บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ การทดสอบความงอกของเมล็ดพันธ์ข้าวอย่างง่าย และอุปกรณ์สำหรับกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ แหล่งกำเนิดพลังงานความถี่สูงหรือเจนเนอเรเตอร์ (Generator) และแอพลิเคเตอร์ชนิดคาวิตี้

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

ถ้าจะกล่าวถึงการนำคลื่นความถี่สูงมาประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ในปัจจุบันมีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางเช่น คลื่นRadio-Frequency (RF) หรือ คลื่นความถี่วิทยุที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกิจการด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ด้านการสื่อสารทางไกล โดยแต่ละคลื่นความถี่จะมีความเหมาะสมกับกิจการแต่ละชนิด เช่น คลื่นความถี่ 88-108 MHz สำหรับวิทยุกระจายเสียงระบบ FM คลื่นความถี่ 800, 900, 1800 MHz สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้ RF กับผลิตผลทางการเกษตรนั้นได้เริ่มมีการศึกษามาประมาณ 40 ปีมาแล้ว (Nelson, 1965) จนถึงปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับ RF อย่างมากมาย

นอกจากคลื่นความถี่วิทยุแล้ว ในปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆมากมายเช่น การอบแห้ง การฆ่าเชื้อโรค การvulcanization การเร่งปฏิกิริยาเคมี การกำจัดสารพิษ และการกำเนิดพลาสมา(L. Harlfinger.,1992 and M. Moisan,1992) เป็นต้น สำหรับในอุตสาหกรรมอาหารนั้นได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ครั้งแรกเพื่ออบแห้งมันฝรั่งและ pasta(R.V. Decareau.,1985) สำหรับขบวนการอบแห้งอาหารนั้น จะใช้คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟที่จะตอบสนองต่อโมเลกุลชนิดต่างๆไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงไดอิเลคตริกของมัน(C. Gabriel,1988) คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำได้ดีที่สุดเนื่องจากความถี่ของการหมุนของโมเลกุลของน้ำซึ่งมีความเป็นเชิงขั้ว(Dipole)สูงกับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHzเกิดการกำทอน(Resonance)กัน ทำให้น้ำสามารถดูดพลังงานของคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยพลังงานของคลื่นไมโครเวฟมีผลกระทบต่อวัสดุอื่นๆน้อยมาก(G. Roussy,1995)น้ำจะถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจนระเหยออกไปหมด ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงใช้ในการระเหยของความชื้นในอาหารโดยที่ความร้อนดังกล่าวจะไม่ทำให้โครงสร้างและรสชาติของอาหารเกิดการเสียหาย ถ้าหากมีการควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งจะเห็นว่าการอบแห้งโดยคลื่นไมโครเวฟมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้เพื่อพัฒนาขบวนการอบแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง(R.V. Decareau.,1985)

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การอบแห้งแบบชั้นบางของชิ้นมันสำปะหลังด้วยลมร้อน และอิทธิพลของไมโครเวฟต่อคุณลักษณะการอบแห้งแบบชั้นบางของชิ้นมันสำปะหลังด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน(คำนึง ,2548) พบว่าพฤติกรรมการอบแห้งแบบชั้ นบางเกิดขึ้นเมื่ อความเร็วของอากาศมี ค่าตั้งแต่ 0.4 เมตรต่อวิ นาที ทุกระดับความเข้มไมโครเวฟไม่มีอิทธิพลต่อการลดลงของความชื้นในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ แต่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงทุกความเข้มไมโครเวฟมีอิทธิพลต่อการลดลงของความชื้นอย่างมากเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

2.2 ความชื้นของเมล็ดพันธุ์

ความชื้นของเมล็ดพันธุ์(ประนอม,2541) คือ ปริมาณของน้ำที่แทรกซึมอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์นอกจากจะมีแป้ง น้ำมัน และโปรตีนแล้ว ยังมีน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเมล็ดแตกต่างกันไปตามสภาพแวดล้อม ระยะการเจริญ และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดนั้นๆ ความชื้นของเมล็ดพันธุ์วัดเป็นเปอร์เซ็นต์ วีรชาติ (2530)กล่าวถึงชนิดของน้ำในเมล็ดว่า การแห้งไปของเมล็ดนั้นเกิดจากการระเหยออกไปของน้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างโมเลกุล ซึ่งเรียกน้ำชนิดนี้ว่า Free water แต่ยังมีน้ำอีกชนิดหนึ่งเป็นน้ำที่ยึดติดอยู่กับโมเลกุลภายในเมล็ดและเป็นองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ เรียกว่า Bound water ซึ่งจะระเหยออกจากเมล็ดได้ยาก ทำให้เมล็ดยังคงมีความชื้นอยู่เสมอ

ความชื้นเมล็ดพันธุ์ คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเมล็ดพันธุ์ โดยธรรมชาติน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่อยู่ในเมล็ดพันธุ์ เริ่มจากการพัฒนาของเมล็ดพันธุ์จากไข่ที่ได้รับการผสมแล้วส่วนประกอบของน้ำจะมีอยู่สูงมาก ต่อเมื่อขบวนการสร้างเมล็ดพันธุ์ดำเนินการไป มีการสะสมอาหารแห้ง (Dry Matter) เพิ่มมากขึ้น ปริมาณน้ำหรือความชื้นในเมล็ดนั้นจะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ จนกระทั่งการพัฒนาของเมล็ดสิ้นสุดลง เมล็ดพันธุ์จะสุกแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological Maturity) ณ จุดนี้เมล็ดพันธุ์ได้มีการสะสมอาหารแห้งสูงสุดแล้ว โดยที่ปริมาณความชื้นยังคงมีระดับสูง และหลังจากนั้นระดับความชื้นในเมล็ดพันธุ์จะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะบรรยากาศ ทั้งนี้เพื่อรักษาระดับคงที่เมื่อเข้าสู่สมดุลกับบรรยากาศนั้น (Equilibrium Moisture Content) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือ ชนิดเมล็ดพันธุ์ , ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ (การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์,Online)

พัฒนาการของเมล็ดพันธุ์ (Seed Development) จะสิ้นสุดลงเมื่อเมล็ดพันธุ์ถึงสภาวะ สุกแก่ทางสรีรวิทยา ซึ่ง ณ ขณะนั้นเมล็ดพันธุ์จะมีสุขภาพและความมีชีวิต ทั้งความงอก (Germination) และความแข็งแรง (Vigor) สูงที่สุด จากนั้น จะถือเป็นระยะการเก็บรักษาจนกว่าจะมีการนำไปใช้ปลูก การเสื่อมคุณภาพของเมล็ด (Seed Deterioration) พร้อมที่จะเกิดขึ้นได้ทุกขณะตลอดช่วงระยะเวลานั้น โดยที่ระดับความชื้นของเมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยอันหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออัตราเสื่อมคุณภาพของ เมล็ดพันธุ์ในระหว่างนั้น ความชื้นเมล็ดพันธุ์ยิ่งสูงอัตราการเสื่อมคุณภาพยิ่งรุนแรง ความสำคัญเรื่องความชื้นเมล็ดพันธุ์ต่อการเสื่อมคุณภาพนี้ มีการประเมินความรุนแรงใน

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การเสื่อมคุณภาพไว้ว่า "ทุก ๆ ระดับความชื้นของเมล็ดพันธุ์ที่ลดลง 1 % อายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ" หรือในทางตรงกันข้าม หากความชื้นเพิ่มขึ้น 1 % อายุการเก็บรักษาจะลดลงทวีคูณ เช่นกัน

เนื่องจากความชื้นของเมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เมล็ดเสื่อมคุณภาพที่สำคัญที่สุด โดยเมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวใหม่ ๆ ในขณะที่ยังมีระดับความชื้นสูง จำเป็นที่จะต้องลดระดับความชื้นให้เร็วที่สุดเท่าที่จะกระทำได้ เมล็ดพันธุ์ที่เก็บเกี่ยวในขณะที่ยังมีความชื้นสูงเมื่อนำมากองรวมกันหรือบรรจุรวมกันมาก ๆ ความชื้นที่สูงจะเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากเมล็ดพันธุ์เป็นสิ่งที่ยังมีชีวิต จึงต้องมีขบวนการ metabolism เกิดขึ้นอยู่เสมอ ขบวนการทางชีวเคมีภายในเมล็ดยังคงดำเนินอยู่ ที่สำคัญคือ ขบวนการหายใจ ซึ่งเป็นขบวนการที่นำเอาออกซิเจนจากอากาศไปสันดาปกับโมเลกุลของสารประกอบคาร์โบไฮเดรท (CHO) แล้วปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) น้ำ และความร้อนออกมาดังสมการเคมี **$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ ---------- $6CO_2 + 6H_2O$ + 673 Kcal (ความร้อน)**

การหายใจของเมล็ดมีความสัมพันธ์กับความชื้นของเมล็ด ยิ่งเมล็ดมีความชื้นสูง ยิ่งทำให้อัตราการหายใจของเมล็ดสูงขึ้น ทำให้อาหารที่สะสมไว้ในเมล็ดจะถูกนำมาย่อยสลายเปลี่ยนไปเป็นพลังงานและความร้อน น้ำหนักของเมล็ดจะลดลงและมีการเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น รวมทั้งเกิดความร้อนสะสมในกองเมล็ดเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิด CO_2 , H_2O และพลังงาน CO_2 เป็นพิษต่อเมล็ด ทำให้เมล็ดมีอายุสั้นลง น้ำและความร้อนเร่งการสลายตัวของสารเคมีในเมล็ดให้เร็วขึ้น เมล็ดจึงเสื่อมความมีชีวิตลงอย่างรวดเร็ว ขอบเขตของอุณหภูมิซึ่งทำลายความงอกเกือบทั้งหมด และการทำลายทั้งหมดนั้นแคบมาก สำหรับเมล็ดที่มีความชื้น 25% เมล็ดจะถูกทำลายความงอกเกือบหมดที่ 50°C และความงอกจะถูกทำลายทั้งหมดโดยสิ้นเชิงที่ 61°C แต่สำหรับเมล็ดที่มีความชื้น 11% อุณหภูมิที่ทำลายความงอกเกือบทั้งหมดและทำลายอย่างสมบูรณ์ คือ 64°C และ 73°C ตามลำดับ สภาพที่เหมาะสมซึ่งทำให้เมล็ดมีชีวิตอยู่ได้นานคือ สภาพซึ่งทำให้อัตราของ metabolism ในเมล็ดดำเนินไปอย่างช้า ๆ นั่นคือในทางปฏิบัติต้องให้เมล็ดมีความชื้นต่ำและอยู่ในที่เย็น

ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ (Seed Moisture Content) คือ ปริมาณของน้ำที่แทรกซึมอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของเมล็ด มีหน่วยวัดเป็นอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในเมล็ดพันธุ์ ต่อน้ำหนักมวลรวมของเมล็ดพันธุ์นั้น (น้ำหนักมาตรฐานเปียก) คำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\text{ความชื้นของเมล็ด (\%)} = \frac{\text{นน.ของน้ำที่มีอยู่ในเมล็ด X 100}}{\text{นน.ทั้งหมดของเมล็ด}}$$

$$\text{หรือ} \quad \text{ความชื้นของเมล็ด (\%)} = \frac{\text{(นน.เมล็ดก่อนอบ – นน.เมล็ดหลังอบ) X 100}}{\text{นน.เมล็ดก่อนอบ}} \quad \text{.....2.1}$$

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กล่าวได้ว่าความชื้นสมดุลของเมล็ด (Equilibrium Moisture Content) คือความชื้นของเมล็ดที่จะเข้าสู่สมดุลกับสภาพอากาศรอบ ๆ เมล็ด ความชื้นเมล็ดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นสำคัญ นั่นคือเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น เมล็ดก็จะดูดความชื้น จนกระทั่งความชื้นในเมล็ดเข้าสู่สมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ในทำนองเดียวกัน เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำลง เมล็ดก็จะคายความชื้นออกสู่บรรยากาศ จนกระทั่งเกิดความสมดุลระหว่างความชื้นในเมล็ดและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

2.3 การทดสอบความงอกของเมล็ดพันธ์ข้าวอย่างง่าย

การทำนาหว่านน้ำตม ให้ได้ผลผลิตต่อไร่สูงนั้น เรื่องเมล็ดพันธ์ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญเรื่องหนึ่ง การใช้เมล็ดพันธ์ที่ดีไม่มีโรคแมลง มีความบริสุทธิ์สูง ก็จะทำให้ได้ผลผลิตที่ดีตามมา ก่อนที่ชาวนาจะหว่านข้าว ควรมีการทำความสะอาดเมล็ดพันธ์และมีการทดสอบการงอกของเมล็ดพันธ์ที่จะใช้ก่อนหว่านเสมอ หากชาวนานำเมล็ดพันธ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำว่า 80% ไปหว่านลงในนาจะทำให้ได้จำนวนต้นข้าวที่งอกมีจำนวนน้อย ซึ่งต้องมีการปลูกซ่อมภายหลัง หรืออาจจะต้องไถทิ้งและหว่านเมล็ดพันธ์ใหม่ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายทั้งเรื่องเมล็ดพันธ์และการเตรียมดิน ดังนั้นวิธีการที่จะทำให้ไม่ต้องเสีย เวลาและค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็นก็โดยการทดสอบความงอกของเมล็ดพันธ์ก่อนที่จะทำการเพาะปลูก เพื่อจะได้คำนวณการใช้เมล็ดพันธ์ต่อไป (เครือวัลย์,สวพ.5 ปีที่ 1)

วัสดุที่ใช้สำหรับการทดสอบความงอก

1. เมล็ดพันธุ์ ที่นำมาทดสอบต้องเป็นตัวแทนของเมล็ดพันธุ์ทั้งหมดโดยการสุ่มนับโดยยุติธรรม ควรสุ่มหลาย ๆ จุด เพื่อให้ได้ตัวแทนที่แท้จริง จำนวนเมล็ดพันธ์ที่ทำการทดสอบควรใช้อย่างน้อย 400 เมล็ด โดยแบ่งเป็น 4 ซ้ำ ๆ ละ 100 เมล็ด

2. วัสดุเพาะ ต้องมีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีและมีความชื้นพอเพียงตลอดระยะเวลาการทดสอบความงอก ในระหว่างการทดสอบต้องหมั่นดูว่าวัสดุเพาะแห้งหรือไม่ ถ้าแห้งต้องเติมน้ำให้ความชื้นเหมาะสมสำหรับการงอกของเมล็ดพันธ์ ซึ่งในการทดสอบการงอกของเมล็ดพันธ์ข้าวด้วยตนเองอย่างง่ายนั้นจะใช้กระดาษทิชชู เป็นวัสดุเพาะ

วิธีการทดสอบความงอกอย่างง่าย มีวิธีปฏิบัติดังต่อไปนี้

1) ใช้กระดาษทิชชูซ้อนกัน 3-5 ชั้น วางบนฝา หรือจานแบนๆ แล้วรดน้ำให้ชุ่ม

2) โรยเมล็ดพันธุ์ข้าวจำนวน 100 เมล็ดลงบนกระดาษทิชชู

3) เมื่อครบเวลา 4-5 วัน ตรวจดูต้นกล้าปกติ (ต้นอ่อนที่มียอด รากสมบูรณ์) ต้นกล้าผิดปกติ (ต้นที่ไม่สามารถเจริญเป็นต้นปกติได้ เช่น ไม่มียอด รากสั้น เป็นต้น) และเมล็ดไม่งอก

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

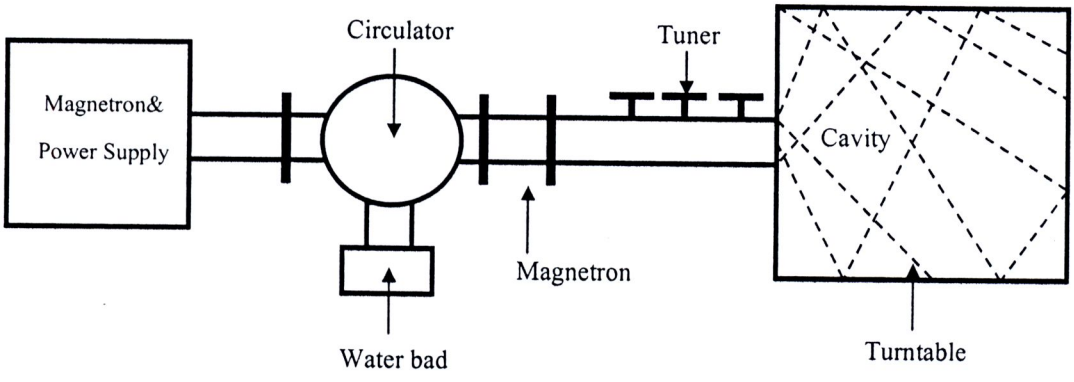
การคิดเปอร์เซ็นต์ความงอก เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธ์ได้จากจำนวนต้นกล้าปกติ โดยใช้ผลเฉลี่ย จากการทดสอบแต่ละซ้ำ ดังนี้

ซ้ำ	เปอร์เซ็นต์ความงอก
1	84
2	86
3	86
4	88
ผลรวม 4 ซ้ำ	**348**
ค่าเฉลี่ย 4 ซ้ำ	**348/4 = 87**

ฉะนั้นเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างนี้มีความงอก 87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวได้มาตรฐานนั้นต้องมีความงอกไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ.2518 และฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2535

2.4 อุปกรณ์สำหรับกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

การทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟและไดอิเลคตริกมีกลไกเช่นเดียวกันแต่มีวิธีการในการทำให้บรรลุเป้าหมายแตกต่างกัน โดยระบบพื้นฐานของระบบเหล่านี้จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดพลังงานความถี่สูงหรือ เจนเนอเรเตอร์ และใช้ท่อนำคลื่น (Waveguide) ไปยังชิ้นงาน (Load) ที่อยู่ภายในแอพพลิเคเตอร์ (Applicator) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ

©ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง