



การพัฒนานวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อป้องกันโรคไข้เลือดออก

Development of Innovative *Aedes* Larvae Control Technology for Dengue Hemorrhagic Fever Prevention

จารุวรรณ จันทรง* ศุภชัย ยิ่งเจริญ** พีรภาพ จอมทอง**

Jaruwan Jankong,* Suphachai Yingcharoen,** Peerapop Jomthong**

*,** สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยคริสเตียน จ.นครปฐม

*,** Department of Biomedical Engineering, College of Health Sciences, Christian University of Thailand,
Nakhon Pathom Province

* Corresponding Author: j.jankong@gmail.com

บทคัดย่อ

โรคไข้เลือดออกเกิดจากยุงลายเป็นพาหะนำเชื้อไวรัส ซึ่งมีการระบาดอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อสุขภาพ
ค่าใช้จ่ายในการควบคุมป้องกันและดูแลผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องในประเทศ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา
นวัตกรรมในการควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกและทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมลูกน้ำยุงลาย
เพื่อป้องกันโรคไข้เลือดออก

ผลการวิจัย พบว่า นวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่พัฒนาขึ้น มีลักษณะเป็น
ท่อยาว ส่วนปลายทรงกระเปาะ มีขนาด 146 x 908 เซนติเมตร ควบคุมการทำงานด้วยระบบเปียโซอิเล็กทริก
แบตเตอรี่ 12 โวลต์ วัดค่าช่วงคลื่นอัลตราโซนิกได้เท่ากับ 35.71 กิโลเฮิร์ตซ์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมลูกน้ำยุงลาย ในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 420 ตัว แบ่งเป็น
กลุ่มๆ ละ 60 ตัว ใส่ในน้ำ 3,000 มิลลิตร จำนวน 7 กลุ่ม จากนั้นในแต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 3 ชุด โดยใส่ลูกน้ำ
ยุงลาย 20 ตัว ในภาชนะที่มีน้ำ 1,000 มิลลิตร ทดสอบโดยการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิก ในเวลา 5, 10, 15,
20, 25, และ 30 วินาที จำนวน 3 ครั้ง พบอัตราการตายของลูกน้ำยุงลาย 100% ในเวลาที่ 30 วินาที และ
ลักษณะการตายของลูกน้ำยุงลายมีการเปลี่ยนแปลงบริเวณส่วนหัว ออก ปล้องการขับถ่าย และท่อหายใจ
การศึกษานี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดสารเคมี รักษาสิ่งแวดล้อมในการกำจัดยุงลายตามแหล่งเพาะพันธุ์
ซึ่งเป็นพาหะของการเกิดโรคต่อไป

คำสำคัญ: ลูกน้ำยุงลาย นวัตกรรม อัลตราโซนิก ควบคุม ไข้เลือดออก

Received: October 10, 2023; Revised: January 12, 2024; Accepted: January 16, 2024

Abstract

Dengue hemorrhagic fever is transmitted by *Aedes* mosquitoes. This disease has been continuously spreading, resulting in health impacts, and incurring substantial costs for prevention, control, and patient care in Thailand. The main purposes of this study were to develop an innovation for mosquito larvae control with ultrasonic wave and to test the efficacy of mosquito larvae elimination for the prevention of dengue hemorrhagic fever.

The research findings revealed that the innovation in controlling mosquito larvae using developed ultrasonic waves featured an elongated tube with a tapered end. The size was 146 x 908 cm, controlled by piezoelectric system and 12-volt battery. The ultrasonic wave detected the frequency range of 35.71 kHz.

The results of the mosquito larvae control efficiency test was conducted on a sample group of 420 mosquito larvae, divided into groups of 60 each, placed in 3,000 milliliters of water. There were a total of 7 groups. Following that, each group was further subdivided into 3 sets, with 20 mosquito larvae placed in containers containing 1,000 milliliters of water. The test involved releasing ultrasonic waves at intervals of 5, 10, 15, 20, 25, and 30 seconds, which were repeated three times. A 100% mortality rate of mosquito larvae was observed within a 30 second timeframe. The morphology of *Aedes* larvae was damaged through the destruction of their head, thorax, anal segment, and siphon. This study offers an eco-friendly alternative to reduce chemical use in limiting breeding grounds, which can serve as a vector for future disease outbreaks.

Keywords: *Aedes* larvae, innovative, ultrasonic, control, dengue hemorrhagic fever

ความเป็นมาและความสำคัญ ของปัญหา

การแพร่ระบาดของยุงลาย (*Aedes aegypti*) เป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่กำลังเกิดขึ้นทั่วโลก ซึ่งยุงลายเป็นพาหะนำโรคต่างๆ เช่น โรคไข้เลือดออก โรคเท้าช้าง โรคซิกนุกุนยา และไข้สมองอักเสบ เป็นต้น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากรทุกเพศ ทุกช่วงอายุ และมีค่าใช้จ่ายในการควบคุมป้องกันและดูแลผู้ป่วยจำนวนมากต่อปี

ปัจจุบันสถานการณ์ในประเทศไทยมีการรายงานผู้ป่วยเป็นโรคไข้เลือดออก (Dengue hemorrhagic fever) เพิ่มขึ้น 6.6 เท่า ข้อมูล

จากระบบรายงานเฝ้าระวังโรคสถานการณ์โรคไข้เลือดออกในปี พ.ศ. 2566 (ระหว่างวันที่ 1 มกราคม - 1 มีนาคม 2566) พบผู้ป่วยจำนวน 6,156 ราย เสียชีวิต 4 ราย พบพื้นที่อัตราผู้ป่วยสูงสุดในบริเวณจังหวัดในเขตภาคกลาง คิดเป็นร้อยละ 23.84¹ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของสำนักข่าวประชาสัมพันธ์องค์การบริหารจังหวัดนครปฐม พบผู้ป่วยที่เป็นโรคไข้เลือดออกในชุมชน จำนวน 298 ราย คิดเป็นอัตราป่วยร้อยละ 32.32 ต่อประชากรแสนคน² สาเหตุการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกในปัจจุบันอาจด้วยสภาวะโรคร้อนในเมืองใหญ่ รวมถึงพื้นที่ชนบทที่มีการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำท่วมขัง การสร้างคลองน้ำเสียอื่นๆ สามารถ



ส่งผลให้มีการระบาดของยุงลายและโรคที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นได้ การเคลื่อนย้ายแหล่งถิ่นฐานของคนทั้งในประเทศและต่างประเทศเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญในการแพร่ระบาดเนื่องจากคนอพยพเข้ามาในพื้นที่เมืองจากเดิมที่ไม่มีการติดต่อกับโรคจากยุงลายที่อาศัยอยู่สามารถนำไปสู่การเกิดโรคและแพร่ระบาดการติดต่อได้

ปัญหาที่พบในการควบคุมยุงลายในพื้นที่คือการนำสารเคมีมาใช้ในการควบคุมยุงลายเป็นวิธีที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสะดวกและหาซื้อตามท้องตลาดได้ง่าย แต่พบว่ายังมีผลกระทบต่อวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องตามมา รวมทั้งเกิดการสะสมของสารพิษต่อคนและสัตว์เลี้ยงในระยะยาว อีกทั้งยุงลายมีการปรับเปลี่ยนสายพันธุ์ต่อการต้านสารเคมีให้มีชีวิตรอดจากการควบคุมอีกด้วย การพ่นสารเคมีเพื่อใช้ควบคุมยุงระยะตัวเต็มวัยในบางพื้นที่อาจเป็นแหล่งอาศัยที่ยากลำบากต่อการเข้าถึงที่จะสามารถควบคุมยุงลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ทรายอะเบทที่เคลือบสารเคมีหรือการใช้ปลาหางนกยูงเพื่อควบคุมระยะลูกน้ำตามแหล่งเพาะพันธุ์เป็นการควบคุมยุงที่อยู่ในน้ำ ซึ่งมีระยะไข่ ระยะตัวโม่ง โดยการควบคุมยุงในระยะลูกน้ำจะเป็นระยะที่สามารถควบคุมบริเวณได้ดีมีประสิทธิภาพมากที่สุด จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการรายงานการติดเชื้อไข้เลือดออกอย่างต่อเนื่องแม้ว่าจะมีการรณรงค์โครงการควบคุมลูกน้ำยุงลายทั้งภาครัฐและภาคเอกชน เมื่อมีการสำรวจในชุมชนพบว่า บริเวณบ้านเรือน วัด โรงเรียน ยังมีการกักเก็บน้ำไว้ใช้เวลาที่จำเป็นในอ่าง ภาชนะเก็บน้ำต่างๆ ที่มีขนาดแตกต่างกันซึ่งไม่มีฝาปิด และไม่ต้องการเทน้ำทิ้ง หรือบางคนยังไม่กล้าใช้น้ำที่ใส่ทรายอะเบทลงไปเนื่องจากน้ำยังมีกลิ่นเหม็นจึงทำให้การควบคุมลูกน้ำไม่ค่อยได้ประสิทธิภาพนัก

ในปัจจุบันการคิดค้นเกี่ยวกับคลื่นอัลตราโซนิคได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง

โดยคลื่นอัลตราโซนิคเริ่มนำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในพืชน้ำ³ รวมถึงการนำคลื่นอัลตราโซนิคมาควบคุมยุงที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมด้วย⁴ ขณะเดียวกันพบการรายงานเกี่ยวกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิคที่มีความถี่มากกว่า 100 kHz จะส่งผลกระทบต่อเนื้อเยื่อสัตว์ต่างๆ บริเวณใกล้เคียง และพืชน้ำที่อาศัยอยู่ในน้ำซึ่งทำให้ระบบนิเวศถูกทำลายด้วย โดยผลวิจัยก่อนหน้านี้ได้ทดสอบคลื่นความถี่ที่เหมาะสมที่จะใช้ควรเลือกในช่วง 18 - 36 kHz ก็สามารถควบคุมลูกน้ำยุงได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เป็นอันตราย⁵ นอกจากนี้ได้มีการสร้างนวัตกรรมเพื่อควบคุมยุงลายได้สำเร็จ แต่เป็นการทดสอบในพื้นที่กว้างสามารถกำจัดยุงลายได้ในระดับความลึก เช่น สระ คลอง บึง ที่ทำการเกษตร⁶ ซึ่งยังขาดข้อมูลที่แน่ชัดในการทดสอบเมื่อเทียบเคียงกับการควบคุมลูกน้ำในภาชนะที่ขังตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัยในชุมชน

เนื่องด้วยยุงเป็นพาหะสำคัญที่นำโรคไข้เลือดออกมาสู่คน ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการติดเชื้อมากยิ่งขึ้น ด้วยปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงคาดหวังว่านวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิคจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาควบคุมพาหะของโรคไข้เลือดออก รวมถึงสามารถช่วยลดการใช้สารเคมีที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ลดการแพร่ระบาดและเข้าถึงการควบคุมลูกน้ำยุงลายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

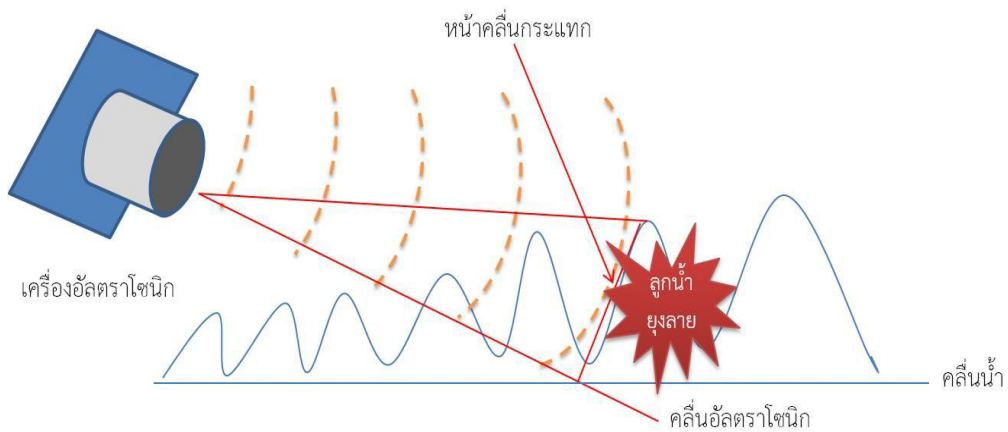
วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนานวัตกรรมในการควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิค
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิคป้องกันโรคไข้เลือดออก ได้แก่ อัตราการตายของลูกน้ำยุงลายและลักษณะการตายลูกน้ำยุงลาย

กรอบแนวคิดการวิจัย

แนวคิดการควบคุมลูกน้ำยุงลายจะใช้คลื่นเสียงความถี่อัลตราโซนิก (Ultrasonic wave) อ้างอิงจากหลักการทำงาน (คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) เกี่ยวกับงานวิจัยในช่วงความถี่ที่มากกว่า 20 kHz ซึ่งยุงจะได้รับอันตรายแต่คนและสัตว์อื่นๆ จะไม่เกิดผลกระทบอันตรายเนื่องจาก

ไม่ใช่ช่วงความถี่ในการได้ยิน โดยการสร้างนวัตกรรมที่ใช้ในการควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่ปล่อยออกไปนั้นจะทำให้ความถี่ของคลื่นที่สร้างขึ้นสามารถทำลายเซลล์ประสาทหูลูกน้ำยุงลาย ร่วมกับการใช้แรงดันจากผิวหนังเพื่อทำให้กระแทกบริเวณผนังเซลล์ของลูกน้ำยุงลายให้แตกส่งผลให้ลูกน้ำตายไป⁷ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวคิดของหลักการทำงานของคลื่นอัลตราโซนิกที่มีผลต่อลูกน้ำยุงลาย

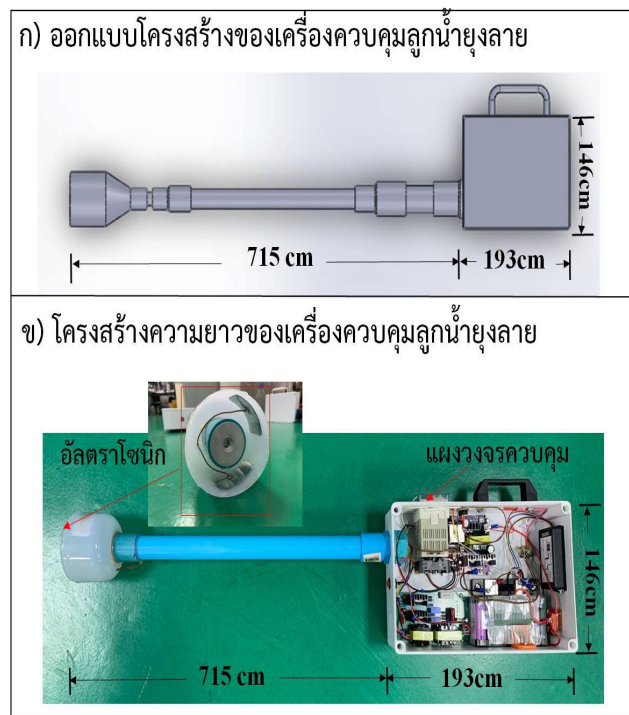
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีรูปแบบลักษณะการออกแบบสร้างนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เพื่อคิดค้นพัฒนานวัตกรรมที่เหมาะสมต่อการใช้งาน พร้อมทั้งทดสอบการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกที่ได้ทางห้องปฏิบัติการ และทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมลูกน้ำยุงลาย โดยมีขั้นตอนรายละเอียดการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. การพัฒนานวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

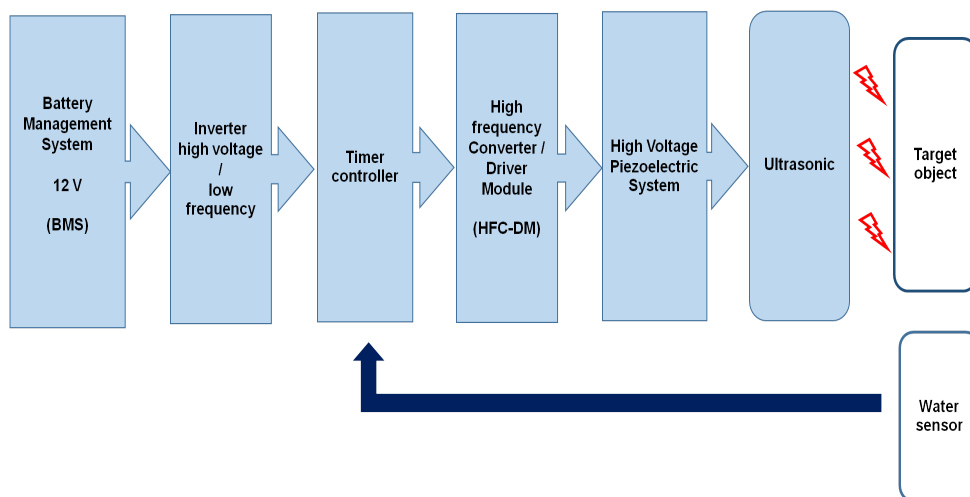
1.1 การออกแบบโครงสร้างนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

สำหรับการออกแบบโครงสร้างของนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบผังวงจรการทำงานเชื่อมกับส่วนที่สองเป็นท่อของการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิก ในการควบคุมลูกน้ำยุงลาย โครงสร้างนั้นจะผลิตด้วยพลาสติกซึ่งจะติดตั้งแผงวงจรควบคุมไฟฟารวมทั้งเซนเซอร์ การปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกที่บริเวณภายในของปลายท่อของโครงสร้างนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลาย โดยส่วนของแผงวงจรควบคุมมีขนาดความกว้าง 146 เซนติเมตร ยาว 193 เซนติเมตร และส่วนของท่อการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกมีขนาดความยาว 715 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างความกว้างและความยาวของนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
2(ก) แสดงการออกแบบโครงสร้างนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
2(ข) โครงสร้างส่วนประกอบของท่อนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกและ
การติดตั้งแผงวงจรควบคุมการทำงานเรียบร้อยแล้ว

1.2 การสร้างนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก



ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

ในการประกอบส่วนโครงสร้างท่อของการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกในการควบคุมลูกน้ำยุงลาย เมื่อเสร็จสิ้นแล้วจะถูกนำมาเชื่อมต่อกับส่วนการติดตั้งแผงวงจรควบคุมการทำงานเพิ่มเติมให้สมบูรณ์ 2(ข) โดยในการทำงานของวงจรควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เริ่มจากการกำเนิดแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สำรอง 12 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 150 วัตต์ ในการนำส่งกระแสไฟฟ้าเข้าสู่การแปลงพลังงานไฟฟ้า (Inverter) ซึ่งสามารถกำหนดค่าการปล่อยพลังงานได้ด้วยตัวควบคุมเวลา (Time controller) จากนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะถูกส่งเข้าไปสู่ตัวแปลงความถี่ไฟฟ้า (Frequency converter) และส่งต่อเข้าสู่ระบบการส่งสัญญาณความถี่ไฟฟ้า (Piezoelectric system) เพื่อส่งสัญญาณความถี่ดังกล่าวจะส่งผลให้ปล่อยกระตุ้นคลื่นอัลตราโซนิกที่ 35.71 kHz นอกจากนี้การเริ่มต้นในการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกนั้นจะมีตัวเซนเซอร์ซึ่งจะมีไฟสีแดงโชว์ขึ้นเพื่อบอกสถานะพร้อมการทำงาน โดยเซนเซอร์จะทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณน้ำเพื่อทำงานควบคู่กับการปล่อยคลื่นได้ตามการกำหนดเวลาหน่วยวินาทีของพลังงาน

1.3 การทดสอบวงจรควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกก่อนนำไปใช้

- เครื่องมือที่ใช้ (เครื่อง Digital Oscilloscope แบบบันทึก และคุณภาพของเครื่องมือ)

บันทึกและตรวจวัดคุณภาพการทำงานของคลื่นอัลตราโซนิกที่ได้ด้วยเครื่อง Digital Oscilloscope (รุ่น DS1102E) จากห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวการแพทย์

- วิธีการทดสอบ

นำวงจรควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่ติดตั้งแผงวงจรควบคุมการทำงานเรียบร้อยแล้ว เปิดการทำงานให้เชื่อมสัญญาณต่อระหว่างแผงวงจรที่ปล่อยด้วยคลื่นอัลตราโซนิกกับ

เครื่อง Digital Oscilloscope เพื่อตรวจวัดพลังงานความถี่ที่ได้

- การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

วิเคราะห์ข้อมูลของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของคลื่นอัลตราโซนิกที่ปล่อยด้วยพลังงานความถี่ที่วัดได้/ หน่วย ms เป็นค่าตัวเลขและอ่านกราฟแสดงคลื่นความถี่วัดหน่วยที่ kHz ปรากฏในการแสดงผลการทดสอบ

2. การทดสอบประสิทธิภาพของวงจรควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

2.1 กลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยจะทำการเก็บลูกน้ำยุงลายบ้านจากภาคสนาม โดยคัดเลือกพื้นที่ศึกษาจากการรายงานสถานที่ต่างๆ ของชุมชนดอนยายหอม จังหวัดนครปฐมที่มีการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ วัด โรงเรียน และบ้านเรือนที่อยู่อาศัยของชุมชน ทำการเก็บลูกน้ำและตัวโม่งตามภาชนะเก็บน้ำ รวมถึงภาชนะที่มีน้ำขังทั้งที่อยู่ภายในและภายนอกอาคารแต่ละพื้นที่ระหว่างเดือนสิงหาคม 2566 นำลูกน้ำและตัวโม่งยุงลายมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งได้ยุงตัวเต็มวัยนำมาแยกชนิดยุงลายเพื่อคัดเลือกทั้งตัวผู้และตัวเมีย นำมาเพิ่มปริมาณยุงเพื่อให้ได้ไข่ยุงลายรุ่นที่ 1 นำไข่ยุงรุ่นที่ 1 ที่ได้ไปแช่น้ำให้ไข่ฟัก จากนั้นเลี้ยงลูกน้ำด้วยอาหารปลาชนิดเม็ดยี่ห้อซากูระจนกระทั่งได้ลูกน้ำระยะที่ 3 ตอนปลายหรือระยะที่ 4 ตอนต้น โดยมีลูกน้ำยุงลายที่นำมาศึกษาทั้งหมดจำนวน 420 ตัว แบ่งกลุ่มละ 60 ตัว⁸ ใส่ในน้ำ 3,000 มิลลิลิตร จำนวน 7 กลุ่ม (รวมทั้งกลุ่มควบคุม) จากนั้นในแต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 3 ชุด โดยใส่ลูกน้ำยุงลาย 20 ตัว ในภาชนะที่มีน้ำ 1,000 มิลลิลิตร ทำการทดลองประสิทธิภาพการทำงานด้วยการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกจากวงจรควบคุมลูกน้ำยุงลายที่สร้างขึ้นตามระยะเวลาแต่ละกลุ่มที่กำหนดในห้องปฏิบัติการ บันทึกจำนวนการตายของลูกน้ำยุงลาย

2.2 เครื่องมือที่ใช้ (นวัตกรรมควบคุม ลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่ผ่านการ ทดสอบว่ามีคุณภาพแล้ว แบบบันทึก)

บันทึกผลการตายของลูกน้ำยุงลาย
ทั้ง 6 กลุ่มการทดลองในเวลาแตกต่างกัน ได้แก่
5, 10, 15, 20, 25, และ 30 วินาที นับจำนวนการตาย
ของลูกน้ำที่ได้ไ้กล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 4X)

2.3 การทดลองใช้นวัตกรรมควบคุม ลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

แบ่งกลุ่มการทดสอบด้วยการปล่อย
คลื่นอัลตราโซนิกโดยการใช้เวลาในการทดสอบที่
แตกต่างกัน ได้แก่ **กลุ่มที่ 1** กลุ่มที่ใช้นวัตกรรม
ควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็น
เวลา 5 วินาที **กลุ่มที่ 2** กลุ่มที่ใช้นวัตกรรมควบคุม
ลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 10 วินาที
กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่ใช้นวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลาย
ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 วินาที **กลุ่มที่ 4**
กลุ่มที่ใช้นวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่น
อัลตราโซนิกเป็นเวลา 20 วินาที **กลุ่มที่ 5** กลุ่มที่ใช้
นวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
เป็นเวลา 25 วินาที **กลุ่มที่ 6** กลุ่มที่ใช้นวัตกรรม
ควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา

30 วินาที และ**กลุ่มที่ 7** เป็นกลุ่มควบคุม (Control)
ที่ไม่ได้ทำการทดสอบด้วยนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำ
ยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (ในแต่ละกลุ่มแบ่ง
ลูกน้ำยุงลาย 60 ตัว ออกมาเป็นชุดละ 20 ตัว ต่อน้ำ
1,000 มิลลิลิตร/ 1 ชุด ซึ่งจะมีทั้งหมด 3 ชุด ทดสอบ
ด้วยคลื่นในแต่ละกลุ่มตามระยะเวลาที่กำหนด)
บันทึกจำนวนการตายของลูกน้ำยุงลายทั้งหมด 3 ชุด
หลังการทดสอบด้วยการสังเกตการตายของลูกน้ำ
ยุงลายเกี่ยวกับทิศทางการเคลื่อนที่ และการลอยตัว
ที่อยู่บริเวณผิวน้ำด้วยตาเปล่าที่มองเห็น จากนั้นนำมา
ศึกษาลักษณะรูปร่างการถูกทำลายของอวัยวะต่างๆ
ได้แก่ หนวด หัว ผงช่องอก ท้อง ท่อหายใจ ทางเดิน
อาหารไ้กล้องจุลทรรศน์ และรายงานลักษณะ
รูปร่างการตายของลูกน้ำยุงลายที่พบ

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

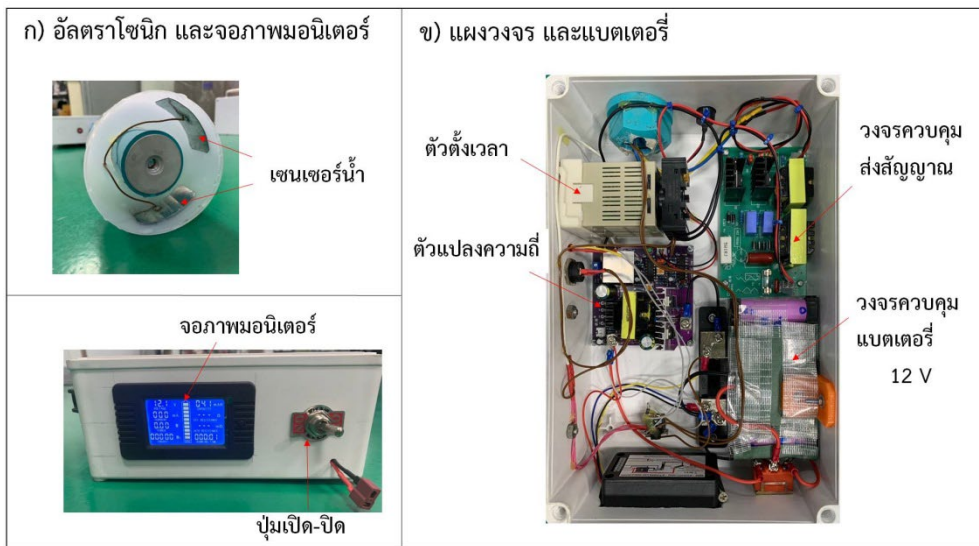
วิเคราะห์ผลจำนวนการตายของ
ลูกน้ำยุงลายทั้งหมดในแต่ละกลุ่มหลังการทดสอบ
และคำนวณอัตราการตายเป็นร้อยละเมื่อใช้นวัตกรรม
ควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก รวมทั้ง
ศึกษาลักษณะรูปร่างการตายของของลูกน้ำยุงลาย
โดยใช้สูตร

$$\text{อัตราการตายลูกน้ำยุงลาย(\%)} = \frac{\text{จำนวนการตายลูกน้ำยุงลาย}}{\text{จำนวนลูกน้ำยุงลายทั้งหมด}} \times 100$$

ผลการวิจัย

ผลการสร้างนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

ผลการสร้างนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งแบ่งโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วน คือ
ส่วนแรกเป็นส่วนของแผงวงจรและแบตเตอรี่ ภายในตัวนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
จะประกอบด้วยแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ซึ่งเป็นตัวกำเนิดแหล่งพลังงานไฟฟ้า วงจรควบคุมการส่งสัญญาณ ตัวตั้งเวลา
และตัวแปลงความถี่เพื่อทำหน้าที่ส่งและควบคุมการทำงานของพลังงานคลื่นอัลตราโซนิกตามระยะเวลาที่
กำหนด ดังภาพที่ 4(ข)



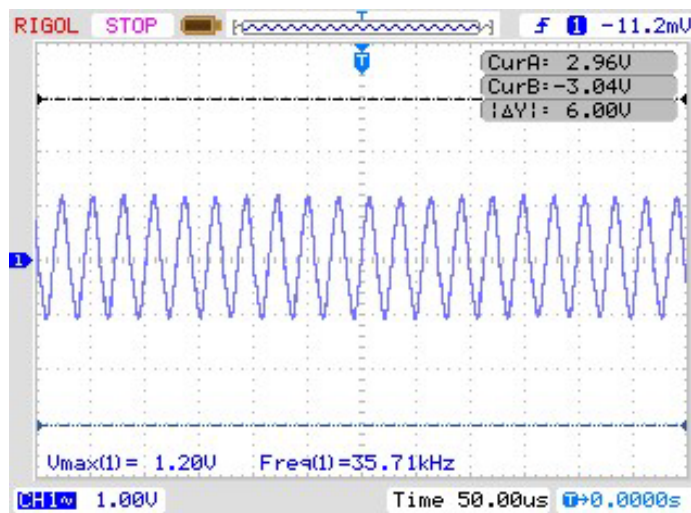
ภาพที่ 4 โครงสร้างส่วนประกอบของวงจรควบคุมลูกน้ำยุ่งลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
4(ก) แสดงส่วนบริเวณการติดตั้งอัลตราโซนิกที่บริเวณปลายท่อ และจอภาพมอเนเตอร์
4(ข) การติดตั้งแบตเตอรี่ ตัวแปลงความถี่ ตัวตั้งเวลา วงจรควบคุมส่งสัญญาณ
เรียบร้อยแล้ว

ส่วนที่สองมีลักษณะเป็นท่อเชื่อมต่อจากส่วนแรก และบริเวณส่วนปลายท่อจะติดตั้งเซนเซอร์เพื่อตรวจจับปริมาณของน้ำเมื่อเริ่มต้นการทำงาน ซึ่งส่วนนี้จะเป็นการนำส่งการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกออกมาปลายท่อเพื่อควบคุมลูกน้ำที่บริเวณผิวน้ำ ดังภาพที่ 4(ก)

นอกจากนี้ได้ติดตั้งมอเนเตอร์แสดงผลการทำงาน และปุ่มเปิด - ปิด ของวงจรควบคุมลูกน้ำยุ่งลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่บริเวณภายนอกของกล่องแผงวงจร ซึ่งสามารถแสดงสถานะที่คงเหลือของแบตเตอรี่ จำนวนความคงที่พลังงานของไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาอีกด้วย

ผลการทดสอบการวัดค่าคลื่นอัลตราโซนิก

จากกราฟเป็นผลการทดสอบวัดค่าการทำงานของคลื่นอัลตราโซนิกที่ได้ ซึ่งทำการทดลองด้วยเครื่อง Digital Oscilloscope จากห้องปฏิบัติการวิศวกรรมชีวการแพทย์ วัดได้ค่าความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกที่ปล่อยออกมาภายนอกเท่ากับ 35.71 kHz ซึ่งเป็นค่าการทำงานของวงจรควบคุมลูกน้ำยุ่งลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพมีลักษณะความยาวคลื่นและความสูงของกราฟสมดุลง่ายๆ และกราฟแสดงความถี่ของคลื่นแต่ละจุดมีระยะห่างที่เท่ากัน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟผลการวัดคลื่นอัลตราโซนิกด้วยเครื่อง Digital Oscilloscope ที่ความถี่ 35.71 kHz ของ
นิวตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลาย

ผลทดสอบลูกน้ำยุงลายกับนิวตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

จำนวนและร้อยละการตายของลูกน้ำยุงลายด้วยนิวตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
คลื่นความถี่ 35.71 kHz ในเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที พบอัตราการตาย
ของลูกน้ำยุงลายเท่ากับร้อยละ 30, 60, 80, 95, 95 และ 100 ตามลำดับ โดยพบการใช้นิวตกรรมควบคุม
ลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกทดสอบที่เวลา 5 วินาที จากจำนวนทั้งหมด 60 ตัว สามารถฆ่าลูกน้ำได้
18 ตัว คิดเป็นร้อยละ 30 ซึ่งเป็นอัตราการตายของลูกน้ำต่ำที่สุด และเมื่อใช้นิวตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลาย
ด้วยคลื่นอัลตราโซนิกทดสอบที่เวลา 30 วินาที จากจำนวนทั้งหมด 60 ตัว สามารถฆ่าลูกน้ำได้ทั้งหมด คิดเป็น
ร้อยละ 100 ซึ่งเป็นอัตราการตายของลูกน้ำสูงที่สุด โดยการหาค่าร้อยละเป็นการหาค่าจากการรวมการทดสอบ
ทั้งหมด 3 ครั้ง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละการตายของลูกน้ำยุงลายด้วยนิวตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก
(โดยทำการทดสอบ 3 ชุด/ กลุ่ม)

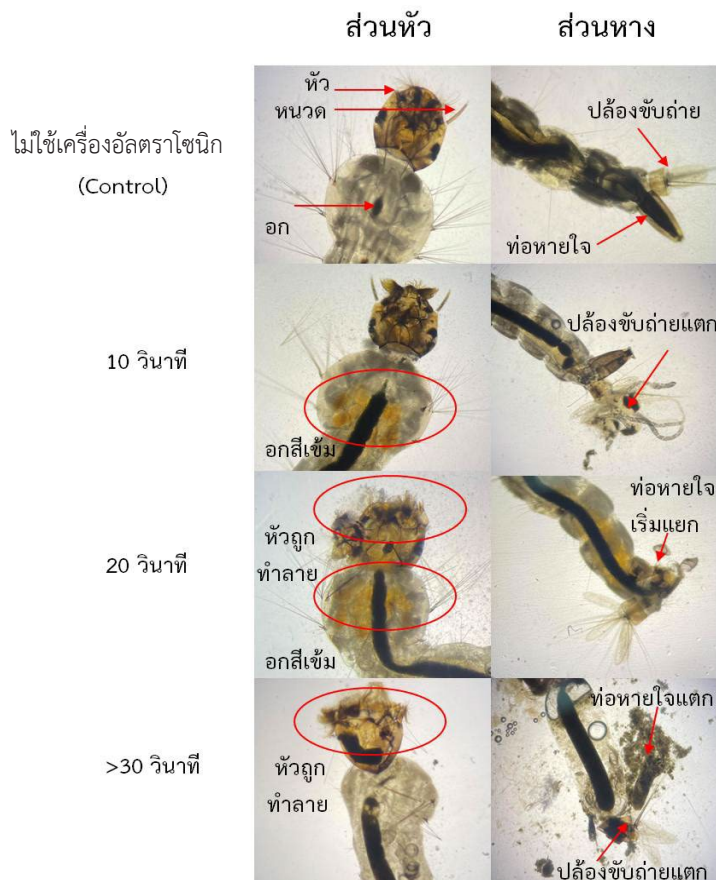
ใช้คลื่นอัลตราโซนิกทดสอบระยะเวลา (วินาที)	จำนวนการตาย (n = 60)	คิดเป็นร้อยละ
- 5 วินาที	18	30
- 10 วินาที	36	60
- 15 วินาที	48	80
- 20 วินาที	57	95
- 25 วินาที	57	95
- 30 วินาที	60	100

ผลการศึกษาลักษณะการตายลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบลูกน้ำยุงลายโดยใช้วัตรกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ระยะเวลา 10 วินาที พบลักษณะการตายโดยส่วนใหญ่ที่บริเวณหัวของลูกน้ำ คงสภาพของหัว หนวด และขนที่หน้าอกที่ปกติ แต่บริเวณส่วนหางจะพบการแตกแยกของท่อหายใจ และปล้องการขับถ่ายแตกออกจากลำตัว

ผลการทดสอบลูกน้ำยุงลายโดยใช้วัตรกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ระยะเวลา 20 วินาที พบลักษณะการตายโดยส่วนใหญ่ซึ่งมีการทำลายที่บริเวณหัว รวมถึงมีการแตกบริเวณผนังช่องอกทำให้น้ำที่อยู่ในบริเวณช่องอกไหลออกมา มีขนบริเวณหน้าอก สีบริเวณหน้าอกเปลี่ยนแปลง ส่วนบริเวณหางจะพบท่อช่วยหายใจแตกรูปร่างไม่คงเดิม และปล้องการขับถ่ายแตกออกจากลำตัว

ผลการทดสอบลูกน้ำยุงลายโดยใช้วัตรกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิก ระยะเวลา 30 วินาที พบลักษณะการตายโดยส่วนใหญ่ซึ่งมีการทำลายที่บริเวณหัวที่มากขึ้นอย่างเด่นชัด ขนาดของหน้าอกมีขนาดลดลง รวมถึงไม่พบขนปกคลุมบนหน้าอก ส่วนบริเวณหาง ท่อหายใจ และปล้องการขับถ่ายถูกทำลาย



ภาพที่ 6 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบลักษณะการตายลูกน้ำยุงลายกับกลุ่ม Control ที่ ตำแหน่งบริเวณส่วนหัว และส่วนหางด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่เวลา 10, 20 และ 30 วินาที

การอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้สามารถสร้างนวัตกรรมด้วยคลื่นอัลตราโซนิกในการควบคุมลูกน้ำยุงลายได้สำเร็จ โดยใช้ความถี่คลื่นเท่ากับ 35.71 kHz ซึ่งในการทดสอบเวลา 10 วินาที สามารถควบคุมลูกน้ำยุงลายได้อย่างรวดเร็ว ร้อยละ 60 ซึ่งเป็นจำนวนเกินครึ่งของจำนวนลูกน้ำยุงลายทั้งหมด และหากเพิ่มระยะเวลาการทดสอบที่ 30 วินาที ผลจะสามารถควบคุมลูกน้ำยุงลายได้ทั้งหมด ร้อยละ 100 แต่ยังคงเหลือระยะตัวโม่งที่ยังสามารถรอดชีวิตได้ เมื่อเพิ่มระยะเวลาทำการทดสอบด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่ 35 วินาทีจึงจะสามารถทำให้ระยะตัวโม่งตายได้ สอดคล้องกับผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้รายงานช่วงคลื่นอัลตราโซนิกในการควบคุมลูกน้ำยุงลายเท่ากับ 18 - 30 kHz ระยะเวลา 180 วินาที จึงสามารถควบคุมลูกน้ำยุงลายได้ทั้งหมดซึ่งเป็นการเพิ่มเวลาที่มากขึ้น และไม่ทำลายสัตว์ประเภทอื่นที่อาศัยอยู่ในน้ำ (*Megacyclops formosanus*)⁶ รวมถึงผลการวิจัยด้วยคลื่นอัลตราโซนิกในช่วงความถี่ระหว่าง 38 - 44 kHz⁹ จะสามารถใช้ในการควบคุมยุงลายระยะตัวเต็มวัยได้ เมื่อเปรียบเทียบในงานวิจัยครั้งนี้และก่อนหน้านี้การสร้างนวัตกรรมควรเลือกคลื่นอัลตราโซนิกที่เหมาะสมในช่วง 18 - 36 kHz ก็สามารถควบคุมลูกน้ำยุงลายหรือตัวยุงได้ อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำอื่นบริเวณใกล้เคียง⁵ โดยอาจต้องปรับระยะเวลาเพื่อใช้ควบคุมในการทดสอบ

ในการศึกษาประสิทธิภาพการควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมลูกน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการทดสอบการตายลูกน้ำยุงลายเท่ากับ ร้อยละ 60 - 100 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคลื่นอัลตราโซนิกที่ปล่อยออกไปนั้น สามารถทำลายเซลล์ประสาทของลูกน้ำยุงลาย ร่วมกับการใช้แรงดันจาก

ผิวน้ำเพื่อให้กระแทกบริเวณผนังเซลล์ของลูกน้ำยุงลายให้แตกส่งผลให้ลูกน้ำตายได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ทดสอบด้วยช่วงคลื่นอัลตราโซนิก 20 - 32.8 kHz¹⁰ กับลูกน้ำยุงต่างสายพันธุ์ (*Culex pipiens*) พบผลรายงานการตายลูกน้ำเท่ากับ ร้อยละ 70 - 100 ซึ่งแสดงผลการตายมากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนลูกน้ำที่ใช้ในการทดสอบ นอกจากนี้พบการรายงานการใช้คลื่นอัลตราโซนิกในช่วงความถี่ 37.5 - 39.5 kHz ยังมีผลกับแมลงสายพันธุ์ (*Sesamia cretica*) โดยคลื่นจะไปมีผลต่อวงจรชีวิตการมีชีวิตคงอยู่ อันจะส่งผลให้แมลงดังกล่าวไม่มารบกวนในบริเวณนั้นด้วย¹¹ ดังจะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ควรคำนึงในการควบคุมลูกน้ำยุงลายนั้น ควรพิจารณาความเหมาะสม เช่น ชนิดพันธุ์กรรมในการต้านทาน ระยะในวงจรชีวิต ระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบประกอบการวางแผน ซึ่งจะทำให้ นวัตกรรมการควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อทดสอบด้วยการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกในเวลาที่แตกต่างกัน พบการรายงานการศึกษาลักษณะรูปร่าง การเปลี่ยนแปลงของสีกที่เข้มขึ้น มีการทำลายลูกน้ำยุงลายที่บริเวณอก และช่วงบริเวณท้องซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้⁹ ผลพบการทำลายบริเวณหัวตอนต้น หนวด ขนช่วงอก และส่วนหัวที่มีการทำลายด้านบนหายไปอย่างเด่นชัด บริเวณส่วนหางที่มีการทำลายของปล้องการขับถ่ายและท่อหายใจ เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งสามารถพบลักษณะการทำลายส่วนนี้ได้ในกลุ่มที่มีการเพิ่มระยะเวลาที่มากขึ้นตั้งแต่ 10 วินาทีเป็นต้นไป สามารถคาดการณ์ได้ว่าการเพิ่มความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกจะทำให้เกิดคลื่นผลึกแรงดันของน้ำที่มากขึ้นกระแทกผนังเซลล์บริเวณอกของลูกน้ำยุงลาย⁷ จนทำให้มีสารน้ำภายในช่องอกไหลออกมาในการปล่อยคลื่นที่ระยะเวลาเริ่มต้น จนกระทั่งพบการทำลายส่วนหัวและส่วนหางซึ่งเป็นบริเวณที่บอบบางน้อยในเวลา

ถัดมา ซึ่งอาจสรุปผลได้ว่าคลื่นอัลตราโซนิกจะทำลายผนังอวัยวะต่างๆ ของลูกน้ำยุงลายแตกเพื่อให้อวัยวะภายในออกมาจนทำให้ลูกน้ำยุงลายตายในที่สุด

สิ่งที่ต้องคำนึงในการใช้นวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกนี้เป็นการทดสอบภายในห้องทดลองด้วยอัตราส่วนของน้ำ 1,000 มิลลิลิตร ซึ่งหากใช้ภาชนะที่แตกต่างกันหรือนำไปใช้ในบริเวณแหล่งเพาะพันธุ์ของยุงลายตามที่ต่างๆ อาจมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณน้ำที่มาก ขนาดภาชนะ ขอบเขตบริเวณพื้นที่อาจสามารถส่งผลให้ลดประสิทธิภาพการควบคุมลูกน้ำได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

นวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกสามารถนำไปควบคุมลูกน้ำยุงลายบริเวณแหล่งเพาะพันธุ์ในน้ำตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัยในชุมชนได้ ยกตัวอย่างเช่น ภาชนะบรรจุน้ำ โอ่ง ถังน้ำ อื่นๆ ที่ไม่มีฝาปิดที่ตั้งอยู่ภายในและภายนอกที่อยู่อาศัยซึ่งต้องการใช้กักเก็บน้ำที่มีอยู่ เมื่อใช้นวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกตามแหล่งเพาะพันธุ์ในสถานที่จริงสามารถปรับสัดส่วนการเพิ่มระยะเวลาของคลื่นอัลตราโซนิกมากขึ้นในภาชนะที่บรรจุน้ำที่ 1,000 - 3,000 มิลลิลิตร ซึ่งยุงลายเป็นพาหะที่สำคัญที่ต้องวางไข่เพื่อเจริญเติบโตของวงจรชีวิต และสามารถนำโรคไข้เลือดออกมามีคนได้ งานวิจัยนี้ในอนาคตมีเป้าหมายในการสร้างนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเพื่อมอบให้แก่เทศบาลตำบลดอนยายหอม จังหวัดนครปฐมซึ่งเป็นพื้นที่ต้นแบบในการศึกษา โดยจะให้ความรู้พื้นฐานของวงจรชีวิตของยุงร่วมกับการนำนวัตกรรมที่สร้างขึ้นมาใช้งานควบคุมลูกน้ำยุงลายแก่อาสาสมัคร หรือเจ้าหน้าที่ในชุมชนเพื่อช่วยป้องกันการติดต่อโรค

ไข้เลือดออก ทั้งนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์วางแผนพัฒนาเกี่ยวกับรูปแบบการป้องกันไข้เลือดออก ร่วมกับชุมชน หน่วยงาน โรงพยาบาลที่ต้องรับผิดชอบได้ในอนาคต¹² รวมถึงสามารถนำความรู้นี้ไปปรับสร้างพัฒนานวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับบริษัทในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดสารเคมี หรือการดื้อยาของลูกน้ำยุงลาย และสามารถใช้งานได้สะดวก พกพาไปยังท้องที่อื่นที่มีอัตราการแพร่ระบาดที่สูงในชุมชนต่างๆ ต่อไป

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากนวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกที่สร้างขึ้น มีโครงสร้างลักษณะเป็นท่อตรงที่มีความแข็งแรงของโครงสร้างหากนำไปใช้ในบริเวณที่ภาชนะใส่น้ำที่ต้องการทดสอบซ้อนกันอยู่เป็นจำนวนมากอาจทำให้การเข้าถึงในการควบคุมลูกน้ำได้ยาก ทางผู้วิจัยจึงอยากเสนอแนะให้เปลี่ยนท่อแข็งเป็นสายในโครงสร้างที่สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถยืดหยุ่นตามแนวโค้ง ตามซอกต่างๆ ได้ รวมทั้งเพิ่มความยาวและสร้างแหล่งกำเนิดที่สามารถปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกออกไปหลายๆ จุดพร้อมกัน ทั้งนี้ในการพัฒนานวัตกรรมควบคุมลูกน้ำยุงลายด้วยคลื่นอัลตราโซนิกต่อไปในอนาคตสามารถพัฒนาการส่งงานการปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกด้วยระบบการทำงานแบบไร้สายในการควบคุมการปล่อยเชื่อมกับระบบอินเทอร์เน็ตจะยังเป็นการพัฒนาการสร้างนวัตกรรมด้วยเทคโนโลยีในรูปแบบใหม่ให้มีการพัฒนาได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. The officer of Epidemiology, Department of Disease Control, Ministry of Public Health. Weekly disease and public health forecast “Edition 8//2566 for week 9 (March 5th - 11th, 2023). [Internet]. [cited 2023 May 15]. Available from <http://ddc.moph.go.th/Old/S1.htm>. (in Thai).
2. National New Bureau of Thailand. Dengue hemorrhagic fever. [Internet]. [cited 2023 October 10]. Available from <https://thainews.prd.go.th/th/news/detail/TCATG230331001114481>. (in Thai).
3. Gina L, Elizabeth H. Literature review of the effects of ultrasonic waves on cyanobacteria, other aquatic organisms, and water quality. Wisconsin DNR 2014;195:1-14.
4. Ibrahim DSA, Khairy RMY, Omer RMY. The effect of the ultrasound waves on mosquitoes. [Doctoral dissertation for Science and Technology], Sudan University; 2016.
5. Tawatsin A, Thavara U, Siriyasatien P, Permpoonburana S. Development of a novel ultrasonic sound-generated device: the physical tool for controlling immature stages of mosquitoes transmitting dengue haemorrhagic fever (*Aedes aegypti*) and Filariasis (*Culex quinquefasciatus*). Biomedical Journal of Scientific & Technical Research 2019;19(3):14308-14.
6. Kalimuthu K, Tseng LC, Murugan K, Panneerselvam C, Aziz AT, Benelli G, et al. Ultrasonic technology applied against mosquito larvae. Appl Sci 2020;10(10):3546.
7. Wilai T, Sammuangpuk C, Chanachai C. Environmental friendly mosquito larva exterminator. [Bachelor’s Project, Faculty of Engineering]. Suranaree University; 2010. (in Thai).
8. Paeporn P, Sathantriphop S, Sripho W, Ya-umphan P, Vivon M, Nilmanee. Laboratory and field evaluation on the efficacy of temephos for larval control of insecticide resistant strains of the dengue vector *Aedes aegypti* L. Disease Control Journal 2001;(47):734-45. (in Thai).
9. Mohankumar D. Ultrasound and insects. [Internet]. [cited 2020 May 18]. Available from <http://www.electroschematics.com/3864/ultrasound-and-insects/>.
10. Ozkurt H. Investigation of some ultrasonic sound frequencies effects on *Culex pipiens sensu stricto* (Diptera: Culicidae) larvae by using piezoelectric transducer. International Journal of Tropical Insect Science 2021;41(4):3225-31.
11. Agah-Manesh H, Rajabpour A, Yarahmadi F, Farsi A. Potential of ultrasound to control *Sesamia cretica* (Lepidoptera: Noctuidae). Environmental Entomology 2021;50(6):1393-9.
12. Tansiri S, Piboon K, Oppawongasapat D, Methatpat C. Development of dengue hemorrhagic fever prevention model in the community. Royal Thai Navy Medical Journal 2021;48(1):53-80. (in Thai).