

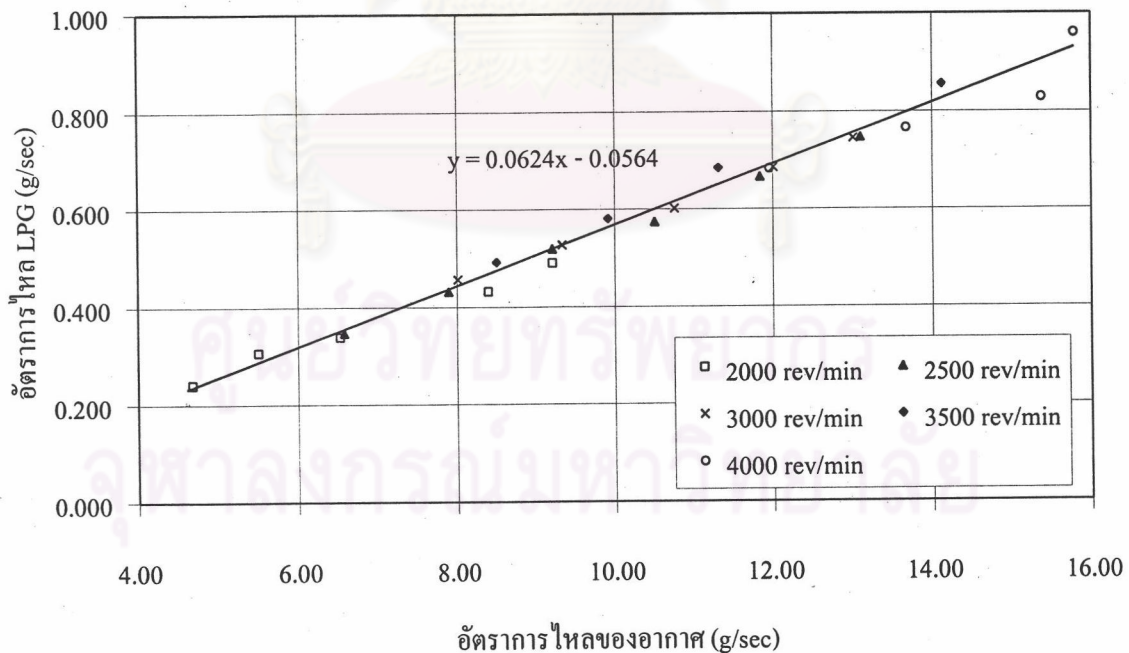
บทที่ 6

LPG Variable venturi

ข้อมูลของอัตราส่วนสมมูลระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดสอบหา Optimum performance ของเครื่องยนต์เอสไอ สองจังหวะ เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงแสดงในตารางที่ 5-12 ถูกนำมาใช้ในการคำนวณหา profile needle valve ให้กับระบบ gas variable venturi โดยที่ profile ของวาล์วก๊าซขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงที่ไหลผ่าน

6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับเชื้อเพลิงที่ Optimum A/F

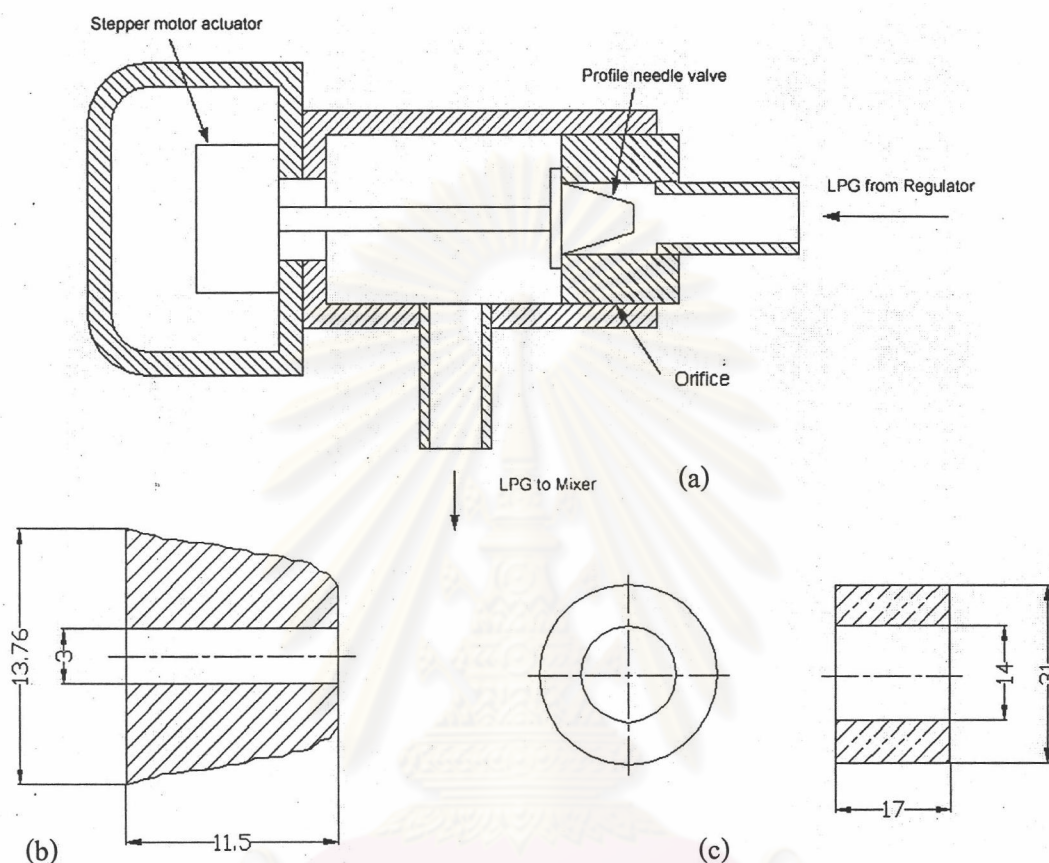
เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการหา optimum A/F มาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับเชื้อเพลิง LPG สามารถนำมาแสดงในรูป 6-1 ซึ่งพบว่าอัตราการไหลของ LPG มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศในลักษณะเชิงเส้น นั่นคือในการออกแบบเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาพื้นที่เปิดสำหรับการออกแบบ profile needle valve โดยใช้ความเร็วรอบเป็นตัวกำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์



รูปที่ 6-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับอัตราการไหลของ LPG ที่ Optimum performance path

6.2 รายละเอียดของ LPG variable venturi

เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบสามารถแสดงรูปและตารางข้อมูลของ LPG variable venturi ได้ดังรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบใน gas variable venturi (a) , profile needle valve section (b) และ ออร์ฟิฟีสวาล์ว (c) เมื่อกำหนดให้ขนาดเป็น mm.

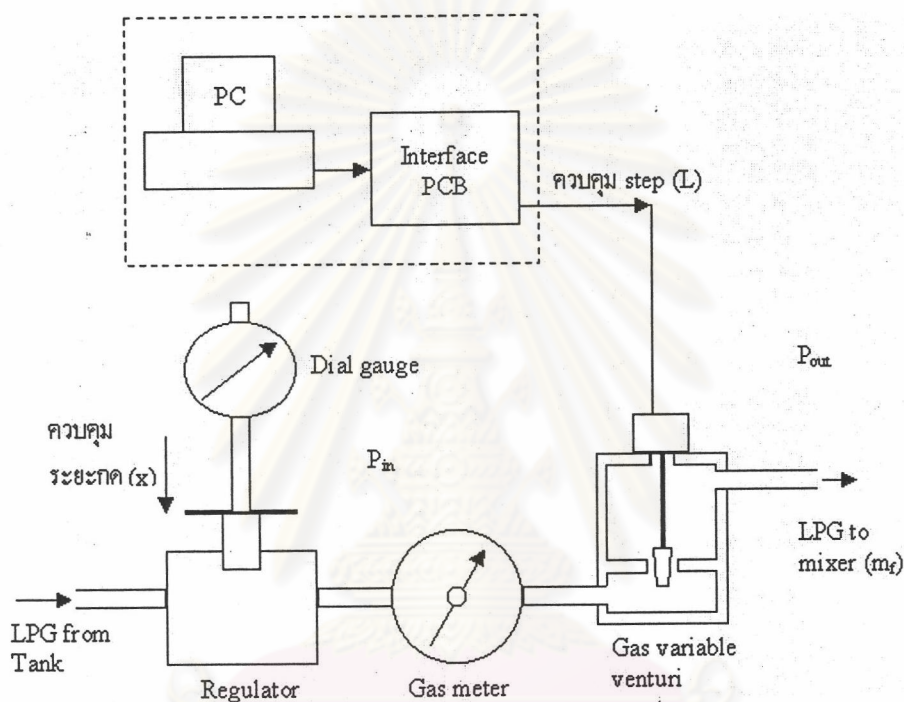
ตารางที่ 6-1 แสดงรายละเอียดวาล์วโดยแสดงถึงระยะวาล์วที่สัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางวาล์ว

ระยะวาล์ว (mm)	diameter valve (mm)	ระยะวาล์ว (mm)	diameter valve (mm)	ระยะวาล์ว (mm)	diameter valve (mm)	ระยะวาล์ว (mm)	diameter valve (mm)	ระยะวาล์ว (mm)	diameter valve (mm)
11.5	7.53	9.0	10.22	6.5	11.43	4.0	12.18	1.5	13.08
11.0	8.88	8.5	10.76	6.0	11.59	3.5	12.22	1.0	13.18
10.5	9.06	8.0	10.78	5.5	11.63	3.0	12.45	0.5	13.50
10.0	10.03	7.5	10.91	5.0	11.97	2.5	12.60	0.0	13.75
9.5	10.20	7.0	10.92	4.5	12.13	2.0	12.60		

6.3 การออกแบบระบบควบคุมเชื้อเพลิงก๊าซชนิด gas variable venturi

ระบบ gas variable venturi นำมาใช้เพื่อควบคุมการจ่าย LPG (metering) ตามความต้องการของเครื่องยนต์ มีส่วนประกอบหลักคือ วาล์วก๊าซ, Digital Linear Actuator (DLA), Controller และ เรกูเรเตอร์ปรับความดันก๊าซ ดังรูปที่ 6-3

วาล์วก๊าซถูก profile ไว้เพื่อเปลี่ยนพื้นที่เปิดและควบคุมการไหลของก๊าซ และต่อเข้ากับปลายของ Digital Linear Actuator (DLA) มี Controller (ใช้ interface board กับ PC) ควบคุมการเลื่อนตำแหน่งและพื้นที่เปิด



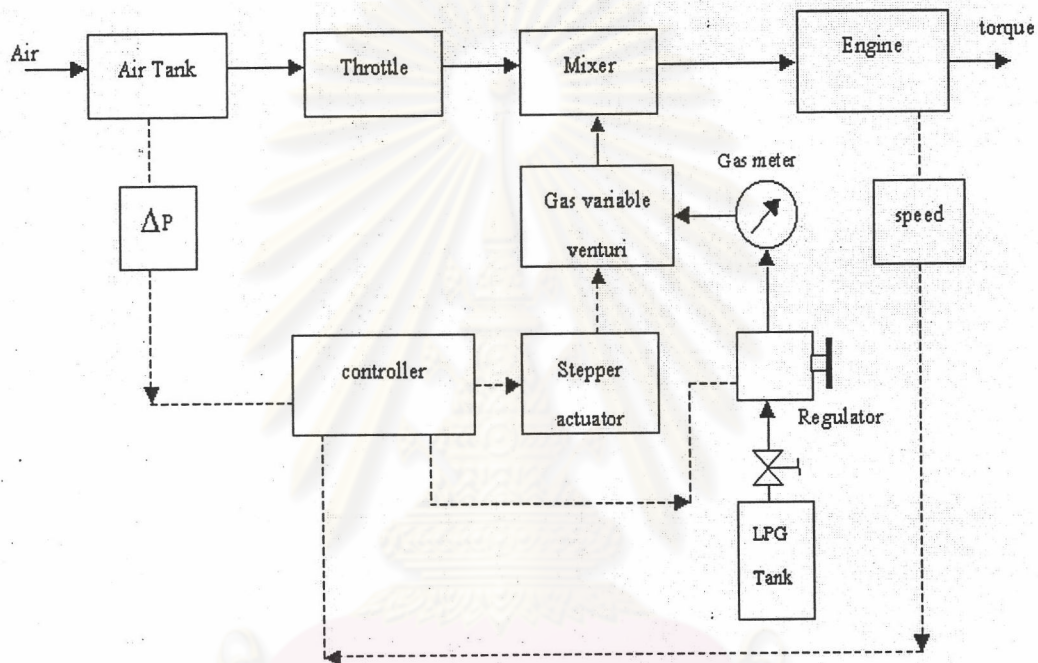
รูปที่ 6-3 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของ gas variable venturi

เรกูเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ทำหน้าที่ควบคุมความดันให้เหมาะสมก่อนจ่ายเข้าไปในเครื่องยนต์ และในระบบควบคุมที่ได้ออกแบบใช้เรกูเรเตอร์ชนิด single stage ควบคุมความดันให้มากกว่าความดันบรรยากาศ เป็นข้อแตกต่างจากระบบเดิม (conventional LPG) ที่ใช้เวเปอร์ไรเซอร์ (หรือหม้อต้ม) ชนิด two stage ซึ่งออกแบบมาสำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ และอาศัย depression จากมิทเซอร์เป็นสัญญาณควบคุมปริมาณการไหล แต่ depression ที่เกิดจากเครื่องยนต์สองจังหวะไม่มากพอจึงไม่สามารถควบคุมการไหลของ LPG ให้กับเครื่องยนต์ได้อย่างเหมาะสม

6.3.1 แบบจำลองของระบบควบคุมเชื้อเพลิงก๊าซ

เมื่อนำระบบควบคุม gas variable venturi มาใช้งานกับเครื่องยนต์สามารถเขียนแบบจำลองหรือโมเดลแสดงความสัมพันธ์ของระบบต่างๆ กับการทำงานของเครื่องยนต์ได้ดังรูปที่ 6-3 โดยทั่วไปแล้วที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์หนึ่งๆ ผู้ขับจะทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้า

เครื่องยนต์โดยการปรับตำแหน่งวาล์วปีกผีเสื้อ Controller รับข้อมูลจากอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านเข้ามา (หรือตำแหน่งวาล์วปีกผีเสื้อ) จากนั้นจะสร้างสัญญาณไปควบคุมการเลื่อนตำแหน่งวาล์วก๊าซ (หรือพื้นที่การไหลของเชื้อเพลิงก๊าซ) เพื่อควบคุมอัตราส่วนในสารผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามความต้องการของเครื่องยนต์ในขณะนั้น ในกรณีที่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมอัตราส่วนของสารผสม มีการนำระบบควบคุมแบบ feedback control โดยอาศัยเซนเซอร์ต่างๆ ในการตรวจจับตำแหน่งหรือปริมาณที่ได้ และนำข้อมูลที่ได้อ้อนกลับไปที่ Controller จะเห็นว่าองค์ประกอบหลักของระบบแสดงดังรูปที่ 6-4



รูปที่ 6-4 แสดง block diagram สำหรับการควบคุม gas variable venturi เพื่อใช้ในเครื่องยนต์เอสไอสองจังหวะ

ในงานวิจัยนี้ ใช้การควบคุมแบบ manual ควบคุมตำแหน่งวาล์วก๊าซ โดยการปรับ step ผ่าน PC และ controller ขณะที่ควบคุมความดันที่ออกจากเรกูเรเตอร์ โดยการปรับระยะกดสกรูปรับความดันบนเรกูเรเตอร์

6.3.2 พารามิเตอร์ในการควบคุมปริมาณก๊าซของระบบ gas variable venturi

การระบบควบคุม gas variable venturi มาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถควบคุมส่วนผสมให้กับเครื่องยนต์ ซึ่งหน้าที่หลักของระบบ gas variable venturi คือควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าไปผสมกับอากาศโดยปริมาณเชื้อเพลิงนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศที่ไหลเข้ามาในเครื่องยนต์ โดยระบบที่ออกแบบให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งในการทำงานของเครื่องยนต์ซึ่งหมายถึงความเร็วรอบเครื่องยนต์กับปริมาณอากาศจะขึ้นอยู่กับความดันที่ออกมาจากรีกูเรเตอร์และตำแหน่งของวาล์วก๊าซ สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$m_{\text{fuel}} [\text{RPM}, m_a] = f [P_{\text{reg}}, L_{\text{step}}]$$

โดย RPM คือความเร็วรอบของเครื่องยนต์ มีค่าระหว่าง 1650 ถึง 4000 rev/min

m_a คือปริมาณอากาศที่ไหลผ่านขณะนั้น

P_{reg} คือความดันจากเรกูเรเตอร์

L_{step} คือตำแหน่งของวาล์วก๊าซ

6.4 การควบคุม gas variable venturi โดย Stepper motor actuator

Stepper motor actuator หรือ Digital linear actuator (DLA) เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ตามแนวแกน มีลักษณะของส่วนประกอบและการทำงานเช่นเดียวกับ stepper motor การเคลื่อนที่ของ DLA เป็น discrete step ตามสัญญาณของ pulse ที่มาสั่งงาน โดยทิศทางของการเคลื่อนที่ที่มีความสัมพันธ์กับ sequence pulse , ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มีความสัมพันธ์กับความถี่ และระยะในการเคลื่อนที่ที่มีความสัมพันธ์กับจำนวน input pulse ที่สั่งงาน

วงจร driver สำหรับควบคุมวาล์วก๊าซโดยการติดต่อและสั่งงานจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตขนาน โดยไดอะแกรมของ Interface controller ที่ใช้ในการควบคุมวาล์วก๊าซแสดงในรูปที่ 6-5

6.4.1 รายละเอียด stepper motor actuator

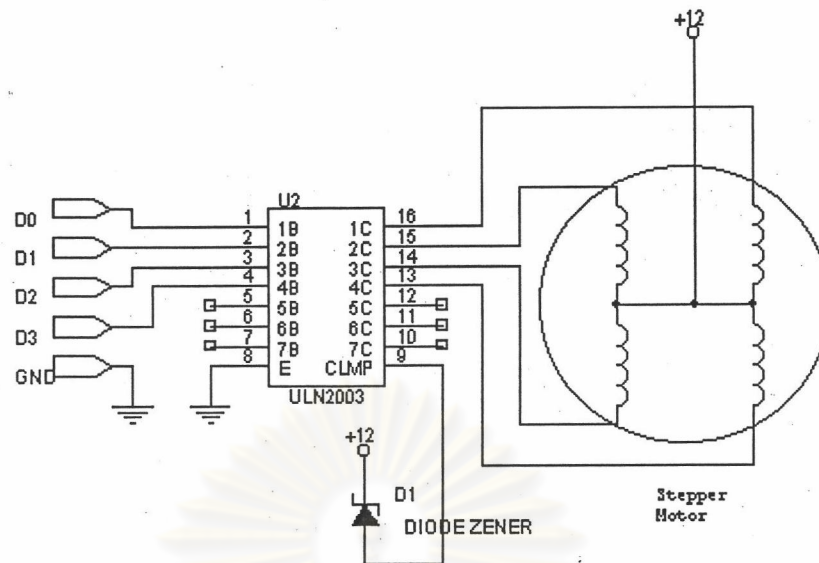
DLA ที่นำมาใช้ในการควบคุม gas variable venturi เป็นของ Thomson Airpax mechatronics Series K92141-P2 ชนิด unipolar drive แสดงรายละเอียดดังนี้

Specification ของ DLA Series K92141-P2

Max. travel	= 0.5" (12.7 mm)
Resolution (travel per step)	= 0.004" (0.10 mm)
Max. force	= 16 oz (4.45 N)
Min. holding force	= 7 oz (1.95 N)

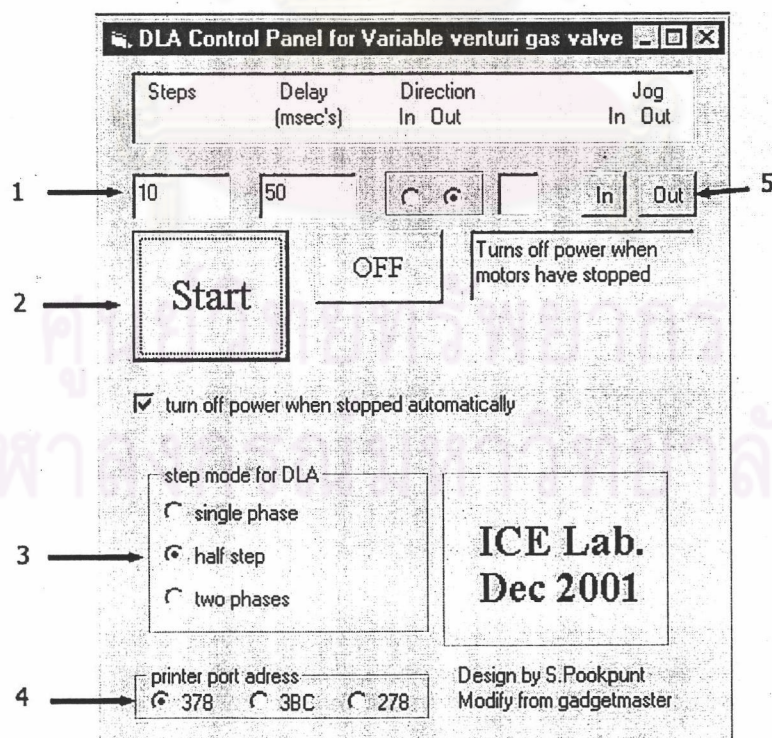
6.4.2 Interface controller และการใช้งาน

1. Driver Interface PCB ทำหน้าที่ติดต่อและส่งสัญญาณจากโปรแกรมที่ทำงานบน PC เพื่อควบคุมการทำงานของ DLA ซึ่งใช้ควบคุมการเคลื่อนตำแหน่งวาล์วของ gas variable venturi รายละเอียดของ PCB แสดงในรูปที่ 6-5



รูปที่ 6-5 แสดงไดอะแกรมของวงจรควบคุมการทำงานของวาล์วก๊าซ

2. โปรแกรมควบคุมการทำงานของ gas variable venturi เขียนขึ้นจาก visual basic แสดง source code ของ main program ในภาคผนวก ก.
3. การใช้งานโปรแกรมควบคุม gas variable venturi
การควบคุมการทำงานของ DLA แบ่งเป็น 5 ส่วนดังรูปที่ 6-6



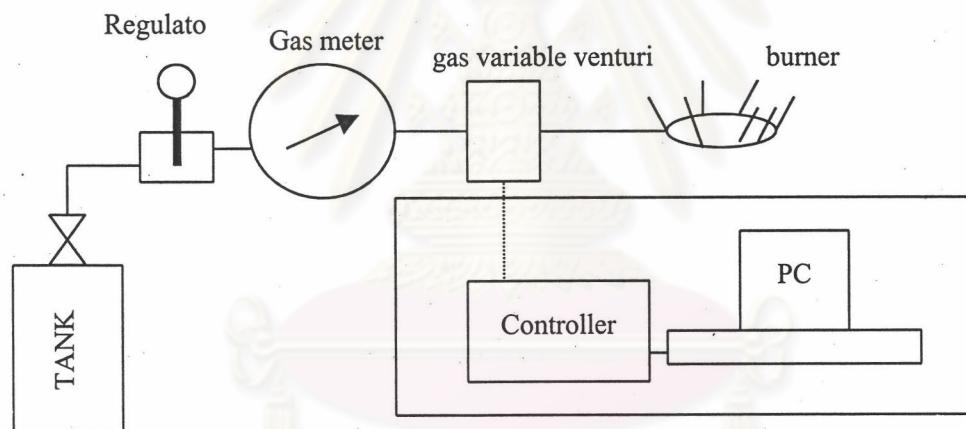
รูปที่ 6-6 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมควบคุมการทำงานของ DLA

- โดยที่
1. กำหนดจำนวน step และความเร็วของการทำงาน
 2. ปุ่มควบคุมการทำงานและหยุดการทำงาน
 3. กำหนดโหมดการทำงานตามชนิด DLA ที่นำมาใช้งาน
 4. พอร์ตควบคุมที่เชื่อมต่อเข้ากับ PC
 5. โหมดคำสั่งในการเลื่อนทีละ 1 step

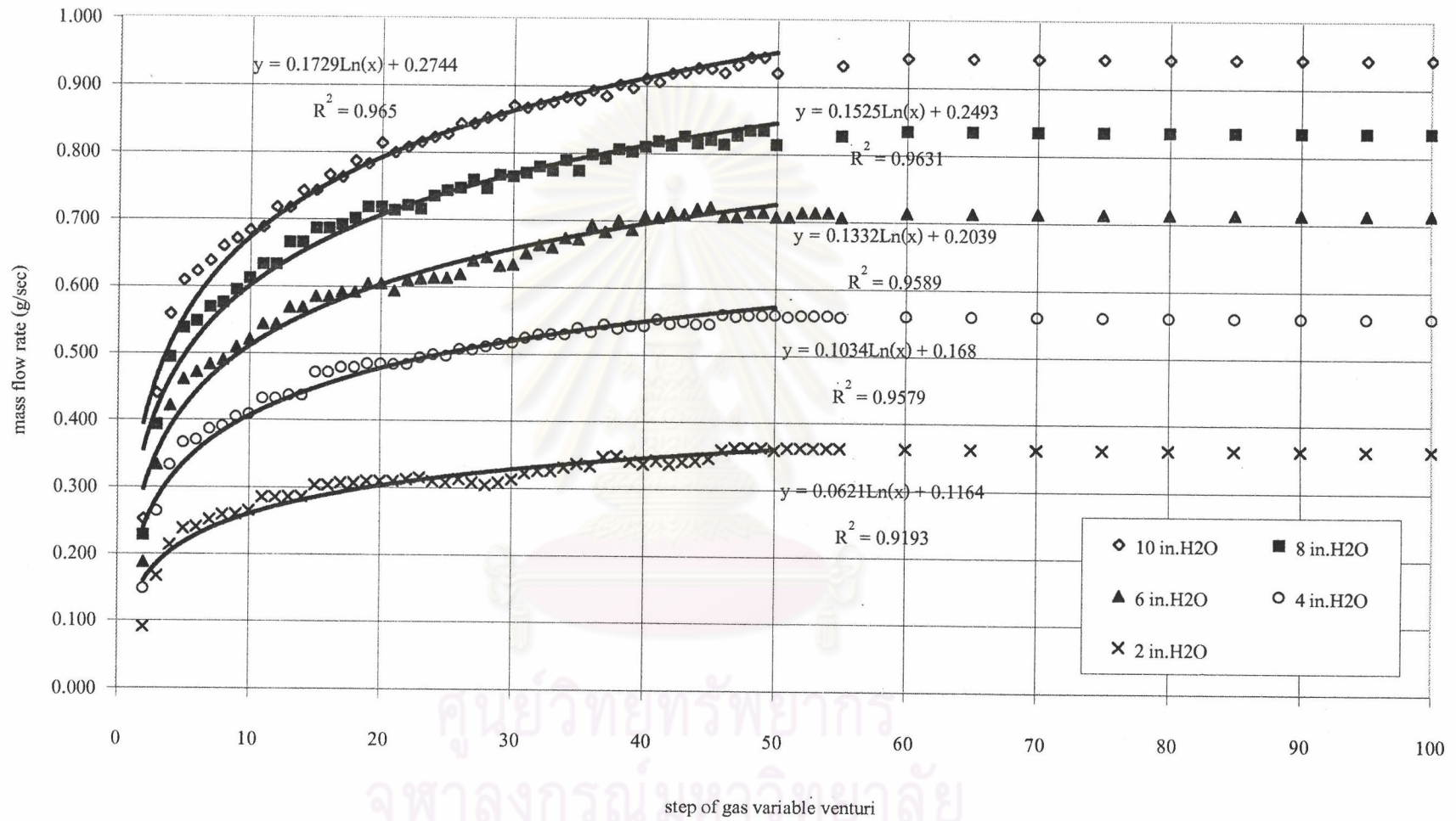
6.4 การสอบเทียบ (calibration) gas variable venturi

ติดตั้ง gas variable venturi ที่ได้ออกแบบเข้ากับระบบวัดอัตราการไหลของก๊าซ และ burner ดังรูป 6-7 ทำการทดสอบโดยรักษาให้ความดันตกคร่อมในระบบทั้งหมดมีค่าคงที่โดยเริ่มจาก 2 inch.H₂O ถึง 10 inch.H₂O (เนื่องจากความดันสูงสุดของ gas meter คือ 10 inch.H₂O) เปลี่ยนตำแหน่ง step (L) ของก๊าซวาล์วปรับความดันตกคร่อมระบบให้คงที่และบันทึกอัตราการไหล

จากการทดสอบพบว่าอัตราการไหลของก๊าซเริ่มคงที่เมื่อตำแหน่งของ step (L) มากกว่า 50 step นอกจากนี้ค่าสูงสุดที่วัดได้จากการสอบเทียบมีค่าประมาณ 0.5 liter/sec



รูปที่ 6-7 แสดงองค์ประกอบและการควบคุม gas variable venturi ในการ calibration



รูปที่ 6-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเมื่อความดันหลังเรกูเรเตอร์ที่ค่าต่างๆ 2-10 inch H₂O คงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วก๊าซ (step) correct ตามมาตรฐาน AS-2789.1-1985 ที่ $P_r = 100$ kPa, $T = 300$ K

- แบบจำลองเพื่อใช้ในการคาดเดาอัตราการไหลของก๊าซ

$$\text{ที่ } 2 \text{ inch.H}_2\text{O} : Q = 0.0621 \ln(L) + 0.1164$$

$$\text{ที่ } 4 \text{ inch.H}_2\text{O} : Q = 0.1034 \ln(L) + 0.168$$

$$\text{ที่ } 6 \text{ inch.H}_2\text{O} : Q = 0.1332 \ln(L) + 0.2039$$

$$\text{ที่ } 8 \text{ inch.H}_2\text{O} : Q = 0.1525 \ln(L) + 0.2493$$

$$\text{ที่ } 10 \text{ inch.H}_2\text{O} : Q = 0.1729 \ln(L) + 0.2744$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหลที่ความดันคงที่

L คือจำนวน step

สมการดังกล่าวใช้เมื่อ step มีค่าระหว่าง 2 ถึง 50 หลังจากนั้นให้มีค่าคงที่เท่ากับที่ step 50 และความดันมีค่าระหว่าง 0 ถึง 10 นิ้วน้ำ

เมื่อรวมตัวแปรให้อยู่ในรูปสมการเดียวโดยให้

$$Q = A \ln(L) + B$$

เมื่อ $A = -0.0009P^2 + 0.0247P + 0.0175$

$$B = 0.0199P + 0.0832$$

$$Q = (-0.0009P^2 + 0.0247P + 0.0175) \ln(L) + (0.0199P + 0.0832)$$

เมื่อ P คือความดันที่ออกจากเรกูเรเตอร์

สมการที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคาดเดาอัตราการไหลของ LPG เมื่อนำระบบควบคุมนี้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์จริงได้ดีพอสมควร โดยกำหนดเงื่อนไขคือ step(L) มีค่าอยู่ระหว่าง 2-50

จากการทดสอบพบว่าอัตราการไหลของก๊าซเริ่มคงที่เมื่อตำแหน่งของ step (L) มากกว่า 50 step นอกจากนี้ค่าการไหลของ LPG สูงสุดที่ความดัน 10 นิ้วน้ำและตำแหน่ง 50 step มีค่าประมาณ 0.95 g/sec หรือ 0.5 liter/sec

6.5 การติดตั้งระบบควบคุม gas variable venturi เพื่อใช้งานบนเครื่องยนต์

การติดตั้งระบบควบคุม LPG ชนิด variable venturi เพื่อใช้งานบนเครื่องยนต์ดังแสดงรูปที่ 6-2 มีพารามิเตอร์ในการควบคุมการไหลหลักคือ step ในการเลื่อนตำแหน่งวาล์วก๊าซ (L) และควบคุมความดัน (P) ด้วยปรับเปลี่ยนระยะกดเรกูเรเตอร์ (X) แต่ในการใช้งานจริงไม่สามารถควบคุมให้ความดันที่ออกจากเรกูเรเตอร์มีค่าคงที่ได้เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของ depression เกิดขึ้นที่มิทเซอร์ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับ burner ในรูป 6-7 ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมจึงใช้วิธีกำหนดให้ระยะกดบนเรกูเรเตอร์คงที่ และเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง step ของวาล์ว จากนั้นนำมาใช้งานบนเครื่องยนต์โดยแบ่งการทำงานตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ดังนี้

6.5.1 ภาวะเริ่มต้น (initial condition)

ใช้เป็นภาวะที่ใช้อ้างอิงก่อนเริ่มการทำงาน โดยกำหนดให้เป็นภาวะที่ไม่มีคาร์บอกไซด์ออกจากระบบคังนั้น

$$L = 0$$

$$X = 0 \text{ (x } 10^{-2} \text{ mm.)}$$

6.5.2 การสตาร์ทเครื่องยนต์และเดินเบา

ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ที่ใช้ LPG ไม่จำเป็นต้องใช้ส่วนผสมที่หนาเหมือนกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนแม้ว่าจะเป็น cold start ก็ตาม สาเหตุเพราะ LPG มีสถานะเป็น dry gas สามารถคลุกเคล้าเข้ากับเชื้อเพลิงได้ดีกว่า และมีค่าเท่ากับตำแหน่งเดินเบาเครื่องยนต์ (อัตราการไหล LPG ที่ idle มีค่า 0.100 liter/sec) ที่มีความเร็วรอบ 1650 rev/min

$$L = 5$$

$$X = 15 \text{ (x } 10^{-2} \text{ mm.)}$$

6.5.3 การทำงานที่ภาวะ steady state ที่ความเร็วคงที่

ในการทดสอบที่ภาวะ steady state กับระบบ gas variable venturi พบว่าระยะกดเรกูเรเตอร์ (x) เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการไหล LPG มากกว่า step (L) นั่นคือเมื่อต้องการเปลี่ยนตำแหน่งภาระงานที่รอบคงที่ พารามิเตอร์แรกที่ต้องเปลี่ยนคือ ระยะกดเรกูเรเตอร์ จากนั้นจึงปรับละเอียดเพื่อหาอัตราการไหลที่ต้องการ (ตาม optimum path) โดยการเปลี่ยน step (L) ตารางที่ 6-1 ถึง 6-5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมระบบ gas variable venturi ที่ทำงานกับ steady state บน optimum path

ตารางที่ 6-1 แสดงตัวแปรในการควบคุมของตำแหน่งใช้งานที่ 2000 rev/min

% AIR	ΔP in.H ₂ O	m_a (g/sec)	Speed (rev/min)	Reg (10 ⁻²)mm	gas valve		T_b (N-m)	% η_{th}	fuel flow (liter/s)
					step				
50	0.94	4.73	2000	16	9	7.78	14.66	0.129	
60	1.36	5.62	2000	17	13	10.37	15.52	0.162	
70	1.83	6.52	2000	20	14	12.28	15.77	0.189	
80	2.38	7.44	2000	24	16	14.70	15.83	0.225	
90	3.04	8.41	2000	26	18	15.91	16.00	0.241	
100	3.65	9.21	2000	32	19	18.15	15.74	0.280	

ตารางที่ 6-2 แสดงตัวแปรในการควบคุมของตำแหน่งใช้งานที่ 2500 rev/min

% AIR	ΔP in.H ₂ O	m_a (g/sec)	Speed (rev/min)	Reg (X10 ⁻²) mm.	gas valve		T_b (N-m)	% η_{th}	fuel flow (liter/s)
					step				
50	1.72	6.33	2500	21	14	11.41	19.68	0.183	
60	2.59	7.76	2500	24	15	14.52	20.51	0.224	
70	3.48	9.00	2500	31	17	17.98	21.06	0.270	
80	4.42	10.14	2500	33	18	19.54	19.34	0.307	
90	6.10	11.91	2500	40	20	21.27	17.62	0.366	
100	7.15	12.90	2500	44	22	21.96	17.36	0.399	

ตารางที่ 6-3 แสดงตัวแปรในการควบคุมของตำแหน่งใช้งานที่ 3000 rev/min

% AIR	ΔP in.H ₂ O	m_a (g/sec)	Speed (rev/min)	Reg (X10 ⁻²) mm.	gas valve		T_b (N-m)	% η_{th}	fuel flow (liter/s)
					step				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
60	2.73	7.97	3000	26	19	10.20	15.33	0.242	
70	3.61	9.17	3000	31	20	12.45	15.93	0.285	
80	4.99	10.78	3000	36	22	14.18	16.10	0.321	
90	6.15	11.96	3000	39	23	16.02	16.04	0.369	
100	7.67	13.36	3000	42	25	17.12	15.46	0.402	

ตารางที่ 6-4 แสดงตัวแปรในการควบคุมของตำแหน่งใช้งานที่ 3500 rev/min

% AIR	ΔP in.H ₂ O	m_a (g/sec)	Speed (rev/min)	Reg (X10 ⁻²) mm.	gas valve		T_b (N-m)	% η_{th}	fuel flow (liter/s)
					step				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
60	3.01	8.37	3500	28	20	11.41	19.16	0.253	
70	4.21	9.90	3500	35	22	15.04	20.66	0.309	
80	5.28	11.08	3500	39	24	17.12	20.39	0.357	
90	6.83	12.60	3500	45	32	18.40	19.89	0.393	
100	8.34	13.93	3500	50	35	20.40	19.50	0.445	

ตารางที่ 6-5 แสดงตัวแปรในการควบคุมของตำแหน่งใช้งานที่ 4000 rev/min

% AIR	ΔP in.H ₂ O	m_a (g/sec)	Speed (rev/min)	Reg ($\times 10^{-2}$) mm.	gas valve		T_b (N-m)	% η_{th}	fuel flow (liter/s)
						step			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	5.92	11.74	4000	40	25	15.22	21.16	0.349	
80	7.65	13.34	4000	45	28	17.81	21.59	0.401	
90	9.57	14.92	4000	53	35	19.71	21.71	0.441	
100	12.04	16.74	4000	59	45	19.54	21.33	0.455	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย