

การออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบตรง Design and Construction of Straight-Line Fluorescent Lamp Mill Grinder

อรรคเดช ผู้อยู่สุข^{1*}
Akadej Phuyousuk^{1*}

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรง โดยพิจารณาถึงปริมาตรหลังบดละเอียดเปรียบเทียบกับปริมาตรก่อนทำการบดและประสิทธิภาพเครื่องเปรียบเทียบกับเวลาทำงานในหนึ่งวัน โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรงขนาดความยาว 120 เซนติเมตรและขนาดความยาว 60 เซนติเมตร ที่ปริมาตรเริ่มต้นของหลอดฟลูออเรสเซนต์เท่ากับ 612.846 และ 306.423 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยนำหลอดฟลูออเรสเซนต์เข้าเครื่องบดหยาบ ซึ่งมีต้นกำลังจากมอเตอร์ขนาด 400 วัตต์ 1,410 รอบต่อนาที บดผ่านชุดเฟืองทดที่ภายในเป็นชุดเฟืองหนอนในอัตราทดเท่ากับ 30:1 หลังจากนั้นนำเข้าสู่การบดละเอียดที่ปรับความเร็วรอบทำงานที่ 75 รอบต่อนาที แล้วจึงนำไปคำนวณหาปริมาตรหลังการบดละเอียดเปรียบเทียบกับปริมาตรก่อนบด การทดลองพบว่า ปริมาตรของหลอดฟลูออเรสเซนต์หลังจากผ่านการบดละเอียดแล้วทำให้มีปริมาตรลดลงถึง 71.61 เปอร์เซ็นต์ มีเวลาทำการบดหยาบเฉลี่ยที่ 1.05 นาที/หลอด และเวลาทำการบดละเอียดเฉลี่ยที่ 1.47 นาที/หลอด และที่เวลาทำงานหนึ่งวัน (480 นาที) เครื่องบดย่อยสามารถทำการบดหยาบได้ประมาณ 457 หลอด และสามารถบดละเอียดได้ประมาณ 326 หลอดตามลำดับ

คำสำคัญ หลอดฟลูออเรสเซนต์ บดย่อย เวลาทำงาน

Abstract

The purpose of this research was to study and design of a direct fluorescent tube mill by considering the volume after grinding compared with before grinding and the machine performance compared to the working time in one day. The straight fluorescent lamps of length 120 and length 60 cm were used when the initial volume of fluorescent tubes was 612.846 and 306.423 cm³, respectively. Fluorescent tube was put into a coarse grinder powered by a 400 watt motor running at 1,410 rpm and crushed through a gear unit at the rate of 30: 1, then it was introduced into fine grinding at a speed of 75 rpm and calculated for volume. In the end, before and after grinding volume were compared. The experiments showed that the volume of the fluorescent tubes reduced to 71.61 percent by volume. This machine had ability with a mean grinding time of 1.05 minutes / tube, a fine grinding time of 1.47 minutes per tube and working time in one day of 480 minutes. The lamp mill could grind coarsely and finely as 457 and 326 tubes, respectively.

Keywords: fluorescent tube, grinding, working time

¹ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiangmai University

*Corresponding author: e-mail: akadej.ph@gmail.com

Received: 21 February 2019, Revised: 13 March 2019, Accepted: 24 March 2019, Published: 29 April 2019

บทนำ

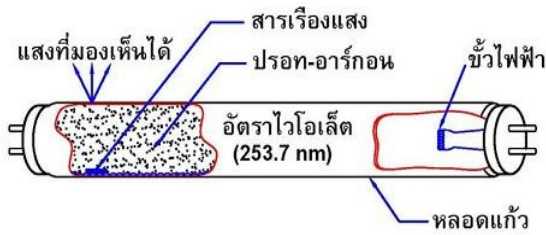
ในคณะวิทยาศาสตร์มีการติดตั้งระบบแสงสว่างเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและการวิจัยในสถานที่ต่างๆ เป็นจำนวนมาก และอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้แสงสว่างตามห้องเรียนหรือสถานที่ต่างๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบตรง ซึ่งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ติดตั้งจะมี 2 ขนาด ได้แก่ 18 วัตต์และ 36 วัตต์ ด้วยอายุการใช้งานที่เป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ย่อมทำให้มีหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เสื่อมสภาพไปตามกาลเวลา ประกอบกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ได้เข้าร่วมโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในหน่วยงานภาครัฐ (โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในหน่วยงานภาครัฐ-มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ คพพ - LED/004) โดยการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งหมดเป็นหลอด LED จึงทำให้มีหลอดฟลูออเรสเซนต์ถูกเปลี่ยนออก เนื่องจากสาเหตุที่หมดสภาพการทำงานหรือชำรุดหรือไม่ได้ใช้งานหรือการเข้าร่วมโครงการดังกล่าว ทำให้หน่วยงานภายในคณะทั้งหลายมีหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่รอการทำลายอยู่เป็นจำนวนมาก และจากการที่มีหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ประเภทชำรุดหรือหมดสภาพหรือไม่ได้ใช้งานถูกจัดเก็บในสถานที่ต่างๆ เป็นจำนวนมาก ของแต่ละหน่วยงานก็ใช้วิธีการจัดเก็บที่คล้ายคลึงกัน เช่น การเก็บรวมไว้ในถังขนาดใหญ่ หรือการเก็บรวมไว้ในลังไม้ ลังกระดาษขนาดใหญ่ ด้วยวิธีการจัดเก็บแบบนี้ทำให้มีการใช้พื้นที่จัดเก็บมาก และผู้ที่เกี่ยวข้องก็มีความกังวลต่อความปลอดภัยที่อาจเกิดอุบัติเหตุได้ เช่น กังวลการแตกของหลอดไฟ กังวลถึงการเกิดการบาดเจ็บจากคมหลอดแก้ว อื่นๆ เป็นต้น

โครงการวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ มุ่งเน้นไปที่การออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เพื่อลดขนาดพื้นที่การจัดเก็บในคณะวิทยาศาสตร์ให้ใช้เนื้อที่ให้น้อยลง เป็นสัดส่วน ดูแลรักษาสะดวกและเศษกระจกง่ายขึ้น พร้อมทั้งมีความปลอดภัยต่อคมหลอดแก้วที่อาจเกิดการบาดเจ็บต่อร่างกาย การลดพื้นที่การจัดเก็บหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ไม่ได้ใช้งานนั้นจะเป็นผลให้เกิดประโยชน์ในเรื่องการบริหารจัดการการใช้พื้นที่ ลดการเกิดอุบัติเหตุ ลดการบาดเจ็บ ลดการเสียหายของเวลาทำงานพร้อมทั้งลดการสูญเสียของเงินงบประมาณที่เกี่ยวข้องกับการรักษาพยาบาล การออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบตรง จะทำให้ปัญหาข้างต้นได้รับการแก้ไข พร้อมทั้งเกิดประโยชน์ตามที่ได้กล่าวมา อีกทั้งยังเป็นจุดเริ่มต้นให้มีการต่อยอดงานวิจัยที่จะพัฒนาเครื่องบดย่อยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์นี้ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และ/หรืออาจเป็นจุดเริ่มต้นให้เกิดวิสาหกิจขนาดย่อมในอนาคตต่อไป

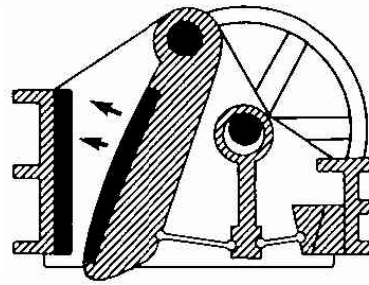
หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดเรืองแสง หรือหลอดวาแสง (อังกฤษ: fluorescent tube) หรือที่เรียกทั่วไปว่า หลอดนีออน มีส่วนประกอบหลัก (ภาพที่ 1) ได้แก่ ตัวหลอดทำด้วยแก้วบางใสกลมยาวรูปทรงกระบอก ภายในเป็นสุญญากาศหรือมีความดันต่ำ บรรจุก๊าซอาร์กอนและสารปรอท (ทั่วไปไม่เกิน 5 มิลลิกรัม) ที่ปลายขั้วหลอดทั้งสองด้าน ด้านนอกจะมีฉนวนป้องกันและมีขาใส่หลอดเพื่อต่อกับวงจรอุปกรณ์ต่อเนื่อง ภายในแต่ละด้านจะมีไส้หลอดที่อาบน้ำยาเพื่อปล่อยพลังงานไฟฟ้าให้เป็นประจุอิเล็กตรอนได้ง่ายทั้งนี้เรียกว่า ขั้วอิเล็กโทรด เมื่อระบบปล่อยประจุอิเล็กตรอน จะกระตุ้นให้อนุภาคปรอทปล่อยรังสีเหนือม่วงออกมา เมื่อรังสีนี้กระทบกับสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ด้านในตัวหลอดสารเรืองแสงจะเปล่งแสงสว่างที่มองเห็นได้ ออกมา และเนื่องจากไม่ได้เปล่งแสงโดยอาศัยความร้อน จึงมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่าหลอดไส้ การใช้งานปกติจะติดตั้งคู่กับบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะต้องมีการอุ่นไส้ให้หลอดร้อน และใช้แรงดันไฟฟ้าสูงในการจุดหลอดให้ติดในตอนแรก

การลดขนาด (Comminution) มีจุดประสงค์ 2 ประการ คือ เพื่อทำช่วงขนาดวัสดุที่ต้องการและทำให้วัสดุแยกออกจากกัน การลดขนาด เป็นกระบวนการที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การแต่งแร่ หลักของการลดขนาดมีการพิจารณาในเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อให้เกิดความรู้ที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับกลไกที่เกิดขึ้นในการลดขนาด ในกระบวนการลดขนาด จะใช้เครื่องบดเป็นอุปกรณ์ดำเนินการโดยมีส่วนประกอบหลัก (ภาพที่ 2) ได้แก่ แท่งเหล็กที่อยู่กับที่และแท่งเหล็กเคลื่อนที่ทำหน้าที่ในการบด โดยก้อนของแข็งมักจะถูกบดเป็นชิ้นโดยให้กระทบกับตัวกลางการบด (grinding medis) ซึ่งอาจเป็นลูกเหล็กกล้า หรือแท่งเหล็กกล้า หรือให้กระทบกันระหว่างวัสดุด้วยกันเอง ในขณะที่ขนาดวัสดุเล็กลงและจำนวนชิ้นวัสดุเพิ่มขึ้นจำนวนครั้งการชนต่อหน่วยมวลจึงต้องเพิ่มขึ้น เพื่อให้เกิดการลดขนาดต่อไปได้ หากต้องการวัสดุขนาดเล็ก วัสดุต้องอยู่ในเครื่องเป็นเวลานาน และต้องมีจำนวนครั้งในการชนกันของวัสดุสูง ในภาคอุตสาหกรรมการลดขนาดจึงมีหลายขั้นตอน อย่างน้อย 3 ขั้นตอน

ได้แก่ การบดหยาบ (50-250 มิลลิเมตร) การบดชั้นกลาง (25-75 มิลลิเมตร) การบดละเอียด (5-15 มิลลิเมตร) (ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม, 2560)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบหลอดฟลูออเรสเซนต์



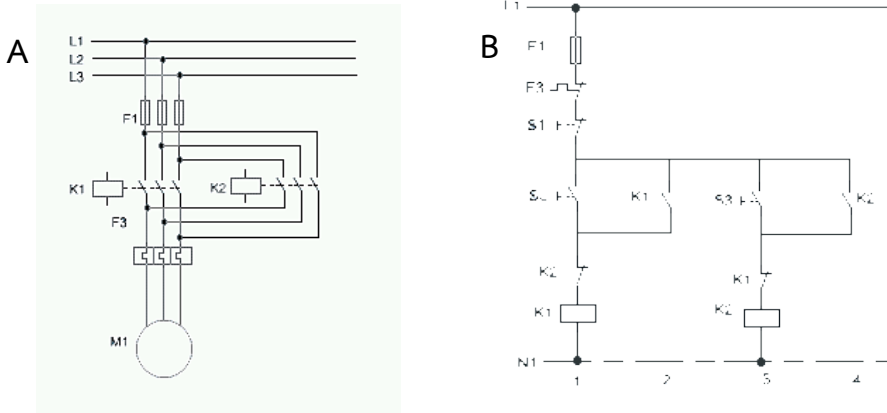
ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบเครื่องบดวัสดุ

แก้ว หมายถึง วัสดุแข็งที่มีรูปลักษณะอยู่ตัว และเป็นเนื้อเดียว โดยปกติแล้วเกิดจากการเย็นตัวลงอย่างฉับพลันของวัสดุหลอมหนืด ซึ่งทำให้การแข็งตัวนั้นไม่ก่อผลึก ตัวอย่างเช่น น้ำตาลซึ่งหลอมละลายและถูกทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็ว อาจด้วยการหยดลงบนผิวเย็น น้ำตาลที่แข็งตัวนี้จะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว ไม่แสดงให้เห็นถึงลักษณะที่เป็นผลึก ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรอยแตกหักซึ่งมีลักษณะละเอียด (conchoidal fracture) แก้วที่จะกล่าวถึงในบทความนี้จะหมายถึง เฉพาะแก้วที่ทำจากซิลิกา (silica)

เนื้อแก้วบริสุทธิ์นั้น จะโปร่งใส ผิวค่อนข้างแข็ง ยากแก่การกัดกร่อน เฉื่อยต่อปฏิกิริยาทางเคมี และชีวภาพ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ทำให้แก้วนั้นมีประโยชน์ใช้งานอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามแก้วนั้นถึงแม้จะแข็ง แต่ก็เปราะแตกหักง่าย และมีรอยแตกที่ละเอียดคม คุณสมบัติของแก้วนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายด้วยการผสมสารอื่นลงในเนื้อแก้ว หรือการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อน แก้วโดยทั่วไปนั้นทำจาก ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂-silicon dioxide) ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมีใน แร่ควอตซ์ (quartz) หรือในรูป polycrystalline ของทรายซิลิกาบริสุทธิ์ มีจุดหลอมเหลวที่ 2,000°C (3,632°F) เพื่อความสะดวกในการกระบวนการผลิต จะมีการผสมสาร 2 ชนิดลงไปด้วย ชนิดแรก คือ โซดาแอส (Soda Ash) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate-Na₂CO₃) หรือสารประกอบโปตัสเซียม เช่น โปตัสเซียมคาร์บอเนต เพื่อช่วยให้อุณหภูมิในการหลอมเหลวนั้นต่ำลงอยู่ที่ประมาณ 1,000-1,500°C แต่อย่างไรก็ตามสารนี้จะส่งผลข้างเคียงทำให้แก้วนั้นละลายน้ำได้ จึงต้องมีการเติมสารอีกชนิด คือ หินปูน ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate-CaCO₃) (เมื่ออยู่ในเนื้อแก้ว จะกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์; calcium oxide-CaO) เพื่อทำให้แก้วนั้นไม่ละลายน้ำ องค์ประกอบของแก้วที่ใช้ทำภาชนะใช้งานโดยทั่วไป เช่น แก้วน้ำ หรือกระจกใส จะมีองค์ประกอบของ SiO₂, Na₂O และ CaO เท่ากับ 70, 15 และ 8% โดยประมาณ

การควบคุมมอเตอร์ การนำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับทั้งชนิด 1 เฟส และ 3 เฟสไปใช้งานจะต้องมีการต่อวงจรไฟฟ้าที่ถูกต้องเพื่อให้มอเตอร์ทำงานได้อย่างปลอดภัย วงจรการควบคุมมอเตอร์ (ภาพที่3) จึงมีความสำคัญ เพราะจะต้องประกอบไปด้วย อุปกรณ์ควบคุม คอนแท็คเตอร์ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน และอื่นๆ

การกลับทางหมุนมอเตอร์ 3 เฟส (ประปาไทยดอทคอม, 2554) หลักการกลับทางหมุนมอเตอร์นั้นสามารถทำได้โดยการสลับปลายสายสองในสามสายของขดลวดสเตเตอร์ ผลคือ การเรียงลำดับเฟสจากปกติที่เรียงลำดับเฟสตามปกติ ซึ่งทำให้สนามแม่เหล็กหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา จนเมื่อทำการสลับปลายสายสองในสามสายของขดลวดสเตเตอร์ จะทำให้การเรียงลำดับเฟสเปลี่ยนแปลงไปที่ทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนจะเปลี่ยนแปลงไปด้วยในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เป็นผลให้มอเตอร์สามเฟสหมุนกลับทิศทางได้นั่นเอง การกลับทางหมุนมอเตอร์สามเฟส ผู้ที่ใช้งานต้องเลือกสตาร์ทมอเตอร์หมุนไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งก่อน หากมีความประสงค์จะกลับทางหมุนมอเตอร์ ต้องหยุดมอเตอร์ก่อนเสมอ แล้วจึงกลับทางหมุนมอเตอร์หลังจากหยุดทุกครั้ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้มอเตอร์เกิดการกระชากจากโหลดที่อาจสร้างความเสียหายทางกลและกระแสสตาร์ทสูง



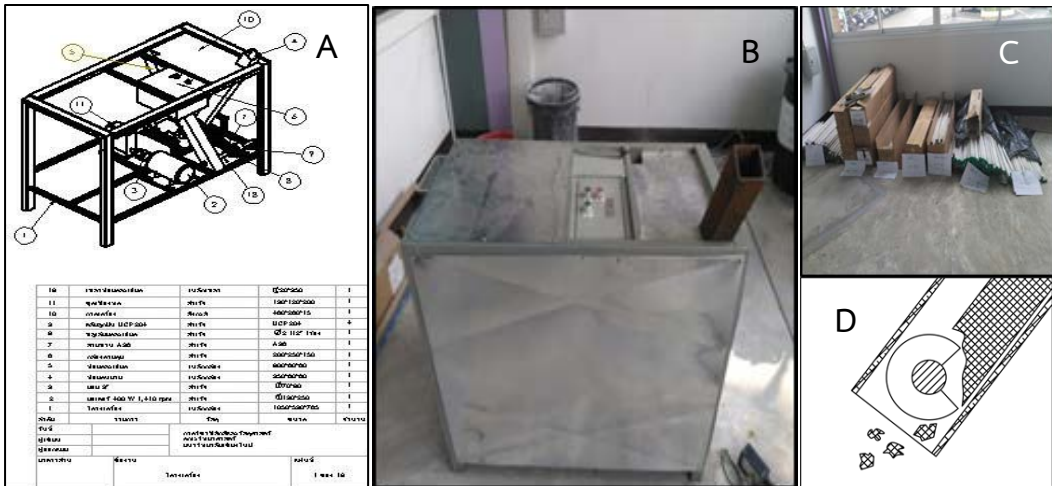
ภาพที่ 3 วงจรกำลัง (A) และวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า (B)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบตรงที่ใช้งานได้จริง
2. ลดพื้นที่การจัดเก็บหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่หมดสภาพต่อการใช้งานในคณะวิทยาศาสตร์

ระเบียบวิธีวิจัย

การออกแบบ (ภาพที่ 4A) และสร้างเครื่องบดย่อยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบตรง (ภาพที่ 4B) เริ่มจากการออกแบบเครื่องบดย่อยจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SolidWORK จากนั้นสร้างเครื่องบดย่อยตามแบบของอนันต์ (2527, 2533) โดยการทดลองประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยได้จากการหาร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ลดลง และการหาร้อยละของเวลาที่ใช้ในการทำงานเทียบกับเวลาทำงานในหนึ่งวัน ทั้งนี้การเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มจากการเก็บรวบรวมหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรงจากหน่วยงานต่างๆ ภายในคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากนั้นบันทึกข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ แหล่งที่มา จำนวน ประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์ และคำนวณหาปริมาตรก่อนบดย่อย (ภาพที่ 4C) โดยขณะที่ทำการบดย่อยโดยเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรงก็ทำการเก็บข้อมูลเรื่องเวลาในการบดย่อยของแต่ละสถานะ คือ บดหยาบและบดละเอียด เมื่อทำการบดย่อยเสร็จจึงทำการคำนวณหาปริมาตรที่ลดลง และทำการเปรียบเทียบเพื่อหาร้อยละการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาตรและเวลาในการทำงาน



ภาพที่ 4 การออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบตรง, A: การออกแบบเครื่องบดย่อย, B: แสดงเครื่องบดย่อย, C: ภาพก่อนบดย่อย, D: การทำงานของเครื่องบดย่อย

การทำงานของเครื่องบดย่อยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

เครื่องบดย่อยหลอดไฟนี้ ใช้วิธีการบดด้วยลูกบดหยาบและละเอียด (ภาพที่ 4D) มีลักษณะการทำงานเริ่มต้นจากการบรรจุหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบตรงเข้าที่อบบดหยาบ จากนั้นกดปุ่มสวิตช์เพื่อให้มอเตอร์ทำงานหมุนด้านใดด้านหนึ่งก่อน ลูกบดหยาบจะทำการบด/บดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ให้แตก ส่วนที่แตกจะตกลงสู่ถาดรองเศษแก้วเบื้องล่าง ส่วนหลอดไฟที่เหลือจะรอรับการหมุนของลูกบดหยาบในรอบการบดต่อไป เมื่ออบบดหลอดไฟจนได้เศษแก้วร่วงลงสู่ถาดเบื้องล่างหมดแล้ว จึงนำกลับมาบรรจุเข้าที่ที่อบละเอียดเพื่อลดขนาดเศษแก้วให้มีขนาดเล็กลง โดยการทำงานจะมีลักษณะเหมือนกับการบดหยาบเพียงแต่ลูกบดมีลักษณะที่แตกต่างกัน

หากว่าการบดทั้งหยาบและละเอียดเมื่อหมุนทางใดทางหนึ่งเกิดการติดขัดระหว่างการหมุนของมอเตอร์ เครื่องสามารถกลับทางหมุนมอเตอร์เพื่อให้การบดเกิดความต่อเนื่องในระหว่างทำงานและหากว่าเกิดการรั่วกระเด็นในระบบวงจรควบคุม มอเตอร์จะตัดการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายของมอเตอร์ต้นกำลัง อีกทั้งหากว่าการติดขัดนั้น เกินกำลังของมอเตอร์ที่จะหมุนทำงานได้ ตัวเครื่องยังสามารถหมุนเพลาลูกบดหยาบหรือละเอียดด้วยมือหมุน เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในท่อนบดทั้งสอง

การจัดการด้านความปลอดภัยก่อนบดย่อย

เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นอุปกรณ์ส่องสว่างที่มีส่วนประกอบของโลหะหนักและสารเคมีบางประเภทบรรจุภายใน เช่น สารปรอท สารฟลูออเรสเซนต์ จึงต้องคำนึงถึงความปลอดภัยที่อาจทำให้เกิดการเป็นอันตรายต่อผู้ทำงานและสิ่งแวดล้อม การจัดการด้านความปลอดภัยก่อนการบดย่อยได้แก่ การออกแบบเครื่องบดย่อยให้เป็นระบบปิดมากที่สุดโดยการออกแบบให้ท่อนบดทั้งสองมีขนาดใหญ่กว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่เกิน 1.5 เท่า มีช่องทางเข้าและออกของวัสดุเท่านั้น กำหนดให้รอบการทำงานที่ต่ำ (65 รอบ/นาที และ 75 รอบ/นาที) พร้อมทั้งทำฝาครอบเครื่องทุกด้านเพื่อควบคุมการกระจายของฝุ่นน้อยที่สุด อีกทั้งจัดพื้นที่ทำงานในสถานที่ปิด โถง โปรง (ภาพที่ 5A) พื้นเป็นคอนกรีต และควบคุมอากาศภายในบริเวณทำงาน

การจัดการด้านความปลอดภัยขณะบดย่อย

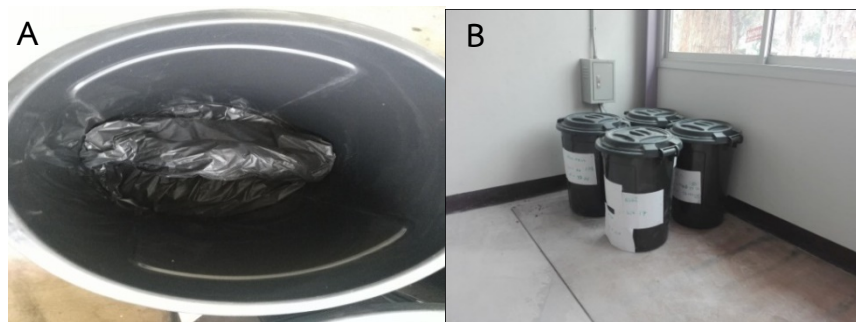
ในขณะที่ปฏิบัติงานบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ผู้ปฏิบัติงานแต่งตัวอย่างมิดชิด รััดกุม (ภาพที่ 5B, C) ได้แก่ สวมรองเท้าบูทสูงถึงเข่า ชุดสวมใส่ด้านนอกเป็นแบบขึ้นเดียวตั้งแต่คอถึงข้อเท้า แขนเสื้อยาว มีแถบรัดข้อมือและข้อเท้า ขากางเกงสวมเข้าในรองเท้าบูท สวมถุงมือยางเป็นภายในและถุงมือผ้าภายนอก สวมแว่นตานิรภัย และสวมหมวกคลุมผม การปฏิบัติงานในการบดย่อยใช้เวลาประมาณ 30 นาทีและพักการทำงานไม่น้อยกว่า 30 นาทีต่อรอบการทำงาน



ภาพที่ 5 การจัดการด้านความปลอดภัย, A: จัดพื้นที่ทำงานเป็นสถานที่ปิด โปรง โถง และปิดคลุมเครื่องบดย่อยทุกด้าน, B: ชุดปฏิบัติงาน, C: ขณะปฏิบัติงาน

การจัดการด้านความปลอดภัยหลังการบดย่อย

เมื่อดำเนินการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จัดให้มีการจัดเก็บในที่มิดชิดเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารเคมีและโลหะหนักที่อาจปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ จัดเก็บในถุงดำแบบหนาพิเศษ บรรจุในถังพลาสติกสีดำพร้อมปิดฝามิดชิด วางบนพื้นคอนกรีตรองพื้นถังพลาสติกด้วยแผ่นไม้อีกหนึ่งชั้น จัดวางในสถานที่ปิด โถง แห้งและไม่อับชื้น (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การจัดการด้านความปลอดภัยหลังการบดย่อย, A: จัดเก็บในถุงดำและถัง, B: พื้นคอนกรีต รองพื้นด้วยแผ่นไม้ก่อนวางถังพลาสติก

ผลการวิจัย

ในการทดลองเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่อยู่ในสภาพหมดการใช้งานหรือไม่สามารถใช้งานได้ทำการบดย่อย โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรงขนาดยาว (120 เซนติเมตร) และขนาดคอมแพค (60 เซนติเมตร) โดยหาค่าความเปลี่ยนแปลงของปริมาตรก่อนบดจากจำนวนของแหล่งที่มาของหลอดฟลูออเรสเซนต์ต่างๆ เทียบกับปริมาตรหลังบดละเอียด และหาค่าเวลาที่ใช้ในการบดหยาบและบดละเอียดเพื่อหาประสิทธิภาพเครื่อง โดยผลการทดสอบเป็นดังนี้

ตารางที่ 1 ประเภท จำนวน และปริมาตรของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งก่อนบดและหลังบดแยกตามรายภาควิชา

ภาควิชา	จำนวนหลอด		ปริมาตรรวม (ลบ.ซม)		ปริมาตรรวม (ลบ.ซม)	
	หลอดยาว	หลอดสั้น	หลอดยาว	หลอดสั้น	ก่อนบด	หลังบด
ชีววิทยา	165	30	101,119.59	9,192.69	110,312.28	28,655.63
คณิตศาสตร์	250	21	153,211.50	6,434.88	159,646.38	42,140.63
ธรณีวิทยา	17	0	10,418.38	0	10,418.38	2,697.00
คอมพิวเตอร์	20	0	12,256.92	0	12,256.92	3,371.25
ฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์	254	102	155,662.88	13,255.15	168,918.03	53,265.75
สำนักงานคณะ	322	68	197,336.41	20,836.70	218,173.21	67,425
เคมี	36	5	22,062.46	1,532.12	23,594.58	7,248.19
รวม	1,064	226	652,068.14	69,251.60	721,319.74	204,803.44

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรทำโดยการนำข้อมูลปริมาตรรวมของหลอดฟลูออเรสเซนต์ก่อนบดเปรียบเทียบกับปริมาตรรวมหลังบดละเอียด (ตารางที่ 1) ทำให้ทราบถึงปริมาตรหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียด โดยภาควิชาชีววิทยามีหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 165 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 30 หลอด คิดปริมาตรรวมก่อนบดได้ เท่ากับ 110,312.28 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียดแล้วทำให้เหลือปริมาตร เท่ากับ 28,655.625 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงลดลง เท่ากับ 81,656.655 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลดลง 74.02%

ภาควิชาคณิตศาสตร์ มีหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 250 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 21 หลอด คิดปริมาตรรวมก่อนบดได้ เท่ากับ 159,646.38 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียดแล้วทำให้เหลือปริมาตร เท่ากับ 42,140.625 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงลดลง เท่ากับ 117,505.755 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลดลง 73.60%

ภาควิชาธรณีวิทยา มีหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 17 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 0 หลอด คิดปริมาตรรวมก่อนบดได้ เท่ากับ 10,418.38 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียดแล้วทำให้เหลือปริมาตร เท่ากับ 2,697.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงลดลง เท่ากับ 7,721.38 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลดลง 74.11%

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ มีหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 20 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 0 หลอด คิดปริมาตรรวมก่อนบดได้ เท่ากับ 12,256.92 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียดแล้วทำให้เหลือปริมาตร เท่ากับ 3,371.25 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงลดลง เท่ากับ 8,885.67 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลดลง 72.49%

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มีหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 254 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 102 หลอด คิดปริมาตรรวมก่อนบดได้เท่ากับ 168,918.03 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียดแล้วทำให้เหลือปริมาตร เท่ากับ 53,265.75 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงลดลง เท่ากับ 115,652.28 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลดลง 68.46%

สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มีหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 322 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 68 หลอด คิดปริมาตรรวมก่อนบดได้ เท่ากับ 218,173.21 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียดแล้วทำให้เหลือปริมาตร เท่ากับ 67,425 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงลดลง เท่ากับ 150,748.21 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลดลง 69.1%

ภาควิชาเคมีมีหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 36 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 15 หลอด คิดปริมาตรรวมก่อนบดได้ เท่ากับ 23,294.58 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียดแล้วทำให้เหลือปริมาตร เท่ากับ 7,248.19 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงลดลง เท่ากับ 16,346.16 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลดลง 69.28%

หากคิดจำนวนรวมทุกหน่วยงานแล้ว จะมีหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 1,064 หลอด และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 226 หลอด คิดปริมาตรรวมก่อนบดได้ เท่ากับ 721,319.74 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อทำการบดย่อยแบบละเอียดแล้วทำให้เหลือปริมาตร เท่ากับ 204,803.44 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงลดลง เท่ากับ 516,516.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลดลง 71.61%

ตารางที่ 2 จำนวน และเวลาในการบดหลอดฟลูออเรสเซนต์แยกตามรายภาควิชา

ภาควิชา	จำนวนหลอดรวม	เวลาในการบดหยาบ (นาที)	เวลาในการบดละเอียด (นาที)	เวลาเฉลี่ยบดหยาบ (นาที/หลอด)	เวลาเฉลี่ยบดละเอียด (นาที/หลอด)
ชีววิทยา	195	232	252	1.19	1.29
คณิตศาสตร์	271	238	366	0.87	1.35
ธรณีวิทยา	17	24	20	1.41	1.17
คอมพิวเตอร์	20	18	27	0.9	1.35
ฟิสิกส์	356	307	573	0.86	1.68
สำนักงานคณะ	390	433	666	1.11	1.71
เคมี	41	41	72	1.0	1.75
รวม	1,290	1,293	1,976	1.05	1.47

การหาประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยทำได้จากการนำข้อมูลจำนวนหลอดเปรียบเทียบกับเวลาในการบดหยาบและบดละเอียด (ตารางที่ 2) ทำให้ทราบถึงเวลาที่ใช้บดหยาบและบดละเอียดหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั้งแบบยาวและแบบคอมแพค โดยภาควิชาชีววิทยาใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 165 หลอด เท่ากับ 203 นาที ใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 228 นาที และใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 30 หลอด เท่ากับ 29 นาที ใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 25 นาที หากคิดเวลาที่ใช้ในการบดหยาบทั้งหลอดยาวและหลอดคอมแพคจะมีเวลารวมเท่ากับ 232 นาที และใช้เวลาบดละเอียด เท่ากับ 252 นาที เฉลี่ยเวลาในการบดหยาบเท่ากับ 1.19 นาที/หลอด และเฉลี่ยเวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 1.29 นาที/หลอด

ภาควิชาคณิตศาสตร์ ใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 250 หลอด เท่ากับ 218 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียด เท่ากับ 350 นาที และใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 21 หลอด เท่ากับ 20 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียด เท่ากับ 16 นาที หากคิดเวลาที่ใช้ในการบดหยาบทั้งหลอดยาวและหลอดคอมแพคจะมีเวลารวมเท่ากับ 271 นาที และใช้เวลาบดละเอียด



เท่ากับ 370 นาที เฉลี่ยเวลาในการบดหยาบเท่ากับ 0.80 นาที/หลอด และเฉลี่ยเวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 1.36 นาที/หลอด

ภาควิศวกรรมวิทยา ใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 17 หลอด เท่ากับ 24 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียด เท่ากับ 20 นาที และใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 0 หลอด เท่ากับ 0 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 0 นาที หากคิดเวลาที่ใช้ในการบดหยาบทั้งหลอดยาวและหลอดคอมแพคจะมีเวลารวมเท่ากับ 24 นาที และใช้เวลารวมในการบดละเอียดเท่ากับ 20 นาที เฉลี่ยเวลาในการบดหยาบ เท่ากับ 1.41 นาที/หลอด และเฉลี่ยเวลาในการบดละเอียด เท่ากับ 1.18 นาที/หลอด

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ ใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 20 หลอด เท่ากับ 18 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียด เท่ากับ 27 นาที และใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 0 หลอด เท่ากับ 0 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 0 นาที หากคิดเวลาที่ใช้ในการบดหยาบทั้งหลอดยาวและหลอดคอมแพคจะมีเวลารวมเท่ากับ 18 นาที และใช้เวลารวมในการบดละเอียดเท่ากับ 27 นาที เฉลี่ยเวลาในการบดหยาบเท่ากับ 0.9 นาที/หลอด และเฉลี่ยเวลาในการบดละเอียด เท่ากับ 1.35 นาที/หลอด

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ ใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 254 หลอด เท่ากับ 178 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 396 นาที และใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 102 หลอด เท่ากับ 129 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 204 นาที หากคิดเวลาที่ใช้ในการบดหยาบทั้งหลอดยาวและหลอดคอมแพคจะมีเวลารวมเท่ากับ 307 นาที และใช้เวลารวมในการบดละเอียดเท่ากับ 600 นาที เฉลี่ยเวลาในการบดหยาบเท่ากับ 0.86 นาที/หลอด และเฉลี่ยเวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 1.68 นาที/หลอด

สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ ใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 322 หลอด เท่ากับ 382 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 598 นาที และใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 68 หลอด เท่ากับ 51 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 68 นาที หากคิดเวลาที่ใช้ในการบดหยาบทั้งหลอดยาวและหลอดคอมแพคจะมีเวลารวมเท่ากับ 433 นาที และใช้เวลารวมในการบดละเอียดเท่ากับ 666 นาที เฉลี่ยเวลาในการบดหยาบเท่ากับ 1.11 นาที/หลอด และเฉลี่ยเวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 1.71 นาที/หลอด

ภาควิชาเคมี ใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบยาวจำนวน 36 หลอด เท่ากับ 34 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 65 นาที และใช้เวลาในการบดหยาบหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบคอมแพคจำนวน 5 หลอด เท่ากับ 7 นาที โดยใช้เวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 7 นาที หากคิดเวลาที่ใช้ในการบดหยาบทั้งหลอดยาวและหลอดคอมแพคจะมีเวลารวมเท่ากับ 41 นาที และใช้เวลารวมในการบดละเอียดเท่ากับ 72 นาที เฉลี่ยเวลาในการบดหยาบเท่ากับ 1 นาที/หลอด และเฉลี่ยเวลาในการบดละเอียดเท่ากับ 1.75 นาที/หลอด

ข้อมูลประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยเมื่อเทียบกับเวลาเฉลี่ยรวม จะพบว่าเวลาเฉลี่ยในการบดหยาบทั้งหมดจะเท่ากับ 1.05 นาที/หลอด และเวลาเฉลี่ยในการบดละเอียดทั้งหมดจะเท่ากับ 1.47 นาที/หลอด หากว่าในหนึ่งวันทำงานมีเวลาทำงานเท่ากับ 480 นาที เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรงเครื่องนี้ จะมีความสามารถในการบดย่อยแบบหยาบได้ประมาณ 457 หลอดต่อวัน และสามารถบดละเอียดได้ประมาณ 326 หลอดต่อวัน

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและการทดสอบเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรง ซึ่งใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดความยาว 120 เซนติเมตร และความยาว 60 เซนติเมตร เป็นวัสดุทดสอบ ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ปริมาตรหลอดฟลูออเรสเซนต์หลังบดละเอียดเมื่อเทียบกับปริมาตรก่อนบดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเป็นเท่าใด และประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยมีกำลังการผลิตเป็นเท่าใดเมื่อเทียบกับเวลาทำงานในหนึ่งวัน สรุปผลได้ดังนี้

ปริมาตรหลอดฟลูออเรสเซนต์หลังบดละเอียด เมื่อผ่านการบดที่ได้กำลังงานจากมอเตอร์ขนาด 400 วัตต์ ขนาดความเร็วรอบเริ่มต้นที่ 1,410 รอบต่อนาที ผ่านชุดเฟืองทดในอัตราทดเท่ากับ 30:1 ปรึบลดความเร็วรอบในการบดละเอียดเหลือที่ 75 รอบต่อนาที มีความสามารถบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์จากปริมาตรก่อนบดรวมที่ 721,319.74 ลูกบาศก์เซนติเมตร มาอยู่ที่ 204,803.44 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้ปริมาตรลดลงถึง 516,516.3 เซนติเมตร หรือ 71.61 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่าจากเดิมที่ต้องใช้พื้นที่จัดเก็บหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ไม่ได้ใช้งาน 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผ่านการบดย่อยแบบละเอียดด้วยเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรงแล้วจะใช้พื้นที่จัดเก็บหลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาในการบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบหยาบ จะใช้เวลาระหว่าง 0.87 – 1.41 นาที/หลอด และระยะเวลาในการบดย่อยแบบละเอียด จะใช้เวลาระหว่าง 1.17 – 1.75 นาที/หลอด เมื่อคิดเวลาเฉลี่ยในการบดหยาบทั้งหมดจะเท่ากับ 1.05 นาที/หลอด และเวลาเฉลี่ยในการบดละเอียดทั้งหมดจะเท่ากับ 1.47 นาที/หลอด หากว่าในหนึ่งวันทำงานมีเวลาทำงานเท่ากับ 480 นาที เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรงเครื่องนี้จะมีความสามารถในการบดย่อยแบบหยาบได้ประมาณ 457 หลอดต่อวัน และสามารถบดละเอียดได้ประมาณ 326 หลอดต่อวัน

ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้มีข้อแตกต่างจากงานวิจัยของสมศักดิ์ และคณะ (2552) ที่ได้ศึกษาเรื่องเครื่องกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ระบบปิด มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งพบว่าเครื่องกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ระบบปิดดังกล่าวนั้นมีจุดเด่น คือใช้งานง่ายและสามารถเปลี่ยนถังบรรจุได้ โดยตัวชุดบดย่อยอาจมีการใช้งานนาน มีการเปลี่ยนแปลงถึงซึ่งราคาถูก มีอัตราการบดย่อยอยู่ที่ 4-6 หลอดต่อนาที ขณะที่จุดด้อยคือจะต้องนำขี้หลอดอลูมิเนียมออกก่อนที่จะทำการบดย่อย ขณะที่ชัยฤกษ์ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาระบบบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท ผลการศึกษาพบว่าสามารถบดหลอดไฟขนาด 18 และ 36 วัตต์ ได้นาทีละ 7-9 หลอด มีความละเอียดขนาดไม่เกิน 1 ตารางเซนติเมตร และสามารถลดการรั่วไหลของสารปรอทสู่ชั้นบรรยากาศไม่เกิน 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีถังพลาสติกขนาด 230 ลิตร เป็นถังบรรจุ และมีล้อเข็นสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาาระบบส่งกำลังเป็นแบบชุดเฟืองหรือชุดโซ่ส่งกำลังเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน
2. ควรมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงอุตสาหกรรมทางเศรษฐศาสตร์
3. ควรมีการวิจัยต่อยอดเศษแก้วที่ผ่านการบดย่อยเพื่อประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม

สรุป

จากการออกแบบและสร้างพร้อมทั้งทดลองเครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบตรง พบว่า เครื่องสามารถบดย่อยได้จริงทั้งแบบบดหยาบและบดละเอียด มีการใช้ชุดเฟืองทดเพื่อลดรอบการทำงานเพื่อให้เกิดฝุ่นน้อยที่สุด พร้อมทั้งออกแบบและสร้างเครื่องบดย่อยให้มีฝาครอบเครื่องทุกด้าน สามารถกลับทิศทางการหมุนลูกบดได้ ชุดควบคุมระบบไฟฟ้ามีอุปกรณ์ป้องกันการรับภาระเกิน (Overload) ทำให้ปริมาตรหลอดฟลูออเรสเซนต์ลดลงจากเดิมถึง 71.61 เปอร์เซ็นต์ อันเป็นผลให้ลดพื้นที่จัดเก็บหลอดฟลูออเรสเซนต์เหลือเพียง 1 ใน 3 เท่านั้น สำหรับประสิทธิภาพเครื่องบดย่อยมีความสามารถในการบดย่อยได้ถึงวันละ 457 และ 326 หลอดต่อวัน ต่อการบดหยาบและการบดละเอียดตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยประจำปี 2561 ภาควิชาชีววิทยา ภาควิชาเคมี ภาควิชาธรณี ภาควิชาคณิตศาสตร์ ภาควิชาสถิติ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม สำนักงานคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนวัสดุเพื่อการทดสอบ และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ที่สนับสนุนสถานที่ วัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ เครื่องจักรเพื่อการออกแบบและจัดสร้างพร้อมทั้งวัสดุเพื่อการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- ชัยฤกษ์ ถาวรเจริญ ฌเรศ สุวรรณเขตร์ และไพฑูริย์ เพชรี่. 2554. เครื่องบดย่อยหลอดฟลูออเรสเซนต์ด้วยการควบคุมการแพร่กระจายของสารปรอท. ปรินูญานินพนธ์หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต, กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ประปาไทยดอทคอม. 2554. การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ตอนที่ 3. [Online]. Available: 202.129.73/th/motor10-52/motor20.htm. (สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2560).
- ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม. 2560. การลดขนาด. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. จาก www.inc.science-cmu.ac.th/thai/upload/article/file/16-01-06-b6910.pdf. (สืบค้นเมื่อ 12 ตุลาคม 2560).
- สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์ วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ และ วรวิทย์ อินทร์ชม. 2552. เครื่องกำจัดหลอดฟลูออเรสเซนต์ระบบปิด. สมาคมศิษย์เก่าคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. [Online]. Available: <https://home.kku.ac.th/phkkualumni/index.php>. (สืบค้นเมื่อ มกราคม 2562).
- อนันต์ วงศ์กระจ่าง. 2533. ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. 380 หน้า
- อนันต์ วงศ์กระจ่าง และคณะ. 2527. เพลงและการผลิตเพลง. โรงพิมพ์ศรีสยาม.