

การพัฒนาเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 Development of Injection Bottle Shaker Version 3

จินตนา อำนาคิติกอร์^{1*} และพงษ์สวัสดิ์ อำนาคิติกอร์²

Jintana Amnartkitikorn^{1*} and Pongsawat mnartkitikorn²

^{1*,2}คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

119 ถ.ลำปาง-แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100 โทร. 08 9759 2752 e-mail amnart.jin@gmail.com

^{1*,2} Faculty of Industrial Technology, Lampang rajabhat University 119 Lamppang-Maetha Road, chomphu Meung, Lampang 52100 Thailand

วันที่รับบทความ 10 กุมภาพันธ์ 2565

วันที่รับแก้ไขบทความ 26 กันยายน 2565

วันที่ตอบรับบทความ 26 ตุลาคม 2565

Received: Feb. 10, 2022

Revised: Sep. 26, 2022

Accepted: Oct. 26, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยการพัฒนาเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 มีวัตถุประสงค์คือ 1) ศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่นต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 2) ออกแบบและสร้างเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 ที่สามารถลดปัญหาและข้อบกพร่องของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่นต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 และ 3) ประเมินคุณภาพเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน พบว่า เครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 มีอัตราการเขย่าขวดยาฉีดเฉลี่ย 268 และ 305 ครั้งต่อนาที และจากการทดสอบการเขย่าขวดยาฉีด จำนวน 25 ครั้ง พบว่า เครื่องสามารถเขย่าขวดยาฉีดให้ผงตัวยาละลายได้ ในเวลาต่ำสุด 1 นาที คิดเป็นร้อยละ 4 ในเวลา 2 นาที ร้อยละ 50, 3 นาที ร้อยละ 36 และในเวลามากสุด 4 นาที ร้อยละ 12 และมีค่าระดับความดังของเสียงขณะทำงาน 60.17 และ 61.68 dB (A) ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมสูงกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่นต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2

คำสำคัญ: การพัฒนา, เครื่องเขย่า, ยาฉีด

Abstract

The purposes of this research were: 1) to study and analyze the problems that arise from use of the injection shaker prototype and the Injection Bottle Shaker version 2; 2) to design and construct the Injection Bottle Shaker version 3, which can reduce the problems and defects of the injection shaker prototype and the Injection Bottle Shaker version 2; and 3) to evaluate the efficiency of the Injection Bottle Shaker version 3. The results of the efficiency test showed that the Injection Bottle Shaker version 3 had average shaking rates of 268 and 305 times per minute. The results of shaking the injection bottle 25 times showed that the device was able to shake the injection bottle to dissolve the powder in a minimum time of 1 minute (4%), 2 minutes (50%), 3 minutes (36%), and in a maximum time of 4 minutes (12%). It had an operating noise level of 60.17 and 61.68 dBA, which meant the overall performance was higher

compared to the injection shaker prototype and the Injection Bottle Shaker version 2.

Keywords: development, shaker, injection drug

1. บทนำ

Tubtimpadit, J. (2011) พยาบาลวิชาชีพ โรงพยาบาลลำปางให้ข้อมูลไว้ว่า ขั้นตอนการเตรียมยาฉีดชนิดผงผสมน้ำสำหรับผู้ป่วยจำนวนมากแต่ละครั้งต้องใช้เวลาเกินกว่า 30 นาทีถึง 1 ชั่วโมง เนื่องจากยาบางตัวละลายยาก ผู้เตรียมยาไม่สามารถจะเขย่าอย่างต่อเนื่องได้เพื่อให้ผงยาละลายได้หมดในเวลาเดียวกัน ซึ่งตนเองได้พยายามจัดหาอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้ในการเขย่าขวดยาฉีดแทนการเขย่าด้วยมือ แต่พบว่าไม่มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือดังกล่าวจำหน่าย จะมีเพียงเครื่องเขย่าสาร (Shaker) ซึ่งใช้ในการเขย่าสารละลายและไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเขย่ายาฉีดชนิดผงผสมน้ำได้ Amnartkitikorn, J., Yumon, P. and Chaireung, K. (2012) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ สำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดลำปาง โดยใช้มอเตอร์เกียร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์เป็นต้นกำลัง สามารถเขย่าขวดยาฉีดต่อครั้งได้ 19 ขวด พบว่า เครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบสามารถช่วยลดเวลาของพยาบาล ในการเตรียมยาได้ แต่จากนำไปใช้งานในสภาพจริงที่มีการเตรียมยาจำนวนมาก และมีการใช้งานเครื่องอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน มักพบปัญหามอเตอร์ต้นกำลังเกิดความร้อนสะสมสูงและเกิดการลัดวงจรของขดลวดมอเตอร์ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์ลดลงหรือชำรุดจนไม่สามารถใช้งานได้บ่อยครั้ง Amnartkitikorn, J. and Amnartkitikorn, P. (2013) ได้พัฒนาเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 สำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดลำปาง โดยเพิ่มขนาดกำลังของมอเตอร์ต้นกำลังมากขึ้น เพื่อลดภาระการทำงานของมอเตอร์และลดค่าความร้อนสะสมที่ขดลวดมอเตอร์ และปรับเปลี่ยนรูปแบบการส่งกำลังในการเขย่าด้วยระบบเพลาคอเหวี่ยงแนวนอนเป็นแนวตั้ง เพื่อลดพื้นที่ในการติดตั้ง และเพื่อลดระดับเสียงการทำงานของเครื่องให้ต่ำลง

เครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ได้นำไปติดตั้งใช้งานทดแทนเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ ณ แผนกอายุรกรรมชาย 2 โรงพยาบาลศูนย์ลำปาง ตั้งแต่ ปี 2556 เป็นต้นมา พบว่า เครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ยังคงสามารถนำมาใช้ในการช่วยให้การจัดเตรียมยาฉีดของพยาบาลได้ และสามารถลดปัญหาด้านความร้อนสะสมที่มอเตอร์ขดลวดลงได้ แต่ก็พบประเด็นที่ควรต้องได้รับการปรับปรุงในหลายประเด็น เช่น น้ำหนักของเครื่องที่ค่อนข้างมาก การบำรุงรักษาชุดเกียร์ที่จำเป็นจะต้องทำอย่างสม่ำเสมอทำได้ลำบาก การถูกใช้งานเป็นเวลานานทำให้ชุดเกียร์เกิดการสึกหรอ ความเร็วในการเขย่าลดลงส่งผลกระทบต่อเวลาในการเตรียมยาฉีดเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการสึกหรอของกลไกของชุดส่งกำลังส่งผลให้เสียงการทำงานของเครื่องมีความดังมากขึ้น และช่วงเวลาในการซ่อมบำรุงมีความถี่มากขึ้น รวมทั้งวงจรภาคจ่ายไฟชุดวงจรควบคุมต่าง ๆ เป็นวงจรที่ผู้วิจัยเป็นผู้ออกแบบ ไม่มีจำหน่ายทั่วไป

จากประเด็นปัญหาที่กล่าวมา คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 ที่ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดเตรียมยาฉีดของพยาบาลได้สะดวกและรวดเร็ว แต่มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่มีความเป็นมาตรฐานมากขึ้น และสามารถจัดหาได้ในท้องตลาดมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม ลดความซับซ้อนของระบบกลไก ซึ่งช่วยให้การบำรุงรักษา

และซ่อมบำรุงทำได้ง่าย อันจะนำไปสู่การลดต้นทุนในการสร้าง และเพิ่มโอกาสในการต่อยอดไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ และการขยายผลในการพัฒนาไปใช้ในส่วนของผู้ป่วยและโรงพยาบาลอื่น ๆ มากขึ้น สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขันในประเด็นอุตสาหกรรมและบริการแพทย์ครบวงจร ซึ่งครอบคลุมถึงการผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการให้บริการผู้ป่วยของโรงพยาบาลมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหาของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่นต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน

2.2 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 ที่สามารถลดปัญหาและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่นต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2

2.3 เพื่อประเมินคุณภาพเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 การศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหาของเครื่องเขย่ายาฉีดต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ใช้ข้อมูลที่ได้จากการติดตามการใช้งานในสภาพจริง ณ แผนกอายุรกรรมชาย 2 โรงพยาบาลศูนย์ลำปาง ระหว่างปี พ.ศ.2555 – 2562

3.2 ขอบเขตในการออกแบบและสร้างเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3

1) มอเตอร์ต้นกำลังสำหรับการทำงานของเครื่อง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบบคาปาซิเตอร์มอเตอร์ ที่นิยมใช้ใน พัดลม เครื่องปรับอากาศ และปั๊มต่าง ๆ (ultimatecommercial, 2020)

2) ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ timer delay relay OMRON รุ่น H3CR-A ซึ่งมีหลายโหมดการทำงาน สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายพร้อม ตั้งเวลาการทำงานได้ตั้งแต่ 0.5 วินาที ถึง 300 ชั่วโมง (OMRON, 2020)

3) รองรับขวดยาฉีดแบบ Vial ขนาด 7 ml - 100 ml รวมกันไม่น้อยกว่า 12 ขวด

4) ความเร็วในการเขย่าอยู่ในช่วง 200 – 300 ครั้ง/นาที เพื่อมิให้เกิดเสียงดังเกินไปขณะเครื่องทำงาน โดยปรับอัตราความเร็วในการเขย่าได้ไม่น้อย 2 ระดับ

3.2 การประเมินคุณภาพของ เครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3

1) คุณภาพของ เครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 ประเมินจากความสามารถการผสมยาฉีดชนิดผงผสมน้ำให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วและเวลาในการเขย่า ความเที่ยงตรงและความแม่นยำในการทำงาน และระดับความดังเสียงที่เกิดขึ้นขณะทำงาน โดยเทียบเคียงกับคุณภาพของเครื่องเขย่ายาฉีดต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2

2) เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล

(1) การวัดความคลาดเคลื่อนของเวลาการทำงานของเครื่อง โดยการเปรียบเทียบค่าเวลาที่วัดได้จากนาฬิกาจับแบบดิจิทัล IPHONE XR

(2) เครื่องวัดความเร็วรอบ Tachometer Digital รุ่น DT 2236 A มีค่า Accuracy ที่ $\pm(0.05\% n + 1 d)$ ใช้เป็นเครื่องมือในการวัดความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ต้นกำลังและความเร็วในการเขย่า (testinstruments. 2022)

(3) เครื่องวัดระดับความดังของเสียง Digital sound level meter EXTECH 407740 ซึ่งสามารถความดังของเสียงได้ตั้งแต่ 30 ถึง 130 dB Accuracy ± 1.5 dB @ 94dB for a 1kHz sine wave ใช้เป็นเครื่องมือในการวัดระดับความดังของเสียงเครื่องขณะทำงาน (instrumart. 2022)

(4) เครื่องวัดอุณหภูมิ IR thermometer UNI-T UT-300A มีช่วงอุณหภูมิการวัด $-18^{\circ}\text{C} \sim 280^{\circ}\text{C}$ มีความแม่นยำในการวัด $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ใช้เป็นเครื่องมือในการวัดค่าอุณหภูมิของขดลวดมอเตอร์ (fromfactory. 2022)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหาของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่นต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน วิเคราะห์จากข้อมูลปัญหาและการแก้ไขปัญหาในการใช้งานจริง ของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ที่แผนกอายุรกรรมชาย 2 โรงพยาบาลศูนย์ลำปาง ในช่วง ปี พ.ศ.2554 – 2562 ที่ผู้วิจัยได้บันทึกไว้ ซึ่งสามารถสรุปได้โดยสังเขป เช่น การลัดวงจรของขดลวดมอเตอร์กรณีใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานาน การเสื่อมสภาพของชุดเกียร์ของมอเตอร์ต้นกำลังและชุดกลไกการส่งกำลัง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง และระดับเสียงขณะเครื่องทำงานดังมากขึ้น รวมทั้งกรณีตัวเครื่องมีน้ำหนักรบกวนข้างมาก ทำให้การเคลื่อนย้ายและการซ่อมบำรุงทำได้ไม่สะดวกเท่าที่ควร

4.2 การออกแบบเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3

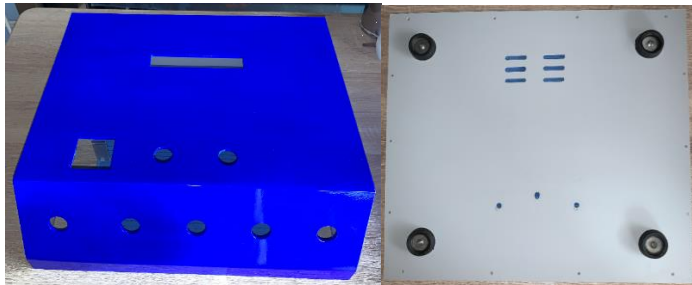
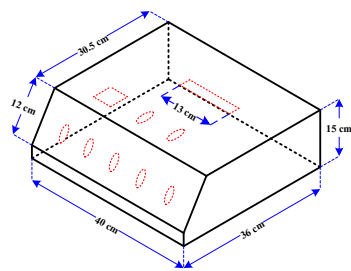
1) กรอบแนวคิดในการออกแบบ ในการออกแบบเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 ผู้วิจัยยังคงมีแนวคิดหลักที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ที่ผ่านมาคือ มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีที่ไม่มีความซับซ้อนมากนักแต่สามารถทำงานได้ตามเป้าหมายที่กำหนด ดังนี้

(1) เน้นการประยุกต์ใช้ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ ที่มีใช้งานในระบบงานอุตสาหกรรม และสามารถหาได้ในท้องตลาด ซึ่งช่วยลดต้นทุนจากค่าใช้จ่ายในการออกแบบแผ่นพิมพ์วงจร และการจัดหาอุปกรณ์อะไหล่มาทดแทนส่วนที่ชำรุด ช่วยให้การซ่อมบำรุงสามารถทำได้สะดวกขึ้น โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนที่ชำรุด แทนการซ่อมแซม

(2) การลดการซับซ้อนของระบบกลไก ในการส่งกำลังของมอเตอร์ต้นกำลัง เพื่อลดต้นทุนจากค่าใช้จ่ายในการจ้างผลิตกลไกการส่งกำลัง โดยการลดชิ้นส่วนที่ต้องมีการเคลื่อนไหว ซึ่งมักมีการสึกหรอเมื่อใช้งานไปเป็นเวลานาน และก่อให้เกิดเสียงดังมากขึ้นขณะทำงาน

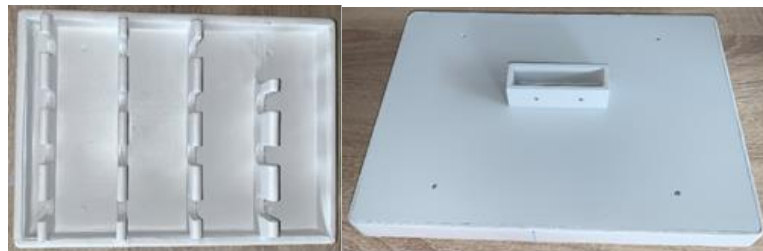
(3) การเลือกใช้มอเตอร์กระแสสลับเป็นมอเตอร์ต้นกำลัง ช่วยให้สามารถลดต้นทุนในส่วนของภาคจ่ายไฟกระแสตรงที่ต้องสามารถจ่ายกระแสได้สูง เพื่อไปขับมอเตอร์ต้นกำลังที่เป็นมอเตอร์กระแสตรง สามารถบำรุงรักษาได้ง่ายมากขึ้น รวมทั้งสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการบำรุงรักษาภาคจ่ายไฟกรณีเกิดความชำรุดเสียหาย

2) การออกแบบโครงสร้างตัวเครื่อง ตัวเครื่องทำจากแผ่นอะคริลิกใสขนาดความหนา 4 มม. เนื่องจากมีน้ำหนักเบา สามารถดัดแปลงขึ้นรูปได้ง่าย มีความคงทนไม่แตกหักง่าย รวมทั้งไม่เป็นตัวสะสมความร้อนและไม่เป็นสื่อไฟฟ้า ซึ่งช่วยลดปัญหาการเกิดอันตรายของผู้ใช้จากกระแสไฟฟ้ารั่วลงสู่ตัวเครื่อง



ภาพที่ 1 ตัวเครื่องเขย่าขวดยาฉีดและแผ่นฐานตัวเครื่องพร้อมช่องอากาศ

3) การออกแบบภาตบรรจุขวดยาฉีด ผู้วิจัยยังคงใช้แบบโครงสร้างเช่นเดียวกับเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 โดยทำจากแผ่นทำจากแผ่นอะคริลิก (Acrylic) หนา 4 มม. หุ้มทับด้วยแผ่นโฟม PE ขนาด 22 x 32 x 2.5 ซม. (กว้าง x ยาว x สูง) แต่มีการเพิ่มช่องสำหรับขวดยาฉีดขนาด 50 – 100 ml. จำนวน 1 ช่อง เพื่อรองรับความต้องการใช้งานของพยาบาลผู้ใช้งาน กรณีที่ต้องการผสมยาฉีดที่มีขนาดมีความจุมากกว่า 50 ml.



ภาพที่ 2 ด้านบนภาตบรรจุขวดยาฉีดและฐานด้านล่างภาตบรรจุขวดยาฉีด

4) การออกแบบชุดต้นกำลัง มอเตอร์ต้นกำลังเป็นแบบคาปาซิเตอร์มอเตอร์ โครงสร้างมอเตอร์เป็นแบบเปิด ปลายแกนมอเตอร์ติดตั้งใบพัดลมเพื่อช่วยระบายความร้อนสะสมของมอเตอร์ขณะทำงาน ขนาดกำลังของมอเตอร์ 45 วัตต์ (0.06 แรงม้า) การปรับความเร็วรอบมอเตอร์ทำได้โดยปรับขนาดขดลวดชั้นของมอเตอร์ โดยมีความเร็วรอบสูงสุดที่ 1450 รอบต่อนาที และความเร็วรอบต่ำสุดที่ 1300 รอบต่อนาที ซึ่งสามารถหาแรงบิดของมอเตอร์ต้นกำลัง (engineeringtoolbox.com, 2020) ได้จาก

$$T = \frac{9.55P}{n_{rpm}} \quad (1)$$

P = power (W)

T = torque or moment (Nm)

n_{rpm} = rotations per minute (rpm, 1/min)

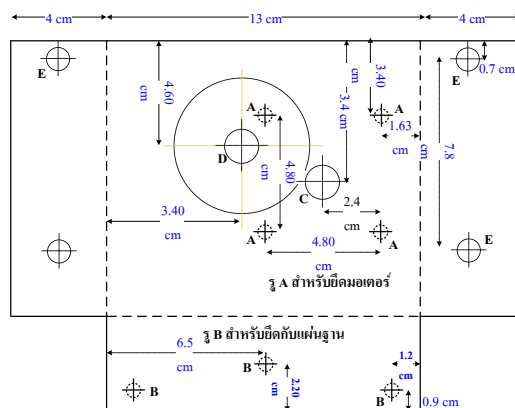
ดังนั้นมอเตอร์ต้นกำลังหมุนด้วยความเร็ว 1450 rpm จะมีค่าแรงบิดที่

$$\text{Torque} = \frac{9.55 \times 45}{1450} \text{ Nm} = 0.30 \text{ Nm} \quad \text{หรือ} = 0.30/9.8 = 0.031 \text{ Kgf-m}$$

และที่มอเตอร์ต้นกำลังหมุนด้วยความเร็ว 1300 rpm จะมีค่าแรงบิดที่

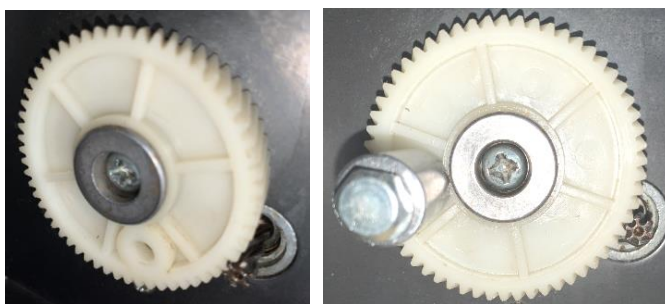
$$\text{Torque} = \frac{9.55 \times 45}{1300} \text{ Nm} = 0.33 \text{ Nm} \quad \text{หรือ} = 0.33/9.8 = 0.033 \text{ Kgf-m}$$

ขายึดมอเตอร์ ทำจากเหล็กแผ่นหนา 2 มม. พับฉากรูปตามรอยเส้นประ เจาะรูในตำแหน่งต่าง ๆ สำหรับยึดตัวมอเตอร์ต้นกำลังติดกับฐานตัวเครื่องและสำหรับยึดแกนเพลลาของเฟืองตามตัวขายึด โดยมีแบบร่างดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แบบร่างขายึดตัวมอเตอร์

5) การออกแบบชุดส่งกำลัง การส่งกำลังจากมอเตอร์ต้นกำลังเพื่อไปขับเคลื่อนเข้าขวดยาฉีดให้เคลื่อนที่ เป็นการส่งกำลังด้วยเฟืองเฉียง (Helical Gear) มีขนาด $D_p = 29$ ระยะ pitch 2 มม. เฟืองตัวขับมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 นิ้ว มีจำนวนฟันเฟือง 6 ฟัน และเฟืองตามมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีจำนวนฟันเฟือง 58 ฟัน การทดเฟืองเป็นแบบขนานกับแกนเพลลา โดยอัตราทดระหว่างเฟืองขับและเฟืองตามเป็น 10:1 ค่าแรงบิดที่เฟืองตามจะเป็น 0.31 Kgf-m และ 0.31 Kgf-m ที่ความเร็วรอบของเฟืองขับที่ 1450 และ 1300 rpm ตามลำดับ



ภาพที่ 4 การส่งกำลังด้วยเฟืองแบบเฟืองเฉียง (Helical Gear) ด้วยอัตราทด 10 : 1

โดยความเร็วรอบของเฟืองตามจะหาได้จาก (MORO l Manufacture Overhaul Rapid and Optimal, 2020)

$$N_1 Z_1 = N_2 Z_2 \quad (2)$$

N_1 = ความเร็วรอบของเฟืองขับ

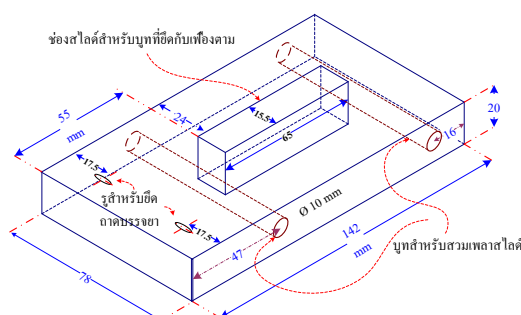
N_2 = ความเร็วรอบของเฟืองตาม

Z_1 = จำนวนฟันของเฟืองขับ

Z_2 = จำนวนฟันของเฟืองขับ

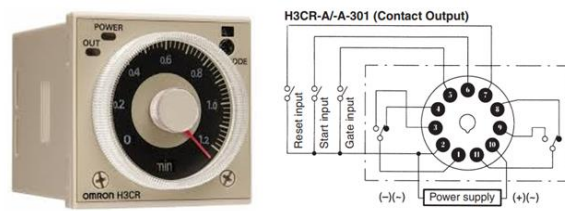
ดังนั้นเมื่อความเร็วรอบของเฟืองขับเท่ากับ 1450 rpm ความเร็วรอบของเฟืองตามจะมีค่าเท่ากับ 150 rpm และเมื่อความเร็วรอบของเฟืองเท่ากับ 1300 ความเร็วรอบของเฟืองตามจะมีค่าเท่ากับ 134.5 rpm โดยการหมุนของเฟืองตามหนึ่งรอบจะทำให้ถาดบรรจุยาเคลื่อนที่ไปและกลับ 1 ครั้ง หรือเท่ากับเขย่าขวดยาสองครั้ง

6) ชุดรางสไลด์ของถาดบรรจุขวดยาฉีด ชุดรางสไลด์ (linear guide) ของถาดบรรจุขวดยาฉีด เป็นส่วนที่ช่วยให้ถาดยาบรรจุยาฉีด สามารถเคลื่อนที่ไปกลับได้แบบเป็นเชิงเส้น (linear motion) โครงสร้างประกอบด้วยเพลาคู์ทำจากเหล็กทรงกลมขัดเงา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. ยาว 150 มม. และชุดบล็อกสไลด์ที่ใช้ติดตั้งถาดบรรจุยา ทำจากพลาสติกซูเปอร์ลีน (Superlene Nylon) ซึ่งมีความแข็งแรง ทนต่อการการเสียดสี ไม่เสียรูปง่าย สามารถทนความร้อนได้ถึง 130 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรได้ดี (indyplasticsheet, 2022) รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 78 มม. ยาว 142 มม.หนา 20 มม. ปลายแต่ละด้านที่ตำแหน่ง 16 มม. และ 47 มม. เจาะรู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. ตลอดแนวความกว้างเพื่อเป็นบุทของเพลาสไลด์เพื่อให้บล็อกเคลื่อนที่ไปตามแนวเพลาดังภาพที่ 5

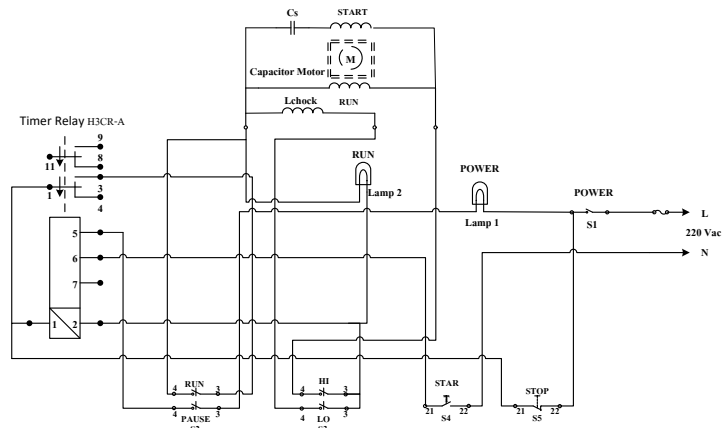


ภาพที่ 5 โครงสร้างบล็อกสไลด์ที่ใช้ติดตั้งถาดบรรจุยาฉีด

4.4 การออกแบบชุดควบคุมการทำงาน ผู้วิจัยมุ่งเน้นการเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมที่มีใช้ในระบบงานอุตสาหกรรมและสามารถหาซื้อได้จากท้องตลาด เพื่อลดต้นทุนในส่วนของวงจรควบคุม ซึ่งเดิมใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบเองโดยผู้วิจัยและไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังที่ใช้ในเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการควบคุมเวลาการทำงาน of เครื่อง เลือกใช้ไทม์เมอร์รีเลย์ Omron รุ่น H3CR-A ซึ่งเป็น Solid-state Multi-functional Timers ซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการซ่อมแซมกรณีชุดควบคุมเกิดการเสียหาย รวมทั้งมีต้นทุนถูกกว่าการเปลี่ยนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบเอง โดยไทม์เมอร์รีเลย์ที่ใช้กำหนดให้ทำงานในโหมด D คือ Signal OFF-delay คือเมื่อสั่งให้เครื่องเริ่มทำงาน เครื่องจะทำงานไปอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ เครื่องก็จะหยุดทำงานเองโดยอัตโนมัติ โดยการตั้งเวลาจะกำหนดไว้ที่ 1 – 12 นาที



ภาพที่ 6 ไทม์เมอร์รีเลย์ Omron รุ่น H3CR-A

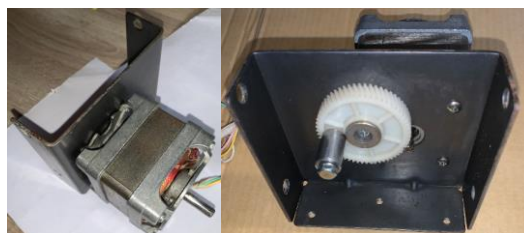


ภาพที่ 7 วงจรเครื่องเขย่าขวดยาชนิด รุ่น 3

จากภาพที่ 7 ไทม์เมอร์รีเลย์เป็นตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ต้นกำลังตามระยะเวลาที่กำหนดไว้โดย time setting knob สวิตช์ S_1 เป็นสวิตช์ power เพื่อจ่ายไฟให้กับ S_4 ทำหน้าที่เป็นปุ่มสตาร์ทให้เครื่องเริ่มทำงาน S_3 เป็นสวิตช์สั่งให้เครื่องหยุดทำงานเมื่อต้องการ S_2 ซึ่งเชื่อมต่อกับขา Gate ของไทม์เมอร์รีเลย์ เมื่อปิดสวิตช์มายังตำแหน่ง PAUSE ระบบจะหยุดทำงานชั่วคราว ประโยชน์ก็เพื่อกรณีที่พยาบาลผู้ใช้มีความต้องการหยุดเพื่อตรวจดูการละลายของยาว่าเพียงพอที่จะนำไปให้แก่ผู้ป่วยหรือไม่ และเมื่อต้องการให้เครื่องทำงานต่อก็ให้ปิดสวิตช์มาที่ตำแหน่ง RUN สวิตช์ S_3 เชื่อมต่อขดลวดของมอเตอร์ เมื่อปรับมาที่ HI จะจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าที่ขดรีนของมอเตอร์โดยตรง และให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็ว 1,450 rpm หรือมีอัตราความเร็วในการเขย่า 300 ครั้งต่อนาที และเมื่อปรับสวิตช์ไปที่ LO ก็จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่าน Lchoke ที่อนุกรมกับขดรีนและทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วลดลง ประมาณ 1300 rpm หรือมีอัตราความเร็วในการเขย่า 260 ครั้งต่อนาที

4.5 การสร้างเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรุ่น 3

1) การประกอบชุดต้นกำลัง เป็นการติดตั้งตัวมอเตอร์ต้นกำลังและเฟืองตามกับขายึดมอเตอร์



ภาพที่ 8 การติดตั้งมอเตอร์และเฟืองตามกับขายึดมอเตอร์

2) การประกอบชุดรางสไลด์ของถาดบรรจุขวดยาฉีด เข้ากับเพลาสไลด์ และขายึดมอเตอร์ พร้อมทั้งติดตั้งขายึดมอเตอร์เข้ากับแผ่นฐานเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 ภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การประกอบชุดรางสไลด์กับขายึดมอเตอร์

3) การประกอบชุดควบคุมการทำงาน เป็นการติดตั้งตัวไทม์เมอร์ รีเลย์ และสวิตช์ควบคุมต่าง ๆ เข้ากับโครงสร้างเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 พร้อมทั้งเดินสายไฟฟ้าเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การติดตั้งและเดินสายไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงาน

4) การประกอบตัวเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 เป็นการประกอบโครงสร้างตัวเครื่องเขย่าขวดยาฉีดเข้ากับแผ่นฐานตัวเครื่อง และการติดตั้งถาดบรรจุขวดยาฉีดเข้ากับบล็อกสไลด์ ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การประกอบโครงสร้างเครื่องเขย่าขวดยาฉีด รุ่น 3

4.6 การทดสอบและประเมินคุณภาพเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 3 ว่าสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้หรือไม่ ซึ่งประกอบด้วย

1) การทดสอบการทำงานของส่วนควบคุมเครื่องเขย่าขวดยาชนิด เช่น ความแม่นยำของเวลาในการทำงาน อัตราระดับความเร็วในการเขย่า ความร้อนและอุณหภูมิสะสมที่มอเตอร์ ระดับความดังของเสียงขณะทำงาน และอัตราของกำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น

2) การทดสอบความสามารถในการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของตัวยา จากการเขย่าที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้ยา S-mox 125 dry Syrup ขนาด 60 ml และ Coamox 125 dry syrup ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะชนิดผงสำหรับเด็กเป็นตัวอย่างในการทดสอบ การใช้งานต้องนำมาผสมน้ำโดยประมาณ 60 ml และเขย่าจนผงยาละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของตัวยาที่ปริมาณ 5 ml เทียบเท่ากับยา Amoxicilin 125 mg ในการทดสอบจะใช้วิธีชั่งน้ำหนักของตัวยาในสัดส่วนที่เหมาะสมแล้วผสมกับน้ำดื่ม บริสุทธ์เพื่อเป็นตัวทำละลาย โดยสัดส่วนที่ใช้เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของยา 5 ml เทียบเท่ากับ Amoxicilin 125 mg จะใช้สัดส่วนคือ ผงยา 2.5 g ต่อน้ำดื่มบริสุทธ์ 5 ml โดยปริมาณยาที่ใช้ จะปรับตามความเหมาะสมกับขนาดของขวดยาที่ใช้ทดสอบดังตารางที่ 1 ซึ่งทดสอบกับขวดยาชนิดแบบ vial ขนาด 7 – 50 ml แล้วสังเกตผลของการละลายเพื่อทำการทำการบันทึกผล ครั้งละ 1 นาที ไปเรื่อย ๆ จนกว่าตัวยาจะละลายจนหมด

ตารางที่ 1 สัดส่วนปริมาณผงตัวยาและตัวทำละลายตามขนาดของขวดยาชนิด

ขนาดขวดยา	มวลผงตัวยา (กรัม)	ปริมาตรตัวทำละลาย (มล.)	ความเข้มข้นของสารละลาย %	ความเข้มข้นของยา (mg/5 ml)
7	2.5	5	50	125
10	3.75	7.5	50	125
20	7.5	15	50	125
30	12.5	25	50	125
50	22.5	45	50	125

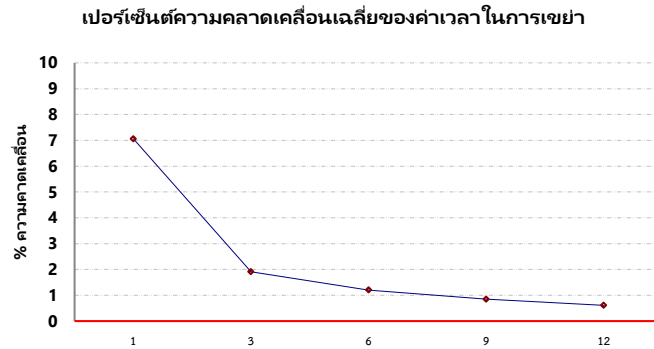


ภาพที่ 12 การทดสอบเครื่องเขย่าขวดยาชนิด รูน 3

5. ผลการวิจัย

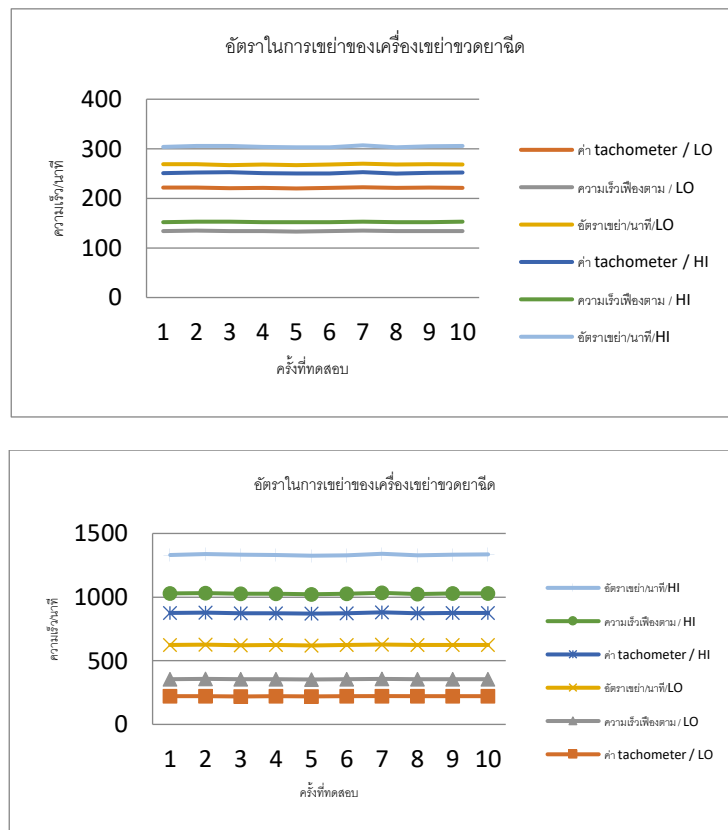
5.1 การทดสอบความแม่นยำของเวลาในการเขย่า จะเป็นการสอบเทียบค่าความแม่นยำของเวลาการเขย่าของเครื่องกับนาฬิกาจับเวลาของเครื่องโทรศัพท์มือถือ iphone XR พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของเวลา จะมีค่ามากที่สุดในช่วงเวลา 1 นาที คือ 7.83% (SD = 0.11) และมีค่าลดลงอย่างมีนัยเมื่อตั้งเวลาในการเขย่ามากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน เป็น 7.83% (SD = 0.11) 1.91% (SD = 0.04) 1.20% (SD = 0.01) 0.84% (SD = 0.01) และ 0.63% (SD = 0.01) เมื่อตั้งเวลา

ในการเขย่าที่ 3 นาที 6 นาที 9 นาที และ 12 นาที ลำดับ อย่างไรก็ตามค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้มีค่าเป็นวินาที ซึ่งพิจารณาว่ามีค่าน้อยมากและไม่มีผลกระทบต่อการทำงานโดยรวมของเครื่อง และการละลายของผงยาที่ทำการเขย่า



ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของเวลาในการทำงาน

5.2 การทดสอบอัตราความเร็วในการเขย่า จำนวน 10 ครั้ง พบว่า เมื่อตั้งความเร็วในการเขย่าไว้ที่ตำแหน่ง HI อัตราการเขย่าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 305 ครั้งต่อนาที และเมื่อตั้งความเร็วในการเขย่าไว้ที่ตำแหน่ง LO อัตราการเขย่าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 268 ครั้งต่อนาที



ภาพที่ 14 อัตราในการเขย่าของเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรุ่น 3

5.3 ผลทดสอบระดับความดังของเครื่องขณะเขย่าขวดยาฉีด รุ่น 3 พบว่า ค่าระดับความดังเมื่อตั้งระดับความเร็วของอัตราเขย่าที่ตำแหน่ง LO และ HI มีระดับความดังเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 60.17 เดซิเบลเอ และ 61.68 เดซิเบลเอ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่า Time Weighted Average-TWA ที่กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานที่ได้รับเสียงเฉลี่ย 12 ชั่วโมง ต้องมีระดับเสียงเฉลี่ย ไม่เกิน 87 (Department of Labor Protection and Welfare, 2019) และมีระดับความดังเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในโรงพยาบาล เนื่องจากเสียงที่เกิดขึ้นมีแต่มีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Pornsiri, N., and Nathaphin, K. (2018) พบว่าระดับเสียงของหน่วยบริการผู้ป่วยใน โรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์ อุบลราชธานี มีระดับเสียงเฉลี่ยช่วงกลางวันและค่าระดับเสียงเฉลี่ยช่วงกลางคืน มีค่าระหว่าง 54.0 - 66.2 และ 52.7 - 65.3 เดซิเบลเอ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลทดสอบระดับความดังของเครื่องขณะเขย่าขวดยาฉีด

ระดับความเร็วที่ตั้ง	ระดับความดังของเครื่องขณะเขย่า (dB A)										ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
LO	59.7	60.2	58.9	59.9	60.1	59.5	60.6	60.8	61.2	60.8	60.17
HI	60.5	61.4	62.7	60.7	61.9	60.7	63.3	61.7	62.7	61.2	61.68

5.4 การวัดปริมาณทางไฟฟ้า เป็นวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า และกำลังงานไฟฟ้าสูญเสียในขณะเครื่องทำงานในสภาวะต่าง ๆ โดยผลการวัดที่ได้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวัดปริมาณไฟฟ้าของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่นที่ 3

ปริมาณไฟฟ้า	LO	HI
1. กระแสไฟฟ้าขณะเครื่องทำงาน	210 mA	270 mA
2. กำลังไฟฟ้าขณะทำงาน	42.6 watts	47.1 watts
3. กำลังไฟฟ้าขณะเปิดเครื่องแต่ไม่มีการทำงาน	0.6 watts	0.6 watts
4. กำลังไฟฟ้าขณะอยู่ในโหมด pause	1.1 watts	1.1 watts

จากตารางที่ 3 กำลังงานสูญเสียขณะทำงานเครื่องขณะเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 42.6 – 47.1 วัตต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบันจะมีค่าใช้จ่ายจากค่าไฟฟ้าจากการใช้งาน ชั่วโมงละ 0.12 – 0.24 บาท

5.5 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิ เพื่อดูค่าความร้อนสะสมที่ตัวโครงมอเตอร์ (stator) และที่ขดลวดมอเตอร์ (rotor) ณ อุณหภูมิแวดล้อมที่สูงถึง 36°C จากตารางที่ 4 เมื่อเทียบระยะเวลาการทำงานกับระยะเวลาสูงสุดในการเขย่าที่ทำให้ผงยาละลายเป็นเนื้อเดียวกันที่ 4 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ขดลวดมอเตอร์มีค่าเพียง 56.5 และเมื่อทำงานต่อเนื่องที่ 40 นาทีจะมีค่าสูงสุดที่ 67.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนมอเตอร์ ตามมาตรฐาน IEC 85 ในคลาสต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้คือ 105 – 180 องศาเซลเซียส (Ultimate Commercial, 2020) พบว่าจะมีค่าเพียงร้อยละ 31.38 – 53.83 และที่อุณหภูมิสูงสุดจะมีค่าเพียงร้อยละ 37 - 64 ของค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของฉนวนมอเตอร์ ตามมาตรฐาน IEC 85 เท่านั้น

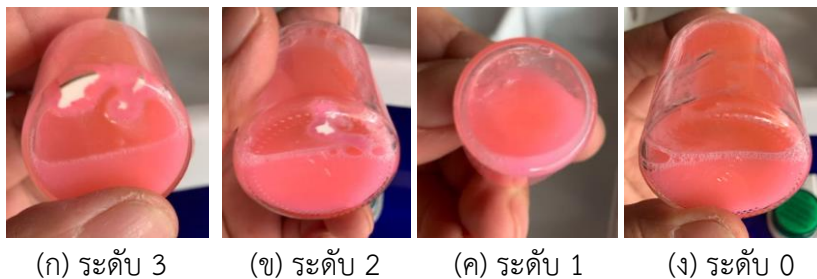
ตารางที่ 4 การวัดอุณหภูมิของมอเตอร์เมื่อตั้งอัตราการเขย่าที่ตำแหน่ง HI ต่อเนื่อง

จุดวัด อุณหภูมิ	เวลาการทำงานต่อ (1 – 40 นาที) ณ อุณหภูมิห้อง 36 องศาเซลเซียส									
	1	3	5	10	15	20	25	30	35	40
ตัว body	40.6	44.3	48.5	49	51	52.3	54.3	54.6	55	56
coil	48.5	52.4	56.5	57	61	63	64.5	65	65	67.5

ตารางที่ 5 การวัดการลดลงของอุณหภูมิมอเตอร์หลังจากใช้งานเครื่องต่อเนื่องเป็นเวลา 40 นาที

จุดวัด อุณหภูมิ	ณ อุณหภูมิห้อง 36 องศาเซลเซียส									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ตัว body	55	54.8	54	53.8	52.7	52	50.7	50.5	49.6	48.5
coil	61.5	59	58.8	56.8	56	55	55	53.5	52.6	50.2

5.6 ผลการทดสอบการเขย่าขวดยาฉีด ประสิทธิภาพของการเขย่าจะพิจารณาจากระดับการละลายเป็นเนื้อเดียวกันของผงตัวยาและตัวทำละลาย ด้วยการสังเกตจากร้อยละโดยประมาณของผงตัวยาที่ตกค้างอยู่เทียบกับปริมาณผงยาตามสัดส่วนที่ใช้ทดสอบ โดยจะแบ่งระดับการละลายของผงตัวยาออกเป็น 4 ระดับคือ ระดับ 3 มีผงยาหรือตะกอนผงยาเหลืออยู่ระหว่าง 3% - 5% ระดับ 2 มีผงยาหรือตะกอนผงยาเหลืออยู่ระหว่าง 1% - 2% ระดับ 1 คือมีผงยาหรือตะกอนผงตัวยาเหลืออยู่น้อยกว่า 1% และระดับ 0 คือไม่มีผงยาหรือตะกอนผงยาเหลืออยู่ ดังภาพที่ 15 เป็นตัวอย่างแนวทางในการวิเคราะห์ ซึ่งร้อยละของการเขย่าที่เวลาต่ำสุดและสูงสุด ที่สามารถเขย่าให้ผงยาละลายจนหมด (ระดับ 0) แสดงไว้ดังตารางที่



ภาพที่ 15 ตัวอย่างการวิเคราะห์ระดับการละลายของผงตัวยา

จากการทดสอบประสิทธิภาพการเขย่าของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 ซึ่งทดสอบกับขวดยาฉีดแบบ vial จำนวน 5 ขนาด และมีการทำซ้ำจำนวน 5 รอบ พบว่า ระยะเวลาต่ำสุดที่สามารถเขย่าให้ผงตัวยาละลายจนหมด (ระดับ 0) อยู่ที่ 1 นาที โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 4 และสูงสุดที่ 4 นาที เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 12 ในขณะที่ค่าเวลาการทำงานที่สามารถเขย่าให้ผงตัวยาละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับตัวทำละลายได้มากที่สุดอยู่ที่ 2 นาที คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 50 และรองลงมาคือที่เวลา 3 นาที คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 36 โดยสรุปก็คือ เครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 สามารถใช้ในการเขย่ายาฉีดชนิดผงผสมน้ำให้ผงตัวยาละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ในเวลา 2 – 3 นาที โดยการตั้งระดับอัตราการเขย่าที่ตำแหน่ง Lo หรือ Hi ไม่มีความแตกต่างในเรื่องของระยะเวลาการเขย่ามากนัก

ตารางที่ 6 ร้อยละของเวลาในการเขย่าที่ตัวยาละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน

ขนาด ขวดยา	ระดับ การเขย่า	ร้อยละของการเขย่าที่ตัวยาละลายจนหมด			
		(นาที)			
		1 (นาที)	2 (นาที)	3 (นาที)	4 (นาที)
7 ml	Lo	-	60	40	-
	Hi	20	80	-	-
10 ml	Lo	-	80	20	-
	Hi	-	100	-	-
20 ml	Lo	-	-	60	40
	Hi	-	80	20	-
30 ml	Lo	-	-	100	-
	Hi	-	100	-	-
50 ml	Lo	-	-	20	80
	Hi	-	-	100	-
ค่าเฉลี่ย		4	50	36	12

6. สรุปผลและอภิปรายผล

6.1 สรุปผลการสร้างเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 3 จากข้อมูลการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาการใช้งานเครื่องเขย่าขวดยาชนิดต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 2 ผู้วิจัยได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาแก้ปัญหาข้อบกพร่องของเครื่องเขย่าขวดยาชนิดต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 2 ในหลาย ๆ ประเด็น ภาพที่ 16 (ค) แสดงถึงเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 3 ที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องเขย่าขวดยาชนิดต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 2 ดังภาพที่ 16 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) เครื่องเขย่าขวดยาชนิดต้นแบบ (ข) เครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 2 (ค) เครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 3 ภาพที่ 16 ลักษณะของเครื่องเขย่าขวดยาชนิดทั้ง 3 รุ่น

1. โครงสร้างทำจากพลาสติกใสอะคริลิกหนา 4 มิลลิเมตร ขนาด (กว้าง x ลึก x สูง) 40 x 35 x 15 ซม. โดยเมื่อเทียบกับเครื่องเขย่าขวดยาชนิดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาชนิดรูน 2 ซึ่งจะมีขนาด (กว้าง x ลึก x สูง) ที่ 35 x 34 x 15 ซม. และ 35 x 31.5 x 17.5 ซม. ตามลำดับ จะเห็นว่าการขยายขนาดด้านกว้างเพิ่มขึ้น เพื่อไม่ให้ถาดบรรจุขวดยาชนิดยื่นออกไปนอกตัวโครงสร้างขณะทำงาน และอาจเกิดความเสียหายหากกระแทกถูกสิ่งของที่วางอยู่ด้านข้าง

2. ถาดบรรจุขวดยาชนิด ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 22 x 32 x 2.5 ซม. สามารถรองรับขนาดขวดยาชนิดแบบ vial ได้ ตั้งแต่ 7ml – 100 ml จำนวนสูงสุด 15 ขวดต่อการเขย่าหนึ่งครั้ง

ซึ่งดีกว่าเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ซึ่งสามารถรองรับขนาดขวดยาฉีดแบบ vial ได้สูงสุดคือ 30 ml เท่านั้น

3. สามารถตั้งอัตราความเร็วในการเขย่า 2 ระดับ มีความเร็วเฉลี่ย 268 rpm และ 305 rpm ตามลำดับ โดยมีระยะเขย่า ไป – กลับที่ 7.82 ซม. ซึ่งกว้างกว่าเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ที่มีระยะเขย่า ไป-กลับ ที่ 4 ซม. ซึ่งจะช่วยให้ผงยาสามารถละลายได้ดียิ่งขึ้น

4. สามารถตั้งเวลาในการเขย่าได้ 0.5 – 12 นาที ซึ่งสามารถตั้งเวลาการเขย่าได้มากกว่าขวดยาฉีดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ซึ่งสามารถตั้งเวลาได้สูงสุด 3 นาทีและ 5 นาทีตามลำดับ และหากผู้ใช้ต้องการตั้งเวลาการเขย่าให้นานกว่า 12 นาที ก็สามารถทำได้โดยด้วยตนเองโดยการเขย่าในโหมดที่โหมดเมอร์รี่เลย

5. ระดับความดังของเสียงขณะทำงานของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 60.17 dB (A) และสูงสุด 61.68 dB (A) ซึ่งต่ำกว่าระดับความดังของเสียงขณะทำงานของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ ที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด 64.34 dB(A) และสูงสุด 80.74 dB(A) ในขณะที่ระดับความดังของเสียงขณะทำงานของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ต่ำสุด 78.54 dB(A) และสูงสุด 80.34 dB(A)

6. ค่ากำลังงานสูญเสียขณะทำงาน ต่ำสุด 42.6 watts และสูงสุด 47.1 watts

7. น้ำหนักสุทธิ 5.93 กิโลกรัม ในขณะที่เครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบและเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 มีน้ำหนักสุทธิ 8 กิโลกรัม และ 14 กิโลกรัม ตามลำดับ

6.2 อภิปรายผล

จากการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ที่ได้พัฒนามาก่อนหน้านี้ กล่าวได้ว่าเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการลดภาระด้านเวลาในการเตรียมยาฉีดชนิดผงผสมน้ำที่ต้องจัดเตรียมสำหรับคนไข้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากจากการทดสอบประสิทธิภาพในการเขย่าขวดยาฉีดนั้น ใช้เวลาในการเขย่ายาฉีดให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันนั้นต่ำกว่าเวลาที่พยาบาลใช้ในการจัดเตรียมยาฉีดแต่ละครั้งมากดังที่จรรยา ทับทิมประดิษฐ์ ได้ให้สัมภาษณ์ (2011, as cited in Amnartkitikorn, J., Yumon, P. and Chaireung, K., 2013) ไว้ว่าการเตรียมยาที่มีจำนวนมาก ต้องใช้เวลานานกว่า 30 นาทีถึง 1 ชั่วโมง ในขณะที่การเขย่าด้วยเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 3 สามารถรองรับการเขย่าขวดยาฉีดได้ตั้งแต่ขนาด 7 ml – 100 ml พร้อมกันจำนวนสูงสุด 15 ขวดต่อการเขย่าหนึ่งครั้ง ใช้เวลาเพียง 2 – 3 นาที และสูงสุดไม่เกิน 4 นาที นอกจากนี้ ระดับความดังเฉลี่ยของเสียงขณะทำงานมีค่าอยู่ที่ 60.17 - 61.68 dB (A) ซึ่งต่ำกว่าระดับความดังเฉลี่ยของเสียงขณะทำงานของเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ที่มีค่า 64.34 - 80.74 dB(A) และ 78.54 - 80.34 dB(A) โดยมีค่ากำลังงานสูญเสียสูงสุด 47.1 watts และมีน้ำหนักสุทธิเพียง 5.9 กิโลกรัม ซึ่งเคลื่อนย้ายได้สะดวกกว่าเครื่องเขย่าขวดยาฉีดต้นแบบ และเครื่องเขย่าขวดยาฉีดรุ่น 2 ที่มีน้ำหนักสุทธิ 8 กิโลกรัมและ 14 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนกรณีการปัญหาการลัดวงจรของขดลวดมอเตอร์นั้น เห็นได้จากทดสอบการเขย่าขวดยาต่อเนื่องนาน 40 นาทีในสภาวะอุณหภูมิห้องสูงถึง 36 องศาเซลเซียส ความร้อนสะสมที่ขดลวดมอเตอร์ (rotor) สูงสุดมีค่า 67.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเพียงร้อยละ 37 - 64 ของค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ทนได้ของขดลวดมอเตอร์ ตามมาตรฐาน IEC 85 ในคลาสต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้คือ 105 – 180 องศาเซลเซียส (Ultimate Commercial, 2020)

7. เอกสารอ้างอิง

- Amnartkitikorn, J. and Amnartkitikorn, P. (2013). *Development of Injection Bottle Shaker version.2*. (Research report). Lampang Rajabhat University.
- Amnartkitikorn, J., Yumon, P. and Chaireung, K. (2012). *Development of Injection Bottle Shaker for hospitals in Lampang*. *Journal of Industry Technology Lampang Rajabhat University*, 5(2), 11-27.
- Angular Motion - Power and Torque. (n.d.). *Angular Motion - Power and Torque*. [online], Available: https://www.engineeringtoolbox.com/angular-velocity-acceleration-power-torque-d_1397.html.
- Birgitta, Thomas, and Dietrich H. (n.d.) *GUIDELINES FOR COMMUNITY NOISE*. [online], Available: <https://www.who.int/docstore/peh/noise/Comnoise-1.pdf>
- Engineerknowledge. (2020, February 20). *Type of motor control*. [online], Available: http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/02/blog-post_20.html.
- fromfactory. (2022). *Infrared IR Thermometer*. [online], Available: <https://www.fromfactory.net/product/364/เทอร์โมมิเตอร์อินฟราเรด-มิเตอร์วัดอุณหภูมิอินฟราเรด-uni-t-ut-300a-non-contact-infrared-ir-thermometer>.
- Indyplasticsheet. (2022). *ซูเปอร์ลี้น พลาสติกสารพัดประโยชน์*. [online], Available: <https://www.indyplasticsheet.com/th/articles/25092-ซูเปอร์ลี้น-พลาสติกสารพัดประโยชน์>.
- instrumart. (2022). *Sound Level Meter*. [online], Available: <http://testinstruments.pk/dt-2236b-lcd-optical-contact-tachometer>.
- MORO l Manufacture Overhaul Rapid and Optimal. (2020) *Gear drive system*. [online], Available: <http://www.moro.co.th/gear-drive-system/>
- OMRON. (2020). *Solid-state Timer H3CR*. [online], Available: https://www.omron-ap.co.th/data_pdf/cat/h3cr_l084-e1_3_1_csm1013792.pdf?id=193.
- Pornsiri, N., and Nathapindhu, G. (2018). *Noise Level of Inpatient Department Sunpasitthiprasong Hospital Ubon Ratchathani*. *Research Journal Khon Kaen University (Graduate edition)*, 18(1), 62–71.
- Superlenethailand. (2022). *Superlene*. [online], Available: <http://www.superlenethailand.com/16646203/nylon-ซูเปอร์ลี้น-ไนลอน>.
- Testinstruments. (2022). *LCD Optical Contact Tachometer*. [online], Available: <https://www.instrumart.com/products/25212/extech-407740-sound-level-meter>.
- Thaimechanic.com. (2018, August 22). *Finding the ratio of straight gears*. [online], Available: <https://www.thaimechanic.com/article-208-read.html>.
- Tubtimpadit J. (2011). *Interviewer by J. Amnatkitikorn, [Tape recording]*. Lampang Rajabhat University. Lampang.
- Ultimatecommercial. (2020). *Electric Motor Insulation Class*. [online], Available: <http://www.ultimatecommercial.co.th/Insulation-Class/>