

ผลของตำแหน่งและระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดสองแถวที่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ
การอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับการไหลอิเล็กโตรไฮโดรไดนามิก
Effect of Position and Distance between Two Electrode Rows on
the Efficiency Enhancement of Hot-Air Drying Combined with
Electrohydrodynamic Flow

ไชยณรงค์ จักรธรานนท์^{1*}, ทศพร กลิ่นมาลี¹, ธัชพล เหลืองอรุณโรจน์¹, และ ภูติศ กลิ่นวาริ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

99 หมู่ 18 ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: cchainar@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการทดลองศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้สนามไฟฟ้าแรงดันสูงจากอิเล็กโทรดสองแถวควบคุมกระแสการไหลเหนือผิวหน้าของวัสดุพูนให้เกิดการถ่ายเทมวลและความร้อนมากยิ่งขึ้น ตัวแปรที่ศึกษาคือตำแหน่งระดับความสูงของปลายลวดอิเล็กโทรด ($E_y = 3, 4$ และ 6 cm) ตำแหน่งของอิเล็กโทรดในทิศการไหล ($E_x = -3.75, 0, 3.75$ cm) และระยะห่างระหว่างแถวอิเล็กโทรด ($L_x = 3.75$ ถึง 15 cm) ในการทดลองลวดอิเล็กโทรดถูกแขวนจากผนังด้านบนของอุโมงค์ลมซึ่งมีขนาดหน้าตัด 30 cm $\times$ 30 cm และถูกติดตั้งในทิศตั้งฉากกับการไหลของลมร้อน โดยอิเล็กโทรดแต่ละแถวประกอบด้วยลวดอิเล็กโทรด 4 เส้น ส่วนลวดกราวด์สองเส้นถูกติดตั้งเหนือผิวหน้าของวัสดุพูน และวางขนานกับทิศการไหล สนามไฟฟ้าที่ใช้มีค่า $V = 20$ kV อุณหภูมิและความเร็วเฉลี่ยของลมร้อนมีค่า 60°C และ 0.34 m/s ตามลำดับ แพคเกจซึ่งใช้แทนวัสดุพูนภายในประกอบด้วย น้ำ อากาศ และเม็ดแก้ว ในทุกการทดสอบความอิ่มตัวเริ่มต้นของแพคเกจมีค่า $S_{int} = 0.5$ ระยะเวลาการอบแห้ง 12 ชั่วโมง ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแถวของอิเล็กโทรดที่ $L_x = 7.5$ cm จะให้ค่าอัตราส่วนอัตราการอบแห้ง (DRR) สูงกว่าที่ระยะห่างอื่น ๆ เมื่อระดับความสูงของอิเล็กโทรดแถวแรกและแถวที่สองเท่ากับ 4 cm จะให้ค่า DRR สูง และการติดตั้งอิเล็กโทรดแถวแรกให้สูงกว่าอิเล็กโทรดแถวที่สองให้แนวโน้มที่จะได้ DRR ที่สูงกว่า นอกจากนี้ตำแหน่งที่ $E_x = 0$ cm, $E_{y1} = 3$ cm และ $E_{y2} = 4$ cm จะให้ค่า DRR = 4.05 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดสำหรับงานวิจัยนี้

คำหลัก: การเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งแบบลมร้อน; การไหลอิเล็กโตรไฮโดรไดนามิก; ตำแหน่งของอิเล็กโทรดสองแถว

Abstract

This research experimentally investigated the efficiency enhancement of hot-air drying with utilizing high voltage electric field releasing from double electrode rows to manipulate the airstream above the surface of porous material, thereby increasing the heat and mass transfer. The variables were the elevation of electrode tips ($E_y = 3, 4, 6$ cm), the longitudinal position ($E_x = -3.75, 0, 3.75$ cm), and the distance between the electrode rows ($L_x = 3.5$ to 15 cm). In experiment, electrode wires were suspended from the upper wall of the wind tunnel, which had a cross-sectional area of 30 cm $\times$ 30 cm, and were installed perpendicular to the air flow. Each electrode row consists of 4 wires, while two ground wires were placed above the surface of the porous material, parallel to the flow direction. In all cases, the electrical voltage was applied at $V = 20$ kV, and the average temperature and velocity were 60°C and 0.34 m/s, respectively. Additionally, the packed bed was used instead of the porous material, in which inside composes of air, water, and glass beads, and had an initial saturation of $S_{int} = 0.5$. The drying period was 12 hours. The experimental resulted show that when the distance between electrode rows are at $L_x = 7.5$ cm, the drying rate ratio (DRR) is higher than the other distances. Additionally, when the elevation of both electrode rows is 4 cm, the DRR was high. Moreover, installing the first

electrode row higher than the second electrode row has a trend of higher *DRR*. Furthermore, at $E_x = 0$ cm, $E_{y1} = 3$ and $E_{y2} = 4$ cm, the *DRR* is maximized in this research and is equal to 4.05.

Keywords: Enhancement of hot-air drying efficiency; Electrohydrodynamic flow; Position of double electrode rows.

1 บทนำ

ด้วยปัญหาของสถานะเศรษฐกิจและราคาพลังงาน รวมถึงปัญหาโลกร้อนทำให้เราต้องใส่ใจในการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตโดยหาวิธีลดต้นทุนทางด้านพลังงาน ประเทศไทยพึ่งพาอุตสาหกรรมด้านการเกษตร และกระบวนการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนถูกใช้อย่างแพร่หลายเพื่อลดความร้อนขึ้นในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เนื่องจากวิธีนี้มีกลไกที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลของชั้นขอบเขตความร้อน (Thermal boundary layer) ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี ส่งผลต้องใช้เวลาและพลังงานในการอบแห้งสูง ด้วยการใช้หลักการของอิเล็กโตรไฮโดรไดนามิกส์ (Electrohydrodynamics, EHD) สามารถควบคุมให้กระแสลมบริเวณใกล้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีความเร็วสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น [1] จึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจ

หลักการของการไหลอิเล็กโตรไฮโดรไดนามิกส์คือเมื่อกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงถูกปล่อยออกจากปลายขั้วอิเล็กโตรดอากาศรอบ ๆ ขั้วจะถูกชาร์จ และเคลื่อนที่ไปยังกราวด์ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ขณะเดียวกันอากาศที่อยู่ใกล้เคียงแต่ไม่ถูกชาร์จ (Uncharged air) จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการหมุนวน (Secondary flow) เมื่อกระแสอากาศที่ถูกชาร์จปะทะกับพื้นผิวของวัสดุพูนจะเคลื่อนที่ไปตามพื้นผิว จนกระทั่งเมื่อมีแรงต้านการไหลที่มากพอกระแสการไหลนี้ยกตัวขึ้นออกผิวระนาบของของแข็ง

Chaktranond และ Rattanadecho [1] ทำการทดลองใช้หลักการ EHD ร่วมกับลมร้อนเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของวัสดุพูน พบว่าลมโคโรนา (Corona wind) เหนี่ยวนำให้กระแสลมเกิดการหมุนวน และทำลายชั้นขอบเขตความร้อน ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อน และความชื้นออกของวัสดุพูนดีขึ้น Deylami และ คณะ [2] ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในสองมิติศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากผนังด้านล่างของช่องการไหลโดยใช้ EHD แม้ว่าการเพิ่มจำนวนอิเล็กโตรดทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นแต่อาจจะไม่เสมอไป ทั้งนี้เนื่องจากผลของการกีดขวางการไหล (Barrier effect) จากลมหมุนวนที่เกิดขึ้น และการกวนการไหล (Interference effect) บริเวณระหว่างลมหมุนวนที่ใกล้กัน Wang และ คณะ [3] ใช้อิเล็กโตรดสองตำแหน่ง และศึกษาผลของการติดตั้งกราวด์ทั้งที่ผนังด้านบนและด้านล่าง จากการคำนวณในสอง

มิติพบว่าลมหมุนวนที่เกิดจากอิเล็กโตรดตำแหน่งหลัง (ปลายกระแสการไหล) ทำให้เกิดการกีดขวางการไหล และส่งผลทำให้กระแสอากาศบริเวณผิวด้านล่างของช่องการไหลมีความเร็วลดลง และเคลื่อนที่ยกขึ้นออกจากผิวด้านล่าง ด้วยเหตุนี้การถ่ายเทความร้อนจึงลดลง Wang และ คณะ [4] ศึกษาการจำลองการไหลในช่องการไหลแบบสองมิติโดยติดตั้งกราวด์ที่ผนังด้านล่าง และใช้อิเล็กโตรดสองตำแหน่ง จากการคำนวณพบว่าเมื่อกระแสการไหลมีแรงเฉื่อยมากกว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ามาก ๆ จะทำกระแสการไหลบริเวณนั้น ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย และเรียกว่าผลของการกั้นการไหล (Blocking effect)

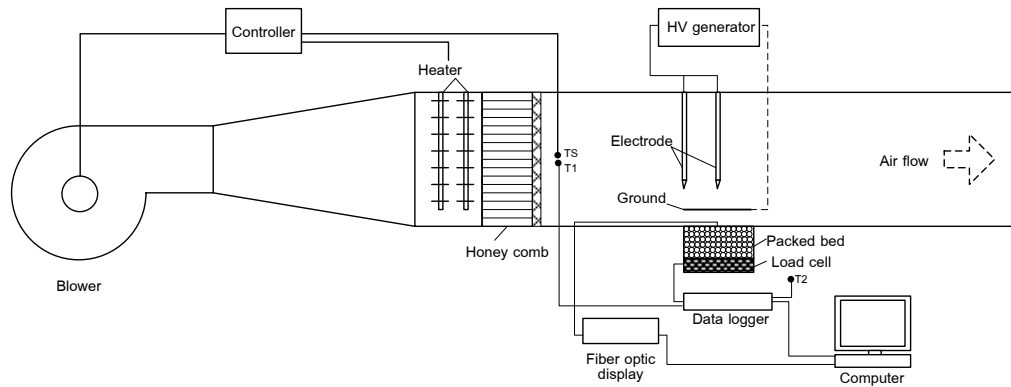
งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเพิ่มอัตราการการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับ EHD โดยใช้อิเล็กโตรดสองแถว และทำการศึกษาผลของตำแหน่งอิเล็กโตรด (E_x , E_{y1} , และ E_{y2}) และระยะห่างระหว่างแถว (L_x) ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

2 วิธีการทดสอบ

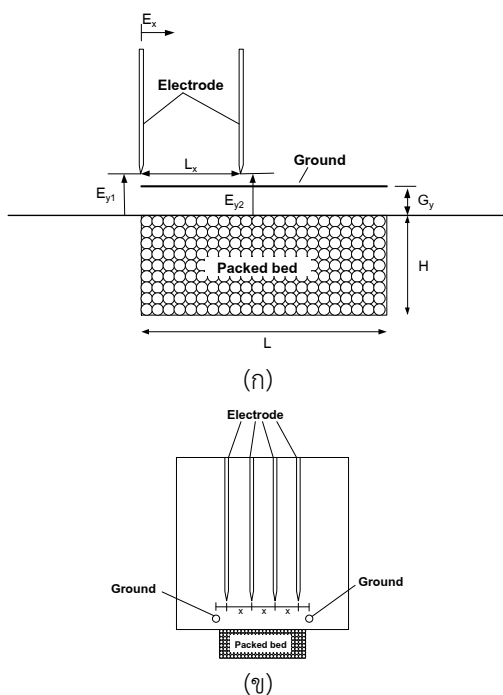
งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโตรดสองแถวที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับการใช้สนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อควบคุมการไหล โดยแผนภาพชุดทดสอบแสดงดังรูปที่ 1 ชุดหลอดไฟฟ้าขนาด 2 kW จำนวน 2 ชุดถูกใช้เพื่อให้ความร้อนแก่ลมที่ไหลผ่านท่ออุโมงค์ลมขนาดหน้าตัด 30 cm (กว้าง) $\times$ 30 cm (สูง) $\times$ 200 cm (ยาว) ชุดควบคุม (Controller) ควบคุมความเร็วลมที่ทางเข้าหน้าตัดทดสอบที่ค่าเฉลี่ย 0.34 m/s และควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนที่ 60°C เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง (Glassman, model FJ304R4, New Jersey, USA) สร้างไฟฟ้าแรงดันสูงและงานวิจัยนี้ทดสอบที่ 20 kV คงที่ตลอดการทดสอบ แพคเบด (Packed bed) ที่มีความพูน $\phi = 0.385$ ถูกใช้ทดสอบแทนวัสดุพูน ภายในแพคเบดประกอบด้วยน้ำ อากาศ และเม็ดแก้ว (Glass bed) และค่าความอิ่มตัวเริ่มต้น (Initial saturation) ถูกทำที่ $S_{init} = 0.5$ ทุกการทดสอบ อุณหภูมิที่ผิวของแพคเบดถูกวัดค่าโดยสายไฟเบอร์ออปติก (Rugged fiber optic temperature monitoring, model L201, Quebec, Canada, accuracy $\pm 0.1^\circ\text{C}$) น้ำหนักของแพคเบดถูกวัดค่าทุก 1 นาทีโดยโหลดเซลล์ (Load cell) ตลอดการอบแห้ง 12 ชั่วโมง

ดังรูปที่ 2 อิเล็กโตรดและกราวด์ทำจากลวดทองแดง ขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.25 mm อิเล็กโตรดแต่ละแถว ประกอบด้วยลวดอิเล็กโตรด 4 เส้นซึ่งถูกแขวนจากผนัง ด้านบนของอุโมงค์ลม ระยะห่างระหว่างเส้น $x = 2.5$ cm และ

มีเฉพาะส่วนปลายที่ไม่หุ้มฉนวนไฟฟ้า ส่วนลวดกราวด์ไม่มีการหุ้มฉนวนไฟฟ้าถูกติดตั้งสูงจากผนังด้านล่าง $G_y = 1$ cm และห่างจากผนังด้านข้าง 10.25 cm โดยกราวด์ห่างจาก อิเล็กโตรดเส้นที่ใกล้ที่สุดเป็นระยะ 1 cm ดังรูปที่ 2 (ข)



รูปที่ 1 แผนภาพชุดทดสอบ



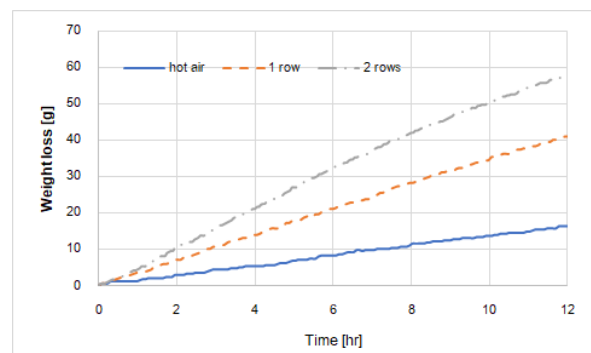
รูปที่ 2 ตำแหน่งอิเล็กโตรด, กราวด์ และแพคเบด: (ก) ภาพ ด้านข้าง และ (ข) ภาพหน้าตัด

3 ผลการทดลองและวิจารณ์

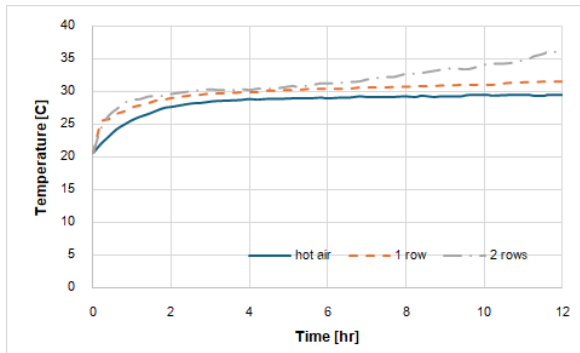
งานวิจัยนี้ศึกษาผลของตำแหน่งของอิเล็กโตรดสองแถวที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนซึ่งในงานวิจัยนี้แสดงอยู่ในเทอมของอัตราส่วนอัตราการอบแห้ง (Drying rate ratio, DRR) ซึ่งเป็นอัตราการอบแห้งกรณีใช้สนามไฟฟ้าร่วมกับลมร้อนเทียบอัตราการอบแห้งกรณีใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว ตัวแปรที่ศึกษาคือ (1) ระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรด

ทั้งสองแถวโดยสอบที่ $L_x = 3.75, 7.5$ และ 15 cm และ (2) ตำแหน่งความสูงของปลายขั้วอิเล็กโตรด E_{y1} และ E_{y2} ที่ระดับความสูง 3, 4 และ 6 cm ซึ่งวัดจากผนังด้านล่างของอุโมงค์ลม (3) ตำแหน่งของอิเล็กโตรดแถวแรกในแนวการไหล โดยทดสอบที่ $E_x = -3.75, 0$ และ 3.75 cm ซึ่งวัดจากขอบของแพคเบดด้านที่เริ่มสัมผัสกับกระแสลม โดยอุณหภูมิและความเร็วเฉลี่ยของลมที่ทางเข้าหน้าตัดทดสอบกำหนดให้คงที่ที่ 60°C และ 0.34 m/s คงที่ทุกการทดสอบ รวมถึงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้คงที่ที่ 20 kV

รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการอบแห้งโดยใช้อิเล็กโตรดหนึ่งแถว ($E_x = 0$ cm, $E_y = 6$ cm) และสองแถว ($E_x = 0$ cm, $E_{y1} = 6$ cm, $E_{y2} = 6$ cm) จากรูปที่ 3 (ก) พบว่าการใช้อิเล็กโตรดสองแถวสามารถเพิ่มปริมาณความชื้นที่ระเหยออกจากแพคเบด (Weight loss) ได้ดีกว่าการใช้อิเล็กโตรดหนึ่งแถว รวมถึงการถ่ายเทความร้อนสู่แพคเบดได้ดีกว่าเช่นกัน ดังสังเกตได้จากรูปที่ 3 (ข) อุณหภูมิที่ผิวสูงกว่า



(ก)

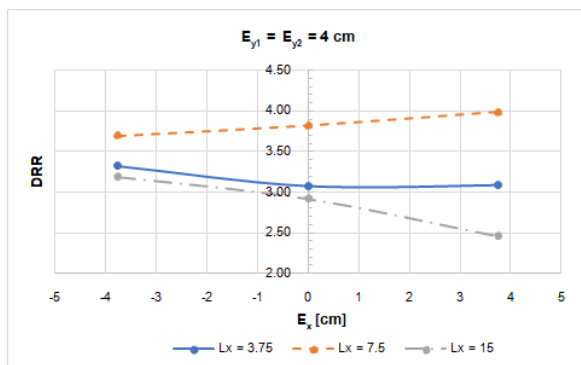


(ข)

รูปที่ 3 เปรียบเทียบการอบแห้ง: (ก) น้ำหนักความชื้นที่ระเหย และ (ข) อุณหภูมิที่ผิวแพคเบต

3.1 ผลของระยะห่างระหว่างแฉกอิเล็กโตรด (L_x)

รูปที่ 4 ปลายอิเล็กโตรดทั้งสองแฉกถูกติดตั้งที่ความสูงระดับเดียวกันคือ 4 cm และพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างแฉกอิเล็กโตรดมีค่า $L_x = 7.5$ cm จะให้ค่า DRR สูงที่ทุกตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโตรดแฉกแรก (E_x) เนื่องจากการไหลของกระแสอากาศที่ถูกเหนี่ยวนำโดยแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าและผลจากการใช้อิเล็กโตรดสองแฉกทำให้เกิดลมหมุนวนสองลูกในทิศทางการไหลตามงานวิจัยของ Wang และ คณะ [3] ด้วยเหตุนี้เมื่อ L_x มีค่าน้อย ($L_x = 3.5$ cm) กระแสการไหลความเร็วสูงที่ถูกเหนี่ยวนำโดยอิเล็กโตรดแฉกแรกจะถูกรบกวน (Interference effect) โดยอิทธิพลของลมหมุนวนที่สร้างจากอิเล็กโตรดแฉกที่สอง ค่า DRR จึงมีค่าน้อยกว่าที่ $L_x = 7.5$ cm



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่า DRR ที่ระยะ E_x ต่าง ๆ เมื่อ E_{y1} และ $E_{y2} = 4$ cm

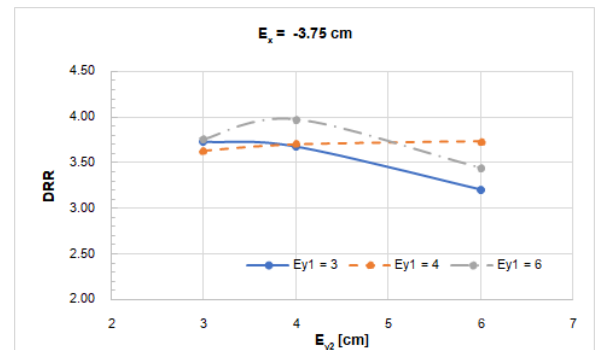
แม้ว่าที่ระยะห่าง $L_x = 15$ cm อิทธิพลของลมหมุนจากอิเล็กโตรดแฉกที่สองจะมีผลต่อการไหลที่อยู่ระหว่างลมหมุนวนทั้งสองลูกมีน้อย แต่อิทธิพลของแรงสนามไฟฟ้าจากอิเล็กโตรดแฉกที่สองก็ส่งผลการกระแสน้ำวนบริเวณเหนือผิวหน้าของแพคเบตน้อยด้วยเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่งของอิเล็กโตรดค่อนข้างไปทางปลายขอบด้านหลังของแพคเบต หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือผิวหน้าของแพคเบตได้รับ

อิทธิพลจากแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าจากอิเล็กโตรดแฉกที่สองค่อนข้างน้อย ดังสังเกตได้อย่างชัดเจน เมื่อ $L_x = 15$ cm ค่า DRR มีค่าต่ำกว่าที่ L_x อื่น ๆ

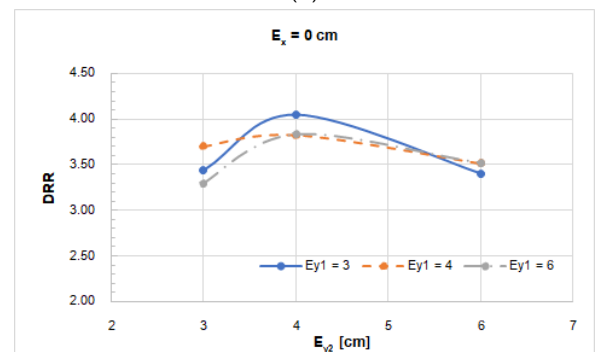
3.2 ผลของระดับความสูงของปลายอิเล็กโตรด (E_{y1} และ E_{y2})

ในงานวิจัยทดสอบที่ระยะ E_{y1} และ E_{y2} เท่ากับ 3 cm เป็นระยะความสูงต่ำสุดเนื่องจากไม่ทำให้เกิด breakdown voltage รูปที่ 5 และ รูปที่ 6 ระยะห่างระหว่างแฉกของอิเล็กโตรดถูกทดสอบที่ $L_x = 7.5$ cm

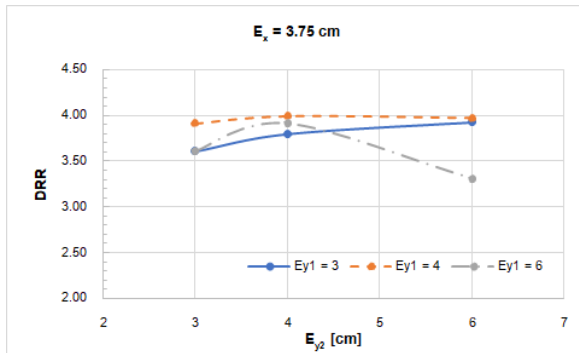
จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่อ $E_{y2} = 4$ cm จะให้ค่า DRR สูงสำหรับทุกตำแหน่งของ E_x และ E_{y1} โดยเมื่อ $E_x = 3.75$ cm และ $E_{y1} = 4$ ค่า DRR มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยทุกตำแหน่งของ E_{y2} ดังแสดงในรูปที่ 6(ค) จากผลเหล่านี้จะกล่าวได้ว่าตำแหน่งที่ให้ค่า DRR สูง ๆ เกิดขึ้นที่ $E_{y1} = E_{y2} = 4$ cm สำหรับงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เนื่องจากแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดและกราวด์ (r) ยกกำลังสอง ($F_{EHD} \propto r^{-2}$) [1] ดังนั้นถ้าหากระยะห่าง r ยิ่งมากความเร็วของกระแสลมที่ถูกเหนี่ยวนำจะมีค่าน้อย แต่ถ้าหาก r มีค่าน้อยเกินไปอิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่มีต่อการไหลเหนือผิวหน้าของแพคเบตก็น้อยลงเช่นกัน



(ก)

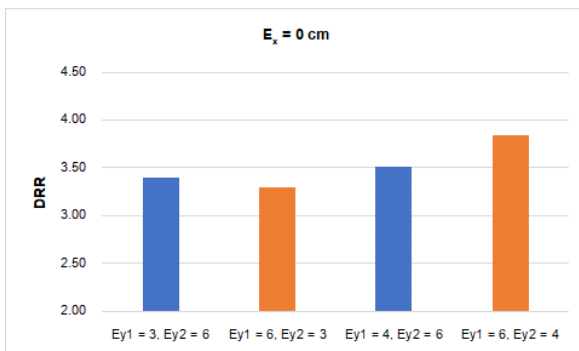


(ข)



(ค)

รูปที่ 5 เปรียบเทียบ DRR ที่แต่ละ E_x ของ E_{y1} และ E_{y2} ต่างๆ
(ก) $E_x = -3.75$ cm, (ข) $E_x = 0$ cm และ (ค) $E_x = 3.75$ cm



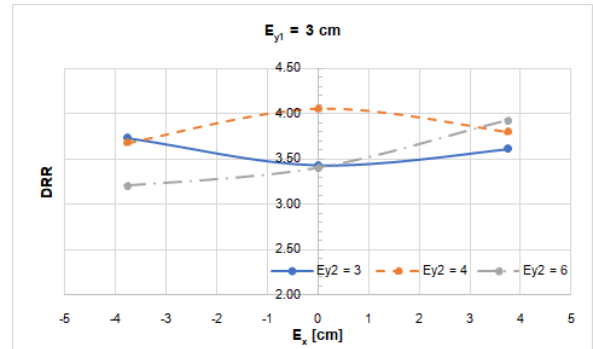
รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่า DRR เมื่อ E_{y1} และ E_{y2} ที่ระดับความสูงต่างกัน

รูปที่ 6 แสดงผลเมื่อ $E_x = 0$ cm ของการเปรียบเทียบค่า DRR ที่ระดับความสูง $E_{y1} \neq E_{y2}$ โดยกราฟคู่ที่ติดกันแสดงความสูงต่ำสลับกัน จากรูปที่ 6 พบว่าการติดตั้งข้อต่อเล็กโตรดแถวแรกให้สูงกว่าแถวที่สองมีแนวโน้มให้ค่า DRR ที่สูงกว่าเนื่องจากอิทธิพลของลมหมุนวนจากข้อต่อเล็กโตรดแถวที่สองจะรบกวนการไหลเหนือผิวหน้าของแพคเบตน้อยกว่า

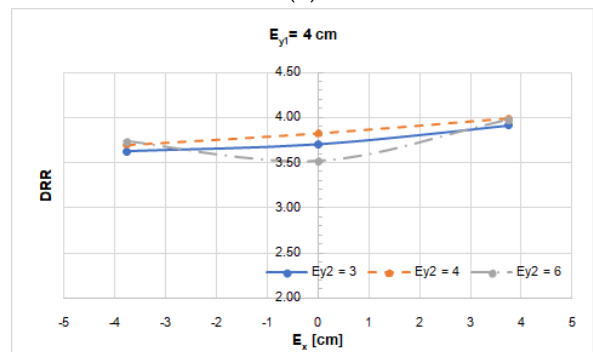
3.3 ผลของตำแหน่งในแนวการไหล (E_x)

จากรูปที่ 7 ซึ่ง $L_x = 7.5$ cm เมื่อเปรียบเทียบที่แต่ละระยะ E_x พบว่าเมื่อ $E_{y2} = 4$ cm จะให้ค่า DRR สูงกว่าที่ระดับ E_{y2} อื่น ๆ และจากรูปที่ 8 ค่า DRR สูงสุดในแต่ละตำแหน่ง E_x เกิดขึ้นที่ระดับความสูงแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากตำแหน่ง E_x เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อตำแหน่งของการเกิดลมหมุนวนและตำแหน่งของกระแสการไหลความเร็วสูงเหนือผิวหน้าของแพคเบต ส่วนระดับความสูง E_{y1} และ E_{y2} เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อขนาดของลมหมุนวนและความเร็วของกระแสการไหล

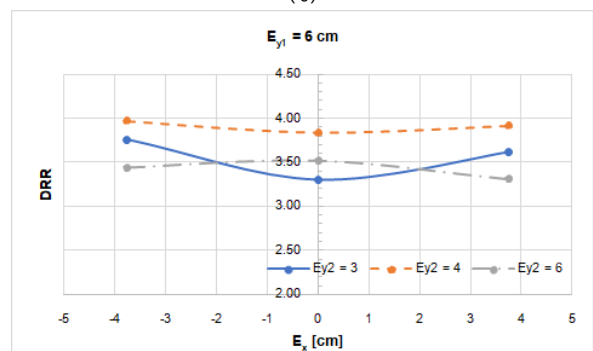
ค่า DRR สูงสุดที่แต่ละ E_x คือ $DRR_{\max, E_x = -3.75 \text{ cm}} = 3.97$ เกิดขึ้นที่ $E_{y1} = 6$ และ $E_{y2} = 4$ cm, $DRR_{\max, E_x = 0 \text{ cm}} = 4.05$ เกิดขึ้นที่ $E_{y1} = 3$ และ $E_{y2} = 4$ cm ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ให้ค่า DRR สูงสุดของงานวิจัยนี้ และ $DRR_{\max, E_x = 3.75 \text{ cm}} = 3.99$ เกิดขึ้นที่ $E_{y1} = 4$ และ $E_{y2} = 4$ cm



(ก)

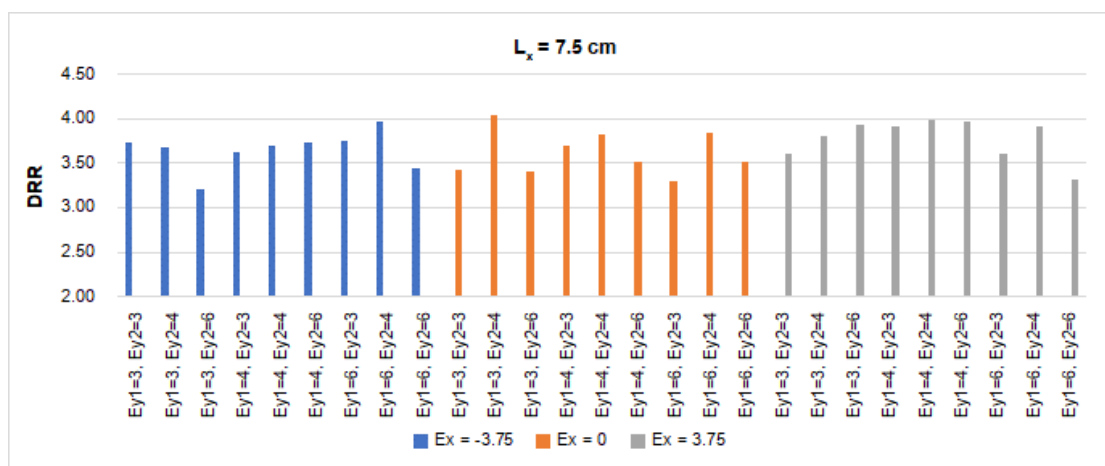


(ข)



(ค)

รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่า DRR ที่ E_x ต่าง ๆ เมื่อ (ก) $E_{y1} = 3$ cm, (ข) $E_{y1} = 4$ cm และ (ค) $E_{y1} = 6$ cm



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่า DRR ของแต่ละกรณี เมื่อ $L_x = 7.5$ cm

4 สรุป

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของตำแหน่งอิเล็กโทรดสองแถวที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้าแรงดันสูง โดยตัวแปรที่ศึกษาคือระยะห่างระหว่างแถวของอิเล็กโทรด (L_x) ตำแหน่งของอิเล็กโทรดแถวแรก (E_x) และระดับความสูงของขั้วอิเล็กโทรด (E_{y1} และ E_{y2}) จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เมื่อ L_x มีค่าน้อยเกินไปส่งผลทำให้การไหลระหว่างลมหมุนวนทั้งสองวนเกิดการกวนการไหลระหว่างลมหมุนวน ส่งผลทำให้การอัตราการอบแห้งลดลง และถ้า L_x มีค่ามากเกินไปจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่มีต่อผิวหน้าของแพคเกจน้อยลง จากงานวิจัยพบว่าที่ระยะ $L_x = 7.5$ cm เป็นระยะที่ให้ค่า DRR (อัตราส่วนของอัตราการอบแห้ง) สูงสุด
2. เมื่อ $L_x = 7.5$ cm ที่ $E_{y1} = E_{y2} = 4$ cm จะให้ค่า DRR สูงสำหรับทุก ๆ E_x และการติดตั้ง $E_{y1} > E_{y2}$ มีแนวโน้มที่จะให้ค่า DRR สูงกว่าการติดตั้ง $E_{y1} < E_{y2}$ เนื่องจากอิทธิพลของแรงสนามไฟฟ้าจากอิเล็กโทรดแถวที่สองรบกวนการไหล
3. ค่า DRR สูงสุดของแต่ละ E_x จะเกิดขึ้นที่ระดับความสูงของอิเล็กโทรดทั้งสองแถวแตกต่างกัน และพบว่าที่ $E_x = 0$ cm, $E_{y1} = 3$ cm และ $E_{y2} = 4$ cm จะให้ค่า DRR = 4.05 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในงานวิจัยนี้

5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและทุนเผยแพร่ผลงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

6 เอกสารอ้างอิง

- [1] Chaktranond, C., and Rattanadecho, P. (2010) Analysis of heat and mass transfer enhancement in porous material subjected to electric fields (effect of particle sizes and layered arrangement), *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol.34, pp. 1049 – 1056.
- [2] Deylami, H.M., Amanifard, N., Dolati, F., Kouhikamali, R., and Mostajiri, K. (2013). Numerical investigation of using various electrode arrangements for amplifying the EHD enhanced heat transfer in a smooth channel, *Journal of Electrostatics*, vol.71, pp. 656 – 665.
- [3] Wang, T.H., Peng, M., Wang, X.D., and Yan, W.M. (2017). Investigation of heat transfer enhancement by electrohydrodynamics in a double-wall-heated channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.113, pp. 373 – 383.
- [4] Wang, Y.B., Lan, N., Liu, H.X, Yan, K.C, Yan, Y.R., Lee, D.J., and Wang, X.D. (2023). Barrier effect, blocking effect, and interference effect of electrohydrodynamic heat transfer enhancement in rectangular channel, *Physics of Fluids*, vol.35, pp. 112014-1 – 112014-12.