วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.
UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

# การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดโดยไมโครเวฟ

# Weight Loss during Determination Analysis of Total Suspended Solids by Microwave

ชนยิตรี แสงวิจิตร[1]* ประภากรณ์ แสงวิจิตร[2]

[1] ภาควิชาอนามัยชุมชน คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

Chonyitree Sangwijit[1]* Prapagon Sangwijit[2]

[1] Department of Community Health, Faculty of Public Health, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus Sakon Nakhon 47000

[2] Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus Sakon Nakhon 47000

* Corresponding author.

E-mail: chonyitree.kae@gmail.com; Telephone: 0 8187 12783

วันที่รับบทความ 16 กันยายน 2562; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 29 ตุลาคม 2562 ; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 16 ธันวาคม 2562
วันที่ตอบรับบทความ 20 ธันวาคม 2562

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก ที่เกิดขึ้นจากของแข็งแขวนลอยระเหยได้ ในขั้นตอนการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด โดยใช้ไมโครเวฟ พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่วิเคราะห์ระหว่างวิธีมาตรฐานและวิธีไมโครเวฟ เทียบกับจำนวนเงินเพื่อลดค่าใช้จ่าย ผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด โดยใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 800 วัตต์ ระดับความร้อน High ที่ระยะเวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที มีการสูญเสียของแข็งแขวนลอยระเหยได้ร้อยละ 0.6 1.4 3.3 4.1 และ 4.5 ตามลำดับ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ วิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด โดยใช้ไมโครเวฟ คิดเป็น 0.005 - 0.026 บาทต่อตัวอย่าง และวิธีมาตรฐาน คิดเป็น 0.050 บาทต่อตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยต่อวัน วิธีไมโครเวฟมีปริมาณเท่ากับวิธีมาตรฐานจะต้องใช้ไมโครเวฟ 2 เครื่อง ต่อตู้อบ 1 เครื่อง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อตู้อบได้ประมาณ 50,000 - 60,000 บาท

**คำสำคัญ**

ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ ไมโครเวฟ ค่าพลังงานไฟฟ้า

**Abstract**

The purpose of this quasi-experimental research was to determine the percentage of weight loss in volatile suspended solids during the process of total suspended solids analysis by microwave. The electrical energy was also compared between standard method and microwave with decreased costs. The result showed that the total suspended solids analyzed by 800-watt microwave at High level with the duration periods of 2, 4, 6, 8, and 10 minutes provided the weight loss of total suspended solids at 0.9, 1.4, 3.3, 4.1, and 4.5 percent, respectively. The electric energy consumption for total suspended solids analyzed by microwave was 0.005 - 0.026 THB/sample, while the cost of the

standard method was 0.050 THB/sample. For total suspended solids analyzed per day, the microwave method was equal to the standard method when applied for 2 microwaves to 1 oven, thus decreasing the cost of oven purchase about 50,000 – 60,000 THB.

**Keywords**

total suspended solids; volatile suspended solids; microwave; electric energy consumption

## 1. คำนำ

ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids; TSS) เป็นพารามิเตอร์สำคัญในค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง อาทิ มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด มาตรฐานน้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร มาตรฐานน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง และมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงาน อีกทั้งมีความสำคัญในด้านอื่นๆ เช่น เป็นตัวชี้วัดปริมาณมวลตะกอนจุลชีพ (Sludge) ที่อยู่ในถังเติมอากาศ (Aeration Tank) ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) โดยขั้นตอนหลักสำหรับการวิเคราะห์ ตามวิธีมาตรฐานจะใช้ตู้อบ (Oven) ในการอบกระดาษกรองและระเหยความชื้นออกจากของแข็งแขวนลอย ที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส [1] ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างยาวนานมากกว่า 2 ชั่วโมง

ไมโครเวฟถูกนำมาใช้งานตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 นำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขว้าง ทางด้านการแปรรูปอาหาร ไม้อบแห้ง พลาสติก ยาง และการบ่มเซรามิก [2] รวมถึงการสเตอร์ไรด์ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลก่อนนำไปทำลาย [3] และในปัจจุบันมีแนวโน้มนำไมโครเวฟไปใช้ในการบำบัดกากตะกอนจุลชีพมากขึ้น เพราะการใช้ไมโครเวฟนำไปสู่การลดปริมาณ ลดระยะเวลา และประหยัดพลังงาน [4] ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟจะอาศัยหลักการดูดกลืนพลังงาน ขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติทางไดอิเล็กตริกวัสดุนั้นๆ วัสดุที่เป็นฉนวนมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ จะยอมให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่าน เช่น แก้ว อากาศ โพลีโพรพิลีน อลูมินา เซรามิก เป็นต้น ส่วนวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เช่น ชิ้นงานโลหะ จะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟทำให้ไม่สามารถทะลุผ่านไปได้ วัสดุกึ่งฉนวนที่มีขั้วทางไฟฟ้า (Dipole) เช่น น้ำ ไม้ กระดาษ คาร์บอนเรซิ่น จะสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ และเปลี่ยนเป็นความร้อน ซึ่งความร้อนดังกล่าว เกิดจากแรงเสียดสีระหว่างการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลน้ำ เมื่อดูดกลืนคลื่นส่งผลให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นภายในทั่วทั้งเนื้อวัสดุ (Volumetric Heating) ความร้อนและความชื้นจะถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ภายนอก มีการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างไปจากการอบแห้งด้วยวิธีทั่วไป จะถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าไปสู่ภายใน [5]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไป ในขั้นตอนการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids; TSS) ซึ่งมีทั้งองค์ประกอบของสารอินทรีย์ หมายถึงของแข็งระเหยได้ (Volatile Suspended Solids; VSS) และสารอนินทรีย์ หมายถึงของแข็งคงตัว (Fixed Suspended Solids; FSS) สำหรับวิธีมาตรฐาน อุณหภูมิจะค่อยๆ ระเหยความชื้นออกไป ทำให้สารอินทรีย์สลายตัว หรือถูกทำลาย ได้ในปริมาณน้อยๆ ในขณะที่อุณหภูมิภายในไมโครเวฟ มีอุณหภูมิสูงมากกว่า 105 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มที่จะเกิดการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากสารอินทรีย์ค่อยๆ สลายตัว หรือ ถูกทำลาย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจลดข้อผิดพลาด และทราบปริมาณที่แท้จริง เมื่อทำการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ด้วยไมโครเวฟ รวมถึงทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างวิธีมาตรฐานและไมโครเวฟ อันเป็นประโยชน์กับผู้ทำการวิเคราะห์ที่ต้องการลดระยะเวลา และลดค่าใช้จ่ายต่อไป

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 การเตรียมตัวอย่างของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

การทดลองนี้ใช้เนื้อปลาอบแห้ง เป็นตัวแทนของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ บดเพื่อให้มีขนาดเล็กลง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไล่ความชื้นตามมาตรฐาน AOAC [6] เก็บไว้ในเดซิเค-เตอร์ (Desiccator) เพื่อรอการวิเคราะห์

**2.2 การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ด้วยวิธีมาตรฐานและไมโครเวฟ**

2.2.1 วิธีมาตรฐาน อบกระดาษกรองใยแก้ว (Glass-Fiber Filter; GF/C) ในตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น FD115 ที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยกระดาษกรองให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วจึงชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง ทำการชั่งเนื้อปลา ประมาณ 0.5 กรัม ละลายน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรอง นำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ103 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยกระดาษกรองให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง น้ำหนักที่ได้นำไปหักลบกับน้ำหนักกระดาษกรองก่อนทำการกรอง จะได้น้ำหนักของของแข็งแขวนลอย ซึ่งวิธีวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐาน [7] ทำการทดลอง 5 ซ้ำ

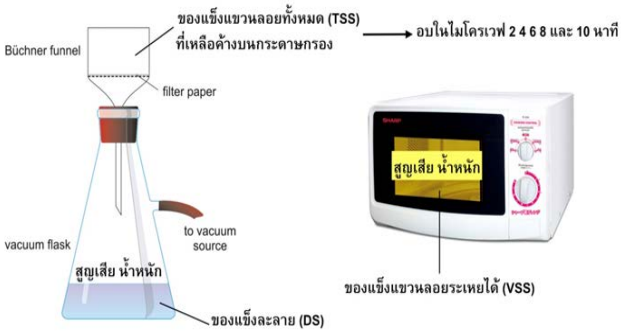
2.2.2 วิธีไมโครเวฟ อบกระดาษกรอง GF/C ก่อนการกรอง โดยใช้ไมโครเวฟ 800 วัตต์ ระดับความร้อน High ที่ระยะเวลา 10 นาที ทุกแผ่น ปล่อยกระดาษกรองให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วจึงชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง ทำการชั่งเนื้อปลาประมาณ 0.5 กรัม ละลายน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรอง นำกระดาษกรองไปอบ ในไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที ปล่อยกระดาษกรองให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง เปลี่ยนระยะเวลาในการอบกระดาษกรอง เป็น 4 6 8 และ 10 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อศึกษาร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากคลื่นความร้อนภายในไมโครเวฟ

**2.3 การวิเคราะห์ร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก**

ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids; TSS) ประกอบด้วยของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (Volatile Suspended Solids; VSS) และของแข็งแขวนลอยคงตัว (Fixed Suspended Solids; FSS) จากความสัมพันธ์อุณหภูมิที่ใช้อบตัวอย่าง หากมากกว่า 103 - 105 องศาเซลเซียส จะทำให้ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) ซึ่งหมายถึงสารอินทรีย์ จะค่อยๆ ระเหยไป สมการแสดงอยู่ในสมการ (1)

$$TSS = VSS + FSS \qquad (1)$$

ดังนั้น การสูญเสียน้ำหนักในการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) เกิดขึ้นจากการสูญเสียของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) และของแข็งแขวนลอยที่กรองผ่านกระดาษกรอง ละลายลงไปอยู่ในสารละลาย เรียกว่า ของแข็งละลาย (Dissolve Solids) ดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างขั้นตอนการวิเคราะห์ TSS

สำหรับการคำนวณหาร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) หาได้จากผลต่างระหว่างเนื้อปลาก่อนการกรอง ประมาณ 0.5 กรัม และเนื้อปลาที่เหลือค้างอยู่บนกระดาษกรอง หลังอบในไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที สมการแสดงอยู่ในสมการ (2)

$$\%\ Weight\ Loss\ TSS = (A - B)/A \times 100 \qquad (2)$$

โดยที่ A = น้ำหนักเนื้อปลาก่อนอบในไมโครเวฟ (กรัม)
B = น้ำหนักเนื้อปลาหลังอบในไมโครเวฟ (กรัม)

เพื่อให้ทราบว่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเกิดจาก ร้อยละของแข็งละลาย (DS) และของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) มีสัดส่วนปริมาณเท่าใด จึงทำการวิเคราะห์หาค่าของแข็งละลาย (DS) ในสารละลายที่ได้จากการกรอง ด้วยวิธีมาตรฐาน [8] เพื่อนำไปหักออกจากร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก TSS จะได้ร้อยละของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) สมการแสดงอยู่ในสมการ (3) และ (4)

$$\%\ Weight\ Loss\ TSS = \%\ DS + \%\ VSS \qquad (3)$$

$$\%\ VSS = \%\ Weight\ Loss\ TSS - \%\ DS \qquad (4)$$

**2.4 คำนวณการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย**

เก็บข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งเครื่องเตาอบ (Oven) และไมโครเวฟ ดังนี้ กำลังไฟ (วัตต์) ระยะเวลา

ที่ทำการวิเคราะห์ (ชั่วโมง) จำนวนตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ต่อครั้ง และราคา นำไปคำนวณในสมการ (5) และ (6)

*หน่วย/วัน (ยูนิต) = (กำลังไฟฟ้าxเครื่องใช้ไฟฟ้า)/1,000 x (ชม.ที่ใช้ใน 1 วัน)* (5)

ค่าพลังงานไฟฟ้า/ตัวอย่าง = หน่วยต่อวัน (ยูนิต)/ตัวอย่างวิเคราะห์ต่อครั้ง (6)

**3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

**3.1 ตัวอย่างของแข็งแขวนลอยทั้งหมด**

วิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ของแข็ง (Solids) ในน้ำ ที่อุณหภูมิ 103 -105 องศาเซลเซียส จะเกิดกระบวนการกำจัดน้ำอิสระ (Free water) ทำให้สารประกอบไบคาร์บอเนต (Bicarbonate; $HCO_3^-$) เปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอเนต (Carbonate; $CO_3^{2-}$) เนื่องจากการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) และค่อยๆ สูญเสียสารอินทรีย์ (Organic Matter) ในปริมาณน้อยๆ ข้อเสียใช้เวลานานกว่าน้ำหนักจะคงที่ [9] เวลาที่ใช้อบจึงต้องใช้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ไมโครเวฟจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง เพื่อลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ลง แต่ด้วยอุณหภูมิภายในไมโครเวฟเพิ่มตามระยะเวลาที่ใช้อบ ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้เนื้อปลาป่นอบแห้งเป็นตัวแทนของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ชั่งประมาณ 0.5 กรัม เนื่องจากเนื้อปลาเป็นองค์ประกอบสารอินทรีย์ (Organic Matter) เป็นตัวแปรสำคัญที่จะทำให้ทราบผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น จากการสูญเสียน้ำหนักของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีปริมาณสารอินทรีย์ เป็นการลดข้อผิดพลาดจากการอบด้วยไมโครเวฟ

**3.2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยวิธีมาตรฐานและไมโครเวฟ**

ผลต่างของเนื้อปลาป่นอบแห้งก่อนและหลังการอบ ด้วยวิธีมาตรฐาน ซึ่งอบในตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ พบว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างของน้ำหนักมีค่า 0.0386 กรัม และมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) เท่ากับ 7.8 ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยวิธีมาตรฐาน

| ตัวอย่างที่ | นน.เนื้อปลาป่นก่อนอบ (g) | นน.เนื้อปลาป่นหลังอบ (g) | ผลต่างของน้ำหนัก (g) | %การสูญเสียน้ำหนัก TSS |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.4918 | 0.4546 | 0.0372 | 7.6 |
| 2 | 0.5013 | 0.4620 | 0.0393 | 7.8 |
| 3 | 0.4921 | 0.4558 | 0.0363 | 7.4 |
| 4 | 0.4967 | 0.4637 | 0.0330 | 6.6 |
| 5 | 0.5029 | 0.4556 | 0.0473 | 9.4 |
| | เฉลี่ย | | 0.0386 | 7.8 |

ผลต่างของเนื้อปลาป่นอบแห้ง โดยใช้ไมโครเวฟ 800 วัตต์ ระดับความร้อน High ที่ระยะเวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที ทดลอง 3 ซ้ำ พบว่าที่เวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที มีค่าเฉลี่ยของผลต่างน้ำหนักมีค่า 0.0234 0.0263 0.0336 0.0408 และ 0.0504 กรัม สูญเสียน้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) มีค่า 4.9 5.5 7.1 8.5 และ 10.4 ตามลำดับ พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบเพิ่มขึ้นการสูญเสียน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นตาม สอดคล้องกับงานวิจัยการลวกมันเทศด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 30 60 90 120 และ 180 วินาที ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น [10] ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยใช้ไมโครเวฟ

| เวลาที่ใช้อบ (นาที) | ตัวอย่างที่ | นน.เนื้อปลาป่นก่อนอบ (g) | นน.เนื้อปลาป่นหลังอบ (g) | ผลต่างของน้ำหนัก (g) | %การสูญเสียน้ำหนัก TSS |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 นาที | 1 | 0.4723 | 0.4515 | 0.0208 | 4.4 |
| | 2 | 0.4822 | 0.4611 | 0.0211 | 4.4 |
| | 3 | 0.4861 | 0.4577 | 0.0284 | 5.8 |
| | เฉลี่ย | | | 0.0234 | 4.9 |

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยใช้ไมโครเวฟ (ต่อ)

| เวลาที่ใช้อบ (นาที) | ตัวอย่างที่ | นน.เนื้อปลาป่นก่อนอบ (g) | นน.เนื้อปลาป่นหลังอบ (g) | ผลต่างของน้ำหนัก (g) | %การสูญเสียน้ำหนัก TSS |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 นาที | 1 | 0.4697 | 0.4450 | 0.0247 | 5.3 |
| | 2 | 0.4765 | 0.4503 | 0.0262 | 5.5 |
| | 3 | 0.4754 | 0.4474 | 0.0280 | 5.9 |
| | เฉลี่ย | | | 0.0263 | 5.5 |
| 6 นาที | 1 | 0.4719 | 0.4363 | 0.0356 | 7.5 |
| | 2 | 0.4814 | 0.4470 | 0.0344 | 7.1 |
| | 3 | 0.4734 | 0.4426 | 0.0308 | 6.5 |
| | เฉลี่ย | | | 0.0336 | 7.1 |
| 8 นาที | 1 | 0.4803 | 0.4395 | 0.0408 | 8.5 |
| | 2 | 0.4704 | 0.4368 | 0.0336 | 7.1 |
| | 3 | 0.4800 | 0.4320 | 0.0480 | 10.0 |
| | เฉลี่ย | | | 0.0408 | 8.5 |
| 10 นาที | 1 | 0.4866 | 0.4395 | 0.0471 | 9.7 |
| | 2 | 0.4883 | 0.4368 | 0.0515 | 10.5 |
| | 3 | 0.4845 | 0.4320 | 0.0525 | 10.8 |
| | เฉลี่ย | | | 0.0504 | 10.4 |

### 3.3 การสูญเสียน้ำหนักของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)

จากการศึกษาการสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) พบว่าวิธีมาตรฐานสูญเสียของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) สูญเสียของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในรูปการละลาย หรือ ของแข็งละลาย (DS) และของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) ร้อยละ 7.8 7.2 และ 0.6 ตามลำดับ

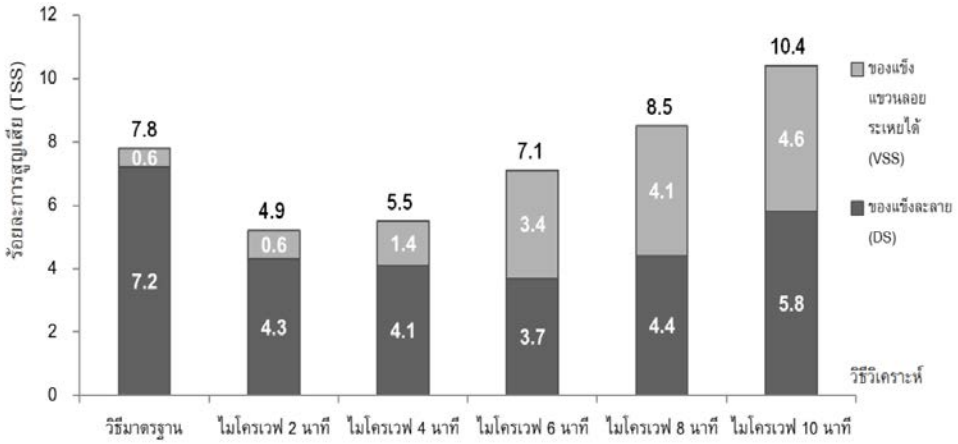
วิธีไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที สูญเสียของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ร้อยละ 4.9 5.5 7.1 8.5 และ 10.4 ตามลำดับ สูญเสียของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในรูปการละลาย หรือ ของแข็งละลาย (DS) ร้อยละ 4.3 4.1 3.7 4.4 และ 5.8 ตามลำดับ และสูญเสียของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) ร้อยละ 0.6 1.4 3.4 4.1 และ 4.6 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2

จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้อบในไมโครเวฟมากขึ้น การสูญเสียของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) จะเพิ่มขึ้นตาม การสูญเสียดังกล่าวเกิดขึ้นจากปริมาณสารอินทรีย์ค่อยๆ ระเหยไป ตามระยะเวลาที่อบ โดยไมโครเวฟ 800 วัตต์ ที่ระดับ High อุณหภูมิภายในไมโครเวฟที่ระยะเวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที มีอุณหภูมิอยู่ที่ 51 101 152 202 และ 253 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังสมการ (7) ที่ใช้ในการคำนวณ

$$Power\ (CHU/min) = Power\ (W) \times 0.031593903989083 \quad (7)$$

### 3.4. การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย

จากผลวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าวิธีมาตรฐานใช้เตาอบ (Oven) กำลังไฟ 2,500 วัตต์ เวลามากสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ 2 ชั่วโมง ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตัวอย่าง 0.050 บาท/ตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างต่อวัน 480 ตัวอย่างต่อวัน ราคาเฉลี่ยต่อเครื่อง 60,000 – 70,000 บาท ส่วนวิธีไมโครเวฟ 1 เครื่อง กำลังไฟ 800 วัตต์ เวลามากสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ 20 นาที ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตัวอย่างอยู่ระหว่าง 0.005 – 0.026 บาท/ตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างต่อวัน 288 ตัวอย่างต่อวัน ราคาเฉลี่ยต่อเครื่อง 4,000 – 5,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบวิธีมาตรฐานกับไมโครเวฟ ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตัวอย่าง




**รูปที่ 2** ร้อยละการสูญเสียของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่เกิดจากของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) และของแข็งละลาย (DS)

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของแขวนลอยทั้งหมด (TSS) เกิดจากการสูญเสียของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) ระหว่างทั้ง 2 วิธี น้ำหนักที่วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานสูญเสียเท่ากับวิธีไมโครเวฟ ที่ระยะเวลา 2 นาที อยู่ที่ร้อยละ 0.6 ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส จะทำให้ของแข็งสูญเสียสารอินทรีย์เพียงเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสขึ้นไป จะสูญเสียสารอินทรีย์มากขึ้น และถูกทำลายหมด เมื่ออุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 - 20 นาที [11] งานวิจัยครั้งถัดไปควรศึกษาพฤติกรรมการไหลของลม ในไมโครเวฟและตู้อบ เพื่อทราบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ [12] วิธีมาตรฐานสูงกว่าประมาณ 2 - 10 เท่า ส่วนจำนวนตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ต่อวัน วิธีมาตรฐานมากกว่า 1.7 เท่า ดังนั้น ถ้าต้องการให้จำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) มีปริมาณใกล้เคียงกัน จะต้องใช้ไมโครเวฟ 2 เครื่อง ต่อเตาอบ (Oven) 1 เครื่อง จะสามารถช่วยลดปัญหาจำนวนตัวอย่างลง และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเตาอบ (Oven) ได้ 50,000 – 60,000 บาท ดังข้อมูลตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายระหว่างวิธีมาตรฐานกับไมโครเวฟ 1 และ 2 เครื่อง

| ข้อมูล | วิธีมาตรฐาน เตาอบ (Oven) | วิธีไมโครเวฟ 1 เครื่อง | วิธีไมโครเวฟ 2 เครื่อง |
|---|---|---|---|
| 1. กำลังไฟ | 2,500 วัตต์ | 800 วัตต์ | 1,600 วัตต์ |
| 2. จำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ต่อครั้ง | 120 ตัวอย่าง | 12 ตัวอย่าง | 24 ตัวอย่าง |
| 3. จำนวนเวลามากสุดที่ใช้วิเคราะห์ (ก่อนและหลังอบ) | 2 ชั่วโมง | 20 นาที | 20 นาที |
| 4. ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตัวอย่าง | 0.050 บาท/ตัวอย่าง | 0.005 – 0.026 บาท/ตัวอย่าง | 0.01 – 0.052 บาท/ตัวอย่าง |
| 5. จำนวนครั้งที่สามารถวิเคราะห์ต่อวัน (คิดที่ชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมง) | 4 ครั้ง | 24 ครั้ง | 48 ครั้ง |
| 6. จำนวนตัวอย่างวิเคราะห์ได้ต่อวัน | 480 ตัวอย่าง | 288 ตัวอย่าง | 576 ตัวอย่าง |
| 7. ราคาเฉลี่ยต่อเครื่อง | 60,000 - 70,000 บาท | 4,000 - 5,000 บาท | 8,000 – 10,000 บาท |

**4. สรุปผลการศึกษา**

การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่เกิดจากของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (VSS) โดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟ 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 2 4 6 8 และ 10 นาที สูญเสียร้อยละ 0.6 1.4 3.4 4.1 และ 4.6 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ที่ได้จากการวิธีไมโครเวฟจะต้องนำไปคำนวณร้อยละที่สูญเสียเพิ่มเข้าไปตามระยะเวลาในการอบ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะมีความแม่นยำ (Accuracy) มากขึ้น งานวิจัยนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการทราบผลการวิเคราะห์ค่อนข้างรวดเร็ว เช่น การควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ใช้เวลามากสุดเพียง 20 นาที และเพื่อให้จำนวนตัวอย่างต่อวันในการวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) มีปริมาณใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐานจะต้องใช้ไมโครเวฟ 2 เครื่อง สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเตาอบ (Oven) ได้ 50,000 – 60,000 บาท

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณ คณะสาธารณสุขศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย-เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

**เอกสารอ้างอิง**

[1] American Public Health Association, *Water Environment Federation, American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater*. Methods 2540 D Total Suspended Solids Dried at 103 – 105°C. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF; 2017.

[2] Jones DA, Lelyveld TP, Mavrofidis SD, Kingman SW, Miles NJ. Microwave heating applications in environmental engineering—a review. *Resources, Conservation and Recycling*. 2002;34(2):75-90.

[3] Tata A ed., *Hospital waste sterilization: a technical-economic comparison between radiation and microwaves treatment technologies - Part two*. 1995; Italy: C.I.P.A.

[4] Yu Q, Lei H, Yu G, Feng X, Li Z, Wu Z. Influence of microwave irradiation on sludge dewaterability. *Chemical Engineering Journal*. 2009;155(1):88-93.

[5] Vongpradubchai S, Rattanadecho P. Microwave and Hot Air Drying of Wood Using a Rectangular Waveguide. *Drying Technology*. 2011;29(4):451-60.

[6] Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis. Methods 7.007 Moisture in Animal Feed.* 15th ed. Gaithersburg, M.D.: AOAC; 1990.

[8] American Public Health Association, *Water Environment Federation, American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewate*r. Methods 2540 C Total Dissolved Solids Dried at 180°C. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF; 2017.

[9] American Public Health Association, *Water Environment Federation, American Water Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater*. Methods 2540 A Introduction. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF; 2017.

[10] Charoenphun N, Meemuk N. Effects of Different Blanching Methods on Quality of Orange Sweet Potatoes. *Thai Science and Technology Journal*. 2018;26(6): 981-992.

[11] American Public Health Association, *Water Environment Federation, American Water*

*Works Association. Standard methods for the examination of water and wastewater*. Methods 2540 E Fixed and Volatile Solids Ignited at 550°C. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF; 2017.

[12] Sittiwong W. Study of Hot Air Flow Behavior using EasyFEM Simulation and Shadowgraph Techniques. *UBU Engineering Journal*. 2015;8(1): 37-50.