

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลและลักษณะของ มันสำปะหลัง เหง้ามันสำปะหลัง การผลิตถ่านอัดแท่ง และการออกแบบการทดลอง รวมถึงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta crantz*) มีชื่อสามัญว่า Cassava, Manihot, Manioc, Tapioca เป็นพืชมีถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ทางทวีปอเมริกาใต้ในแถบประเทศบราซิล มาร์ดากัสกา เปรู จาไมกา และอินโดนีเซีย ปัจจุบันมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยมีพื้นที่เก็บเกี่ยวเป็นอันดับ 3 ของโลก โดยมันสำปะหลังมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลายชนิด ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ผงชูรส สิ่งทอ สารความหวาน ยารักษาโรค แอลกอฮอล์ ไม้อัด เอทานอล กาว เป็นต้น ลักษณะทั่วไปของมันสำปะหลังมีลำต้นและความสูงแตกต่างกันไปตามพันธุ์และตามสภาพแวดล้อม

1. ลำต้น มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มสูง 1-5 เมตร ทุกส่วนของลำต้นมียางสีขาวข้น บางพันธุ์ลำต้นเป็นต้นเดี่ยวไม่มีการแตกกิ่ง แต่บางพันธุ์มีการแตกกิ่ง 2-4 กิ่ง พันธุ์ที่แตกกิ่งมากจะต้นเดี่ยว ส่วนพันธุ์ที่แตกกิ่งน้อยต้นจะสูง จำนวนของการแตกกิ่งจะมีจำนวนแตกต่างกัน จำนวนครั้งที่แตกกิ่งอาจมีมากกว่า 7 ครั้ง ระดับการแตกกิ่งจะมีตั้งแต่ 0-3 ระดับ การแตกกิ่งจะทำมุมกับลำต้นแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพันธุ์ มันสำปะหลังจัดเป็นไม้เนื้ออ่อน ลักษณะภายในของลำต้นเหมือนกับใบเลี้ยงคู่ทั่ว ๆ ไป ลำต้นจะมีก้านติดใบอยู่ แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นใบก็จะหลุดร่วงหล่นไป โดยใบที่อยู่บริเวณโคนต้นจะร่วงก่อนเมื่ออายุ 4 เดือนขึ้นไป เมื่อใบแก่ร่วงจะทำให้เกิดรอยแผลเป็น (Leaf scar) ของก้านใบที่ติดอยู่กับลำต้นซึ่งจะขรุขระมีลักษณะคล้าย ๆ ข้อยู่อรอบลำต้นเป็นรอยนูนเด่นออกมามากหรือน้อยแล้วแต่พันธุ์ ระยะห่างระหว่างรอยแผลเป็น เรียกว่า ระยะห่างของรอยแผลเป็น (Storley length) ระยะห่างของรอยแผลเป็นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ และระยะเวลาที่เจริญเติบโตในช่วงฤดูฝนระยะห่างของรอยแผลเป็นจะยาวหรือห่างเพราะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในฤดูแล้งระยะห่างของรอยแผลเป็นจะสั้นหรือถี่ เนื่องจากมีการเจริญเติบโตน้อย เนื้อบริเวณรอยแผลเป็นขึ้นไป จะมีตา (Bud) ซึ่งเมื่อตัดต้นที่มีตาไปปลูกจะสามารถงอกออกเป็นต้นใหม่ได้ โดยต้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2-6 เซนติเมตร

2. ใบ ใบของมันสำปะหลังเป็นใบเดี่ยว (Single Leaf) รูใบ (Stomata) ส่วนมากจะอยู่ที่ใบ แผ่นใบ (Lamina) จะเว้าเป็นแฉก (Lobe) ลีกรูปมีรูปร่าง และจำนวนแฉกแตกต่างกันไปตามพันธุ์ปกติ 3-9 แฉก ยาว 4-20 เซนติเมตร กว้าง 1-6 เซนติเมตร ใบที่อยู่ใกล้ช่อดอกมีขนาดเล็กและมีจำนวนแฉกน้อยกว่า คือ 1-3 แฉกเท่านั้น รูปทรงของแฉกจะแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์และค่อนข้างคงที่ในแต่ละพันธุ์เส้นกลางใบ (Midrib) จะมีสีแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ก้านใบ (Petioles) ก็จะมีสีแตกต่างกันออกไป ก้านใบยาว 5-30 เซนติเมตร ยาวกว่าแผ่นใบ ก้านใบจะติดอยู่กับลำต้นโดยเรียงวนรอบลำต้น บริเวณยอดจะมีใบอ่อนที่ยังไม่คลี่หุ้มออก

3. ดอก มันสำปะหลังมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในช่อเดียวกัน ดอกตัวผู้จะเล็กกว่าและอยู่ที่ส่วนบนของช่อดอก ดอกตัวผู้มักสีเหลือง 5 อัน สีของกลีบมีตั้งแต่ สีขาว ส้ม เขียว แดง และม่วง แต่ไม่มีกลีบดอก ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ และเกิดอยู่ที่ส่วนล่างของช่อดอก ดอกตัวเมียประกอบด้วยกลีบเหลือง 5 อัน ไม่มีกลีบดอก ดอกตัวเมียจะพร้อมผสมพันธุ์และบานก่อนดอกตัวผู้ 7-10 วัน โดยดอกตัวเมียจะเริ่มบานประมาณเวลา 11.30-12.30 นาฬิกา ดอกตัวเมีย จะมีระยะรอรับการผสมประมาณ 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มบานส่วนละอองเกสรตัวผู้สามารถเก็บไว้ได้นานถึง 6 เดือน การผสมเกสรตามธรรมชาติจะเกิดจากลมและแมลงพาเกสรไปตกบนก้านเกสรของดอกตัวเมีย ทำให้เกิดการผสมเกสร หลังจากการผสมเกสรประมาณ 8-9 ชั่วโมง จึงเกิดการผสมพันธุ์

4. ผลและเมล็ด หลังการผสมพันธุ์แล้วรังไข่จะเติบโตเป็นผล ผลมันสำปะหลังเป็นแบบแคปซูล (Capsule) อาจจะมีหรือไม่มีขรุขระ ผลที่โตเต็มที่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0-1.5 เซนติเมตร ช่องรังไข่ (Locule) ภายในประกอบด้วย 3 ช่อง แต่ละช่องรังไข่มีเมล็ดอยู่ภายใน 1 เมล็ด แต่ละผลมี 6 ปีก ผลจะแก่เต็มที่หลังจากการผสมแล้วประมาณ 3 เดือน เมื่อผลแก่เต็มที่เปลือกผลจะแตกออกจากกันตามความยาวของผล จากนั้นอีก 2-3 วัน ผลจะแตกและดีดเมล็ดกระจายออกไป เมล็ดมันสำปะหลังมีสีน้ำตาลดำ หรือสีเทา คล้ายกับเมล็ดละหุ่งแต่เล็กกว่ามีขนาดกว้างประมาณ 0.75 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร และยาว 1 เซนติเมตร เมื่อเมล็ดแตกออกจากผลใหม่ๆจะมีระยะพักตัวประมาณ 60 วัน การปลูกด้วยเมล็ดมักไม่นิยมใช้ เพราะเมล็ดในแต่ละเมล็ดมีความแตกต่างทางพันธุกรรมสูง

5. รากและหัว มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์มีระบบรากเป็นแบบพิเศษ (Adventitious Root System) รากแตกออกมาจากส่วนปลายของรอยตัดและรากเกิดจากส่วนต่าง ๆ ของต้นได้ คือ แคมเบียม (Cambium) ตารอยแผลเป็น รากมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากจริง และรากสะสม รากทั้ง 2 ชนิด จะเจริญเติบโตลงไปในดินโดยรากจริงจะเจริญเติบโตไปในทางลึกมากกว่าด้านข้าง ทำหน้าที่ดูดน้ำและอาหารเลี้ยงลำต้นและเป็นที่ยึดเหนี่ยวลำต้นไว้ด้วย ส่วนรากสะสมจะเจริญเติบโตไปในทางด้านข้างรอบ ๆ ต้น

เป็นส่วนใหญ่ มักเกิดบริเวณโคนต้นในรัศมีประมาณ 60 เซนติเมตร การลงหัวลงไปในดินมีทั้งตามแนวตั้ง ตามแนวราบและแบบไม่เป็นระเบียบเมื่อมันสำปะหลังอายุได้ประมาณ 2 เดือนหลังการปลูก จะมีการสะสมอาหารในรูปของแป้งไว้ที่รากสะสมเหล่านี้ซึ่งเกิดจากการสะสมแป้งในเซลล์พาราเรณิม (Parenchyma Cell) เรียกรากสะสมนี้ว่า หัว และรากสะสมแป้งนี้จะค่อยๆ ขยายใหญ่ขึ้นตามอายุ โดยทั่วไปในต้นมันสำปะหลังต้นหนึ่งๆ จะมีรากสะสมอาหารหรือที่เรียกว่าหัวนี้อยู่ 5-20 หัวต่อต้นจำนวนหัวจะคงที่ไม่เพิ่มขึ้นอีกตลอดชั่วอายุการเก็บเกี่ยว หัวมันสำปะหลังจะเป็นที่สะสมแป้งเท่านั้น ไม่มีตาและไม่สามารถใช้ขยายพันธุ์ได้ หัวมันสำปะหลังมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-15 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับอายุและสภาพแวดล้อม สีเปลือกของหัวมีตั้งแต่สีขาวน้ำตาลและน้ำตาลอ่อน น้ำหนักของหัวอาจมีน้ำหนักมากกว่า 10 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ และสภาพแวดล้อม เปอร์เซ็นต์ของแป้งจะมี 15-40 เปอร์เซ็นต์ มันสำปะหลังที่ปลูกโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดหวานและชนิดขม ที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมพันธุ์ที่ปลูกกันมากเป็นพันธุ์พื้นเมืองที่นำเข้ามาจากประเทศมาเลเซีย และได้มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายจนได้มีการปรับปรุงพันธุ์เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน

1) ชนิดหวาน (Sweet Type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำไม่มีรสขม ใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งเนื้อร่วน นุ่ม และชนิดเนื้อแน่น เหนียว ในประเทศไทยไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด ส่วนใหญ่จะปลูกรอบ ๆ บ้าน หรือตามร่องสวน เพื่อบริโภคเองในครัวเรือนหรือเพื่อจำหน่ายตามตลาดสดในท้องถิ่นในปริมาณไม่มาก

2) ชนิดขม (Bitter Type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคสูง เป็นพิษและมีรสขมไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่จะใช้สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ เช่น แป้งมัน มันอัดเม็ด แอลกอฮอล์ เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ตลอดปี โดยมีการปลูกได้หลายวิธี เช่น การปลูกแบบวางนอน (ฝัง) ปัจจุบันปลูกกันน้อยมาก และการปลูกแบบปัก โดยเกษตรกรปลูกบนสันร่องที่ไถไว้แล้ว วิธีนี้เกษตรกรปลูกกันมาก ซึ่งระยะการปลูกที่เกษตรกรใช้คือ ใช้ระยะแถว 70-100 เซนติเมตร ระยะหลุม 50-100 เซนติเมตร ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกมันสำปะหลัง ควรมีความยาว 15-20 เซนติเมตร และท่อนพันธุ์ควรจะได้จากต้นมันสำปะหลังที่มีอายุตั้งแต่ 8 เดือนขึ้นไป แต่ไม่ควรเกิน 18 เดือน

การกำจัดวัชพืชเป็นสิ่งสำคัญสำหรับมันสำปะหลัง และสำหรับพืชหัวในเขตเมืองร้อนผลผลิตจะลดลงมากที่สุดเมื่อไม่มีการกำจัดวัชพืช ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการกำจัดวัชพืชที่เกี่ยวข้องในการบำรุงรักษาต้นมันสำปะหลัง ซึ่งประกอบด้วย 2 ลักษณะ คือ

1) การกำจัดวัชพืชโดยวิธีกล เริ่มตั้งแต่การใช้แรงงานคนตัดหรือถากวัชพืช ใช้แรงงานสัตว์คือ โค กระบือ เข้าไถพรวนระหว่างร่อง ซึ่งกระทำได้จนต้นมีอายุถึง 3-4 เดือน หรือใช้เครื่องจักร คือ รถไถเดินตาม

หรือแทรกเตอร์ติดเครื่องพรวนระหว่างแถว ซึ่งจะใช้ได้เมื่อต้นมันสำปะหลังมันอายุไม่เกิน 2 เดือน

2) การกำจัดวัชพืชโดยสารเคมี การกำจัดวัชพืชแบบนี้นิยมใช้เครื่องพ่นสารเคมี โดยมีให้เลือกหลายลักษณะ ขึ้นกับความต้องการของเกษตรกร สภาพและขนาดของพื้นที่เพาะปลูก มีทั้งแบบสะพายใช้มือโยกฉีด ติดเครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง หรือแบบติดท้ายแทรกเตอร์

การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ซึ่งใช้แรงงานและเสียเวลาในการดำเนินงานมาก และทำให้เกิดความเมื่อยล้าขึ้นได้ง่าย โดยรายละเอียดการเก็บเกี่ยวมีดังนี้

1) ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว อายุการเก็บเกี่ยวของมันสำปะหลังสามารถยืดอายุเก็บเกี่ยวได้ พบว่ามันสำปะหลังจะเริ่มมีหัวเมื่ออายุประมาณ 8 เดือน เป็นต้นไป ซึ่งอายุเหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 12 เดือน จะให้ผลผลิตดีกว่าการเก็บเกี่ยวเร็วหรือช้ากว่านี้ หรือถ้ามีการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังเมื่ออายุมากกว่า 12 เดือน จะได้ผลผลิตสูงขึ้น แต่จะทำให้การปลูกในรอบใหม่ไม่ตรงกับฤดูกาลที่เหมาะสม หัวมันจะมีขนาดใหญ่ และมีเส้นใยมาก โดยที่ผลผลิตหัวมันสดเมื่อเก็บเกี่ยวตามอายุ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตหัวสดของมันสำปะหลัง เมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุต่าง ๆ

อายุเก็บเกี่ยว (เดือน)	ผลผลิตหัวมันสด (ตันต่อไร่)
6	1.2
8	1.9
10	2.9
12	4.1
14	6.2
16	7.2

การเสื่อมคุณภาพของหัวมันสำปะหลัง มีปัจจัยที่มีอิทธิพลหลายประการ ได้แก่ พันธุ์สภาพแวดล้อม ขณะอยู่ในแปลง ลักษณะเนื้อดิน และความอัดแน่นของดินในแปลงปลูก วิธีเก็บเกี่ยว และ สภาพแวดล้อม ภายหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อมีการขุดแล้วหัวมันสำปะหลังมีการเสื่อมคุณภาพเร็วมาก ถ้ายังเก็บไว้นานก็ยิ่งเกิดความเสียหายทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ทั้งนี้ไม่ควรเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังไว้เกิน 4 วัน ซึ่งรายละเอียดการเน่าเสียและเปอร์เซ็นต์แบ่งเมื่อมีอายุการเก็บรักษาต่าง ๆ กัน แสดงตามตารางที่ 2.2

## 2. วิธีเก็บเกี่ยว

ในประเทศไทยมันสำปะหลังสามารถเก็บเกี่ยวได้ 2 ช่วงคือ ช่วงระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม และช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ วิธีเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังที่เกษตรกรปฏิบัติกันมีอยู่ 2 วิธีคือ การเก็บเกี่ยวโดยแรงงานคน และเครื่องมือทุ่นแรง การเก็บเกี่ยวโดยแรงงานคนยังมีปฏิบัติสืบทอดกันมาจนถึงปัจจุบัน ในส่วนของการใช้เครื่องมือทุ่นแรงช่วยในการเก็บเกี่ยวก็เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในบางพื้นที่ โดยการใช้เครื่องมือขุดมันสำปะหลังแทนการขุดหรือถอนด้วยแรงงานคน ซึ่งจะทำให้การขุดเป็นไปอย่างรวดเร็วและประหยัดพลังงาน วิธีการเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคนที่นิยมปฏิบัติทั่วไปในปัจจุบันสามารถจำแนกขั้นตอนการทำงานออกได้คือ ขั้นตอนการตัดต้น การขุดหรือถอน รวบรวมกอง ตัดหัวมันออกจากเหง้า เก็บหัวมันใส่เข่ง และลำเลียงขึ้นรถบรรทุก ซึ่งการเก็บหัวมันใส่เข่งและลำเลียงขึ้นรถบรรทุก ส่วนวิธีการเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องมือทุ่นแรงได้เข้ามามีบทบาทในระบบการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะการขุดเนื่องจากช่วงที่ดินมีสภาพแข็ง ทำให้การขุดด้วยจอบหรือถอนด้วยมือเป็นไปด้วยความยากลำบาก ดังนั้นเครื่องขุดหัวมันสำปะหลังจึงเป็นที่นิยมใช้กันในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ดินมีสภาพแข็งเนื่องจากมีส่วนประกอบของดินเหนียวเป็นส่วนผสมอยู่มาก เช่น จังหวัดนครราชสีมา สระแก้ว ชัยภูมิ เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 อายุการเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเน่าเสีย และเปอร์เซ็นต์แป้ง

อายุเก็บรักษา (วัน)	% เน่าเสีย	% แป้ง
0	0	23.84
2	0.61	23.01
4	8.26	20.08
6	27.00	10.89
8	4.012	7.12

## การใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ในการแปรรูปในอุตสาหกรรมแป้ง และอาหารสัตว์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังสามารถรับประทานในรูปของอาหารชนิดต่าง ๆ การใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลังมีรายละเอียด ดังนี้

### 1. การใช้ประโยชน์โดยตรง

1.1 หัวมันสำปะหลังสด ใช้เป็นอาหารของมนุษย์ โดยรับประทานสด ต้ม นึ่ง ย่างอบ เชื่อม และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังใช้เป็นอาหารสัตว์ในรูปของมันเส้น และมันอัดเม็ด ใช้เป็นวัตถุดิบป้อนโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 ใบมันสำปะหลัง ใช้เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์

1.3 ลำต้น ใช้เป็นท่อนพันธุ์ และอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง

1.4 เมล็ด ใช้สกัดน้ำมันในอุตสาหกรรมยา

### 2. การใช้ประโยชน์ผ่านการแปรรูป

นอกจากมันสำปะหลังจะใช้ประโยชน์เพื่อบริโภคเป็นอาหารสัตว์และมนุษย์แล้ว ยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมผลิตสารให้ความหวาน อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น ซึ่งมันสำปะหลังร้อยละ 50 จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

## สถานการณ์การผลิตของประเทศไทย

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่สำคัญของโลกชนิดหนึ่ง ภูมิภาคที่นิยมบริโภค ได้แก่ แอฟริกา ละตินอเมริกาและแคริบเบียน รวมทั้งบางส่วนของเอเชีย ดังนั้น เกษตรกรในหลายประเทศจึงนิยมปลูกมันสำปะหลังกันอย่างแพร่หลาย เพราะนอกจากจะใช้บริโภคได้แล้ว มันสำปะหลังส่วนเกินยังสามารถแปรรูปเป็นสินค้าอื่นที่ทำรายได้ให้เกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง โดยเฉพาะเมื่อเทคนิคการปลูกได้รับการพัฒนามากขึ้น มีผลผลิตส่วนเกินมากขึ้น มันสำปะหลังจึงกลายเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำรายได้เข้าประเทศได้เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะไทยที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในรูปแบบต่าง ๆ เช่น มันเส้นและมันอัดเม็ดและแป้งมันมากกว่าการใช้ภายในประเทศที่เป็นลักษณะโดยทั่วไปของประเทศผู้ผลิตรายสำคัญของโลก อาทิ ไนจีเรีย บราซิล และอินโดนีเซีย เป็นต้น มันสำปะหลังจึงกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในหลายประเทศ

การผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทยในช่วงปี 2551-2552 มีปริมาณการผลิต 29.15 ล้านตันต่อปี มี

พื้นที่เก็บเกี่ยวประมาณ 8.01 ล้านไร่ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ภาคกลาง และภาคเหนือตามลำดับ มีผลผลิตเฉลี่ยต่อปีประมาณ 3.64 ตันต่อไร่ แม้ไทยเป็นประเทศผลิตมันสำปะหลังรายใหญ่เป็นอันดับ 3 ของโลก รองจากประเทศบราซิลและไนจีเรีย แต่ไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก และทำรายได้เข้าประเทศในปี 2551 ถึง 36,008 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของไทยคือ มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง คิดเป็นร้อยละ 74 และ 25 ของปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังทั้งหมด โดยตลาดส่งออกมันอัดเม็ดที่สำคัญของไทย ได้แก่ สหภาพยุโรป โดยเฉพาะประเทศ เนเธอร์แลนด์ โปรตุเกสและสเปนรวมถึงเกาหลีใต้ ส่วนตลาดนอกสหภาพยุโรปนั้นเป็นตลาดสำหรับแป้งมันสำปะหลังซึ่งประกอบด้วย ได้แก่ ญี่ปุ่น ไต้หวัน มาเลเซีย อินโดนีเซียและจีน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561)

### เหง้ามันสำปะหลัง

เหง้ามันสำปะหลังเป็นส่วนที่อยู่เหนือรากของลำต้นมันสำปะหลัง โดยจะรวมถึงส่วนโคนของลำต้นมันสำปะหลังอีกประมาณ 30 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2.1 คนและสัตว์กินไม่ได้ ชาวไร่มันเก็บเกี่ยวหัวมันสด ลำต้นที่สมบูรณ์จะถูกเก็บไว้เป็นพันธุ์ ดังนั้นเหง้ามันพร้อมเศษลำต้นกระจายอยู่ในไร่ เหง้าและลำต้นมันสำปะหลังถูกทิ้งหลังเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง พบว่าปริมาณเหง้าและลำต้นมันสำปะหลังที่ถูกทิ้งไว้ในไร่มันสำปะหลังมีอัตราส่วนต่อผลผลิตอยู่ที่ 0.20 ของผลผลิต หรือประมาณ 19.6 ล้านตันต่อปี เหง้าและลำต้นมันสำปะหลังจะถูกกองทิ้งไว้ในไร่มันสำปะหลังและทำการเผาทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์ พลังงานความร้อนจากเหง้ามันสำปะหลัง มีค่าประมาณ 14.60 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม (สาวิตรี จันทรานูรักษ์ และธราพงษ์ วิทิตสานต์, 2543) ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีคุณค่าและควรจะนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่ง เมื่อนำไปเผาเป็นให้เป็นถ่าน จะมีค่าความร้อนสูงถึง 6,101.67 แคลอรีต่อกิโลกรัม สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านอัดแท่ง (กิตติพงษ์ าลาน และคณะ, 2551)



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของเหง้ามันสำปะหลัง

## เชื้อเพลิงอัดแท่ง

เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำเอาเศษถ่าน เศษถ่านหิน หรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่าง ๆ มาอัดเป็นแท่งเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของเชื้อเพลิงจากวัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก ๆ ประโยชน์ที่ได้จากการนำวัสดุเหลือทิ้งมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้น เป็นวิธีการช่วยแก้ปัญหาในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สะดวกต่อการเก็บ การนำมาใช้ การขนส่งและยังเป็นการเพิ่มปริมาณความร้อนต่อหน่วยปริมาณ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือนและอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงแข็งได้ เชื้อเพลิงอัดแท่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เชื้อเพลิงเขียว และถ่านอัดแท่ง

เชื้อเพลิงเขียว เป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาอัดขึ้นรูปให้มีความหนาแน่นมากขึ้นและมีลักษณะเป็นแท่งเหมาะแก่การใช้งาน สามารถจุดติดไฟและลุกได้นาน พบว่าไผ่ฝอยทะเลลายปาล์มอัดแท่งนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีกว่าไผ่ฝอยทะเลลายปาล์มถึงแม้ว่าค่าความร้อนจะใกล้เคียงกันก็ตาม เป็นเพราะการอัดแท่งทำให้เชื้อเพลิงมีความหนาแน่นสูงขึ้น เมื่อจุดติดไฟแล้วจะเผาไหม้ให้ความร้อนได้ยาวนานกว่า แต่ถ้าใช้ไผ่ฝอยทะเลลายปาล์มซึ่งมีความหนาแน่นต่ำเป็นเชื้อเพลิงจะมอดเร็ว ต้องเติมเชื้อเพลิงบ่อย ๆ ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและแรงงาน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงเขียวจะพบว่าใกล้เคียงกับฟืนไม้แต่ต่ำกว่าถ่านไม้ การใช้งานแท่งเชื้อเพลิงเขียวจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนั้น ในช่วงแรกจะเกิดควันมากทำให้ภาชนะที่นำมาใช้เกิดคราบเขม่าควัน จึงควรมีการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งโดยการนำไปเผาให้เป๋นถ่าน เนื่องจากการผลิตในรูปของเชื้อเพลิงเขียวทำให้จำกัดการใช้อยู่ในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือนที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในครัวเรือนในชุมชนที่หนาแน่นเพราะมีควันมากในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงเขียวนั้นยังด้อยกว่าฟืนไม้และถ่านไม้ทั้งในด้านของค่าความร้อนที่ต่ำกว่า และปริมาณเถ้าที่มากกว่า (กุลล ประกอบการ, 2545) จึงได้มีการผลิตถ่านอัดแท่งโดยการอัดเศษวัสดุให้เป็นแท่งถ่าน แล้วนำแท่งวัสดุดังกล่าวไปเผาเช่นเดียวกับการเผาถ่านตามกรรมวิธีทั่วไป หรือ โดยการเผาเศษวัสดุให้เป็นถ่านดำก่อนแล้วจึงนำเศษถ่านดำมาอัดเป็นแท่ง เนื่องจากเศษวัสดุบางชนิดมีลักษณะเป็นชิ้นๆ และแข็งทำให้ไม่สามารถอัดขึ้นรูปให้เป็นแท่งได้ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น โดยอาจเผาเศษวัสดุเหล่านี้ด้วยเตาเผาถ่านที่อุณหภูมิประมาณ 250 ถึง 450 องศาเซลเซียส เมื่อได้ถ่านดำตามต้องการจึงนำไปตีป่นด้วยเครื่องสับให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปผสมกับตัวประสาน แล้วจึงนำไปอัดเป็นแท่งตามรูปแบบที่ต้องการต่อไปสถานะภาพการผลิตถ่านอัดแท่งเป็นดังนี้ (กรมส่งเสริมพลังงาน, 2543)

### 1. ภาวะตลาดในประเทศ

การผลิตถ่านอัดแท่งในประเทศไทยมีผู้ประกอบการที่ทำการผลิตถ่านอัดแท่งใน อุตสาหกรรม



จำนวนทั้งสิ้น 62 ราย โดยแบ่งเป็นผู้ประกอบการขนาดกลาง 2 รายและผู้ประกอบการขนาดเล็กจำนวน 60 รายมีผู้นำเข้าในอุตสาหกรรมถ่านอัดแท่งจำนวน 19 ราย และผู้ส่งออกถ่านอัดแท่ง จำนวน 36 ราย (กรมโรงงาน,2545) ราคาจำหน่ายสินค้าถ่านอัดแท่งอยู่ที่กิโลกรัมละ 12-15 บาท บรรจุใส่กระสอบพลาสติกน้ำหนัก 30 กิโลกรัมต่อถุง ตลาดถ่านอัดแท่งภายในประเทศมีความต้องการเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงการประกอบอาหาร ปิ้งย่าง ในภัตตาคารใหญ่ ประกอบกับปัจจุบันมีการเกิดขึ้นของร้านอาหารประเภทย่างและปิ้ง ในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด การเล็งเห็นอันตรายจากการใช้แก๊สในการย่างหรือปิ้งอาหาร ดังนั้นจึงมีการใช้ถ่านในการประกอบอาหารเพิ่มมากขึ้นตามมาด้วย

## 2. ภาวะตลาดต่างประเทศ

ประเทศไทยมีการส่งออกสินค้าถ่านอัดแท่งไปยังตลาดโลก คิดเป็นมูลค่า 22.21 ล้านบาท และ 47.22 ล้านบาท ปี 2544 ซึ่งมีอัตราการขยายตัวในการส่งออกเท่ากับ 63.02 ล้านบาท และ 112.61 ล้านบาทตามลำดับ โดยมีตลาดส่งออกสินค้าประเทศไทยดังต่อไปนี้ ประเทศญี่ปุ่น เกาหลีใต้ ไต้หวัน ฮองกง มาเลเซีย

## กระบวนการในการผลิตถ่านอัดแท่ง

วัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ต้องผ่านการแปรรูปให้เหมาะสมก่อน โดยมีกระบวนการแปรรูปดังนี้ การผลิตถ่าน การบดย่อย การผสม การอัดเป็นแท่ง การทำให้แห้ง

### 1. การผลิตถ่าน

ถ่าน คือ ไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ภายในบริเวณที่มีอากาศอยู่เบาบาง หรือกระบวนการแยกสารอินทรีย์ภายในไม้ในสภาวะที่มีอากาศอยู่น้อยมาก เมื่อมีการให้ความร้อนระหว่างกระบวนการจะช่วยกำจัดน้ำ น้ำมันดิน และสารประกอบอื่น ๆ ออกจากไม้ ซึ่งถ่านที่ได้หลังการผลิตจะมีปริมาณของคาร์บอนสูงและไม่มี ความชื้นทำให้ปริมาณพลังงานในถ่านสูง โดยมีค่าเป็นสองเท่าของปริมาณพลังงานในไม้แห้ง สำหรับกระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์ในเนื้อไม้เปลี่ยนรูปเป็นถ่านเรียกว่าคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ซึ่งสามารถแยกกระบวนการดังกล่าวออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ การเผาไหม้ (Combustion) เป็นกระบวนการที่ต้องการปริมาณออกซิเจนจำนวนมากระหว่างการเกิดคาร์บอนไนเซชัน โดยให้ความร้อนกับวัสดุภายในเตาเผาถ่าน ในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นปฏิกิริยาประเภทดูดความร้อน เพื่อไล่ความชื้นออกจากเนื้อวัสดุ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้อุณหภูมิจนถึง 270 องศาเซลเซียส ความชื้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งหมดไปซึ่งสังเกตได้จากปริมาณไอน้ำสีขาวที่ เกิดขึ้นจนหนาที่บ ส่วนในขั้นตอนที่ 3 ของกระบวนการจะเป็นปฏิกิริยาประเภทคายความร้อนโดยเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 250 - 300 องศาเซลเซียส ในระหว่างปฏิกิริยาคายความร้อนจะเกิดก๊าซต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) นอกจากนี้ยัง

เกิดการระเหยของ เมทิลแอลกอฮอล์ และสารพวกน้ำมันดิน ในขั้นตอนนี้องค์ประกอบที่ระเหยได้ที่ยังคงอยู่ในกระบวนการจะถูกขับออกไป ซึ่งจะทำให้ปริมาณคาร์บอนของถ่านเพิ่มขึ้น สำหรับในขั้นตอนที่ 4 เป็นการนำผลิตภัณฑ์ถ่านมาทำให้เย็น ซึ่งจะใช้เวลาหลายชั่วโมงขึ้นอยู่กับชนิดของเตาเผาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของถ่านที่ผู้ใช้อยู่รับได้ คือ ต้องมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 70 เปอร์เซ็นต์ สารระเหยได้ต้องน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ซัลเฟอร์ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่นประมาณ 0.25 - 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งถ่านจะมีคุณสมบัติเปราะปานกลาง (กัญญา เม้ามีทรัพย์, 2544)

## 2. การบดย่อย (Grinding)

ผงถ่านที่นำมาใช้ในการอัดแท่งจะต้องละเอียดพอที่จะนำไปขึ้นรูปได้ดี ขนาดของผงถ่านที่ใช้ นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านและวิธีการทำผงถ่านให้เป็นผง วิธีการบดย่อยสามารถทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการใช้เครื่องบด เครื่องสับและเครื่องปั่นวัสดุ หรือวิธีที่ง่ายที่สุดก็คือการบดด้วยมือโดยอาจใช้ครกและสากเป็นอุปกรณ์ซึ่งวิธีนี้ต้องการแรงงานมากและใช้เวลานาน จากการอัดขึ้นรูปผงถ่านหินขนาดต่าง ๆ พบว่าในปริมาณตัวประสานที่เท่ากันผงถ่านหินขนาดเล็กมีแนวโน้มในการขึ้นรูปได้ดีกว่าและสามารถรับน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดแท่งแตกหักได้ดีกว่าผงถ่านหินขนาดใหญ่ ซึ่งจากการศึกษาของ จุฑามาศ (2547) กล่าวว่า ถ่านแห้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบดจะไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้ แต่พบว่า ถ่านที่บดผ่านตะแกรงขนาด 15 มิลลิเมตรนั้นเมื่อนำ มาอัดขึ้นรูปจะสามารถคงรูปอยู่ได้ แต่มีลักษณะผิวไม่เรียบ และมีรอยแยกตลอดแท่ง ดังนั้น ในการทดลองจึงนำผงถ่านที่มีความละเอียด 15 มิลลิเมตร และต่ำกว่ามาอัดขึ้นรูป ซึ่งอาจทำให้ลักษณะผิวที่ไม่เรียบ และมีรอยแยกนั้นลดลงได้

## 3. การผสม (Mixing)

การผสมเป็นการผสมวัสดุที่ถูกบดย่อยแล้วกับสารที่จะช่วยประสานวัสดุให้ติดกันง่ายขึ้น ลักษณะของตัวประสานที่ดีนั้น นอกจากจะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคสูงแล้ว ความชื้นต้องมากพอ และสามารถปกคลุมพื้นที่ผิวของถ่านได้ทั่วถึง ในการทำถ่านอัดแท่งจากลิกไนท์อบ พบว่าลิกไนท์เมื่อผ่านกรรมวิธีอบแล้วจะขาดคุณสมบัติในการจับตัวเมื่อได้รับแรงกด ดังนั้นจึงต้องมีตัวประสานช่วย ซึ่งในต่างประเทศใช้ Coal tars มาผสม สำหรับประเทศไทยได้ทดลองใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเป็นตัวประสาน พบว่ากากน้ำตาลและแป้งเปียกเป็นตัวประสานที่ดี ถ่านอัดแท่งที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวเชื่อมประสานนั้นมีค่าความร้อนสูงกว่า และมีปริมาณเถ้าต่ำกว่าถ่านอัดแท่งที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวเชื่อมประสาน แต่ข้อเสียของการใช้กากน้ำตาลคือ ต้องใช้ปริมาณมากกว่าและเมื่อทิ้งไว้ในอากาศชื้นๆ จะดูดความชื้นจากในอากาศเข้าไปทำให้อ่อนตัวลง (วัฒนา เสถียรสวัสดิ์, 2530) อย่างไรก็ตามยังมีวัสดุอีกมากมายสามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานได้ ซึ่งในแต่ละท้องถิ่นก็จะมีการใช้วัสดุที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการที่จะเลือกวัสดุใดเป็นตัวประสานนั้นก็ควรพิจารณาถึงคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ราคาถูก มีแรงยึดเกาะที่ดี ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นขณะเผาไหม้ และ

สามารถหาได้ง่ายสำหรับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ไม่ได้ใช้ตัวเชื่อมประสานใด ๆ เมื่ออัดเสร็จแล้วต้องนำไปใช้เลย เพราะมีความเปราะมาก ทำให้หักเป็นท่อน ๆ และปนกระจายได้ง่าย จึงไม่สามารถเก็บรักษาไว้นาน ๆ

#### 4. การอัดแท่ง (Compaction)

ขั้นตอนในการอัดส่วนผสมเป็นแท่งนี้เป็นขั้นตอนในการกำหนดรูปร่างและความหนาแน่นของถ่านอัดแท่ง โดยที่ขนาดและรูปร่างนั้นจะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้งาน และความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งวิธีที่ง่ายที่สุดก็คือการใช้มือปั้นและอัดส่วนผสมให้เป็นแท่ง แม้ว่าแรงอัดด้วยวิธีนี้จะไม่มาก วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนั้นประกอบด้วยคุณสมบัติที่เป็นปัญหาต่าง ๆ ทำให้จำเป็นต้องมีการลดขนาดเพื่อเพิ่มความหนาแน่น และให้ได้รูปร่างที่เหมาะสม โดยเรียกกระบวนการนี้ว่าการเพิ่มความหนาแน่น (Densification) (Bhattacharya, 1990) การเพิ่มความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งเป็นการเพิ่มค่าความร้อนต่อปริมาตรของวัตถุดิบ ง่ายต่อการขนส่งและจัดเก็บ และเพื่อให้ได้รูปร่างและคุณภาพที่เป็นมาตรฐาน การเพิ่มความหนาแน่นวิธีการอัดแท่ง การอัดก้อนวัสดุต่าง ๆ นั้น อาจแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

##### 4.1 การอัดโดยใช้ความร้อนเข้าช่วย

การอัดร้อนและใช้แรงอัดสูง เหมาะสำหรับวัสดุที่มีลิกโน-เซลลูโลส เช่น เศษไม้ แกลบ ขี้เลื่อย (Hot and High Pressure Densification) เป็นวิธีที่ใช้อย่าง กว้างขวาง ปัจจัยที่มีผลต่อการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่

1) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 6-12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ถ้าความชื้นเกิน 12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จะทำให้เกิดการระเบิดที่กระบอกอัด เพราะน้ำในวัสดุเมื่อโดนความร้อนจะกลายเป็นไอ เกิดการขยายตัวในก้อนเชื้อเพลิง

2) ขนาดของวัตถุดิบ (Particle Size) ขนาดที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 48-100 Mesh ขนาดยิ่ง ละเอียดพื้นที่ผิวในการยึดตัวมากให้การอัดแท่งสะดวก

3) แรงดัน (Pressure) ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามแรงดันที่ใช้

4) อุณหภูมิ (Temperature) วัสดุที่ใช้ใช้ในการอัดแท่งก่อนที่จะป้อนเข้าเครื่องอัด หากทำให้ร้อนที่ 200-225 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันลง 2 เท่า

4.2 การอัดโดยไม่ใช้ความร้อน หรือการอัดเย็นและใช้แรงอัดต่ำ (Cold and Low Pressure Densification) แยกได้ 2 แบบ คือ แบบใช้ตัวประสาน และไม่ใช้ตัวประสาน

1) แบบใช้ตัวประสาน

2) แบบไม่ใช้ตัวประสาน ใช้กับวัสดุชีวมวลที่เน่าเปื่อยหรือผ่านการหมักแล้วเท่านั้น และมีความชื้นร้อยละ 50-60

## 5. การตากแห้ง

เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ ยังมีปริมาณความชื้นอยู่สูง จึงต้องไปตากให้แห้งเพื่อเป็นการลดความชื้นให้ไม่เกินร้อยละ 8 มาตรฐานแห้ง และเพื่อทำให้เชื้อเพลิงแข็งตัวเกาะกันแน่น ซึ่งวิธีที่ง่ายและถูกที่สุด สำหรับการทำให้แห้งก็คือการนำไปผึ่งแดดประมาณ 3 - 4 วัน แต่หากใช้เป็นห้องอบโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ก็จะช่วยลดระยะเวลาในการทำงานให้สั้นลง นอกจากนี้เราอาจใช้ความร้อนจากเตาเผามาไล่ความชื้นจากแท่งถ่านให้แห้ง ข้อควรระวังสำหรับวิธีนี้ก็คือต้องรักษาอุณหภูมิภายในห้องอบไม่ให้สูงเกินกว่าที่ทำให้ถ่านลุกไหม้ สำหรับเวลาที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของส่วนผสมและชนิดของห้องอบที่ใช้ การวิเคราะห์สมบัติทางเชื้อเพลิง วิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM ดังนี้

### 1. คุณสมบัติการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis)

(1) ความชื้น (Moisture Content) คือเปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักวัสดุ มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของแก๊ส เชื้อเพลิงที่มีขนาดความชื้นต่ำจะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบผลิตแก๊สได้มากขึ้นเท่านั้น

(2) สารที่ระเหยได้ (Volatile Matters) หมายถึง องค์ประกอบของถ่านที่ระเหยออกมาเมื่อเผาถ่านอุณหภูมิที่กำหนดในภาชนะปิด (โดยไม่รวมน้ำที่ระเหยออกมาเมื่อเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิเหนือจุดเดือดของน้ำเล็กน้อย สารระเหยที่ออกมานั้นมีทั้งที่มาจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สารประกอบเหล่านี้ได้แก่ ก๊าซที่ติดไฟ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่างๆ และก๊าซที่ไม่ติดไฟ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ปริมาณสารระเหยในถ่านจะลดลงเมื่อถ่านมีคุณภาพสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ปริมาณสารระเหยจึงเป็นปริมาณสำคัญในการวิเคราะห์ถ่าน

(3) ปริมาณเถ้า (Ash Content) หมายถึง สารประกอบอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านที่อุณหภูมิสูง

(4) คาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) หมายถึง ปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่ หลังจากที่สารระเหยออกจากถ่านแล้ว จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ในถ่านที่หลังจากการระเหยของสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงที่เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของแข็งที่ติดไฟได้ที่เหลืออยู่ในเตาเผา อัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนคงที่ต่อปริมาณสารระเหย (Fuel Ratio)

### 2. คุณสมบัติเฉพาะตัว

(1) ค่าความร้อน (Heating Value) นำไปจัดแบ่งคุณภาพของเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังเป็นตัวแปรสำคัญที่จะบ่งชี้ปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่งกำหนดให้มีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม และค่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนักค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นตัวชี้สมบัติของเชื้อเพลิงอย่างหนึ่ง เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็น

เชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี เช่น ถ่านที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี แต่สำหรับการใช้ถ่านในการหุงต้มในครัวเรือนนั้น ถ่านที่ถือว่ามีคุณภาพดีที่สุดนั้น ไม่จำเป็นต้องเป็นถ่านที่มีค่าความร้อนสูงสุด แต่ต้องมีสมบัติที่ดีของถ่านทางด้านอื่น ๆ ด้วย (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ได้แก่

- 1) การแตกปะทุขณะติดไฟ ถ่านที่แตกปะทุขณะติดไฟผู้ใช้จะไม่ชอบ ไม่นิยมใช้ดังนั้นถ่านที่มีคุณภาพดีจะไม่มีการแตกปะทุเลยหรือมีการแตกปะทุเล็กน้อยในช่วงเวลาที่แรกที่ติดไฟ
- 2) น้ำหนักถ่าน ถ่านหนักจะลุกไหม้ให้ความร้อนแรงได้นาน
- 3) ควัน ถ่านที่มีคุณภาพดีไม่ควรจะมีควัน และกลิ่นฉุนในขณะที่ลุกไหม้
- 4) ความแข็งแรง ถ่านที่มีความแข็งแรงสูงจะช่วยลดการแตกหักหรือป่นเป็นผง ทำให้สะดวกต่อการใช้ การขนส่งและการเก็บรักษา

คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่ดี สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ข้อหลักๆ ข้อแรกคือคุณสมบัติด้านการจัดการ หมายถึงถ่านอัดที่ได้ไม่ควรร่วน หรือแตกแยกออกเป็นส่วนๆ ในระหว่างการจัดการการเก็บรักษาและการเคลื่อนย้าย และคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง โดยจะเกี่ยวเนื่องกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ รูปร่างและความหนาแน่นที่ได้ ซึ่งในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการจัดการโดยเพิ่มความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติการเผาไหม้ด้วย

ตัวประสาน (Binder) มีรายละเอียดดังนี้ การทำถ่านอัดแท่งโดยใช้ตัวประสานนั้นเป็นการผลิตแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งตัวประสานคือสารที่เติมเข้าไปในขบวนการอัดเพื่อที่จะให้อนุภาคของเชื้อเพลิงนั้นยึดติดกันดีขึ้นเมื่อมีการใช้ตัวประสาน อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการอัดก็จะลดลงด้วย ตัวประสานที่เหมาะสมนั้นควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ มีราคาถูก ไม่ดูดความชื้น ไม่สีกร่อนง่าย และถ้าของตัวประสานเมื่อผ่านการเผาแล้วควรจะมีขี้เถ้าที่น้อยที่สุด มิฉะนั้นปริมาณของค่าความร้อนของถ่านก็จะลดลงไปด้วย (Bhattacharya, 1990) ซึ่งชนิดของตัวประสานนั้น ได้แบ่งตัวประสานออกอย่างกว้างๆ ดังนี้

1. สารอินทรีย์ (Organic) แบ่งเป็น ชนิดไม่มีน้ำ (Hydrophobic) เช่น Bitumen, Resin เป็นต้น และชนิดมีน้ำ (Hydrophilic) เช่น Starch Molasses เป็นต้น
2. สารอนินทรีย์ (Inorganic) แบ่งเป็น ละลายไม่ได้ (Insoluble) เช่น Cement และ Clay เป็นต้น และละลายได้ (Soluble) เช่น lime เป็นต้น
3. สารผสม (Combination) ตัวอย่างเช่น Resin, Tar, Starch และ Bitumen เป็นต้นและได้แบ่งตัวประสานออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) ตัวประสานประเภทเมทริก (Matrix-Type Binder) ในกรณีนี้อนุภาคจะถูกเกาะกันเป็นก้อนอย่างแน่น ความต่อเนื่องจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับต้นแบบของวัสดุตัวประสาน ตัวประสานในกรณีนี้ เช่น Pitch, Paraffin, Clay, Wood และ Tar เป็นต้น

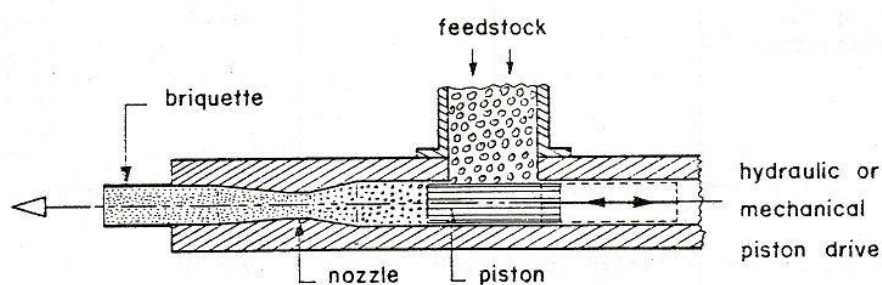
(2) ตัวประสานประเภทฟิล์ม (Film-Type Binder) โดยส่วนมากจะใช้ สารละลาย ตัวสลาย หรือน้ำ ที่ใช้เป็นตัวทำละลายโดยทั่วไปและตัวแยกสาร โดยผลผลิตที่ได้จะค่อนข้าง แข็งและคงทนเมื่อทำให้แห้งหลังจากการทำเชื้อเพลิงเขียว ตัวอย่างเช่น Sodium Silicate, Bentonite, Molasses, Starch, Gum และ Glues เป็นต้น

(3) ตัวประสานทางเคมี (Chemical Binder) ประสิทธิภาพของตัวประสานจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาเคมีระหว่างส่วนประกอบของตัวประสาน หรือตัวเลือกของปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวประสานกับวัตถุดิบที่ถูกเกาะตัวเป็นก้อน ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่าง  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  กับโมลาส (Molasses)

เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสามารถแบ่งตามหลักการอัดได้ 4 ชนิด ได้แก่ แบบลูกสูบอัด แบบเกลียวอัด แบบปั้นอัด และแบบลูกกลิ้งอัด (Bhattacharya, 1990) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

#### 1. เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบลูกสูบ (Piston Press)

เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบลูกสูบ (ภาพที่ 2.2) ประกอบด้วยลูกสูบที่ใช้สำหรับอัดวัตถุดิบที่ถูกป้อนลงมาจากถังป้อน และจะถูกอัดผ่านหัวตายซึ่งให้ความร้อนอยู่ที่ 150-300 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดจะใช้พลังงานไฟฟ้าในการอัด แต่ในยุโรปนิยมใช้แบบไฮดรอลิก โดยรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับกระบวนการเย็นตัวลงหลังจากวัตถุดิบผ่านหัวตาย โดยการเย็นตัวนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ไอน้ำควบแน่นอยู่ในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้แล้วความดันของไอน้ำก็มีผลต่อพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดแท่งแบบลูกสูบสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ประมาณ 40-1000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 50-100 มิลลิเมตร



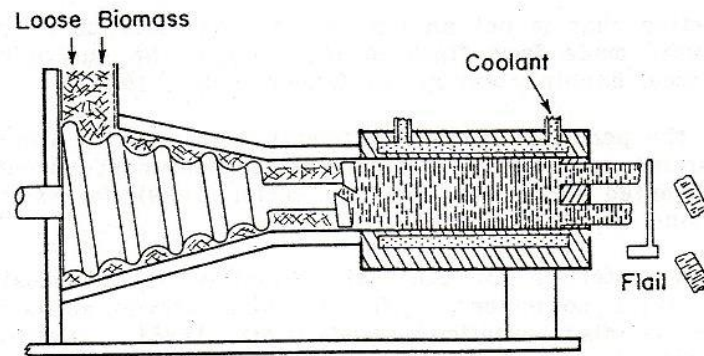
ภาพที่ 2.2 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบลูกสูบ (Bhattacharya, 1990)

#### 2. เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบเกลียว (Screw Press)

เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบเกลียว เป็นเครื่องมือที่อัดโดยวัตถุดิบจะถูกป้อนผ่านฮอปเปอร์และจะถูกอัดโดยเกลียวอัด โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดแบบเกลียวอัดแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

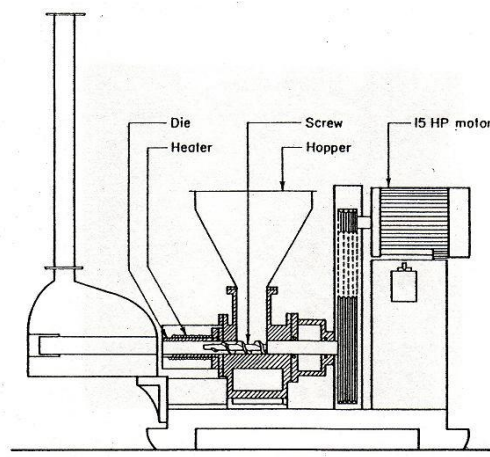
##### 1) เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบเกลียวอัดไม่ใช้ความร้อน (Conical Screw Press) จะอัด

วัตถุดิบผ่านหัวคายนโดยหัวคายนแบบเจาะให้เป็นรู (Perforated Matrix) โดยส่วนมากจะทำเป็น 2 รู และจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร ส่วนความยาวนั้นขึ้นอยู่กับมิตที่จะตัด ส่วนหัวคายนแบบรูเดี่ยว (Single-die Matrix) จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2.3



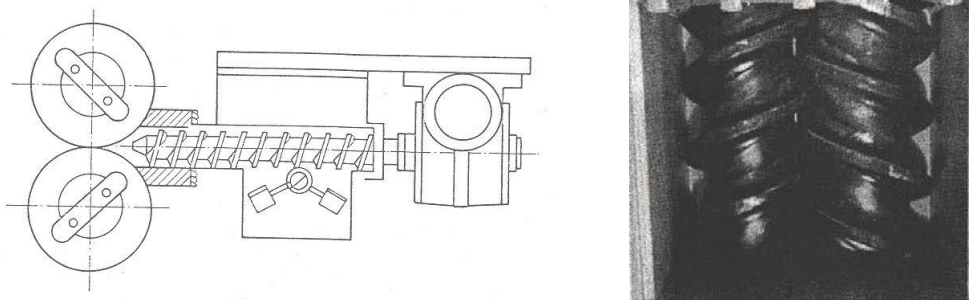
ภาพที่ 2.3 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบเกลียวอัดไม่ใช้ความร้อน (Bhattacharya, 1990)

2) เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบเกลียวใช้ความร้อน (Screw Press with Heated Die) วัตถุดิบจะถูกอัดโดยสกรูผ่านหัวคายนที่ให้ความร้อน หัวคายนทำหน้าที่ในการป้องกันการรวมตัวกันของวัตถุดิบอันเนื่องมาจากการหมุนของเกลียว โดยหัวคายนี่จะได้รับความร้อนประมาณ 300 องศาเซลเซียส และสามารถให้ความร้อนแก่วัตถุดิบประมาณ 200 องศาเซลเซียสในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปแล้วจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการส่งแรงในการอัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-10 เซนติเมตร (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบเกลียวอัดใช้ความร้อน (Bhattacharya, 1990)

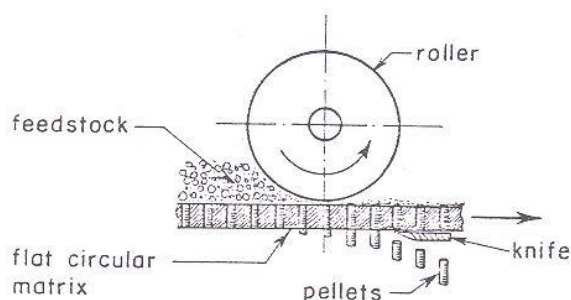
3. เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบเกลียวคู่ (Twin Screw Press) ประกอบด้วยแกนหมุน 2 แกนที่เชื่อมติดกับส่วนของเกลียวโดยจะมีการให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำ ซึ่งจะทำให้วัตถุดิบมีความร้อนสูงถึง 250 องศาเซลเซียส และไอน้ำที่ใช้แล้วนั้นจะถูกควบแน่นโดยน้ำหล่อเย็น โดยจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด 30-80 มิลลิเมตร และมีความชื้น 25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก โดยกำลังการผลิตนั้นอยู่ที่ประมาณ 2800-3600 กิโลกรัมต่อชั่วโมงขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่งแบบเกลียวคู่ (Bhattacharya, 1990)

### 3. เครื่องอัดแบบป็นอัด (Palletizing Press)

เครื่องอัดแบบป็นอัดเป็นเครื่องอัดแท่งอีกชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยร่องและลูกกลิ้งโดยวัตถุดิบนั้นจะถูกอัดโดยลูกกลิ้ง และผ่านร่องออกมา โดยเครื่องอัดชนิดนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบ Disk Matrix Press (ภาพที่ 2.6) และแบบ Ring Matrix Press โดยวัตถุดิบที่ไหลออกมาตามร่องนั้นจะถูกตัดโดยมีด โดยเราสามารถกำหนดความยาวของผลิตภัณฑ์ได้ โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดประมาณ 5-15 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 30 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2.6 เครื่องอัดแบบ Disk Palletizing press หรือ Disk Matrix Press (Bhattacharya, 1990)

### 4. เครื่องอัดแท่งแบบลูกกลิ้ง (Roll Press)



ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 อันทำหน้าที่อัดวัตถุดิบ เครื่องอัดชนิดนี้แตกต่างจากชนิดอื่นคือ ต้องป้อนวัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าแบบอื่น ๆ และต้องใช้ตัวประสานในกระบวนการ เนื่องจากว่าไม่สามารถอัดวัตถุดิบได้แน่น เพราะเวลาที่ใช้ในการอัดนั้นสั้นเกินไปสำหรับการให้ความร้อนและความดันในสภาวะที่เหมาะสม

## การออกแบบการทดลอง (Design of experiment: DOE)

การออกแบบการทดลอง (Design of experimental) เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยเลือกใช้วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมสอดคล้องกับลักษณะข้อมูล ในการหาคำตอบของประเด็นปัญหาที่สนใจหรือทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ การวางแผนการทดลองได้นำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยทั้งทางด้านเกษตร อุตสาหกรรมและการแพทย์ ซึ่งแผนการทดลองพื้นฐานได้แก่ แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized complete block design: RCBD) แผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ (Latin – square design: LS) และการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial experiment) โดยในการเลือกใช้แผนการทดลองจะเลือกใช้แผนการทดลองแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลเป็นสำคัญ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการใช้แผนการทดลองที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลมากที่สุดนั้นอาจจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่าย เวลา และบุคลากร ตลอดจน วัตถุประสงค์ของวัตถุที่สนใจใช้ในการทดลอง ดังนั้นในการเลือกใช้แผนการทดลองควร จะต้องพิจารณาเลือกแผนการทดลองอย่างถี่ถ้วน ซึ่งควรจะเป็นแผนการทดลองที่ง่ายและมีประสิทธิภาพที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การออกแบบการทดลองประกอบไปด้วย

1. ปัจจัย (Factor) คือ ตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษาว่ามีผลกระทบต่อตัวแปรตามหรือไม่
2. ระดับของปัจจัย (Factor Levels) คือ บางครั้งเรียกว่าทรีตเมนต์ (Treatment) คือ ประเภทของปัจจัยในการทดลอง
3. ปัจจัยเดี่ยวและปัจจัยพหุ ปัจจัยเดี่ยว (Single Factor) คือ การศึกษาเมื่อมีตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียว ส่วนปัจจัยพหุ (Multiple Factor) คือ การศึกษาเมื่อมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปร
4. ทรีตเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีการที่ปฏิบัติต่อหน่วยทดลอง เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่สนใจ

ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental Error) คือ ความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตของหน่วยทดลองที่ได้รับทรีตเมนต์อย่างเดียวกัน ซึ่งโดยทฤษฎีแล้วหน่วยทดลองที่ได้รับ ทรีตเมนต์อย่างเดียวกันควรจะให้ค่าสังเกตที่เท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติค่าสังเกตที่ได้จะไม่เท่ากันซึ่งมีสาเหตุใหญ่ ๆ 2 สาเหตุ คือ มีความ

ผันแปรเกิดขึ้นภายในหน่วยทดลอง (Inherent Variability) เป็นความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของหน่วยทดลองอยู่แล้ว และความผันแปรที่เกิดขึ้นภายนอกหน่วยทดลอง (Extraneous Variability) เป็นความผันแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการทดลอง ซึ่งอาจจะเกิดจากความผิดพลาดของผู้ทดลองเอง โดยการขาดความระมัดระวังในการเก็บค่าสังเกต การปฏิบัติที่ไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น

ความผันแปรเหล่านี้จะมีปรากฏอยู่ในงานทดลอง ซึ่งความผันแปรบางอย่างผู้ทดลองสามารถควบคุมได้ในขณะที่ความผันแปรบางอย่างก็ควบคุมไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองเราจะต้องพยายามควบคุมให้เกิดความผันแปรน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยการเลือกใช้แผนการทดลองที่สอดคล้องและเหมาะสมกับลักษณะข้อมูล เช่น ถ้าหน่วยทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ควรเลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แต่ถ้าหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันในทิศทางเดียวควรเลือกใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ อีกทั้งยังต้องเลือกใช้วิธีการทางสถิติที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ เช่น ถ้าค่าเริ่มต้นของการทดลองแตกต่างกันมาก ควรเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance) เลือกใช้ขนาดและรูปร่างของสภาพแวดล้อม อุปกรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองแต่ละสาขาจะไม่เหมือนกัน ผู้ทดลองจึงต้องค้นคว้าหาความรู้จากการทดลองที่เคยดำเนินการมา

ในการวางแผนการทดลองแบบใดก็ตามจะมีขั้นตอนของการวางแผนการทดลองที่เหมือนกัน ดังนี้

1. กำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษาทดลอง เป็นการกำหนดประเด็นและขอบเขตของสิ่งที่ต้องการทดลอง การกำหนดปัญหาที่ชัดเจนทำให้สามารถแก้ไขปัญหาที่แท้จริงได้
2. กำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง และกำหนดสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ โดยกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์
3. กำหนดปัจจัย (Factor) และระดับของปัจจัย (Treatment) ที่จะใช้ในการทดลอง เพื่อให้ทราบแบบจำลอง ของการทดลองว่าควรเป็นแบบจำลองแบบใด
4. เลือกแผนการทดลองและเทคนิคที่เหมาะสมกับการทดลอง มี 3 วิธี คือ วิธีการคาดเดา (Guess Approach) ซึ่งเหมาะกับการทดลองที่ผู้ทำการทดลองมีประสบการณ์สูง วิธีการปรับทีละปัจจัย (One factor at a Time Approach) โดยการเปลี่ยนปัจจัยหนึ่งในขณะที่ปัจจัยอื่น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง ข้อเสียคือ ไม่สามารถพิจารณาปฏิสัมพันธ์หรืออันตรกิริยา (Interaction) ของแต่ละปัจจัย วิธีการแฟคทอเรียล (Factorial Approach) โดยการปรับปัจจัยต่าง ๆ พร้อม ๆ กันทำให้การประมาณผลลัพธ์เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถประมาณผลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ได้อีกด้วย การออกแบบการทดลองที่นิยมคือ วิธีการแฟคทอเรียล กรณีที่มีสองปัจจัย (Two-Factor Factorial Experimental Design) หรือ  $2^2$  Factorial Design
5. ดำเนินการทดลองตามที่ได้วางแผนไว้ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และทดสอบผลที่ได้จากการทดลอง
6. สรุปผลการทดลองและแปลความหมายของผลการทดลองจากค่าทางสถิติ

7. ประเมินคุณค่า (Evaluation) ของการทดลอง โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่น ๆ ในปัญหาเดียวกันหรือคล้ายคลึงกัน

**มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)**

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะถ่านอัดแท่งที่ทำจากถ่านผงหรือถ่านเม็ดมาอัดเป็นแท่งหรือทำจากวัสดุธรรมชาติมาอัดเป็นแท่งแล้วเผาจนเป็นถ่าน

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ถ่านอัดแท่ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัสดุธรรมชาติ เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชังข้าวโพดมาเผาจนเป็นถ่านอาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัสดุธรรมชาติ เช่น แกลบ ชี้เลื่อย มาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วจึงนำมาเผาเป็นถ่าน

2.2 ค่าความร้อน หมายถึง พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหนัก 1 กรัม มีหน่วยเป็น แคลอรีต่อกรัม

3. คุณสมบัติที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป ในภาชนะบรรจุเดียวกันต้องมีรูปทรงเดียวกัน ขนาดใกล้เคียงกัน มีสีด้าสม่ำเสมอไม่เปรอะ อาจแตกหักได้บ้าง

3.2 การใช้งาน เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีควันและกลิ่น

3.3 ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

3.4 ค่าความร้อน ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม

4. การบรรจุ

4.1 หากมีการบรรจุ ให้บรรจุถ่านอัดแท่งในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และสามารถป้องกันความเสียหาย ที่อาจเกิดขึ้นกับถ่านอัดแท่งได้

4.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านอัดแท่งในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

ศิริวรรณ (2551) ได้เผาถ่านกากเมล็ดสับดูดำให้เป็นถ่าน และทำการศึกษาผลของตัวประสาน 2 ชนิด ได้แก่ ส่าเหล้าและน้ำแป้ง ในสัดส่วนกากเมล็ดสับดูดำต่อตัวประสาน 1:0.75 1:0.5 และ 1:0.25 แล้วอัดด้วยวิธีอัดเย็น ผลการทดลองพบว่า เชื้อเพลิงแข็งมีประสิทธิภาพดีที่สุดได้จากอัตราส่วน กากสับดูดำ 1 ต่อส่าเหล้า 0.25 สามารถให้ค่าต้านทานแรงกดสูงสุดที่ 161.12 N และค่าความร้อนสูงสุดประมาณ 30.66 MJ/kg

จุฑามาศ (2547) ได้อธิบายถึง เหม่งมันสำปะหลังเป็นส่วนที่บริเวณข้อต่อระหว่างโคนต้นกับหัวมัน

สำปะหลังซึ่งส่วนที่แข็งของต้นมันสำปะหลัง เป็นส่วนเกษตรกรต้องตัดทิ้งจึงมีการนำเหง้ามันสำปะหลังมาเผา แล้วอัดแห้งใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงแทนฟืนและถ่านเชื้อเพลิงอัดแห้งจากเหง้ามันสำปะหลัง ขนาดเม็ดถ่าน 10 มิลลิเมตร อัตราส่วนตัวประสานแป้งต่อน้ำ เท่ากับ 1:9 สามารถติดไฟได้ภายในเวลา 2 นาที มีควันและกลิ่นน้อย สามารถต้มน้ำให้เดือดได้ 2 หม้อ โดยหม้อแรกใช้เวลาประมาณ 15 นาที หม้อที่ 2 ใช้เวลา 15 นาที ส่วนหม้อที่ 3 ไม่สามารถทำให้น้ำเดือดได้ แต่มีอุณหภูมิ 84 °C โดยใช้เวลา 48 นาที รวมระยะเวลาติดไฟ 78 นาที ประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนมีค่าร้อยละ 33.11

สาวิตรี และ ธาราพงษ์ (2543) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การผลิตถ่านอัดก้อนที่มีคุณภาพสูงจากวัสดุเหลือใช้ โดยใช้เครื่องอัดแห้งชนิดเกลียว โดยใช้เศษวัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมันในการอัดแห้งมีการแปรอุณหภูมิระหว่าง 250-400 °C ใช้เวลาตั้งแต่ 30 นาที ถึง 120 นาที จากการวิเคราะห์พบว่าถ่านอัดแห้งจากทะเลยาปาล์ม เมื่อคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 45 นาที และได้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 4,383 แคลลอรี่/กรัม ถ่านอัดแห้งจากทะเลยาปาล์มเมื่อคาร์บอนไนซ์อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 45 นาที จะได้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 5,478 แคลลอรี่/กรัม ถ่านอัดแห้งจากทะเลยาปาล์มเมื่อคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 °C เป็น เวลา 45 นาที จะได้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 6,798 แคลลอรี่/กรัม ถ่านอัดแห้งจากทะเลยาปาล์มผสมกับทะเลยาปาล์มด้วย อัตราส่วนผสม 1:1 เมื่อคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 45 นาที จะได้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 5,555 แคลลอรี่/กรัม

เจษฎานันท์ และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาเรื่องการผลิตถ่านอัดแห้งจากต้นถั่วเหลืองผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนผสม 8:1 สามารถอัดแห้งได้ดีและเหมาะสมที่สุดตามคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง คือ ความชื้นร้อยละ 8.67 ปริมาณเถ้าร้อยละ 10.7 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 23.83 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 56.8 และค่าความร้อนมีค่า 14,207 กิโลจูล/กิโลกรัม

สมโภชน์ สุตาจันทร์ และคณะ (2550) ได้ศึกษาและพัฒนาการผลิตถ่านอัดแห้งจากผงถ่าน ผงถ่าน 3 ชนิดที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ถ่านไม้มะขาม ถ่านกะละมะพร้าว และถ่านไม้ฉำฉา ส่วนผสมของผงถ่านหลักต่อผงถ่านรอง 3 ระดับคือ 10:0.5 10:1.0 และ 10:1.5 แป้งมันสำปะหลังถูกใช้เป็นตัวยึดผงถ่าน ด้วยอัตราส่วนของผงถ่านหลักต่อแป้งมันเป็น 10:0.5 10:1.0 และ 10:1.5 พบว่า ความหนาแน่นเท่ากับ 190-280 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความชื้นเท่ากับ 5.6-8.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ความแข็งแรงถ่านอัดแห้งจากส่วนผสมผงถ่านหลักต่อแป้งมัน 10:1.5 รับแรงได้สูงสุดทุกการทดลอง เมื่อใช้ผงถ่านหลักต่อแป้งมัน 10:0.5 10:1.0 และ 10:1.5 มีค่าความแข็งเท่ากับ 0.25-0.95 0.77-1.76 และ 0.79-2.24 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ถ่านอัดแห้งที่ใช้ส่วนผสมระหว่างถ่านไม้มะขามกับถ่านกะละมะพร้าว 10:1.5 และถ่านไม้มะขามต่อแป้งมัน 10:1.0-1.5 ให้ค่าความร้อนสูงสุดเป็น 5,081.26-5,289.20 แคลลอรี่ต่อกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนมากกว่าถ่านที่ผลิตและจำหน่ายทั่วไป 84.68 เปอร์เซ็นต์ เครื่องอัดถ่านแห้งใช้กำลังการทำงาน 1044-1441 วัตต์ และใช้พลังงานจำเพาะ

เท่ากับ 0.67-2.03 วัตต์-ชั่วโมงต่อถ่านแท่ง และมีอัตราการทำงาน 840-1740 แท่งต่อชั่วโมง

กิตติพงษ์ ลาลูน และคณะ (2551) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางความร้อนของ เหน้้ำมันสำปะหลัง ในการศึกษาเหน้้ำมันสำปะหลังที่มีความชื้น 37.25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก พบว่าเหน้้ำมันสำปะหลังมีความกว้าง ความยาว และความหนาเฉลี่ย อยู่ที่ 3.52 22.9 และ 3.03 เซนติเมตรตามลำดับ ความหนาแน่นของเหน้้ำมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ย 245.27 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมอดุลสภาพกองเฉลี่ย 47.78 องศา สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิต บนพื้นเหล็ก พื้นไม้ และพื้นพลาสติก พบว่ามีค่า 0.41-0.43, 0.58-0.59 และ 0.44-0.45 ตามลำดับ การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของเหน้้ำมันสำปะหลังและผงถ่าน เหน้้ำมันสำปะหลัง พบว่าเหน้้ำมันสำปะหลังมีปริมาณความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัวถั่ว และค่าความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 12.33 เปอร์เซ็นต์ 65.57 เปอร์เซ็นต์ 19.29 เปอร์เซ็นต์ 2.81 เปอร์เซ็นต์และ 4,040.53 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนของถ่านเหน้้ำมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.31เปอร์เซ็นต์25.69 เปอร์เซ็นต์ 62.58 เปอร์เซ็นต์ 4.42 เปอร์เซ็นต์ และ 6,101.67 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต ถ่านอัดแท่งได้

รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล และคณะ (2553) ทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) มลภาวะต้นทุนต่อหน่วย และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์จากการผลิต ถ่านอัดแท่ง ผลการทดสอบวิเคราะห์สมรรถนะจากห้องปฏิบัติการ พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่าง ถ่านอัดแท่ง กะลามะพร้าว 9 ส่วน ต่อ ถ่านเหน้้ำมันสำปะหลัง 1 ส่วน เป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด 6,580.10 1 กิโลแคลอรี/กิโลกรัมเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 238/2547) ผลการวิเคราะห์ความ คุ่มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหน้้ำมัน ผลการศึกษาวิจัย สามารถนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร