ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ก.1 การหาระยะการเจียรนัยฝาสูบเพื่อปรับอัตราส่วนการอัด

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องยนต์ NISSAN sunny A-12 เป็นต้นกำลังขับหมุนเพื่อเอาชนะความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า และเครื่องยนต์นี้มีรายละเอียดดังแสดงในข้อมูลข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ ภาคผนวก ข ซึ่งหนึ่งในรายละเอียดนั้นมีส่วนหนึ่งที่ต้องกระทำก่อนการนำเครื่องยนต์นี้ไปใช้กับก๊าซชีวภาพ ได้แก่ อัตราส่วนการอัด(Compresstion ratio; ε) ซึ่งมีค่าเป็น 9 จึงควรที่จะต้องทำการปรับแต่งโดยการเจียรนัยฝาสูบเพื่อปรับอัตราส่วนการอัดให้เหมาะสมกับการนำมาใช้กับก๊าซชีวภาพ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับอัตราส่วนการอัดให้มีค่า = 11 โดยมีการคำนวณหาระยะการเจียรนัยฝาสูบไว้ดังนี้

จากสมการที่ 2.6 $V_{dc} = \frac{\pi D^2}{4} L$

โดยที่ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ = 73 mm

L คือ ระยะชักเครื่องยนต์ = 70 mm

$\therefore$ ปริมาตรกวาด $(V_{dc}) = \frac{\pi \times 73^2}{4} \times 70 = 292{,}977.08 \ mm^3$

และอัตราส่วนการอัดเดิมมีค่า = 9 ฉะนั้นปริมาตรที่ทำให้เกิดอัตราส่วนการอัด 9:1 (x)หาได้ดังนี้

$$\frac{9}{1} = \frac{292{,}977.08}{x} \Rightarrow x = 32{,}553.01 \ mm^3$$

และอัตราส่วนการอัดที่ต้องการคือ 11 ฉะนั้นปริมาตรที่ทำให้เกิดอัตราส่วนการอัด 11:1 (y) หาได้ดังนี้

$$\frac{11}{1} = \frac{292{,}977.08}{y} \Rightarrow y = 26{,}634.28 \ mm^3$$

$\therefore$ ปริมาตรที่เปลี่ยนไป$(\Delta V) = 32{,}553.01 - 26{,}634.28 = 5{,}918.73\ 33 \ mm^3$

และหาระยะการเจียรนัยฝาสูบ(Δh) เพื่อปรับอัตราส่วนการอัดจาก 9 ไปเป็น 11 ดังนี้

จากสมการที่ 2.11 $\Delta h = \frac{4\Delta V}{\pi D^2}$

แทนค่าจะได้ $= \frac{4 \times 5{,}918.73}{\pi \times 73^2} = 1.414 \ mm$

$\therefore$ จะต้องเจียรนัยฝาสูบออก 1.414 mm เพื่อปรับอัตราส่วนการอัดจาก 9 ไปเป็น 11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.2 การหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎี (AFR_{idel})

ในการคำนวณหาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในทางทฤษฎีในที่นี้จะใช้วิธีการทางเคมีของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการวิจัยทดสอบนี้ได้จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพขนาด 100 m^3 จำนวน 2 บ่อ ณ สถานบริการก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.แม่เหียะ จ.เชียงใหม่ ซึ่งจากการทดสอบในทางเคมีพบว่าก๊าซชีวภาพจากสถานบริการก๊าซชีวภาพมีปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนประกอบหลัก โดยมีปริมาณเป็น 74% และ 25% โดยปริมาตรตามลำดับ ที่เหลืออีก 1% เป็นก๊าซอื่นๆ ที่ไม่ช่วยในการติดไฟ

ในการคำนวณนี้จะใช้วิธีการคำนวณหาปริมาณอากาศ ที่ต้องการโดยน้ำหนักและโดยปริมาตร สำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง จำนวน 1 kg และ1 m^3 ตามลำดับดังต่อไปนี้

CH_4 จำนวน 74 % คิดเป็น 0.74 kg และ 0.74 m^3 ตามลำดับ

CO_2 จำนวน 25 % คิดเป็น 0.25 kg และ 0.25 m^3 ตามลำดับ

วิเคราะห์โดยมวล

สมการการสันดาป ; $2\,CO + O_2 = 2CO_2$ (จากสมการที่ 2.16)

สัดส่วนโดยมวล ; $2(12+16)+(2\times16) = 2(12+32)$

$56 + 32 = 88$

88 หารตลอดจะได้ $1\frac{4}{11} + \frac{4}{11} = 11$

แทนค่าหน่วยมวลด้วย kg ลงในสมการจะได้

$$1\frac{4}{11}\ \text{kg CO} + \frac{4}{11}\ \text{kg O}_2 = 1\ \text{kg CO}_2$$

$\therefore$ 1 kg CO_2 ต้องการ $O_2 = \frac{4}{11}$ kg

$\therefore$ 0.25 kg CO_2 ต้องการ $O_2 = 0.25\times\frac{4}{11} = 0.091$ kg

สมการการสันดาป ; $CH_4 + 2\,O_2 = CO_2 + 2\,H_2O$ (จากสมการที่ 2.18)

สัดส่วนโดยมวล ; $(12+4)+(2\times32) = (12+32)+2(2+16)$

$16 + 64 = 44 + 36$

16 หารตลอดจะได้ $1 + 4 = 2.75 + 2.25$

แทนค่าหน่วยมวลด้วย kg ลงในสมการจะได้

$$1\ \text{kg CH}_4 + 4\ \text{kg O}_2 = 2.765\ \text{kg CO}_2 + 2.25\ \text{kg H}_2\text{O}$$

$\therefore$ 1 kg CH_4 ต้องการ $O_2 = 4$ kg

$\therefore$ 0.74 kg CH_4 ต้องการ $O_2 = 0.74\times4 = 2.96$ kg

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$\therefore$ ปริมาณ O_2 ที่ต้องการทั้งหมด = 0.091 + 2.96 = 3.051 kg

จากอากาศ 100% มี O_2 จำนวน 23.2 % โดยน้ำหนัก (จากตารางที่ 2.6)

$\therefore$ O2 จำนวน 23.2 kg มีอากาศ = 100 kg

$\therefore$ O2 จำนวน 3.051 kg มีอากาศ = $\frac{3.051 \times 100}{23.2}$ = 13.151 kg

$\therefore$ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยน้ำหนักที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (AFR_{ideal}) = 13.151 kg/kg

วิเคราะห์โดยปริมาตร

สมการการสันดาป ; $2\,CO + O_2 = 2CO_2$ (จากสมการที่ 2.16)

สัดส่วนโดยปริมาตร ; 2 + 1 = 2

2 หารตลอดจะได้ 1 + 0.5 = 1

แทนค่าหน่วยปริมาตรด้วย m^3 จะได้

$1\,m^3\,CO + 0.5\,m^3\,O_2 = 1\,m^3\,CO_2$

$\therefore$ 1 m3 CO_2 ต้องการ O_2 = $0.5\,m^3$

$\therefore$ 0.25 m3 CO_2 ต้องการ O_2 = 0.25×0.5 = $0.125\,m^3$

สมการการสันดาป ; $CH_4 + 2\,O_2 = CO_2 + 2\,H_2O$ (จากสมการที่ 2.18)

สัดส่วนโดยปริมาตร ; 1 + 2 = 1 + 2

แทนค่าหน่วยปริมาตร m^3 ลงในสมการจะได้

$1\,m^3\,CH_4 + 2\,O_2 = 1\,m^3\,CO_2 + 2\,m^3\,H_2O$

$\therefore$ 1 m^3 CH_4 ต้องการ O_2 = $2\,m^3$

$\therefore$ 0.74 m^3 CH_4 ต้องการ O_2 = 0.74×2 = $1.48\,m^3$

$\therefore$ ปริมาณ O_2 ที่ต้องการทั้งหมด = 0.125 + 1.48 = $1.605\,m^3$

จากอากาศ 100% มี O_2 จำนวน 21% โดยปริมาตร (จากตารางที่ 2.6)

$\therefore$ O_2 จำนวน 21 m^3 มีอากาศ = $100\,m^3$

$\therefore$ O_2 จำนวน 1.605 m^3 มีอากาศ = $\frac{1.605 \times 100}{21}$ = $7.643\,m^3$

$\therefore$ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยปริมาตรที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (AFR_{ideal}) = 7.643 m^3/m^3

ในการวิจัยนี้ จะใช้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยปริมาตร เพื่อใช้คำนวณค่าต่างๆ จากตารางบันทึกผลการทดสอบ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ใช้มีสถานะเป็นก๊าซและไม่สามารถทำให้มีสถานะเป็นของเหลวได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.3 การหาปริมาณออกซิเจน (O_2) ในไอเสีย

การหาปริมาณออกซิเจน(O_2)ในไอเสียจะเป็นเครื่องบ่งบอกได้ว่าที่สภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องยนต์ (ประสิทธิภาพสูงสุด) นั้นเกิดปริมาณออกซิเจนจากอากาศส่วนเกินเท่าใด เพื่ออำนวยความสะดวกในกรณีที่ทำการเคลื่อนย้ายเครื่องยนต์ชุดนี้ไปทดสอบหรือทำงาน ณ แหล่งอื่น โดยเพียงแต่ตรวจจับปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียให้ได้ค่าตามที่เกิดขึ้นในขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานที่ดีที่สุดนี้ ก็จะได้จุดที่มีประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงสุด โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

จากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยน้ำหนัก (AFR_{ideal}) = 13.151

และอัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (excess air ratio; λ) = 1.021

ดังนั้น ค่า Excess air ratio; λ = 1 จะมีอากาศ = 13.151 kg

และค่า Excess air ratio; λ = 1.021 จะมีอากาศ = 1.021×13.151 kg = 13.427 kg

ดังนั้น อากาศที่เกินกว่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Excess air) = 13.427 – 13.151 = 0.276 kg

อากาศที่เกินมา 0.276 kg นี้จะเป็น O_2 และ N_2 โดยมีปริมาณดังนี้

O_2 = 0.233×0.276 = 0.064 kg

(ค่า 0.233 คือ ออกซิเจนในอากาศ 23.3% โดยน้ำหนัก (จากตารางที่ 2.6)

N_2 = 0.768×0.276 = 0.212 kg

(ค่า 0.768 คือ ไนโตรเจนในอากาศ 76.8% โดยน้ำหนัก (จากตารางที่ 2.6)

และ O_2 23.3 kg จะมี N_2 = 76.8 kg (จากตารางที่ 2.6)

$\therefore$ O_2 0.064 kg จะมี N_2 = $\frac{0.064 \times 76.8}{23.3}$ = 0.211 kg

ดังนั้น N_2 ทั้งหมดในไอเสีย = 0.211 + 0.211 = 0.422 kg

เปลี่ยนน้ำหนักของไอเสียข้างต้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และโดยน้ำหนักได้ดังนี้

ส่วนประกอบไอเสีย	สัดส่วนโดยน้ำหนัก	สัดส่วนโมเลกุล	อัตราส่วนโดยปริมาตร	เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
	A	b	$C=\frac{a}{b}$	$D=\left(\frac{C}{0.017}\right)\times 100$	$E=\left(\frac{D}{100}\right)\times b$	$F=\left(\frac{E}{28.4702}\right)\times 100$
O_2	0.064	32	0.002	11.76	3.7632	13.22
N_2	0.422	28	0.015	88.24	24.7072	86.78
			0.017	100	28.4702	100

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.4 การหาสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วที่แท้จริงของอากาศและก๊าซชีวภาพ

ในการทดลองการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพนี้ ใช้เครื่องมือในการวัดความเร็วของอากาศที่เข้าเครื่องยนต์และความเร็วของก๊าซชีวภาพที่เข้าไปผสมกับอากาศเป็นไอดี ในที่นี้ใช้อุปกรณ์วัดความเร็วที่เรียกว่า Pitot tube เพื่อที่จะวัดความเร็วของอากาศและก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศและก๊าซชีวภาพต่อไป และทั้งนี้ทั้งอากาศและก๊าซชีวภาพที่ทำการตรวจวัด มีอุณหภูมิและความดัน ที่ไม่ใช่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน ดังนั้นจึงไม่สามารถนำค่าที่วัดได้ไปแทนลงในสมการที่ใช้หาความเร็ว ณ สภาวะมาตรฐานได้ จึงต้องมีการคำนวณเพื่อหาสมการตัวใหม่ที่ใช้หาความเร็ว ณ สภาวะที่ตรวจวัดได้จึงจะทำให้ผลการคำนวณถูกต้อง แม่นยำและเป็นจริง โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

ก.4.1 หาสมการเพื่อใช้คำนวณความเร็วของอากาศที่แท้จริงดังนี้

หาค่าความถ่วงจำเพาะของอากาศ ($\rho_{air,act}$) จากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.3

$$\rho_{air,act} = \rho_{air,std} \times \left(\frac{P_{act} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{act}} \right)$$

โดยที่ ความถ่วงจำเพาะมาตรฐานของอากาศ ($\rho_{air,std}$) = 1.31 kg/m^3 [30,31]

อุณหภูมิบรรยากาศมาตรฐาน (T_{std}) = 0 ^0C = 273 ^0K [16,31]

อุณหภูมิบรรยากาศจริง (T_{act}) เฉลี่ย = 29.34 ^0C = 302.34 ^0K (จากการทดสอบ)

ความดันบรรยากาศมาตรฐาน (P_{std}) = 1013 mbar [16,30,31]

ความดันบรรยากาศจริง (P_{act}) = 1008 mbar (ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา จ.เชียงใหม่)

$$\therefore \quad \rho_{air,act} = 1.31 \times \left(\frac{1008 \times 273}{1013 \times 302.34} \right) = 1.18 \ kg/m^3$$

และ 16.019 kg/m^3 = 1 lb/ft^3

$$\therefore \quad 1.18 \ kg/m^3 = \frac{1.18}{16.019} = 0.074 \ lb/ft^3$$

จากสมการที่ 2.25 $\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648\,H}{\rho_f}$

แทนค่า $\rho_{air,act}$ = 0.074 lb/ft^3 จะได้

$$\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648\,H}{0.074} = 4518\,H$$

$\therefore$ ความเร็ว ($V_{air,act}$) $= 4032\sqrt{H}$ ft/min (H ในหน่วย in. H_2O)

ก.4.2 หาสมการเพื่อใช้คำนวณความเร็วของก๊าซชีวภาพที่แท้จริงดังนี้

หาค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซชีวภาพ (ρ_{bg})จากสมการที่ 2.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\rho_{bg} = \frac{P_t \times M_w}{R_u \times T_{bg}}$$

โดยที่ ความดันบรรยากาศจริง ($P_{air,act}$) = 1008 mbar = 1.008 bar (กรมอุตุนิยมวิทยา จ.เชียงใหม่)

ความดันก๊าซชีวภาพ (P_{bg}) = 0.4 mbar = 0.0004 bar (จากการทดสอบ)

$\therefore$ ความดันรวม (P_t) = 1.008 + 0.0004 = 1.0084 bar

และ 1 bar = 10^5 N/m^2

$\therefore$ 1.0084 bar = $1.0084 \times 10^5 = 100840$ N/m^2

และ $M_W = X_{CO_2} M_{CO_2} + X_{CH_4} M_{CH_4}$

ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพมีปริมาณมีเทน(CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ 74% และ 25% โดยปริมาตรตามลำดับ

$\therefore$ $M_W = (0.25 \times 44) + (0.74 \times 16) = 22.84$ kg/kmol

ค่าคงที่สากลของก๊าซ (R_U) = 8314.3 N.m/kmol.^{0}K [18]

อุณหภูมิก๊าซชีวภาพ (T_{bg}) เฉลี่ย = 32.34 ^{0}C = 305.34 ^{0}K (จากการทดสอบ)

$\therefore$ $\rho_{bg} = \frac{100840 \times 22.84}{8314.3 \times 305.34} = 0.907$ kg/m^3

และ 16.019 kg/m^3 = 1 lb/ft^3

$\therefore$ 0.907 kg/m^3 = $\frac{0.907}{16.019} = 0.057$ lb/ft^3

จากสมการที่ 2.25 $\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648H}{\rho_f}$

แทนค่า $\rho_{bg,act} = 0.057$ lb/ft^3 จะได้

$\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648H}{0.057} = 5866H$

$\therefore$ ความเร็ว ($V_{bg,act}$) = $4595\sqrt{H}$ ft/min (H ในหน่วย in. H_2O)

ก.5 การคำนวณหาตำแหน่งในการวัดความเร็วของก๊าซในรูปของความดันความเร็วโดย Pitot tube ในแนวรัศมีท่อก๊าซ

ในการทดลองนี้ได้ใช้ Pitot tube ในการวัดความดันในรูปของ Static pressure และ total pressure โดยผลความแตกต่างของความดันทั้ง 2 นี้ จะแสดงออกมาในรูปของความดันความเร็วในหน่วยนิ้วน้ำ โดยจะทำการวัดทั้งสิ้น 5 จุด จากแนวรัศมีท่ออากาศและท่อก๊าซ โดยจะแบ่งพื้นที่หน้าตัดของท่อออกเป็นรูปวงแหวน 4 ส่วนเท่าๆกัน และจุดการวัดความดันเฉลี่ยจะอยู่ที่จุดเส้นแบ่งพื้นที่ของวงแหวนออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน ดังนั้นจุดการวัดความดันเฉลี่ย ที่นำไปใช้ในการคำนวณหา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเร็วจึงเหลือเพียง 4 จุด (ไม่นับจุดกึ่งกลางท่อ) โดยมีการคำนวณหาระยะของจุดทั้ง 4 จุดดังต่อไปนี้

ก.5.1 การหาระยะของจุดการวัดโดย Pitot tube ทั้ง 4 จุด ของท่ออากาศซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 56 mm ดังนี้

พื้นที่หน้าตัดรวมของท่อ (A) $= \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 56^2}{4} = 2463.00864$ mm^2

แบ่งออกเป็นวงแหวน 4 ส่วน $= \frac{A}{4} = \frac{2463.00864}{4} = 615.75216$ mm^2

$\therefore$ พื้นที่หน้าตัดวงแหวนแต่ละส่วน (A_1) ที่เท่ากัน $= 615.75216$ mm^2

หาระยะการวัดจากจุดศูนย์กลางท่อที่ 1(R_1) จาก $\frac{A_1}{2} = \frac{615.75216}{2} = 307.87608$ mm^2

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \times 307.87608}{\pi}} = 19.8 \text{ mm}$$

$$\therefore R_1 = \frac{D_1}{2} = 9.9 \text{ mm}$$

หาระยะการวัดจากจุดศูนย์กลางท่อที่ 2 (R_2) จาก $A_1 + \frac{A_1}{2} = 61575216 + 307.87608$

$= 923.62824$ mm^2

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \times 923.62824}{\pi}} = 34.29 \text{ mm}$$

$$\therefore R_2 = \frac{D_2}{2} = 17.15 \text{ mm}$$

หาระยะการวัดจากจุดศูนย์กลางท่อที่ 3 (R_3) จาก $A_1 + \left(\frac{3A_1}{2}\right) = 615.75216 + (3 \times 307.87608)$

$= 1539.3804$ mm^2

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \times 1539.3804}{\pi}} = 44.27 \text{ mm}$$

$$\therefore R_3 = \frac{D_3}{2} = 22.14 \text{ mm}$$

หาระยะการวัดจากจุดศูนย์กลางท่อที่ 4 (R_4) จาก $A_1 + \left(\frac{5A_1}{2}\right) = 615.75216 + (5 \times 307.87608)$

$= 2155.13256$ mm^2

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \times 2155.13256}{\pi}} = 52.38 \text{ mm}$$

$$\therefore R_4 = \frac{D_4}{2} = 26.19 \text{ mm}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.5.2 การหาระยะของจุดการวัดโดย Pitot tube ทั้ง 4 จุดของท่อก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 45 mm ดังนี้

พื้นที่หน้าตัดรวมของท่อ (A) $= \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 45^2}{4} = 1590.43$ mm^2

แบ่งออกเป็นวงแหวน 4 ส่วน $= \frac{A}{4} = \frac{1590.43}{4} = 397.6075$ mm^2

$\therefore$ พื้นที่หน้าตัดวงแหวนแต่ละส่วน (A_1) ที่เท่ากัน $= 397.6075$ mm^2

หาระยะการวัดจากจุดศูนย์กลางท่อที่ 1(R_1) จาก $\frac{A_1}{2} = \frac{397.6075}{2} = 198.80375$ mm^2

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \times 198.80375}{\pi}} = 15.91 \text{ mm}$$

$$\therefore R_1 = \frac{D_1}{2} = 7.955 \text{ mm}$$

หาระยะการวัดจากจุดศูนย์กลางท่อที่ 2 (R_2) จาก $A_1 + \frac{A_1}{2} = 397.6075 + 198.80375$

$= 596.41125$ mm^2

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \times 596.41125}{\pi}} = 27.256 \text{ mm}$$

$$\therefore R_2 = \frac{D_2}{2} = 13.78 \text{ mm}$$

หาระยะการวัดจากจุดศูนย์กลางท่อที่ 3 (R_3) จาก $A_1 + \left(\frac{3A_1}{2}\right) = 397.6075 + (3 \times 198.80375)$

$= 994.01875$ mm^2

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \times 994.01875}{\pi}} = 35.58 \text{ mm}$$

$$\therefore R_3 = \frac{D_3}{2} = 17.79 \text{ mm}$$

หาระยะการวัดจากจุดศูนย์กลางท่อที่ 4 (R_4) จาก $A_1 + \left(\frac{5A_1}{2}\right) = 397.6075 + (5 \times 98.80375)$

$= 1391.62625$ mm^2

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \times 1391.62625}{\pi}} = 42.09 \text{ mm}$$

$$\therefore R_4 = \frac{D_4}{2} = 21.045 \text{ mm}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.6 ตัวอย่างการคำนวณค่าต่างๆ จากตารางบันทึกผลการทดลอง

ตัวอย่างจากตารางบันทึกผลการทดสอบที่ จ.8 (ภาคผนวก จ) ค่าที่ตำแหน่ง 51 ^{0}BTDC ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่ออากาศ = 56 mm = 0.056 m

ความดันที่วัดได้ทั้ง 4 จุด โดย pitot tube คือ 0.241, 0.239, 0.237 และ 0.237 in.H_2O ตามลำดับ

หาความเร็วอากาศแต่ละจุดจากสมการ

$$V_{air,act} = 4032\sqrt{H} \quad \text{ft/min}$$

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 1 (V_1) $= 4032\sqrt{0.241} = 1979.379$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 2 (V_2) $= 4032\sqrt{0.239} = 1971.149$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 3 (V_3) $= 4032\sqrt{0.237} = 1962.884$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 4 (V_4) $= 4032\sqrt{0.237} = 1962.884$ ft/min

หาค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยจากสมการ

$$V_{air,ave} = \left(\frac{V_1+V_2+V_3+V_4}{4}\right)\times\left(\frac{0.305}{60}\right) \quad \text{m/s}$$

$$= \left(\frac{1979.379+1971.149+1962.884+1962.884}{4}\right)\times\left(\frac{0.305}{60}\right) = 10.009 \text{ m/s}$$

หาอัตราการใช้อากาศจากสมการ

$$\text{Air Consumption} = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\times V_{air,ave}\times 3600 \quad \text{m}^3\text{/hr}$$

$$= \left(\frac{\pi\times 0.056^2}{4}\right)\times 10.009\times 3600 = 88.752 \text{ m}^3\text{/hr}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อก๊าซชีวภาพ = 45 mm = 0.045 m

ความดันที่วัดได้ทั้ง 4 จุดโดย pitot tube คือ 0.008, 0.008, 0.007 และ 0.006 in. H_2O ตามลำดับ

หาความเร็วก๊าซชีวภาพแต่ละจุดจากสมการ

$$V_{bg,act} = 4595\sqrt{H} \quad \text{ft/min}$$

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 1 (V_1) $= 4595\sqrt{0.008} = 410.989$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 2 (V_2) $= 4595\sqrt{0.008} = 410.989$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 3 (V_3) $= 4595\sqrt{0.007} = 384.445$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 4 (V_4) $= 4595\sqrt{0.006} = 355.927$ ft/min

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หาค่าความเร็วก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากสมการ

$$V_{bg,ave} = \left(\frac{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}{4}\right) \times \left(\frac{0.305}{60}\right) \quad m/s$$

$$= \left(\frac{410.989 + 410.989 + 384.445 + 355.927}{4}\right) \times \left(\frac{0.305}{60}\right) = 1.985 \quad m/s$$

หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากสมการ

$$\text{Biogas Consumption} = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \times V_{bg,ave} \times 3600 \quad m^3/hr$$

$$= \left(\frac{\pi \times 0.045^2}{4}\right) \times 1.985 \times 3600 = 11.368 \quad m^3/hr$$

แรงดันไฟฟ้าในเฟส R S T คือ 396, 397 และ 398 V ตามลำดับ

กระแสไฟฟ้าในเฟส R S T คือ 25.40, 24.98 และ 24.82 Amp ตามลำดับ

เพาเวอร์แฟกเตอร์ในเฟส R S T คือ 0.83, 0.86 และ 0.83 ตามลำดับ

หากำลังไฟฟ้าจริงในแต่ละเฟสจากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.23

$$P_i = \frac{\sqrt{3}\, EI \cos\phi}{1{,}000} \quad kW$$

$$\therefore \text{ กำลังไฟฟ้าในเฟส R } (P_R) = \frac{\sqrt{3} \times 396 \times 25.40 \times 0.83}{1{,}000} = 14.46 \quad kW$$

$$\therefore \text{ กำลังไฟฟ้าในเฟส S } (P_S) = \frac{\sqrt{3} \times 397 \times 24.98 \times 0.86}{1{,}000} = 14.77 \quad kW$$

$$\therefore \text{ กำลังไฟฟ้าในเฟส T } (P_T) = \frac{\sqrt{3} \times 398 \times 24.82 \times 0.83}{1{,}000} = 14.20 \quad kW$$

หากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ยจากสมการที่ 2.24

$$P_{EL,ave} = \sum\left(\frac{P_i}{3}\right)$$

$$= \frac{P_R + P_S + P_T}{3} = \frac{14.46 + 14.77 + 14.20}{3} = 14.48 \quad kW$$

หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจากสมการ

$$\text{Specific Biogas Consumption} = \frac{\text{Biogas.Consumption}}{P_{EL,ave}} \quad m^3/kWh$$

$$= \frac{11.368}{14.48} = 0.79 \quad m^3/kWh$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่แท้จริงจากสมการที่ 2.9

$$AFR_{act} = \frac{V_a}{V_f} = \frac{Air.Consumption_{act}}{Biogas.Consumption_{act}} = \frac{88.752}{11.368} = 7.81$$

หาอัตราส่วนอากาศส่วนเกินจากสมการที่ 2.10

$$\text{Excess air ratio } (\lambda) = \frac{AFR_{act}}{AFR_{ideal}} = \frac{7.81}{7.643} = 1.021$$

หาประสิทธิภาพรวมของระบบจากสมการที่ 2.13

$$\text{Overall efficiency } (\eta_{tot}) = \left(\frac{P_{ave} \times 3600}{f_C \times H_{u,act}}\right) \times 100 \quad \%$$

$$= \left(\frac{14.48 \times 3600}{11.368 \times 23014}\right) \times 100 = 19.92 \ \%$$

หาประสิทธิภาพเครื่องยนต์จากสมการที่ 2.14

$$\text{Engine efficiency } (\eta_{Eng}) = \frac{\eta_{tot}}{\eta_{Motor}} = \frac{\text{Overall efficiency}}{\text{Motor efficiency}} \quad \%$$

$$= \frac{19.92}{0.9} = 22.14 \quad \%$$

ก.7 การเปลี่ยนสภาวะต่างๆ ให้อยู่ในสภาวะการทำงานที่ปกติ (NTP)

สำหรับการเปลี่ยนสภาวะต่างๆ ให้อยู่ในสภาวะการทำงานที่ปกติ (Normal temperature and pressure; NTP) คือที่สภาวะ 0 ^{0}C และ 1.013 bar ตามลำดับ [16] เพื่อวัตถุประสงค์ในการที่จะเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบให้อยู่ภายใต้จุดอ้างอิงเดียวกัน เนื่องจากที่สภาวะการทำงานในแต่ละที่แต่ละแห่งอาจมีสภาวะอุณหภูมิและความดันของสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยมีวิธีการคำนวณค่าต่างๆดังนี้

ก.7.1 หาค่าความถ่วงจำเพาะของมีเทนในก๊าซชีวภาพจากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.3

$$\rho_{CH_4,NTP} = \rho_{CH_4,std} \times \left(\frac{P_{NTP} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{NTP}}\right)$$

โดยที่ ความถ่วงจำเพาะของมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน ($\rho_{CH_4,std}$) = 0.72 kg/m^3 [16]

อุณหภูมิของมีเทนที่สภาวะมาตรฐาน (T_{std}) = 0 ^{0}C = 273 ^{0}K [16]

ความดันบรรยากาศเฉลี่ยที่สภาวะมาตรฐาน (P_{std}) = 1013 mbar [16]

อุณหภูมิบรรยากาศที่ NTP (T_{NTP}) = 0 ^{0}C = 273 ^{0}K [16]

อุณหภูมิก๊าซชีวภาพที่ NTP ($T_{bg,NTP}$) = 0 ^{0}C = 273 ^{0}K

ความชื้นสัมพัทธของก๊าซชีวภาพที่ NTP (% $RH_{bg,NTP}$) = 100%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความดันของก๊าซชีวภาพที่ NTP ($P_{bg,NTP}$) = 0.0 mbar

และจากรูปที่ 2.6 ที่ T_{bg} = 0 ^{0}C และ RH = 100% จะได้ P' = 0 mbar

∴ หาความดันรวมของก๊าซชีวภาพจากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.2

$$P_{t,NTP} = P_{std} + P_{bg,NTP} - P' = 1013 + 0.0 - 0 = 1013 \text{ mbar}$$

$$\therefore \quad \rho_{CH_4,NTP} = 0.72 \times \left(\frac{1013 \times 273}{1013 \times 273} \right) = 0.720 \text{ kg/m}^3$$

ก.7.2 หาค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพจากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.4

$$H_{u,NTP} = \frac{V_{CH_4}}{V_{tot}} \times \rho_{CH_4,NTP} \times H_{u,n}$$

ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) อยู่ 74% โดยปริมาตร (จากการทดสอบ)

และค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่สภาวะมาตรฐาน ($H_{u,n}$) = 50,000 kJ/kg [16]

$$\therefore \quad H_{u,act} = 0.74 \times 0.720 \times 50{,}000 = 26{,}640 \text{ kJ/m}^3$$

ก.7.3 หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.12

$$f_c = \frac{1}{\eta} \times P_{match} \times \frac{1}{H_{u,NTP}} \times 3600$$

เครื่องยนต์ที่ใช้ดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน จึงให้ η = 0.25 [16]

เครื่องยนต์ถูกนำไปต่อตรงเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 18 kW ∴ P_{match} = 18

$$\therefore \quad f_c = \frac{1}{0.25} \times 18 \times \frac{1}{26640} \times 3600 = 9.73 \text{ m}^3/\text{hr}$$

ก.7.4 การหาสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วของอากาศและก๊าซชีวภาพที่ NTP

ก. 7.4.1 หาสมการเพื่อใช้คำนวณความเร็วของอากาศที่ NTP ดังนี้

หาค่าความถ่วงจำเพาะของอากาศ ($\rho_{air,NTP}$) จากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.3

$$\rho_{air,NTP} = \rho_{air,std} \times \left(\frac{P_{NTP} \times T_{std}}{P_{std} \times T_{NTP}} \right)$$

โดยที่ ความถ่วงจำเพาะมาตรฐานของอากาศ ($\rho_{air,std}$) = 1.31 kg/m^3 [30,31]

อุณหภูมิบรรยากาศมาตรฐาน (T_{std}) = 0 ^{0}C = 273 ^{0}K [16,31]

อุณหภูมิบรรยากาศที่ NTP (T_{NTP}) = 0 ^{0}C = 273 ^{0}K [16]

ความดันบรรยากาศมาตรฐาน (P_{std}) = 1013 mbar [16,30,31]

ความดันบรรยากาศที่ NTP (P_{NTP}) = 1013 mbar [16]

$$\therefore \quad \rho_{air,NTP} = 1.31 \times \left(\frac{1013 \times 273}{1013 \times 273} \right) = 1.13 \text{ kg/m}^3$$

และ 16.019 kg/m^3 = 1 lb/ft^3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$\therefore$ 1.13 $kg/m^3 = \frac{1.13}{16.019} = 0.082$ lb/ft^3

จากสมการที่ 2.25 $\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648H}{\rho_f}$

แทนค่า $\rho_{air,NTP} = 0.082$ lb/ft^3 จะได้

$\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648H}{0.082} = 4078\,H$

$\therefore$ ความเร็ว ($V_{air,NTP}$) $= 4078\sqrt{H}$ ft/min (H ในหน่วย in. H_2O)

ก.7.4.2 หาสมการเพื่อใช้คำนวณความเร็วของก๊าซชีวภาพที่แท้จริงดังนี้

หาค่าความถ่วงจำเพาะของก๊าซชีวภาพ ($\rho_{bg,NTP}$) จากสมการที่แปลงมาจากที่ 2.5

$$\rho_{bg,NTP} = \frac{P_{t,NTP} \times M_w}{R_u \times T_{bg,NTP}}$$

โดยที่ ความดันบรรยากาศที่ NTP ($P_{air,NTP}$) = 1013 mbar = 1.013 bar [30,31]

ความดันก๊าซชีวภาพที่ NTP ($P_{bg,NTP}$) = 0.0 mbar = 0.0 bar

$\therefore$ ความดันรวมที่ NTP ($P_{t,NTP}$) = 1.013 + 0.0 = 1.013 bar

และ 1 bar $= 10^5$ N/m^2

$\therefore$ 1.013 bar $= 1.013 \times 10^5 = 101300$ N/m^2

และ $M_W = X_{CO_2} M_{CO_2} + X_{CH_4} M_{CH_4}$

ทั้งนี้ก๊าซชีวภาพมีปริมาณมีเทน(CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ 74% และ 25% โดยปริมาตรตามลำดับ

$\therefore$ $M_W = (0.25 \times 44) + (0.74 \times 16) = 22.84$ kg/kmol

ค่าคงที่สากลของก๊าซ (R_U) = 8314.3 N.m/kmol.^{0}K [18]

อุณหภูมิก๊าซชีวภาพที่ NTP($T_{bg,NTP}$) = 0 ^{0}C = 273 ^{0}K

$\therefore$ $\rho_{bg,NTP} = \frac{101300 \times 22.84}{8314.3 \times 273} = 1.019$ kg/m^3

และ 16.019 kg/m^3 = 1 lb/ft^3

$\therefore$ 1.019 $kg/m^3 = \frac{1.019}{16.019} = 0.064$ lb/ft^3

จากสมการที่ 2.25 $\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648H}{\rho_f}$

แทนค่า $\rho_{bg,NTP} = 0.064$ lb/ft^3 จะได้

$\left(\frac{V}{60}\right)^2 = \frac{334.3648H}{0.064} = 5224\,H$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

$\therefore$ ความเร็ว ($V_{bg,NTP}$) $= 4337\sqrt{H}$ ft/min (H ในหน่วย in. H_2O)

ก.7.5 ตัวอย่างการคำนวณค่าต่างๆ จากตารางบันทึกผลการทดลอง ที่ NTP

ตัวอย่างจากตารางบันทึกผลการทดสอบที่ จ.8 (ภาคผนวก จ) ค่าที่ตำแหน่ง 51 ^{0}BTDC ได้ค่าต่างๆ ดังนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่ออากาศ = 56 mm = 0.056 m

ความดันที่วัดได้ทั้ง 4 จุด โดย pitot tube คือ 0.241, 0.239, 0.237 และ 0.237 in.H_2O ตามลำดับ

หาความเร็วอากาศแต่ละจุดจากสมการ

$$V_{air,NTP} = 3832\sqrt{H} \quad \text{ft/min}$$

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 1 (V_1) $= 3832\sqrt{0.241} = 1881.196$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 2 (V_2) $= 3832\sqrt{0.239} = 1873.374$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 3 (V_3) $= 3832\sqrt{0.237} = 1865.519$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 4 (V_4) $= 3832\sqrt{0.237} = 1865.519$ ft/min

หาค่าความเร็วอากาศเฉลี่ยจากสมการ

$$V_{air,ave} = \left(\frac{V_1+V_2+V_3+V_4}{4}\right)\times\left(\frac{0.305}{60}\right) \quad \text{m/s}$$

$$= \left(\frac{1881.196+1873.374+1865.519+1865.519}{4}\right)\times\left(\frac{0.305}{60}\right) = 9.513 \text{ m/s}$$

หาอัตราการใช้อากาศจากสมการ

$$\text{Air Consumption} = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\times V_{air,ave}\times 3600 \quad \text{m}^3\text{/hr}$$

$$= \left(\frac{\pi\times 0.056^2}{4}\right)\times 9.513\times 3600 = 84.350 \text{ m}^3\text{/hr}$$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อก๊าซชีวภาพ = 45 mm = 0.045 m

ความดันที่วัดได้ทั้ง 4 จุดโดย pitot tube คือ 0.008, 0.008, 0.007 และ 0.006 in. H_2O ตามลำดับ

หาความเร็วก๊าซชีวภาพแต่ละจุดจากสมการ

$$V_{bg,NTP} = 4337\sqrt{H} \quad \text{ft/min}$$

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 1 (V_1) $= 4337\sqrt{0.008} = 387.913$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 2 (V_2) $= 4337\sqrt{0.008} = 387.913$ ft/min

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 3 (V_3) $= 4337\sqrt{0.007} = 362.859$ ft/min

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$\therefore$ ความเร็วอากาศที่จุดที่ 4 (V_4) $= 4337\sqrt{0.006} = 335.943$ ft/min

หาค่าความเร็วก๊าซชีวภาพเฉลี่ยจากสมการ

$$V_{bg,ave} = \left(\frac{V_1+V_2+V_3+V_4}{4}\right)\times\left(\frac{0.305}{60}\right) \quad \text{m/s}$$

$$= \left(\frac{387.913+387.913+362.859+335.943}{4}\right)\times\left(\frac{0.305}{60}\right) = 1.874 \quad \text{m/s}$$

หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากสมการ

$$\text{Biogas Consumption} = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\times V_{bg,ave}\times 3600 \quad \text{m}^3/\text{hr}$$

$$= \left(\frac{\pi\times 0.045^2}{4}\right)\times 1.874\times 3600 = 10.730 \quad \text{m}^3/\text{hr}$$

และหากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย ($P_{EL,ave}$) $= 14.48$ kW (จากการคำนวณ)

หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจากสมการ

$$\text{Specific Biogas Consumption}_{NTP} = \frac{\text{Biogas.Consumption}_{NTP}}{P_{EL,ave}} \quad \text{m}^3/\text{kWh}$$

$$= \frac{10.730}{14.48} = 0.74 \quad \text{m}^3/\text{kWh}$$

หาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ NTP จากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.9

$$AFR_{NTP} = \frac{V_a}{V_f} = \frac{\text{Air.Consumption}_{NTP}}{\text{Biogas.Consumption}_{NTP}} = \frac{84.350}{10.730} = 7.86$$

หาอัตราส่วนอากาศส่วนเกินที่ NTP จากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.10

$$\text{Excess air ratio}_{NTP}\ (\lambda) = \frac{AFR_{NTP}}{AFR_{ideal}} = \frac{7.86}{7.643} = 1.029$$

หาประสิทธิภาพรวมของระบบที่ NTP จากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.13

$$\text{Overall efficiency } (\eta_{tot})_{NTP} = \left(\frac{P_{ave}\times 3600}{f_{C,NTP}\times H_{u,NTP}}\right)\times 100 \quad \%$$

$$= \left(\frac{14.48\times 3600}{10.730\times 26640}\right)\times 100 = 18.24\ \%$$

หาประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ NTP จากสมการที่แปลงมาจากสมการที่ 2.14

$$\text{Engine efficiency } (\eta_{Eng})_{NTP} = \left(\frac{\eta_{tot}}{\eta_{Motor}}\right)_{NTP} = \frac{\text{Overallefficiency}_{NTP}}{\text{Motorefficiency}_{NTP}} \quad \%$$

$$= \frac{18.24}{0.9} = 20.27\ \%$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.8 การคำนวณเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะอยู่กับที่เทียบกับการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อวิ่งไปบนถนน

เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบเพื่อสร้างข้อกำหนดมาตรฐานในการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องยนต์ยี่ห้อ NISSAN sunny A-12 ซึ่งในอดีตเป็นเครื่องยนต์ที่ติดตั้งเข้ากับรถยนต์ยี่ห้อ DATSUN (ปัจจุบันคือ ยี่ห้อ NISSAN) รุ่น 120 Y ปี 1980 ดังนั้นการคำนวณเปรียบเทียบจึงสามารถทำได้ด้วยการคำนวณดังต่อไปนี้

รถยนต์ยี่ห้อ DATSUN รุ่น 120 Y ปี 1980 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

- เฟืองบายศรีและเฟืองเดือยหมูในชุดกระปุกเฟืองท้าย มีจำนวน 44 และ 10 ฟันตามลำดับ
- อัตราทดเกียร์ 4 = 1 และเส้นผ่านศูนย์กลางล้อยาง = 0.57 m

$\therefore$ อัตราทดเฟืองท้าย $= \frac{44}{10} = 4.4$

$\therefore$ 0.57 m เป็นความยาวระยะทาง $= \pi D = \pi \times 0.57 = 1.79$ m

เพื่อให้เห็นการเปรียบเทียบอย่างชัดเจนจึงสมมุติให้รถยนต์ที่วิ่งไปบนถนนมีสถานการดังนี้

ก. วิ่งไปบนท้องถนนในตำแหน่งเกียร์สุดท้ายหรือเกียร์ 4 (รุ่นนี้มี 4 เกียร์เดินหน้า)

ข. วิ่งด้วยความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ที่ 3,000 rpm และ 1,500 rpm

ค. ไม่มีการ Slip ระหว่างยางกับผิวถนนในระหว่างการขับเคลื่อน

$\therefore$ ที่ 3,000 rpm ล้อจะหมุน $= \frac{3000}{4.4} = 681.8$ rpm

คิดเป็นระยะทาง $= 681.8 \times 1.79 = 1,220.45$ m/min

คิดเป็น km/hr $= 1,220.45 \times 0.001 \times 60 = 73.23$ km/hr

$\therefore$ การทำงานของเครื่องยนต์ในขณะอยู่กับที่ที่ 3,000 rpm เทียบเท่ากับการขับเคลื่อนไปบนถนนด้วยความเร็วคงที่ 73.23 km/hr

$\therefore$ ที่ 1,500 rpm ล้อจะหมุน $= \frac{1500}{4.4} = 340.91$ rpm

คิดเป็นระยะทาง $= 340.91 \times 1.79 = 610.23$ m/min

คิดเป็น km/hr $= 610.23 \times 0.001 \times 60 = 36.61$ km/hr

$\therefore$ การทำงานของเครื่องยนต์ในขณะอยู่กับที่ที่ 1,500 rpm เทียบเท่ากับการขับเคลื่อนไปบนถนนด้วยความเร็วคงที่ 36.61 km/hr

ก.9 การสร้างข้อกำหนดมาตราฐานในการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนดัดแปลงใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงโดยติดตั้งใช้งานอยู่กับที่ และทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ ดังนั้นการที่จะกำหนดระยะเวลาต่างๆในการบำรุง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รักษาเครื่องยนต์ อาทิเช่น การเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง การเปลี่ยนกรองน้ำมันเครื่อง หัวเทียน ฯลฯ จึงจำเป็นต้องกำหนดระยะเวลาดังกล่าว เป็นระยะเวลาชั่วโมงการทำงาน ทั้งนี้ได้อ้างอิงระยะเวลาการบำรุงรักษาต่างๆ จากเอกสารอ้างอิงโดยมีรายละเอียดดังนี้

ก.9.1 เครื่องยนต์ทำงานในช่วงความเร็วรอบต่ำ 1,000-2,500 rpm ควรเปลี่ยนน้ำมันเครื่องทุกๆ 200 ชั่วโมงโดยประมาณ [35,36]

ก.9.2 เครื่องยนต์ทำงานในช่วงความเร็วรอบปานกลาง-สูง 2,500 rpm ขึ้นไป ควรเปลี่ยนน้ำมันเครื่องทุกๆ 130 ชั่วโมงโดยประมาณ [35,36]

ก.9.3 ตรวจเช็คระดับน้ำระบายความร้อนเครื่องยนต์ และเติมให้ได้ระดับที่ถูกต้องทุกๆ 200 ชั่วโมง โดยประมาณ [36-39]

ก.9.4 สายพานต่างๆ ตรวจเช็คและปรับแต่งทุกๆ 200 ชั่วโมง และเปลี่ยนใหม่เมื่อหมดสภาพหรือใช้งานครบ 1,000 ชั่วโมง [36,37]

ก.9.5 กรองอากาศควรตรวจเช็คและทำความสะอาดทุกๆ 200 ชั่วโมง และเปลี่ยนใหม่เมื่อใช้งานครบ 800 ชั่วโมงหรือตามสภาพ [35,36]

ก.9.6 กรองน้ำมันเครื่องควรเปลี่ยนใหม่พร้อมกับการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องครบทุก 2 ครั้ง [38,39,22,40]

ก.9.7 หัวเทียนควรตรวจเช็คและทำความสะอาดทุกๆ 5,000 km และเปลี่ยนใหม่เมื่อใช้งานครบ 20,000 km [41,42]

ก.9.8 ชุดทองขาวและคอนเดนเซอร์ควรตรวจเช็คและปรับแต่งทุกๆ 5,000 km และเปลี่ยนใหม่เมื่อใช้งานครบ 50,000 km [41,42]

ก.9.9 ฝาครอบจานจ่าย และ Rotor ควรตรวจเช็คและทำความสะอาดทุกๆ 5,000 km และเปลี่ยนใหม่เมื่อใช้งานครบ 100,000 km หรือตามสภาพ [41]

ก.9.10 ชุดสายไฟแรงสูงจุดระเบิดควรตรวจเช็คทุกๆ 5,000 km หรือ 3,000 ชั่วโมง และเปลี่ยนใหม่เมื่อใช้งานครบ 150,000 km หรือตามสภาพ [41]

ก.9.11 ตรวจเช็คและปรับแต่งคาร์บูเรเตอร์ทุกๆ 15,000 km หรือ 4,500 ชั่วโมง โดยประมาณและทำความสะอาดเมื่อสกปรก [41,42]

ก.9.12 Overhaul เครื่องยนต์เมื่อใช้งานครบ 200,000 km หรือ 3,000 ชั่วโมง โดยประมาณและจะ Overhaul ได้ 3 ครั้งหรืออาจมากกว่า [41,42]

จากข้อมูลข้างต้นนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลเหล่านี้ไปจัดทำเป็นตารางแสดงกำหนดการบำรุงรักษาระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ ดังตารางที่ ง.1 (ภาคผนวก ง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์และมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ข.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้งานโดยติดตั้งอยู่ในรถยนต์ ยี่ห้อ DUTSUN รุ่น 120 Y ในปี ค.ศ.1980 โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ [40]

เครื่องยนต์	A-12 4 สูบ 4 จังหวะ OHV	คอนเดนเซอร์	0.2-0.24 MFD
กระบอกสูบ/ระยะชัก	73/70 mm	หัวเทียน	NGK BP 5 ES
ความจุกระบอกสูบ	1,171 cc	ระยะเขี้ยวหัวเทียน	0.8-0.9 mm
อัตราส่วนการอัด	9:1	จุน้ำมันเครื่อง	3.2 lite
กำลังม้า	69 BHP/6,000 rpm	แรงดันน้ำมันเครื่อง	3.0-3.5 bar
กำลังอัด	10-12 bar/280 rpm	จุน้ำหล่อเย็น	12 lite
ความเร็วรอบเดินเบา	600-700 rpm	แรงดันฝาหม้อน้ำ	0.9 bar
ความเร็วรอบสูงสุด	6,000 rpm		
ลิ้นไอดีเปิดก่อนศูนย์ตายบน	14^0		
ลิ้นไอเสียปิดหลังศูนย์ตายบน	20^0		
ตั้งลิ้นไอดี (ร้อน)	0.35 mm		
ตั้งลิ้นไอเสีย (ร้อน)	0.35 mm		
ระยะห่างปากแหวนลูกสูบ	0.2-0.3 mm		
ขันฝาสูบ	7.0-7.5 kg-m		
ขันแบริ่งก้านสูบ	3.2-3.8 kg-m		
ขันแบริ่งข้อเหวี่ยง	5.0-6.0 kg-m		
ขันล้อช่วยแรง	6.5-7.5 kg-m		
ตั้งไฟจุดก่อนศูนย์ตายบน	7^0/600-700 rpm		
ลำดับไฟจุดระเบิด	1-3-4-2		
ระยะคอนแทคซ์	0.45-0.55 mm		
มุมดเวล	49^0-55^0		

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข.2 ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้ต้องการทดสอบการทำงานที่ความเร็วรอบ 3,000 rpm และ 1,500 rpm จึงจำเป็นต้องใช้มอเตอร์ 2 ตัวโดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ (ข้อมูลจากบริษัท สยามอีลีนมอเตอร์ จำกัด)

มอเตอร์ตัวที่ 1

Induction Motor : Three-Phase Induction Motor (MADE IN POLAND)

Voltage : 380/660 V

Frequency : 50 Hz

Type : 16 N,M

Series : LKM-416M04

Frame Size : 160M

Number of Poles : 2 poles

Type of Protection : IP54(IEC 34-5, DIN 40050)

Insulation : Class F

Output : 25 HP (18 kW)

Full Load Speed : 2,930 rpm

Efficiency : 90%

Full Load Current at 380V : 34 Amp

Power Factor : 0.9

Weight approx : 84.5 kg

มอเตอร์ตัวที่ 2

Induction Motor : Three-Phase Induction Motor (MADE IN POLAND)

Voltage : 380/660 V

Frequency : 50 Hz

Type : 16 N,M

Series : LKM-418M04

Frame Size : 180M

Number of Poles : 4 poles

Type of Protection : IP54(IEC 34-5, DIN 40050)

Insulation : Class F

Output : 25 HP (18 kW)

Full Load Speed : 1,470 rpm

Efficiency : 90%

Full Load Current at 380V : 34 Amp

Power Factor : 0.9

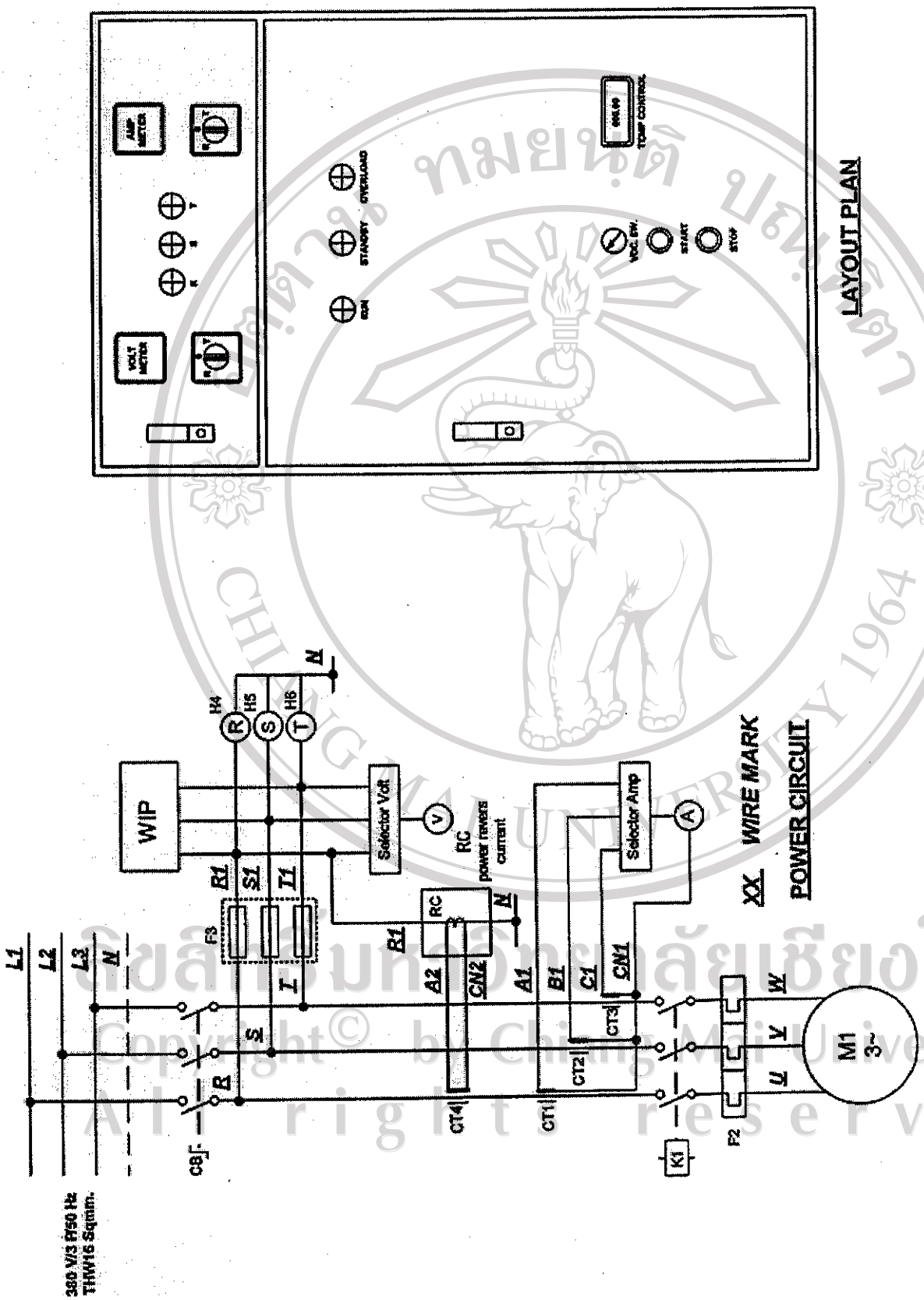
Weight approx : 108.0 kg

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

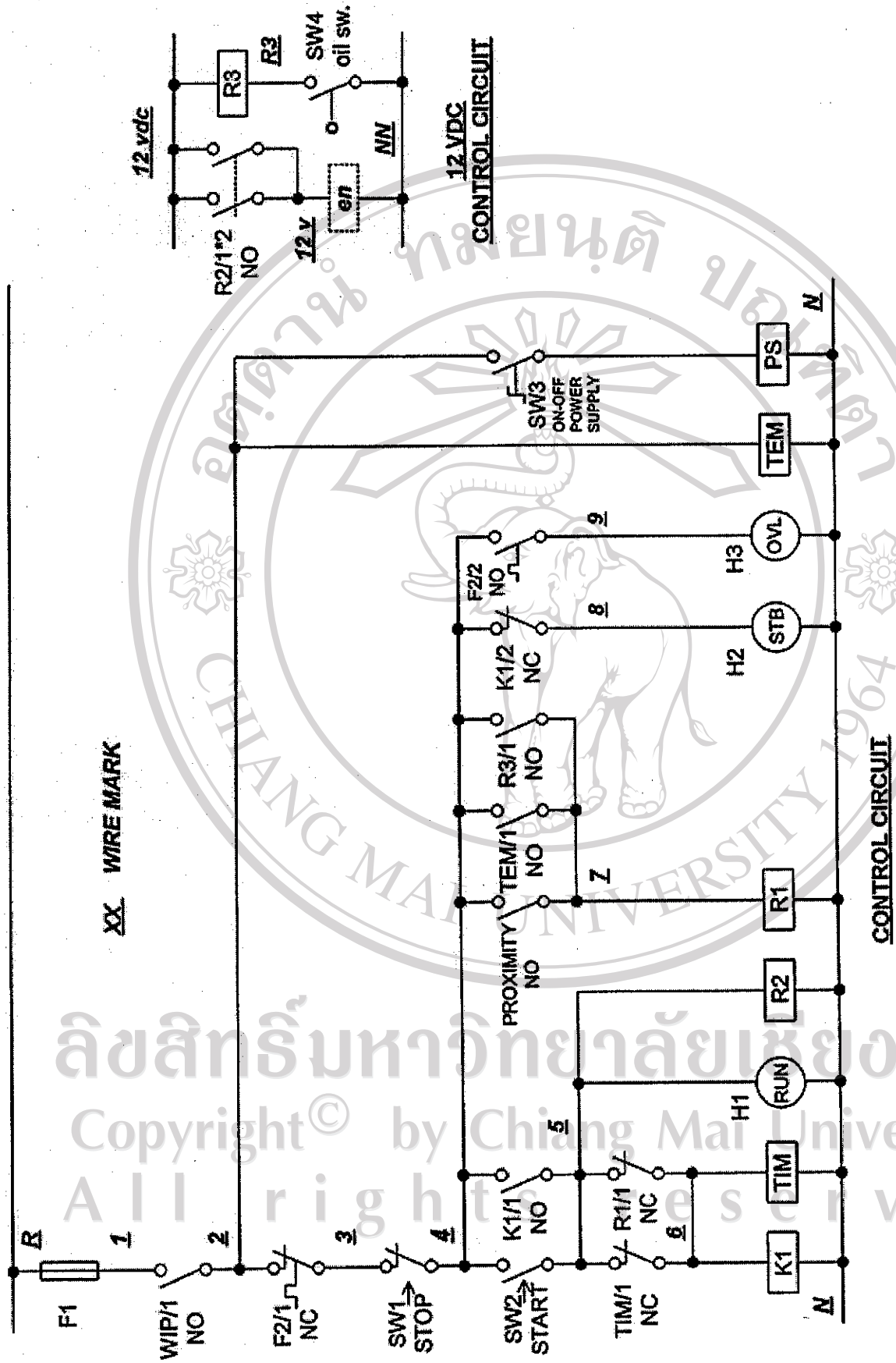
ภาคผนวก ค

ข้อมูลทางเทคนิคของตู้ควบคุมการทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัญลักษณ์	รายละเอียดอุปกรณ์	จำนวน (ตัว)
A	Amp Meter 50/5A. DIGITAL	1
CB	Circuit Breaker 60A 100AT/15kA	1
CT 1-4	Current Transformer 50/5A	4
F1,3	Control Fuse 1P 3A	4
F2	Overload rang. 41.2~46.2A	1
H1,4	Pilot Lamp (Green) 220 VAC	2
H2,5	Pilot Lamp (Red) 220 VAC	2
H4,6	Pilot Lamp (Yellow) 220 VAC	2
K1	Magnetic Contractor 25 kW	1
R1,2	Relay 2 ploe 2NO, 2NC 10 A 220 VAC	2
R3	Relay 4 ploe 4NO, 4NC 10 A 12 VDC	1
RC	Kilowatt-hour Meter 220/1P/5A	1
Proximity	Proximity Switch OMRON E2E-XRY NO	1
ps	Powersupply 12VDC/10A	1
SW1	Push Button Switch NC (Red)	1
SW2	Push Button Switch NO (Green)	1
SW3	Selector Switch 2 pos. 1NO, 1NC	1
SW4	Oil Switch	1
	Selector Switch Volt 3 Way	1
	Selector Switch Amp 3 Way	1
TEM	Temperature Control Relay DIGITAL	1
TIM	Timer relay 0-60 sec.	1
V	Volt Meter 0-800V. DIGITAL	3
WIP	Phase Protective Relay	1
	Switch broad size 70×120×20	1

ตารางที่ ค.1 สัญลักษณ์, รายละเอียดและจำนวนอุปกรณ์ต่างๆภายในตู้ควบคุมการทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง

คู่มือประกอบการใช้งานและกำหนดการณ์การบำรุงรักษาชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

ง.1 การใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

เพื่อความถูกต้องและป้องกันความเสียหายของเครื่องยนต์และระบบซึ่งอาจจะทำให้ชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าปกติ ผู้วิจัยจึงมีข้อแนะนำการใช้งานอย่างง่ายและถูกต้องโดยมีขั้นตอนในการใช้งานดังนี้

ง.1.1 กดสวิทย์ START จากตู้ควบคุมการทำงานเพื่อเริ่มเดินเครื่องเพื่อให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นตัวขับเครื่องยนต์ประมาณ 10 วินาที จากนั้นจึงเปิดสวิทย์ไฟเลี้ยงเครื่องยนต์ (12V) และเปิดวาล์วก๊าซชีวภาพก่อนเข้าคาร์บูเรเตอร์ ทั้งนี้เพื่อให้น้ำมันเครื่องสามารถหล่อเลี้ยงเครื่องยนต์ได้อย่างทั่วถึงเสียก่อน

ง.1.2 เมื่อต้องการดับเครื่องหรือเลิกการใช้งาน ให้ปิดวาล์วก๊าซชีวภาพก่อนเข้าคาร์บูเรเตอร์ประมาณ 10 วินาทีเช่นกัน จากนั้นจึงปิดสวิทย์ไฟเลี้ยงเครื่องยนต์ (12V) และกดสวิทย์ STOP จากตู้ควบคุมการทำงาน ทั้งนี้เพื่อเป็นการทำความสะอาด (Purge) และป้องกันการตกค้างของก๊าซชีวภาพภายในกระบอกสูบเครื่องยนต์อันจะเป็นผลให้เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งมีสภาพเป็นกรดปะปนมากับก๊าซชีวภาพ

ง.1.3 หากเกิดกรณีฉุกเฉินและอยู่ในสภาวะนอกเหนือจากการควบคุมการทำงานของระบบแล้ว ให้กดปุ่ม ฉุกเฉิน (Emergency Switch) ที่ตู้ควบคุมการทำงานทันที จะทำให้ระบบหยุดการทำงานทันที

ง.2 กำหนดการบำรุงรักษาชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

สำหรับการบำรุงรักษาถือเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้การบำรุงรักษาชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพที่ดีและถูกต้องจะเป็นการป้องกันอันตรายอันเกิดจากความเสียหายและเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนต่างๆ ตลอดจนเป็นการรักษาสภาพการใช้งานอย่างปลอดภัยตลอดอายุการใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้จัดทำตารางกำหนดการณ์การบำรุงรักษาชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพไว้ดังตารางที่ ง.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ง.1 กำหนดการณ์การบำรุงรักษาชุดผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

รายการ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)					ค่าใช้จ่าย (บาท:ครั้ง)
	เช็ค/ทำความสะอาด	เช็ค/ปรับแต่ง	เช็ค/เติม	เปลี่ยนเมื่อชำรุด	เปลี่ยนเมื่อครบกำหนด	
1. น้ำระบายความร้อน			200			70
2. สายพานต่างๆ		200		✓	1,000	120
3. กรองอากาศ	200			✓	800	200
4. น้ำมันเครื่อง					130(1) 200(2)	120
5. กรองน้ำมันเครื่อง					260(1) 400(2)	240
6. หัวเทียน	69(1) 137(2)			✓	274(1) 547(2)	270
7. ทองขาว/คอนเดนเซอร์		69(1) 137(2)		✓	683(1) 1,366(2)	300
8. ฝาครอบจานจ่าย/ Rotor	69(1) 137(2)			✓	1,366(1) 2,732(2)	340
9. สายไฟแรงสูงจุดระเบิด	69(1) 137(2)			✓	2,049(1) 4,098(2)	11,000
10. คาร์บูเรเตอร์	4500	4500				
11. Overhaul เครื่องยนต์เมื่อครบ 2,732 ชั่วโมง(1) 5,463 ชั่วโมง(2)						
12. เครื่องยนต์หมดอายุ					8,196(1) 16,389(2)	

(1) สำหรับที่สภาวะการทำงาน 3,000 rpm

(2) สำหรับที่สภาวะการทำงาน 1,500 rpm

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

CD-ROM ตารางบันทึกข้อมูลดิบและกราฟผลการทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายสมบูรณ์ ศิริพรมงคลชัย

วัน เดือน ปี เกิด 4 กรกฎาคม 2515

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตร สาขาวิชาช่างเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน
และสาขาวิชาช่างเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ
วิทยาลัยสารพัดช่างนครหลวง กรุงเทพมหานครฯ
ปีการศึกษา 2532
สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ
สาขาวิชาช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
ปีการศึกษา 2535
สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
สาขาวิชาช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
ปีการศึกษา 2537
สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
ปีการศึกษา 2539

ทุนการศึกษา ได้รับทุนระดับปริญญาตรี จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล 2537-2539
ได้รับทุนระดับปริญญาโท จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล 2544-2546

ประสบการณ์

2537 อบรมเชิงปฏิบัติการโครงการปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อลดมลพิษจากก๊าซไอเสียรถยนต์ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

2539-ปัจจุบัน อาจารย์ 1 ระดับ 4 แผนกช่างยนต์ คณะวิชาเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตน่าน
รายละเอียดดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2539-2544	หัวหน้าแผนกยานพาหนะ ฝ่ายบริการการศึกษา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตน่าน
2540	อบรมเชิงปฏิบัติการระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมเกียร์อัตโนมัติ บริษัท ตรีเพชร อีซูซุ เซล จำกัด
2540	อบรมเชิงปฏิบัติการระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมและส่งจ่ายเชื้อเพลิง บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด
2540-2544	หัวหน้าแผนกเครื่องยนต์เล็กและจักรยานยนต์ คณะวิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตน่าน
2541	อบรมเชิงปฏิบัติการ การตรวจสอบการทำงานและความผิดปกติของเครื่องยนต์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ บริษัท ตรีเพชร อีซูซุ เซล จำกัด
2541	อบรมเชิงปฏิบัติการระบบเทคโนโลยีสารสนเทศผังเมือง สำนักผังเมือง จังหวัดน่าน
2542	อบรมเชิงปฏิบัติการ Internet และ Website สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
2542	อบรมเชิงปฏิบัติการสร้างเครื่องกลึงพื้นฐาน สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
2542-2543	หัวหน้าศูนย์ศึกษาด้วยตนเอง ฝ่ายวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตน่าน
2540-ปัจจุบัน	แผนกทะเบียนและประมวลผล ฝ่ายวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตน่าน

ผลงานวิจัย AUTOMOTIVE ENGINE TUNING AND MODIFICATION TO USE WITH BIOGAS FUEL FOR ELECTRICAL POWER GENERATION
โดย รศ.ตะวัน สุจริตกุล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา
ศูนย์ฝึกอบรมแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 2546

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved