

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ข้าวบาร์เลย์

ข้าวบาร์เลย์เป็นพืชตระกูลหญ้าจัดอยู่ใน family Graminae Sub-family Festucodeae Tribe Tribe Triticeae Sub-tribe Hordeinae genus *Hordeum* species *vulgare* L. โดยปกติข้าวบาร์เลย์จัดอยู่ในพวกพืชผสมตัวเอง (self-pollinated crop) แต่ก็มีบางครั้งที่พบว่าข้าวบาร์เลย์มีการผสมข้ามได้เช่นกันแต่เกิดขึ้นน้อยมาก ไม่เกิน 0.2%

ระบบราก เป็นรากฝอยงอกมาจากเมล็ด และงอกข้อส่วนที่ได้ดิน ระบบรากที่งอกจะเจริญออกด้านข้าง ทั้งสองด้านของรากแรก ส่วนระบบรากข้อใต้ดิน จะแตกแขนงลึกจากผิวดิน 1-2 นิ้ว เท่านั้นไม่ว่าจะฝักเมล็ดลึกเท่าใด

ลำต้น จะมีลักษณะเป็นแท่งกลม ปล้องกลวง มีประมาณ 5-7 ข้อต่อต้น การแตกหน่อของข้าวบาร์เลย์ จะแตกออกมาเป็นชูด โดยชูดแรกจะฐานให้ชูดที่สอง และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จำนวนหน่อต่อต้นหลักจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับ ช่วงฤดูปลูกที่เหมาะสม ระยะระหว่างต้น และธาตุอาหารในดิน

ใบ มีลักษณะเรียวยาว เกิดสลับตรงข้ามกันบนลำต้น มีประมาณ 5-10 ใบต่อต้น ใบสุดท้ายเรียกว่าใบธง (flag leaf) และใบล่างถัดไป 1 มีความสำคัญมากต่อการสะสมน้ำหนักเมล็ด ใบข้าวบาร์เลย์จะประกอบด้วย แผ่นใบ (leaf blade) กาบใบ (leaf sheath) เยื่อกันน้ำ (ligule) และหูใบ (auicle) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกำปูสองอันหนีบลำต้นอยู่

รวง เป็นช่อดอกแบบ spike เกิดบนปลายสุดของต้น ดอกย่อย (spikelet) ติดเรียงกันบนก้านช่อดอก ช่อดอกสลับข้างกันแบบสลับฟันปลา แต่ละดอกมีกลีบดอกหุ้มขนาดใหญ่ (Lema) และกลีบหุ้มขนาดเล็ก (palea) เมื่อติดเมล็ดแล้ว กลีบดอกหุ้มทั้งสองจะเปลี่ยนเป็นเปลือกหุ้มเมล็ด

ข้าวบาร์เลย์ชนิด 6 แถว จะติดเมล็ดประมาณ 25-60 เมล็ดต่อรวง และชนิด 2 แถว จะติดเมล็ดประมาณ 15-30 เมล็ดต่อรวง

การจำแนกข้าวบาร์เลย์สามารถจำแนกโดยอาศัยหลักเกณฑ์พิจารณาที่แตกต่างกันได้ 4 ลักษณะ (สาวิตร, 2540) ตามคุณสมบัติ และ ลักษณะประจำพันธุ์ คือ

1) พิจารณาตามลักษณะการเรียงตัวของดอกย่อย

1.1) ชนิด 2 แถว

1.2) ชนิด 6 แถว

2) พิจารณาตามนิสัยการเจริญเติบโต สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด

2.1) ชนิดที่ต้องการอากาศหนาวเย็น (winter type) สามารถปลูกข้ามฤดูหนาว

2.2) ชนิดที่ไม่ต้องการอากาศหนาวเย็น (spring type) สามารถปลูกในต้นฤดูใบไม้ผลิ

3) พิจารณาที่เปลือกหุ้มเมล็ด

3.1) ชนิดเปลือกกล่อน (naked barley) เมล็ดและเปลือกสามารถหลุดออกจากกันได้

3.2) ชนิดเปลือกหุ้ม (hull barley) เมล็ดและเปลือกติดแน่น ไม่สามารถหลุดออกจากกันได้

4) พิจารณาตามการใช้ประโยชน์

4.1) ชนิดที่ปลูกเพื่อทำมอลท์

4.2) ชนิดที่ปลูกเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

4.3) ชนิดที่ปลูกเพื่อทำเป็นอาหารมนุษย์

พันธุ์ที่ปลูกในปัจจุบันได้จัดแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ ประเภท 2 แถว (two rows) และประเภท 6 แถว (six rows) ข้าวบาร์เลย์ประเภท 2 แถว ในรวงหนึ่งจะมีเมล็ดอยู่ด้านข้างของรวงทั้ง 2 ข้างๆ ละ 1 แถว รวมเป็น 2 แถว นิยมปลูกในทวีปยุโรป แคนาดา อเมริกาเหนือ และทางตะวันออก ที่ปลูกกันมากได้แก่พันธุ์ Hannchen Hame และ Betzes เป็นพวก spring barley มีลักษณะ คือปริมาณโปรตีนต่ำประมาณ 9-12% ขนาดเมล็ดสม่ำเสมอมีขนาดใหญ่คือมีขนาดตั้งแต่ 2.5 มม. ขึ้นไป มากกว่า 80% เปลือกเมล็ดบางมีน้ำหนัก 1000 เมล็ด 37-50 กรัม ความงอกสูง นอกจากนี้จะได้มอลท์ที่มีกิจกรรมน้อยปานกลางและสกัดแป้งได้สูง ส่วนประเภท 6 แถว ในรวงหนึ่งจะมีเมล็ดอยู่ด้านข้างๆ ละ 3 เมล็ด รวม 2 ข้าง เป็น 6 เมล็ด นิยมปลูกในสหรัฐอเมริกาที่นิยมปลูกได้แก่ พันธุ์ Larker Tropy ซึ่งเป็น winter barley และ Atlas เป็น spring barley ขนาดเมล็ดไม่ค่อยสม่ำเสมอขนาดปานกลาง ขนาด 2.5 มม. ขึ้นไปมีประมาณ 50% น้ำหนัก 1000 เมล็ด 36-45 กรัม เปลือกหุ้มเมล็ดหนา ปริมาณโปรตีน 12-16% ความงอกสูง (Kneen and Dickson, 1967)

2.2 มอลท์และการเตรียมมอลท์

มอลท์ คือข้าวบาร์เลย์ที่ไม่ผ่านการขัดสี โดยหลักในการทำมอลท์เป็นการนำข้าวบาร์เลย์มาแช่ในน้ำสะอาด (steeping) เพื่อให้เกิดการงอก (germination) ของเมล็ดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้มอลท์ที่มีลักษณะทางเคมีและกายภาพตามที่ต้องการและควบคุมให้มีการสูญเสียน้ำหนักของเมล็ด (weight loss) น้อยที่สุด หลังจากนั้นก็นำเมล็ดที่งอกแล้วไปทำการลดความชื้น (kilning) จนได้ความชื้นที่ต้องการและทำการแยกเอารากออก (Cherry-Downes และ Macay , 1967 ; Hui , 1992)

การเตรียมมอลท์

กระบวนการที่ใช้ในการเตรียมมอลท์แบ่งออกได้เป็น 3 กระบวนการด้วยกัน คือ

1) การแช่น้ำ (steeping)

การแช่น้ำเป็นจุดเริ่มต้นของการงอกและเป็นการปรับความชื้นภายในเมล็ดข้าวที่ให้ความเหมาะสมต่อการ modification (Piggot *et al*, 1989) เมื่อนำข้าวมาแช่น้ำ โดยมีการควบคุมปริมาณน้ำ, อุณหภูมิ และการถ่ายเทอากาศที่เหมาะสม โดยการแช่ข้าวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วสลับเป่าลมบนตระแกรง อุณหภูมิ 18°C จนรากงอกยาวประมาณ $\frac{3}{4}$ ของเมล็ด (ปิยะ, 2550) และการกระตุ้นเมล็ดด้วยอุณหภูมิที่สูงจะสามารถลดเวลาในระยะพักตัวได้ (Cherry Downes และ Macay, 1967)

สิ่งสำคัญในการแช่ข้าวอีกสิ่งหนึ่งก็คือ การให้อากาศ เนื่องจากเมล็ดจะต้องใช้ออกซิเจนในการหายใจ ในระยะแรกของการแช่ข้าวอัตราการการหายใจจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และจะเริ่มเร็วขึ้นผลจากการหายใจนี้ จะทำให้มีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์และเอทานอลซึ่งจะมีผลไปยับยั้งการงอกของเมล็ด นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดจากการหายใจและสารอาหารจากเมล็ดที่ละลายไปในน้ำที่แช่จะส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อข้าวได้ ดังนั้นระหว่างการแช่ข้าวจึงต้องมีการเปลี่ยนน้ำอย่างสม่ำเสมอ ช่วงระยะหลังการเปลี่ยนน้ำจะเป็นช่วงที่เปิดโอกาสให้เมล็ดมีการงอกในสภาพที่ไม่มีน้ำ (air rest) ซึ่งนอกจากจะมีประโยชน์ในการช่วยระยะพักตัวของข้าวก็ยังเป็นการให้อากาศกับข้าวไปในตัว (Lewis และ Young, 1995)

2) การงอก (germination)

ในระหว่างการงอกคัพจะสร้างฮอร์โมนจิบเบอเรลลินทั้ง GA_1 และ GA_3 จะถูกส่งผ่านชั้นสทูกเทลลัมและเซลล์อีพิเทอเรียล ไปยังชั้นแอลิวโลนเพื่อกระตุ้นให้เกิดเอนไซม์ต่างๆ ในชั้นนี้ได้แก่เอนไซม์ในกลุ่มย่อยสแตร์ท เช่น α -amylase, Endo-barley- β -glucanase และเอนไซม์ในกลุ่มย่อยสลายโปรตีน เช่น protease รวมทั้งในกลุ่มที่ย่อยพอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ เช่น pentocanase และ β -glucanase ซึ่งทำการย่อยผนังเซลล์ของชั้นแอลิวโลน ทำให้เอนไซม์อื่นที่เกิดขึ้นผ่านออกไปสู่เนื้อ

ในเมล็ดเพื่อย่อยสสารที่ในเนื้อเมล็ด เมื่อเอนไซม์ถูกส่งผ่านมายังเมล็ดภายในเนื้อเมล็ดจะเกิดการปรับเปลี่ยนสภาพของเนื้อในเมล็ด เมื่อเอนไซม์ถูกส่งผ่านมายัง เนื้อเมล็ดที่แข็งอ่อนลงเนื่องมาจากการย่อยสลายสสารของเอนไซม์ ขณะเดียวกันที่สภาพจะเกิดเมทาบอไลซึมของน้ำตาลซูโครส , ราฟิโนส, ไชมัน, โปรตีน และ ฟรุคโตแซนในการเริ่มงอกของต้นอ่อน เมื่อทำให้เมล็ดงอกจนเหมาะสมแล้ว เกิดรากงอกยาวประมาณ $\frac{3}{4}$ centimeter แล้วทำการยับยั้งการงอกของเมล็ด โดยการอบ (อรอนงค์, 2538)

3) การอบ (kilning)

สิ่งที่สำคัญในการอบมอลต์ คือ ต้องการหยุดการชะงักการงอกของเมล็ดและลดความชื้นให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษามอลต์ นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาการคมกลิ่นและสีที่เป็นลักษณะเฉพาะของมอลต์แต่ละชนิดอีกด้วย ในขณะเดียวกันปริมาณเอนไซม์ที่มีอยู่ภายใน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการอบก็เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะมอลต์ที่จะนำมาใช้ในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดกลั่นจะต้องเป็นมอลต์ที่มีปริมาณเอนไซม์เหลืออยู่ในปริมาณที่สูงซึ่งแตกต่างจากมอลต์ที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการทำเบียร์จะมีปริมาณเอนไซม์รวมต่ำกว่าซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการอบมอลต์

การอบมอลต์สำหรับการผลิตเบียร์จะแบ่งระยะในกาอบได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะแรกที่ใช้ในการอบจะต้องมีอุณหภูมิประมาณ $50-60^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะลดปริมาณความชื้นในมอลต์ลงเหลือประมาณ 20% ระยะที่สองความเร็วของลมร้อนจะลดลงในขณะที่อุณหภูมิจะเพิ่มเป็น $70-85^{\circ}\text{C}$ และในกรณีนี้ถ้าเป็นการผลิตมอลต์ที่มีสีเข้ม (dark malt) จะใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิถึง 105°C และในระยะสุดท้ายจะลดความชื้นให้ลดลงเหลือ 3.5-4.5% สำหรับเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดกลั่นจะทำที่อุณหภูมิต่ำกว่าการผลิตมอลต์สำหรับผลิตเบียร์ โดยจะทำการอบที่อุณหภูมิระหว่าง $49-60^{\circ}\text{C}$ และมีความชื้นหลังอบสูงประมาณ 5-7%

4) การแยกราก

การเอารากออกเนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณโปรตีนสูงมากซึ่งจะมีผลต่อการเกิดฟองในระหว่างการหมัก ยิ่งไปกว่านั้นกรณีมอลต์สำหรับทำเบียร์จะผลต่อความขุ่นของเบียร์และการตกตะกอนของผลผลิตภัณฑ์สุดท้าย วิธีที่ใช้ในโรงงาน การขจัดขนรากมอลต์โดยใช้ลมเป่าบนตะแกรง หรือหมุนตะแกรงที่รองเมล็ดจะทำให้ขนรากมอลต์ล้นร่วงลงมาได้ (Hui, 1992)

2.3 การนำมอลต์ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่

1) อุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ มอลต์ที่ผลิตได้ทั้งหมดส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในการผลิตเบียร์ ซึ่งในการผลิตเบียร์นั้นมอลต์จะถูกนำไปต้มอุ่นกับน้ำในถังทองแดงขนาดใหญ่ แล้วกรองเอากากมอลต์ออก จากนั้นนำไปเติมดอกฮอป (hop) นำไปต้มและกรองโปรตีนที่ไม่ละลายออก แล้วนำของเหลวที่ได้ไปหมักด้วยเชื้อยีสต์ (yeast) เมื่อหมักบ่มได้ที่แล้ว นำไปกรองและบรรจุขวดเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป

2) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ประเภทกลั่น ประมาณ 10% ของมอลต์ที่ผลิตได้ทั้งหมดถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์และผลิตวิสกี

3) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหาร มอลต์สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ได้ เช่น อาหารเสริม อาหารเด็กอ่อน บดเป็นแป้งเมื่อผสมกับแป้งข้าวสาลีสำหรับใช้ทำอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์เป็นส่วนผสมของกาแฟ น้ำนมเข้มข้นและอื่นๆ นอกจากนี้กากมอลต์ที่ได้จากอุตสาหกรรมผลิตเบียร์และแอลกอฮอล์

ตารางที่ 1 การใช้มอลต์ชนิดที่แตกต่าง เพื่อเบียร์ที่หลากหลาย (Narziß, 1990)

Beer type	EBC colour	Malt type	(EBC colour)	Fraction in %
Pilsner	6-7	Pilsner malt	3	100-95
		Cara - Pils	4	4-5
Pale (Hell)	8	Pale malt	3.5	100-95
		Cara - hell	25	Up to 5
Export	12	Pale malt		
		Pilsner malt	120	Up to 1
		Cara - Cara - Dunkel		

ตารางที่ 1 การใช้มอลต์ชนิดที่แตกต่าง เพื่อเบียร์ที่หลากหลาย (Narziß, 1990) (ต่อ)

Beer type	EBC colour	Malt type	(EBC colour)	Fraction in %		
Dark (Dunkel)	50-60	Dark malt	15	90		
		Pale malt	3.5	9		
		Coloured malt		1		
		Dark malt	15	40		
		Dark malt	25	40		
		Pale malt	3.5	14		
		Cara – Dunkel	120	5		
		Coloured malt		1		
		Dark malt	15	50		
		Brumalt	35	30		
		Pale malt	3.5	19		
		Coloured malt		1		
		March beer	30	Vienna malt	3.5	90
				Pale malt	3.5	10
Cara – Hell	25			10		
Dark malt	15			70		
Pale malt	3.5			30		
Cara – Dunkel	120			5		
Dark malt	15			50		
Pale malt	3.5			30		
Brumalt	35			20		
Dark malt	15			10		

ตารางที่ 1 การใช้มอลต์ชนิดที่แตกต่าง เพื่อเบียร์ที่หลากหลาย (Narziß, 1990) (ต่อ)

Beer type	EBC colour	Malt type	(EBC colour)	Fraction in %
Wheat	12	Wheat malt		50-90
		Pale malt	3.5	Remainder
		Wheat malt		70
		Cara – Hell	25	5
		Pale malt	3.5	25
		Wheat malt		70
		Dark malt	15	15
	Pale malt	3.5	15	
	40	Pale wheat malt		60
		Dark malt	15	40
		Coloured malt		0.5
		Pale wheat malt		40
		Dark wheat malt		30
		Dark malt		30
Alt	35	Pale malt	3.5	99
		Coloured malt		1
		Dark malt	15	90
		Pale malt	3.5	10
		Pale malt	3.5	85
		Cara – Dunkel	120	15
		Dark malt	15	50
		Brumalt	35	50

ตารางที่ 1 การใช้มอลต์ชนิดที่แตกต่าง เพื่อเบียร์ที่หลากหลาย (Narziß, 1990) (ต่อ)

Beer type	EBC colour	Malt type	(EBC colour)	Fraction in %
Koielseh	10	Pale malt	3.5	95
		Cara – Hell	25	5
		Pale malt	3.5	85
		Vienna malt	5.5	15
Alcohol Free (7.2%)	8.5	Pale malt	3.5	70
		Dark malt	15	15
		Cara – Hell	25	15
		Pale malt	3.5	40
Alcohol – Free		Dark malt	15	10
		Cara – Hell	25	15
		Vienna malt	5.5	30
		Acid malt		5
		Pale malt	3.5	70
		Vienna malt	5.5	23
		Cara – Dunkel	120	2
		Acid malt		5

จากตารางการใช้มอลต์ชนิดที่แตกต่าง เพื่อเบียร์ที่หลากหลาย แสดงให้เห็นว่าการนำมอลต์มาใช้ประโยชน์ในการผลิตเบียร์ซึ่งเบียร์มีหลายชนิด จึงต้องใช้มอลต์ที่หลากหลาย และในอัตราส่วนที่ไม่เท่ากันตามสูตรการผลิตเบียร์เพื่อเบียร์ที่แตกต่างกัน เช่น เบียร์ Pilsner สีของเบียร์ 6-7 EBC สีของมอลต์ 3 EBC และใช้มอลต์ชนิด Pilsner malt ในอัตราส่วน 100-95% เป็นส่วนผสม

2.4 หลักการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์

ความชื้นเมล็ดพันธุ์มีผลต่อคุณภาพการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ หลังจากทำการเก็บเกี่ยวและนวดเมล็ดพันธุ์แล้วเมล็ดส่วนใหญ่ยังมีความชื้นสูงเกินกว่าจะเก็บรักษาไว้ได้อย่างปลอดภัย จึงมีความจำเป็นต้องลดความชื้นเมล็ดลง การลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์อาจทำหลายครั้ง เช่น การลดความชื้นในเมล็ดหลังการเก็บเกี่ยวที่ยังไม่ได้นวดมักทำโดยการผึ่งลม ส่วนใหญ่การลดความชื้นจะทำกับเมล็ดพันธุ์หลังการนวดแล้วโดยการอบไล่ความชื้นด้วยการเป่าลมร้อนในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อเมล็ดพันธุ์ ซึ่งอาจเรียกว่า การอบ การลดความชื้นโดยวิธีนี้ต้องระมัดระวังการปรับอุณหภูมิ แรงลม และเวลาให้เหมาะสมกับสภาพของเมล็ดพันธุ์ มิเช่นนั้นอาจเกิดความเสียหายต่อเมล็ดพันธุ์ได้ การลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์เกี่ยวข้องกับบทบาทของความชื้น 2 บริเวณ คือ ความชื้นในเมล็ดกับความชื้นบรรยากาศ การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เป็นการนำเอาน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในเมล็ดให้ออกไปสู่อากาศและกลายเป็นความชื้นในอากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำหรือความชื้นในเมล็ดออกไปสู่บรรยากาศรอบๆ เมล็ด มีปัจจัยควบคุมหลายอย่าง ได้แก่ ขนาดของเมล็ด องค์ประกอบทางเคมี อุณหภูมิ ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดและลักษณะเชื้อหุ้มเมล็ด โดยปกติการแลกเปลี่ยนระหว่างความชื้นในเมล็ดกับความชื้นในบรรยากาศจะเกิดขึ้นตลอดเวลากระบวนการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เป็นการเร่งให้ความชื้นในเมล็ดออกสู่บรรยากาศโดยเร็ว ดังนั้นจึงต้องมีการกระทำอย่างระมัดระวัง หากทำการลดความชื้นลงอย่างรวดเร็วอาจทำให้เมล็ดสูญเสียคุณภาพได้และหากทำการลดความชื้นอย่างช้าเกินไปก็อาจทำให้เมล็ดสูญเสียคุณภาพและขึ้นราได้เช่นเดียวกัน

ปัจจัยในการอบแห้งที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์

การอบลดความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพของเมล็ดพันธุ์ หลังการอบแห้ง คุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ ความชื้นและการหดตัวของเมล็ดพืชระหว่างการอบแห้ง ซึ่งส่งผลให้เกิดการแตกร้าวในเมล็ดพืช คุณภาพทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ปฏิกริยา ได้แก่ ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาลในเมล็ดพืชบางชนิด ความสามารถในการแลกเปลี่ยนแก๊สและคุณค่าทางอาหาร ส่วนคุณภาพทางชีวภาพของเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ความสามารถในการงอกของเมล็ด ดังนั้น กระบวนการในการอบแห้งจึงต้องพิจารณาถึงการใช้อุณหภูมิ แรงลม ระยะเวลาในการอบ ระบบการระบายอากาศ และการจัดสภาพในการอบให้เหมาะสมกับสภาพและชนิดของเมล็ดพืช (สุชาติ, 2548) ดังนี้

1) **แรงลมและการถ่ายเทความร้อน** ความแรงของลมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องจัดให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถผ่านกองเมล็ดพันธุ์ได้ในอัตราที่เหมาะสม เพื่อมิให้ปิดกั้นการระบายความร้อนและการสะสมความร้อนในกองเมล็ดพันธุ์ แรงลมที่ใช้เป่าอบเมล็ดพันธุ์โดยทั่วไปอยู่ในอัตรา 4-7 ลูกบาศก์เมตรต่อเมล็ดพันธุ์หนึ่งลูกบาศก์เมตรต่ออนาที อีกลักษณะหนึ่งก็คือ ความสูงของกองเมล็ดพันธุ์ในขณะอบจะต้องไม่สูงมากเกินไป มิฉะนั้นจะทำให้ลมผ่านได้ยาก ความสูงที่ใช้ขึ้นกับลักษณะและขนาดของเมล็ดพันธุ์ เช่นเมล็ดข้าวโพดทั้งฝักสามารถกองได้ถึง 7 ฟุต ส่วนเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่นวดแล้วไม่ควรกองสูงเกิน 5 ฟุต สำหรับเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดเล็ก เช่น ข้าว ข้าวฟ่าง ถั่วเขียว ไม่ควรกองสูงกว่า 3 ฟุต เป็นต้น และควรอบให้มีความชื้นลดลงในอัตราร้อยละ 0.3 ต่อชั่วโมงกริช และคณะ (2544) ศึกษาแนวทางในการแปรรูปข้าวโดยใช้กระบวนการอบแห้งข้าวกล้อง ซึ่งทำการทดลองอบแห้งข้าวกล้องเปรียบเทียบกับการอบแห้งข้าวเปลือก สภาพของอุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง 45, 55 และ 65°C อัตราการไหลอากาศจำเพาะของอากาศ 12 m³/min-m³ ในการลดความชื้นข้าวเปลือกที่ 22% wet basis (w.b.) เทียบกับการลดความชื้นข้าวกล้องที่ได้จากการเตรียมข้าวเปลือกที่สถานะเดียว กัน ให้เหลือ 14% (w.b.) จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาการอบแห้งลดความชื้นของข้าวกล้องมีค่าน้อยกว่าระยะเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกตามปกติประมาณ 50-55% และ วุฒิกรณ์ (2541) พัฒนาสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไคซ์เบดแบบสั้นสะเทือน ขนาดกำลังผลิต 2.5-5 tons/h ขณะทำการทดสอบใช้อัตราการไหลของอากาศร้อน 1.72 m³/s (1.91 kg/s) ความเร็วของกระแสอากาศร้อนในห้องอบแห้งข้าวเปลือกประมาณ 1.37 m/s ใช้อุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 130-150°C โดยกำหนดให้ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งนานประมาณ 1 minute ความสูงของเบดข้าวเปลือกประมาณ 12 และ 15 cm สามารถลดความชื้นเริ่มต้นประมาณ 26% (d.b.) ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 23% (d.b.)

2) **ระยะเวลาในการอบแห้ง** เมื่อเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นถูกกองรวมกันอยู่เป็นปริมาณมาก เป็นระยะเวลาหนึ่ง จุลินทรีย์ต่างๆ เช่น เชื้อราจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความร้อนในกองเมล็ดพันธุ์ การหายใจ จะทำให้เมล็ดพันธุ์มีการเผาผลาญอาหารส่งผลให้น้ำหนักแห้งของเมล็ดพันธุ์ลดลง และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ลดลงอีกด้วย เช่น ทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นพินหนู (เมล็ดข้าวมีสีเหลือง) บุญมี และคณะ (2546) รายงานว่า การลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการใช้อุปกรณ์ลดความชื้นชนิดลมแห้ง เมื่อใช้อุณหภูมิในการลดความชื้น 40 และ 30°C ต้องใช้เวลา ในการลดความชื้น 9-11 ชั่วโมง โดยมีอัตราการลดลงของความชื้นเป็น 1.67 และ 1.28 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ และการใช้อุปกรณ์ลดความชื้นข้าวเปลือกชนิดลมร้อนใช้อุณหภูมิ 40 50 และ 70°C ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกสูญเสียความชื้นโดย



อัตรา 1.56 1.60 และ 1.85 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง ตามลำดับ ใช้เวลา 9, 9 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ จึงทำให้ความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในระดับประมาณ 12-14%

ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์กับการเก็บรักษา มีดังต่อไปนี้ คือ (Copeland, 1976)

ที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ในช่วง 45-82% เป็นความชื้นของเมล็ดขณะที่เจริญอยู่บนต้นแม่ ซึ่งเมล็ดยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ที่จะเก็บเกี่ยวได้

ที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ในช่วง 30-55% เป็นช่วงที่เมล็ดมีการสุกแก่ทางสรีรวิทยาแต่ไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้ เนื่องจากเมล็ดมีความชื้นสูงและเมล็ดมีอัตราการหายใจสูง เมื่อนำมาเก็บรวมกันจะเกิดความร้อนสูง หากไม่มีการระบายอากาศที่ดีพอ เมล็ดจะอ่อนนุ่มเกิดความเสียหายจากการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรได้ง่าย

ที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ในช่วง 14-20% เมล็ดจะมีความทนทานต่อความเสียหายจากเครื่องจักรกลในการนวดและปรับปรุงสภาพโดยใช้เครื่องจักรต่างๆ แต่เมล็ดยังคงมีอัตราการหายใจสูง ซึ่งเมล็ดจะได้รับความเสียหายจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้ยังมีเชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย

ที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ในช่วง 10-13% เป็นช่วงที่สามารถเก็บรักษาเมล็ดได้ดีในระยะ 6-12 เดือน แมลงรบกวนบ้างและอาจได้รับความเสียหายจากเครื่องจักรกลอยู่บ้าง

ที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ในช่วง 8-10% เป็นช่วงที่สามารถเก็บรักษาเมล็ดได้ดีในระยะเวลา 1-2 ปี แมลงเข้าทำลายได้น้อย

ที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ในช่วง 4-8% เป็นระดับความชื้นที่ปลอดภัยในการเก็บรักษาในภาชนะปิด

ที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ในช่วง 0-4% เมล็ดอาจเกิดการพังก้าวเป็นเมล็ดแข็งได้ในพืชบางชนิด และเป็นความชื้นที่แห้งเกินไปในพืชบางชนิด ซึ่งอาจเกิดอันตรายอย่างยิ่งกับเมล็ดพันธุ์

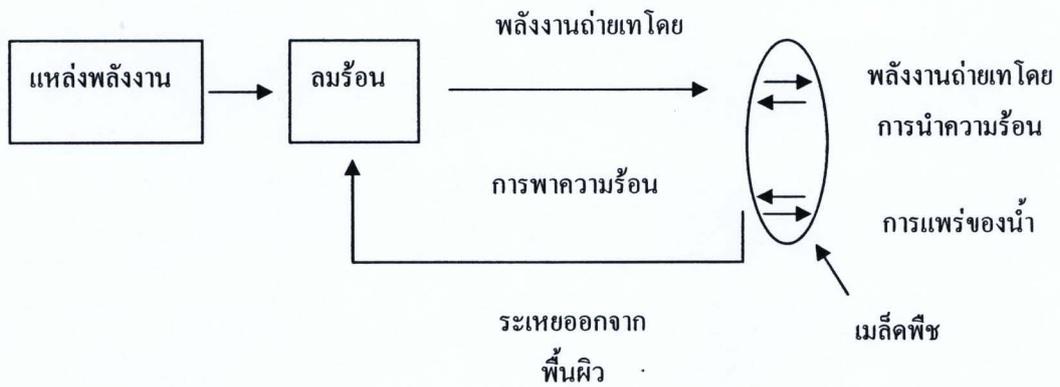
เมล็ดจะเริ่มมีกระบวนการงอกเกิดขึ้นเมื่อคุณน้ำเข้าไปจนกระทั่งมีความชื้นประมาณ 33-60 % แล้วแต่ชนิดเมล็ดพันธุ์



2.5 เครื่องอบลมร้อน

หลักการการทำงานของเครื่องอบลมร้อน

ใช้กระแสลมร้อนสัมผัสกับวัตถุดิบ เช่น ตู้อบลมร้อน (hot air dryer) โดยจะใช้ blower ในการให้ลมร้อน จากแหล่งพลังงานความร้อนคือ heater ไปยังวัตถุดิบ โดยทั่วไปแล้วการใช้เครื่องอบลมร้อนจะใช้ในการอบแห้งวัตถุดิบในทางอุตสาหกรรมเพื่อทำให้วัตถุดิบแห้ง และสามารถทำการอบแห้งได้ในอัตราการผลิตที่คงที่ มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ควบคุมการทำงานได้ดี แต่สิ้นเปลืองพลังงานมาก เพราะจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง ในการสร้างความร้อน และ หมุน Blower



ภาพที่ 1 การทำงานเครื่องอบลมร้อน

นพวรรณ (2534) ศึกษาการตอบแทนทางสังคมในการลดความชื้นข้าวเปลือกนาปรัง พบว่าการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยวิธีอบในเครื่องอบแห้งพีซมีต้นทุนต่ำกว่าวิธีการตากบนลานและการใช้โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ สุภศักดิ์ และ วิบูลย์ (2536) ศึกษาการลดความชื้นข้าวญี่ปุ่นที่ปลูกฤดูหนาวปีด้วยเครื่องลดความชื้นแบบใช้ลมร้อน อุณหภูมิ 40-42°C จนความชื้นข้าวเปลือกลดเหลือประมาณ 14% จากความชื้นเริ่มต้น 25% ใช้เวลา 13 ชั่วโมง อัตราการลดความชื้น 1-1.5 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง สอดคล้องกับไมตรี และคณะ (2539) รายงานว่า การลดความชื้นข้าวเปลือกโดยให้เครื่องทำงานแบบเมล์คไหลหมุนเวียนผ่านลมร้อนจนกว่าจะเหลือความชื้นที่ต้องการ ลมร้อนที่ใช้ลดความชื้นควบคุมไว้ที่ $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ปรากฏว่าเครื่องลดความชื้นที่ออกแบบไว้นี้ สามารถลดความชื้นให้เหลือ 15% ที่ความชื้นเริ่มต้น 22% (มาตรฐานเปียก) ใช้เวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที อัตราการลดความชื้น 2 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง อิศเรศ (2543) ศึกษาสร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งลดความชื้นข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้น 43-25%

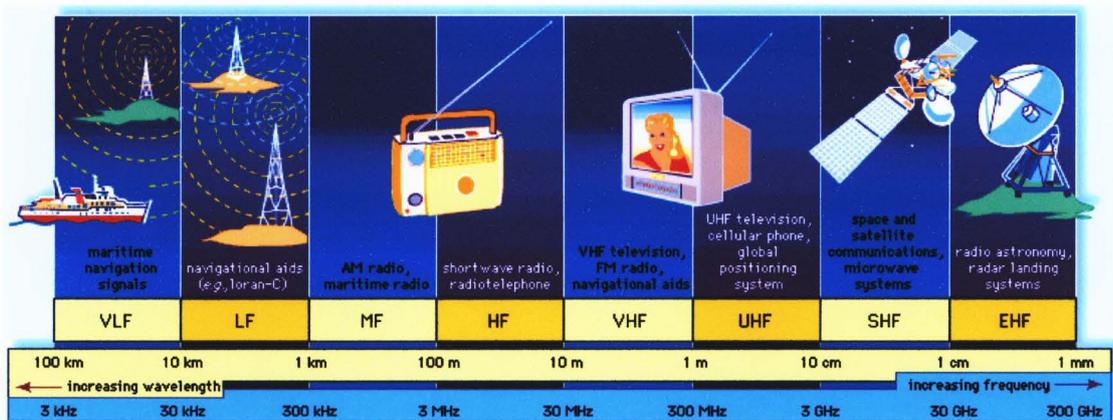
(ฐานแห่ง) ลดจนกระทั่งข้าวเปลือกเหลือความชื้นสุดท้าย 28-16% (ฐานแห่ง) สอดคล้องกับ Soponronnarit (1996) ศึกษาการลดความชื้นข้าวโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไคซ์เบด พบว่า เทคนิคฟลูอิดไคซ์เบด อุณหภูมิ 150°C สามารถลดความชื้นข้าวจากความชื้นเริ่มต้น 33% ลดเหลือ 16.5% ภายในเวลา 53 นาที ยุทธนา (2548) ศึกษาการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องลดความชื้นเมล็ดพืช ความดันก๊าซ 0.80 บาร์ ค่าความชื้นเริ่มต้น 20% (ฐานเปียก) ลดความชื้นโดยใช้อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกเท่ากับ 14% เวลาที่ใช้ในการลดความชื้นเท่ากับ 5 ชั่วโมง ชรินทร์ (2542) รายงานว่า ออมอลท์ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวพันธุ์มะเขือขื่นก, ข้าวพันธุ์ กข6, ข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105, ข้าวบาร์เลย์พันธุ์ บ.ร.บ.2 และพันธุ์ชัยนาท อุณหภูมิ 55°C นาน 48 ชั่วโมง ความชื้นเริ่มต้น 49.54, 42.45, 42.54, 50.85 และ 42.43% พบว่า ค่าความชื้นลดเหลือ 6.8, 12.76, 10.82, 5.61 และ 12.38% ตามลำดับ วัชรินทร์ และ อานาจ (2548) ออกแบบทำเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกโดยใช้ฮีตเตอร์เป็นตัวให้ความร้อน เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกสามารถลดความชื้นได้ตั้งแต่ 18-22% (มาตรฐานเปียก) ความชื้นที่ได้ออกมาจะอยู่ในช่วง 14.5-15.3% (มาตรฐานเปียก) ใจทิพย์ (2546) ศึกษาเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบไหลต่อเนื่องประเมินความสามารถในการทำงานของเครื่องอบและประเมินคุณภาพของข้าวที่ได้จากการอบแห้งพบว่า วิธีการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด คือการอบแห้งข้าวเปลือกในห้องอบ โดยมีข้าวเปลือกในห้องอบ และพัดลมดูดอากาศจากภายนอกเป่าผ่านตัวให้ความร้อนเข้าไปในห้องอบซึ่งจะสามารถลดความชื้นข้าวเปลือก จากความชื้น 23% ให้เหลือ 14% และ สมชาติ และคณะ (2545) ออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องต้นแบบอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคการทำไหลบนฐานสั้น ขนาดกำลังผลิต 2.5-5.0 ตัน/ชั่วโมง พบว่า เมื่ออัตราการป้อนข้าวเปลือกเท่ากับ 4,821 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้น 28% เหลือ 23% (ฐานแห่ง) โดยสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าและน้ำมันดีเซล 9,646 วัตต์ และ 17.6 ลิตรต่อชั่วโมง

2.6 คลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency; RF)

คลื่นความถี่วิทยุถูกนำมาประยุกต์ใช้กับกิจการด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการสื่อสารทางไกลกิจการแต่ละด้านมีการใช้คลื่นความถี่แตกต่างกันไป เช่น วิทยุกระจายเสียงระบบ FM ใช้คลื่นความถี่ 88-108 MHz ส่วนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้คลื่นความถี่ 800, 900 และ 1800 MHz เป็นต้น (ณัฐศักดิ์, 2548)

คลื่นความถี่วิทยุเป็นคลื่นความถี่ไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วงระหว่าง 3-300 MHz ส่วนคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้จะอยู่ในช่วงประมาณ 13, 27 และ 40 MHz การให้คลื่นความถี่วิทยุจะทำให้การเกิดกิจกรรมของเซลล์ลดลง สามารถนำมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช และเชื้อโรคสาเหตุของการ

สูญเสียผลผลิตทางเกษตร และการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากคลื่นความถี่วิทยุนี้ ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนของโมเลกุลในตัววัตถุ แล้วทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้น คล้ายกับการใช้ไมโครเวฟในการทำให้อาหารร้อนขึ้น แต่คลื่นความถี่วิทยุนี้มีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าสามารถกระจายพลังงานผ่านอวกาศที่มีความหนาได้ดีกว่าไมโครเวฟ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานกับวัตถุที่มีขนาดใหญ่ หรือวัตถุหลายชิ้นที่กองรวมกันได้ดี ซึ่งเป็นลักษณะของผลผลิตทางเกษตรที่นิยมใช้ในการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว โดยมีแนวโน้มสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ทำให้ผลผลิตเสีรสชาติ และคงลักษณะโครงสร้างทางอาหารได้ (Nelson, 1996; Wang and Tang, 2001)

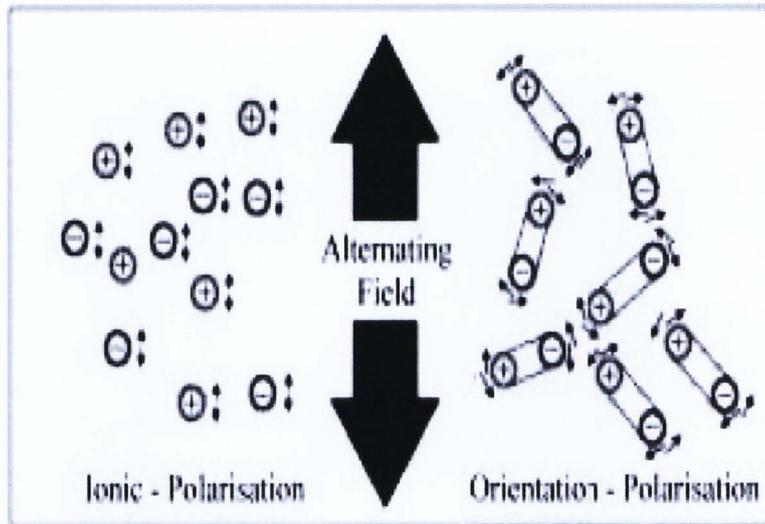


ภาพที่ 2 ช่วงคลื่นความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆ

ที่มา: Encyclopedia Britannica (2009)

2.6.1 หลักการทำงานของคลื่นความถี่วิทยุ

หลักการของคลื่นความถี่วิทยุ โดยการสร้างความร้อนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในความถี่ระดับคลื่นวิทยุปล่อยผ่าน ไปยังวัตถุซึ่งในวัตถุจะมีพันธะ โมเลกุล 2 ขั้ว เช่น น้ำจะมีพันธะไฮโดรเจน 2 พันธะ เมื่อ โมเลกุลขวางทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดการสั่นสะเทือนตามการเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นจำนวนล้าน ๆ ครั้ง ใน 1 วินาที ในขณะที่จะเกิดปรากฏการณ์ 2 อย่าง คือ



ภาพที่ 3 ลักษณะการเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัตถุ เมื่อถูกนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : (Lücke, 2003)

1) **Intermolecule friction** เกิดจากแรงเสียดสีกันระหว่างโมเลกุล

2) **Hysteresis** เป็นแรงต้านทางประจุไฟฟ้าเนื่องจากแรงเฉื่อย ซึ่งขึ้นกับจำนวนประจุมวล และรูปร่างของโมเลกุลเมื่อวัตถุมีการดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก่อให้เกิดความร้อนได้ 2 แบบร่วมกัน ได้แก่

2.1) Ionic polarization เป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า โดยแต่ละไอออนที่มีประจุไฟฟ้าประจำตัวถูกกระตุ้น และเร่งให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างไอออน ในขณะที่เดียวกันเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนขึ้น แล้วเกิดการกระจายความร้อนไปยังส่วนอื่น ๆ ซึ่งการเกิดความร้อนลักษณะนี้เกิดขึ้นในส่วนของของเหลวภายในเซลล์ที่อยู่ในรูปของสารละลายต่าง ๆ

2.2) Dipole rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบที่มีขั้ว (polar) ซึ่งได้แก่ น้ำในสภาพปกติการเรียงตัวของประจุบวก และประจุลบของสารประกอบที่มีขั้วนี้เรียงตัวอย่างไม่มีระเบียบ (random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวก และประจุลบของสารเกิดการเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเรียงตัวที่เป็นระเบียบขึ้น (Lücke, 2003) การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ให้ โดยในคลื่นความถี่วิทยุ นั้น การเคลื่อนที่ของประจุ 3-300 ล้านครั้งต่อ 1 วินาทีซึ่งผลของความถี่ในการ

หมุนตัว และการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาที หรือประมาณ 1 นาทีหลังจากได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อจากนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ เนื่องจากผลจากการเดือดของน้ำโดยกระบวนการนำความร้อน และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะใช้ระยะเวลาในการเกิดความร้อนที่สั้น และสามารถทำลายสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ติดมากับวัตถุได้ (Nelson, 1996) เนื่องจากผลิตผลทางการเกษตรมีขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการกระจายของความร้อน โดยผลิตผลที่มีขนาดเล็กจะมีการกระจายความร้อนได้สม่ำเสมอกว่าผลิตผลที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งผลิตผลที่มีปริมาณความชื้นต่ำจะทนต่อความร้อนได้ดีกว่าผลิตผลที่มีความชื้นสูง

2.7 แนวทางการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์

Knipper (1959) รายงานว่า การให้คลื่นความถี่วิทยุ 10-15 MHz สามารถลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ได้ภายในระยะเวลา 20-25 นาที แต่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ คลื่นความถี่วิทยุสามารถกระจายความร้อนผ่านวัตถุที่มีความหนาได้ดีกว่าคลื่น ไมโครเวฟ สามารถนำมาใช้กับวัตถุขนาดใหญ่หลายๆ ชิ้น หรือมีองค์ประกอบที่ต้องกำจัดออกมาก เช่น น้ำในตัววัตถุ การให้ความร้อนอาศัยหลักการเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Nijhuis *et al.* (1998) กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงในรูปของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามาเป็นพลังงานความร้อนในตัววัตถุ โมเลกุลของวัตถุจะเกิดการสั่นสะเทือนตามทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นจำนวนหลายล้านครั้งใน 1 วินาที ทำให้เกิดการหมุนตัวและการเสียดสีกันก่อให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นมาอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2-3 วินาที หรือประมาณ 1 นาที ความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดการกระจายตัวไปยังส่วนอื่นๆ โดยกระบวนการนำความร้อน และสามารถเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง พัทยา (2550) รายงานว่า การใช้คลื่นความถี่วิทยุให้กับเมล็ดข้าวที่อุณหภูมิ 70,75,80°C นาน 1,2,3 นาที สามารถลดความชื้นได้ 1-2 % และ เปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ดพันธุ์ลดลงตามระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์ความชื้นเมล็ดพันธุ์ลดลงมากที่สุดที่อุณหภูมิ 80°C เป็นระยะเวลา 5 นาที ความชื้นเมล็ดพันธุ์ลดลงถึง 2.4% และ ที่อุณหภูมิ 75°C ระยะเวลา 180 วินาที ความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ลดลงถึงระดับ 9.5% จากความชื้นเริ่มต้น 10.4% สอดคล้องกับการทดลองของ ปรัชญา (2548) รายงานว่า การให้คลื่นความถี่วิทยุแก่เมล็ดพันธุ์ข้าวที่อุณหภูมิ 80°C เป็นระยะเวลา 3 นาที สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ลงได้ถึง 2% ที่ความชื้นเริ่มต้นเมล็ดพันธุ์ 10% ในขณะที่ความชื้นเริ่มต้น 5% สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ลงได้ 0.8% พลากร (2553) รายงานว่า การใช้ลมร้อนและการใช้ RF ที่ระดับอุณหภูมิ 100°C เป็นระยะเวลา 15 นาที มีค่าความชื้นของข้าวเปลือกต่ำที่สุด เท่ากับ 11.75% และ 12.04% ตามลำดับ Wang *et al.* (2007) รายงานว่า ความชื้นในส่วนของ เมล็ด, เปลือก และ เมล็ดถั่วอลันทหลังจากให้

คลื่นวิทยุ ความชื้นในส่วนของเปลือก จะลดลง 1% ใน ส่วนของเมล็ด และ ถั่ววอลนัทมีความชื้นลดลง 0.2-0.6% นอกจากนั้นรายงานว่าการใช้คลื่นวิทยุจะใช้ได้อย่างเต็มที่ในการลดระยะเวลาและประหยัดค่าใช้จ่าย ในการลดความชื้นถั่ววอลนัท Theanjumpol *et al.* (2007) รายงานว่า การใช้ความร้อนด้วยคลื่น RF ที่ระดับอุณหภูมิ 90°C เป็นระยะเวลา 3 นาที ทำให้ความชื้นของข้าวเปลือกลดลงต่ำสุด Akaranuchat (2009) รายงานว่า การใช้ คลื่นความถี่วิทยุ (RF) อุณหภูมิ 70 และ 75°C เป็นเวลา 3 นาที สามารถลดความชื้นข้าวบาร์เลย์ได้ประมาณ 1% กุลธิดา (2553) ศึกษาให้คลื่นความถี่วิทยุความถี่ 27.12 MHz. แก่เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อุณหภูมิ 80, 85 และ 90°C เป็นระยะเวลา 1 และ 3 นาที จากนั้นทำการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความชื้น พบว่า การใช้ความร้อนจากคลื่นความถี่วิทยุที่อุณหภูมิตั้งแต่ 85°C ขึ้นไปมีผลทำให้ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลดลงมากกว่า 0.50% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการทดลองนี้จึงนำ RF มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้งมอลต์เพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มศักยภาพการลดความชื้นมอลต์จากวิธีที่ปฏิบัติในการลดความชื้นโดยทั่วไป

2.8 การลดความชื้นมอลต์

การผลิต Pale malt และ Pilsner malt จะใช้อุณหภูมิต่ำ 40-45°C และอัตราการการไหลของอากาศที่สูง ความชื้นจะถูกคลื่นย้ายออกจากเมล็ด ซึ่งความชื้นเมล็ดจะลดลงถึง 10% และสามารถเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นได้ (Al, 1996) สอดคล้องกับ Mark (1994) รายงานว่า การลดความชื้นมอลต์ระยะแรก ลดความชื้นมอลต์โดยใช้อุณหภูมิต่ำ 32–37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และต้องมีการไหลเวียนของอากาศตลอดเวลา การใช้อุณหภูมิสูง เวลาสั้น ในการการลดความชื้นมอลต์ในระยะแรก อุณหภูมิสูงจะทำให้ Enz. บางตัวหยุดทำงาน และจะทำให้ค่า diastic power ลดลง (Home Brewing Wiki, 2007) เมื่ออัตราการลดความชื้นมอลต์ลดลง จะต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น 78–105°C เวลา 12-48 ชั่วโมง หรือลดความชื้นมอลต์ได้ประมาณ 10% สามารถเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น (The Malt Company (India) Ltd, 1970) จึงทำให้ สีและรสของมอลต์หอมขึ้นได้ ความชื้นสุดท้ายของมอลต์จะอยู่ที่ 4–5% Blaise *et al.* (2005 A) ศึกษาผลกระทบของการลดความชื้นข้าวญี่ปุ่น (ข้าวโซบะ) (*genus esculentum species fagopyrum*) ที่ใช้ทำมอลต์ คือ enzyme α -amylase, β -amylase (รวมและที่ละลายน้ำได้) β -glucanase และกิจกรรมโปรติเอสข้าวมอลต์โซบะแช่มอลต์ในน้ำที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพาะความงอกที่อุณหภูมิ 15°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ลดความชื้นมอลต์อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ความชื้นลดลงจาก 43.1% ลดเหลือ 19.2% ภายในเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้น ความชื้นลดลงจาก 19.3% ลดเหลือ 10.5% ภายในเวลา 12 ชั่วโมง ความชื้นสุดท้าย ลดลงเหลือ 5% หลังจากลดความชื้นมอลต์ 48 ชั่วโมง James *et al.* (1960) ศึกษาผลกระทบ

กระบวนการผลิตมอลต์และการเก็บรักษาข้าวสาลีต่อ α -amylase และกิจกรรมโปรตีนเอส ผลศึกษาพบว่า ในกระบวนการผลิตมอลต์ข้าวสาลี ความชื้น 40-46% เพาะความงอก อุณหภูมิ 20°C เวลา 24-28 ชั่วโมง ช่วงเพาะความงอกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตเอนไซม์ ซึ่งสภาพอากาศที่เหมาะสมในการผลิตมอลต์ ความชื้นที่เหมาะสม 42% อุณหภูมิ 16°C ในช่วงเพาะความงอก Wijngaard *et.al* (2005) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเพาะความงอกต่อคุณภาพมอลต์ข้าวโฉบเพาะความงอกอุณหภูมิ 9.5, 14.9, 16.5, และ 20.2°C ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่ในการเพาะความงอกที่เหมาะสม คือ 16.5 และ 20.2°C อุณหภูมิเหล่านี้มีค่าที่คล้ายกันในไนโตรเจนละลายและไนโตรเจนอะมิโนอิสระในข้าวบาร์เลย์มอลต์ ทั้ง α -amylase และ β -glucanase มีกิจกรรมระดับต่ำ Wijngaard *et.al* (2005) ศึกษาผลของช่วงเวลาแช่น้ำเพาะความงอกต่อคุณภาพมอลต์ buckwheat แช่มอลต์ระยะเวลา 7 ชั่วโมง ความชื้น 35%, แช่มอลต์ระยะเวลา 13 ชั่วโมง ความชื้น 40% และแช่มอลต์ระยะเวลา 80 ชั่วโมง ความชื้น 45% ผลศึกษาพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 35-40% ที่ทำให้สูญเสียคุณภาพมอลต์น้อยที่สุด Steven and Angelino (2000) ศึกษาการกำหนดค่าความเข้มของสีมอลต์โดยการต้ม รายงานว่า ระดับ ค่าความเข้มของสีมอลต์ 0.33-0.42 และ 1.12-1.44 EBC เป็นค่าที่เหมาะสมตามลำดับ ที่ค่าเฉลี่ย 4.7-5.2 EBC และ ที่ค่าเฉลี่ย 8.9 EBC ระดับค่าความเข้มของสีมอลต์ 0.44 และ 2.25 EBC Delvaux *et al.* (2000) ทำการต้มมอลต์ อุณหภูมิ 78, 80 และ 90°C เป็นเวลานาน 120, 90 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่า ค่าความเข้มของสีมอลต์ 3.2, 4.5 และ 3.2 EBC Blaise *et al.* (2010b) ศึกษากระบวนการหมักเบียร์จากมอลต์โฉบ 100% ทำการต้มมอลต์อุณหภูมิ 150°C 94 นาที พบว่าค่าความเข้มของสีมอลต์อยู่ที่ 7.7 EBC ชรินทร์ (2542) รายงานว่า อบมอลต์ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวพันธุ์มะเขือขึ้นก , ข้าวพันธุ์ กข6, ข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105, ข้าวบาร์เลย์พันธุ์ บ.ร.บ.2 และพันธุ์ชัยนาท อุณหภูมิ 55°C นาน 48 ชั่วโมง พบว่า ค่าความเข้มของสีมอลต์ทั้ง 6 ชนิด 1.53, 2.54, 2.00, 9.25 และ 0.52 EBC ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้ข้าวไทยทุกพันธุ์ ยกเว้นพันธุ์ กข 6 จัดอยู่ในกลุ่ม Lager malt เป็นกลุ่มของมอลต์ที่ใช้ทำเบียร์ชนิด Lager ส่วนสีข้าวมอลต์จากมอลต์บาร์เลย์พันธุ์ บ.ร.บ.2 และข้าวพันธุ์ กข 6 มีค่าสูง จัดอยู่ในกลุ่ม Pale malt และ Diastatic malt ได้