การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังด้วยใบมีดหมุน

The Study of Cassava Tubers Cutting by Rotating Blades

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ในปี 2548 – 49 ประเทศไทยผลิตหัวมันสดได้ประมาณ 20.736 ล้านตัน (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร, 2549) หัวมันสำปะหลังสดนี้จะถูกแปรสภาพให้เป็นชิ้นโดยการตัดด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน และตากให้แห้งโดยใช้แสงอาทิตย์เพื่อให้มีความชื้นเหลืออยู่ 14-18 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษาและเรียกมันที่ถูกแปรสภาพเบื้องต้นนี้ว่ามันเส้น มันเส้นใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตมันอัดเม็ด แป้งมัน และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งทำรายได้จากการส่งออกปีละไม่ต่ำกว่าสองหมื่นล้านบาท (สมาคมโรงงานผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไทย, 2545) อย่างไรก็ตาม การส่งออกมันสำปะหลังเส้นนั้นประสบปัญหาในเรื่องคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ คุณภาพต่ำกว่ามันเส้นปอกเปลือกของประเทศเพื่อนบ้าน มีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก และมีฝุ่นผงและทรายเจือปนมาก (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2548)

ดังนั้น ระหว่างปี 2545-2549 รัฐบาลจึงกำหนดยุทธศาสตร์มันสำปะหลัง เพื่อการส่งออกมันสำปะหลังเส้นคุณภาพดี และแป้งมันสำปะหลังไปต่างประเทศ โดยการดำเนินการโครงการมันเส้นสะอาดซึ่งเน้นกระบวนการทำความสะอาดด้วยการแยกดินและทรายออกจากหัวมันสำปะหลังสดก่อนการตัด เพื่อลดการเจือปนของทรายในมันสำปะหลังเส้น และลดปริมาณฝุ่นเบื้องต้นที่เกิดจากกระบวนการตัดหัวมันสำปะหลังสดด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน โดยการลับคมมีดของเครื่องหั่นแบบจานหมุนให้มีความคมทุกครั้งก่อนการตัดเพื่อให้เกิดชิ้นมันที่ป่นน้อยที่สุดซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฝุ่น (สิทธิชัย, 2549)

ปัจจุบันโครงการผลิตมันเส้นสะอาด ได้ดำเนินการไปแล้ว 20 จังหวัด โดยคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายเพื่อสร้างลานมันเส้นสะอาดขนาด 400 ตารางเมตร รวม 10,000 ลาน และจัดอบรมเกษตรกรผู้เข้าร่วมโครงการ 10,000 ราย เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรและผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549)

อย่างไรก็ตาม การผลิตมันสำปะหลังเส้นในระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบันยังคงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องหั่นแบบจานหมุนอยู่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เนื่องจากเครื่องตัดชนิดนี้มีสมรรถนะในการหั่นหัวมันสำปะหลังสดในปริมาณที่สูง รวมทั้งการวิจัยเพื่อการปรับปรุงคุณภาพในการตัดของเครื่องหั่นชนิดนี้ยังมีการดำเนินการน้อย

ดังนั้น การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดด้วยเครื่องตัดชนิดอื่นเพื่อให้ได้ชิ้นมันที่มีขนาดสม่ำเสมอมากขึ้นสอดคล้องกับระยะเวลาที่เหมาะสมในการตากแห้งเพื่อลดความชื้น และลดการเกิดชิ้นมันขนาดเล็กซึ่งเป็นต้นเหตุของฝุ่นผง จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตมันสำปะหลังเส้นของประเทศให้สูงขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นผลดีกับเกษตรกรผู้ผลิตหัวมันสำปะหลังสด และผู้ประกอบการโรงงานมันเส้นรวมทั้งทำให้การส่งออกผลิตภัณฑ์มันเส้นไปต่างประเทศมีความยั่งยืน และเป็นที่น่าเชื่อถือในระยะยาวต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการผลิตมันเส้น และปริมาณฝุ่นในการผลิตมันเส้นจากโรงงานมันเส้น
2. ศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดด้วยเครื่องตัดแบบใบมีดหมุน
3. ศึกษาเปรียบเทียบการตากแห้งมันเส้นที่ได้จากการตัดโดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุน และมันเส้นที่ได้จากการหั่นโดยใช้เครื่องหั่นหัวมันสดแบบจานหมุน

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณฝุ่นในการผลิตมันเส้นจากโรงงานมันเส้น
2. ศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดด้วยเครื่องตัดแบบใบมีดหมุน
3. ศึกษาเปรียบเทียบการตากแห้งมันเส้นที่ได้จากการตัดโดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุน และมันเส้นที่ได้จากการหั่นโดยใช้เครื่องหั่นหัวมันสดแบบจานหมุน

การตรวจเอกสาร

1. มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (cassava) เป็นพืชที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญชนิดหนึ่ง มีแหล่งกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกาโดยเฉพาะในอเมริกาใต้ มันสำปะหลังแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะทางพฤษศาสตร์ที่แตกต่างกันได้แก่ ทรงต้น การแตกกิ่ง สีของลำต้น ลักษณะใบ สีของก้านใบ รูปร่าง และสีของหัว การมีขน หรือไม่มีขนของยอดอ่อน เป็นต้น ทำให้สามารถจำแนกพันธุ์ได้ง่าย (ส่วนพัฒนาพลังงาน 2 สำนักพัฒนาพลังงาน, 2546) มันสำปะหลังที่ปลูกในแหล่งปลูกทั่วโลก และในประเทศไทย แบ่งเป็นสองชนิด คือ

1. ชนิดหวาน (sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ไม่มีรสขมใช้ในการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งชนิดเนื้อร่วน นุ่ม และชนิดเนื้อแน่น เหนียว ในประเทศไทยไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด ส่วนใหญ่จะปลูกรอบ ๆ บ้านหรือตามร่องสวน เพื่อบริโภคเองในครัวเรือนหรือเพื่อจำหน่ายตามตลาดสดในท้องถิ่นในปริมาณไม่มาก

2. ชนิดขม (bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคสูง เป็นพิษ และมีรสขมไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้เลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ เช่น เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมัน มันอัดเม็ด ใช้ผลิตแอลกอฮอล์ เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม ปัจจุบันพันธุ์ที่ปลูก คือ พันธุ์ระยอง 1 พันธุ์ระยอง 60 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และพันธุ์ห้วยบง 60 ซึ่งเป็นพันธุ์ใหม่ที่น่าสนใจโดยวิจารณ์ (2546) ได้กล่าวว่า ลักษณะของพันธุ์ ห้วยบง 60 จะใกล้เคียงกับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มาก แตกต่างกันที่พันธุ์ห้วยบง 60 มียอดสีม่วงอ่อน และแตกกิ่งแรกที่ความสูงระดับ 90-140 เซนติเมตร ขณะที่พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มียอดสีม่วงเข้ม และแตกกิ่งน้อยกว่า โดยลักษณะอื่นๆ ของพันธุ์ห้วยบง 60 มีดังนี้

1. ให้ผลผลิตหัวสดและหัวแห้งสูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ผลผลิตเฉลี่ย 5.0-6.4 ตัน/ไร่

2. ปริมาณแป้งในหัวสูงใกล้เคียงกับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 โดยให้ปริมาณแป้งในหัวเฉลี่ย 25.4 เปอร์เซ็นต์

3. การที่มีผลผลิตและปริมาณแป้งสูงทำให้ได้ผลผลิตแป้งต่อไร่สูงกว่าพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อยู่ 11 เปอร์เซ็นต์

4. มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้งที่ละลายน้ำได้ (เช่น น้ำตาล) อยู่ต่ำ ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณแป้งต่อหัวมาก เพราะการมีน้ำตาลมากจะทำให้แป้งที่จะสกัดได้จากหัวมันสำปะหลังลดลง

1.1 พื้นที่เพาะปลูก

การผลิตมันสำปะหลังส่วนใหญ่ของประเทศไทยมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมดมาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือภาคกลางประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ และภาคเหนือประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ ภาคกลางเป็นภาคที่ให้ผลผลิตต่อไร่สูงที่สุด ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด โดยจังหวัดที่เป็นแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญได้แก่ นครราชสีมา ฉะเชิงเทรา สระแก้ว กำแพงเพชร และชัยภูมิ ตามลำดับ (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2548)

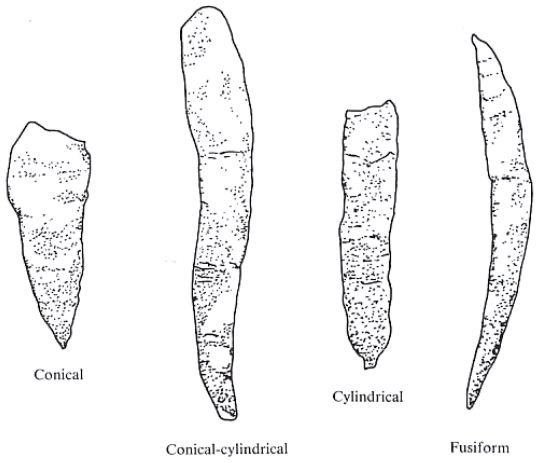
1.2 รากและหัวมันสำปะหลัง

ดนัย (2537) กล่าวว่า รากเกิดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นได้ คือจาก cambium จากตา จาก leaf scar และจากส่วนโคนของ shoot รากมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากจริง และรากสะสม รากทั้งสองชนิดนี้จะเจริญเติบโตไปในดิน โดยรากจริงจะเจริญเติบโตไปในดินในทางด้านลึกมากกว่าด้านข้าง มีหน้าที่ยึดเหนี่ยวลำต้น ส่วนรากสะสมจะเจริญเติบโตไปในทางด้านข้างรอบ ๆ ต้นเป็นส่วนใหญ่ มักเกิดอยู่บริเวณโคนต้นในรัศมีประมาณ 60 เซนติเมตร

การลงหัวในดิน มีทั้งดิ่งลงไปในดิน ทอดไปในแนวราบ และแบบไม่เป็นระเบียบ เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ประมาณ 2 เดือนหลังการปลูกจะมีการสะสมอาหารในรูปของแป้งไว้ที่รากสะสม ซึ่งเกิดจากการสะสมแป้งใน parenchyma cell เรียกรากสะสมนี้ว่าหัว และรากที่สะสมแป้งเหล่านี้จะค่อยขยายใหญ่ขึ้นตามอายุ โดยทั่วไปในต้นมันสำปะหลังต้นหนึ่ง ๆ จะมีรากสะสมอาหาร

หรือที่เรียกว่าหัวนี้อยู่ประมาณ 5-20 หัวต่อต้น และจำนวนหัวจะคงที่ไม่เพิ่มอีกตลอดชั่วอายุการเก็บเกี่ยว หัวมันสำปะหลังจะเป็นที่สะสมแป้งเท่านั้น ไม่มีตา และไม่สามารถขยายพันธุ์ได้

จำนวนหัว รูปร่างของหัว ขนาด สี น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์แป้ง และปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในหัวจะแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ รูปร่างหรือรูปทรงของหัว แสดงในภาพที่ 1 ได้แก่ conical, conical-cylindrical, cylindrical, fusiform irregular และรูปทรงที่รวม ๆ กัน หัวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-15 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับอายุและสภาพแวดล้อม สีเปลือกของหัวมีสีขาว น้ำตาล และน้ำตาลอ่อน เป็นต้น น้ำหนักของหัวอาจมีน้ำหนักมากกว่า 10 กิโลกรัมก็ได้ โดยหัวจะหนักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ และสภาพแวดล้อม เปอร์เซ็นต์แป้งจะมีประมาณ 15-40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในเปลือกจะมีประมาณ 150-1,110 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด ในเนื้อจะมีปริมาณ 5-490 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักสด ปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในใบ และเปลือกของหัวของมันสำปะหลังต่างพันธุ์กันมีความแตกต่างกันน้อยมาก



ภาพที่ 1 รูปร่างของหัวมันสำปะหลังแบบต่างๆ
ที่มา ดนัย (2537)

เมื่อผ่าหัวมันสำปะหลังตามขวางจะเห็นว่ามีอยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนของเปลือกชั้นนอก ส่วนของเปลือกชั้นใน และส่วนของเนื้อหัว

1. ส่วนของเปลือกชั้นนอกหรือผิว (periderm) จะเป็นเยื่อบาง ๆ ซึ่งเป็นส่วนของ cork layer และชั้น epidermis cell ความหนา ลักษณะที่เรียบหรือขรุขระ และสีของเปลือกชั้นนอกจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ เช่น สีขาว น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ ชมพู และครีม เป็นต้น

2. ส่วนของเปลือกชั้นใน (cortical region) จะอยู่ถัดเข้าไปมีความหนาประมาณ 1-3 มิลลิเมตร มักมีสีขาวหรือชมพูแต่อาจมีสีน้ำตาล ม่วง แตกต่างกันไปตามพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยชั้นของเซลล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ sclerenchyma, cortical-parenchyma และ phoem เปลือกชั้นในนี้เรียกว่า cortex เมื่อรวมกับ periderm เรียกรวมกันว่า เปลือก (peel)

3. ส่วนของเนื้อ (starchy flesh) หรือส่วนแกนกลาง (large central pith) เป็นส่วนที่สะสมแป้งประกอบด้วยเซลล์ชนิดต่าง ๆ คือ cambium, parenchyma และ xylem vessel ภายในเนื้อหัวประกอบด้วยแป้ง 20-40 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะเป็นน้ำ 60-80 เปอร์เซ็นต์ เนื้อหัวจะมีสีต่าง ๆ เช่น ขาว ครีม เหลือง และชมพู เป็นต้น

1.3 การใช้มันสำปะหลังของประเทศไทย

การกระจายหัวมันสำปะหลังไปยังอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในปี 2542/43 แสดงในตารางที่ 1 ผลผลิตหัวมันสำปะหลังทั้งหมดประมาณ 17,814,562 ตันได้ถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มันเส้น และมันอัดเม็ดจำนวน 8,474,698 ตันหัวมัน คิดเป็นร้อยละ 47.57 ของมันทั้งหมด และส่วนใหญ่จะถูกส่งออกในรูปของมันอัดเม็ดถึงร้อยละ 41.48 คิดเป็นมันอัดเม็ดจำนวน 3,212,896 ตัน นอกจากการส่งออกในรูปมันอัดเม็ดแล้วยังมีการนำหัวมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นแป้งเพื่อการส่งออกร้อยละ 31.74 ของหัวมันที่ผลิตได้ทั้งหมด คิดเป็นแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 1,413,718 ตัน รวมปริมาณการส่งออกมันสำปะหลังร้อยละ 73.70 ในรูปของผลิตภัณฑ์มันต่าง ๆ การใช้มันสำปะหลังที่เหลือร้อยละ 26.29 ถูกใช้ในการบริโภคในประเทศ ส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตแป้งเพื่อผลิตสารให้ความหวานมากที่สุดประมาณร้อยละ 6.66 รองลงมาคือ ใช้ผลิตมันเส้น เพื่อทำผงชูรส และแอล-ไลซีน และใช้แป้งเป็นอาหารและบริโภคในครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 5.61, 4.46 และ 3.29 ตามลำดับ (ปริมาณหัวมันทั้งหมดจากการประมาณในงานวิจัย 17,814,562 ตัน) นอกจากนี้ยังใช้เป็นแป้งในการผลิตกระดาษ สิ่งทอ สาคู ยา กาว และไม้อัด

ตารางที่ 1 การกระจายหัวมันสำปะหลังไปยังอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในปี 2542/43

	ตัน (ผลิตภัณฑ์)	ตัน (หัวมันสด)	ตัน (หัวมันสด)	สัดส่วนจาก หัวมัน (ร้อยละ)
ปริมาณหัวมันสดปี 2542/43			17,814,562	100
1. มันเส้นและมันอัดเม็ด			8,474,698	47.57
1.1 ส่งออก		7,474,698		41.96
มันเส้น	34,015	85,038		0.48
มันอัดเม็ด	3,212,896	7,389,661		41.48
1.2 ใช้ในประเทศ		1,000,000		5.61
มันเส้น	400,000	1,000,000		5.61
มันอัดเม็ด	-	-		0.00
2. แป้งมัน	2,334,966		9,339,864	52.43
2.1 ส่งออก	1,413,718	5,655,124		31.74
แป้งดิบและแป้งแปรรูป	1,413,718	5,655,124		31.74
2.2 ใช้ในประเทศ	921,185	3,684,740		20.68
อาหารและบริโภคในครัวเรือน	146,653	586,612		3.29
ผงชูรสและแอล-ไลซีน	198,460	793,840		4.46
สารให้ความหวาน	296,533	1,186,132		6.66
สาคู	61,142	244,568		1.37
กระดาษ	90,787	363,148		2.04
สิ่งทอ	62,841	251,364		1.41
ไม้อัด	9,000	36,000		0.20
กาว	4,393	17,572		0.10
ยา และอื่นๆ	51,376	205,504		1.15

ที่มา : กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2548 อ้างจาก รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการใช้มันสำปะหลังในประเทศไทย สถาบันทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2548)

2. <u>มันเส้น</u>

มันเส้น (chip) ได้จากการนำหัวมันสำปะหลังสดเข้าเครื่องหั่นที่เรียกว่า เครื่องโม่มันเส้น ซึ่งจะหั่นหัวมันสดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตากแดดบนลานซีเมนต์ 2-3 วันให้แห้ง (ส่วนพัฒนาพลังงาน 2 สำนักพัฒนาพลังงาน, 2546) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังได้กำหนดลักษณะที่ต้องการ แสดงในตารางที่ 2 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2523) เปรียบเทียบกับลักษณะมันเส้นสะอาดซึ่งกำหนดโดยกองการค้าสินค้าข้อตกลง กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์

<u>ตารางที่ 2</u> ลักษณะผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเส้นที่ต้องการ

คุณลักษณะ	เกณฑ์คุณภาพมันเส้น (มอก.52-2516)	มาตรฐานคุณภาพมันเส้นสะอาด (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)

2.1 วิธีการผลิตมันเส้นคุณภาพดี

จากตารางที่ 2 ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเส้นที่ต้องการสำหรับมาตรฐานคุณภาพมันเส้นสะอาดได้กำหนดลักษณะไว้ชัดเจนว่าตัวอย่างมันเส้นที่ได้สุ่มตรวจคุณภาพโดยปริมาณทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 100 ปริมาณแป้งที่ตรวจได้ต้องมีไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ปริมาณทราย เส้นใย และความชื้นไม่มากกว่าร้อยละ 2.0, 4.0 และ 13.0 ตามลำดับ การผลิตมันเส้นเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานนี้ อุทัย และสุกัญญา (2545) ได้แนะนำวิธีการผลิตไว้ว่า

2.1.1 เมื่อขุดหัวมันสำปะหลังขึ้นมาต้องตัดหัวมันสำปะหลังแต่ละหัวแยกออกจากเหง้าหรือส่วนโคนของลำต้น อย่าให้มีส่วนของเหง้าหรือหัวจุกซึ่งมักเป็นไม้แข็ง สัตว์ย่อยและใช้ประโยชน์ไม่ได้ แม้ว่าในขบวนการผลิตอาหารจะนำไปบดจนละเอียดแล้วก็ตามซึ่งจะทำให้คุณค่าทางอาหารของมันเส้นนั้นลดลง เพราะหัวมันสดที่มีเหง้าติดมามักจะมีส่วนของดินทรายติดมาด้วย

2.1.2 เคาะหรือร่อนดินทรายที่ติดมากับหัวมันสำปะหลังออกให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อทำให้มันเส้นที่ได้มีดินทรายหรือเถ้าในปริมาณต่ำ ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้เลี้ยงสัตว์ และผู้ผลิตอาหารสัตว์ ในกรณีที่ใช้เครื่องร่อนดินทรายที่สามารถขูดส่วนเปลือกนอกของหัวมันออกไปได้บ้างยิ่งจะเป็นการทำให้คุณภาพของมันเส้นที่ได้ดียิ่งขึ้น ปริมาณเยื่อใยลดน้อยลงปริมาณทรายจะน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้มันเส้นเหมาะกับการใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการหมักต่าง ๆ และขายได้ราคาดี

2.1.3 การตัดหัวมันอาจใช้วิธีตัดด้วยแรงงานหรือตัดด้วยเครื่องก็ได้ การตัดด้วยแรงงานมี 2 แบบคือการตัดตามขวาง กับการตัดตามยาวของหัวมัน ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียต่างกันคือ การตัดตามขวางจะตัดได้ง่าย ตากแห้งเร็ว ขนาดชิ้นที่ได้พอเหมาะกับการใช้ผสมอาหาร โคสามารถใช้มันเป็นชิ้นได้เลย หรือการป้อนเข้าเครื่องบดก็ทำได้ง่ายไม่ค่อยมีปัญหาติดขัดระบบลำเลียง ส่วนการตัดตามยาวจะตัดค่อนข้างช้า และใช้เวลาตากแดดนานกว่า เนื่องจากมีขนาดใหญ่กว่า นอกจากนี้การนำเข้าเครื่องบดหรือเครื่องผสมอาหารมักมีปัญหาติดขัดในระบบลำเลียง แต่การตัดตามยาวมีข้อดีคือการสูญเสียน้ำหนักน้อย และเปอร์เซ็นต์แป้งสูง การตัดด้วยเครื่องสามารถตัดได้รวดเร็วกว่าการตัดด้วยแรงงานมากเนื่องจากเครื่องตัดมีสมรรถนะสูง การตัดหัวมันสดด้วยเครื่องตัดจะมีส่วนของหัวมันสดที่ถูกหั่นจนป่น ซึ่งเมื่อตากเป็นมันเส้นแล้วจะกลายเป็นฝุ่นมากกว่าการตัดด้วยแรงงาน ยิ่งตั้งความเร็วในการตัดมากเท่าใด ส่วนชิ้นมันที่ป่นก็จะมีมากขึ้นเท่านั้น และทำให้เปอร์เซ็นต์การเป็นฝุ่นของมันเส้นสูงขึ้นด้วย การใช้เครื่องตัดจึงไม่ควรกำหนดให้ทำงานเร็วเกินไป เพราะจะทำให้ได้มันเส้นมีฝุ่นมากเกินกว่ามาตรฐานที่ผู้ใช้ต้องการ

2.1.4. ลานตากชิ้นมันควรเป็นลานซีเมนต์ถ้ามีการขัดผิวได้จะยิ่งดี เพราะจะป้องกันการปนเปื้อนของทรายในมันเส้น การใช้ลานดินตากมันเส้นจะทำให้ได้มันเส้นคุณภาพต่ำ เพราะจะมีเศษดินทรายปนมามาก ผู้ซื้อไม่ต้องการเป็นอย่างยิ่ง และสีของมันเส้นจะไม่ขาวสะอาด ซึ่งทำให้ผู้ใช้ไม่มีความเชื่อมั่น และไม่กล้าใช้

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

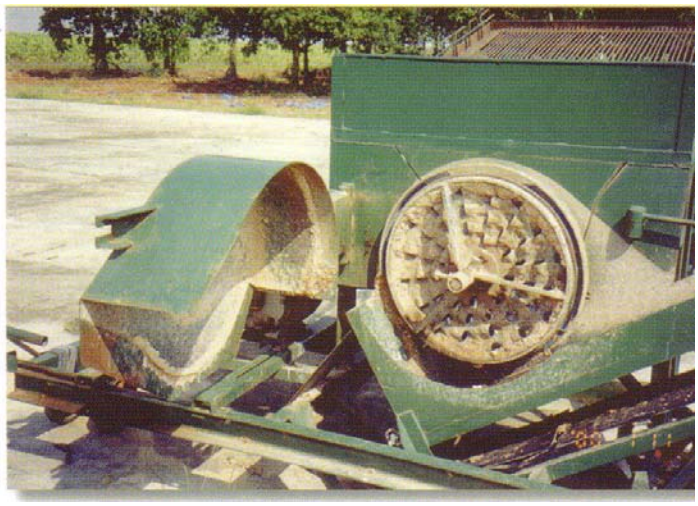
2.2 โรงงานมันเส้น

กรมวิชาการเกษตร (2528) กล่าวว่า ในระยะแรกการทำมันเส้นจะใช้เครื่องโม่มันเส้นเล็ก ๆ และตากบนลานซีเมนต์ เครื่องมืออุปกรณ์อื่น ๆ มีน้อย ใช้แรงงานคนในการลำเลียงมันเส้นไปตาก และคอยใช้คราดไม้พลิกกลับมันที่ตากบนลาน ในขณะนั้นค่าแรงงานเพียงวันละ 7-10 บาทต่อคนต่อวัน ต่อมาค่าแรงงานสูงขึ้นจึงมีการนำเครื่องจักรเข้ามาช่วยทำงานมากขึ้น เช่น เครื่องโม่ขนาดใหญ่ และรถตักขนหัวมันสดใส่เครื่องโม่ดังแสดงในภาพที่ 2 หัวมันสำปะหลังสดที่ออกมาจากเครื่องโม่มันจะถูกลำเลียงไปตากโดยรถโปรยมัน มีเครื่องกลับมันเส้น ขนาดลานตากก็ใหญ่ขึ้น เครื่องมือต่าง ๆ เหล่านี้ผลิตขึ้นใช้เองในประเทศ โดยเครื่องโม่หัวมันสดขนาดเล็กโม่ได้ชั่วโมงละ 3-5 ตัน ขนาดกลางชั่วโมงละ 20-30 ตัน และขนาดใหญ่ชั่วโมงละ 40-60 ตัน โรงงานมันเส้นเฉลี่ยมีลานตาก 7 ไร่ ใช้หัวมันสดเฉลี่ยรอบละ109.31 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 และผลักดันการผลิตมันเส้นสะอาดโดยมีการขึ้นทะเบียนผู้ผลิตมันเส้นสะอาดซึ่งขณะนี้มีทั้งหมด 48 ราย (กรมการค้าต่างประเทศ, 2548)

<u>ภาพที่ 2</u> เครื่องโม่มันเส้นขนาดใหญ่
ที่มา : ดนัย (2537)

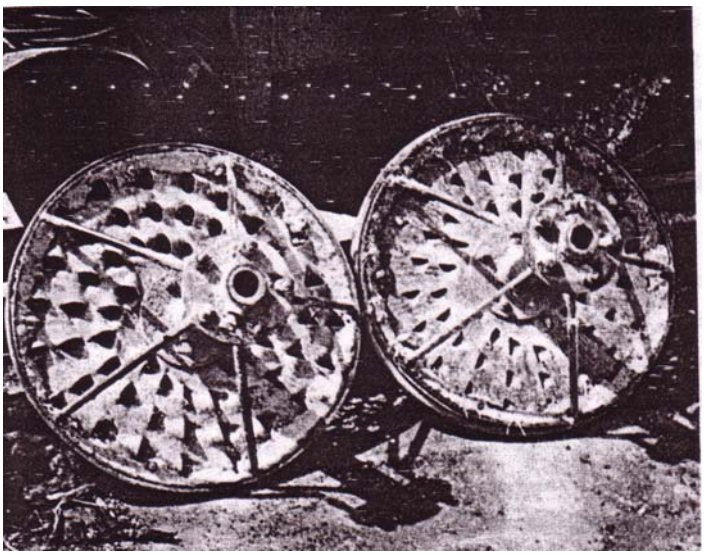
2.3 เครื่องหั่นมันสำปะหลัง

กรมวิชาการเกษตร (2528) กล่าวว่า เครื่องหั่นมันเส้นในประเทศไทยประกอบด้วยจานหมุนรูปวงกลมชนิดยาว หรือ อุทัย และสุกัญญา (2545) เรียกว่า เครื่องตัดหัวมันแบบจานรู ซึ่งจานวงกลมถูกตัดแต่งให้เป็นใบมีดอยู่ภายในวงกลมตลอดทั้งหน้า ดังแสดงในภาพที่ 3 ด้านหน้าของเครื่องหั่นสามารถเปิดปิดได้ ตามปกติจานหั่นมันสำปะหลังมักทำจากฝาถังน้ำมัน เครื่องหั่นมันสามารถปรับเพื่อหั่นหัวมันให้เป็นชิ้นมันขนาดต่าง ๆ ได้ถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร โดยการเลื่อนจานให้ชิดกับช่องป้อนหัวมัน เครื่องหั่นมันหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยหมุนจานหั่นด้วยความเร็ว 291 รอบต่อนาที ปัจจุบันการผลิตเครื่องหั่นมันเส้นมีจำนวนน้อยมาก โดยจะผลิตตามการสั่งซื้อของผู้ประกอบการโรงงานมันเส้นซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องหั่นมันเส้นขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางจานหั่น 36 – 40 นิ้ว)



ภาพที่ 3 เครื่องหั่นมันเส้นแบบจานหมุน
ที่มา : ดนัย (2537)

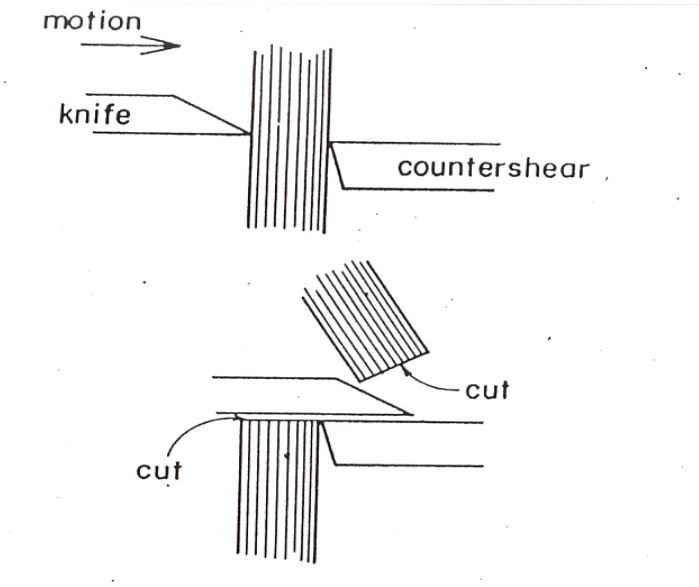
Thanh et al. (1979) ได้ปรับปรุงจานตัดของเครื่องตัดแบบจานหมุน ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยดัดแปลงจานตัดแบบเดิมที่ทำให้ชิ้นมันมีขนาดไม่แน่นอน และมีขนาดใหญ่ ทำให้การตากใช้เวลานาน เนื่องจากต้องการให้ชิ้นมันมีขนาดเล็กลง และมีรูปแบบของชิ้นมันที่เป็นรูปแบบเดียวกันมากขึ้น ซึ่งหลังการออกแบบพบว่าสมรรถนะการตัดลดลงจาก 9-11 ตันต่อชั่วโมง เป็น 6-8 ตันต่อชั่วโมง โดยใช้มอเตอร์ขนาด 7.5 แรงม้าเป็นต้นกำลัง แต่ขนาดชิ้นมันมีขนาดเป็นรูปแบบเดียวกันมากขึ้น และขนาดชิ้นเล็กลง โดยชิ้นมันมีขนาดเฉลี่ย 5×2.4×0.6 เซนติเมตร



ภาพที่ 4 จานตัดก่อนและหลังการออกแบบจากจานเดิม
ที่มา : Thanh et al. (1979)

3. <u>หลักการตัด</u>

Persson (1987) กล่าวว่าการตัดคือกระบวนการทางกล เพื่อแบ่งชิ้นส่วนวัสดุโดยใช้อุปกรณ์ตัด อุปกรณ์ตัดคือ อุปกรณ์ที่มีความคมอย่างชัดเจน ซึ่งในกรณีทั่วไปจะแบ่งชิ้นวัสดุออกเป็นสองส่วน ซึ่งจะทำให้เกิดพื้นผิวหน้าใหม่ และชิ้นส่วนจะเล็กกว่าชิ้นส่วนเดิม ดังแสดงในภาพที่ 5 การตัดจะมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามลักษณะของอุปกรณ์ตัด หรือ ลักษณะการตัด เช่น การสับ การตัด การผ่า การฝานเป็นชิ้นบาง การตัดเป็นลูกเต๋า การหั่นเป็นแว่น เป็นต้น



<u>ภาพที่ 5</u> การตัด
ที่มา : Persson (1987)

Visvanathan et al. (1996) ได้ศึกษาผลที่เกิดจากมุมเอียงของใบมีด และความเร็วในการตัดหัวมันสำปะหลังตามแนวแกน 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 สำหรับผลิตชิ้นมันเส้นสะอาดเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสำหรับโคนม 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

4. <u>การตากแห้งชิ้นมันสำปะหลัง</u>

กรมวิชาการเกษตร (2528) กล่าวว่าการตากมันเป็นวิธีการกำจัดความชื้นจากหัวมันสดด้วยการระเหย ประเทศไทยใช้วิธีตากมันเส้นกลางแจ้งด้วยแสงแดด โดยเริ่มตากในตอนเช้า โดยนำมันเส้นที่หั่นแล้วไปกองที่ลานตากมันซึ่งปกติลานทำด้วยซีเมนต์มีร่องน้ำระบายน้ำ แล้วเกลี่ยให้เสมอ และกลับมันเส้นทุกๆ 1-2 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 6 ในกรณีที่มีการทำมันเส้นเป็นกิจการขนาดใหญ่มีลานกว้างอาจใช้รถแทรกเตอร์ในการทำงานดังแสดงในภาพที่ 7 เศษมันที่หัก และเป็นผงจะตกอยู่ในลานตาก เนื่องจากการตากด้วยแสงแดดจำเป็นต้องอาศัยดินฟ้าอากาศเป็นสำคัญ ระยะการตาก และคุณภาพมันเส้นจึงแตกต่างกันมาก ขนาด และความหนาของมันเส้นเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการตากแห้ง ในประเทศไทยการตากมันเส้นจำนวน 10 ตัน บนลานตากซีเมนต์ 1 ไร่ ในวันที่มีแดดจัด 3 วัน มันเส้นจะมีความชื้นสุดท้าย 18 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก)

ภาพที่ 6 การตากมันเส้น
ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2528)

ภาพที่ 7 การกลับมันเส้น
ที่มา : กรมวิชาการเกษตร (2528)

Olufayo and Ogunkunle (1996) ศึกษาการลดความชื้นมันเส้น โดยวิธีการตากแห้งในสภาพภูมิอากาศชื้นในประเทศไนจีเรียโดยบันทึกค่าความชื้นของตัวอย่างมันเส้นในห้องทดลอง ช่วงของแสงแดด อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้ที่มีผลต่อการตากแห้งมันเส้น ผลที่ได้พบว่าไม่มีความแปรปรวนของตัวอย่างของมันเส้นที่มีปริมาณการตากมันเส้นโดย

น้ำหนักต่อพื้นที่ที่เท่ากัน โดยความชื้นสมดุลของมันเส้นมีค่าประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) หลังจากตากมันเส้นเป็นเวลา 70 ชั่วโมงที่ได้รับแสงแดด อย่างไรก็ตามพบว่าความหนาของชั้นมันเส้นเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อการตากแห้งมันเส้นตามธรรมชาติ

Best (1979) ศึกษาการตากแห้งมันโดยการตากบนลานคอนกรีต และการตากบนถาดเอียงที่ทำด้วยตะแกรง ปริมาณของมันที่ตากบนลานคอนกรีต 5-7 กิโลกรัม/ตารางเมตร และ 10-16 กิโลกรัม/ตารางเมตร บนถาดเอียง เวลาที่ใช้ในการตากแห้งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และปริมาณมันเส้นที่ตาก ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ การตากแห้งโดยใช้ถาดตะแกรงเอียงจะใช้เวลาน้อยกว่า และได้ประโยชน์ต่อการตากในช่วงที่มีลม ช่วงกลางคืนหรือแม้กระทั่งช่วงที่ไม่มีแรงงานคนหรือมีน้อย เพราะการตากบนถาดไม่ต้องกลับชิ้นมัน

Thanh et al. (1979) ศึกษาการลดระยะการตากแห้งของชิ้นมันสำปะหลังโดยศึกษาผลของตัวกลางที่ใช้ในการตากแห้ง ซึ่งเปรียบเทียบตัวกลางที่ใช้ตากมัน 2 ชนิด คือพื้นผิวคอนกรีตเรียบ (plain cement floor) และพื้นผิวที่มีสีดำ (black-topped floor) ผลการศึกษาพบว่า พื้นผิวที่มีสีดำจะลดระยะเวลาการตากแห้งชิ้นมันสำปะหลังได้มากกว่าพื้นผิวคอนกรีตเรียบ รวมทั้งผลของขนาดชิ้นมันสำปะหลังต่อการทำแห้ง โดยเปรียบเทียบขนาดที่มีการตัดแบบไม่แน่นอนหรือมีรูปร่างชิ้นมันไม่แน่นอน (irregular chip) และการตัดแบบแผ่นบาง (thin slice chip) พบว่าการตัดแบบแผ่นบางจะลดระยะเวลาการทำแห้งได้มากกว่าแบบรูปร่างไม่แน่นอน นอกจากนี้ยังศึกษาผลของปริมาณมันสำปะหลังต่อพื้นที่ที่ใช้ตากแห้ง โดยเปรียบเทียบชิ้นมันสำปะหลังปริมาณ 4.38, 6.56 และ 8.75 กิโลกรัม/ตารางเมตร พบว่าเมื่อปริมาณมันสำปะหลังต่อพื้นที่ที่ใช้ตากแห้งมากขึ้นการใช้เวลาในการตากแห้งก็มากขึ้นตามไปด้วย

Touré and Kibangou-Nkembo (2004) ศึกษาการลดความชื้นมันสำปะหลัง กล้วย และมะม่วง โดยการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ ในช่วงอัตราการลดความชื้นคงที่ อัตราการลดความชื้นลดลง และการเปลี่ยนแปลงระหว่างสองช่วงดังกล่าว ผลการทดลองปรากฏว่าในช่วงอัตราการลดความชื้นคงที่พบว่ามันสำปะหลังมีอัตราการลดความชื้น 0.3344 kg/s และมีความชื้น 48.1 % (มาตรฐานปียก) ในช่วงการเปลี่ยนแปลงระหว่างอัตราการลดความชื้นคงที่ และอัตราการลดความชื้นลดลง การลดความชื้นสำหรับมันสำปะหลังมีความชื้นเริ่มต้น 57.8 % (มาตรฐานเปียก) ความชื้นสุดท้าย 9.7 % (มาตรฐานปียก) ใช้เวลาลดความชื้น 15 ชั่วโมง

5. <u>แบบจำลองการลดความชื้น</u>

ตัวแปรที่ใช้ในการทำนายการลดความชื้นชิ้นวัสดุเกษตรแบบชั้นบางคือ อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{Moisture Ratio (MR)} = \frac{M - M_e}{M_i - M_e}$$

Kavak (2006) ได้กล่าวว่าสมการที่ใช้ทำนายการลดความชื้นชิ้นวัสดุเกษตรแบบชั้นบางมีหลายสมการ สมการที่นิยมใช้ มีดังต่อไปนี้คือ

สมการของ Newton $$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = e^{-kt}$$

สมการของ Page $$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = e^{(-kt^n)}$$

สมการของ Modified Page (I) $$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = e^{-(kt^n)}$$

สมการของ Modified Page (II) $$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = e^{(-kt)^n}$$

สมการของ Henderson and Pabis $$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = ae^{-kt}$$

ซึ่ง MR = อัตราส่วนความชื้น

M = ความชื้นที่เวลาใดๆ

M_e = ความชื้นสมดุล

M_i = ความชื้นเริ่มต้น

k และ n = ค่าคงที่ t = เวลา

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังรายการต่อไปนี้

1. กรอบโลหะสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาดช่องว่างภายใน 0.5 ×0.5 เมตร (0.25 ตารางเมตร)
2. เครื่องชั่งมวลแบบ Digital :Precisa รุ่น 6200 CSCS ความละเอียด 0.01 กรัม
3. ถุงพลาสติกบรรจุชิ้นมันสำปะหลัง
4. ตะแกรงคัดแยกหรือแร่งขนาด 1 มิลลิเมตร หรือตะแกรงเบอร์ 18
5. เครื่องเขย่า
6. ตู้อบแห้ง (Drying Oven)
7. ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

8. เครื่องตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน มีเส้นผ่านศูนย์กลางใบมีด 20 เซนติเมตร ความหนาใบมีด 1.5 มิลลิเมตร มีจำนวนใบมีด 4 ใบ ใบมีดแต่ละใบวางตัวเป็นมุม 90 องศา

9. เครื่องตัดหัวมันสำปะหลังสดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน เส้นผ่าศูนย์กลางใบมีด 25 เซนติเมตร ความหนาใบมีด 1.5 มิลลิเมตร ใบมีดติดตั้งบนเพลาที่ขนานกันสองเพลา ห่างกัน 25 เซนติเมตร แต่ละเพลามีจำนวนใบมีดเพลาละ 20 ใบ มีระยะห่างของใบมีดข้างเคียงที่ใช้ทดลองแต่ละครั้งเป็นระยะ 1.5, 1.8 และ 2.0 เซนติเมตร

10. อุปกรณ์วัดความเร็วรอบชนิดแม่เหล็ก (Magnetic Pickup) และเครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital Tachometer): ONOSOKKI รุ่น TM2130

11. เครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder): YOKOGAWA รุ่น AR-1200
12. Dynamic Strain Amplifier: KYOWA รุ่น DPM – 700B
13. Torque Transducer: KYOWA รุ่น TP-10K MCB วัดค่าได้ 0-100 นิวตัน - เมตร
14. มอเตอร์ไฟฟ้า: MITSUBISHI รุ่น SF-JR ขนาด 5 กำลังม้า
15. อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (Inverter): TOSHIBA รุ่น VF-S9
16. โวลต์มิเตอร์

17. หัวมันสำปะหลัง
18. นาฬิกาจับเวลา
19. ภาชนะรองรับชิ้นมันจากเครื่องตัดหัวมันสำปะหลัง
20. เครื่องบันทึกข้อมูลแบบ Data logger รุ่น HP 34970 A
21. เทอร์โมคัปเปิล (Type K)
22. เครื่องวัดความเร็วลม Vane anemometer: Digicon รุ่นBA-42
23. เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์: Digicon รุ่น DM-760

24. อุปกรณ์วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวม: Gebrauchsanweisung รุ่น Clima วัดค่าได้ในช่วง 0-1300 W/m^2

วิธีการ

การทดลองแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ

1. การศึกษากระบวนการผลิตมันเส้น และปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตมันเส้นในโรงงานมันเส้น จำนวน 4 โรงงาน

2. การศึกษา ทอร์ก กำลัง คุณภาพการตัด และปริมาณการสูญเสียในการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน และแนวตั้งฉากกับแนวแกนด้วยเครื่องตัดแบบใบมีดหมุน

3. การศึกษาเปรียบเทียบการลดความชื้นของชิ้นมันโดยการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และการหาแบบจำลองสำหรับการลดความชื้นชิ้นมันแบบชั้นบางที่ได้จากการตัดตามแนวแกน และแนวตั้งฉากกับแนวแกนโดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุน และชิ้นมันที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน

1. การศึกษากระบวนการผลิตมันเส้น และ ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตมันเส้นในโรงงานมันเส้น

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลกระบวนการผลิตมันเส้น เครื่องจักรต่าง ๆ ที่ใช้ และปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตมันเส้นในโรงงานมันเส้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมันอัดเม็ดแข็ง (2523) ได้กำหนดคำจำกัดความว่าฝุ่น คือ เศษมันแข็งที่ผ่านแร่ง (ตะแกรง) ขนาด 1 มิลลิเมตร ตามคำจำกัดความดังกล่าวจึงนำมาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาปริมาณฝุ่นในกระบวนการผลิตมันเส้น โดยทำการเก็บตัวอย่างมันเส้นในวันสุดท้ายของการตากมันเส้นเพื่อให้ความชื้นของชิ้นมันอยู่ในช่วง 11-14 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษา โดยศึกษาข้อมูลดังต่อไปนี้คือ

1.1 ลักษณะเฉพาะของโรงงาน
1.2 กระบวนการผลิตมันเส้นและเครื่องจักรที่ใช้ผลิต
1.3 ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในการผลิตมันสำปะหลังเส้น

1. <u>วิธีการทดลอง</u>

1. กำหนดโรงงานมันเส้นที่จะทำการเก็บข้อมูล จำนวน 4 โรงงาน คือลานมันสิทธิชัย อำเภอเลาขวัญ จังหวัดกาญจนบุรี 1 โรงงาน โรงงานมันเส้นที่จังหวัดชลบุรี 3 โรงงานคือ ลานมันเปล่งคุณ อำเภอศรีราชา ลานมันป่าแดง และ ลานมันเดชา อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี

2. ใช้กรอบโลหะขนาดพื้นที่ภายใน 0.25 ตารางเมตร วางบนชั้นมันเส้นที่อยู่บนลานตาก และเก็บมันเส้นรวมทั้งฝุ่นมันสำปะหลังทั้งหมดที่อยู่ภายในกรอบโลหะใส่ถุงจำนวน 20 จุด บนลานตาก ทำ 3 ซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 8

<u>ภาพที่ 8</u> การเก็บตัวอย่างมันเส้นภายในกรอบโลหะขนาดพื้นที่ภายใน 0.25 ตารางเมตร

3. หาความชื้นของตัวอย่างมันเส้นที่เก็บมาจากลานตากมัน โดยสุ่มตัวอย่างชิ้นมันสำปะหลัง ชั่งมวลภาชนะบรรจุเปล่า และนำชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างใส่ภาชนะบรรจุ และชั่งมวลบันทึกค่า นำภาชนะบรรจุที่ใส่ชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างเข้าตู้อบ (Drying Oven) อุณหภูมิ 103 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังการอบ นำภาชนะที่บรรจุชิ้นมันสำปะหลังที่อบแล้วใส่ตู้ดูดความชื้น

(Desiccator) และปล่อยให้เย็นตัวลงในอุณหภูมิบรรยากาศ ชั่งมวลภาชนะที่บรรจุชิ้นมันสำปะหลังที่มีอุณหภูมิปกติแล้ว และบันทึกค่าที่ได้ คำนวณหาค่าความชื้นของชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างเป็นมาตรฐานเปียก

วิธีคำนวณ (ความชื้นมาตรฐานเปียก)

$$\text{ปริมาณความชื้น ร้อยละ} = \frac{(w-d)}{w}\times 100 \quad \text{..... (1)}$$

เมื่อ w คือ มวลของวัสดุก่อนการอบ เป็นกรัม
d คือ มวลของวัสดุหลังการอบ เป็นกรัม

4. แบ่งตัวอย่างมันเส้นที่เก็บบนลานตากแต่ละจุดเป็นส่วนย่อยประมาณสี่ส่วนเท่า ๆ กัน เพื่อหาปริมาณฝุ่นโดยแยกด้วยเครื่องเขย่าและแร่งขนาด 1 มิลลิเมตร (ASTM mesh no. 18) โดยใช้เวลาในการแยกประมาณ 1 นาที ชั่งมวลของตัวอย่างก่อนการแยกมวล และมวลของตัวอย่างที่ค้างอยู่บนแร่ง และคำนวณปริมาณฝุ่น

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณฝุ่น ร้อยละโดยมวล} = \frac{(w-w_1)}{w}\times 100 \quad \text{..... (2)}$$

w คือ มวลตัวอย่างที่นำมาแยก เป็นกรัม
w_1 คือ มวลของตัวอย่างที่ค้างบนแร่ง เป็นกรัม

2. <u>การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน และในแนวตั้งฉากกับแนวแกน</u>

การศึกษาในหัวข้อนี้ประกอบด้วยการทดลองย่อยดังนี้

2.1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเมื่อไม่มีภาระกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของความเร็วรอบของเครื่องตัดตามแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแนวแกน

2.2 การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน ประกอบด้วย

2.2.1 การทดลองหาทอร์กและกำลังที่ต้องการในการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน

2.2.2 การวิเคราะห์หาคุณภาพการตัดชิ้นมันสำปะหลังที่ได้จากการตัดตามแนวแกน

2.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการสูญเสียที่เกิดจากการตัดตามแนวแกน

2.3 การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

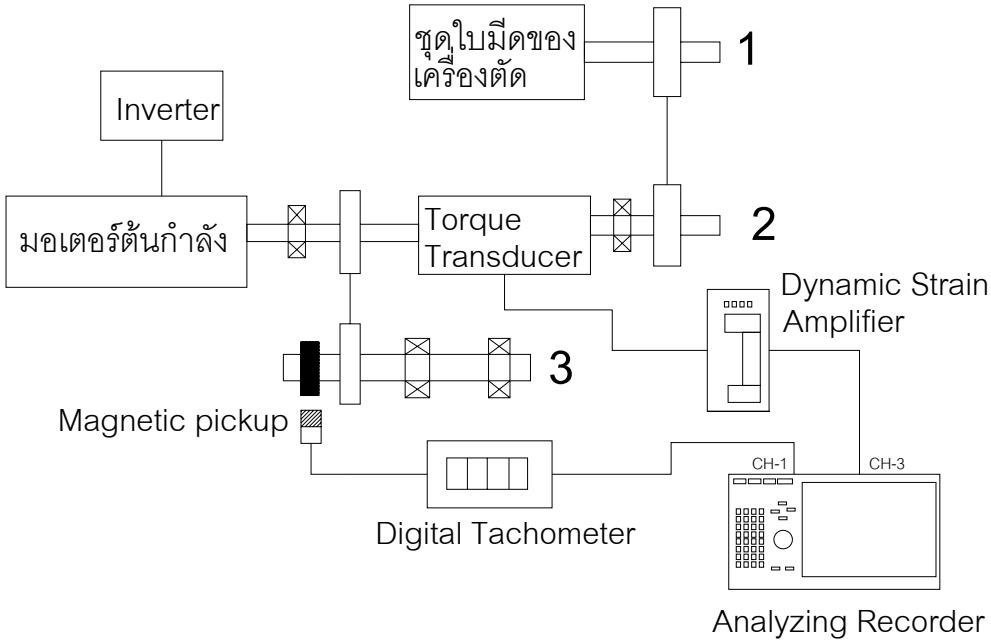
2.3.1 การทดลองหาทอร์ก และกำลังที่ต้องการในการตัดหัวมันสำปะหลังสดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

2.3.2 การวิเคราะห์หาคุณภาพการตัดชิ้นมันสำปะหลังที่ได้จากการตัดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

2.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการสูญเสียที่เกิดจากการตัดในแนวตั้งฉากกับแนวแนวแกน

2.1 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเมื่อไม่มีภาระกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของความเร็วรอบของเครื่องตัดตามแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแนวแกน

ติดตั้ง Torque Transducer และอุปกรณ์วัดความเร็วรอบชนิดแม่เหล็ก (Magnetic Pickup) บนเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแนวแกน ดังแสดงในภาพที่ 9 ทอร์กที่เกิดขึ้นบนเครื่องตัด (เพลาที่ 1) ถ่ายทอดมาสู่ Torque Transducer (เพลาที่ 2) ส่วนเพลาที่ 3 ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วรอบแบบแม่เหล็ก (Magnetic Pickup) นั้น ใช้วัดความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง



ภาพที่ 9 การติดตั้งอุปกรณ์วัดบนเครื่องตัดตามแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแนวแกน

สัญญาณจากอุปกรณ์วัดความเร็วรอบแบบแม่เหล็ก (Magnetic Pickup) จะต่อไปยังเครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital Tachometer) และโวลต์มิเตอร์ ตามลำดับ การทดลองแบ่งเป็นลำดับดังนี้

1. ปรับค่าการใช้งานของ Dynamic Strain Amplifier ซึ่งแสดงในภาพที่ 10 (ก)

2 ปรับค่าการใช้งานของเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder) ซึ่งแสดงในภาพที่ 10 (ข) ในส่วนของ Mode Memory, Range, Trigger, Display Format และ Sample Rate (200 Hz) ตามลำดับ

3. ปรับค่าความถี่บนหน้าจอที่แสดงบน Inverter ที่ความถี่ 10 Hz ซึ่งจะได้ความเร็วรอบเพลามอเตอร์ต้นกำลัง 294 รอบ/นาที

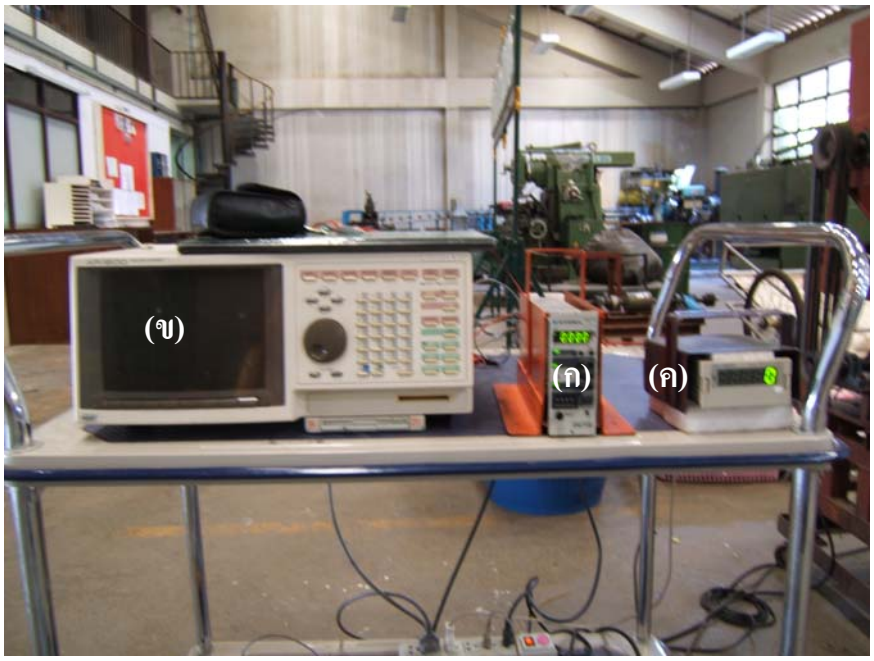
4. บันทึกค่าความเร็วรอบของเพลาที่ 2 ที่แสดงโดยเครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital Tachometer) ซึ่งแสดงในภาพที่ 10 (ค)

5. บันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของความเร็วรอบที่แสดงจากโวลต์มิเตอร์

6. ทำซ้ำข้อ 3-5 เพื่อปรับค่าความถี่บนหน้าจอที่แสดงบน Inverter ให้เป็นความถี่ 12, 14, 16, 18, 20, 22 และ 24 Hz ซึ่งจะได้ความเร็วรอบมอเตอร์ต้นกำลัง 354, 413, 473, 533, 595, 652 และ 712 รอบ/นาที ตามลำดับ สำหรับเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน

7. ทำซ้ำข้อ 3-5 เพื่อปรับค่าความถี่บนหน้าจอที่แสดงบน Inverter ให้เป็นความถี่ 15, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 และ 32 Hz ซึ่งจะได้ความเร็วรอบเพลามอเตอร์ต้นกำลัง 434, 523, 582, 642, 702, 759, 820, 879 และ 939 รอบ/นาที ตามลำดับ สำหรับเครื่องตัดหัวมันสำปะหลังสดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

8. เขียนกราฟหาสมการความสัมพันธ์ของค่าความถี่ที่ปรับจาก Inverter กับค่าความเร็วรอบมอเตอร์ต้นกำลัง และ เขียนกราฟหาสมการความสัมพันธ์ของค่าความเร็วรอบมอเตอร์ต้นกำลังกับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของความเร็วรอบ



ภาพที่ 10 อุปกรณ์วัด (ก) Dynamic Strain Amplifier (ข) เครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder) (ค) เครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital Tachometer)

2.2 การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน

การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน ประกอบด้วย

2.2.1 การทดลองหาทอร์กและกำลังที่ต้องการในการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน

2.2.2 การวิเคราะห์หาคุณภาพของการตัดหัวมันสำปะหลังสดในการตัดตามแนวแกน

2.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการสูญเสียที่เกิดจากการตัดตามแนวแกน

2.2.1 การทดลองหาทอร์ก และกำลังที่ต้องการในการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกน

1. <u>การเตรียมวัสดุ</u>

1. นำหัวมันสำปะหลังสดที่ซื้อจากโรงงานรับซื้อมันสำปะหลังสด อ.จอมบึง จ.ราชบุรี ซึ่งแสดงในภาพที่ 11 จำแนกเป็น 3 ขนาด โดยกำหนดหัวมันขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-35 มิลลิเมตร ขนาดกลาง 40-45 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่ 50-55 มิลลิเมตร ตามลำดับ ขนาดละ 40 ตัวอย่าง เพื่อให้ขนาดภายในกลุ่มตัวอย่างเดียวกันมีขนาดใกล้เคียงกัน

2. ตัดส่วนโคนที่ติดกับเหง้า และส่วนปลายออกเพื่อให้ได้ความยาวของหัวมันสำปะหลังประมาณ 21- 23 เซนติเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของช่องป้อนที่มีความยาว 25 เซนติเมตร ของเครื่องตัดตามแนวตั้งฉากกับแนวแกนซึ่งจะทำให้หัวมันสำปะหลังสดมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ดังแสดงในภาพที่ 12

<u>ภาพที่ 11</u> หัวมันสำปะหลังสดจากโรงงาน

ภาพที่ 12 หัวมันสำปะหลังสดภายหลังการตัดส่วนโคนและส่วนปลายออกทำให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก

2. วิธีการทดลอง

1. หาความชื้นของตัวอย่างหัวมันสำปะหลังก่อนการตัด โดยตัดหัวมันสำปะหลังที่ได้นำมาศึกษาแต่ละขนาดเป็นชิ้นเท่า ๆ กัน และนำชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างใส่ภาชนะบรรจุ และชั่งมวลบันทึกค่า นำภาชนะบรรจุที่ใส่ชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างเข้าตู้อบ (Drying Oven) อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังการอบ นำภาชนะที่บรรจุชิ้นมันสำปะหลังที่อบแล้วใส่ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) และปล่อยให้เย็นตัวลงในอุณหภูมิบรรยากาศ ชั่งมวลภาชนะที่บรรจุชิ้นมันสำปะหลังที่มีอุณหภูมิปกติแล้ว และบันทึกค่าที่ได้ และคำนวณหาค่าความชื้นของชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างเป็นมาตรฐานเปียก

2. ชั่งมวลหัวมันสำปะหลังก่อนการตัด

3. กำหนดความเร็วรอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยการปรับค่าความถี่บนหน้าจอที่แสดงบน Inverter ที่ความถี่ 13.7 Hz ซึ่งจะได้ความเร็วรอบเพลามอเตอร์ต้นกำลัง 400 รอบ/นาที

4. เริ่มต้นการทดลองโดยกดที่ปุ่ม Start และสังเกตกราฟบนหน้าจอของเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder) ต่อสัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง และทอร์ก เข้าที่ช่องรับสัญญาณช่องที่ 1 และ 3 ของเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder)

5. บันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับค่าทอร์ก (ช่องที่3) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง (ช่องที่ 1) ก่อนทำการตัดหัวมันสำปะหลังที่ปรากฏบนหน้าจอของเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder) ทั้งหมด 4 ค่า เมื่อกราฟที่ขึ้นหน้าจอเริ่มคงที่ป้อนหัวมันที่ช่องป้อน เมื่อสิ้นสุดการทดลองกดที่ปุ่ม Stop และสังเกตกราฟบนหน้าจอของเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder)

6. บันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิด ขณะทำการตัดหัวมันสำปะหลังสดสำหรับค่าทอร์ก (ช่องที่3) และ แรงเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับสำหรับความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง (ช่องที่ 1) โดยบันทึกค่าที่มากที่สุดหรือน้อยที่สุด ที่ปรากฏบนหน้าจอเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder)

7. ชั่งมวลชิ้นมันหลังการตัดทั้ง 4 ชิ้น

8. ทำซ้ำข้อ 2-6 โดยปรับค่าความถี่บนหน้าจอที่แสดงบน Inverter ที่ความถี่ 17, 20.4 และ 23.7 Hz ซึ่งจะได้ความเร็วรอบเพลามอเตอร์ต้นกำลัง 500, 600 และ 700 รอบ/นาที ทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำ/ความเร็วรอบแต่ละค่า สำหรับหัวมันสำปะหลังสดขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

9. เปลี่ยนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของทอร์ก โดยเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าอ้างอิงจากคู่มือการใช้งานของ Dynamic Strain Amplifier ให้อยู่ในหน่วยของ นิวตัน-เมตร (N-m)

10. เปลี่ยนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของความเร็วรอบของเพลา Torque Transducer ให้เป็นค่าความเร็วรอบโดยนำค่าไปแทนในสมการที่ได้จากทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเมื่อไม่มีภาระกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของความเร็วรอบที่เกิดในข้อ 8

11. ค่าที่ได้จากข้อ 8 และ 9 ใช้คำนวณหาค่าความต้องการกำลัง (Power requirement)

วิธีคำนวณ

$$\text{ความต้องการกำลัง} = \frac{2 \times \pi \times T \times N}{60} \text{ วัตต์} \quad \text{..... (3)}$$

T = ทอร์ก นิวตัน-เมตร

N = ความเร็วรอบ รอบ/นาที

12. เขียนกราฟ เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลาใบมีดกับทอร์ก และความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลาใบมีดกับความต้องการกำลัง

2.2.2 การวิเคราะห์หาคุณภาพของการตัด

คุณภาพการตัดระบุโดยค่าความผิดพลาดของการตัด ความผิดพลาดของการตัด คือ การที่เครื่องตัดไม่สามารถตัดหัวมันสำปะหลังให้มีขนาดชิ้นที่เท่ากันทั้ง 4 ชิ้น โดยเทียบจากมวลชิ้นมันที่ควรจะได้ (มวลรวมหัวมันสำปะหลังสดก่อนการตัด/4)

นำชิ้นมันที่ถูกตัด (ชิ้นมันที่ได้จากการทดลองในข้อ 7) มาชั่งมวลทีละชิ้น (4 ชิ้น/ 1 หัว) และคำนวณความผิดพลาดของการตัดซึ่งคำนวนจากค่าสัมบูรณ์เนื่องจากมวลชิ้นมันหลังการตัดมีทั้งค่ามากกว่า และน้อยกว่ามวลชิ้นมันที่ควรจะตัดได้

วิธีคำนวณ

$$\text{ความผิดพลาดของการตัด ร้อยละ} = \left| \frac{\text{มวลชิ้นมันที่ควรจะตัดได้ - มวลชิ้นมันหลังการตัด}}{\text{มวลชิ้นมันที่ควรจะตัดได้}} \right| \times 100$$

.....(4)

2.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการสูญเสียที่เกิดจากการตัดตามแนวแกน

ปริมาณการสูญเสีย คือ มวลชิ้นมันที่หายไประหว่างการตัดซึ่งเป็นส่วนที่ติดค้างอยู่ภายในเครื่อง และไม่สามารถนำออกมาได้

นำชิ้นมันที่ถูกตัด (ชิ้นมันที่ได้จากการทดลองในข้อ 7) มาชั่งมวลรวมทุกชิ้น และคำนวณหาปริมาณสูญเสีย

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาณการสูญเสียร้อยละ} = \left(\frac{\text{มวลหัวมันก่อนตัด} - \text{มวลชิ้นมันรวมหลังตัด}}{\text{มวลหัวมันก่อนตัด}} \right) \times 100 \quad .....(5)$$

2.3 การศึกษาการตัดหัวมันสำปะหลังสดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

การศึกษาในหัวข้อนี้ประกอบด้วย

2.3.1 การทดลองหาทอร์กและกำลังที่ต้องการในการตัดหัวมันสำปะหลังในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

2.3.2 การวิเคราะห์หาคุณภาพการตัดชิ้นมันสำปะหลังที่ได้จากการตัดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

2.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการสูญเสียที่เกิดจากการตัดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

2.3.1 การทดลองหาทอร์ก และกำลังในการตัดหัวมันสำปะหลังสดในแนวตั้งฉากกับแนวแกน

1. <u>การเตรียมวัสดุ</u>

การเตรียมหัวมันสำปะหลังสดเพื่อใช้ในการทดลองกับเครื่องตัดในแนวแนวตั้งฉากกับแนวแกน มีวิธีการเช่นเดียวกับการเตรียมหัวมันสำปะหลังสดเพื่อตัดตามแนวแกน แล้วจึงนำมาตัดด้วยเครื่องตัดตามแนวแกน ตัวอย่างละประมาณ 1 กิโลกรัม จำนวน 20 ตัวอย่างต่อขนาดหัวมันสำปะหลังสดแต่ละขนาด ดังแสดงในภาพที่ 13

ภาพที่ 13 ตัวอย่างชิ้นมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองกับเครื่องตัดในแนวตั้งฉากกับแกน

2. วิธีการทดลอง

1. ชั่งมวลตัวอย่างชิ้นมันสำปะหลังสด

2. หาความชื้นของหัวมันสำปะหลังก่อนการตัดโดยตัดหัวมันสำปะหลังที่ได้นำมาศึกษาแต่ละขนาดเป็นชิ้นเท่า ๆ กัน นำชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างใส่ภาชนะบรรจุ และชั่งมวล บันทึกค่า นำภาชนะบรรจุที่ใส่ชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างเข้าตู้อบ (Drying Oven) อุณหภูมิ 103 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังการอบ นำภาชนะที่บรรจุชิ้นมันสำปะหลังที่อบแล้วใส่ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) และปล่อยให้เย็นตัวลงในอุณหภูมิบรรยากาศ ชั่งมวลภาชนะที่บรรจุชิ้นมันสำปะหลังที่มีอุณหภูมิปกติแล้ว และบันทึกค่าที่ได้ คำนวณหาค่าความชื้นของชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างเป็นมาตรฐานเปียก

3. ตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดข้างเคียงของเครื่องตัดในแนวตั้งฉากกับแนวแกนให้มีระยะ 1.5 เซนติเมตร

4. กำหนดความเร็วรอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยการปรับค่าความถี่บนหน้าจอที่แสดงบน Inverter ที่ความถี่ 20.4 Hz ซึ่งจะได้ความเร็วรอบเพลามอเตอร์ต้นกำลัง 600 รอบ/นาที

5. เริ่มต้นการทดลองโดยกดที่ปุ่ม Start และสังเกตกราฟบนหน้าจอของ เครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder) ต่อสัญญาณความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง และทอร์ก เข้าที่ช่องรับสัญญาณช่องที่ 1 และ 3 ของเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder)

6. บันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับค่าทอร์ก (ช่องที่3) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง (ช่องที่ 1) ก่อนทำการตัดหัวมันสำปะหลังบนหน้าจอของเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder) ทั้งหมด 4 ค่า เมื่อกราฟที่ขึ้นหน้าจอเริ่มคงที่ นำชิ้นมันตัวอย่างที่เตรียมไว้ป้อนที่ช่องป้อนครั้งละ 1 ตัวอย่าง (ประมาณ 1 กิโลกรัม)

7. เมื่อสิ้นสุดการทดลองกดที่ปุ่ม Stop และสังเกตกราฟบนหน้าจอของเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder)

8. บันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขณะทำการตัดหัวมันสำปะหลังสำหรับค่าทอร์ก (ช่องที่ 3) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับสำหรับความเร็วรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง (ช่องที่ 1) โดยบันทึกค่าที่มากที่สุดหรือน้อยที่สุดที่ปรากฏบนหน้าจอเครื่องบันทึกและวิเคราะห์ (Analyzing Recorder)

9. ชั่งมวลชิ้นมันหลังการตัด แล้วนำตัวอย่างชิ้นมันไปแช่ตู้เย็นอุณหภูมิประมาณ 5°C เพื่อนำไปคัดคุณภาพชิ้นมันหลังการตัดในวันถัดไป

10. ทำซ้ำข้อ 3-9 โดยปรับค่าความถี่บนหน้าจอที่แสดงบน Inverter ที่ความถี่ 23.7, 27 และ 30.5 Hz ซึ่งจะได้ความเร็วรอบเพลามอเตอร์ต้นกำลัง 700, 800 และ 900 รอบ/นาที ทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ/ความเร็วรอบแต่ละค่า สำหรับหัวมันสำปะหลังสดแต่ละขนาด

11. ตั้งระยะห่างระหว่างใบมีดข้างเคียงให้มีระยะ 1.8 และ 2.0 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วทำซ้ำข้อ 4-10

12. เปลี่ยนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของทอร์ก โดยเทียบกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าอ้างอิงจากคู่มือการใช้งานของ Dynamic strain Amplifier ให้อยู่ในหน่วยของ นิวตัน-เมตร (N-m)

13. เปลี่ยนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของความเร็วรอบของเพลา Torque Transducer ให้เป็นค่าความเร็วรอบโดยนำไปแทนสมการที่ได้จากทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเมื่อไม่มีภาระกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของความเร็วรอบที่เกิดในข้อ 8

14. ค่าที่ได้จากข้อ 12 และ 13 ใช้คำนวณหาค่าความต้องการกำลัง (Power requirement)

15. เขียนกราฟเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลาใบมีดกับทอร์ก และความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลาใบมีดกับความต้องการกำลัง

2.2.2 การวิเคราะห์หาคุณภาพการตัดของชิ้นมันสำปะหลัง

นำชิ้นมันที่ถูกตัด (ชิ้นมันที่ได้จากการทดลองในข้อ 9) ซึ่งจำแนกเป็น 3 ลักษณะ คือ

ก. ชิ้นมันขนาดที่ต้องการ คือ ชิ้นมันที่มีแนวการตัดตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับความยาวชิ้นมันที่ป้อนเข้าเครื่องตัด ซึ่งมีขนาด (กว้าง × ยาว ×หนา) โดยประมาณ คือ1.5 ×1.5 ×(1.5-2.0), 2 ×2×(1.5-2.0) และ 2.5 ×2.5×(1.5-2.0) เซนติเมตร สำหรับหัวมันขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 14 (ก)

ข. ชิ้นมันขนาดยาว คือ ชิ้นมันที่มีความยาวกว่าชิ้นมันขนาดที่ต้องการ (1.5, 1.8 และ 2.0 เซนติเมตร) ซึ่งมีขนาด (กว้าง×ยาว×หนา) โดยประมาณคือ 1.5×4.5×(1.5-2.0), 2×5.0 ×(1.5-2.0) และ 2.5 ×5.5 ×(1.5-2.0) เซนติเมตร สำหรับหัวมันขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 14 (ข)

ค. เศษชิ้นมัน คือ ชิ้นมันที่มีขนาดเล็กมาก และ มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ดังแสดงในภาพที่ 15

วิธีการคำนวณคุณภาพการตัด

$$\text{ชิ้นมันขนาดที่ต้องการ ร้อยละ} = \left(\frac{\text{มวลชิ้นมันขนาดที่ต้องการ}}{\text{มวลชิ้นมันก่อนตัด}} \right) \times 100 \qquad \text{.....(6)}$$

$$\text{ชิ้นมันขนาดยาว ร้อยละ} = \left(\frac{\text{มวลชิ้นมันขนาดยาว}}{\text{มวลชิ้นมันก่อนตัด}} \right) \times 100 \quad \text{.....(7)}$$

$$\text{เศษชิ้นมัน ร้อยละ} = \left(\frac{\text{มวลเศษชิ้นมัน}}{\text{มวลชิ้นมันก่อนตัด}} \right) \times 100 \quad \text{.....(8)}$$

2.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณการสูญเสีย

นำชิ้นมันที่ถูกตัด (ชิ้นมันที่ได้จากการทดลองข้อ 9) มาชั่งมวลรวมทุกชิ้น และคำนวณหาปริมาณสูญเสีย จากสมการที่ (5)

ภาพที่ 14 (ก) ชิ้นมันขนาดที่ต้องการ (ข) ชิ้นมันขนาดยาว

ภาพที่ 15 เศษชิ้นมัน

3. <u>การศึกษาเปรียบเทียบการลดความชื้นของชิ้นมันโดยการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และการหาแบบจำลองสำหรับการลดความชื้นชิ้นมันแบบชั้นบางที่ได้จากการตัดตามแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแนวแกนโดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุน และชิ้นมันที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน</u>

การศึกษาในหัวข้อนี้ประกอบด้วย

3.1 การศึกษาเปรียบเทียบการลดความชื้นของชิ้นมันโดยการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์เป็นเวลา 3 วัน โดยการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแนวแกนโดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุนกับชิ้นมันที่ได้จากการหั่นด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน

3.2 การหาแบบจำลองสำหรับการลดความชื้นชิ้นมันแบบชั้นบางที่ได้จากการตัดตามแนวแกน และแนวตั้งฉากกับแนวแกนโดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุน และชิ้นมันที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน

3.1 การศึกษาเปรียบเทียบการลดความชื้นของชิ้นมันโดยการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์เป็นเวลา 3 วัน โดยการตัดหัวมันสำปะหลังสดตามแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแนวแกนโดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุนกับชิ้นมันที่ได้จากการหั่นด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน

การทดลองลดความชื้นชิ้นมันที่ได้จากการตัดหัวมันสำปะหลังสดสองวิธีคือ การตัดตามแนวแกน และแนวตั้งฉากกับแนวแกน โดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุน และการตัดโดยใช้เครื่องหั่นแบบจานหมุนที่โรงงานผลิตมันเส้นใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยตากชิ้นมันในลักษณะเป็นชั้นบางบนพื้นคอนกรีต และใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว การทดลองดำเนินการระหว่างวันที่ 29 ธันวาคม 2548 ถึงวันที่ 19 มกราคม 2549 โดยการทดลองแต่ละครั้ง คือ หนึ่งซ้ำของการทดลอง ซึ่งมีตัวอย่างชิ้นมันที่ได้จากการตัดที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 13 ตัวอย่าง (ตัวอย่างละ 10 กิโลกรัม) ทำการศึกษาในครั้งที่หนึ่งระหว่างวันที่ 29-31 ธันวาคม 2548 ครั้งที่สองระหว่างวันที่ 7-9 มกราคม 2549 ครั้งที่สามระหว่างวันที่ 11-13 มกราคม 2549 และครั้งที่สี่ระหว่างวันที่ 17-19 มกราคม 2549 โดยใช้ลานตากผลผลิตเกษตรของศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งมีตำแหน่งละติจูด 14 องศา 1 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 99 องศา 58 ลิปดาตะวันออก

1. <u>การเตรียมวัสดุ</u>

1. เก็บตัวอย่างชิ้นมันหลังการตัดด้วยเครื่องตัดแบบจานหมุนจากโรงงานมันสำปะหลังเส้นแบบสุ่ม ปริมาณ 10 กิโลกรัม นำตัวอย่างหลังการตัดไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5-10 °C เพื่อรักษาคุณภาพก่อนนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นในวันถัดไป

2. แบ่งกลุ่มหัวมันสำปะหลังสดซึ่งเป็นตัวอย่างที่จะใช้สำหรับเครื่องตัด เป็น 4 ขนาด คือ หัวมันขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30-40 มิลลิเมตร ขนาดกลาง 40-50 มิลลิเมตร ขนาดใหญ่ 50-60 มิลลิเมตร และแบบคละขนาด ตามลำดับ นำมาตัดด้วยเครื่องตัดตามแนวแกน และเครื่องตัดในแนวตั้งฉากกับแนวแกนที่ระยะห่างระหว่างใบมีด 1.5, 1.8 และ 2.0 เซนติเมตร ขนาดละ 10 กิโลกรัม นำตัวอย่างหลังการตัดไปแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5-10 °C เพื่อรักษาคุณภาพก่อนนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นในวันถัดไป

2. <u>วิธีการทดลอง</u>

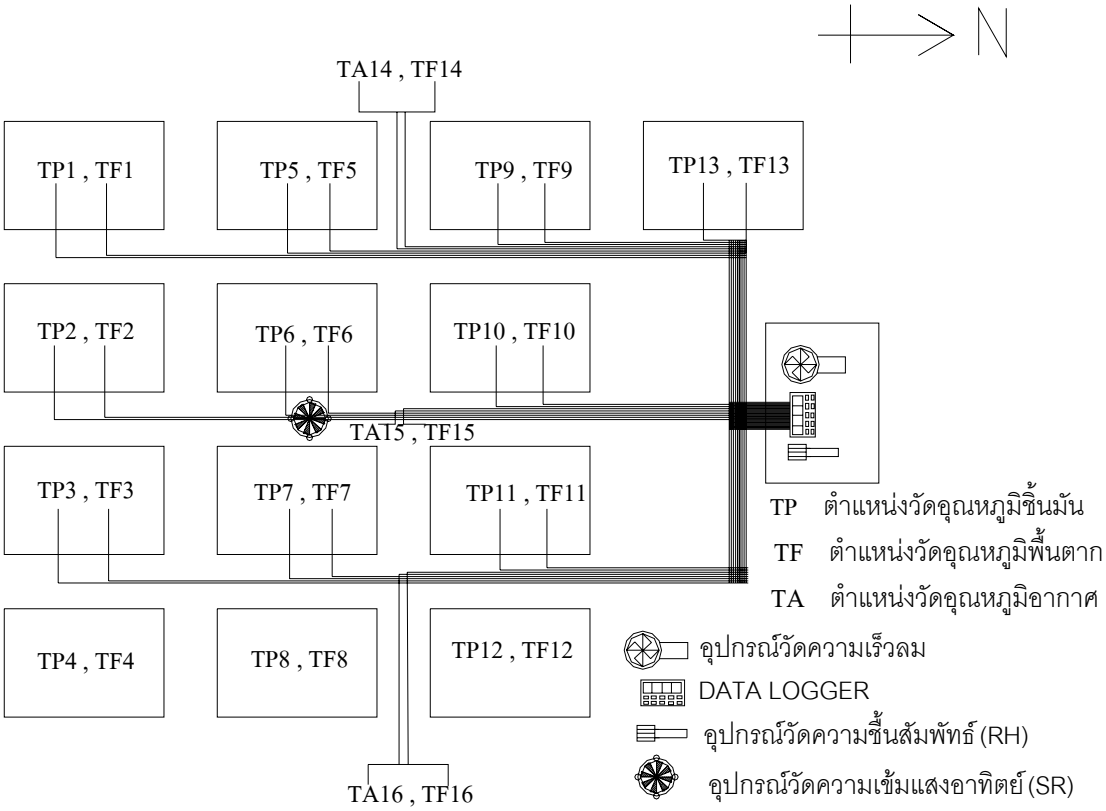
การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของขนาดชิ้นมันที่มีผลต่อความชื้นสุดท้าย (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก) หลังจากตากแห้งบนลานตากเพื่อลดความชื้นต่อเนื่องกันเป็นเวลา 3 วัน โดยใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว โดยศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัยคือ ระยะห่างระหว่างใบมีด และขนาดหัวมันสำปะหลัง ระยะห่างระหว่างใบมีดมี 3 ระยะ คือ 1.5, 1.8 และ 2.0 เซนติเมตร และขนาดหัวมันสำปะหลัง 4 ขนาด คือ หัวมันขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และแบบคละขนาด การทดลองเป็น 3×4 แฟคทอเรียล ทรีตเมนท์คอมบิเนชันแบบสุ่มสมบูรณ์ และทำการทดลอง 4 ซ้ำ ดังนี้

1. กำหนดตารางบนพื้นคอนกรีตขนาด 1x 1.5 เมตร จำนวน 13 ตาราง แต่ละตารางมีระยะห่างกัน 0.5 เมตร

2. ติดตั้งสายเทอร์โมคัพเปิลตรงกลางตารางที่กำหนดจำนวน 2 สาย เพื่อวัดอุณหภูมิพื้นคอนกรีต และอุณหภูมิชิ้นมันสำปะหลัง และที่ตำแหน่งตรงกลางและด้านนอกบริเวณพื้นคอนกรีตที่ใช้ลดความชื้นทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 2 สาย เพื่อวัดอุณหภูมิพื้นคอนกรีต และอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นคอนกรีต ดังแสดงในภาพที่ 16 และการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัพเปิล เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ แสดงในภาพที่ 17

3. กำหนดตำแหน่งของตารางแบบสุ่ม สำหรับชิ้นมันที่ได้จากการตัดแต่ละการทดลอง และนำชิ้นมันที่ได้หลังการตัดมาเกลี่ยบนตารางที่กำหนด ซึ่งการวางตัวของชิ้นมันบนพื้นคอนกรีตในแต่ละตารางจะมีลักษณะเป็นชั้นบางชั้นเดียว ดังแสดงในภาพที่ 18

4. บันทึกข้อมูลความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์บริเวณพื้นที่ที่ใช้ตากแห้งเพื่อลดความชื้น ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ระหว่างเวลา 9.00–15.00 น.



ภาพที่ 16 ตำแหน่งการติดตั้งสายเทอร์โมคัพเปิล เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นคอนกรีตที่ใช้เป็นลานตาก

ภาพที่ 17 การติดตั้งสายเทอร์โมคัพเปิล เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์

ภาพที่ 18 ตารางที่กำหนดแบบสุ่มสำหรับการวางชิ้นมันที่ได้จากการตัด

5. บันทึกข้อมูลอุณหภูมิพื้นคอนกรีตที่ใช้เป็นลานตาก อุณหภูมิชิ้นมันสำปะหลัง และอุณหภูมิอากาศเหนือพื้นคอนกรีต โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเทอร์โมคัพเปิล และ Data logger โดยบันทึกค่าทุก ๆ 10 นาที ระหว่างเวลา 9.00-15.00 น.

6. เก็บตัวอย่างชิ้นมันสำปะหลังในแต่ละตารางบนพื้นคอนกรีตแบบสุ่ม ตารางละ 6 ชิ้น โดยเก็บตัวอย่างของชิ้นมันสองลักษณะคือ ชิ้นมันที่ตัดได้ตามความยาวที่ต้องการ 3 ชิ้น และชิ้นมันขนาดยาว 3 ชิ้น ทุก ๆ 2 ชั่วโมง ระหว่างเวลา 9.00–15.00 น. เพื่อนำมาหาความชื้น โดยชั่งมวลภาชนะบรรจุเปล่า และนำชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างใส่ภาชนะบรรจุ และชั่งมวล บันทึกค่า นำภาชนะบรรจุที่ใส่ชิ้นมันสำปะหลังตัวอย่างเข้าตู้อบ (Drying Oven) อุณหภูมิ 103 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายหลังการอบ นำภาชนะที่บรรจุชิ้นมันสำปะหลังที่อบแล้วใส่ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) และปล่อยให้เย็นตัวลงในอุณหภูมิบรรยากาศ ชั่งมวลภาชนะที่บรรจุชิ้นมันสำปะหลังที่อบ และมีอุณหภูมิปกติแล้ว บันทึกค่าที่ได้ และคำนวณหาค่าความชื้น (มาตรฐานเปียก) ดังสมการที่ 1 (หน้า 24) และคำนวณค่าความชื้น (มาตรฐานแห้ง) ดังนี้

วิธีคำนวณ (ความชื้นมาตรฐานแห้ง)

$$\text{ปริมาณความชื้น ร้อยละ} = \frac{(w-d)}{d}\times 100 \quad \text{..... (9)}$$

เมื่อ w คือ มวลของวัสดุก่อนการอบ เป็นกรัม
d คือ มวลของวัสดุหลังการอบ เป็นกรัม

7. การทดลองตากแห้งเพื่อลดความชื้นชิ้นมัน โดยใช้แสงอาทิตย์ ดำเนินการต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน โดยตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิพื้นคอนกรีต อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิชิ้นมันเป็นตำแหน่งเดียวกัน และเป็นชิ้นมันชิ้นเดียวกันตลอดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละวันใช้ผ้าพลาสติกคลุมชิ้นมันในลานตากทั้งหมด ระหว่างช่วงเวลา 18.30 – 7.00 น. (ของวันรุ่งขึ้น)

8. เมื่อเริ่มการทดลองวันที่สองจะเปิดผ้าพลาสติกที่คลุมชิ้นมันในลานตากออก ตั้งแต่เวลา 7.00 น. และบันทึกข้อมูลระหว่างเวลา 9.00 – 15.00 น. ทำการทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ และนำค่าไปเขียนกราฟเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่ลดลง และเวลาที่ใช้ลดความชื้น

9. ชั่งมวลชิ้นมันหลังการลดความชื้น (ไม่รวมมวลที่นำไปใช้ในการหาค่าความชื้นที่ทำการสุ่มตัวอย่างทุก 2 ชั่วโมง)

10. นำค่าที่ได้จากข้อ 8 ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

3.2 การหาแบบจำลองสำหรับการลดความชื้นชิ้นมันแบบชั้นบางที่ได้จากการตัดตามแนวแกนและแนวตั้งฉากกับแนวแกนโดยใช้เครื่องตัดแบบใบมีดหมุน และชิ้นมันที่ได้จากการตัดด้วยเครื่องหั่นแบบจานหมุน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ทำนายการลดความชื้นชิ้นมันสำปะหลังแบบชั้นบาง ในที่นี้เปรียบเทียบสมการเอมไพริเคิลของ Newton และ Henderson and Pabis (Kavak, 2006) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของวัสดุกับเวลาที่ใช้ลดความชื้น สมการของ Newton แสดงในสมการที่ 10 และสมการของ Henderson and Pabis แสดงในสมการที่ 11

$$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = e^{-kt} \qquad \text{.....(10)}$$

$$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = ae^{-kt} \qquad \text{.....(11)}$$

ในที่นี้ ความชื้นสมดุลไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณเนื่องจากสภาพแวดล้อม (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) ของการทดลองลดความชื้นโดยใช้แสงอาทิตย์มีค่าไม่คงที่จึงทำให้เทอมทางด้านซ้ายซึ่งคือ อัตราส่วนความชื้น เปลี่ยนเป็น $(MR) = \frac{M}{M_i}$ (Yaldyz, 2001) และ (Akpinar, 2006) สมการการลดความชื้นที่หาเป็นสมการรวมการลดความชื้นทั้ง 3 วัน (3 วัน 1 สมการ) และสมการการลดความชื้นในแต่ละวัน (3 วัน 3 สมการ) โดยเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Newton และ Henderson and Pabis ว่าแบบจำลองใดมีความเหมาะสมมากที่สุด

1. <u>วิธีการทดลอง</u>

1. นำค่าที่ได้จากข้อ 8 (จากการทดลองที่ 3.1) คำนวนค่าอัตราส่วนความชื้น $(MR) = \frac{M}{M_i}$

2. แทนค่าข้อมูลการทดลองในสมการ ของ Newton และ Henderson and Pabis โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Origin 7.0) เพื่อคำนวณค่าคงที่ของสมการดังกล่าว ซึ่งจะได้ค่า R^2 ที่แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกิดจากสมการทั้งสองสมการดังกล่าว

3. แทนค่าเวลาในการลดความชื้นซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองลงในสมการของ Newton และ Henderson and Pabis ที่ได้จากข้อ 2 เพื่อคำนวณอัตราส่วนความชื้นที่เป็นค่าทำนาย และ นำค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนายกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์โดยใช้ การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย (simple linear regression) ซึ่งจะได้ค่า R^2 ที่แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนาย และอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง

4. คำนวณค่าไควสแควร์ และค่า Root mean square error (RMSE) ตามการแนะนำโดย Kavak (2006) ดังนี้

วิธีคำนวณ

การวิเคราะห์แบบไควสแควร์ มีประโยชน์สำหรับการตรวจสอบสัดส่วนว่าเป็นไปตามทฤษฎีเพียงใด ดังสมการต่อไปนี้

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2}{N - n} \qquad \text{.....(12)}$$

สำหรับค่า RMSE เป็นดัชนีที่ใช้ระบุความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่คำนวณโดยแบบจำลอง ดังสมการต่อไปนี้

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{pre,i} - MR_{exp,i}\right)^2\right]^{1/2} \qquad \text{.....(13)}$$

เมื่อ MR_{pre} = อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนาย

MR_{exp} = อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง

N = จำนวนตัวอย่างในการทดลอง (ในที่นี้ N = 12)

n = จำนวนค่าคงที่ในสมการแบบจำลอง

สมการของ Newton: n = 1

สมการ Henderson and Pabis: n = 2