

การควบคุมจำนวนประชากรของเชื้อจุลินทรีย์ อีโคไลโดยใช้สนามไฟฟ้าแบบต่าง ๆ *

กิตติพงษ์ ตันมิตร¹⁾ อำนาจ สุขศรี²⁾ อาคม แก้วระวัง³⁾ และ วิไล ตันมิตร⁴⁾

¹⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³⁾ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴⁾ อาจารย์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์) คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นโทรศัพท์ 0-4320-2353 โทรสาร 0-4320-2836

Email: kitton@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการใช้สนามไฟฟ้าช่วงประมาณ 5-15 kV/cm ป้อนเข้าสู่เพลทอิเล็กโทรดชนิดเพลทสี่เหลี่ยมขนาด 5X5 cm สองชิ้น โดยมีเชื้ออีโคไลอยู่ระหว่างกลางแผ่นเพลททั้งสอง เพื่อใช้ในการควบคุมจำนวนประชากรของเชื้ออีโคไล โดยทำการเลือกชนิดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงสามชนิด เพื่อใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า คือ ชนิดสนามไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบ สนามไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 450-740 Hz และสนามไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบบวกกับสนามไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 450-740 Hz ซึ่งมีขนาดของสนามไฟฟ้า 5 kV/cm, 10 kV/cm และ 13 kV/cm เพื่อตรวจสอบจำนวนประชากรของเชื้ออีโคไล เมื่อเวลาผ่านไป 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ

จากผลการทดสอบพบว่า การใช้แหล่งจ่ายสนามไฟฟ้ากระแสตรงขั้วลบบวกกับกระแสสลับความถี่ 450-740 Hz เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ทำให้จำนวนประชากรของโคโลนีของเชื้ออีโคไลจำนวน 180,000 โคโลนี ลดลงเหลือ 1,040 โคโลนี ซึ่งวิธีนี้สามารถควบคุมจำนวนโคโลนีของเชื้ออีโคไลได้ง่ายและดีกว่าการใช้สนามไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ : สนามไฟฟ้าแบบพัลส์, การควบคุมอีโคไล, สนามไฟฟ้ากระแสตรง, สนามไฟฟ้ากระแสสลับ, การแตกแยกของเมมเบรน

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 7 กันยายน 2549

The Control of E.coli Colony by Using Various Electric Field*

K. Tonmitr¹⁾ A. Suksri²⁾ A. Kaewrawang³⁾ and W. Tonmitr⁴⁾

¹⁾ Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

²⁾ Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

³⁾ Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

⁴⁾ Lecturer, Khon Kaen University Demonstration School, Faculty of Education, Khon Kaen University

High voltage Engineering Research Laboratory Department of Electrical Engineering, Khonkaen university,
Khon Kaen, Thailand

Email: kitton@kku.ac.th

ABSTRACT

This research studies the electric field supply between two pieces of the square plate which is function as electrode of 5×5 cm for control of E.coli. There are three kinds of pulse electric field supply - high voltage negative current field, bipolar pulse electric field of 450-740 Hz and direct current field plus bipolar electric field. The magnitude of electric field and exposure time used for controlling E.coli colony are 5 kV/cm, 10 kV/cm, and 13 kV/cm for exposure time of 1 minute, 3 minutes, and 5 minutes respectively.

From tests and results, the best electric field configuration of DC negative field plus bipolar pulse electric field of 450-740 Hz with an exposure time of 5 minutes was found to be the most effective configuration. The number of E.coli colonies decreases from 180,000 to 1,040 colonies.

Keywords : Pulse electric field, E.coli control, DC electric field, AC electric field, Membrane rupture

* Original manuscript submitted: March 22, 2006 and Final manuscript received: September 7, 2006

บทนำ

จุลินทรีย์อีโคไลถูกค้นพบโดย Dr Escherich ชาวเยอรมัน ในปี ค.ศ.1885 ปัจจุบันนี้เชื้อจุลินทรีย์อีโคไลเป็นเชื้อที่นิยมใช้กันมากในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากการเลี้ยงเชื้ออีโคไลสามารถทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก จากการสุ่มเก็บตัวอย่างและตรวจวิเคราะห์ของกระทรวงสาธารณสุข ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2547 จนถึงปัจจุบัน พบว่าน้ำผลไม้และผลไม้ปั่นที่ปนเปื้อนเชื้ออีโคไล ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินอาหาร ผู้ได้รับเชือดังกล่าวมีอาการท้องร่วง หากมีอาการรุนแรงจะมีเลือดออกในช่องท้อง โลหิตจาง ถึงขั้นไตวายได้ ดังนั้นเชื้ออีโคไลจึงเป็นเชื้อที่น่าสนใจและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

การถนอมอาหาร

การถนอมอาหารได้กระทำกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยชาวโรมัน ซึ่งค้นพบการรมควัน การหมัก การทำเนยแข็ง และในปี ค.ศ. 1864 หลุยส์ ปาสเตอร์ ค้นพบว่า เบียร์และไวน์ เกิดการบูดเน่าจากสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ที่เรียกว่า จุลินทรีย์ ในการถนอมอาหารสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

ก.การใช้ความร้อนทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ การใช้ความร้อนสูง เรียกว่า สเตอริไลส์ สามารถทำลายจุลินทรีย์ ในอาหารได้หมด การใช้ความร้อนต่ำ เรียกว่า พาสเจอร์ไรส์ สามารถทำลายจุลินทรีย์ ในอาหารได้บางส่วน

โดยปกติแล้ว รา ยีสต์ และแบคทีเรียส่วนใหญ่ จะตายที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ คือ 60-85 องศาเซลเซียส แต่แบคทีเรียบางชนิดสามารถทนความร้อนสูงโดยการสร้างสปอร์ ดังนั้นจึงต้องทำลายสปอร์ด้วยการใช้ความร้อนสูง เป็นต้น การถนอมโดยใช้ความร้อน เช่น เครื่องต้มบรรจุขวดอาหารบรรจุกระป๋อง

ข.การใช้ความเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของอาหาร เช่น การแช่เย็น ซึ่งจะถนอมอาหารได้ในระยะสั้น การแช่แข็งจะถนอมอาหารได้ในระยะสั้น การแช่แข็งจะถนอมอาหารได้นานกว่า และมีลักษณะคล้ายอาหารสด

ค.การจำกัดน้ำหรือลดปริมาณน้ำในอาหาร เช่น การตากแห้ง

ง.การถนอมอาหารโดยใช้จุลินทรีย์ เช่น การหมักดอก ซึ่งมี 3 วิธี

- การหมักเพื่อให้เกิดแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ เบียร์
- การหมักดองที่ทำให้เกิดกรดน้ำส้ม เช่น น้ำส้มสายชูหมัก
- การหมักดองที่ทำให้เกิดกรดแลกติก เช่น ผลไม้ดอง

จ.การถนอมอาหารโดยใช้น้ำตาล ต้องใช้น้ำตาลในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ เช่น น้ำผลไม้ แยม นมข้นหวาน ผลไม้แช่อิ่ม

จ.การถนอมอาหารโดยใช้สารเคมี โดยใช้สารยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย

ข.การอบรังสี ช่วยยืดอายุของอาหาร ชะลอการสุกของผลไม้ ซึ่งวิธีนี้จะเลี่ยงการใช้ความร้อนซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านประสาทสัมผัสของอาหารนั้น ๆ ได้

ข.การใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงในอาหาร ในปี ค.ศ.1980 Hushelguer and Niemam และในปี ค.ศ. 1996 Dunne และคณะ ได้ศึกษาวิธีการใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงในการถนอมอาหาร โดยใช้ pulse electric field (PEF) และในปี ค.ศ. 1994 Sin และคณะ ได้ใช้ bipolar pulse ในการถนอมอาหารและในปี ค.ศ. 1999 Barbosa Canovas และคณะ ได้ทำการพัฒนาต่อ

ฉ.การใช้สนามไฟฟ้า กระแสขั้วลบบวกกับสนามไฟฟ้าแบบพัลส์สองด้าน ซึ่งได้ทำการทดลองและทำการวิจัยขึ้นที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการใช้สนามไฟฟ้าชนิดนี้ เนื่องจากในเชิงอุตสาหกรรมสามารถสร้างได้ง่ายกว่าชนิดอื่น ๆ

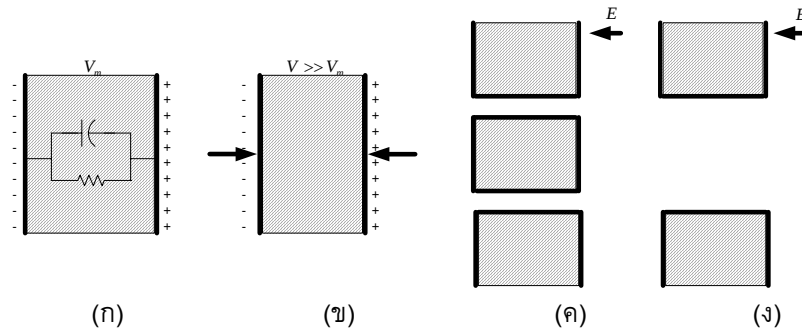
การเสื่อมสภาพของจุลินทรีย์

การเสื่อมสภาพของจุลินทรีย์หลังจากใส่สนามไฟฟ้าผ่านเข้าไปที่เชื้อจุลินทรีย์แล้วนั้นมีทฤษฎีที่ใช้อธิบายอยู่สองทฤษฎี คือ ทฤษฎีการเบรคดาวน์ (Electric breakdown) และทฤษฎีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (Electroporation)

การเบรคดาวน์ทางไฟฟ้า (Electric breakdown)

ในปี ค.ศ.1986 Zimmermann ได้อธิบายถึงการถ่ายทอดของเซลล์ รูปที่ 1(ก) เซลล์เมมเบรน (membrane cell) ถูกแทนด้วยตัวเก็บประจุที่ถูกเติมด้วยค่าไดอิเล็กตริกรูปที่ 1(ข) แรงดันต้าน (resisting potential) ปกติที่ตกคร่อม เมมเบรน มีค่าเท่ากับ 10 mV

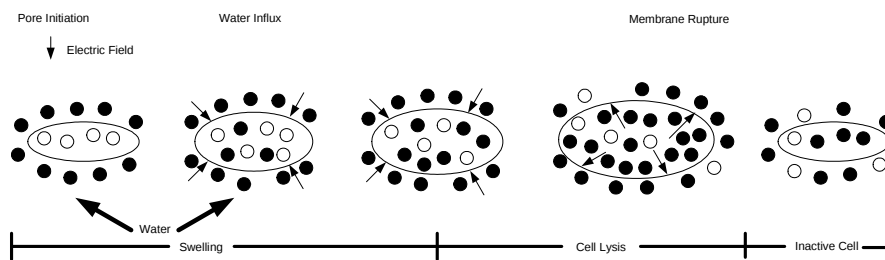
ทำให้เกิดแรงดันแตกต่าง (potential difference) ตกคร่อมที่ตัวเมมเบรนเป็น V ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนประจุที่คร่อมเมมเบรนและ V ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสนามไฟฟ้า E และรัศมีของเซลล์ การเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ตกคร่อมเมมเบรน จะทำให้เซลล์เมมเบรน หดตัวทำให้ความหนาของตัวเมมเบรนลดลง กลไกการเบรคดาวน์ที่ตัวเมมเบรน เกิดขึ้นเมื่อแรงดันวิกฤต (Critical breakdown) มีค่าเป็น 1 V สมมติให้เกิดเบรคดาวน์ ทำให้เซลล์เกิดการพอร์มตัวแยกออกเป็นรูสองส่วนดังรูปที่ 1(ค) ซึ่งช่วงนี้จะเป็นช่วงฉีกขาดที่สามารถรวมตัวกันใหม่ได้อีก (reversible breakdown) แต่ที่ขนาดของการฉีกขาดนั้นโตมากเมื่อเทียบกับผิวของ เมมเบรน จะทำให้ช่วงนี้เปลี่ยนเป็นช่วงฉีกขาดที่ไม่สามารถรวมตัวกันได้อีกแล้ว (irreversible breakdown) ดังรูปที่ 1(ง)



รูปที่ 1 กลไกการฉีกขาดของเมมเบรน เมื่อป้อนสนามไฟฟ้าผ่านเข้าไปในเมมเบรน

การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า (Electroporation)

จากรูปที่ 2 เป็นปรากฏการณ์ที่เซลล์ถูกผ่านสนามไฟฟ้าเข้าไปชั่วคราวที่เซลล์เมมเบรน ทำให้เกิดการซึมผ่านเข้าไปยังโมเลกุลเล็ก ๆ การซึมผ่านทำให้เซลล์ขยายตัวโตขึ้น (swelling) จนกระทั่งตัวเมมเบรน เกิดการแยกตัวจนเสื่อมสภาพ รอยฉีกจะโต ถ้าเราทำการเพิ่มความเข้มของสนามไฟฟ้า



รูปที่ 2 การแยกตัวของเซลล์เมมเบรน โดยการเกิดรูทางไฟฟ้า

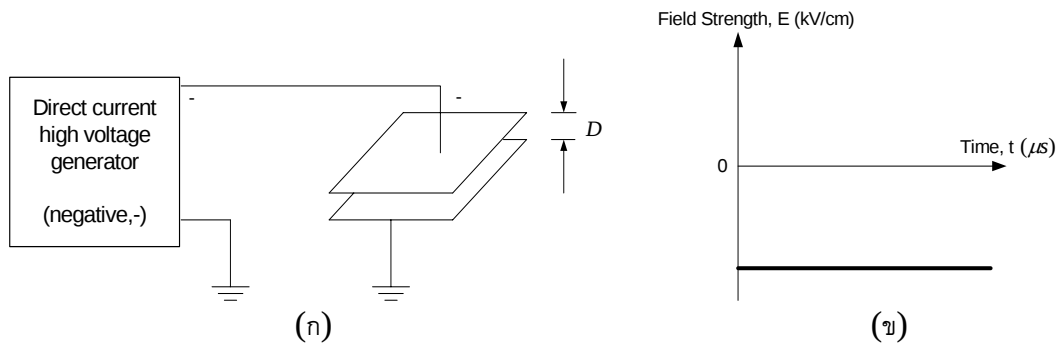
สนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

สนามไฟฟ้าที่ใช้ทั่ว ๆ ไป มี 3 แบบ คือ สนามไฟฟ้ากระแสตรง (สนามไฟฟ้าชนิดพัลส์ลบหรือชนิดพัลส์บวก) สนามไฟฟ้าชนิดพัลส์สองด้าน และสนามไฟฟ้ากระแสตรงบวกกับสนามไฟฟ้าชนิดพัลส์สองด้าน สนามไฟฟ้าแต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

1. สนามไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากการนำเอาแรงดัน (V) จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสตรง ป้อนเข้าไปยังขั้วแผ่นเพลทสองชั้น ซึ่งมีระยะห่างที่รู้ค่า (D) ซึ่งสามารถคำนวณค่าสนามไฟฟ้าได้จาก

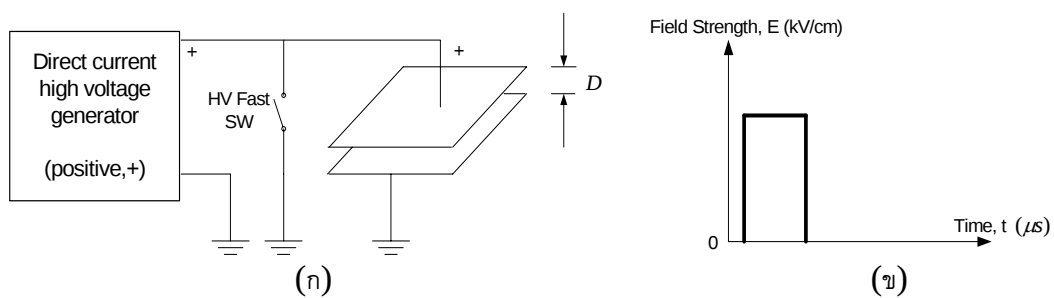
$$E = \frac{V}{D} \quad (1)$$

เมื่อ E เป็นสนามไฟฟ้า (kV/cm) V เป็นแรงดัน (kV) และ D เป็นระยะห่างระหว่างเพลท (cm)



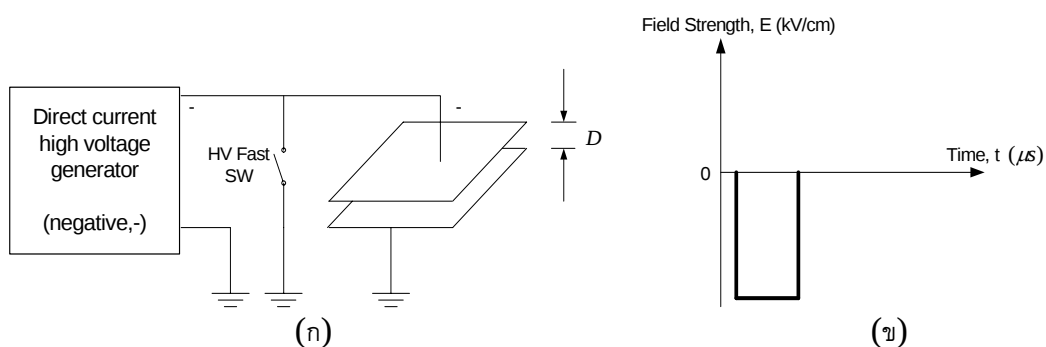
รูปที่ 3 (ก) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าตรง (ข) สนามไฟฟ้ากระแสตรง

2. สนามไฟฟ้าชนิดพัลส์บวก ได้จากการนำเอาแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดขั้วบวกต่อผ่านสวิตช์แรงสูงลงกราวด์ ดังรูปที่ 4



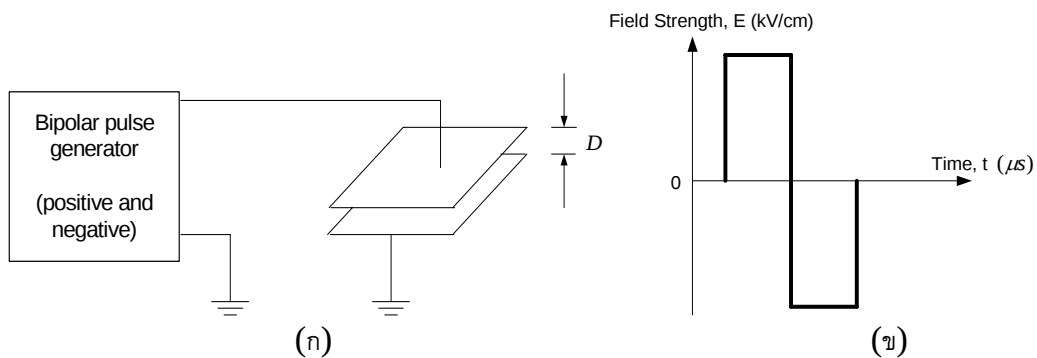
รูปที่ 4 (ก) กระแสตรงเครื่องกำเนิดพัลส์บวก (ข) สนามไฟฟ้าแบบพัลส์บวก

3. สนามไฟฟ้าชนิดพัลส์ลบ ได้จากการนำเอาแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดขั้วลบต่อผ่านสวิตช์แรงสูงลงกราวด์ ดังรูปที่ 5



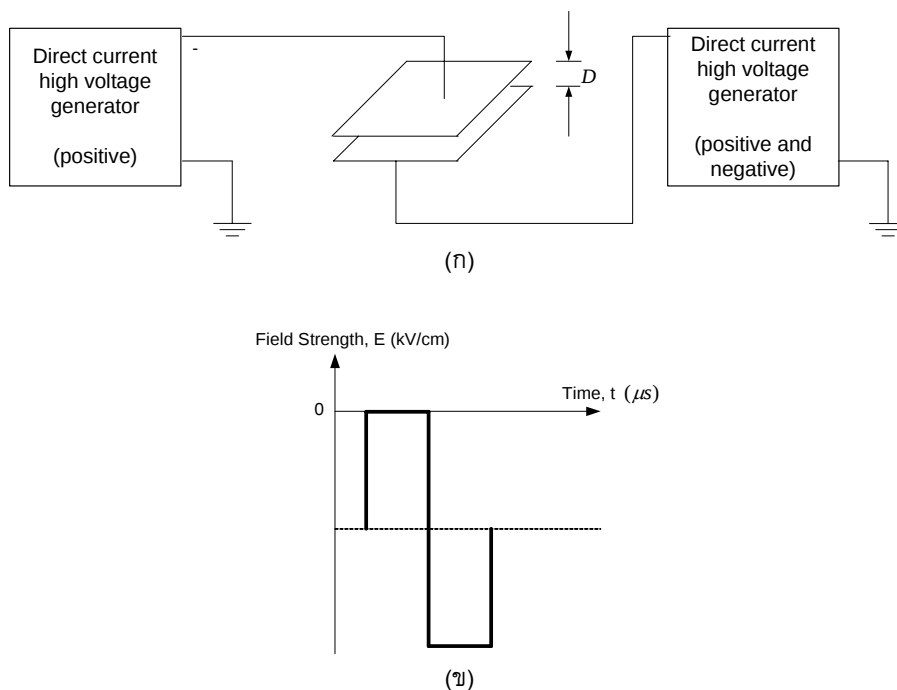
รูปที่ 5 (ก) กระแสตรงเครื่องกำเนิดพัลส์ลบ (ข) สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ลบ

4. สนามไฟฟ้าชนิดพัลส์สองด้าน ได้จากการนำเอาแรงดันจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงต่อผ่านสวิตช์แรงสูงลงกราวด์ทั้งด้านบวกและด้านลบ



รูปที่ 6 (ก) กระแสตรงเครื่องกำเนิดพัลส์สองด้าน (ข) สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สองด้าน (บวกและลบ)

5. สนามไฟฟ้าชนิดพัลส์สองด้านบวกกับสนามไฟฟ้ากระแสตรงชั่วพล เป็นการนำเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดพัลส์สองด้านต่ออนุกรมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชั่วพล เพื่อให้ได้สนามไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 7

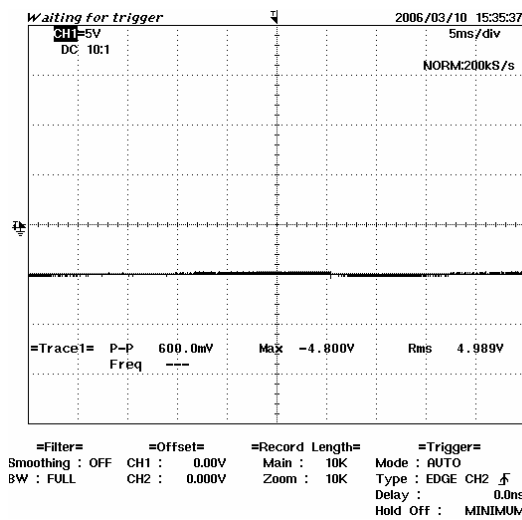


รูปที่ 7 (ก) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดพัลส์สองด้านบวกกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชั่วพล (ข) สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สองด้านบวกกับสนามไฟฟ้ากระแสตรงชั่วพล

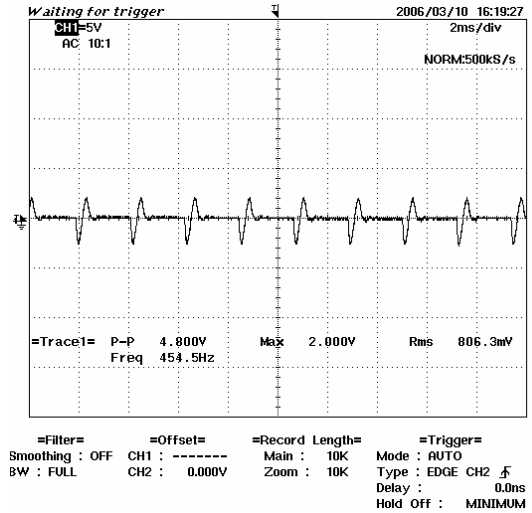
13.ทำการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์อีโคไล ชุดที่ 28-54, 55-81 โดยทำตามหัวข้อที่ 5.2 ถึง 5.12

ผลการทดสอบ

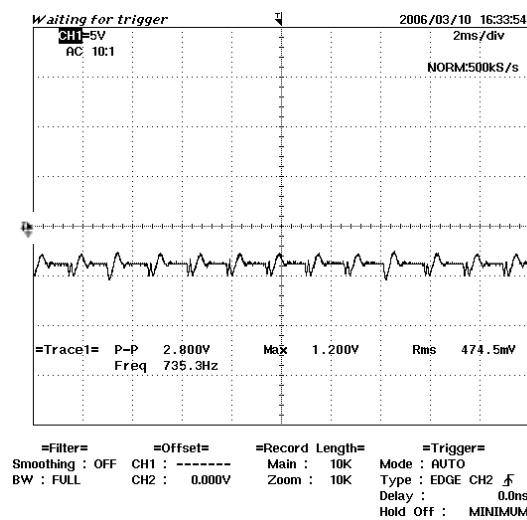
1. ตัวอย่างของรูปคลื่นแรงดันกระแสตรงชั่วลบ รูปคลื่นของแรงดันพัลส์สองด้าน และรูปคลื่นกระแสตรงชั่วลบต่อเนื่องกับรูปคลื่นแบบพัลส์ชนิดสองด้าน



(ก)



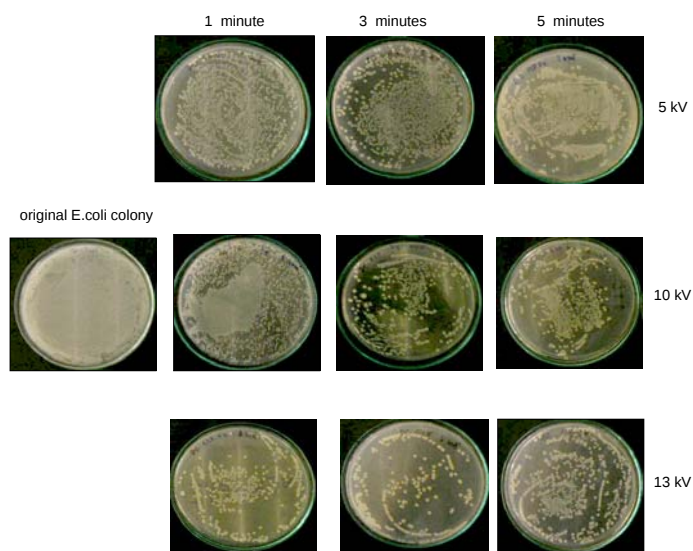
(ข)



(ค)

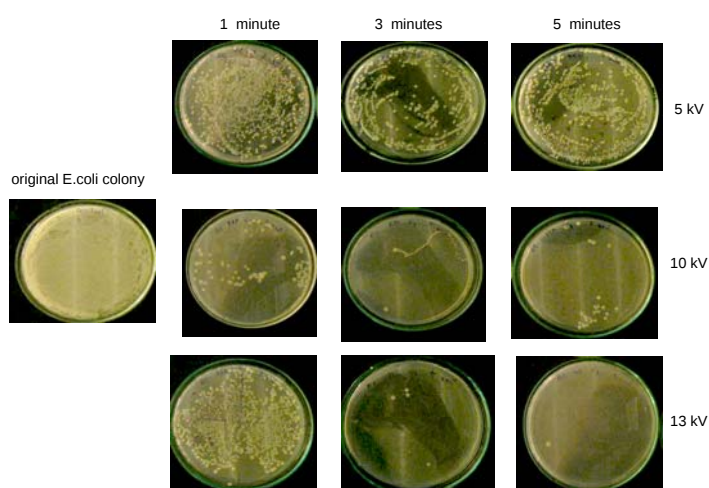
รูปที่ 10 รูปคลื่นตัวอย่างของสนามไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบ (ก) รูปคลื่นตัวอย่างของสนามไฟฟ้ากระแสตรงชั่วลบที่แรงดันประมาณ 13 kV (ข) รูปคลื่นตัวอย่างของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์สองด้าน ที่แรงดันประมาณ 13 kV (ค) รูปคลื่นตัวอย่างของสนามไฟฟ้ากระแสตรงชั่วลบร่วมกับรูปคลื่นแบบพัลส์สองด้านที่แรงดันประมาณ 13 kV

2. ผลการทดสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อีโคไลก่อนและหลังการนำไปผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงแบบ กระแสตรงขั้วลบ



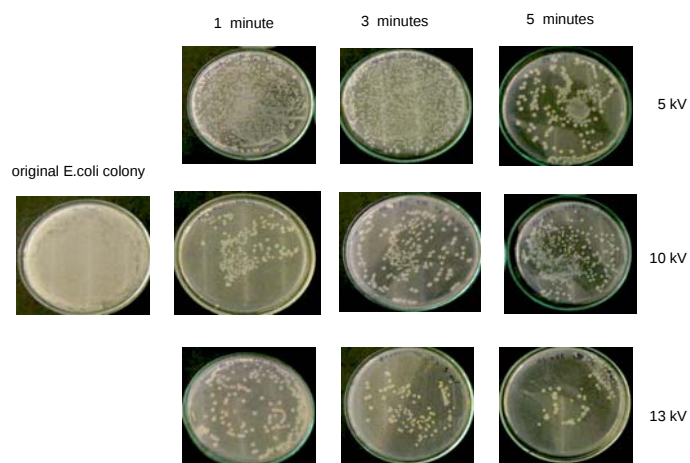
รูปที่ 11 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อีโคไลก่อนและหลังการนำไปผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงที่แรงดันที่แรงดัน ขั้วลบขนาด 5, 10 และ 13 kV เป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ

3. ผลการทดสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อีโคไลก่อนและหลังการนำไปผ่านสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ สองด้าน



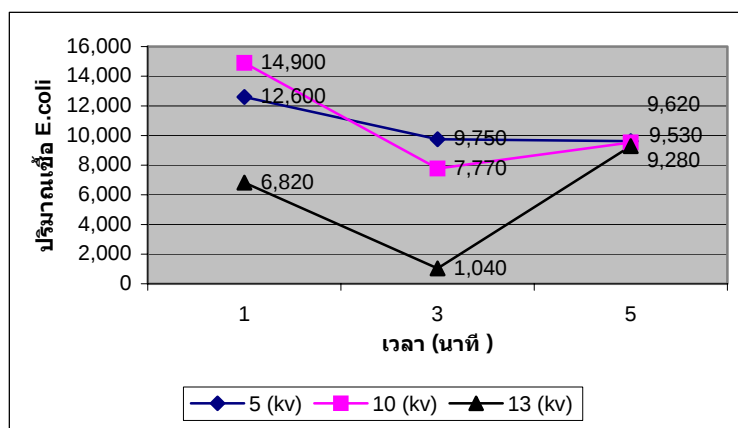
รูปที่ 12 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อีโคไลก่อนและหลังการนำไปผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์สองด้าน ขนาด 5, 10 และ 13 kV เป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ

4. ผลการทดสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อีโคไลก่อนและหลังการนำไปผ่านสนามไฟฟ้ากระแสตรง
ขั้วลบต่ออนุกรมกับสนามไฟฟ้าแบบพัลส์สองด้าน

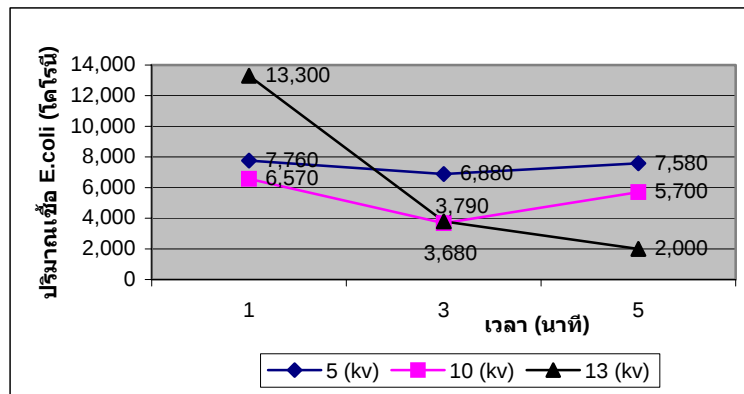


รูปที่ 13 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์อีโคไลก่อนและหลังการนำไปผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงขั้วลบต่ออนุกรมกับ
สนามไฟฟ้าแรงสูงแบบพัลส์สองด้านด้วยแรงดัน 5, 10 และ 13 kV เป็นเวลา 1, 3 และ 5 นาที ตามลำดับ

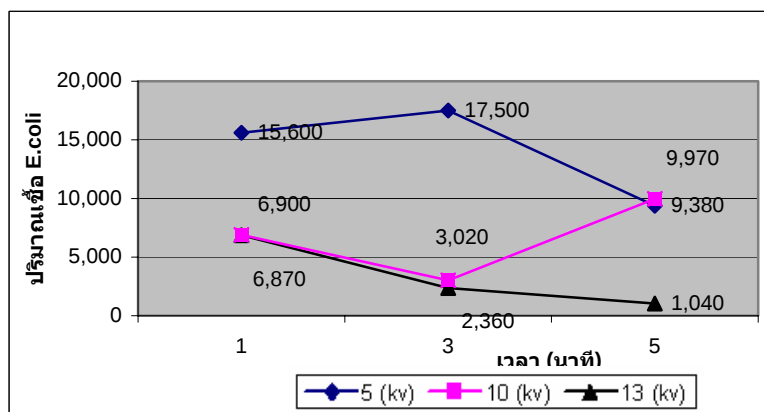
5. ผลการนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์อีโคไลในข้อที่ 2, 3 และ 4 แสดงในกราฟรูปที่ 14, 15 และ 16



รูปที่ 14 ปริมาณเชื้ออีโคไลจากการทดลองหัวข้อที่ 3



รูปที่ 15 ปริมาณเชื้ออีโคไลจากการทดลองหัวข้อที่ 4



รูปที่ 16 ปริมาณเชื้ออีโคไลจากการทดลองหัวข้อที่ 5

สรุป

จากการทดลองทั้งหมด เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดแรงดันแบบพัลส์ชนิดสองด้านนั้น ได้สร้างขึ้นเองที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเครื่องกำเนิดที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ทดสอบให้ห้องปฏิบัติการนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงสามารถจ่ายแรงดันกระแสตรงได้สูงถึง 40 kV 800 μ A และสามารถจ่ายแรงดันแบบพัลส์สองด้านได้สูงถึง 20 kV 1000 μ A สามารถปรับความถี่ได้ถึง 5 kHz ซึ่งสามารถทดลองการกระตุ้นแบคทีเรีย หรือจุลินทรีย์ชนิด ต่าง ๆ ได้ และจากการทดลองกับเชื้อจุลินทรีย์อีโคไล พบว่า เมื่อจุลินทรีย์ผ่านสนามไฟฟ้ากระแสตรงชั่วลบนุกรมกับสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ชนิดชั่วสองด้านนั้น ได้ผลดีที่สุด เมื่อป้อนแรงดันเข้าไปแผ่นเพลทที่มีระยะห่าง 1 cm ด้วยแรงดัน 13 kV เป็นเวลา 5 นาที เชื้อจุลินทรีย์อีโคไลจะถูกสลายตัวได้ดี คือ จำนวนโคโลนีจะลดลง เหลือเพียง 1,040 โคโลนี จากโคโลนีเริ่มต้น 180,000 โคโลนี ซึ่งจากหลักการนี้สามารถนำไปพัฒนาในอุตสาหกรรมอาหารได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท หมอนามัยเอ็มไทย 999 จำกัด จ.อุดรธานี ที่ให้เงินทุนอุดหนุน การทำวิจัยบางส่วนในครั้งนี้ ผศ.ดร.นิภา มลิณฑวิสัย ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อเทคนิคการนับและการเพาะเลี้ยงเชื้ออีโคไล และห้องปฏิบัติการวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนอุปกรณ์ในการทดลองในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Hulsheger, H and Nieman, E.G. 1980. "Lethal effect of high-voltage pulses on e.coli K12 Radiat Environ," **Radiat Environ Biophys.** 20:53-65.
- Dunn, J., 1996. "Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs," **Poul Sci.** 75(9):1133-1136.
- Qin, B.L., et al. 1994. "Inactivation of microorganisms by pulse electric field with different voltage waveforms," **IEEE Trans. J. Food Protect.** 59(11):1167-1171.
- M.Ellin Doyle. 1999. "The Use Pulsed Electric Fields and Electrolyzed Oxidizing Water to Control Listeria," **Foad Research Institute UW-Madison.**
- WO.S. Y. and Mittal, G.S. 1997. "Analysis of 2 high voltage electric pulse systems for batch and continuous pasturization of related food products," **University of Guelph.**
- Gastro, A.J., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G. 1993. "Microbial inactivation of food by pulse electric field," **J. Food Process Press.** 17:47-73.
- Barbosa-Canovas, G.V., Gongora-Nieto, M.M., Pothakamury, U.R., Swanson. 1999. "Preservation of foods with pulsed electric field," 1-9, 76-107, 108-155 **Academic Press.** London.
- P.Lubirki, 1996. "Pulse Corona Discharge for Advanced Oxidation in Water Purification Technology," **IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena.** 20-23.