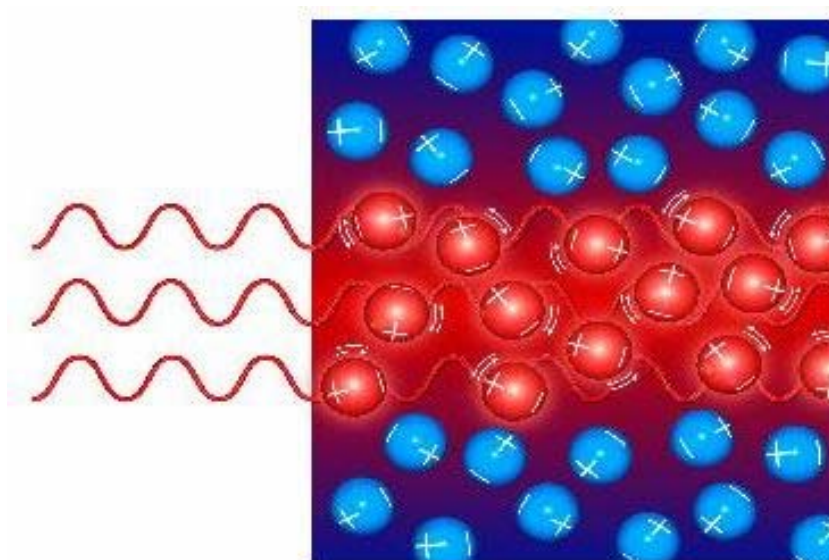


ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (Dielectric Heating)

1. หลักการทำงานของเทคโนโลยี ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (Dielectric Heating) ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ย่านคลื่นวิทยุหรือไมโครเวฟกำลังสูงส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ สนามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้โมเลกุลของวัสดุที่มีโครงสร้างแบบมีขั้ว (Dipolar Molecules) ซึ่งมีขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวตามทิศทางของสนามคลื่นที่ส่งผ่านเข้ามา ทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล เกิดเป็นความร้อนกระจายทั่วภายในเนื้อวัสดุหรือการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นไปยังวัสดุนั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 1.1

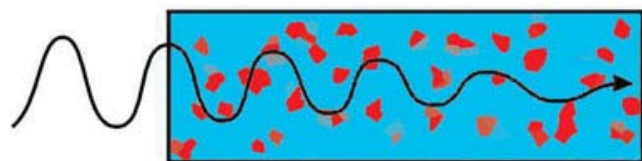


รูปที่ 1.1: แสดงการเกิดความร้อนในเนื้อวัสดุจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

วัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกได้จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ จะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือประกอบไปด้วยน้ำซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเช่นกันเป็นองค์ประกอบ วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว เช่น อากาศ เทฟลอน หรือแก้ว จะไม่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นได้ โดยคลื่นจะผ่านทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุโดยไม่เกิดความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงใดๆ ส่วนวัสดุที่เป็นโลหะจะมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นจึงไม่สามารถเกิดความร้อนได้ เหมาะสำหรับทำโครงสร้างเตาและตัวสะท้อนคลื่น ดูรูปที่ 1.2 ประกอบ

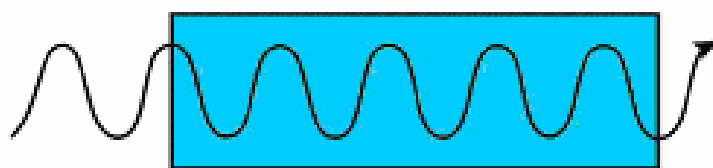


Absorbierend, teilweise Durchdringung
Absorbing, partial penetration



Absorbierend (Mischung),
teilweise Durchdringung
Absorbing (Mixture), partial penetration

วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือวัสดุที่มีความชื้น จะดูดซับพลังงานของคลื่นและเกิดความร้อน



Transparent, vollständige Durchdringung
Transparent, total penetration

วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว คลื่นจะทะลุผ่านโดยไม่เกิดความร้อน



Reflektierend, keine Durchdringung
Reflecting, no penetration

วัสดุโลหะมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่น

รูปที่ 1.2: แสดงการตอบสนองของวัสดุแต่ละประเภทต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ⁽¹⁾

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานเป็นความร้อนเกิดภายในเนื้อวัสดุโดยตรง ซึ่งแตกต่างจากการให้ความร้อนแบบเดิมซึ่งใช้เชื้อเพลิงหรือขดลวดไฟฟ้า ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะอาศัยการพาของอากาศร้อนหรือการแผ่รังสีจากแหล่งความร้อนเป็นหลัก ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปที่ผิววัสดุก่อน จากนั้นจึงจะค่อยเกิดการนำความร้อนจากผิวนอกของวัสดุเข้าไปสู่ภายใน

ส่วนประกอบการทำงาน

เตาให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจะมีส่วนประกอบการทำงานหลัก คือ แหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า ส่วนกระจายคลื่นไปยังวัสดุ และส่วนโครงสร้างเตา โดยจะแบ่งเตาออกได้เป็น 2 ประเภท ตามย่านความถี่ของคลื่นที่ใช้งาน คือ เตาให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Heating) และเตาให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Heating)

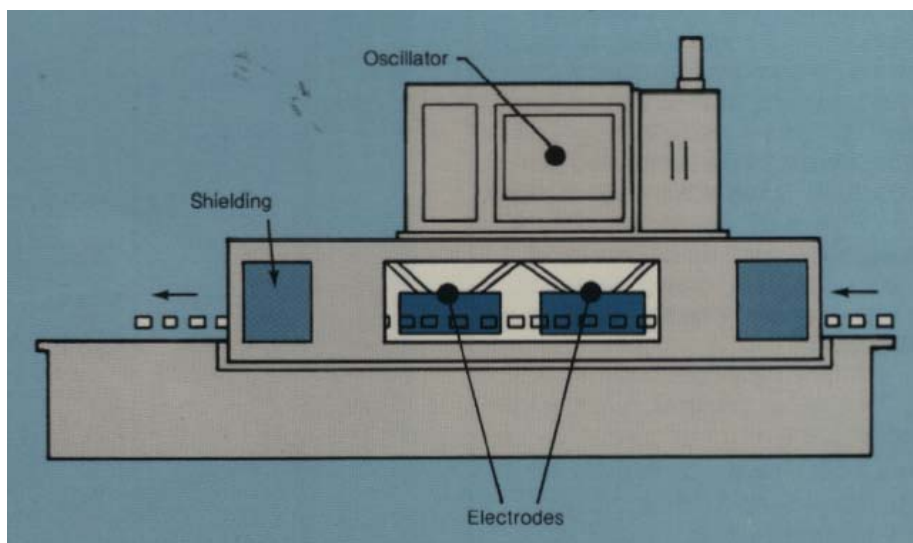
เตาให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Heating)

เตาให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุทำงานโดยใช้ตัวกำเนิดคลื่นซึ่งทำด้วยวงจรหลอดแก้วสุญญากาศหรือสารกึ่งตัวนำ สร้างคลื่นวิทยุกำลังสูงส่งผ่านมายังอิเล็กโทรด โดยอิเล็กโทรดจะเป็นตัวปล่อยสนามคลื่นวิทยุตามรูปแบบที่กำหนดไปยังวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน

ขนาดของกำลังคลื่นวิทยุที่ใช้สำหรับการให้ความร้อนในอุตสาหกรรมจะอยู่ในระดับตั้งแต่ 500 วัตต์ไปจนถึงหลายร้อย กิโลวัตต์ ในย่านความถี่ 13.56, 27.12 และ 40.68 MHz ซึ่งจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุและความถี่คลื่น โดยคลื่นที่ความถี่ต่ำกว่าจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ส่วนคลื่นความถี่สูงจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ตื้นกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดเล็ก



รูปที่ 1.3: แสดงตัวอย่างเตาให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ



รูปที่ 1.4: แสดงลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของเตาให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ⁽⁶⁾

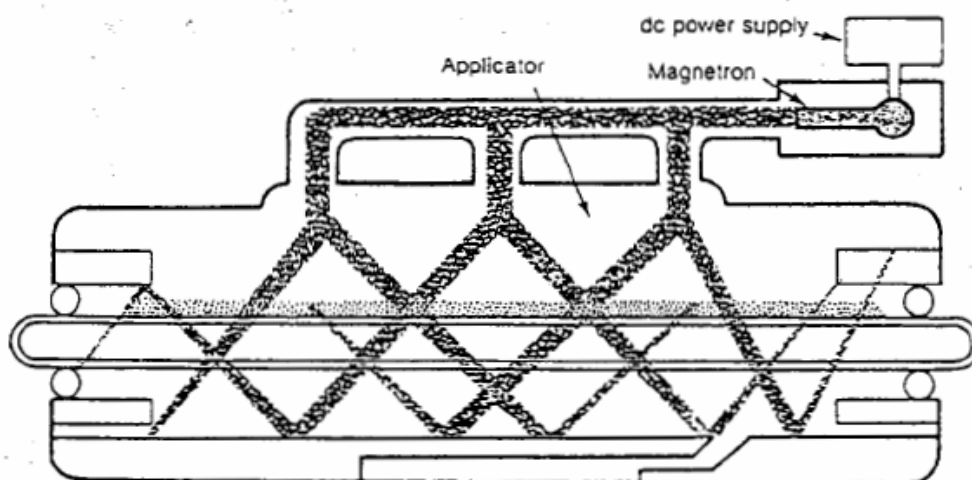
เตาให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Heating)

เตาให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟทำงานโดยใช้แมกนีตรอนสร้างคลื่นไมโครเวฟกำลังสูงส่งผ่านท่อนำคลื่นซึ่งทำด้วยช่องโลหะ (Wave Guide) ไปยังวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน

ขนาดของกำลังคลื่นวิทยุที่ใช้สำหรับการให้ความร้อนในอุตสาหกรรมจะอยู่ในระดับตั้งแต่ 200 วัตต์ไปจนถึง 60 กิโลวัตต์ ในย่านความถี่ 915 MHz, 2.45 GHz และ 5.8 GHz โดยจะทำงานในลักษณะเดียวกับคลื่นวิทยุ แต่ด้วยความถี่ที่สูงกว่าทำให้ลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างคลื่นเมื่อเทียบกับคลื่นวิทยุที่มีกำลังคลื่นเท่ากัน คลื่นไมโครเวฟจะเหมาะสมกับการให้ความร้อนแก่วัสดุขนาดเล็กกว่าคลื่นวิทยุ เนื่องจากคลื่นจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุในระดับที่ตื้นกว่า



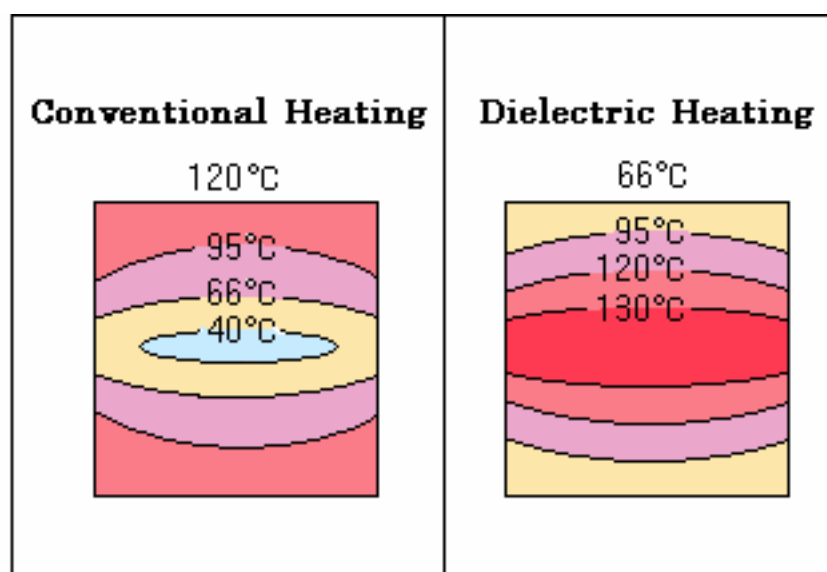
รูปที่ 1.5: แสดงตัวอย่างเตาให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 1.6: แสดงลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของเตาให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ⁽⁸⁾

2. การใช้ทดแทนเทคโนโลยีเดิม

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถทดแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้า คอยล์ร้อนจากไอน้ำ หรือการใช้หัวเผาเชื้อเพลิง เพื่อสร้างความร้อนหรืออากาศร้อนสำหรับการให้ความร้อนแก่วัตถุ โดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจะเป็นการให้ความร้อนซึ่งเกิดขึ้นโดยตรงภายในวัสดุ (Inside Out) ซึ่งแตกต่างจากการให้ความร้อนแบบเดิมซึ่งจะเกิดความร้อนจากบริเวณผิววัสดุก่อนแล้วจึงค่อยเกิดการนำความร้อนสู่ภายใน (Outside In) ทำให้การกระจายความร้อนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วถึงภายในเนื้อวัสดุพร้อมๆกัน ส่งผลให้ลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในการให้ความร้อน

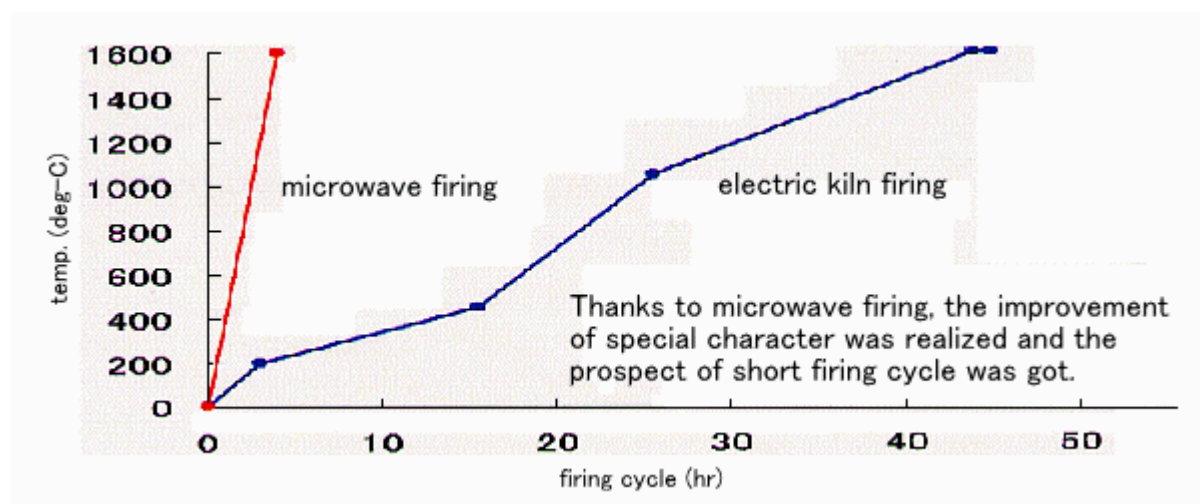
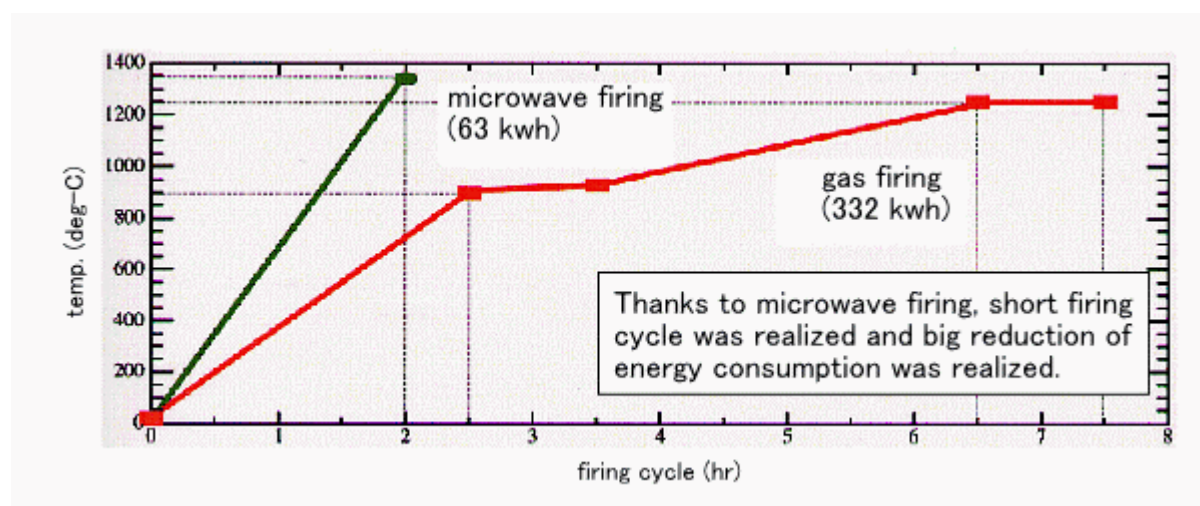


รูปที่ 2.1: แสดงเปรียบเทียบการเกิดความร้อนในวัสดุระหว่างการให้ความร้อนแบบเดิมกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

3. ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเป็นเทคโนโลยีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีประสิทธิภาพรวมในการถ่ายเทพลังงานประมาณ 50% - 70% เทียบกับประสิทธิภาพรวมของการถ่ายเทพลังงานโดยอาศัยการอาศัยการให้ความร้อนแบบเดิมซึ่งอาศัยการพาและการแผ่รังสีความร้อนซึ่งอยู่ประมาณ 10% - 30% จากข้อมูลการประยุกต์ใช้ในต่างประเทศ⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾ การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้ไม่น้อยกว่า 50% เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนด้วยการพาอากาศร้อนจากขดลวดไฟฟ้า คอยล์ร้อนไอน้ำ หรือหัวเผาเชื้อเพลิง

จากข้อมูลผลการเปรียบเทียบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นไมโครเวฟกับการให้ความร้อนด้วยก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนแก่เซรามิก⁽⁴⁾ ได้แสดงผลระยะเวลาการเผาการใช้พลังงานที่ลดลงไว้ดังนี้



รูป 3.1: แสดงเปรียบเทียบการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟกับการให้ความร้อนด้วยก๊าซธรรมชาติในการให้ความร้อนแก่เซรามิก⁽⁴⁾

4. สภาพที่เหมาะสมกับการใช้เทคโนโลยี

เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกเหมาะสำหรับการให้ความร้อนและการอบไล่ความชื้นแก่วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือมีน้ำเป็นองค์ประกอบ เช่น อาหาร ยาง ไม้ กระดาษ เซรามิก ซึ่งต้องการการกระจายความร้อนอย่างทั่วถึงสม่ำเสมอภายในเนื้อวัสดุ และการควบคุมอุณหภูมิการให้ความร้อนอย่างแม่นยำเพื่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกยังเหมาะสมอย่างยิ่งกับการให้ความร้อนแก่วัสดุซึ่งเป็นฉนวนความร้อน เนื่องจากการให้ความร้อนแบบทั่วไปจะใช้เวลาช้านานกว่าที่ความร้อนจะถ่ายเทเข้าสู่ภายในวัสดุ

เนื่องจากคุณสมบัติของความถี่คลื่นที่แตกต่างกัน การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นวิทยุจะเหมาะสมกับการให้ความร้อนแก่วัสดุที่มีลักษณะรูปทรงพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อน เช่น แท่งสี่เหลี่ยม ทรงกระบอก โดยสามารถให้ความร้อนกับวัสดุได้ตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่หลายเมตร ส่วนการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นไมโครเวฟจะเหมาะสมกับการให้ความร้อนแก่วัสดุที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี แต่ด้วยความถี่ที่สูงกว่าทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุในระดับที่ตื้นกว่าคลื่นวิทยุ จึงเหมาะกับวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าคลื่นวิทยุ

5. กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสามารถออกแบบติดตั้งได้ทั้งในลักษณะการให้ความร้อนแบบ Batch และการให้ความร้อนแบบลำเลียงต่อเนื่อง โดยตัวอย่างกลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่

- อุตสาหกรรมอาหาร ในกระบวนการให้ความร้อนในการผลิตหรืออบแห้งวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์อาหาร
- อุตสาหกรรมสิ่งทอ ในกระบวนการให้ความร้อน หรืออบแห้งเส้นด้ายหรือเส้นใย
- อุตสาหกรรมยาง ในกระบวนการอบให้ความร้อนแผ่นยางธรรมชาติ
- อุตสาหกรรมเซรามิก ในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์เซรามิก เครื่องปั้นดินเผา
- อุตสาหกรรมพลาสติก ในกระบวนการอบแห้ง การเชื่อม และละลายพลาสติก
- อุตสาหกรรมกระดาษ ในกระบวนการอบแห้งสารเคลือบพื้นกระดาษ
- อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือน ในกระบวนการอบแห้งไม้ และกระบวนการอบกาวอัดไม้
- ฯลฯ

6. ราคาของเทคโนโลยี ⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁸⁾

ราคาของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของการติดตั้งใช้งาน โดยค่าใช้จ่ายของการติดตั้งเตาให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกคลื่นวิทยุรวมทั้งอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟ ระบบลำเลียง ระบบควบคุมและอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดจะอยู่ในช่วงประมาณ 33,000 – 130,000 บาทต่อกิโลวัตต์ของกำลังคลื่น (\$1,000 - \$4,000 per kW) ส่วนเตาให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นไมโครเวฟจะอยู่ในช่วงราคาประมาณ 66,000 - 165,000 บาทต่อกิโลวัตต์ (\$2,000 - \$5,000 per kW) อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าราคาของเตาให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก

โดยเฉพาะเตาไมโครเวฟอุตสาหกรรมจะมีราคาที่สูงกว่าเตาไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนมาก เนื่องจากตัวกำเนิดคลื่นได้แก่ แมกนีตรอนของเตาไมโครเวฟอุตสาหกรรมจะทำงานกับระบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง เพื่อให้สามารถสร้างคลื่นออกมาได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน และสามารถปรับระดับของกำลังคลื่นได้อย่างแม่นยำ⁽⁹⁾

7. ระยะเวลาคืนทุนของเทคโนโลยี

จากข้อมูลการติดตั้งใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกในต่างประเทศ⁽³⁾⁽⁵⁾ แม้ว่าเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจะมีราคาลงทุนเริ่มต้นค่อนข้างสูง แต่ด้วยประสิทธิภาพการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้น ทำให้เทคโนโลยีนี้สามารถให้ระยะเวลาคืนทุนได้ภายในประมาณ 2 – 3 ปี

8. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานในการให้ความร้อน จึงไม่มีการปล่อยก๊าซไอเสียซึ่งเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนการรั่วไหลของคลื่นจากเตาให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ปัจจุบันมีมาตรฐานการตรวจสอบความปลอดภัยของอุปกรณ์และเตาให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูง เช่น มาตรฐาน IEC 60519-6:2002 ซึ่งกำหนดว่าการรั่วไหลของคลื่นจากโครงสร้างเตาจะต้องอยู่ในระดับไม่เกิน 5 mW/cm^2 ที่ระยะ 5 ซ.ม. จากตัวเตา ดังนั้นการเลือกใช้เตาให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกจึงจำเป็นที่จะต้องผ่านการรับรองตามมาตรฐานความปลอดภัย รวมทั้งจะต้องมีการทดสอบการรั่วไหลของคลื่นหลังการติดตั้งและทดสอบการทำงาน ณ พื้นที่ติดตั้งและตรวจสอบเป็นระยะตามรอบการบำรุงรักษาเตา

9. เอกสารอ้างอิง

- (1) Linn High Therm. Microwave Heating, Available URL: <http://www.linn-high-therm.de/microwave-heating.html>.
- (2) Linn, H., and Möller M. 2003. Microwave Heating, Thermprocess Symposium 2003.
- (3) Hillenbrand, S.J. Overview of Fourteen Applied Technologies, 1997 Hazardous Materials and Waste Management Conference, Portland, Oregon, January 27-30, 1997.
- (4) Takasago-Industry. Research and Development of Microwave Firing Technology, Available URL: <http://www.takasago-inc.co.jp/eg/mw/mwave2.htm>.
- (5) Linn High Therm. New Energy-Saving Process for Fast Cooking Rice Production, Food Marketing & Technology, pp.26-27 June 2005.
- (6) The EPRI Center for Materials Fabrication. Radio Frequency Heating of Plastics, Techcommentary, Vol.4 No.2, Columbus, Ohio, 1984.
- (7) The EPRI Center for Materials Fabrication. Microwave Curing of Rubber, Techapplication, Vol.2 No.1, Columbus, Ohio, 1988.

- (8) The EPRI Center for Materials Fabrication. Industrial Microwave Heating Applications, Techcommentary, Vol.4 No.3, revised 1993.
- (9) Y. Pianroj, P. Kerdthongmee, M. Nisoa, P. Kerdthongmee, J. Galakarn, Development of a Microwave System for Highly-Efficient Drying of Fish, Walailak Journal of Science & Technology, 2006.
- (10) ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ, สมศักดิ์ วงษ์ประทับไชย, สุชนม์ ปิยโชติ, ดวงเดือน อัจจงค์. การวิเคราะห์กระบวนการให้ความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริก โดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง (Analysis of Heating Process in Dielectric Materials Using A Continuous Microwave Belt Furnace), การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี, 11-13 พฤษภาคม 2548
- (11) ยุทธพงศ์ เพียรโรจน์, พันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี, หมุดตอเล็บ หนิสอ. การพัฒนาระบบการให้ความร้อนเพื่อการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Developing the Heating System for Drying with Microwave), การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี, 11-13 พฤษภาคม 2548