ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงคือ ปริมาณอากาศและปริมาณเชื้อเพลิงในหน่วยมวลที่ต้องใช้ในการเผาไหม้อย่างพอดี หรืออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงดังสมการ

$$A/F = \frac{m_{air}}{m_{fuel}}$$

น้ำมันที่ใช้ในการเผาไหม้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันเบนซิน (C_8H_{18}) 90% และแอลกอฮอล์บริสุทธิ์หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) 10% อัตราส่วนโดยปริมาตร ที่ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับอากาศดังสมดุลสมการการเผาไหม้ดังนี้

สมการสารตั้งต้นเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้พอดีกับอากาศ

$$[\ 0.9C_8H_{18} + 0.1C_2H_5OH\ ] + [\ O_2 + 3.76N_2\ ]$$

จะได้ว่า

$$[\ 0.9C_8H_{18} + 0.1\ C_2H_5OH\ ] + 11.55[\ O_2 + 3.76N_2\ ] \longrightarrow 7.4CO_2 + 8.4H_2O + 43.43N_2$$

จากสมการอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

$$\frac{A}{F} = \frac{11.55[(16 \times 2) + (3.76 \times 2 \times 14)}{(0.9 \times 114) + 0.1(24 + 5 + 16 + 1)}$$

$$A/F = 14.8 \text{ kg air/kg fuel}$$

หมายความว่าในการเผาไหม้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ตามทฤษฎี (อากาศ 100%) จะใช้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 14.8 โดยมวล หรือ A : F = 14.8 : 1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับงานวิจัยนี้ออกแบบให้ระบบเผาไหม้ใช้อากาศส่วนเกิน 20% (อากาศ 120%) ในการเผาไหม้ เนื่องจากที่สภาวะเผาไหม้จริงปริมาณอากาศตามทฤษฎีอาจจะไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ดังนั้นจะสามารถหา อัตราส่วนสมมูลอากาศ (ϕ_{Air})ที่ อากาศ 120% , อากาศ 100% และอากาศ 80% ดังนี้

(1) ที่ $\phi_{fuel} = 1.2$ (อากาศ 120%)

$$A/F = (1.2)(A/F)_{stoi} = (1.2)(14.8)$$

$$A/F = 17.8$$

หมายความว่า ที่อากาศ 120% จะใช้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 17.8 โดยมวล และเป็นส่วนผสมที่มีอากาศเหลือ หรือเรียกว่า Lean mixture

(2) ที่ $\phi_{fuel} = 1$ (อากาศ 100%)

$$A/F = (1)(A/F)_{stoi} = (1)(14.8)$$

$$A/F = 14.8$$

หมายความว่า ที่อากาศ 100% จะใช้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 14.8 โดยมวล และเป็นส่วนผสมที่มีอากาศพอดี หรือเรียกว่า Stoichiometry

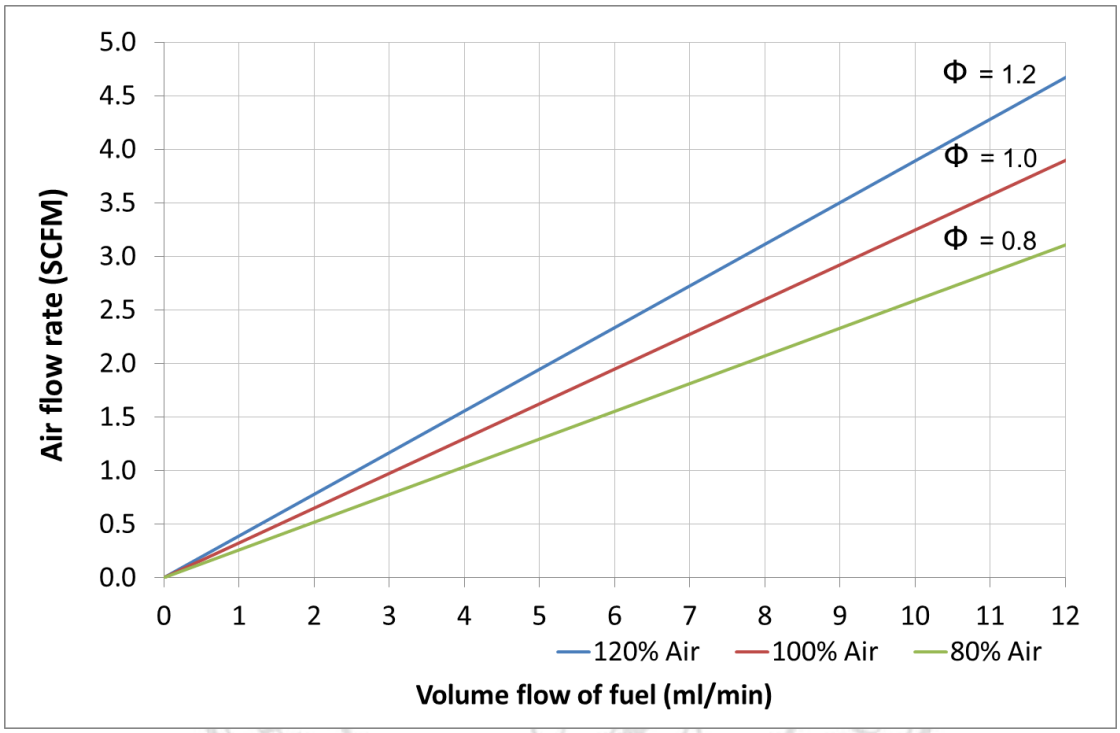
(3) ที่ $\phi_{fuel} = 0.8$ (อากาศ 80%)

$$A/F = (0.8)(A/F)_{stoi} = (0.8)(14.8)$$

$$A/F = 11.8$$

หมายความว่า ที่อากาศ 80% จะใช้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 11.83 โดยมวล และเป็นส่วนผสมที่มีเชื้อเพลิงมาก หรือเรียกว่า Rich mixture

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป ก.1 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลน้ำมันกับอากาศ
ที่อัตราส่วนสมมูลอากาศ 0.8, 1.0 และ 1.2

จากรูป ก.1 แสดงอัตราส่วนสมมูลอากาศ 0.8, 1.0 และ 1.2 ที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบหัวเผาในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ทราบช่วงอัตราการไหลเชื้อเพลิงที่สัมพันธ์กับการใช้อากาศในการทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

การคำนวณช่วงกำลังที่ใช้ทดสอบของเชื้อเพลิง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การคำนวณช่วงกำลังที่ใช้ทดสอบของเชื้อเพลิง

ในงานวิจัยนี้ทดสอบการเผาไหม้โดยเลือกใช้เชื้อเพลิงเหลว เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่ให้พลังงานต่อน้ำหนักที่สูงเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน จากหลายๆ งานวิจัยได้ทำการศึกษาเพื่อหาพลังงานที่ได้จากชื้อเพลิงเหลว ซึ่งสามารถระบุว่ามีพลังงานต่อน้ำหนักสูงถึง 45 MJ/kg ในขณะที่แหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ลิเธียมมีพลังงานต่อน้ำหนักเพียง 1.2 MJ/kg จึงเป็นการง่ายที่จะตัดสินใจในการเลือกแหล่งพลังงาน เพียงแต่ต้องออกแบบกรรมวิธีที่จะให้ได้พลังงานจากเชื้อเพลิงเหลวออกมา ในงานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ในการทดสอบเผาไหม้

ระบบเผาไหม้ในงานวิจัยนี้ออกแบบให้กำลังขนาดเมโสหรือช่วง 100 -1,000 W ดังนั้นจึงมีความต้องการพลังงานช่วง 1,000 – 4,000 W เนื่องจากจะนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ส่งต่อให้อุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานความร้อน เป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ จึงอาจจะมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานไม่เต็ม 100% จากการสูญเสียความร้อนในระบบ การคำนวณจะอ้างอิงพลังงานต่อน้ำหนักของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 คือ 45 MJ/kg การคำนวณดังนี้

โดย $\rho_{fuel} = 700\ kg/m^3$

พลังงานต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิง = 45 MJ/kg (1hr)

$\dot{Q}$ = อัตราการไหลเชื้อเพลิง (ml/min)

กำลังที่ต้องการ (W) = $\dot{Q} \times \rho_{fuel} \times$ พลังงานต่อน้ำหนักของเชื้อเพลิง

- ที่กำลัง 1000 W

$$1000 = \dot{Q}\ (700)\ (45/60)$$

$$\dot{Q} = \underline{2\ ml/min}$$

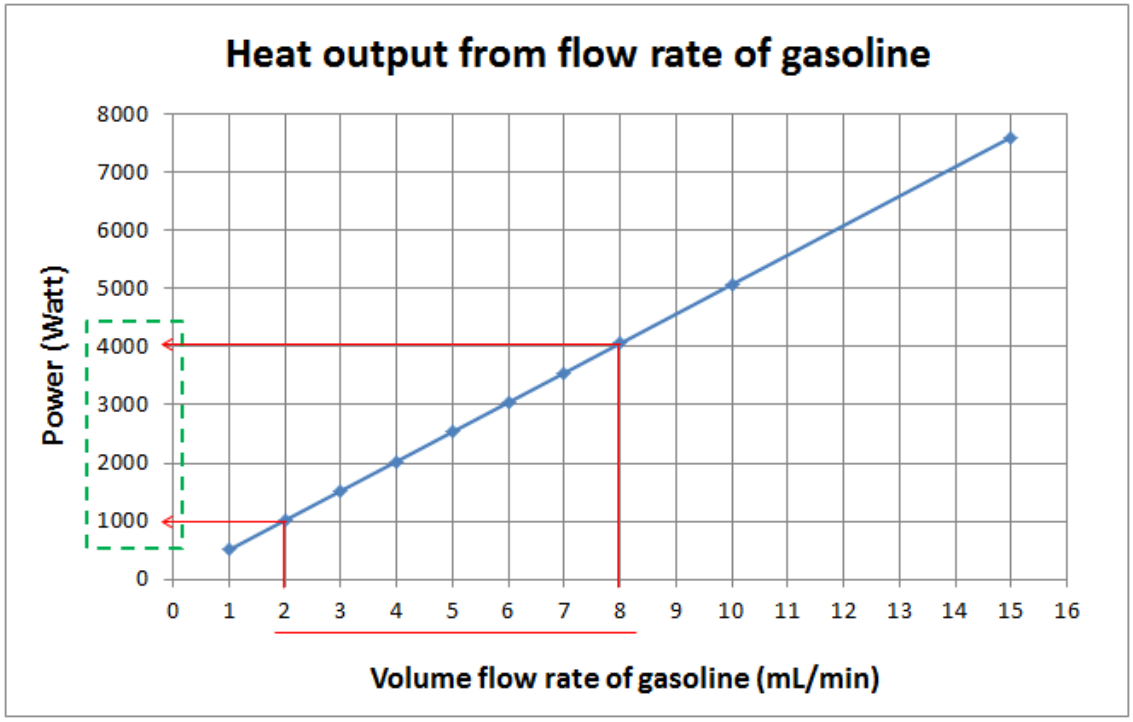
- ที่กำลัง 4000 W

$$4000 = \dot{Q}\ (700)\ (45/60)$$

$$\dot{Q} = 7.6\ ml/min \text{ ประมาณ } \underline{8\ ml/min}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะได้ว่าช่วงพลังงาน 1,000 – 4,000 W จะต้องออกแบบให้ระบบเผาไหม้ให้อัตราการไหลน้ำมันช่วง 2 – 8 ml/min



รูป ข.1 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชื้อเพลิงกับพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง

จากรูป ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชื้อเพลิงกับพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง ซึ่งจะนำไปใช้ในการออกแบบระบบจ่ายเชื้อเพลิงที่กำหนดอัตราการไหลในช่วง 2 -8 ml/min

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

การประมาณข้อมูลด้วยการแจกแจงปกติ (Normal distribution)

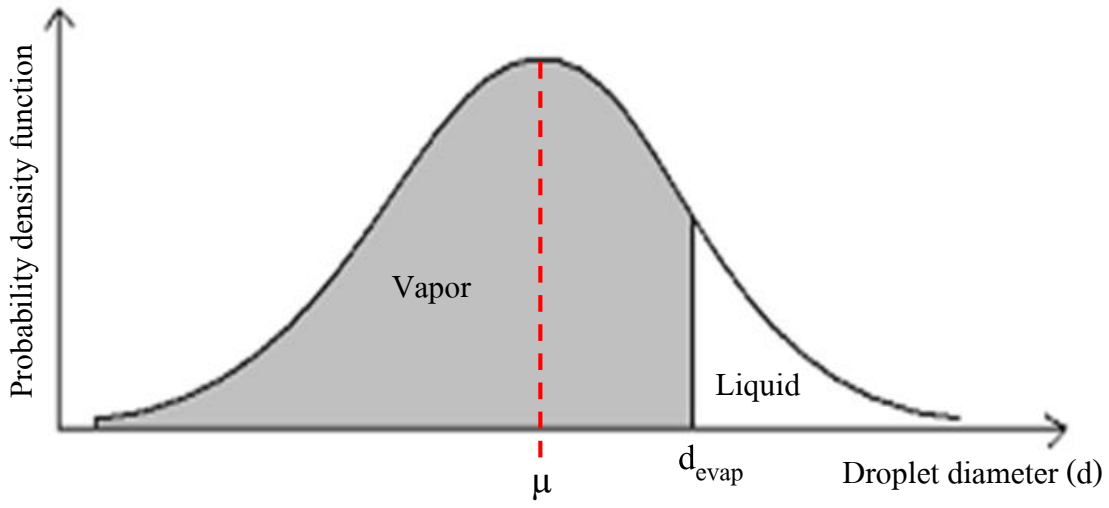
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การประมาณข้อมูลด้วยการแจกแจงปกติ (Normal distribution)

การประมาณข้อมูลด้วยการแจกแจงปกติ (Normal distribution) จะใช้ข้อมูลจากการทดสอบสองชุดที่ประมาณได้ว่ามีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งข้อมูลทั้งสองชุดนี้มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (MMD = μ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ที่เท่ากัน จากการทดสอบสองชุดตัวอย่าง สิ่งที่ได้จากการทดสอบดังตาราง ค.1

ตาราง ค.1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบสองชุดข้อมูล

ตัวอย่างทดสอบ	ขนาด d_{evap} (μm)	C = $\frac{y_{fuel,vapor}}{y_{uel,vapor} + y_{uel,liquid}}$
1	$d_{evap\ 1}$	C1
2	$d_{evap\ 2}$	C2
$\mu 1 = \mu\ 2$, $\sigma 1 = \sigma 2$		



รูป ค.1 : แสดงการกระจายข้อมูลการทดสอบแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution)

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการกระจายแบบแจกแจงปกติคือ

$$N(\mu\,,\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2})$$

จากพื้นที่ Vapor = c จัดให้ในรูปแบบอัตราส่วนโดยปริมาตร (Volume ratio)

จะได้ว่า

$$\frac{y_{fuel,vapor}}{y_{uel,vapor} + y_{uel,liquid}} = c = \int_0^{d_{evap}} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2})dx$$

จากปริมาตรทรงกลม (x = d)

$$vol = \frac{\pi x^3}{6}$$

และจัดรูปให้อยู่ในเทอม X จะได้ว่า

$$\mathrm{x} = (vol\frac{6}{\pi})^{\frac{1}{3}}$$

ทำการอนุพันธ์เทียบกับปริมาตร

$$dx = \frac{1}{3}(vol)^{\frac{-2}{3}}(\frac{\pi}{6})^{\frac{1}{3}}\,dv$$

จะได้ว่าฟังก์ชันความน่าจะเป็นดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$c = \int_0^{\frac{\pi}{6}d_{evap}^3} \frac{1}{3\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\left(vol\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} - \mu\right)^2}{2\sigma^2}} (vol)^{-2/3} \left(\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} dv$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

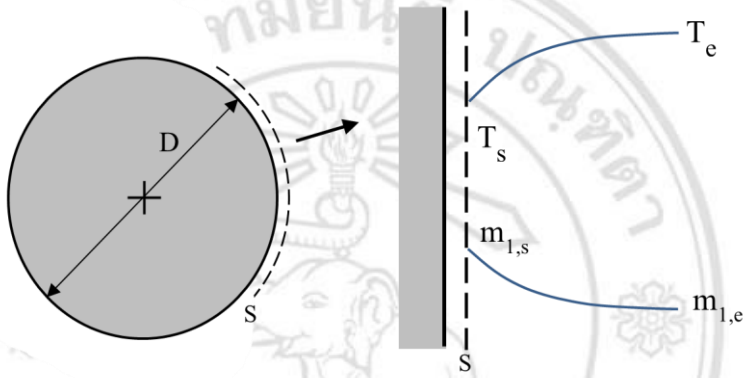
ภาคผนวก ง

การคำนวณหาขนาดหยดละอองจากสมการเวลาการระเหย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การคำนวณหาขนาด Droplet จากสมการเวลาการระเหย

ในการคำนวณหาขนาด Droplet นั้นจะพิจารณาหยดน้ำมันลอยสู่บรรยากาศ กำหนดให้บรรยากาศไม่มีความชื้น (RH = 0 %) มีการถ่ายเทความร้อนและมวลที่ผิวหยดน้ำมัน (s) เท่านั้น พิจารณาดังรูป ง.1



รูป ง.1 : สมดุลมวลของหยดละอองเชื้อเพลิง (ที่มา: Anthony F.Mill, 2001,61)

สมการเวลาการระเหยของละอองเชื้อเพลิง

$$t = \frac{r_l D_0^2}{8r\mathcal{D}_{12}(m_{1,s} - m_{1,e})} \qquad \text{สมการ (2.6)}$$

ข้อมูลพื้นฐานจากการกำหนดข้างต้น

- สัดส่วนมวลน้ำมันในอากาศ ($m_{1,e}$) = 0
- บรรยากาศไม่มีความชื้น (RH) = 0 %

จากสมการ (2.6) ได้ว่า

$$t = \frac{r_l D_0^2}{8r\mathcal{D}_{12}(m_{1,s} - 0)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการข้างต้นจะทำการหาขนาดเริ่มต้นของหยดน้ำมัน (D_0) โดยการกำหนดค่าเวลา (T) เริ่มต้นจากศูนย์ และเพิ่มค่าเวลาเพื่อหาขนาดในแต่ละช่วงเวลา ถ้าหยดน้ำมันมีขนาดเริ่มต้นที่ใหญ่ก็จะใช้เวลาในการละเหยมาก การคำนวณดังนี้

<u>สิ่งที่ทราบ</u>

สภาวะแวดล้อม

T = 28 °C , 301.15 K

P = 101325 Pa

RH = 0 %

M_{air} = 29 g/mol ($0.21O_2$ + $0.79N_2$)

คุณสมบัติน้ำมัน

ρ_l = 700 kg/m^3 , Pv = 88690 Pa

$\mathcal{D}$ = 7×10^{-7} m^2 / s (Zubaidy, I.A. และคณะ)

$M_{gasohol}$ = 114 g/mol (C_8H_{18})

<u>สิ่งที่ต้องหา</u> (1) ρ_s (Mixture density)

(2) ρ_e (Air density)

(3) $m_{1,s}$

<u>ρ_s (Mixture density)</u>

$$\rho_s = \rho_{gasohol} + \rho_{air}$$

$$\rho_s = \left(\frac{PM}{RT}\right)_{gasohol} + \left(\frac{PM}{RT}\right)_{air}$$

แทนค่า

$$\rho_s = \left(\frac{88690 \times 114}{8314 \times 301.15}\right)_{gasohol} + \left(\frac{(101325 - 88690) \times 29}{8314 \times 301.15}\right)_{air}$$

$$\rho_s = 4.185 \text{ kg/m}^3$$

<u>ρ_e (Air density)</u>

$$\rho_e = \left(\frac{PM}{RT}\right)_{air}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\rho_e = \left(\frac{101325 \times 29}{8314 \times 301.15}\right)_{air}$$

$$\rho e = 1.174 \ kg/m^3$$

<u>m 1,s สัดส่วนมวลน้ำมันที่ผิวหยด</u>

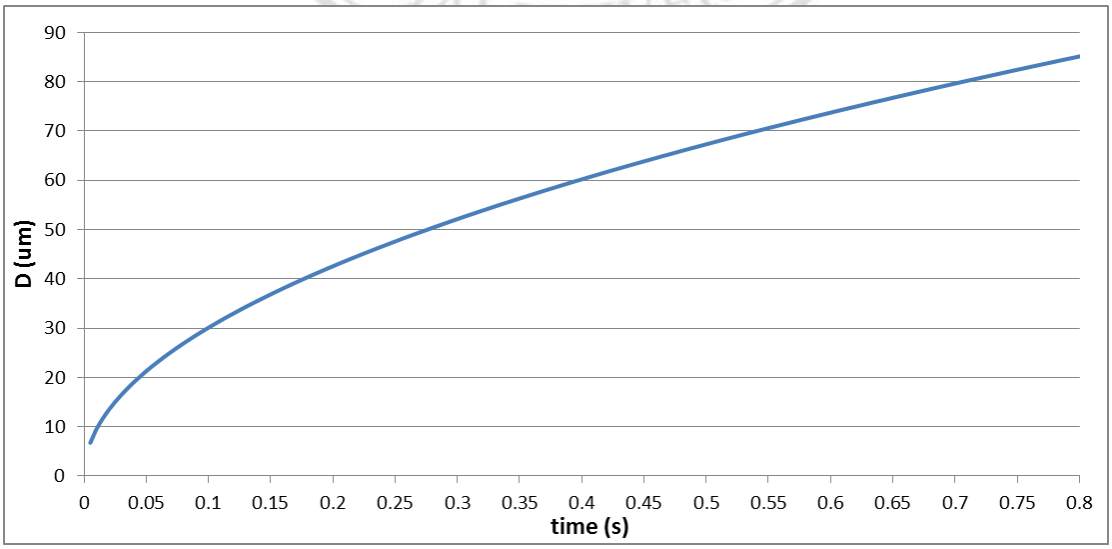
$$m_{1,s} = \frac{\rho_{gas}}{\rho_s} = \frac{\frac{PM}{RT}}{\rho_s}$$

$$m_{1,s} = \frac{\frac{88690 \times 114}{8314 \times 301.15}}{4.185}$$

$$m_{1,s} = 0.965$$

จัดรูปสมการ (2.6) ให้อยู่ในเทอมของ D_0 จากนั้นนำทุกตัวแปรแทนค่าในสมการ และหาค่า D_0 จากการกำหนดค่า T

$$D_0 = \sqrt{\frac{8T\rho D m_{1,s}}{\rho_l}}$$



รูป ง.2 : แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการระเหยกับขนาดหยดน้ำมัน

ภาคผนวก จ

การคำนวณหา Mass median diameter (MMD) ของหยดน้ำมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การคำนวณหา Mass median diameter (MMD)

การทดสอบเพื่อหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดน้ำมัน (MMD)ในงานวิจัยนี้จะทดสอบการเผาไหม้โดยใช้หัวเผาแบบที่ 6 และทดสอบโดยใช้ความยาวท่อ 35 cm และ 20 cm การทดสอบและการคำนวณดังนี้

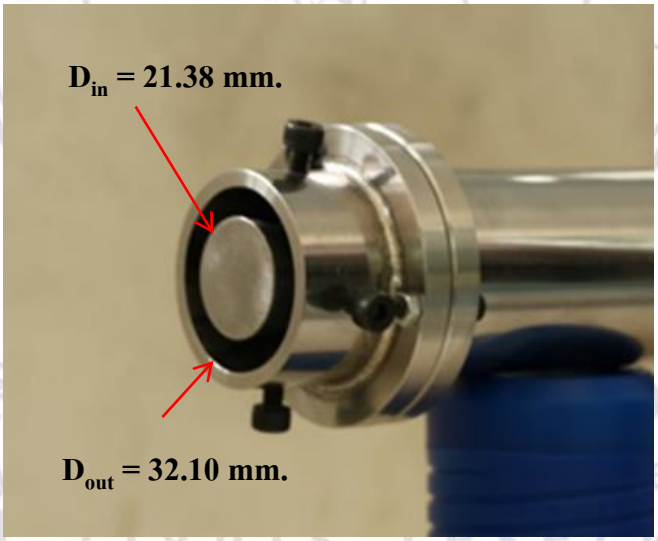
ข้อมูลเบื้องต้น

(1) ตัวอย่างทดสอบหัวเผาที่ความยาวท่อ (L) = 35 cm

(2) ทดสอบที่อุณหภูมิ 28°C , 301.15 K

(3) P_{atm} = 101,325 Pa

(4) พื้นที่หน้าตัดภายในท่อ (A) และพื้นที่ทางออกท่อ (A_{exit})



รูป จ.1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

ตำแหน่งท่อ	Area (m^2)
ทางออกท่อ	0.000450
หน้าตัดในท่อ	0.000809

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมมติฐานการทดสอบ

(1) กำหนดให้ขนาดหยดน้ำมันมีการกระจายแบบการแจกแจงปกติ (Normal distribution)

(2) ที่อัตราการไหลเชื้อเพลิงคงที่ จะมีความเร็วเฉลี่ย (V_{avg}) ที่ทางออกหัวเผามีค่าคงที่ และเปลวไฟมีความเสถียร

(3) หยดน้ำมันที่ไหลในท่อประมาณได้ว่ามีความเร็วเฉลี่ยคงที่ (V_{avg} constant)

(4) การปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อย ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (μ และ σ)

ตัวอย่างการทดสอบ 1

ขั้นตอนที่ 1 : ทดสอบหาเปลวไฟที่ไม่มีหยดน้ำมัน (ช่วงการเปลี่ยนแปลงเปลวไฟที่สามารถมองเห็นหยดน้ำมัน และเปลวไฟที่ไม่มีหยดน้ำมัน ดังเงื่อนไขตามรูปที่ จ.2

รูป จ.2 : เปลวไฟที่ไม่มีหยดน้ำมัน ที่เงื่อนไขทดสอบ

Fuel flow = 7 ml/min , Air#1 = 0.35 SCHM และ Air#2 = 60 SCFH

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สิ่งที่ต้องการในขั้นตอนที่ 1 คือ (1) V_{avg} และ (2) $\rho_{fuel,vapor}$

คุณสมบัติน้ำมัน	คุณสมบัติอากาศ
Fuel flow = 7 ml/min , 8.167×10^{-5} kg/s	P_{guage} = 54936 Pa

M_{fuel} = 107.2 g/mol

R_{fuel} = 8314/M_{fuel} = 77.556 J/Kmol

ρ_{fuel} = 700 kg/m^3

n = $\dot{m}$/M_{fuel} = 7.163×10^{-7} mol

$y_{fuel} = n_{fuel}/n_{total}$ = 0.018

$P_{fuel,vap}$ = y_{fuel} P_{total} = 2765.355 Pa

$\rho_{fuel,vapor}$ = $P_{fuel,vapor}$ /R_{fuel}T

P_{total}= 156261 Pa

M_{air} = 29 g/mol

R_{air} = 8314/M_{air}= 286.690 J/Kmol

ρ_{air} = 1.81 kg/m^3

n = $\dot{m}$/M_{aie} = 3.976×10^{-5} mol

$y_{air} = n_{air}/n_{total}$ = 0.982

Air flow total = 0.001153 kg/s

$\rho_{fuel,vapor}$ = 0.126 kg/m^3

สมการหา V_{avg} จากสมการ (5.1)

$$V_{avg} = \frac{(\dot{m}_{air} + \dot{m}_{fuel})}{A_{exit}\rho_{avg}}$$ สมการ (5.1)

โดยที่ ρavg หาจากสมการ (5.2)

$$\rho_{avg} = \rho_{air}(y_{air}) + \rho_{fuel,vapor}(y_{fuel})$$ สมการ (5.2)

แทนค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\rho_{avg} = (1.81 \times 0.982) + (0.126 \times 0.018)$$

ได้ว่า $\rho_{avg} = 1.780\ kg/m^3$ นำไปแทนค่าในสมการ (5.1)

จากสมการ (5.1) แทนค่าทุกตัวแปร

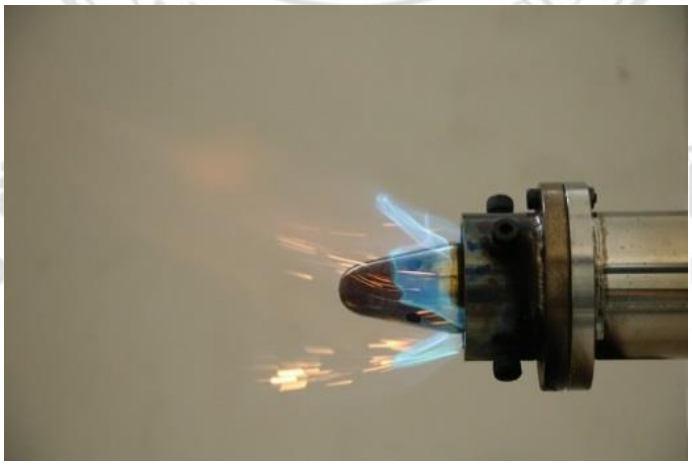
$V_{avg} = 1.541\ m/s$

จากขั้นตอนนี้จะได้

$\rho_{fuel,vapor} = 0.126\ kg/m^3$ และ $V_{avg} = 1.541\ m/s$

ขั้นตอนที่ 2 : ทดสอบหาเปลวไฟที่มีหยดน้ำมัน ดังเงื่อนไขตามรูปที่ จ.3

โดยกำหนดใช้ค่า V_{avg} และ $\rho_{fuel,vapor}$ มีค่าเท่ากับขั้นตอนที่ 1



รูป จ.3 : เปลวไฟที่มีหยดน้ำมัน ที่เงื่อนไขทดสอบ

Fuel flow = 7 ml/min , Air#1 = 0.2 SCHM และ Air#2 = 80 SCFH

ในขั้นตอนที่ 2 นี้จะปรับลดอากาศปฐมภูมิลงจากการทดสอบขั้นตอนที่ 1 จาก 0.35 เป็น 0.2 SCFM

สิ่งที่ต้องการจากขั้นตอนที่ 2 คือ

(1) ขนาดของหยดน้ำมัน (d) จากสมการ (2.6) โดยใช้ความเร็วเฉลี่ย V_{avg} จากขั้นตอนที่ 1

(2) สัดส่วนปริมาตรไอน้ำมันต่อปริมาตรของผสมทั้งหมด

<u>คุณสมบัติน้ำมัน</u>	<u>คุณสมบัติอากาศ</u>
Fuel flow = 7 ml/min , 8.167×10^{-5} kg/s	P_{guage} = 9810 Pa
M_{fuel} = 107.2 g/mol	P_{total}= 111135 Pa
R_{fuel} = 8314/M_{fuel} = 77.556 J/Kmol	M_{air} = 29 g/mol
ρ_{fuel} = 700 kg/m^3	R_{air} = 8314/M_{air}= 286.690 J/Kmol
n = $\dot{m}/M_{fuel}$ = 7.163×10^{-7} mol	ρ_{air} = 1.287 kg/m^3
$y_{fuel} = n_{fuel}/n_{total}$ = 0.022	n = $\dot{m}/M_{aie}$ = 3.212×10^{-5} mol
$P_{fuel,vap} = y_{fuel} P_{total}$ = 2424.506 Pa	$y_{air} = n_{air}/n_{total}$ = 0.978
$\rho_{fuel,vapor} = P_{fuel,vapor}/R_{fuel}T$ = 0.110 kg/m^3	Air flow total = 0.000913 kg/s

<u>หาสัดส่วนปริมาตรไอน้ำมันต่อปริมาตรของผสมทั้งหมด</u>

จากสมการ (5.1) จัดรูปสมการให้อยู่ในเทอมของ $\bar{\rho}_{mix}$

$$\bar{\rho}_{mix} = \frac{(\dot{m_{air}} + \dot{m}_{fuel})}{A\, V_{avg}}$$

โดยที่

$$\bar{\rho}_{mix} = \rho_{air}(y_{air}) + \rho_{fuel,vapor}(y_{fuel,vapor}) + \rho_{fuel,liquid}(y_{fuel,liquid}) \quad \text{สมการ (5.4)}$$

$$y_{air} + y_{fuel,vapor} + y_{fuel,liquid} = 1 \quad \text{สมการ (5.5)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่กำหนดใช้ V_{avg} และ $\rho_{fuel,vapor}$ เท่ากับขั้นตอนที่ 1 เปลวไฟที่ไม่มีหยดน้ำมัน แทนลงในสมการ (5.1)

จะได้ $\bar{\rho}_{mix} = 1.461\ kg/m^3$

จากสมการ (5.4) และ (5.5)

ตัวแปรทราบค่า	ตัวแปรไม่ทราบค่า
ρ_{avg} = 1.461 kg/m^3	$y_{fuel,vapor}$
ρ_{air} = 1.287 kg/m^3	$y_{fuel,liquid}$
y_{air} = 0.978	
$\rho_{fuel,vapor}$ = 0.126 kg/m^3	
$\rho_{fuel,liquid}$ = 700 kg/m^3	

แทนค่าข้อมูลลงในสมการ (5.4) และ (5.5) แก้ปัญหาระบบสมการ 2 สมการ 2 ตัวแปรไม่ทราบค่า

จะได้ $y_{fuel,vapor}$ = 0.021532

$y_{fuel,liquid}$ =0.0002839

จากสมการ (5.3)

$$\frac{y_{fuel,vapor}}{y_{fuel,vapor} + y_{fuel,liquid}} = \frac{0.021532}{0.021532+0.0002839} = 0.987$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

<u>หาขนาดของหยดน้ำมัน (d)</u>

โดยกำหนดใช้ความเร็วเฉลี่ยจากขั้นตอนที่ 1 คือ V_{avg} = 1.541 m/s

หาเวลาที่ V_{avg} = 1.541m/s ไหลในท่อยาว 35 cm

$$t = \frac{L}{V} = \frac{L}{\frac{m_{total}}{\bar{\rho}_{mix} A_{in}}}$$

แทนค่าทุกตัวแปรหา t

$$t = \frac{0.35}{\frac{0.0010132}{1.461 \times 0.000809}}$$

จะได้ว่า t = 0.353 วินาที

นำค่า t หาขนาดหยดน้ำมันตามวิธีในภาคผนวก ง หรือสามารถนำเวลาไปเทียบกับกราฟในรูปที่ ง.2 ซึ่งจะได้ขนาดหยดน้ำมัน คือ <u>60.825</u> μm

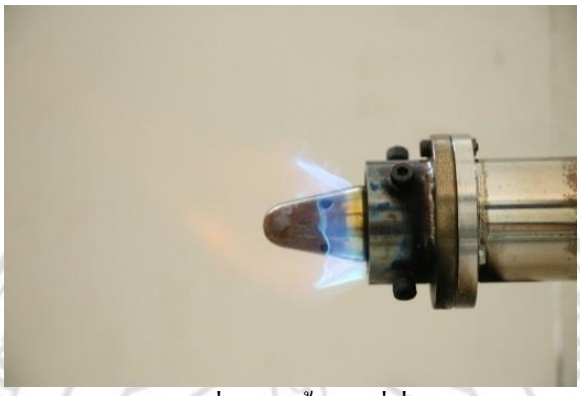
ขั้นตอนต่อไปคือทดสอบชุดข้อมูลใหม่ โดยทำการทดสอบที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 8 ml/min

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างทดสอบ 2

สำหรับตัวอย่างทดสอบ 2 มีขั้นตอนตามการทดสอบตัวอย่าง 1 ทุกประการ จากการทดสอบที่อัตราการไหลเชื้อเพลิง 8 ml/min ได้ผลทดสอบดังนี้

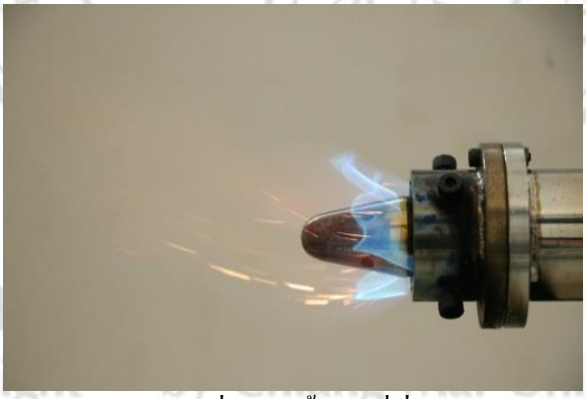
ขั้นตอนที่ 1 : ทดสอบหาเปลวไฟที่ไม่มีหยดน้ำมัน ดังเงื่อนไขตามรูปที่ จ.4



รูป จ.4 : เปลวไฟที่มีหยดน้ำมัน ที่เงื่อนไขทดสอบ

Fuel flow = 8 ml/min , Air#1 = 0.35 SCHM และ Air#2 = 60 SCFH

ขั้นตอนที่ 2 : ทดสอบหาเปลวไฟที่มีหยดน้ำมัน ดังเงื่อนไขตามรูปที่ จ.5



รูป จ.5 : เปลวไฟที่มีหยดน้ำมัน ที่เงื่อนไขทดสอบ

Fuel flow = 8 ml/min , Air#1 = 0.2 SCHM และ Air#2 = 80 SCFH

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดสอบตัวอย่าง 2 ได้ว่า

ขนาดหยดน้ำมัน คือ 60.475 μm

$$\frac{y_{fuel,vapor}}{y_{fuel,vapor} + y_{fuel,liquid}} = 0.988$$

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดน้ำมัน (MMD)

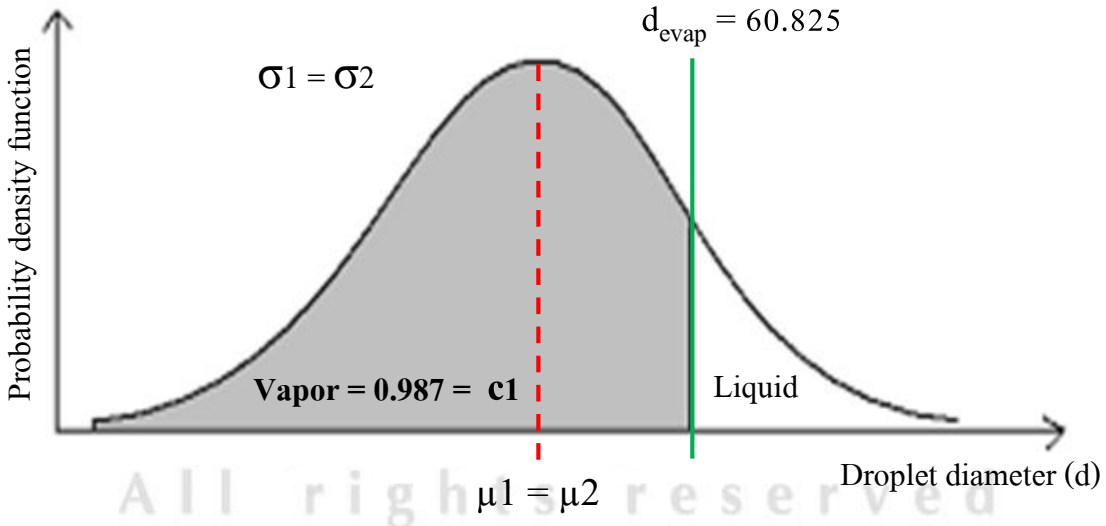
ข้อมูลจากการทดสอบ 2 ตัวอย่างดังตาราง จ.1

ตาราง จ.1 แสดงข้อมูลจากการทดสอบสองชุดข้อมูลสำหรับการคำนวณ MMD

ตัวอย่าง	ขนาดหยดน้ำมัน (d)	$\frac{y_{fuel,vapor}}{y_{fuel,vapor} + y_{fuel,liquid}}$
1	60.825	0.987
2	60.475	0.988

กำหนดให้ข้อมูลทั้งสองตัวอย่างมีการกระจายแบบแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ที่ข้อมูลทั้งสองชุดนี้มีค่าเฉลี่ย (μ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากัน ซึ่งสามารถประมาณการแจกแจงดังนี้

สำหรับตัวอย่างที่ 1



รูป จ.6 แสดงการกระจายข้อมูลการทดสอบแบบแจกแจงปกติตัวอย่างที่ 1

จากรูปที่ จ.6 สามารถประมาณด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นจากสมการ (5.6) ดังนี้

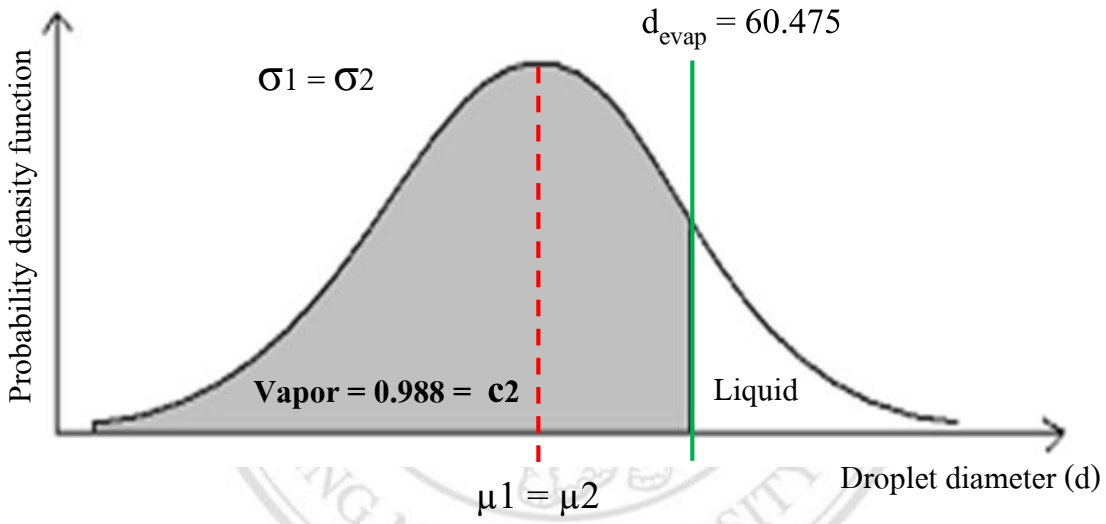
$$c = \int_0^{\frac{\pi}{6}d_{evap}^3} \frac{1}{3\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\left(vol\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} - \mu\right)^2}{2\sigma^2}} (vol)^{-2/3} \left(\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} dv$$

All rights reserved

จะได้ว่า

$$0.987 = \int_0^{\frac{\pi}{6}60.825^3} \frac{1}{3\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\left(\frac{\pi}{6}60.825^3\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} - \mu\right)^2}{2\sigma^2}} \left(\frac{\pi}{6}60.825^3\right)^{-2/3} \left(\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} dv \quad \text{(A)}$$

สำหรับตัวอย่างที่ 2



รูป จ.7 : แสดงการกระจายข้อมูลการทดสอบแบบแจกแจงปกติตัวอย่างที่ 2

จากรูปที่ จ.6 สามารถประมาณด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นจากสมการ (5.6) ดังนี้

$$0.988 = \int_0^{\frac{\pi}{6}60.475^3} \frac{1}{3\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\left(\left(\frac{\pi}{6}60.475^3\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} - \mu\right)^2}{2\sigma^2}} \left(\frac{\pi}{6}60.475^3\right)^{-2/3} \left(\frac{6}{\pi}\right)^{\frac{1}{3}} dv \quad \text{(B)}$$

จากสมการ (A) และ (B) แก้ระบบสมการ 2 สมการ 2 ตัวแปรไม่ทราบค่า จะได้ว่า

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดน้ำมัน (MMD) = 12.65

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) = 7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ช

โค้ดคำนวณขนาด MMD ของหยดน้ำมันโดยใช้โปรแกรม Matlab

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โค้ดคำนวณขนาด MMD ของหยดน้ำมันโดยใช้โปรแกรม Matlab

การคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ยของขนาดหยดน้ำมัน (MMD = μ) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะใช้ข้อมูลจากสองตัวอย่างทดสอบ ที่ประมาณได้ว่ามีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เท่ากัน และหาจากการแก้ปัญหาระบบสมการ 2 สมการ 2 ตัวแปรไม่ทราบค่า ในการแก้ปัญหาระบบสมการจะใช้โปรแกรม Matlab ในการคำนวณ โค้ดการคำนวณหาค่า MMD ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u>: ฟังก์ชันการคำนวณ

```
options=optimset('maxfunevals',10e6);
[x,fval,exitflag]=fminsearch('myfun',[20;5],options)

plotLog(x(1),x(2))
```

<u>ส่วนที่ 2</u>: ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ

```
function gy = gyFunc( y )
global mu sigma
gy=zeros(size(y));
for i=1:max(size(y))
    gy(i)=((6/pi)^(1/3))*(1./(3*sigma*sqrt(2*pi)))*exp((-
((6/pi)^(1/3)*(y(i)^(1/3)-mu))^2)/((2*sigma^2)))*(y(i)^(-2/3));

end

end
```

<u>ส่วนที่ 3</u>: ส่วนการให้ข้อมูลจากตัวอย่างทดสอบ

```
function [y] = myfun(x)
global mu sigma
mu=x(1);
sigma=x(2);
y1=54.151^3*pi/6; %droplet diameter cubed
y2=50.627^3*pi/6; %droplet diameter cubed
c1=0.990;
c2=0.994;
f1=quadl('gyFunc',0.0001,y1)-c1;
f2=quadl('gyFunc',0.0001,y2)-c2;
y=100*(f1^2+f2^2);
end
```

การให้ข้อมูล
จากตัวอย่าง 1 และ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ซ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมัน

จากสมการวิเคราะห์ของ Alfonso Ganan calvo

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมันจากสมการวิเคราะห์ของ Alfonso Ganan calvo

ในงานวิจัยนี้ได้ทำออกแบบหัวเผาที่ใช้หลักการลักษณะเดียวกับหัวฉีดที่ศึกษาโดย Alfonso Ganan calvo ที่ใช้ของไหลทดสอบเป็นน้ำและเอทานอล ซึ่งมีประสิทธิภาพในการให้ละอองเชื้อเพลิงที่มีความละเอียดสูง การตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมันนั้นใช้เทคนิค Laser-diffraction และทำการวิเคราะห์ขนาดโดยใช้สมการดังนี้

กำหนดสมการในรูปแบบตัวแปรไร้หน่วย (δ)

$$\delta = \delta(\psi, We_D, Oh_D, GLR)$$

$$\delta = C_1 We_D^{-0.6}(1 + C_2 Oh_D)(1 + C_3 GLR^{-1})^{1.2}$$

และความสัมพันธ์

$$\delta = MMD/D$$

โดยที่

Oh คือ Ohnesorge numbert = $\mu(\rho_l \sigma D)^{-1/2}$

We คือ Weber numbert = $\rho_g U_g^2 D(2\sigma)^{-1}$

ค่าคงที่จากการทดสอบของไหลเป็นน้ำและเอทานอล

C1 = 0.42 , C2 = 18 , C3 = 1

การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมันจะสร้างกราฟจากสมการของ Alfonso Ganan calvo แต่จะแทนค่าตัวแปรจากการทดสอบในงานวิจัยนี้ และใช้คุณสมบัติของน้ำมัน ส่วนค่าคงที่ C1, C2, C3 จะใช้ค่าเดียวกับ Alfonso Ganan calvo

การคำนวณดังนี้

<u>สภาวะแวดล้อมทดสอบ</u>

T = 28 °C , 301.15 K

P = 101,325 Pa

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณสมบัติอากาศ

ρ = 1.287 kg/m^3

คุณสมบัติน้ำมันแก๊สโซลีน

ρ_l = 700 kg/m^3

σ = 0.022 N/m

μ = 0.0006 Ns/m^2

Nozzle condition

D_{nozzle} = 0.9 mm (True = 0.876 mm.)

H = 300 μm

Ψ = H/D = 0.342

A = $\pi D^2/4$

= 7.85×10^{-7} m^2

**ความเร็วในการทดสอบหัวเผาใช้ค่าเดียว คือที่ Primary air = 0.2 SCFM

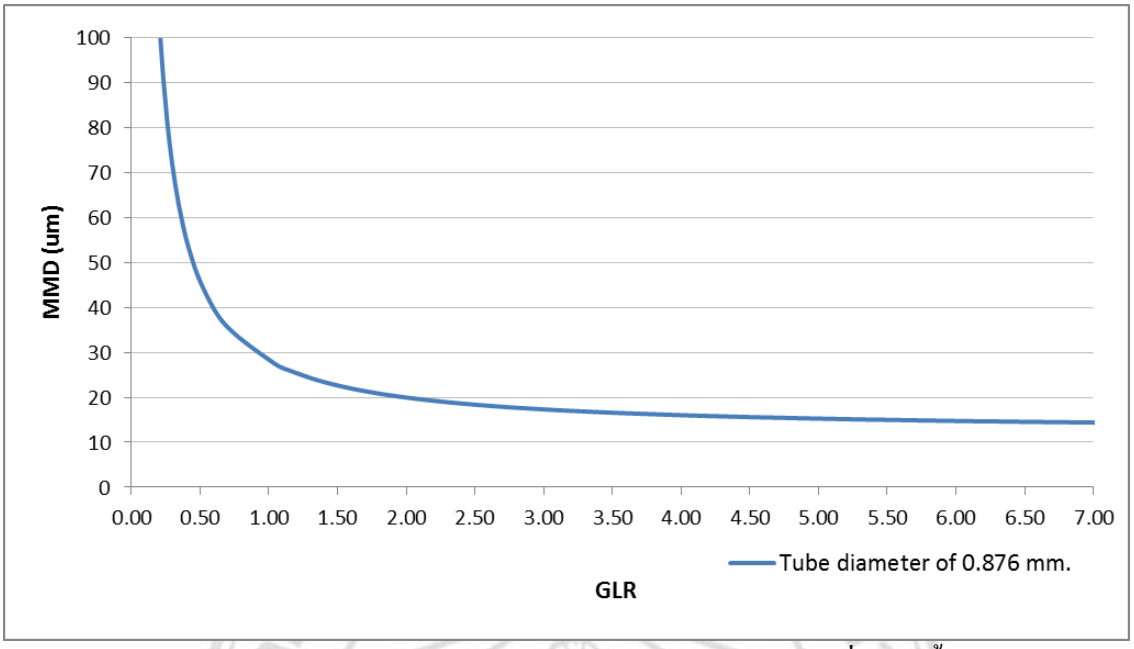
ค่าคำนวณที่คงที่

V (m/s)	Oh	(1+18Oh)	We	$We^{0.6}$
114.386	0.005	1.093	335.312	32.754

Primary air			Fuel flow		A/F	$0.42(1+\frac{1}{GLR})^{1.2}$	δ	MMD (μm)
(SCFM)	(m^3/s)	(mg/s)	ml/min	mg/s				
0.2	9.44×10^{-5}	121.5	0.01	0.117	10141.43	0.420	0.014	12.29
			0.02	0.233	520.718	0.421	0.014	12.30
			0.04	0.467	260.359	0.422	0.014	12.33
			0.06	0.700	173.573	0.423	0.014	12.36
			0.08	0.933	130.180	0.424	0.014	12.39
			0.10	1.167	104.144	0.425	0.014	12.42
			:	:	:	:	:	:

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมัน (MMD) ให้แกน X คือ A/F และแกน Y คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป ซ1 : กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยหยดน้ำมัน (MMD)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายธนาคาร แสนกุย

วัน เดือน ปี เกิด 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีการศึกษา 2559 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลงานวิชาการ ธนาคาร แสนกุย, James C. Moran และ ระดม พงษ์วุฒิธรรม "ระบบเผาไหม้เชื้อเพลิงขนาดเมโสโดยใช้หัวฉีดแบบการไหลมัว" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 30, 5 – 8 กรกฎาคม 2559

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved