

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการบำบัดสีน้ำเสีย DC Power Supply for Decolorization of Wastewater

วัชรวิชัย ดาวสว่าง (Wacharawish Daosawang)^{1*} ศตวรรษ ทวงชน (Sattawat Thuangchon)**

ทศพล มานะศรี (Thosapol Manasri)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยการบำบัดสีน้ำเสียด้วยไฟฟ้าแรงดันต่ำร่วมกับไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงนี้เป็นการนำเสนอวิธีการบำบัดสีของน้ำเสียด้วยไฟฟ้าที่มีรูปแบบสัญญาณพัลส์ความถี่สูง เพื่อศึกษาการบำบัดสีของน้ำเสียโดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำ โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 120 – 450V ที่ความถี่สัญญาณพัลส์ 32 kHz จากผลการทดลองสามารถบำบัดสีของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสีย้อมขนาด 500 มก/ล ลดลงต่ำกว่า 100 มก/ล ที่ระดับไฟฟ้าพัลส์แรงดัน 450V ในระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ 120 นาที ซึ่งประสิทธิภาพของการบำบัดค่าสีน้ำเสีย 99.2% ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ 1.767W

ABSTRACT

This research is about decolorization wastewater using low voltage and high frequency presents technique for color treatment into the wastewater using pulse high frequencies. This research has studied the color treatment by electrolytic and low power consumption. From the experiments we have a voltage pulse vary 120–450 V, frequency pulse at 32 kHz, and discharge 120 minutes into the 500 mg/l intensity of dye water. The result from the experiments at voltage pulse 450V, decreasing color less than 100 mg/l, the efficiency of color treated 99.2%, use power 1.767 Watt.

คำสำคัญ: แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง การบำบัดสี น้ำเสีย สีย้อม

Keywords: DC Power supply, Decolorization, Wastewater, Dye color

¹Correspondent author: mongkol.d@msu.ac.th

* อาจารย์ สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

** อาจารย์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

*** อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

บทนำ

เนื่องจากมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการใช้ทรัพยากรของมนุษย์ที่ขาดความรับผิดชอบที่เหมาะสมส่งผลให้เกิดมลภาวะเกิดขึ้นกับทรัพยากรเหล่านั้น เช่น น้ำ และอากาศ ปัจจุบันมีนักวิจัยได้มองเห็นถึงความสำคัญในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยนำเอาเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการบำบัดทรัพยากรเหล่านี้ และในทางวิศวกรรมไฟฟ้าได้นำเครื่องมือทางไฟฟ้าเข้าไปช่วยในการบำบัดหรือรักษาทรัพยากรให้อยู่อย่างยั่งยืน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเอาไฟฟ้ามาใช้ในการบำบัดสีของน้ำเสีย [1-5]

การบำบัดสีน้ำเสีย [1] นั้นมีวิธีการที่ใช้กันหลายวิธีเช่นการใช้วิธีการดูดซับหรือกรองการบำบัดด้วยสารเคมี การบำบัดแบบชีวภาพ และการบำบัดสีน้ำเสียด้วยไฟฟ้า [2-5] เป็นอีกวิธีการที่นำมาใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียหรือรวมถึงสีของน้ำเสีย แต่เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าสำหรับการบำบัดน้ำเสียนั้นใช้พลังงานที่สูงมาก [4-5] จึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้งาน จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ ตั้งแต่ 120-450V แบบพัลส์ความถี่สูง เพื่อศึกษาวิธีการใช้ไฟฟ้าสำหรับการบำบัดสีของน้ำเสียและศึกษาวิธีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำในการบำบัดสีน้ำเสีย ด้วยเทคนิคการใช้พัลส์ความถี่สูงร่วมกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและการบำบัดน้ำเสียไปพร้อมกัน

วงจรและการทำงาน

วงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่สร้างขึ้นนี้มีโครงสร้างดังภาพที่ 1 วงจรมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1. วงจรปรับแรงดันไฟฟ้า
 2. วงจรสวิตซ์และหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง
 3. วงจรตรวจวัดสัญญาณ
- อันดับแรกวงจรปรับระดับแรงดันไฟฟ้า

จะทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าวงจรสวิตซ์ให้มีระดับตั้งแต่ 5-12 V ก่อนจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจรนี้เข้าสู่วงจรสวิตซ์

ลำดับถัดมาเป็นวงจรสวิตซ์และหม้อแปลงความถี่สูง วงจรสวิตซ์จะทำหน้าที่ส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า [6] ความถี่สูงจากขดปฐมภูมิไปยังขดทุติยภูมิ โดยวงจรสวิตซ์นี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณควบคุมสวิตซ์แบบพัลส์เพื่อควบคุมการทำงานของมอสเฟต โดยหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะถูกต่อร่วมกับวงจรเพื่อทำการขยายสัญญาณพัลส์ให้มีขนาดแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าจากขดปฐมภูมิไปยังทุติยภูมิ หม้อแปลงความถี่สูงใช้

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1 \times i_1}{N_2 \times i_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ V_1 คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ (V)

V_2 คือ แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ (V)

i_1 คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดปฐมภูมิ (A)

i_2 คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดทุติยภูมิ (A)

N_1 คือ ขดลวดปฐมภูมิ (turn)

N_2 คือ ขดลวดทุติยภูมิ (turn)

ลำดับสุดท้ายวงจรตรวจวัดสัญญาณ เป็นการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าใช้สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขณะการบำบัดสีของน้ำเสีย โดยเป็นการประยุกต์ใช้กฎของโอห์ม [7] เข้ามาใช้งาน จากภาพที่ 2 กระแสไฟฟ้าที่ไหลด้านนอกสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$V_o = \frac{V_{R2} \times (R_1 + R_2)}{R_2} \dots\dots\dots (2)$$

$$i_L = \frac{V_{R3}}{R_2} \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ V_o คือ แรงดันไฟฟ้าด้านนอก (V)

i_L คือ กระแสไฟฟ้าต้านออก (A)

R_1, R_2 คือ ตัวต้านทานตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Ω)

R_s คือ ตัวต้านทานสำหรับตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ (Ω)

การบำบัดสีของน้ำเสียโดยใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นซึ่งเรียกว่ารีดอกซ์ (Redox Reaction) ซึ่งเป็นการถ่ายประจุไฟฟ้าหรืออิเล็กตรอนผ่านน้ำเสีย การถ่ายประจุไฟฟ้าหรืออิเล็กตรอนไปในน้ำเสียนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน

วัสดุและวิธีการวิจัย

การทดลองบำบัดสีน้ำเสียในครั้งนี้ใช้สีย้อมผ้า (Acid Red 114) ผสมน้ำที่ความเข้มข้น 500 มก/ล ปริมาณ 500 มก ทดลองในกล่องขนาดความกว้าง ยาว และสูงที่ 10x10x10 cm โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลองกับการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 120-450 V ที่สร้างขึ้นจากเครื่องสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ความถี่ผสมกับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยโครงสร้างของการทดลองมาดังภาพที่ 2

จากภาพที่ 3 เป็นโครงสร้างการทดลองและการเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยการบำบัดสีน้ำเสีย ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองและใช้อุปกรณ์และเครื่องมือดังนี้

หมายเลข 1 คือ เครื่องสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์สำหรับการบำบัดสีน้ำเสีย

หมายเลข 2 คือ แท่งตัวนำที่ใช้สำหรับการคลายประจุไฟฟ้าไปในน้ำเสียที่วางห่างกัน 2 cm ทำจากอลูมิเนียม

หมายเลข 3 คือ กล่องบรรจุน้ำเสียที่มีขนาด 10x10x10 cm

หมายเลข 4 คือ เครื่องแสดงผลและบันทึกสัญญาณ Hantek รุ่น Hanteh6022BE (Oscilloscope Hantek model Hanteh6022BE) แบบ 2 ช่องสัญญาณแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

หมายเลข 5 คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการแสดง

ผลสัญญาณการตรวจวัดและการบันทึกข้อมูล

สำหรับการทดลองบำบัดสีของน้ำเสีย โดยการทดลองในครั้งนี้จะเป็นการใช้สีย้อมความเข้มข้น 500 มก/ล ปริมาณ 500 มก ทดสอบกับแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพัลส์ที่แรงดัน 120V 150V 200V และขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 450V ทำได้ที่แรงดันด้านขดลวดปฐมภูมิที่ 12V

ผลการวิจัย

ผลการทดลองที่ได้จากการคลายประจุไฟฟ้าลงไปในน้ำที่ระดับแรงดันดังที่ได้กล่าวมานั้น ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง 2 ครั้งต่อ 1 ระดับแรงดันไฟฟ้าแล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และทำการบันทึกผลการใช้กระแสและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้ขึ้นดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4 ตามลำดับ ซึ่งเป็นข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำการทดลอง

การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2 โดยวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้ามีตัวต้านทาน R_1 เป็น 2M Ω และตัวต้านทาน R_2 เป็น 4.3k Ω ส่วนสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลสามารถหาได้จากสมการที่ 3 โดยการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 51 Ω ที่ต่ออนุกรมไว้กับวงจร ผลจากการวัดสัญญาณที่ได้ดังภาพที่ 5 ถึงภาพที่ 8 ซึ่งเป็นภาพแสดงระดับสัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายที่สร้างขึ้น โดยสัญญาณในช่องที่ 1 (CH1) คือสัญญาณกระแสไฟฟ้ามีลักษณะคลื่นสัญญาณเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนสัญญาณในช่องที่ 2 (CH2) คือสัญญาณแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะคลื่นสัญญาณเป็นพัลส์ถูกยกระดับสัญญาณขึ้นมีความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่คงที่สัญญาณนี้ถูกคลายประจุหรือทำการจ่ายลงไปในน้ำสีย้อมที่ได้เตรียมไว้และบันทึกผลไว้ด้วยคอมพิวเตอร์

ผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการบำบัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ดังภาพที่ 4 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 120V

นั้นมีค่าสูงกว่าระดับ 150V และ 200V เนื่องจากการทดลองลุ่มเก็บตัวอย่างครั้งแรกด้วยหลอดเก็บตัวอย่างที่สะอาดไม่มีสิ่งย้อมเกาะติดในหลอด และเมื่อทำการทดลองในระดับแรงดัน 150V และ 200V สิ่งย้อมได้ติดในหลอดเก็บตัวอย่าง จึงทำให้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 150V และ 200V มีค่าประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าค่าแรงดันไฟฟ้า 120V ถึงอย่างไรผู้วิจัยได้ทำการทดลองภายใต้สมมติฐานที่ว่าที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นนั้นทำให้การบำบัดได้ประสิทธิภาพที่ดีและเร็วขึ้นซึ่งก็ได้เป็นไปตามสมมติฐานนั้นคือการทดลองที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 450V ผลที่ได้เมื่อเทียบกับเวลา 60 นาที ดังภาพที่ 4

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการบำบัดสีของน้ำเสียด้วยไฟฟ้าที่มีรูปแบบสัญญาณพัลส์ความถี่ เป็นการศึกษากการบำบัดสีของน้ำเสียโดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำ ซึ่งผลจากการทดลองทำการทดลองปรับค่าแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 120 – 450V ที่ความถี่สัญญาณพัลส์ 32 kHz จากผลการทดลองสามารถบำบัดสีของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นขนาด 500มก/ล ลงได้ต่ำกว่า 100 มก/ล ซึ่งจาก (ภาพที่ 4) กราฟแสดงผลของประสิทธิภาพของการบำบัดสีของน้ำเสียที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และที่ระดับไฟฟ้าพัลส์แรงดัน 450V ในระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ 2 ชั่วโมง ซึ่งสีของน้ำเสียลดลงถึง 99.2% โดยใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ 1.767W

จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าการบำบัดสีของน้ำเสียด้วยไฟฟ้าแรงดันต่ำความถี่สูงนั้นสามารถบำบัดสีได้และมีแนวโน้มว่าหากใช้ระดับของแรงดันพัลส์ที่สูงขึ้นนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดสีของน้ำเสียนั้นมีค่าสูงขึ้นและใช้เวลาสั้นลงได้

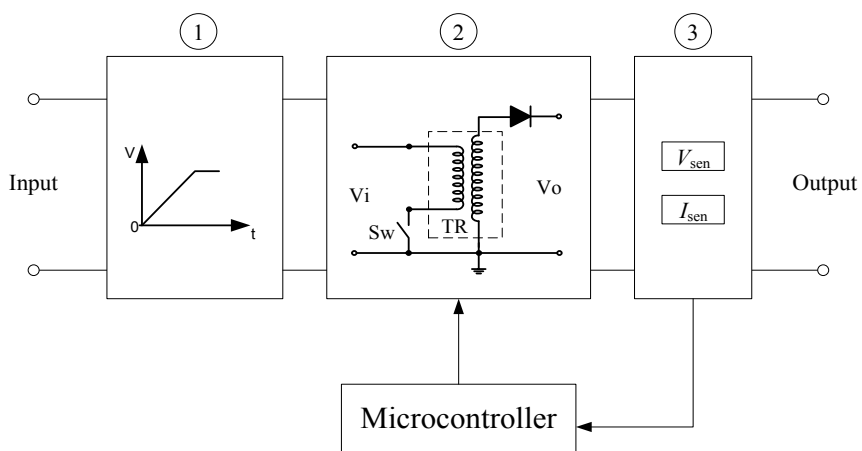
กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ

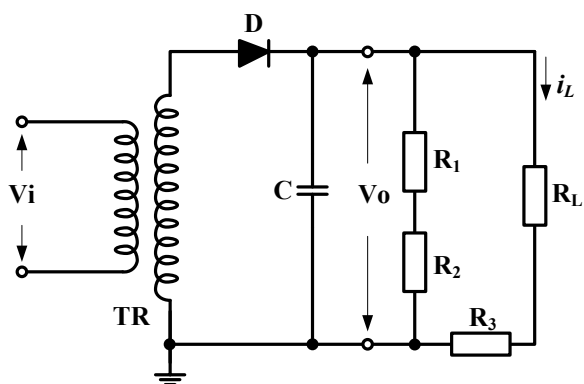
รายได้ ปีงบประมาณ 2557 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และห้องวิจัยเมคาทรอนิกส์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

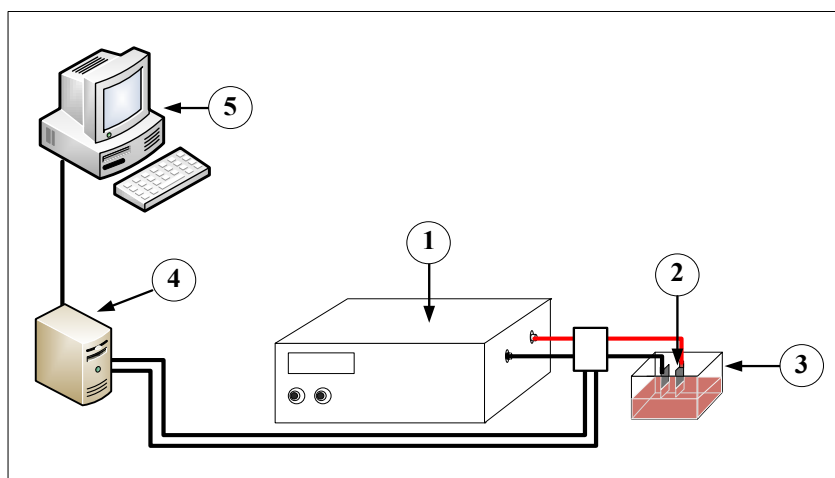
1. Chooaksorn W. Color Removal Technology in Industrial Wastewater. Buraphar Science Journal. 2555; 17(1):181-191. Thai.
2. Yano T, Uchiyama I, Fukawa F, Teranishi K, Shimomura N. Water Treatment by Atmospheric Discharge Produced with Nanosecond Pulsed Power. IEEE International Power Modulators and High Voltage Conference. 2008 May 27-31; Las Vegas, NE. USA.
3. Yano T, Shimomura N, Uchiyama I, Fukawa F, Teranishi K, Akiyama H. Decolorization of Indigo Carmine Solution Using Nanosecond Pulsed Power. IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation. 2009; 16(4): 1081-1087. August.
4. Shimizu K, Yamada M, Kanamori M, Blajan M. Basic Study of Bacteria Inactivation at Low Discharge Voltage by Using Microplasmas. Industry Applications, IEEE Transactions on. 2010; 46(2): 641-649.
5. Hejosa-Valsero M, Molina R, Schikora H, Muller M, Bayona JM. Removal of cyanide from water by means of plasma discharge technology. Elsevier Science Direct, Water Research. 2013; 47(4): 1701-1707.
6. P.C. Sen. Principles of Electric Machines and Power Electronics. 2nd ed. John Wiley & Sons. 1996.
7. Richard C. Dorf, Jams A. Svoboda. Introduction to Electric Circuits. 4th ed. John Wiley & Sons. 1999.



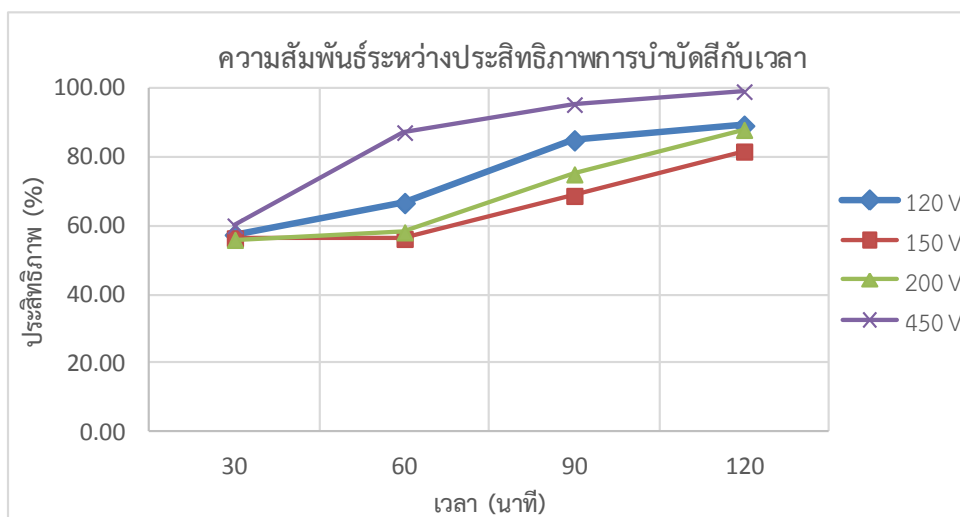
ภาพที่ 1 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับการบำบัดน้ำเสีย



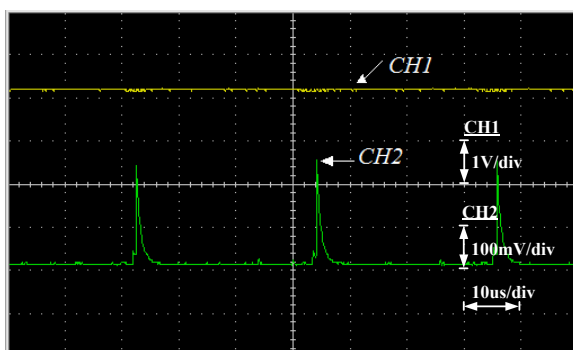
ภาพที่ 2 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าต้านออก



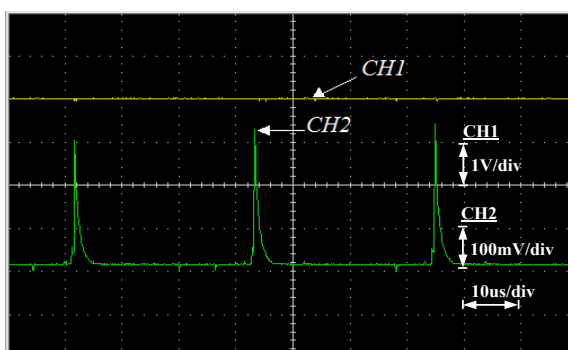
ภาพที่ 3 วิธีการทดลองและเครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลอง



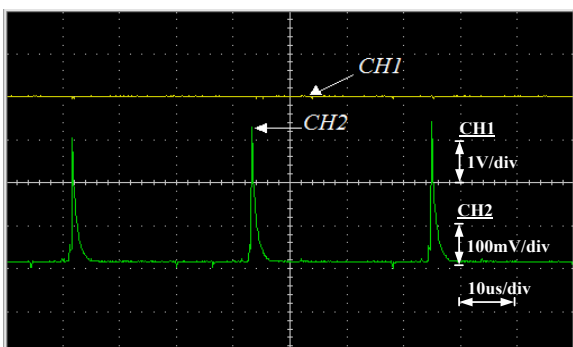
ภาพที่ 4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการบำบัดสีเทียบกับเวลา



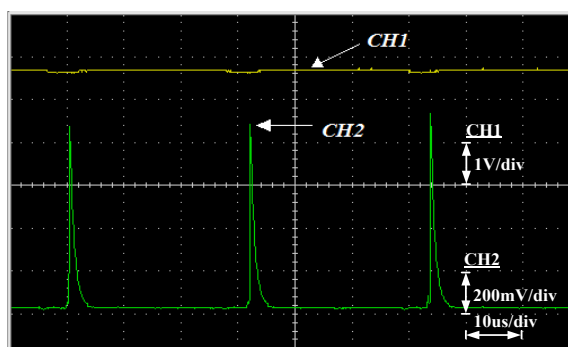
ภาพที่ 5 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าต้านออก
ที่ระดับแรงดัน 120V



ภาพที่ 6 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าต้านออก
ที่ระดับแรงดัน 150V



ภาพที่ 7 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าต้านออก
ที่ระดับแรงดัน 200V



ภาพที่ 8 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าต้านออก
ที่ระดับแรงดัน 450V

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางไฟฟ้าของการทดลองที่แรงดัน 120V

เวลา (นาท)	แรงดันขด (V)	แรงดันเฉลี่ย (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
30	121.63	9.18	0.023	0.21114
60	112.45	11.47	0.027	0.30969
90	107.86	11.47	0.026	0.29822
120	112.45	11.47	0.027	0.30969

ตารางที่ 2 ข้อมูลทางไฟฟ้าของการทดลองที่แรงดัน 150V

เวลา (นาท)	แรงดันขด (V)	แรงดันเฉลี่ย (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
30	149.18	9.18	0.023	0.21114
60	149.18	9.18	0.023	0.21114
90	149.18	11.47	0.025	0.28675
120	153.76	11.47	0.027	0.30969

ตารางที่ 3 ข้อมูลทางไฟฟ้าของการทดลองที่แรงดัน 200V

เวลา (นาท)	แรงดันขด (V)	แรงดันเฉลี่ย (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
30	201.96	13.77	0.039	0.53703
60	201.96	13.77	0.034	0.46818
90	201.96	13.77	0.035	0.48195
120	201.96	13.77	0.034	0.46818

ตารางที่ 4 ข้อมูลทางไฟฟ้าของการทดลองที่แรงดัน 450V

เวลา (นาท)	แรงดันขด (V)	แรงดันเฉลี่ย (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
30	449.82	22.95	0.055	1.262
60	449.82	25.24	0.063	1.590
90	449.82	25.24	0.070	1.767
120	449.82	22.95	0.055	1.262