

การประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยีไมโครเวฟ ในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ

อภิษฐา สิทธิวงศ์¹ ปรัชญา มณฑน¹ วุฒิชัย คำดวง^{1,2} สาคร พรประเสริฐ³ และ กัญญา ปรีชาศุทธิ¹

¹แขนงจุลชีววิทยาคลินิก ภาควิชาเทคนิคการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง เชียงใหม่ 50200

²LUCENT International Collaboration คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง เชียงใหม่ 50200

³แขนงจุลทรรศน์ศาสตร์คลินิก ภาควิชาเทคนิคการแพทย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ การศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่ใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ โดยอาศัยหลักการป้อนมูลฝอยให้มีขนาดเล็กกว่า 1 ตารางเซนติเมตร และผ่านคลื่นไมโครเวฟเพื่อทำลายเชื้อในระบบปิด โดยใช้เกณฑ์การประเมินตามมาตรฐานอุปกรณ์ทำลายเชื้อของ State and Territorial Association on Alternative Treatment Technologies (STAATT) ที่ระดับ 3 ซึ่งทำลายสปอร์ *Bacillus subtilis* ให้ลดลงได้ $\geq 10^4 \log \text{CFU}$ ($\geq 4 \log_{10}$ reduction) จากการทดสอบพบว่าเครื่อง Steriwave100™ ขนาดความจุเครื่อง 100 ลิตร ที่กำลังไฟ 400 โวลต์ 3 เฟส 40 แอมป์ ให้ความร้อน 110 องศาเซลเซียส ด้วยรังสีไมโครเวฟ เป็นเวลา 20 นาที ในตัวอย่างที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 (w/w) สามารถทำลายสปอร์ *Bacillus atrophaeus* ATCC 9372 (เดิม *B. subtilis* var. *niger*) ที่มีจำนวน 1.7×10^4 , 1.8×10^6 และ 3.2×10^6 สปอร์ได้ ดังนั้นเทคโนโลยีไมโครเวฟสามารถเป็นทางเลือก ในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อแบบเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในสถานดูแลสุขภาพได้

คำสำคัญ: มูลฝอยติดเชื้อ, มูลฝอยปนเปื้อน, ไมโครเวฟ, การจัดการมูลฝอย

Corresponding author E-mail: kanya.p@cmu.ac.th

Received: 30 January 2025

Revised: 23 May 2025

Accepted: 20 June 2025



บทนำ

มูลฝอยติดเชื้อ หมายถึง มูลฝอยที่มีเชื้อโรคปะปนอยู่ในปริมาณมากหรือมีความเข้มข้น ซึ่งถ้ามีการสัมผัสหรือใกล้ชิดกับมูลฝอยนั้นแล้วสามารถทำให้เกิดโรคได้ แหล่งที่เกิดมูลฝอยติดเชื้อจำนวนมากมาจากโรงพยาบาล โรงพยาบาลสัตว์ และหน่วยงานที่มีการทดลองหรือศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเชื้อโรค⁽¹⁾ ในช่วงสถานการณ์ที่มีการระบาดของโรคโควิด 19 มูลฝอยติดเชื้อมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากจากบุคลากรทางการแพทย์และบุคลากรที่เกี่ยวข้อง เกิดจากการใช้ชุดป้องกันการติดเชื้อ (Personal Protective Equipment, PPE) เพื่อใส่ในระหว่างการเก็บสิ่งส่งตรวจ การส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการที่เพิ่มมากขึ้น การให้การรักษานักติดเชื้อโควิด 19 และการทำหัตถการต่าง ๆ รวมถึงหน้ากากอนามัยที่ใช้แล้ว หากเป็นสถานที่ที่มีการกักตัวเพื่อสังเกตอาการหลังติดเชื้อ มูลฝอยจากห้องส่วนตัวจากสถานที่ดังกล่าวจัดเป็นมูลฝอยติดเชื้อเช่นกัน ซึ่งกระบวนการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อเหล่านี้ย่อมมีประสิทธิภาพสามารถทำได้หลายวิธี และมีหลายปัจจัยเกี่ยวข้องในการเลือกใช้⁽²⁾

วิธีการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบัน ตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545 ได้แก่ การเผาในเตาเผา การทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ การทำลายด้วยความร้อน และวิธีอื่นตามที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดในราชกิจจานุเบกษา⁽¹⁾ การเผาในเตาเผาเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพทำลายเชื้อโรคได้ดี ลดปริมาณมูลฝอยได้มากแต่อาจมีการปล่อยมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศ การทำลายเชื้อด้วยไอน้ำเป็นการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ ความดันสูงหรือเครื่อง Autoclave วิธีนี้ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ มีการพัฒนาการให้ทำลายมูลฝอยติดเชื้อด้วยการเพิ่มเครื่องบดย่อยเพื่อเปลี่ยนให้เป็นมูลฝอยขนาดเล็ก จากนั้นจึงนำไปสู่การนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำทำให้สามารถนำไปกำจัดต่อแบบมูลฝอยทั่วไปหรือนำมูลฝอยนั้นไปรีไซเคิล วิธีนี้สามารถประเมินประสิทธิภาพการทำลายเชื้อตามเกณฑ์มาตรฐานชีวภาพ โดยสามารถทำลายสปอร์ของเชื้อ *Geobacillus stearothermophilus* ให้ลดลงได้ $\geq 10^5 \log \text{CFU}$ ^(3,4) อย่างไรก็ตามการทำลายเชื้อด้วยไอน้ำมีปัญหาเรื่องกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากการนึ่ง และมีปริมาณไอน้ำจำนวนมากเข้าไปอยู่ในมูลฝอย

การทำลายมูลฝอยติดเชื้อด้วยการฉายรังสีคลื่นไมโครเวฟจัดเป็นการทำลายเชื้อด้วยวิธีอื่น โดยรังสีไมโครเวฟผลิตจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า แมกนีตรอน (Magnetron) ได้รังสีไมโครเวฟที่มีความถี่ 2,450 เมกะเฮิรซ์ เมื่อรังสีไมโครเวฟผ่านเข้าไปในของเหลวหรือน้ำในมูลฝอยจะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นจนทำให้เกิดความร้อน เชื้อโรคจะถูกทำลายจากการนำความร้อนผ่านน้ำ^(5,6) ดังนั้นประสิทธิภาพของไมโครเวฟในการทำลายเชื้อแบคทีเรียในมูลฝอยติดเชื้อทางการแพทย์ด้วยเทคนิคดังกล่าวจึงขึ้นอยู่กับระยะเวลา กำลังของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ และปริมาณน้ำ โดยไมโครเวฟปรุงอาหารที่กำลัง 1 กิโลวัตต์ สามารถทำลายเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ปริมาณ 5.0×10^6 Colony-forming unit (CFU) ให้ลดลงเป็นศูนย์ภายในเวลา 2.5 นาที โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส⁽⁷⁾ และหากเป็นไมโครเวฟที่กำลัง 1.5 กิโลวัตต์ เวลา 30 นาที สามารถทำลายเชื้อ *Mycobacterium tuberculosis* ในตัวอย่างเสมหะที่มีเชื้อได้ ร้อยละ 99.2 จาก 226 ตัวอย่าง ซึ่งตรวจสอบจากการเจริญของเชื้อด้วยวิธี *Mycobacterium Growth Indicator Tube (MGIT)*⁽⁸⁾ และหากต้องการทำให้ปราศจากเชื้อ (Sterilization) ด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟสามารถทำได้ โดยเพิ่มกำลังวัตต์ของไมโครเวฟ เพิ่มระยะเวลาที่นานขึ้น และเพิ่มปริมาณน้ำในมูลฝอย⁽⁹⁾

ในปัจจุบันมีเครื่องฉายรังสีไมโครเวฟที่ผลิตมาเพื่อการทำลายมูลฝอยติดเชื้อ ได้แก่ Ecosteryl⁽¹⁰⁾ Medical Waste Disposal Unit (MDU)⁽¹¹⁾ และ Sterilwave⁽¹²⁾ มีหลายขนาดตั้งแต่เครื่องขนาดใหญ่สามารถกำจัดขยะติดเชื้อได้วันละ 1 ตันต่อวัน เป็นอย่างน้อยจนถึงขนาดเล็กที่ทำลายมูลฝอยได้ครั้งละ 10–15 กิโลกรัม หรือเป็นแบบทำงานได้บนรถบรรทุก โดยเคลื่อนที่ไปยังแหล่งกำเนิดมูลฝอยติดเชื้อ ส่วนประกอบหลักของเครื่องคือ ใบมีดขนาดใหญ่ที่ตัดย่อยมูลฝอยให้มีขนาดเล็กและแมกนีตรอนที่สามารถปล่อยคลื่นรังสีไมโครเวฟ ทำให้เกิดการนำความร้อนที่อุณหภูมิ 100–110 องศาเซลเซียส และมีส่วนของภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างชีวภาพเพื่อประเมิน

ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง เมื่อครบเวลาทำงาน เศษมูลฝอยจะถูกปล่อยออกมาที่ภาชนะรองรับ ลักษณะของมูลฝอยที่ออกมาจะเป็นเศษมูลฝอยแห้งที่มีปริมาตรลดลงและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ (recycle) เช่น การนำไปเป็นส่วนประกอบของอิฐมวลเบาและเป็นเชื้อเพลิงของโรงงานผลิตไฟฟ้า⁽¹³⁾

การศึกษาครั้งนี้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเทคโนโลยีคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เกณฑ์ของ State and Territorial Association on

Alternative Treatment Technologies (STAATT) จากสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐฯ (United States Environmental Protection Agency) ดังแสดงในตารางที่ 1 ที่ระดับ 3 โดยทดสอบประสิทธิภาพในการทำลายสปอร์ของเชื้อ *B. atrophaeus* ATCC 9372 ให้ลดลงได้ $\geq 10^4$ log CFU ซึ่งเป็นเกณฑ์ขั้นต่ำของการใช้เทคโนโลยีหรือเครื่องทำลายมูลฝอยติดเชื้อ⁽¹⁴⁾ เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากไมโครเวฟไม่สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อ *G. stearotheophilus* ได้

ตารางที่ 1 ระดับการทำให้ปราศจากเชื้อ (Sterility Assurance Level, SAL) ของ STAATT แสดงประสิทธิภาพการทำลายมูลฝอยติดเชื้อ⁽¹⁴⁾

ระดับ	ประสิทธิภาพ
1	ทำลายเซลล์แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส (Lipophilic viruses) ให้ลดลงได้ $\geq 10^6$ log CFU
2	ทำลายเซลล์แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส (Lipophilic/Hydrophilic viruses) พาราสิต และไมโครแบคทีเรีย ให้ลดลงได้ $\geq 10^6$ log CFU
3	ทำลายเซลล์แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส (Lipophilic/Hydrophilic viruses) พาราสิต และไมโครแบคทีเรีย ให้ลดลงได้ $\geq 10^6$ log CFU และทำลายสปอร์ของ <i>G. stearotheophilus</i> หรือ <i>B. subtilis</i> ให้ลดลงได้ $\geq 10^4$ log CFU
4	ทำลายเซลล์แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส (Lipophilic/Hydrophilic viruses) พาราสิต ไมโครแบคทีเรีย และทำลายสปอร์ของ <i>G. stearotheophilus</i> ให้ลดลงได้ $\geq 10^6$ log CFU

วัสดุและวิธีการ

มูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

ใช้มูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากห้องปฏิบัติการและการเรียนการสอนทางจุลชีววิทยา ประกอบด้วย กระดาษเช็ดโต๊ะปฏิบัติการ การดาษเช็ดสไลด์ ถังมือ ทิชชู กล่องบรรจุของมีคม (sharp bin) ที่มีเข็ม และกระຈกสไลด์ แต่ไม่รวมจานเพาะเชื้อและอาหารเลี้ยงเชื้อ บรรจุถุงแดง และบันทึกน้ำหนัก และมูลฝอยไม่ติดเชื้อจากห้องปฏิบัติการ

เครื่องกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟ

เครื่องกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นรุ่น Steriwave100™ (Bertin Technologies, France) ขนาดความจุ 100 ลิตร ที่กำลังไฟ 400 โวลท์ 3 เฟส 40 แอมป์ ที่ทำการย่อยมูลฝอยได้ครั้งละประมาณ 10 กิโลกรัม และสามารถ

ย่อยภาชนะพลาสติกที่บรรจุของมีคมได้ ด้านล่างของตัวถังมีใบมีดขนาดใหญ่ และมีส่วนของภาชนะรองรับเศษมูลฝอยที่ผ่านรังสีไมโครเวฟแล้วที่สามารถดึงออกได้จากด้านข้างเครื่องโดยไม่ต้องเปิดฝาเครื่อง มูลฝอยที่ได้หลังการตัดมีขนาดน้อยกว่า 1 ตารางเซนติเมตร

แผ่นสปอร์เชื้อแบคทีเรีย (Spore strip)

แผ่นสปอร์เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเป็นกระดาษกรองที่มีสปอร์ของแบคทีเรีย *B. atrophaeus* ATCC 9372 จาก 3 บริษัท ได้แก่ บริษัท Crosstex international BG-104, USA ที่มีจำนวนสปอร์ 1.7×10^4 สปอร์/แผ่น จากบริษัท MesaLabs, USA ที่มีจำนวนสปอร์ 1.8×10^6 สปอร์/แผ่นและบริษัท True Indicating, USA ที่มีจำนวนสปอร์ 3.2×10^6 สปอร์/แผ่น

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องย่อยมูลฝอย

นำมูลฝอยติดเชื้อหรือไม่ติดเชื้อที่บรรจุอยู่ในถุงให้น้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม บรรจุลงในเครื่อง Steriwave100™ และด้านบนของฝาเครื่องที่มีหลอดพลาสติกที่มีรูพรุน ขนาด 16×120 มิลลิเมตร (NUNC™, USA) จำนวน 3 หลอด แขนงอยู่ให้บรรจุแผ่นสปอร์ทั้งช่องโดยไม่เปิดออกทั้ง 3 หลอด หลังจากนั้นปิดฝาเครื่องแล้วเปิดเครื่องให้ทำงาน โดยตั้งโปรแกรมให้มีการปั่นย่อยขยะเป็นเวลา 10 นาที โดยอุณหภูมิภายในเครื่องประมาณ 70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อนผ่านรังสีไมโครเวฟ อุณหภูมิภายในเครื่องจะสูงขึ้นจนถึง 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาทีเมื่อครบขั้นตอนการทำงานให้นำแผ่นสปอร์ที่อยู่ในช่องออกมาใส่ในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อ Trypticase soy broth (TSB) (BBL™, USA) ทั้ง 3 แผ่น ด้วยเทคนิคปราศจากเชื้อและนำอาหาร TSB 1 หลอด บรรจุแผ่นสปอร์ที่ไม่ผ่านไมโครเวฟเป็นชุดควบคุมแสดงการเจริญของสปอร์ (Spore control, SC) และ TSB 1 หลอด ไม่บรรจุแผ่นสปอร์เป็นชุดควบคุมการปนเปื้อนของอาหารเลี้ยงเชื้อ (Media control, MC) นำหลอด TSB ทั้งหมดไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อ่านผลการเจริญของสปอร์จากความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อ หากพบหลอดทดสอบขุ่นให้นำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง

Trypticase soy agar (TSA) (BBL™, USA) โดยบ่มที่ห้องเพาะเชื้อ (Walk-in incubator, Rivacold, Italy) อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24–48 ชั่วโมง เพื่อดูการเจริญของเชื้อต่อไป

ผล

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่ใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ หลังการติดตั้งเครื่องที่ห้องสำหรับทำลายมูลฝอยติดเชื้อ โดยทำการย่อยมูลฝอยไม่ติดเชื้อที่มีน้ำหนักประมาณ 10 กิโลกรัม โดยบรรจุแผ่นสปอร์ที่จำนวนสปอร์ 3.2×10^6 สปอร์ จำนวน 3 แผ่น ในหลอดบรรจุที่มีรูพรุน หลังกระบวนการย่อยปล่อยคลื่นรังสีไมโครเวฟ เป็นเวลา 10 นาที ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ หลังเสร็จสิ้นกระบวนการพบการเจริญของเชื้อทั้งหมด หลังบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นจึงทำการปรับอุณหภูมิและระยะเวลาในการปล่อยคลื่นรังสีไมโครเวฟจาก 10 นาที เป็น 20 นาที เติมน้ำลงในมูลฝอย จำนวน 1 ลิตร เพื่อให้ได้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และทำการสอบซ้ำกับแผ่นสปอร์ที่มีจำนวนสปอร์ต่างกัน ได้แก่ 1.7×10^4 ถึง 3.2×10^6 สปอร์ โดยแผ่นสปอร์ที่มี จำนวน 3.2×10^6 ซ้ำ 3 ครั้ง พบว่าไม่มีการเจริญของสปอร์ที่ใช้ทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเจริญของสปอร์จากแผ่นสปอร์ทดสอบการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่ใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟ

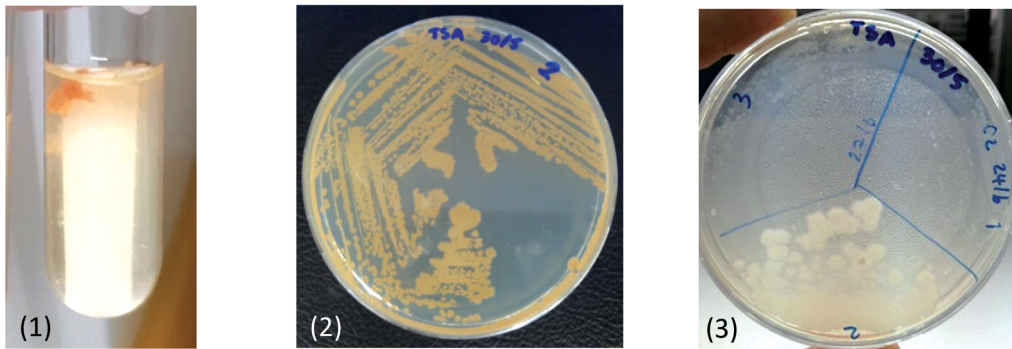
สภาวะการทดสอบ/จำนวนสปอร์	แผ่นสปอร์			SC	MC	ประสิทธิภาพ
	1	2	3			
ไมโครเวฟ 10 นาที มูลฝอยไม่ติดเชื้อ/ 3.2×10^6 #	+	+	+	+	-	ไม่ผ่าน
ไมโครเวฟ 20 นาที มูลฝอยไม่ติดเชื้อ/ 3.2×10^6 #	-	-	-	+	-	ผ่าน
ไมโครเวฟ 20 นาที มูลฝอยติดเชื้อ/ 1.7×10^4 ##	-	-	-	+	-	ผ่าน
ไมโครเวฟ 20 นาที มูลฝอยติดเชื้อ/ 1.8×10^6 ##	-	-	-	+	-	ผ่าน
ไมโครเวฟ 20 นาที มูลฝอยติดเชื้อ/ 3.2×10^6 #	-	-	-	+	-	ผ่าน

หมายเหตุ: SC = spore control, MC = media control, + = อาหารเลี้ยงเชื้อขุ่น, - = อาหารเลี้ยงเชื้อใส, # = ทดสอบ 3 ครั้ง, ## = ทดสอบ 1 ครั้ง

ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง Steriwave100™ โดยทำการย่อยมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา จำนวน 10 กิโลกรัม โดยใช้แผ่นสปอร์ที่มีจำนวนสปอร์ 1.7×10^4 สปอร์/แผ่น 1.8×10^6 สปอร์/แผ่น และ 3.2×10^6 สปอร์/แผ่น โดยใช้ระยะเวลาไมโครเวฟ 20 นาที ในแต่ละรอบการทดสอบ พบว่าสามารถทำลายสปอร์ของเชื้อ *B. atrophaeus* ATCC 9372 ให้ลดลงได้มากกว่า $\geq 10^4$ log CFU ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการแสดงผลทางอ้อม (Biological Disinfectant Indicator) ของการใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟในการลดปริมาณเชื้อในมูลฝอยถึงระดับที่ยอมรับได้

การเจริญของสปอร์ของ *B. atrophaeus* ATCC 9372 ในอาหารเหลวและบนอาหารแข็ง ดังแสดงใน

ภาพที่ 1(1) และ 1(2) พบลักษณะโคโลนีที่ต่างจาก *Bacillus* spp. คือ มีสีเหลืองส้มชัดเจน ทั้งในอาหารเหลวและบนอาหารแข็ง ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง Steriwave100™ หากพบความชื้นในหลอดบรรจุแผ่นสปอร์ เมื่อนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งพบการเจริญของเชื้อ *Bacillus* spp. ที่ไม่ใช่ *B. atrophaeus* ATCC 9372 ดังแสดงในภาพที่ 1(3) ซึ่งอาจเกิดจากการปนเปื้อนจากอากาศบริเวณโดยรอบห้องหรือจากสิ่งแวดล้อม เมื่อทำการตรวจหาเชื้อในอากาศโดยการเปิดจานอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA รอบตัวเครื่องและในห้อง จำนวน 6 จุดเป็นเวลา 15 นาที นำมาบ่มที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบการเจริญของเชื้อ *Bacillus* spp. ตั้งแต่ 21–200 CFU



ภาพที่ 1 ลักษณะการเจริญของเชื้อ *B. atrophaeus* ATCC 9372 (1) ในอาหาร TSB (2) บนอาหาร TSA และ (3) เชื้อ *Bacillus* spp. บนอาหาร TSA ในการทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง Steriwave100™

ลักษณะของมูลฝอยหลังจากผ่านเครื่องย่อยไมโครเวฟ Steriwave100™ เป็นมูลฝอยขนาดเล็กขึ้นกับชนิดของมูลฝอยที่ใส่ลงไป โดยมีขนาดน้อยกว่า 1 ตารางเซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 เมื่อนำมูลฝอยหลังจากผ่านไมโครเวฟมาเพาะหาเชื้อในอาหารเหลว TSB พบการเจริญของเชื้อ *Bacillus* spp. แต่ไม่พบการเจริญของเชื้อที่ไม่สร้าง

สปอร์ (Non-sporulated bacteria) ทั้งบนอาหาร Blood agar และ MacConkey agar เชื้อที่พบอาจเกิดจากการปนเปื้อนจากอากาศบริเวณโดยรอบห้อง ซึ่งเป็นห้องพักมูลฝอยหรือจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นบริเวณของหน่วยกำจัดมูลฝอยทั่วไป



ภาพที่ 2 ตัวอย่างของมูลฝอยหลังจากผ่านเครื่องย่อยไมโครเวฟ

วิจารณ์

ปัจจุบันสถานพยาบาลรวมถึงหน่วยงานของราชการมีการณรงค์ เรื่อง ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน หรือคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (Zero carbon) จึงมีแนวโน้มที่จะปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อจากการส่งโรงเผาเป็นรูปแบบอื่น เช่น การสร้างโรงกำจัดมูลฝอยติดเชื้อแบบย่อยทำลายร่วมกับการนึ่งไอน้ำ ซึ่งสามารถติดตั้งได้ในพื้นที่โรงพยาบาลหรือหน่วยงาน⁽³⁾ เพื่อให้สามารถกำจัดมูลฝอยติดเชื้อได้ทันที ทำให้ลดพื้นที่ในการเก็บมูลฝอยก่อนการขนส่ง ลดความเสี่ยงในการขนส่งและค่าใช้จ่ายจากการขนส่ง การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการลดการปล่อยคาร์บอน

การศึกษาครั้งนี้พบว่าเครื่องฉายรังสีไมโครเวฟ Steriwave100™ สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อ *B. atrophaeus* ATCC 9372 ให้ลดลงได้มากกว่า $\geq 10^4$ log CFU ซึ่งผ่านเกณฑ์ของ STAATT ระดับ 3 จากการศึกษาพบว่าการใช้เครื่องฉายรังสีไมโครเวฟ Steriwave100™ ขนาด 100 ลิตร มีข้อจำกัดในการทำลายมูลฝอยติดเชื้อที่เป็นชุดป้องกันส่วนบุคคล (PPE) เนื่องจากชุด PPE พับกับไอน้ำและทำให้เครื่องหยุดทำงานได้ แต่รุ่นที่เป็นเครื่องขนาดใหญ่จะมีความสามารถในการทำลายมูลฝอยติดเชื้อได้หลากหลายมากขึ้น⁽¹¹⁾ ดังนั้นหากต้องการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเครื่องนี้ ควรมีการแยกประเภทของมูลฝอยให้ชัดเจนหรือทำการประเมินประสิทธิภาพการย่อยมูลฝอยประเภทต่างๆ ก่อนการใช้งาน

นอกจากเกณฑ์ STAATT ของสหรัฐอเมริกา ยังมีเกณฑ์ NF X30-503-1 (April 2024) ซึ่งออกโดย Association Française de Normalisation (AFNOR) ของประเทศฝรั่งเศส⁽¹⁵⁾ ที่เป็นข้อกำหนดของเครื่องหรืออุปกรณ์ในการทำลายมูลฝอยติดเชื้อทางการแพทย์ที่ไม่ใช้วิธีเผาในเตาเผาหรือ Autoclave เช่น การใช้คลื่นไมโครเวฟหรือการใช้สารเคมี โดยมีข้อกำหนดว่าต้องทำลายสปอร์ของ *Bacillus* spp. ให้ลดลงได้ $6\log_{10}$ และมูลฝอยหลังการทำลายต้องไม่มีสภาพเดิมที่จำได้เพื่อป้องกันการนำกลับไปใช้ซ้ำ ในกระบวนการทำลายต้องไม่มีการปล่อยสารพิษ เช่น

ก๊าซพิษหรือของเหลว มีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันเครื่องทำลายมูลฝอยติดเชื้อของบริษัท Ecosteryl, Belgium⁽¹⁰⁾ และบริษัท Bertin Medical Waste, France⁽¹²⁾ อ้างว่าสามารถผ่านเกณฑ์ NF X30-503 ได้ จากการศึกษาก่อนหน้านี้ในประเทศจีนได้ทำการเปรียบเทียบเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อในช่วงการระบาดของโรคโควิด 19 พบว่าเทคโนโลยีไมโครเวฟมีข้อดีที่ประหยัดพลังงาน มีการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมต่ำ ไม่มีขยะพิษ ความร้อนในการทำงานของเครื่องต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกาเผาหรือการนึ่งไอน้ำความดัน แต่ยังมีข้อด้อยเรื่องความสามารถในการทำลายมีช่วงแคบ และมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำลายเชื้อ⁽¹⁶⁾ จากการศึกษาเปรียบเทียบการทำลายมูลฝอยติดเชื้อด้วยเครื่องนึ่งไอน้ำและไมโครเวฟ พบว่าเครื่องไมโครเวฟโดยที่ใช้ทำลายสปอร์ของ *B. atrophaeus* เมื่อใช้ความร้อน 70-100 องศาเซลเซียสที่ความถี่ 2,450 เมกะเฮิรซ์ เป็นเวลา 30-60 นาที มีประสิทธิภาพในการทำลายมูลฝอยติดเชื้อเท่ากับเครื่องนึ่งไอน้ำ ซึ่งทำลายสปอร์ของเชื้อ *G. stearothermophilus* เมื่อใช้ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ เป็นเวลา 30-45 นาที⁽¹⁷⁾

การทำลายสปอร์ของเชื้อ *Bacillus* spp. ด้วยรังสีไมโครเวฟและเครื่องนึ่งไอน้ำมีหลักการที่ต่างกัน โดยรังสีไมโครเวฟ จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนโมเลกุลของน้ำและสารที่มีขั้วจนทำให้เกิดความร้อน (Dielectric heating) ไปทำลายโปรตีน โครงสร้างผนังเซลล์ด้านในสปอร์ และทำลายสารพันธุกรรมของสปอร์แบบ Non-thermal effect⁽⁵⁾ แต่การทำลายสปอร์ด้วยเครื่องนึ่งไอน้ำ มีความดันที่ทำให้อุณหภูมิความร้อนสูงถึง 121 องศาเซลเซียส การแทรกซึมของไอน้ำด้วยความดันสูง จะทำลายโครงสร้างของสปอร์ โปรตีนและสารพันธุกรรมของสปอร์ ทำให้หมดความสามารถในการงอกใหม่ ดังนั้นหลักเกณฑ์การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องทำลายมูลฝอยติดเชื้อ ควรมีการกำหนดให้เหมาะสมสอดคล้องกับหลักการของเครื่องหรือเทคโนโลยีที่ใช้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้ในประเทศไทย เพราะไม่สามารถผ่านเกณฑ์ตามประกาศของ

กระทรวงสาธารณสุข เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีตรวจสอบเกณฑ์มาตรฐานทางชีวภาพภายหลังการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2565⁽⁴⁾ จึงมีข้อเสนอแนะให้กระทรวงสาธารณสุขมีการทบทวนและออกหลักเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีไมโครเวฟ เพื่อเป็นทางเลือกในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ ในรูปแบบที่ส่งเสริมให้เกิดคาร์บอนสุทธิตเป็นศูนย์

สรุป

ประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยไมโครเวฟด้วยเครื่อง Steriwave100™ สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อ *B. atrophaeus* ATCC 9372 ให้ลดลงได้มากกว่า 10^4 log CFU ตามเกณฑ์ของ STAATT ที่ระดับ 3 และมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในหน่วยงานหรือโรงพยาบาลที่มีมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากการปฏิบัติงานอย่างไรก็ตามหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการกำหนดวิธีประเมินประสิทธิภาพทางชีวภาพให้เหมาะสมกับหลักการทำงานของเครื่องดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้คณะเทคนิคการแพทย์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 และขอขอบคุณบริษัท เอสทูเมดกรุ๊ป จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่อง Steriwave100™

เอกสารอ้างอิง

1. กฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 119 ตอนที่ 86 ก (วันที่ 5 กันยายน 2545). หน้า 1.
2. Ilyas S, Srivastava RR, Kim H. Disinfection technology and strategies for COVID-19 hospital and bio-medical waste management. *Sci Total Environ* 2020; 749: 141652. (11 pages).
3. Morarach S, Kongsap P, Pothichai P, Pungsangsu S. Elimination of infectious wastes by hybrid technology of shredder and autoclave in Sakon Nakhon Hospital. *J Sakon Nakhon Hosp* 2022; 25(1): 1-10.
4. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสอบเกณฑ์มาตรฐานทางชีวภาพภายหลังการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2565. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 139 ตอนพิเศษ 58 ง (วันที่ 11 มีนาคม 2565). หน้า 6.
5. Sharma P, Venugopal AP, Sutar PP, Xiao H, Zhang Q. Mechanism of microbial spore inactivation through electromagnetic radiations: a review. *J Future Foods* 2024; 4(4): 324-34.
6. Vaid A, Bishop AH. The destruction by microwave radiation of bacterial endospores and amplification of the released DNA. *J Appl Microbiol* 1998; 85(1): 115-22.
7. Mahdi AB, Gomes C. Effects of microwave radiation on micro-organisms in selected materials from healthcare waste. *Int J Environ Sci Technol* 2019; 16(3): 1277-88.
8. Myneedu VP, Aggarwal A. Disposal of the large volume of sputum positive for *Mycobacterium tuberculosis* by using microwave sterilisation technology as an alternative to traditional autoclaving in a tertiary respiratory care hospital in Delhi, India. *Infect Prev Pract* 2020; 2(3): 100072. (5 pages).
9. Liu J, Li H, Liu Z, Meng X, He Y, Zhang Z. Study on the process of medical waste disinfection by microwave technology. *Waste Manag* 2022; 150: 13-9.
10. Ecosteryl. Medical waste treatment and recycling. [online]. Available from: URL: <https://www.ecosteryl.com/en>.
11. Liying technology. MDU-10 PRO. [online]. Available from: URL: <https://www.liyingtec.com/product/medical-waste-disposal-unit/mdu10pro>.
12. Bertin medical waste. Optimisation of hospital waste flow. [online]. Available from: URL: <https://www.bertin-medical-waste.com>.

13. Manegdeg F, Coronado LO, Paña R. Medical waste treatment and electricity generation using pyrolyzer-rankine cycle for specialty hospitals in Quezon City, Philippines. IOP Conf Ser Earth Environ Sci 2020; 463(1): 012180. (8 pages).
14. Blenkharn JI. Safe disposal and effective destruction of clinical wastes. J Hosp Infect 2005; 60(4): 295-7.
15. Afnor Editons. National standards and national normative documents. [online]. Available from: URL: <https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/nf-x305031/infectious-waste-h9-reduction-of-micro-biological-and-or-mechanical-hazards-/fa205172/417589>.
16. Wang J, Shen J, Ye D, Yan X, Zhang Y, Yang W, et al. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: suggestions for disinfection strategy during coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. Environ Pollut 2020; 262: 114665. (10 pages).
17. Jain D, Joshi R, Dhuria D, Sain M. Evaluation of efficacy of autoclave and microwave for sterilization of biomedical waste. Pharma Innov J 2021; 10(7S): 18-20.

Efficacy Evaluation of Microwave Technology for Infectious Waste Disposal

Apitchaya Sittiwong¹, Paritchaya Monthanom¹, Wootichai Khamduang^{1,2},
Sakorn Pornprasert³, and Kanya Preechasuth¹

¹*Division of Clinical Microbiology, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University, Muang District, Chiang Mai 50200, Thailand*

²*LUCENT International Collaboration, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University, Muang District, Chiang Mai 50200, Thailand*

³*Division of Clinical Microscopy, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University, Muang District, Chiang Mai 50200, Thailand*

ABSTRACT This study evaluated the efficacy of microwave technology for disposing of infectious waste. The technology involves shredding waste into smaller particles, less than one square centimeter, and exposing it to microwave radiation in a closed system. The evaluation was conducted according to the criteria of the State and Territorial Association on Alternative Treatment Technologies (STAATT) Level 3, achieving a reduction of $\geq \times 10^4$ log CFU ($\geq 4\log_{10}$ reduction) of *Bacillus subtilis* spores. The results showed that Steriwave100™ with vessel capacity 100 L, using 400 Volts/3 phase, 40 Amp electricity and generated 110°C for 20 min in 10% humidity (w/w) could inactivate the spores of *Bacillus atrophaeus* ATCC 9372 (previously *B. subtilis* var. *niger*) at 1.7×10^4 , 1.8×10^6 and 3.2×10^6 . Therefore, microwave technology could serve as an eco-friendly and sustainable alternative for infectious waste management disposal in healthcare settings.

Keywords: Infectious waste, Hazardous waste, Microwave, Waste Management