

เทคนิคการประหยัดพลังงานสำหรับกระบวนการแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ ด้วยระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

Energy Saving Technique for Mobile Phone Decomposition Process Using Microwave

วิลาวลัย ทองนรินทร์ (Wilawan Tongnarin)^{1*} ดร.ชลธิ โพธิ์ทอง (Dr.Chonlatee Photong)**

(Received: December 5, 2019; Revised: January 14, 2020; Accepted: January 15, 2020)

บทคัดย่อ

ในกระบวนการซ่อมแซมผลิตภัณฑ์โทรศัพท์มือถือจำเป็นต้องมีการแยกชิ้นส่วนที่ยึดด้วยกาวซิลิโคนออกจากกันวิธีการทั่วไปเป็นการเป่าลมร้อนเพื่อการหลอมละลายกาว ซึ่งมีความสูญเสียพลังงานสูงทั้งในขณะอุ่นเครื่อง ขณะหลอมละลาย และหลังการหลอมละลาย อีกทั้งใช้ระยะเวลานานในการหลอมละลายกาว งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานสำหรับกระบวนการแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือด้วยระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ผลการทดลองพบว่า ระบบการให้ความร้อนที่นำเสนอสามารถช่วยลดพลังงานในการแยกชิ้นส่วนลง โดยเฉลี่ยจาก 56.72 - 216.11 วัตต์-ชั่วโมง เป็น 28.00 – 40.00 วัตต์-ชั่วโมง ต่อการแยกชิ้นส่วนหนึ่งครั้ง ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 29.48 – 50.63

ABSTRACT

In the process of repairing mobile phone products, it is necessary to separate the parts that are bonded with silicone glue. The general method is to blow hot air to melt the glue. Which has high energy loss during warm-up, melting and after melting Also takes a long time to melt the glue. The results showed that energy saving technique for mobile phone decomposition process using microwave . The proposed heating system could reduce electric power for the machine from 56.72 - 261.11 W-hr to 28.00 – 40.00 W-hr per one disassembling; which was 29.48 - 50.63 % in power reduction

คำสำคัญ: เทคนิคการประหยัดพลังงาน การหลอมกาวซิลิโคน คลื่นไมโครเวฟ

Keywords: Energy saving technique, Adhesive, Microwave

¹Corresponding author: Wilawan.ton@msu.ac.th

*นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตโทรศัพท์มือถือมีการใช้กาวซิลิโคนในการยึดชิ้นส่วนอุปกรณ์เข้าด้วยกัน ซึ่งหนึ่งในการลดความสูญเสียคือการซ่อมแซมมือถือในส่วนที่มีข้อบกพร่องเล็กน้อย และเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีความจำเป็นต้องแยกชิ้นส่วนออกจากกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการละลายกาวซิลิโคน การละลายกาวซิลิโคนมีหลายวิธี วิธีที่นิยมคือการให้ความร้อนด้วยการใช้อัตเตอร์เป่าลมร้อน อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวประสบปัญหาเกี่ยวกับการกระจายตัวของความร้อน ทำให้สูญเสียความร้อน ซึ่งความร้อนที่ได้ไม่ทั่วถึงตัววัสดุ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำความร้อนที่เกิดจากการใช้ประโยชน์จากคลื่นไมโครเวฟ มาใช้ประโยชน์ ทั้งนี้เนื่องจาก คลื่นไมโครเวฟ [1, 14-20] (Microwave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงชนิดหนึ่งที่สายตาไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะ มีความยาวคลื่นในช่วง 1 mm ถึง 1 m มีความถี่ของช่วงคลื่นในช่วง 300 MHz ถึง 300 GHz ความถี่คลื่นสูงสุดประมาณ 2,450 ล้านรอบ/วินาที ในทางอุตสาหกรรมใช้ความถี่ในช่วง 915 – 2,450 MHz เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับคลื่นแสงอัลตราไวโอเลต คลื่นรังสีเอ็กซ์ และคลื่นรังสีแกมมา เป็นต้น แต่มีความถี่คลื่นน้อยกว่า

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ปรับปรุงระบบให้ความร้อนของกระบวนการแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
2. เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ทดสอบการอ่อนตัวของกาวซิลิโคน

ขอบเขตการศึกษา

1. ใช้กรณีศึกษาวิจัยในสายการผลิตของกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของบริษัท
2. ศึกษา ออกแบบ และทดลองปรับปรุงระบบให้ความร้อนเพื่อการทำให้อ่อนตัวของกาวซิลิโคน

นิยามศัพท์เฉพาะ

กาวซิลิโคน (Adhesive glue) คือ ชื่อที่ทางบริษัทใช้เรียกแทนกาวที่ใช้ติดประสานระหว่างวัสดุของโทรศัพท์มือถือ

เครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ (Panel Rear Detaching) คือ ชื่อเครื่องจักรที่ใช้ในการแยกชิ้นส่วนของโทรศัพท์มือถือที่มีการติดประสานกันด้วยกาวซิลิโคน

วิธีการดำเนินการวิจัย

เครื่องมือและวิธีการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. เตาไมโครเวฟรุ่น SharpR-220 R-222 ใช้ในการทดลองให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ



ภาพที่ 1 เตาไมโครเวฟรุ่น SharpR-220 R-222

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	: 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์
กำลังไฟฟ้าเข้า	: 1.25 กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าออก	: 800 วัตต์* (ขั้นตอนการทดสอบของ IEC)
ความถี่คลื่น	: 2450 เมกะเฮิร์ตซ์ (Class B/Group 2)**
ขนาดภายนอก	: 460 มม.(ก) x 380 มม.(ล)
ขนาดภายใน	: 319 มม.(ก) x 336 มม.(ล)***
ความจุ	: 22 ลิตร***
น้ำหนัก	: ประมาณ 12 กิโลกรัม

2. เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius BSA224S-CW เครื่องชั่งดิจิทัล ใช้ในการทดลองชั่งน้ำหนักของกาวซิลิโคน (Adhesive glue)



ภาพที่ 2 เครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius BSA224S-CW

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ช่วงการวัด 220 กรัม
Resolution 0.0001 กรัม
Accuracy ± 0.0002 กรัม
Repeatability 0.0001 กรัม
Response time ความเร็วในการตอบสนอง 2.5 วินาที

3. กาวซิลิโคน (Adhesive glue) สำหรับการทดลองนี้ใช้ ขนาดความกว้าง 10 ยาว 5 เซนติเมตร น้ำหนัก ประมาณ 0.1049 กรัม



ภาพที่ 3 กาวซิลิโคน (Adhesive glue)

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและสืบค้นข้อมูลจาก บทความ วารสาร งานวิจัย และแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง การเกิดความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำด้วยการหมุนตัววนไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดขึ้นประมาณ 915-2,450 ล้านครั้ง ต่อ 1 วินาที ส่งผลทำให้เกิดการเคลื่อนที่ และการเสียดสีระหว่างโมเลกุล จนส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้น ดังนั้น อัตราการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจึงเป็นส่วนสำคัญต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งความแตกต่างของความร้อนที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ นี้ เรียกว่า ความหยาบ ค่าความหยาบจะแปรผันกับความถี่ อุณหภูมิ และชนิดของวัสดุ หากวัสดุมีความหยาบมาก แสดงว่าวัสดุนั้นสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มาก ซึ่งมักขึ้นกับความหนาแน่นของวัสดุ และปริมาณน้ำที่มีในวัสดุ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นภายในแล้วค่อยแพร่ความร้อนออกมาอย่างต่อเนื่องสู่ภายนอก จากผลการเดือดของน้ำและการนำพาความร้อนของน้ำ [2] ทฤษฎีการให้ความร้อนของคลื่นไมโครเวฟ ความร้อนที่วัสดุได้รับจากคลื่นไมโครเวฟจะเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นเองภายในเนื้อวัสดุ ความร้อนภายในชิ้นวัสดุจะสูงกว่าที่ผิวภายนอก ความร้อนจะถ่ายเท จากภายในออกสู่ผิวภายนอก เมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้ามาในเนื้อวัสดุ คลื่นจะถูกดูดกลืน และจะไปเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นภายใน และสนามไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุต่างๆ ภายในวัสดุนั้น แรงต้านทานการเคลื่อนที่ แรงเฉื่อย แรงยึดหยุ่น และแรงเสียดทานจากการชนกันของประจุต่างๆ จะส่งผลให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น ที่เรียกว่า Losses ขึ้นในเนื้อวัสดุ ซึ่งเป็นความร้อนที่เกิดทั่วทั้งชิ้นวัสดุ ทั้งนี้เนื่องจาก โมเลกุลของน้ำ ซึ่งไม่ใช่มิถุนานไฟฟ้า กลับตัวไปมาตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ เป็นจำนวน 2,450 ล้านรอบต่อวินาที ในหนึ่งรอบคลื่นจะมีทั้งคลื่นช่วงบวกและลบ ดังนั้น โมเลกุลจะหันช่วงบวกไปทางขั้วลบของสนามไฟฟ้า 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที และจะหันช่วงลบไปทางโมเลกุลช่วงบวกของสนามไฟฟ้าอีก 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที รวมแล้วโมเลกุลต้องกลับตัว 4,900 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดการชนเสียดสี เกิดเป็นความร้อนทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นในที่สุด สมการที่นิยมนำมาใช้ในการคาดคะเนปริมาณความร้อนที่ได้จากการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ดังแสดงด้านล่าง

$$P = 2\pi\epsilon^0\epsilon''fE$$

E = ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า

f = ค่าความถี่

ϵ = ค่าไดอิเล็กทริกเริ่มต้น

ϵ'' = ค่าไดอิเล็กทริกสูญเสีย

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอวิธีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ แทนการให้ความร้อนแบบฮีตเตอร์เป่าลมร้อน จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีผู้นำวิธีการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ธนารักษ์, วรินราไพ, ทินกร [3] ได้นำเสนองานวิจัยการใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อลดความชื้นของข้าวเปลือกสายพันธุ์ต่างๆ จากการทดลองพบว่า กรรมวิธีการอบที่เหมาะสม คือ การติดตั้งโปรแกรมการอบอัตโนมัติด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในการอบเท่ากับ 240 วัตต์ โดยการเปิดคลื่น 3 วินาที และ ปิด 7 วินาที ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบในสภาวะนี้เป็นเวลา 360 วินาที จะมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเทียบเท่ากับข้าวเปลือกที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมงและข้าวเปลือกที่ผ่านการผึ่งแดดปกติเป็นเวลา 15 ชั่วโมง วิธีการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาสั้น กว่าและข้าวที่ผ่านการลดความชื้นมีคุณภาพที่ดีกว่า

รัฐศักดิ์, ปิยะพงศ์ [4] เปรียบเทียบไม้อย่าง 3 ส่วน คือ ส่วนปลาย ส่วนกลางและส่วนโคนของลำต้น ออบสารเคมี 2 ประเภท คือ สารเคมีประเภทน้ำมันและสารเคมีประเภทละลายในน้ำมัน โซลาร์ อัตราส่วน 50 : 50 อบไ้ความชื้นที่ 60 องศา และไ้ความชื้นด้วยพลังงานไมโครเวฟกำลัง 100 วัตต์ ผลการทดลองการไ้ความชื้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ ถ่ายเทความชื้นจากภายนอกของเนื้อไ้ใช้เวลา 2-10 ชม. ซึ่งน้อยกว่าการอบด้วยลมร้อนที่ไ้เวลานาน 12-48 ชม.

นพวรรณ, ผดุงศักดิ์, วารุณี [5] การอุ่นยางธรรมชาติด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมนำเสนอการนำพลังงานไมโครเวฟมาประยุกต์ไ้ความร้อนกับยางธรรมชาติคอมพาวด์ ที่ปริมาณกำมะถันต่างกัน นำยางธรรมชาติมาอุ่นด้วยไมโครเวฟ ที่ความถี่ 2.45 GHz พบว่า ไมโครเวฟสามารถอุ่นยางธรรมชาติคอมพาวด์ไ้ร้อนก่อนกระบวนการคงรูปที่หนาตากๆ ไ้ ปริมาณกำมะถันที่ต่างกันไม่ส่งผลมากนักต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของยางธรรมชาติคอมพาวด์

จิรพัฒน์, ประทีป [6] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและมวลสารของขนมปัง (โด) ส่วนแรกอบขนมปังที่มีสารละลายเกลือต่างกันด้วยไมโครเวฟ กำลัง 300, 450 และ 600 วัตต์ บันทึกมวลและอุณหภูมิของขนมปัง ส่วนสองวิเคราะห์แบบจำลองทางไนต์เอลิเมนต์ไ้โปรแกรม COMSOL 4.3a พบว่า กำลังคลื่นไมโครเวฟที่สูงและสารละลายเกลือความเข้มข้นสูงมีผลต่อการอบแห้ง

ปริญญญา [7] บทควมนี้อธิบายกลไกที่เกี่ยวข้องในการเกิดความร้อนขึ้นในวัสดุ ยกตัวอย่างการใช้งานไมโครเวฟในการแปรรูปวัสดุรูปข้อดีของการใช้ไมโครเวฟในการไ้ความร้อน ไ้แก่ ความร้อนที่เกิดขึ้นการไ้ความร้อนที่มีอัตราสูงช่วยลดเวลาและพลังงานในกระบวนการแปรรูปวัสดุและสามารถผลิตชิ้นงานที่มีโครงสร้างจุลภาคที่ละเอียด

สมศักดิ์, ผดุงศักดิ์ [8] ศึกษาด้านการทดลองเกี่ยวกับการอบแห้งไม้โดยใช้ระบบเตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ภายในระบบประกอบด้วยแมกนีตรอนที่ไ้กำเนิดคลื่น จำนวน 14 ตัว ติดตั้งไ้บริเวณรอบๆ อุโมงค์เตาไมโครเวฟ มีความถี่ 2.45 GHz (กำลังขนาด 800 วัตต์ต่อแมกนีตรอน 1 ตัว) ตัวแปรที่ศึกษาคือ กำลังที่ป้อนเข้าไปและระยะเวลาที่ไ้ใช้ในการอบแห้ง ที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของไม้ เปรียบเทียบสมบัติของไม้ที่อบด้วยระบบเตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง กับวิธีอบโดยใช้เตาอบแบบธรรมดาทั่วไป พบว่า การใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานนั้น จะสามารถช่วยลดระยะเวลาที่ไ้ในกระบวนการไ้ 15 เท่า เมื่อเทียบกับการใช้เตาอบแบบธรรมดาทั่วไป

ปิยะ, เสนอ [9] นำเสนอเครื่องอบยางพาราแผ่นด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ไ้อบยางพาราแผ่นแทนการตาก ออกแบบด้วยควมถี่ 2453 เมกะเฮิรตซ์ ปรับกำลังไ้ 90 – 800 วัตต์ สามารถปรับระดับความเร็วของสายพานไ้ ผลการทดสอบพบว่า ที่กำลังไฟฟ้า 90 วัตต์ อบในระยะเวลา 60 วินาที สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางพาราไ้ให้อยู่ในระดับ 3-7 เปอร์เซ็นต์

เหมกรณ์ [10] งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อ ศึกษาการถ่ายเทมวล และความร้อนในระหว่างการทำแห้งด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ และจำลองกลไก และหาค่า parameter เพื่ออธิบายการทำแห้งพริกไทยด้วยการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ ผลการทดลองพบว่า การทำแห้งต้องไ้เวลานานประมาณ 4 - 5 วัน ต้องอาศัยสภาวะอากาศ จึงนำการทำแห้งแบบระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟมาใช้ เพื่อศึกษาหาแบบจำลองการทำแห้งที่เกิดขึ้น นำไปสู่ความเข้าใจในกลไกการทำแห้งที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง สามารถหาสภาวะในการดำเนินการที่เหมาะสม และการทำการขยายขนาดไ้

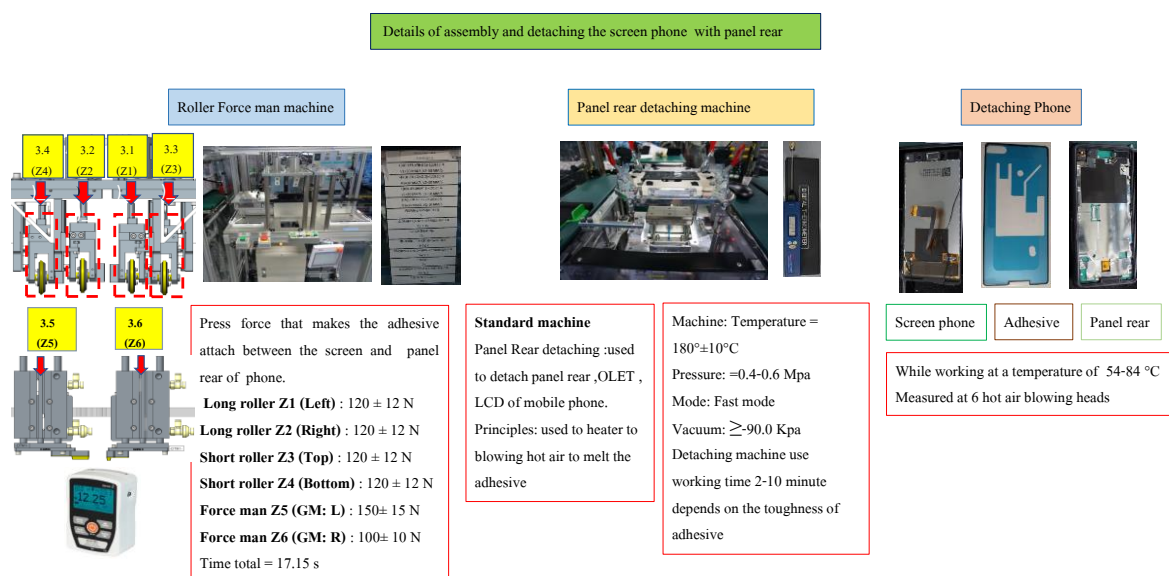
ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาและสืบค้นข้อมูลการไ้ความร้อนโดยใช้ฮีตเตอร์เป่าลมร้อนของเครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือของบริษัท ในการประกอบ ชิ้นส่วน วัสดุ ของโทรศัพท์มือถือเข้าด้วยกัน จะต้องมีการติดประสาน

ระหว่างทั้งสองส่วนโดยใช้กาวซิลิโคน (Adhesive glue) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้นำเสนอข้อมูลของกาวซิลิโคน (Adhesive glue) ซึ่งใช้ในการประกอบโทรศัพท์มือถือ



ภาพที่ 4 กาวซิลิโคน (Adhesive glue) ก่อนและหลังการทดลอง

ค่าแรงกดกาวซิลิโคนและอุณหภูมิของเครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ



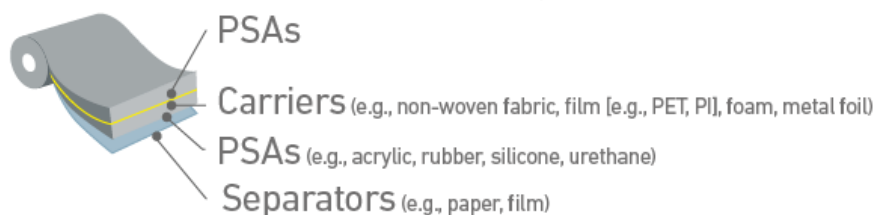
ภาพที่ 5 ค่าแรงกดกาวซิลิโคนและอุณหภูมิของเครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ [11]

การประกอบชิ้นส่วน วัสดุ ของโทรศัพท์มือถือ โดยมีกาวซิลิโคน (Adhesive glue) เป็นตัวยึดประสาน ใช้แรงกดด้วยเครื่องจักร 120 นิวตัน และในการแยกทั้งสองส่วนออกจากกัน ใช้การเป่าลมร้อนของฮีตเตอร์ กำลังไฟฟ้า 1540 วัตต์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

กาวซิลิโคน (Adhesive glue) โครงสร้างของกาวซิลิโคน ที่ใช้เรียกชื่อสำหรับงานวิจัยนี้ หรือที่ทางบริษัทเรียกคือ Adhesive glue และมีชื่อเรียกทั่วไปว่า แอปกาวไวต่อแรงกด pressure sensitive adhesives (PSAs) แอปกาวประกอบด้วย กาวที่มีความไวต่อแรงกด (PSA) และตัวแยก แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. double-coated
2. single-coated

เทปกาวที่ใช้งานได้หลากหลายได้รับการพัฒนาโดยการเลือกวัสดุที่เป็นส่วนประกอบ แสดงได้ดังภาพต่อไปนี้

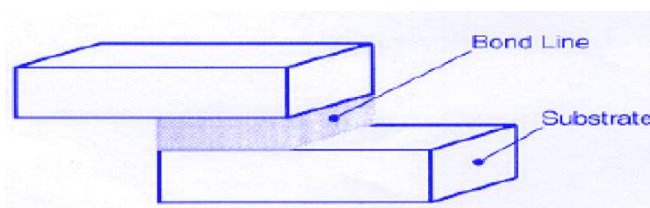


ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของกาว pressure sensitive adhesives (PSAs) [12]

กลไกของการเกาะ หรือ ติดประสาน หนึ่งในกลไกการเกาะติดระหว่างเทปกาวและวัตถุคือ “แรงระหว่างโมเลกุล” คือปฏิสัมพันธ์ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลสองโมเลกุลเข้ามาใกล้กัน โดยทั่วไปวัตถุสองชิ้นจะไม่ติดกัน แต่จะอยู่ใกล้กัน เหตุผลก็คือ พื้นผิวของวัตถุขรุขระในระดับนาโนและโมเลกุลไม่สามารถเข้าหากันจนกว่าแรงระหว่างโมเลกุลจะทำงาน สำหรับการเติมความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวของวัตถุทั้งสองและอนุญาตให้ติดกัน สามารถใช้ “PSA” ความชื้นไหลของ PSA จะเติมพื้นผิวของวัตถุที่ไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดแรงระหว่างโมเลกุลที่เกิดขึ้นกับวัตถุ กาว (Adhesive) เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับยึดติดวัตถุตั้งแต่สองชิ้นเข้าด้วยกัน ส่วนใหญ่เป็นประเภทพอลิเมอร์ กาวที่ใช้กันมากในปัจจุบันเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ทั้งที่เป็นชนิดเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์แข็งที่มีการยึดติดที่ดีที่อุณหภูมิห้อง อ่อนตัวได้เมื่อโดนความร้อนและชนิดเทอร์โมเซตติง (thermosetting) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์แข็งที่มีความคงทนต่อความร้อนและไม่ละลายในตัวทำละลาย ส่วนประกอบของการยึดประสานประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1. Bond Line เป็นช่องว่างระหว่างผิววัสดุซึ่งบรรจุด้วยกาว
2. Substrate เป็นวัสดุที่นำมายึดติดด้วยกาว
3. Surface ผิวหน้าของวัสดุที่ใช้ทา กาว

ภาพประกอบการยึดติดของกาวแสดงได้ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 7 การยึดติดของกาว [13]

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการให้ความร้อนแบบใช้อีเล็คโตรเปาล์มร้อน กับการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งผลการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 3.1 ทำการจับเวลาการทำงานของเครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ ซึ่งเป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยการเปาล์มร้อนเพื่อให้กาวซิลิโคนอ่อนตัว เพื่อแยกชิ้นส่วนที่ติดประสานกันระหว่างกาวซิลิโคนออกจากกัน ปริมาณของกาวซิลิโคนที่ใช้ 0.1049 กรัม

ขั้นตอนที่ 3.2 ทำการจับเวลาการเริ่มอ่อนตัวของกาวซิลิโคน (Adhesive glue) ที่นำเข้าไปอบในเตาไมโครเวฟ ปริมาณของกาวซิลิโคนที่ใช้ 0.1049 กรัม

ผลการวิจัย

ในขั้นตอนที่ 3.1 จากการบันทึกเวลา การทำงานของเครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ ในการให้ความร้อนในการทำให้กาวซิลิโคน (Adhesive glue) อ่อนตัว ด้วยระบบของฮีตเตอร์ แสดงตามตารางที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลเวลาการทำงานของเครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือด้วยระบบให้ความร้อนแบบฮีตเตอร์เป่าลมร้อน กำลังไฟฟ้า 1,540 วัตต์

ครั้งที่	เวลาทำงานของเครื่อง	
	งานที่ประกอบใหม่	งานที่เก็บไว้นาน
1	2.35	4.18
2	2.21	7.48
3	3.02	5.41
4	3.13	6.34
5	2.52	8.25
6	3.08	5.35
7	4.06	7.51
8	2.35	8.22
9	2.22	7.06
10	4.18	8.33
11	3.02	8.42

ข้อมูล Work instruction [11] หมายเหตุ : เวลาที่ใช้ในการถอดวัสดุของโทรศัพท์ที่ติดประสานกันระหว่างกาวซิลิโคนประมาณ 2-10 นาที ขึ้นอยู่กับความเหนียวของกาวซิลิโคน

งานที่ประกอบใหม่ หมายถึง โทรศัพท์ที่ประกอบเครื่องเสร็จแล้วนำมาถอดการประกอบทันที

งานที่เก็บไว้นาน หมายถึง โทรศัพท์ที่ประกอบเครื่องเสร็จแล้วแต่เก็บไว้ 3-12 เดือน แล้วนำมาถอดประกอบใหม่

ในขั้นตอนที่ 3.2 จากการทำการทดลองให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ จากเตาไมโครเวฟ เพื่อทดสอบการอ่อนตัวของกาวซิลิโคน (Adhesive glue) ที่ระดับพลังงาน 5 ระดับ ได้แก่ 80, 240, 400, 560, 800 วัตต์ ใช้กาวซิลิโคนทดลองระดับละ 30 ชิ้น ซึ่งระดับพลังงานที่สามารถทำให้กาวซิลิโคนเริ่มอ่อนตัว ในช่วงเวลา 1 – 10 นาที อยู่ในช่วง 400 – 800 วัตต์ ตามที่ทำการทดลอง แสดงในตารางที่ 2 ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลองให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (O = อ่อนตัว X = ไม่อ่อนตัว)

80 วัตต์	240 วัตต์	400 วัตต์	560 วัตต์	800 วัตต์
1 - 10 นาที	1 - 10 นาที	4 - 5 นาที	3 - 4 นาที	3 นาที
X	X	O	O	O

งานวิจัยนี้ ทำการทดลองปั่นกาวซิลิโคนเป็นก้อนกลม ปริมาณ 0.1049 กรัม นำเข้าเตาไมโครเวฟ ตั้งเวลา 1-10 นาที และปรับระดับพลังงานของเตา จาก 80, 240, 400, 560, 800 วัตต์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของกาวซิลิโคน (Adhesive glue) ทุกๆ 1-10 นาที จำนวน 30 ชิ้นต่อ 1 ระดับความร้อน รวมใช้กาวซิลิโคนสำหรับการทดลองจำนวน 150 ชิ้น ผลการสังเกต พบว่า การอ่อนตัวของกาวซิลิโคน ที่ระดับพลังงาน 80 กับ 240 วัตต์ ที่เวลา 1- 10 นาที กาวซิลิโคนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ที่ระดับพลังงาน 400 วัตต์ เวลา 1-10 นาที กาวซิลิโคนเริ่มอ่อนตัวที่เวลา 4 - 5 นาที และที่ระดับพลังงาน 560 วัตต์ เวลา 1-10 นาที กาวซิลิโคนเริ่มอ่อนตัวที่เวลา 3 - 4 นาที และ ระดับพลังงาน 800 วัตต์ เวลา 1-10 นาที กาวซิลิโคนเริ่มอ่อนตัวที่เวลา 3 นาที

การประเมินมูลค่างานวิจัย

เปรียบเทียบค่าพลังงานและค่าไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างระบบเดิมใช้ ฮีตเตอร์เป่าลมร้อนของ เครื่องแยกชิ้นส่วน โทรศัพท์มือถือ กับระบบใหม่ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟจากเตาไมโครเวฟ แสดงข้อมูลได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบให้ความร้อนแบบฮีตเตอร์ กับ ระบบให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

Power of Machine					
Item	Machine	W-hr	Time	Total W-hr	% W-hr Panel rear Detaching/Microwave
Panel rear		1,540	2 – 10 min		
Detaching			2.21	1,540 x (2.21/60)	
			8.42	1,540 x (8.42/60)	
					= 56.72
					= 216.11
Microwave			3 – 5 min		
		400	5	400 x (5/60)	(56.72-33.33)/56.72 x 100
					= 33.33
					= 41.24
		560	3	560 x (3/60)	(56.72-28)/56.72 x 100
					= 28.00
					= 50.63
		800	3	800 x (3/60)	(56.72-40)/56.72 x 100
					= 40.00
					= 29.48

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าเครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ ใช้กำลังไฟฟ้า 1,540 วัตต์-ชั่วโมง ใช้เวลาการทำงานต่ำสุด คือ 2.21 นาที และใช้เวลาการทำงานสูงสุด คือ 8.42 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 2 – 10 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้า ประมาณ 56.72 – 216.11 วัตต์-ชั่วโมง ส่วน ไมโครเวฟ ที่ระดับพลังงานไฟฟ้า 400, 560, และ 800 วัตต์ ใช้เวลาอยู่ในช่วง 3 – 5 นาที พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 33.33, 28.00 และ 40.00 วัตต์ - ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละประมาณ 41.24, 50.63 และ 29.48 ของระบบเดิม ตามลำดับ

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าของระบบให้ความร้อนแบบฮีตเตอร์ 1,540 วัตต์ กับ ระบบให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ 800 วัตต์ โดยการประมาณจำนวนเครื่องทั้งหมดที่ใช้ในโรงงาน 27 เครื่องเท่าๆ กัน

Item	Machine	Unit/Day	Unit/month	Unit/year	Baht/year
Panel rear					
Detaching		(1,540 x 27)/ 1,000 x 12.25 = 509.355	(509.355 x 30) = 15,280.65	(509.355 x 365) = 18,5914.575	(185,914.575 x 3.1729) = 589,888.1171
Microwave		(800 x 27)/ 1,000 x 12.25 = 264.6	(264.6 x 30) = 7,938	(264.6 x 365) = 96,579	(96,579 x 3.1729) = 306,435.5091
Save cost					(589,888.1171 - 306,435.5091) = 283,452.608

จากตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า จากอัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ แรงดัน 22-33 กิโลโวลต์ หน่วยละ 3.1729 บาท และการประมาณปริมาณเครื่องที่มีในโรงงาน 27 เครื่องเท่าๆ กันแล้ว เวลาที่ใช้เครื่อง 1 วัน ใช้ 12.25 ชั่วโมง 1 เดือนประมาณค่าเป็น 30 วัน 1 ปี ประมาณค่าเป็น 365 วัน ใน 1 ปี เครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ (1,540 วัตต์) จะใช้ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 589,888.1171 บาท ส่วนระบบแบบใช้การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (800 วัตต์) จะใช้ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 306,435.5091 บาท เมื่อเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแล้ว จะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าใน 1 ปี อยู่ที่ ประมาณ 283,452.608 บาท

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การให้ความร้อนในการทำให้กาวซิลิโคนอ่อนตัว ด้วยวิธีการปรับปรุงระบบการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูง คลื่นไมโครเวฟจากเตาไมโครเวฟ สามารถทำให้กาวซิลิโคนเริ่มอ่อนตัวได้เพียงแค่ กำลังไฟฟ้า 400 - 800 วัตต์ ใช้เวลา 3 - 5 นาที ซึ่งพลังงานที่ใช้ น้อยกว่าเครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ ที่ใช้กำลังไฟฟ้า 1,540 วัตต์ เมื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของระบบเดิมใช้ 56.72 - 216.11 วัตต์-ชั่วโมง ส่วนระบบใหม่ใช้พลังงาน 28.00 – 40.00 วัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละประมาณ 29.48 – 50.63 ของระบบเดิม การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ทำให้การแพร่กระจายความร้อนทั่วทั้งเนื้อวัสดุโดยไม่สูญเสียความร้อนเหมือนการใช้ฮีตเตอร์เป่าลมร้อน และยัง
สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าอีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าโดยประมาณ หน่วยละ 3.1729 บาท ใน 1 ปี
เครื่องแยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ จะใช้ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 589,888.1171 บาท ส่วนระบบแบบใช้การให้ความร้อน
ด้วยคลื่นไมโครเวฟ จะใช้ค่าไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 306,435.5091 บาท เมื่อเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแล้ว จะ
สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าใน 1 ปี อยู่ที่ ประมาณ 283,452.608 บาท

ข้อเสนอแนะ

จากการทำการทดลองให้ความร้อนในการทำให้กาวซิลิโคน (Adhesive glue) อ่อนตัว ควรศึกษาการให้ความ
ร้อนทางไฟฟ้าแบบอื่นๆ ศึกษาช่วงระดับพลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิ และช่วงความถี่ที่สามารถใช้ทำให้กาวซิลิโคน
(Adhesive glue) อ่อนตัวลงได้อย่างรวดเร็ว ศึกษาโครงสร้างและส่วนประกอบของวัสดุต่างๆ ที่จะนำมาแยกชิ้นส่วน
ออกจากกันด้วยคลื่นไมโครเวฟ สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการทดลองอบกาวซิลิโคนด้วยเตาไมโครเวฟ แล้วทำให้ทราบว่า
คลื่นไมโครเวฟสามารถทำให้กาวซิลิโคน (Adhesive glue) อ่อนตัวลงได้ ซึ่งหากจะใช้การให้ความร้อนด้วยคลื่น
ไมโครเวฟนี้ แยกชิ้นส่วนโทรศัพท์มือถือ ต้องมีการศึกษาปัจจัยด้านอื่นๆ เพิ่มเติม ทั้งการออกแบบเครื่องจักร การ
ออกแบบท่อนำคลื่นไมโครเวฟ และวัสดุที่มีการติดประสานกันระหว่างกาวซิลิโคนนี้ การศึกษาวัสดุของตัวโทรศัพท์
ที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อวัสดุ และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากบุคคลต่างๆหลายท่านดังนี้
ผศ.ดร.อดิเรก จันตะคุณ ประธานกรรมการ รศ.ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล และ อ.ดร.นวรรตน์ พิลาแดง กรรมการ
ผศ.ดร.ชลธิ โพธิ์ทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาส คอยให้คำชี้แนะ ดูแลเอาใจใส่ทั้งการเรียนและการทำ
วิทยานิพนธ์นี้ให้สมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำนักงาน
คณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ ที่ให้ทุนการศึกษา อุดหนุนการทำวิจัยนี้
ขอขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆที่วิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่คอยให้กำลังใจช่วยเหลือตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

1. Atchong D. material from Microwave. 2003.
2. Microwaves. Properties and benefits of microwave waves. [Internet]. Available:
<https://www.siamchemi.com/Microwave/>.
3. Unpinit T, Seithtanabutara V, Kamsan T, Kwakong P, Artnaseaw A. Dehydration of rice paddy by using
automatic microwave heating. Kasem Bundit Engineering J. 2017; 7(1):124–139. Thai
4. Prommas R, Kesawadkorn P, Treephong K. Optimization in rubber wood using a Combined Microwave, Hot Air
and Continuous Conveying Drying Process by Energy and Exergy Analysis. Rajamangala University of
Technology Rattanakosin. 2014.



5. Doo-ngam N, Rattanadecho P. Microwave pre-heating of natural rubber using a rectangular wave guide (MODE: TE₁₀). Songklanakarin J. Sci. Technol. 2007; 29(6): 1599-1608.
6. Thanarak J, Haruesri P, Suphanakorn C. Mathematical Model of Heat and Mass Storage in Process. Kasetsart University (Kamphaengsaen Campus). 2003.
7. Chakajnarodom P. Microwave Heating and its Applications in Materials Processing. Kasetsart Engineering J. 87 2014; 27(8) Thai.
8. Wongpradubchai S, Phungsungsak R. Microwave Drying of Wood Using a Continuous Microwave Belt Furnace. Research and Development J. 27(1):8-14. Thai
9. Prasongchan P, Sa-ad Saner, Tanaphatsiri C, Nonthaputha T. A Rubber Sheet Microwave Dryer. The 11th International KU-KPS Conference 8-9 Dec. 2014.
10. Jindawatthanaphum H. Study of vacuum drying model with microwave and pepper. Master of Engineering. [thesis] Food Engineering Program, Faculty of King Mongkut's University of Technology Thonburi. 2002.
11. Electronic factory at Pathum Thani 12000, Thailand.
12. Adhesive. [Internet]. Available: http://www.dic-global.com/en/products/adhesive_tapes/know_adhesive/.
13. Sirithorn K. (adhesive). 2010.
14. Microwave in Food Processing. [Internet] http://conf.agi.nu.ac.th/agmis/download/publication/204_file.pdf
15. Jiajia C. Simulation of Microwave Heating of Porous Media Coupled with Heat, Mass and Momentum Transfer. University of Nebraska-Lincoln Department of Food Science and Technology. 2012.
16. Hemis M, Singh CB, Jayas DS. Microwave-Assisted Thin Layer of Wheat. University Centre of Khemis Miliana, Ain Defla, Algeria. 2011
17. Gupta M, Leong W, Eugene W. Microwaves and Metals. John Wiley & Sons. 2017.
18. Banik S, Bandyopadhyay S, Ganguly S. Bioeffects of microwave – a brief review. Bioresource Technology. 2013
19. Buffler CR. Microwave Cooking and Processing: Engineering Fundamental for the Food Scientist. Van Nostrand Reinhold, New York. 1993.
20. Copson DA. Theory of microwave heating. p. 1 – 34. In Microwave Heating. 2nd ed. D. A. Copson (ed.). The AVI Publishing Company, Inc. Connecticut. 1975.