

การวิเคราะห์มิติเพื่อจำลองการไหลในปล่องลมแดด Dimensional Analysis for the Flow Through a Solar Chimney

อาทิตย์ คุณศรีสุข¹ และ ทวิช จิตรสมบูรณ์²
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทร 0-4422-3454 โทรสาร 0-4422-3440 E-mail: atit@math.sut.ac.th¹, tabon@ccs.sut.ac.th²

Atit Koonsrisuk¹ and Tawit Chitsomboon²

School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

Muang District, Nakorn Ratchasima 30000 Thailand

Tel: 0-4422-3454 Fax: 0-4422-3440 E-mail: atit@math.sut.ac.th¹, tabon@ccs.sut.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์มิติ(dimensional analysis) ของการไหลในปล่องลมแดด(solar chimney)ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงแดด เนื่องจากการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าปล่องลมแดดที่สามารถผลิตพลังงานได้ในระดับที่คุ้มทุนหรือดีกว่าต้องมีขนาดใหญ่มาก การจะสร้างโรงงานต้นแบบเพื่อทดสอบทฤษฎีจึงไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมนัก ในการศึกษาได้ใช้การวิเคราะห์มิติเป็นเครื่องมือสำหรับเปรียบเทียบ การไหลระหว่างแบบจำลองปล่องลมแดดขนาดเล็ก(model) กับเครื่องต้นแบบปล่องลมแดด (prototype) เพื่อให้เกิดความเหมือนทางพลศาสตร์(dynamic similarity) ซึ่งได้ใช้วิธีการสร้างตัวแปรไร้มิติ(dimensionless variable) โดยการทอนด้วยหน่วยวัดคุณลักษณะ (characteristic scaling) และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางทฤษฎี จึงได้ใช้โปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamics) สำเร็จรูปชื่อ "CFX" ทำการคำนวณการไหลในระบบทั้งสอง ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณของ CFX ได้ยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์มิติที่ใช้ด้วย

Abstract

This article reports on the dimensional analysis of flow in a solar chimney, which is the electricity generator from solar energy. Preliminary researches showed that only the large chimney is cost-effective. So establishment of an experimental small-scale model, instead of a full-size prototype plant, for verifying the theory, is more appropriate. This research utilized dimensional analysis for the thermal and flow distributions through a solar chimney. To ensure dynamic similarity between the small-scale model and the full-size prototype, the method solving for the dimensionless variables by characteristic scaling is

implemented. Furthermore, the results obtained from dimensional analysis are validated by comparing with the results from CFX, a computational fluid dynamics (CFD) commercial code.

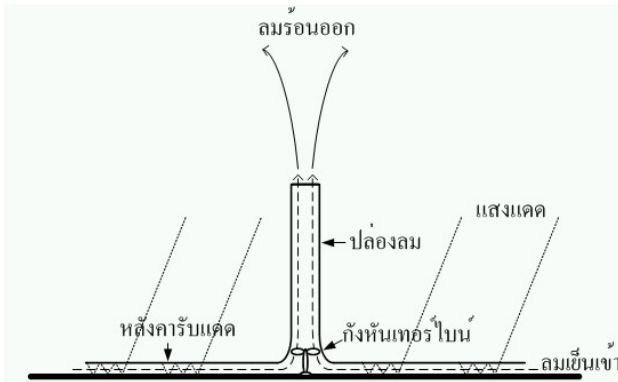
1. บทนำ

ในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาในโลกจริงที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ด้านกลศาสตร์ของไหลและการถ่ายโอนความร้อน มีเพียงไม่กี่ปัญหาที่สามารถสร้างแบบจำลองและหาคำตอบได้โดยวิธีการเชิงทฤษฎีแต่เพียงลำพัง การทดลองจริงยังคงมีบทบาทสูงในการแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยทั่วไป การแก้ปัญหาจะเริ่มจากการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยการประมาณการให้ปัญหาในโลกจริงที่สนใจอยู่ในรูปที่ง่ายขึ้น แล้วจึงใช้วิธีการเชิงทฤษฎีหาคำตอบของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น จากนั้นจะทำการทดลองจริงเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และนำเชื่อถือของแบบจำลองคณิตศาสตร์ดังกล่าว ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำไปสู่การปรับแก้แบบจำลองให้มีความถูกต้องมากขึ้น สุดท้าย แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่จะสามารถนำไปใช้คาดการณ์เหตุการณ์ได้สมจริง โดยมีข้อจำกัดซึ่งขึ้นอยู่กับประมาณการในตอนต้น จะเห็นว่า การทดลองมีส่วนสำคัญในการหาคำตอบของปัญหาที่สนใจ

อย่างไรก็ตาม การทดลองจริง ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลและงบประมาณสูงเมื่อเทียบกับวิธีแก้ปัญหาเชิงทฤษฎี ดังนั้น ในการออกแบบการทดลองจึงต้องคำนึงถึงว่าทำอย่างไรจะได้ข้อมูลที่ต้องการมากที่สุดจากการเก็บข้อมูลในน้อยที่สุด นอกจากนี้ เมื่อการทดลองจริงกับชุดทดลองต้นแบบ(prototype)ไม่สามารถทำได้จริงหรือที่พบบ่อยคือแพงเกินไป การทดลองจึงต้องทำกับแบบจำลองขนาดเล็ก(model)ที่มีความเหมือนทางพลศาสตร์(dynamic similarity)กับต้นแบบ ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้เพื่อลดงานในการทำการทดลองและใช้วิเคราะห์หาข้อกำหนดของแบบจำลองที่มีความเหมือนทางพลศาสตร์กับต้นแบบ ก็คือ

การวิเคราะห์มิติ (dimensional analysis) ซึ่งตัวแปรไร้มิติ (dimensionless variables) ที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำไปใช้หาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้อง [1]

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เรื่องหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ต้องไม่สร้างมลภาวะหรือสร้างให้น้อยที่สุด ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ปล่องลมแดด(solar chimney)ก็เป็นวิธีหนึ่งในน้อยวิธีที่ไม่สร้างมลพิษ หลักการทำงานของปล่องลมแดด คือ การให้อากาศภายใต้หลังคารับแดดรับพลังงานความร้อนจากแสงแดด เพื่อให้ลอยตัวขึ้นยังปล่องสูงด้วยการไหลแบบการพาความร้อนธรรมชาติ(natural convection) จากนั้นใช้กังหันเทอร์โบในจุดขับพลังงานจากการไหลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไปดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพแสดงหลักการทำงานของปล่องลมแดด

ซึ่งที่ผ่านมามีงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องแทบทั้งหมดจะเป็นการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงตัวเลขเท่านั้น[2-17] ปล่องลมแดดที่เคยมีการสร้างจริงมีเพียงครั้งเดียวที่ประเทศสเปน โดยกลุ่มวิศวกรชาวเยอรมันซึ่งได้ปฏิบัติงานในช่วงปี ค.ศ. 1981 ถึง ปี ค.ศ. 1989 เนื่องจากการสร้างปล่องลมแดดจริงเพื่อทำการทดลองต้องใช้งบประมาณสูง กลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างแบบจำลองขนาดเล็กของปล่องลมแดด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการศึกษาเชิงทฤษฎีที่กลุ่มผู้วิจัยได้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ [14-17] โดยในการออกแบบแบบจำลองขนาดเล็กกลุ่มผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์มิติเป็นเครื่องมือสำหรับเปรียบเทียบการไหลระหว่างแบบจำลองปล่องลมแดดขนาดเล็ก กับเครื่องต้นแบบปล่องลมแดด ว่ามีความเหมือนทางพลศาสตร์หรือไม่ โดยเลือกวิธีการสร้างตัวแปรไร้มิติ โดยการทอนด้วยหน่วยวัดคุณลักษณะ (characteristic scaling) [18] และจากนั้นได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์มิติกับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมคำนวณการไหล(CFD)สำเร็จรูปชื่อ CFX

2. การวิเคราะห์มิติของการไหลในปล่องลมแดด

พิจารณาการไหลแบบไม่มีความหนืด(inviscid flow)ในปล่องลมแดด ลักษณะการไหลอาจขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังนี้

h_c $\equiv$ ความสูงของปล่อง, m

h_r $\equiv$ ความสูงของหลังคารับแดด, m

r_c $\equiv$ รัศมีของปล่อง, m

r_r $\equiv$ รัศมีของหลังคารับแดด, m

A $\equiv$ พื้นที่หน้าตัดของปล่องลม, m^2

ρ $\equiv$ ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

g $\equiv$ ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางโลก, m/s^2

q''' $\equiv$ กำลังความร้อนที่ของไหลได้รับต่อหน่วยปริมาตร, W/m^3

c_p $\equiv$ ความร้อนจำเพาะของของไหล, $J/(kg.K)$

β $\equiv$ สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของของไหล, $1/K$

V $\equiv$ ความเร็วของของไหล, m/s

จะเห็นว่าจำนวนตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการไหลมีมาก ทำให้เป็นการลำบากหากจะทำการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้กำหนดกลุ่มตัวแปรด้วยการยุบรวมตัวแปรบางตัวเข้าด้วยกัน ทั้งนี้โดยอาศัยแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้มีการสร้างไว้ใน[17]ดังแสดงไว้ข้างล่าง เป็นเครื่องชี้แนะทาง

$$\frac{1}{2} m V_1^2 \left[\rho_1 - 2 \rho_1 A_1^2 \int_1^3 \frac{dA}{A^3} + \frac{2 A_1 q''}{V_1 c_p T_1} \int_1^3 \frac{dA_r}{A^2} + \frac{2 \rho_1 A_1^2 g h}{\rho R T_1} \int_1^3 \frac{dA}{A^3} \right] \\ = \frac{\rho_1 g h q''}{c_p T_3} \int_1^3 dA_r$$

เมื่อ

$\dot{m}$ $\equiv$ อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s

A $\equiv$ พื้นที่หน้าตัดของการไหล, m^2

A_r $\equiv$ พื้นที่หลังคารับแดด, m^2

q'' $\equiv$ กำลังความร้อนที่ของไหลได้รับต่อหน่วยพื้นที่, W/m^2

c_p $\equiv$ ความร้อนจำเพาะของของไหล, $J/(kg.K)$

T $\equiv$ อุณหภูมิ (static temperature), K

γ $\equiv$ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (specific heat ratio)

1 $\equiv$ ตำแหน่งทางเข้าหลังคารับแดด

3 $\equiv$ ตำแหน่งหลังกังหันเทอร์โบ

ซึ่งวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์มิติในที่นี้ คือ จะหาความสัมพันธ์

ระหว่างกำลังงานที่เกิดขึ้นภายในปล่องลม, $\rho A V \frac{V^2}{2}$ กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในรูปของตัวแปรไร้มิติ

ขั้นที่ 1 ให้กำลังงานดังกล่าวขึ้นกับ $\rho, g, \frac{q'''}{c_p}, \beta$ และ h_c ได้ว่า

$$\rho A V \frac{V^2}{2} = f^n(\rho, g, \frac{q'''}{c_p}, \beta, h_c) \quad (1)$$

ขั้นที่ 2 เลือก M, L, T และ Θ เป็นมิติพื้นฐาน (fundamental dimensions)

ขั้นที่ 3 สามารถเขียนแจกแจงมิติของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในรูปของมิติพื้นฐานได้ดังนี้

	$\rho AV \frac{V^2}{2}$	ρ	g	$\frac{q'''}{c_p}$	β	h_c
M	1	1	0	1	0	0
L	2	-3	1	-3	0	1
T	-3	0	-2	-1	0	0
Θ	0	0	0	1	-1	0

ขั้นที่ 4 เลือก $g, \frac{q'''}{c_p}, \beta$ และ h_c เป็นตัวแปรทอน(scaling variables)

ขั้นที่ 5 หามิติบริสุทธ์จากตัวแปรทอนได้ดังนี้

$$L = h_c \quad (2)$$

$$\Theta = \frac{1}{\beta} \quad (3)$$

$$T = \sqrt{\frac{h_c}{g}} \quad (4)$$

$$M = \frac{q''' \beta (h_c)^{7/2}}{c_p \sqrt{g}} \quad (5)$$

ขั้นที่ 6 นำมิติเหล่านี้ไปทอนตัวแปรที่เหลือได้ตัวแปรไร้มิติดังนี้

$$\Pi_1 = \frac{\rho AV \frac{V^2}{2}}{\frac{q''' \beta g}{c_p} h_c^4} \quad (6)$$

และ

$$\Pi_2 = \frac{\rho}{\frac{q''' \beta}{c_p} \sqrt{\frac{h_c}{g}}} \quad (7)$$

ดังนั้น ได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\frac{\rho AV \frac{V^2}{2}}{\frac{q''' \beta g}{c_p} h_c^4} = f^n \left(\frac{\rho}{\frac{q''' \beta}{c_p} \sqrt{\frac{h_c}{g}}} \right) \quad (8)$$

หรือ $\Pi_1 = f^n(\Pi_2)$

ซึ่งอาจสามารถแปลความหมายของตัวแปรไร้มิติตามสมการที่ (6) ได้ดังนี้

1. $\rho AV \frac{V^2}{2} = \dot{m} \frac{V^2}{2}$ ซึ่งก็คือ กำลังงานจากพลังงานจลน์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั่นเอง เมื่อ $\dot{m} = \rho AV$ เป็นอัตราการไหลของมวล
2. หากพิจารณาในด้านมิติ $q''' h_c^3 = \dot{Q}$ ซึ่งก็คือ กำลังความร้อนที่ของไหลทำงานได้หลังการรับแดดได้รับ
3. จาก $\dot{Q} = \dot{m} c_p \Delta T$ และหากพิจารณาเพียงขนาดจะได้ $\beta = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta \rho}{\Delta T}$ จากความสัมพันธ์ทั้งสองได้ว่า $\dot{Q} = \dot{m} c_p \frac{\Delta \rho}{\rho \beta}$
4. จากข้อ 2 และ 3 ได้ว่า

$$\frac{q''' \beta g}{c_p} h_c^4 = \frac{\dot{m}}{\rho} \Delta \rho g h_c \quad (9)$$

5. จาก $\Delta p = \Delta \rho g h_c$ เป็นการเปลี่ยนแปลงความดันซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหลทำงาน ซึ่งพจน์นี้เป็นพจน์สำคัญเนื่องจากหลักการทำงานของปล่องลมแดดคือ ของไหลทำงานได้รับ $\dot{Q}$ ทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนเกิดเป็น Δp ซึ่งนำไปสู่พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นหรือพจน์ในข้อ 1 นั้นเอง

6. นำข้อ 5 และคำนิยามของ $\dot{m}$ แทนในข้อ 4 ได้ว่า

$$\frac{q''' \beta g}{c_p} h_c^4 = A v \Delta p \quad (10)$$

ซึ่งพื้นที่หน้าตัดคูณกับความดันก็คือแรงนั่นเอง และหากเอาแรงคูณกับความเร็วจะได้งาน นั่นก็คือ $\frac{q''' \beta g}{c_p} h_c^4$ เป็นงานจากการไหล(flow work) ซึ่งเกิดเนื่องจากของไหลทำงานได้รับกำลังความร้อนนั่นเอง

7. จากข้อ 1 และข้อ 6 ได้ว่า ตัวแปรไร้มิติในสมการที่ (6) เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังงานที่ได้เทียบกับกำลังงานที่ใส่เข้าไป หรือประสิทธิภาพนั่นเอง

จากเงื่อนไขของการเกิดความเสมือนทางพลศาสตร์ที่ว่า แรงทุกแรงที่มีอิทธิพลสูงกับรูปแบบการไหลในแบบจำลองกับในโรงงานต้นแบบต้องมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนของกันและกัน จากการที่งานวิจัยนี้ มองว่าแรงที่มีอิทธิพลสูงในระบบเกิดจากการกำลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ กับกำลังงานในปล่องลมในรูปของพลังงานจลน์ ดังนั้น จะเห็นว่าหากตัวแปรไร้มิติตามสมการที่ (6) ของแบบจำลองและของโรงงานต้นแบบมีค่าเท่ากัน จะได้ว่า ระบบทั้งสองมีความเสมือนทางพลศาสตร์

การสร้างแบบจำลอง ในที่นี้จะคำนวณหาค่ากำลังความร้อนที่ต้องให้แก่ของไหลทำงาน, q''' เมื่อแบบจำลองเล็กกว่าโรงงานต้นแบบ 100 เท่า และให้ q''' ในโรงงานต้นแบบเป็น 400 W/m^3 (คือ สภาวะที่ $q'' = 800 \text{ W/m}^2$ และหลังคาสูง 2 เมตร)

พิจารณาตัวแปรคุณลักษณะตามสมการที่ (7) เพื่อให้เกิดความเสมือนทางพลศาสตร์ได้ว่า

$$\left[\frac{\rho}{\frac{q''' \beta}{c_p} \sqrt{\frac{h_c}{g}}} \right]_m = \left[\frac{\rho}{\frac{q''' \beta}{c_p} \sqrt{\frac{h_c}{g}}} \right]_p \quad (11)$$

โดยในที่นี้ เมื่อเขียนตัวแปรแล้วมีตัวห้อย m จะหมายถึงตัวแปรนั้นเป็นของแบบจำลอง และเมื่อใช้ตัวห้อย p จะหมายถึงตัวแปรนั้นเป็นของโรงงานต้นแบบ จาก (11) ได้ว่า

$$\frac{q'''_m}{q'''_p} = 10 \cdot \frac{\rho_m}{\rho_p} \frac{c_{p_m}}{c_{p_p}} \frac{\beta_p}{\beta_m} \quad (12)$$

ดังนั้น เมื่อให้อากาศเป็นของไหลทำงานในแบบจำลอง ได้ว่า $q'''_m = 4000 \text{ W/m}^3$

3. ผลการคำนวณ

ในขั้นแรกเพื่อเป็นการตรวจสอบความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป CFX ของผู้วิจัย จึงได้ศึกษาการไหลในปล่องลมแดดแบบไม่มีกังหันเทอร์ไบน์ซึ่งมีขนาดเท่ากับที่ได้มีการศึกษาไว้โดย

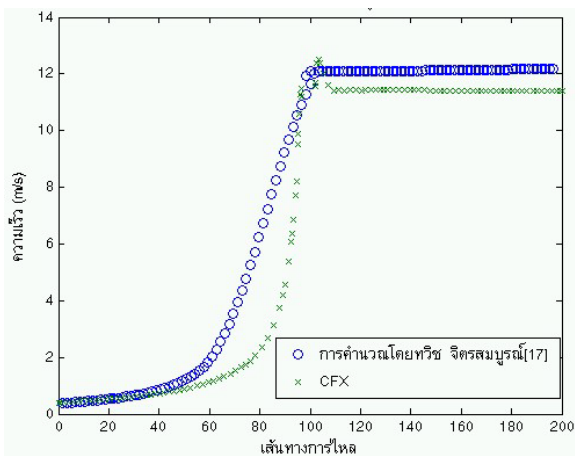
ทวิช จิตรสมบูรณ์ [17] โดยจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม CFX กับผลใน [17] จากนั้นจึงใช้ CFX คำนวณการไหลในแบบจำลอง โดยมีข้อมูลแต่ละกรณีที่ใช้ CFX คำนวณดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลประกอบกรณีที่จะคำนวณโดยโปรแกรม CFX

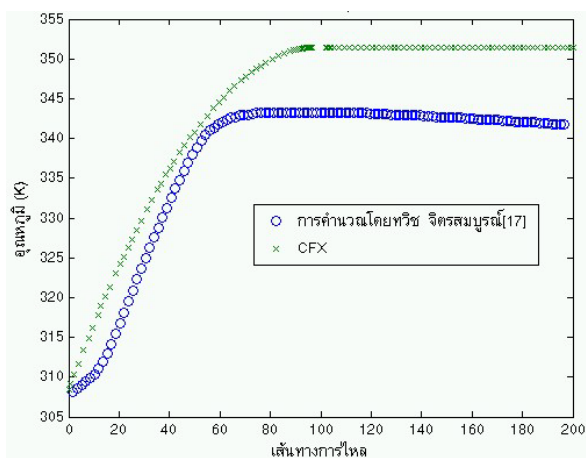
กรณี	ของไหลทำงาน	พลังงานความร้อน (W/m^3)	ความสูงปล่อง (m)	ความสูงหลังคา (m)	รัศมีปล่อง (m)	รัศมีหลังคา (m)
โรงงานต้นแบบ	อากาศ	400	100	2	4	100
แบบจำลอง	อากาศ	4,000	1	0.02	0.04	1

ผลเปรียบเทียบการไหลที่คำนวณโดยโปรแกรม CFX กับผลการคำนวณใน [17]

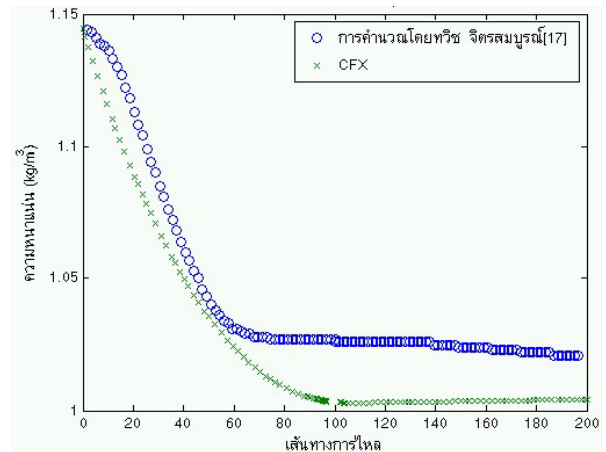
ได้ผลดังรูปที่ 2 - 5 ซึ่งจะเห็นความสอดคล้องของค่าและแนวโน้มของทั้งสองระบบ จึงน่าจะเชื่อได้ว่า ผู้วิจัยมีความเข้าใจในการใช้โปรแกรม CFX ในการคำนวณปัญหาลักษณะนี้ สำหรับความแตกต่างที่มีบ้างนั้นจะเกิดจากการที่ใน [17] จำลองให้การไหลในปล่องลมแดดเป็นแบบ quasi one dimensional ในขณะที่ การวิจัยนี้ได้จำลองให้เป็นการไหลในปล่องแบบ axis-symmetry



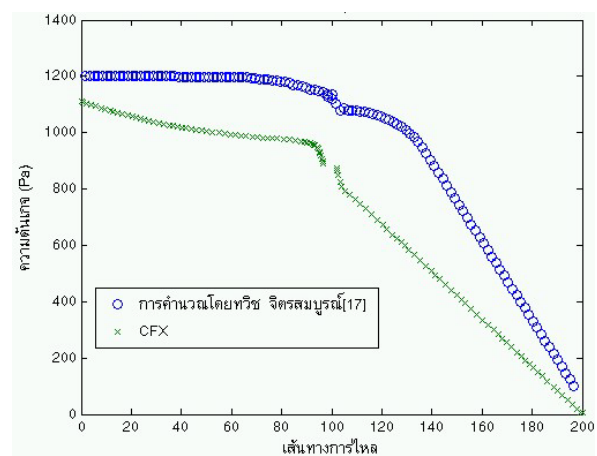
รูปที่ 2 เปรียบเทียบผลการคำนวณ"ความเร็ว"ระหว่าง CFX กับ [17]



รูปที่ 3 เปรียบเทียบผลการคำนวณ"อุณหภูมิ"ระหว่าง CFX กับ [17]



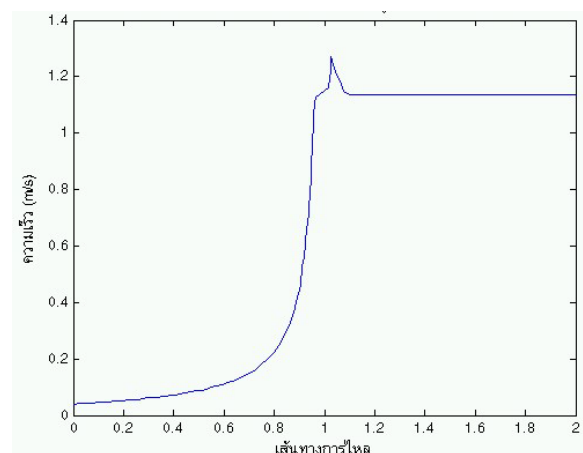
รูปที่ 4 เปรียบเทียบ"ความหนาแน่น"ระหว่าง CFX กับ [17]



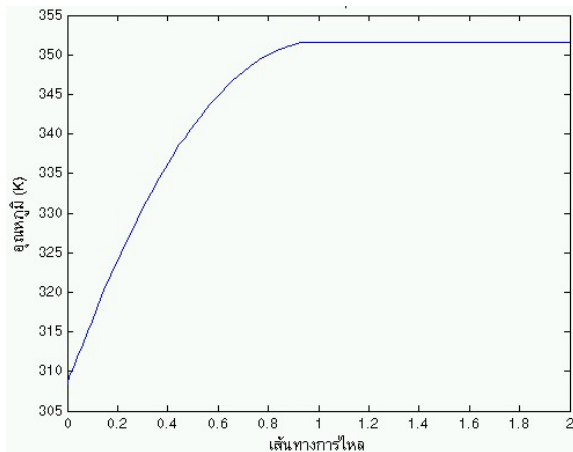
รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลการคำนวณ"ความดัน"ระหว่าง CFX กับ [17]

ผลการคำนวณการไหลในปล่องลมแดดของแบบจำลอง

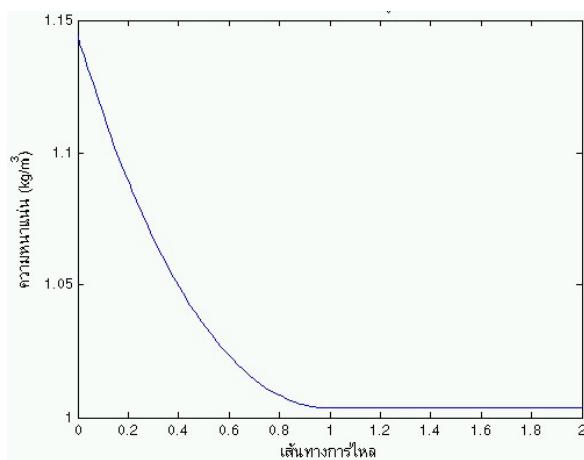
เมื่อให้โปรแกรม CFX คำนวณการไหลของแบบจำลองซึ่งมีขนาดเล็กลง 100 เท่าภายใต้เงื่อนไขความเสมือนทางพลศาสตร์ ได้ผลดังนี้



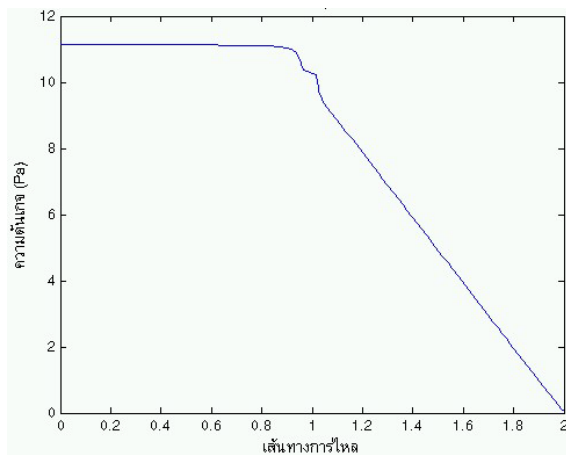
รูปที่ 6 ผลการคำนวณ"ความเร็ว"โดย CFX



รูปที่ 7 ผลการคำนวณ"อุณหภูมิ"โดย CFX



รูปที่ 8 ผลการคำนวณ"ความหนาแน่น"โดย CFX



รูปที่ 9 ผลการคำนวณ"ความดัน"โดย CFX

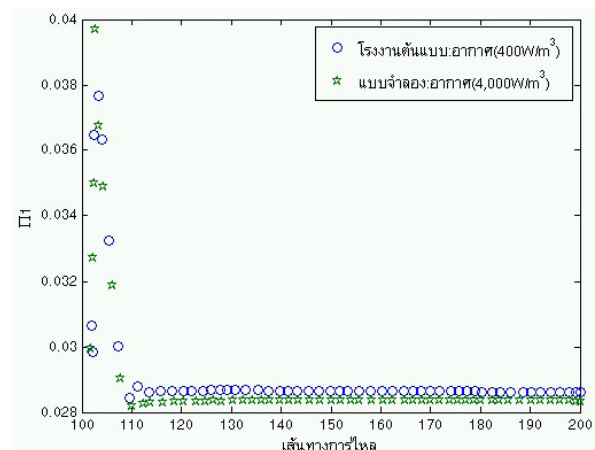
จะเห็นว่า ที่รอยต่อระหว่างหลังคาร์บริดกับปล่องหรือที่ระยะประมาณ 1 เมตรที่ของไหลไหลมาถึง ค่าความเร็วและความดันที่คำนวณได้ จะมีการกระโดด(overshoot)จากค่าที่ควรจะเป็นจริงเมื่อดูแนวโน้มจากค่าก่อนหน้าและหลังผ่านรอยต่อไปแล้ว คาดว่าเป็นความผิดพลาดเชิงตัวเลข(numerical error) เนื่องจากที่บริเวณรอยต่อมี

ความชัน(gradient)สูง อาจต้องการให้สร้างกริด(grid)สำหรับคำนวณที่ละเอียดกว่าที่ใช้ ซึ่งจะได้ศึกษาเพื่อแก้ปัญหาต่อไป

การศึกษาความเสมือนทางพลศาสตร์ของโรงงานต้นแบบกับแบบจำลอง

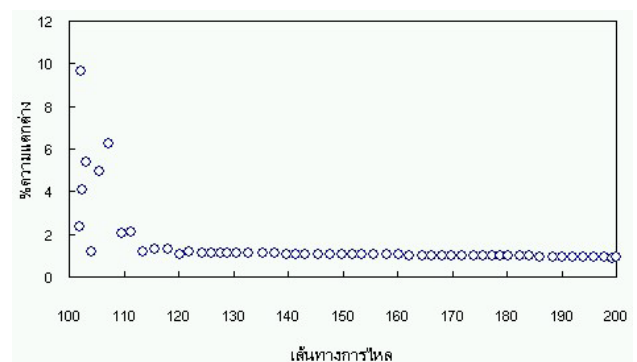
$$\text{เมื่อนำผลที่ได้จาก CFX ไปคำนวณหาตัวแปรไร้มิติ} \quad \frac{\rho AV \frac{V^2}{2}}{\frac{q'' \beta g}{c_p} h_c^4}$$

ตลอดเส้นทางการไหลในช่วงปล่องทั้งของโรงงานต้นแบบและแบบจำลองได้ผลดังรูป



รูปที่ 10 ตัวแปรไร้มิติในช่วงการไหลในปล่อง

ซึ่งสามารถแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของตัวแปรไร้มิติระหว่างแบบจำลองกับต้นแบบได้ดังรูป



รูปที่ 11 เปอร์เซนต์ความแตกต่างของตัวแปรไร้มิติเปรียบเทียบระหว่างการไหลในแบบจำลองขนาดเล็กกับการไหลในเครื่องต้นแบบ

$$\text{ซึ่งหากตีความหมายของ} \quad \frac{\rho AV \frac{V^2}{2}}{\frac{q'' \beta g}{c_p} h_c^4} \quad \text{ตามที่ไดวิเคราะหไว้ในเรื่อง}$$

การวิเคราะห์มิติของการไหลในปล่องลมแสดงว่า เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ของไหลมีเมื่อไหลผ่านปล่องกับพลังงานการไหล (flow energy) ที่ของไหลได้รับผ่านหลังคาร์บริด จะเห็นว่าประสิทธิภาพของตัวโรงงานต้นแบบมีค่าประมาณ 2.86% สำหรับความแตกต่าง

ระหว่าง Π_1 นั้น มีค่าในภาพรวมประมาณ 1% ยกเว้นตรงทางเข้าปล่องมีค่าแตกต่างสูงสุด 9.7% มีความเป็นไปได้สูงว่า ความแตกต่างนี้เกิดจากความผิดพลาดเชิงตัวเลข เนื่องจากระบบกริดที่มีขนาดแตกต่างกันหรือจากการตัดทอนค่า(round-off error) เนื่องจากในแบบจำลองมีความสูงน้อย ทำให้ค่าความแตกต่างของความดัน, Δp น้อยมาก จึงได้รับผลกระทบจากการตัดทอนค่ามากกว่าระบบต้นแบบซึ่งมีขนาดใหญ่

4. สรุป

จากการศึกษาข้างต้น จะเห็นว่า เมื่อได้นำการวิเคราะห์มิติมาใช้ในการศึกษา ทำให้สามารถออกแบบแบบจำลองขนาดเล็กของโรงงานต้นแบบปล่องลมแดดขนาดใหญ่ได้โดยมีความเหมือนทางพลศาสตร์ระหว่างต้นแบบกับแบบจำลอง ซึ่งได้ใช้ผลการคำนวณจากโปรแกรม CFX ยืนยันความเหมือนที่เกิดขึ้น โดยงานวิจัยที่จะได้ทำในลำดับถัดไปจะเป็นการศึกษาเพื่อผลลัพธ์เมื่อเลือกของไหลทำงานเป็นอย่างอื่นที่ไม่ใช่อากาศ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดีจากการสนับสนุนด้านการเงินของโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวีช จิตรสมบุญ, "กลศาสตร์ของไหล", พิมพ์ครั้งที่ 1, ท้อป/แมคกรอ-ฮิล, ปี ๒๕๕ . 2546
- [2] J. Schlaich, et al., "Solar Chimneys," Encyclopedia of Physical Science and Technology, 1990 Yearbook, Academic Press
- [3] McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology, 1994, pp. 356-358
- [4] R. Richards, "Hot Air Starts to Rise Through Spain's Solar Chimney," Electrical Review, Vol. 210, No. 15, pp.6-27, April 1982
- [5] H. Lautenschlager, et al., "New Results from the Solar Chimney Prototype and Conclusions for Large Power Plants," European Wind Energy Conference, Hamburg, FRG., Oct1984
- [6] Energen International Limited, "200 MW Solar Chimney with Evaporation System," A Proposal to Electricity Generating Authority of Thailand, 1994
- [7] A. Luzzi, et al., "Solar Chimney Power Plant for Australia," Oct. 1993, in Proceeding of a conference sponsored by the ASEAN Sub-Committee on Non-Conventional Energy Research (SCNCER)
- [8] L.B. Mullett, "The Solar Chimney - Overall Efficiency, Design and Performance," International Journal of Ambient Energy, Vol. 8, No. 1, 1987
- [9] M.M. Padki, S.A. Sherif, "Fluid Dynamics of Solar Chimney," Presented at The Winter Annual Meeting of ASME, Chicago, Illinois, 1988
- [10] M.M. Padki, S.A. Sherif, "Solar Chimney for Medium-to-Large Scale Power Generation," Proceedings of The Manila International Symposium on the Development and Management of Energy Resources, Jan 1989
- [11] M.M. Padki, et al, "Solar Chimney for Power Generation in Rural Areas," Presented at the Seminar on Energy Conservation and Generation Through Renewable Resources (organized by The Indian Institute of Metals), Jan 1989
- [12] M.M. Padki and S.A. Sherif, "A Mathematical Model for Solar Chimneys," Proceedings of the 1992 International Renewable Energy Conference, Vol.1 June 1992
- [13] M.Q. Yan, et al., "Thermo-Fluid Analysis of Solar Chimney," Presented at The Winter Annual Meeting of The American Society of Mechanical Engineers, Atlanta, Georgia, Dec 1991
- [14] Chitsomboon, T., "Numerical Simulation of Flow in Solar Chimney with Turbine," paper presented at the First Regional Conference on Energy Towards a Clean Environment (RCETCE), Chiangmai, Thailand, Dec. 2000.
- [15] Chitsomboon, T. and Tongbai, P., "The Effect of Chimney-Top Convergence on Efficiency of a Solar Chimney," Proceedings of the 13th National Mechanical Engineering Conference, Vol. 1, pp. 263-268, Dec. 1999
- [16] Chitsomboon, T., "Potential and Efficiency of Solar Chimney in the Production of Electrical Energy," Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand, Vol.11, No.3, 2000, pp.38-44)
- [17] Chitsomboon, T., "A Validated Analytical Model for Flow in Solar Chimney," International Journal of Renewable Energy Engineering, Vol. 3, No. 2, 2001
- [18] Chitsomboon, T., "Construction and Interpretation of Dimensionless Variables in a New Way," Proceedings of the 15th ME NETT Conference, Vol. 1, pp. TF39-TF45, Nov. 2001