

การพัฒนาระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์
Development of Industrial Microwave System for Disinfecting
Weevil and Egg's Weevil in Maize

ณตธสร ไชยพาทย์
ธัชชวิน ทองสว่างแจ่ม
พีระพงษ์ สารจันทร์
ภานุวัฒน์ พรดอนก้อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์
Development of Industrial Microwave System for Disinfecting
Weevil and Egg's Weevil in Maize

ณตธสร	ไชยพาฤทธิ์
รัชชวิน	ทองสว่างแจ้ง
พีระพงษ์	สารจันทร์
ภาณุวัฒน์	พรตอนก่

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

Development of Industrial Microwave System for Disinfecting
Weevil and Egg's Weevil in Maize

Nodthasorn	Chaiparit
Thudchawin	Tongsawangjaeng
Peerapong	Sarajun
Panuwat	Porndornkor

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การพัฒนาระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพด
อาหารสัตว์

Development of Industrial Microwave System for Disinfecting
Weevil and Egg's Weevil in Maize

นักศึกษาผู้จัดทำ นายณตธสร ไชยพาฤทธิ รหัสนักศึกษา 57010365
นายรัชชวิน ทองสว่างแจ้จ้ง รหัสนักศึกษา 57010604
นายพีระพงษ์ สารจันทร์ รหัสนักศึกษา 57010927
นายภาณุวัฒน์ พรตอнок่อ รหัสนักศึกษา 57010980

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณตธสร	ไชยพาทฐิ	57010365
	นายธัชชวิน	ทองสว่างแจ้	57010624
	นายพีระพงษ์	สารจันทร์	57010907
	นายภาณุวัฒน์	พรดอนก่อ	57010980
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. รวิภัทร ลากเจริญสุข		
ปีการศึกษา	2560		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมสำหรับกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ ระบบถูกออกแบบให้ใช้แมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว และขนถ่ายข้าวโพดด้วยสายพานลำเลียง การป้องกันการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟใช้ตัวกรองแบบคูรูเกตต์ มีลักษณะเป็นแท่งขนาดกว้าง 2.54 เซนติเมตร ยาว 2.54 เซนติเมตร และ สูง 4 เซนติเมตร จำนวน 90 แท่ง กระจายตัวในพื้นที่ 0.3 ตารางเมตร ที่ทางเข้าและทางออกของสายพานลำเลียง การรั่วของคลื่นไมโครเวฟถูกทดสอบโดยรอบเครื่อง 8 ทิศทาง ผลการทดสอบพบว่าคลื่นไมโครเวฟที่รั่วอยู่ในค่าที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ การทดสอบการกำจัดมอดและไข่มอดที่กำลังไมโครเวฟเท่ากับ 600 วัตต์ และความเร็วสายพาน 0.0077, 0.0092 และ 0.0102 เมตรต่อวินาที โดยใช้ตัวอย่างข้าวโพดจำนวน 1 กิโลกรัม และใส่มอดจำนวน 50 ตัว ซึ่งตัวอย่างถูกทิ้งไว้ 1 เดือนก่อนการทดลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การรอดของมอดและไข่มอดเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วสายพาน 0.0077, 0.0092 เมตรต่อวินาที จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมสามารถกำจัดมอดและไข่มอดได้

Thesis Title	Development of Industrial Microwave System for Disinfecting Weevil and Egg's Weevil in Maize		
Authors	Mr. Nodthasorn	Chaiparit	57010365
	Mr. Thudchawin	Tongsawangjaeng	57010604
	Mr. Peerapong	Sarajun	57010927
	Mr. Panuwat	Porndornkor	57010980
Thesis Advisor	Dr. Ravipat Lapcharoensuk		
Year	2017		

Abstract

This project aims to development of industrial microwave system for disinfecting weevil and egg's weevil in maize. Three magnetrons were used for this system and belt conveyor was applied for maize handing. Corrugated fitter type were used for protecting microwave leakage Each bar and area of corrugated dimension were $2.54 \times 2.54 \times 4 \text{ cm}^3$ and 0.3 m^2 respectively at inlet and outlet of belt conveyor. Microwave leakage were measured around the machine on 8 directions. The results showed that microwave leakage values weren't danger for human. Testing of disinfecting weevil and egg's weevil proceeded using microwave power of 600 watt and belt speed of 0.0077, 0.0092 and 0.0102 m/s. About 1 kg of maize samples inserted 50 body of weevils were stored on 1 month before testing. The results showed 0 percentage of survived weevils and egg weevil at belt speed of 0.0077 and 0.0092 m/s This finding point cloud conclude that microwave system can disinfecting weevil and egg weevil.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากหลายๆฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข ได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินโครงการ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด เอพีวีดิง เอ็นจิเนียริง ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการออกแบบ และการสร้างระบบไมโครเวฟ

ขอบคุณบริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหาร (CPF) ศรีราชา ที่ให้การสนับสนุนตัวอย่างในการทดลอง

ณตธสร	ไชยพาฤทธิ
ธัชชวิน	ทองสว่างแจ้ง
พีระพงษ์	สารจันทร์
ภาณุวัฒน์	พรตอนก่อ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	4
2.1.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวโพด	4
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมี	5
2.1.3 การใช้ประโยชน์จากข้าวโพด	5
2.1.4 ความเสียหายของเมล็ดจากการทำลายของแมลงศัตรู	5
2.2 แมลงศัตรู การป้องกันและการกำจัดแมลงศัตรู	6
2.2.1 ตัวงวงข้าวโพด	6
1. ข้อมูลเบื้องต้น	6
2. วงจรชีวิตของมอด	6
2.2.2 การป้องกันและการกำจัด	7
2.3 เตาอบไมโครเวฟ	7
2.3.1 อุปกรณ์	7
1. แหล่งกำเนิดพลังงานความถี่สูงหรือเจนเนอเรเตอร์ (Generator)	8
2. แอปพลิเคชัน (Applicator)	11
2.3.2 หลักการพื้นฐานของไมโครเวฟ	14
2.3.3 ความปลอดภัยและระบบควบคุมการรั่ว	21
2.4 ระบบสายพานลำเลียง	26
2.4.1 ลักษณะทั่วไปของสายพานลำเลียง	26
2.4.2 สายพานที่ใช้งานทั่วไป	27

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
1. สายพาน	27
2. โครงรองรับสายพาน	27
3. ชุดขับเคลื่อนสายพาน	28
4. อุปกรณ์ป้องกันวัสดุ	28
5. อุปกรณ์ถ่ายเทวัสดุ	29
6. อุปกรณ์ดึงสายพาน	29
7. อุปกรณ์โค้งสายพาน	29
8. อุปกรณ์ทำความสะอาดสายพาน	30
9. โครงรับน้ำหนักสายพานลำเลียง	30
10. อุปกรณ์ควบคุมและความปลอดภัย	30
2.4.3 การออกแบบ	31
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	37
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	39
3.1 การออกแบบและสร้าง	39
3.1.1 กอบแนวคิดเบื้องต้น	39
3.1.2 ระบบสายพานลำเลียง	39
3.1.3 ระบบไมโครเวฟ	41
3.1.4 ระบบควบคุมการรื้อ	41
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	43
3.2.1 การทดลองวัดการรื้อไหลของคลื่นไมโครเวฟ	43
3.2.2 การทดลองหาความเร็วสายพานที่เหมาะสมต่อการกำจัดมอดและไข่มอด	44
บทที่ 4 ผลการทดลอง	45
4.1 ผลของกำลังไมโครเวฟและความเร็วสายพานต่ออัตราการคงอยู่ของมอดและไข่มอด	45
4.2 ผลการทดลองการวัดคลื่นรื้อ	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	49
บรรณานุกรม	50

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวโพด	4
2.2 ดัชนีหักเหของข้าวโพดระยะตัวเต็มวัย	6
2.3 แสดงรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์ไมโครเวฟในอุตสาหกรรม	8
2.4 โครงสร้างของ แมกนีตรอน (แบบ 8 ช่อง)	9
2.5 แสดงการประยุกต์ในอุตสาหกรรม โดยการใช้ Water-Cooling กับ แมกนีตรอนขนาดเล็ก	10
2.6 แสดงตัวอย่างของระบบความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง และมีแอปพลิเคชัน ชนิดควิที โดยมีระบบการป้อนกลับ (Feedback System) จากวัสดุที่ถูกทำให้ร้อนเพื่อปรับค่ากำลังของแมกนีตรอนที่ออกมาโดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถควบคุมระดับความชื้นสุดท้ายของวัสดุได้	12
2.7 แอปพลิเคชันชนิดท่อนำคลื่น	13
2.8 ท่อนำคลื่นชนิดแบบร่องและแบบขดเป็นวง	14
2.9 ค่าความแปรเปลี่ยนของค่าไดอิเล็กทริกของสเปกเตอร์ (Dielectric Loss Factor, ϵ'') กับค่าความชื้น (m)	19
2.10 มาตรฐาน ANSI ของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	23
2.11 ระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟชนิดแอปพลิเคชันแบบมัลติโพลต์ กับระบบป้องกันคลื่นรั่วที่บริเวณทางออกและทางเข้า	23
2.12 หลักการของโซ่ชนิดคูเรกต์	25
2.13 โครงสร้างโซ่ชนิดคูเรกต์ที่เป็นสองชั้น (Doubly Corrugated Chokes)	26
2.14 องค์ประกอบของสายพานลำเลียง	27
2.15 โครงสร้างรองรับสายพาน	28
2.16 สถานีป้องกันวัสดุลงสู่สายพาน	29
3.1 ระบบกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ	39
3.2 (a) แสดงระบบการป้องกันคลื่นรั่ว	42
3.2 (b) แสดงความสูงของโซ่แต่ละตัว	42
3.2 (c) แสดงขนาดของโซ่แต่ละตัว	42
3.3 แสดงตำแหน่งที่ตั้งเครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟรั่ว โดยแต่ละระยะห่างจะมีความสูงจากพื้น 3 ระดับ	43

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การจัดสรรคลื่นความถี่ตามวัตถุประสงค์ทางด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และทางด้านการแพทย์	16
2.1 (ต่อ)	17
2.2 ค่าสมบัติไดอิเล็กตริกตามประเภทวัสดุในการทำความร้อน	18
2.3 ความยาวคลื่นกับค่าความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่นที่ระดับความถี่ต่างๆ	21
2.4 สัมประสิทธิ์แรงต้านทานที่ล่อสายพาน ที่จุดถ่ายเทวัสดุออกและจุดอื่น	31
2.4 (ต่อ)	32
2.5 สัมประสิทธิ์แรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ด้านบน	32
2.6 สัมประสิทธิ์แรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ด้านล่าง (W_1)	32
2.7 มวลลูกกลิ้งขนาดต่างๆ (kg) สำหรับลูกกลิ้งแฉ่ง (ลูกกลิ้ง 3 ลูก)	33
2.8 มวลลูกกลิ้งขนาดต่างๆ (kg) สำหรับลูกกลิ้งสายพานเรียบ	34
2.9 ตัวอย่างรายละเอียดลักษณะสายพานยางแกนผ้า	35
2.10 สัมประสิทธิ์ความไม่สม่ำเสมอของชั้นแกนผ้า	36
2.11 สัมประสิทธิ์สภาพการทำงาน (K_{op})	36
2.12 ตารางแสดงสมบัติของข้าวโพดหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	37
4.1 อัตราการคงอยู่ของมอดและไซมอดในข้าวโพดหลังผ่านกระบวนการทดลอง	45
4.2 ค่าของคลื่นรั่ว (mW/cm^2)	46
4.2 (ต่อ)	47
4.2 (ต่อ)	48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ข้าวโพดอาหารสัตว์ (Maize หรือ corn; *Zea Mays L.*) เป็นพืชที่มีความสำคัญในด้านเศรษฐกิจของประเทศจัดเป็นพืชที่มีความสำคัญในระดับสามของโลกรองจากข้าวสาลีและข้าว (พิเชษฐ กรุดลอยมา และสุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนาเสวี, 2547) ข้าวโพดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประเภททั้งเป็นอาหารของมนุษย์อาหารสัตว์ เช่น สัตว์ปีก และการปศุสัตว์ มีการปลูกแพร่กระจายอย่างกว้างขวางเกือบทุกสภาพอากาศ ทั้งเขตอบอุ่น เขตกึ่งร้อน และเขตร้อน ในประเทศไทยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นที่รู้จัก มีการเพาะปลูกมานานกว่า 50 ปี ปริมาณการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศสูงขึ้น เนื่องจากการเจริญเติบโตของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตอาหารสัตว์มีการใช้ถึง 70-80 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบทั้งหมด (วันชัย จันทร์ประเสริฐ, 2542) ในการเก็บข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มักจะพบการเข้าทำลายของแมลงเริ่มตั้งแต่การเข้าทำลายของแมลงจากการเก็บรักษาไว้ประมาณ 1 เดือน และปริมาณการเข้าทำลายของแมลงจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะของการเก็บรักษา การป้องกัน การกำจัดแมลงของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยทั่วไปมีการใช้สารเคมีและไม่ใช้สารเคมี การใช้สารเคมีได้แก่ การใช้สารดึงดูดแมลง การใช้สารเคมีไล่รวมไปถึงการใช้ยาฆ่าแมลง เช่น เมทิลโบรไมด์และฟอสฟีน ซึ่งเป็นก๊าซที่สามารถใช้กำจัดแมลง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ เมทิลโบรไมด์และฟอสฟีนซึ่งเป็นก๊าซ มีผลในการทำร้ายโอโซนในชั้นบรรยากาศ รวมทั้งยังมีสารตกค้างที่มีอันตราย การป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชโดยไม่ใช้สารเคมีได้แก่ การทำความสะอาด การใช้กับดักแสงไฟ การใช้ความเย็น การใช้พันธุ์ต้านทาน การใช้ความร้อนโดยไม่โครเวฟ การใช้ความร้อนยังเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของแมลง การใช้ความร้อนอุณหภูมิเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ให้ผลในการลดการเข้ามาทำลายของแมลงศัตรูพืชในเมล็ด

การใช้คลื่นไมโครเวฟถูกนำมาใช้ในการให้ความร้อนแก่อาหารอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร โดยไมโครเวฟสามารถเกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว จากการหมุนของโมเลกุลมีขั้ว (Polar Molecule rotation) และการเคลื่อนที่ของไอออน (Ionic polarization) ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไมโครเวฟเป็นพลังงานความร้อนขึ้นอยู่กับความเข้มของพลังงานไมโครเวฟ ขนาดรูปร่าง และสมบัติไดอิเล็กทริก ของวัตถุซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบของวัตถุนั้นๆ (พูนพัฒน์ พูนน้อย และคณะ, 2553) ได้ศึกษาการทำลายไข่มอดในข้าวอินทรีย์ด้วยคลื่นไมโครเวฟซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนั้น สุพัตรา มีสุข และ ศตวรรษ วิเศษศรี (2558) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ด้วยไมโครเวฟโดยผลการทดลองแสดงให้เห็น

ว่าไมโครเวฟสามารถใช้ในการกำจัดมอดและไข่มอดพร้อมทั้งคุณภาพของข้าวโพดหลังการทดลองเป็นที่ต้องการของผู้ประกอบการอาหารสัตว์ จากที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้ไมโครเวฟทำลายมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีระบบที่สามารถใช้งานในรูปแบบอุตสาหกรรมได้

ดังนั้นเป้าหมายในโครงการนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ พร้อมทั้งศึกษากำลังของคลื่นไมโครเวฟและความเร็วของสายพานลำเลียงที่เหมาะสมต่อการทำลายมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมากำจัดมอดและไข่มอด โดยที่ไม่ใช้สารเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องและไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์เมื่อบริโภคทั้งนี้ยังเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมให้สมดุลอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์
- 2) เพื่อหาความเร็วของสายพานที่เหมาะสมต่อการกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ระบบไมโครเวฟประกอบด้วยแมกนีตรอน จำนวน 3 ตัว โดยการเคลื่อนที่ของวัสดุแบบต่อเนื่องบนสายพาน

2) ศึกษาหาค่ากำลังของคลื่นไมโครเวฟและความเร็วสายพานของระบบที่เหมาะสมต่อการกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ โดยกำหนดกำลังไมโครเวฟที่ 600 watt ใช้เมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ถูกนำมาเพาะเลี้ยงมอดตามระยะเวลาวงจรชีวิตที่ทำให้เกิดไขในเมล็ด โดยเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านระบบกำจัดมอดและไข่มอดด้วยคลื่นไมโครเวฟแล้วไว้อีก 14 วัน เพื่อเป็นการทดสอบอัตราการอยู่รอดของมอดและไข่มอดก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ที่มีสมรรถนะในการกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น มอด ข้าวโพดอาหารสัตว์ ไมโครเวฟ สายพานลำเลียง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบระบบกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ
3. สร้างระบบกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ
4. เพาะมอดโดยนำตัวอย่างข้าวโพดจำนวน 9 kg ถูกนำมาแบ่งออกเป็น 9 ตัวอย่าง และบรรจุใส่ถุงซิปล็อค จากนั้นนำมอดใส่จำนวน 50 ตัว ใส่ในแต่ละถุง และเก็บรักษาไว้ในกล่องที่บแสงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้มอดวางไข่
5. ทดสอบการรื้อไหลของคลื่นไมโครเวฟ
6. นำข้าวโพดที่เก็บไว้ 30 วัน มาทดสอบการกำจัดมอดและไข่มอดด้วยระบบไมโครเวฟที่สร้างขึ้น โดยใช้กำลังไมโครเวฟ 600 watt เพื่อหาความเร็วสายพานที่เหมาะสม
7. ตรวจสอบอัตราการรอดของมอดโดยใช้ตะแกรงร้อนเพื่อแยกมอดและไข่มอดออกจากข้าวโพด และนับจำนวนมอดที่ยังมีชีวิตอยู่
8. นำข้าวโพดไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เพื่อตรวจสอบไข่มอดที่ไม่ถูกทำลายโดยสังเกตด้วยตาเปล่าและหากมีมอด นำตัวอย่างมาร้อนผ่านตะแกรงร้อนเพื่อแยกมอดออกจากข้าวโพด และนับจำนวนมอดที่ยังมีชีวิตอยู่
9. พัฒนาระบบเพื่อเพิ่มสมรรถนะ
10. สรุปผลและเขียนรายงาน

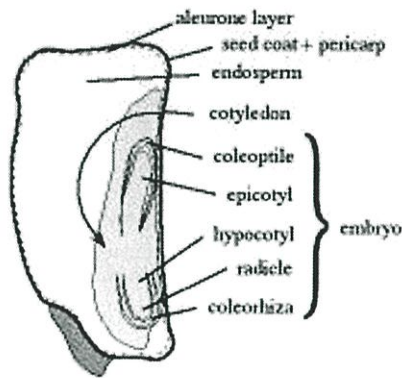
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (วันชัย จันทรประเสริฐ, 2542)

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Maize หรือ Corn; *Zea mays* L.) เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญต่อโลกมนุษย์ รู้จักและนำมาใช้เป็นอาหารมานานและมีการเพาะปลูกแพร่กระจายอย่างกว้างขวางเกือบทุกสภาพของ อุณหภูมิ ทั้งเขตอบอุ่น เขตกึ่งร้อน และเขตร้อน ในประเทศไทยข้าวโพดเป็นที่รู้จักและมีการเพาะปลูกกันมานาน ปริมาณการใช้ข้าวโพดภายในประเทศสูงขึ้นเนื่องจากการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบมากขึ้นนั่นเอง

2.1.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวโพด (ไสว พงษ์เก่า, 2534)

- เยื่อหุ้มชั้นนอก (pericarp)
- เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer)
- คัพภะ (embryo)
- เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (testa)
- เอนโดสเปิร์ม (endosperm)



Corn grain. l.s.

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวโพด

ที่มา: Ikisan (2008)

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมี (Ikisan, 2008)

- | | |
|----------------|---------------------|
| - คาร์โบไฮเดรต | - โปรตีน |
| - ไขมัน | - แร่ธาตุและวิตามิน |

2.1.3 การใช้ประโยชน์จากข้าวโพด

ข้าวโพดถูกนำมาใช้ประโยชน์สามแบบใหญ่ๆด้วยกัน (ทวีศักดิ์ บุญเกิด, 2540) คือ

1. นำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์
2. ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์หรือส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีการใช้ทั่วโลก และในเขตอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์
3. ใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นสินค้าอุตสาหกรรม ได้แก่ แป้งข้าวโพด เมล็ดข้าวโพดสดบรรจุกระป๋อง เป็นต้น

2.1.4 ความเสียหายของเมล็ดจากการทำลายของแมลงศัตรู

ลักษณะการเข้าทำลายผลิตผลทางการเกษตรของแมลง มี 2 ลักษณะ คือ

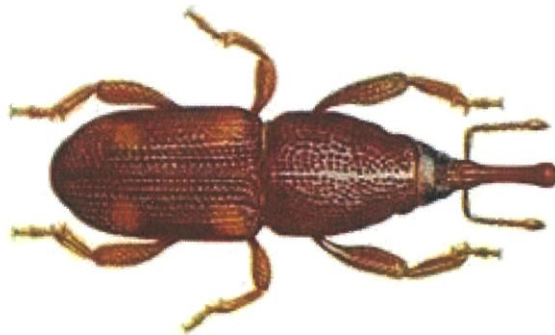
1. แมลงที่กัดกินภายนอกซึ่งแมลงจะอาศัยหรือทำลายอยู่ภายนอกเมล็ดทำความเสียหายเฉพาะภายนอกทำให้เกิดเป็นคีย์บริเวณผิวของผลิตผล หรือ ผลิตเกาะติดกันเป็นก้อนรวมถึงแมลงที่กัดกินเศษอาหารหรือเศษผง เช่น ฝีเสื้อข้าวสาร มอด แป้ง เป็นต้น

2. แมลงที่อาศัยและกัดกินอยู่ภายในเมล็ด แมลงจะอาศัย และทำลายอยู่ในเมล็ด โดยตัวเต็มวัยจะวางไข่ที่ผิวภายนอกตัวหนอน อาศัยการกัดกินเจริญเติบโตภายในเมล็ด จนกระทั่งครบวงจรชีวิตตัวเต็มวัยจึงเจาะเมล็ดออกมาภายนอก ทำให้เมล็ดพืชเป็นรู และภายในเป็นโพรง แมลงประเภทนี้ได้แก่ด้วงวงข้าวโพด ด้วงวงข้าว และฝีเสื้อข้าวเปลือก เป็นต้น (บุษรา จันทร์แก้วมณี, 2533) ในการเก็บเมล็ดข้าวโพดเมื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ หรือเพื่อรอจำหน่ายเป็นอาหาร มีการพบว่าเมล็ดข้าวโพด ที่เก็บรักษาไว้โดยไม่ได้มีการเก็บรักษาที่ถูกวิธี มักจะถูกแมลงเข้าทำลายสร้างความเสียหายให้แก่เมล็ด (ไสว พงษ์เก่า, 2534)

2.2 แมลงศัตรู การป้องกันและการกำจัดแมลงศัตรู

2.2.1 ตัวงวงข้าวโพด

1. ข้อมูลเบื้องต้น ตัวงวงข้าวโพด ชื่ออื่น (Maize weevil และ Corn weevil) ชื่อวิทยาศาสตร์ (Sitophilus Zeamais Motschulsky วงศ์ Curculionidae อันดับ Coleoptera) ตัวงวงข้าวโพดเป็นศัตรูที่สำคัญทำลายเมล็ดพืชหลัก คือ เมล็ดข้าวโพด รวมถึงธัญพืชอื่นๆ เช่นข้าวและข้าวฟ่างที่เก็บรักษาในโรงเก็บ (Hill, 1983) ตัวข้าวโพดสามารถบินไปทำลายเมล็ดในแปลงและติดมากับเมล็ดในโรงเก็บ (Hill, 1983) ตัวเต็มวัยจะเจาะกินเมล็ดทำให้เป็นรูอยู่ทั่วไป ส่วนตัวหนอนอาศัยกักกินอยู่ภายในเมล็ดทำให้เนื้อภายในเมล็ดถูกกัดกินจนเป็นโพรง บางครั้งกัดกินเนื้อเมล็ดภายในจนเหลือแต่เปลือกหุ้มเมล็ด ทำให้เมล็ดมีน้ำหนักเบาเสื่อมคุณค่าทางอาหาร (อุดม อธิชาติ, 2521) เมล็ดสูญเสีย ความงอก สูญเสียคุณภาพ จากฝุ่นผงที่เกิดขึ้นจากการเข้าทำลายของแมลงเสียไปยังอาจทำให้เกิดเชื้อราขึ้นในกองเมล็ดเนื่องจากการเข้าทำลายของแมลงที่ทำให้ความชื้นในกองเมล็ดสูงขึ้น และยังทำให้แมลงเสื่อมคุณค่าทางอาหาร ทำให้เมล็ดสูญเสียน้ำหนัก (พรทิพย์ วิสาทานนท์ และคณะ, 2548)



รูปที่ 2.2 ตัวงวงข้าวโพดระยะตัวเต็มวัย
ที่มา: Hill (1983)

2. วงจรชีวิตของมอด ตัวเมีย 1 ตัวสามารถวางไข่ได้ 300-400 ฟอง ระยะเวลาวางไข่ประมาณ 3-7 วัน และฟักตัวเป็นตัวหนอน โดยระยะที่เป็นหนอนใช้เวลา 21-28 วัน ก่อนจะหยุดนิ่งไม่กินอาหาร 1-2 วัน เพื่อเข้าสู่ดักแด้ เป็นดักแด้ประมาณ 3-6 วันจึงพัฒนาเป็นตัวเต็มวัย และมีชีวิตอยู่ได้ 5 เดือน (Hill, 1983)

2.2.2 การป้องกันและการกำจัด

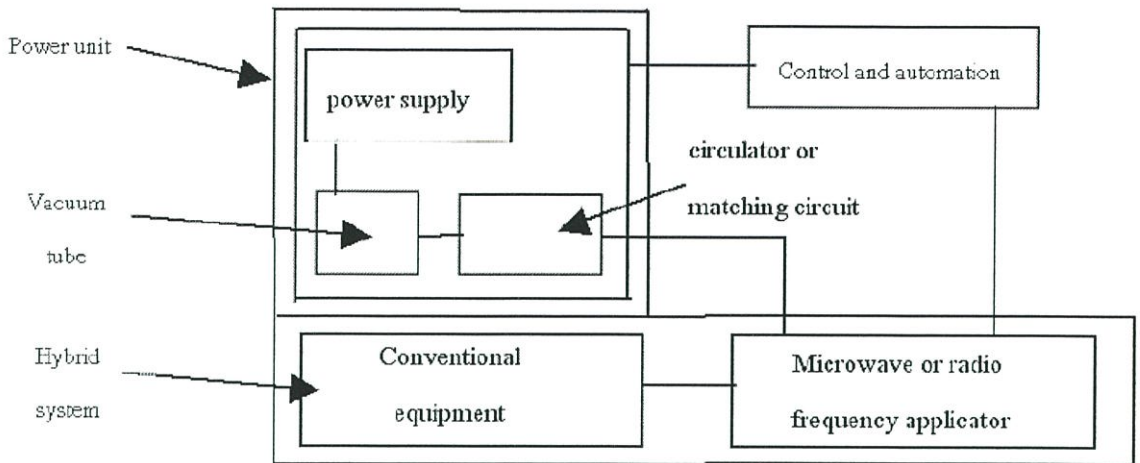
การป้องกันและกำจัดแมลงโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การป้องกันก่อนที่แมลงจะเข้าทำลาย (preventive control) และการกำจัดหลังจากที่แมลงทำลายเรียบร้อยแล้ว (curative control) และการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การป้องกันและกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมีได้แก่ การทำความสะอาด และการป้องกันและกำจัดภายในโรงเก็บ (ชุมพล กันทะ, 2533) การป้องกันและกำจัดโดยใช้สารเคมีได้แก่ สารฆ่าแมลง สารดึงดูดแมลง สารไล่แมลง สารเคมีอื่นๆ มาใช้ป้องกันและกำจัดแมลงศัตรู เช่น การพ่นฆ่าแมลงภายในและภายนอกในโรงเก็บโดยการพ่นยาลงไปที่พื้นหรือฝาผนังให้มีพิษตกค้างเพื่อกำจัดแมลงหลบซ่อน สารฆ่าแมลงที่ใช้เช่น ไพริมิฟอสเมทิล (pirimiphos methyl) และมาลาไรออน (malathion) สารที่ใช้ในการพ่นฆ่าแมลง เช่น ไพริมิฟอสเมทิล หรือ เอสไบโอแอลเลทริน (esbioallethrin) การรมเมล็ดเพื่อป้องกันและกำจัดแมลงโดยใช้สารที่นิยมใช้คือ เมทิลโบรไมด์ และฟอสฟิน แต่เมทิลโบรไมด์นั้น ทำลายชั้นโอโซนส่งผลทำให้โลกร้อนขึ้น (David, 2004)

2.3 เตาอบไมโครเวฟ

2.3.1 อุปกรณ์

ส่วนแรกคือหน่วยกำลัง (Power Unit) เป็นส่วนที่ผลิตคลื่นไมโครเวฟในช่วงความถี่ที่ต้องการ ซึ่งภายในส่วนแรกนี้ก็จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ เช่น แหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟหรือเจนเนเรเตอร์ (Generator) ซึ่งจะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงและตัวแมกนีตรอน (Magnetron) ไอโซเลเตอร์ (Isolator) หรือ ไอโซ-เซอร์คูเลเตอร์ (Iso Circulator) และอุปกรณ์ปรับค่าคลื่น (Matching tuner) ซึ่งต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์วัดกำลังคลื่น (Power Monitor) (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

ส่วนที่สองคือควาวิตี้ (Cavity) หรือ แอปพลิเคเตออร์ (applicator) ที่ใช้ใส่วัสดุหรือโหลดที่ต้องการรับคลื่นไมโครเวฟ ในส่วนนี้อาจมีอุปกรณ์เพิ่มเติม อาทิ ปุ่ม สำหรับสร้างสภาวะสุญญากาศ ระบบไอน้ำ หรือระบบการพ่นลมร้อน ซึ่งส่วนควาวิตี้จะต่อเป็นส่วนสุดท้ายและรูปแบบดังกล่าวเป็นรูปแบบทั่วไปที่ใช้ในกระบวนการไมโครเวฟเชิงอุตสาหกรรมในปัจจุบัน (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)



รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์ไมโครเวฟในอุตสาหกรรม

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

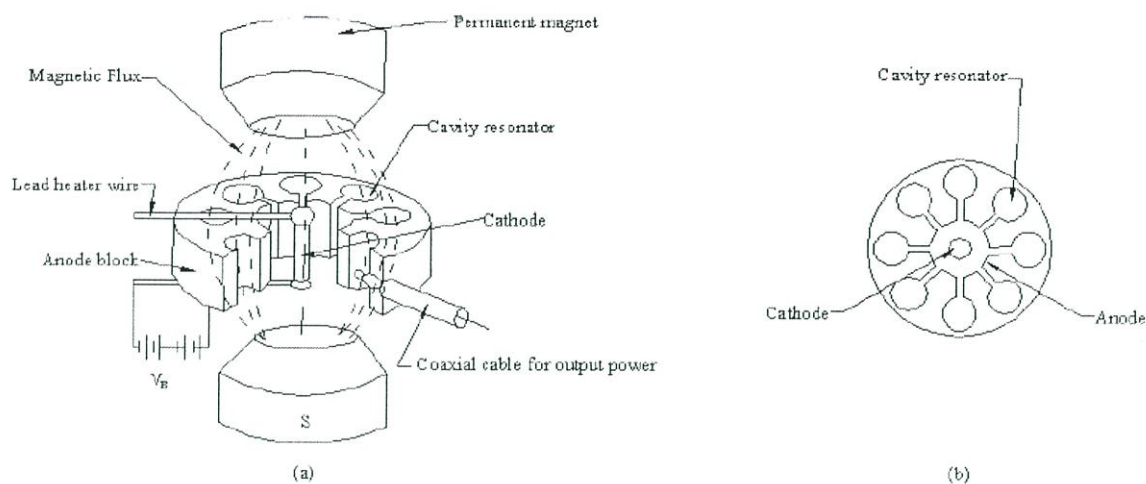
ส่วนประกอบหลักส่วนที่สามคือวงจรควบคุมโดยวงจรควบคุมทำหน้าที่เชื่อมโยงระบบย่อยต่างๆ โดยจะควบคุมและปรับแต่งให้ระบบดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1. แหล่งกำเนิดพลังงานความถี่สูงหรือเจนเนอเรเตอร์ (Generator) โดยแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟหรือเจนเนอเรเตอร์ (Generator) จะประกอบด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงและตัวแมกนีตรอน (Magnetron) หรือไคสตรอน (Klystron) โดยตัวแมกนีตรอน (Magnetron) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดอันหนึ่งในระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ แมกนีตรอนเป็นหลอดสร้างคลื่นไมโครเวฟจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (Dc Energy) ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าสูงๆ ที่ Magnetron Anode โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 70-90 %

ภายในแมกนีตรอน ประกอบไปด้วยไส้หลอด (Filament) โดยแคโทด (Cathode) ซึ่งเป็นขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอด (ทำจากขดลวดทั้งสแตน) และถูกบรรจุอยู่ในช่องสุญญากาศซึ่งส่วนของผนังรอบๆ จะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด (Anode) คลื่นไมโครเวฟที่ถูกกำเนิดขึ้นจะถูกส่งออกมาภายนอกโดย Antenna ในการทำงานของแมกนีตรอนนั้น แมกนีตรอนจะถูกจ่ายด้วยไฟฟ้า

กระแสสลับแรงดันต่ำประมาณ 3-4 V กระแส 10 A ที่ไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อนและปล่อยอิเล็กตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทดเทียบกับขั้วแอโนด ก็จะทำให้ไอเล็กตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร และเมื่อความต่างศักย์มีค่าสูงจนถึงค่าหนึ่งก็จะทำให้แมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในช่องสุญญากาศระหว่างขั้วแคโทดกับขั้วแอโนด ซึ่งทำให้มีความเหมาะสมที่ทำให้แมกนีตรอนสามารถกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

ความถี่ 2.45 GHz ออกมา ภาพไดอะแกรมของโครงสร้างอย่างคร่าวๆ ของแมกนีตรอน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

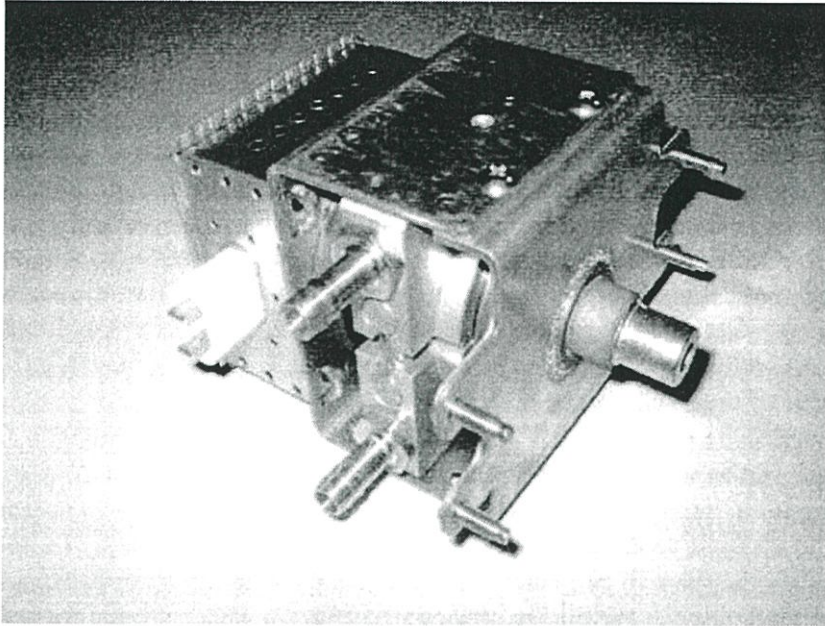


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ แมกนีตรอน (แบบ 8 ช่อง)

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

โดยทั่วไปแมกนีตรอนแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชนิดแรกเป็นแมกนีตรอนที่ทำงานเป็นจังหวะหรือพัลส์ (Pulsed Magnetron) ซึ่งประยุกต์ใช้ในงานเรดาร์ ชนิดที่สองเป็นแมกนีตรอนที่ทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous – Wave (CW) Magnetron) ซึ่งมักใช้ประยุกต์กับกระบวนการทางความร้อน เช่นที่ใช้ในเตาไมโครเวฟตามบ้าน และกระบวนการทางอุตสาหกรรม

ขนาดกำลังของแมกนีตรอนที่ใช้ในอุตสาหกรรมคือ 100 W – 30 kW ความถี่ 2450 MHz และ 5-100 kW ความถี่ 915 MHz ใช้ Water-Cooling ซึ่ง Water-Cooling ต้องการ 3 kW สำหรับการประยุกต์ในอุตสาหกรรม Water-Cooling ก็จะถูกนำไปในแมกนีตรอนขนาดเล็กกว่า ดังรูป 2.5 (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)



รูปที่ 2.5 แสดงการประยุกต์ในอุตสาหกรรม โดยการใช้ Water-Cooling กับ แมกนีตรอนขนาดเล็ก
ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

หากพิจารณาดังอายุการใช้งานของแมกนีตรอน ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าอายุการใช้งานของแมกนีตรอนขึ้นอยู่กับปริมาณของคลื่นที่สะท้อนกลับ นอกจากนั้นยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ อีกด้วย ได้แก่

- การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ส่งไป
- อุณหภูมิ ปริมาณ และคุณภาพของน้ำหล่อเย็น
- อัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศหล่อเย็น
- สภาพของการติดตั้ง เช่น การสั้น อุณหภูมิบรรยากาศ ฯลฯ
- ขั้นตอนการติดตั้งแมกนีตรอน
- ขั้นตอนการใช้งาน

จากการประมาณอายุการใช้งานของแมกนีตรอน โดยบริษัท Micro Denshi ประเทศญี่ปุ่น ทำการวัดจากแมกนีตรอน จำนวน 523 ตัว พบว่าอายุการใช้งานที่น้อยที่สุดที่พบคือ 1,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 1 ปี ส่วนอายุเฉลี่ยของการใช้งานอยู่ที่ 6,400 ชั่วโมง และอายุการใช้งานสูงสุดที่พบคือ 10,000 ชั่วโมง ทั้งนี้อายุการใช้งานของแมกนีตรอน จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเหตุผลดังที่ได้กล่าวในข้างต้น (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

2. แอปพลิเคชัน (Applicator) แอปพลิเคชัน (Applicator) หรือคาวิตี (Cavity) เป็นส่วนที่มีไว้สำหรับการทำความร้อนของกระบวนการ โดยได้รับพลังงานไมโครเวฟมาจากเจนเนอเรเตอร์หรือแมกนีตรอน โดยปกติการจ่ายพลังงานไมโครเวฟไปยังโหลหรือวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการ มีความแตกต่างกันตามชนิดของกระบวนการและตามชนิดของวัสดุ โดยพลังงานไมโครเวฟจะส่งผ่านผ่านที่ว่างและมีจุดรวมที่โหล ดังจะอธิบายรายละเอียดตามข้างล่างต่อไป (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

หลังจากการสร้างคลื่นในย่านความถี่ไมโครเวฟแล้ว คลื่นจะถูกส่งไปยังแอปพลิเคชัน โดยใช้ท่อนำคลื่น (Waveguides) แม้ว่าในบางครั้งสามารถใช้สายโคแอกเซียลได้แต่ก็เหมาะกับการส่งคลื่นในช่วงกำลังต่ำเท่านั้น โดยปกติท่อนำคลื่นจะเป็นท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้ากลวง ซึ่งอาจทำจากทองเหลืองหรืออะลูมิเนียมโดยที่ขนาดภายในนี้จะต้องใช้ความระมัดระวังในการออกแบบและเลือกใช้เพื่อที่จะสามารถควบคุมคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟตามที่ต้องการไปยังแอปพลิเคชันได้ สำหรับตัวแอปพลิเคชันแล้วจะมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดและสร้างจากวัสดุประเภทโลหะเสมอ (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

โดยทั่วไป แอปพลิเคชัน ถูกแบ่งประเภทตามชนิดคาวิตี และ ท่อนำคลื่น ดังนี้
ชนิดคาวิตี (Cavity Applicators)

- คาวิตี ชนิดทำงานเป็นกะ
- คาวิตี ชนิดทำงานแบบต่อเนื่อง

ชนิดท่อนำคลื่น (Waveguide Applicators)

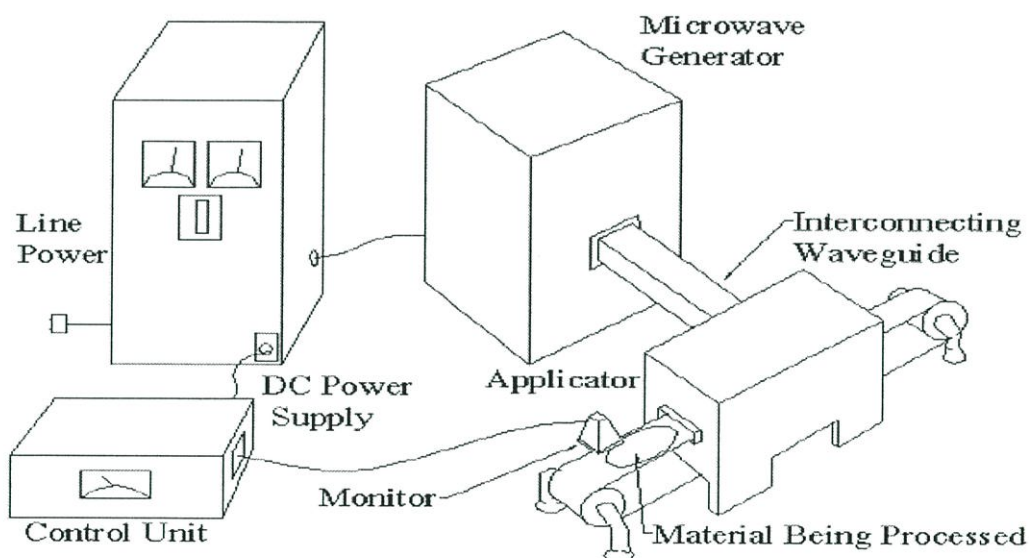
- ท่อนำคลื่นแบบสี่เหลี่ยม
- ท่อนำคลื่นแบบวงกลม
- ท่อนำคลื่นแบบอูโมงค์
- ท่อนำคลื่นแบบหักโค้ง

แอปพลิเคชันชนิดคาวิตี (Cavity Applicators) ซึ่งจัดได้ว่าเป็นแอปพลิเคชันขนาดใหญ่ ยกตัวอย่างเตาไมโครเวฟของโฮโร (Hore) ระบบนี้จะประกอบด้วยคาวิตีโลหะซึ่งอาจต่อเชื่อมกันเป็นอูโมงค์ ภายในอูโมงค์นี้จะมีระบบสายพานลำเลียงเพื่อเคลื่อนย้ายปริมาตรของวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการ โดยพลังงานไมโครเวฟที่ป้อนเข้าไปในแอปพลิเคชัน นี้โดยวิธีการใช้ท่อนำคลื่นหรือสายโคแอกเซียลผ่านจุดต่อต่อเดียวหรือหลายจุดต่อ ในระบบที่ใช้ในอุตสาหกรรม อาจจะมีแมกนีตรอนมากกว่า 100 ตัว ติดตั้งแยกกันภายในคาวิตี นอกจากนั้นแอปพลิเคชันชนิดนี้จะพบว่า โหลหรือวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการจะมีสัดส่วนโดยปริมาตรน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรของแอปพลิเคชัน (เราจึงเรียกรูปแบบคลื่นไมโครเวฟที่กระทำต่อวัสดุในลักษณะนี้ว่าคลื่นมัลติโหมด (Multi Mode)) และจะถูกสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งสะท้อนกลับไปกลับมาจากด้านไปอีกด้านหนึ่งของแอปพลิเคชัน ผ่านเข้าไปใน

โพลดจากทุกๆด้านสิ่งนี้จึงถูกเรียกว่าเป็นการทำความร้อนเชิงปริมาตรสามมิติที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งหลักการของระบบนี้มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

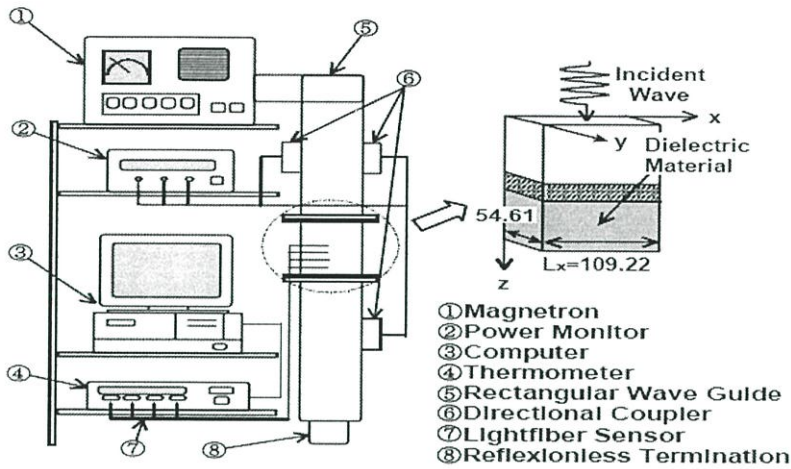
สำหรับปัญหาหนึ่งของแอปพลิเคชัน ชนิดควิตี้ คือไม่ความสม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในโพลดซึ่งส่งผลต่อการกระจายตัวของความร้อนภายในโพลด ดังนั้นเพื่อให้การทำความร้อนมีความสม่ำเสมอจึงได้มีขั้นตอนที่เป็นหลักประกันในปัญหาดังกล่าว ซึ่งโดยปกติจะใช้วิธีการผสมผสานได้แก่ออกแบบให้มีการเคลื่อนที่หรือการหมุนของโพลดในแอปพลิเคชัน ซึ่งอาจใช้ระบบสายพานลำเลียงหรือถาดหมุน และมีโหมดของการกวนสนามพลังงาน (Mode Stirrer) โดยอาจจะเป็น ใบกวนที่การหมุนรอบต่ำ การเพิ่มจำนวนโหมดภายในควิตี้ก็เป็นผลให้เกิดการกระจายและสะท้อนของพลังงานได้ดีเช่นกัน นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบให้มีช่องทางการป้อนพลังงานไมโครเวฟให้มีลักษณะหลายช่อง (Multi Feed System) หรือออกแบบให้มีการใช้แหล่งพลังงานไมโครเวฟที่มีความถี่แตกต่างกันเล็กน้อยภายในแอปพลิเคชันยูนิตเดียวกัน เพื่อทำให้เกิดรูปแบบการกระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในแอปพลิเคชันยูนิตที่ซับซ้อน (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

Microwave and Dielectric Drying

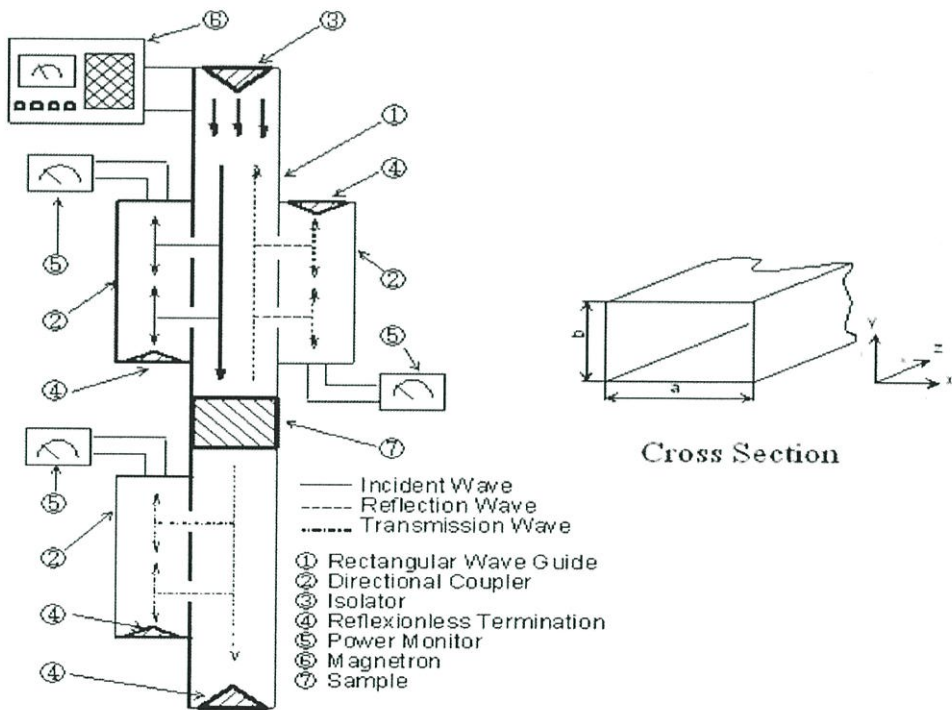


รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของระบบความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียงและมีแอปพลิเคชัน ชนิดควิตี้ โดยมีระบบการป้อนกลับ (Feedback System) จากวัสดุที่ถูกทำให้ร้อนเพื่อปรับค่ากำลังของแมกนีตรอนที่ออกมาโดยอัตโนมัติซึ่งสามารถควบคุมระดับความชื้นสุดท้ายของวัสดุได้ ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

แอฟพลิเคเตอร์ชนิดท่อนำคลื่น (Waveguide Applicators) แอฟพลิเคเตอร์ชนิดนี้ตัวท่อนำคลื่นสามารถทำหน้าที่เป็นแอฟพลิเคเตอร์เองโดยตรง เนื่องจากสนามไฟฟ้าสามารถจะเกิดขึ้นได้สูงสุดที่บริเวณกึ่งกลางตัวท่อนำคลื่น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่คลื่นจะสามารถผ่านเข้าไปในวัสดุด้วยสนามความเข้มสูงจึงทำให้เกิดความร้อนได้ดี ดังตัวอย่างที่ดีอันหนึ่งคือ การทำความร้อนวัสดุเส้นใย (Filamentary Materials) (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)



(a)

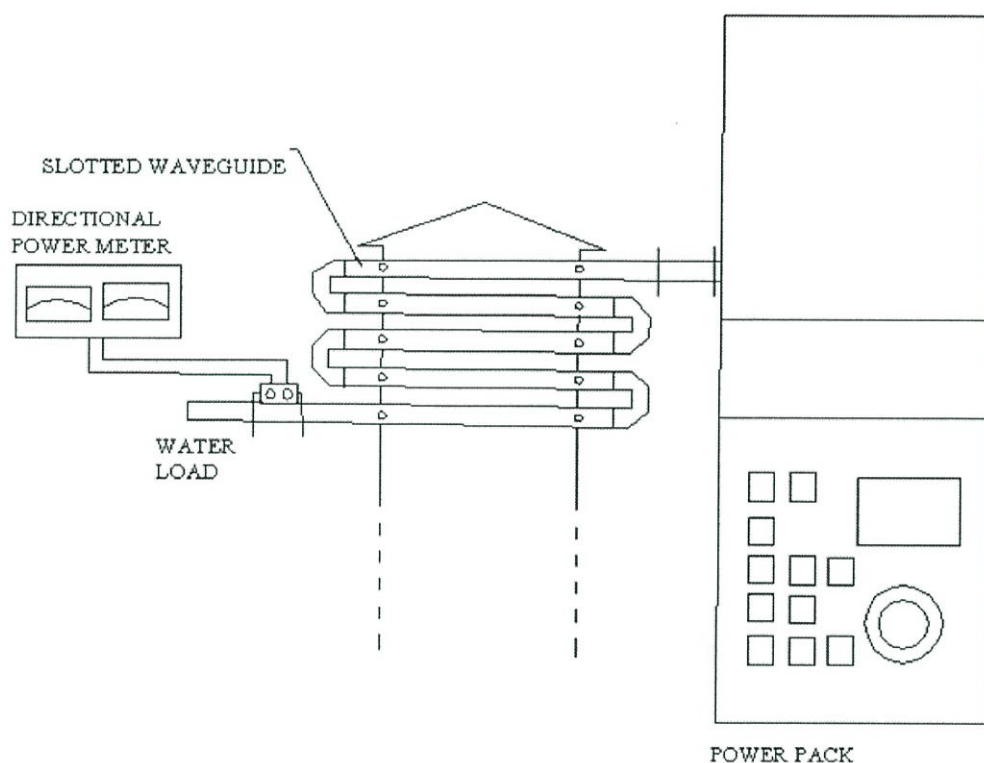


(b)

รูปที่ 2.7 แอฟพลิเคเตอร์ชนิดท่อนำคลื่น

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

แอฟฟลิเคเตอร์ ชนิดคลื่นทราเวลลิ่ง (Traveling Wave Applicators) สำหรับแอฟฟลิเคเตอร์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันในรูปแบบร่องสลิต (Slotted) หรือแบบขดเป็นวง (Serpentine) ในด้านแคบของตัวท่อนำคลื่นมีการบากร่องหนึ่งร่องและมีการเชื่อมตัวท่อนำคลื่นเข้าด้วยกัน โดยชิ้นงานอาจจะเป็วัสดุแผ่นบางเช่นกระดาษหรือเส้นใย ซึ่งจะเคลื่อนที่ผ่านตัวท่อนำคลื่นมีการบากร่องในแต่ละขด พลังงานไมโครเวฟที่ป้อนจากร่องสลิต จากหลายตำแหน่งสามารถผ่านไปยังชิ้นงานที่กำลังเคลื่อนที่ภายในระบบ จึงนับได้ว่าเป็นระบบทำความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงแม้ว่าในบางครั้งอาจถูกมองว่ามีความไม่สม่ำเสมอของความร้อนของชิ้นงาน ขณะเคลื่อนที่ผ่านระบบจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)



รูปที่ 2.8 ท่อนำคลื่นชนิดแบบร่องและแบบขดเป็นวง

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

2.3.2 หลักการพื้นฐานของไมโครเวฟ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่คลื่นของไมโครเวฟ 0.3 - 300 GHz หรือในช่วงความยาวคลื่น 30 cm ถึง 0.3 mm มาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อน ในทางอุตสาหกรรม การทำความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจและไม่เหมือนวิธีการให้ความร้อนแบบเก่าที่ให้ความร้อนที่ผิวภายนอกของวัสดุ คลื่นไมโครเวฟมีคุณสมบัติในการทะลุทะลวงสูงทำให้เกิด

ความร้อนภายในวัสดุหรือโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงกล่าวได้ว่าไมโครเวฟถือเป็นพลังงานทางเลือกใหม่สำหรับกระบวนการทาง อุตสาหกรรมสมัยใหม่

การทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจะอาศัยคุณสมบัติของการดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟภายในวัสดุหรือโหลด ซึ่งวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการนี้ศัพท์ทางวิศวกรรมที่เกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราเรียกว่า วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric Materials) วัสดุไดอิเล็กตริกหมายถึง วัสดุที่ฉนวนที่มีโครงสร้างพื้นฐานทางจุลภาคที่มีลักษณะเป็นขั้วทางไฟฟ้า (Dipole) เช่น โมเลกุลของน้ำ เป็นต้น ซึ่งอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างวัสดุที่มีขั้วทางไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการสลับเฟสไปมา หลายล้านครั้งในหนึ่งวินาที ส่งผลทำให้เกิดความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในชิ้น (Internal Heat Generation) ในวัสดุหรือยกตัวอย่างที่ชัดเจนทางปฏิบัติ เช่น กรณีการดูดซับพลังงานจากไมโครเวฟโดยโมเลกุลของน้ำที่มีอยู่ในอาหาร โมเลกุลของน้ำเหล่านี้จะมีการสั่นและเคลื่อนไหวสลับไปมาหลายล้านครั้ง (ตามความถี่ไมโครเวฟที่ใช้) ทำให้เกิดการเสียดสีกันจนก่อให้เกิดความร้อนขึ้นมาในอาหารที่นำมาผ่านกระบวนการซึ่งหลักการพื้นฐานการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟจะได้กล่าวในรายละเอียดในหัวข้อต่อไปอีกครั้ง

เป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการทำความร้อน (Heating) และกระบวนการอบแห้ง (Drying) มีความสำคัญมากในยุคอุตสาหกรรม การใช้พลังงานไมโครเวฟเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหามิใช่กระบวนการผลิตได้ โดยจะมีหลักการที่แตกต่างจากการให้ความร้อนโดยใช้วิธีธรรมดาทั่วไป (Convectonal Method) ที่อาศัยกลไกการถ่ายเทความร้อนที่สำคัญคือ การนำความร้อน และการพาความร้อน ซึ่งในการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ (Microwave Heating) หรือการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave Drying) ความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Energy) เป็นพลังงานจลน์ของโมเลกุลภายในวัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้น จะเกิดขึ้นภายในวัสดุก่อนทำให้วัสดุแห้งมาจากภายใน กระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟเป็นกระบวนการที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ปัจจุบันจึงมีความคิดที่จะประยุกต์ระบบไมโครเวฟเข้ากับกระบวนการอื่นๆ ในอุตสาหกรรม เพื่อทำให้กระบวนการผลิตที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามที่ผ่านมากระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟยังไม่เป็นที่สนใจมากนักเป็นเพราะเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนมีงานวิจัยที่รองรับยังไม่มากนัก ทั้งในการออกแบบและควบคุมระบบที่มีลักษณะเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบการใช้ความร้อน แบบธรรมดาทั่วไป (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

สำหรับนิยามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงย่านความถี่ไดอิเล็กตริกและไมโครเวฟค่อนข้างเป็นที่สับสนของคนทั่วไป ในความเป็นจริงแล้วการทำความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านไดอิเล็กตริก (Dielectric Heating) สามารถประยุกต์ใช้กับทุกย่านความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอย่างน้อยที่สุดก็ครอบคลุมแถบสเปกตรัมของอินฟราเรด (Infrared Spectrum) โดยระบบความถี่ที่สามารถใช้งานได้ อย่างน้อยก็คือ ช่วงความถี่สูง (High Frequency (HF)) ซึ่งมีความถี่ในช่วง 3 ถึง 30 MHz และ ช่วง

ความถี่สูงมาก (Very High Frequency; VHF) ซึ่งมีความถี่ในช่วง 30 ถึง 300 MHz ด้วยเหตุนี้ ชื่อเรียกของความถี่คือ High Frequency (HF), Dielectric, Radio Frequency (RF) บางที่สามารถสลับกันได้แต่อย่างไรก็ตามช่วงของย่านความถี่ที่ยอมรับในการทำความร้อนในย่านไดอิเล็กตริกคือ ที่ความถี่ตั้งแต่ 1 ถึง 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ในขณะที่ไมโครเวฟจะใช้น่านความถี่ตั้งแต่ 300 MHz ถึง 300 GHz

สำหรับความยาวคลื่นในการทำความร้อนในช่วงย่านความถี่ไดอิเล็กตริกสามารถขยายไปได้ถึงความยาวหลายเมตร ในขณะที่คลื่นไมโครเวฟอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 1 mm ถึง 1 m โดยตารางที่ 2.1 แสดง ข้อตกลงของคณะกรรมการระดับนานาชาติว่าด้วยการจัดสรรคลื่นความถี่ด้วยวัตถุประสงค์ทางด้านอุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์ และทางด้านการแพทย์ (Industrial Scientific and Medical; ISM) โดยในทางปฏิบัติของการประยุกต์ใช้คลื่นเพื่อสร้างความร้อนเช่นในกระบวนการอบแห้งซึ่งจะสามารถกระทำได้ที่ความถี่เท่ากับ 13.56, 27.12, 40.68, 915 และ 2,450 MHz แต่อย่างไรก็ตาม มีข้อน่าสังเกตว่าประเภทของอุตสาหกรรม (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

ตารางที่ 2.1 การจัดสรรคลื่นความถี่ตามวัตถุประสงค์ทางด้านอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และทางด้านการแพทย์ (Industrial Scientific and Medical; ISM)

ความถี่ เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)	ค่าความคลาดเคลื่อน (\pm)	พื้นที่ที่ได้รับอนุญาต
0.07	10 kHz	สหภาพโซเวียต
13.56	ร้อยละ 0.05	ทั่วโลก
27.12	ร้อยละ 0.60	ทั่วโลก
40.68	ร้อยละ 0.05	ทั่วโลก
42, 49, 56, 61, 66	0.21	สหราชอาณาจักร
84, 168	ร้อยละ 0.05	สหราชอาณาจักร
433.92	ร้อยละ 0.20	ออสเตรีย เนเธอร์แลนด์ โปรตุเกส เยอรมนี ตะวันตก ยูโกสลาเวีย สวีตเซอร์แลนด์
896	10 MHz	สหราชอาณาจักร
915	13 MHz	อเมริกาเหนือและใต้
2,375	50 MHz	แอลเบเนีย บัลแกเรีย ฮังการี โรมาเนีย เชโกสโลวาเกีย สหภาพโซเวียต

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ความถี่ เมกะเฮิรตซ์ (MHz)	ค่าความคลาดเคลื่อน (\pm)	พื้นที่ที่ได้รับอนุญาต
2,450	50 MHz	ทั่วโลก ยกเว้นพื้นที่ที่มีการใช้ความถี่ 2,375 MHz
3,390	ร้อยละ 0.60	เนเธอร์แลนด์
5,800	75 MHz	ทั่วโลก
6,780	ร้อยละ 0.60	เนเธอร์แลนด์
24,150	125 MHz	ทั่วโลก
40,680	-	สหราชอาณาจักร

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

การทำความร้อนในช่วงที่ทำงานในความถี่ย่าน ไดอิเล็กทริกมักจะให้ความถี่ที่สูงกว่าที่กำหนดไว้ในช่วงของ ISM ซึ่งจะได้อธิบายในรายละเอียดต่อไป และแม้ว่าหลักการพื้นฐานของการทำความร้อนและการอบแห้งที่ระดับความถี่ย่านไดอิเล็กทริกและไมโครเวฟจะเหมือนกันแต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ วิธีในการสร้างความร้อน และอุปกรณ์ที่ใช้และนอกจากนั้นพจน์ทั้งสองอาจมีการใช้สลับกันได้ในหนังสือทุกๆ ไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Factor Effect on Microwave Heating) ได้แก่

1. ค่าความชื้น (Moisture Content) ค่าความชื้นอิสระในสสารมีผลอย่างมากต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริก เนื่องจากน้ำมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกที่อุณหภูมิห้องประมาณ 78 เหตุนี้เมื่อมีปริมาณน้ำมากในสสารหรือวัสดุ ย่อมทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งโดยปกติจะเป็นสัดส่วนซึ่งกันและกัน และเมื่อวัสดุไดอิเล็กทริกหลายชนิดมาผสมกัน เกิดพฤติกรรมที่เกิดขึ้นมีความซับซ้อนและยากต่อการอธิบายได้ แต่อย่างไรก็ตามได้มีกฎหลัก (Rule of Thumb) สำหรับอธิบายปรากฏการณ์นี้ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ความชื้นสูงซึ่งมีผลทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงขึ้น
- โดยปกติค่าไดอิเล็กทริกของวัสดุ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความชื้นเพิ่มขึ้นแต่อยู่ในช่วงความชื้นประมาณ 20 - 30 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็เป็นไปได้ที่จะมีค่าลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้นไปมากกว่านี้
- ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุผสมจะอยู่ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของแต่ละองค์ประกอบสำหรับวัสดุหลายๆ ประเภทซึ่งประกอบด้วยแอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์จะมี

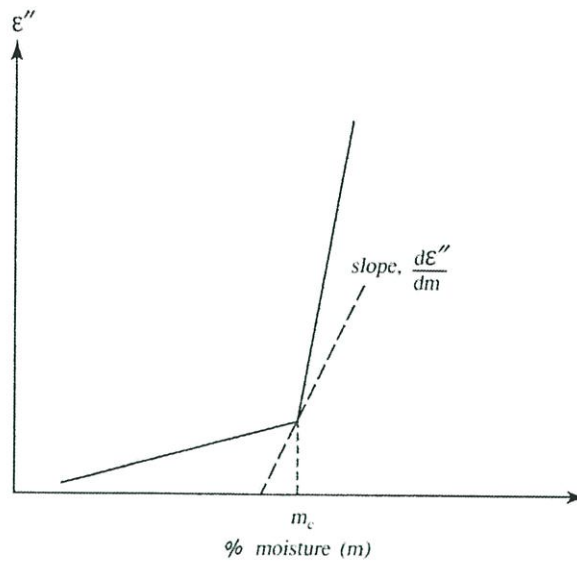
สมบัติไดอิเล็กทริกที่เหมาะสมสำหรับการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟและไดอิเล็กทริก ดังนั้นจึงมีพฤติกรรมคล้ายกับน้ำ ดังแสดงค่าสมบัติตามประเภทวัสดุในการทำความร้อน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าสมบัติไดอิเล็กทริกตามประเภทวัสดุในการทำความร้อน

วัสดุสามารถทำความร้อนได้ดี	วัสดุที่สามารถทำความร้อนได้ต่ำ
น้ำ	ไฮโดรคาร์บอน
กรดแอมโมเนีย	ฮาโลเจน ไฮโดรคาร์บอน
แอลกอฮอล์	อัลลิเฮลด์ เช่น เกลือ
แอดิไฮด์	ออกไซด์อนินทรีย์ อะลูมิเนียม
คีโตน	ธาตุบางชนิด เช่น ซัลเฟอร์
อีไมด์	โบรอนไนไตรด์
เอมีน	ไม่ก้ำ
ไซยาไนด์	
โปรตีน	
เฟอร์ไรต์	
เฟอร์โรอิเล็กทริก	
สารละลายไอออนิก	

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

ด้วยเหตุที่การอบแห้งเกี่ยวข้องกับการไล่น้ำ หรือสารละลายออกจากวัสดุ สิ่งที่เราทราบกันดีว่า ถ้าน้ำหรือความชื้นถูกขับออกมาจะทำให้ค่าไดอิเล็กทริกของสเปกเตอร์มีค่าลดลง โดยในหลายๆกรณีที่น้ำถูกไล่ออกทำให้การทำความร้อนของตัววัสดุเอง มีขีดจำกัดและกลายเป็นวัสดุที่สามารถทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทะลุผ่านของตัววัสดุไปได้ที่ระดับความชื้นต่ำ โดยในรูปในที่ 2.9 ได้แสดงการแปรเปลี่ยนของค่าไดอิเล็กทริกของสเปกเตอร์กับค่าความชื้น ซึ่งน้ำที่อยู่ในวัสดุในหลายสถานะ



รูปที่ 2.9 ค่าความแปรเปลี่ยนของค่าไดอิเล็กทริกอสแฟกเตอร์ (Dielectric Loss Factor, ϵ'') กับค่าความชื้น (m)

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

2. ความหนาแน่น (Density) โดยปกติค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในวัสดุจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นของวัสดุลดลงซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่ลดลงตามไปด้วย

3. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิมีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในลักษณะที่ซับซ้อน โดยอาจมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามอุณหภูมิแต่อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจะแสดงว่าค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและไดอิเล็กทริกอสแฟกเตอร์จะมีค่าต่ำ และในช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งจะไม่สามารถชี้ชัดได้ถึงแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น ด้วยเหตุที่ทั้งค่าความชื้นและอุณหภูมามีความสำคัญต่อค่าสมบัติไดอิเล็กทริกและกระบวนการ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องเข้าใจถึงอันตรกิริยาของคลื่น และวัสดุไดอิเล็กทริกอย่างถ่องแท้

4. ความถี่ (Frequency) ความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทำมีผลต่อค่าคุณสมบัติไดอิเล็กทริก ด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยเหตุที่กระบวนการทำความร้อนในงานอุตสาหกรรมถูกกำจัดด้วยความถี่ที่คงที่อยู่แล้วตามมาตรฐาน ISM ทำให้วิศวกรถูกกำจัดการใช้งานในเรื่องของคามถี่นั้น

5. การนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าการนำไฟฟ้า คือ ความสามารถของวัสดุในการนำกระแสไฟฟ้าโดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและไอออน โดยทั้งอิเล็กตรอนและไอออนสามารถที่จะเป็นผลกระทบหลักในการทำความร้อนและการอบแห้งเนื่องจากผลของน้ำที่ถูกเคลื่อนย้ายออกสู่ภายนอกทำให้ความเข้มข้นของไอออนภายในสูงขึ้น

6. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ค่าการนำความร้อนมีบทบาทที่ลดลงในกระบวนการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟและไดอิเล็กตริกเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำความร้อนด้วยวิธีแบบเก่า อันเนื่องมาจากพลังงานไมโครเวฟส่งผลทำให้ความเร็วในการทำความร้อนมีค่าสูงกว่าจนค่าการนำความร้อน มีผลกระทบกับระบบไม่มากนักอย่างไรก็ตาม มีบางกรณีที่ค่าการนำความร้อนมีบทบาทหลัก

7. ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) โดยปกตินักวิจัยและวิศวกรหรือผู้ออกแบบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟและไดอิเล็กตริกจะตัดตัวแปรทิ้งไปและมุ่งพิจารณาที่ค่าสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามโดยความเป็นจริง ค่าความจุความร้อนจำเพาะเป็นตัวแปรสำคัญซึ่งเป็นสาเหตุให้วัสดุมีความร้อนเพิ่มขึ้นได้มากขึ้นตามธรรมชาติ ดังนั้นการพิจารณาทั้งค่าไดอิเล็กตริกและค่าความจุความร้อนจำเพาะจึงนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง

8. ค่าความลึกในการทะลุทะลวง (Penetration Depth) แม้ว่าค่าความลึกในการทะลุทะลวงจะไม่ได้เป็นคุณสมบัติของวัสดุแต่ก็ส่งผลต่อคุณสมบัติหลายๆอย่างของวัสดุและค่านี้ยังมีความสำคัญมากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึกของกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ ด้วยเหตุที่การทำความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นการทำความร้อนเชิงปริมาตร ดังนั้น ความลึกในการทะลุทะลวงของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งหากคลื่นไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านวัสดุไปได้ การทำความร้อนจะถูกจำกัดอยู่เพียงแค่ที่ผิวของวัสดุเท่านั้น สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อค่าความลึกของการทะลุทะลวงของสนามคือ ความยาวคลื่น (λ) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ) และค่าไดอิเล็กตริกลอสมแพกเตอร์ ดังแสดงในสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$D_p = \frac{\lambda_0 \sqrt{\epsilon}}{2\pi\epsilon} \quad (2.1)$$

โดยที่ D_p คือ ระดับความลึกในแนวตั้งฉากกับผิวดกกระทบซึ่งแสดงความสามารถในการทะลุทะลวงได้ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจนระดับพลังงานของคลื่นลดลงเหลือร้อยละ

λ_0 คือ ความยาวคลื่นในฟรีสเปซหรือที่ว่าง (Free Space) (m)

จากสมการด้านบน จะเห็นได้ชัดเจนว่า วัสดุที่มีค่าไดอิเล็กตริกลอสมแพกเตอร์สูงจะมีค่าความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่นได้ต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุที่มีค่าไดอิเล็กตริกลอสมแพกเตอร์ต่ำกว่าและยังพบว่าความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออีกนัยหนึ่งคือความถี่มีผลต่อความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่นด้วยเช่นกันดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความยาวคลื่นกับค่าความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่นที่ระดับความถี่ต่างๆ

ความถี่ของคลื่น (MHz)	ความยาวคลื่น(ในหน่วย)		ความลึกในการทะลุทะลวง(ในหน่วย)	
	เมตร(meter)	ฟุต(feet)	เมตร(meter)	ฟุต(feet)
5.0	60.00	196.83	23.90	78.41
13.56	22.10	72.51	8.80	28.87
27.12	11.10	36.42	4.40	14.44
40.0	7.50	24.61	3.00	9.84
91.5	0.328	1.076	0.130	0.426
2450	0.122	0.400	0.049	0.161

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

สำหรับกรณีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่นได้ คือ ขนาดของชิ้นงานที่ต้องการทำความร้อน โดยหากมิติของชิ้นงานมีขนาดที่ยาว กว่าค่าความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่นหลายๆเท่าก็จะทำให้ค่าความชันของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคล้ายกับวิธีการทำความร้อนแบบดั้งเดิม ที่เป็นการให้ความร้อนที่ผิวชิ้นงานโดยมีอุณหภูมิภายในชิ้นงานที่ต่ำกว่าผิวภายนอก แต่อย่างไรก็ตาม หากมิติของชิ้นงานมีขนาดที่สั้นหรือแคบ เมื่อเทียบกับค่าความลึกในการทะลุทะลวงของคลื่นประมาณ 1 หรือ 2 เท่าก็จะทำให้เกิดการก่อตัวของคลื่นนิ่ง หรือเกิดการเรโซแนนซ์อันเนื่องจากรวมตัวของคลื่นที่เดินทางและคลื่นที่สะท้อน ที่บริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุที่มีค่าสมบัติไดอิเล็กทริกที่ต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้บางครั้งก็บริเวณตรงกลางชิ้นงานจะเป็นเป็นบริเวณที่มีความร้อนสูงสุดจนเกิดการไหม้ได้ ในขณะที่ผิวภายนอกยังคงเย็นอยู่ (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

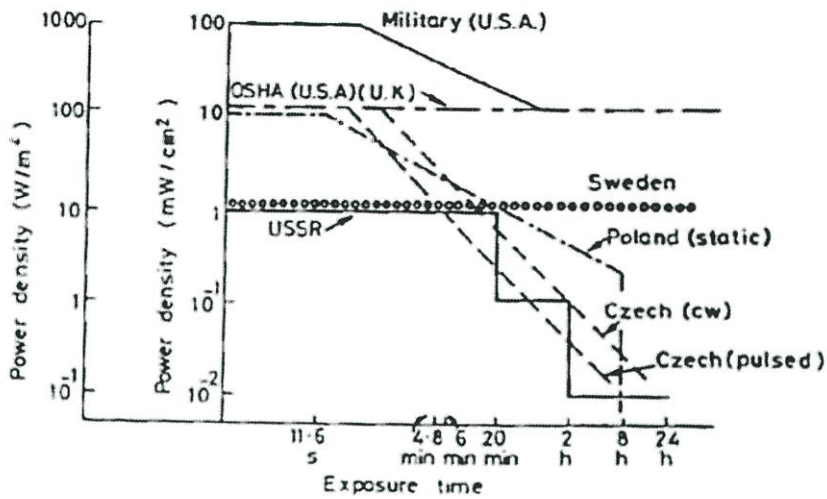
2.3.3 ความปลอดภัยและระบบควบคุมการรั่ว

เนื่องจากคลื่นโดยธรรมชาติของมันคือมองไม่เห็น ไม่มีเสียง ในปัจจุบันสาธารณสุขชนใดเริ่มมีความเข้าใจเกี่ยวกับหลังการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยเมื่อใช้งานในอุปกรณ์ที่ใช้ไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงาน ปัจจุบันได้มีการทำมาตรฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยดังกล่าว โดยจะพิจารณาจาก 2 ลักษณะ ลักษณะแรกพิจารณาในเรื่องของความร้อน กล่าวคือหากมนุษย์ได้รับพลังงานจากคลื่นในปริมาณที่มากพอทำให้ผิวร้อนหรือสุกได้ ลักษณะที่สองคือ กรณีไม่มีความเสี่ยงต่อผลของความร้อน (Non - Thermal Risk) แต่คลื่นมีผลกระทบต่อระบบประสาทและการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม ซึ่งกรณีนี้อาจจะแบ่งออกเป็นผลกระทบแบบชั่วคราวและผลกระทบแบบถาวร อย่างไรก็ตามเป็นเรื่องยากที่จะแยกผลกระทบทั้งสอง

ลักษณะออกจากกันอย่างชัดเจน สำหรับอิทธิพลของคลื่นไมโครเวฟที่รั่วไหลออกมา ที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์นั้นขึ้นอยู่กับความถี่ กล่าวคือที่ความถี่ต่ำจะมีผลน้อยมาก เนื่องจากคลื่นสามารถผ่านตัวมนุษย์ไปได้ แต่คลื่นที่ความถี่สูงจะมีผลต่อร่างกายมนุษย์เนื่องจากร่างกายดูดซับคลื่นไมโครเวฟ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งจากการศึกษาพบผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์หากมีไมโครเวฟ รั่วไหลพอสรุบได้ดังนี้ (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)

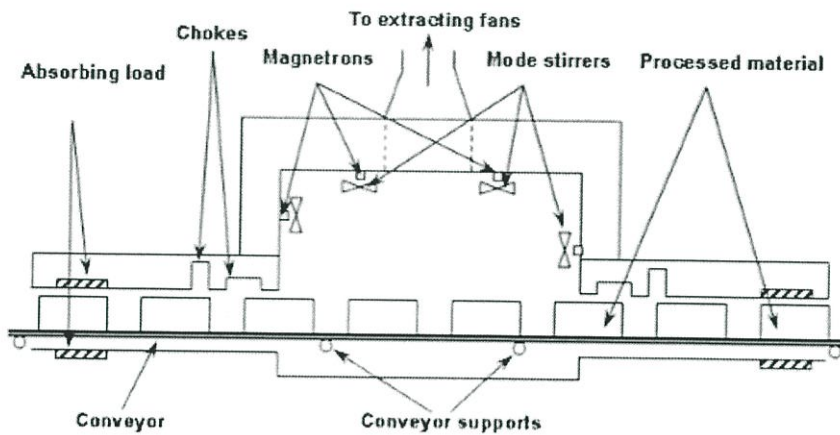
- เป็นมะเร็งผิวหนัง (โดยเฉพาะผู้ชาย)
- ทำให้เกิดการเป็นหมันชั่วคราวสำหรับผู้ชาย
- เกิดการแท้งบุตร
- ตาเป็นต้อกระจก
- การไหลเวียนของเลือดผิดปกติ
- ทำให้เกิดอาการหน้ามืดและวิงเวียน
- ทำให้มีอาการความจำเสื่อมได้

มีรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอันตรายของคลื่นที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในหลายๆประเทศ และได้มีการออกกฎหมายควบคุมปริมาณคลื่นรั่วไหลที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีมาตรฐานกลางเพื่อใช้ทั่วโลก แต่จะมีความมาตรฐานของแต่ละภูมิภาคหรือประเทศต่างๆ แตกต่างกันไป ตัวอย่างการทบทวนรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอันตรายของไมโครเวฟต่อสุขภาพร่างกายเคยตีพิมพ์ไว้โดย Environmental Health Directorate of Canada เช่นกันมาตรฐานสิ่งแวดล้อมสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกกำหนดโดย The World Health Organization (WHO) มาตรฐานนี้ได้รับการยอมรับทั่วโลก อย่างไรก็ตามข้อสรุปที่ถูกต้องยังไม่สามารถบ่งชี้ได้เนื่องจากความแตกต่างในมาตรฐานการแผ่รังสีระหว่างชาติเช่นกัน ในสหรัฐอเมริกา ค่าระดับมาตรฐานความปลอดภัยของ ANSI แสดงไว้ดังรูปที่ 2.10 นอกจากนี้หากพิจารณาตามมาตรฐาน DHHS (Department of Health and Human Services) ได้ระบุไว้ว่าค่าสูงสุดที่ยอมให้ไมโครเวฟรั่วไหลออกมาได้คือ 5 mW/cm^2 เมื่อทำการวัดที่ตำแหน่งระยะห่าง 5 cm จากตัวระบบไมโครเวฟ ในขณะที่ตามกฎหมายของประเทศสวีเดนนั้นการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟจากอุปกรณ์ให้มีได้ไม่เกิน 1 mW/cm^2 เมื่อทำการวัดที่ตำแหน่งระยะห่าง 5 cm จากตัวระบบไมโครเวฟที่ยังใหม่อยู่ แต่ในส่วนของระบบไมโครเวฟที่เคยใช้งานแล้วยอมให้มีการรั่วได้ไม่เกิน 5 mW/cm^2 อย่างไรก็ตามพบว่าหากเราถอยห่างออกมาจากตัวตู้ไมโครเวฟ ระดับของพลังงานที่รั่วออกมา จะลดทอนลงอย่างรวดเร็วลดลงในแฟกเตอร์ระดับ 100 เท่าโดยประมาณ (แปรตามระยะทางยกกำลังสอง) เปรียบเสมือนความแตกต่างระหว่างการที่เราเอามือไปวางใกล้ๆปลั๊กไฟจากเทียนในระยะประมาณ 2 cm แล้วค่อยๆดึงมือออกห่างจากเทียนประมาณ 30 cm เราก็คจะรู้สึกไม่ร้อน (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)



รูปที่ 2.10 มาตรฐาน ANSI ของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

การออกแบบระบบเพื่อความปลอดภัยสำหรับระบบเชิงอุตสาหกรรมในกรณีระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟชนิดทำงานแบบต่อเนื่อง เช่น ระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับระบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟชนิดแอฟฟลิเคเตอร์แบบมัลติโพลด์กับระบบป้องกันคลื่นรั่วที่บริเวณทางออกและทางเข้า
ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

ระบบนี้จะไม่มีการปิดเปิดแต่จะมีช่องทางเปิด (สำหรับให้วัสดุไหลเข้าออกระบบได้อย่างต่อเนื่อง) ที่ตอนปลายทั้งสองของระบบ วิธีการที่จะใช้สำหรับการป้องกันการรั่วไหลของคลื่นออกมากระทำได้โดยการติดตั้งระบบโซ่คร่อมกับวัสดุดูดซับที่บริเวณดังกล่าว สำหรับรูปที่ 2.11 ที่นำเสนอนี้แสดงถึงระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟชนิดแอฟฟลิเคเตอร์แบบมัลติโหมดโดยมีการป้อนคลื่นมาจากแมกนีตรอนกำลังต่ำหลายตัวและหลายตำแหน่งเพื่อให้วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการโดยสายพานลำเลียง เพื่อรับคลื่นได้ทั่ววัตถุ จึงเกิดความร้อนได้อย่างสม่ำเสมอ (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551) สำหรับรายละเอียดการออกแบบระบบป้องกันการรั่วที่บริเวณทางออกและทางเข้า จะแสดงต่อไปนี้ ในระดับอุตสาหกรรมระบบทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ ระบบที่ทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow System)

ระบบไมโครเวฟชนิดความถี่สูงที่ทำงานแบบต่อเนื่องจะมีอัตราเสี่ยงต่อการรั่วไหล ของคลื่นไมโครเวฟมากกว่าระบบทำงานแบบกะ ทั้งนี้เพราะระบบดังกล่าวนี้ โดยเฉพาะที่ทางเข้าและ ทางออกของระบบเป็นระบบเปิด เพื่อให้วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการไหลเข้าออกแอฟฟลิเคเตอร์ได้ ดังที่เคยได้อธิบายไว้ตอนต้น ดังนั้นเพื่อป้องกันมิให้คลื่นรั่วไหลออกมาเกินพิกัดที่ยอมรับได้ที่ช่องทางเข้าออกนี้ จึงต้องมีการออกแบบแบบพิเศษที่บริเวณทางเข้าออกนี้ โดยติดตั้งระบบโซ่คร่อม เพื่อทำการดูดซับหรือกำจัดคลื่นที่เหลือที่แผ่ออกมาจากภายในตัวแอฟฟลิเคเตอร์ โดยปกติช่องทางเข้าออกที่กล่าว มานี้จะถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นช่องทางเล็กๆเพียงพอให้วัสดุไหลเข้าออกได้เท่านั้น ยกตัวอย่าง เช่นในกระบวนการอบแห้งเส้นใยที่ความถี่ 2.45 GHz อาจต้องออกแบบให้ช่องทางเข้าออกมีความกว้าง เป็นเมตรแต่มีความสูงเพียงแค่ 5 mm เท่านั้น การรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟจากช่องทางเข้าออกนี้ สามารถควบคุมได้หลายเทคนิค ซึ่งอาจเป็นแบบง่ายๆหรือเทคนิคที่ซับซ้อนที่ออกแบบโครงสร้างแบบผสม ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป อย่างไรก็ตาม หลักการออกแบบระบบเบื้องต้นที่สามารถควบคุมการรั่วไหลของคลื่นไม่ให้เกินพิกัด (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551) เพื่อความปลอดภัยมีดังนี้

โซ่ชนิดครุฑเกตุต์ โซ่ชนิดครุฑเกตุต เป็นอีกชนิดหนึ่งของโซ่แบบรีแอกทีฟ ดังแสดงไดอะแกรมในรูปที่ 2.11 (a) ซึ่งจะประกอบไปด้วยสตัปที่มีขนาดเท่าๆกัน ต่อวางอนุกรมกัน คุณสมบัติของค่าความถี่ของแต่ละโครงสร้างขึ้นอยู่กับขนาดของตัวโครงสร้างเป็นสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (b) สามารถพิสูจน์มาจากคุณลักษณะของการกระจายคลื่น และสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\cosh(\alpha l) = \cos\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) - \frac{b}{2h} \left[\tan\left(\frac{2\pi d}{\lambda_g}\right) \right] \left[\sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda_g}\right) \right] \quad (2.2)$$

โดยที่ d คือ ช่วงความยาวของสตัป

$l-b$ คือ แถบความกว้างของสตัป

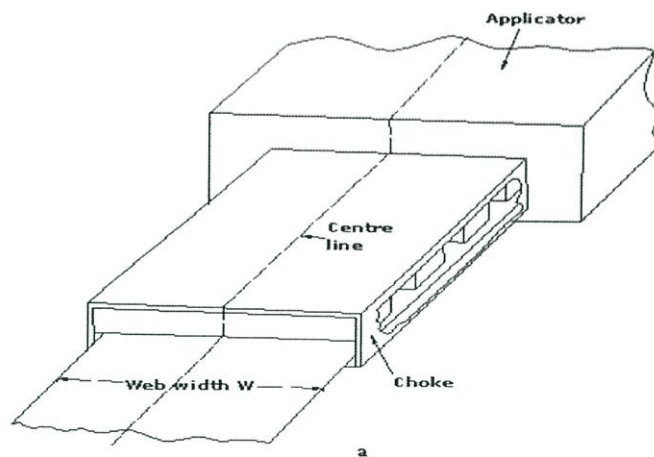
- b คือ ระยะประชิดระหว่างสตั๊ปสองตัว
- h คือ ระยะห่างระหว่างปลายสตั๊ปกับสายพานลำเลียง
- α คือ ค่าคงที่การลดทอน (Attenuation Constant) (Np/m)

ในที่นี้สัญลักษณ์ “.” หมายถึงค่าความยาวไฟฟ้าเทียบเท่า

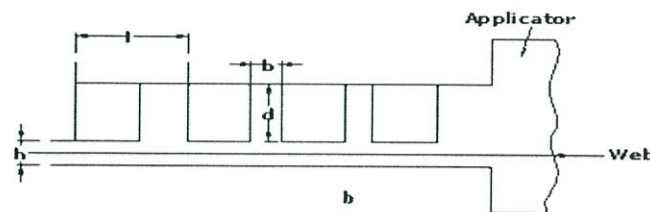
สำหรับกรณีสตั๊ปมี n ชั้น ถ้า การสูญเสียจะกลายเป็น $8.686\alpha \ln$ dB

การออกแบบสวนประกอบของโซ่ตามสมการ 2.2 จะต้องเลือกพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างระมัดระวัง ในที่นี้จะกำหนดค่าพิกัดวิกฤติของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องของเหล่านี้เป็นดังนี้ คือ

$$h < 0.2 \lambda_g, l' = \frac{\lambda_g}{4}, d' = \frac{\lambda_g}{4} \text{ และ } b = l' - h \quad (2.3)$$



(a)

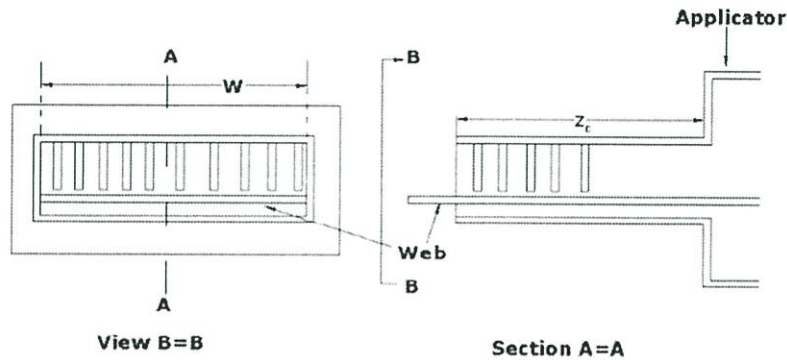


(b)

รูปที่ 2.12 หลักการของโซ่ชนิดครุเกตต์

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

สำหรับข้อด้อยของโชคชนิดคูรูเกตต ก็คือออกแบบเพื่อใช้งานได้สำหรับเฉพาะคลื่นโหมดหนึ่งภายในท่อนำคลื่นเท่านั้น ในกรณีที่ต้องการลดทอนคลื่นที่กระจายในโหมดอื่นๆ อาจจะต้องทำการดัดแปลงตัวโชคให้เป็นลักษณะสองชั้น (Doubly Corrugated Chokes) ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 2.13 แต่จะมีการตัดเจาะเป็นช่องๆ ในทิศทางการเคลื่อนที่ของวัสดุที่นำมาผานกระบวนการ ทำให้เกิดการกอดตัวเป็นบล็อกเล็กๆที่บริเวณแถบดานกวางของท่อนำคลื่นทางออก ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551)



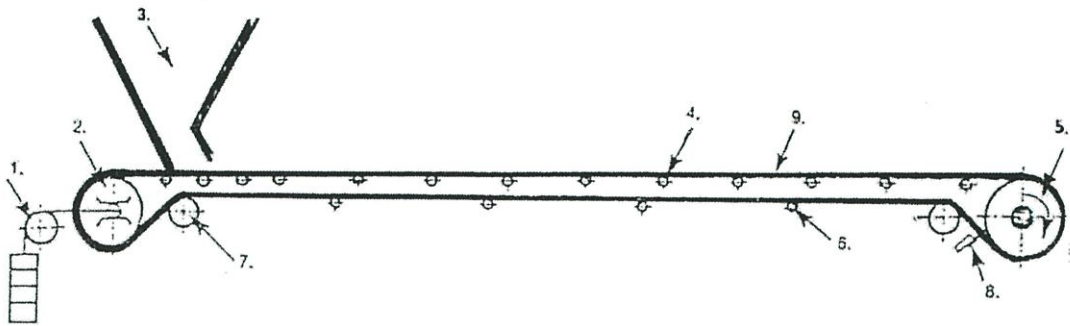
รูปที่ 2.13 โครงสร้างโชคชนิดคูรูเกตตที่เป็นสองชั้น (Doubly Corrugated Chokes)

ที่มา: ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551)

2.4 ระบบสายพานลำเลียง

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของสายพานลำเลียง

ลักษณะทั่วไปของสายพานลำเลียงจะประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญได้แก่ (1) ชุดดึงสายพาน (2) ล้อกลับสายพาน (3) ถังป้อนวัสดุ (4) ลูกกลิ้งบน (5) ล้อขับสายพาน (6) ลูกกลิ้งล่าง (7) ล้อช่วย (8) ใบปาดวัสดุ (9) สายพาน ชิ้นส่วนทั้งหมดนี้ติดตั้งอยู่บนโครงรับน้ำหนัก สายพานจะเคลื่อนที่ระหว่างล้อขับและล้อกลับสายพาน โดยมีลูกกลิ้งบนรองรับแผ่นสายพานด้านบนอยู่เป็นระยะ ทำให้สายพานไม่หย่อนตัวเมื่อมีวัสดุอยู่ด้านบน ส่วนลูกกลิ้งล่างจะรองรับสายพานขากลับหลังจากถ่ายเทวัสดุออกแล้ว ซึ่งลูกกลิ้งจะวางตัวห่างกันมากกว่าลูกกลิ้งด้านบนล้อขับสายพานมีหน้าที่ขับสายพานให้เคลื่อนที่พาวัสดุไป เมื่อถ่ายเทวัสดุออกไปแล้ว ใบปาดวัสดุที่ด้านล่าง จะช่วยทำความสะอาดสายพาน ที่ล้อกลับสายพานจะติดตั้งชุดกดแน่นให้สายพานตึงอยู่เสมอตรงตำแหน่งรับวัสดุ วัสดุจะกระแทกสายพานจึงต้องให้ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งรองรับสายพานมีระยะชิดกันมากขึ้น (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)



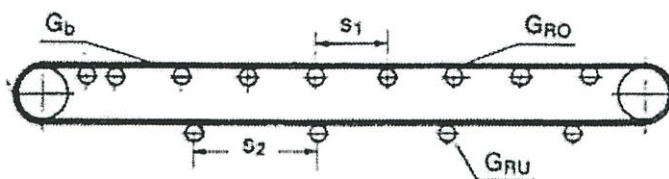
รูปที่ 2.14 องค์ประกอบของสายพานลำเลียง
ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญ (2547)

สายพานลำเลียงใช้ลำเลียงวัสดุตั้งแต่ปริมาณน้อยจนกระทั่งมาถึง 30000 ton/hr ระยะทางลำเลียงตั้งแต่ระยะใกล้จนถึง 3-4 km เป็นระบบลำเลียงที่ออกแบบง่ายบำรุงรักษาไม่ยุ่งยากและมีประสิทธิภาพสูง สายพานลำเลียงมีทั้งแบบติดตั้งตายตัวและแบบย้ายตำแหน่งได้ บางแบบมีสมบัติพิเศษ เช่น ลอยน้ำได้ ขยายระยะทางได้ เป็นต้น

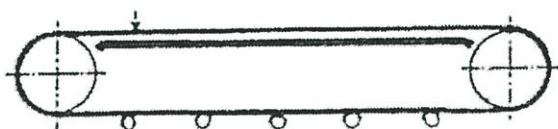
2.4.2 สายพานที่ใช้งานทั่วไป

1. สายพาน สายพานที่ใช้ทำสายพานลำเลียงควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ 1) ทนแรงดึงสูง 2) มวลน้อย 3) ยืดน้อยยืดหยุ่นมากทั้งตามยาวและตามขวาง 4) แลกเปลี่ยนความชื้นน้อย 5) ทนความเค้นที่โค้งล้อสายพานและลูกกลิ้ง 6) ทนทานต่อการขีดสี 7) ทนทานต่อปฏิกิริยาเคมีฟิสิกส์ของวัสดุและสิ่งแวดล้อม (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

2. โครงรองรับสายพาน เป็นส่วนที่สายพานวางตัวอยู่มีลักษณะเป็น โครงรางลูกกลิ้ง หรือพื้นรองทำด้วยแผ่นไม้ แผ่นเหล็ก หรือแผ่นพลาสติก ดังรูปด้านใต้ หรือเป็นรางลูกกลิ้งประกอบกับพื้นรอง พื้นรองนั้นใช้เฉพาะการลำเลียงระยะทางสั้น และวัสดุลำเลียงมีลักษณะเบา ซึ่งไม่ทำให้เกิดการเสียดทานขณะแล่นมากนัก ส่วนแบบโครงรางลูกกลิ้งในใช้มากในหลายๆรูปแบบ (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)



(a)

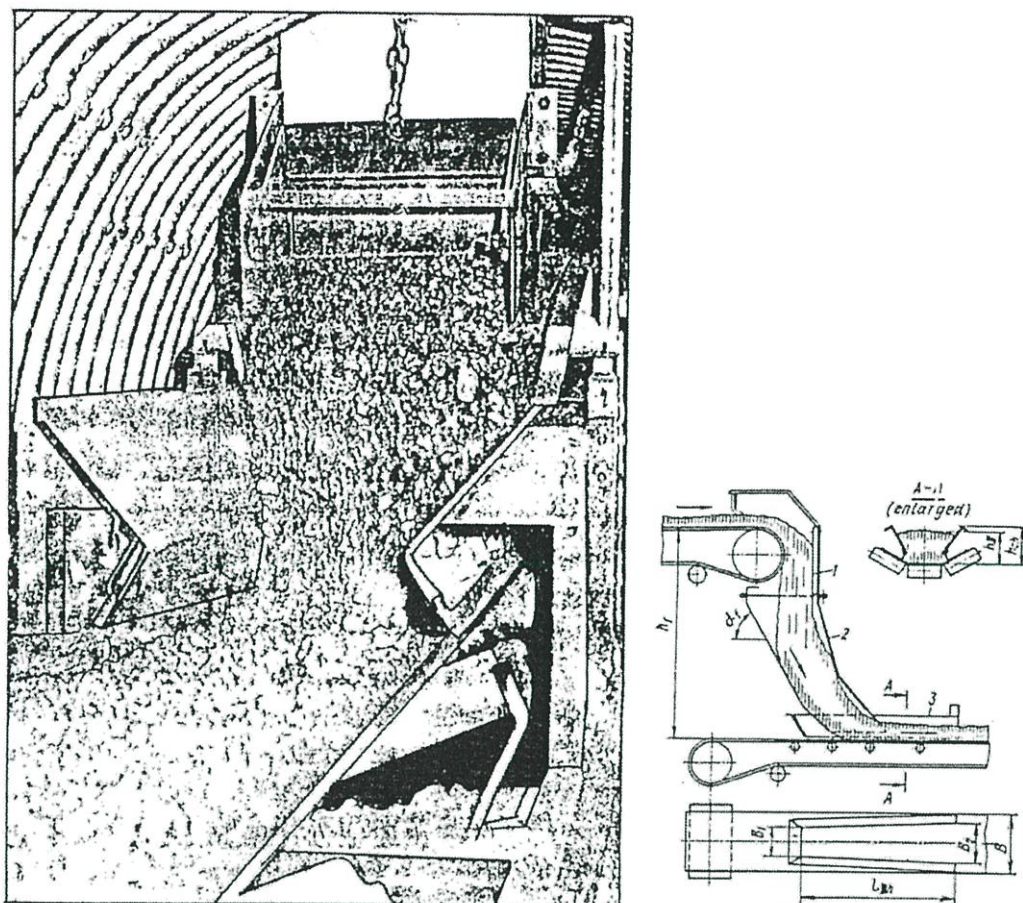


(b)

รูปที่ 2.15 โครงสร้างรองรับสายพาน a) โครงร่างลูกกลิ้ง b) พื้นรอง
ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญ (2547)

3. ชุดขับสายพาน โดยทั่วไปสายพานลำเลียงรับกำลังของล้อขับสายพานในลักษณะของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสล้อขับกับผิวด้านล่างของสายพาน ชุดขับสายพานประกอบด้วยล้อขับ ชุดถ่ายทอดกำลัง (คัปปลิงและชุดทดรอบ) และมอเตอร์ หากเป็นสายพานลำเลียงในแนวเอียงจะมีเบรก และชุดป้องกันการเคลื่อนที่กลับของสายพาน ขณะมอเตอร์มีปัญหาด้วย (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

4. อุปกรณ์ป้องกันวัสดุ การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันวัสดุลงสู่สายพานขึ้นกับสมบัติของวัสดุลำเลียงและวิธีการป้อนสู่สายพาน หากเป็นวัสดุชิ้นอาจป้อนลงสู่สายพานโดยใช้ราง หรือวางตรงๆลงบนสายพานเลย ส่วนวัสดุปริมาณมวล ป้อนลงสู่สายพานโดยใช้ถังป้อนที่มีลักษณะคล้ายรางกรวยตั้งรูปด้านล่าง ซึ่งถึงป้อน (2) หรือราง (3) จะต้องป้อนวัสดุให้ลงกลางสายพาน เมื่อป้อนวัสดุลงสู่สายพานต้องให้ระดับการป้อนวัสดุจากถังป้อนถึงสายพานต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้อายุการใช้งานของสายพานและลูกกลิ้งนานขึ้น (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)



รูปที่ 2.16 สถานีป้อนวัสดุลงสู่สายพาน
ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญ (2547)

5. อุปกรณ์ถ่ายเทวัสดุ การถ่ายเทวัสดุออกทำโดย ถ่ายทอดออกทางหัวสายพาน หรือระหว่างระยะทางลำเลียงโดยใช้แผ่นกั้นให้ออกด้านข้างสายพาน หรือโดยใช้อุปกรณ์ถ่ายเทวัสดุแบบล้อสายพาน ซึ่งแบบหลังนี้ใช้กับวัสดุปริมาณมวลเท่านั้น (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

6. อุปกรณ์ดึงสายพาน อุปกรณ์ดึงสายพานที่ใช้กับสายพานลำเลียงแบ่งออกเป็นแบบเกลียวกวัดแน่น แบบไฮดรอลิกแบบถ่วงน้ำหนัก แบบก้านช่วยถ่วงน้ำหนักและแบบสปริงปรับน้ำหนักถ่วง (spring – biased gravity type) (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

7. อุปกรณ์โค้งสายพาน (Deflector devices) การเปลี่ยนแปลงทิศทางของสายพาน ทำได้หลายวิธี เช่น ใช้ล้อกลับสายพาน ใช้ล้อโค้งสายพาน ใช้ชุดลูกกลิ้ง หรือใช้สายพานโครงอิสระ (free sagging belt) (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

8. **อุปกรณ์ทำความสะอาดสายพาน** เมื่อถ่ายวัสดุออกจากสายพานแล้ว เศษวัสดุอาจติดอยู่บนผิวสายพานทำให้สายพานสกปรกลดค่าความเชื่อถือได้และประสิทธิภาพของการทำงานลง โดยที่วัสดุที่ติดอยู่จะทำให้ลูกกลิ้งล่างสกปรก และอาจทำให้สายพานลื่นออกนอกแนวทางไป นอกจากนี้ วัสดุจะร่วงหล่นตามพื้นต้องใช้แรงงานมาทำความสะอาดพื้นและลูกกลิ้ง การทำความสะอาดใช้แผ่นปาดวัสดุ (scraper) ปาดวัสดุออกจากผิวสายพาน ซึ่งเป็นแบบแผ่นเดี่ยว หรือติดตั้งหลายแผ่นก็ได้ ส่วนวัสดุที่เปียกและเหนียวควรใช้แปรงทำความสะอาด วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ทำความสะอาดควรเป็นยางที่ทนการสึกหรอ และมีความแข็งไม่มากกว่า 70 หน่วยความแข็งสากล หรืออาจทำด้วยแผ่นพลาสติกไฟเบอร์ เป็นต้น อุปกรณ์ทำความสะอาดนี้ติดตั้งที่ล้อสายพานด้านปล่อยวัสดุออก เมื่อทำความสะอาดแล้วเศษวัสดุจะหล่นลงไปในถังรองรับ ทำให้ทำความสะอาดได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำทำความสะอาดแล้วทำให้สายพานแห้งในเวลาต่อมาก่อนที่จะไปรับวัสดุอีกครั้งหนึ่ง (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

9. **โครงสร้างน้ำหนักสายพานลำเลียง** โครงสร้างของสายพานลำเลียงอาจเป็นแบบแข็งเกร็งหรือเป็นแบบอ่อนตัวได้ โครงสร้างแบบแข็งเกร็งประกอบด้วยคานยาวทำด้วยเหล็กซึ่งติดตั้งโครงวางลูกกลิ้งส่วนแบบอ่อนตัวทำด้วยสายเคเบิล 2-4 เส้นซึ่งขึงตามยาวของสายพาน

โครงสร้างแบบตั้งรับ (support type) คานหรือสายเคเบิลจะติดตั้งบนขาตั้ง (stand) ซึ่งตั้งอยู่บนพื้น นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างแบบแขวน (suspended type) คานหรือสายเคเบิลจะถูกแขวนไว้บนเพดาน ซึ่งช่วงควรอยู่ในช่วง 20-30 m เพื่อรับความเค้นตามยาวทำให้โครงสร้างเสถียร แบบแขวนใช้เฉพาะกรณีเป็นแบบแนวราบ

โครงสร้างแบบอ่อนตัวสามารถรับแรงกระแทกได้สูง มีมวลน้อยเมื่อเทียบกับโครงสร้างแบบแข็งเกร็ง โครงสร้างแบบนี้ใช้กับการลำเลียงวัสดุก้อน ภาระหนัก ดังนั้นการเลือกชนิดของโครงสร้างขึ้นกับสภาพการทำงาน การใช้งานและลักษณะเส้นทาง เป็นต้น (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

10. **อุปกรณ์ควบคุมและความปลอดภัย** สายพานลำเลียงมีอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติและอุปกรณ์ความปลอดภัย ซึ่งใช้ตัวตรวจรู้ในการวัดและตรวจสอบสภาพความเร็ว การพลิก การฉีกขาด การตรวจระบบหล่อลื่น และอื่นๆ หากมีการปฏิบัติงานที่ผิดปกติ ตัวตรวจรู้จะส่งสัญญาณมาที่อุปกรณ์ควบคุมเร็ว ซึ่งจะทำให้สายพานหยุดทำงาน

สายพานเอียงจะมี เบรกติดเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่กลับ เมื่อสายพานหยุดและยังมีการอยู่ และมีอุปกรณ์จับแผ่นสายพาน หากสายพานขาดออก ควรติดตั้งปุ่มตัดการทำงานไว้เป็นระยะเพื่อสามารถหยุดการทำงานของสายพานได้ทันทั่วทั้งที่ ควรมีสายเคเบิลที่สามารถแตะกับสวิตช์ตัดตอนเมื่อมีกรณีฉุกเฉินทุกๆ ระยะ 10-25 m ตลอดเส้นทาง สถานการณ์ฉุกเฉินผู้ควบคุมสามารถดึงสายเคเบิลให้แตะสวิตช์ตัดตอนและหยุดการทำงานของสายพาน (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2547)

2.4.3 การออกแบบ

เมื่อเลือกชนิดสายพาน (วัสดุที่ใช้ทำ) ตามวัตถุประสงค์การใช้งานแล้ว กำหนดหน้ากว้างของสายพาน อัตราการขนถ่าย และความเร็วแล่นสายพาน

การคำนวณหาลำดับ

$$N = k_a W v / \eta \quad (2.4)$$

k_a = ค่าเผื่อการยึดตัวระหว่างล้อขับกับสายพาน 1.1-1.2

W = แรงต้านทานรวม

v = ความเร็วแล่นสายพาน (m/s)

η = ประสิทธิภาพรวมของการส่งกำลัง 0.8-0.9

การหาความแข็งแรงของสายพาน

แรงต้านทานรวมขณะสายพานเคลื่อนที่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ (w) นั้นมีค่าเท่ากับแรงขับเคลื่อนที่ของต้นกำลัง ซึ่งประมาณได้จาก

$$W = K_g L_h [(q_l + q_b + q_{us})W_u + (q_b + q_{ls})W_l] \pm q_l H \quad (2.5)$$

เมื่อ K_g = สัมประสิทธิ์แรงต้านทานที่ล้อสายพานจุดถ่ายเทวัสดุออกและจุดอื่นๆ (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์แรงต้านทานที่ล้อสายพาน ที่จุดถ่ายเทวัสดุออกและจุดอื่น

ระยะทางลำเลียง (m)	K_g
10	4.5
20	3.2
30	2.8
40	2.6
50	2.4
100	1.7
200	1.5

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ระยะทางลำเลียง (m)	K_g
300	1.4
500	1.3
≥ 1000	1.1

ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญ (2547)

l_h = ระยะทางลำเลียงในแนวราบ (m)

q_l, q_b, q_{us}, q_{ls} = น้ำหนักของวัสดุ สายพาน และลูกกลิ้งด้านบน และด้านล่างตามลำดับ (N/m)

W_u = สัมประสิทธิ์แรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ด้านบน

= 0.35-0.6 สำหรับพื้นรองเหล็กที่ทำด้วยหรือไม้

= ค่าในตารางที่ 2.5 สำหรับลูกกลิ้งแอง 3 ลูก

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์แรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ด้านบน

ระยะทางลำเลียง	สภาพการทำงาน			
	ดี	ปานกลาง	หนัก(ปกติ)	หนัก (เย็น)
≤ 100	0.02	0.025	0.035	0.045
> 100	0.018	0.012	0.032	0.042

W_l = สัมประสิทธิ์แรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ด้านล่างสำหรับลูกกลิ้งเดี่ยว (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 สัมประสิทธิ์แรงต้านทานต่อการเคลื่อนที่ด้านล่าง (W_l)

สภาพการทำงาน	W_l
ดี	0.018
ปานกลาง	0.022
หนัก(ปกติ)	0.03
หนัก(เย็น)	0.04

ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญ (2547)

H = ระยะทางลำเลียงในแนวดิ่ง (m) เมื่อลำเลียงขึ้นเป็นค่าบวก เมื่อลำเลียงค่าเป็นลบ
ค่า q_l คำนวณจากปริมาณการขนถ่ายที่ต้องการดังนี้

$$\text{สำหรับวัสดุปริมาณมวล } q_l = gQ/(3.6V) \quad (2.6)$$

$$\text{สำหรับวัสดุชิ้น } q_b = g m_b / l_o \quad (2.7)$$

เมื่อ m_l = มวลของวัสดุที่หนักที่สุด (kg)

l_o = ระยะห่างระหว่างวัสดุ(m)

ส่วน q_{us} และ q_{ls} คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$q_{us} = g m_{us} / l_{us} \quad (2.8)$$

$$q_{ls} = g m_{ls} / l_{ls} \quad (2.9)$$

เมื่อ m_{us} และ m_{ls} = มวลของลูกชุดลูกกลิ้งบนและล่าง (ดูจากตารางรายละเอียดลูกกลิ้ง ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 มวลลูกกลิ้งขนาดต่างๆ (kg) สำหรับลูกกลิ้งแอง (ลูกกลิ้ง 3 ลูก)

Belt width	Roller diameter					
	51	63	89	108	133	>133
300	7	8	9			
400,500,650,800	8	9	11	14		
1000			13	18		
1200			15	20		
1400				22	31	
1600				25	35	
1800					39	
2000					43	
2200					47	

ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญ (2547)

ตารางที่ 2.8 มวลลูกกลิ้งขนาดต่างๆ (kg) สำหรับลูกกลิ้งสายพานเรียบ

Belt Width	Roller diameter				
	51	63	89	108	133
300 400	5	6	7		
500 650 800	8	9	10	11	
1000 1200			12	13	
1400 1600				14	15
1800 2000					16
2200					17

ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญ (2547)

l_{us} l_s = ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งบนและลูกกลิ้งล่าง (m)

ค่า q_b คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$q_b = g m_b B \quad (2.10)$$

เมื่อ m_b = มวลสายพาน 1 m² (kg) (ดูจากตารางรายละเอียดสายพาน) (ตารางที่ 2.9)

เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ 2.5 แล้วจะได้ค่าหาแรงดึงสูงสุดของสายพานที่ต้องการตามภาระได้จากสูตร

$$W = S_{on} - S_{off} \quad (2.11)$$

$$\text{และ } S_{on} \leq S_{off} e^{\mu\alpha} \quad (2.12)$$

โดยปกติ S_{on} เป็นค่าแรงดึงสูงสุด (S_{max}) จากนั้นนำไปหาความแข็งแรงของชั้นสายพานได้จากสมการ

$$S_b \geq K S_{max} / B \quad (2.13)$$

S_b = ความแข็งแรงของสายพานที่เลือกใช้ (N/mm)

K = ค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยรวม

$$= K_o / K_p K_j K_c K_{op} \quad (2.14)$$

K_o = ค่าความปลอดภัย

= 7 เมื่อภาระเคลื่อนที่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ

= 5 เมื่อภาระสูงสุดขณะเริ่มเดินเครื่อง (ใช้ตรวจสอบ)

K_p = สัมประสิทธิ์ความไม่สม่ำเสมอของแกนผ้า (ตารางที่ 2.9)

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างรายละเอียดลักษณะสายพานยางแกนผ้า

P(N/m) Max working tension		type	Thicknes s approx.(mm)	Weight approx.(k g/m ²)	Belt width (mm)										
Valcani zed joining	Mecha nical joining				30	40	45	50	60	65	80	100	1200	1400	1600
20	16	Ep200/2,2 +1,B	4,8	6,2	0	0	0	0	0	0	0	00	00	00	00
25	20	Ep250/2,3 +1,B	60	7,5	x	x	x	x	x	x	x				
31,5	25	Ep315/3,3 +1,B	6,7	8,6		x	x	x	x	x	x	x			
31,5	25	Ep315/3,4 +2,B	8,7	10,8		x	x	x	x	x	x	x	x		
40	31,5	Ep400/3,3 +1,B	7,0	9,1		x	x	x	x	x	x	x	x		
40	31,5	Ep400/3,4 +2,B	9,0	11,3		x	x	x	x	x	x	x	x		
50	40	Ep500/3,3 +1,B	7,6	9,4				x	x	x	x	x	x	x	
50	40	Ep500/3,4 +2,B	9,6	11,6				x	x	x	x	x	x	x	
50	40	Ep500/3,5 +1,B	10,1	12,2				x	x	x	x	x	x	x	
63	50	Ep630/4,2 +1,A	11,4	13,7						x	x	x	x	x	
63	50	Ep630/4,6 +2,A	12,8	15,2						x	x	x	x	x	x
80	63	Ep800/4,6 +2,A	13,2	16,4						x	x	x	x	x	x
100	80	Ep1000/4, 6+2,A	13,6	16,9							x	x	x	x	x

ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุญ (2547)

ตารางที่ 2.10 สัมประสิทธิ์ความไม่สม่ำเสมอของชั้นแกนผ้า

จำนวนชั้นแกนผ้า	K_p
3	0.95
4	0.9
5	0.88
6	0.85
7	0.82
8	0.8

ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ (2547)

K_j = สัมประสิทธิ์ความแข็งแรงรอยต่อสายพาน

= 0.9-0.85 เมื่อต่อด้วยความร้อน

= 0.5 เมื่อต่อด้วยลวดเย็บ

= 0.4-0.3 เมื่อต่อด้วยหมุดย้า

K_c = สัมประสิทธิ์เนื่องจากระยะทางลำเลียง

= 1 เมื่อเป็นแนวราบ

= 0.9 เมื่อเป็นแนวเอียง

= 0.85 เมื่อเป็นแนวชันขึ้น

K_{op} = สัมประสิทธิ์สภาพการทำงาน (ตารางที่ 2.10)

ตารางที่ 2.11 สัมประสิทธิ์สภาพการทำงาน (K_{op})

สภาพการทำงาน	K_{op}
เบามาก	1.2
เบา	1.1
ปานกลาง	1.0
หนัก	0.95
หนักมาก	0.85

ที่มา: ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ (2547)

เมื่อคำนวณหาค่าได้แล้ว เลือกค่า S_b จากตารางรายละเอียดสายพาน (ตารางที่ 8.2) นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาจำนวนชั้นสายพาน (i) ได้จากสูตร

$$i = KS_{\max}/(S_{pl}B) \quad (2.15)$$

เมื่อทราบความแข็งแรงของชั้นแกนผ้าหนึ่งชั้น (S_{pl} , N/mm)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุพัตรา มีสุข และ ศตวรรษ วิเศษศรี (2558) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ด้วยไมโครเวฟ ข้าวโพดอาหารสัตว์ถูกให้ความร้อนด้วยกำลังของไมโครเวฟเท่ากับ 200,300 และ 450 วัตต์ ที่เวลา 1,2 และ 3 นาที หลังการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟข้าวโพดถูกศึกษาเปอร์เซ็นต์การรอดของมอดและไข่มอดหลังจากเก็บรักษาไว้ 2 เดือนและคุณภาพของข้าวโพด ได้แก่ ความชื้น สี ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ผลการทดลองพบว่าการใช้กำลังไฟฟ้าที่ 300 วัตต์ ที่เวลา 3 นาที อุณหภูมิที่ 87.2 องศาเซลเซียส และ 450 วัตต์ เวลาที่ 1,2 และ 3 นาที อุณหภูมิที่ 62.2, 86.8 และ 94.8 องศาเซลเซียส สามารถกำจัดมอดและไข่มอดได้ โดยผลการทดลองแสดงเปอร์เซ็นต์การรอดของมอดและไข่มอดเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น สี ปริมาณโปรตีน และไขมันของข้าวโพด อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของโรงงานอาหารสัตว์ สรุปได้ว่าคลื่นไมโครเวฟสามารถนำไปใช้กำจัดมอดและไข่มอดสำหรับข้าวโพดได้

ตารางที่ 2.12 ตารางแสดงสมบัติของข้าวโพดหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (สุพัตรา มีสุข และ ศตวรรษ วิเศษศรี, 2558)

กำลังวัตต์ (watt)	เวลา (min)	ความชื้น (%)	สี			% โปรตีน	% ไขมัน	อุณหภูมิหลังการให้ความร้อน (°C)
			L*	a*	b*			
กลุ่มชุดตัวอย่าง		17.30	62.23	13.16	33.84	5.43 ^c	3.68	
200	1	15.97	65.2	9.9	31.0	5.4 ^b	3.45	35.0 ^a
	2	15.97	63.8	13.2	34.2	5.4 ^b	3.42	44.4 ^a
	3	16.87	64.3	18.7	43.7	4.8 ^c	3.35	46.2 ^b
300	1	14.37	58.7	13.9	34.1	4.8 ^a	3.33	42.8 ^{ab}
	2	13.77	43.5	21.4	29.9	4.7 ^a	3.34	61.8 ^{ab}
	3	12.50	54.8	16.1	38.3	4.7 ^a	3.36	87.2 ^{ab}
450	1	13.23	63.9	16.5	37.6	4.8 ^a	3.41	62.2 ^b
	2	12.97	63.7	16.2	40.7	4.8 ^a	3.33	86.8 ^b
	3	12.63	62.8	12.1	37.6	4.8 ^a	3.47	94.8 ^c
		ns	ns	ns	ns	**	ns	**

ns ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

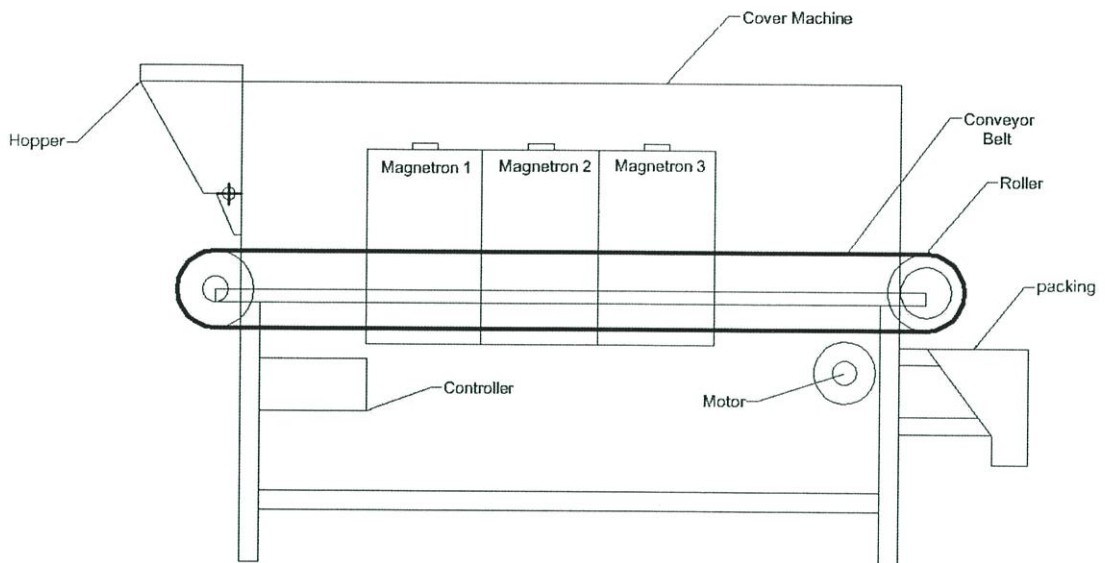
** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากงานวิจัยของ Sungsoontorn et al. (2016) ได้ศึกษาการวิเคราะห์และการออกแบบตัวกรองคูรูเกตต์แบบสองชั้นสำหรับเครื่องลมร้อนด้วยไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งร่วมกับระบบสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง ตัวกรองคูรูเกตต์แบบสองชั้น มีเป้าหมายในการออกแบบเพื่อลดพลังงานของคลื่นไมโครเวฟจากช่องประตูของสายพานลำเลียง การรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟจะส่งผลกระทบต่อมนุษย์ควรมีค่าต่ำกว่า 10 mW/cm^2 ตัวกรองนี้ได้ถูกออกแบบเพื่อการลดทอนสัญญาณของคลื่นไมโครเวฟ ที่ช่วงความถี่ 2,300-2,600 MHz ในขณะที่ความถี่ที่ถูกกำหนดสร้างขึ้นคือ 2,450 MHz และการลดทอนที่มากกว่า 60 dB เราสามารถบอกได้ว่า ในการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งหมดของการออกแบบส่วนประกอบตัวกรองคูรูเกตต์แบบสองชั้น และการตรวจสอบหลังจากที่มีการติดตั้งที่ Research Center of Microwave Utilization in Engineering (R.C.M.E) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบและสร้าง

3.1.1 กอบแนวคิดเบื้องต้น



รูปที่ 3.1 ระบบกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ

หลักการทำงาน ข้าวโพดในถังป้อนวัสดุ (hopper) ไหลลงบนสายพานลำเลียงของระบบกำจัดมอดและไข่มอดด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งประกอบด้วยแมกนีตรอนจำนวน 3 ตัว ที่ควบคุมการทำงานผ่านตู้ควบคุม โดยตู้ควบคุมสามารถกำหนดกำลังไมโครเวฟและความเร็วสายพาน จากนั้นข้าวโพดจะถูกลำเลียงออกทางช่องทางออก

3.1.2 ระบบสายพานลำเลียง

เริ่มจากการออกแบบโครงสร้างรับสายพานที่มีความสูง 1 m และความกว้าง 0.20 m โดยใช้เหล็กกล่องขนาด 3.81x3.81 cm ชุดขับเคลื่อนประกอบด้วยลูกกลิ้ง มู่เล่ และมอเตอร์ เฟลาของลูกกลิ้งติดกับแบร์ริง มีการติดตั้งลูกกลิ้งตั้งสายพาน และใช้สแตนเลสแผ่นได้การรองรับน้ำหนักสายพาน

เลือกใช้วัสดุทำสายพานคือเทปลอนเพราะมีคุณสมบัติทนความร้อนสูง กำหนดหน้ากว้างของสายพาน (B) เท่ากับ 15 cm ระยะทางลำเลียง 3 m อัตราการขนถ่าย (Q) เท่ากับ 0.0061 ton/hr คิดความเร็วแล่นสายพาน (v) จาก $v = s/t$ เมื่อ $s = 3$ m และ $t = 389$ s จะได้

$$v = 0.0102 \text{ m/s}$$

หาความแข็งแรงสายพานจาก

$$W = K_g L_h [(q_l + q_b + q_{u_s})W_u + (q_b + q_{l_s})W_l] \pm q_l H$$

$$K_g = 4.5 \text{ จากตารางที่ 2.4 ระยะทางลำเลียง 3 m (น้อยกว่า 10 m)}$$

$$L_h = 3 \text{ m}$$

$$q_l = gQ/(3.6)(v) = (9.81)(0.0061)/(3.6)(0.0102) = 1.63 \text{ N/m}$$

$$q_b = gm_b B$$

$$m_b = 5.6 \text{ kg/m}^2 \text{ จากสายพานยาว 6 m กว้าง 0.15 m หนัก 5 kg}$$

ดังนั้น $q_b = (9.81)(5.6)(0.15) = 8.24 \text{ N/m}$

$$q_{u_s} = gm_{u_s}/l_{u_s}$$

$$q_{l_s} = gm_{l_s}/l_{l_s}$$

$$m_{u_s} = m_{l_s} = 1.5 \text{ kg}, l_{u_s} = l_{l_s} = 3 \text{ m}$$

ดังนั้น $q_{u_s} = (9.81)(1.5)/3 = 4.91 \text{ N/m}$

$$q_{l_s} = (9.81)(1.5)/3 = 4.91 \text{ N/m}$$

$$W_u = 0.35 \text{ พื้นรองด้วยแผ่นสแตนเลส}$$

$$W_l = 0.018 \text{ จากตารางที่ 2.6 สภาพการทำงานดี}$$

$$H = 0 \text{ m}$$

ดังนั้น $W = (4.5)(3)[(1.63 + 8.24 + 4.91)0.35 + (8.24 + 4.91)0.0061] \pm 0$
 $= 70.92 \text{ N}$

หากำลังขับจาก

$$N = K_a W v / \eta$$

$$K_a = 1.1 \text{ (ค่าเผื่อการยึดตัวระหว่างล้อขับกับสายพาน)}$$

$$\eta = 0.8 \text{ (สัมประสิทธิ์การส่งกำลัง)}$$

ดังนั้น $N = (1.1)(80.78)(0.0102)/0.8 = 0.99 \text{ w}$

3.1.3 ระบบไมโครเวฟ

การออกแบบระบบไมโครเวฟที่ออกแบบร่วมกับระบบสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง จะมีอยู่ส่วน 2 หลักก็คือ ส่วนแอฟลิเคเตอร์ และส่วนควบคุมระบบ ในส่วนแรกการออกแบบมีการออกแบบแอฟพลีเคเตอร์ลักษณะเป็นแบบมัลติโหมด (Multi-Mode Applicators) ซึ่งมีรูปแบบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการกระจายตัวของคลื่นได้ทั่วแอฟพลีเคเตอร์ ซึ่งการป้อนคลื่นมาจากแมกนีตรอนกำลังต่ำหลายตัวและหลายตำแหน่ง เพื่อจะได้มีการดูดซับของคลื่นต่อวัสดุที่สูง มีข้อสังเกตที่พบก็คือแอฟพลีเคเตอร์ในลักษณะนี้จะเกิดความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าภายในบริเวณทำความร้อน ส่งผลให้เกิดความร้อนสูงได้ทั่วถึง ดังนั้นต้องมีความระมัดระวังในการเลือกขนาดและชนิดวัสดุระบบไมโครเวฟชนิดคลื่นมัลติโหมด การสร้างส่วนของแอฟพลีเคเตอร์จะใช้ตู้อบไมโครเวฟแบบครัวเรือนมาสร้าง โดยนำตู้อบทั้ง 3 เอาประตูช่องวางอาหาร และเจาะผนังโลหะด้านตรงข้ามของประตูออกให้มีขนาดเท่ากับ ความสูง ความกว้าง ของช่องใส่อาหารก่อนที่จะนำตู้อบทั้ง 3 มาประกอบเข้าด้วยกัน โดยการพลิกตู้อบให้ส่วนควบคุมระบบอยู่ส่วนบน ขนาดของแอฟพลีเคเตอร์เมื่อสร้างจะมีดังนี้

ขนาดของแอฟพลีเคเตอร์ด้านใน (กว้างxสูงxยาว) คือ (18.80x31.20x84.00) cm

ขนาดของตู้ส่วนควบคุมระบบ (กว้างxสูงxยาว) คือ (18.80x11.00x84.00) cm

ขนาดความหนาของแอฟพลีเคเตอร์(ยกเว้นส่วนด้านบน) คือ 3.70 cm

ปริมาตรด้านในของแอฟพลีเคเตอร์ คือ 60 L

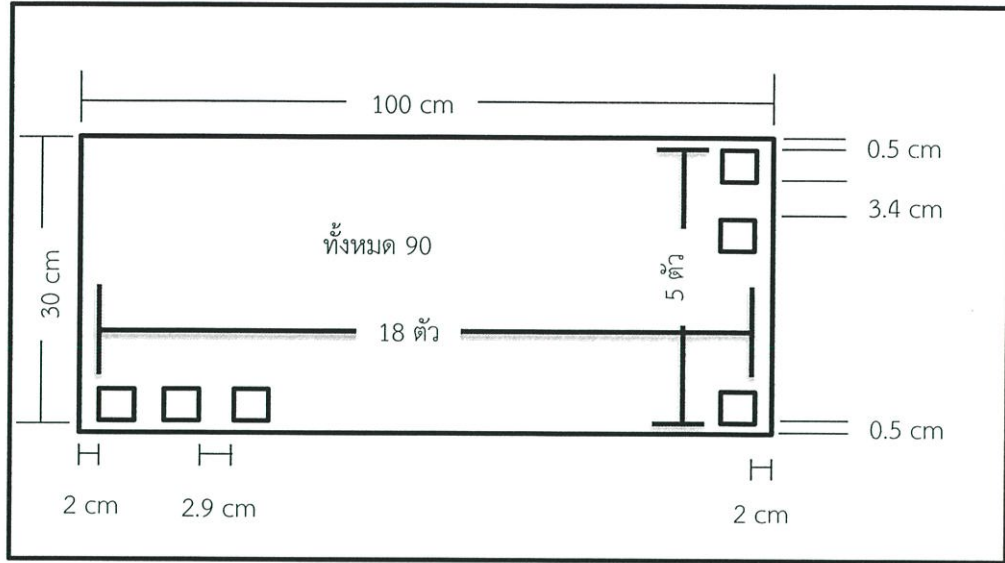
อุปกรณ์เตาอบที่นำมาออกแบบกับระบบไมโครเวฟคือ เตาอบไมโครเวฟยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น ME711K/XST ปริมาตรความจุ ความจุ 0.7 ft³/20 L (เตาอบไมโครเวฟขนาดกลาง)

3.1.4 ระบบควบคุมการรั่ว

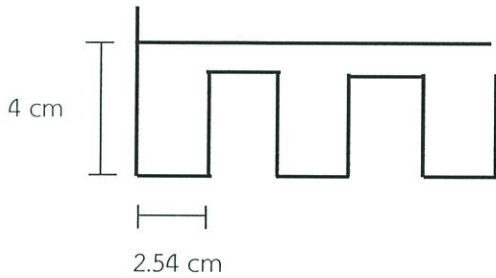
เนื่องจากระบบไมโครเวฟอุตสาหกรรมเพื่อกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ที่ได้ทำการออกแบบมานั้นเป็นระบบเปิดทำให้มีการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟออกมาจากทางเข้าและทางออกหรือปลายทั้งสองด้านของสายพานลำเลียง จึงได้ออกแบบระบบกันคลื่นไมโครเวฟรั่ว โดยอ้างอิงจากงานวิจัย Sungsoontorn et al. (2016) ได้ศึกษาการวิเคราะห์และการออกแบบตัวกรองครุฑเกตุต์แบบสองชั้นสำหรับเครื่องลมร้อนด้วยไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งร่วมกับระบบสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง ซึ่งงานวิจัยนี้มีลักษณะการทำงานคล้ายเครื่องที่กำลังออกแบบ คือ

1. ใช้คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่เดียวกัน
2. ใช้สายพานลำเลียงเหมือนกัน

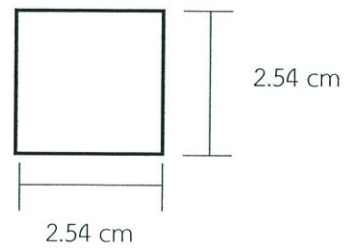
หลักการออกแบบ ชั้นส่วนที่ใช้ป้องกันคลื่นไมโครเวฟรั่วนั้นมีลักษณะเป็นแท่งมีขนาดและความห่างจากการคำนวณตามทฤษฎีและมีจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ จากการออกแบบจะได้สตั๊บบจำนวน 180 แท่งตามระยะทางของสายพาน ซึ่งเป็นจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ สตั๊บบแต่ละแท่งมีความสูง 4 cm กว้าง 2.54 cm และยาว 2.54 cm แผ่นยึดมีขนาด 30x100 cm ทั้ง 2 ด้าน ดังรูปที่ 3.2



(a)



(b)

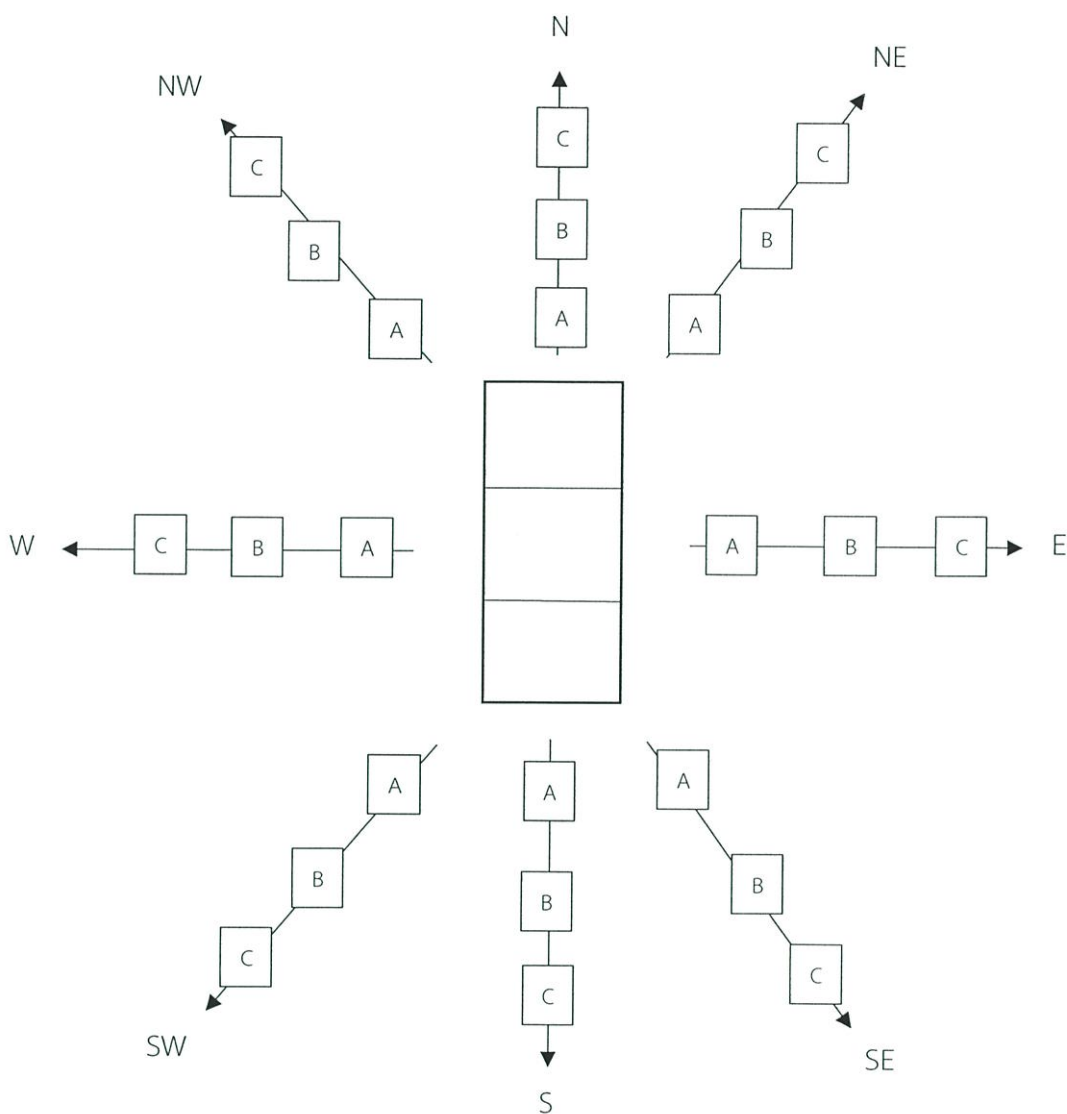


(c)

รูปที่ 3.2 (a) แสดงระบบการป้องกันคลื่นรั่ว (b) แสดงความสูงของโซ๊คแต่ละตัว (c) แสดงขนาดของโซ๊คแต่ละตัว

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การทดลองวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งที่ตั้งเครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟรั่ว โดยแต่ละระยะห่างจะมีความสูงจากพื้น 3 ระดับ

กำหนดตำแหน่งจุดที่ตั้งเครื่องตรวจวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ กำหนดเป็น 8 ทิศทางจากเครื่องกำเนิดมอด แต่ละทิศทางกำหนดระยะห่างจากเครื่อง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะ A = 1 m, B = 2 m และ C = 3 m แต่ละระยะกำหนดความสูงจากพื้น 3 ระดับ ได้แก่ L = 0.5 m, M = 1 m และ H = 1.5 m ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ทดลองการวัดคลื่นรั่วโดยใช้เครื่องวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Leakage Detector, TM-194) ตามตำแหน่งจุดที่ตั้งเครื่องตรวจวัดคลื่นรั่วที่ได้กำหนดไว้คือ กำหนดเป็น 8 ทิศทางจากเครื่องกำจัดมอด แต่ละทิศทางกำหนดระยะห่างจากเครื่อง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะ A = 1 m, B = 2 m และ C = 3 m แต่ละระยะกำหนดความสูงจากพื้น 3 ระดับ ได้แก่ l = 0.5 m, M = 1 m และ H = 1.5 m อ่านค่าแล้วบันทึกผล

3.2.2 การทดลองหาความเร็วสายพายที่เหมาะสมต่อการกำจัดมอดและไข่มอด

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราการคงอยู่ของมอดและไข่มอด เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ข้าวโพดที่นำมาทำการทดลองนั้นได้มาจากกลุ่มเกษตรกรจำนวน 9 กิโลกรัม และมอดตัวเต็มวัยอายุ 14 วันจาก บริษัทเจริญโภคภัณฑ์อาหาร (CPF) ศรีราชา จำกัด โดยแบ่งข้าวโพดออกเป็น 9 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม แล้วใส่มอดตัวเต็มวัยจำนวน 50 ตัวในแต่ละถุง เก็บข้าวโพดไว้ในสภาพบรรยากาศปกติ (25 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 70-80 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 30-40 วัน ก่อนที่จะนำไปทำการทดลองกับเครื่องต่อไป การทดลองหาความเร็วสายพายต่ออัตราการคงอยู่ของมอดและไข่มอดโดยนำข้าวโพดตัวอย่างที่ได้ทำการเตรียมไว้แล้ว มาทดลองในระบบที่สร้างขึ้นโดยใช้กำลังวัตต์ 600 watt เพื่อหาความเร็วสายพาย เสร็จแล้วนับจำนวนมอดที่ยังมีชีวิต และนำข้าวโพดตัวอย่างไปเก็บไว้ 14 วัน เพื่อตรวจสอบไข่มอดที่ยังไม่ถูกทำลาย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของกำลังไมโครเวฟและความเร็วสายพานต่ออัตราการคงอยู่ของมอดและไข่มอด

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการให้ความร้อนกับตัวอย่างข้าวโพดที่กำลังวัตต์ 600 วัตต์ ความเร็วสายพาน 0.0077 และ 0.0092 m/s ได้อุณหภูมิข้าวโพดตัวอย่างหลังผ่านการให้ความร้อนเท่ากับ 66.5 และ 63.9 °C เปอร์เซ็นต์การรอดของมอดและไข่มอดเท่ากับ 0 แต่เมื่อใช้ความเร็วสายพานที่ 0.0102 m/s อุณหภูมิ 60.5 °C ยังมีมอดและไข่มอดที่รอดชีวิตอยู่

ตารางที่ 4.1 อัตราการคงอยู่ของมอดและไข่มอดในข้าวโพดหลังผ่านกระบวนการทดลอง

กำลังวัตต์ (watt)	ความเร็ว ของ สายพาน (m/s)	อัตราการขน ถ่าย (kg/hr)	อุณหภูมิ ข้าวโพด ตัวอย่างหลัง ผ่านการให้ ความร้อน (°C)	การคงอยู่ของมอดและ ไข่มอด (%)	
				หลังอบ (มอด)	14 วัน (ไข่มอด)
600	0.0077	4.5421	66.5	0	0
	0.0092	5.8476	63.9	0	0
	0.0102	6.0894	60.5	2	6.7

4.2 ผลการทดลองการวัดคลื่นร้าว

จากผลการทดลองจะเห็นว่าคลื่นไมโครเวฟที่รั่วออกมาและวัดได้นั้นมีค่าน้อยมากซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และมีค่าไม่เกินมาตรฐานความปลอดภัยที่ระบุไว้เท่ากับ 5 mW/cm^2

ตารางที่ 4.2 ค่าของคลื่นร้าว (mW/cm^2)

ทิศทาง	ระยะ	ความสูง	คลื่นร้าว (mW/cm^2)
N	A	L	0.007
		M	0.004
		H	0.002
	B	L	0.002
		M	0.001
		H	0.001
	C	L	0.001
		M	0.001
		H	0.001
S	A	L	0.004
		M	0.008
		H	0.009
	B	L	0.002
		M	0.003
		H	0.001
	C	L	0.001
		M	0.002
		H	0.001
E	A	L	0.000
		M	0.001
		H	0.002
	B	L	0.001
		M	0.002
		H	0.001

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ทิศทาง	ระยะ	ความสูง	คลื่นรั่ว (mW/cm ²)
F	C	L	0.001
		M	0.000
		H	0.001
W	A	L	0.000
		M	0.000
		H	0.007
	B	L	0.000
		M	0.000
		H	0.009
	C	L	0.000
		M	0.000
		H	0.000
NE	A	L	0.000
		M	0.001
		H	0.002
	B	L	0.001
		M	0.002
		H	0.001
	C	L	0.001
		M	0.000
		H	0.001
NW	A	L	0.007
		M	0.020
		H	0.010
	B	L	0.004
		M	0.000
		H	0.007

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ทิศทาง	ระยะ	ความสูง	คลื่นรบกวน (mW/cm ²)
NW	C	L	0.000
		M	0.000
		H	0.001
SE	A	L	0.003
		M	0.010
		H	0.004
	B	L	0.000
		M	0.000
		H	0.000
	C	L	0.000
		M	0.000
		H	0.000
SW	A	L	0.000
		M	0.000
		H	0.002
	B	L	0.000
		M	0.007
		H	0.010
	C	L	0.002
		M	0.003
		H	0.003

ตำแหน่งจุดที่ตั้งเครื่องตรวจวัดคลื่นรบกวน กำหนดเป็น 8 ทิศทางจากเครื่องไมโครเวฟ แต่ละทิศทางกำหนดระยะห่างจากเครื่อง 3 ระยะ ได้แก่ ระยะ A = 1 m , B = 2 m และ C = 3 m แต่ละระยะกำหนดความสูงจากพื้น 3 ระดับ ได้แก่ L = 0.5 m , M = 1 m และ H = 1.5 m

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการป้องกันการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟด้วยคูร์เกตต์โซค และความเร็วสายพานในการนำข้าวโพดอาหารสัตว์ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อกำจัดมอดและไข่มอด และตรวจสอบอัตราการคงอยู่ของมอดและไข่มอดในข้าวโพดอาหารสัตว์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดลองวัดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟสรุปได้ว่าคูร์เกตต์โซคสามารถลดการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานความปลอดภัยที่ระบุไว้เท่ากับ 5 mW/cm^2

2. จากการทดลองนำตัวอย่างข้าวโพดไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ กำลังวัตต์ 600 วัตต์ ความเร็วสายพาน 0.0077 0.0092 และ 0.0102 m/s ทำให้ทราบว่าเมื่อใช้ความเร็วสายพาน 0.0077 และ 0.0092 m/s เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตของมอดและไข่มอดเท่ากับ 0 แต่เมื่อใช้ความเร็วสายพาน 0.0102 m/s มอดและไข่มอดยังคงมีชีวิตอยู่

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรติดตั้งระบบระบายความร้อนให้แก่แมกนีตรอน
2. หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ควรที่จะขยายหน้ากว้างสายพาน และใช้แมกนีตรอนที่ให้กำลังวัตต์สูงขึ้น

บรรณานุกรม

- ชุมพล กันทะ. 2533. หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ. ขอนแก่น : ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ทวีศักดิ์ บุญเกิด. 2540. “การจำแนกพันธุ์พืชโดยเทคนิคทางชีวโมเลกุล.” ใน อีระชัย ธนานันต์ (บรรณาธิการ). หนังสือประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ : โครงการตำราภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- บุษรา จันแก้วมณี. 2533. หลักการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ. ขอนแก่น : ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์. 2547. วิศวกรรมกรรมขนถ่ายวัสดุ. เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. 2551. พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- พิเชษฐ กรุดลอยมา และสุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนาเสวี. 2547. เอกสารวิชาการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.
- พรทิพย์ วิสาทานนท์, กุสุมา นวลวัฒน์, บุษรา จันท์แก้วมณี, ใจทิพย์ อูไรชื่น, รังสีมา เก่งการพานิช, ภรณ์การ์ เฟ็งคัม, จิราภรณ์ ทองพันธ์, ดวงสมร สุทธิสุทธิ์, ลักษณ์า ร่มเย็น และภาวนี หนูชนะภัย. 2548. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ ชุมชุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด.
- พูนพัฒน์ พูนน้อย, เบญญทิพย์ มหาเทพ และภิญญาพัชญ์ พุฒตาล. 2553. การทำลายไข่มอดในข้าวอินทรีย์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ. กรุงเทพฯ : วรสารวิจัยและพัฒนา มจร.
- วันชัย จันท์ประเสริฐ. 2542. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชไร่. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุพัตรา มีสุข และศตวรรษ วิเศษศรี. 2558. “การกำจัดมอดและไข่มอดในข้าวโพดสำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ด้วยไมโครเวฟ.” ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมหลักการเก็บเกี่ยวและแปรรูป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก.
- ไสว พงษ์เก่า. 2534. พืชเศรษฐกิจ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อุดม อธิชาติ. 2521. แมลงศัตรูผลิตผลการเกษตรในโรงเก็บ. เชียงใหม่ : ภาควิชากีฏวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- David, R. 2004(September 10 2017). Insets of stored products. [Online]. Available:

<http://www.publish.csiro.au/>

Hill, D.S. 1983. *Agricultural Insect Pests of the Tropics and Their Control*. ed.

New York : Syndicate of the University of Cambridge Press.

Ikisan. 2008(September 10 2017). **Maiza stored grain pests**. [Online] Available:

[http://ikisan.com.links/ap_maize stored%20 Grain%Pests.shtml](http://ikisan.com.links/ap_maize_stored%20Grain%Pests.shtml)

Sopida Sungsoontorn,Saysunee Jumrat,Yutthapong Pianroj,and Phadungsak

Rattanadecho. 2016. "Design and analysis of a doubly corrugated filter

for a combined multi-feed microwave-hot air and continuous belt system. "

Songklanakarín J. Sci. Technol.