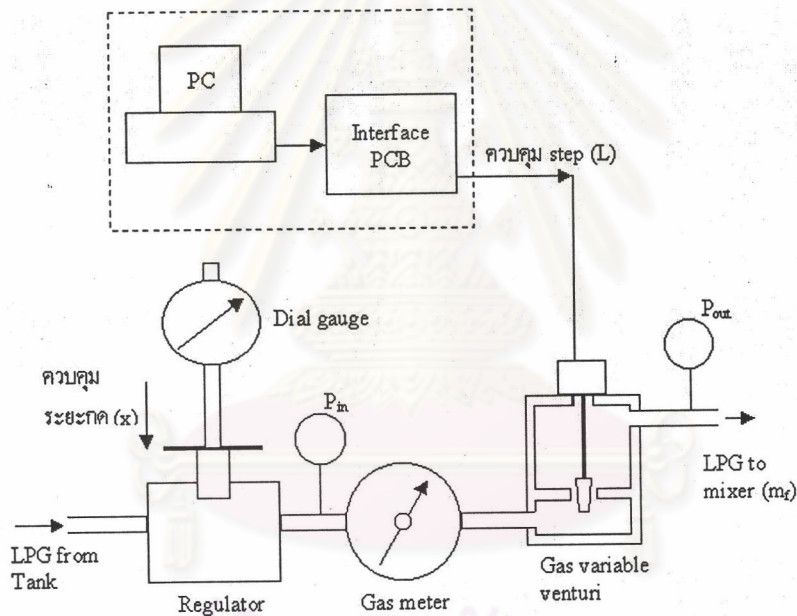


การทดสอบเครื่องยนต์ที่สภาวะคงตัว
เมื่อใช้ gas variable venturi

7.1 System characteristic

อัตราการไหลของ LPG เข้าเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลักในการควบคุมการทำงานของระบบควบคุม LPG ชนิด variable venturi คือ ความดันที่ออกจากเรกูเรเตอร์ (P_m) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะกดสปริงบนเรกูเรเตอร์ (x) เนื่องจากต้องควบคุมไม่ให้เกิดความดันสูงสุดของเครื่องมือวัดการไหลของก๊าซ และพื้นที่เปิดซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะเลื่อนตำแหน่งของ step (L) ดังแสดงในรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 แสดงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบ gas variable venturi

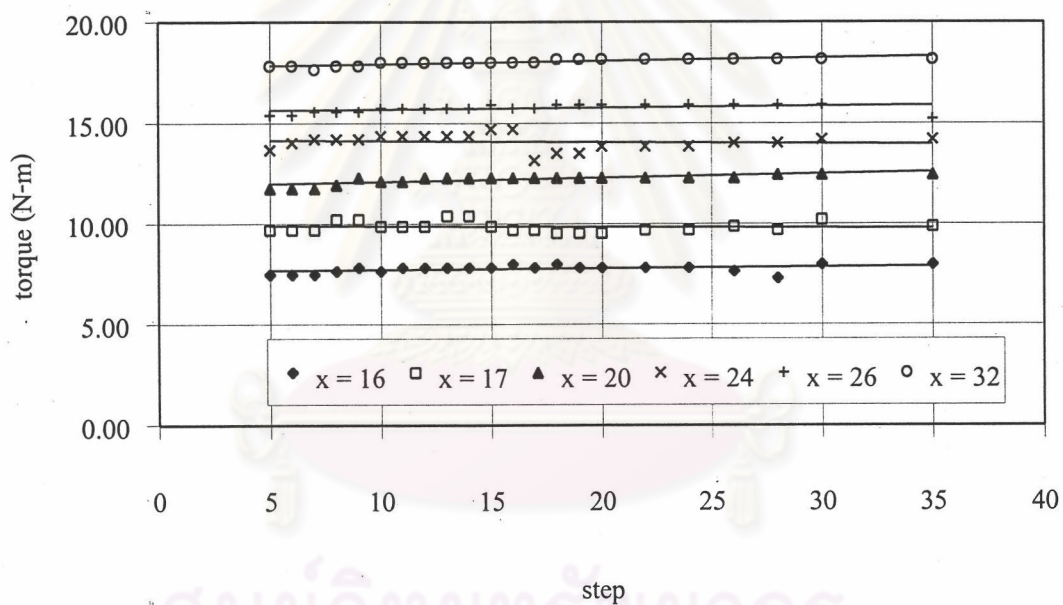
เนื่องจากความดันในระบบหรือระยะกดบนเรกูเรเตอร์ (x) เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการไหลของ LPG มากกว่าการเลื่อนวาล์วแก๊ส (step, L) ดังนั้นในการทดสอบระบบ gas variable venturi บนเครื่องยนต์จะกำหนดให้ระยะกดสปริงบนเรกูเรเตอร์คงที่ที่ตำแหน่งหนึ่ง และเลื่อนตำแหน่งวาล์วจาก step เสมือนกับแบ่งการควบคุมเป็นแบบหยาบ (x) และแบบละเอียด (L)

การพิจารณา system characteristic ของระบบควบคุม gas variable ที่มีต่อเครื่องยนต์โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์การทำงานของระบบควบคุม LPG ชนิด variable venturi สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ system characteristic ที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งระยะกด (dx) และ system characteristic ที่เกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วแก๊ส (dL) ดังนั้นพารามิเตอร์หลักของเครื่อง

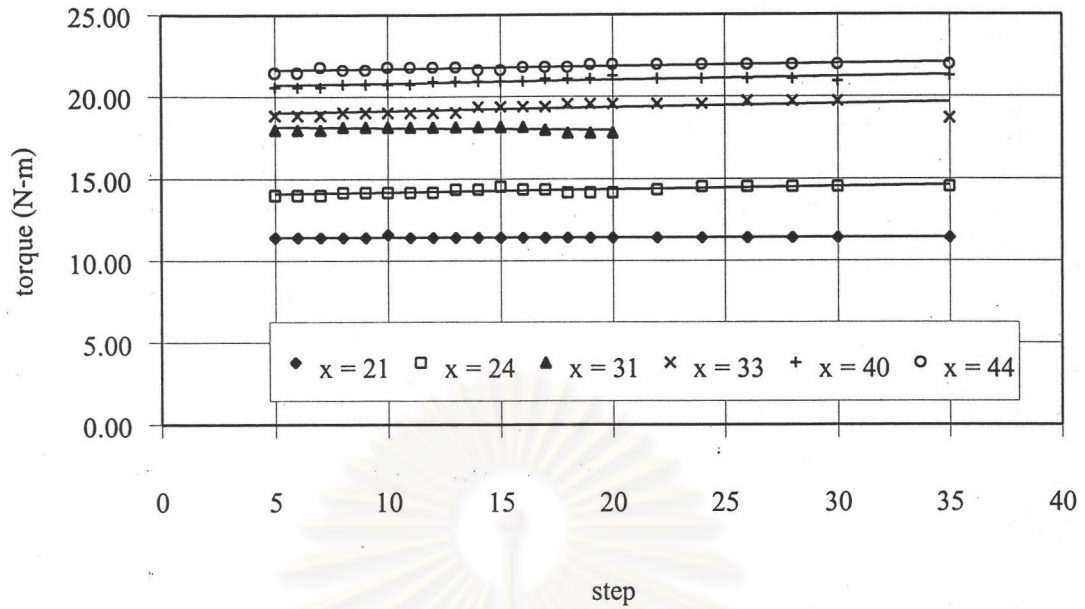
ยนต์ที่พิจารณาได้คือ ความเร็วรอบและปริมาณอากาศ เมื่อไม่มีเปลี่ยนแปลงของแรงบิดที่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ทดสอบแสดงความเร็วรอบเครื่องยนต์มี resolution มากเกินกว่าที่จะสามารถบอกค่าที่เปลี่ยนแปลงออกมาได้ จึงต้องใช้วิธีการเพิ่มแรงบิดเพื่อรักษารอบให้คงที่ ทำให้อัตราการไหลของอากาศมีค่าเท่าเดิม นั่นคือ การใช้แรงบิดที่เพิ่มขึ้นเป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึง system characteristic ของระบบควบคุม gas variable venturi

7.1.1 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วก๊าซ

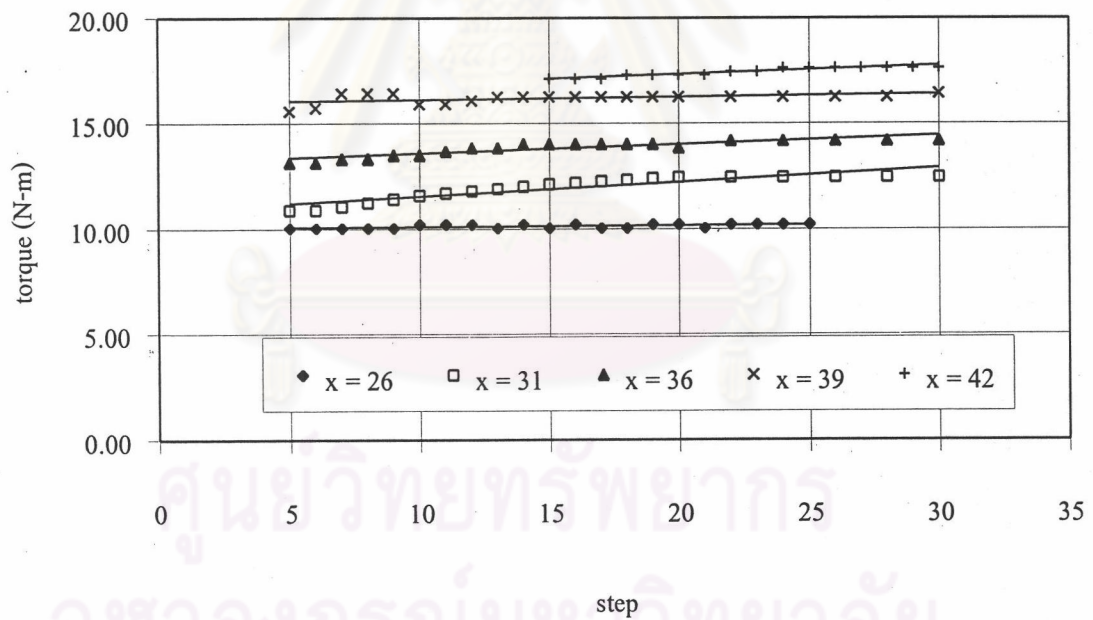
system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซ เมื่อเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วก๊าซหรือ step (L) ที่มีต่อเครื่องยนต์ซึ่งทำงานที่สภาวะคงตัวตั้งแต่ความเร็วรอบที่ 2000 rev/min ถึง 4000 rev/min พบว่ามีผลทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 7-2 ถึงรูปที่ 7-6 โดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งวาล์วก๊าซ มีความสัมพันธ์กับแรงบิดที่เกิดขึ้นในลักษณะของเชิงเส้น



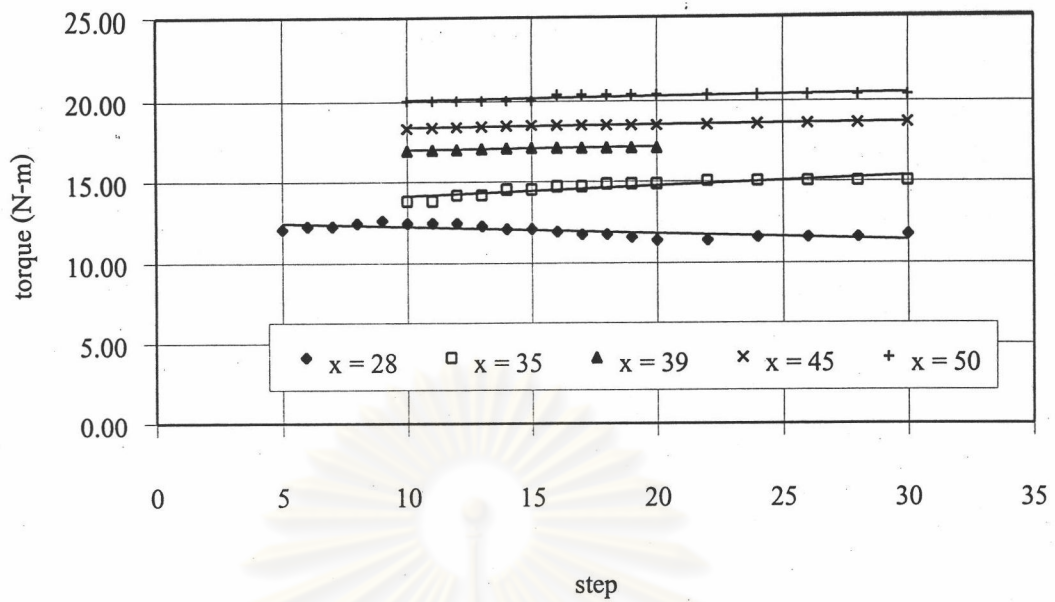
รูปที่ 7-2 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งวาล์วที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2000 rev/min



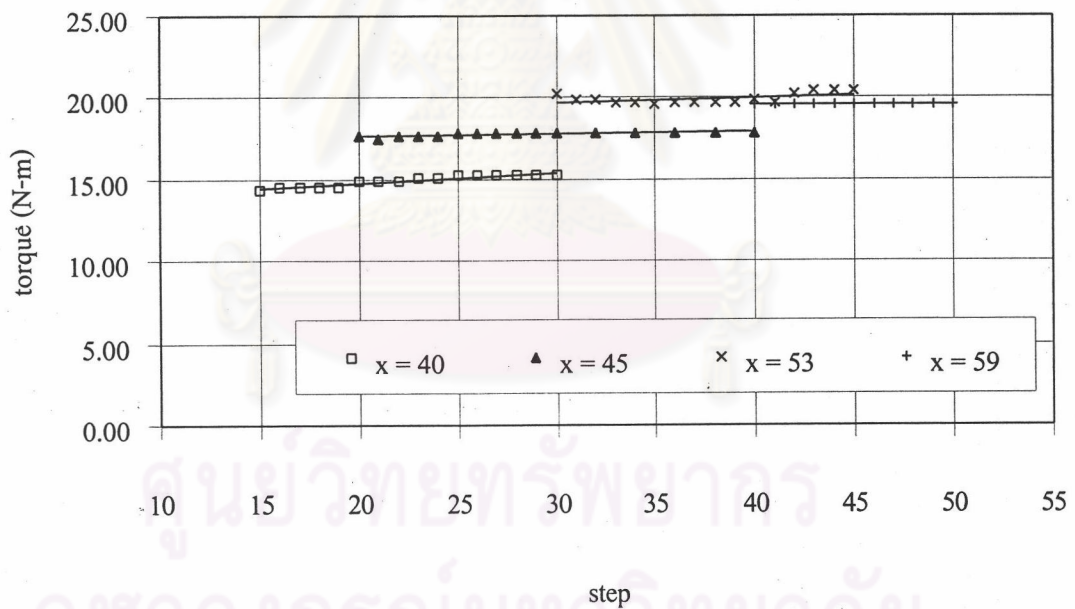
รูปที่ 7-3 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งวาล์วที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2500 rev/min



รูปที่ 7-4 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งวาล์วที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 3000 rev/min



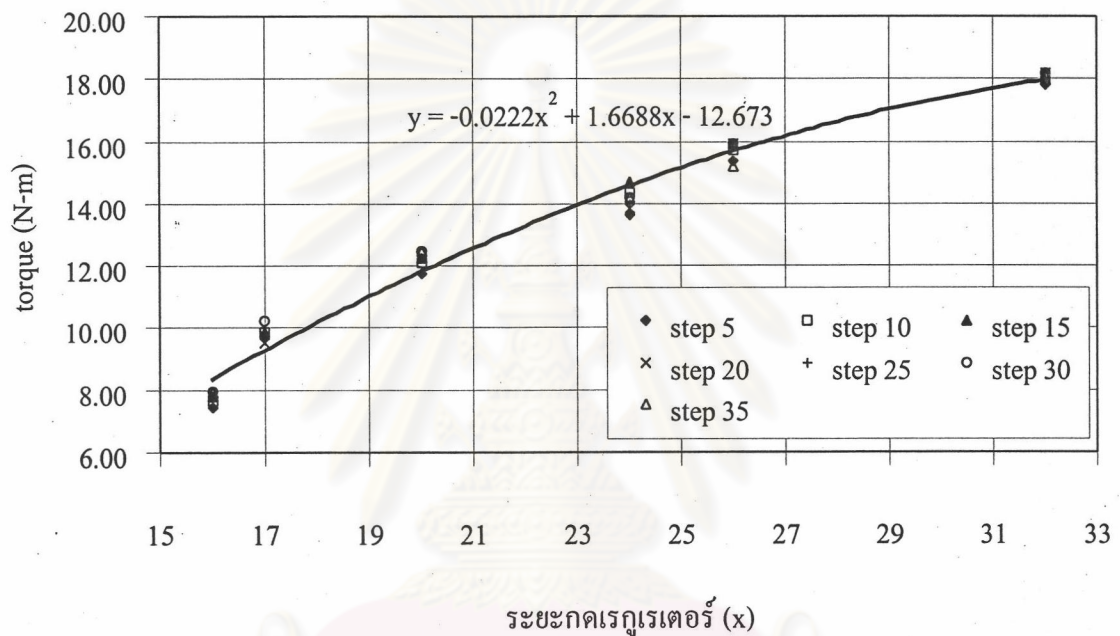
รูปที่ 7-5 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งวาล์วที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 3500 rev/min



รูปที่ 7-6 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งวาล์วที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 4000 rev/min

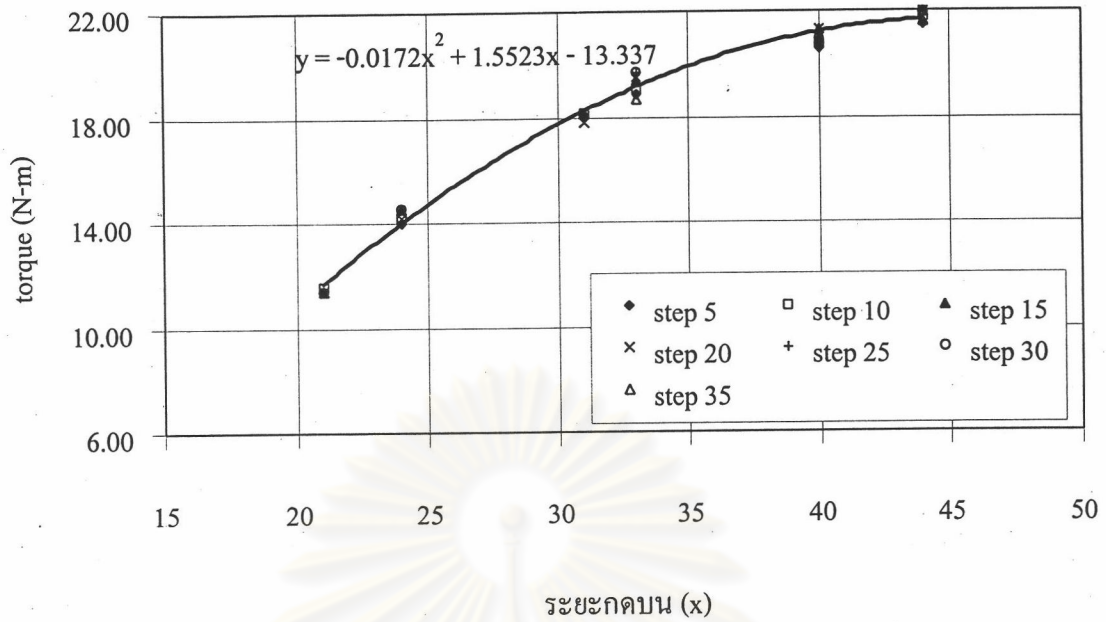
7.1.2 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งระยะกบนสปริงของเรกูเรเตอร์

system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งระยะกบ (dx) ที่มีต่อเครื่องยนต์ซึ่งทำงานที่สภาวะคงตัวตั้งแต่ความเร็วรอบ 2000 rev/min ถึง 4000 rev/min พบว่ามีผลทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 7-7 ถึงรูปที่ 7-11 โดยการเปลี่ยนแปลงระยะกบมีความสัมพันธ์กับแรงบิดที่เกิดขึ้นในลักษณะของโพลีโนเมียลกำลังสอง

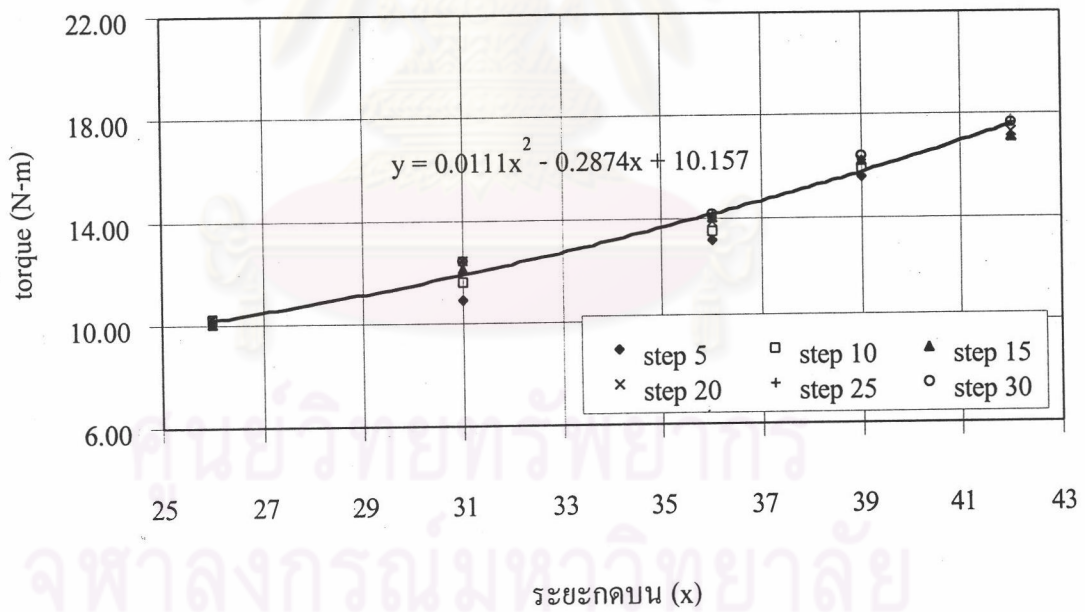


รูปที่ 7-7 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะกบเรกูเรเตอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2000 rev/min

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7-8 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะกคบนเรกูเรเตอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 2500 rev/min

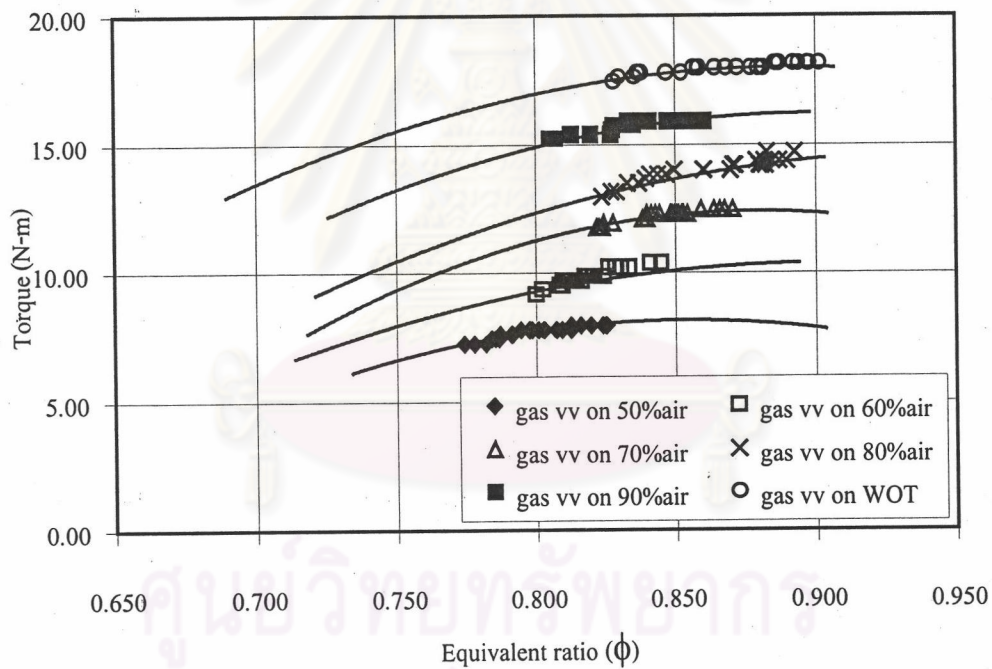


รูปที่ 7-9 system characteristic ของการควบคุมปริมาณก๊าซเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะกคบนเรกูเรเตอร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 3000 rev/min

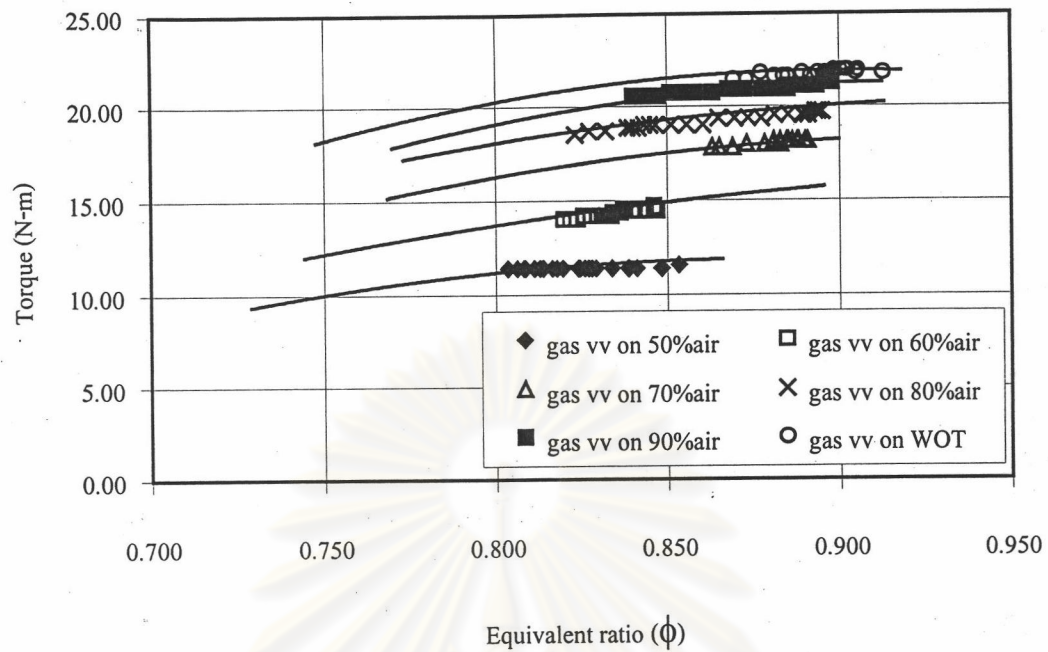
7.2 การทดสอบ system characteristic ของ gas variable venturi บน mixture loop path

เมื่อนำระบบควบคุมก๊าซชนิด variable venturi มาใช้งานโดยควบคุมให้ทำงานที่สภาวะคงตัว บน mixture loop path ของเครื่องยนต์สองจังหวะที่ใช้ LPG ตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมคือ จำนวน step ของ gas variable venturi (L), ระยะกคบนเรกกูเรเตอร์ปรับความดัน (X), และปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ (หรือความดันตกคร่อมที่วัดได้จากออร์ฟิส, ΔP)

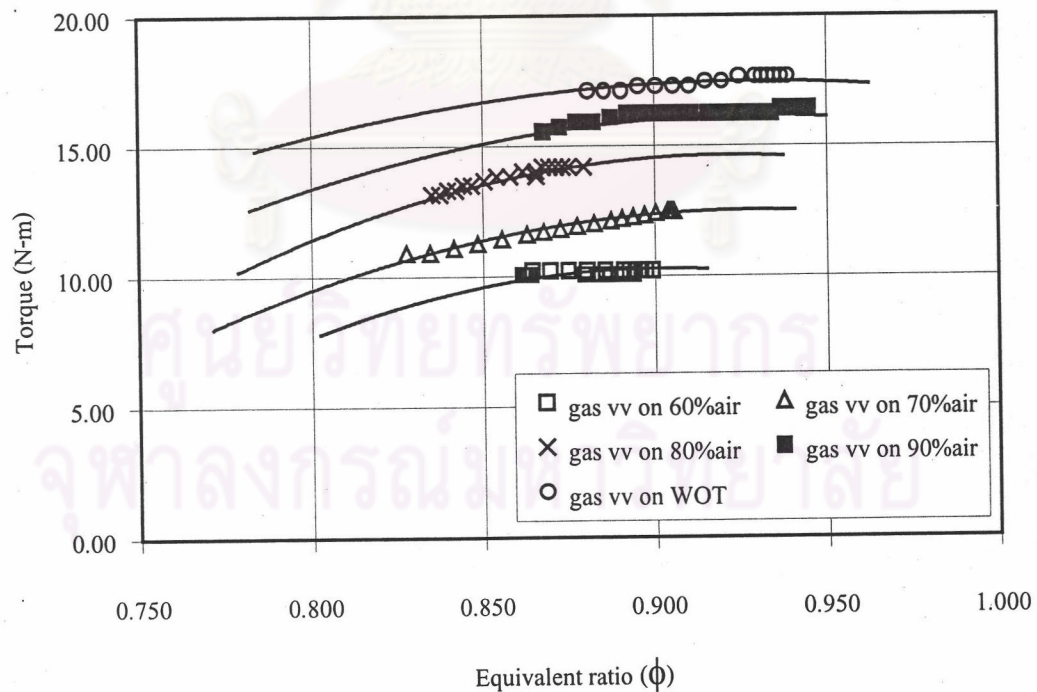
ในการทดสอบเริ่มจากการปรับระยะกคให้คงที่และเปลี่ยน step ของ gas variable venturi โดยมีเงื่อนไขขณะทดสอบคือความดันที่ตกคร่อมในระบบต้องไม่เกิน 10 inch.H₂O (เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของความดันสูงสุดที่ gas flow meter ทำงาน) และกำหนด initial condition สำหรับการทดสอบที่ X = 0, L = 0 (ไม่มีการไหลของก๊าซออกมาจากระบบ) พบว่าระบบที่ได้ออกแบบสามารถควบคุมปริมาณการไหลของก๊าซได้ในช่วงแคบๆ ดังแสดงผลการทดสอบในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลที่เปลี่ยนแปลงกับแรงบิดที่รอบการทำงานคงที่ในรูปแบบที่ 7-12 ถึงรูปที่ 7-16



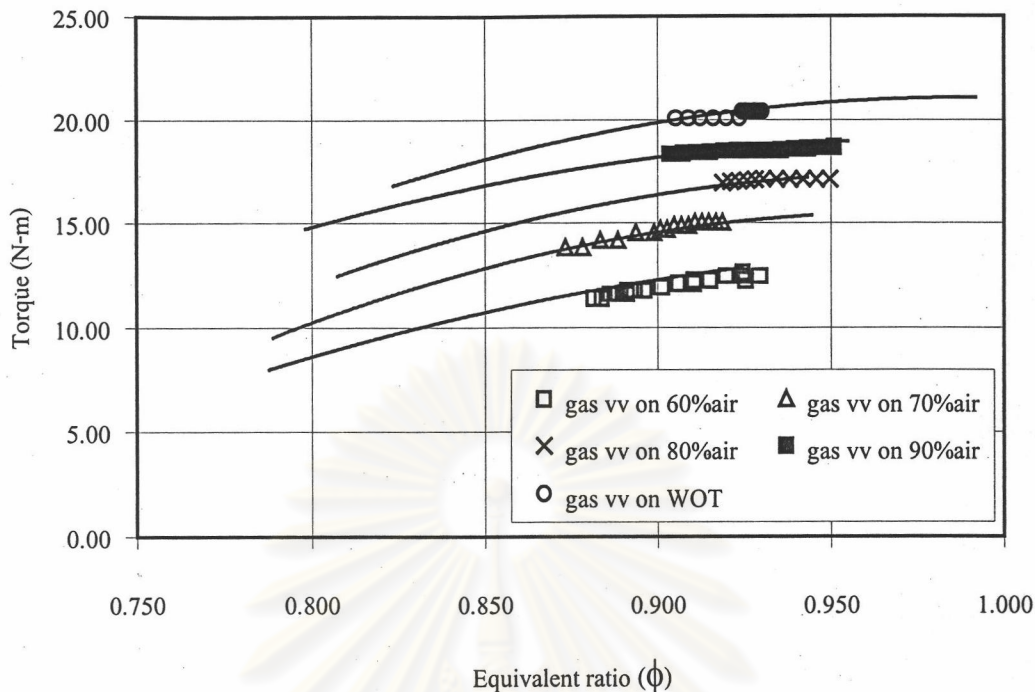
รูปที่ 7-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับแรงบิดที่ได้การทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rev/min



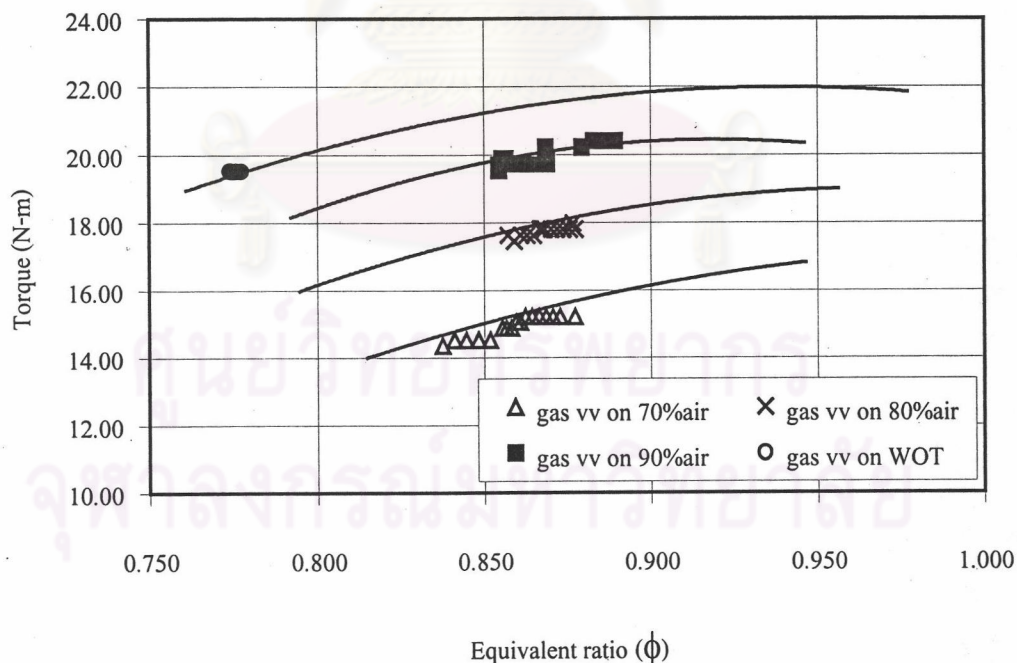
รูปที่ 7-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับแรงบิดที่ได้การทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 2500 rev/min



รูปที่ 7-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับแรงบิดที่ได้การทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 3000 rev/min

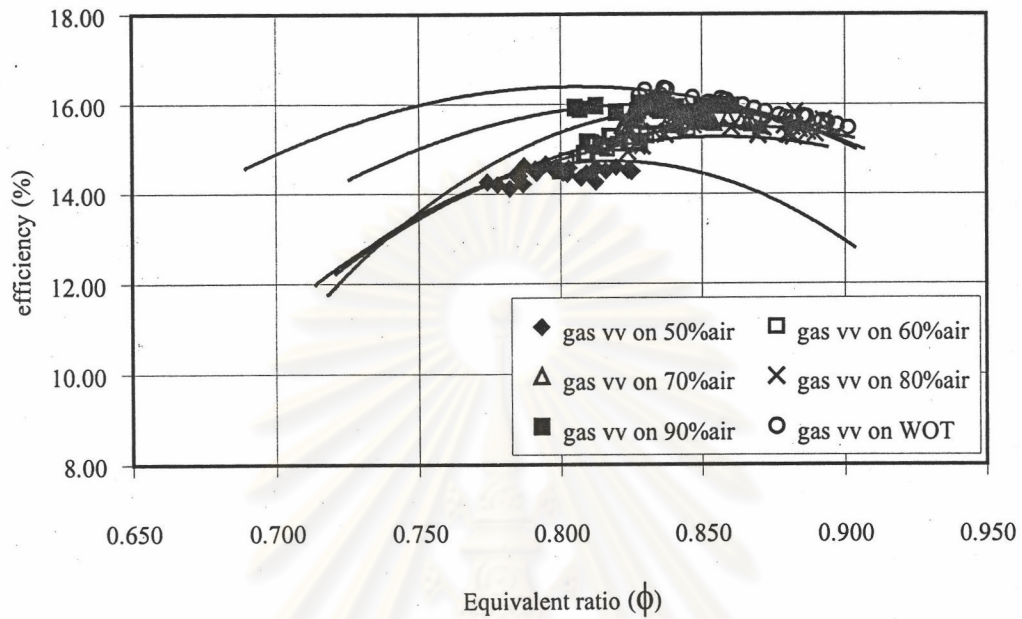


รูปที่ 7-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับแรงบิดที่ได้รับการทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 3500 rev/min

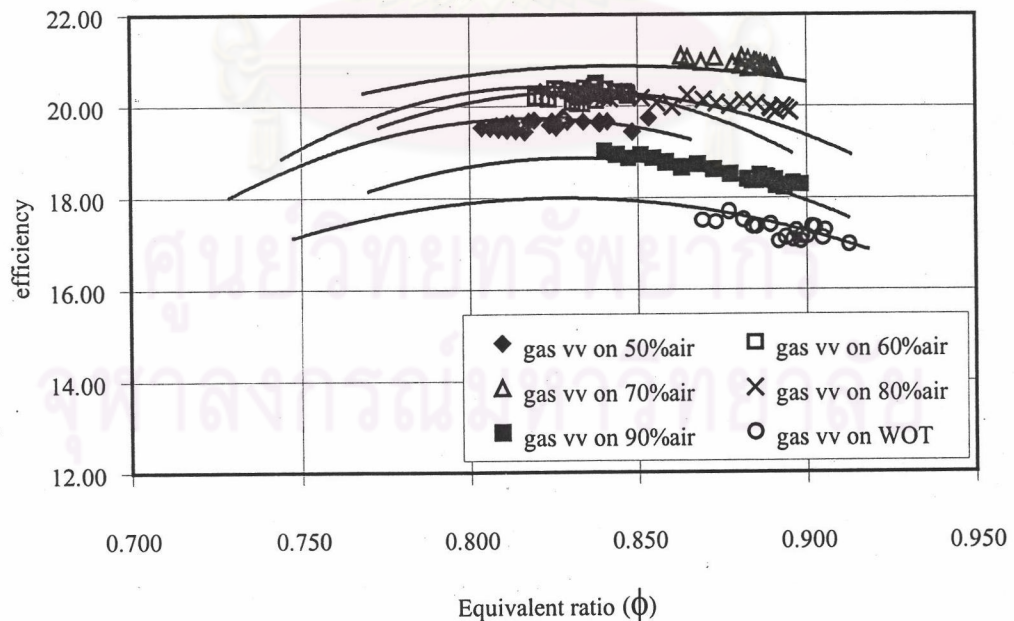


รูปที่ 7-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับแรงบิดที่ได้รับการทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 4000 rev/min

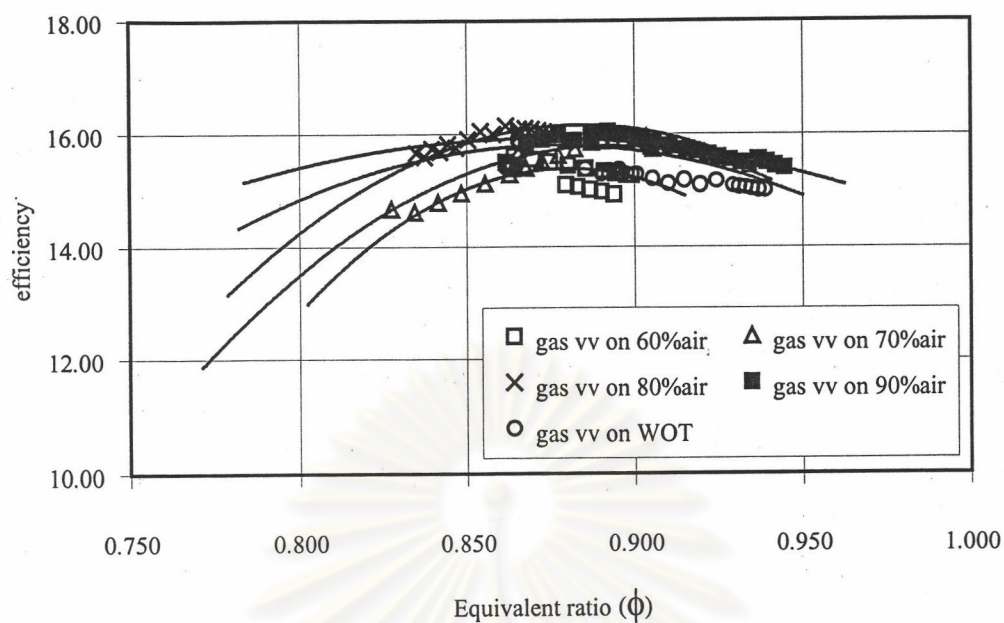
ผลการทดสอบ gas variable venturi ที่ได้เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลที่เปลี่ยนแปลงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่รอบการทำงานคงที่สามารถแสดงในรูปที่ 7-17 ถึงรูปที่ 7-21



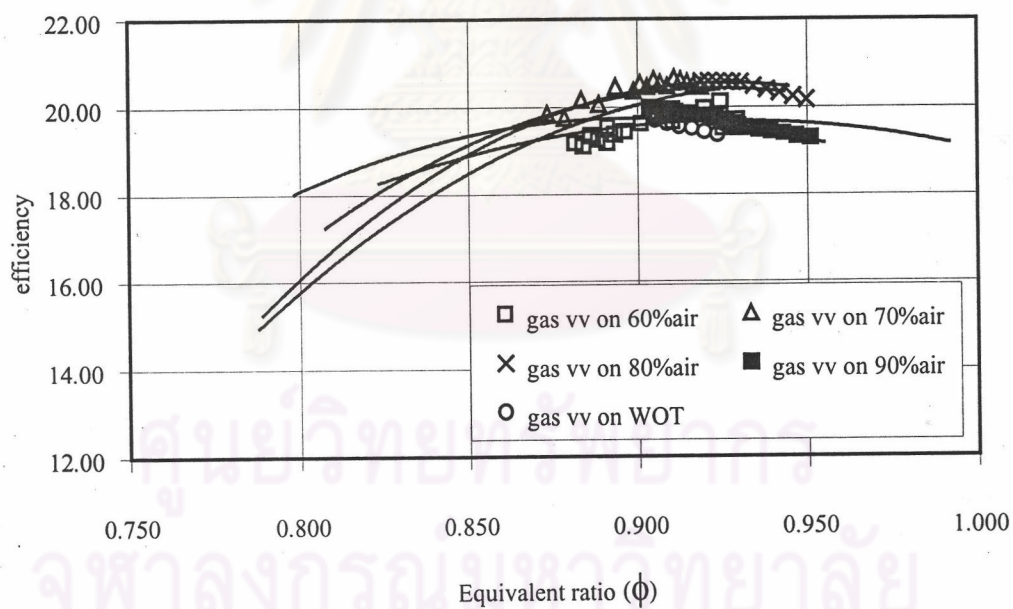
รูปที่ 7-17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้การทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rev/min



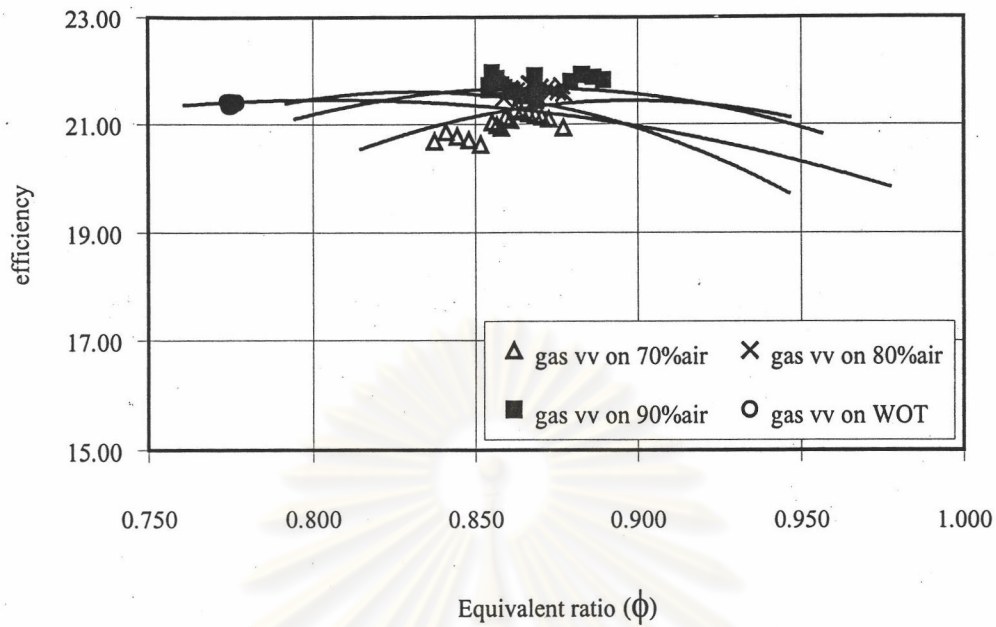
รูปที่ 7-18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้การทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 2500 rev/min



รูปที่ 7-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้การทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 3000 rev/min.



รูปที่ 7-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้การทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 3500 rev/min

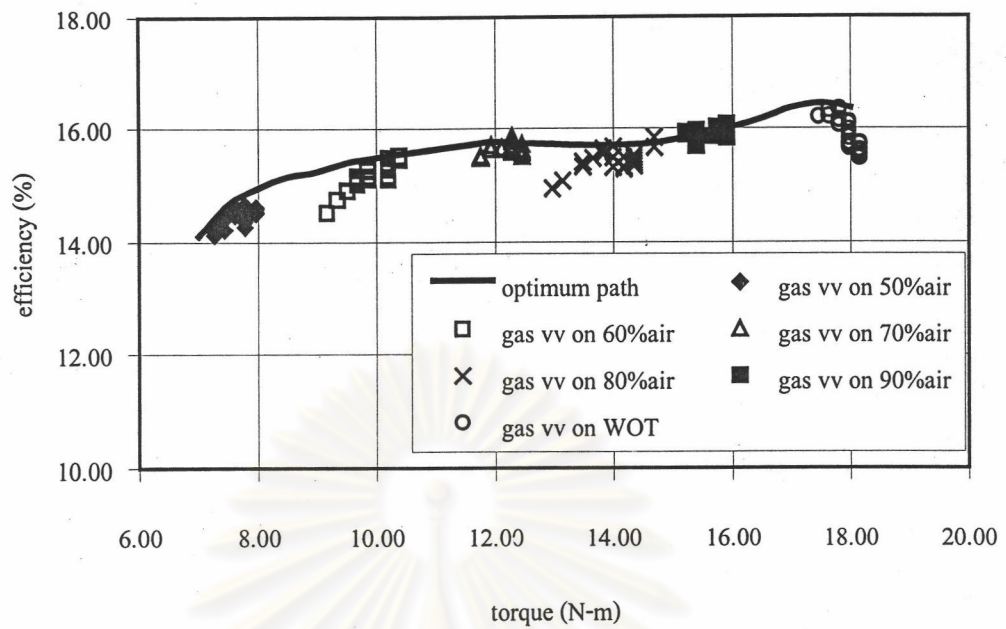


รูปที่ 7-21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้การทดสอบ gas variable venturi เทียบกับผลจาก mixture loop path ที่ความเร็วรอบคงที่ 4000 rev/min

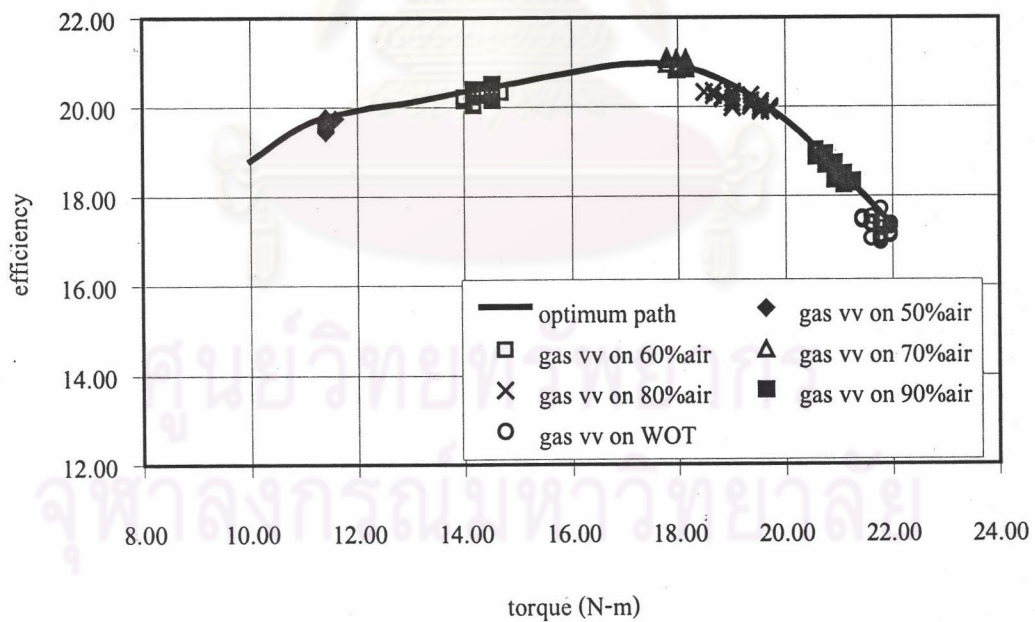
7.3 เทียบการทำงานตามแนว Optimum path

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ gas variable venturi มาแสดงบนแผนภูมิความสัมพันธ์ของแรงบิดที่ได้กับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ optimum path ดังรูปที่ 7-22 ถึง 7-26 พบว่า gas variable venturi สามารถทำงานได้บนเส้นสมรรถนะดังกล่าวเกือบทุกจุด ยกเว้นที่ WOT 4000 rev/min เนื่องจากอัตราการใช้ของ LPG สูงสุดที่ระบบควบคุมที่ได้ออกแบบนี้มีค่าเพียง 0.455 liter/sec ขณะที่ความต้องการสูงสุดที่จุดทำงานนี้มีค่าถึง 0.514 liter/sec

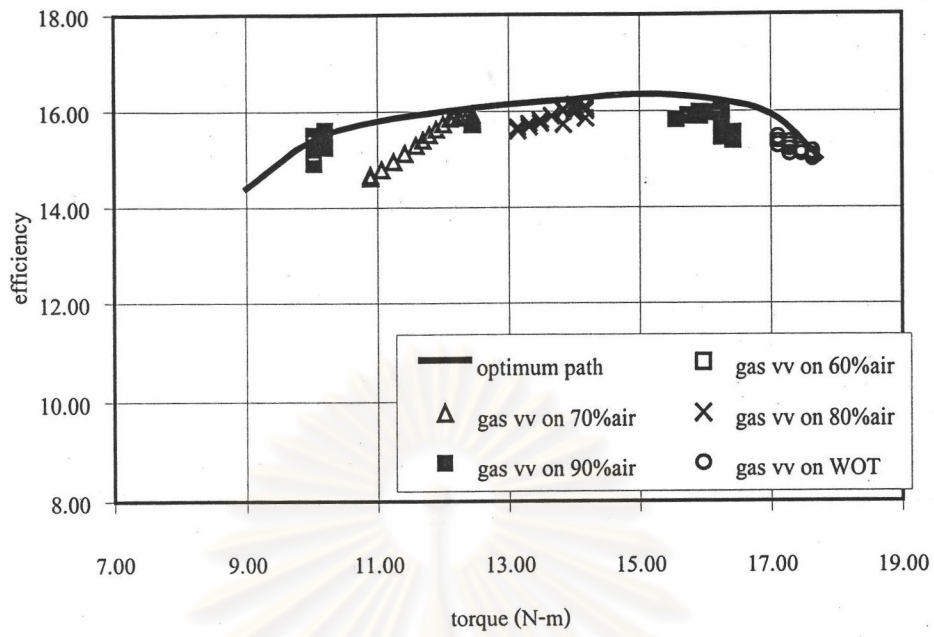
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



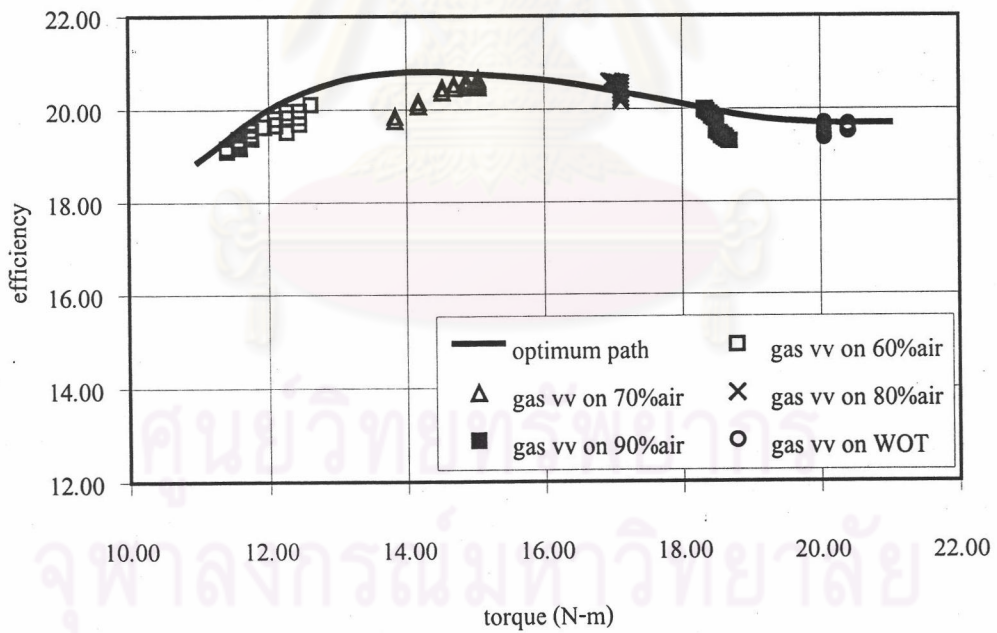
รูปที่ 7-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้การทดสอบ gas variable venturi บน Optimum path ที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rev/min



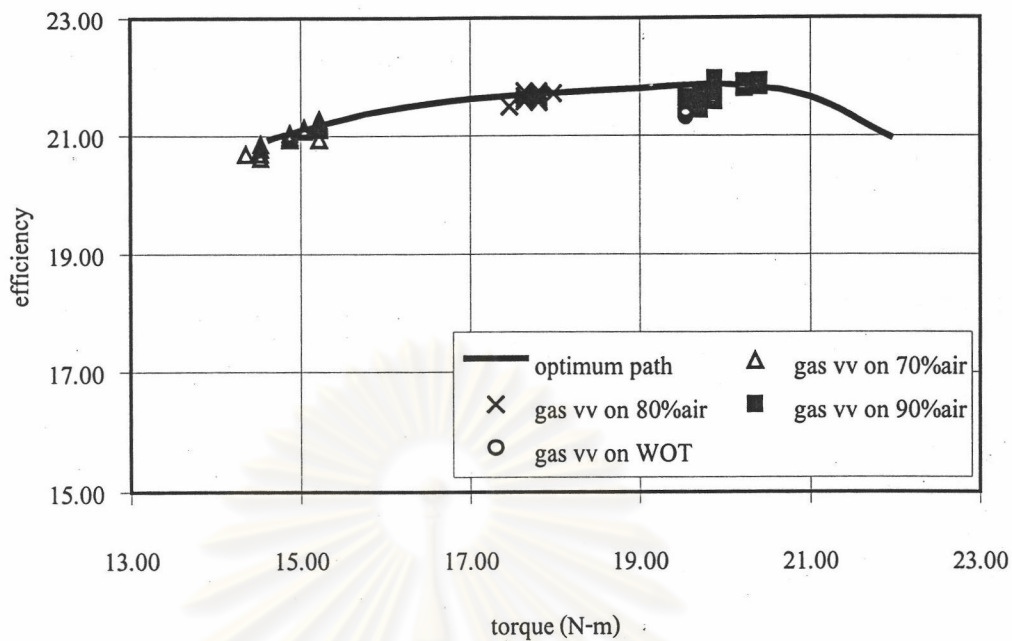
รูปที่ 7-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้การทดสอบ gas variable venturi บน Optimum path ที่ความเร็วรอบคงที่ 2500 rev/min



รูปที่ 7-24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้รับการทดสอบ gas variable venturi บน Optimum path ที่ความเร็วรอบคงที่ 3000 rev/min



รูปที่ 7-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้รับการทดสอบ gas variable venturi บน Optimum path ที่ความเร็วรอบคงที่ 3500 rev/min



รูปที่ 7-26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้การทดสอบ gas variable venturi บน Optimum path ที่ความเร็วรอบคงที่ 4000 rev/min

7.4 พารามิเตอร์และตัวแปรในการควบคุม gas variable venturi ที่นำมาใช้งานจริง

จากข้อมูลการทดสอบดังกล่าวสามารถแสดงพารามิเตอร์ในการควบคุม gas variable venturi ที่ใช้งานกับเครื่องยนต์ไอสองจังหวะที่สภาวะคงตัวกับ Optimum performance ในตารางที่ 7-1 ถึง 7-5

ตารางที่ 7-1 แสดงตัวแปรในการควบคุมของตำแหน่งใช้งานที่ 2000 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	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 7-2 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 7-3 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 7-4 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 7-5 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