

การพัฒนาระบบเปลวเทียนพลาสมาเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์

ชูพล พรหมสุทธิรักษ์*, นิพิฐพนธ์ เชื้อโชติ**,
ภัทรภรณ์ ศรีพรมมา***, ปรัชญา ตั้งจิตสมบูรณ์**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาระบบเปลวเทียนพลาสมาเพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทางการแพทย์และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์เบอร์ 18 G, 21 G, 24 G และ 27 G โดยระบบดังกล่าวใช้วงจรขดลวดเทสลาความถี่สูงต่อกับขั้วภายนอกเพื่อผลิตเปลวเทียนพลาสมา งานวิจัยนี้ใช้ศักย์ไฟฟ้าอินพุตที่ 24 V, 36 V และ 48 V เพื่อเผาทำลายเชื้อจุลินทรีย์ครั้งละ 1 เล่ม และ 2 เล่ม โดยควบคุมเวลาเผาทำลายเชื้อที่ 30 วินาที ผลการทดลองที่ได้ พบว่าสัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขั้วภายนอกเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์มีความถี่ 16 MHz อุณหภูมิที่วัดได้จากการเผาทำลายเชื้อเพิ่มขึ้นไปถึง 800 องศาเซลเซียส ในการเผาทำลายเชื้อจุลินทรีย์ครั้งละ 1 เล่ม และ 2 เล่ม พบว่าศักย์ไฟฟ้าอินพุตที่เพิ่มขึ้นทำให้ความยาวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือลดลง โดยเชื้อจุลินทรีย์เบอร์ 27 G มีความยาวเฉลี่ยน้อยที่สุดและเชื้อจุลินทรีย์เบอร์ 18 G มีความยาวเฉลี่ยมากที่สุด และการเผาทำลายเชื้อครั้งละ 2 เล่ม มีความยาวเฉลี่ยมากกว่าครั้งละ 1 เล่ม เนื่องจากเกิดการแบ่งความร้อนจากการวิจัยสรุปได้ว่าระบบเปลวเทียนพลาสมาที่พัฒนาขึ้น สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทางการแพทย์และนำไปต่อยอดเป็นนวัตกรรมเครื่องเผาทำลายเชื้อจุลินทรีย์หรือขยะมูลฝอยติดเชื้อชนิดอื่น ๆ ได้

คำสำคัญ : พลาสมา, ระบบเปลวเทียนพลาสมา, การทำลายเชื้อจุลินทรีย์

* อาจารย์ประจำ ภาควิชาเทคโนโลยีสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช

** อาจารย์ประจำ ภาควิชาการศึกษาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช

*** อาจารย์ประจำ ภาควิชาการบริหารการพยาบาลและพื้นฐานวิชาชีพ คณะพยาบาลศาสตร์เกื้อการุณย์ มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช

Corresponding author, email: prajya.t@nmu.ac.th, Tel. 086-9700925

Received : March 1, 2024; Revised : April 18, 2024; Accepted : April 30, 2024

Development of the Plasma Candle System for Destroying Needles

Choopol Phromsuthirak*, Nipitpon Chueachot**,
Pattaraporn Sripomma***, Prajya Tangjitsomboon**

Abstract

This research is the development of a plasma candle flame system for destroying hypodermic needles and studying the factors affecting the destruction of 18 G, 21 G, 24 G, and 27 G needles. The system uses a high-frequency Tesla coil connected to an outer electrode to produce a plasma flame. This research uses an input voltage of 24 V, 36 V, and 48 V, respectively, to incinerate 1 and 2 needles, and the duration time for destroying the needle is controlled to be 30 seconds. According to experimental results, the signal of the electric current of the outer electrode is a sine wave signal with a frequency of 16 MHz. Temperatures measured from incinerating the needles increased to 800 degrees Celsius. In the incineration of 1 and 2 needles, it was found that the remaining length of the needle decreased due to increasing the input voltage. The average length of 27 G needles is the least, and the average length of 18 G needles is the greatest. From incinerating 2 needles, the average length of the needles is greater than the average length of the needle from incinerating 1 needle. In conclusion, the developed plasma candle flame system can destroy hypodermic needles and can be developed into an innovative incinerator for destroying needles or other types of infectious waste.

Keywords : Plasma, Plasma candle system, Destroying needles

* Instructor, Department of Health Technology, Faculty of Science and Health Technology, Navamindradhiraj University

** Instructor, Department of General Education, Faculty of Science and Health Technology, Navamindradhiraj University

*** Instructor, Department of Administration and Fundamental of Nursing, Kuakarun Faculty of Nursing, Navamindradhiraj University

Corresponding author, email: prajya.t@nmu.ac.th, Tel. 086-9700925

Received : March 1, 2024; **Revised :** April 18, 2024; **Accepted :** April 30, 2024

ความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ปัญหาการติดเชื้อจากอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ใช้แล้ว ส่งผลกระทบต่อชีวิตของผู้ป่วยและบุคลากรทางการแพทย์ เนื่องจากการติดเชื้อมีผลต่อสุขภาพของบุคคลดังกล่าวและทำให้เกิดการแพร่ระบาดของเชื้อโรค โดยหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้เกิดการติดเชื้อเกิดจากของมีคมที่ผ่านการใช้งานแล้ว เช่น เข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่สัมผัสกับผู้ป่วยโดยตรง ซึ่งเข็มฉีดยาใช้แล้วมีการปนเปื้อนของเชื้อโรคต่าง ๆ เช่น เอชไอวี (HIV) ไวรัสตับอักเสบบี และไวรัสตับอักเสบบี เป็นต้น (Motaarefi et al., 2016; Van der Molen et al., 2011) โดยสาเหตุของการติดเชื้อจากเข็มฉีดยาใช้แล้ว เกิดจากอุบัติเหตุการถูกเข็มทิ่มแทง เช่น การสวมปลอกเข็มกลับคืนเมื่อใช้เสร็จและการทิ้งเข็มลงในกล่องใส่เข็มอย่างไม่ระมัดระวัง (Persaud & Mitchell, 2021; Ochmann & Wicker, 2019; Katsevman et al., 2017) จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้คณะผู้วิจัยสนใจพัฒนาระบบกำจัดเข็มฉีดยาทางการแพทย์ขึ้นมา

โดยทั่วไปการกำจัดเข็มฉีดยาทำได้โดยการปลดเข็มฉีดยาใส่ในภาชนะทิ้งเข็มแล้วรวบรวมนำไปทำลายด้วยการเผาในเตาเผา (Khalid et al., 2021; Veilla, & Manyele, 2016) ซึ่งการเก็บรวบรวมเข็มไปเผาทำลาย อาจมีความไม่สะดวกสำหรับผู้ป่วยที่ทำการฉีดยาด้วยตัวเองที่บ้าน เช่น ผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Catic et al., 2020; Zhang et al., 2020) และมีงานวิจัยที่กล่าวถึงอุบัติเหตุการถูกเข็มทิ่มแทงจากการปลดเข็มฉีดยาใส่กล่องใส่เข็มเนื่องจากความประมาท (Alfulayw et al., 2021) นอกจากนี้พบว่ามีอาการบาดเจ็บจากการถูกเข็มทิ่มแทงกรณีอยู่นอกสถานพยาบาลที่เกิดจากการจัดเก็บเข็มอย่างไม่ถูกวิธี (Alfulayw et al., 2021) จากปัญหาดังกล่าวมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการบาดเจ็บจากการถูกเข็มทิ่มแทง เช่น การสร้างนวัตกรรมกล่องเก็บเข็มฉีดยาที่ใช้แล้ว (Gyawali et al., 2013) การใช้นวัตกรรมเครื่องถอดเข็มฉีดยาแบบกึ่งอัตโนมัติ (Laowha et al., 2023) เป็นต้น อย่างไรก็ตามกระบวนการเก็บรวบรวมเข็มฉีดยาเพื่อขนย้ายไปทำลายภายหลังมีข้อควรระวัง คือ ภาชนะที่ใช้จัดเก็บและการนำไปทำลายสามารถทำให้เกิดการบาดเจ็บจากการถูกเข็มทิ่มแทงได้ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำลายเข็มฉีดยาโดยทันที ด้วยการให้กระแสไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างเข็ม ทำให้เกิดความร้อนที่ใช้ในการทำลายเข็มฉีดยา (Kromholz, 2018; Panek et al., 2004; Kim et al., 2019) โดยข้อจำกัดของเครื่องดังกล่าว คือ สามารถทำลายเข็มได้เพียง 1 เล่ม ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง (Kim et al., 2022) ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงใช้พลาสมาเปลวที่เกิดจากการแตกตัวของแก๊สซึ่งสามารถให้ความร้อนที่สูงเพียงพอต่อการทำลายเข็มฉีดยาและสามารถทำลายเข็มได้มากกว่า 1 เล่ม ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง

พลาสมา คือ สถานะที่สี่ของสสารที่เกิดจากการให้พลังงานแก่แก๊สทำให้เกิดการแตกตัว ซึ่งพลาสมาเปลวสามารถสร้างได้จากระบบสร้างพลาสมาด้วยแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อทำให้เกิดการแตกตัวของก๊าซจนกลายเป็นพลาสมา (Kim et al., 2020) และระบบสร้างพลาสมาด้วยวงจรขดลวดเทสลา (Wang et al., 2022) โดยใช้ความต่างศักย์ที่ต่ำและมีความยืดหยุ่นต่อการดัดแปลงเพื่อประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้พลาสมาเปลวที่เกี่ยวข้องกับความร้อน ได้แก่ การนำไปใช้เป็นตัวจุดเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ (Hashchuk & Nikipchuk, 2018) และการนำไปใช้ในการตัดโลหะหลายชนิด เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) (Gostimirović et al., 2020)

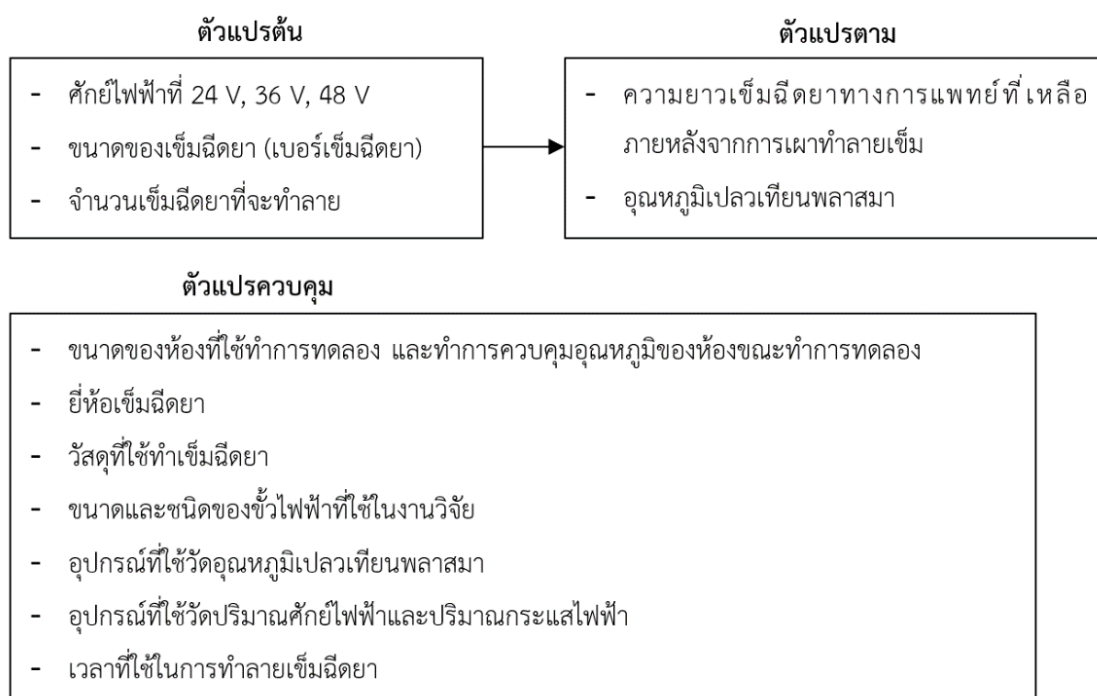
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลาสมา พบว่าสมบัติของพลาสมาเปลวสามารถให้ความร้อนที่เพียงพอในการหลอมละลายโลหะได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบพลาสมาเปลวเพื่อใช้ทำลายเข็มฉีดยาที่ใช้แล้ว โดยระบบดังกล่าวมีแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำทำให้มีความปลอดภัย และมีขนาดที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกทำให้สามารถนำไปใช้ภายนอกสถานพยาบาล ในผู้ป่วยที่ทำการฉีดยาด้วยตัวเองที่บ้านและในสถานพยาบาล ขนาดเล็กที่ไม่สะดวกในการรวบรวมเข็มฉีดยาไปเผากำจัดภายหลังได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบเปลวเทียนพลาสมา (Plasma candle system) ในการกำจัดเข็มฉีดยาทางการแพทย์
2. เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัดเข็มฉีดยาทางการแพทย์ของระบบเปลวเทียนพลาสมาที่พัฒนาขึ้น

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อพัฒนาระบบเปลวเทียนพลาสมาที่ใช้ทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายเข็มฉีดยาด้วยพลาสมาที่กำหนดจากระบบเปลวเทียนพลาสมา ซึ่งสามารถสรุปกระบวนการวิจัยได้ดังกรอบแนวคิดการวิจัย แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

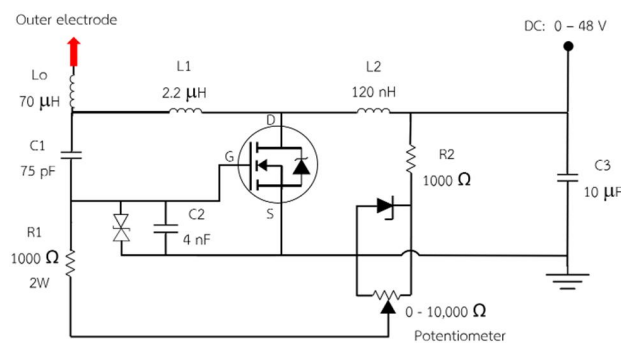
งานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบเปลวเทียนพลาสมาเพื่อใช้ในการทำลายเซลล์เนื้องอก การแพทย์และการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำลายเซลล์เนื้องอกทางการแพทย์ด้วยเปลวเทียนพลาสมาที่กำเนิดจากระบบเปลวเทียนพลาสมา โดยมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ระบบเปลวเทียนพลาสมา

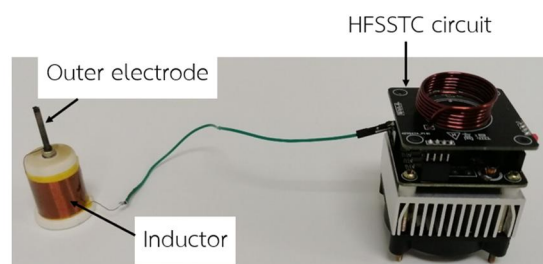
ระบบเปลวเทียนพลาสมา เป็นระบบสร้างพลาสมาให้มีลักษณะแบบเปลวไฟ โดยระบบเปลวเทียนพลาสมาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นระบบสร้างพลาสมาความดันบรรยากาศ ซึ่งเป็นพลาสมาที่เกิดจากการใช้ศักย์ไฟฟ้าต่ำแต่ใช้กระแสไฟฟ้าแบบกระแสดังที่มีค่าสูง ส่งผลให้พลาสมาที่เกิดขึ้นเป็นพลาสมาแบบอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ (Non local Thermal Plasma : Non-LTE) ซึ่งเป็นพลาสมาที่มีความร้อนสูง (Al-neamy & Sulyman, 2021; Zin et al., 2017) สามารถเผาทำลายเซลล์เนื้องอกได้

โดยระบบเปลวเทียนพลาสมาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นระบบสร้างเปลวเทียนพลาสมาด้วยวงจรขดลวดเทสลา (Wang et al., 2022) ซึ่งใช้ความต่างศักย์ที่ต่ำและมีความยืดหยุ่นในการดัดแปลงเพื่อประยุกต์ใช้ในด้านอื่น ๆ

งานวิจัยนี้ ใช้เปลวเทียนพลาสมาที่สร้างจากระบบวงจรขดลวดเทสลาความถี่สูง (High Frequency Solid State Tesla Coil : HFSSTC) แสดงดังรูปที่ 2 โดยวงจรดังกล่าวสามารถสร้างพลาสมาอากาศ (Air plasma) จากกระบวนการอาร์คดิสชาร์จ (Arc discharge) ของขั้วไฟฟ้าภายนอก (Outer electrode) ที่ต่อกับขดลวดเหนี่ยวนำ โดยมีความถี่เรโซแนนซ์ที่เกิดจากการสั่นพ้องของขดลวดเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุไฟฟ้า และมีมอสเฟต (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor : MOSFET) ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลจากขาเดรน (Drain : D) ไปยังขาซอร์ส (Source : S) เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ขาเกต (Gate : G) มีค่าเป็นศูนย์ โดยเรียกวิธีการใช้มอสเฟตเป็นสวิตช์ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าแบบนี้ว่า Zero Current Switching (ZCS)



ก)



ข)

รูปที่ 2 แผนภาพวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย ก) แผนภาพวงจรไฟฟ้าของระบบเปลวเทียนพลาสมา ข) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductor) ต่อกับขั้วไฟฟ้าภายนอก (Outer electrode) และอุปกรณ์วงจร HFSSTC

พิจารณาแผนภาพวงจรไฟฟ้ารูปที่ 2 ศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้ขาเกทของมอสเฟตเพื่อให้มอสเฟตทำงานมาจากศักย์ไฟฟ้าที่ขาตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) ซึ่งต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage divider) กับตัวต้านทาน R2 ดังนั้นเมื่อมีการปรับค่าความต้านทาน จึงส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ขาเกท ทำให้กระแสไฟฟ้าจากขดลวดเหนี่ยวนำ L2 ซึ่งทำหน้าที่กรองสัญญาณแบบยอมให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter) ไหลผ่านไปยังขดลวดปฐมภูมิ L1 ที่ต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ C1 ดังนั้นสัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในส่วนลูป (Loop) ขดลวดเหนี่ยวนำ L1 และตัวเก็บประจุ C1 จึงมีการสั่นด้วยความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งหาค่าความถี่ได้จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

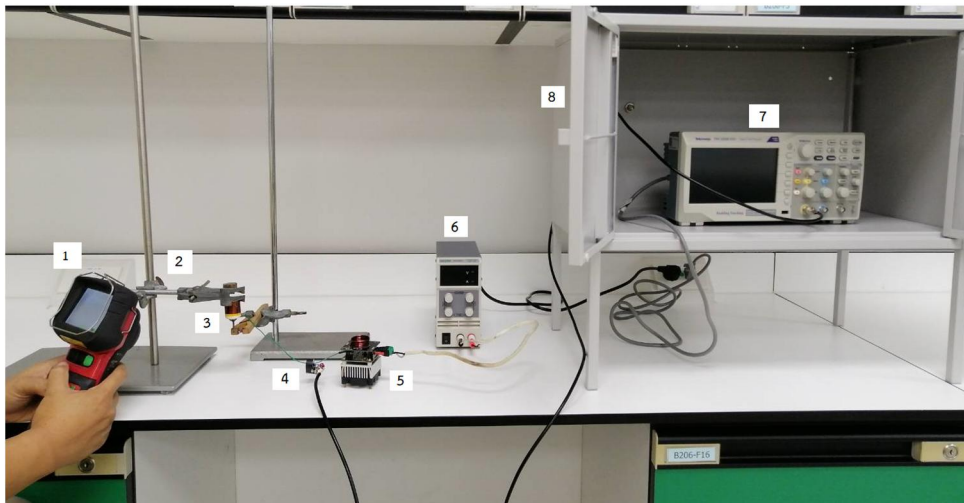
L คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำ หน่วย เฮนรี (Henry : H)

C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ หน่วย ฟารัด (Farad : F)

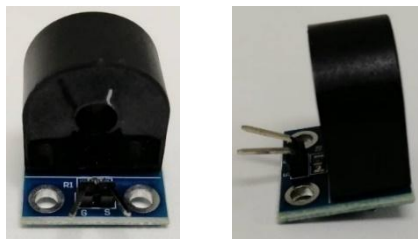
เมื่อแทนค่า L ด้วย L1 และแทนค่า C ด้วย C1 พบว่าความถี่ที่ได้มีค่าประมาณ 12.40 MHz ซึ่งเป็นความถี่ของการสั่นของสัญญาณกระแสไฟฟ้าในลูปขดลวดเหนี่ยวนำ L1 และตัวเก็บประจุ C1 โดยความถี่ดังกล่าว ทำให้ขดลวดเหนี่ยวนำ Lo สร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีแรงดันสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกตัวของอากาศที่ชั่วไฟฟ้าภายนอกกลายเป็นพลาสมา

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ด้วยพลาสมาที่กำหนดจากระบบเปลวเทียนพลาสมา ปัจจัยที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าอินพุต (Input voltage) กำลังไฟฟ้าอินพุต (Input power) สัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต (Output current) ที่วัดได้ อุณหภูมิของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ขณะที่ถูกเปลวเทียนพลาสมาเผาทำลาย และความยาวของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือหลังจากการเผาทำลายด้วยเปลวเทียนพลาสมา โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรด (Thermal camera) ที่มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 1,100 องศาเซลเซียส ในการวัดอุณหภูมิของเข็มฉีดยาขณะถูกเผาทำลายด้วยเปลวเทียนพลาสมา และใช้เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ในการวัดศักย์ไฟฟ้าอินพุตจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current (DC) generator) และวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตจากขดลวดทอรรอยด์ (Toroid coil) โดยการติดตั้งอุปกรณ์สร้างระบบเปลวเทียนพลาสมาที่ใช้ทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่ใช้ในการวิจัย แสดงดังรูปที่ 3 และขดลวดทอรรอยด์ที่ใช้ในการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4

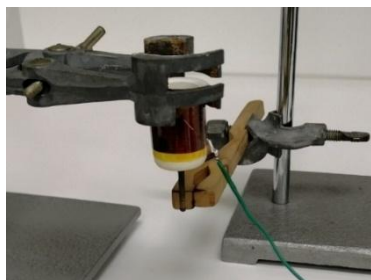


รูปที่ 3 ระบบเปลวเทียนพลาสมาที่ใช้ทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ ประกอบด้วย 1) กล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรด 2) ขาตั้งและที่จับเข็มฉีดยา 3) ขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้กำเนิดเปลวเทียนพลาสมา 4) ขดลวดทอรอยด์ 5) ระบบวงจรขดลวดเตสลาความถี่สูง 6) แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง 7) เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าออสซิลโลสโคป 8) ตู้นักสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 4 ขดลวดทอรอยด์

โดยการวิจัยนี้ เปรียบเทียบความยาวของเข็มฉีดยาทางการแพทย์เบอร์ 18 G, 21 G, 24 G และ 27 G ที่เหลือภายหลังการเผาทำลายด้วยเปลวเทียนพลาสมาที่ศักย์ไฟฟ้าอินพุต 24 V, 36 V และ 48 V ตามลำดับ ซึ่งศักย์ไฟฟ้างกล่าว ทำให้เกิดเปลวเทียนพลาสมาแสดงดังรูปที่ 5 และในการทดลองเผาทำลายเข็มฉีดยา ทำการติดตั้งเข็มฉีดยาอยู่ห่างจากขั้วไฟฟ้ากำเนิดเปลวเทียนพลาสมาเป็นระยะ 5 มิลลิเมตร และกำหนดเวลาที่ใช้เผาทำลายเข็มฉีดยาในแต่ละครั้งที่ 30 วินาที สำหรับจำนวนเข็มฉีดยาที่ใช้ในการทดลองเผาทำลายเข็มฉีดยาที่ศักย์ไฟฟ้าแต่ละเงื่อนไขในแต่ละครั้งมีจำนวน 1 เล่ม และ 2 เล่ม แสดงดังรูปที่ 6 โดยตัวอย่างของเข็มฉีดยาและกากเข็มภายหลังการเผาทำลายเข็มด้วยเปลวเทียนพลาสมาแสดงดังรูปที่ 7 และขนาดของเข็มฉีดยาทางการแพทย์แต่ละเบอร์ที่ใช้ในการวิจัยถูกแสดงดังตารางที่ 1



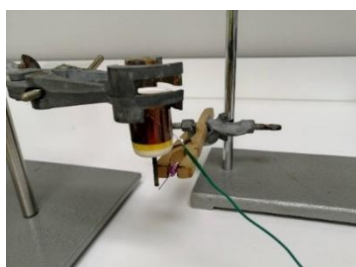
ก)



ข)

รูปที่ 5 เพลวเทียนพลาสมาที่ได้จากระบบเพลวเทียนพลาสมาเพื่อทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์

ก) ก่อนเกิดเพลวเทียนพลาสมา ข) เพลวเทียนพลาสมาที่เกิดขึ้น



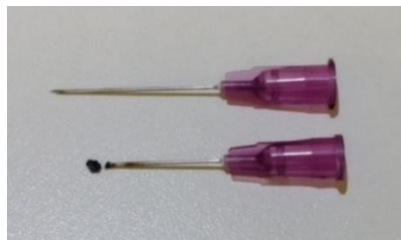
ก)



ข)

รูปที่ 6 ตัวอย่างการเผาทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ด้วยระบบเพลวเทียนพลาสมาที่พัฒนาขึ้น

ก) การทดลองเผาทำลายเข็มฉีดยาจำนวน 1 เล็ม ข) การทดลองเผาทำลายเข็มฉีดยาจำนวน 2 เล็ม



รูปที่ 7 ตัวอย่างของเข็มฉีดยาและกากเข็มภายหลังการเผาทำลายเข็มด้วยเพลวเทียนพลาสมา

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ (Hypodermic needle) แต่ละเบอร์ที่ใช้ในการวิจัย

เบอร์เข็มฉีดยาทางการแพทย์	ความยาวของเข็มฉีดยา วัดจากปลายถึงโคนเข็ม (mm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)
18 G	25	1.20
21 G	25	0.80
24 G	25	0.55
27 G	25	0.40

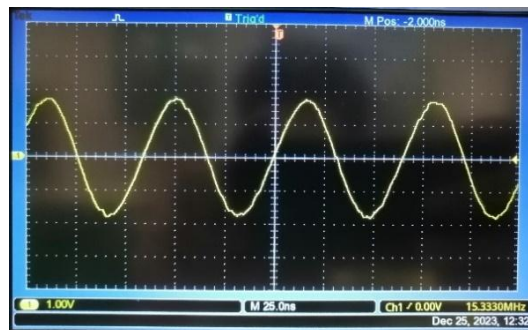
โดยผลการวิจัย ค่าความยาวของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือภายหลังการเผาทำลายด้วยเพลวเทียนพลาสมา ค่ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ขณะที่ถูกเพลวเทียนพลาสมาเผาทำลาย ที่ได้ภายหลังจากการกำจัดเข็มฉีดยาที่ศัลยกรรมไฟฟ้าอินพุตแต่ละเงื่อนไข ถูกแสดงไว้ในหัวข้อผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย

การพิทักษ์สิทธิผู้ให้ข้อมูล

งานวิจัยนี้ผ่านการพิจารณาและรับรองโครงการวิจัยที่ไม่เข้าข่ายต้องขอรับการรับรองทางด้านจริยธรรมการวิจัยในคน จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน สำนักงานอธิการบดีมหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช เลขที่ COE 001/2566 วันที่รับรอง 3 มกราคม พ.ศ. 2567

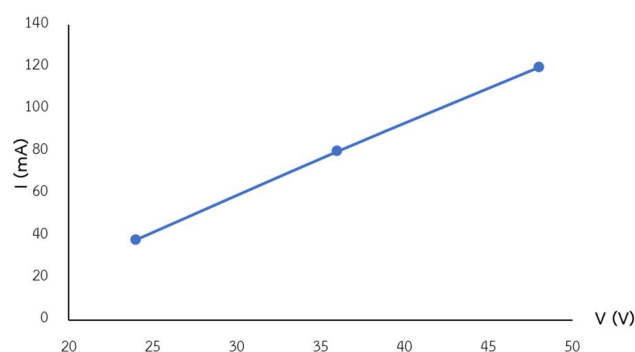
ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ เริ่มจากการตรวจวัดสัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้กำเนิดเพลวเทียมพลาสมา Lo ในแผนภาพวงจรไฟฟ้ารูปที่ 2 โดยใช้ขดลวดทอรอยด์ พบว่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้เป็นสัญญาณคลื่นรูปซายน์ (Sine wave) แสดงดังรูปที่ 8 และพบว่าความถี่ของสัญญาณดังกล่าวมีค่าประมาณ 15.33 MHz เทียบกับความถี่เรโซแนนซ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยการแทนค่า C1 และ L1 ลงในสมการ (1) ซึ่งมีค่าประมาณ 12.40 MHz



รูปที่ 8 รูปสัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดด้วยขดลวดทอรอยด์เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าอินพุต 24 V

ต่อมาคือการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าอินพุตกับกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต ที่จ่ายเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำ Lo ในแผนภาพวงจรไฟฟ้ารูปที่ 2 พบว่าปริมาณทั้งสองมีความผันแปรผันตรงกัน แสดงดังกราฟในรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟขนาดของกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตแปรผันตรงกับศักย์ไฟฟ้าอินพุต

ปริมาณความร้อนที่เข็มฉีดยาได้รับจากเปลวเทียนพลาสติกจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเข็มฉีดยาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าวสามารถวัดได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรด (Thermal camera) ที่มีแถบสีแสดงระดับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสซึ่งแสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งรูปดังกล่าวแสดงการเผาทำลายเข็มฉีดยาเบอร์ 18 G ที่ศักย์ไฟฟ้าอินพุต 24 V, 36 V และ 48 V ตามลำดับจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิสามารถเพิ่มขึ้นไปถึง 800 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 30 วินาที ดังนั้นระบบเปลวเทียนพลาสติกที่ใช้ในการวิจัยนี้ สามารถให้ความร้อนจนทำให้อุณหภูมิสูงถึงระดับมาตรฐานที่ใช้ในการทำลายเข็มฉีดยา (Wajs et al., 2019)



ก)

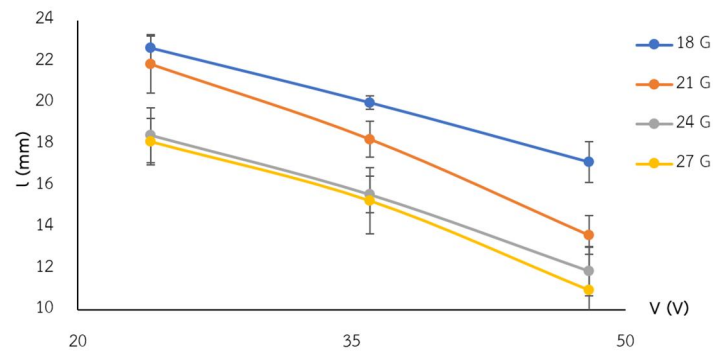
ข)

ค)

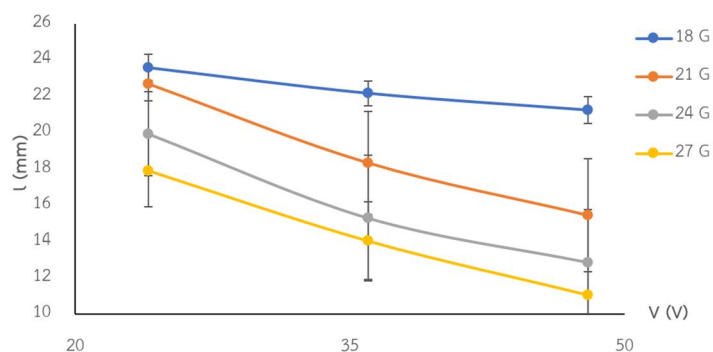
รูปที่ 10 แสดงระดับอุณหภูมิขณะเผาทำลายเข็มฉีดยาเบอร์ 18 G ที่ศักย์ไฟฟ้าอินพุต

ก) 24 V ข) 36 V ค) 48 V

ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าอินพุตและกำลังไฟฟ้าอินพุต กับความยาวของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลืออยู่หลังจากการเผาทำลายเข็ม โดยกำหนดระยะเวลาในการเผาทำลายเข็มฉีดยาที่ 30 วินาที แสดงดังตารางที่ 2 สำหรับกรณีการเผาทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ ครั้งละ 1 เล่ม และตารางที่ 3 สำหรับกรณีการเผาทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ ครั้งละ 2 เล่ม และผลการทดลองดังกล่าวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลืออยู่หลังจากการเผาทำลายเข็มครั้งละ 1 เล่ม และ 2 เล่ม กับศักย์ไฟฟ้าอินพุตในแต่ละเงื่อนไขแสดงดังกราฟในรูปที่ 11 และรูปที่ 12 พบว่า ศักย์ไฟฟ้าอินพุตที่เพิ่มขึ้นส่งผลในการทำลายเข็มฉีดยา โดยความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลืออยู่หลังจากการเผาทำลายเข็มมีแนวโน้มลดลง และเข็มฉีดยาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดพบว่ามีความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลืออยู่หลังจากการเผาทำลายเข็มมากที่สุด ในขณะที่เข็มฉีดยาที่มีขนาดเล็กกว่าพบว่ามีความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลืออยู่หลังจากการเผาทำลายเข็มมีค่าน้อยกว่า และกรณีที่ทำกรเผาทำลายเข็มฉีดยาครั้งละ 2 เล่ม เทียบกับกรณีที่ทำการเผาทำลายเข็มฉีดยาครั้งละ 1 เล่ม พบว่าความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลืออยู่หลังจากการเผาทำลายเข็มครั้งละ 2 เล่ม มีความยาวมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเข็มฉีดยาที่เหลืออยู่หลังจากการเผาทำลายเข็มครั้งละ 1 เล่ม เนื่องจากมีการแบ่งการถ่ายเทความร้อนของแหล่งกำเนิดเปลวเทียนพลาสติกให้แก่เข็มแต่ละเล่ม จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบเปลวเทียนพลาสติกที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำลายเข็มฉีดยาได้มากกว่า 1 เล่ม



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือภายหลังจากการเผาทำลายเข็มครั้งละ 1 เล่ม



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือภายหลังจากการเผาทำลายเข็มครั้งละ 2 เล่ม

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าอินพุตและกำลังไฟฟ้าอินพุตเฉลี่ย กับความยาวเฉลี่ยของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือภายหลังการเผาทำลายด้วยเปลวเทียนพลาสมา ที่แต่ละเงื่อนไขของศักย์ไฟฟ้าอินพุต กรณีการเผาทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ ครั้งละ 1 เล่ม

ความยาวเฉลี่ยของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือภายหลังการเผาทำลายด้วยเปลวเทียนพลาสมา ($\bar{L}$) ที่ศักย์ไฟฟ้าอินพุต (V) และกำลังไฟฟ้าอินพุตเฉลี่ย ($\bar{P}$)	เบอร์ดเข็มฉีดยาทางการแพทย์		
	$V = 24 \text{ v,}$ $\bar{P} = 35.760 \text{ watt}$	$V = 36 \text{ v,}$ $\bar{P} = 65.860 \text{ watt}$	$V = 48 \text{ v,}$ $\bar{P} = 98.840 \text{ watt}$
18 G	$\bar{L} = 22.663 \text{ mm}$	$\bar{L} = 20.023 \text{ mm}$	$\bar{L} = 17.158 \text{ mm}$
21 G	$\bar{L} = 21.873 \text{ mm}$	$\bar{L} = 18.253 \text{ mm}$	$\bar{L} = 13.623 \text{ mm}$
24 G	$\bar{L} = 18.440 \text{ mm}$	$\bar{L} = 15.570 \text{ mm}$	$\bar{L} = 11.878 \text{ mm}$
27 G	$\bar{L} = 18.130 \text{ mm}$	$\bar{L} = 15.283 \text{ mm}$	$\bar{L} = 10.973 \text{ mm}$

* ทำการทดลองเผาทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ 6 ครั้ง ต่อหนึ่งเงื่อนไข

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าอินพุตและกำลังไฟฟ้าอินพุตเฉลี่ย กับความยาวเฉลี่ยของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือภายหลังการเผาทำลายด้วยเปลวเทียนพลาสมา ที่แต่ละเงื่อนไขศักย์ไฟฟ้าอินพุต กรณีการเผาทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ ครั้งละ 2 เล่ม

เบอร์เข็มฉีดยาทางการแพทย์	ความยาวเฉลี่ยของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือภายหลังการเผาทำลายด้วยเปลวเทียนพลาสมา ($\bar{l}$) ที่ศักย์ไฟฟ้าอินพุต (V) และกำลังไฟฟ้าอินพุตเฉลี่ย ($\bar{p}$)		
	$V = 24 \text{ v,}$	$V = 36 \text{ v,}$	$V = 48 \text{ v,}$
	$\bar{p} = 36.820 \text{ watt}$	$\bar{p} = 64.870 \text{ watt}$	$\bar{p} = 98.380 \text{ watt}$
18 G	$\bar{l} = 23.583 \text{ mm}$	$\bar{l} = 22.168 \text{ mm}$	$\bar{l} = 21.231 \text{ mm}$
21 G	$\bar{l} = 22.698 \text{ mm}$	$\bar{l} = 18.320 \text{ mm}$	$\bar{l} = 15.433 \text{ mm}$
24 G	$\bar{l} = 19.925 \text{ mm}$	$\bar{l} = 15.290 \text{ mm}$	$\bar{l} = 12.853 \text{ mm}$
27 G	$\bar{l} = 17.911 \text{ mm}$	$\bar{l} = 14.045 \text{ mm}$	$\bar{l} = 11.076 \text{ mm}$

* ทำการทดลองเผาทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ 6 ครั้ง ต่อหนึ่งเงื่อนไข

การอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการเผาทำลายเข็มฉีดยาด้วยการประยุกต์ใช้ระบบเปลวเทียนพลาสมา โดยหลักการของระบบดังกล่าวกำเนิดเปลวเทียนพลาสมาจากการสร้างความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรขดลวด Tesla ความถี่สูง HFSSTC ซึ่งผู้วิจัยศึกษาการทำลายเข็มฉีดยาเบอร์ 18 G, 21 G, 24 G และ 27 G ด้วยระบบเปลวเทียนพลาสมาที่ศักย์ไฟฟ้าอินพุต 24 V, 36 V และ 48 V และกำหนดเวลาที่ใช้ในการเผาทำลายเข็มฉีดยาที่ 30 วินาที ในการทดลองนี้ ทำการเผาทำลายเข็มฉีดยาครั้งละ 1 เล่ม และครั้งละ 2 เล่ม ผู้วิจัยทำการตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้าออสซิลโลสโคป วัดค่าอุณหภูมิของเข็มฉีดยาขณะเผาทำลายด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรด และวัดความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลือภายหลังการเผาทำลายจากการทดลองพบว่า สัญญาณทางไฟฟ้าที่วัดได้เป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ประมาณเท่ากับ 16 MHz และขนาดของกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตแปรผันตรงกับศักย์ไฟฟ้าอินพุต อุณหภูมิที่วัดได้สามารถเพิ่มขึ้นไปถึง 800 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงถึงระดับมาตรฐานที่ใช้ในการทำลายเข็มฉีดยา และในส่วนของความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลือภายหลังการเผาทำลาย พบว่าศักย์ไฟฟ้าอินพุตที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการทำลายเข็มฉีดยา โดยทำให้ความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลือภายหลังจากการเผาทำลายเข็มมีแนวโน้มลดลง และเข็มฉีดยาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดพบว่ามีค่าความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลือภายหลังจากการเผาทำลายเข็มมากที่สุด เงื่อนไขศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน และกรณีที่ทำการเผาทำลายเข็มฉีดยาครั้งละ 2 เล่ม เทียบกับกรณีที่ทำการเผาทำลายเข็มฉีดยาครั้งละ 1 เล่ม พบว่าความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลือภายหลังจากการเผาทำลายเข็มครั้งละ 2 เล่ม มีความยาวมากกว่าเล็กน้อยในเงื่อนไขศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบเปลวเทียนพลาสมาที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ทำลายเข็มฉีดยาได้มากกว่า 1 เล่ม

จากผลการวิจัยที่ได้ พบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอินพุตที่เหมาะสมในการเผาทำลายเข็มฉีดยาคือ 48 V เนื่องจากเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้ค่าความยาวของเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่เหลือภายหลังการเผาทำลายมีค่าน้อยที่สุดในเข็มฉีดยาแต่ละเบอร์ ไม่ว่าจะเป็นการเผาทำลายครั้งละ 1 เล่ม หรือครั้งละ 2 เล่ม ซึ่งการใช้ศักย์ไฟฟ้าอินพุตที่มากขึ้น จะส่งผลให้ความยาวของเข็มฉีดยาที่เหลือมีแนวโน้มที่ลดลง แต่อาจทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในวงจรกำเนิดเปลวเทียนพลาสมา เกิดความเสียหายจากความร้อนที่เกิดขึ้นในวงจร

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

สรุปได้ว่าระบบเปลวเทียนพลาสมาเพื่อใช้ทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์ที่พัฒนาขึ้น สามารถทำลายเข็มฉีดยาที่มีจำนวนมากกว่า 1 เล่มได้ โดยเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าอินพุต ส่งผลให้ความยาวเข็มฉีดยาที่เหลือภายหลังจากการเผาทำลายลดลง และปริมาณความร้อนที่เข็มฉีดยาได้รับจากเปลวเทียนพลาสมามีค่าประมาณ 800 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า ในระยะเวลาเผาเข็มที่ 30 วินาที ทั้งนี้ตามมาตรฐานการทำลายเข็มฉีดยา ตัวเข็มฉีดยาต้องถูกเผาทำลายจนหมด ดังนั้นในการใช้งานจริงให้เพิ่มระยะเวลาเผาเข็มจนกว่าตัวเข็มฉีดยาจะถูกเผาทำลายจนหมด จึงสามารถลดการแพร่ระบาดของเชื้อโรคหรืออันตรายที่เกิดจากการที่เข็มฉีดยาที่ติดเชื้อได้ งานวิจัยนี้เหมาะสำหรับใช้ทำลายเข็มฉีดยาที่บ้าน เช่น ในผู้ป่วยเบาหวานที่มีการฉีดยาด้วยตนเอง เนื่องจากตัวระบบมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีขนาดใหญ่ และสามารถนำหลักการของระบบเปลวเทียนพลาสมาไปพัฒนาต่อเป็นนวัตกรรมเครื่องเผาทำลายเข็มฉีดยาหรือขยะมูลฝอยติดเชื้อประเภทวัสดุของมีคมชนิดอื่น ๆ ได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

จากการทดลองนี้ ผู้วิจัยพบข้อจำกัดของระบบเปลวเทียนพลาสมา คือ การระบายความร้อนขณะกำเนิดเปลวเทียนพลาสมาที่ระบายความร้อนออกมาได้น้อย ซึ่งส่งผลให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในวงจรเกิดความเสียหายได้เมื่อทำการกำเนิดเปลวเทียนพลาสมาเป็นเวลานาน โดยวงจรสามารถทนความร้อนสูงสุดได้ไม่เกิน 175 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของโมสเฟตเบอร์ IRFP250 ที่ใช้ในวงจร ดังนั้นในการวิจัยขั้นถัดไปคือการพัฒนาการระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรระบบเปลวเทียนพลาสมาให้ระบายความร้อนได้ดีขึ้น และทำการพัฒนาระบบดังกล่าวต่อยอดไปสู่นวัตกรรมที่ใช้ทำลายเข็มฉีดยาทางการแพทย์และขยะมูลฝอยติดเชื้อประเภทวัสดุของมีคมชนิดอื่น ๆ ได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Al-neamy, S., & Sulyman, S. A. (2021). Generation of non- thermal plasma jet using ZVS driver with flyback transformer. *College of Basic Education Research Journal*, 17, 1879-1895.
- Alfulayw, K. H., Al-Otaibi, S. T., & Alqahtani, H. A. (2021). Factors associated with needlestick injuries among healthcare workers: Implications for prevention. *BMC Health Serv Res*, 21(1), 1074.
- Catic, T., Gojak, R., & Djekic, D. (2020). Disposal of used pens and needles from diabetes patients perspective. *Mater Sociomed*, 32(4), 267-270.
- Gyawali, S., Rathore, D., Kc, B., & Shankar, P. R. (2013). Study of status of safe injection practice and knowledge regarding injection safety among primary health care workers in Baglung district, Western Nepal. *BMC International Health and Human Rights*, 13, 1-7.
- Gostimirović, M., Rodic, D., Sekulić, M., & Aleksic, A. (2020). An experimental analysis of cutting quality in plasma arc machining. *Advanced Technologies & Materials*, 45, 1-8.

- Hashchuk, P., & Nikipchuk, S. (2018). General principles of hard-soft-technologies application to modelling of operation process in internal combustion engines. *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet Pratsi*, 2, 34-48.
- Katsevman, G. A., Braca, J. A., Sedney, C. L., & Hatchett, L. (2017). Needlestick injuries among healthcare professionals in training: Using the surgical 'time-out' and hand-off protocols to deter high-risk needlesticks. *Journal of Hospital Infection*, 95(1), 103-104.
- Kim, Y., Oh, K., Kim, N., & Yun, J. (2019). Development of a safe syringe disposal system moving towards automated syringe data collection. *Healthcare Informatics Research*, 25(1), 47-50.
- Kim, H.-H., Takeuchi, N., Teramoto, Y., Ogata, A., & Abdelaziz, A. A. (2020). Plasma candle: A new type of scaled-up plasma jet device. *International Journal of Plasma Environmental Science and Technology*, 14(1), e01004 (01009pp)-e01004 (01009pp)
- Kim, S. M., Kim, T., Lee, J. H., Cho, S. Y., & Cha, W. C. (2022). Effect of the automatic needle destroyer on healthcare providers' work in an emergency department: A mixed-methods study. *Healthcare Informatics Research*, 28(2), 123-131.
- Khalid, S., Haq, N., Sabiha, Z. U., Latif, A., Khan, M. A., Iqbal, J., & Yousaf, N. (2021). Current practices of waste management in teaching hospitals and presence of incinerators in densely populated areas. *BMC Public Health*, 21(1), 1340.
- Kromholz, L. R. (2018, October 18). *Devices and methods for needle disposal*. WIPO. <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2018191671>
- Laowha, C., Tashoo, K., Boonsaner, N., Premchaisawatt, S., Juntahan, N., & Pranamko, T. (2023). Semi-automatic syringe removal machine to shorten the time. *Kalasin University Journal of Science Technology and Innovation*, 1(2), 41-52.
- Motaarefi, H., Mahmoudi, H., Mohammadi, E., & Hasanpour-Dehkordi, A. (2016). Factors associated with needlestick injuries in health care occupations: A systematic review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(8), 1e01-ie04.
- Ochmann, U., & Wicker, S. (2019). Needlestick injuries of healthcare workers. *Anaesthesist*, 68(8), 569-580.
- Panek Jr, R. J., Japuntich, J. C., & Arendt, J. A. (2004, May 27). *Apparatus and method for unwinding a needle portion*. Google Patents. <https://patents.google.com/patent/US20040099555A1/en>
- Persaud, E., & Mitchell, A. (2021). Needlestick injuries among healthcare workers administering COVID-19 vaccinations in the United States. *New Solutions*, 31(1), 16-19.
- Van der Molen, H. F., Zwinderman, K. A. H., Sluiter, J. K., & Frings-Dresen, M. H. W. (2011). Better effect of the use of a needle safety device in combination with an interactive workshop to prevent needle stick injuries. *Safety Science*, 49(8), 1180-1186.

- Veilla, E., & Manyele, S. (2016). Assessment of sharps waste management practices in a referral hospital. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 86-95.
- Wajs, J., Bochniak, R., & Golabek, A. (2019). Proposal of a mobile medical waste incinerator with application of automatic waste feeder and heat recovery system as a novelty in Poland. *Sustainability*, 11(18), 1-18.
- Wang, Q., Dang, W., Jiang, Y., Chen, A., & Jin, M. (2022). Improving the emission intensity of laser-induced breakdown spectroscopy by tip discharge of Tesla coil. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 37, 994-999.
- Zhang, Y., Liu, L., Cai, K., Zhang, L., Liu, L., Zhou, X., Liu, Z., & Peng, Y. (2020). Cross-sectional study assessing the risk of needlestick injury from an insulin pen among nursing care providers. *Journal of International Medical Research*, 48(10), 1-8.
- Zin, M. R., Soon, C., Sani, M., elfa rizan, R., Tee, K., Ahmad, M. K., Ahmad, N. N., Jubadi, W., & Nayan, N. (2017). Zero voltage switching driver and flyback transformer for generation of atmospheric pressure plasma jet. *AIP Conference Proceedings*, 1883(1), 1-6.

