

ผลของการจัดวางกลุ่มอิเล็กโทรดต่อลมหมุนวนตั้งฉากและ การนำความชื้นออกจากแพคเบตพรุน

Effect of Electrode Bank Arrangement on Normalwise Vortices and Moisture Removal of a Porous Packed Bed

ณัฐดนัย หนักแน่น¹ ไชยณรงค์ จักรธรานนท์^{1*} และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ต. คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: cchainar@engr.tu.ac.th, 025643001 ต่อ 3151, Fax: 025643020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการจัดเรียงกลุ่มแท่งอิเล็กโทรดที่มีต่อลมหมุนวนในแนวตั้งฉากการไหลซึ่งถูกเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าและการถ่ายเทความชื้นและความร้อนในวัสดุพรุนแบบไม่อิ่มตัว ในการทดลองลมร้อนไหลผ่านท่อลมหน้าตัดขนาด 30 cm × 30 cm และภายในติดตั้งแพคเบตซึ่งใช้แทนวัสดุพรุน แพคเบตซึ่งมีความพรุนเท่ากับ 0.385 ภายในประกอบด้วยเม็ดแก้ว น้ำและอากาศ ค่าความอิ่มตัวเริ่มต้นของแพคเบตมีค่า 0.5 แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบมีค่า 20 kV อุณหภูมิและความเร็วเฉลี่ยของลมร้อนก่อนเข้าหน้าตัดทดสอบมีค่า 60°C และ 0.30 m/s ลวดอิเล็กโทรดทองแดงถูกแขวนจากผนังด้านบนของท่อลมและลวดกราวด์ทองแดงถูกติดตั้งไว้ที่ผนังด้านข้างของท่อลมในแนวขนานกับทิศทางของการไหล ตัวแปรสำคัญที่ทำการศึกษาคือ (1) ตำแหน่งของการกราวด์ในทิศทางการไหลแบบตั้งฉาก (2) ตำแหน่งของการวางแถวอิเล็กโทรดในทิศทางตั้งฉากกับการไหล (3) ระยะห่างระหว่างแถวอิเล็กโทรด

จากผลการทดลองพบว่าในระนาบตั้งฉากกับการไหลเมื่ออิเล็กโทรดถูกติดตั้งที่ตำแหน่งความสูง $E = 3$ cm และกราวด์ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งความสูง $G = 1$ cm ทำให้เพิ่มอัตราการระเหยของความชื้นออกจากแพคเบตสูงที่สุด และเมื่อติดตั้งแถวอิเล็กโทรดที่ระยะ $X = 0$ cm ซึ่งเสมอกับขอบของแพคเบตจะทำให้เกิดลมหมุนวนครอบคลุมทั่วทั้งพื้นผิวหน้าของแพคเบตซึ่งทำให้อัตราการระเหยของความชื้นสูงกว่าที่ระยะ X อื่นๆ นอกจากนี้ในกรณีใช้อิเล็กโทรด 2 แถวถ้าระยะห่างระหว่างแถวน้อยเกินไปจะเกิดลมหมุนวนที่แข็งแกร่งในช่วงครึ่งแรกของผิวหน้าของแพคเบต แต่เมื่อปรับระยะห่างเป็น 11.25 cm ลมหมุนวนมีความแข็งแกร่งตลอดทั้งผิวหน้าของแพคเบต ทั้งนี้เนื่องจากสนามไฟฟ้าจากอิเล็กโทรดแถวที่สองช่วยให้ลมหมุนวนกลับมีความแข็งแกร่งขึ้นมาอีกครั้ง

คำหลัก: อิเล็กโทรดไฮโดรไดนามิกส์, กระบวนการอบแห้ง, ลมหมุนวนตั้งฉาก

Abstract

This paper investigates the effect of electrode bank arrangement on the normalwise vortices induced by electric fields and on the moisture of an unsaturated porous medium. In experiments, hot air flows in a rectangular wind tunnel which has a cross-section area of 30 cm × 30 cm. And inside the wind tunnel has a packed bed which represents porous medium. The packed bed, which has a porosity of

TSF-2024

0.385, composes of glass beads, water, and air. Initial saturation of packed bed is 0.5. High electrical voltage is applied at 20 kV. Hot air flow entering the test section has a temperature of 60°C and average velocity of 0.30 m/s. Copper electrode wires are suspended from the upper wall and copper ground wires are installed parallel to air flow direction. In this study, three parameters are considered: (1) the location of electrode and ground wires in the normal airflow direction (2) the location of electrode row in the airflow direction, and (3) the spacing between electrode rows.

The results show that the maximum rate of water removal is achieved when an electrode row is at a height of $E = 3$ cm and ground is at a height of $G = 1$ cm. When electrode row is $X = 0$ cm which is referred to the leading edge of packed bed, the swirling flow widely spreads over the surface of packed bed. When two electrode rows are used, narrow spacing conducts is the vortices to be strong only in the first half of packed bed. When the space of 11.25 cm is applied, the vortices are reconstructed and become stronger in the latter half due to effect of the second electrode row.

Keywords: Electrohydrodynamic, Drying process, Normalwise vortex

1. บทนำ

ด้วยปัญหาพลังงานและสิ่งแวดล้อมทำให้การเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตต่างๆ เป็นสิ่งที่ถูกให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก การใช้หลักการอิเล็กโตรไฮโดรไดนามิกส์ (Electrohydrodynamics, EHD) หรือการใช้สนามไฟฟ้าควบคุมลักษณะการไหลของของไหลเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน [1-8] เป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกศึกษาเป็นอย่างมาก ข้อดีของวิธีการนี้คือไม่มีชิ้นส่วน อีกทั้งยังสามารถปรับรูปแบบการไหลเมื่อความเร็วของของไหลเปลี่ยนแปลงได้

Yabe และคณะ [1] ศึกษาการไหลของอากาศระหว่างเส้นลวดกับแผ่นอิเล็กโตรด ที่เกิดจากประจุโคโรนาพบว่าแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าทำให้อากาศชนกันซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างอากาศและผลของความเร็วลมอิสระที่เพิ่ม มีผลทำให้อิทธิพลของแรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าลดลง

Artana และคณะ [2] ศึกษาการควบคุมการไหลของอากาศโดยใช้หลักการ EHD พบว่า ที่เลขเรย์โนลด์ (Reynolds number) ต่ำ อิทธิพลของลมโคโรนา (corona wind) มีผลต่อการไหลมาก และอิทธิพลนี้ยังขึ้นอยู่กับข้ออิเล็กโตรดอีกด้วย

Alem-Rajabi และคณะ [3] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งวัสดุพูนที่ผิวมีความเปียกเพียงบางส่วน จากการทดลองพบว่าเมื่อผิวของวัสดุมีความชื้นต่ำลง ประสิทธิภาพของการอบแห้งจะลดลง ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งให้ดีขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิที่ด้านล่างของแพคเกจ เพื่อให้ความชื้นเคลื่อนขึ้นมาที่ผิวของวัสดุ จากนั้นลมโคโรนาก็จะช่วยนำพาความชื้นให้ออกจากผิวต่อไป

Tatsumi และคณะ [4] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง Okara cake โดยใช้หลักการ EHD ในเตาอบอุณหภูมิ 105°C ระหว่างการอบแห้งพบว่าการใช้สนามไฟฟ้าทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง 15-40% และระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดมีอิทธิพลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง

Chaktranond และ Rattanadecho [5] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและมวลในแพคเกจพูนแบบไม่อิมิตีที่มีความพูนแตกต่างกัน จากการทดลองพบว่าการจัดเรียงชั้นของความพูนบนแพคเกจและขนาดของแรงดันไฟฟ้ามีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและความชื้นของแพคเกจ

TSF-2024

Lai และคณะ [6] ศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆของสนามไฟฟ้าที่มีต่ออัตราการอบแห้งในแพคเกจ ซึ่งทำการทดลองติดตั้งลวดและแผ่นทองแดงวางไว้ด้านบนและด้านล่างของแพคเกจตามลำดับ พบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ของสนามไฟฟ้า แต่อิทธิพลของโคโรนาวินด์จะลดลงหากความเร็วของอากาศมีค่ามากขึ้น

Lai และคณะ [7] ศึกษาการเพิ่มอัตราการอบแห้งด้วยสนามไฟฟ้าที่ใช้อิเล็กโทรดหลายขั้ว (Multiple needle electrode) พบว่า เมื่อเทียบระหว่างอิเล็กโทรดขั้วเดียวกับหลายขั้วนั้น การเพิ่มจำนวนขั้วอิเล็กโทรดให้สูงขึ้นไม่ได้ทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น แต่อัตราการอบแห้งสูงขึ้นตามความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ใช้และจำนวนของอิเล็กโทรดที่เพิ่มขึ้น

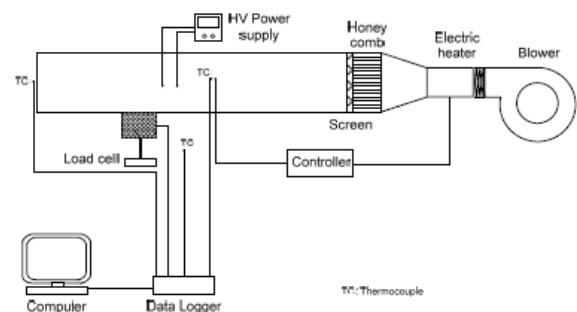
Lai และคณะ [8] ศึกษาการเพิ่มการขจัดมวลน้ำในการอบแห้งโดยใช้สนามไฟฟ้าโดยมีแหล่งกำเนิดความร้อนเสริมด้านล่างแพคเกจที่บรรจุเม็ดแก้วที่เปียกบางส่วน พบว่าอัตราการอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อวัสดุนั้นเต็มไปด้วยน้ำ (Fully wetted materials) และเมื่อระดับภายในแพคเกจลดต่ำลง อิทธิพลของโคโรนาวินด์ก็จะอ่อนแอลง จึงสรุปได้ว่าเทคนิคการใช้ EHD สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงต้นกระบวนการอบแห้งซึ่งวัสดุยังมีความชื้นอยู่มากเท่านั้น

จากการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นลมนุ่มนวลที่ถูกขับเคลื่อนโดยสนามไฟฟ้าถูกสร้างในแนวการไหลในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างลมนุ่มนวลในแนวตั้งฉากกับการไหลเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งของลมนุ่มนวลอันเนื่องจากทิศทางของแรงสนามไฟฟ้าไม่ถูกหักล้างโดยแรงเนื่องจากกระแสลมและทำการศึกษาผลตำแหน่งลวดอิเล็กโทรดและกราวด์ รวมถึงระยะห่างระหว่างแถวอิเล็กโทรดที่มีผลต่อการอบแห้ง

2. ชุดทดสอบและสภาวะทดสอบ

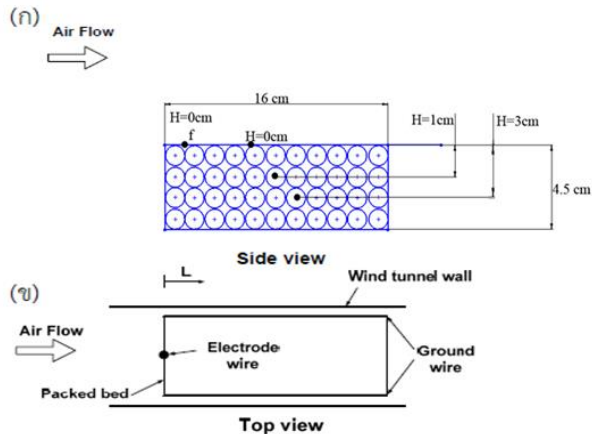
แผนภาพชุดทดสอบแสดงดังรูปที่ 2 – 1 ลมร้อนไหลผ่านอุโมงค์ลมขนาดหน้าตัด 30 cm X 30 cm และลมร้อนก่อนเข้าหน้าตัดทดสอบถูกควบคุม

อุณหภูมิที่ 60°C และความเร็วลมเฉลี่ยที่ 0.35 m/s ดังแสดงในรูปที่ 2 – 2 (ก) แพคเกจซึ่งใช้แทนวัสดุพูนถูกติดตั้งที่ผนังด้านล่างของอุโมงค์ลมมีขนาด 7.5 cm (กว้าง) x 16 cm (ยาว) x 4.5 cm (สูง) และทำจากแผ่นอะคริลิก (Acrylic plate) ผิวภายนอกทุกด้านถูกหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 3 mm ยกเว้นที่ผิวด้านบนเปิดรับลมร้อน ภายในกล่องแพคเกจบรรจุน้ำอากาศและเม็ดแก้ว (Glass bead) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.125 mm โดยค่าความพรุนของแพคเกจมีค่า 0.385 และกำหนดให้ที่สภาวะเริ่มต้นค่าความอิ่มตัว (Initial saturation) ของแพคเกจมีค่า $s = 0.5$ อุณหภูมิภายในแพคเกจถูกวัดค่าโดยใช้สายไฟเบอร์-ออปติก (Luxtron Fluoroptic Thermometer, Model 790, Santa Clara, Canada, accurate to $\pm 0.5^\circ\text{C}$) จำนวน 4 เส้น ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่ระดับความลึก $H = 0$ (f), 0, 1 และ 2 cm (วัดจากผิวด้านบนลึกลงไปในแพคเกจ) น้ำหนักของแพคเกจที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาถูกวัดค่าโดยโหลดเซลล์ (Load cell) สนามไฟฟ้าถูกสร้างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง (Glassman Model MJ30N400) และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบมีค่า 20 kV ลวดทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.125 mm จำนวน 8 เส้นต่อแถว ถูกแขวนจากผนังด้านบนของอุโมงค์ลม และถูกติดตั้งด้วยระยะห่างที่เท่ากันในแนวตั้งฉากกับทิศการไหล ส่วนตำแหน่งของลวดกราวด์



รูปที่ 2 – 1 โดอะแกรมของชุดทดสอบ

TSF-2024

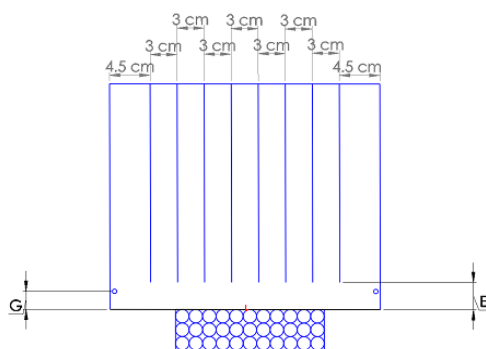


รูปที่ 2 – 2 ตำแหน่งการติดตั้งแถวอิเล็กโทรด
(ก) ภาพด้านข้าง (ข) ภาพด้านบน

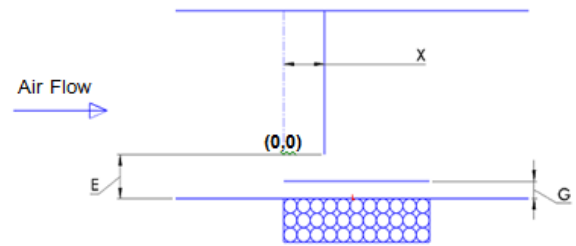
ตารางที่ 1 กรณีทดสอบ

Case	Rows of Electrode (n)	Spacing between the row (cm)	Ground distance (G)	Electrode distance perpendicular to the air flow (cm)	
				x	y
1	0	0	0	0	0
2	1	-	1	0	3
3	1	-	1	0	1
4	1	-	3	0	3
5	1	-	1	3.75	3
6	1	-	1	7.5	3
7	2	3.75	1	0	3
8	2	7.5	1	0	3
9	2	11.25	1	0	3

กรณีที่ 1 ถึง 9 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโทรด 1 แถว, 2 แถวและกราวด์ โดย E หมายถึง ตำแหน่งอิเล็กโทรด และ G หมายถึง ตำแหน่งกราวด์ที่วัดจากผนังด้านล่างของอุโมงค์ลม



รูปที่ 2 – 3 ตำแหน่งการติดตั้งกราวด์และอิเล็กโทรด (ภาพหน้าตัด)



รูปที่ 2 – 4 ตำแหน่งการติดตั้งแถวอิเล็กโทรดที่ระยะต่างๆ (ภาพด้านข้าง)

รูปที่ 2 – 3 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอิเล็กโทรดและกราวด์ในแนวตั้งฉากกับการไหล และรูปที่ 2 – 4 แสดงตำแหน่งการติดตั้งแถวอิเล็กโทรดในแนวการไหลโดยจุด (0,0) เป็นจุดอ้างอิง ($X = 0$) ในกรณีของอิเล็กโทรด 2 แถว อิเล็กโทรดแถวแรกถูกติดตั้งที่ระยะ $X = 0$ ทำการเลื่อนอิเล็กโทรดแถวที่สอง ที่ระยะทดสอบ $X = 3.75 - 11.25$ cm

3.ผลการทดลองและวิจารณ์

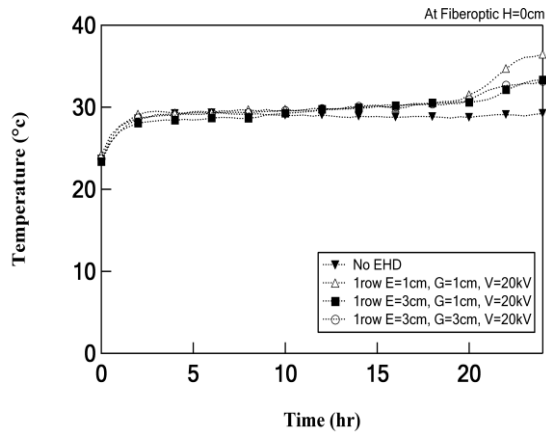
3.1 การใช้อิเล็กโทรด 1 แถว

3.1.1 ผลของการติดตั้งอิเล็กโทรดและกราวด์ในแนวตั้งฉากการไหล

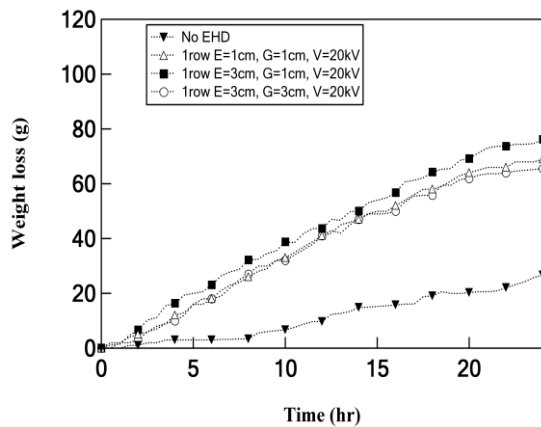
ผลของการใช้อิเล็กโทรด 1 แถวที่มีต่อการอบแห้ง แสดงดังรูป 3 – 1 และ 3 – 2 โดยตำแหน่งของแถวอิเล็กโทรดถูกติดตั้งที่ระยะ $X = 0$ และในแนวตั้งฉากกับการไหลของลมร้อนถูกทดสอบที่ $E = 1$ และ 3 cm ส่วนกราวด์ถูกทดสอบที่ตำแหน่ง $G = 1$ และ 3 cm จากรูปพบว่า กรณี 2 ให้อัตราการระเหยของความชื้นซึ่งออกจากแพคเกจดีที่สุด เนื่องจากเกิดลมหมุนวนที่มีความแข็งแรง และครอบคลุมบริเวณผิวของแพคเกจได้ดีกว่ากรณีอื่น ส่วนกรณี 3 และ 4 นั้นให้อัตราการระเหยลดลงตามลำดับ ดังแสดงในรูป 3 – 3 (ข) และ (ค) ซึ่งใช้ควันรูปแสดงการหมุนวนภายใต้สนามไฟฟ้า กรณี 3 เกิดลมหมุนวนที่มีความแข็งแรงแต่ขนาดเล็กเกินไป เนื่องจากตำแหน่งการวางกราวด์และอิเล็กโทรดนั้นอยู่ใกล้กับบริเวณผิวของแพคเกจมากเกินไป ส่วนกรณี 4 เกิดลมหมุนวนที่มีขนาดใหญ่แต่ไม่แข็งแรง เนื่องจากตำแหน่งการวางกราวด์และอิเล็กโทรดนั้นอยู่ห่างจากบริเวณผิวของ

TSF-2024

แพคเบตมากเกินไป ทำให้แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้ามี
ค่าอ่อนลงอย่างมาก [9]



รูปที่ 3 - 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวของ แพคเบต
(H = 0) ตั้งแต่กรณีที่ 1 ถึง 4

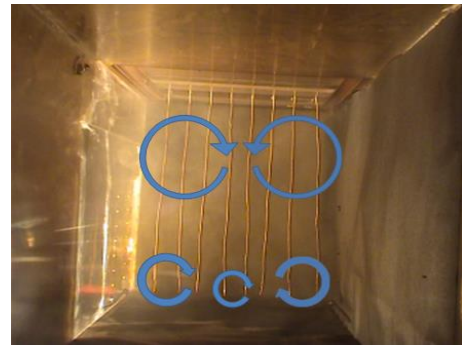


รูปที่ 3 - 2 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่ระเหยออก
จากแพคเบต ณ เวลาต่างๆ

(ก)



(ข)



(ค)



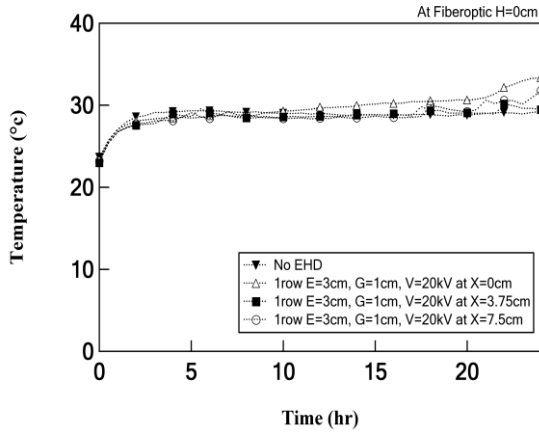
รูปที่ 3 - 3 ลักษณะลมหมุนวนภายใต้สนามไฟฟ้า
แรงดันสูง (ก) กรณี 2 (ข) กรณี 3 (ค) กรณี 4

3.1.2 ผลของการติดตั้งอิเล็กโทรดในแนวการไหล

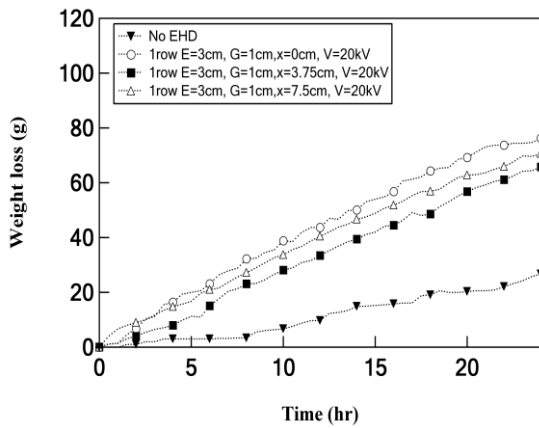
อิเล็กโทรดและกราวด์ตำแหน่งที่ E = 3 cm และ
G = 1 cm ตามลำดับ

จากรูปที่ 3 - 4 และ 3 - 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อ
ทำการปรับเปลี่ยนแกวอิเล็กโทรด พบว่าที่ระยะ X = 0
cm ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ลมเริ่มสัมผัสกับแพคเบต จะให้
อัตราการเหวของความชื้นดีที่สุด เนื่องจากลมหมุนวน
จะเริ่มเกิดที่ตำแหน่งด้านหลังของแกวอิเล็กโทรด จึง
ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ผิวของแพคเบตได้ดีกว่ากรณี
อื่นๆ

TSF-2024



รูปที่ 3 - 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวของแพคเบต
(H = 0) กรณี 1, 2, 5 และ 6



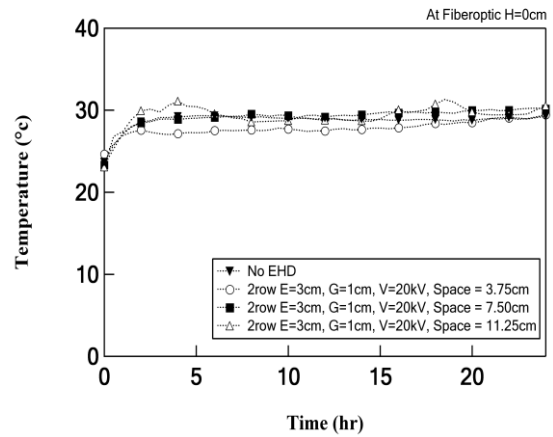
รูปที่ 3 - 5 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่ระเหยออก
จากแพคเบต ณ เวลาต่างๆ

3.2 การใช้ไอเล็กโตรด 2 แถว

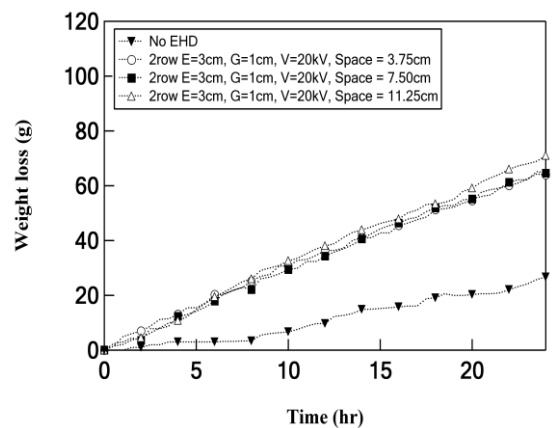
กำหนดให้อิเล็กโตรดแถวแรกอยู่ในตำแหน่งที่ $X = 0$ cm, $E = 3$ cm, $G = 1$ cm และอิเล็กโตรดแถว 2 ถูกทดสอบที่ระยะ $X = 3.75$, 7.5 และ 11.25 cm (กรณี 7, 8, 9)

จากรูปที่ 3 - 6 ถึง 3 - 7 แสดงให้เห็นว่า ระยะห่างระหว่างแถวของอิเล็กโตรดทั้งสอง ให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลของของเหลวออกจากแพคเบตได้ไม่ต่างจากกรณีแถวอิเล็กโตรดจำนวน 1 แถวมากนัก โดยกรณี 9 ซึ่งระยะห่างระหว่างแถวอิเล็กโตรดเท่ากับ 11.25 cm ให้อัตราการระเหยสูง เพราะลมหมุนวนมีความแข็งแรงตลอดทั้งผิวหน้าของแพคเบต โดยแถวที่สองช่วยทำให้ลมหมุนวนกลับมีความแข็งแรงขึ้นอีกครั้ง ส่วน กรณี 7 และ 8

นั้น เนื่องจากระยะห่างระหว่างแถวอิเล็กโตรดนั้นมีค่าน้อยเกินไป จึงเป็นสาเหตุให้ลมหมุนวนที่เกิดจากแถวแรกนั้นไปรบกวนแถวที่สอง จึงมีลมหมุนวนเกิดขึ้นแค่ในช่วงครึ่งแรกของผิวหน้าของแพคเบต

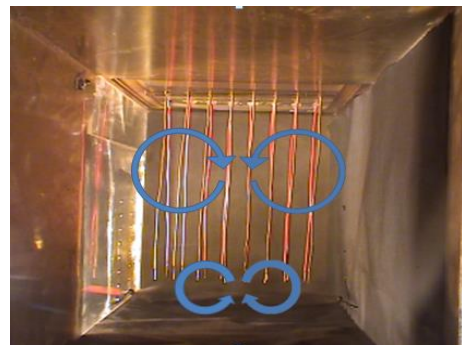


รูปที่ 3 - 6 เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวของแพคเบต
เมื่อใช้อิเล็กโตรดสองแถว



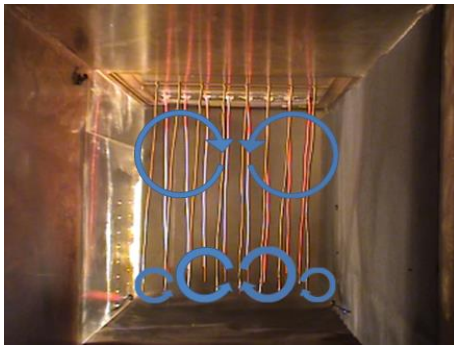
รูปที่ 3 - 7 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่ระเหยออก
จากแพคเบต เมื่อใช้อิเล็กโตรดสองแถว

(ก)

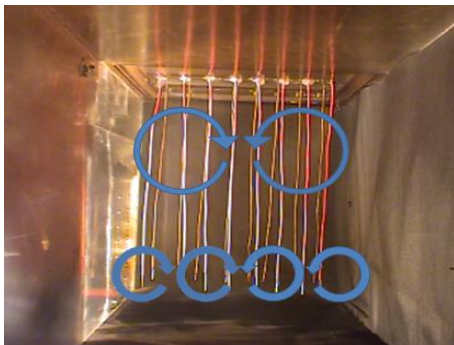


TSF-2024

(ข)



(ค)

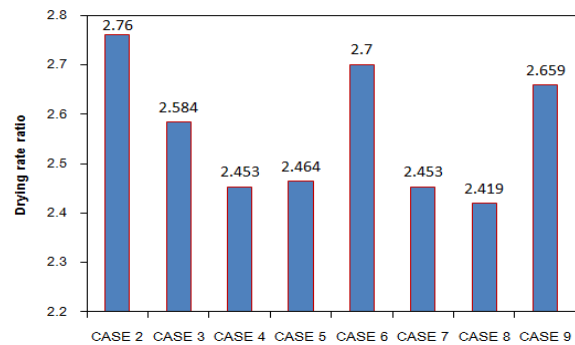


รูปที่ 3 – 8 ลักษณะลมหมุนวนในระนาบตั้งฉากกับการไหลภายใต้สนามไฟฟ้าแรงดันสูง (ก) กรณี 7 (ข) กรณี 8 (ค) กรณี 9

3.3 การเปรียบเทียบอัตราการระเหยของความชื้นออกจากแพคเบต

จากรูปที่ 3 – 9 ซึ่งแสดงอัตราส่วนของอัตราการระเหยเมื่อใช้สนามไฟฟ้าต่ออัตราการระเหยภายใต้ความร้อนเพียงอย่างเดียวพบว่าในกรณีของอิเล็กโทรดแถวเดียว ที่ตำแหน่ง $E = 3$ cm, $G = 1$ cm และ $X = 0$ cm (กรณี 2) ให้อัตราการระเหยของความชื้นสูงสุดประมาณ 3 เท่า ของการไม่ใช้สนามไฟฟ้า เนื่องจากลมหมุนวนจะเริ่มเกิดที่ตำแหน่งด้านหลังของแถวอิเล็กโทรดและมีความแข็งแรงครอบคลุมพื้นที่ผิวของแพคเบตได้ดีกว่ากรณีอื่นๆ โดยการใช้อิเล็กโทรด 2 แถว ซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าเดียวกันกับอิเล็กโทรด 1 แถว ทำให้กระแสไฟฟ้าถูกแบ่งให้แต่ละแถว ส่งผลทำให้อิทธิพลของโคโรนาวินด์ลดลง

Drying rate in various cases



รูปที่ 3 – 9 อัตราการระเหยของความชื้นของแต่ละกรณีเทียบกับกรณีของการไม่ใช้สนามไฟฟ้า

4. สรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการจัดเรียงกลุ่มแท่งอิเล็กโทรดที่มีต่อลมหมุนวนในแนวตั้งจากการไหลซึ่งช่วยเพิ่มการถ่ายเทความชื้นและความร้อนของวัสดุพูนที่อยู่ภายใต้ลมร้อนและสนามไฟฟ้า จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ในการที่ลมหมุนวนในแนวตั้งจากการไหลเพิ่มอัตราการระเหยของความชื้นได้เพิ่มขึ้น 2.4 – 2.8 เท่า ของการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว เมื่ออิเล็กโทรดและกราวด์ถูกติดตั้งที่ $E = 3$ cm และ $G = 1$ cm ให้อัตราการระเหยของความชื้นได้สูงสุด เนื่องจากเกิดลมหมุนวนที่มีความแข็งแรงครอบคลุมพื้นที่ผิวของแพคเบตได้ดีกว่ากรณีอื่นๆ
2. การติดตั้งอิเล็กโทรดที่ปลายด้านต้นกระแสมของแพคเบต ($X = 0$ cm) ให้อัตราการระเหยสูงสุด เนื่องจากลมหมุนวนจะเริ่มเกิดที่ตำแหน่งด้านหลังของแถวอิเล็กโทรด
3. เมื่อใช้อิเล็กโทรด 2 แถว ระยะห่างระหว่างแถวอิเล็กโทรดที่มีค่าน้อยเกินไป จะทำให้ลมหมุนวนที่เกิดจากแถวแรกนั้นไปรบกวนแถวที่สอง ลมหมุนวนจึงเกิดขึ้นแค่ในช่วงครึ่งแรกของผิวหน้าของแพคเบต เมื่อระยะห่างระหว่างแถวอิเล็กโทรดเป็น 11.25 cm ลมหมุนวนมีความแข็งแรงตลอดทั้งผิวหน้าของแพคเบต โดยแถวที่สองช่วยทำให้ลม

TSF-2024

หมูนวนกลับมีความแข็งแรงขึ้นมามากครั้ง แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มจำนวนแฉกอิเล็กโทรดนั้นไม่ได้ให้อัตราการระเหยของความชื้นออกจากแพคเบตสูงขึ้นมากนัก เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่อิเล็กโทรดเท่าเดิมทำให้ประจุไฟฟ้าถูกแบ่งไปยังแฉกอิเล็กโทรดที่เพิ่มเข้ามา เป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าในแต่ละแฉกลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย
ธรรมศาสตร์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
(วช.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนสำหรับการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Yabe, A., Mori, Y., and Hijikata, K. (1978).
EHD Study of the corona wind between wire and
plate electrodes. *AIAA Journal* , Vol. 16,pp. 340-
345.

[2] Artana, G., D'Adamo, J., Desimone, G., and
DiPrimio, G. (2000). Air flow control with
electrohydrodynamic actuators. *2nd Intl.
Workshop on Conduction, convection and
breakdown in Fluids*.

[3] Alem-Rajabi, A., and Lai, F.C (2005). EHD-
enhanced drying of partially wetted glass beads.
Drying Technology , Vol. 23,pp. 597-609.

[4] Li, F.-D., Li, L.-T., Sun, J.-F., and Tatsumi, E.
(2006). Effect of electrohydrodynamic (EHD)
technique on drying process and appearance of
okara cake. *Journal of Food Engineering* , Vol.
77,pp.275-280.

[5] Kreewatcharin, T., Chaktranond, C., and
Rattanadecho, P. (2010). Effects of electrode
arrangement on the combined Hot-Air flow and
electric field drying. *The 24th Conference of the
Mechanical Engineering Network of Thailand*.
Ubon ratchathani, Thailand: TSF 60.

[6] Lai, F.C. and Lai, K.W. (2002) EHD-enhanced
drying with wire electrode, *Drying Technology*,
Vol. 20, No. 7, pp. 1389-1401.

[7] Lai, F.C. and Sharma, R.K. (2005) EHD-
enhanced drying with multiple needle electrode,
Journal of Electrostatics, Vol. 63, pp. 223-237.

[8] Lai, F.C. and Wang, C.C. (2009) EHD-
enhanced water evaporation from partially wetted
glass beads with Auxiliary Heating from Below,
Drying Technology, Vol. 27, pp. 1199-1204.

[9] Sanewong Na Ayuttaya, S., Chaktranond, C.,
Rattanadecho, P., and Kreewatcharin, T.
Effect of ground arrangements on swirling flow in
a rectangular duct subjected to
electrohydrodynamic effects, *ASME Journal of
Fluids Engineering*, Vol.134, May 2012, pp.
051211-1 - 051211-10