การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การศึกษารีเจนเนอร์เรเตอร์สำหรับเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ กรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม

A Study of Regenerator Used in Fluidyne Engine in A Case of Tuning Column Configuration with Merged Cylinders

การุญ ฟังสุวรรณรักษ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
12 ถนนมิตรภาพ-หนองคาย ตำบลหมื่นไวย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
Tel: 044-255523-4 Fax: 044-271317 E-mail: karoonf@yahoo.com

Karoon Fangsuwannarak
Department of Mechanical Engineering,Faculty of Engineering,Vongchavalitkul University
12 Mittaphat Road Thumbonmuangwai Aumpermuang Nakhonratchasima 30000
Tel: 044-255523-4 Fax: 044-271317 E-mail: karoonf@yahoo.com

บทคัดย่อ

เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ สามารถนำพลังงานเหลือทิ้ง เช่น พลังงานความร้อนจากการเผาขยะ และพลังงานเกรดต่ำที่เหลือใช้จากการผลิตมาใช้ขับเคลื่อนเพื่อให้เกิดงานได้ แต่โดยทั่วไปมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงวิธีการลดการสูญเสียพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยการใช้รีเจนเนอเรเตอร์ทำงานร่วมกับเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ กรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม วัสดุที่ใช้ในการสร้างรีเจนเนอเรเตอร์คือ ทองแดง ซึ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าความยาวของแต่ละด้าน 1 เซนติเมตร มีขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร และสูง 4 เซนติเมตร น้ำหนักและพื้นที่ของรีเจนเนอเรเตอร์ อยู่ระหว่าง 0.3576-3.67 กิโลกรัม และ0.0667-0.685 ตารางเมตร ตามลำดับ รีเจนเนอเรเตอร์จะเป็นตัวกักเก็บความร้อนที่ได้จากการถ่ายเทระหว่างท่อทางด้านร้อนและด้านเย็น ซึ่งถูกติดตั้งเข้ากับท่อลดแรงดัน ประโยชน์ของเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์สำหรับโครงสร้างชนิดนี้ได้ถูกนำไปประยุกต์สำหรับสูบน้ำในงานเกษตรกรรม ซึ่งทำการต่อปั๊มแบบอนุกรมที่ความสูง 1 เมตร และได้ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อดิสเพลสเซอร์ 2.625 นิ้ว ท่อด้านร้อนและท่อด้านเย็น 1.75 นิ้ว ท่อลดแรงดัน 0.25 นิ้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อจูนนิ่งคอลัมน์ 0.5 นิ้ว จากผลการทดลองพบว่าเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ที่ไม่ได้ทำการติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์สามารถสูบน้ำได้ 175 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิด้านร้อน 550-600 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิด้านเย็น 27-30 องศาเซลเซียส และเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ที่ได้ทำการติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์สามารถสูบน้ำได้ 251.5 ลิตรต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิด้านร้อน 400-450 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิด้านเย็น 32-34 องศาเซลเซียส จากการศึกษานี้จึงสนับสนุนเหตุผลของการติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์ในเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์เพื่อประยุกต์ใช้ได้ดีกว่าในงานเกษตรกรรมได้จริงในอนาคต

Abstract

Fluidyne engine that is able to use wasted energy or free energy, such as thermal power from burning rubbish and low grade of wasted energy from other manufactures, drives in order to achieve work. However, it considerably generates no high efficiency. This study, therefore, investigates a method of decrease of power loss and a way of energy reuse at same time. It can be succeeded by the use of the regenerator to be coupled with the fluidyne engine. In a case of tuning column connection with merged cylinders, the established regenerator made from coppers has its symmetrical triangle base of each size 1 cm. Its width, length and height are of 5, 13 and 4 cm., respectively. Its weight and area are of around 0.3576 - 3.670 kg. And 0.0667 – 0.685 m^2, respectively. The regenerator is able to conserve its inside temperature level during heat transfer from hot to cold cylinders by which both cylinders are connect with its. One of the

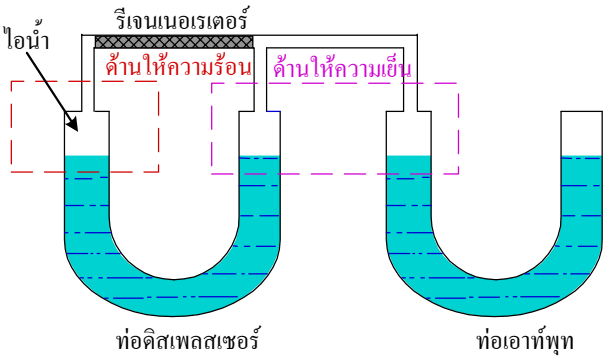
main uses of the fluidyne engine is to apply for water pumping in agriculture. A pump in series of 1 m. in height coupled with the end of displacer is also included in this application. Furthermore, there is selection to use the horizontal displacer of 2.625 inches in diameter, the hot and cold cylinders of the vertical displacers of 1.75 and 0.25 inches in diameters, respectively, and also tuning column of 0.5 inches in diameter. The result of this study is indicated that the fluidyne engine, which has no regenerator, is able to pump the amount of water to only 175 liters per hour at the temperature within the hot cylinder between 550 and 600 ^{o}C, and the cold cylinder around 27-30^{o}C. On the other hand, the other that includes the regenerator, is achieved to pump more the amount of water to 251.5 liters per hour at the temperature of the hot cylinder between 400 and 450 ^{o}C, and the cold cylinder around 32-34^{o}C. This asserts that established regenerator in fluidyne engine could be for the best of application in genuine practice for agriculture in the future.

1.บทนำ

เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ (Fluidyne Engine) หรือเครื่องยนต์สเตอร์ลิงลูกสูบของเหลว(Liquid Piston Stirling Engine) เป็นเครื่องยนต์ความร้อน(Heat Engine) ชนิดหนึ่งทำงานโดยอาศัยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นที่พอเหมาะทำให้ลูกสูบที่เป็นของเหลวเกิดการแกว่งไกว (Oscillate) เกิดงานขึ้น เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์อย่างง่ายใช้อุปกรณ์การสร้างไม่ยุ่งยากเหมือนเครื่องยนต์ชนิดอื่น ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ที่เป็นของแข็งอันเป็นสาเหตุหลักของการสึกกร่อนเหมือนเครื่องยนต์ทั่วไปทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา พลังงานที่ใช้สามารถใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังงานเกรดต่ำที่เหลือใช้จากการผลิต และพลังงานความร้อนจากการเผาขยะ แต่เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์โดยทั่วไปยังคงมีประสิทธิภาพต่ำ แต่อย่างไรก็ตามจุดนี้ก็ไม่สำคัญไปกว่าการที่จะนำเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์มาใช้กับพลังงานได้เปล่า ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาถึงการพัฒนาเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความร้อน คือ นำความร้อนที่ต้องสูญเสียไปในเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์กลับมาใช้ใหม่ โดยวิธีสร้างรีเจนเนอร์เรเตอร์ทำงานร่วมกับเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ ซึ่งทำการต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม

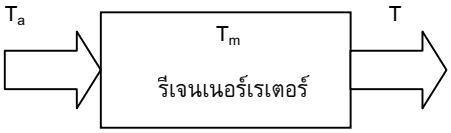
2.หลักการทำงาน

หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์[1] ท่อรูปตัว U ด้านซ้ายมือทำหน้าที่เป็นท่อดิสเพลสเซอร์ และท่อทางด้านขวามือทำหน้าที่เป็นเอาท์พุท สมมติว่าน้ำในท่อดิสเพลสเซอร์เริ่มแกว่งไกวจากด้านหนึ่งของท่อรูปตัว U ไปอีกด้านหนึ่งและกลับคืน อากาศในช่องปิดเหนือระดับน้ำของท่อดิสเพลสเซอร์ส่วนมากจะอยู่ทางท่อด้านร้อนซ้ายมือ อากาศส่วนมากจะร้อน ความดันสูงขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดแรงกระทำกับน้ำในท่อเอาท์พุท เพื่อเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา ครึ่งคาบเวลาต่อมา น้ำในท่อดิสเพลสเซอร์จะแกว่งไกวกลับไปในอีกด้านหนึ่ง อากาศส่วนมากจะอยู่ทางท่อด้านเย็น ความดันจะลดลงดึงน้ำในท่อดิสเพลสเซอร์กลับจากขวาไปซ้าย พิจารณารูปที่ 1 แสดงเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ที่ติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์ เมื่ออากาศร้อนเคลื่อนที่ไปทางด้านเย็น พลังงานความร้อนที่จะถ่ายเทออกในส่วนนี้ก็ถูกเก็บไว้ในรีเจนเนอร์เรเตอร์ ในขณะเดียวกันเมื่ออากาศจากด้านเย็นเคลื่อนที่ไปทางด้านร้อน รีเจนเนอร์เรเตอร์ก็จะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับลำอากาศ ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานความร้อนและทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์สูงขึ้น



รูปที่ 1 เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ที่ติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์

ทฤษฎีที่ใช้ออกแบบ



รูปที่ 2 แสดงแผนผังของรีเจนเนอร์เรเตอร์

พิจารณารูปที่ 2 เมื่ออากาศร้อนอุณหภูมิ (T_a) ผ่านเข้าไปในรีเจนเนอร์เรเตอร์ จะทำให้อุณหภูมิของวัสดุที่ใช้ทำรีเจนเนอร์เรเตอร์ร้อนขึ้นเป็นอุณหภูมิ (T_m) แล้วอากาศก็ออกไปสู่ด้านเย็นอุณหภูมิ (T) ซึ่งความร้อนที่สูญหายไปจะถูกสะสมไว้ที่รีเจนเนอร์เรเตอร์ และพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามเวลาและระยะทาง ซึ่งสามารถเขียนสมการการถ่ายเทความร้อนได้จากสมการที่ (1) และสมการที่ (2)

$$hA\left(T_m - T_a\right) = \dot{m}_a c_a L \frac{T_a}{X} + m_a c_a \frac{T}{t} \qquad (1)$$

$$hA\left(T_a - T_m\right) = m_m c_m \frac{T_m}{t} \qquad (2)$$

จากสมการที่ (1) และสมการที่ (2) พบว่าอุณหภูมิเป็นฟังก์ชันของระยะทางและเวลา ดังนั้นจะพิจารณาให้พื้นผิวของรีเจน

เนอร์เรเตอร์ มีอุณหภูมิคงที่ตลอดผิวตามเวลาหนึ่ง คือพิจารณาเป็นแบบก้อน เมื่ออัตราการสะสมพลังงานภายในปริมาตรควบคุมเท่ากับอัตราการไหลของความร้อนออกจากปริมาตรควบคุม หาได้จากสมการ

$$Ah\left[T_\alpha - T(t)\right] = -\rho C_P V \frac{dT(t)}{dt} \qquad (3)$$

$$\frac{dT(t)}{dt} + \frac{Ah}{\rho C_P V}\left[T(t) - T_\alpha\right] = 0 \quad \text{สำหรับ } t > 0 \qquad (4)$$

โดยมีเงื่อนไขเริ่มต้น

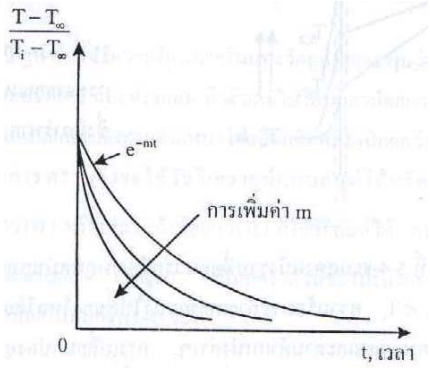
$$T(t) = T_0 \qquad \text{สำหรับ } t = 0 \qquad (5)$$

สำหรับการวิเคราะห์การพาอุณหภูมิอธิบายได้ตามสมการที่ (6)

$$\phi(t) = T(t) - T_\alpha \qquad (6)$$

ดังนั้นสมการที่ (4) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการที่ (7)

$$\frac{d\phi(t)}{dt} + m\phi(t) = 0 \qquad \text{สำหรับ } t > 0 \qquad (7)$$



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลา

$$\phi(t) = T_0 - T_\alpha \quad ; \quad \phi(0) \quad \text{สำหรับ } t = 0 \qquad (8)$$

$$m = \frac{Ah}{\rho C_P V} \qquad (9)$$

ได้ผลเฉลยจากสมการที่ (3) คือ

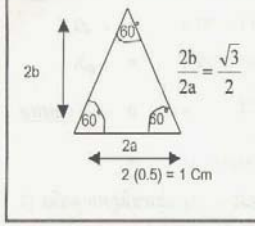
$$e^{-mt} = \frac{T(t) - T_\alpha}{T_0 - T_\alpha} \qquad (10)$$

การไหลภายในท่อที่มีลักษณะหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า ค่า Nusselt number และค่าตัวประกอบความเสียดทาน สำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อ สามารถอธิบายด้วยค่าเส้าผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกดังสมการที่ (11)

$$D_h = \frac{4A_C}{P} \qquad (11)$$

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้จากสมการที่(12) สมมติให้อากาศไหลในท่อที่มีอุณหภูมิคงที่ตลอดทั้งผิว และเลือกรูปแบบของท่อสามเหลี่ยมด้านเท่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวเลขนัสเซ็ลท์สำหรับการไหลแบบราบเรียบ

Geometry	Nut
	2.47

$$h = \frac{(Nut)K_a}{D_h} \qquad (12)$$

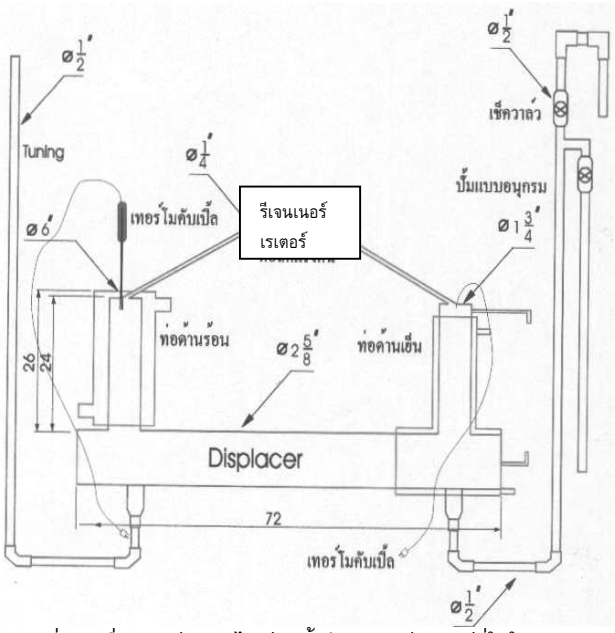
ในการหาน้ำหนักของรีเจนเนอร์เรเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ (13)

$$Q = MC_P(\Delta T)_a \qquad (13)$$

ในการหาพื้นที่ของรีเจนเนอร์เรเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ (14)

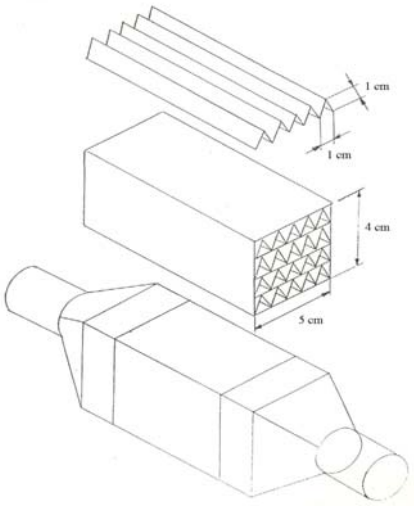
$$Q = hA(\Delta T)_m \qquad (14)$$

3. อุปกรณ์ในการทดลอง



รูปที่ 4 เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ขนาดเล็ก กรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม พร้อมกับติดตั้งชุดรีเจนเนอร์เรเตอร์ที่ท่อลดแรงดันระหว่างท่อด้านร้อนและท่อด้านเย็น รวมไปถึงติดตั้งชุดตรวจจับระบบดิจิตอลเพื่อวัดปริมาณทางฟิสิกส์จริงแสดงดังรูปที่ 4 และได้ทำการศึกษาหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมที่สุด การประมาณอุณหภูมิในการทำงานของรีเจนเนอร์เรเตอร์ ได้ประมาณไว้เป็นช่วงคือ 400-450 องศาเซลเซียส โดยจะแสดงผลในรูปของมวลและพื้นที่ในการรับความร้อนของรีเจนเนอร์เรเตอร์ ซึ่งน้ำหนักของรีเจนเนอร์เรเตอร์อยู่ระหว่าง 0.3576-3.67 กิโลกรัม และพื้นที่ของรีเจนเนอร์เรเตอร์อยู่ระหว่าง 0.0667-0.685 ตารางเมตร รีเจนเนอร์เรเตอร์ทำจากทองแดง มีพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่าความยาวของแต่ละด้าน 1 เซนติเมตร มีขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร และสูง 4 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ลักษณะของรีเจนเนอร์เรเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 สร้างรีเจนเนอร์เรเตอร์ในช่วงของมวลและพื้นที่ที่ออกแบบ โดยชั่งมวลและคำนวณพื้นที่

3.1.2 สร้างอุปกรณ์จำลองการทำงานของเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์

3.1.3 ประกอบรีเจนเนอร์เรเตอร์กับอุปกรณ์การทำงาน

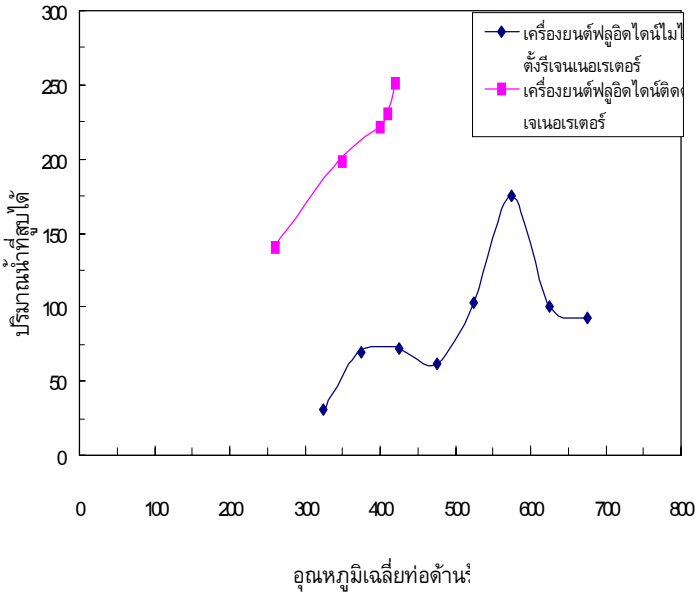
3.1.4 ทำการวัดอุณหภูมิอากาศทางเข้า และอุณหภูมิอากาศทางออกของรีเจนเนอร์เรเตอร์ พร้อมกับบันทึกข้อมูล

3.1.5 ทำการวัดอุณหภูมิของวัสดุที่ใช้ทำรีเจนเนอร์เรเตอร์โดยเฉลี่ยตามระยะทาง

3.1.6 หลังจากนั้นก็นำรีเจนเนอร์เรเตอร์ที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดและสามารถเก็บความร้อนได้ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองในหัวข้อข้างต้น ไปทำการติดตั้งกับเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ กรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม

4. ผลการทดลอง

ได้ทำการทดสอบเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ที่ติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์ กรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม โดยได้ประยุกต์ใช้ในงานสูบน้ำที่ความสูง 1 เมตร เป็นการต่อปั๊มแบบอนุกรม เพื่อประยุกต์ใช้ในงานเกษตรกรรม แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่สูบได้ (ลิตร/ชั่วโมง) และอุณหภูมิทางท่อด้านร้อน (องศาเซลเซียส) ในกรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของปริมาณน้ำที่สูบได้ และอุณหภูมิทางขาเข้าที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ในกรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม จากกราฟพบว่าเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ที่ไม่ได้ติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์สามารถสูบน้ำได้ปริมาณสูงสุดที่ 175 ลิตร/ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิในช่วง 550 °C ถึง 600 °C ในส่วนเครื่อง

ยนต์ฟลูอิดไดน์ที่ได้ทำการติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์สามารถสูบน้ำได้ปริมาณสูงสุดที่ 251.5 ลิตร/ชั่วโมง ที่ระดับอุณหภูมิในช่วง 400 $^{\circ}$C ถึง 450 $^{\circ}$C

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทำงานของรีเจนเนอร์เรเตอร์ที่ใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ในกรณีต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวม จากผลการทดสอบหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมพบว่าอุณหภูมิที่ป้อนให้แก่ระบบในกรณีติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์มีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์ และสามารถสูบน้ำได้มากกว่า 0.69 เท่า จึงสรุปได้ว่าเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์ที่ติดตั้งรีเจนเนอร์เรเตอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานเกษตรกรรมได้จริงในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. รายการสัญลักษณ์

A	พื้นที่ผิวสัมผัส	m^2
A_C	พื้นที่หน้าตัด	m^2
C_P	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	J/kg K
C_a	ความร้อนจำเพาะของอากาศ	J/kg K
C_m	ความร้อนจำเพาะของวัสดุ	J/kg K
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก	m
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา	W/m^2 K
K_a	ค่าการนำความร้อนของอากาศ	W/m$^{\circ}$C
L	ระยะทางรีเจนเนอร์เรเตอร์	m
M	น้ำหนักของรีเจนเนอร์เรเตอร์	kg
m	มวลของรีเจนเนอร์เรเตอร์	kg
$\dot{m}$	อัตราการไหลอากาศ	kg/s
m_a	มวลของอากาศ	kg
m_m	มวลของวัสดุ	kg
P	ความยาวเส้นรอบรูป	m
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	Watts
t	เวลา	s
$(\Delta T)_a$	อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิออกแบบ	^{0}C
$(\Delta T)_m$	อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิออกแบบ	^{0}C
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}$C
T_m	อุณหภูมิวัสดุ	$^{\circ}$C
T_a	อุณหภูมิอากาศ	$^{\circ}$C
T(t)	อุณหภูมิอากาศ ณ เวลาใดๆ	$^{\circ}$C
T_α	อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ	$^{\circ}$C
V	ปริมาตรของรีเจนเนอร์เรเตอร์	m^3
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3

เอกสารอ้างอิง

[1] การุญ ฟังสุวรรณรักษ์, “เครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์กรณีศึกษาการต่อท่อจูนนิ่งคอลัมน์แบบกระบอกสูบรวมและกระบอกสูบแยก”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, ปี พ.ศ. 2545, หน้า 602-607

[2} ทิพย์วรรณ ฟังสุวรรณรักษ์., “การศึกษาเครื่องยนต์ฟลูอิดไดน์และการประยุกต์ใช้งาน” โครงงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปี 2544.

[3] L.Yu and O.R.Fauvel. “Development of A Composite Fluidyne Regenerator”, American Institute of Aeronautics and Astronautics,Inc. All rights reserved., 1994, pp.1908-1910