เครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ
Microwave heating

โดย

นายฐิติพงษ์	**นาคประเสริฐ**	**รหัสนักศึกษา**	**B4602385**
นายนฤนาท	**ดอกเข็ม**	**รหัสนักศึกษา**	**B4604242**
นายรุจสัค	**พุ่มเจริญ**	**รหัสนักศึกษา**	**B4607526**

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 โครงงานศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม
และวิชา 427499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำภาคการศึกษาที่ 1และ2 ปีการศึกษา2549
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2545
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงาน	เครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Microwave heating)
โดย	นาย ฐิติพงษ์ นาคประเสริฐ รหัสนักศึกษา B4602385
	นาย นฤนาท ดอกเข็ม รหัสนักศึกษา B4604242
	นาย รุจสัค พุ่มเจริญ รหัสนักศึกษา B4607526
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ดร. ชาญชัย ทองโสภา
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่	1และ2/2549

บทคัดย่อ

(Abstract)

โครงงานฉบับนี้เป็นการ ศึกษาวิเคราะห์ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ รวมถึงทดสอบและประเมินคุณสมบัติโดยใช้หลักการการเกิดอันตรกริยา ระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับน้ำ และได้ศึกษาหลักการทำงานของหลอดแม็กนีตรอน ท่อนำคลื่น หม้อแปลงมอเตอร์ วงจรไฟฟ้าและเตาอบแห้งเพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งให้สามารถนำไปพัฒนาและใช้งานได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

จากการที่คณะจัดทำรายงานได้รับมอบหมายให้ทำโครงงานเรื่อง "เครื่องอบแห้ง โดยใช้คลื่นไมโครเวฟ" ส่งผลให้คณะจัดทำรายงานได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟอย่างมากมาย บัดนี้โครงงานดังกล่าวพร้อมทั้งรายงานได้สำเร็จลงแล้ว ทั้งนี้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากบุคคลต่างๆ ดังนี้

1. อ.ดร. ชาญชัย ทองโสภา (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)
2. นาย คมสัน ภาษยเดช (วิศวกรประจำอาคารเครื่องมือF1)
3. นาย จิรวัฒน์ ด่านทองหลาง (ช่างเทคนิคประจำอาคารเครื่องมือF1)
4. นาย วาที ทิพย์เลิศ (ช่างเทคนิคประจำอาคารเครื่องมือF1)
5. นาย มานพ จันทร์สนิทศรี (ช่างฝีมือประจำอาคารเครื่องมือF1)
6. นาย นรงค์ เขียวสูงเนิน (พ.ห้องทดลองอาคารเครื่องมือF1)

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นาย ฐิติพงษ์ นาคประเสริฐ
นาย นฤนาท ดอกเข็ม
นาย รุจสัค พุ่มเจริญ
คณะจัดทำรายงาน

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	1
กิตติกรรมประกาศ	2
สารบัญ	3
บทที่ 1 บทนำ	4
1.1 ความเป็นมา	4
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	4
1.3 ขอบเขตการทำงาน	4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 ทฤษฎีการให้ความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ	6
2.2 การทำงานของคลื่นไมโครเวฟ	7
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง	9
3.1 ส่วนกำเนิดคลื่น (Magnetron)	9
3.2 ส่วนท่อนำคลื่น (Waveguide)	13
3.3 ส่วนเตาอบ (Cavity)	18
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	30
4.1 ทดสอบวัดอุณหภูมิภายในเตา	30
4.2 ทดสอบโดยการอบเซรามิค	35
4.3 ทดสอบอบมะพร้าวขูด	37
4.4 ทดสอบวัดกระแสที่ใช้ในการทำงานของเตาอบ	43
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	44
5.1 บทสรุป	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	44

สารบัญรูปภาพ

รูป ก. รูปแสดงโมเลกุลของน้ำ 9
รูป ข. รูปการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับคลื่นไมโครเวฟ 10
รูปที่ 1 ภาพจำลองภายในหลอดแม็กนีตรอน 11
รูปที่ 2 รูปหลอดแม็กนีตรอน 11
รูปที่ 3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแม็กนีตรอน ซึ่งเพิ่มแรงดันเป็นสองเท่า 12
รูปที่ 4 ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จะจ่ายให้กับแม็กนีตรอน 13
รูปที่ 5 ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแม็กนีตรอน 13
รูปที่ 6 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงคงที่ 6,000 โวลต์ให้กับแม็กนีตรอน 14
รูปที่ 7 ลักษณะของแรงดันที่มีค่าคงที่ของวงจรในรูปที่ 6. 14
รูปที่ 8 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้กับแม็กนีตรอน 15
ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันขาออก
รูปที่ 9 ลักษณะคลื่นไมโครเวฟที่ส่งออกมาจากสล๊อตที่ปลายแม็กนีตรอน 16
รูปที่ 10 ลักษณะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของโหมด TE_{10} 17
รูปที่ 11 แสดงแบบพับของเตาอบ 18
รูปที่ 12 แสดงเตาอบที่พับและเจาะช่อง เพื่อต่อเข้ากับท่อ wave guide แล้ว 19
รูปที่ 13 front view ของเตาอบเมื่อพับ 19
รูปที่ 14 right view ของเตาอบเมื่อพับ 20
รูปที่ 15 แสดงแบบพับ ของฐานเตาอบ 20
รูปที่ 16 แสดงฐานของเตาอบที่ผ่านการพับแล้ว 21
รูปที่ 17 แสดง Right view ของฐานเตาอบ 21
รูปที่ 18 แสดงด้าน Front view ของฐานเตาอบ 22
รูปที่ 19 แสดงภาพในส่วนของฝาครอบด้านหน้า 22
รูปที่ 20 แสดงขนาดของฝาด้านหน้า Front view 23
รูปที่ 21 แสดงขนาดของฝาหน้า left view 23
รูปที่ 22 แสดงภาพฝาหน้ากับเตาอบที่ประกอบเข้ากันแล้ว 24
รูปที่ 23 แสดงลักษณะของเตาอบ ฝาหน้า และฐานเตาอบที่ประกอบเข้ากันแล้ว 24
รูปที่ 24 แสดง Front view 25
รูปที่ 25 Top view 25
รูปที่ 26 แสดงด้าน Left view 26

รูปที่ 27 แสดงลักษณะและขนาดของแบบพับ ฝาครอบด้านบน 26

รูปที่ 28 รูปจริงของ เตาอบ (ด้านหน้า) 27

รูปที่ 29 รูปจริงแสดงด้านหลังของเตาอบ 27

รูปที่ 30 รูปตู้อบที่เสร็จสมบรูณ์ 28

รูปที่ 30(ก.) รูปตู้อบที่เสร็จสมบรูณ์ 28

รูปที่ 30(ข.) รูปตู้อบภายในที่เสร็จสมบรูณ์ 29

รูปที่ 30(ค.) รูปตู้อบภายในที่เสร็จสมบรูณ์ 29

รูปที่ 31 แสดงการON การทำงานของหลอดแม็กนีตรอน 30

รูปที่ 32 แสดงตำแหน่งวางภาชนะทดสอบเพื่อทดสอบอุณหภูมิ 31

รูปที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของชุด Z 32

รูปที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของชุด X 33

รูปที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของชุด X และ Z 34

รูปที่ 36 วัตถุดิบที่นำมาอบ 35

รูปที่ 37 เศษของวัตถุดิบที่นำมาอบ 36

รูปที่ 38 วัตถุดิบที่อบแล้วกับวัตถุดิบที่ยังไม่ได้อบ 36

รูปที่ 39 มะพร้าวขูด 37

รูปที่ 40 แสดงการวางมะพร้าวขูดในตำแหน่งต่างๆ 37

รูปที่ 41 แสดงการวัดอุณหภูมิของมะพร้าวขูด 38

รูปที่ 42 ดูสภาพของมะพร้าวที่อบ 38

รูปที่ 43 มะพร้าวขูดที่เหลือง กรอบ 42

รูปที่ 44 มะพร้าวขูดที่ไหม้ 42

บรรณานุกรม 45

ประวัติผู้เขียน 46

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบันนั้นอุตสาหกรรมการอบแห้งได้มีการขยายตัวเป็นอย่างมาก แต่เครื่องอบแห้งที่นิยมใช้ในปัจจุบันใช้อากาศเป็นตัวนำพาความร้อน ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ สูญเสียพลังงานความร้อนออกไปมาก ก่อให้เกิดมลพิษในอากาศและมีข้อจำกัดในการควบคุมความร้อนให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจึงก่อให้เกิดความคิดที่จะทำกระบวนการอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟขึ้น เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟเป็นพลังงานทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนแก่วัสดุ โดยใช้หลักการเกิดอันตรกริยาระหว่าง คลื่นไมโครเวฟกับน้ำ ซึ่งโครงงานนี้ได้เลือกเซรามิคมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ในการอบแห้ง โดยตั้งความหวังว่าจะมีการพัฒนากระบวนการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น สมุนไพร อาหาร หรือยางพารา เป็นต้น เพื่อให้อุตสาหกรรมการอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และลดการสูญเสียพลังงาน ลดมลพิษซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในโลกปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาหลักการและกรรมวิธีการอบแห้งโดยคลื่นไมโครเวฟ
2. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งโดยคลื่นไมโครเวฟ
3. เพื่อเพิ่มศักยภาพกรรมวิธีการอบแห้งซึ่งมีอยู่ในปัจจุบัน
4. เพื่อเพิ่มทางเลือกในการอบแห้งของเซรามิคหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. ศึกษาและวิเคราะห์หลักการทำงานของคลื่นไมโครเวฟ
2. ศึกษาการทำงานของหลอดแม็กนีตรอน(Magnetron)
3. ศึกษาและออกแบบโครงสร้างของเครื่องอบแห้ง(Cavity)
4. ประกอบส่วนต่างๆของเครื่องอบแห้งเข้าด้วยกัน
5. ปรับปรุงให้เครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้ตามจุดประสงค์ที่คาดหวังไว้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษา ค้นคว้าหาข้อมูล
2. เขียนโครงการและเสนอโครงการกับอาจารย์ที่ปรึกษา
3. หาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้
4. ออกแบบส่วนของเตาอบให้ได้ตามต้องการ
5. ออกแบบส่วนของหลอดแม็กนีตรอนและท่อนำคลื่น
6. นำระบบที่ออกแบบไปสร้างและแก้ไขให้ได้ตามต้องการ
7. สรุปผลโครงงานและเขียนรายงาน
8. นำเสนอโครงงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการให้ความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟมีความถี่อยู่ในช่วง 300 MHz ถึง 300 GHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่หนึ่งในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีสมการที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือสมการของ แม็กเวล (Maxwell's equations)

$$\bar{\nabla} \times \bar{E} = \frac{-\partial \bar{B}}{\partial t} \qquad (1)$$

$$\bar{\nabla} \times \bar{H} = \bar{J} + \frac{-\partial \bar{D}}{\partial t} \qquad (2)$$

$$\vec{\nabla} \bullet \vec{\mathrm{D}} = \rho_{\mathrm{v}} \qquad (3)$$

$$\vec{\nabla} \bullet \vec{\mathrm{B}} = 0 \qquad (4)$$

แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากอัตรกริยา ระหว่างคลื่นไมโครเวฟ กับวัสดุที่ต้องการอบ โดยส่วนของ สนามไฟฟ้าจะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดโพราไรเซชันทำให้ค่า Dielectric permittivity ของวัสดุไดอิเล็กตริกเขียนได้ตามสมการ (5)

$$\varepsilon = \varepsilon_0(\varepsilon_r + j\varepsilon_i) = \varepsilon_0(\varepsilon_r + j\frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}) \qquad (5)$$

ในการอธิบายถึงความร้อนที่เกิดขึ้นจากคลื่นไมโครเวฟ จะถูกอธิบายด้วยค่า loss tangent

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_r} \qquad (6)$$

โดยที่ loss tangent ที่เกิดขึ้นภายในวัสดุจะสัมพันธ์กับกำลังเป็นไปตามสมการ

$$P = \omega\varepsilon_r\varepsilon_0 \tan\delta \left|E_i\right|^2 \qquad (7)$$

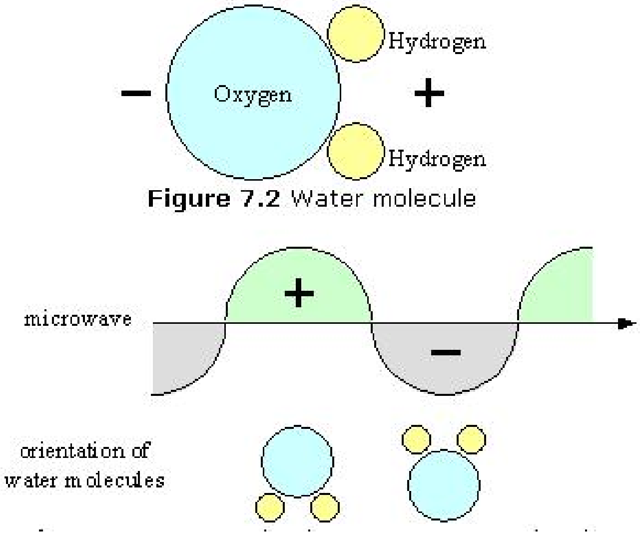
โดยที่ E_i คือ ค่าสนามไฟฟ้าภายในวัสดุ

พบว่าในการให้กำลังความร้อนแก่วัสดุ จะมีความสัมพันธ์กับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในเชิงแปรผันโดยตรง จึงเสมือนว่าถ้าต้องการกำลังความร้อนที่สูงขึ้นก้อเพียงแต่เพิ่มความถี่ แต่ในทางปฏิบัติจะมีค่าตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่เราจำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วยเสมอคือค่า penetration depth (D)

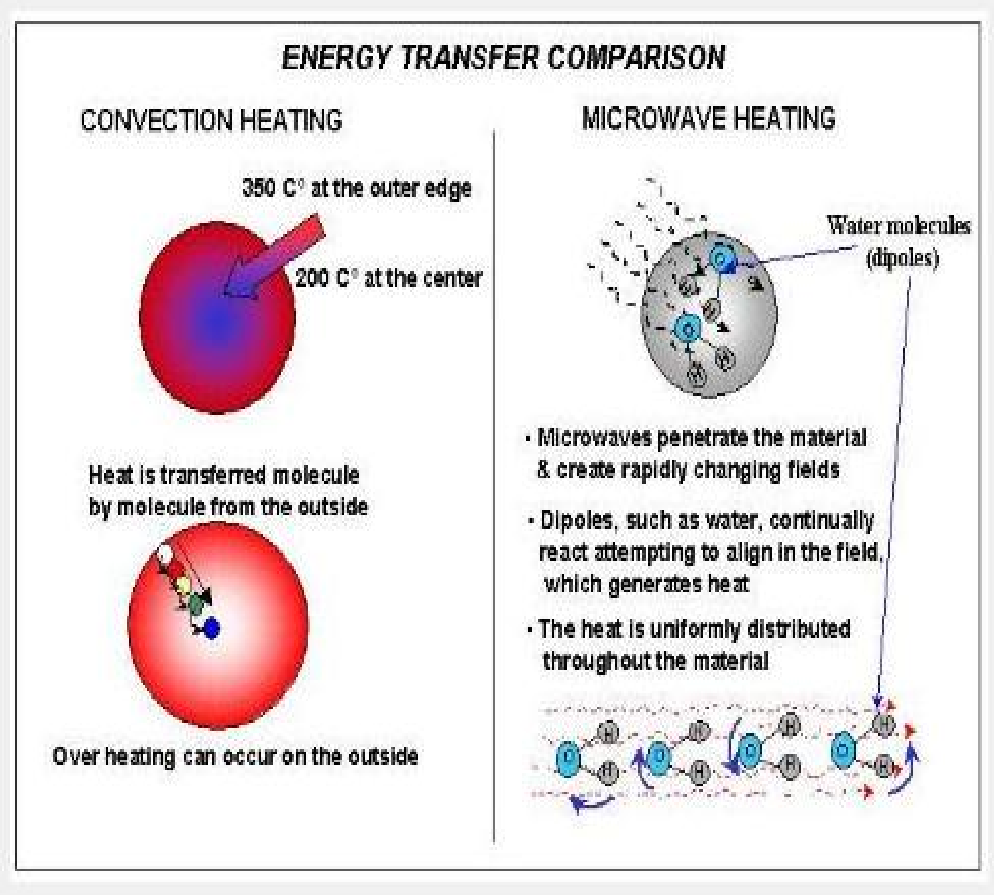
$$D = \frac{0.225\lambda}{\sqrt{\varepsilon_r}\sqrt{\sqrt{1+\tan^2\delta}-1}} \qquad (8)$$

2.2 การทำงานของคลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ เป็นสนามของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานแม่เหล็กอยู่ด้วยกัน จึงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง มีการแผ่รังสีเหมือนแสง แต่มีพลังงานน้อยกว่าเคลื่อนที่ในรูปแบบคลื่น ดังนั้นไมโครเวฟจึงสะท้อนไปมา ถูกส่งผ่านหรือดูดกลืนได้โดยขึ้นกับสารที่ไมโครเวฟทำปฏิกิริยาด้วยหลักการทำงานอาศัยน้ำ เพราะน้ำเป็นโมเลกุลชนิดมีขั้วบวกที่ปลายด้านหนึ่ง โมเลกุลของน้ำในอาหารจะจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเปิดเครื่อง ทำให้เกิดไมโครเวฟในเตาอบ โมเลกุลของน้ำจะเริ่มดูดกลืนไมโครเวฟ สนามของไมโครเวฟจะเกิดการสั่นเป็นจำนวนล้านๆครั้งใน 1 วินาที ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำสั่นไปด้วยพร้อมๆกับเปลี่ยนตำแหน่งของโมเลกุลน้ำ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้เป็นระเบียบมากขึ้น การที่โมเลกุลของน้ำสั่นอย่างมากนี้ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นอย่าง



รูป ก.


ENERGY TRANSFER COMPARISON
CONVECTION HEATING
MICROWAVE HEATING
350 C° at the outer edge
200 C° at the center
Heat is transferred molecule by molecule from the outside
Over heating can occur on the outside
Water molecules (dipoles)
• Microwaves penetrate the material & create rapidly changing fields
• Dipoles, such as water, continually react attempting to align in the field, which generates heat
• The heat is uniformly distributed throughout the material

รูป ข.

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง

ในการอบแห้งเซรามิคโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อให้ได้เซรามคที่ได้คุณภาพนั้นจะต้องทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมของการอบ เช่น กำลังของคลื่นไมโครเวฟ การถ่ายเทความร้อน ความชื้นในเตาอบ และความชื้นของวัสดุเซรามิคเป็นต้น จึงได้ออกแบบและสร้างระบบอบเซรามิคโดยใช้คลื่นไมโคเวฟซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆ คือ ส่วนกำเนิดคลื่น ส่วนท่อนำคลื่น ส่วนเตาอบ

3.1 ส่วนกำเนิดคลื่น (Magnetron)

หลอดแม็กนีตรอน(Magnetron) จะมีลักษณะโดยทั่วไปแสดงดังรูป 1 และ 2

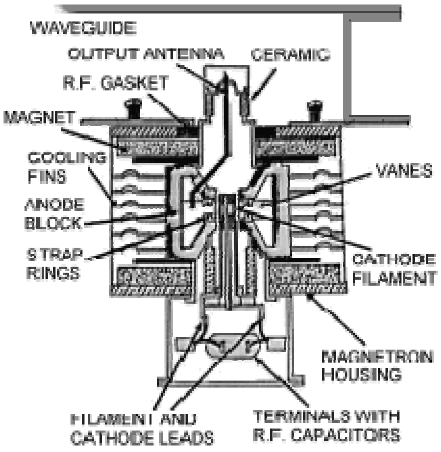
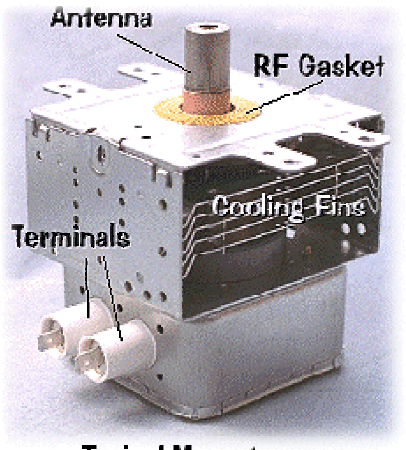


Figure 1 Sectional view of a typical magnetron
(Courtesy of Michael S. Wagner)

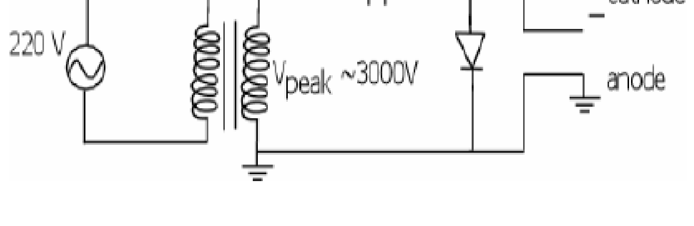


Typical Magnetron

รูปที่ 2

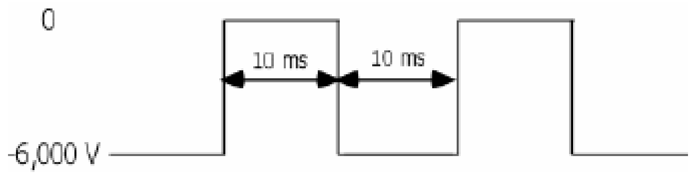
ซึ่งประกอบด้วยไส้หลอด(Filament) คาโทด(Cathode) ซึ่งเป็นขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอด และถูกบรรจุอยู่ในช่องสูญญากาศซึ่งส่วนของผนังรอบๆจะทำหน้าที่เป็นขั้วอาโนด(Anode) คลื่นไมโครเวฟที่ถูกกำเนิดขึ้นจะถูกส่งออกมาภายนอกโดยAntenna ในการทำงานของหลอดแม็กนีตรอนนั้น หลอดแม็กนีตรอนจะถูกจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำประมาณ3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ที่ไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อนและปล่อยอิเลคตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทดเทียบกับขั้วอาโนด ก็จะทำให้อิเล็กตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร และเมื่อความต่างศักย์มีค่าสูงจนถึงค่าหนึ่งก็จะทำให้หลอดแม็กนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในของช่องสูญญากาศระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วอาโนด ซึ่งทำให้มีความเหมาะที่จะทำให้หลอดแม็กนีตรอนสามารถกำเนิดคลื่นออกมาที่ความถี่ 2.45 GHz ออกมา

ชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้กับหลอดแม็กนีตรอน ในขณะที่จ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ให้กับไส้หลอดอยู่นั้นแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายให้อาโนดกับคาโทดจะต้องมีค่าสูงประมาณ-4000 โวลต์ จึงจะทำให้หลอดแม็กนีตรอนปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ และจากการทดลองโดยการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างคาโทดกับอาโนดพบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่สามารถทำให้แมกนีตรอนเริ่มปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้จะมีค่าประมาณ -4,000โวลต์ โดยที่เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วทั้งสองมีค่าสูงขึ้น ก็จะทำให้แมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมมีค่าคงที่เท่ากับ -4,000 โวลต์ นั่นแสดงว่าแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินจะถูกเปลี่ยนเป็นกำลังของคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น เตาไมโครเวฟโดยทั่วไป จะมีชุดจ่ายแรงดันซึ่งประกอบด้วย stepup transformer ซึ่งมีแรงดันด้านขดทุติยภูมิ Vpeak = 3,000 โวลต์ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ 220 โวลต์ และต่อเข้ากับไดโอดและตัวเก็บประจุในลักษณะวงจรทวีแรงดัน 2 เท่าดังรูปที่ 3



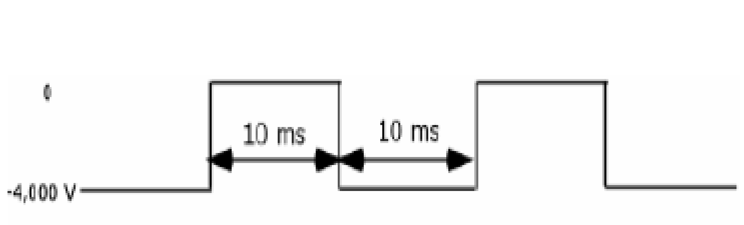
รูปที่ 3 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแมกนีตรอน ซึ่งเพิ่มแรงดันเป็นสองเท่า โดยใช้ไดโอดและตัวเก็บประจุไฟฟ้าแรงสูง

ในขณะที่ยังไม่ต่อชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้านี้ให้แก่แมกนีตรอน จะวัดค่าแรงดันสูงสุดตรงขาออกได้เท่ากับ –6,000 โวลต์ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของวงจรทวีแรงดัน โดยจะมีลักษณะเป็นพัลส์ความถี่ 50เฮิร์ต ดังแสดงในรูปที่ 4



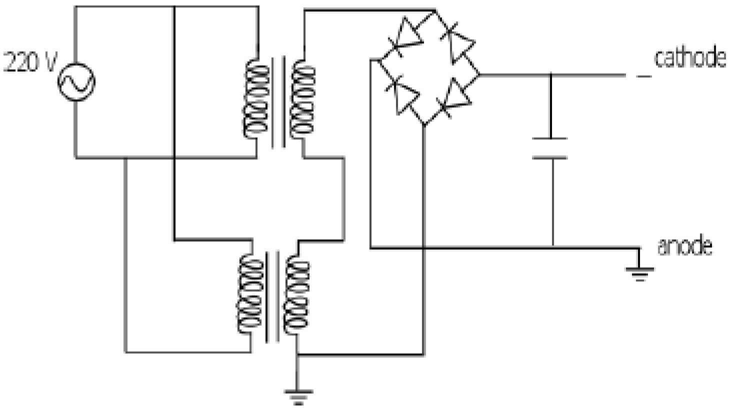
รูปที่ 4 ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จะจ่ายให้กับแมกนีตรอน

การทำงานของวงจรทวีแรงดันในรูปที่ 4 จะมีลักษณะคือ ขณะที่แรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงมีค่าเป็นบวก (Vpeak = -3,000 โวลต์)ไดโอดก็จะนำกระแสและตัวเก็บประจุจะถูกชาร์จ ในขณะที่แรงดันที่ตกคร่อมคาโทดและอาโนดมีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงเปลี่ยนเป็นลบ ไดโอดก็จะหยุดนำกระแส ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมทำคาโทดและอาโนดเป็นแรงดันไฟฟ้ารวมของแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุและแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงซึ่งเท่ากับ–6,000 โวลต์เมื่อต่อวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าดังกล่าว(รูปที่ 3)เข้ากับแมกนีตรอนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม อาโนดและคาโทดจะลดเหลือ –4,000 โวลต์ดังรูปที่ 5 ซึ่งแรงดันไฟฟ้าผลต่างประมาณ –2,000 โวลต์ จะเปลี่ยนเป็นกำลังของคลื่นไมโครเวฟสูงสุดที่ถูกส่งออกมา ซึ่งคลื่นไมโครเวฟที่ถูกส่งออกมาก็จะมีลักษณะเป็นพัลส์เช่นเดียวกับรูปที่ 5.



รูปที่ 5 ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแมกนีตรอน
จะมีค่าคงที่เท่ากับ –4,000 โวลต์

การออกแบบและสร้างชุดจ่ายแรงดันให้แมกนีตรอนทำงานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงสามารถจ่ายแรงดันให้กับแมกนีตรอนได้อย่างต่อเนื่องที่ 6,000 โวลต์ จึงใช้หม้อแปลงที่มีลักษณะเดียวกันกับหม้อแปลงที่ใช้ในวงจรในรูปที่ 3 จำนวนสองตัวมาต่ออนุกรมเข้าด้วยกัน แล้วต่อเข้ากับ Bridge Rectifier พร้อมกับ Capacitor filter ดังรูปที่ 6.



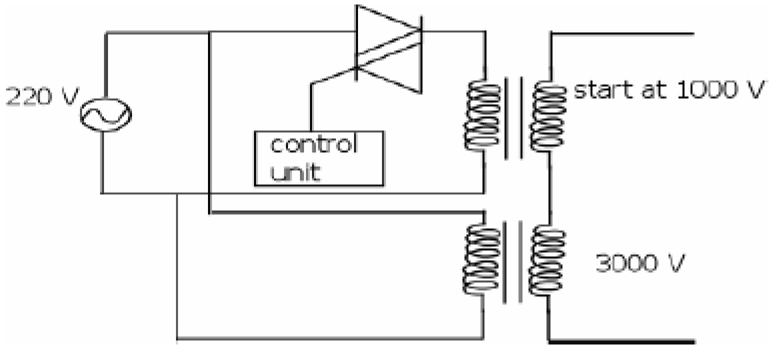
รูปที่ 6 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงคงที่ 6,000 โวลต์ให้กับแมกนีตรอน

โดยแรงดันไฟฟ้าขาออกจะมีค่าคงที่เท่ากับ 6,000 โวลต์ดังแสดงใน รูปที่ 7.

รูปที่ 7 ลักษณะของแรงดันที่มีค่าคงที่ของวงจรในรูปที่ 6.

การควบคุมการจ่ายกำลังไมโครเวฟของแมกนีตรอนจากการทดลองทำให้ทราบว่าวิธีที่เป็นไปได้ในการควบคุมการจ่ายกำลังไมโครเวฟของแมกนีตรอน ก็โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ที่ตกคร่อมขั้วคาโทดและขั้วอาโนด ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากไส้หลอดโดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้จะค่าระหว่าง –4,000โวลต์ถึง –6,000 โวลต์ เนื่องจากวงจรกำเนิดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแมกนีตรอน ประกอบด้วยหม้อแปลงสองตัวดังรายละเอียดในหัวข้อที่แล้ว ดังนั้นการควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ขาออกของวงจรสามารถทำได้โดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงตัวใดตัวหนึ่งโดยใช้ Power Electronics ดังรูปที่ 8 และจะตั้งค่าเริ่มต้นของแรงดันที่ Rectifier แล้วเป็น–4,000 โวลต์ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ทำให้แมกนีตรอนสามารถจ่ายคลื่นไมโครเวฟออกมา



รูปที่ 8 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้กับแมกนีตรอน ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันขาออก โดยการเปลี่ยนค่าแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง

3.2 ส่วนท่อนำคลื่น (Waveguide)

โดยส่วนใหญ่ท่อนำคลื่นและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้กันอยู่ในอุตสหกรรมประเภทอาหารและยาจะเป็นสเตนเลส เพราะมีข้อดีคือทนความร้อนสูง และ ทนต่อการผุกร่อน (Corrosion) [10] แต่ข้อเสียคือค่าattenuationมีค่าสูง ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งค่าattenuationเป็นตัวบอกถึงค่าการสูญเสียทีบริเวณผิวของโลหะ สามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ 9 α_c คือค่า attenuation (dB/m) [9]

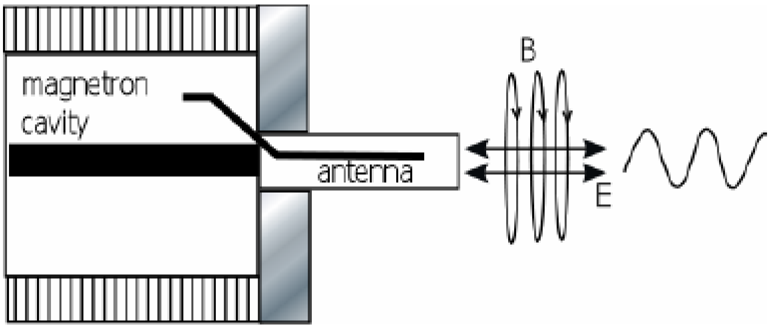
$$\alpha_c = \frac{1}{\eta b}\left[\frac{\pi f \mu}{\sigma\left[1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2\right]}\right]^{1/2}\left[1+\frac{2b}{a}\left(\frac{f_c}{f}\right)^2\right] \quad (9)$$

η คือค่าintrinsic impedanceของวัสดุไดอิเล็กตริก , a และ b คือค่าความกว้าง และ ความสูงของท่อนำคลื่น, σ คือค่าสภาพนำไฟฟ้า, f_c คือความถี่cuttoff

ตารางที่ 1[10] ค่าattenuation และ ค่าPower lossของโลหะชนิดต่างๆ ที่ความถี่ 2.45 GHz

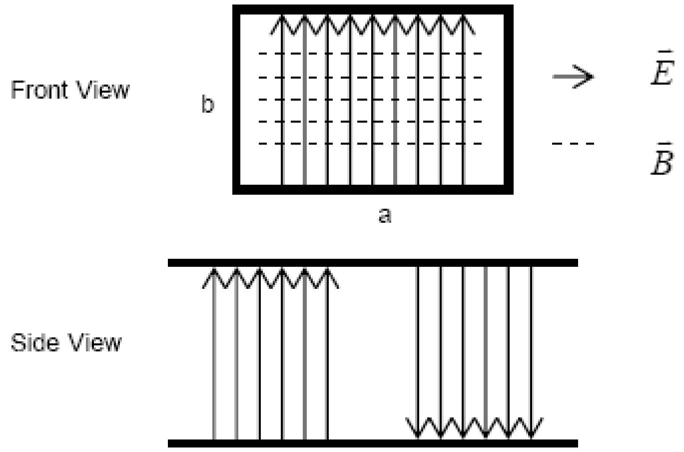
Parameter	WG size (mm)	Cu	Al	Stainless steel
$\sigma(mho/m)$	n/a	5.5x10^{7}	3.0x10^{7}	1.4x10^{6}
α_c	86x43	2.28E-2	3.09E-2	1.43E-1
Power loss,watts per metre at 25 kW	86x43	132	178	837

จากเหตุผลดังข้างต้นประกอบกับในท้องตลาดมีท่อสเตนเลสขนาดหน้าตัด 8x6 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานจำหน่ายอยู่แล้ว จึงสามารถนำมาใช้เป็นท่อนำคลื่นได้ จากเหตุผลทั้งหมดดังที่กล่าวมาทำให้เลือกใช้สเตนเลสเป็นวัสดุหลักของ ท่อนำคลื่น และ เตาอบ(cavity)การออกแบบและสร้างท่อนำคลื่นเนื่องจากในการทดลองนี้ได้ใช้แมกนีตรอนซึ่งใช้อยู่ในเตาอบไมโครเวฟเป็นตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟดังนั้นคลื่นที่ถูกส่งออกมาจากรูหรือสล๊อต(slot)ที่ปลายของแมกนีตรอนจะมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ลักษณะคลื่นไมโครเวฟที่ถูกส่งออกมาจากสล๊อตที่ปลายแมกนีตรอน

เมื่อส่งคลื่นไมโครเวฟดังกล่าวผ่านเวฟไกด์รูปสี่เหลี่ยม (Rectangular waveguide) โดยเลือกโหมดของการส่งให้เป็น TE10 จะได้คลื่นภายในท่อนำคลื่น มีลักษณะดังรูปที่ 10.



รูปที่ 10 ลักษณะของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของโหมด TE_{10}

ซึ่งความถี่ต่ำสุดของคลื่นไมโครเวฟ(Cut-off frequency, fc) ที่สามารถส่งผ่านไปตามท่อนำคลื่นแบบนี้ได้นั้น สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$f^c_{mn} = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \qquad (10)$$

เมื่อ c คือความเร็วแสง m และ n คือเลขจำนวนเต็ม a และ b คือขนาดของท่อนำคลื่น เมื่อเลือกให้ a = 8 เซนติเมตร b = 4 เซนติเมตร เนื่องจาก m = 0 ; n = 1 สำหรับโหมด TE_{01} และใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่ f = 2.45 GHz ดังนั้นจะได้ค่าความถี่ cutoff = 1.88GHz และค่าความยาวคลื่นในท่อนำคลื่น λ_g = 19.02 เซนติเมตร

3.3 ส่วนเตาอบ (Cavity)

ในการออกแบบเตาอบเพื่อให้ภายในเตาอบเกิดการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟอยู่ภายในเตาอบ ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1 . เตาอบ

2. ฐานเตาอบ

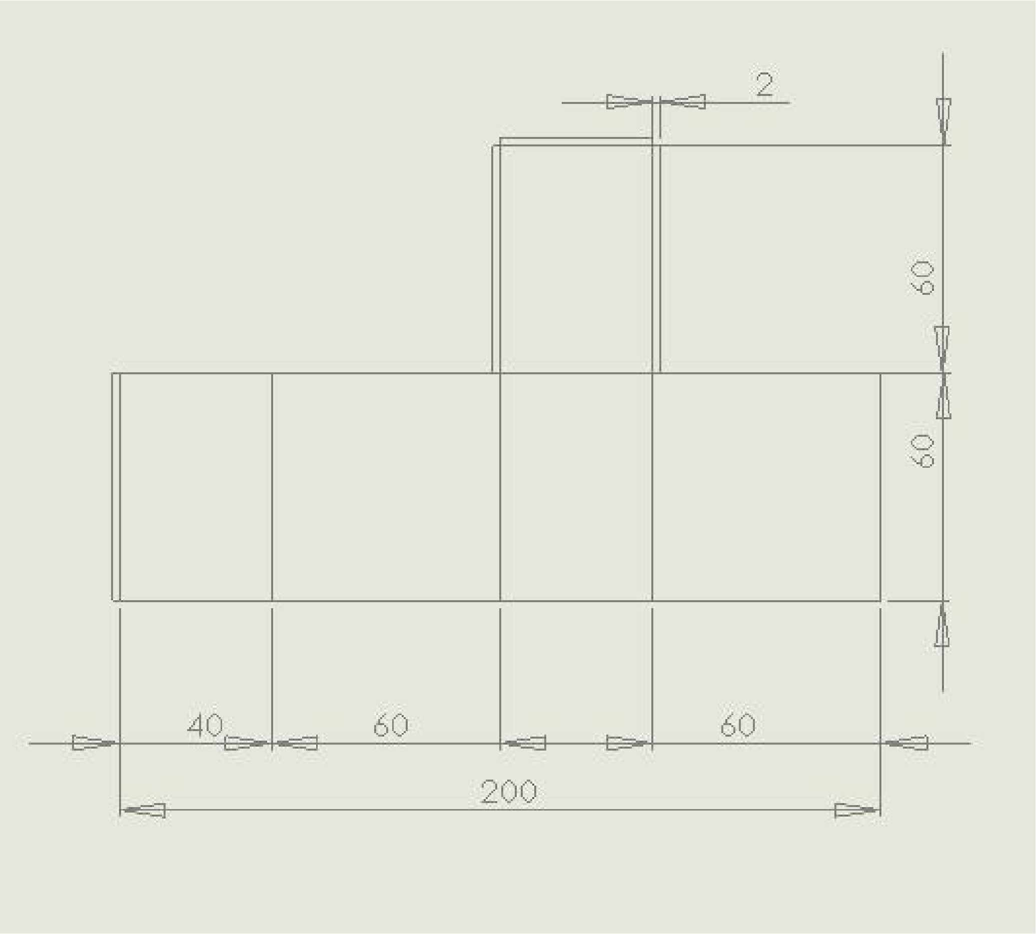
3. ฝาครอบด้านหน้า

4. ฝาครอบด้านบนเตาอบ

ในการออกแบบเตาอบได้ใช้ โปรแกรม Solid Works ในการออกแบบ และวัสดุที่ใช้คือแผ่นเหล็กที่มีความหนา 0.9 และ 1.0 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในสร้างส่วนต่างๆ

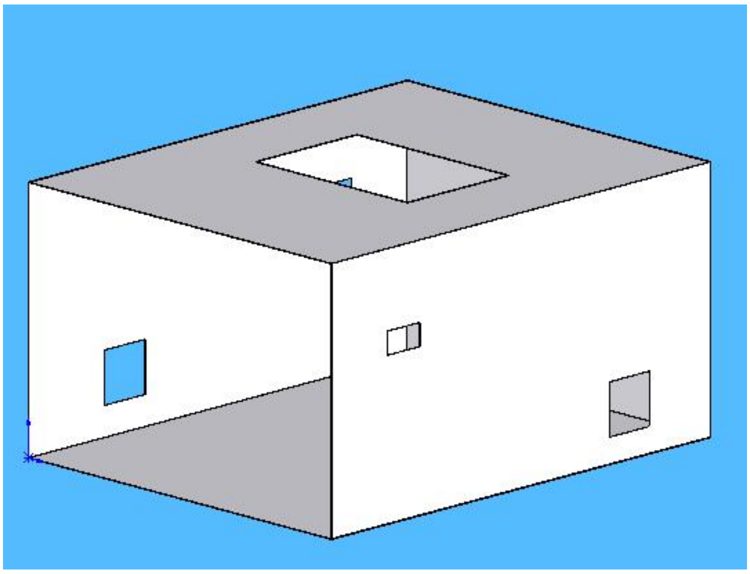
1. เตาอบ

เนื่องจากเตาอบสร้างจากแผ่นเหล็กดังนั้น จึงต้องออกแบบแผ่นพับเหล็กขึ้นมาเพื่อสะดวกในการสร้าง ซึ่งมีขนาดและ Dimensions ดังแสดงในรูปที่ 11



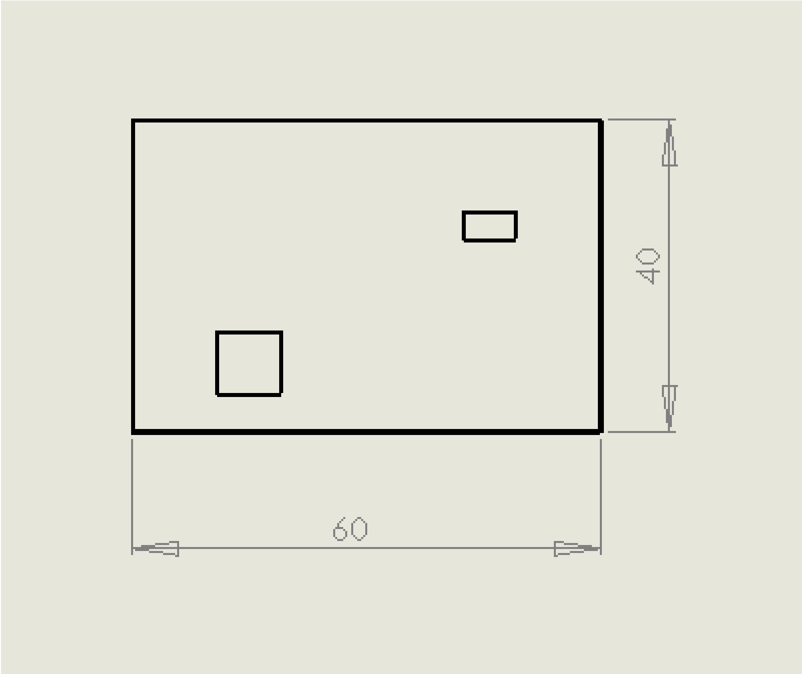
รูปที่11 แสดงแบบพับของเตาอบ

หลังจากนั้นจึงนำแบบพับเข้าเครื่องพับเหล็ก ซึ่ง จะได้แบบดังแสดงในรูปที่ 12

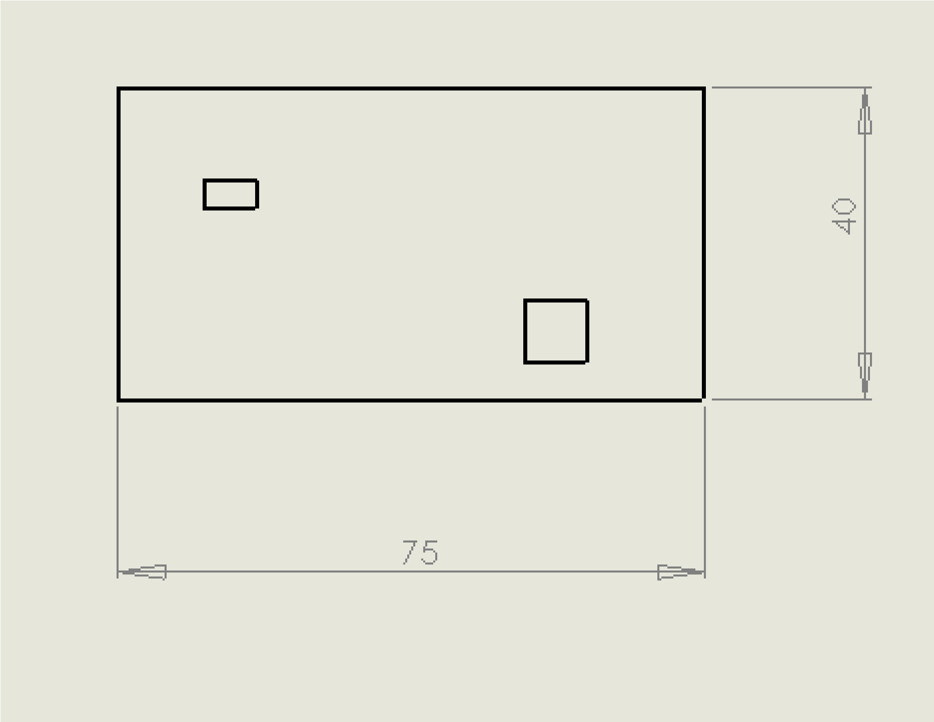


รูปที่12 แสดงเตาอบที่พับและเจาะช่อง เพื่อต่อเข้ากับท่อ wave guide แล้ว

เมื่อพับแบบพับขึ้นมาแล้วจะได้เตาอบขึ้นมาจะได้ขนาดดังแสดงในรูปที่ 13



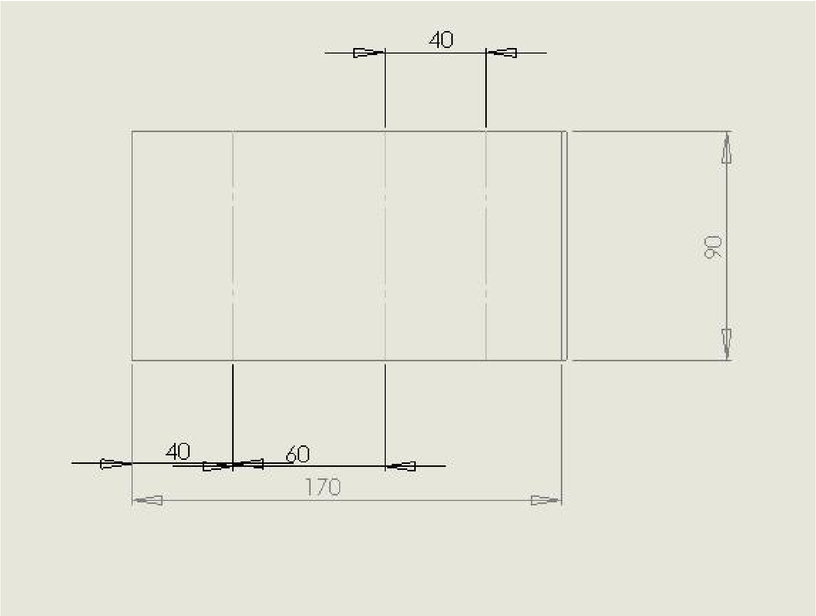
รูปที่13 front view ของเตาอบเมื่อพับ



รูปที่14 right view ของเตาอบเมื่อพับ

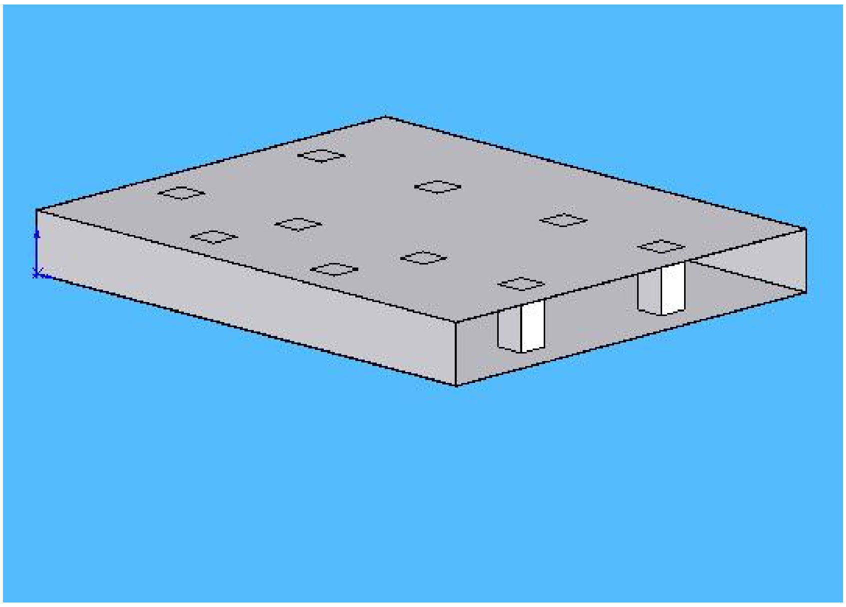
2. ฐานเตาอบ

ฐานของเตาอบเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเตาและ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดอยู่กับเตาอบซึ่งต้องออกแบบ แบบพับของฐานเตาซึ่งมี ขนาดดังรูปที่ 15

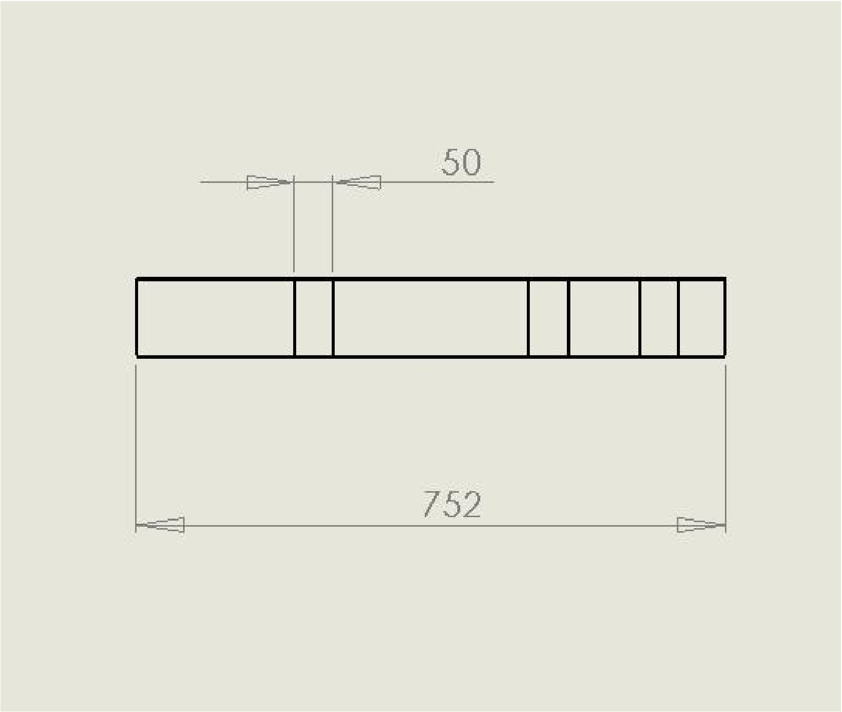


รูปที่15 แสดงแบบพับ ของฐานเตาอบ

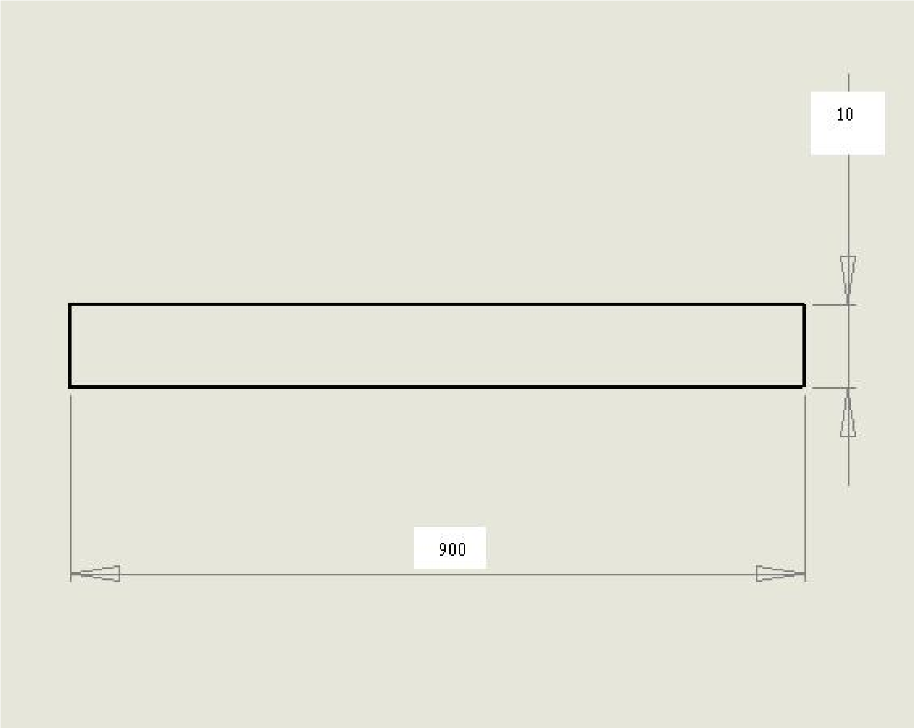
เมื่อพับแล้วจะมี เสา เพื่อกระจายน้ำหนักด้านล่างทั้งหมด 10 เสา โดยแต่ละเสามีขนาด 5 cm X 5 cm สูง 10 cm ดังที่จะเห็นได้จากรูปที่ 16



รูปที่16 แสดงฐานของเตาอบที่ผ่านการพับแล้ว



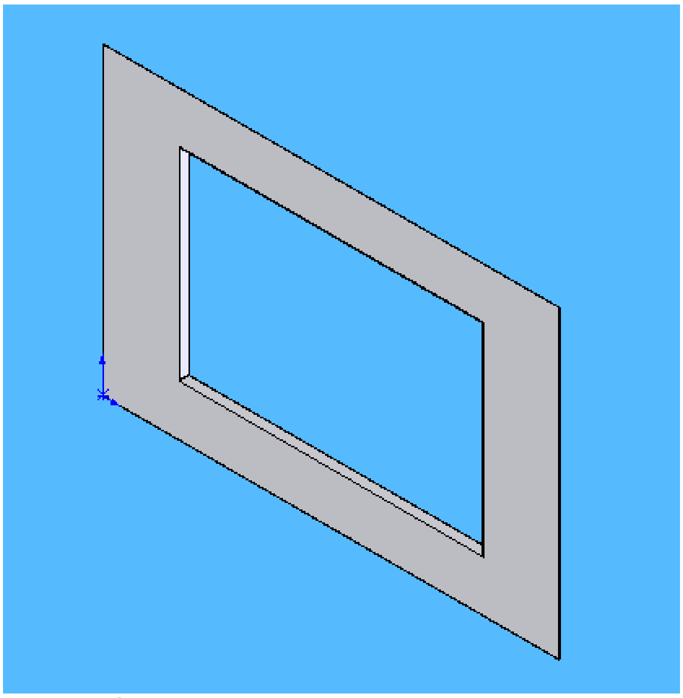
รูปที่17 แสดง Right view ของฐานเตาอบ



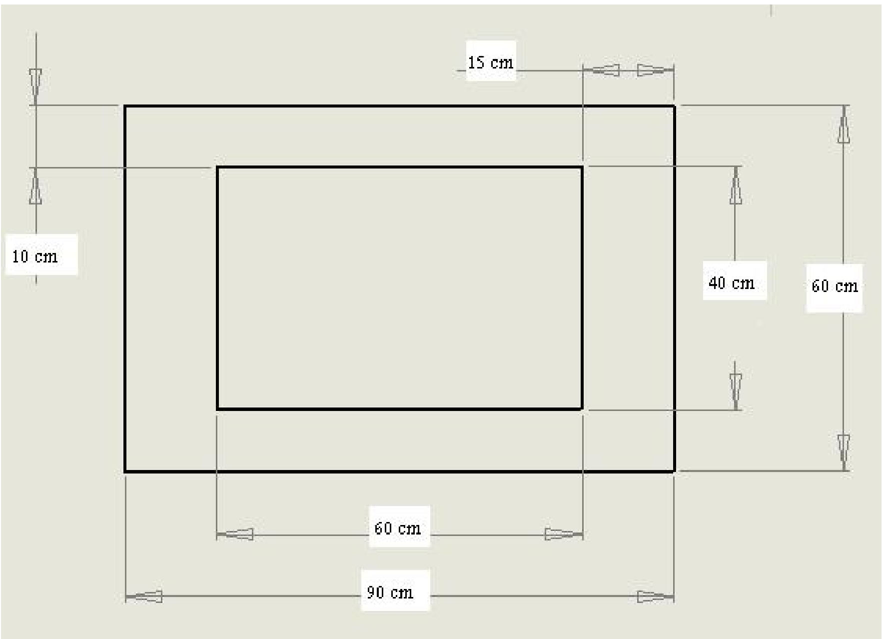
รูปที่18 แสดงด้าน Front view ของฐานเตาอบ

3. ฝาครอบด้านหน้า

ฝาครอบด้านหน้าเป็นส่วนที่จะประกอบติดกับฝาปิดเตาและเตาอบซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 19

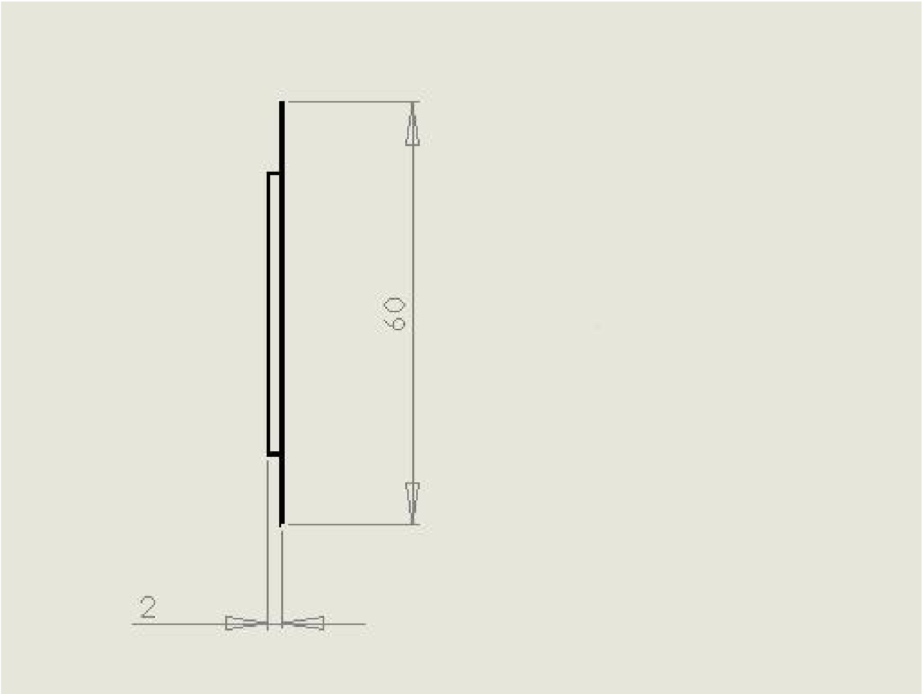


รูปที่19 แสดงภาพในส่วนของฝาครอบด้านหน้า



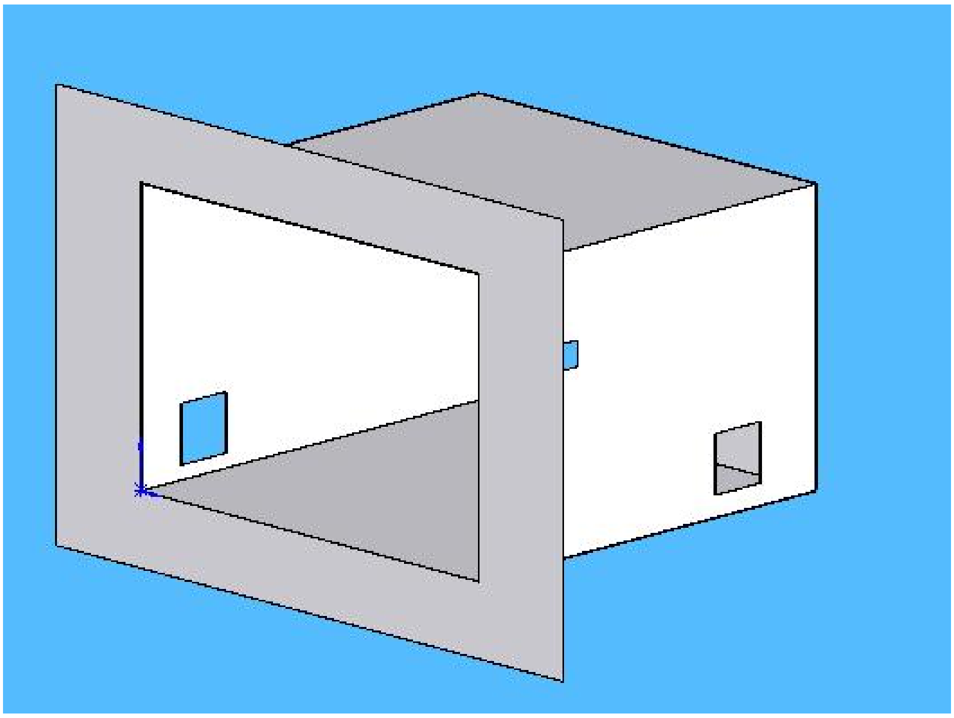
รูปที่ 20 แสดงขนาดของฝาด้านหน้า Front view

ฝาด้านหน้านั้นจะต้องมีส่วนที่ ยื่นออกมาเพื่อเป็นส่วนติดกับเตาอบสังเกตได้จากรูปที่ 21



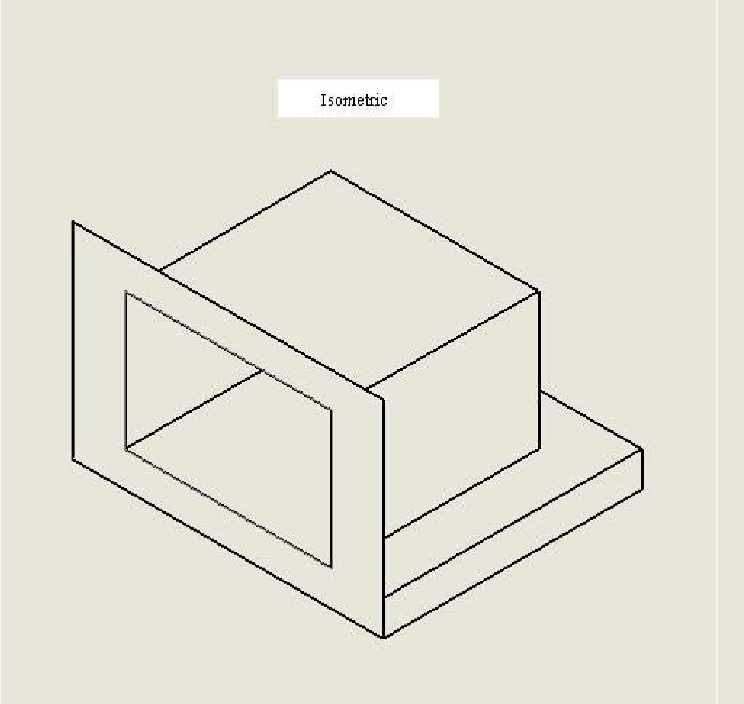
รูปที่ 21 แสดงขนาดของฝาหน้า left view

เมื่อนำฝาหน้ามาประกอบเข้ากับเตาอบ จะได้ดังรูปที่ 22

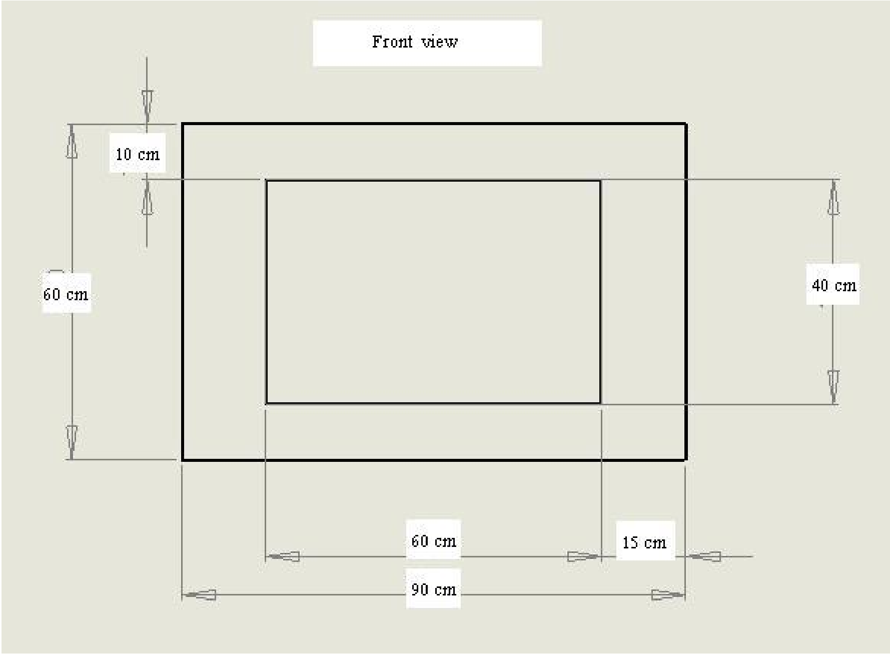


รูปที่ 22 แสดงภาพฝาหน้ากับเตาอบที่ประกอบเข้ากันแล้ว

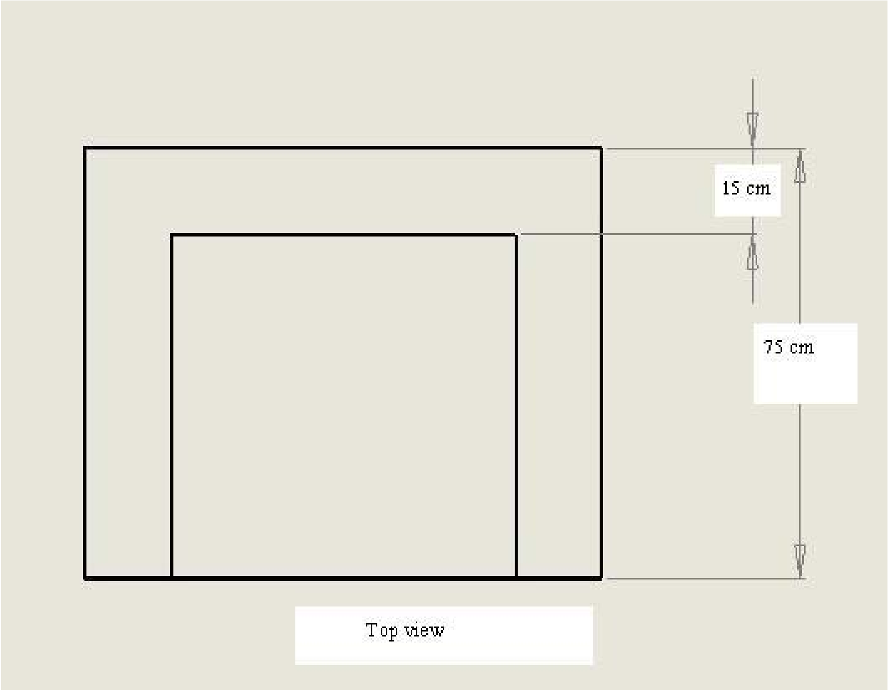
เมื่อประกอบ เตาอบ ฝาหน้า และฐานเตาอบ จะมีลักษณะ ตามภาพที่ 23



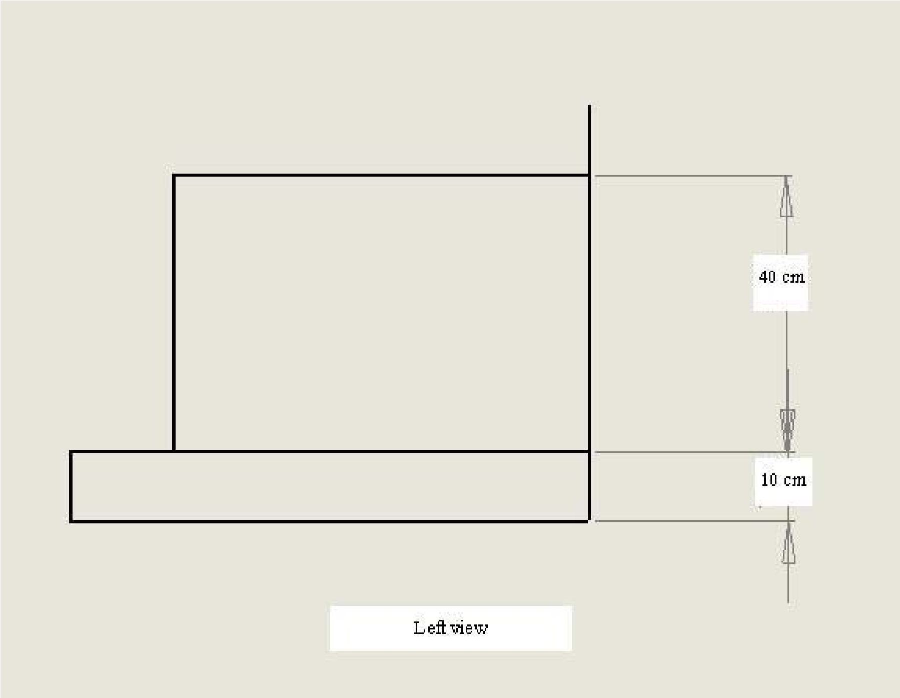
รูปที่ 23 แสดงลักษณะของเตาอบ ฝาหน้า และฐานเตาอบที่ประกอบเข้ากันแล้ว



รูปที่ 24 แสดง Front view



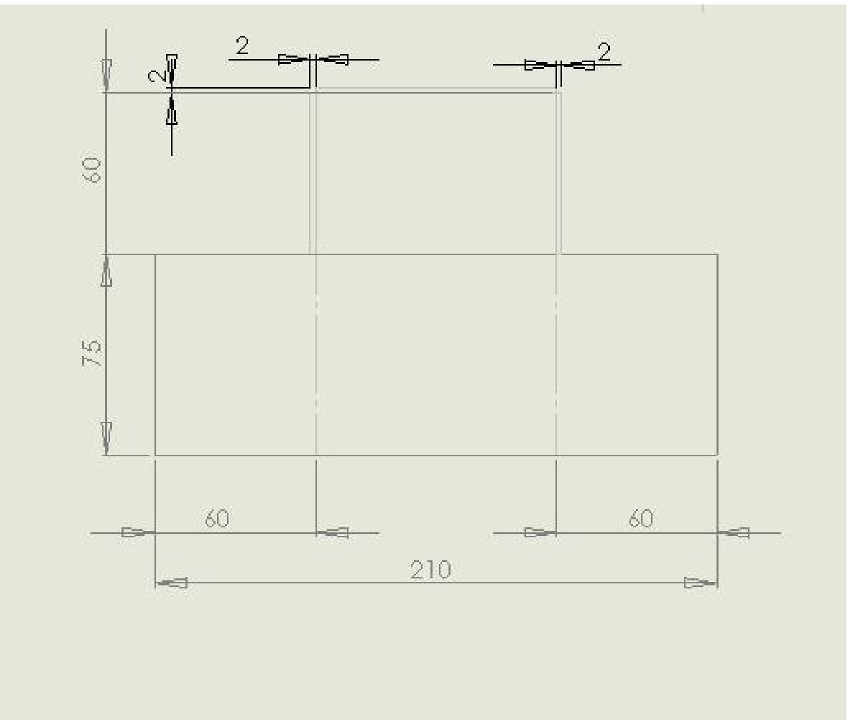
รูปที่ 25 Top view



รูปที่ 26 แสดงด้าน Left view

4. ฝาครอบด้านบนเตาอบ

ฝาครอบด้านบนนั้นจะเป็นเหล็กหนา 1.2 cm และต้องออกแบบพับซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 27



รูปที่ 27 แสดงลักษณะและขนาดของแบบพับ ฝาครอบด้านบน

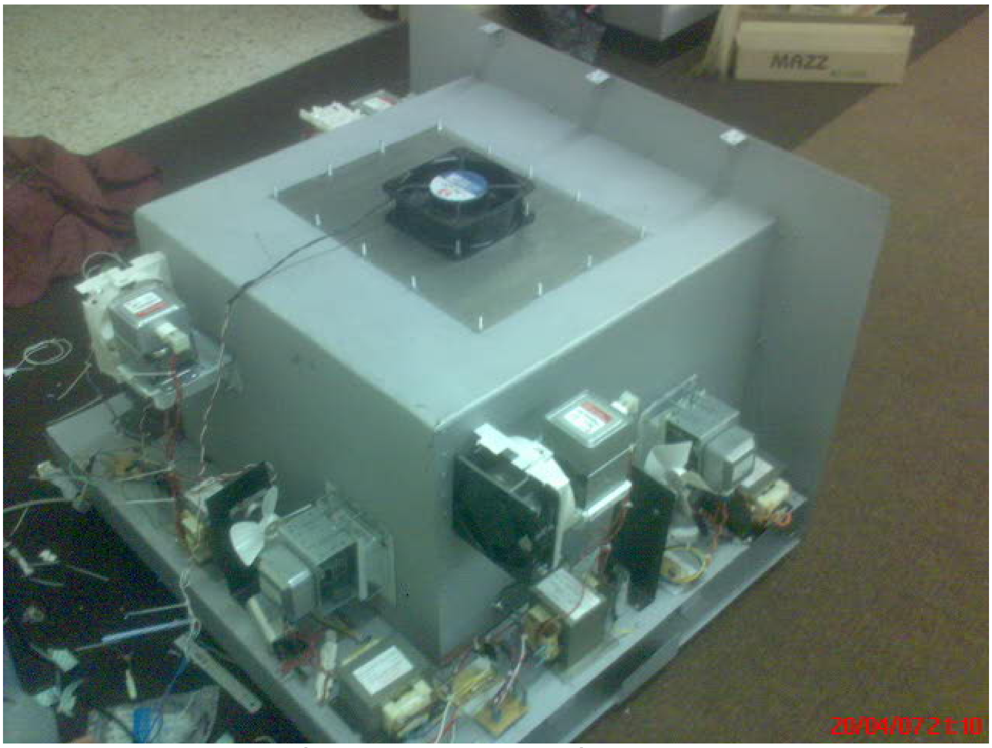
รูปที่ 28 รูปจริงของ เตาอบ (ด้านหน้า)

รูปที่ 29 รูปจริงแสดงด้านหลังของเตาอบ

รูปที่ 30 รูปตู้อบที่เสร็จสมบรูณ์

รูปที่ 30(ก.) รูปตู้อบที่เสร็จสมบรูณ์

รูปที่ 30(ข.) รูปตู้อบภายในที่เสร็จสมบรูณ์



รูปที่ 30(ค.) รูปตู้อบภายในที่เสร็จสมบรูณ์

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.1 ทดสอบวัดอุณหภูมิภายในเตา

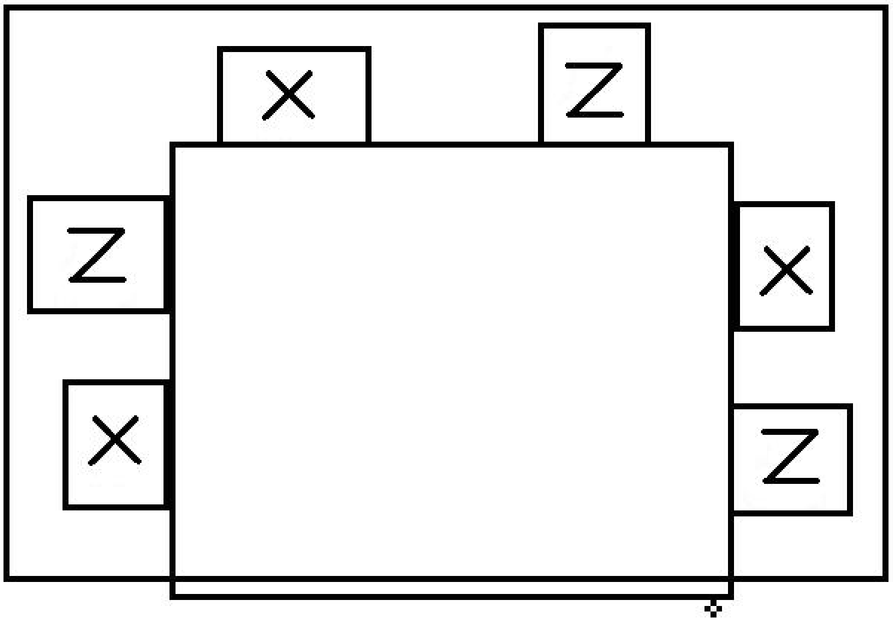
4.2 ทดสอบโดยการอบเซรามิค

4.3 ทดสอบอบมะพร้าวขูด

4.4 ทดสอบวัดกระแสที่ใช้ในการทำงานของเตาอบ

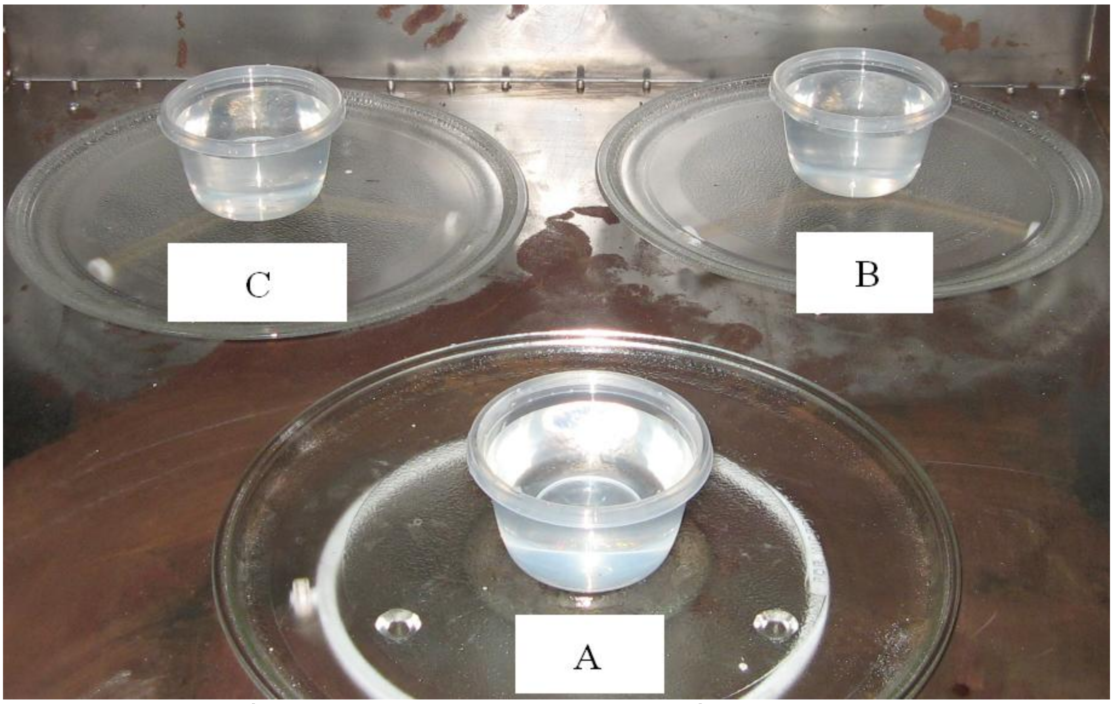
4.1 ทดสอบวัดอุณหภูมิภายในเตา

แบ่ง เปิดทำงานหลอดแม็กนีตรอนทีละ 3 ชุด ชุด X และชุด Z จาก 6 ชุด จากนั้นวัด 6 ชุดพร้อมกันคือ เปิดทำงาน ชุด X และ ชุด Z



รูปที่ 31 แสดงชุดของหลอดหลอดแม็กนีตรอน ชุด X และ Z

จากนั้นนำน้ำใส่ในภาชนะที่ทนต่อคลื่นไมโครเวฟ และทนอุณหภูมิที่สูง โดยมีปริมาณน้ำเท่ากันทั้ง 3 ภาชนะ คือ 80 CC. จากนั้นวางภาชนะเหล่านั้นไว้ตามจุด 3 จุดซึ่งเป็นจุดที่จานหมุน ดังรูปต่อไปนี้



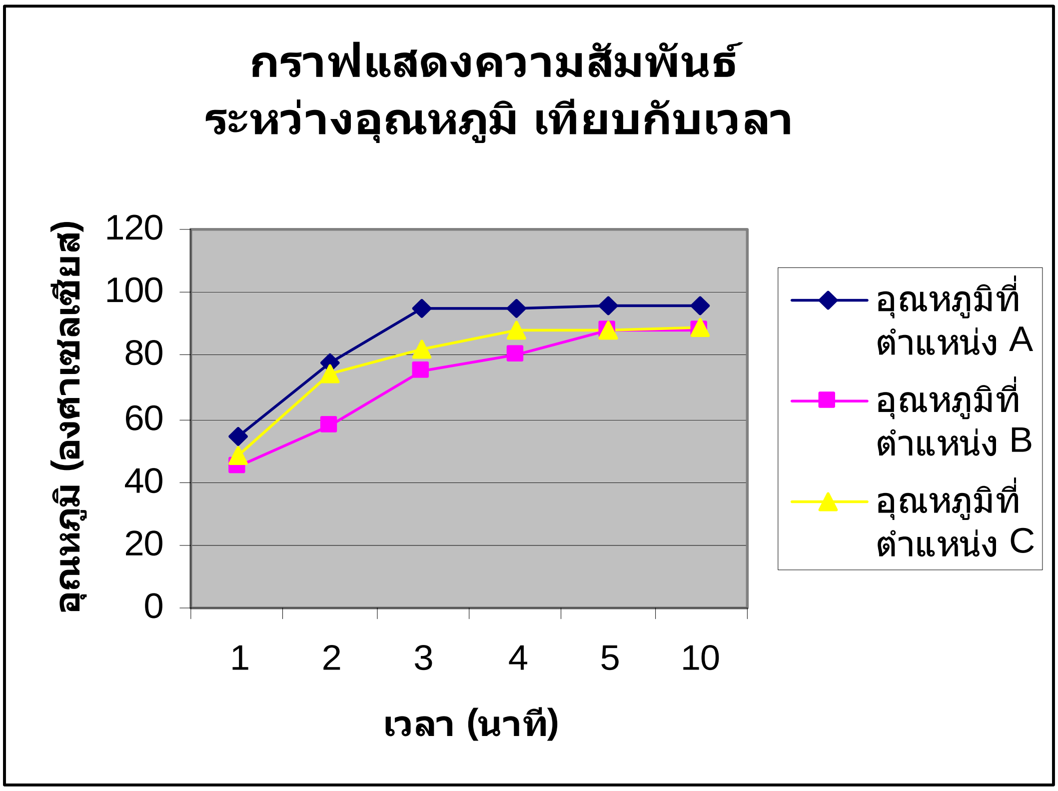
รูปที่ 32 แสดงตำแหน่งวางภาชนะทดสอบเพื่อทดสอบอุณหภูมิ

จากนั้นเปิดการทำงานของหลอดแม็กนีตรอนทั้งสามชุด และ 6 ชุดเพื่อวัดหาอุณหภูมิของน้ำหลังจากเปิดการทำงานไปช่วงเวลาหนึ่งดังตารางและกราฟต่างๆต่อไปนี้

ตารางผลการทดสอบที่ 1 (เมื่อเปิดการทำงานชุด Z)

เป็นการทดสอบการวัดอุณหภูมิ โดยเปิดการทำงานชุดไมโครเวฟ ชุดที่ ทั้งสิ้น 3 ชุด จาก 6 ชุด วัดอุณหภูมิ ณ จุด A B และ C

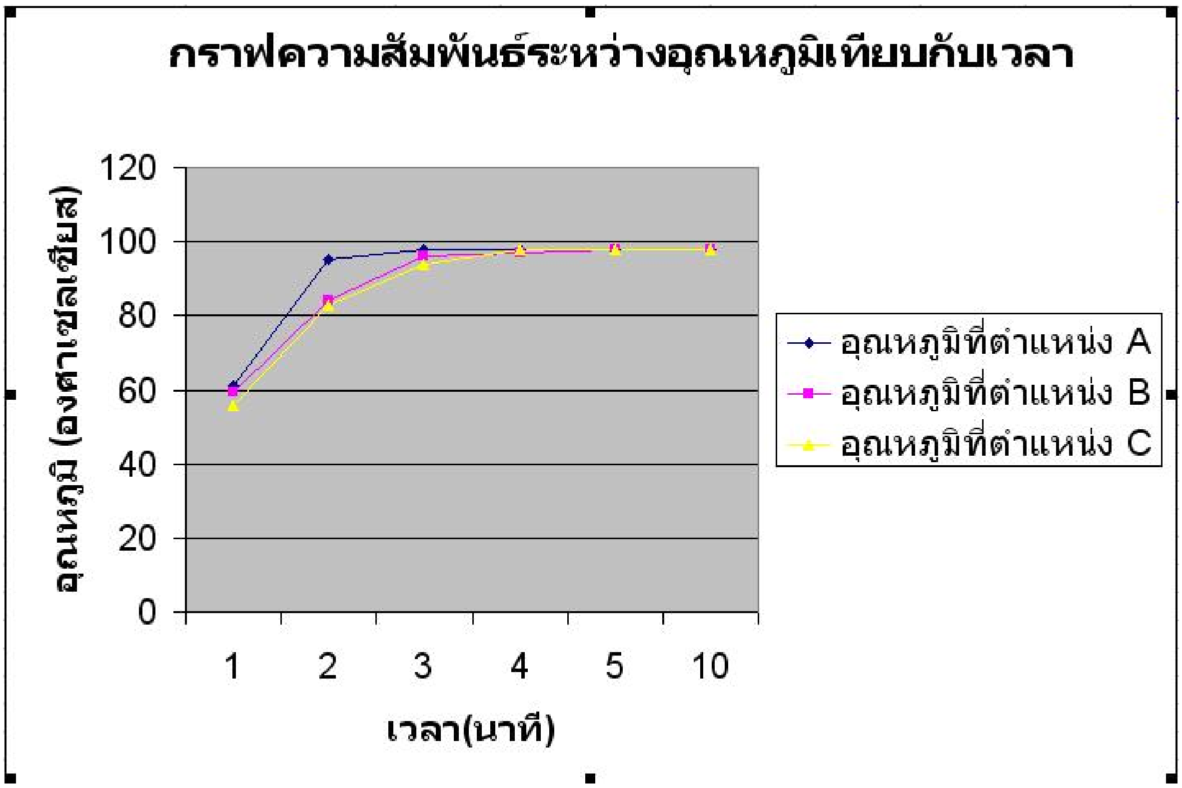
เวลา (นาที) / ตำแหน่ง(องศา)	1	2	3	4	5-10
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A	54	78	95	95	98
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง B	45	58	75	80	88
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง C	48	74	82	88	89



รูปที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของชุด Z

ตารางผลการทดสอบที่ 2 (เมื่อเปิดการทำงานชุด X)

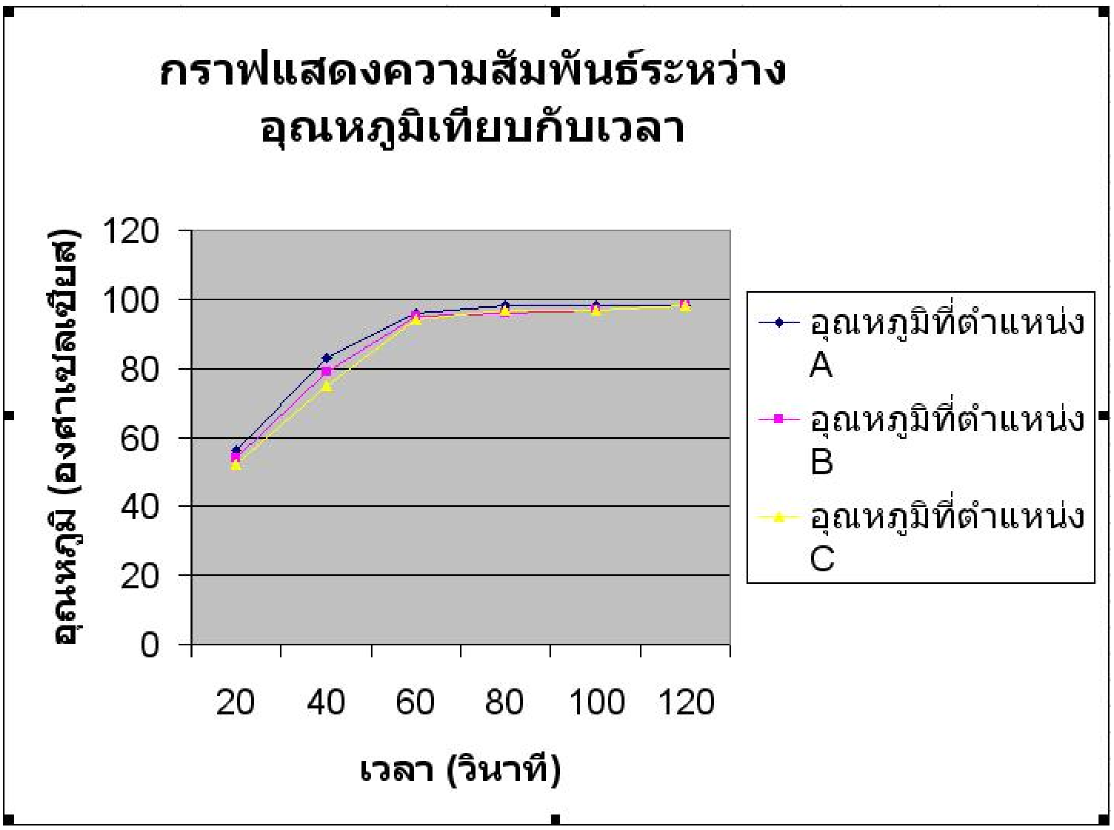
เวลา (นาที) / ตำแหน่ง(องศา)	1	2	3	4	5-10
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A	61	95	98	98	98
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง B	59.5	84	96	96	96
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง C	56	83	94	94	94



รูปที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของชุด X

ตารางผลการทดสอบที่ 3 (เมื่อเปิดการทำงานชุด X และชุด Z)

เวลา (วินาที) / ตำแหน่ง(องศา)	20	40	60	80	100-120
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A	56	83	96	98	98
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง B	54	69	85	96	96
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง C	52	75	94	97	97



รูป 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา ของชุด Z และ X

วิเคราะห์ผลการทดสอบ 4.1

จากการทดสอบการวัดอุณหภูมิจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง A เป็นจุดที่มีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำสูงที่สุดและเดือดที่ 98 องศาเซลเซียส ส่วนที่ตำแหน่ง B และ C จะเพิ่มอุณหภูมิได้ต่ำกว่าจุด A จึงทำให้จุดB และจุดC ถึงจุดเดือดได้ช้ากว่า และเนื่องจากน้ำที่นำมาทดสอบไม่บริสุทธิ์จึงทำให้น้ำเดือดไม่ถึง 100 องศาเซลเซียส

4.2 ทดสอบโดยการอบเซรามิค

ทดสอบโดยนำเซรามิค ซึ่งผ่านการปั้นและ ตากลมจนแห้งแล้ว มาอบด้วยคลื่นไมโครเวฟ แสดงดังรูปที่ 33

รูปที่ 36 วัตถุดิบที่นำมาอบ

ผลจากการนำวัตถุดิบเข้าไปอบโดยเมื่อเปิดการทำงาน หลอดแม็กนีตรอน 3 ชุด ชุด X หรือชุด Z ปรากฏว่า ใช้เวลาประมาณ 20 วินาที วัตถุดิบที่นำมาอบนั้นได้แตกเสียหาย

ส่วนเมื่อเปิดการทำงาน หลอดแม็กนีตรอน 6 ชุด ปรากฏว่า ใช้เวลาเพียง 10 วินาที วัตถุดิบที่นำมาอบนั้นได้แตกเสียหาย ดังรูปที่ 34

รูปที่ 37 เศษของวัตถุดิบที่นำมาอบ

รูปที่ 38 วัตถุดิบที่อบแล้วกับวัตถุดิบที่ยังไม่ได้อบ

วิเคราะห์ผลการทดสอบ 4.2

จากการทดสอบอบเซรามิคนั้นจะพบว่าวัตถุดิบที่นำมาอบนั้นใช้เวลาอบเพียงไม่นานก้อจะทำให้วัตถุดิบนั้นแตกเสียหาย ซึ่งเครื่องอบนั้นสามารถให้ความร้อนได้รวดเร็วและให้อุณหภูมิที่สูงจึงทำให้วัตถุดิบที่นำมาอบนั้นแตกเสียหาย ในการอบเซรามิคนั้นต้องค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปเรื่อยๆจากน้อยไปมากจึงจะทำให้วัตถุดิบที่อบไม่แตกเสียหาย

4.3 ทดสอบอบมะพร้าวขูด

นำมะพร้าวที่ขูดแล้วดังรูปที่ 36 นำมาเข้าเครื่องอบ วัดอุณหภูมิและดูสภาพของมะพร้าวขูดว่าเป็นอย่างไรแสดงผลตามตารางดังต่อไปนี้

รูปที่ 39 มะพร้าวขูด

รูปที่ 40 แสดงการวางมะพร้าวขูดในตำแหน่งต่างๆ

รูปที่ 41 แสดงการวัดอุณหภูมิของมะพร้าวขูด

รูปที่ 42 ดูสภาพของมะพร้าวที่อบ

ตารางผลการทดสอบที่ 1 (เมื่อเปิดการทำงานชุด X)

เวลา (นาที) / ตำแหน่ง(องศา)	2	4	6	8
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A ลักษณะของมะพร้าวขูด	67 เหมือนกับก่อนการอบ	70 เหมือนกับก่อนการอบมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	70 มีบางส่วนที่เหลืองมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	70 มะพร้าวมีสีเหลืองกรอบและกลิ่นหอม
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง B ลักษณะของมะพร้าวขูด	72 เหมือนกับก่อนการอบ	72 เหมือนกับก่อนการอบมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	72 มีบางส่วนที่เหลืองมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	72 มะพร้าวมีสีเหลืองกรอบและกลิ่นหอม
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง C ลักษณะของมะพร้าวขูด	77 เหมือนกับก่อนการอบ	77 เหมือนกับก่อนการอบมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	77 มีบางส่วนที่เหลืองมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	77 มะพร้าวมีสีเหลืองกรอบและกลิ่นหอม

ตารางผลการทดสอบที่ 2 (เมื่อเปิดการทำงาน ชุด Z)

เวลา (นาที) / ตำแหน่ง(องศา)	2	4	6	8
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A ลักษณะของมะพร้าวขูด	74 เหมือนกับก่อนการอบ	74 เหมือนกับก่อนการอบมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	74 มีบางส่วนที่เหลืองมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	74 มะพร้าวมีสีเหลืองกรอบและกลิ่นหอม
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง B ลักษณะของมะพร้าวขูด	72 เหมือนกับก่อนการอบ	72 เหมือนกับก่อนการอบมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	72 มีบางส่วนที่เหลืองมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	72 มะพร้าวมีสีเหลืองกรอบและกลิ่นหอม
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง C ลักษณะของมะพร้าวขูด	70 เหมือนกับก่อนการอบ	70 เหมือนกับก่อนการอบมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	70 มีบางส่วนที่เหลืองมีกลิ่นหอมของมะพร้าว	70 มะพร้าวมีสีเหลืองกรอบและกลิ่นหอม

ตารางผลการทดสอบที่ 3 (เมื่อเปิดการทำงานชุด X และชุด Z)

เวลา (นาที) / ตำแหน่ง(องศา)	2	4	6
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A ลักษณะของมะพร้าวขูด	74 เหมือนกับ ก่อนการอบ	74 มีบางส่วนที่ เหลือง กรอบ มีกลิ่นหอม ของมะพร้าว	74 มีบางส่วน เหลือง บางส่วนไหม้
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง B ลักษณะของมะพร้าวขูด	72 เหมือนกับ ก่อนการอบ	73 มีบางส่วนที่ เหลือง กรอบ มีกลิ่นหอม ของมะพร้าว	73 มีบางส่วน เหลือง บางส่วนไหม้
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง C ลักษณะของมะพร้าวขูด	70 เหมือนกับ ก่อนการอบ	71 มีบางส่วนที่ เหลือง กรอบ มีกลิ่นหอม ของมะพร้าว	71 มีบางส่วน เหลือง บางส่วนไหม้

รูปที่ 43 มะพร้าวขูดที่เหลืองกรอบ

รูปที่ 44 มะพร้าวขูดที่ไหม้

วิเคราะห์ผลการทดสอบ 4.3

จากการทดสอบพบว่าในการอบมะพร้าวขูดนั้นเมื่อเปิดการทำงานหลอดแม็กนีตรอน 3 ชุด พบว่าเวลาในการอบใช้ระยะเวลา 8 นาที จะทำให้มะพร้าวขูดที่นำมาอบเหลือง กรอบ มีกลิ่นหอม และสามารถรับประทานได้

เมื่อเปิดการทำงาน หลอดแม็กนีตรอน 6 ชุด พบว่าถ้าอบ 6 นาที จะทำให้มะพร้าวขูดที่นำไปอบนั้นไหม้บางส่วน เพราะฉะนั้นถ้าจะใช้หลอดแม็กนีตรอน 6 ชุด จะต้องใช้เวลาประมาณ 5 นาที

ถึงจะได้มะพร้าวขูดที่เหลือง กรอบ ที่สามารถรับประทานได้

4.4 ทดสอบวัดกระแสที่ใช้ในการทำงานของเตาอบ

วัดกระแสโดยใช้แคลมป์ทำการวัดกระแสทีละตัว วัดกระแสทีละ3ตัว วัดกระแสทีละ6ตัว ขณะที่เครื่องอบกำลังทำงานอยู่โดยแสดงค่าที่วัดได้ดังต่อไปนี้

ชุด X	1 ตัว	แต่ละตัวกินกระแส	6	A.
ชุด X	3 ตัว	กินกระแส	18	A.
ชุด Z	1 ตัว	แต่ละตัวกินกระแส	6	A.
ชุด Z	3 ตัว	กินกระแส	18	A.

ชุด X และชุด Z ทำงานพร้อมกันมี 6 ตัว กินกระแส 36 A.

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โครงงานนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ รวมถึงทดสอบและประเมินคุณสมบัติของเครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

จากการทดสอบ เครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟนั้นเครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้ แต่ ยังไม่สามารถอบและนำไปใช้งานได้จริง ยังต้องพัฒนาระบบและปรับปรุงเครื่องอบนี้ต่อไปอีกหลายอย่างเช่น ระบบดูดอากาศ ไมโครคอลโทรลเลอร์ควบคุมอุณหภูมิ ระบบตั้งเวลา เป็นต้น เพราะจากการทดสอบที่ 4.2 ในการอบเซรามิคนั้นยังไม่สามารถอบเซรามิคได้จริงเพราะยังไม่มีระบบที่ควบคุมอุณหภูมิและคอลโทรลเลอร์ให้อุณหภูมิค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในการทดสอบนั้นจึงทำให้วัตถุดิบที่นำมาอบนั้นแตกเสียหาย ส่วนการทดสอบที่ 4.3 การอบมะพร้าวขูดนั้นต้องทำระบบดูดอากาศให้ดีกว่านี้จะทำให้มะพร้าวขูดที่นำมาอบเหลือง กรอบ ในระยะเวลาที่เร็วกว่านี้และจะทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ต้องทำไมโครคอนโทรลเลอร์วัดอุณหภูมิ และต้องค่อยๆไล่อุณหภูมิขึ้นไปเรื่อยๆจากอุณหภูมิต่ำไปอุณหภูมิสูง ไม่อย่างนั้นจะทำให้เซเรามิคที่นำมาอบแตกได้ถ้าไม่เพิ่มอุณหภูมิขึ้นเรื่อยๆ
2. ต้องทำระบบดูดอากาศภายในเตาอบให้ดีกว่านี้
3. ระวังเรื่องไฟฟ้าดูดเพราะเป็นไฟฟ้าแรงสูงควรตรวจสอบว่าต่อกราวน์เรียบร้อยหรือยังก่อนที่จะเปิดเครื่องให้ทำงาน
4. ต้องทำระบบตั้งเวลา

บรรณานุกรม

1. L. Reynolds."The history of the microwave oven", Microwave World, Vol. 10, 1989

2 C. Gabriel and et.al. "Dielectric parameters relevant to microwave dielectric heating", Chemical society reviews, Vol.27, 213, 1988

3. R.V. Decareau. "Microwave in the food processing industry," Academic Press Inc. 1985

4. L. Harlfinger. "Microwave sterilization," Food Technology, December 1992, p. 57

5. M. Moisan and J. Pelletier. "Microwave Excited Plasmas," Elsevier(1992)

6. G. Roussy and J.A. Pearce, "Foundations and Industrial Applications of Microwaves and Radio Frequency Fields," John Wiley & Sons, 1995

7. W. L. Harrison, "Electric power for industrial processes using dielectric heating," Power engineering journal, p.105, 1988

8. John M,Osepchuk. "A History of Microwave Heating Application," IEEE transactions on microwave theory and technique,vol MTT-32,No.9,September 1984.

9. Kenneth R, Demarest, "Engineering Electromagnetics," Prentice Hall,Inc.

ประวัติผู้เขียน

นาย ฐิติพงษ์ นาคประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียน ปากช่อง อำเภอปากช่อง จังหวัด นครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขา วิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นาย นฤนาท ดอกเข็ม เกิดเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2527 ภูมิลำเนาอยู่ที่ อำเภอเมือง จังหวัด สุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียน บ่อไร่วิทยาคม จังหวัดตราด เมื่อ ปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นาย รุจสัค พุ่มเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบล บางนา อำเภอ บางนา จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนราชวินิตบาง แก้ว อำเภอ บางพลี จังหวัด สมุทรปราการ เมื่อปี พ.ศ. 2546 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขา วิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี