

หมวดที่ 4 : การให้ความร้อนโดยความต้านทานไฟฟ้า (Electric Resistance Heating)

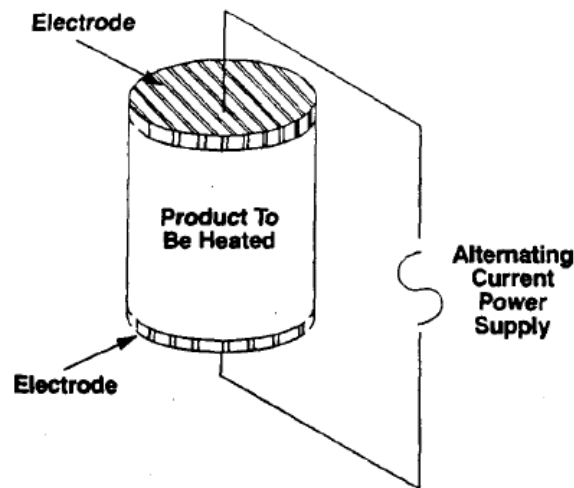
ชุดการทดลองที่ 11 การให้ความร้อนโดยความต้านทานไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Low Voltage Resistance Heating)



1. หลักการของเทคโนโลยี

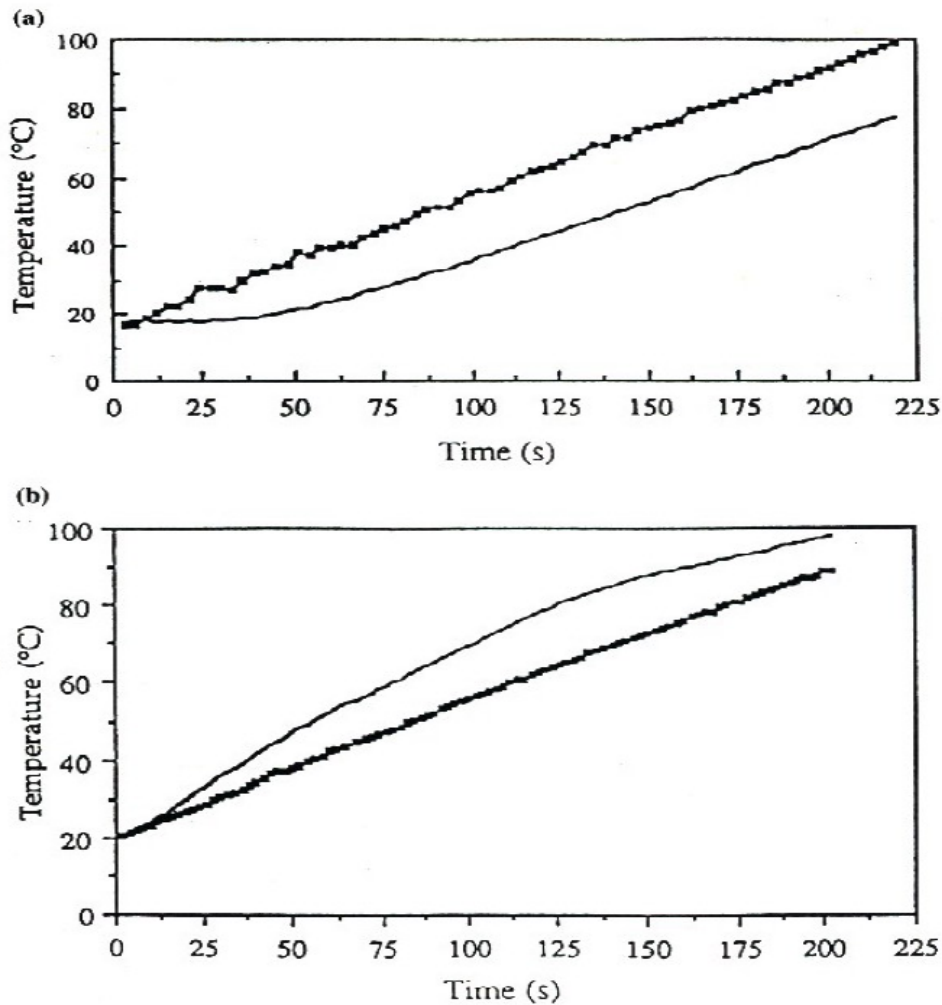
กระบวนการให้ความร้อนที่เกิดจากความต้านทานไฟฟ้าหรือแบบโอห์มมิก (Ohmic Heating หรือ Joule Heating) เป็นการผ่านกระแสไฟฟ้า (Electric Current) ไปยังอาหารที่มีการไหลอย่างต่อเนื่อง (Continuous Flow) ทำให้อนุภาคหรือชิ้นส่วนของแข็งและของเหลวในอาหารเกิดความร้อนด้วยอัตราเดียวกัน และใช้เวลาสั้นกว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะในอาหารที่เป็นของเหลวที่ปริมาณของแข็งหรือชิ้นอาหารอยู่มาก (High Solid Fraction) เทคนิคที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อนแบบนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรมและการค้า ในการสเตอริไลส์อาหารผสมที่มีลักษณะดังกล่าว รวมทั้งการให้ความร้อนแก่อาหารอื่นๆ

กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกแก่อาหารมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงจากกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม เช่นการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้ออาหารบรรจุกระป๋อง ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงสุดระดับหนึ่งในระบบ ในขณะที่กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะไม่มีขีดจำกัด และมีความแตกต่างจากการให้ความร้อนโดยใช้การทำให้เกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่การทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟนั้นมีข้อจำกัดแต่การให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจะไม่มีข้อจำกัด และจากการที่ชิ้นส่วนของอาหารถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกจึงมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีอื่นๆ และมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างสูตรอาหารเฉพาะเนื่องจากมีผลต่อกระบวนการให้ความร้อน



รูปที่ 1 หลักการของการทำให้เกิดความร้อนแบบโอห์มมิก (Ohmic Heating)

จากรูปที่ 1 เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังอาหาร จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น โดยทั่วไปกระแสไฟฟ้าที่ใช้เป็นกระแสสลับความถี่ต่ำประมาณ 50-60 Hz โดยผ่านจากอิเล็กโทรดที่ถูกออกแบบและผลิตขึ้นเฉพาะในการให้กระแสไฟฟ้าแก่อาหารและไม่มีการปนเปื้อนจากสารที่ใช้ทำ รวมทั้งลดปฏิกิริยาทางเคมีและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เมื่ออาหารที่ประกอบด้วยชิ้นอาหารของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลวสัมผัสกับกระแสไฟฟ้า จะทำให้อาหารนั้นร้อนขึ้นเนื่องจากความต้านทานของอาหาร (Electrical Resistance) และถ้าอาหารทั้งสองเฟส (ของแข็งและของเหลว) มีความต้านทานไฟฟ้าเท่ากัน จะทำให้อัตราการเกิดความร้อนเท่ากัน จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการเกิดความร้อนในชิ้นอาหารที่เป็นของแข็งและส่วนที่เป็นของเหลว ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (Conventional) และแบบโอห์มมิก (Ohmic) แสดงได้ดังรูปที่ 2 ต่อไปนี้



รูปที่ 2 การเกิดความร้อนในชิ้นอาหารของแข็ง (เส้นเรียบ) และไนของเหลว (เส้นจุด) ในกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (a) และแบบโอห์มมิก (b)

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าอุณหภูมิของชิ้นอาหารที่เป็นของแข็งที่ได้รับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม จะเพิ่มขึ้นช้ากว่าอุณหภูมิของส่วนที่เป็นของเหลว ในขณะที่กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกนั้น พบว่าอุณหภูมิของส่วนที่เป็นของแข็งจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าส่วนที่เป็นของเหลว ดังนั้น จึงสามารถนำหลักการนี้ไปใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารที่เป็นของเหลวที่มีชิ้นอาหารอยู่ด้วย โดยจัดเป็น กระบวนการที่ให้ความร้อนแบบต่อเนื่องโดยการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้น (High Temperature Short Time : HTST) วิธีการหนึ่งเช่นเดียวกับกระบวนการ UHT (Ultra High Temperature)

2. การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี

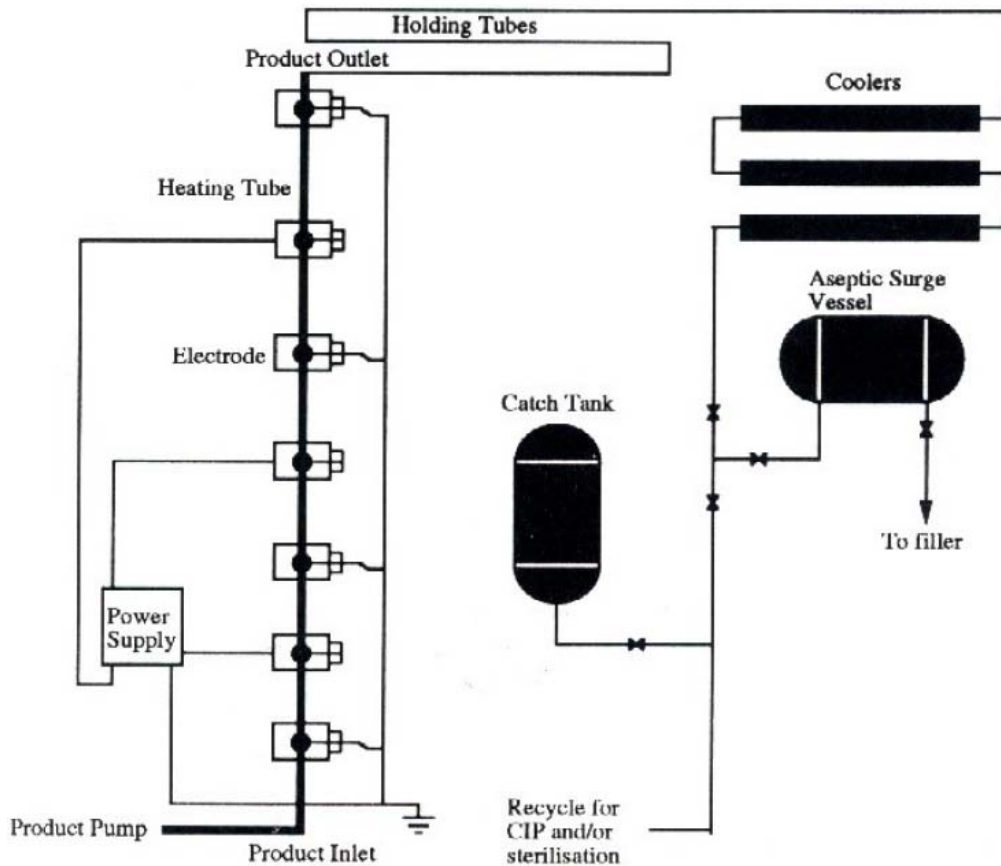
➤ สภาพที่เหมาะสมในการใช้งาน

การให้ความร้อนโดยโอห์มมิกเหมาะสำหรับการให้ความร้อนแก่อุตสาหกรรมอาหารที่มีลักษณะเป็นของเหลวและมีอนุภาคของแข็งเจือปน เช่น ซอสผลไม้และซอสผัก เนยถั่ว ซอสพาสต้า ไข่ขมพวย ซุปและอาหารสัตว์ รวมถึงการใช้ความร้อนสูงในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำนม เป็นต้น

การทำให้เกิดความร้อนแก่อาหารด้วยกระแสไฟฟ้านั้น ขึ้นกับความสามารถในการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ของอาหาร ซึ่งอาหารส่วนใหญ่ที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในกระบวนการ จะมีปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) ซึ่งมีไอออนของเกลือละลาย (Dissolved ionic salts) ในระดับปานกลาง ซึ่งเพียงพอต่อการทำให้เกิดความร้อนอันเนื่องมาจากการผ่านของกระแสไฟฟ้า

การสเตอริไลส์อาหารโดยใช้ความร้อนจากโอห์มมิกฮีทเตอร์

ลักษณะการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิกดังแสดงในรูปที่ 3 เริ่มต้นจากอาหารเหลวถูกบีบผ่านท่อที่เกิดความร้อน (Heating Tube) โดยท่อนี้อยู่ในแนวตั้งหรือเอียงเล็กน้อย ซึ่งภายในท่อจะมีจุดที่เชื่อมต่อกับชุดของอิเล็กโตรด การบีบอาหารเหลวผ่านท่อดังกล่าวจำเป็นต้องใช้แรงดันที่คงที่และเหมาะสมเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการเดือด โดยใช้ได้ถึงระดับ 4 บาร์สำหรับการสเตอริไลส์อาหารที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสจากภาพจะเห็นว่าอิเล็กโตรด 7 อัน แต่ละอันจะมีอิเล็กโตรดข้างเคียงสองอันที่ต่อกับสายดิน (earth)



รูปที่ 3 ลักษณะการทำงานของโอห์มมิกฮีทเตอร์ในกระบวนการสเตอริไลส์อาหารเหลว

ชุดของอิเล็กโทรดแต่ละอันจะมีอิเล็กโทรดที่อยู่ภายในท่อและอยู่ในตำแหน่งที่วางยื่นออกมาในแนวขวางกับการไหลของอาหาร โดยกล่องหรือชุดของอิเล็กโทรดนี้ทำด้วยพลาสติกโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene, PTFE) และหุ้มด้วยโลหะสแตนเลสอีกชั้นหนึ่งและชุดอิเล็กโทรดแต่ละอันจะเชื่อมต่อกันด้วยท่อสแตนเลสที่หุ้มด้วยฉนวนไฟฟ้า โดยฉนวนที่เหมาะสมในการใช้ได้แก่ โพลีไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (Polyvinylidene fluoride, PVDF) และโพลีเอเทอร์อีเทอร์คีโตน (Polyether ether ketone, PEEK หรือแก้ว)

ท่อที่ให้ความร้อนนั้นอาจตั้งตรงหรือเอียงเล็กน้อย และมีวาล์ว (Vent Valve) ตรงด้านบนสุดเพื่อให้อาหารที่เข้ามาในท่อเต็มอยู่ตลอดเวลา โดยความยาวของท่อในแต่ละช่วงจะมีความแตกต่างกันในแต่ละคู่ของอิเล็กโทรด เพื่อให้แต่ละช่วงมีค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้า (Electrical Impedance) ที่ใกล้เคียงกัน โดยท่อแต่ละช่วงจะมีความยาวเพิ่มขึ้นจากทางเข้าของอาหารจนถึงทางออกจากท่อของการให้ความร้อนเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า (Electrical Conductivity) มีค่าเพิ่มขึ้น

ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องให้ความร้อนแบบโอห์มมิก สามารถออกแบบระบบการควบคุมให้เป็นแบบอัตโนมัติได้ การเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Outlet Temperature) ที่ออกมาได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอาหารก่อนเข้าเครื่อง (Inlet temperature) อัตราการไหลของอาหาร (Mass Flowrate) ภายในเครื่อง และค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity) ของผลิตภัณฑ์ ในการควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องนั้น ปัจจุบันใช้คอมพิวเตอร์โดยไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) จะทำหน้าที่สแกนตัวแปรดังกล่าวและมีการคำนวณอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มหรือลดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการทำความร้อนให้ถึงอุณหภูมิที่กำหนด

กระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิกนี้ สามารถสเตอริไลส์อาหารเหลวที่มีปริมาณชื้นอาหารของแข็งอยู่มากถึง 60% ได้ โดยมีอัตราการทำความร้อน (Heating Rates) ประมาณ 1 องศาเซลเซียสต่อวินาที โดยสามารถใช้กระบวนการนี้ในการฆ่าเชื้ออาหารเหลวที่มีชื้นอาหารของแข็งที่มีขนาดใหญ่ได้ (เช่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 25 มิลลิเมตร) นอกจากนั้นกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการฆ่าเชื้ออาหารหลายรูปแบบได้แก่

1. ใช้ร่วมกับกระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (Aseptic Processing) สำหรับอาหารที่มีคุณค่าสูงและอาหารพร้อมรับประทานโดยสามารถเก็บรักษาและขนส่งที่อุณหภูมิห้อง
2. ใช้พาสเจอร์ไรส์อาหารเหลวที่มีชื้นอาหารสำหรับการบรรจุร้อน (Hot Filling)
3. ใช้เพิ่มระดับอุณหภูมิของอาหารก่อนนำอาหารนั้นไปฆ่าเชื้อต่อโดยวิธีดั้งเดิม (อาหารบรรจุกระป๋อง)
4. ใช้ในการผลิตอาหารพาสเจอร์ไรส์พร้อมรับประทานที่มีความสะอาดและมีคุณค่าสูงโดยสามารถเก็บรักษาและขนส่งโดยการแช่เย็น

ประโยชน์ของเทคโนโลยี

- ประสิทธิภาพสูง พลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้เกือบ 100% ซึ่งสูงกว่าการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเป็นความร้อน ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 50-80% เนื่องจากการสูญเสียจากการเผาไหม้
- ความสามารถในการควบคุมสามารถติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติทดแทนการควบคุมโดยคนทั้งหมด ปริมาณความร้อนจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับงาน และมีความยืดหยุ่นมากกว่าวิธีอื่น
- การบำรุงรักษาต่ำ อุปกรณ์มีอายุการใช้งานนาน ง่ายและทนทาน ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เสริมหรืออุปกรณ์ควบคุมอื่นๆ
- ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีชื้นอาหาร มีรสชาติสดกว่าและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่า
- สามารถให้ความร้อนในระบบการไหลอย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้พื้นผิวในการถ่ายเทความร้อน
- ความร้อนในชื้นอาหารเกิดขึ้นได้โดยไม่ขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนผ่านของเหลว

ข้อควรพิจารณาในการประยุกต์ใช้งาน

- ค่าใช้จ่ายพลังงานเนื่องจากความร้อนที่ได้จะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า ดังนั้น เมื่อต้องการความร้อนมากก็จะมีค่าใช้จ่ายพลังงานมากตามไปด้วย

➤ ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

การให้ความร้อนโดยโอห์มมิกฮีทเตอร์ ช่วยลดเวลาและประหยัดพลังงานได้ประมาณ 25% เมื่อเทียบกับ การให้ความร้อนในกระบวนการอุตสาหกรรมอาหารแบบเดิม

➤ กลุ่มเป้าหมายการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

- โรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารที่ต้องมีการให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิต เช่น กระบวนการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (Aseptic Processing) หรือกระบวนการฆ่าเชื้อแบบ Pasteurizer, Sterilizer เป็นต้น

➤ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ไม่มี

3. ตัวอย่างข้อมูลด้านเทคนิคของเทคโนโลยี

- ตัวอย่างลักษณะของเครื่องที่มีการใช้งาน Ohmic Heating System ในกระบวนการอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ Aseptic Processing, Pasteurizer, Sterilizer เป็นต้น





ตัวอย่างคุณลักษณะเฉพาะด้านเทคนิคต่อไปนี้เป็น Aseptic Sterilizer ที่มีการใช้ระบบโอห์มิก สำหรับน้ำมะเขือเทศ อุณหภูมิเข้า 60-65 องศาเซลเซียส Holding Time 90 วินาที Filling Temperature 35-38 °C

Product Inlet Capacity	kg/h	1,000	3,000	5,000	8,000	10,000
Sterilization Temperature	°C	90-100 adjust	90-100 adjust	90-100 adjust	90-100 adjust	90-100 adjust
I.E.P	kW	28	42	62	88	100
Steam at 8 bar	kg/h	100	300	500	800	1,000
Water at 15-18 °C at 3bar	m ³ /h	20	40	60	90	110
Compressed air at 6bar	nl/h	100	100	100	200	200

แม้ว่าในอดีต Ohmic Heater ได้พัฒนาและใช้งานสำหรับแรงดันและความถี่ต่ำ (50-60Hz) แต่ในปัจจุบันการพัฒนาระบบ โอห์มิกสำหรับการใช้งานที่ Power Supply แรงดันและความถี่สูง (แรงดัน 400-3800V และความถี่สูงถึง 30kHz) กำลังเป็นที่พิจารณาในอนาคตต่อไป เนื่องจากการสวิตช์ซึ่งของรูปคลื่น (Pulse) และ เวลาหน่วง (Delay time) ที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบจ่ายไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น

แหล่งข้อมูลอ้างอิง

- “Use of Ohmic Heating for Aseptic Processing of Food Particulates” , David L. Parrot
- www.apv.com
- www.asepsystems.com
- “Energy Efficiency of an Ohmic heating technology by fluid jet in food industrial process” (ECEEE2007), Sami Ghnimi, Jean-Francois Maingonnat, Nicolas Flach-Malaspina, Marlene Dresch