อาทิตย์ คูณศรีสุข : การวิเคราะห์การไหลในระบบปล่องลมแดดเพื่อหาแนวทางออกแบบให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด (ANALYSIS OF FLOW IN SOLAR CHIMNEY FOR AN OPTIMAL DESIGN PURPOSE) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์, 278 หน้า

รายงานวิจัยนี้ศึกษาการไหลในระบบปล่องลมแดด ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แสงแดดสร้างการไหลของลมขึ้นภายในระบบ จากนั้นใช้กังหันเทอร์ไบน์เปลี่ยนรูปพลังงานของกระแสลมไปเป็นกระแสไฟฟ้า จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เพื่อหาทางเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบ โดยศึกษาลักษณะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับปล่องลมแดดเพื่อหาแนวทางการออกแบบให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

ในช่วงต้นของการศึกษานี้ ได้ใช้การวิเคราะห์มิติ (dimensional analysis) เพื่อหาตัวแปรไร้มิติ (dimensionless variables) ที่สำคัญสำหรับการไหลในระบบปล่องลมแดด เพื่อช่วยในการออกแบบการทดลอง ที่สามารถใช้ข้อมูลที่ทดสอบจากแบบจำลองระบบปล่องลมแดดขนาดเล็ก ในการทำนายผลที่จะเกิดขึ้นในโรงงานต้นแบบปล่องลมแดดได้ จากการศึกษาพบว่า เมื่อแบบจำลองขนาดเล็ก (model) มีความเสมือนทางด้านรูปทรง (geometric similarity) กับโรงงานต้นแบบ (prototype) ระบบทั้งสองจะมีความเสมือนทางด้านพลศาสตร์ (dynamic similarity) ก็ต่อเมื่อ ค่าความเข้มแสงแดด (insolation) ของระบบทั้งสองต้องไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นสภาวะที่ทำได้ยากในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาที่บังคับให้ค่าความเข้มแสงแดดของระบบทั้งสองต้องเท่ากัน พบว่า ระบบทั้งสองสามารถมีความเสมือนทางด้านพลศาสตร์ได้ หากระบบทั้งสองมีความเสมือนทางด้านรูปทรงเพียงบางส่วน (partial geometric similarity) กล่าวคือ รัศมีหลังคารับแดด (solar collector) ของแบบจำลองต้องสั้นกว่าที่ควรจะเป็นสำหรับแบบจำลองที่มีความเสมือนทางด้านรูปทรงกับโรงงานต้นแบบ ในการตรวจสอบความถูกต้องของผล ที่ได้จากการวิเคราะห์มิตินี้ ผู้วิจัยได้ใช้การคำนวณเชิงตัวเลข (numerical method) เพื่อหาค่าคุณสมบัติการไหล (flow properties) ในระบบ แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าตัวแปรไร้มิติ ซึ่งผลการคำนวณยืนยันความน่าเชื่อถือที่พบในการศึกษานี้ และจากรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไร้มิติที่ค้นพบในครั้งนี้ ได้นำไปสู่การยุบรวมตัวแปรที่สำคัญของระบบทั้งหมดได้เป็นตัวแปรไร้มิติเพียงหนึ่งตัวแปร ซึ่งจากผลการคำนวณเชิงตัวเลขและผลการทดลองจากโรงงานต้นแบบที่ได้เคยมีการสร้างไว้จริงที่ประเทศสเปน พบว่า ค่าตัวแปรไร้มิติตัวใหม่ที่พบนี้มีค่าประมาณ 1 สำหรับแบบจำลองทุกขนาดที่มีการตรวจสอบ

จากนั้นได้นำผลที่ตัวแปรไร้มิติมีค่าเท่ากับ 1 นี้ ไปสร้างเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical model) เพื่อใช้ประเมินศักยภาพของระบบปล่องลมแดด และใช้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่นักวิจัยท่านอื่นได้พัฒนาไว้อีกจำนวน 5 แบบจำลอง โดยในการคำนวณนี้ได้ศึกษาผลกระทบเมื่อขนาดของโรงงาน ได้แก่ รัศมีกับความสูงของหลังคารับแดด และรัศมีกับความสูงของปล่องลมเปลี่ยนไป รวมทั้งผลกระทบเมื่อความเข้มแสงแดดเปลี่ยนไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณทั้งหมดกับผลการคำนวณเชิงตัวเลขจากโปรแกรมสำเร็จรูป พบว่าแต่ละแบบจำลองมีข้อดี-ข้อเสียต่างกันไป ซึ่งในการศึกษานี้ได้ให้คำแนะนำในการเลือกใช้แบบจำลองที่เหมาะสมไว้ด้วย

เมื่อได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดการไหลโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ร่วมกับการคำนวณเชิงตัวเลขพบว่า เมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของหลังคารับแดดที่ทางเข้าต่อด้วยที่ทางออกมีค่าน้อยกว่า 1 จะสามารถเพิ่มศักยภาพให้ระบบได้ และเมื่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของปล่องลมที่ทางออกต่อด้วยที่ทางเข้ามีค่ามากกว่า 1 ศักยภาพของระบบก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน และสำหรับระบบที่ใช้หลังคารับแดดที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ทางเข้าต่อด้วยที่ทางออกมีค่าน้อยกว่า 1 ร่วมกับปล่องลมที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ทางออกต่อด้วยที่ทางเข้ามีค่ามากกว่า 16 พบว่าค่าศักยภาพของระบบเพิ่มขึ้นหลายร้อยเท่าจากระบบปกติที่ใช้กัน

ในการศึกษาที่กล่าวมาแล้วนั้น เนื่องจากเป็นการประเมินศักยภาพของระบบจึงยังไม่ได้รวมกังหันเทอร์ไบน์ไว้ในการศึกษา และเมื่อได้มีการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่รวมกังหันเทอร์ไบน์ไว้ด้วย พบว่า ค่าอัตราส่วนระหว่างความดันที่กังหันเทอร์ไบน์ดูดซับไว้ได้ต่อด้วยความดันรวมที่เกิดขึ้นในระบบมีค่าเท่ากับ 2/3 สำหรับระบบที่กำหนดให้ความดันรวมดังกล่าวนี้มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความดันที่กังหันเทอร์ไบน์ดูดซับไว้ได้ แต่สำหรับระบบที่ให้ความดันรวมแปรผันได้ตามความดันที่กังหันเทอร์ไบน์ดูดซับพบว่า ค่าอัตราส่วนของความดันดังกล่าวนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นกับขนาดโรงงานและความเข้มแสงแดด

เพื่อจะประเมินผลการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงตัวเลข ได้มีการสร้างแบบจำลองขนาดเล็กของระบบปล่องลมแดดที่ไม่มีกังหันเทอร์ไบน์ขึ้นจำนวน 4 ชุดที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา พบว่าผลการทดลองมีค่าต่างไปจากค่าที่ทำนายไว้ แต่มีแนวโน้มของข้อมูลเหมือนที่ทำนายไว้ ซึ่งคาดว่าเป็นผลเนื่องจากความเข้มแสงแดดที่ไม่คงที่ขณะทำการทดลองและเนื่องจากระบบมีหลังคาที่เล็กไปเมื่อเทียบกับขนาดของปล่องลม นอกจากนี้ ค่าตัวแปรไร้มิติที่คำนวณจากชุดทดลองที่ออกแบบให้มีความเสมือนกันทางพลศาสตร์ ก็มีความต่างกันซึ่งคาดว่าเป็นผลเนื่องจากความผันแปรของสภาพอากาศขณะวัดผล

เมื่อใช้ constructal theory ในการออกแบบระบบปล่องลมแดด สามารถหาค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วนระหว่างความสูงของปล่องลมต่อด้วยรัศมีของหลังคารับแดด ค่าอัตราการไหลและกำลังสูงสุดที่ระบบสามารถทำได้ทั้งแบบที่มีเงื่อนไขว่าพื้นที่ผิวของระบบต้องคงที่และแบบที่ปริมาตรรวมของระบบต้องคงที่ ผลการศึกษาชี้ว่า ความดันสูญเสียที่ทางเข้าหลังคาและที่สูญเสียที่รอยต่อระหว่างหลังคากับปล่องลมมีค่าต่ำมากสามารถตัดทิ้งจากการคำนวณได้ และในกรณีที่ค่า svelteness ของระบบมีค่ามากกว่า 6.5 ค่าความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในส่วนหลังคารับแดดก็สามารถตัดทิ้งได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ศักยภาพสูงสุดของโรงงานปล่องลมแดดจะเกิดขึ้นเมื่อโรงงานมีขนาดที่เหมาะสม โดยโรงงานขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงงานขนาดเล็ก

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนักศึกษา อาทิตย์ คงศรีสวน

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ATIT KOONSRISUK : ANALYSIS OF FLOW IN SOLAR CHIMNEY FOR AN OPTIMAL DESIGN PURPOSE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. TAWIT CHITSOMBOON, Ph.D., 278 PP.

SOLAR CHIMNEY/SOLAR TOWER/DIMENSIONAL ANALYSIS/GEOMETRIC EFFECTS/THEORETICAL MODEL/SOLAR ENERGY/CONSTRUCTAL DESIGN/NATURAL CONVECTION.

The thesis studies flow in a solar chimney, a device for generating electricity from solar energy by means of a turbine extracting the flow energy from the hot air rising through a tall chimney with the ultimate goal of a better design to obtain a higher efficiency. Operating characteristics that are significant to the flow in solar chimney are sought and studied to aid in the optimization of solar chimney design.

Dimensional analysis is applied to determine the dimensionless variables to guide the experimental study of flow in a small-scale solar chimney model. The study shows that if the model is required to be geometrically similar to the prototype, then the dynamic similarity condition requires the solar heat fluxes of the two cases to be different, an inconvenient requirement in an experimental setup. Further study shows that, to achieve the same-heat-flux condition, the roof radius between the prototype and its scaled models must be dissimilar, while all other remaining dimensions of the models remain similar to those of the prototype. The functional relationship obtained suggests that it would be possible to group all the relevant variables into a single dimensionless product. Three physical configurations of the plant were numerically tested for similarity: fully geometrically similar, partially geometrically similar, and dissimilar types. The values of the proposed single dimensionless variable for all these

cases are found to be nominally equal to unity. The value for the physical plant actually built and tested previously is also evaluated and found to be about the same as that of the numerical simulations, suggesting the validity of the proposition.

Moreover, the study compares the predictions of performances of solar chimney power plants by using five theoretical models that have been proposed in the literature. The parameters used in the study are various plant geometrical parameters and the solar heat flux. Numerical results from the carefully calibrated CFD simulations are used for comparison with the theoretical predictions. The power output and the efficiency of the solar chimney plants are used as functions of the studied parameters to compare relative merits of the five theoretical models. Models that performed better are finally recommended.

Guided by a theoretical prediction, CFD is used to investigate the changes in flow properties caused by the variation of flow area. It appears that the sloping collector affects the flow properties through the plant. The divergent-top chimney leads to significant augmentations in kinetic energy at the tower base. It is shown that the proper combination of the sloping roof and the divergent-top chimney can produce power as much as hundreds times that of the conventional solar chimney power plant.

An analytical turbine model is developed in order to evaluate the performance of the solar chimney power plant. The relationships between the ratio of the turbine pressure drop to the pressure potential (available system pressure difference), the mass flow rate, the temperature rise across the collector and the power output are presented. The model shows that, for the system with a constant pressure potential, the optimum ratio of the turbine pressure drop to the pressure potential is 2/3. For the system with

non-constant pressure potential, it is clear that this optimum ratio is a function of the plant size and solar heat flux.

To evaluate the performance of a small-scale physical model, four experimental plants were constructed at Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima Province, Thailand. The experimental results are different but show the same trends as the predicted values. This may be caused by the fluctuating solar heat flux and the effect of the large chimney diameter when compared with the roof size. Moreover, the difference in dimensionless variables between the large and the small plant is noticeable, contrary to the theoretical and numerical predictions. Reasons could be the varying atmospheric conditions when the tests were run.

Based on the method of constructal design, the optimal chimney height/roof radius, maximum mass flow rate and maximum power under the constraints of fixed surface area and volume are determined. Results indicate that the pressure drop at the collector inlet and at the transition section between the collector and chimney are negligible and the friction loss in the collector might be neglected when the svelteness is greater than 6.5. Because of the flow resistances associated with distribution of power over a territory, the size of the territory must be finite and optimally allocated to each power plant. Several patterns of the multi-scale plants on a square area are explored. The global performance of such patterns is greater when more land area is allocated for the largest plant.

School of Mechanical Engineering Student's Signature อาทิตย์ คงคาวิสัย

Academic Year 2009 Advisor's Signature