

การจำลองความเร็วและความดันในกระถางต้นไม้พอกอากาศ

นำพร ปัญญาใหญ่¹ จิระพล กลิ่นบุญ² ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย¹ และ ทิพาพร คำแดง^{1*}

numpon@mju.ac.th¹, jirapol.kli@rmutr.ac.th², thanasit@mju.ac.th¹, tipapon@mju.ac.th^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received : 23-Mar-2021
Revised : 29-Jun-2021
Accepted : 17-Aug-2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจำลองความเร็วและความดันอากาศในกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีสมบัติของวัสดุปลูกแตกต่างกัน ซึ่งสมบัติของวัสดุปลูกที่ทำหน้าที่กรองอากาศมี 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่ 1 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 5 μm ชนิดที่ 2 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 2.5 μm และชนิดที่ 3 ความพรุน 0.7 ขนาดรูพรุน 2.5 μm และพัดลมที่ใช้ดูดอากาศแตกต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 4 นิ้ว อัตราการไหลที่ 37.5 50 และ 75 CFM ขนาด 6 นิ้ว อัตราการไหลที่ 85 113.33 และ 170 CFM และขนาด 8 นิ้ว อัตราการไหลที่ 170.5 227.33 และ 341 CFM ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบผลการกระจายตัวของความดันและความเร็วที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า ค่าความดันและความเร็วแปรผันตามขนาดพัดลม โดยพัดลมขนาด 8 นิ้ว ค่าความดันต่างสูงสุดคือ 96,885.293 Pa และความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศ คือ 6.228 m/s ความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วนในที่ใช้วัสดุปลูก คือ 9.829 m/s และการเปรียบเทียบผลของสมบัติวัสดุต่อความดันและความเร็ว ที่อัตราการไหลเท่ากัน พบว่า วัสดุปลูกที่มีความดันและใช้ความเร็วพัดลมสูงที่สุดคือ ชนิดที่ 2 รองลงมาคือ ชนิดที่ 3 และ ชนิดที่ 1 ตามลำดับ และความเร็วขาออกจากวัสดุปลูกสูงที่สุดคือ ชนิดที่ 1 รองลงมาคือ ชนิดที่ 3 และ ชนิดที่ 2 ตามลำดับ ดังนั้นหากใช้เพื่อกรองฝุ่นขนาดเล็กในอากาศขนาด 2.5 ไมครอน วัสดุปลูกที่เหมาะสมที่สุดคือ ชนิดที่ 3

คำสำคัญ: ความดันต่าง ความเร็วอากาศ วัสดุพรุน เครื่องพอกอากาศ ต้นไม้

Velocity and Pressure Simulation of Plant Air Purifier

Numpon Panyoyai¹, Jirapol Klinbun², Thanasit Wongsiriamnuay¹ and Tipapon Khamdaeng^{1*}
numpon@mju.ac.th¹, jirapol.kli@rmutr.ac.th², thanasit@mju.ac.th¹, tipapon@mju.ac.th^{1*}

^{1*} Division of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Received	: 23-Mar-2021
Revised	: 29-Jun-2021
Accepted	: 17-Aug-2021

Abstract

The objective of this research is to simulate the air velocity and pressure in plant air purifier with different filter materials. Three types of the filter material properties are as follows; type 1 porosity of 0.35 and pore size of 5 μm , type 2 porosity of 0.35 and pore size of 2.5 μm , and type 3 porosity of 0.7 and pore size of 2.5 μm . The different fan sizes are used as follows; 4" with volume flow rate of 37.5, 50 and 75 CFM, 6" with volume flow rate of 85, 113.33 and 170 CFM, and 8" with volume flow rate of 170.5, 227.33 and 341 CFM, respectively. The results of pressure difference and velocity obtained from the computer program simulation are found that the pressure difference and velocity increase with fan size. The fan size of 8" provides the maximum pressure difference of 96,885.293 Pa, the maximum fan speed of 6.228 m/s and the maximum outlet air speed of the material pot of 9.829 m/s. From the results of filter materials affected on the pressure drop and velocity, it is found that, at the same volume flow rate, type 2 provides the maximum pressure drop and fan speed followed by type 3 and type 1, respectively. The type 1 provides the maximum outlet air speed of the material pot followed by type 3 and type 2, respectively. Therefore, for the purpose of micro air filter of 2.5 micron, the proper filter material is type 3.

Keywords: Pressure drop, Air velocity, Porous media, Air purifier, Plant

1. บทนำ

ในปัจจุบัน การเจริญเติบโตของเมืองและอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการปลดปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศเป็นจำนวนมาก ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพร่างกาย การอยู่ในพื้นที่ในอาคารหรือในห้องจะช่วยลดการสัมผัสกับมลภาวะหรือแสงแดด ซึ่งโดยส่วนมากประมาณ 80-90% [1] คนมักจะใช้ชีวิตและทำงานในสภาพแวดล้อมในร่ม แต่อย่างไรก็ตาม การอยู่ในสภาพแวดล้อมในร่มทำให้ไม่มีพื้นที่ใกล้ชิดธรรมชาติ อีกทั้งหากอยู่ในพื้นที่ปิดที่มีการไหลเวียนหรือระบายอากาศที่ไม่เหมาะสมและมีคุณภาพอากาศไม่ดีเนื่องจากสิ่งสังเคราะห์ต่าง ๆ เช่น หมึกพิมพ์ พลาสติก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด น้ำยาเคลือบผิว เป็นต้น ก็จะทำให้เกิดมลภาวะส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกายได้เช่นกัน เช่น เกิดอาการปวดหัว คัดน้ำ คัดจมูก เป็นผื่น และภูมิแพ้ได้ [2] ดังนั้นคุณภาพของสภาพแวดล้อมในร่มจึงส่งผลต่อสุขภาพและประสิทธิภาพในการทำงานโดยตรงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

เครื่องฟอกอากาศ (Air purifier หรือ Air cleaner) เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กำจัดสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่ในอากาศ เช่น เชื้อรา ไวรัส แบคทีเรีย รวมถึงกลิ่นไม่พึงประสงค์อย่าง กลิ่นควันบุหรี่ กลิ่นอับที่อยู่ภายในบ้านให้หายไป โดยหลักการทำงานของเครื่องจะเป็นการดูดอากาศเหล่านี้เข้าไปในเครื่องผ่านตัวกรองเพื่อดักจับสิ่งแปลกปลอม แล้วปล่อยอากาศบริสุทธิ์ออกมาแทน และปัจจุบันเครื่องฟอกอากาศได้มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของแต่ละคนที่ต้องเผชิญกับมลภาวะและอากาศที่เป็นพิษมากขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีก็ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสร้างเครื่องฟอกอากาศและวัสดุกรองอากาศแบบต่าง ๆ มากมาย

การเลือกใช้แผ่นกรองอากาศมีผลต่อค่าความดันต่าง ความเร็ว และการใช้พลังงานของพัดลม การใช้แผ่นกรองอากาศในระบบปรับอากาศมักจะมีควมต้านทานเกิดขึ้นในระบบ เมื่อแผ่นกรองมีสิ่งสกปรกมาอุดตัน ความดันลดของแผ่นกรองและความดันรวมของพัดลมจะสูงขึ้น อัตราการไหลอากาศจะลดลงเนื่องจากค่าความดันต่างลดลง หากต้องการอัตราการไหลอากาศ

เท่าเดิม จะต้องใช้ความเร็วพัดลมที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้พัดลมใช้พลังงานมากขึ้น และส่งผลต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะในการทำงานของระบบได้ [3, 4]

วัสดุพูนถูกนำมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น การประยุกต์ใช้ในทางความร้อน เซลล์เชื้อเพลิง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และการปรับอากาศหรือฟอกอากาศภายในอาคาร เป็นต้น พฤติกรรมของของไหลและการถ่ายเทความร้อนสามารถวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) [5, 6] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการไหลและเทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยออกแบบ [7] และวิเคราะห์การไหลของอากาศผ่านวัสดุพูน [3] ค่าความดันต่างเป็นปัญหาสำคัญในการควบคุมการไหลและความร้อน ค่าความดันต่างที่เกิดขึ้นแตกต่างกันเป็นผลมาจากตัวแปรโครงสร้างของวัสดุพูน ขนาดรูพูน พื้นที่ผิว และความพูน [8] ซึ่งเทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถแสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของวัสดุพูนได้แบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยใช้สมการความต่อเนื่อง และกฎการไหล เช่น ดาร์ซี นาเวียร์-สโตกส์ ซึ่งจะประกอบไปด้วยตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความพูน เช่น ค่าการซึมผ่านได้ เพื่อศึกษาพลศาสตร์การไหลของของไหลในวัสดุพูน [9, 10] นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการศึกษาวัสดุพูนที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองอนุภาคขนาดเล็กในช่วง PM2.5 โดยขนาดรูพูนที่จำลองอยู่ในช่วง 0.2-2 μm [11] โดยที่มาตรฐาน ISO ได้นิยามว่า PM2.5 คืออนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.3-2.5 μm [12]

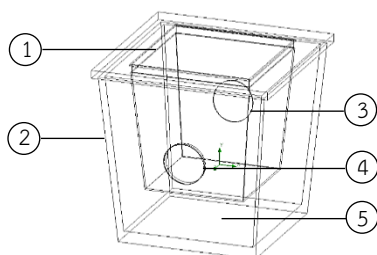
กระถางต้นไม้ฟอกอากาศ (Plant air purifier) เป็นการออกแบบเครื่องฟอกอากาศให้มีฟังก์ชันในการปลูกต้นไม้ขนาดเล็กในสภาพแวดล้อมในร่มได้ เพื่อช่วยปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพิ่มพื้นที่สีเขียว สร้างอากาศบริสุทธิ์ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นของตกแต่งได้ [1, 2] ได้มีการศึกษาถึงศักยภาพของระบบพืชฟอกอากาศในการกำจัดฝุ่นละอองขนาดเล็กและสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศพบว่าระบบพืชฟอกอากาศสามารถทำให้ความเข้มข้น

ของฟอร์มมาดีไฮด์ลดลงอยู่ในช่วง 23-37% [13] ซึ่งมีอัตราการกำจัดฟอร์มมาดีไฮด์ที่สูงกว่าเครื่องฟอกอากาศทางกลทั่วไปที่ขายตามท้องตลาด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบกระถางต้นไม้ฟอกอากาศ โดยได้ศึกษาค่าความเร็วและความดันอากาศในกระถางต้นไม้ฟอกอากาศที่มีสมบัติของวัสดุปลูกที่ทำหน้าที่กรองฝุ่นซึ่งมีขนาดรูพรุนของวัสดุพรุนขนาดเล็กสุด 2.5 ไมครอน และอัตราการไหลของพัดลมที่แตกต่างกัน และจำลองสภาพความเร็วและความดันอากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พิจารณาการไหลอากาศผ่านวัสดุพรุนและประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ตัวแปรของสมบัติของวัสดุปลูกและอัตราการไหลของพัดลมที่เหมาะสมสำหรับการนำไปสร้างกระถางต้นไม้ฟอกอากาศต้นแบบ

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การออกแบบกระถางต้นไม้ฟอกอากาศ



รูปที่ 1 แบบจำลองกระถางต้นไม้ฟอกอากาศ

แบบจำลองกระถางต้นไม้ฟอกอากาศในรูปที่ 1 ประกอบด้วย (1) กระถางส่วนใน เป็นช่องใส่วัสดุปลูกที่ทำหน้าที่กรองอากาศ (2) กระถางส่วนนอก (3) ช่องลมออกจากกระถางส่วนใน (4) ช่องลมออกจากกระถางส่วนนอก เป็นช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศ และ (5) ช่องทางการไหลอากาศในกระถาง

กระถางส่วนในซึ่งเป็นช่องใส่วัสดุปลูกที่ทำหน้าที่กรองอากาศ มีขนาด 30×30 cm สูง 30 cm ความหนา 0.25 cm มุมลาดเอียง 5° เจาะรูด้านข้างกระถางที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ขนาด 4" เพื่อเป็นช่องลมออกจากกระถางส่วนใน โดยกำหนดให้มีขนาดเท่ากับพัดลมดูดอากาศขนาดเล็กสุด ส่วนกระถางส่วนนอก มีขนาด 40×40 cm สูง 40 cm ความหนา 1.25 cm

มุมลาดเอียง 5° เช่นกัน ด้านข้างกระถางมีการเจาะรูที่ตำแหน่งกึ่งกลางเพื่อติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4" 6" และ 8" ตามลำดับ โดยออกแบบตามขนาดและคุณลักษณะเฉพาะของพัดลมดูดอากาศที่มีขายตามท้องตลาด ซึ่งที่ขนาด 4" มีอัตราการไหลที่ 37.5 50 และ 75 CFM ขนาด 6" มีอัตราการไหลที่ 85 113.33 และ 170 CFM และขนาด 8" มีอัตราการไหลที่ 170.5 227.33 และ 341 CFM ตามลำดับ โดยเมื่อประกอบกระถางส่วนในและส่วนนอกเข้าด้วยกัน ช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศของกระถางส่วนนอกจะวางอยู่ในตำแหน่งตรงข้ามกับช่องลมออกจากกระถางส่วนใน

2.2 จำลองสภาพความเร็วและความดัน

เพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูก ขนาดพัดลม และอัตราการไหลอากาศ ที่มีต่อความเร็วและความดันอากาศในกระถางต้นไม้ฟอกอากาศ ผู้วิจัยจึงได้จำลองสภาพความเร็วและความดันโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Solidworks Flow Simulation v2019 (Dassault Systèmes SolidWorks Corp., USA) ที่เงื่อนไขต่าง ๆ โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเงื่อนไขการจำลองสภาพในแบบจำลองเชิงตัวเลข วิธีการเชิงตัวเลข และการคำนวณตัวแปรที่ได้จากการจำลองสภาพ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 สมการควบคุม

สมการควบคุมที่ใช้ในแบบจำลองประกอบด้วยสมการของความต่อเนื่องและสมการนาเวียร์-สโตกส์ [14]

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} = \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$\mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} = \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (3)$$

โดยที่ u และ v คือ ความเร็ว (m/s) ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ μ คือ ความหนืดพลศาสตร์ (Ns/m²) ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m³) และ p คือ ความดัน (Pa) ในกรณีที่มีการไหลของอากาศผ่านวัสดุพรุนจะมีการพิจารณากฎของดาร์ซีร่วมกับสมการนาเวียร์-สโตกส์ด้วย

2.2.2 ค่าการซึมผ่านได้

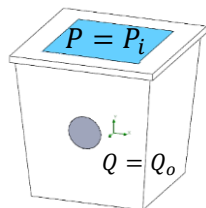
ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ (k) สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ที่ขึ้นกับขนาดของรูพรุน

$$k = \frac{32\mu}{\varepsilon\rho D^2} \quad (4)$$

โดยที่ ε คือ ความพรุนของวัสดุพรุน และ D คือ ขนาดรูพรุน (m)

2.2.3 เงื่อนไขในการจำลองสภาพ

ในการจำลองสภาพการไหลของอากาศในกระถาง จะกำหนดให้ประเภทการไหลเป็นแบบทั้งราบเรียบและปั่นป่วน เงื่อนไขเป็นผนังเรียบและไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นของแบบจำลอง ความดันเท่ากับ 101.325 kPa กำหนดเงื่อนไขขอบ ดังแสดงในรูปที่ 2 คือ 1) ความดันขาเข้า (P_i) ทางด้านบนของกระถาง เท่ากับ 101.325 kPa และ 2) อัตราการไหลขาออก (Q_o) ทางช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศ ขนาด 4" มีอัตราการไหลที่ 37.5 50 และ 75 CFM ขนาด 6" มีอัตราการไหลที่ 85 113.33 และ 170 CFM และขนาด 8" มีอัตราการไหลที่ 170.5 227.33 และ 341 CFM ตามลำดับ และกำหนดวัสดุปลูกเป็นวัสดุพรุนที่มีสมบัติของวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่ 1 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 5 μm ชนิดที่ 2 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 2.5 μm และชนิดที่ 3 ความพรุน 0.7 ขนาดรูพรุน 2.5 μm โดยความพรุนและขนาดรูพรุนที่เลือก พิจารณาจากช่วงความพรุนและขนาดรูพรุนของวัสดุปลูกที่สามารถใช้ในการปลูกต้นไม้แบบไร้ดิน ได้แก่ กลุ่มอนินทรีย์สาร เช่น หิน กรวด ทราย เพอร์ไลต์ เม็ดดินเผา เป็นต้น และกลุ่มวัสดุสังเคราะห์ เช่น เม็ดโฟม แผ่นฟองน้ำ เป็นต้น [15, 16]

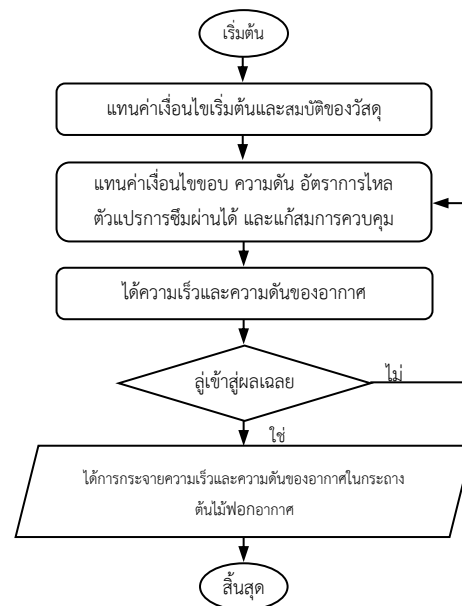


รูปที่ 2 เงื่อนไขขอบของแบบจำลอง

2.2.4 วิธีการเชิงตัวเลข

วิธีการเชิงตัวเลขสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 3

เริ่มการจำลองสภาพโดยการใส่ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นและสมบัติของวัสดุที่เป็นขอบเขตของการจำลองสภาพ จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบที่ขอบเขตของของไหล โดยการไหลของอากาศ กำหนดให้มีความดันขาเข้าและอัตราการไหลขาออก ที่ตำแหน่งทางด้านบนของกระถางและที่ตำแหน่งช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศ ตามลำดับ เลือกสมการสำหรับคำนวณค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ และแก้สมการควบคุมซึ่งประกอบด้วยสมการของความต่อเนื่องและสมการนาเวียร์-สโตกส์ ในกรณีที่มีการไหลของอากาศผ่านวัสดุพรุน เพื่อหาความเร็วและความดันของอากาศในกระถางต้นไม้พอกอากาศ



รูปที่ 3 วิธีการเชิงตัวเลข

2.3 การคำนวณตัวแปร

ตัวแปรที่คำนวณคือ ค่าความดันต่างของแบบจำลองกระถางต้นไม้พอกอากาศ (ΔP_{total})

$$\Delta P_{total} = P_i - P_o \quad (5)$$

โดยที่ P_i คือ ความดันขาเข้าทางด้านบนของกระถาง (Pa) และ P_o คือ ความดันขาออกทางช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศ (Pa)

คำนวณค่าความดันสถิตของวัสดุปลูกที่เป็นวัสดุพรุน (ΔP) จากสมการ

$$\Delta P = P_i - P_{o,m} \quad (6)$$

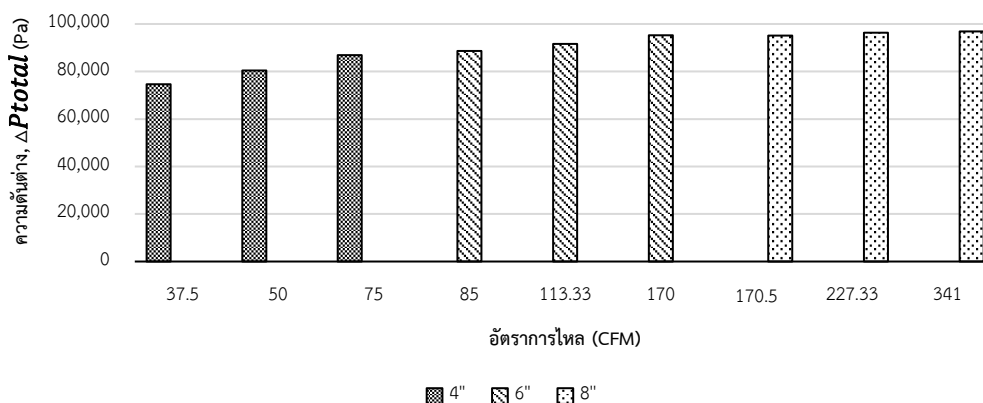
โดยที่ $P_{o,m}$ คือ ความดันขาออก ที่ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วนในที่อยู่วัสดุปลูก (Pa)

นอกจากนี้ จากกราฟความเร็วที่แปรกับพิกัดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง จะได้ค่าความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศและความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วนในที่อยู่วัสดุปลูก

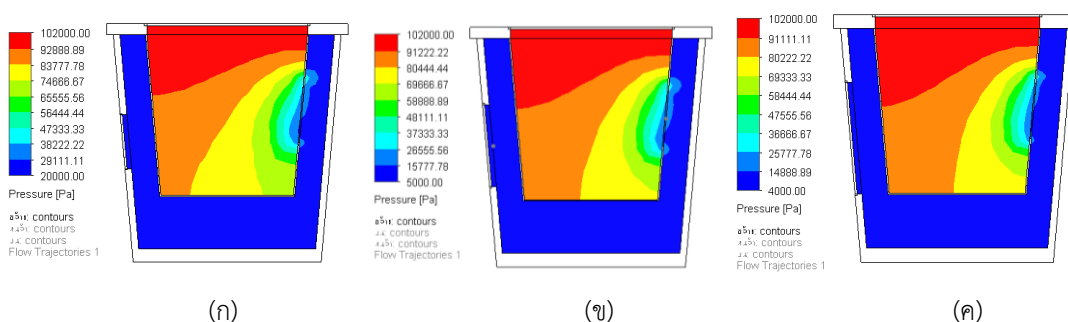
3. ผลและการวิจารณ์ผล

3.1 ผลของอัตราการไหลต่อความดัน

รูปที่ 4 แสดงค่าความดันต่างของกระถางต้นไม้พอกอากาศที่ขนาดพัดลม 4" 6" และ 8" ที่อัตราการไหลต่าง ๆ โดยกำหนดวัสดุปลูกเป็นชนิดเดียวกัน จากผลการจำลองสภาพพบว่า อัตราการไหลของพัดลมแปรผันตรงกับค่าความดันต่าง เมื่อขนาดพัดลมเพิ่มขึ้น อัตราการไหลสูงขึ้น เป็นผลทำให้ค่าความดันต่างเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยก่อนหน้านี้ [10, 17] ค่าความดันต่างสูงสุดเท่ากับ 96,885.29 Pa ที่ขนาดพัดลม 8" อัตราการไหล 341 CFM และค่าความดันต่างต่ำสุดเท่ากับ 74,619.01 Pa ที่ขนาดพัดลม 4" อัตราการไหล 37.5 CFM



รูปที่ 4 ค่าความดันต่างของกระถางต้นไม้พอกอากาศที่ขนาดพัดลม 4" 6" และ 8" ที่อัตราการไหลต่าง ๆ



รูปที่ 5 การกระจายความดันของกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีขนาดพัดลม (ก) 4" (ข) 6" และ (ค) 8" ที่อัตราการไหลต่ำสุดของแต่ละขนาดพัดลมเท่ากับ 37.5 85 และ 170.5 CFM ตามลำดับ

รูปที่ 5 แสดงการกระจายความดันของกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีขนาดพัดลม 4" 6" และ 8" (ที่อัตราการไหลต่ำสุดของแต่ละขนาดพัดลมเท่ากับ 37.5 85 และ 170.5 CFM) ตามลำดับ เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น พบว่าความดันขาออกทางช่องติดตั้งพัดลม

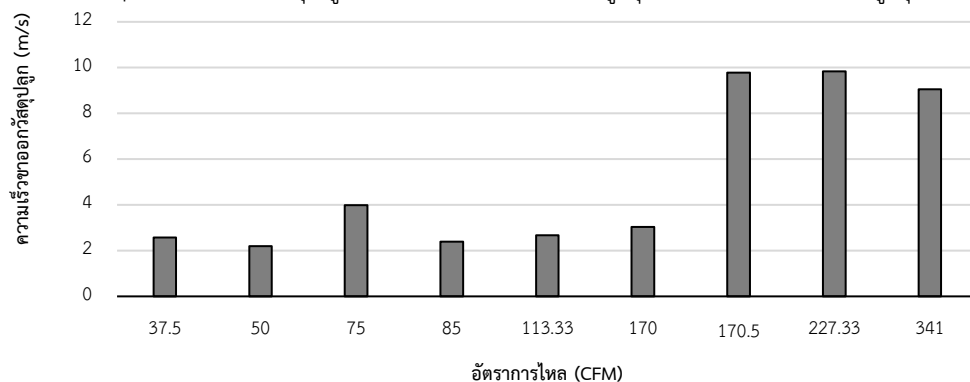
ดูดอากาศจะลดลง ส่วนความดันขาเข้าทางด้านบนของกระถางมีค่าคงที่เนื่องจากถูกกำหนดเป็นเงื่อนไขขอบ ดังนั้นจึงส่งผลทำให้ค่าความดันต่างเพิ่มขึ้น ความดันในวัสดุปลูกจะค่อย ๆ ลดลงจากตำแหน่งด้านบนของกระถาง ลงมาที่ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วน

ใน และความดันภายในช่องทางการไหลอากาศใน
กระถางจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นตาม
ขนาดของพัดลม

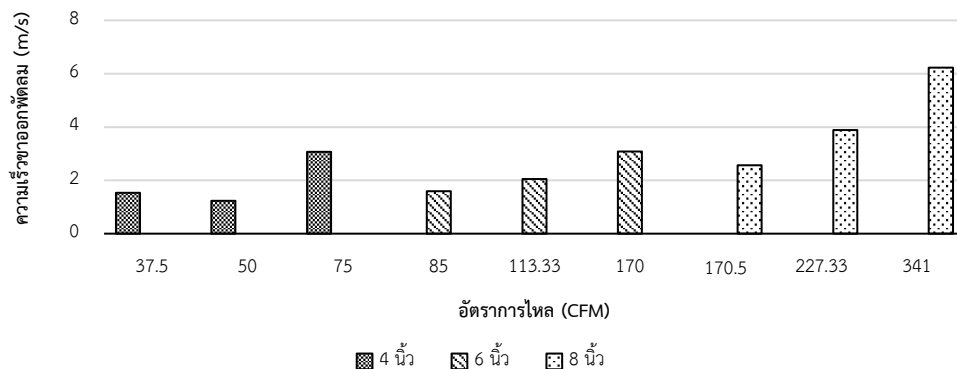
3.2 ผลของอัตราการไหลต่อความเร็ว

รูปที่ 6 และ 7 แสดงค่าความเร็วสูงสุดที่
ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วนในที่ใส่วัสดุปลูก
และความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องติดตั้งพัดลมดูด
อากาศขนาด 4" 6" และ 8" ตามลำดับ โดยพิจารณาที่
อัตราการไหลต่าง ๆ และกำหนดวัสดุปลูกเป็นชนิด

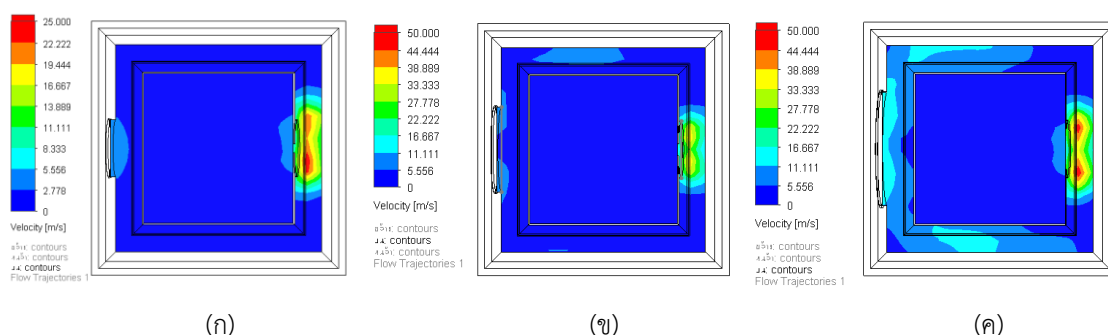
เดียวกัน จากผลการจำลองสภาพพบว่า อัตราการไหล
ของพัดลมแต่ละขนาด จะแปรผันตรงกับความเร็วของ
พัดลม (รูปที่ 7) สอดคล้องกับผลงานวิจัยก่อนหน้านี้
[8, 10] กล่าวคือ ที่อัตราการไหลสูงสุดของพัดลมแต่ละ
ขนาด ความเร็วจะมีค่าสูงสุด ที่ขนาดพัดลม 4" อัตรา
การไหลสูงสุด 75 CFM มีความเร็วสูงสุด 3.06 m/s
ขนาดพัดลม 6" อัตราการไหลสูงสุด 170 CFM มี
ความเร็วสูงสุด 3.08 m/s และขนาดพัดลม 8" อัตรา
การไหลสูงสุด 341 CFM มีความเร็วสูงสุด 6.23 m/s



รูปที่ 6 ค่าความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วนในที่ใส่วัสดุปลูกที่อัตราการไหลต่าง ๆ



รูปที่ 7 ค่าความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศขนาด 4" 6" และ 8" ที่อัตราการไหลต่าง ๆ



รูปที่ 8 การกระจายความเร็วในกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีขนาดพัดลม (ก) 4" (ข) 6" และ (ค) 8" ที่อัตราการไหล
สูงสุดของแต่ละขนาดพัดลมเท่ากับ 75 170 และ 341 CFM ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบขนาดพัดลมที่ต่างกัน พบว่าขนาดพัดลม 8" มีความเร็วของพัดลมสูงที่สุด และขนาดพัดลม 4" และ 6" มีความเร็วของพัดลมใกล้เคียงกัน แต่พัดลมขนาด 6" มีอัตราการไหลมากกว่า ดังนั้นหากต้องการอัตราการไหลที่สูงและใช้ความเร็วพัดลมต่ำ ควรเลือกพัดลมขนาด 6"

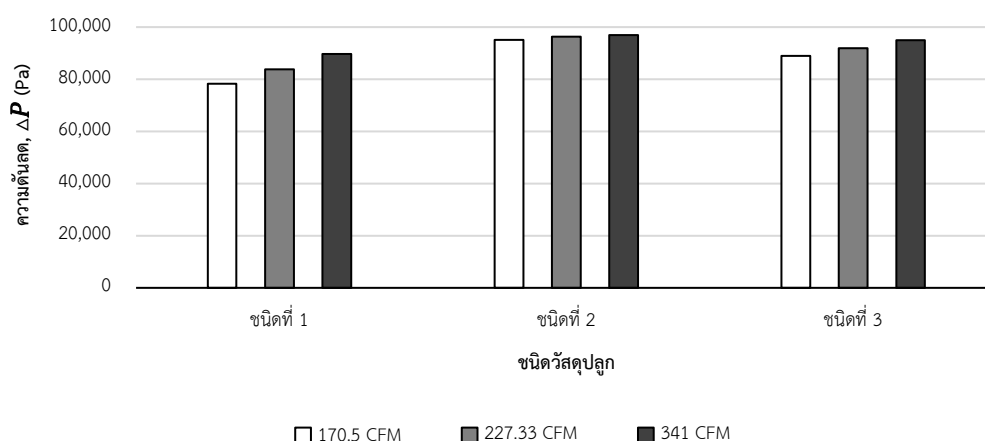
ความสัมพันธ์ของการกระจายความเร็วในกระถางต้นไม้พอกอากาศกับกราฟในรูปที่ 6 และ 7 ที่ขนาดพัดลม 4" 6" และ 8" ที่อัตราการไหลสูงสุดของแต่ละขนาดพัดลมเท่ากับ 75 170 และ 341 CFM ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 8

จากรูปที่ 8 พบว่า ความเร็วขาออกจากกระถางส่วนในทึ่ใส่วัสดุปลูกมีค่าสูงสุดที่ขนาดพัดลม 8" รองลงมาคือ 4" และ 6" (9.06 3.98 และ 3.04 m/s) ตามลำดับ และความเร็วภายในช่องทางการไหลอากาศในกระถางจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นตามขนาดของพัดลม

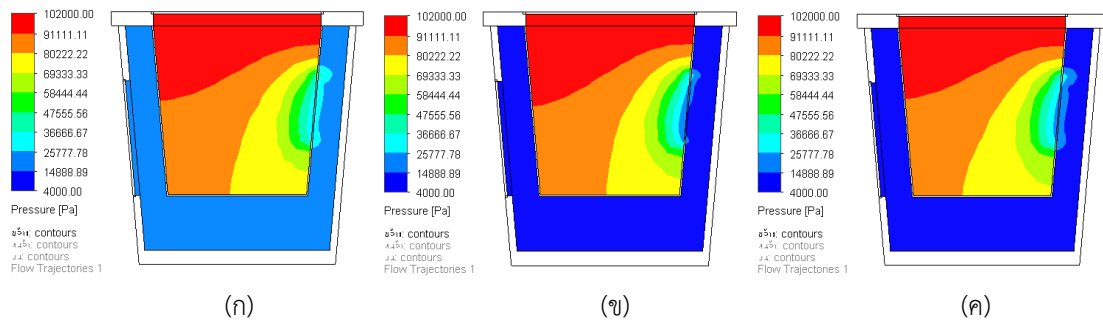
3.3 ผลของวัสดุปลูกต่อความดัน

รูปที่ 9 แสดงค่าความดันลดในกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่ 1 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 5 μm ชนิดที่ 2 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 2.5 μm และชนิดที่ 3 ความพรุน 0.7 ขนาดรูพรุน 2.5 μm โดยกำหนดให้

ขนาดพัดลมเท่ากัน พิจารณาที่อัตราการไหลแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 170.5 227.33 และ 341 CFM จากผลการจำลองสภาพพบว่า การใช้พัดลมที่มีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความดันลดสูงขึ้น และชนิดของวัสดุปลูกมีผลต่อค่าความดันลด โดยพิจารณาที่อัตราการไหลต่ำสุดที่ 170.5 CFM สามารถเรียงลำดับค่าความดันลดจากน้อยไปมากได้ดังนี้ วัสดุปลูกชนิดที่ 1 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 5 μm มีค่าความดันลดเท่ากับ 78,263.17 Pa รองลงมาคือ วัสดุปลูกชนิดที่ 3 ความพรุน 0.7 ขนาดรูพรุน 2.5 μm มีค่าความดันลดเท่ากับ 88,997.78 Pa และวัสดุปลูกชนิดที่ 2 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 2.5 μm มีค่าความดันลดเท่ากับ 95,134.02 Pa ขนาดรูพรุนและความพรุนมีผลต่อค่าความดันลดและค่าการซึมผ่านได้ [9, 18, 19] โดยที่ขนาดรูพรุนใหญ่และความพรุนสูงจะส่งผลทำให้ค่าความดันลดมีค่าลดลงและค่าการซึมผ่านได้มีค่าสูงขึ้น ความดันลดของวัสดุปลูกชนิดที่ 1 มีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากวัสดุมีความพรุนต่ำแต่ขนาดรูพรุนใหญ่ ขณะที่วัสดุปลูกชนิดที่ 3 มีความพรุนสูงแต่ขนาดรูพรุนเล็ก แสดงให้เห็นถึงตัวแปรของขนาดรูพรุนมีผลต่อค่าความดันลดมากกว่าความพรุน ส่วนวัสดุปลูกชนิดที่ 2 มีความพรุนต่ำและขนาดรูพรุนเล็ก จึงทำให้มีค่าความดันลดสูงที่สุด



รูปที่ 9 ค่าความดันลดในกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด ที่ขนาดพัดลม 8" อัตราการไหล 170.5 227.33 และ 341 CFM

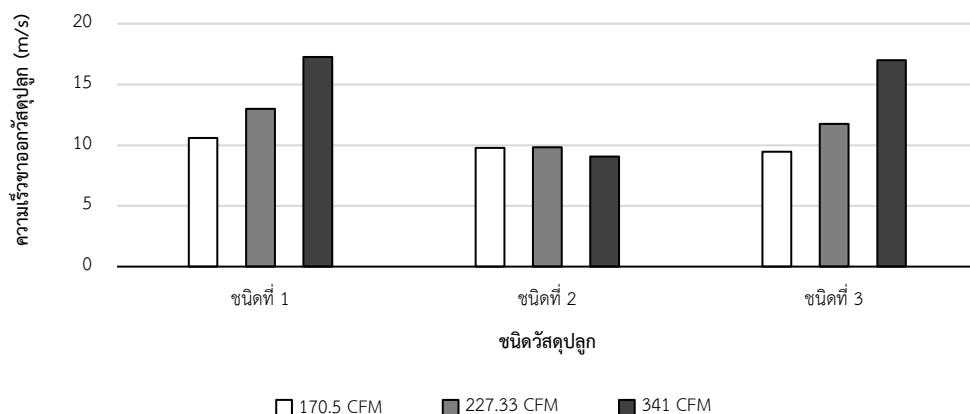


รูปที่ 10 การกระจายความดันของกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด (ก) ชนิดที่ 1 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 5 μm (ข) ชนิดที่ 2 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 2.5 μm และ (ค) ชนิดที่ 3 ความพรุน 0.7 ขนาดรูพรุน 2.5 μm ที่ขนาดพัดลม 8" อัตราการไหลต่ำสุดเท่ากับ 170.5 CFM

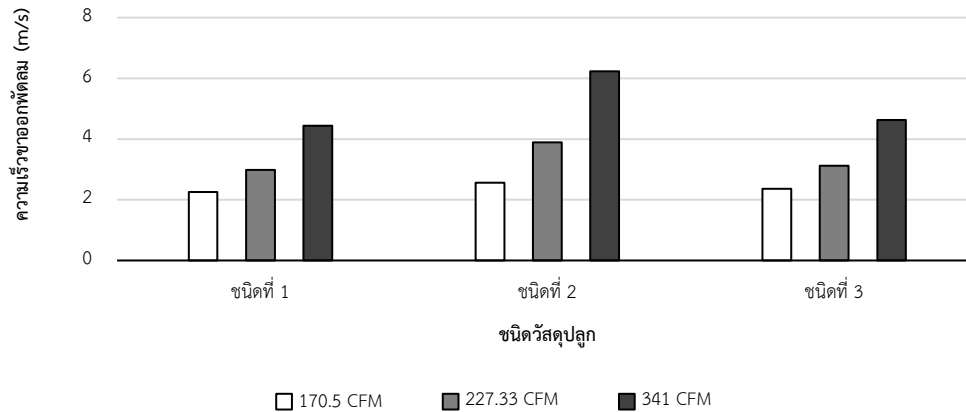
รูปที่ 10 แสดงการกระจายความดันของกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด ที่อัตราการไหลต่ำสุดเท่ากับ 170.5 CFM พบว่าความดันในวัสดุปลูกจะค่อย ๆ ลดลงจากตำแหน่งด้านบนของกระถาง ลงมาที่ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วนในที่มีวัสดุปลูก ซึ่งวัสดุปลูกชนิดที่ 1 ทำให้เกิดค่าความดันขาออกจากกระถางส่วนในสูงที่สุดเป็นผลทำให้ความแตกต่างระหว่างความดันขาเข้าและขาออกจากวัสดุปลูกมีค่าน้อย ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกอีก 2 ชนิด วัสดุปลูกชนิดที่ 1 จึงมีค่าความดันลดน้อยที่สุด

3.4 ผลของวัสดุปลูกต่อความเร็ว

รูปที่ 11 และ 12 แสดงค่าความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วนในและความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศขนาด 8" ของกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด (ชนิดที่ 1 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 5 μm ชนิดที่ 2 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 2.5 μm และชนิดที่ 3 ความพรุน 0.7 ขนาดรูพรุน 2.5 μm) พิจารณาที่อัตราการไหลของพัดลมแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 170.5 227.33 และ 341 CFM



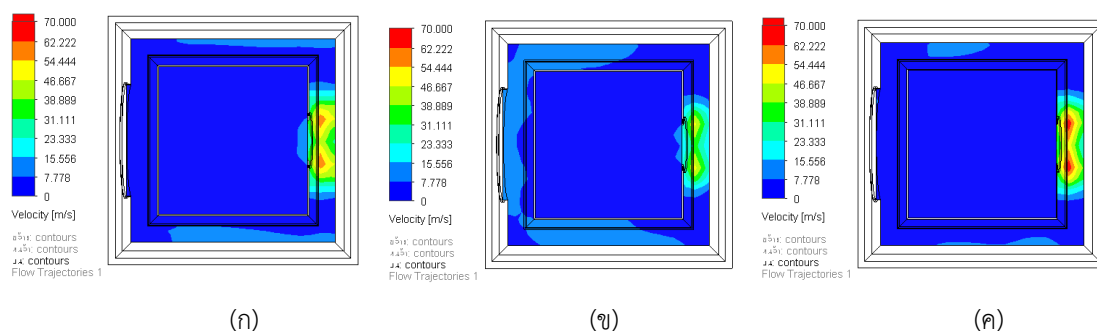
รูปที่ 11 ค่าความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องลมออกจากกระถางส่วนในที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด ที่ขนาดพัดลม 8" อัตราการไหล 170.5 227.33 และ 341 CFM



รูปที่ 12 ค่าความเร็วสูงสุดที่ตำแหน่งช่องติดตั้งพัดลมดูดอากาศขนาด 8" ที่อัตราการไหล 170.5 227.33 และ 341 CFM ของกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด

จากผลการจำลองสภาพพบว่า อัตราการไหลของพัดลมแปรผันตรงกับความเร็วพัดลม และชนิดของวัสดุปลูกมีผลต่อค่าความเร็วขาออกจากวัสดุปลูกและความเร็วพัดลม ขนาดรูพรุนและความพรุนมีผลต่อค่าความเร็วและค่าการซึมผ่านได้ [8] โดยที่ขนาดรูพรุนใหญ่และความพรุนสูงจะส่งผลทำให้ความเร็วผ่านวัสดุปลูกมีค่าสูงขึ้นและค่าการซึมผ่านได้มีค่าสูงขึ้น โดยพิจารณาที่อัตราการไหลที่เท่ากันที่ 341 CFM วัสดุปลูกชนิดที่ 2 จะใช้ความเร็วพัดลมสูงสุดที่ 6.23 m/s และมีความเร็วขาออกจากวัสดุปลูกต่ำสุดที่ 9.06 m/s รองลงมาคือวัสดุปลูกชนิดที่ 3 มีความเร็วพัดลมเท่ากับ

4.63 m/s และความเร็วขาออกจากวัสดุปลูกเท่ากับ 16.99 m/s และวัสดุปลูกชนิดที่ 1 มีความเร็วพัดลมเท่ากับ 4.44 m/s และความเร็วขาออกจากวัสดุปลูกเท่ากับ 17.26 m/s วัสดุที่มีความต้านทานต่ำกว่าสามารถใช้ความเร็วพัดลมต่ำกว่าและใช้กำลังงานพัดลมลดลงเพื่อให้ได้อัตราการไหลเท่ากับวัสดุที่มีความต้านทานสูงกว่า [17] ดังนั้นวัสดุปลูกชนิดที่ 1 ทำให้สามารถใช้ความเร็วพัดลมต่ำสุดเพื่อให้ได้อัตราการไหลที่เท่ากัน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากสมบัติของวัสดุที่มีความพรุนต่ำแต่ขนาดรูพรุนใหญ่ สอดคล้องกับผลของค่าความดันลดที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.3



รูปที่ 13 การกระจายความเร็วในกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด (ก) ชั้นที่ 1 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 5 μm (ข) ชั้นที่ 2 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 2.5 μm และ (ค) ชั้นที่ 3 ความพรุน 0.7 ขนาดรูพรุน 2.5 μm ที่ขนาดพัดลม 8" อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 341 CFM

รูปที่ 13 แสดงการกระจายความเร็วในกระถางต้นไม้พอกอากาศที่มีวัสดุปลูกแตกต่างกัน 3 ชนิด ซึ่งสัมพันธ์กับกราฟในรูปที่ 11 และ 12 โดย

พิจารณาที่อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 341 CFM ของขนาดพัดลม 8" จากรูปที่ 13 พบว่า ความเร็วขาออกจากกระถางส่วนในที่มีวัสดุปลูกมีค่าสูงสุดที่วัสดุปลูก

ชนิดที่ 1 รองลงมาคือชนิดที่ 3 และ 2 ตามลำดับ ในทางกลับกัน ความเร็วภายในช่องทางการไหลอากาศ ในกระถางและความเร็วพัดลมจะมีค่าลดลง

งานวิจัยนี้สามารถทราบผลของอัตราการไหล ที่พัดลมดูดอากาศขนาดต่าง ๆ และสมบัติวัสดุปลูก ที่มี ต่อความเร็วและความดันอากาศในกระถางต้นไม้พอก อากาศ แต่เนื่องจากแบบจำลองยังไม่มี การเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง และแบบจำลองยังสามารถ พัฒนาให้มีความใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริงได้ ดังนั้น ผลจากการจำลองจึงอาจใช้เป็นแนวทางในการ เลือกใช้ขนาดพัดลมและอัตราการไหล และสมบัติวัสดุ ปลูกที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบกระถางต้นไม้พอก อากาศ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงผลของ ความชื้นของวัสดุปลูกและความสัมพันธ์ของความพรุน และปริมาณน้ำที่ใช้ที่มีผลต่อความเร็วและความดัน อากาศในกระถางต้นไม้พอกอากาศ การถ่ายเทมวล และปริมาณน้ำที่ระเหยซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโต ของต้นไม้งานวิจัยต่อไปควรนำตัวแปรเหล่านี้มา พิจารณาร่วมด้วย รวมถึงการสร้างและทดสอบจริงเพื่อ ยืนยันความแม่นยำของแบบจำลองและความสามารถในการ นำไปใช้ได้จริง

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของอัตราการไหลที่พัด ลมดูดอากาศขนาดต่าง ๆ และสมบัติวัสดุปลูก ที่มีต่อ ความเร็วและความดันอากาศในกระถางต้นไม้พอก อากาศ ได้สร้างแบบจำลองการไหลอากาศผ่านวัสดุ พรุนและจำลองสภาพความเร็วและความดันอากาศโดย ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้พบว่าค่าความดันต่าง และความเร็วแปรผันตามอัตราการไหลของพัดลมขนาด ต่าง ๆ โดยที่พัดลมขนาด 6" มีค่าความดันต่างและอัตราการ ไหลที่สูงกว่าพัดลมขนาด 4" และใช้ความเร็วพัดลมที่ต่ำ กว่าพัดลมขนาด 8" วัสดุปลูกชนิดที่ 1 ความพรุน 0.35 ขนาดรูพรุน 5 μm มีค่าความดันลดน้อยที่สุด และมี ความเร็วขาออกจากวัสดุปลูกสูงที่สุดโดยใช้ความเร็ว พัดลมต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ใช้กรงฝุ่น ขนาดเล็กในอากาศขนาด 2.5 ไมครอน วัสดุที่เหมาะสม ที่สุดคือ ชนิดที่ 3 ความพรุน 0.7 ขนาดรูพรุน 2.5 μm

เนื่องจากมีขนาดกรงที่เหมาะสมกว่าวัสดุปลูกชนิดที่ 1 และมีค่าความดันลดน้อย มีความเร็วขาออกจากวัสดุ ปลูกสูง และใช้ความเร็วพัดลมต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ วัสดุปลูกชนิดที่ 2

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะ วิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณนาย ชัชวาลย์ จัปใจนาย สำหรับการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhu Z, Jin H. The analysis and design of small air purifier. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng 2019;562(1):012046:1-4.
- [2] Plasencia AC. Design of a nature-based air urifier [master's thesis]. Delft, Netherland: Delft University of Technology;2020.
- [3] Feng Z, Long Z, Chen Q. Assessment of various CFD models for predicting airflow and pressure drop through pleated filter system. Building and Environment. 2014;75:132-41.
- [4] Nassif N. The impact of air filter pressure drop on the performance of typical air-conditioning systems. Building Simulation. 2012;5:345-50.
- [5] Intagun W, Khamdaeng T, Prom-Ngarm P, Panyoyai N. Effect of core puncture diameter on bio-char kiln efficiency. International Journal of Biotechnology and Bioengineering. 2018;12(11):435-9.

- [6] Panyoyai N, Petchaihan L, Wongsiriamnuay T, Hiransatitporn B, Khamdaeng T. Simulation of temperature distribution in biochar kiln with different feedstock types. *Maharakham International Journal of Engineering Technology*. 2019;5(2):59-64.
- [7] Tawonwan T. A study of two-dimensional modeling of behavior of air flow through the cylinder by computational fluid dynamics technique (CFD). *Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)*. 2017;12(1):38-50. (in Thai)
- [8] Gómez-Martín A, Orihuela MP, Becerra JA, Martínez-Fernández J, Ramírez-Rico J. Permeability and mechanical integrity of porous biomorphic SiC ceramics for application as hot-gas filters. *Materials and Design*. 2016;107:450-60.
- [9] Raffray AR, Pulsifer J, Tillack MS. Modeling flow and heat transfer through porous media for high heat flux applications. La Jolla, CA: the University of California Energy Institute's (UCEI), 2000.
- [10] Soloveva OV, Solovev SA, Khusainov RR, Shubina AS, Antipin AV. Numerical simulation of gas flow in porous structures of various geometries. *J Phys: Conf Ser* 2019;1210 012134:1-7.
- [11] Sbrizzai F, Faraldi P, Soldati A. Appraisal of three dimensional numerical simulation for sub-micron particle deposition in a micro-porous ceramic filter. *Chemical Engineering Science*. 2005;60:6551-63.
- [12] ISO 16890-1:2016(en), Air filters for general ventilation–Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM).
- [13] Velzeboer I, Blom MJ, Duyzer JH. Effects of plant systems on air quality. *Petten, Netherlands: TNO*, 2019.
- [14] Techaampai P. Computational fluid dynamics by finite element and finite volume methods. 2 ed. Bangkok: Chula Press; 2013.
- [15] Asawa GL. Irrigation and water resources engineering. New Dehli: New Age International (P) Ltd.; 2008.
- [16] Gunashekar S, Pillai KM, Church BC, Abu-Zahra NH. Liquid flow in polyurethane foams for filtration applications: a study on their characterization and permeability estimation. *Journal of Porous Materials*. 2015;22:749-59.
- [17] Eiland R, Fernandes J, Gebrehiwot B, Vallejo M, Agonafer D, Mulay V, editors. Air filter effects on data center supply fan power. 13th IEEE ITherm Conference; 2012; San Diego, USA.
- [18] Mancin S, Zilio C, Cavallini A, Rossetto L. Pressure drop during air flow in aluminum foams. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2010;53:3121–30.
- [19] Zhang W, Deng S, Wang Y, Lin Z. Modeling the surface filtration pressure drop of PTFE HEPA filter media for low load applications. *Building and Environment*. 2020;177(11):106905:1-9.