องต้นแบบ และมีเงื่อนไขของเวลา จึงไม่ได้ใช้ชุดทดสอบเพื่อศึกษาโดยละเอียดถึงปัจจัยการทำงานที่เกี่ยวข้อง และแนวทางการพัฒนาและแก้ปัญหาให้สามารถทำการคัดแยกเศษเหง้า และเศษต้นออกให้ได้มากที่สุดก่อนมากนัก ประกอบกับการคัดแยกสิ่งเจือปนเหล่านี้ออก อยู่นอกเหนือขอบเขตการศึกษา จึงเร่งดำเนินการทำให้เป็นเครื่องต้นแบบ (รูปที่ 7)

โดยเครื่องต้นแบบมีระบบการคัดแยกเป็น 3 ระดับตามแนวคิด (รูปที่ 4) และทดสอบการทำงาน พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ค่อนข้างดี และจะให้ดียิ่งขึ้นหากสามารถลดสัดส่วนการปนของเศษสิ่งเจือปนในชั้นที่ 1 ลงได้อีก อย่างไรก็ตามเครื่องต้นแบบสามารถลดการปนของเหง้าลงได้ประมาณ 2.27% และ 1.56% (ตารางที่ 1)

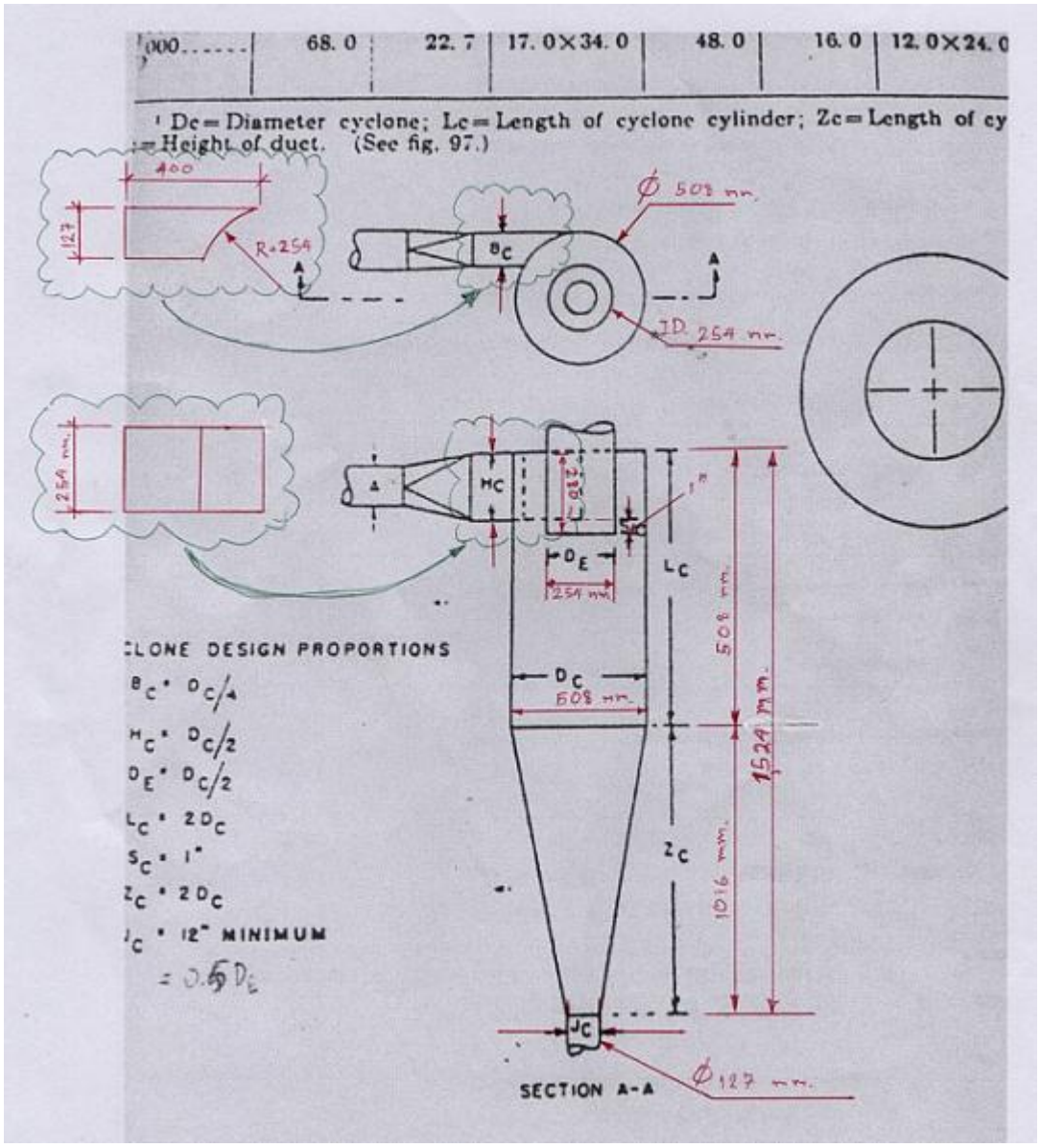
รูปที่ 7 ต้นแบบเครื่องทำความสะอาดมันเส้น ที่สามารถคัดแยกเศษสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ได้

ตารางที่ 1 ผลการทดสบการทำงานเครื่องต้นแบบ

ลานมันที่	ซ้ำที่	พัดลมตัวที่ 1 (ตัวบน)		พัดลมตัวที่ 2 (ตัวกลาง)		พัดลมตัวที่ 3 (ตัวล่าง)		ช่องล่างสุด		หลังแยก	
		ความเร็วลม = 6 m/s		ความเร็วลม = 8 m/s		ความเร็วลม = 10 m/s					
		หลังแยก		หลังแยก		หลังแยก		หลังแยก			
		% น้ำหนักมันเส้น	% น้ำหนักเหง้า	% น้ำหนักมันเส้น	% น้ำหนักเหง้า	% น้ำหนักมันเส้น	% น้ำหนักเหง้า	% น้ำหนักมันเส้น	% น้ำหนักเหง้า	% น้ำหนักทั้งหมด	% น้ำหนักเหง้า
1	1	9.88	0.23	18.67	0.46	12.33	0.64	8.40	0.16	50.76	1.49
สอยดาว	2	44.70	1.90	8.13	0.15	2.36	0.00	1.66	0.18	59.07	2.23
	3	51.76	2.96	6.38	0.13	0.99	0.00	1.01	0.00	63.22	3.09
เฉลี่ย		**35.44**	**1.70**	**11.06**	**0.24**	**5.22**	**0.21**	**3.69**	**0.11**	**57.68**	**2.27**
2	1	46.30	1.62	15.25	0.43	1.91	0.00	1.24	0.00	66.74	2.05
บ้านเก่า	2	57.14	1.47	11.59	0.16	1.71	0.00	1.52	0.00	73.59	1.63
	3	58.12	0.88	8.92	0.13	1.32	0.00	1.00	0.00	70.37	1.01
เฉลี่ย		**53.85**	**1.32**	**11.92**	**0.24**	**1.65**	**0.00**	**1.25**	**0.00**	**70.23**	**1.56**

8.2 ศึกษาและออกแบบพัดลมดูด และไซโคลนดักฝุ่น

ผลการศึกษาและออกแบบพัดลมดูดเพื่อให้มีลมดูดตามดังต้องการข้างต้น ได้เลือกใช้พัดลมแบบใบพัดตรง ตามตารางการออกแบบออกแบบพัดลมซึ่งเป็นตารางให้เลือกตามขนาดท่อลม และความเร็วลมที่ต้องการ ในทำนองเดียวกันได้มีการออกแบบไซโคลน ตามขนาดของวัสดุที่ต้องการรวบรวมและความเร็วลม ที่ใช้ในการดูด ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ขนาดไซโคลนที่ออกแบบ สร้างและใช้กับเครื่องต้นแบบ

2.3 ทดสอบประเมินผลการทำงานต้นแบบระบบทำความสะอาดมันเส้น

ภายหลังการออกแบบ ได้มีการจัดสร้างเป็นเครื่องต้นแบบที่มีส่วนประกอบที่สำคัญ ซึ่งประกอบด้วย กระบะรับมันเส้น ส่วนการคัดแยก พัดลมดูด และไซโคลนดักฝุ่น (รูปที่ 9) จากนั้นทำการทดสอบประเมินผล และได้ผลดังตารางที่ 2

รูปที่ 9 ขณะทดสอบระบบการทำความสะอาดมันเส้นที่มีการติดตั้งไซโคลนแล้ว

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานเครื่องต้นแบบภายหลังการปรับปรุงส่วนการคัดแยก และเพิ่มไซโคลน

ลานมันที่	ซ้ำที่	พัดลมตัวที่ 1 (ตัวบน) ความเร็วลม = 6 m/s หลังแยก		พัดลมตัวที่ 2 (ตัวกลาง) ความเร็วลม = 8 m/s หลังแยก		พัดลมตัวที่ 3 (ตัวล่าง) ความเร็วลม = 10 m/s หลังแยก		ช่องล่างสุด หลังแยก		รวม หลังแยก	
		%น้ำหนักมันเส้น	%น้ำหนักเหง้า	%น้ำหนักมันเส้น	%น้ำหนักเหง้า	%น้ำหนักมันเส้น	%น้ำหนักเหง้า	%น้ำหนักมันเส้น	%น้ำหนักเหง้า	%น้ำหนักมันเส้น	%น้ำหนักเหง้า
1	1	25.26	0.42	17.26	0.08	0.87	0.02	1.53	0.00	44.93	0.52
บ้านด่านลานหอย	2	45.26	0.97	21.26	0.23	4.13	0.00	2.16	0.00	72.83	1.19
	3	41.58	1.14	14.08	0.25	1.47	0.00	1.04	0.02	58.18	1.41
เฉลี่ย		37.37	0.84	17.54	0.19	2.16	0.01	1.58	0.01	58.64	1.04
2	1	51.66	0.58	25.35	0.11	1.58	0.00	2.29	0.00	80.89	0.69
บ้านผักกาด	2	49.08	0.36	19.08	0.12	3.52	-0.03	1.56	0.02	73.24	0.47
	3	46.53	0.07	18.53	0.54	3.30	0.00	1.69	0.00	70.05	0.61
เฉลี่ย		49.09	0.34	20.99	0.26	2.80	-0.01	1.85	0.01	74.72	0.59
3	1	47.26	0.67	17.26	0.25	2.38	0.05	3.56	0.08	70.47	1.05
บ่อพลอย	2	37.26	0.65	21.26	0.44	7.20	0.00	5.65	0.18	71.38	1.26
	3	41.26	1.24	19.26	0.52	3.34	0.06	5.39	0.13	69.26	1.95
เฉลี่ย		41.93	0.85	19.26	0.40	4.31	0.04	4.87	0.13	70.37	1.42
4	1	43.26	1.51	21.26	0.46	2.41	0.02	4.53	0.03	71.47	2.02
ทองผาภูมิ	2	47.26	1.35	23.26	0.57	2.50	0.04	5.36	0.05	78.39	2.00
	3	35.26	0.57	33.26	1.07	3.81	0.04	7.39	0.15	79.73	1.84
เฉลี่ย		41.93	1.14	25.93	0.70	2.91	0.04	5.76	0.07	76.53	1.95

จากผลการทดสอบการทำความสะอาดมันเส้น โดยรวมพบว่าสัดส่วนของมันเส้นสะอาดอยู่ในช่วงโดยเฉลี่ย 58.6-76.53% และมีสัดส่วนของเศษสิ่งเจือปนจากส่วนของเหง้า และเศษต้นมันสำปะหลังเฉลี่ยยู่ในช่วงประมาณ 0.5-1.95 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำมันเส้นก่อนนำมาทำความสะอาด ซึ่งมีความแปรรวนค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นผล

จากคุณภาพของมันเส้นแต่ละโรงงานหรือลานตาก นั่นคือมีสัดส่วนของมันเส้นสูงและมีสัดส่วนสิ่งเจือปนต่ำจะบอกถึงคุณภาพมันเส้นของโรงงาน หรือลานตากมันเส้นนั้นๆ รวมถึงการมีศักยภาพที่จะนำมาทำความสะอาดเป็นมันเส้นสะอาดเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตามจากการทดสอบพบว่าการคัดแยกส่วนใหญ่จะอยู่ที่พัดลมตัวที่ 1 ที่มีความเร็วลมต่ำกว่าชุดคัดแยกตัวอื่นๆ คือเพียง 6 เมตร/วินาที และยังมีส่วนของสิ่งเจือปนที่เป็นเศษเหง้ามัน และเศษต้นปลอมปนอยู่สูงกว่าการใช้ชุดคัดแยกอื่นๆ เช่นกัน นั่นหมายถึงมันเส้นที่รวบรวมมาทำให้เป็นมันเส้นสะอาดโดยส่วนใหญ่มีขนาดเล็กซึ่งอาจเป็นผลมาจากตั้งแต่กระบวนการสับให้เป็นชิ้นหัวมันฯเพื่อการทำมันเส้น และกระบวนการตากให้เป็นมันเส้น ซึ่งหากต้องการให้ได้มันเส้นสะอาดและมีขนาดโตหรือมีคุณภาพดีต้องย้อนกลับไปแก้ปัญหาตั้งแต่กระบวนการสับหัวมันฯให้เป็นชิ้นหัวมัน แล้ววิเคราะห์ต่อถึงกระบวนการตากแห้งเพื่อให้เป็นมันเส้นสะอาด

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมันเส้นในระบบการปฏิบัติเดิม ด้วยการรวบรวมตัวอย่างมันเส้นจากโรงงาน/ลานมันฯต่างๆในแต่ละภูมิภาครวม 10 ราย มาทำการคัดแยกโดยใช้เกณฑ์ขนาดและน้ำหนัก การหาปริมาณสิ่งเจือปน และความเร็วลมต่ำสุดที่จะให้แต่ละส่วนของการคัดแยกลอยตัว สำหรับเป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์เพื่อใช้ในระบบการทำความสะอาดมันเส้น พบว่าขนาดชิ้นมันเส้นมากกว่า 20 x 20 มม.2 สัดส่วนระหว่างโรงงาน/ลานมันฯ มีความแปรปรวนสูงมาก แต่มีความเป็นไปได้จะคัดแยกให้เป็นมันเส้นที่ขนาดโตกว่า 4 x 4 มม.2 ขึ้นไป เป็นมันเส้นสะอาด ความเร็วลมต่ำสุดในการลอยตัวของเศษลำต้น/เหง้ามันฯ มีแนวโน้มสูงกว่าแรงลอยตัวของชิ้นมันเส้นแต่ไม่มาก (เฉลี่ย 7.13 และ 5.25 m/sec) มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ลมเพื่อการคัดแยกเศษลำต้น/เหง้าทำนองเดียวกับการคัดแยกขนาดที่เล็กกว่า 4 x 4 มม.^{2} แต่กาใช้ความเร็วลมที่สูงกว่า เพราะแรงลมที่ต้องการคัดขนาดที่เล็กกว่า 4 x 4 มม.^{2} และฝุ่นแป้ง ใช้แรงลมเฉลี่ยเพียง 2.08 m/s

การออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบทำความสะอาดมันเส้น ดำเนินการต่อเนื่องจากกิจกรรมการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพมันเส้นที่รวบรวมมาจากโรงงานและลานตากมันเส้นต่างๆ ซึ่งศึกษาจากหลักการคัดแยกโดยขนาดด้วยการร่อนด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ และหลักการคัดแยกโดยน้ำหนัก ด้วยการหาความเร็ววิกฤตที่จะทำให้แต่ละส่วนประกอบหลักของมันเส้นที่รวบรวมมาลอยตัว และเลือกหลักการคัดแยกโดยน้ำหนักมาทำการออกแบบเครื่องทำความสะอาดมันเส้น รวมถึงการพยายามคัดแยกการเจือปนของเศษเหง้าและเศษลำต้นออกด้วยเพื่อให้ได้มันเส้นสะอาดคุณภาพดีมากที่สุด เครื่องต้นแบบประกอบด้วย 4 ส่วนประกอบหลักคือ 1) กระบะรองรับมันเส้นที่จะทำความสะอาด 2) ส่วนการคัดแยกที่ใช้หลักการลดดูด ซึ่งมี 3 ส่วนคัดแยกย่อยที่ใช้

ความเร็วลมดูดแตกต่างกัน และเรียงลำดับจากบนลงล่าง คือ 6, 8 และ 10 เมตร/วินาที่ตามลำดับ 3) พัดลมดูดแบบใบตรง 4) ไซโคลนดักฝุ่น การทดสอบประเมินผลพบว่าสามารถใช้ทำความสะอาดมันเส้นให้เป็นมันเส้นสะอาดได้ ซึ่งการคัดแยกเกิดขึ้นในแต่ละส่วนของการคัดแยกแต่ละชุจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นมันเส้น เฉลี่ยโดยรวมจะมีสัดส่วนชิ้นมันเส้น 58.6-76.53% และมีสัดส่วนของเศษสิ่งเจือปนจากส่วนของเหง้า และเศษต้นมันสำปะหลังเฉลี่ยยู่ในช่วงประมาณ 0.5-1.95 โดยน้ำหนัก ต่อน้ำมันเส้นก่อนนำมาทำความสะอาด แปรปรวนตามคุณภาพของมันเส้นแต่ละโรงงาน การคัดแยกส่วนใหญ่จะอยู่ที่ส่วนการคัดแยกชุดที่ 1 รองลงมาคือชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของส่วนการคัดแยกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และจะส่งผลต่อคุณภาพมันเส้นสะอาดและราคาจำหน่ายที่ได้รับสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง :

กรมวิชาการเกษตร. 2551. การปลูกมันสำปะหลัง. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6. 40น.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2549. สถานภาพวัตถุดิบในการผลิตเอทนอลของประเทศไทย. http://www.cassava.org

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พเชษฐ์. 2544. ข่าววิจัยพัฒนา. เดลินิวส์ จันทร์ที่ 29 ตุลาคม 2544 หน้า 27

ธีรภัทร ศรีนรคุตร. 2545. วิจัยผลิตเอทานอลเกรดสูงจากมันสำปะหลัง ลดการนำเข้าเคมีภัณฑ์. โครงการวิจัยเอทานอลจากมันสำปะหลัง สถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. http://www.itdoa.com/news_itda/science/doc_19.htm, 7 สิงหาคม 2545

วงศ์สุภัทร คงสวัสดิ์. 2549. บันทึก**ประเทศไทยปลาย 2547: สถานการณ์พลังงานไทยปี 2548 – 2551**. หนังสือพิมพ์โพสทูเดย์. http://www.posttoday.com/thailand2547/plang.html

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2551. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร. http://www2.oae.go.th/pdffile/commodity.pd พฤศจิกายน 2550

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2548/49. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมการค้าต่างประเทศ. 2547. สถานการณ์มันสำปะหลัง ประจำเดือนกันยายน 2547.แหล่งที่มา : http://www.dft.moc.go.th/the_files/$$8/level4/tapp1.htm ตุลาคม 2547

กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. 2548.มันสำปะหลัง. แหล่งที่มา : http://www.thaifta.com/ascn_potato1.doc มีนาคม 2548.

กรมวิชาการเกษตร.2528.มันสำปะหลัง.เอกสารวิชาการ เล่มที่ 7. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.หน้า 132-133

ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์ และ วิรัตน์ หวังเขื่อนกลาง. 2548. การศึกษาเครื่องสับมันสำปะหลังแบบ

ใบมีดโยกสำหรับผลิตชิ้นมันเส้น. การประชุมวิชาการครั้งที่ 6 ประจำปี 2548 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

ดนัย ศุภาหาร. 2537.พฤษศาสตร์และพันธุศาสตร์ของมันสำปะหลัง. เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง.กรมวิชาการเกษตร,กรุงเทพฯ. หน้า 14-30

ภาคีศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2551. รายงานฉบับสมบูรณ์ การพัฒนากระบวนผลิตวัตถุดิบจากมันสำปะหลังสำหรับอุตสาหกรรมเอทานอล. ศูนย์นวัตกรรมหลังการเก็บเกี่ยว

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2523. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังมอก. 52-2516.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2523.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมันสำปะหลังอัดเม็ดแข็ง.มอก. 330-2523.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2553/54. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ส่วนพัฒนาพลังงาน 2 สำนักพัฒนาพลังงาน. 2546. ประวัติและการแพร่กระจายมันสำปะหลัง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. หน้า 4-30

สมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลัง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 2554. รายงานประจำปี 2554. นครราชสีมา

เรืองเกียรติ ศุภาดารัตนาวงศ์. 2547.เครื่องย่อยวัสดุเกษตร.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจิตราหงษ์ศิริ. 2549.การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังด้วยใบมีดหมุน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Meiying food machinery co.,ltd. 2012.CHD100 vegetable dicer machine.Source :http://www.seekpart.com/company/97204/products/2012528171446123502.html July 7, 2012

Thanh, N.C., S. Muttamara, B.N. Lohani , B.V.P.C. Raoand and S.Burintaratikul 1979. Optimization of drying and pelleting techniques for tapioca roots. Environmental Engineering division Asian Institute of technology Thailand.

Visvanathan, R., V.V. Sreenarayanan, and K.R. Swaminathan 1996. Effect of knife angle and velocity on the energy required to cut cassava tubers. Journal of Agricultural Engineering Research Volume 64, p. 99-102.

ภาคผนวก :

ตารางที่ ผ1 รายชื่อโรงงาน/ลานมันสำปะหลังที่ทำการสุ่มตัวอย่างมันเส้นมาทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

ลำดับที่	ชื่อลานมัน	ที่อยู่		
		ตำบล	อำเภอ	จังหวัด
1	เจริญชัย	หนองอิรุน	บ้านบึง	ชลบุรี
2	ชัยเรืองกิจ	หนองประดู่	เลาขวัญ	กาญจนบุรี
3	เกียรติอุดมศักดิ์	หนองฝ้าย	เลาขวัญ	กาญจนบุรี
4	สิทธิชัย ลานมัน	หนองประดู่	เลาขวัญ	กาญจนบุรี
5	ลานชัยเจริญ	แม่เจดีย์	เวียงป่าเป้า	เชียงราย
6	ธีรชัย ลานมัน	น้ำรอบ	ลานสัก	อุทัยธานี
7	พัฒนาพานิช	ลานสัก	ลานสัก	อุทัยธานี
8	เจริญชัยพืชผล	โคกเดื่อ	ไพศาลี	นครสวรรค์
9	สหชัยพืชผล	ทรายขาว	สอยดาว	จันทบุรี
10	วรวัฒน์ ธัญญผล	เทพนิมิตร	โป่งน้ำร้อน	จันทบุรี
11	ลานมันรัตนชัย	วังสมบูรณ์	วังสมบูรณ์	สระแก้ว
12	ตั้งเจริญกิจ	วังท่าช้าง	กบินทร์บุรี	ปราจีนบุรี
13	หจก.ศรีนครรุ่งเรืองการเกษตร	คลองขลุง	คลองขลุง	กำแพงเพชร

ตารางที่ ผ2 ร้อยละโดยน้ำหนัก ของขนาดมันเส้นที่เหลือค้างบนตะแกรงชั้นต่างๆ จากมันเส้นตัวอย่างที่สุ่มเก็บมาจากผู้ประกอบการผลิตมันเส้นที่แตกต่างกัน

ตัวอย่างที่ (Code)	ซ้ำที่	ตะแกรงชั้นที่ 1 ขนาดตะแกรง 20 x 20 มม.	ตะแกรงชั้นที่ 2 ขนาดตะแกรง 4 x 4 มม.	ตะแกรงชั้นที่ 3 ขนาดตะแกรง 2 x 2 มม.	ชั้นล่างสุด แผ่นทึบ
1	1	41.84	46.84	2.46	8.86
	2	44.84	47.84	3.49	3.83
	3	47.84	39.84	4.09	8.23
เฉลี่ย		**44.84**	**44.84**	**3.35**	**6.97**
2	1	51.84	35.84	8.26	4.06
	2	53.84	31.84	8.01	6.31
	3	46.84	43.84	1.90	7.42
เฉลี่ย		**50.84**	**37.17**	**6.06**	**5.93**
3	1	54.84	41.84	1.98	1.34
	2	41.84	46.80	2.94	8.42
	3	51.84	42.84	3.58	1.74
เฉลี่ย		**49.51**	**43.83**	**2.83**	**3.84**
4	1	27.84	47.84	11.84	12.47
	2	29.84	45.84	11.84	12.47
	3	27.84	47.84	9.84	14.47
เฉลี่ย		**28.51**	**47.18**	**11.18**	**13.14**
5	1	25.84	51.84	9.84	12.47
	2	39.84	47.84	5.84	6.47
	3	39.84	49.84	4.84	5.47
เฉลี่ย		**35.18**	**49.84**	**6.84**	**8.14**
6	1	45.84	45.84	3.84	4.47
	2	33.84	43.84	13.84	8.47
	3	45.84	37.84	5.84	10.47
เฉลี่ย		**41.84**	**42.51**	**7.84**	**7.81**
7	1	27.84	43.84	13.84	14.47
	2	27.84	47.84	11.84	12.47
	3	31.84	47.84	9.84	10.47
เฉลี่ย		**29.18**	**46.51**	**11.84**	**12.47**
8	1	23.84	47.84	13.84	14.47
	2	21.84	49.84	11.84	16.47
	3	25.84	47.84	9.84	16.47
เฉลี่ย		**23.84**	**48.51**	**11.84**	**15.81**
9	1	51.84	33.84	3.84	10.47
	2	37.84	39.84	11.84	10.47
	3	45.84	31.84	9.84	12.47
เฉลี่ย		**45.18**	**35.18**	**8.51**	**11.14**
10	1	41.84	31.84	9.84	16.47
	2	31.84	35.84	15.84	16.47
	3	47.84	33.84	5.84	12.47
เฉลี่ย		**40.51**	**33.84**	**10.51**	**15.14**

ตารางที่ ผ3 ร้อยละโดยน้ำหนักของสิ่งเจือปนที่ปนอยู่ในมันเส้นขนาดมันเส้นที่เหลือค้างบนตะแกรงชั้นต่างๆ จากมันเส้นตัวอย่างที่สุ่มเก็บมาจากผู้ประกอบการผลิตมันเส้นที่แตกต่างกัน

โรง/ลานมันฯ	ซ้ำที่	ตะแกรงชั้นที่ 1 (ขนาดโตกว่า 20 x 20 มม.^{2})	ตะแกรงชั้นที่ 2 (ขนาดโตกว่า4 x 4 มม.^{2})
1	1	0.42	4.80
	2	0.60	4.60
	3	0.77	3.80
2	1	0.11	3.60
	2	0.24	3.10
	3	0.24	4.90
3	1	0.27	4.10
	2	0.31	4.40
	3	0.30	4.10
4	1	0.20	4.40
	2	0.15	4.50
	3	0.07	4.40
5	1	0.11	5.10
	2	0.28	4.50
	3	0.23	4.40
6	1	0.21	4.30
	2	0.36	4.20
	3	0.20	4.90
7	1	0.16	4.20
	2	0.18	4.80
	3	0.19	4.80
8	1	0.16	4.30
	2	0.16	4.90
	3	0.18	4.90
9	1	0.32	3.20
	2	0.19	3.80
	3	0.24	3.20
10	1	0.39	3.00
	2	0.16	3.20
	3	0.51	3.10
สูงสุด		**0.77**	**5.10**
ต่ำสุด		**0.07**	**3.00**
เฉลี่ย		**0.26**	**4.18**
STD		**0.15**	**0.64**