

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแถวทรงกระบอกตันในอุโมงค์ลม ความเร็วลมต่ำ ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

A study of behavior of the air flow through circular cylinder rows in the low
speed wind tunnel with computational fluid dynamics technique

ธัญญบูรณ์ ทาวอนวาน^{1*} และ ชาอวฤทธิ์ วันเสาร์¹

Tanyaboon Tawonwan^{1*} and Chaowarit Wansao¹

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ได้การศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมของอากาศผ่านแถวทรงกระบอกตันด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) และเปรียบเทียบผลการทดลองกับการทดลองจริงในอุโมงค์ลมความเร็วลมต่ำของระบบทำความเย็นแบบระเหยตามแบบมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 41.2-1987 standard methods for laboratories air flow measurement โดยในส่วนของการสร้างแบบจำลอง CFD จะมีเงื่อนไขแบบ 2 มิติ และเป็นการจำลองในส่วนของบริษัททดสอบของอุโมงค์ลม โดยมีการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณของการกระจายตัวของความเร็วการไหลของอากาศ เลขเรย์โนลด์ และค่าความดันต่าง ที่ความเร็วในอุโมงค์ลมที่ 0.5, 1, 2 และ 3 เมตรต่อวินาที มีผลทำให้ได้ค่าปริมาณร้อยละของความแตกต่างของเลขเรย์โนลด์ระหว่างผลการทดลองจริงและการสร้างแบบจำลอง CFD ที่ 14.42, 38.42, 71.31 และ 83.70 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองและการจำลองที่ได้สามารถนำไปใช้ในการทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศในระบบทำความเย็นแบบระเหยแบบอุโมงค์ลม เพื่อให้ออกแบบปรับปรุงติดตั้งอุปกรณ์ลดความชื้นของอากาศในระบบทำความเย็นแบบระเหย

คำสำคัญ: เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การลดความชื้นในอากาศ การไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตันผิวเรียบอุโมงค์ลม

Abstract

The research purposed to study and analyze the behavior patterns of the airflow through a solid cylindrical with computational fluid dynamics (CFD) techniques and 2 dimension forms. The result of simulation by CFD was compared with experimental result with low speed wind tunnel in the test section part and the CFD model would be ANSI/ASHRAE from 41.2-1987 (standard methods for laboratories of the air flow measurement). The research was interested in comparing and analyzing the relationship of the air flow distribution patterns, the Reynolds number and the differential pressure. The velocity in the test section of wind tunnel were defined on 0.5, 1, 2 and 3 m/s for comparisons and had been affected to percent of the experimental and modeling Reynolds number at 14.42%,

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตดิตถ์ 53000

¹ Faculties of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000

* Corresponding author. Email: Tawonwan@hotmail.com

38.42%, 71.31% and 83.70% respectively. Therefore, the results of the experiments and the simulations can be used to predict the behavior of the air flow, which will lead to design and install the air dehumidify equipment in the evaporative cooling system.

Keywords: computational fluid dynamics (CFD), air dehumidify, smooth cylinder cross flow, wind tunnel

บทนำ

วิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ หรือ CFD ย่อมาจาก computational fluid dynamics ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ช่วยในการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม (finite volume method) ในการทำการวิเคราะห์ปัญหาทางพลศาสตร์ของไหลได้ ในระยะเวลาอันสั้นเพียงไม่กี่ชั่วโมง (ปราโมทย์, 2553) ทำให้กระบวนการออกแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเดิมๆ ที่ทำการทดลองในอุโมงค์ลม ด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเริ่มใช้กันโดยแพร่หลายมากขึ้นและเริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการเรียนการศึกษาในปัจจุบัน ซึ่งพฤติกรรมการไหลของของไหลสามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการจำลองปรากฏการณ์ต่างๆ ทางพลศาสตร์ของไหลจะคำนวณด้วยชุดของสมการอนุรักษ์ (conservation equations) และประกอบด้วยสมการ สมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass) หรือสมการความต่อเนื่อง (continuity equations) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (momentum equations) และสมการอนุรักษ์พลังงาน (energy equations) ซึ่งวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ นั้นสามารถช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ในการออกแบบ พัฒนา ปรับปรุง และสามารถทำให้เห็นภาพของการไหลได้

ชัดเจนขึ้นผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้การวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหลจะมีปัจจัยและองค์ประกอบใหญ่ๆ 3 องค์ประกอบ คือ สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (partial differential equations) ที่อธิบายความเป็นจริงของปัญหา เงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ของปัญหาที่ทำการศึกษานั้น และลักษณะรูปร่าง (geometry) ของปัญหา (ปราโมทย์, 2553) ซึ่งถ้าองค์ประกอบใดมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้การคำนวณเพื่อหาผลเฉลยมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ทั้งนี้การใช้เทคนิคของพลศาสตร์ของไหลเชิงการคำนวณนั้น จะเป็นการวิเคราะห์แก้ปัญหาระบบสมการอนุพันธ์ด้วยระบบสมการพีชคณิตซึ่งมีวิธีในการวิเคราะห์หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับปัญหา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้วิธีวิเคราะห์หาผลเฉลยที่เหมาะสม คือ การไหลที่เกิดขึ้นควบคุมโดยสมการความต่อเนื่อง สมการนาเวียร์-สโตกส์ และสมการอนุรักษ์พลังงาน (มนตรี, 2547) และสามารถเขียนขั้นตอนของวิธีไฟไนต์วอลุ่มโดยการแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นปริมาตรควบคุมโดยการใช้เส้นกริดที่สร้างเป็นแบบรูปสามเหลี่ยม ที่มีการปรับความละเอียดแบบกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอขนาดจำนวนเซลล์ 201×101 โดยเป็นการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยของระบบสมการและเพื่อที่จะให้ผลเฉลยมีความถูกต้องแม่นยำจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการทำซ้ำร่วมด้วยและสามารถเรียกกระบวนการหาผลเฉลย

ดังกล่าวว่า วิธีซิมเปิล (SIMPLE algorithm)(Versteeg and Malalasekera, 1995) ดังแสดงใน (Figure 2)

ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแถวทรงกระบอกตัน ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เป็นการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมของอากาศที่ไหลผ่านแถวทรงกระบอกตันด้วยเงื่อนไขแบบ 2 มิติ (Liao and Chiu, 2002; Islam and Raghavan, 2006; Franco *et al.*, 2011) ในส่วนของส่วนทดสอบของอุโมงค์ลม (test section) และนำผลจากการจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงในอุโมงค์ลมแบบมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 41.2-1987 standard methods for laboratories air flow measurement (กฤษ, 2544; กิตติ, 2548; Mehta and Bradshaw, 1979) ซึ่งจากผลการทดลองและการจำลองที่ได้สามารถนำไปใช้ในการทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศในระบบทำความเย็นแบบระเหย (evaporative cooling system) แบบอุโมงค์ลม เพื่อที่จะสามารถออกแบบปรับปรุงเพื่อที่จะติดตั้งอุปกรณ์เพื่อลดความชื้นของอากาศที่ได้จากระบบทำความเย็นต่อไป

วิธีการศึกษา

การออกแบบสร้างอุโมงค์ลมระบบทำความเย็นแบบระเหยและตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด

ในการออกแบบระบบอุโมงค์ลมของระบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหย จะสามารถออกแบบตามมาตรฐาน ANSI/ASHRAE 41.2-1987 standard methods for laboratories air flow measurement เป็นการออกแบบระบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหย

แบบระเหยโดยตรงและสามารถบรรยายรายละเอียดแบบระบบอุโมงค์ลมของระบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหย โดยในส่วนของอุโมงค์ลม (wind tunnel) (El-Dessouky *et al.*, 1996; Costelloe and Finn, 2003) เป็นอุโมงค์ลมที่มีส่วนของท่อสี่เหลี่ยมที่สามารถต่อกันได้ทั้งหมด 4 ส่วน โดยแต่ละท่อส่วนจะมีขนาดความยาว 0.5 เมตร และบริเวณหน้าตัดของที่มีขนาด 0.2×0.2 เมตร ดังแสดงใน (Figure 3a) และในส่วนของบริษัททดสอบ (test section) ซึ่งเป็นท่อที่ใช้ทดสอบ จะเป็นท่อน้ำตัดสี่เหลี่ยมขนาด 0.2×0.2 เมตร และสามารถบรรจุวัสดุลดความชื้นซึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกตะแกรงลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.035 เมตร สูง 0.2 เมตร เรียงเป็นแถวสองแถวและในแถวแรกมีทรงกระบอกตันซึ่งสามารถบรรจุวัสดุลดความชื้น 4 กระบอก และในแถวที่สองมี 3 กระบอก ที่วางห่างกัน 0.025 เมตร และอยู่ห่างจากผิวเปียกในส่วนทดสอบของอุโมงค์ลม 0.1 เมตร โดยที่ในส่วนของผิวเปียก (cooling pad) เป็นส่วนที่ติดตั้งผิวเปียก ด้านบนและด้านล่างของส่วนติดตั้งผิวเปียกเป็นถาดสำหรับรับและจ่ายน้ำให้กับผิวเปียก ถาดด้านล่างติดตั้งปั๊มสูบน้ำเพื่อใช้สำหรับจ่ายน้ำกลับเข้าสู่ถาดด้านบน และในระบบอุโมงค์ลมจะมีพัดลมดูดอากาศแบบกระแสตรง (blower) ขนาด 12VDC 0.95A และ 11.4W และปั๊มน้ำแบบกระแสตรง รุ่น BNS-2700L (DC pump) 12VDC 2.5 A ซึ่งในการเก็บข้อมูลจะมีตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้จะอ้างอิงตำแหน่งการติดตั้งจากมาตรฐาน ASHRAE standard 41.2-1987 ดังแสดงใน (Figure 3b)

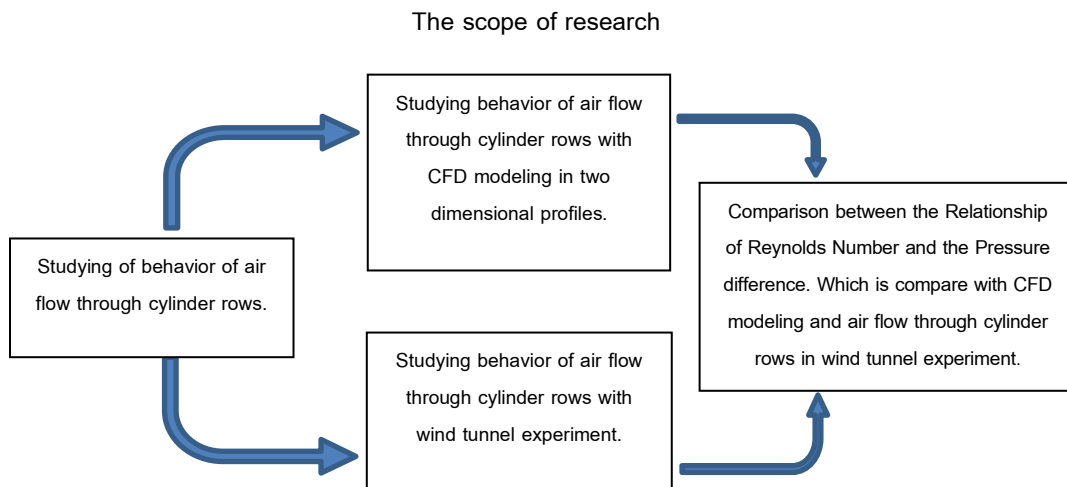


Figure 1 The scope of research.

การตั้งสมมุติฐานและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการคำนวณเชิงพลศาสตร์ของไหล (CFD)

ในการสร้างแบบจำลองจะเป็นการสร้างแบบจำลองอุโมงค์ลมในส่วนของบริเวณทดสอบ (test section) แบบ 2 มิติ มีขนาดความกว้าง 0.2 เมตร และมีความยาว 0.5 เมตร ซึ่งอุโมงค์ลมจะทำมุมอยู่ในแนวระดับ โดยมีเงื่อนไขขอบเขตที่ผิวของผนังด้านบนและด้านล่างของอุโมงค์ลม โดยกำหนดให้เป็น wall ซึ่งมีคุณสมบัติทางความร้อนเป็นอะเดียบาติก (adiabatic) (Mehta, 1985; Sodha *et al.*, 1995) และเงื่อนไขที่ทางเข้าและทางออกของบริเวณทดสอบของอุโมงค์ลมกำหนดเป็น velocity inlet และ pressure outlet ตามลำดับ แสดงใน (Figure 4) โดยได้กำหนดเงื่อนไขการไหลตลอด 8 กรณี ซึ่งจะกำหนดตัวแปรต้นเป็นความเร็วลมขาเข้าของบริเวณส่วนทดสอบ (velocity inlet หรือ velocity free stream; v_∞) ที่

0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0 เมตรต่อวินาที และทรงกระบอกตันที่เป็นตัวแทนของกระบอกบรรจุสารดูดความชื้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) 0.035 เมตร จำนวน 7 กระบอก เรียงเป็นแถวสองแถว ซึ่งในแถวที่หนึ่งมีจำนวน 3 กระบอก วางห่างจากผิวเปียก 0.1 เมตร และแต่ละกระบอกวางห่างกันในแนวแกน x และแนวแกน y ที่ 0.025 เมตร และมีการกำหนดเงื่อนไขแบบจำลองความหนืด (viscous model) ของเลขเรย์โนลด์สำหรับการไหลของของไหลผ่านวัตถุทรงกระบอกตันและไหลในท่อ (Reynolds number, Re_L) คือ $Re_L \leq 10^3$ เป็นแบบจำลองความหนืดแบบ Laminar, $10^3 \leq Re_L \leq 10^5$ เป็นแบบจำลองความหนืดแบบ k-epsilon และ $Re_L > 10^5$ เป็นแบบจำลองความหนืดแบบ k-epsilon (มนตรี, 2547; ปราโมทย์, 2553; Schlichting, 1979; Bell and Mehta, 1989; Catalano *et al.*, 2003)

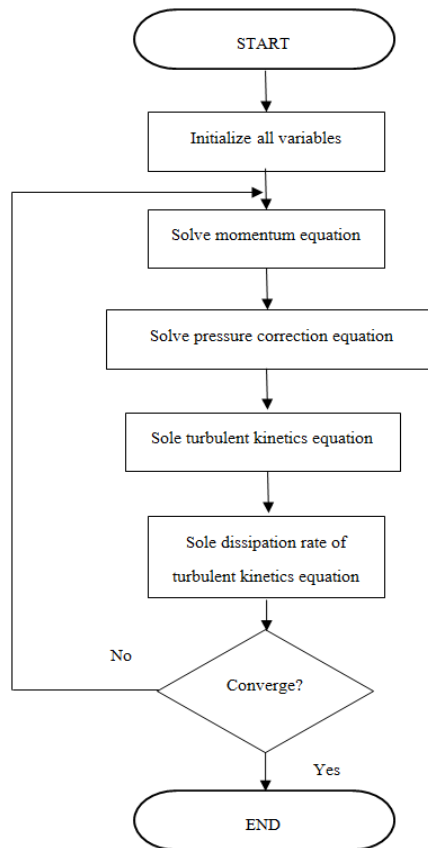
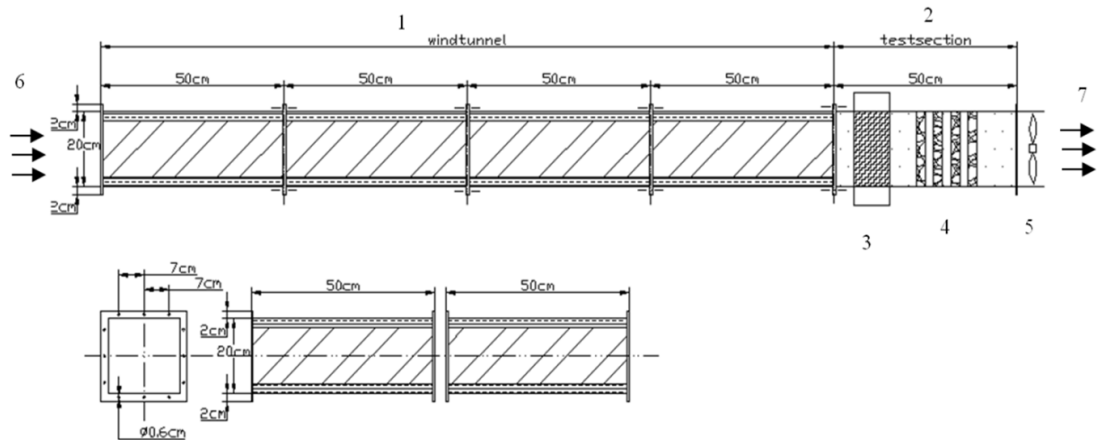
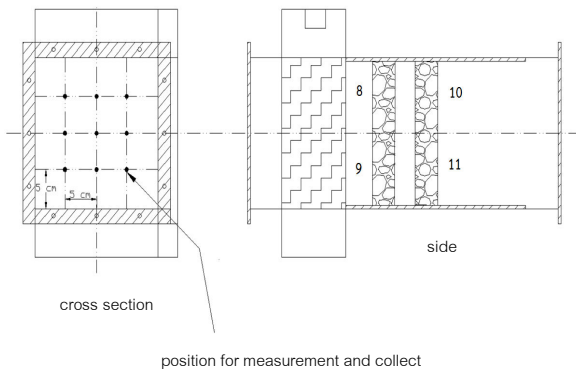


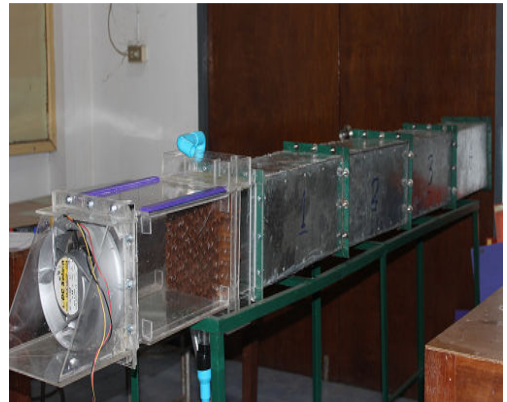
Figure 2 The progress of solving problem of the computational fluid dynamics (CFD) with simple algorithm. (ฉันทบุญรัตน์, 2550; Versteeg and Malalasekera, 1995)



(a)



(b)



(c)

Figure 3 (a) The system and diagram of low speed wind tunnel with the evaporative cooling; 1. The wind tunnel, 2. The test section, 3. The cooling pad, 4. The cylinder rows of dehumidifier material, 5. 12VDC blower, 6. The air inlet and 7. The air outlet (b) The position of data measurement installation in test section of wind tunnel. Include; 8. Air pressure inlet (P_i), 9. Air velocity inlet (v_i), 10. Air pressure outlet (P_o) and 11. Air velocity outlet (v_o) and (c) Figure of the wind tunnel for evaporative cooling system in this research.

การวิเคราะห์ผลจากการสร้างแบบจำลองการไหลของอากาศ

ในการทดลอง ได้ให้ความสนใจและศึกษาปริมาณความเร็วลมที่ทางออกของอุโมงค์ลม เลขเรย์โนลด์ และค่าความดันต่างของระบบ ดังสมการที่ 2 ที่ P_i คือ ความดันอากาศขาเข้าบริเวณส่วนทดสอบ (Pa) และ P_o คือ ความดันอากาศขาออกบริเวณส่วนทดสอบ (Pa) ซึ่งปริมาณเหล่านี้ได้บ่งบอกถึงรูปแบบพฤติกรรม การไหลของอากาศ และประสิทธิภาพการไหลของอากาศ ความสัมพันธ์ของค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number; Re_L) จากการสร้างแบบจำลองและการทดลองนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 1 เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของ

ของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), v คือ ความเร็วของของไหล (Velocity free stream; v_∞) (เมตรต่อวินาที), L คือ ความกว้างของอุโมงค์ลม (เมตร) และ μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดพลศาสตร์ (dynamic viscosity; $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$) (รัชนีวรรณ และคณะ, 2544; ญัฐวุฒิ, 2551; Gemba, 2007)

$$Re_L = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (1)$$

$$\Delta P = P_i - P_o \quad (2)$$

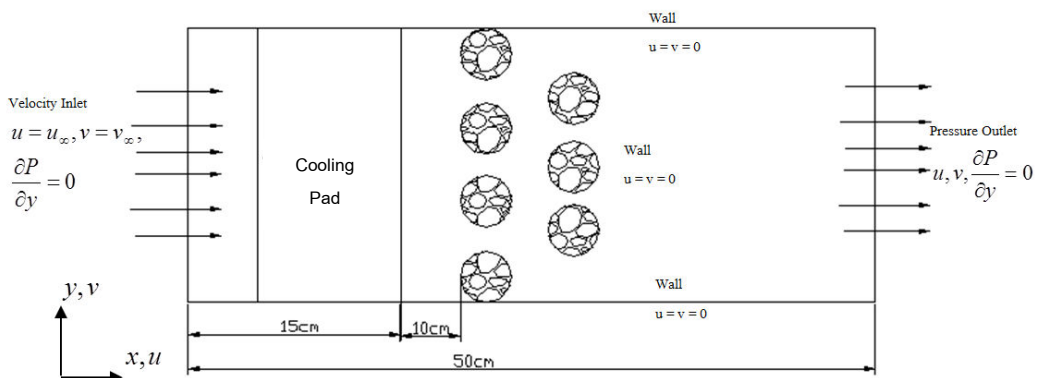


Figure 4 The boundary condition of the test section in evaporative cooling part with CFD two dimension modeling. And the position of seven dehumidifier cylinder rows with top view dewing profile (Air inlet: Velocity inlet condition, Air outlet: Pressure outlet condition and wall: adiabatic condition).

ผลการศึกษา

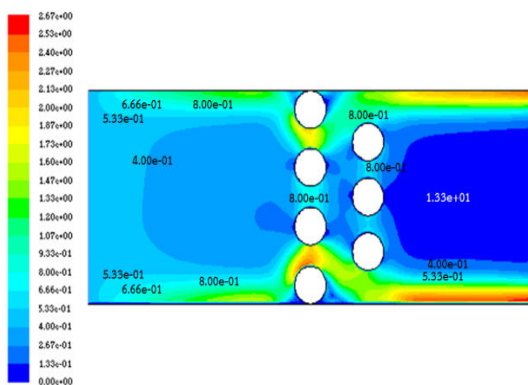
การทดลองสร้างแบบจำลอง CFD เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวของความเร็วของอากาศ

ในการทดลองสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ของอุโมงค์ลมเพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแท่งลดความชื้นใน

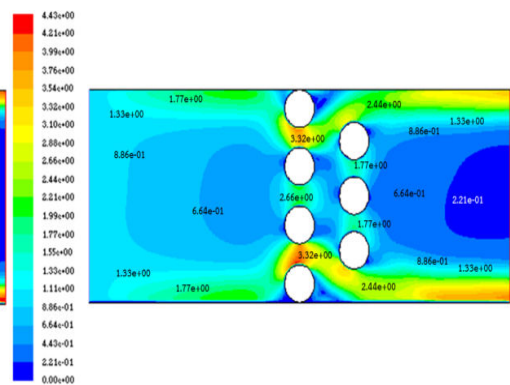
อุโมงค์ โดยได้ยกตัวอย่างของการทดลองในกรณีนี้ที่ 1 กำหนดความเร็วลมที่ทางเข้าของอุโมงค์ลมเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที จะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ทางออกเป็น 0.52 เมตรต่อวินาที การทดลองกรณีนี้ที่ 2 กำหนดความเร็วลมที่ทางเข้าของอุโมงค์ลมเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาที จะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่

ทางออกเป็น 1.03 เมตรต่อวินาที การทดลองกรณี
ที่ 4 กำหนดความเร็วลมที่ทางเข้าของอุโมงค์ลมเท่ากับ
2.00 เมตรต่อวินาที จะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่
ทางออกเป็น 2.01 เมตรต่อวินาที และการทดลอง
กรณีที่ 6 กำหนดความเร็วลมที่ทางเข้าของอุโมงค์ลม
เท่ากับ 3.00 เมตรต่อวินาที จะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ย
ที่ทางออกเป็น 3.04 เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถแสดง
รูปแบบการกระจายตัวของความเร็วการไหลของ
อากาศผ่านแถวทรงกระบอกตันได้ดังใน (Figure 5)
และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของเลขเรย์โนลด์

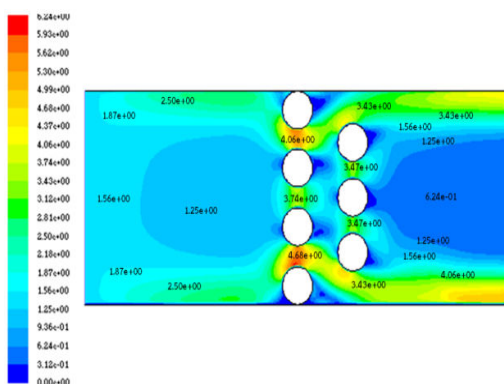
ที่ทางออกของส่วนทดสอบและค่าความดันต่างของ
ระบบ ซึ่งมีความสอดคล้องของผลการทดลองที่แปร
ผันตรงกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณความเร็วลมที่
ทางเข้าของอุโมงค์ลมในส่วนทดสอบ ดังแสดงใน
(Figure 6) โดยที่ความเร็วของกระแสลมที่ 0.5 เมตร
ต่อวินาที ค่าของเลขเรย์โนลด์จะอยู่ในขอบเขตของ
การไหลที่แสดงพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบ และ
ที่ความเร็วที่ 1 ถึง 4 เมตรต่อวินาที จะมีค่าของเลข
เรย์โนลด์จะอยู่ในขอบเขตของการไหลที่แสดง
พฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วน



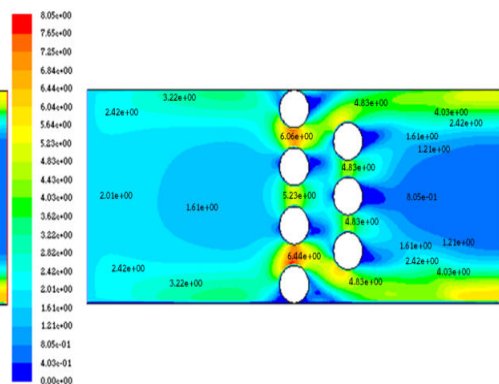
(a)



(b)



(c)



(d)

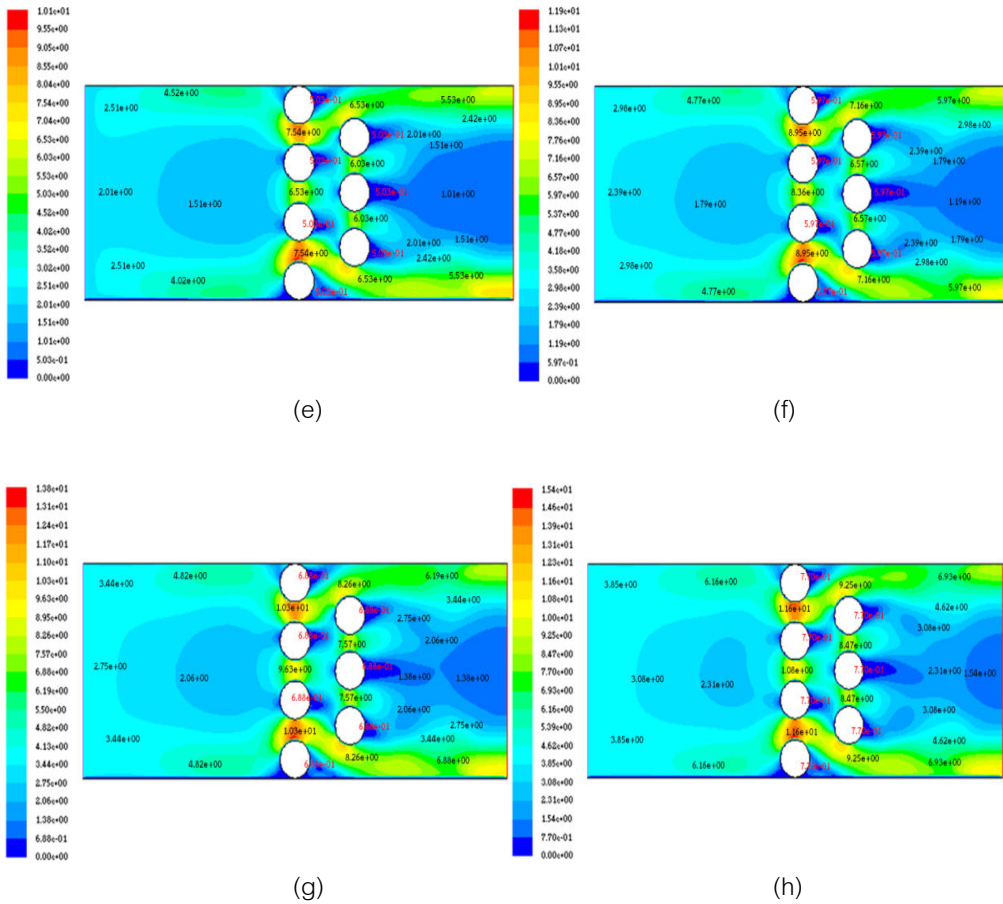


Figure 5 The patterns of the distribution of air velocity with free stream (v_∞) of CFD modeling at the entrance of each tunnel; (a) $v_\infty = 0.5$ m/s, (b) $v_\infty = 1.0$ m/s, (c) $v_\infty = 1.5$ m/s, (d) $v_\infty = 2.0$ m/s, (e) $v_\infty = 2.5$ m/s, (f) $v_\infty = 3.0$ m/s, (g) $v_\infty = 3.5$ m/s and (h) $v_\infty = 4.0$ m/s.

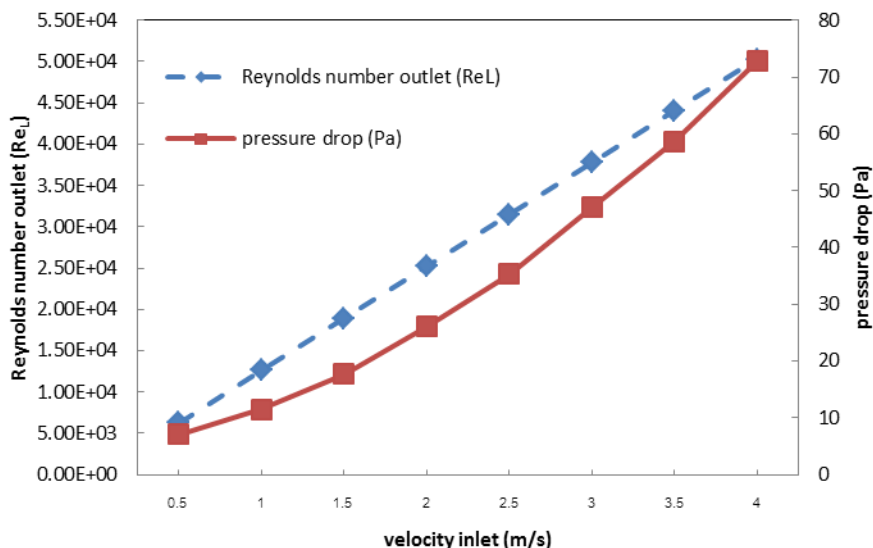


Figure 6 The relative of Reynolds number and pressure difference of CFD modeling with each air velocity that free stream (v_∞) in test section part.

อภิปรายผล

การเปรียบเทียบผลการทดลองการสร้างแบบจำลอง CFD กับผลการทดลองในอุโมงค์ลม

จากการศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศทดลองโดยการสร้างแบบจำลอง CFD ของระบบการทำความเย็นแบบระเหยในส่วนของบริษัททดสอบ และการทดลองจริงเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยในการทดลองจริงได้กำหนดค่าความเร็วลมเริ่มต้นที่ทางเข้าของส่วนทดสอบในบริเวณก่อนผ่านกระบอกแห้งลดความชื้นที่ 0.5, 1.0 และ 2.0 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้เป็นผลมาจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ควบคุมระบบความเร็วรอบของพัดลม ซึ่งจากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของข้อมูลที่ได้นั้น ปรากฏว่ารูปแบบ

ของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์และค่าความดันต่างของการทดลองจริงและการทดลองโดยการสร้างแบบจำลอง CFD มีความสอดคล้องกันในรูปแบบของการแปรผันตรงเมื่อมีการเพิ่มความเร็วของอากาศเข้าในการทดลองการไหลของอากาศผ่านอุโมงค์ลม แต่ในการทดลองจริงในอุโมงค์ลมจะมีค่าของเลขเรย์โนลด์และค่าความดันต่างที่ต่ำกว่าการทดลองสร้างแบบจำลอง CFD อันเนื่องมาจากผลของการสูญเสียความดันของอุโมงค์ลมซึ่งมีสาเหตุมาจากการรั่วไหลของกระแสอากาศจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในอุโมงค์ลมตามรอยต่อต่างๆ ของชิ้นส่วนอุโมงค์ลม

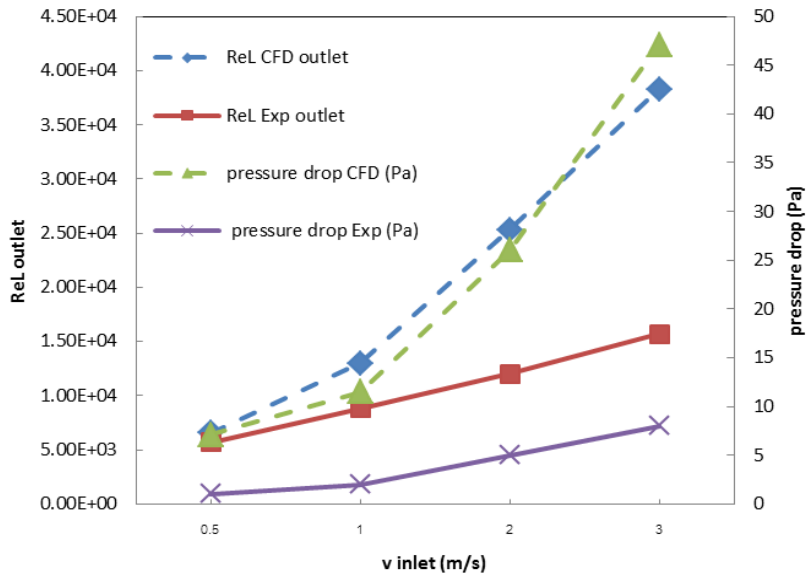


Figure 7 The relationship between of Reynolds number and pressure difference of the airflow through the wind tunnel experimental compared with the results of the CFD modeling (CFD: The CFD modeling solving results and Exp: The experimental study of airflow in wind tunnel) .

สรุป

ปริมาณร้อยละของความแตกต่างของเลขเรย์โนลด์ที่ได้จากแบบจำลอง CFD และการทดลองมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยที่ความเร็วลมต่ำและจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของกระแสลมในอุโมงค์ลม คือที่ความเร็วลมที่ 0.5, 1, 2 และ 3 เมตรต่อวินาที จะมีค่าปริมาณร้อยละของความแตกต่างของเลขเรย์โนลด์ที่ 14.42, 38.42, 71.31 และ 83.70 ตามลำดับ ดัง (Table 1) โดยที่ความเร็วลมที่ 0.5 เมตรต่อวินาที ค่าของเลขเรย์โนลด์จะอยู่ในขอบเขตของพฤติกรรมการไหลของอากาศแบบราบเรียบและที่ความเร็วที่ 1, 2 และ 3 เมตรต่อวินาที จะมีค่าของเลขเรย์โนลด์จะอยู่ในขอบเขตที่มีพฤติกรรมการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการนำไปใช้ในการ

ติดตั้งกระบอกดูดความชื้นของระบบทำความเย็นแบบระเหยนั่น จะต้องสร้างลักษณะพฤติกรรมการไหลของอากาศให้มีกระแสการไหลอยู่ในขอบเขตของการไหลแบบปั่นป่วน เพื่อให้ให้กระแสอากาศมีการไหลโดยมีการนำพาความชื้นในอากาศเย็นที่ได้จากระบบทำความเย็นมาสัมผัสกับกระบอกดูดความชื้นในอัตราที่มากที่สุด แต่ผลของพฤติกรรมการไหลของอากาศในขอบเขตแบบปั่นป่วนนี้จะมีผลต่อการไหลของการไหลของอากาศภายในท่อด้วย โดยจะเกิดค่าความดันต่างที่สูงและจะสูงมากขึ้นถ้ามีการเพิ่มระยะทางของท่อของอุโมงค์ลม และผลที่ได้ตามมาก็คือที่ปลายท่อขาออกของอุโมงค์ลมจะมีอัตราการไหลของอากาศที่ลดลง

Table 1 The airflow through the wind tunnel experimental compared with the results of the CFD modeling, which between of the Reynolds number and pressure difference.

velocity inlet (m/s)	pressure difference CFD (Pa)	pressure difference Exp (Pa)	velocity outlet CFD (m/s)	velocity outlet Exp (m/s)	Re _L CFD outlet	Re _L Exp outlet	differential of Re _L CFD outlet and Re _L Exp outlet (%)
0.5	7.10	1.00	0.52	0.45	6.54E+03	5.66E+03	14.42
1.00	11.50	2.00	1.03	0.7	1.30E+04	8.81E+03	38.42
2.00	26.02	5.00	2.01	0.95	2.53E+04	1.20E+04	71.31
3.00	47.07	8.00	3.04	1.25	3.83E+04	1.57E+04	83.70

ข้อเสนอแนะ

การใช้วิธีการทางพลศาสตร์ของไหลเชิงการคำนวณในการแก้ปัญหา จะอาศัยการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขผสมผสานกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อการหาผลเฉลย ซึ่งผลเฉลยที่ได้นั้นจะเป็นค่าโดยประมาณ ทั้งนี้คำตอบที่ได้จะมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับความพฤติกรรมของการไหลที่เป็นจริงหรือตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องนั้น ผู้ที่ทำการวิจัยจะต้องคำนึงถึงสิ่งสำคัญ 3 ประการคือ ประการแรกผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ผู้วิจัยจะต้องมีประสบการณ์การทำงานวิจัยทางพลศาสตร์ของไหลเชิงการคำนวณ หรือ CFD พอสมควร และในประการที่สอง อุปกรณ์ในการทำงานวิจัยและเก็บข้อมูล เพื่อที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการสร้างแบบจำลอง CFD จะต้องมีความเป็นมาตรฐานในการสร้างและมีระบบการเก็บข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำ และในประการสุดท้าย เพื่อที่จะให้ผลของการทดลองมีความใกล้เคียงกับปรากฏการณ์และพฤติกรรมจริงของของไหลจึงต้องทำความเข้าใจในปัญหาที่ต้องการจำลองและออกแบบสร้างทดลองจริงให้มีเงื่อนไขขอบเขตที่มีความสอดคล้องกันมาก

ที่สุด และเมื่อนำผลการคำนวณมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้นั้น ควรจะมีผลการทดลองที่มีลักษณะที่สอดคล้องกัน หรือเป็นไปในทางเดียวกันกับทฤษฎี หลักการ หรือกฎ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์โปรแกรมวิธีการสร้างแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงการคำนวณ (CFD) และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และได้รับการเชื้อเพื่อสถานที่ดำเนินงานวิจัยโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

เอกสารอ้างอิง

- กฤษ ตราฐ. 2544. การปรับปรุงระบบทำความเย็นแบบระเหยโดยการเพิ่มกระบวนการลดความชื้น. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- กิตติ ดวงใจบุญ. 2548. การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพและการทำความเย็นแบบระเหยในโรงเลี้ยงสุกร. รายงาน

- วิจัย. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2553. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์วอลุ่ม. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ณัฐฉาน งามนิรัตน์. 2551. การศึกษาความเหมาะสมในการใช้ แผ่นน้ำเย็นผสมผสานกับระบบดูดกลืนความชื้นเพื่อ ความสบายเชิงอุณหภูมิ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ธัญญ์ณัฏฐ์ ธารวรรณ. 2550. การศึกษาการไหลของอากาศ ผ่านปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ภายในอาคาร โดยเทคนิคการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล. รายงานวิจัย. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- มนตรี พิรุณเกษตร. 2547. กลศาสตร์ของไหล. พิมพ์ครั้งที่ 2. วิทยพัฒน์, กรุงเทพฯ.
- รัชนิวรรณ เจริญวัฒน์, โจเซฟ เคดารี, จงจิตร หิรัญลาม และ วันพุทธ แซ่ฉั่ว. 2544. การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดความชื้นในระบบปรับอากาศสำหรับประเทศไทย. รายงานการวิจัย. ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ ทางด้านอาคาร คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- Bell, J.H. and R.D. Mehta. 1989. Boundary-layer predictions for small low-speed contractions. *AIAA Journal* 27(3): 372-374.
- Catalano, P., M. Wang, G. Iaccarino and P. Moin. 2003. Numerical simulation of the flow around a circular cylinder at high Reynolds numbers. *Int J Heat Fluid Fl.* 24(4): 463-469.
- Costelloe, B. and D. Finn. 2003. Indirect evaporative cooling potential in air-water systems in temperate climates. *Energ Buildings.* 35: 573-591.
- El-Dessouky, H.T. A., A.A. Al-Haddad and F.I. Al-Juwayhel. 1996. Thermal and hydraulic performance of a modified two-stage evaporative cooler. *Renew Energ.* 7(2): 165-176.
- Franco, A., D.L. Valera, A. Pena and A.M. Pérez. 2011. Aerodynamic analysis and CFD simulation of several cellulose evaporative cooling pads used in Mediterranean greenhouses. *Comput Electron Agr.* 76: 218-230.
- Gemba, K. 2007. Measurement of a mean circumferential pressure distribution of a mouth cylinder in a cross flow in sub-critical Reynolds number regime. California State University, Long Beach, USA.
- Schlichting H., 1979. Boundary-layer theory. Engineering University of Braunschweig, Germany. Translated by Kestin J. McGRAW-HILL book company, New York.
- Liao, C.M. and K.H. Chiu. 2002. Wind tunnel modeling the system performance of alternative evaporative cooling pads in Taiwan region. *Build Environ.* 37(2): 177-187.
- Islam, W.S. and V.R. Raghavan. 2006. Numerical simulation of high sub-critical Reynolds number flow past a circular cylinder. In: Lube, G. and G. Rapin (Eds). Int. Conference on Boundary and Interior Layers, BAIL 2006. University of Göttingen.
- Mehta, R.D. and P. Bradshaw. 1979. Design rules for small low speed wind tunnels. *Aeronaut J.* 43: 443-449.
- Mehta, R.D. 1985. Turbulent boundary layer perturbed by a screen. *AIAA Journal* 23(9): 1335-1342.

- Sodha, M.S., S.P. Singh and R.L. Sawhney. 1995. Evolution of design patterns for direct evaporative coolers. *Build Environ.* 30(2): 287-291.
- Versteeg, H.K. and W. Malalasekera. 1995. An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method. Pearson Prentice Hall. Edinburgh Gate, Harlow, England.