ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การประหยัดพลังงานในระบบแอร์โรโพนิกโดยใช้ท่อความร้อน

ผู้เขียน นายณรงค์ สีหาจ่อง

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ศ. ดร. ประดิษฐ์	เทอดทูล	ประธานกรรมการ
Prof. Dr. Takuji	Ohyama	กรรมการ
ผศ. ดร. โสระยา	ร่วมรังษี	กรรมการ
ผศ. ดร. ภัทราพร	กมลเพ็ชร	กรรมการ
ผศ. ดร. ธีระพงษ์	ว่องรัตนะไพศาล	กรรมการ
ผศ. ดร. สัมพันธ์	ฤทธิเดช	กรรมการ

บทคัดย่อ

ดุษฎีนิพนธ์นี้พิจารณาแนวทางการศึกษาถึงการประยุกต์ใช้เทอร์โมไซฟอนสำหรับการประหยัดพลังงานในระบบแอร์โรโพนิก โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแอร์โรโพนิกทั่วไป ระบบท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน และระบบแอร์โรโพนิกที่มีระบบท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนสำหรับการประหยัดพลังงาน โดยบางส่วนอาศัยข้อมูลจากการทดลองจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อหาสมการสหสัมพันธ์ หรือตัวแปรที่มีผลต่อแบบจำลองสภาวะของโปรแกรม และเปรียบเทียบผลการทดลองกับแบบจำลองเพื่อยืนยันถึงความถูกต้อง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะศึกษาถึงผลของอุณหภูมิภายในโรงเรือน อุณหภูมิสารละลายปุ๋ย ความยาวของกระบะปลูกพืช ที่มีต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอนและการเจริญเติบโตของพืช โดยที่ผลจากการทดลองสามารถสร้างสมการสหสัมพันธ์สำหรับการจำลองสภาวะโปรแกรมของระบบแอร์โรโพนิก ได้ดังนี้ สมการสหพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศที่ออกจาแผงทำความเย็นแบบระเหย ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นกับน้ำและอากาศขาเข้าแผงทำความเย็น คือ

$$T_{eo} = \left(-93.27 + 10.23T_w - 0.23T_w^2\right) + \left(5.14 - 0.48T_w + 0.01T_w^2\right)T_{ein}, \quad R^2 = 0.76$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการสหพันธ์ของอุณหภูมิภายในกระบะปลูกพืช จะเป็นฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิสารละลายและอุณหภูมิโรงเรือนซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$T_{ch} = \left(-56.42 + 6.753T_s - 0.177T_s^2\right) + \left(2.111 - 0.15T_s + 0.004T_s^2\right)T_i \ , \quad R^2 = 0.73$$

และสมการสหพันธ์ของการเจริญเติบโตของพืช โดยจะแสดงในค่าของน้ำหนักของพืชจะได้ดังนี้
น้ำหนักพืชสดของ Fancy Red

$$m_p = e^{\left[(5.13-0.21T_s)+\left(-0.05+\left(8.62^{-3}\right)T_s\right)n\right]} \ , R^2 = 0.93$$

และ น้ำหนักพืชสดของ Okayama

$$m_p = e^{\left[(4.79-0.18T_s)+\left(-0.03+\left(7.66^{-3}\right)T_s\right)n\right]} \ , R^2 = 0.98$$

นำสมการสหสัมพันธ์มาพิจารณาร่วมกับแบบจำลองสภาวะทางคณิตศาสตร์เพื่อหาภาระความร้อนของระบบ ซึ่งพบว่า เมื่ออุณหภูมิควบคุมของโรงเรือนที่ 25 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสารละลายควบคุมที่ 15 องศาเซลเซียส และความยาวกระบะปลูกพืช 300 มิลลิเมตร ระบบทำความเย็นแบบระเหยสำหรับโรงเรือนและระบบทำความเย็นแบบสารละลายปุ๋ยจะใช้พลังงานมากที่สุดคือ 46.4 และ 115 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ที่ 31 วันของการปลูกพืช และผลจากการทดลองและแบบจำลองมีความสอดคล้องกันได้ดี ดังนั้นแบบจำลองนี้สามารถใช้ทำนายคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของระบบแอร์โรโพนิกได้ และค่าภาระความร้อนสูงสุดจะใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบท่อความร้อนสำหรับระบบแอร์โรโพนิก โดยจะพิจารณาจากค่าการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนต่อราคาการสร้างสูงสุด, ค่าอีต่อค่าซีโดยที่เทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยสำหรับโรงเรือนและสำหรับระบบทำความเย็นสารละลายปุ๋ยเท่ากับ 0.95 และ 0.85 วัตต์ต่อบาท โดยที่โรงเรือนมีขนาด กว้าง 400 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร สูง 370 มิลลิเมตร คลุมด้วยพลาสติกโพลีเอทธิลีน หนา 0.25 มิลลิเมตร และเทอร์โมไซฟอนที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนและระบบทำความเย็นสารละลายทำจากทองแดงที่มีขนาด 22.3 และ 12.5 มิลลิเมตร จำนวนท่อเท่ากับ 60 และ 36 ท่อ และมีความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นเท่ากับ 800 และ 200 มิลลิเมตร ของเทอร์โมไซฟอนสำหรับระบบทำความเย็นสารละลาย และมีความยาวส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีค่าเท่ากัน คือ 200 มิลลิเมตร และใช้ R-134a เป็นสารทำงานที่อัตราการเติม 50 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรส่วนทำระเหย แบบจำลองสภาวะของระบบแอร์โร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โพนิกที่มีเทอร์โมไซฟอนจะจำลองเพื่อหาการประหยัดพลังงานของระบบแอร์โรโพนิกโดยการเปรียบเทียบกับระบบแอร์โรโพนิกที่ไม่มีเทอร์โมไซฟอน ที่เงื่อนไขที่อุณหภูมิโรงเรือน 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสารละลายปุ๋ย 20 องศาเซลเซียส ความยาวกระบะ 300 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเงื่อนไขเหมาะสมที่สุดสำหรับปลูกพืช Okayama และ Fancy Red ดังนั้นเทอร์โมไซฟอนสามารถลดการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นแบบระเหยสำหรับโรงเรือนลงได้ถึง 21.6 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีของผลจากการทดลองสามารถลดพลังงานได้ 22.6 เปอร์เซ็นต์ และจากแบบจำลองระบบทำความเย็นสารละลายนั้นเทอร์โมไซฟอนสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ถึง 20.21 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดลองเป็น 25.37 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่าอัตราผลตอบแทนภายในประมาณ 10.31 เปอร์เซ็นต์ และ ระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 5.7 ปี จากผลการเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมของระบบแอร์โรโพนิกที่มีเทอร์โมไซฟอนสามารถใช้ทำนายการประหยัดพลังงานของระบบแอร์โรโพนิกได้ตามเงื่อนไข

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title Energy Saving in Aeroponic System Using Heat Pipe

Author Mr. Narong Srihajong

Degree Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

Thesis Advisory Committee

Prof. Dr.	Pradit Terdtoon	Chairperson
Prof. Dr.	Takuji Ohyama	Member
Asst.Prof. Dr.	Soraya Ruamrungsri	Member
Asst.Prof .Dr.	Patrapon Kamonpet	Member
Asst.Prof. Dr.	Theeraphong Wongratanaphisan	Member
Asst.Prof .Dr.	Sampan Rittdech	Member

ABSTRACT

This thesis aims to study the application of thermosyphons (T/S) as an energy saver in aeroponic systems. The method involved the construction of mathematical models for aeroponic systems, thermosyphon systems and aeroponic systems with thermosyphons for energy saving with some parts of the models dependant on the experimental data. An experimental unit was constructed to find the correlations or parameters which have an affect on the program simulation and to compare the experimental results and simulation results with the confiding indicate. Mathematical models were considered to calculate the effect of the temperature of the greenhouse, the nutrient solution, and the planting chamber length on the heat transfer characteristics of a thermosyphon and on plant growth. Experimental results can be used to construct the correlation for a simulated model of an aeroponic system as follows: the correlation of the outlet air temperature of evaporative cooling which was the function of inlet water and air of evaporative cooling as

$$T_{eo} = \left(-93.27 + 10.23T_w - 0.23T_w^2\right) + \left(5.14 - 0.48T_w + 0.01T_w^2\right)T_{ein} \quad R^2 = 0.76$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

the correlation of chamber temperature was the function of nutrient solution and greenhouse temperatures, which was determined as follows

$$T_{ch} = \left(-56.42 + 6.753T_s - 0.177T_s^2\right) + \left(2.111 - 0.15T_s + 0.004T_s^2\right)T_i, \quad R^2 = 0.73$$

and the correlation of plant growth rate was the function of the fresh plant weight as follows; fresh weight of Fancy Red

$$m_p = e^{\left[(5.13-0.21T_s)+\left(-0.05+\left(8.62^{-3}\right)T_s\right)n\right]}, \qquad R^2 = 0.93$$

and the fresh weight of Okayama as

$$m_p = e^{\left[(4.79-0.18T_s)+\left(-0.03+\left(7.66^{-3}\right)T_s\right)n\right]}, \qquad R^2 = 0.98$$

The correlation and mathematical model was considered to find the heating load of the system. It was found that when the temperature of the greenhouse and nutrient solution was controlled at 25 and 20 ^{o}C and the chamber length was at 300 mm, the energy consumption of evaporative cooling and refrigeration system was at its highest, 46.4 and 115 kW-h, at 31 days after planting. The results from the experiment and the model agreed fairly well. So this model can be used to predict the heat transfer characteristic of aeroponic system. The maximum heat load was selected to be the condition for the thermosyphon design of the aeroponic system. The cost of construction of a thermosyphon with a total heat transfer rate at maximum value, E/C, was also considered in the design. Accordingly, the maximum E/C values of the thermosyphon for the evaporative cooling and refrigeration system were 0.95 and 0.85 W/Baht. The greenhouse for the experiment and simulation was 4x12x3.7 m^3 with a cover of polyethylene film, 0.25 mm in thickness. The appropriate thermosyphons for evaporative cooling of the greenhouse and the refrigeration system for the nutrient solution were as follows: Copper tubes with diameters of 22.3 and 12.5 mm, 60 and 36 tubes, evaporator and condenser section lengths of 800 and 200 mm for the thermosyphons for evaporative cooling, and evaporator and condenser

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

section of equal lengths of 200 mm for the thermosyphon for the refrigeration system of the nutrient solution, R134 as the working fluid at a filling ratio of 50 % of evaporator volume. A simulated model of an aeroponic system with a thermosyphon was created in order to find the energy saving of an aeroponic system by comparing it to an aeroponic system without a thermosyphon. The optimal condition for growing Okayama and Fancy Red lettuces was found to be at greenhouse and nutrient solution temperatures of 25 and 20 ^{o}C with a chamber length of 300 mm. Thus, the thermosyphon can reduce the energy consumption for evaporative cooling by 21.6 %. From the experimental results it was found that the energy consumption was reduced by 22.6 %. From the simulation results, energy consumption of the refrigeration system for the nutrient solution was reduced by 20.21 %, and the experimental results showed a reduction of 25.37 %. The economic analysis shows that the internal rate of return (IRR) was about 10.31% and the pay back period was 5.7 years. These results show that the simulated model of an aeroponic system with a thermosyphon can be used to predict the energy saving under aeroponic system condition.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved