

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปาล์มน้ำมัน

2.1.1 ลำต้นปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีอายุหลายปี จัดอยู่ในวงศ์ (family) Palmae หรือ Recaceae อยู่ในสกุล (Genus) *Elaeis* ปาล์มน้ำมันชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและนิยมปลูกเพื่อเป็นการค้าในปัจจุบันคือ *Elaeis guineensis* Jacq. ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่า 25 ปี

ลำต้นปาล์มน้ำมันมีหน้าที่ช่วยค้ำตั้งส่วนอื่นๆของลำต้นให้ตั้งตรงและช่วยลำเลียงน้ำและอาหารไปยังส่วนต่างๆ ต้นปาล์มน้ำมันมีลักษณะตั้งตรง ซึ่งในช่วงแรกที่มีการพัฒนาของลำต้น ฐานของลำต้น จะมีรูปร่างแบบกรวยหัวกลับ (inverted cone) ลำต้นของปาล์มน้ำมันเรียกว่า (bole) กว่าจะปรากฏให้เห็นก็กินเวลา 2-3 ปี

ลำต้นที่เห็นจะมีฐานใบติดอยู่ รอยแผลที่ฐานใบติดกับลำต้นก็คือ ข้อของลำต้น และส่วนที่อยู่ระหว่างข้อคือปล้องของลำต้น ลำต้นของปาล์มน้ำมันก็เหมือนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไปที่มีเนื้อเยื่อเจริญเฉพาะปลายยอด (apical meristem) เท่านั้น ลำต้นจะไม่มีการเจริญเติบโตทางด้านข้าง (lateral meristem) ในช่วงแรกก่อนที่จะมีการยึดตัวของปล้องเป็นไปทางด้านกว้างมากกว่าด้านสูง ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อเจริญที่ฐานของฐานใบ (primary thickening meristem) ซึ่งมีการแบ่งตัวอยู่ในแนวเฉียง (tangential phase) เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นโตเต็มที่ 40 - 60 เซนติเมตร ก็จะมี ความเจริญเติบโตทางด้านความสูงแทนอย่างรวดเร็วในอัตรา 35 - 75 เซนติเมตรต่อปี ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม ปาล์มน้ำมันมีความสูงได้มากกว่า 30 เมตร และมีอายุยืนนานมากกว่า 100 ปี แต่การปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้า ไม่ควรมีความสูงเกิน 15 - 18 เมตร หรืออายุประมาณ 25 ปี

2.1.2 ลักษณะของไม้ปาล์มน้ำมัน

ระยะเวลาการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันใน 3 ปีแรกจะมีการเจริญเติบโตออกทางด้านข้าง หลังจากนั้นปาล์มน้ำมันได้มีการเจริญแนวยาวขึ้นเรื่อยๆ และจะมีการเจริญเติบโตที่ด้านข้างน้อยมาก ซึ่งลักษณะของเนื้อไม้ปาล์มน้ำมันจะมีเส้นใย (Vascular) จะมีความแข็งแรงและจะมีสีที่เข้มตามอายุของต้นไม้และบริเวณกระพี้ไม้ (Sapwood) จะมีเนื้อเยื่ออยู่มาก และจำนวนเส้นใยจะค่อยๆลดลงจนถึงบริเวณไส้ไม้ โดยต้นปาล์มน้ำมันจะมีลำต้นที่ตรงไม่มีการแตกกิ่งไม้ และไม่มีความ

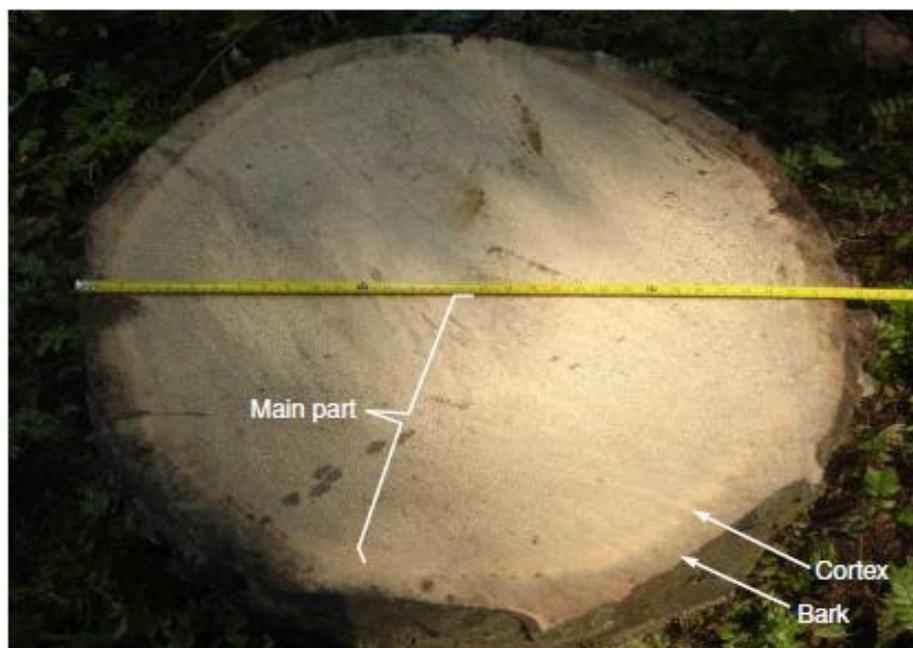
สังเกตนบนเนื้อไม้จะมีจุดสีน้ำตาลหรือสีดำกระจายอยู่ทั่วอยู่บนผิวไม้ ส่วนประกอบนี้จะช่วยเสริมลำต้นของต้นปาล์มนั้นให้มีความแข็งแรงขึ้น เรียกว่า หลอดลำเลียงอาหาร (Vascular bundle) จากการสังเกตสีบนตัวอย่างไม้ที่อบแล้ว จุดสีน้ำตาลนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีดำ สิ่งนี้เป็นการบ่งบอกถึงความหนาแน่นของท่อลำเลียงอาหาร มันสามารถบ่งบอกได้ว่าทำไมไม้ปาล์มนั้นถึงได้มีคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพที่แตกต่างออกไป เพราะว่าโครงสร้างของไม้ชนิดนี้ในขณะการอบนั้นจะเกิดการรวมตัวกันของ Vascular bundle และ Parenchymatous tissues จากการตรวจสอบหลังการอบนั้น ไม้จะเปลี่ยนรูปไปในลักษณะต่างๆเช่น การหดตัว การบิด เป็นต้น

ท่อนไม้ปาล์มจะแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ inner zone (IZ), central zone (CZ), peripheral zone (PZ) พิจารณาจากความหนาแน่นของหลอดลำเลียงอาหารต่อพื้นที่

Peripheral zone : พื้นที่นี้จะอยู่ข้างนอกสุดก่อนถึง Bark และ Cortex เป็นส่วนนี้ที่แข็งที่สุดของท่อนไม้ โดยปกติแล้วส่วนนี้จะประกอบด้วยไฟเบอร์จำนวนมากในรูปแบบระบบหลอดเลียงอาหารที่หนาแน่น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เสริมให้ตัวลำต้นนั้นมีความแข็งแรงมากขึ้น ในพื้นที่นี้หลอดลำเลียงอาหารและเนื้อเยื่อ Parenchymatous นั้นจะแคบกว่าส่วนอื่นๆของลำต้น พื้นที่นี้จะมี ความหนาประมาณ 10 - 15 มิลลิเมตร. และมีสีเข้มกว่าพื้นที่อื่นๆของท่อนไม้

Central zone : ในพื้นที่นี้จะประกอบด้วยหลอดลำเลียงอาหารที่กว้างและใหญ่อยู่เล็กน้อย โชนนี้จะกว้างที่สุดเมื่อเทียบกับโชนอื่นๆอาจจะมากกว่า 50 % ของเนื้อไม้ทั้งหมด หลอดลำเลียงอาหารในพื้นที่นี้จะอยู่แบบสุ่ม กระจายกันออกไป

Inner zone : พื้นที่นี้มีเพียง 20 - 25 % ของเนื้อไม้ทั้งหมดและจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อ Parenchymatous และความชื้นมากที่สุด หลอดลำเลียงอาหารนั้นมีน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 พื้นที่ก่อนหน้านี้ แต่จะมีขนาดคล้ายกับ Central Zone



ภาพที่ 2.1 ท่อนไม้ปาล์มถูกตัดตามขวาง ให้เห็นส่วนหลักของท่อนไม้ เนื้อไม้และ เปลือกไม้

2.1.3 คุณสมบัติทางกายภาพของไม้

ไม้จัดเป็นอินทรีย์วัตถุ (Cellular organic material) ประกอบขึ้นด้วยสาระสำคัญ 2 ชนิดคือ เซลลูโลส (Cellular) เป็นส่วนผนังของไม้มีประมาณ 60 % และลิกนิน (Lignin) เป็นตัวยึดประมาณเส้นใยไม้เข้าด้วยกันมีประมาณ 28 % นอกจากนั้นเป็นน้ำตาลและสารประกอบอย่างอื่นประมาณ 12 %

2.1.3.1 ลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ โครงสร้างไม้ประกอบไปด้วยเส้นใยไม้เล็กๆ หลายอันประสานเข้าด้วยกันกับเส้นใยไม้จะมีความความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร ดังนั้นกำลังทาง

สมบัติเชิงกลของไม้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของไม้ แต่ขึ้นอยู่กับการประสานของเส้นใย ไม้ เมื่อเราดูภาพตัดขวางของลำต้นจะพบว่าลำต้นของไม้ประกอบไปด้วย

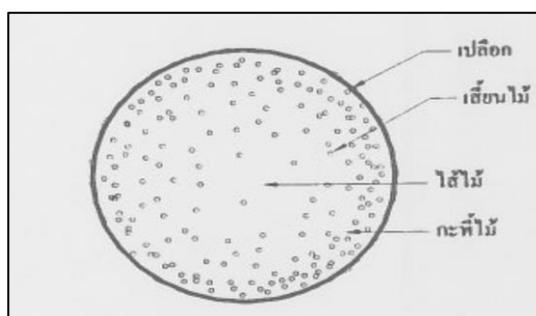
แก่น (Pith) เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางลำต้น เป็นจุดเริ่มต้นของการเจริญเติบโตของไม้ ใ้ไม้ ก็มีโพรงซึ่งในแง่กลสมบัติของไม้ไม้ที่โพรงจะสามารถรับกำลังได้ต่ำ จะไม่นำส่วนของแก่นมาใช้งานเด็ดขาด

ไม้แก่น (Heartwood) เป็นส่วนของเซลล์ที่ไม่ทำงานแล้วเมื่อต้นไม้เจริญเติบโต จะสร้างเซลล์ใหม่รอบๆ ใ้ไม้ออกมา เซลล์เหล่านี้ทำหน้าที่ส่งและสะสมอาหาร ต่อมาต้นไม้ขยายตัวออกไปเรื่อยๆ เซลล์ส่วนในที่อยู่ใกล้ใ้ไม้จะหยุดการทำงานและทำหน้าที่เพียงเป็นแกนให้ความแข็งแรงกับต้นไม้เท่านั้น ไม้แก่นเป็นส่วนของเนื้อไม้ที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าส่วนอื่นให้กำลังสูงและเป็นไม้ก่อสร้างที่ดี

กระพี้ไม้ (Sapwood) ส่วนนี้เป็นส่วนของเนื้อไม้ที่เกิดขึ้นหลังสุดจึงพบว่าไม้ในส่วนนี้จะมีสีอ่อนกว่าส่วนอื่น และยังเป็นทางผ่านของอาหารเหลว ซึ่งประกอบด้วย น้ำ และ เกลือแร่จากรากไปสู่ใบเพื่อปรุงอาหารโดยทั่วไปกระพี้ไม้จะมีคุณสมบัติทางกลเหมือนกับแก่นไม้แต่มีความทนทานต่อสภาพอากาศน้อยกว่าจึงทำให้มีอายุการใช้งานที่สั้นจึงมีคุณภาพน้อยกว่าแก่นไม้

เปลือกไม้ (Bark) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มลำต้นไว้นำไปใช้เป็นไม้ก่อสร้างไม้ได้

วงปี (Annual) เป็นวงแสดงการเจริญเติบโตที่ไม่เท่ากันของต้นไม้ในรอบปี ต้นไม้ในเขตที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมากจะแสดงวงปีได้ชัดเจนกว่าต้นไม้ในเขตที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงน้อย จำนวนวงปีจะบอกอายุของต้นไม้ได้ ดังรูป 2.2



ภาพที่ 2.2 ภาพตัดขวางของปาล์มน้ำมัน (E.Bucker, 2005)

2.1.3.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ค่าปริมาณความชื้นไม้คือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของน้ำในเนื้อไม้เมื่อเทียบจากน้ำหนักไม้ที่ผ่านการอบแห้งที่อบด้วยเตาอบ และไม้จะมีการปรับความชื้นของไม้ เพื่อให้ไม้มีการสมดุลกับความชื้นในบรรยากาศให้สอดคล้องกับสภาวะอากาศอยู่ตลอดเวลา โดยปริมาณความชื้นที่สมดุลกับสภาวะอากาศนี้จะเรียกว่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content – EMC)

2.1.3.3 น้ำหนักและความถ่วงจำเพาะ (weight and Specific Gravity) ไม้ที่มีน้ำหนักมากก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงและมีกำลังสูงกว่าไม้ที่มีน้ำหนักต่ำก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ

2.1.3.4 การหดตัว (Shrinkage) ไม้จะมีการหดตัวเมื่อสูญเสียความชื้น และไม้จะมีการขยายตัวเมื่อเปียกน้ำหรือดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้ามาในไม้ การหดตัวของไม้จะเกิดจากด้านกว้างหรือด้านตั้งฉากกับเส้นแต่ด้านที่ขนานกับเส้นไม้หรือด้านยาวจะมีการหดตัวที่น้อยมาก และการหดและขยายตัวของไม้มีผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของไม้

2.1.3.5 ตำหนิของเนื้อไม้ (Wood Defects) ตำหนิของเนื้อไม้เกิดขึ้นเองจากธรรมชาติ เช่น ตาไม้ ตาหลุด ตาผุ รุมอดรอยแตก หรือรอยแยกตามแนวเส้นและตามขวางเส้น ตำหนิเหล่านี้เป็นตัวลดกำลังสมบัติเชิงกลของไม้

2.1.3.6 ความทนทาน (Durability) โครงสร้างไม้ที่ดีควรมีความทนทานต่อสภาพอากาศและมีอายุการใช้งานที่นาน แก่นไม้จะมีความทนทานดีกว่ากระพี้ไม้ ถ้ากระพี้ไม้ผ่านการอบน้ำยาก็จะมีความทนทานเหมือนกัน แมลงหรือสัตว์บางจำพวกยังมีการทำลายส่วนเนื้อเยื่อของไม้ทำให้ลดกำลังและไม้ผุได้ ดังนั้นเราจึงแก้ไขได้โดยการใช้ยาเคมีเพื่อป้องกัน

2.2 งานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

Suthon Srivaro [1] ศึกษา “Stiffness and strength of oil palmwood core sandwich panel under center point bending” โดยการนำเอาไม้ปาล์มน้ำมันมาหาคูณสมบัติทางกล วัตถุประสงค์คือต้องการหาค่าการเปลี่ยนรูปของวัตถุ และ ค่าความแข็งแรง (Strength) ภายใต้โมเมนต์ดัด เนื่องจากในเชิงวิศวกรรมแล้ว แรงทั้ง 2 แรงนี้จะมีการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงไปในแต่ละงานไป ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าไม้ปาล์มที่มีช่วงความยาวน้อยเมื่อรับโหลดที่จุดกึ่งกลาง จะเกิดการเสียรูปก่อนไม้ปาล์มที่มีความยาวมากกว่า (Suthon Srivaro, Nirundorn Matan, Frank Lam, 2015)

ปองพล สุตวิไลพร และคณะ [2] ศึกษา “ระบบการอบแห้งเห็ดหูหนูขาวโดยใช้ไมโครเวฟกำลังที่ป้อนคลื่นสองตำแหน่งร่วมกับระบบสุญญากาศ” โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการทดลองจากการอบแห้งเห็ดหูหนูขาวโดยใช้ไมโครเวฟกำลังต่างๆที่ป้อนคลื่นสองตำแหน่งร่วมกับระบบสุญญากาศ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของกำลังคลื่นไมโครเวฟ (800 และ 1600 W) และความดันสุญญากาศ (30 และ 50 กิโลปาสกาล) ที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิ ความชื้นและคุณภาพของเห็ดหูหนูขาว การปล่อยคลื่นไมโครเวฟจะมี 2 แบบคือ ปล่อยจนครบกำหนดเวลา และ แบบป้อนคลื่นเป็นจังหวะโดยการนำเห็ดหูหนูไปป้อนไมโครเวฟแล้วนำเห็ดหูหนูออกมาพัก แล้วนำกลับเข้าคลื่นไมโครเวฟใหม่ พบว่าการป้อนคลื่นแบบเป็นจังหวะจะใช้เวลานานกว่าการป้อนคลื่นแบบต่อเนื่อง อีกทั้งความดันสุญญากาศยังมีผลต่อการลดปริมาณความชื้นในเห็ดหูหนูขาว กล่าวคือ ความดันสุญญากาศที่ต่ำลงจะส่งผลให้ลดปริมาณความชื้นได้เร็วขึ้นพลังงานไมโครเวฟหรือกำลังวัตต์ที่ป้อนเข้าไปในเครื่องอบมีผลต่อความสามารถในการผลิตปริมาณความร้อนและการลดปริมาณความชื้นในวัสดุหรือกล่าวได้ว่าพลังงานที่ป้อนเข้ามาส่งผลให้อุณหภูมิของวัสดุสูงตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้เนื้อวัสดุไหม้หากอุณหภูมิที่ผิวสูงเกินไป (ปองพล สุตวิไลพร และคณะ, 2556)

Vongpradubchai [3] ศึกษา “The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier” ช่องของเครื่องอบไมโครเวฟมีลักษณะเป็น 4 เหลี่ยม มีขนาดด้านตัดขวาง 94 เซนติเมตร X 47 เซนติเมตร เครื่องไมโครเวฟถูกตั้งค่าความถี่ไว้ที่ 2.45 GHz และ

ทำงานที่อุณหภูมิสูงสุด คือ 200 องศาเซลเซียส ความจุ สูงสุด ไมโครเวฟอยู่ที่ 11.2 กิโลวัตต์ ในความถี่ 2.45 GHz พลังงานที่ถูกป้อนเข้าไป คือ 800 W ขณะการอบสายพานจะเลื่อนไม้เข้าไปในเตาอบด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที และสามารถปรับได้ที่แผงควบคุมการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟถูกป้องกันโดยการสะท้อนกลับของแผงตัวกรองและการดูดซึมโดยแถบดูดซึมคลื่นไมโครเวฟ ในทางเข้าและออก การรั่วไหลของไมโครเวฟถูกควบคุมภายใต้ DHHS (สหรัฐอเมริกากรมอนามัยและมนุษย์บริการ) ที่ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรและใช้อินฟาเรดในการตรวจสอบอุณหภูมิ (ความแม่นยำ ± 0.5 °C) ตัวอย่างไม้ที่เลือกใช้มีขนาด 3X3X3 เซนติเมตร มีความชื้นเริ่มต้น 80 % (มาตรฐานแห้ง) และอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 28 °C การทดสอบคุณสมบัติทางกลของไม้ก่อนอบโดยการตัดและยึดมาตรฐานตาม BSI ของ London ในขณะที่ 15 ตัวอย่างถูกอบ ไม้พวกนั้นจะถูกชั่งน้ำหนักก่อนและหลังอบ แล้วถูกลำเลียงเข้าสู่ การอบแห้งที่ใช้ลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟร่วมกันในขณะที่อบ คลื่นไมโครเวฟจะทำการเจาะทะลุเพื่อเพิ่มความร้อนและให้น้ำกระจายตัวออกมาสู่ผิวไม้ ความชื้นในอากาศจะถูกดูดออกจากระบบ suction และใช้กล้อง infrared ในการตรวจสอบอุณหภูมิของไม้ในเวลาต่างๆที่กำหนดไว้หลังจากอบเสร็จแล้วก็หาความชื้นที่สูญเสีย และนำตัวอย่าง 3 ชิ้นไปทดสอบการตัด และ นำอีก 15 ตัวอย่างหลังจากการตัดไปห่อพลาสติกทันที และทิ้งไว้ 1 วัน หลังจากนั้นนำไปอบกับเตาอบที่อุณหภูมิ 100 °C แล้วนำมาทดสอบแรงตัด แล้วนำ 15 ตัวอย่างของ ทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน (S.Vongpradubchai, 2009)

PanyaDaungvilailux [4] ศึกษา “Evaluation of oil palm wood drying process using Microwave by using a Continuous Belt” โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษถึงการอบไม้ปาล์มน้ำมันด้วยไมโครเวฟโดยใช้สายพานลำเลียง ห้องที่ใช้ในการทำการทดลองมีขนาด 500x1000x1000 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลส 316 โดยติดตั้งตัว magnetrons ไว้จำนวน 4 ตัว (100-1000 วัตต์ต่อหน่วย) ส่วนตัวไม้ปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองจะใช้ไม้ที่มีอายุมากกว่า 20 ปีขึ้นไปและมีขนาด 1x2x10 ลูกบาศก์นิ้ว ในขั้นตอนแรกจะนำไม้ปาล์มไปอบด้วยตู้อบอุณหภูมิ 105 °C เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นและอบต่อไปเรื่อยๆจนไม้มีความชื้นระหว่าง 12 - 20 % หลังจากหาความชื้นเริ่มต้นได้ จะนำไม้อีกส่วนไปอบโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่ 1,200 W, 1,600 W และ 2,000 W ไม้ปาล์มจะถูกอบเป็นเวลา 20 นาทีสลับกับ นำออกมาพักข้างนอกตู้อบเป็นเวลา 20 นาที จนค่าความชื้นเหลือ 12 % ซึ่งผลที่ได้ที่ไมโครเวฟ 2,000 W ใช้เวลาในการอบ 140 นาทีและที่ 1600 W เวลา 180 นาที พบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นคือไม้เกิดการบิดตัวเป็นจำนวนมาก ส่วนที่ 1200 W ใช้เวลาในการอบทั้งหมด 220 นาที พบว่าไม้ที่ผ่านการอบมานั้นมีความผิดปกติที่น้อยที่สุด (Panya Daungvilailux, 2012)



ภาพที่ 2.3 เครื่องอบไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน ชนิดสายพานลำเลียง

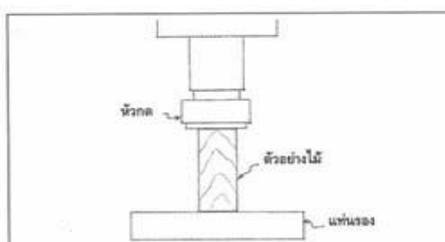
P. Rattamadecho [5] ศึกษา “The simulation of microwave heating of wood using a rectangular wave guide: Influence of frequency and sample size” โดยการทดลองอบไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 5 GHz และ 2.45 GHz โดยไม่มีขนาด 11×5 เซนติเมตร และ 11×8 เซนติเมตร ที่เวลา 10 วินาที, 20 วินาที และ 30 วินาที จากการทดลองพบว่าที่ความถี่ 5 GHz ใช้เวลาในการอบน้อยกว่าที่ความถี่ 2.45 GHz แต่เกิดการบิดงอและโก่งงอทำให้ได้ไม้ที่มีคุณภาพต่ำดั่งนั้นที่ความถี่ 2.45 GHz เหมาะแก่การอบไม้มากที่สุดเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบใกล้เคียงกับการอบที่ 5 GHz แต่ได้ไม้ที่มีคุณภาพสูงกว่า เนื่องจากคลื่นที่เข้าสู่เนื้อไม้จะเป็นแบบสม่ำเสมอต่างจากการอบที่ความถี่ 5 GHz ที่เข้าเนื้อไม้แบบแปรปรวนทำให้ไม้ที่ไม่ได้เกิดการบิดงอและโก่งงอ (P. Rattamadecho, 2006)

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 สมบัติทางกลของไม้ [6]

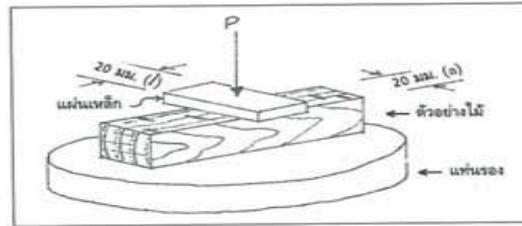
ความรู้ในเรื่องกลสมบัติของไม้นั้น ได้จากการทดสอบโดยตรง ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบใช้งานจริงหรือในห้องทดลอง การทดลองเหล่านี้มีมาตรฐานกำหนดไว้แน่นอนทำให้เปรียบเทียบกันได้ไม่ว่าจะกระทำการ ณ ที่ใด ซึ่งทำให้ได้รู้ความเกี่ยวกับกลสมบัติของไม้ต่างชนิดกัน จัดเป็นหมวดหมู่ได้ว่าไม้ชนิดใดมีความแข็งแรงเทียบได้กับไม้ชนิดใด หรือแม้แต่ไม้ชนิดเดียวกัน แต่คนละต้นกัน ต่างท้องถิ่น ก็อาจมีกลสมบัติต่างกันออกไปหรือไม่เพียงใด และยังสามารถนำความรู้นี้ไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างกำหนดขนาดของงานไม้โดยถูกต้อง เป็นการประหยัดอีกด้วย ไม้ต่างกับวัสดุก่อสร้างอย่างอื่น ตรงที่เป็นของที่ได้จากธรรมชาติ ความแปรปรวน ในเรื่องสภาพอากาศ ทำให้การเติบโตของเนื้อไม้ต่างกันออกไป การผิ้งไม้อบไม้เพื่อลดความชื้นก็ดีหรือลักษณะการใช้งานในสิ่งก่อสร้างก็ดี ทำให้กลสมบัติของไม้ต้องเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยใช้มาตรฐาน S.B. 373 : 1957 กำหนดให้มีการทดสอบสมบัติของไม้ดังนี้

2.3.1.1 ความเค้นอัดขนานเสี้ยน (Compressive Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของเสาอาคาร



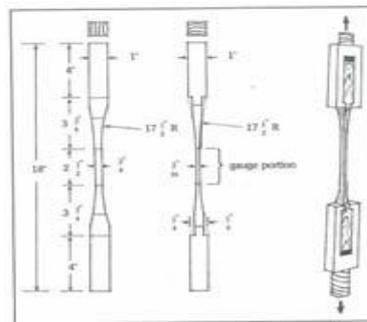
ภาพที่ 2.4 การทดสอบเสาเข็มสำหรับฐานรากเข้าฝ้า (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.1.2 ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนใช้ในการทดสอบไม้ ที่นำไปใช้ประโยชน์ ในรูปแบบของไม้หมอนรองรางรถไฟส่วนของคานที่สัมผัสกับที่รองรับ



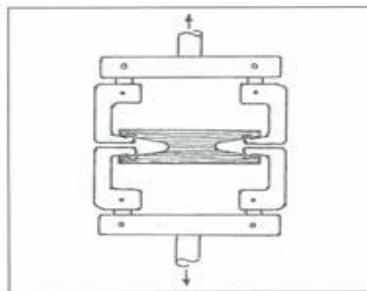
ภาพที่ 2.5 การทดสอบความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.1.3 ความเค้นดึงขนานเสี้ยน (Tensile Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของส่วนประกอบของโครงถักที่รับแรงดึง



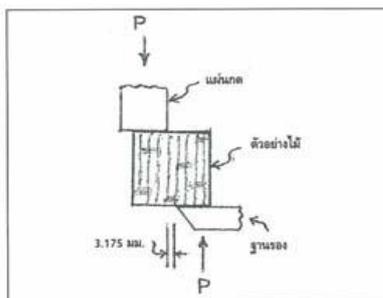
ภาพที่ 2.6 การทดสอบความเค้นดึงขนานเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.1.4 ความเค้นดึงตั้งฉากเสี้ยน (Tensile Stress perpendicular to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของคานไม้ประกบ, ไม้ประกบโค้ง



ภาพที่ 2.7 การทดสอบความเค้นดึงตั้งฉากเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.1.5 ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing Stress Parallel to Grain) ใช้ในการทดสอบไม้ ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของข้อต่อไม้, คาน, คานไม้ประกบ

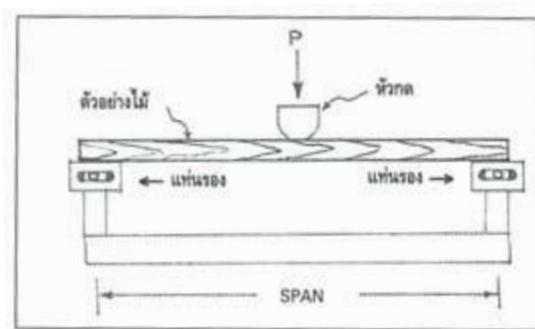


ภาพที่ 2.8 การทดสอบความเค้นเฉือนขนาดเสี้ยน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.1.6 ความแข็งแรง และความแข็งตึง ในการดัด (Strength and Stiffness in Static Bending) ใช้ในการทดสอบไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของ คาน, ตง, จัดทำ, แป, ส่วนของ โครงค้ำที่รับแรงดัด ซึ่งสามารถแบ่งค่าทดสอบออกเป็น 2 ค่าคือ

- Modulus of Rupture (MOR) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการแตกหักหรือ ความแข็งแรง (Strength) ของไม้

- Modulus of Elasticity (MOE) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการโก่งหรือความ แข็งตึง (Stiffness) ของไม้



ภาพที่ 2.9 การทดสอบ แรงดัด (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.2 ความชื้นในวัสดุ [7]

ความชื้น คือปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ ปริมาณความชื้นในวัสดุ สามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ

2.3.2.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก M_{wb} โดยทั่วไปปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุอบแห้ง จะนิยมในรูปของอัตราส่วนของน้ำต่อมวลทั้งหมดนั้นคือใช้มวลของวัสดุขึ้นเป็นมาตรฐานของการ คำนวณหาค่าความชื้นซึ่งเป็นการหาความชื้นมาตรฐานเปียก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ} - \text{น้ำหนักวัสดุหลังอบ}}{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ}} \times 100 \quad (2.1)$$

2.3.1.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง M_{db} ความชื้นมาตรฐานแห้งคือมวลของความชื้นใน วัสดุต่อหน่วยมวลของเนื้อวัสดุแห้งในกระบวนการอบแห้งมวลของวัสดุขึ้นจะเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้มวลของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาความชื้น

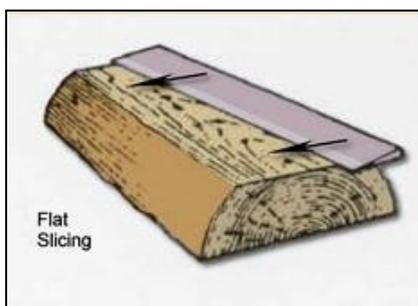
มาตรฐานแห้ง ความชื้นในมาตรฐานเปียกจะมีค่าไม่เกินร้อยละเปอร์เซ็นต์เสมอนิยมใช้กันทั่วไปทางการเกษตรและวงการค้าแต่ความชื้นแบบมาตรฐานแห้งอาจจะมีค่าเกินร้อยละเปอร์เซ็นต์ได้นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในทางทฤษฎี

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุก่อนอบ} - \text{น้ำหนักวัสดุหลังอบ}}{\text{น้ำหนักวัสดุหลังอบ}} \times 100 \quad (2.2)$$

2.3.3 ประเภทเครื่องทำไม้บางและหลักการการทำงานของเครื่อง [8] เครื่องทำไม้บางจะถูกแบ่งออกตามลักษณะการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

2.3.3.1 เครื่องทำไม้บางแบบหัน

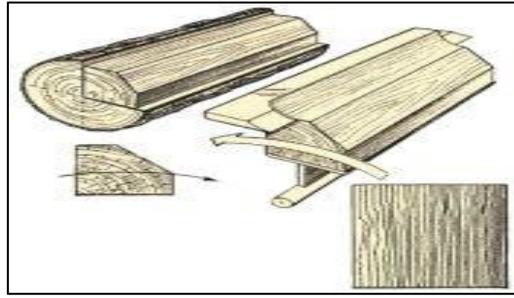
เครื่องทำไม้บางแบบหันจะมีลักษณะการทำงานดังนี้ คือมีการจับและยึดตัวชิ้นงานให้อยู่กับที่ และส่วนของใบมีดจะถูกติดตั้งกันกับความยาวของไม้ จากนั้นใบมีดก็จะเข้าหาไม้เพื่อหันผิวของไม้ออกมาเป็นแผ่นบางๆ ข้อเสียของเครื่องทำไม้บางแบบหันคือ แผ่นไม้ที่ถูกหันออกมานั้นจะไม้กว้าง และทำไม้บางได้ปริมาณน้อยการเครื่องทำไม้บางชนิดอื่น



ภาพที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่องทำไม้แบบหัน (ปรีวรรต ภู่อ่ำ และคณะ, 2556)

2.3.3.2 เครื่องทำไม้บางแบบแรงเหวี่ยง

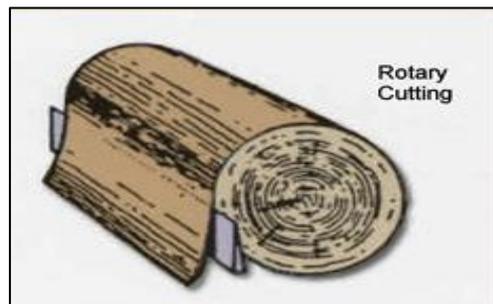
เครื่องทำไม้บางแบบแรงเหวี่ยงมีหลักการการทำงานดังนี้ คือมีการจับและยึดชิ้นงานไว้กับเพลาเมื่อเครื่องทำงานเพลาจะเริ่มหมุนตัวไม้ก็หมุนตามเพลาไปด้วยจากนั้นใบมีดจะถูกติดตั้งตามความยาวของชิ้นงาน ซึ่งใบมีดก็จะเข้าหาชิ้นงานเรื่อยๆ เมื่อใบมีดเคลื่อนที่เข้ามาถึงตัวชิ้นงานแรงเหวี่ยงที่เกิดจากการหมุนของชิ้นงานที่มีทิศทางการหมุนสวนกลับคมมีด เมื่อมีดโดนชิ้นงานก็ทำให้ผิวของไม้จะถูกเหวี่ยงออกไปเป็นแผ่นไม้บาง จึงทำให้เครื่องทำไม้บางชนิดนี้จะสามารถผลิตไม้บางที่มีขนาดที่กว้างกว่าเครื่องทำไม้บางแบบหัน



ภาพที่ 2.11 หลักการทำงานของเครื่องทำไม้บางแบบแรงเหวี่ยง (ปริวรรต ภูขำ และคณะ, 2556)

2.3.3.3 เครื่องทำไม้บางแบบโรตารี

เครื่องทำไม้บางแบบโรตารีมีหลักการทำงานดังนี้ คือชิ้นงานจะถูกนำมาวางบนลูกกลิ้ง จะมีลูกกลิ้งอยู่ด้วยกัน 3 ตัว ลูกกลิ้งจะทำหน้าที่ประครองไม้ เมื่อเครื่องทำงานลูกกลิ้งทำงานก็จะหมุน ชิ้นงานก็จะหมุนสวนทางกับใบมีด เมื่อใบมีดเข้ามาเรื่อยๆจนโดนกับเนื้อไม้ ก็จะออกมาเป็นไม้บาง ซึ่งเครื่องทำไม้บางชนิดนี้จะปอกไม้ออกมาได้แผ่นที่ยาวกว่าเครื่องแบบอื่นๆ และเป็นการปอกที่ประหยัดเนื้อไม้มากที่สุด



ภาพที่ 2.12 หลักการทำงานของเครื่องทำไม้แบบโรตารี (ปริวรรต ภูขำ และคณะ, 2556)

2.3.4 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล [9]

2.3.4.1 ความเค้นแรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดรับแรง ความเค้นมีอยู่ 3 ชนิดคือ ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน

2.3.4.1.1 ความเค้นดึง (Tensile stress) จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงดึง โดยแรงดึงจะต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดที่กระทำนั้น



ภาพที่ 2.13 แรงดึงกระทำกับวัตถุ

จะได้สมการ

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

ให้ σ_c คือ ความเค้นที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อนวัสดุ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร
 F คือ แรงอัดที่กระทำกับท่อนวัสดุ มีหน่วยเป็น นิวตัน

2.3.4.1.2 ความเค้นอัด (Compressive stress) จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุอยู่ภายใต้แรงอัด โดนแรงอัดจะต้องกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของท่อนวัสดุที่กระทำ

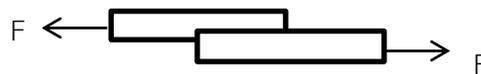


ภาพที่ 2.14 แรงอัดกระทำกับวัสดุ

จะได้สมการ
$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

ให้ σ_c = ความเค้นที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร
 A = พื้นที่หน้าตัดของท่อนวัสดุ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร
 F = แรงอัดที่กระทำกับท่อนวัสดุ มีหน่วยเป็น นิวตัน

2.3.4.1.3 ความเค้นเฉือน (Shear stress) เป็นแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัสดุนั้น โดยพยายามทำให้วัสดุนั้นเกิดการขาดจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรงนั้น



ภาพที่ 2.15 แรงเฉือนพยายามทำให้วัสดุขาด

จะได้สมการ
$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

ให้ τ = ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร
 A = พื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแรง มีหน่วยเป็น ตารางเมตร
 F = แรงเฉือนที่กระทำกับท่อนวัสดุ มีหน่วยเป็น นิวตัน

2.3.4.2 ความเครียด (Strain) เป็นการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อมีแรง ภายนอกมากระทำกับวัสดุ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงต่อขนาดเดิม ซึ่งหมายถึงความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม จะได้



ภาพที่ 2.16 การเกิดความเครียด

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเดิม}} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.7)$$

ให้ ε = ความเครียด (ไม่มีหน่วย)

δ = ความยาวที่เปลี่ยนไป มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

L = ความยาวเดิมของวัตถุ

โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) E คือ อัตราส่วนความเค้นต่อความเครียด

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.8)$$

โมดูลัสความแกร่ง (Modulus of rigidity) G คือ อัตราส่วนความเค้นเฉือนต่อความเครียดเฉือน

$$G = \frac{\tau}{\varepsilon} \quad (2.9)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสความยืดหยุ่นและโมดูลัสความแกร่ง

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.10)$$

โดยที่ ν คืออัตราส่วนปัวซอง

2.3.4.3 การบิด (Torsion) คือชิ้นส่วนเครื่องจักรที่หน้าตัดกลมอยู่ภายใต้โมเมนต์บิด (Torque) คือ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (2.11)$$

โดยที่ T = โมเมนต์บิด

L = ความยาว

J = โมเมนต์ความเฉือนเชิงชั้นของพื้นที่

ความเค้นเฉือน ที่เกิดจากการบิดของท่อกลม

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (2.12)$$

โดยที่ r คือ รัศมีนอกของท่อกลม

ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์บิด กับ กำลังของเครื่องจักรกล

$$W_p = T\omega = 2\pi nT \quad (2.13)$$

โดยที่ W_p = กำลังงาน มีหน่วยเป็น วัตต์

T = โมเมนต์บิด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

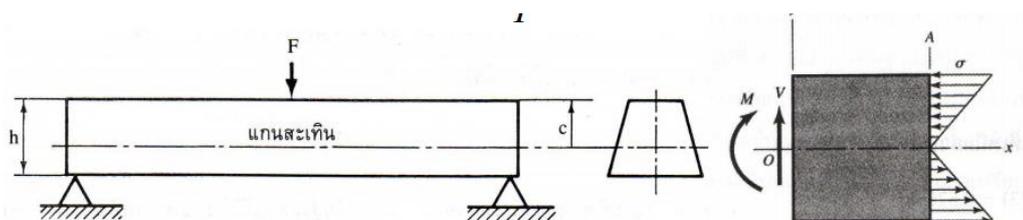
n = ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที

2.3.4.4 คาน (Beam) ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ได้รับแรงในแนวตั้งเหมือนคาน จะมีความเค้นดัด (bending stress) ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกสุดของชิ้นงาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ดัด (bending moment) ,ค่าสูงสุด

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \quad (2.14)$$

โดยที่ M = โมเมนต์ดัด

C = ระยะจากแกนสะเทิน (Neutral Axis)



ภาพที่ 2.17 คานและแกนสะเทิน (ทรงกลด จารุสมบัติ, 2548)

2.3.5 การออกแบบเพลลา [10]

2.3.5.1 การพิจารณาในการออกแบบเพลลา

เพลลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆของเครื่อง ขณะใช้งานเพลลาจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิดต่างๆ เช่น แรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิตและแรงแบบวัฏจักร ทำให้เกิดการล้าได้เพลลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้ คือ

เพลลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ และ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลลา ไม่ว่าจะชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรือไม่ก็ตาม

สปินเดิล (Spindle) เป็นเพลลาขนาดสั้น เช่น เพลลาที่หัวแทนกลึง (Head-Stock spindle) เป็นต้น

สตั๊บชาฟ (Stub Shaft) เป็นเพลลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือ เครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมา สำหรับใช้ต่อกับเพลลาอื่น ๆ

เพลลาแนว (Line Shaft) หรือเพลลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลลาเมน (Mainshaft) เป็นเพลลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง ใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ๊คชาฟ (Jack Shaft) เป็นเพลลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลลาที่สามารถอ่อนตัวหรือโค้งได้เพลลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเหนียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้แต่ส่งกำลังได้น้อย

2.3.5.2 วัสดุเพลลา

ในการเลือกวัสดุและวิธีที่ใช้ในการทำเพลลา นักออกแบบจะต้องคำนึงถึงสภาพการใช้งานและภาระที่เพลลาต้องรับเป็นหลักโดยทั่วไปแล้ว เราจะพิจารณาเลือกวัสดุและวิธีการผลิตเพลลาตามขนาดระบุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347, 3140, 4150 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 90 มิลลิเมตร มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่เลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

2.3.5.3 ขนาดของเพลลา

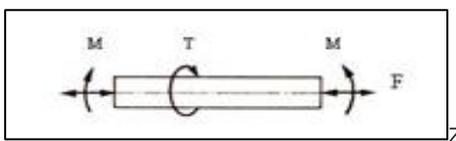
เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกันองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดมาตรฐานของเพลลา ซึ่งระบุขนาดใน ISO / R 775 - 1969 เอาไว้สำหรับผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่งที่ใช้รองรับเพลลาด้วยขนาดระบุของเพลลา

2.3.5.4 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลลา

การคำนวณหาขนาดเพลลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือ เพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องกา ถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลลาอยู่ เกิดความเสียหายได้ง่ายยิ่งขึ้น

2.3.5.5 การออกแบบเพลตามาตรฐาน ASME

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดและไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.18 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ (สุทัศน์ ยอดเพชร, 2554)

การออกแบบการคำนวณเพลลา ในการออกแบบหาขนาดของเพลลา จะต้องพิจารณาสิ่งเหล่านี้

- กำลังงาน (Power) และภาระ (Load) ที่ใช้เพลลาส่งกำลัง
- ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลลา รวมทั้งรูปร่างขนาด วัสดุ และผิวสำเร็จ ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิด
- ความเค้นตักค้าง (Stress Concentration) ขึ้น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลลา
- ความแกร่ง (Stiffness หรือ Rigidity) หมายถึง ความคงทนต่อการแอ่นตัวหรือการบิดไปของเพลลา เมื่อรับภาระ
- ความเร็ววิกฤติ (Critical Speed) หมายถึง การสั่นตัวของเพลลาอันเป็นผลเนื่อง มาจากการแอ่นตัวของเพลลา

การคำนวณเพลลากลมและกลาง

$$\text{ความเค้นดึงหรือกด} \quad \tau = \frac{F}{A} \quad (2.15)$$

$$\text{ความเค้นดัด} \quad \sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2.16)$$

$$\text{ความเค้นเฉือน} \quad \tau_{xy} = \frac{\tau_y}{A} \quad (2.17)$$

2.3.5.6 การคำนวณหาความเค้นแรงเฉือน

ในการออกแบบขนาดของเพลลาสำหรับงานปกติทั่วไป จะพิจารณาเฉพาะกำลังงานภาระ และคำนวณตรวจความเค้นที่เกิดขึ้นกับเพลลา เพื่อให้ได้ค่าความปลอดภัยเพียงพอ จึงพิจารณาถึงความแกร่ง และความเร็ววิกฤติ เพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่วัฏจักร ทั้งนี้เพราะ เพลลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้น เพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

$$C_m = \text{ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด}$$

$$C_t = \text{ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด}$$

โดยที่

$$K = \frac{d_1}{d_0} \quad (2.18)$$

กรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย

$$D^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-k^4)} [(C_r T^2) + (C_m M^2)]^{1/2} \quad (2.19)$$

หรือในกรณีที่ของเพลาดัน $K=0$

$$D^3 = \frac{16}{\pi\tau} [(C_r T^2) + (C_m M^2)]^{1/2} \quad (2.20)$$

นอกจากนี้รหัสของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลาสีงมีโซอยู่ในงานธรรมดาทั่วไปควรมีค่าความเค้นใช้นานดังนี้

$\tau_d = 55$ สำหรับเพลานี้ไม่มีร่องลิ้ม (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

$\tau_d = 41$ สำหรับเพลามีร่องลิ้ม (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

2.3.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์ [8]

2.3.6.1 มอเตอร์ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานกันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ชนิดที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก มีข้อดี คือ ไม่มีแปรงถ่าน ทำให้การสูญเสียเนื่องจากความฝืดมีค่าน้อย มีตัวประกอบกำลังสูง การบำรุงรักษาต่ำ การเริ่มเดินทำได้ไม่ยาก ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ สร้างง่าย ทนทาน ราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อเสีย ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้ยาก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และเป็นที่ยอมรับใช้กันอย่างแพร่หลาย

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ พลังงานไฟฟ้าไม่ได้นำเข้าสู่ที่โรเตอร์โดยตรง แต่ได้จากการเหนี่ยวนำ (Induction) จึงนิยมเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยสามารถคำนวณกำลังของมอเตอร์และขนาดของมอเตอร์

2.3.6.2 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์

เมื่อต้องการจะคำนวณหามอเตอร์จะได้ F นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลาก็ทำให้เพลาม้วนด้วยความเร็วรอบ n รอบต่อนาที ขณะที่เพลาม้วนไป 1 รอบสามารถหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้การคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ ขณะที่เพลาม้วนไป 1 รอบ

สมการที่ใช้คำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่

$$S = 2\pi r \quad (2.21)$$

การคำนวณหางานในการหมุนเพลลา 1 รอบ

สมการที่ใช้คำนวณหางาน

$$W_f = F \times \pi r \quad (2.22)$$

การคำนวณหางานในการที่เพลลากระทำต่อวินาที ขณะที่เพลลาหมุน n รอบต่อนาที สามารถคำนวณได้ สมการที่ใช้ในการคำนวณหางานที่เพลลากระทำต่อวินาที

$$W_f = F \times 2\pi r \times n \quad (2.23)$$

การคำนวณหาแรงบิด สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$T = F \times r \quad (2.24)$$

เพราะฉะนั้น การคำนวณหา กำลังมอเตอร์สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$P = T \times N \quad (2.25)$$

เมื่อ P = กำลังที่เพลารับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็น วัตต์ (w) หรือกิโลวัตต์ (KW)

T = โมเมนต์แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

N = ความเร็วรอบของเพลลา มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที rpm

(1 รอบ = 2 เรเดียน)

r = รัศมีของเพลลา มีหน่วยเป็นเมตร

การคำนวณหาความเค้นเฉือน

จากสูตร

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3} \quad (2.26)$$

เพราะฉะนั้น

$$T = \frac{\tau \pi D^3}{6} = \frac{\sigma_{zul} \pi D^3}{16} \quad (2.27)$$

จากสูตร

$$\sigma_{zul} = \frac{\sigma_{lim}}{\nu} \quad (2.28)$$

- เมื่อ τ = ความเค้นเฉือน
 ν = ค่าความปลอดภัยในทางเครื่องกล
 σ_{zul} = ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress) นิวตันต่อมิลลิเมตร
 σ_{lim} = พิกัดความเค้นขึ้นอยู่กับลักษณะการรับแรง

2.3.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับสายพาน [11]

สายพานลำเลียงเป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุทางกลที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการขนถ่ายวัสดุ นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมหลายประเภท ปัจจุบันสายพานลำเลียงได้กว้างไม่น้อยกว่า 3 เมตร มีความยาวมากกว่า 7,000 เมตร และมีความเร็วมากกว่า 10 เมตรต่อวินาที

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมาก โดยต้องการแรงดึงขั้นต่ำในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียกว่าร่องรูปลิ่มของล้อยสายพานทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงดึงขั้นต่ำ และเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุดเมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อยสายพาน และในกรณีที่มีเหตุฉุกเฉินก็อาจใช้ผลจากการอัดแน่นนี้ทำหน้าที่เป็นเบรกได้ด้วย การขับเคลื่อนด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดี คือ เงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ นอกจากนี้ยังมีขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และบำรุงรักษาไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ในการขับเคลื่อนทางอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งมีสายพานขับเคลื่อนโดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7 : 1 หรืออาจใช้ได้สูงถึง 10 : 1 อัตราส่วนแรงดึงของสายพานจากสูตร

$$\frac{T_1}{T_2} = 2.5 \quad (2.29)$$

แรงที่สายพานกดเพลลา

$$F = T_1 + T_2 \quad (2.30)$$

2.3.7.1 ขนาดสายพานและล้อยสายพานลิ่ม

2.3.7.1.1 สายพานลิ่มมีหน้าที่ตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิทช์ (Pitch Width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทน ซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (Narrow V-Belts) มีขนาด SPZ SPA SPB และ SPC และสายพานลิ่มแบบ

ธรรมดา มีขนาด Y Z A B C D และ E ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น
รูปร่างหน้าตัดของสายพานลิ่มและล้อสายพาน

2.3.7.1.2 การคำนวณหาอัตราส่งกำลังของสายพาน สายพานมีอัตราความเร็วรอบ
เรียกว่าอัตราส่งถ่าย (i) และ อัตราการคำนวณหาอัตราการส่งถ่ายสามารถคำนวณได้จาก

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.31)$$

เมื่อ d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลีย์ตัวขับ (มิลลิเมตร)

d_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลีย์ตัวตาม (มิลลิเมตร)

n_1 = ความเร็วรอบของพูลีย์ตัวขับ (รอบต่อนาที)

n_2 = ความเร็วรอบของพูลีย์ตัวตาม (รอบต่อนาที)

2.3.7.1.3 การคำนวณความยาวของสายพาน

ความยาวของสายพานเปิด (Open Belts) อาจประมาณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \quad (2.32)$$

เมื่อ L = ความยาวพิทช์ของสายพาน

C = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของล้อขับและล้อตาม

D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อขับ

D_2 = เส้นผ่าศูนย์กลางของล้อตาม

2.3.7.1.4 การกำหนดแรงดึงสายพาน และกำลังม้า

มหาวิทยาลัยและบริษัทต่างๆทั่วโลกได้พัฒนาสมการสำหรับการคำนวณแรงดึง
สายพานโดยกำหนดเป็นฟังก์ชันของน้ำหนักบรรทุก ความเร็ว ความยาว เป็นต้น บางสมการได้ใช้เป็น
มาตรฐานแล้ว ได้แก่ DIN # 22101 ของเยอรมัน และ CEMA ของอเมริกา ซึ่งต่างก็มีข้อดีข้อเสียอยู่
ในตัวและการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการต้องการของท้องถิ่นหรือการระบุมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม
สมการดังกล่าวทั้งหมด ประกอบด้วยกำลัง 4 อย่างรวมกัน คือ

- กำลังที่ใช้ขับสายพานเปล่าให้เคลื่อนที่โดยเอาชนะความเสียดทานขณะไม่มีภาระ
- กำลังที่ใช้ขับสายพานขณะบรรทุกให้เคลื่อนที่โดยเอาชนะความเสียดทานขณะบรรทุก
- กำลังขณะเพิ่มหรือลดน้ำหนักบรรทุก
- ความเสียดทานจากอุปกรณ์สนับสนุน เช่น แผ่นกั้น (Skirts) คราด (Scrapers) Trippers

สมการทั้งหมดยังรวมแฟคเตอร์ความเสียดทานสำหรับหมุนลูกกลิ้งและการแอ่นตัวของสายพาน
ต่อน้ำหนักบรรทุก ซึ่งค่าดังกล่าวยังมีความเห็นแตกต่างกันว่าควรจะเป็นค่าคงที่หรือฟังก์ชันของ
ความเร็วสายพานการรับน้ำหนักบรรทุก หรือความยาวสายพาน
สมการกำลังของ CEMA

$$BeltHP = \{L[k_t + (K_x + K_y W_b + 0.015W_b)] + K_x LW_m + HW_m\} \times \frac{S}{33000} \quad (2.33)$$

- เมื่อ L = ความยาว (ฟุต)
 H = ระยะยกของสายพาน (ฟุต)
 W_b = น้ำหนักของสายพาน (ปอนด์ต่อความยาวสายพาน 1 ฟุต)
 W_m = น้ำหนักของวัสดุขนถ่าย (ปอนด์ต่อความยาวสายพาน 1 ฟุต)
 S = ความเร็วสายพาน (ฟุตต่อนาที)
 K_t = แฟคเตอร์อุณหภูมิ (ไม่มีหน่วย)
 K_x = แฟคเตอร์ความต้านทานการหมุนลูกกล
 K_y = แฟคเตอร์ความต้านทานการเคลื่อนที่ของสายพานและวัสดุ (ไม่มีหน่วย)

สมการกำลังม้าของสายพาน (Belt Horsepower) ตามมาตรฐาน DIN 22101 คือ

$$N = \frac{CfL}{270} (3.6G_m V + Q_t) + \left(-\frac{Q_t H}{270} \right) \quad \text{หน่วย กำลังม้าเมตริก (PS)} \quad (2.34)$$

- เมื่อ C = แฟคเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับความยาวสายพาน
 f = ค่าความเสียดทานลูกกลิ้ง
 L = ความยาวสายพาน (เมตร)
 G_m = น้ำหนักสายพานทั้งหมดบวกน้ำหนักลูกกลิ้งทั้งหมด
 V = ความเร็วสายพาน (เมตรต่อวินาที)
 Q_t = ปริมาณขนถ่าย (ตันต่อชั่วโมง)
 H = ระยะยกของสายพาน (เมตร)

2.3.8 ไมโครเวฟ [12]

การแผ่คลื่นความถี่ไมโครเวฟ โดยปกติจะใช้ช่วงความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) หรือความยาวคลื่น 12.24 เซนติเมตร ผ่านเข้าไปในอาหาร โมเลกุลของน้ำ ไขมัน และน้ำตาล ที่อยู่ในอาหารจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้น ในกระบวนการนี้เรียกว่า การเกิดความร้อนในสารไดอิเล็กตริก (dielectric heating) เนื่องจากโมเลกุลส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า มีประจุบวกและประจุลบ เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำ

2.3.8.1 คลื่นไมโครเวฟ เป็นคลื่นความถี่ชนิดหนึ่งที่มีความถี่อยู่ที่ 0.3 GHz - 300 GHz ส่วนในการใช้งานนั้นส่วนมากจะนิยมใช้ความถี่ 1 GHz - 60 GHz เพราะเป็นย่านความถี่ที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับระบบเตาไมโครเวฟนี้เป็นการส่งคลื่นไมโครเวฟก็จะสะท้อนตัวสแตนเลสเพื่อทำให้คลื่นไมโครเวฟก็จะกระจัดกระจายอยู่พื้นที่ในเตา จึงสามารถนำไปใช้ในการอบอาหาร หรือ ทำให้น้ำออกจากวัสดุ ดังนั้นสูตรสมการหาความยาวคลื่นได้ดังนี้

$$F = \frac{V}{\lambda} \quad (2.35)$$

เมื่อ F = ความถี่ (FREQUENCY) มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)
 V = ความเร็วของคลื่นในอวกาศ (VELOCITY) ซึ่งเท่ากับความเร็วแสง
 คือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที (m/s)
 λ = แลมด้า เท่ากับความยาวคลื่น (WAVE LENGTH) มีหน่วยเป็น
 เมตร (m)

ดังนั้น ถ้าเราทราบความถี่ของคลื่นก็สามารถหาความยาวของคลื่นได้ และในทางกลับกันถ้าเราทราบความยาวคลื่นก็สามารถหาความถี่ของคลื่นได้เช่นกัน เช่นเราทราบความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในเตาไมโครเวฟเท่ากับ 2,450 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) สามารถหาความยาวคลื่นได้ตามสมการที่

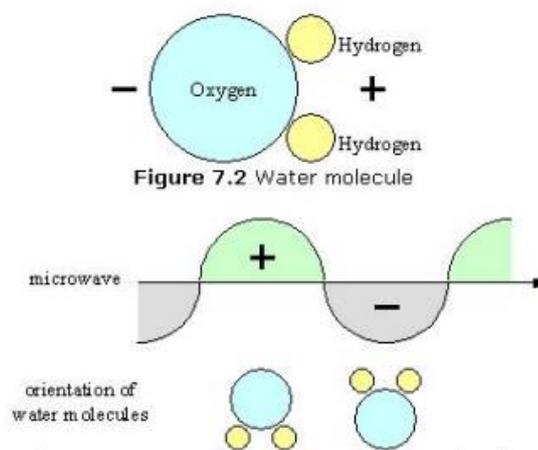
เมื่อ $V = 3 \times 10^8$ (300,000,000) เมตรต่อวินาที (m/s)
 $F = 2,450$ เมกะเฮิรตซ์ (MHz) = (2,450,000,000)

แทนค่า
$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 (m/s)}{2,450 (MHz)} = \frac{300,000,000}{2,450,000,000}$$

ดังนั้นความยาวคลื่น (λ) = 0.1224 เมตร หรือ 12.24 เซนติเมตร

2.3.8.2 การทำงานของคลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นสนามของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานแม่เหล็กอยู่ด้วยกัน จึงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วแสง มีการแผ่รังสีเหมือนแสงแต่มีพลังงานน้อยกว่า เคลื่อนที่ในรูปแบบคลื่น ดังนั้นไมโครเวฟจึงสะท้อนไปมาถูกส่งหรือดูดกลืนได้โดยขึ้นกับสารที่ไมโครเวฟทำปฏิกิริยาด้วย หลักการทำงานของเตาไมโครเวฟ เพราะน้ำเป็นโมเลกุลชนิดที่มีขั้วบวกที่ปลายด้านหนึ่ง โมเลกุลของน้ำในอาหารจะจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเปิดเครื่องทำให้เกิดไมโครเวฟในเตาอบ โมเลกุลของน้ำจะดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟสนามของคลื่นไมโครเวฟจะเกิดการสั่นเป็นจำนวนล้านๆ ครั้งใน 1 วินาที ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำสั่นไปพร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งของโมเลกุลในน้ำ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้เป็นระเบียบมากขึ้น การที่โมเลกุลในเป็นระเบียบมากขึ้น การที่โมเลกุลของน้ำสั่นอย่างมากนี้ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น

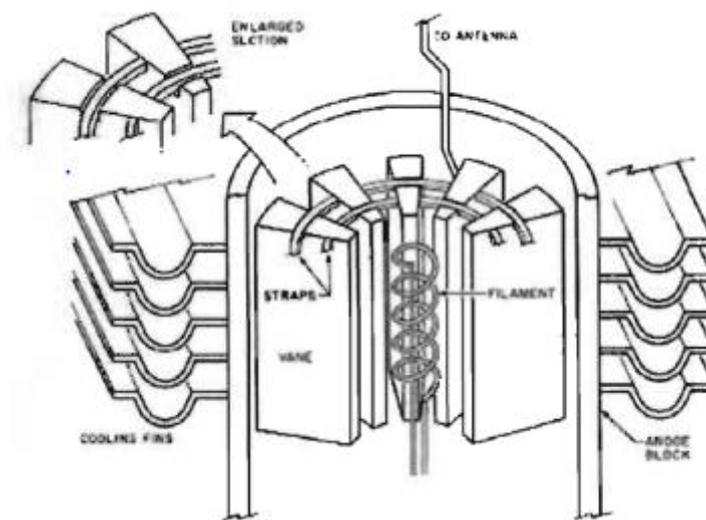


ภาพที่ 2.19 หลักการทำงานของคลื่นไมโครเวฟ (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

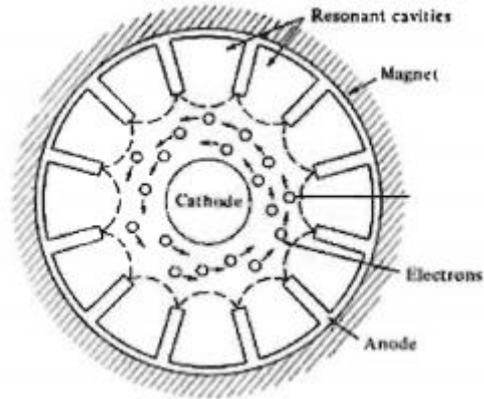
2.3.8.3 องค์ประกอบของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Sources) ท่อนำคลื่นไมโครเวฟ (Waveguides) และส่วนบริเวณที่มีวัตถุตั้งอยู่ (Applications) ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของส่วนประกอบและหลักการทำงานได้ดังต่อไปนี้

แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟเกิดจากแมกนีตรอน (Magnetron) ซึ่งแมกนีตรอนทำหน้าที่ในการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อไปกระตุ้นให้เกิดความร้อนขึ้น แมกนีตรอนเป็นหลอดสุญญากาศ (Vacuum Tube) มีโครงภายนอกเป็นโลหะ และมีครีบบรรยากาศความร้อนอยู่ด้านข้าง ส่วนโครงสร้างภายในจะมีส่วนกำเนิดเรียกว่า ไดโอด (Diode) ซึ่งประกอบด้วยแท่งแอโนด (Anode) และแคโทด โดยแท่งแอโนดทำหน้าที่ในการกำหนดวงโคจรของไมโครเวฟ ซึ่งประกอบด้วยท่อทรงกระบอกที่ทำด้วยทองแดง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.5 เซนติเมตร และยาว 3.2 เซนติเมตรปิดด้วยแผ่นทองแดงที่ปลายหลอดทั้งสองด้าน เพื่อดูดอากาศออกทำให้เกิดสุญญากาศขึ้นภายในหลอดไดโอด และภายในหลอดไดโอดจะประกอบด้วยแผ่นทองแดง (Vaness) ประมาณ 12 แผ่น เรียงต่อกันคล้ายซี่ล้อรถจักรยาน ซึ่งจะเว้นช่องว่างไว้ตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร โดยจะมีขดลวดม้วนเป็นเกลียวรอบๆ แกนศูนย์กลางซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า แคโทด โดยจะทำหน้าที่ในการปลดปล่อย Thermionic Electron

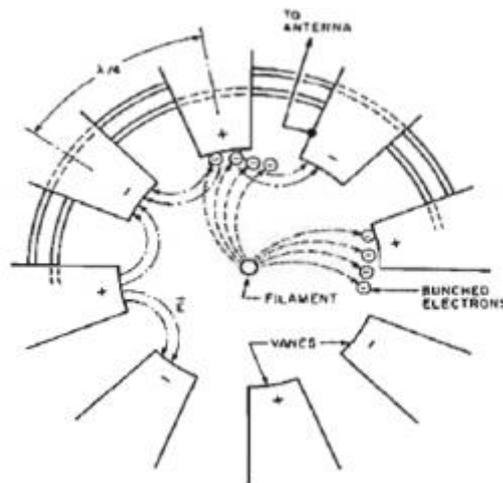


ภาพที่ 2.20 รูปตัดขวางด้านข้างแสดงส่วนประกอบของแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

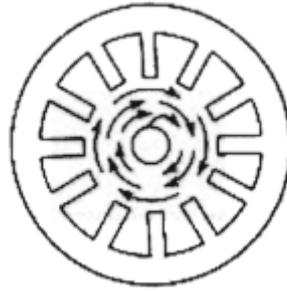


ภาพที่ 2.21 รูปตัดขวางด้านบนแสดงส่วนประกอบของแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

หลักการทำงานของแมกนีตรอนเริ่มจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดหรือแคโทดทำให้ขดลวดร้อนขึ้นและเกิดการปล่อยอิเล็กตรอนที่มีประจุลบออกมาวนเวียนอยู่รอบๆ แคโทด และจะเกิดเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่ตรงกลางไดโอด เมื่อผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 4,000 โวลต์ ถึง 6,000 โวลต์ ระหว่างแอโนดและแคโทด จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นและจะเร่งให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกจากกลุ่มอิเล็กตรอนไปยังแอโนด ทำให้เกิดการเคลื่อนที่หมุนวนไปรอบๆ เป็นผลให้เกิดคลื่นไมโครเวฟโดยจะมีสายอากาศ ที่อยู่บริเวณส่วนบนของหลอดแมกนีตรอนทำหน้าที่จับคลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นแล้วส่งผ่านไปยังท่อนำคลื่น (Wave guide) และผ่านไปยัง stirrer เพื่อช่วยกระจายคลื่นไมโครเวฟให้สัมผัสอาหารได้อย่างทั่วถึงภายในเตาอบไมโครเวฟ



ภาพที่ 2.22 รูปตัดขวางของแอโนดในแมกนีตรอน (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)



ภาพที่ 2.23 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากแคโทดสู่แอโนด (อเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์, 2556)

2.3.8.4 ปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' E^2 = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon_r'' (\tan \delta) E^2 \quad (2.36)$$

Q = ปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

E = สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง

F = ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ

ω = ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ

ϵ_r'' = relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับส่งผ่าน และสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ

ϵ_0 = Dielectric Constant ของอากาศ = 1

$\tan \delta$ = Dielectric Loss Tangent Coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการแปรเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับเป็นพลังงานความร้อน

ค่าความลึกในการทะลุทะลวงหรือระยะทางที่สนามไฟฟ้าทะลุเข้าไปได้

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi f}{v} \sqrt{\frac{\epsilon_r' (\sqrt{1 + (\tan \delta)^2} - 1)}{2}}} \quad (2.37)$$

v = ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)

f = ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ

ϵ_r' = relative dielectric constant

$\tan \delta$ = Dielectric Loss Tangent Coefficient

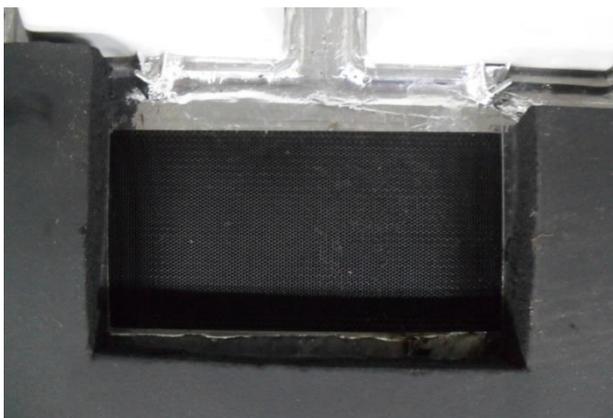
ตัวอย่างการคำนวณ

$$D_p = \frac{1}{\frac{(2\pi)(2.45 \times 10^9)}{3 \times 10^8} \sqrt{\frac{(5.61264) \left(\left(\sqrt{(1+0.1725^2)} - 1 \right) \right)}{2}}}$$

= 0.09572 เมตร
= 9.572 เซนติเมตร

2.3.8.4 ลูกกรงฟาราเดย์

ลูกกรงฟาราเดย์ลูกกรงทำด้วยสารตัวนำไฟฟ้ามีไว้เพื่อป้องกันไม่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลุดลอดออกมาภายนอกได้เนื่องจากช่องของตาข่ายลูกกรงนี้มีขนาดความกว้างของช่องเล็กกว่าความยาวคลื่นไมโครเวฟคลื่นจึงไม่สามารถลอดผ่านออกมาและไม่สามารถเจาะทะลุทะลวงผ่านโดยได้มีการกำหนดค่าขีดจำกัดความปลอดภัยของระดับความเข้มของกำลังงานการรั่วไหลของไมโครเวฟ คือ ไม่ควรเกิน 1 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และต้องไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยวัดที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตรจากผิวนอกของเตาอบไมโครเวฟ



ภาพที่ 2.24 ลูกกรงฟาราเดย์

2.3.9 การส่งถ่ายความร้อน [13]

ความร้อนสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 รูปแบบ คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี พฤติกรรมทางความร้อนจะเคลื่อนที่จากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น น้ำแข็งในแก้วน้ำที่มีน้ำอยู่ น้ำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจึงถ่ายเทความร้อนไปที่น้ำแข็งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้น้ำแข็งละลาย และหยุดถ่ายเทความร้อนต่อเมื่อมันมีอุณหภูมิที่เท่ากัน

การนำ (Conduction) เป็นการส่งถ่ายอุณหภูมิโดยที่ตัวกลางนั้นอยู่กับที่ ยกตัวอย่างเช่น เราจับแท่งเหล็กแท่งหนึ่ง แล้วนำปลายของแท่งเหล็กนั้นไปเผาไฟ สักพักมือเราที่จับปลายอีกด้านก็จะรู้สึกถึงความร้อนที่มือ นี่คือตัวอย่างของการนำความร้อน ตัวกลางได้แก่ แท่งเหล็กที่มีความร้อนวิ่งผ่าน ส่วนตัวอย่างอื่นเช่น การนำความร้อนผ่านกำแพงบ้าน (กำแพงเป็นตัวกลาง) ความร้อนผ่าน

หลังคา (หลังคาเป็นตัวกลาง) ความร้อนผ่านผนังท่อ (ผนังท่อเป็นตัวกลาง) ส่วนอัตราการนำความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ และคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ

การพา (Convection) เป็นการส่งถ่ายอุณหภูมิโดยที่ตัวกลางนั้นเคลื่อนที่ไปกับอุณหภูมิด้วย ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่มีอุณหภูมิไหลผ่านท่อซึ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่พาความร้อนไปกับน้ำเคลื่อนที่ไปพร้อมกันส่วนอัตราการพาความร้อน ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ ความเร็วของการไหลของตัวกลาง และชนิดของของไหล

การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทอุณหภูมิที่ไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ยกตัวอย่างเช่น ดวงอาทิตย์การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก ความร้อนเคลื่อนผ่านอวกาศ ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ผ่านบ้าน และก็มาถึงคนก็จะรู้สึกร้อน

อัตราในการแผ่รังสีความร้อน ที่มีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ ปริมาณอุณหภูมิที่แพร่ออกจากแหล่งกำเนิด แล้วนำการแพร่นั้นมาเปรียบเทียบกับวัตถุดำ (วัตถุดำเป็นวัตถุทางอุดมคติไม่มีจริงในโลกนี้ ส่วนที่เห็นว่าเป็นสีดำ ในทางวิทยาศาสตร์ไม่ถือว่าดำจริง)

ในบางครั้งเราจะพบว่า การถ่ายเทความร้อนนั้นมีได้ทั้ง 3 แบบผสมกันไป ยกตัวอย่างเช่น แท่งเหล็กที่เราเอามือจับ และนำเอาอีกด้านหนึ่งไปเผาไฟ การนำก็คือความร้อนวิ่งผ่านแท่งเหล็กมาสู่มือเรา การพาก็คือเมื่อลมพัดผ่าน ความร้อนของแท่งเหล็กก็จะวิ่งมาหาเรา ส่วนการแผ่รังสีก็คือความร้อนของแท่งเหล็กแผ่ออกมาทำให้รู้สึกร้อน ถ้าลองเอากระจกใสไปกั้นระหว่างเรากับแท่งเหล็กร้อน เรายังรู้สึกถึงความร้อนนั้นอยู่ ความร้อนที่มาจากเหล็กร้อนนั้นเคลื่อนที่ผ่านแก้วได้

การถ่ายเทความร้อนในระบบโครโอเจนิคส์ มีอุณหภูมิที่ไหลผ่านออกมาเป็นอุณหภูมิที่สูญเสียในบริเวณที่ต้องการรักษาอุณหภูมิให้มีค่าคงที่ การแก้ไขในระบบโครโอเจนิคส์เพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูญเสียนี้อย่างเช่น ใช้วิธีแจ๊คเก็ตสุญญากาศ (Vacuum jackets) กระจกป้องกันโดยใช้ไนโตรเจน(Nitrogen shields) ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีวิธีการสูญเสียของอุณหภูมิก็คือหลายวิธี ขึ้นอยู่กับความชำนาญ และประสบการณ์ ของผู้ปฏิบัติงานด้านโครโอเจนิคส์

2.3.10 ฮีตเตอร์ [13]

ฮีตเตอร์ (Heater) เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภทเกษตรกรรม, งานทำความร้อนในอาคาร หรือระบบระบายอากาศ ที่มีความต้องการสร้างความร้อนให้กับชิ้นงาน อาหาร, ห้องอบสี, งานบรรจุหีบห่อ, อบอุ่นรูปพลาสติก ฯลฯ โดยใช้หลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ (ตัวความต้านทาน R) ซึ่งส่งผลให้ลวดตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น โดยแหล่งจ่ายไฟสามารถใช้ได้กับแรงดัน 220VAC และ 380VAC ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานฮีตเตอร์ (Heater) ได้ง่ายและสะดวก ซึ่งในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมหันมาใช้ฮีตเตอร์ (Heater) มากยิ่งขึ้น เนื่องจากราคาถูก และสิ่งขนาด รูปทรง และวัสดุได้ตามความต้องการ โดยส่วนประกอบส่วนใหญ่ของฮีตเตอร์ (Heater) มีดังนี้

ลวดฮีตเตอร์ (Heater) ซึ่งเรียกว่า ลวด Nikrothal 80 หรือ R80 โดยมีส่วนผสมของนิเกิล 80 % และโครเมียม 20 % ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 1400 องศาเซลเซียส โดยมีคุณสมบัติเหนียว และทนความร้อนได้สูงถึง 1400 องศาเซลเซียส

ฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) คุณสมบัติมีค่าความนำทางไฟฟ้าต่ำ แต่นำความร้อนได้ดีมาก ซึ่งทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดตัวนำฮีตเตอร์ (Heater) กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้มี

กระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาดเนื่องจากจะทำให้ค่าความนำไฟฟ้าสูงขึ้น วิธีการแก้ไขคือการนำฮีตเตอร์ (Heater) ไปอบในเตาอบเพื่อไล่ความชื้น

สแตนเลส (Stainless) ที่นำมาใช้ในการผลิตฮีตเตอร์ (Heater) มีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ดังนี้

- Stainless 304: ใช้ในงานที่ต้องการขึ้นรูปเพื่อการตกแต่งให้สวยงาม สามารถป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี

- Stainless 316: ถูกออกแบบให้ป้องกันสนิมได้เป็นอย่างดี สามารถใช้ในทางอุตสาหกรรมหนัก และสถานที่ใกล้ทะเลที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง

- Stainless 430: เป็นสแตนเลสที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100 % และมีโอกาสเกิดสนิมน้อยกว่าเบอร์ 300 ซึ่งสแตนเลสแบบนี้นิยมนำมาตกแต่งภายในสมการคำนวณขนาดของขดลวดความร้อน (Heater)

$$Q = mc_p \Delta T \quad (2.38)$$

สมการคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวล (m)

$$\dot{m} = \rho v A \quad (2.39)$$

$$T_f = \frac{T_w + T_\alpha}{2} \quad (2.40)$$

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (วัตต์)

\dot{m} = อัตราการไหลเชิงมวล (กิโลกรัมต่อวินาที)

ΔT = ผลต่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)

T_f = อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)

T_w = อุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศ (องศาเซลเซียส)

T_α = อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$T_f = \frac{85 + 27}{2}$$

$$T_f = 56^\circ C$$

$$\dot{m} = (1.067)(18.4)\left(\frac{\pi}{4} 0.0635^2\right)$$

$$\dot{M} = 0.06217 \text{ kg/s}$$

แทนค่า

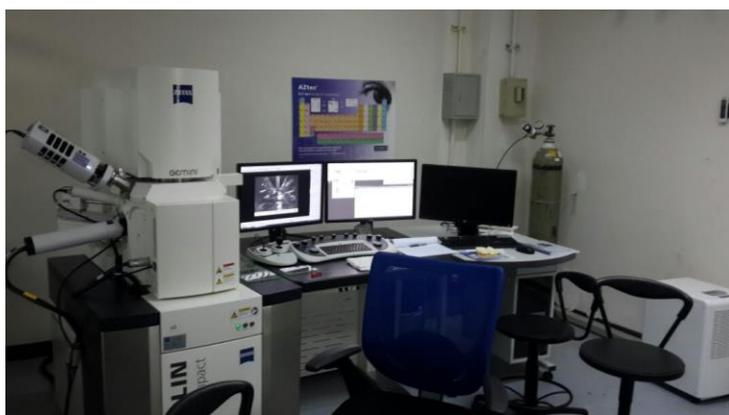
$$\begin{aligned} Q &= (0.06217)(1.009)(85-27) \\ &= 3.6383 \text{ kJ/s} \\ Q &= 3638.3 \text{ W} \end{aligned}$$

ขนาดของขดลวดความร้อนที่ต้องใช้มีขนาดเท่ากับ 5 kW

2.3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

[14]

SEM เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับจุลภาค และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการวิจัย และการผลิตภาคอุตสาหกรรม SEM เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงถึงระดับ 1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับไมโครหรือนาโนได้ SEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer ; EDS) ซึ่งช่วยในการศึกษา ชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุของวัสดุที่ศึกษาได้อีกทั้ง SEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือหัววัดอื่นๆ เพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไปเช่นเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์การเรียงตัวของผลึก โดยใช้สัญญาณจากการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Electron Backscatter Diffraction; EBSD) นอกจากนี้ SEM ยังสามารถประยุกต์โดยเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ควบคุมลำอิเล็กตรอนเพื่อใช้เขียนลวดลายขนาดเล็กลงบนชิ้นงาน (Electron Beam Lithography) จะเห็นได้ว่า SEM เป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นต่อการศึกษาวิจัย ด้วยกำลังขยายที่สูง และสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายและครอบคลุมการศึกษาวิจัยในระดับจุลภาค



ภาพที่ 2.25 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน