

การศึกษาการกระตุ้นเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้า ร่วมกับน้ำผสมโอโซน

A Study on Activated Asparagus Seeds by Electric Field Combined with Ozone Water Technique

ชิดชนก มากจันทร์*

Chidchanok Markjan*

Received: 26 December 2019, Revised: 30 March 2020, Accepted: 2 April 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกระตุ้นเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับโอโซน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง และความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง เปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ถูกกระตุ้น โดยในการทดลองค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้เป็นแบบสม่ำเสมอมีค่า 1-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 20 และ 30 นาที ความเข้มข้นน้ำผสมโอโซนมีค่า 0.5-2.3 ส่วนต่อล้านส่วน ที่เวลา 10 20 และ 30 นาที ผลการทดลองพบว่า อัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง และความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการกระตุ้นด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับโอโซนมีผลที่ดีที่สุด โดยค่าสนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 30 นาที ร่วมกับน้ำผสมโอโซนที่ความเข้มข้น 2 ส่วนต่อล้านส่วน ที่เวลา 20 นาที มีอัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งมากที่สุดคือ ร้อยละ 98.45 และมีความยาวรากมากที่สุดคือ 1.8 เซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ถูกกระตุ้นพบว่า เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ถูกกระตุ้นด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับน้ำผสมโอโซนมีอัตราการงอกที่ดีกว่าเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ถูกกระตุ้นอยู่ร้อยละ 29.45 และมีความยาวรากที่ดีกว่าเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ถูกกระตุ้นอยู่ร้อยละ 88.88

คำสำคัญ: โอโซน, สนามไฟฟ้า, อัตราการงอก, เมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลย่านยาว อ่างทองสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Yan-Yao, Samchuk, Suphanburi 72130, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): chidchanok306@gmail.com

ABSTRACT

This research examines the activated of asparagus seed germination with the combination of electric field and ozonated water technique. It aims to explore the germination rate of asparagus seed and the length of the root in comparison to non-stimulated asparagus seeds. The experiment was conducted using the 1-5 kV/cm uniform electric field for a period of 20, 25, and 30 minutes and the 0.5-2.3 ppm ozonated water for a period of 10, 20, and 30 minutes, respectively. The result revealed that in terms of the germination rate of asparagus seed and the length of the root, asparagus seeds that have been activated with the combination of electric field and ozonated water technique have the best result. The combination of using the 3 kV/cm electric field for 30 minutes and the 2 ppm ozonated water for 20 minutes obtains the highest seed germination rate at 98.45 percent and the longest length of the root at 1.8 centimeters. Comparing to the nonactivated asparagus seeds, asparagus seeds that have been stimulated with the combination of electric field and ozonated water technique yield a better seed germination rate of 29.45 percent higher than non-stimulated seeds and a better length of the root ratio of 88.88 percent longer than non-stimulated ones.

Key words: ozone, electric field, germination rate, asparagus seeds

บทนำ

จากการรวบรวมข้อมูลของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศพบว่าในปี 2561 ประเทศไทยมีการส่งออกผักผลไม้สด แช่เย็น แช่แข็ง และอบแห้งมีปริมาณ 115952 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 178.15 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.76 โดยเมื่อจำแนกเป็นรายชนิดพบว่า หน่อไม้ฝรั่งมีการส่งออกมากเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศไทย โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีการส่งออกหน่อไม้ฝรั่งมีมูลค่ารวมทั้งสิ้น 4.97 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ หรือมีอัตราการขยายตัวอยู่ที่ร้อยละ 12.44 (Suteerapoj, 2019) และประเทศไทยกำลังขยายการผลิตเพื่อให้หน่อไม้ฝรั่งกลายเป็นพืชเศรษฐกิจส่งออกของประเทศไทยให้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากหน่อไม้ฝรั่งอุดมไปด้วยคุณประโยชน์ด้านโภชนาการ และมีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น มีประสิทธิภาพในการต้านมะเร็ง แก้อาการท้องอืดท้องเฟ้อ และช่วยขับ

ปัสสาวะเป็นต้น (Hasan *et al.*, 2016) แต่เนื่องจากในปัจจุบันการส่งออกของประเทศไทยยังประสบปัญหาคู่แข่งทางการค้า ปัญหามาตรการกีดกันทางการค้า และสินค้าไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน (Sajjanit, 2009) และนอกจากปัญหาด้านกระบวนการส่งออกแล้วนั้น หน่อไม้ฝรั่งยังประสบปัญหาด้านการเพาะปลูก ถึงแม้ว่าในประเทศไทยจะมีการปลูกหน่อไม้ฝรั่งมานานแล้วก็ตาม แต่หน่อไม้ฝรั่งยังคงเป็นพืชค่อนข้างใหม่ส่งผลให้เทคโนโลยีการผลิตหน่อไม้ฝรั่งที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยอยู่ในขั้นกำลังพัฒนา และยังไม่เป็นที่เปิดเผยมากนัก

โดยปัญหาของเกษตรกรที่เพาะปลูกหน่อไม้ฝรั่ง นอกจากเกษตรกรจะประสบปัญหาด้านเทคโนโลยีการผลิตหน่อไม้ฝรั่งแล้วนั้น เกษตรกรยังพบปัญหาเชื้อก่อโรค ศัตรูพืชของต้นหน่อไม้ฝรั่ง ปัญหาจากสภาพแวดล้อมที่ผันแปรไม่เอื้อต่อการออก และการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งยังเป็นอีกปัจจัย

ที่ส่งผลกระทบต่อทางด้านระยะเวลาการผลิต โดยหน่อไม้ฝรั่งจะใช้ระยะเวลาในการปลูกค่อนข้างนาน ตั้งแต่กระบวนการเริ่มงอกจากเมล็ดจะใช้เวลาอย่างน้อย 10-15 วันโดยประมาณ รวมถึงการลงดินปลูกจะยาวนานไปถึง 4-5 เดือนต่อการเก็บเกี่ยวผลผลิต 1 ครั้ง (Watanabe *et al.*, 2014) ส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่ต่อปีลดลง อันเป็นผลต่อเนื่องถึงเกษตรกรขาดรายได้ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ลดลง

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลให้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต รวมถึงการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์พืชด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น การศึกษาอิทธิพลของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าต่อคุณสมบัติการงอกของเมล็ดพริก โดยนำเมล็ดสัมผัสกับสนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 250-1000 เกาส์เป็นเวลา 30 นาทีและสนามไฟฟ้า 100-400 นิวตันต่อลูกอมบ์ เป็นระยะเวลา 1 นาที และสนามแม่เหล็กร่วมสนามไฟฟ้า ผลการทดลองพบว่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าช่วยกระตุ้นการงอกของเมล็ดพริก (Srikanth *et al.*, 2018) ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยเรื่องการศึกษาผลของสนามไฟฟ้าต่อการงอกและการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์หอมหัวใหญ่ โดยความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้คือ 249 และ 14 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร เป็นเวลา 15 45 80 และ 150 วินาที ผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 9 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 45 วินาที มีอัตราการงอกที่ดีที่สุดคือร้อยละ 80 (Molamofrada *et al.*, 2013) โดยสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของรากต้นกล้ามะเขือเทศที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยใช้สนามไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ต่อเมตร ผลการทดลองพบว่ากล้ามะเขือเทศที่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้ามีความยาวรากมากที่สุดคือ 29 เซนติเมตร และมีจำนวนรากฝอยที่มากกว่า

(Tataranni *et al.*, 2013) และยังมีประเด็นที่น่าสนใจของงานวิจัยเรื่องการศึกษาผลของไอโซนในการลดการพักตัวของเมล็ดมะเขือเทศ โดยใช้ความเข้มข้น 0.001-1 กรัม ที่เวลา 10 20 และ 30 นาที ผลการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นไอโซน 0.01 กรัม ที่เวลา 20 นาที มีการงอกของเมล็ดมะเขือเทศที่เร็วที่สุดคือร้อยละ 98 - 99 (Sudhakar *et al.*, 2011) ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยเรื่องการศึกษาการเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ดข้าวโพดโดยการบำบัดด้วยออกซิเจนและไอโซน โดยความเข้มข้นออกซิเจนและไอโซนที่ใช้ในการทดลองคือ 20 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร วัตถุประสงค์ 5 วัน ผลการทดลองพบว่าเมล็ดที่ได้รับออกซิเจนและไอโซนมีอัตราการงอกที่ร้อยละ 88.7 และ 92.0 (Violleau *et al.*, 2007) และยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการเร่งการงอกของเมล็ดอีกรูปแบบหนึ่งคือการศึกษาการเร่งการงอกของเมล็ดตาลโตนด โดยการเพาะเมล็ดสด เมล็ดล้างน้ำ แช่เมล็ด 20 วันและ 30 วัน ผลการทดลองพบว่าวิธีแช่เมล็ด 20 วัน มีความงอกของเมล็ดตาลโตนดมากที่สุดคือร้อยละ 73 (Wongsinchuan *et al.*, 2013) เป็นต้น

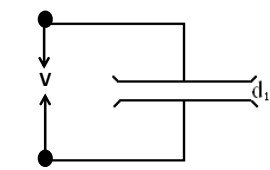
ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าสนามไฟฟ้าส่งผลต่ออัตราการงอกและความยาวรากของเมล็ดพันธุ์พืชที่ดีขึ้น และไอโซนส่งผลให้การเริ่มต้นการงอกที่เร็วขึ้นและอัตราการงอกที่ดีขึ้น แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับอัตราการงอกและความยาวรากของเมล็ดพันธุ์โดยใช้สนามไฟฟ้าร่วมกับการแช่ด้วยน้ำผสมไอโซน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการกระตุ้นอัตราการงอกเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับการแช่ด้วยน้ำผสมไอโซน เพื่อศึกษาอัตราการงอก และความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง อันเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ทางด้านเกษตรกรรม เพื่อช่วยลดระยะเวลา

การเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวหน่อไม้ฝรั่งให้กับเกษตรกร เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เร็วกว่าการปลูกแบบปกติ อันเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร และนำไปสู่การยกระดับสินค้าเกษตรส่งออกของไทยในอนาคต

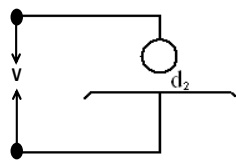
วิธีดำเนินการวิจัย

1. หลักการที่ใช้ในการออกแบบ

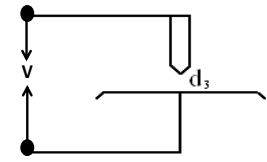
1.1 สนามไฟฟ้า



(ก) สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ



(ข) สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย



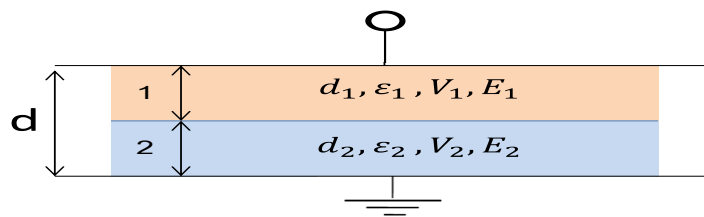
(ค) สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง

ภาพที่ 1 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่างๆ

1.2 ฉนวนชั้นกันสองชั้น

สนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนแต่ละชั้นมีค่าคงตัวหรือเท่ากันตลอด เมื่อวางอยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ดังภาพที่ 2 โดยสนามไฟฟ้าและแรงดันที่กระจายในชั้นฉนวนทั้งสองอาจคำนวณหาได้ดังสมการที่ (1) (Kuffel *et al.*, 2000)



ภาพที่ 2 ชั้นฉนวนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

$$E_2 = \frac{U}{d} \frac{1}{\frac{d_1}{d_2} \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - 1 \right) + 1} \tag{1}$$

โดยที่ E = ความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใด ๆ ระหว่างอิเล็กโทรด (โวลต์ต่อเซนติเมตร)

V = แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างอิเล็กโทรด (โวลต์)

d_1 = ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (เซนติเมตร)

d_2 = ระยะห่างช่องอากาศ (เซนติเมตร)

ϵ_1 = เปรอริมิคคิวิตีของฉนวนที่ 1

ลักษณะรูปแบบของสนามไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเรขาคณิตของอิเล็กโทรด โดยมีตัวแปรที่ใช้บ่งบอกลักษณะสนามไฟฟ้าคือ ค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field utilization factor) ลักษณะรูปแบบของสนามไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง (Kuffel *et al.*, 2000)

ε_2 = เปรอริมิตติวดีของฉนวนที่ 2

1.3 อิเล็กโทรพอเรชัน

คือการใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดช่องว่างที่เยื่อหุ้มเซลล์ เพื่อให้เซลล์สามารถยอมรับมวลสารจากภายนอกเข้าไปภายในเซลล์ได้ดีขึ้นโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยมีหลักการคือการทำให้นสนามไฟฟ้า (Electric Field:E) ผ่านขั้วอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับเซลล์จนเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์จนเกิดการสะสมประจุไฟฟ้าทำให้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่ามากกว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤต (E_c) ที่จะทำให้เกิดการแตกของเยื่อหุ้มเซลล์และทำให้เกิดปรากฏการณ์ Electroporation หรือ Pore formation (Wichamane, 2013)

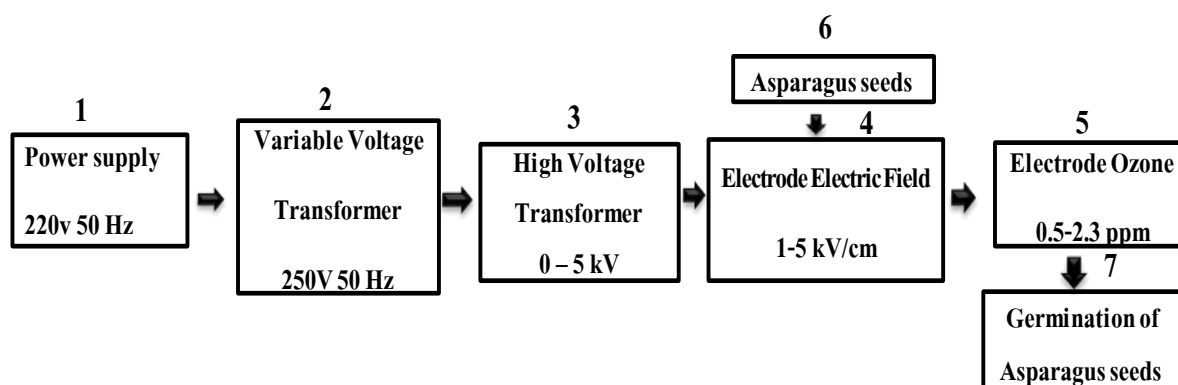
1.4 อัตราการงอก

การหาอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ สามารถคำนวณได้จากจำนวนของเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ทดสอบที่มีการงอกหารด้วยจำนวนเมล็ดพันธุ์ทั้งหมด โดยเมล็ดพันธุ์ที่มีอัตราการงอกสูง จะส่งผลให้เมล็ดพันธุ์มีอัตราการงอกสูงตามไปด้วย ซึ่งการหาอัตราการงอกสามารถทำได้โดยการวางเมล็ดพันธุ์ที่ทดสอบลงบนวัสดุเพาะ จำนวน 100 เมล็ด วางทิ้งไว้จนครบ 7 วันจึงทำการตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอก และคำนวณอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ดังสมการที่ (2) (Berton *et al.*, 2013)

$$\text{อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ (ร้อยละ)} = \frac{(\text{จำนวนเมล็ดที่งอก})}{(\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ})} \times 100 \quad (2)$$

2. การออกแบบและการทดลอง

2.1 ไลอะแกรมการทดลอง



ภาพที่ 3 ไลอะแกรมการทดลอง

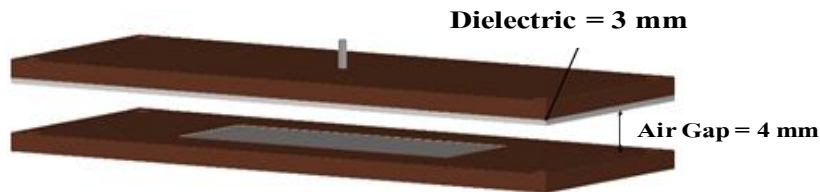
ภาพที่ 3 เป็นการอธิบายการทำงานของ การทดสอบค่าสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมในการกระตุ้น เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งเพื่อศึกษาอัตราการงอก โดยเริ่มจาก แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต ใน

หมายเลข 1 ซึ่งต่ออยู่กับหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า ในหมายเลข 2 เพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า หม้อแปลงแรงดันสูงกระแสสลับ 0-5 กิโลโวลต์ต่อ เซนติเมตร 50 เฮิร์ต ในหมายเลข 3 ทำหน้าที่จ่าย

แรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรดในการสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอในหมายเลข 4 แล้วนำเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งในหมายเลข 6 มาผ่านสนามไฟฟ้าที่เวลา 20 25 และ 30 นาที ในหมายเลข 4 จากนั้นนำเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านสนามไฟฟ้ามาแช่น้ำผสมโอโซนที่ความเข้มข้น 0.5-2.3 ส่วนต่อล้านส่วน ที่

ระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที ในหมายเลข 5 และทำการวัดผลอัตราการงอกและความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งในหมายเลข 7

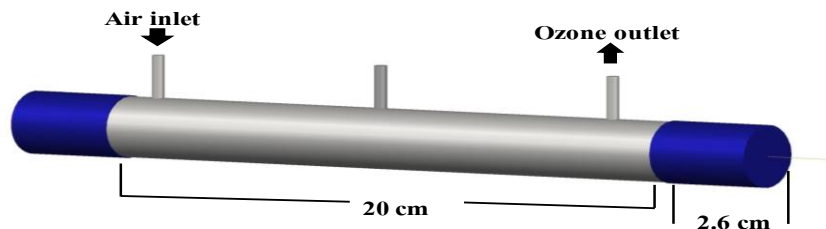
2.2 การกำหนดขนาดของชุดอิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าและอิเล็กโทรดโอโซน



ภาพที่ 4 อิเล็กโทรดสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

จากภาพที่ 4 แสดงชุดอิเล็กโทรดที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอโดยตัวนำไฟฟ้าและกราวด์เป็นแผ่นสแตนเลส เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ ส่วนถัดมาคือฉนวนชั้นที่ 1 อะคริลิกหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาวนภายใน

ช่องว่างอากาศ และฉนวนชั้นที่ 2 คือช่องว่างอากาศหนา 4 มิลลิเมตร ใช้สำหรับจัดวางเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งเพื่อให้สัมผัสกับสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอภายในชุดอิเล็กโทรดได้พอดี โดยไม่ซ้อนทับกัน



ภาพที่ 5 อิเล็กโทรดโอโซนที่ใช้ในการทดลอง

จากภาพที่ 5 แสดงชุดอิเล็กโทรดโอโซนที่ใช้ในการทดลอง อิเล็กโทรดที่ใช้ในการสร้างโอโซนเป็นอิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันรวม และสร้างก๊าซโอโซนด้วยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ โดยความ

ยาวของชุดอิเล็กโทรดเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีฉนวนหุ้มทางด้านหัว-ท้ายเป็นพลาสติกชนิด PVC

2.3 การวิเคราะห์ค่าแรงดันและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบแรงดันสูงกระแสสลับที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า 1-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร

สนามไฟฟ้า (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)	แรงดันสูง (โวลต์)
1	620
2	1240
3	1860
4	2480
5	3100

จากตารางที่ 1 ค่าแรงดันสูงที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้าภายในช่องว่างอากาศของชุดอิเล็กโทรดคำนวณจาก สมการที่ 1 และนำมาเปรียบเทียบเพื่อยืนยันผลของค่าสนามไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม FEM ซึ่งจากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเมื่อค่า

แรงดันสูงที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กโทรดมีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสนามไฟฟ้าภายในช่องว่างอากาศของชุดอิเล็กโทรดมีค่าสูงขึ้นด้วย

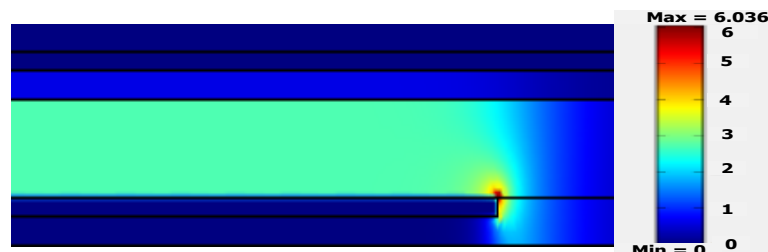
2.4 การวิเคราะห์ระยะเวลากับความเข้มข้นของโอโซน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบระยะเวลากับความเข้มข้นโอโซนต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร

ปริมาณโอโซน (ส่วนต่อล้านส่วน)	ระยะเวลา (นาที)
0.5	2.5
1	5
1.5	7.5
2	10
2.3	12

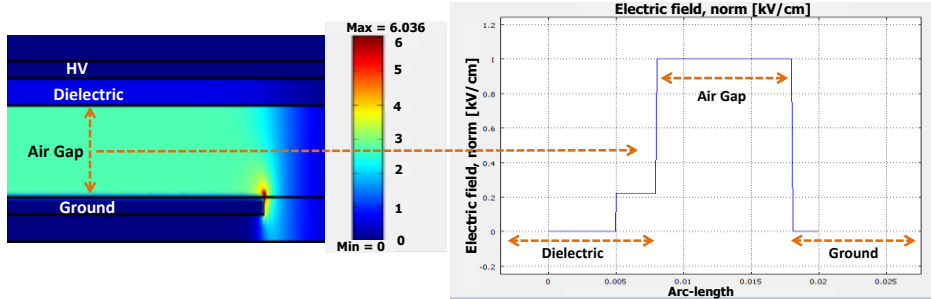
จากตารางที่ 2 เปรียบเทียบระยะเวลากับความเข้มข้นโอโซนต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร และวัดผลความเข้มข้นโอโซนในน้ำด้วยวิธีไอโอโดเมตรี จะเห็นว่า

เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเปิดเครื่องกำเนิดโอโซนส่งผลให้ความเข้มข้นโอโซนในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 6 การจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าโดยโปรแกรม FEM

จากภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างการกระจายสนามไฟฟ้าภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้โปรแกรม FEM สนามไฟฟ้าสร้างจากแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสสลับดังตารางที่ 1 พบว่าภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์มีความเครียดสนามไฟฟ้ามากที่สุดที่บริเวณขอบคมจึงได้มีการหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาวน์

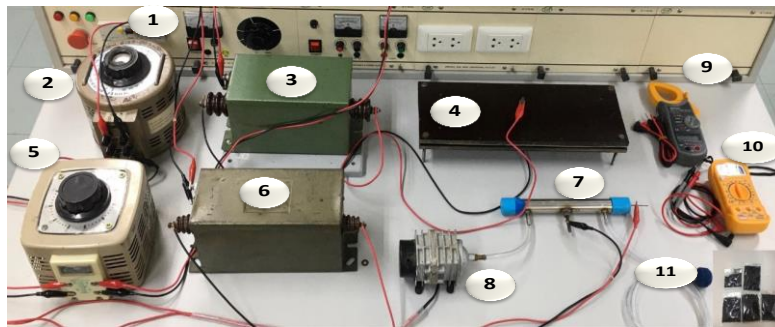


ภาพที่ 7 การจำลองความเครียดสนามไฟฟ้าในช่องว่างอากาศ 1 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่แรงดัน 620 โวลต์

จากภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างค่าความเครียดสนามไฟฟ้าแบบสมมาตรภายในช่องว่างอากาศด้วยโปรแกรม FEM โดยเมื่อทำการป้อนค่าแรงดันสูงที่ 620 โวลต์ ดังตารางที่ 1 ส่งผลให้ค่าความเครียด

สนามไฟฟ้าภายในช่องว่างอากาศมีค่าเท่ากับ 1 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 1

2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

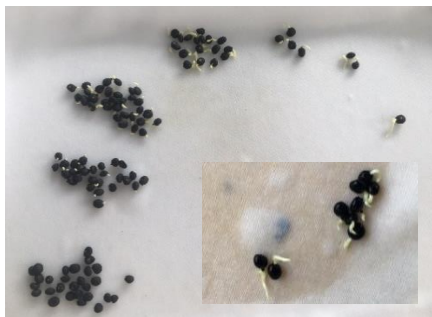
จากภาพที่ 8 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ค่าสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมในการกระตุ้นเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งเพื่อศึกษาอัตราการงอก โดยเริ่มจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต ในหมายเลข 1 ไปยังหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าพิกัด 250 โวลต์ 50 เฮิร์ต ในหมายเลข 2 และ หมายเลข 5 เพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าหม้อแปลงแรงดันสูงกระแสสลับ 0-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร 50 เฮิร์ต ใน

หมายเลข 3 และ หมายเลข 6 โดยหมายเลข 3 ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างสนามไฟฟ้าแบบสมมาตรในหมายเลข 4 ส่วนในหมายเลข 6 ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กทรอนิกส์กำเนิดไอโซนในหมายเลข 7 แล้วจึงจ่ายอากาศด้วยปริมาณในหมายเลข 8 ผ่านชุดอิเล็กทรอนิกส์กำเนิดไอโซนในหมายเลข 7 แล้วนำเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งในหมายเลข 11 ผ่านสนามไฟฟ้าที่หมายเลข 4 แล้วนำเมล็ดมาแช่น้ำ

ผสมโอโซนที่ความเข้มข้น 0.5-2.3 ส่วนต่อล้านส่วน ที่มาจากชุดอิเล็กทรอนิกส์กำเนิดโอโซนในหมายเลข 7 จากนั้นคำนวณผลอัตราการงอกและวัดความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ส่วนในหมายเลข 9 คือ ดิจิตอลแอมมิเตอร์ DT-1000A ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าในชุดทดสอบค่าสนามไฟฟ้าและค่าโอโซน หมายเลข 10 คือ มัลติมิเตอร์ UT30A ใช้สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าในชุดทดสอบค่าสนามไฟฟ้าและค่าโอโซน

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การทดลองนี้จะทำการกระตุ้นเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ค่าสนามไฟฟ้าตั้งแต่ 1-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 20 25 และ 30 นาที จากนั้นนำเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งไปแช่น้ำผสมโอโซนที่ความเข้มข้น 0.5-2.3 ส่วนต่อล้านส่วน ที่ระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที และทำการวัดผลอัตราการงอกและความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง ดัง ภาพ ที่ 9



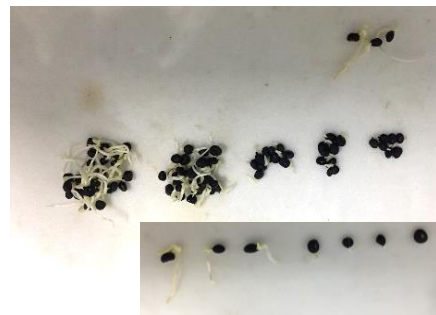
(ก) ตัวอย่างเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านสนามไฟฟ้าและไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน



(ข) ตัวอย่างเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ได้รับการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้า



(ค) ตัวอย่างเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน



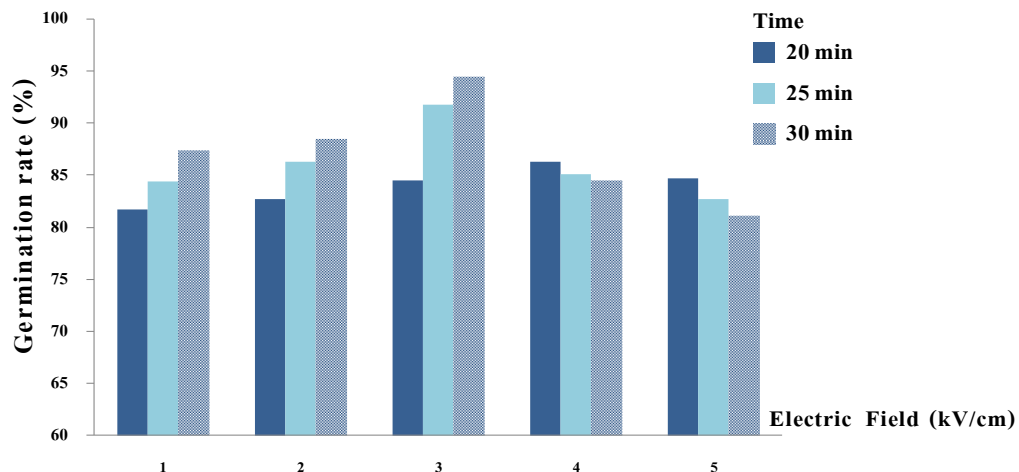
(ง) ตัวอย่างเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ได้รับการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าร่วมกับการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน

ภาพที่ 9 ตัวอย่างเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการ

1. ผลอัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง

ตารางที่ 3 ผลของอัตราการงอกเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าที่ 1-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 20 25 และ 30 นาที

สนามไฟฟ้า (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)	อัตราการงอกเมล็ดที่ 7 วัน (ร้อยละ)		
	20 นาที	25 นาที	30 นาที
1	81.7	84.3	87.4
2	82.7	86.3	88.5
3	84.5	91.8	94.5
4	86.3	85.1	84.5
5	84.7	82.7	81.1
เมล็ดหน่อ ไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า	69		



ภาพที่ 10 ผลของอัตราการงอกเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ค่าสนามไฟฟ้า 1-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตรที่เวลา 20 25 และ 30 นาที

จากภาพที่ 10 ทำให้ทราบว่าที่ค่าสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 30 นาที มีอัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ดีที่สุดคือร้อยละ 94.5 รองลงมาคือค่าสนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร เวลา 25 นาที มีอัตราการงอกที่ร้อยละ 91.8 ส่วนเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ามีร้อยละของอัตราการงอกต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 69 จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้า และระยะเวลาในการสัมผัสสนามไฟฟ้าที่มากขึ้นส่งผลให้เมล็ดมี

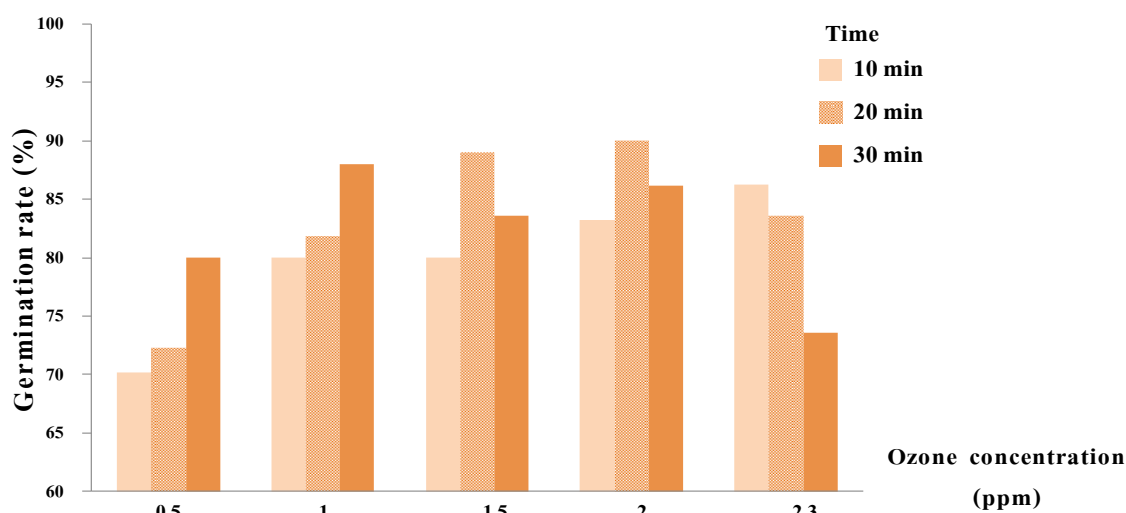
ร้อยละอัตราการงอกที่เพิ่มขึ้น จึงอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อสนามไฟฟ้าสัมผัสเมล็ด จะส่งผลให้เกิดช่องว่างที่บริเวณพื้นผิวของผนังเซลล์ และเมื่อนำไปแช่น้ำผนังเซลล์จึงสามารถยอมรับมวลสารของน้ำจากภายนอกเข้าไปภายในเซลล์ได้ดีขึ้น (Shorstkii *et al.*, 2019) โดยในส่วนของค่าสนามไฟฟ้าที่ 4 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร เป็นต้นไป มีร้อยละของอัตราการงอกที่ลดลง เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มมากเกินไปอาจส่งผลให้ผนังเซลล์เกิดความเสียหายส่งผลให้ร้อยละของอัตราการงอกของเมล็ดลดลง (Wichamane,

2013) แต่ในทุกๆ การทดลองจะสังเกตได้ว่าเมล็ด
หน่อไม้ฝรั่งที่ถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ามีร้อยละ
ของอัตราการงอกที่ดีกว่าเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ถูก

กระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า (Molamofrada *et al.*, 2013;
Mahajan and Pandey, 2014)

ตารางที่ 4 ผลของอัตราการงอกเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซนที่ความเข้มข้น 0.5-2.3 ส่วนต่อล้าน ส่วน ที่ระยะเวลา 10 20 และ 30 นาที

โอโซน (ส่วนต่อล้านส่วน)	อัตราการงอกเมล็ดที่ 7 วัน (ร้อยละ)		
	10 นาที	20 นาที	30 นาที
0.5	70.2	72.3	80
1	80	81.8	88
1.5	80	89	83.6
2	82.2	90	86.2
2.3	86.3	83.6	73.6
เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน	69		



ภาพที่ 11 อัตราการงอกเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซนที่ความเข้มข้น 0.5-2.3 ส่วนต่อล้านส่วน ที่ เวลา 10 20 และ 30 นาที

จากภาพที่ 11 ทำให้ทราบว่าที่ความเข้มข้นของ
น้ำผสมโอโซน 2 ส่วนต่อล้านส่วน ที่ระยะเวลา 20
นาที มีอัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งมากที่สุด
คือ ร้อยละ 90 รองลงมาคือความเข้มข้นของน้ำผสม
โอโซน 1.5 ส่วนต่อล้านส่วน ที่ระยะเวลา 20 นาที มี
อัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งร้อยละ 89 ส่วน

เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน
มีร้อยละของอัตราการงอกต่ำที่สุดคือร้อยละ 69 จาก
ผลการทดลองทำให้ทราบว่าความเข้มข้นน้ำผสมโอโซน
ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เมล็ดมีร้อยละอัตราการงอกที่
เพิ่มขึ้น เนื่องจากในการทดลองได้ทำการวัดผล
ออกซิเจนละลายน้ำในน้ำผสมโอโซนพบว่ามีความ

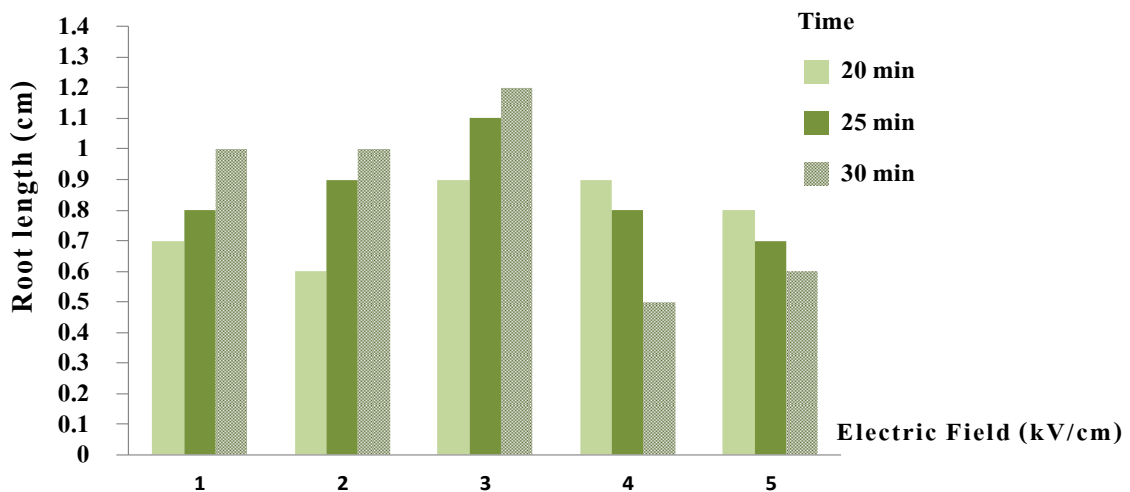
ออกซิเจนละลายน้ำที่มากกว่าน้ำธรรมชาติถึงร้อยละ 14.7 ซึ่งออกซิเจนละลายน้ำนี้มีผลต่ออัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ดีขึ้น (Yasin and Andreasen, 2016) โดยหากออกซิเจนละลายน้ำมีปริมาณน้อยจะส่งผลให้อัตราการงอกรวมถึงความเร็วในการงอกของเมล็ดลดลงตามไปด้วย และน้ำผสมโอโซนที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถลดอัตราการพักตัวของเมล็ดได้ (Sudhakar *et al.*, 2011) แต่ในกรณีที่มีความ

เข้มข้นผสมโอโซนที่มากเกินไป และระยะเวลาในการแช่เมล็ดในน้ำผสมโอโซนที่นานเกินไป อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งได้ เนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นก๊าซออกซิไดซ์ (Violleau *et al.*, 2007)

2. ผลความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง

ตารางที่ 5 ผลความยาวรากเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่กระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า 1-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 20 25 และ 30 นาที

สนามไฟฟ้า (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)	ความยาวรากเมล็ดที่ 7 วัน (เซนติเมตร)		
	20 นาที	25 นาที	30 นาที
1	0.6	0.8	1
2	0.7	0.9	1
3	0.9	1	1.2
4	0.9	0.8	0.5
5	0.8	0.7	0.6
เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า	0.2		



ภาพที่ 12 ผลของความยาวรากเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ค่าสนามไฟฟ้า 1-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตรที่เวลา 20 25 และ 30 นาที

จากภาพที่ 12 ทำให้ทราบว่าที่ค่าสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 30 นาที มีความยาวรากที่ดีที่สุดคือ 1.2 เซนติเมตร รองลงมาคือที่ค่าสนามไฟฟ้า 1 กิโลโวลต์ต่อ

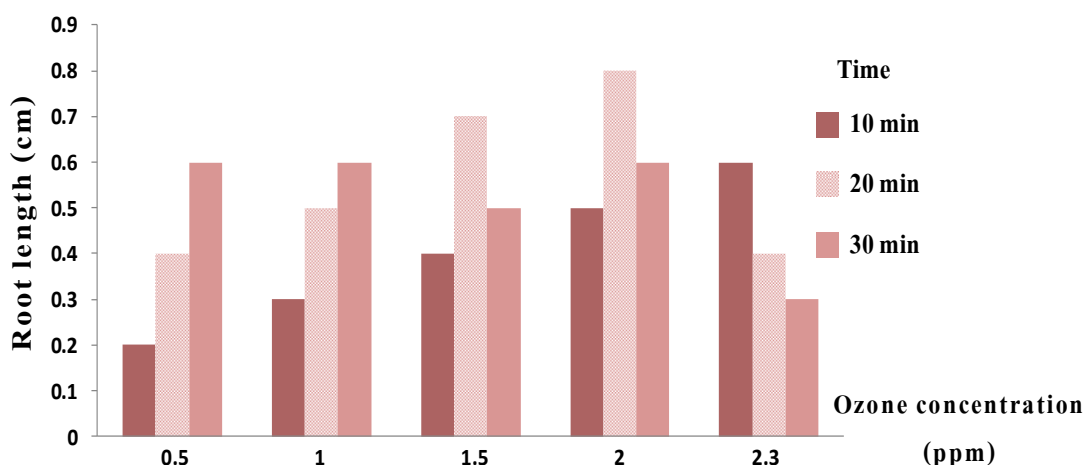
เซนติเมตร และ 2 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 30 นาที มีความยาวรากที่เท่ากันคือ 1 เซนติเมตร ในส่วนของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ถูกกระตุ้นจากสนามไฟฟ้ามีความยาวรากน้อยที่สุดคือ

0.2 เซนติเมตร จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นไฟฟ้า และระยะเวลาในการสัมผัสสนามไฟฟ้าที่มากขึ้นส่งผลให้มีความยาวรากมากขึ้น สืบเนื่องจากการทดลองก่อนหน้านี้ โดยเมื่อมีอัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตในส่วนของรากที่มากขึ้น รากจึงสามารถดูดซับน้ำในขณะเพาะเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งได้มากขึ้น จึงมีการพัฒนาการ

เจริญเติบโตในส่วนของความยาวรากที่เพิ่มขึ้น (Tataranni *et al.*, 2013) ส่วนที่ค่าสนามไฟฟ้าที่ 4 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร เป็นต้นไป ความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งจะเริ่มลดลง แต่ในทุกๆ การทดลองจะสังเกตได้ว่าเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ถูกกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้ามีความยาวรากที่มากกว่าเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้า (Patwardhan and Gandhare, 2013)

ตารางที่ 6 ผลความยาวรากเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่แช่ด้วยน้ำผสมโอโซนที่ 0.5 - 2.3 ส่วนต่อล้านส่วน ที่เวลา 10 20 และ 30 นาที

โอโซน (ส่วนต่อล้านส่วน)	ความยาวรากเมล็ดที่ 7 วัน (เซนติเมตร)		
	10 นาที	20 นาที	30 นาที
0.5	0.2	0.4	0.6
1	0.3	0.5	0.6
1.5	0.4	0.7	0.5
2	0.5	0.8	0.6
2.3	0.6	0.4	0.3
เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน			0.2



ภาพที่ 13 ผลของความยาวรากเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ค่าโอโซน 0.5-2.3 ส่วนต่อล้านส่วน ที่เวลา 10 20 และ 30 นาที

จากภาพที่ 13 ทำให้ทราบว่าที่ความเข้มข้นโอโซน 2 ส่วนต่อล้านส่วน ที่ระยะเวลา 20 นาที มีความยาวรากมากที่สุดคือ 0.8 เซนติเมตร รองลงมาคือที่ความเข้มข้นโอโซน 1.5 ส่วนต่อล้านส่วน ที่

ระยะเวลา 20 นาที มีความยาวราก 0.7 เซนติเมตร ในส่วน of เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซนมีความยาวรากน้อยที่สุดคือ 0.2 เซนติเมตร จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าความเข้มข้น

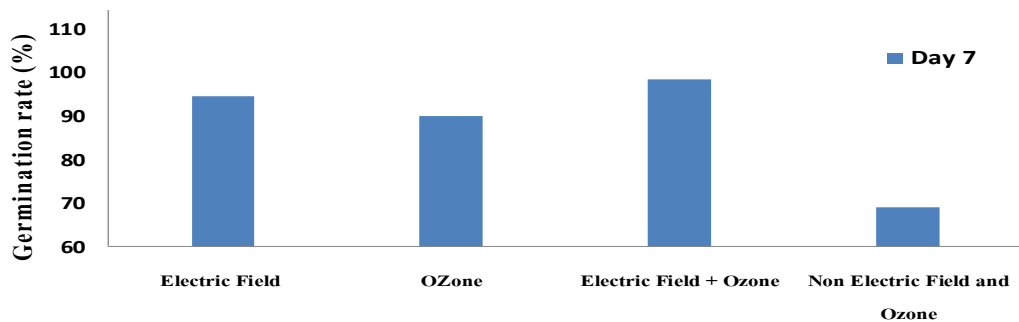
น้ำผสมโอโซนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เมล็ดมีความยาวรากที่มากขึ้น เนื่องจากผลสืบเนื่องจากการทดลองก่อนหน้านี้ โดยเมื่อเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซนจะมีอัตราการงอกที่มากขึ้น ส่งผลให้รากสามารถดูดซับน้ำในขณะที่เพาะเมล็ดได้มากขึ้น จึงมีการพัฒนาการเจริญเติบโตในส่วนของความยาวรากที่เพิ่มขึ้นแต่ในกรณีที่ความเข้มข้นน้ำผสมโอโซนที่มาก

เกินไป และระยะเวลาในการแช่เมล็ดในน้ำผสมโอโซนที่นานเกินไป อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งได้เนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นก๊าซออกซิไดซ์ (Violleau *et al.*, 2007)

3. ผลเปรียบเทียบอัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับโอโซน

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบผลของอัตราการงอกเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง ที่ผ่านการกระตุ้นด้วย สนามไฟฟ้า โอโซน สนามไฟฟ้าร่วมกับโอโซน และไม่ได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าและไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน

กรณีของการทดสอบ	อัตราการงอก (ร้อยละ)
สนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร	94.5
น้ำผสมโอโซนที่ 2 ส่วนต่อล้านส่วน	90
สนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ร่วมกับน้ำผสมโอโซนที่ 2 ส่วนต่อล้านส่วน	98.45
ไม่ได้รับการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าและไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน	69



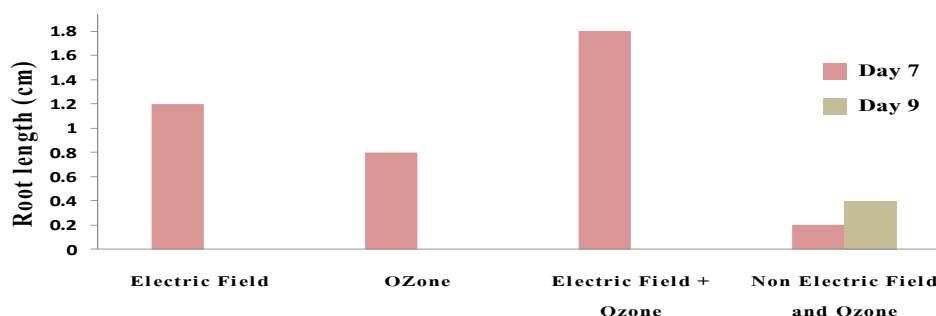
ภาพที่ 14 ผลเปรียบเทียบอัตราการงอกของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับโอโซน

จากภาพที่ 14 ทำให้ทราบว่าเมื่อทำการกระตุ้นเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ค่าสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 30 นาที และนำไปแช่ร่วมกับน้ำผสมโอโซนที่ความเข้มข้น 2 ส่วนต่อล้านส่วน ที่ระยะเวลา 20 นาที มีผลของอัตราการงอกดีที่สุดในการทดลอง คือร้อยละ 98.45 รองลงมาคือ

เมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ได้กระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 30 นาที มีผลของอัตราการงอกร้อยละ 94.5 ส่วนเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ได้กระตุ้นจากสนามไฟฟ้าและไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซนมีผลอัตราการงอกที่ต่ำที่สุดคือร้อยละ 69

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบผลของความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง ที่ผ่านการกระตุ้นด้วย สนามไฟฟ้า โอโซน สนามไฟฟ้าร่วมกับโอโซน และไม่ได้รับการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าและไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสม โอโซน

กรณีของการทดสอบ	ความยาวรากที่ 7 วัน (เซนติเมตร)
สนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร	1.2
น้ำผสมโอโซนที่ 2 ส่วนต่อล้านส่วน	0.8
สนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ร่วมกับน้ำผสมโอโซนที่ 2 ส่วนต่อ ล้านส่วน	1.8
ไม่ได้รับการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าและไม่ผ่านการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซน	0.2



ภาพที่ 15 ผลเปรียบเทียบความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับโอโซน

จากภาพที่ 15 ทำให้ทราบว่าเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 30 นาที และแช่ร่วมกับน้ำผสมโอโซนที่ 2 ส่วนต่อล้านส่วน ที่เวลา 20 นาที มีความยาวรากดีที่สุดคือ 1.8 เซนติเมตร รองลงมาคือเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านสนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 30 นาที มีความยาวรากคือ 1.2 เซนติเมตร ส่วนของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านการกระตุ้นมีความยาวรากน้อยที่สุดคือ 0.2 เซนติเมตร ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อการนำลงดินปลูก โดยเมล็ดควรมีความยาวรากอย่างน้อย 0.3 เซนติเมตร ก่อนนำลงดินปลูก (Soltani *et al.*, 2006) จึงทำการเพาะเมล็ดต่อไปจนถึงวันที่ 9 จึงทำให้มีความยาวรากเพิ่มขึ้นเป็น 0.4 เซนติเมตร ซึ่งเพียงพอต่อการนำลงดินปลูก ส่วนเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการกระตุ้นด้วย

สนามไฟฟ้าและน้ำผสมโอโซนมีความยาวรากที่เพียงพอโดยใช้ระยะเวลาเพียง 7 วัน ซึ่งใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่า

สรุป

จากการศึกษาการกระตุ้นเมล็ดหน่อไม้ฝรั่งด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับน้ำผสมโอโซน ที่ค่าสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ 1-5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 20 25 และ 30 นาที และความเข้มข้นน้ำผสมโอโซนมีค่า 0.5-2.3 ส่วนต่อล้านส่วน ที่เวลา 10 20 และ 30 นาที เพื่อศึกษาอัตราการงอกและความยาวรากของเมล็ดหน่อไม้ฝรั่ง ผลการทดลองสรุปได้ว่าที่ค่าสนามไฟฟ้าที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 30 นาที ร่วมกับการแช่ด้วยน้ำผสมโอโซนที่ความเข้มข้น 2 ส่วนต่อล้านส่วน ที่

ระยะเวลา 20 นาที มีอัตราการงอกที่ดีที่สุดคือ ร้อยละ 98.45 ซึ่งดีกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการกระตุ้นอยู่ร้อยละ 29.45 และความยาวรากที่ดีที่สุดคือ 1.8 เซนติเมตร ซึ่งดีกว่าเมล็ดที่ไม่ผ่านการกระตุ้นอยู่ร้อยละ 88.88

ข้อเสนอแนะ

ควรวิเคราะห์ห้ระดับการใช้พลังงานของเทคนิคสนามไฟฟ้าร่วมกับน้ำผสมโอโซนเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้งานเชิงพาณิชย์ และควรมีการออกแบบระบบป้องกันเพื่อให้เกิดความปลอดภัย

ประเด็นวิจัยในอนาคต

1. ควรศึกษาในเมล็ดพันธุ์พืชชนิดอื่นและการปลูกในรูปแบบอื่นเพื่อให้เกิดการสร้างมูลค่าเพิ่ม

เอกสารอ้างอิง

Berton, L., Filho, J., Siqueira, W. and Colombo, C. 2013. Seed germination and estimates of genetic parameters of promising macaw palm (*Acrocomia aculaeta*) progenies for biofuel production. **Industrial Crops Products** 5(1): 258-266.

Hasan, N., Ahmad, N., Zohrameena, Sh., Khalid, M. and Akhtar, J. 2016. *Asparagus racemosus*: for Medicinal Use & Pharmacological Actions. **International Journal of Advanced Research** 4(3): 259-267.

Kuffel, E., Zaengl, W.S. and Kuffel, J. 2000. **High Voltage Engineering: Fundamentals**. 2nd ed. Newnes, Great Britain.

Mahajan, T.S. and Pandey, O.P. 2014. Effect of electric field (at different temperatures) on

germination of chickpea seed. **African Journal of Biotechnology** 13(1): 61-67.

Molamofrada, F., Lotfia, M., Khazaib, J., Reza T.A. and Amir, S.A. 2013. The effect of electric field on seed germination and growth parameters of onion seeds (*Allium cepa*). **Advanced Crop Science** 3(4): 291-298.

Patwardhan, M.S. and Gandhare, W.Z. 2013. High voltage electric field effects on the germination rate of tomato seeds. **Acta Agrophysica** 20(2): 403-413.

Sajjanit, C. 2009. Non-Tariff Barriers (NTBs): Key trade barriers for Thai exporters. **Sripatum Review Humanities and Social Sciences** 9(2): 125-134. (in Thai)

Shorstkii, I.A., Zherlicin, A.G. and Li, P. 2019. Impact of pulsed electric field and pulsed microwave treatment on morphological and structural characteristics of sunflower seed. **Oilseed & Fats Crops and Lipid Journal** 26(47):1-7

Soltani, F., Arghavani, M. and Kashi, A. 2006. Effect of magnetic field on *Asparagus officinalis* L. seed germination and seedling growth. **Seed Science and Technology Journal** 34(2):349-353.

Srikanth, D., Kumar R.P., Khandka, S. and Jyothi, G.B.N. 2018. Influence of magnetic and electric field on germination attributes of chilli (*Capsicum annum* L.) seeds. **International Journal of Pure & Applied Bioscience** 6(3): 496-501.

- Sudhakar, N., Nagendra, D., Mohan, N., Bradford, H., Gunasekaran, M. and Murugesan, K. 2011. Assessing influence of ozone in tomato seed dormancy alleviation. **American Journal of Plant Sciences** 2(1): 443-448.
- Suteerapoj, W. 2019. **Product of Vegetable Fresh Fruit Frozen and Dried: Basic Data of Product**. Available Source: https://www.ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/526062/526062.pdf&title=526062, January 20, 2019. (in Thai)
- Tataranni, G., Sofu, A., Casucci, C. and Scopa, A. 2013. Different root growth patterns of tomato seedlings grown hydroponically under an electric field. **Japan's Academic Journals** 7(1): 28-32.
- Violleau, F., Hadjeba, Kh., Albet, J., Cazalis, R. and Surel, O. 2007. Increase of corn seeds germination by oxygen and ozone treatment. **IOA Conference and Exhibition Valencia** 6(5) :1-6.
- Watanabe, S.I., Inoue, K., Emoto, S., Ishibashi, Y., Doi, K. and Furuya, Sh. 2014. Trial of green asparagus out-of-season production for establishing year-round production in Kyushu, a warm area of Japan. **Japan Agricultural Research Quarterly Journal** 48(4): 449-455.
- Wichamanee, Y. 2013. Factors influencing on dewatering by osmotic dehydration of fruits and vegetables. **Burapha Science Journal** 18(1): 226-223. (in Thai)
- Wongsinchuan, N., Buatip, S. and Hawo, T. 2013. Germination enhancement of palmyra seed (*Borassus abellifer* L.). **Thai Agricultural Research Journal** 31(3): 250-256. (in Thai)
- Yasin, M. and Andreasen, C. 2016. Effect of reduced oxygen concentration on the germination behavior of vegetable seeds. **Horticulture Environment and Biotechnology Journal** 57(5): 453-461.