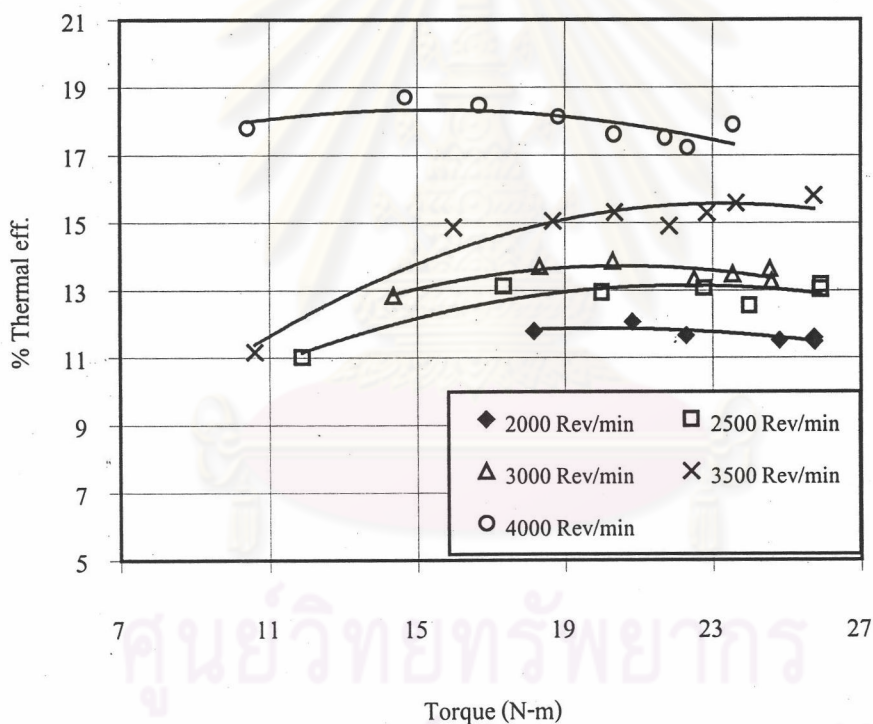


บทที่ 5

ผลการทดสอบ

5.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์ OEM

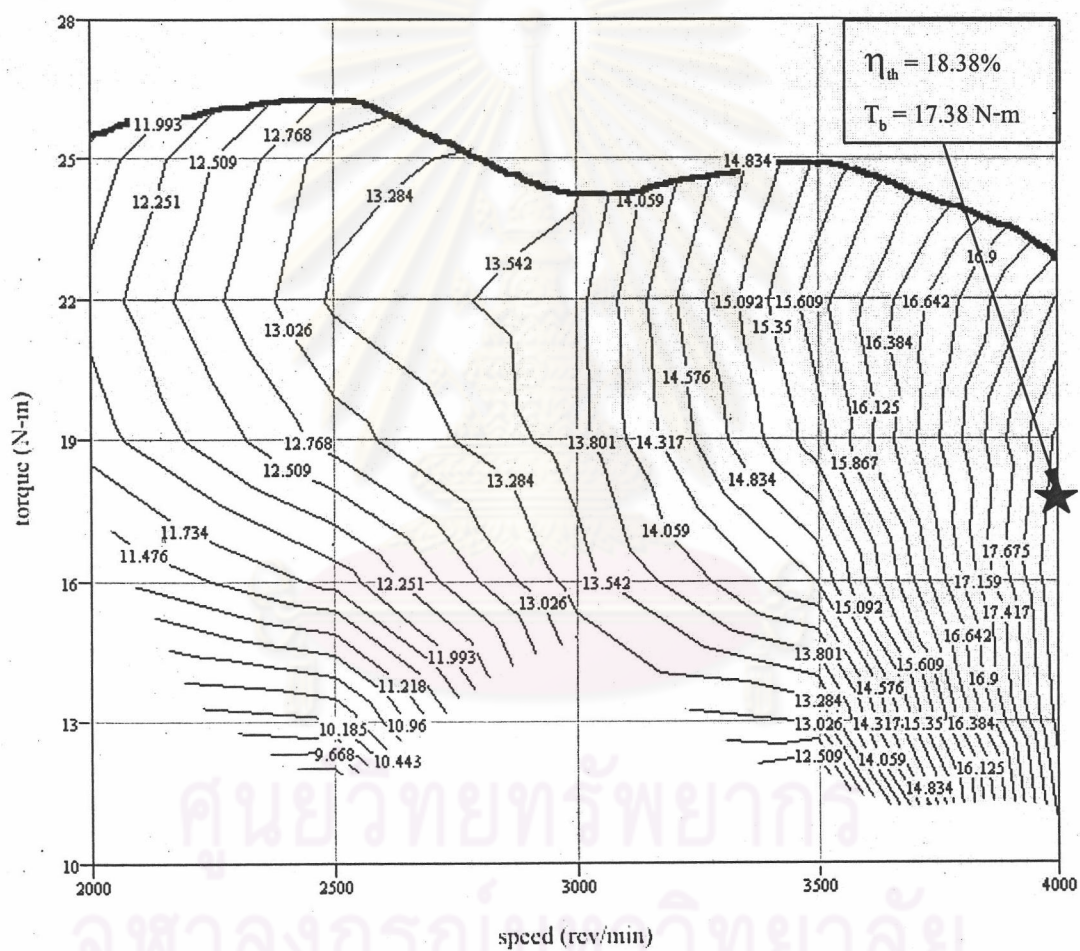
ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356 cc โดยใช้แก๊สโซลีนออกเทน 91 เป็นเชื้อเพลิง ทำงานตามเมตริกทดสอบในรูปที่ 4-11 พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าประมาณ 19% ที่ค่าแรงบิด 15 N-m ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4000 rev/min และ spark advance ที่ 24.5 องศาเฟลา ข้อเหวี่ยงก่อน TDC นอกจากนี้พบค่าแรงบิดสูงสุด 26 N-m ที่ความเร็วรอบ 2500 Rev/min และ spark advance ที่ 24.5 องศาเฟลาข้อเหวี่ยงก่อน TDC โดยแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับแรงบิดที่แก้ไขตามมาตรฐาน AS2789.1-1985 ของเครื่องยนต์ OEM Daihatsu ZM-9XK 356 cc 24.5 °CA BTDC โดยใช้แก๊สโซลีนออกเทน 91 เป็นเชื้อเพลิง

ผลจากการทดสอบตามเมตริกซ์ทดสอบในรูป 4-11 สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิสมรรถนะตามขั้นตอนในเอกสารอ้างอิง [32] ดังแสดงในรูปที่ 5-2 โดยแผนภูมิดังกล่าวแสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ จุดสมรรถนะต่างๆของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ บนแกนของแรงบิดและความเร็วรอบเครื่องยนต์ ในรูปแบบของแผนภูมิหลายมิติ เรียกว่า contour map

จากแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ OEM พบว่าจุดทำงานที่ดีที่สุดที่สุดของเครื่องยนต์ในเชิงประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด เกิดเมื่อแรงบิดมีค่า 17.38 N-m ที่ความเร็วรอบ 4000 rev/min ซึ่งได้ค่าสูงสุด 18.38% โดยแสดงสัญลักษณ์รูปดาวในแผนภูมิสมรรถนะเครื่องยนต์ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบ 3000 rev/min แรงบิดที่ได้ลดลงมากกว่าปกติ



รูปที่ 5-2 แสดง engine efficiency MAP ของเครื่องยนต์ OEM (Daihatsu ZM-9XK) โดยแสดงค่า % thermal efficiency ในฟังก์ชันของแรงบิดและความเร็วรอบเครื่องยนต์ ทดสอบกับเชื้อเพลิงแก๊ส โซลีนออกเทน 91

5.1.1 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน OEM (Thermal efficiency, η_{th})

ผลการทดสอบเบื้องต้นตามเมตริกซ์ทดสอบรูปที่ 4-11 พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าประมาณ 18 % ที่แรงบิด 17.38 N-m และความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4000 Rev/min โดยแสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามเมตริกซ์ทดสอบดังกล่าวไว้ในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละของเครื่องยนต์ OEM ซึ่งทดสอบ

ตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาปริมาณ % mass air (เป็นเปอร์เซ็นต์การไหลของมวลอากาศเข้าเครื่องยนต์เมื่อเทียบกับตำแหน่ง WOT คือ 100%) ที่ค่าต่างๆ กัน

speed (rev/min) % mass air	Efficiency (%)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	11.73	12.53	13.26	-	-
60%	11.97	13.03	13.54	14.64	18.37
70%	12.07	13.32	13.71	15.49	18.38
80%	12.02	13.38	13.75	15.87	18.21
90%	11.84	13.22	13.68	15.79	17.86
100% (WOT)	11.52	12.84	13.48	15.26	17.33

5.1.2 ค่าแรงบิดเครื่องยนต์ OEM (Brake torque, T_b)

จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่าแรงบิดเครื่องยนต์ OEM สูงสุด 26 N-m ที่ความเร็วรอบ 2500 rev/min โดยแสดงค่าแรงบิดที่แก้ไข (Corrected torque) ตามเมตริกซ์ทดสอบในรูป 4-11 ไว้ในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 แสดงแรงบิดแก้ไข (corrected torque, N-m) ของเครื่องยนต์ OEM ซึ่งทดสอบ

ตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาปริมาณ % mass air ที่ค่าต่างๆ กัน

speed (rev/min) % mass air	Torque (N-m)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	18.09	17.67	14.93	-	-
60%	20.58	20.03	17.60	16.57	14.76
70%	22.63	22.07	19.88	19.29	17.38
80%	24.24	23.79	21.79	21.55	19.66
90%	25.41	25.19	23.32	23.35	21.61
100% (WOT)	26.15	26.27	24.46	24.70	23.21

5.1.3 ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของ OEM (Bake specific fuel consumption, Bsfc)

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เป็นค่าส่วนกลับของประสิทธิภาพเชิงความร้อน และนำมาใช้เพื่อพิจารณาในเชิงของการประหยัดเชื้อเพลิง โดยจะแสดงค่าเพื่อเปรียบเทียบผลในหัวข้อถัดไป สำหรับผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ OEM ต่ำสุดคือ 444 g/kW-hr และเป็นจุดเดียวกับที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด จากการทดสอบตามเมตริกซ์ทดสอบในรูป 4-11 พบว่าค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะตลอดช่วงการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 444 – 718 g/kW-hr แสดงในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 แสดง bsfc (g/kW-hr) ของเครื่องยนต์ OEM ซึ่งทดสอบตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 และเครื่องยนต์อยู่ในสถานะที่มีเสถียรภาพ โดยพิจารณาปริมาณ air flow rate (%) ที่ค่าต่าง ๆ กัน

speed (rev/min) % mass air	bsfc (g/kW-hr)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	700	570	621	-	-
60%	689	583	608	558	446
70%	685	594	602	530	444
80%	689	605	600	517	451
90%	700	615	602	515	457
100% (WOT)	718	626	607	522	463

5.1.4 ตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์ OEM

ตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการศึกษาได้แก่ equivalence ratio (ϕ), MBT spark advance ที่สัมพันธ์กับรอบการทำงาน of เครื่องยนต์ จากผลการทดสอบเบื้องต้นของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356 cc ตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 พบว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอยู่ในช่วงส่วนผสมขนาดตลอดเวลา และค่า equivalence ratio อยู่ในช่วงระหว่าง $\phi = 1.3$ ถึง $\phi = 2.0$ โดยเฉพาะบริเวณที่ภาระงาน (Load) ต่ำ (ปริมาณมวลอากาศเข้าเครื่องยนต์น้อย) ให้ค่าอัตราส่วนสมมูลหรือ equivalent ratio (ϕ , หมายถึงอัตราส่วนของ อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศจริง ต่อ อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศพอดี) นานกว่าที่ภาระงานสูง นอกจากนี้ยังพบว่าที่รอบเครื่องยนต์ต่ำ ให้ค่า equivalence ratio (ϕ) นานกว่าที่รอบเครื่องยนต์สูง แสดงในตารางที่ 5-4 ซึ่งทดสอบกับ spark advance ที่ 24.5 องศาเฟลาซ็อนเหนือก่อนถึง TDC

ตารางที่ 5-4 แสดง Equivalence ratio ของเครื่องยนต์ OEM โดยทดสอบตาม Matrix ทดสอบ

รูปที่ 4-11 โดยพิจารณาตามปริมาณ Air flow rate (%) ค่าต่างๆกัน ทดสอบกับแก๊สโซลีนออกเทน 91

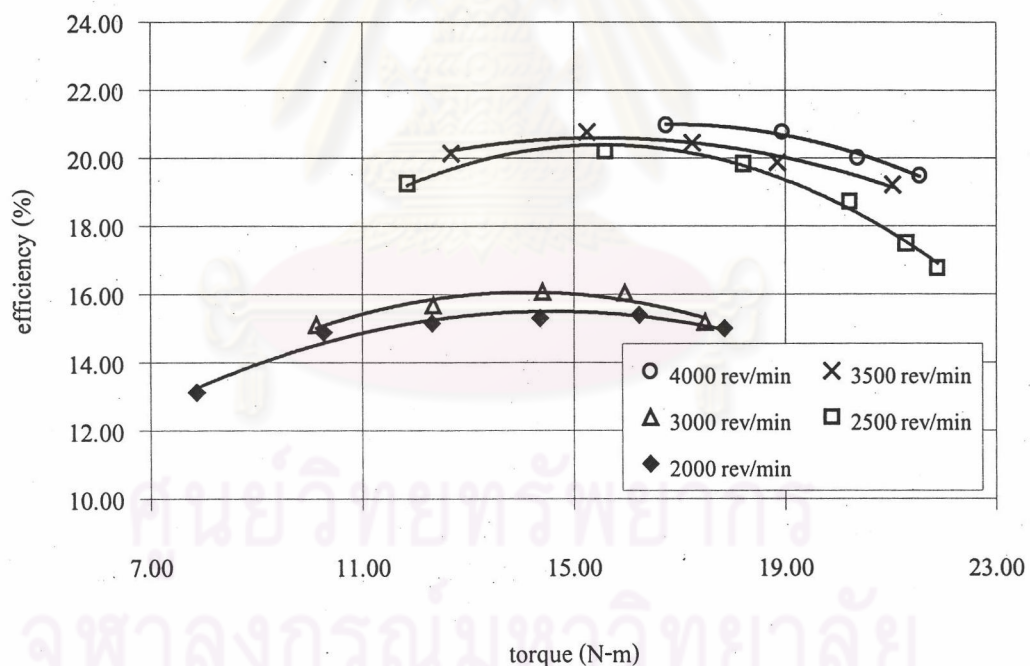
speed (rev/min) % mass air	equivalence ratio (ϕ)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	2.008	1.822	1.837	-	-
60%	1.873	1.761	1.767	1.651	1.344
70%	1.757	1.695	1.695	1.564	1.361
80%	1.656	1.627	1.621	1.491	1.362
90%	1.567	1.558	1.546	1.430	1.349
100% (WOT)	1.488	1.488	1.473	1.379	1.321

5.2 การทดสอบเบื้องต้นของเครื่องยนต์สองจังหวะ Conventional LPG

เครื่องยนต์สองจังหวะที่ใช้ในรถตุ๊กตุ๊กได้ถูกปรับแต่งให้เหมือนกับสภาพการใช้งานจริงทั่วไป มิกเซอร์ที่ใช้เป็น Local made gas mixer, ปรับสกรูก๊าซหลังจากเวปอร์ไรเซอร์ไว้ที่ตำแหน่งเปิดสุด และปรับองศาการจุดระเบิดไว้ที่ 35 องศาเฟลาข้อเหวี่ยงก่อนศูนย์ตายบน ทำการทดสอบตามจุดทดสอบในรูปที่ 4-11 แล้ววิเคราะห์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนในเชิงสมรรถนะ ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังนี้

5.2.1 ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์สองจังหวะ Conventional LPG

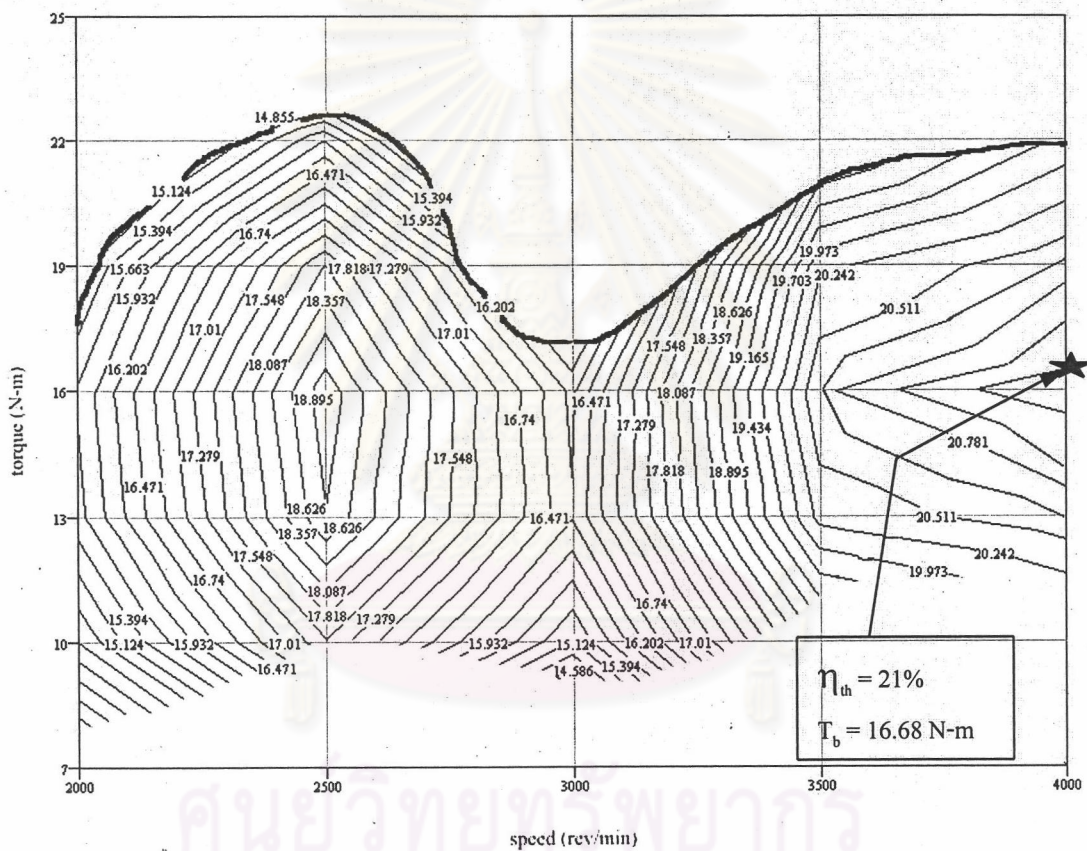
ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356 cc โดยใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ทำงานตามเมตริกทดสอบในรูปที่ 4-11 พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าประมาณ 21% ที่ค่าแรงบิด 17 N-m และความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4000 rev/min นอกจากนี้พบค่าแรงบิดสูงสุด 22 N-m ที่ความเร็วรอบ 2500 Rev/min และ spark advance ที่ 33 องศาเฟลาข้อเหวี่ยงก่อนถึง TDC โดยแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-3 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับแรงบิดที่แก้ไขตามมาตรฐาน AS2789.1-1985 ของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356 cc. 35 °CA BTDC โดยใช้ระบบ Local made gas mixer กับเชื้อเพลิง LPG

ผลจากการทดสอบตามเมตริกซ์ทดสอบในรูป 4-11 สามารถนำมาแสดงในรูปของแผนภูมิสมรรถนะตามขั้นตอนในเอกสารอ้างอิง [32] ดังแสดงในรูปที่ 5-4 โดยแผนภูมิดังกล่าวแสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ จุดสมรรถนะต่างๆของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ บนแกนของแรงบิดและความเร็วรอบเครื่องยนต์ ในรูปแบบของแผนภูมิหลายมิติ เรียกว่า contour map

จากแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์สองจังหวะ Conventional LPG พบว่าจุดทำงานที่ดีที่สุดที่สุดของเครื่องยนต์ในเชิงประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่า 21% เกิดเมื่อแรงบิดมีค่า 16.68 N-m ที่ความเร็วรอบ 4000 rev/min โดยแสดงสัญลักษณ์รูปดาวในแผนภูมิสมรรถนะเครื่องยนต์ นอกจากนี้จะสังเกตว่ามีลักษณะของ map เกิดเป็น 2 loop โดยความเร็ว 3000 rev/min แรงบิดลดลงอย่างมาก



รูปที่ 5-4 แสดง engine efficiency MAP ของเครื่องยนต์ Conventional LPG (Daihatsu ZM-9XK)

โดยแสดงค่า % thermal efficiency ในฟังก์ชันของแรงบิดและความเร็วรอบเครื่องยนต์

5.2.2 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ conventional LPG (Thermal efficiency, η_{th})

ผลการทดสอบเบื้องต้นตามเมตริกซ์ทดสอบรูปที่ 4-11 พบว่า Conventional LPG มีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 21 % ที่แรงบิด 16.68 N-m และความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4000 Rev/min โดยแสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามเมตริกซ์ทดสอบดังกล่าวไว้ในตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-5 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละของเครื่องยนต์ Conventional LPG ซึ่งทดสอบตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาปริมาณ %mass air ที่ค่าต่างๆ กัน

speed (rev/min) % mass air	Efficiency (%)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	13.42	19.34	-	-	-
60%	14.64	19.67	14.87	20.15	-
70%	15.44	19.51	15.84	20.67	20.99
80%	15.82	18.84	16.31	20.72	20.91
90%	15.78	17.68	16.28	20.29	20.45
100% (WOT)	15.32	16.02	15.75	19.38	19.61

5.2.3 ค่าแรงบิดเครื่องยนต์ Conventional LPG (Brake torque, T_b)

จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่าแรงบิดเครื่องยนต์ Conventional LPG สูงสุด 22.46 N-m ที่ความเร็วรอบ 2500 rev/min โดยแสดงค่าแรงบิดที่แก้ไข (Corrected torque) ตามเมตริกซ์ทดสอบในรูป 4-11 ไว้ในตารางที่ 5-6

ตารางที่ 5-6 แสดงแรงบิดแก้ไข (corrected torque, N-m) ของเครื่องยนต์ Conventional LPG ซึ่งทดสอบตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาปริมาณ % mass air ที่ค่าต่างๆ กัน

speed (rev/min) % mass air	Torque (N-m)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	7.80	11.90	-	-	-
60%	10.31	15.21	9.67	12.51	-
70%	12.57	17.92	11.63	14.66	16.68
80%	14.56	20.03	13.53	16.74	18.96
90%	16.30	21.55	15.38	18.77	20.70
100% (WOT)	17.78	22.46	17.16	20.74	21.90

5.2.4 ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของ Conventional LPG (Bake specific fuel consumption, bsfc)

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เป็นค่าส่วนกลับของประสิทธิภาพเชิงความร้อน และนำมาใช้เพื่อพิจารณาในเชิงของการประหยัดเชื้อเพลิง โดยจะแสดงค่าเพื่อเปรียบเทียบผลในหัวข้อถัด

ไป สำหรับผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ Conventional LPG ต่ำสุดคือ 372 g/kW-hr และเป็นจุดเดียวกับที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด จากการทดสอบตามเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 พบว่าค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะตลอดช่วงการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 372 – 595 g/kW-hr แสดงในตารางที่ 5-7

ตารางที่ 5-7 แสดง bsfc (g/kW-hr) ของเครื่องยนต์ Conventional LPG ทดสอบตามจุดเมตริกซ์ทดสอบรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาปริมาณ % mass air ที่ค่าต่างๆกัน

speed (rev/min) % mass air	bsfc (g/kW-hr)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	595	412	-	-	-
60%	524	412	528	387	-
70%	515	380	518	383	372
80%	510	411	510	381	375
90%	507	438	526	409	389
100% (WOT)	520	465	514	406	401

5.2.5 ตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์ conventional LPG

ตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการศึกษาได้แก่ equivalence ratio (ϕ), MBT spark advance และรอบการทำงาน of เครื่องยนต์ จากผลการทดสอบเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356 cc ที่ดัดแปลงเป็น Conventional LPG ตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 พบว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอยู่ในช่วงส่วนผสมบางตลอดเวลา และค่า equivalence ratio อยู่ในช่วงระหว่าง $\phi = 0.894$ ถึง $\phi = 0.992$ และในบริเวณที่ภาระงาน (Load) ต่ำๆ (ปริมาณมวลอากาศเข้าเครื่องยนต์น้อย) หรือที่รอบเครื่องยนต์ต่ำ ค่าของ equivalent ratio บางกว่าที่บริเวณรอบการทำงานสูงและภาระงาน (Load) สูงใกล้ full load (wide open throttle) ค่า equivalence ratio (ϕ) ตามจุดทดสอบที่เครื่องยนต์ต้องการแสดงในตารางที่ 5-8 ซึ่งทดสอบกับ spark advance 35 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

ตารางที่ 5-8 แสดง Equivalence ratio ของเครื่องยนต์ Conventional LPG โดยทดสอบตาม Matrix

ทดสอบรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาตามปริมาณ % mass air ค่าต่างๆกัน

speed (rev/min) % mass air	equivalence ratio (ϕ)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	0.903	0.896	-	-	-
60%	0.894	0.896	0.915	0.924	-
70%	0.904	0.900	0.941	0.945	0.947
80%	0.903	0.913	0.937	0.943	0.956
90%	0.898	0.912	0.950	0.955	0.946
100%	0.907	0.918	0.962	0.992	0.936

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ผลการทดสอบและการศึกษาสมรรถนะที่เหมาะสมโดยวิธี mixture loop test บนเครื่องยนต์ Conventional LPG

การทดสอบ mixture loop test เป็นการศึกษาผลของตัวแปรในการทำงานหลักเช่น อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง, องศากระบิดที่ MBT และนำผลทดสอบไปวิเคราะห์หาสมรรถนะที่เหมาะสมในเชิงประหยัดเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สองจังหวะ Daihatsu ZM356 cc. เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยค่าทางสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบ mixture loop test แบ่งออกเป็นค่าแรงบิด, ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่ภาระต่างๆ เมื่อรอบคงที่ตลอดการทดสอบ

5.3.1 ค่าแรงบิดเครื่องยนต์ที่รอบคงที่ (Brake torque, T_b)

ผลที่ได้จากการทดสอบ mixture loop test ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็น LPG แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงกับแรงบิดแก่ไขที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ตั้งแต่ 2000 - 4000 rev/min ดังรูปที่ 5-5 ถึง 5-9

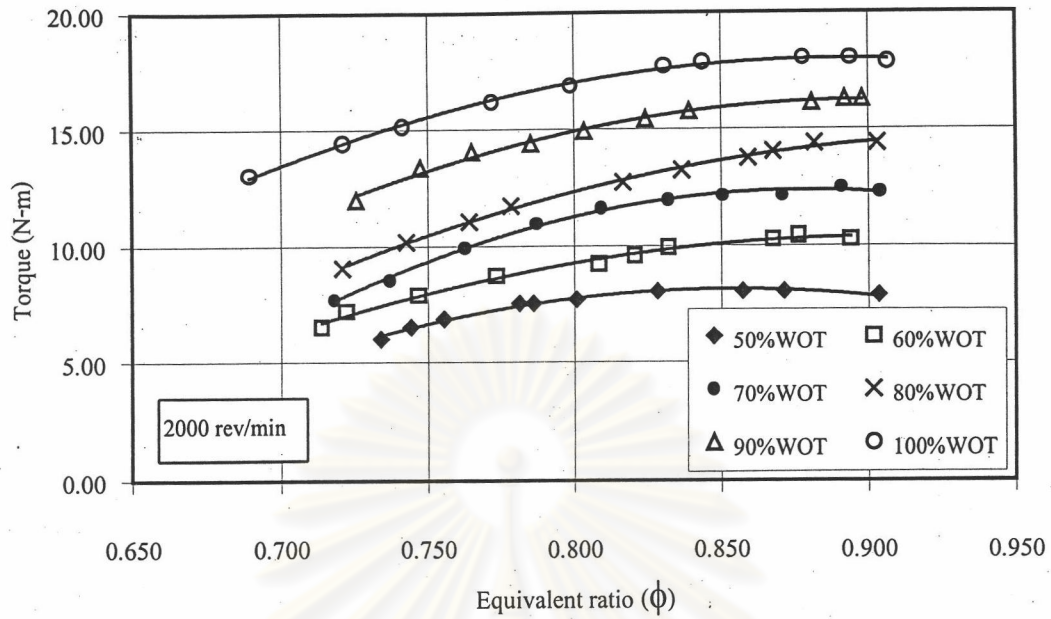
รูปที่ 5-5 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rev/min พบว่าถ้ากำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าแรงบิดที่ได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าแรงบิดที่ได้สูงสุดมีค่า $T_b = 18.02 \text{ N-m}$

รูปที่ 5-6 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 2500 rev/min พบว่าถ้ากำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าแรงบิดที่ได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าแรงบิดที่ได้สูงสุดมีค่า $T_b = 21.90 \text{ N-m}$

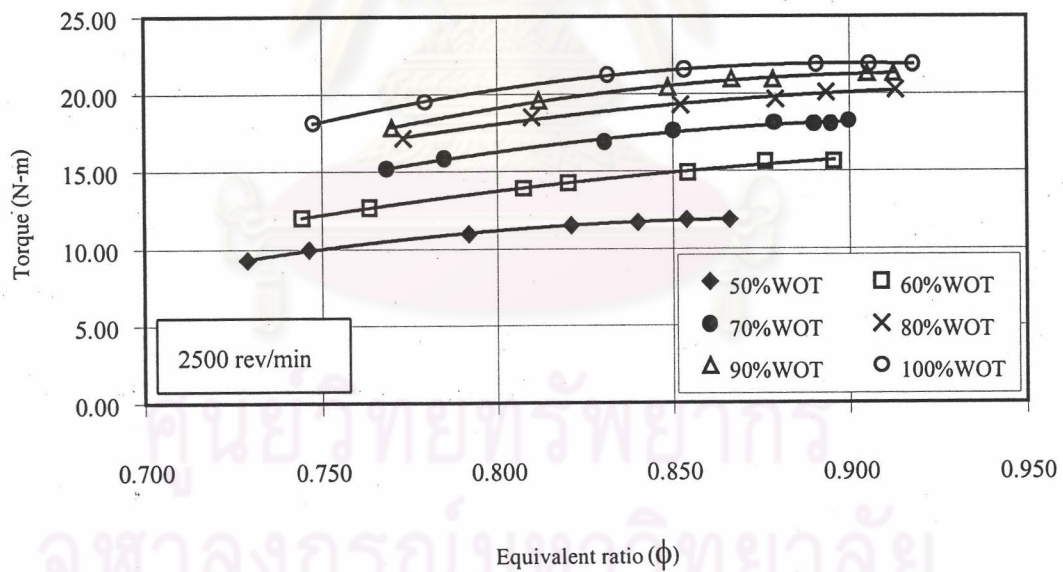
รูปที่ 5-7 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 3000 rev/min พบว่าถ้ากำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าแรงบิดที่ได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าแรงบิดที่ได้สูงสุดมีค่า $T_b = 17.49 \text{ N-m}$

รูปที่ 5-8 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 3500 rev/min พบว่าถ้ากำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าแรงบิดที่ได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าแรงบิดที่ได้สูงสุดมีค่า $T_b = 21.04 \text{ N-m}$

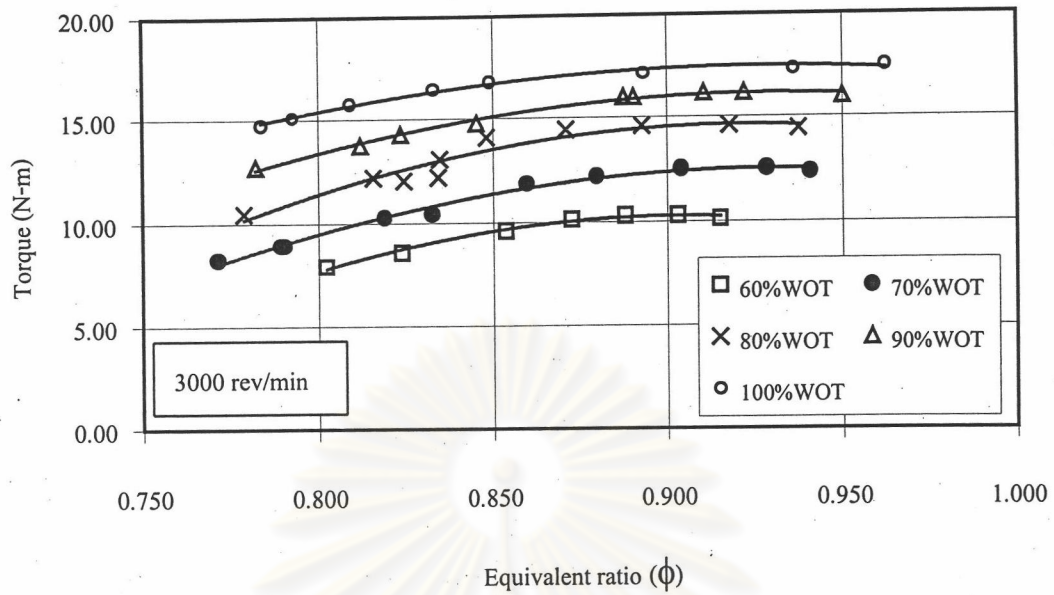
รูปที่ 5-9 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 4000 rev/min พบว่าถ้ากำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าแรงบิดที่ได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าแรงบิดที่ได้สูงสุดมีค่า $T_b = 22.07 \text{ N-m}$



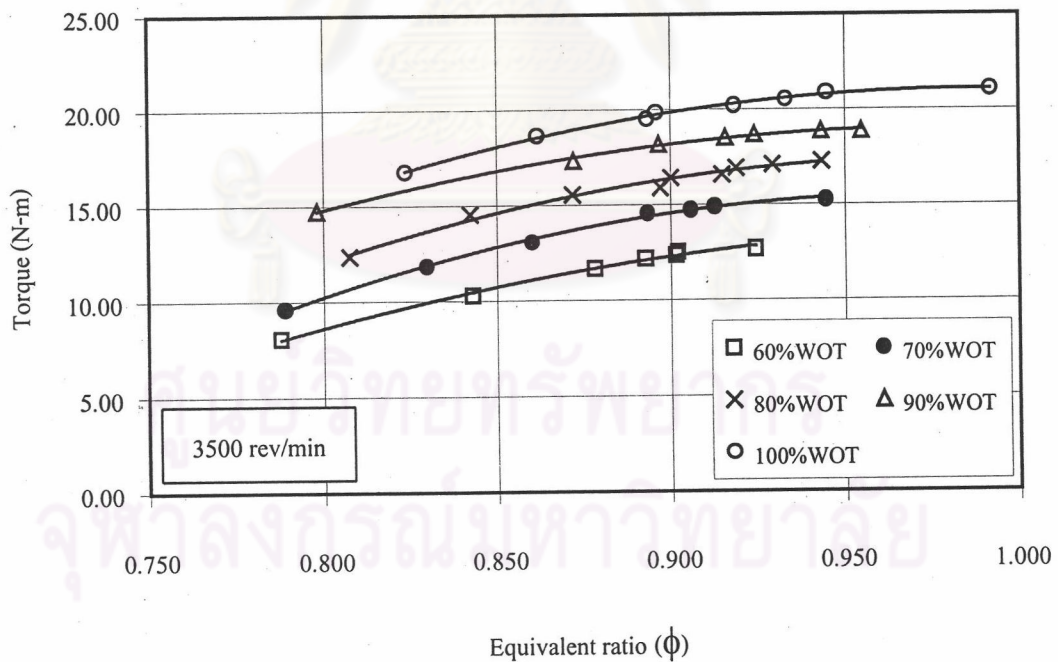
รูปที่ 5-5 แสดงค่าแรงบิดที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 2000 rev/min



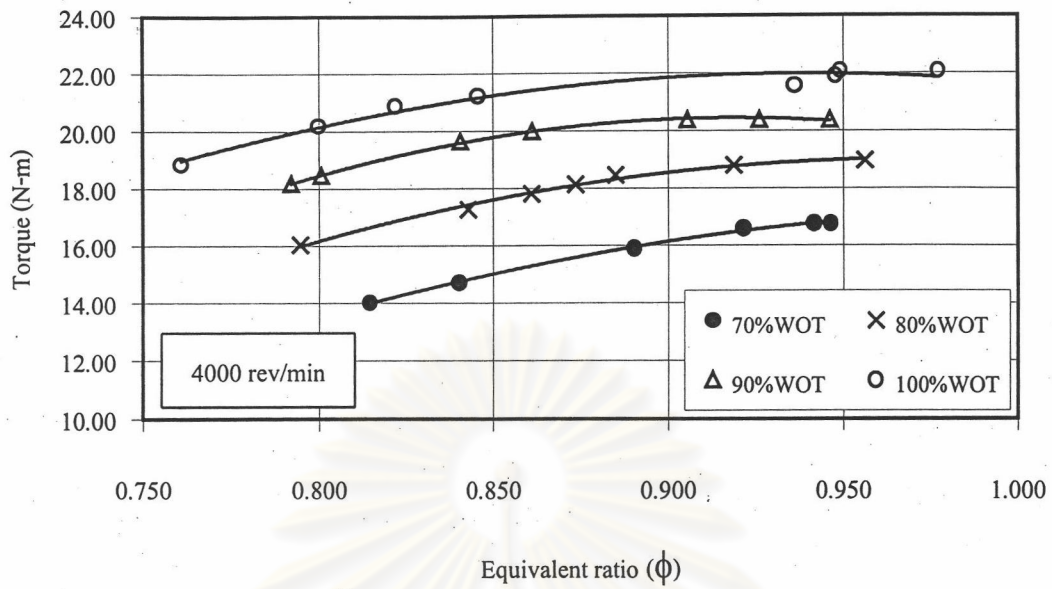
รูปที่ 5-6 แสดงค่าแรงบิดที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 2500 rev/min



รูปที่ 5-7 แสดงค่าแรงบิดที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 3000 rev/min



รูปที่ 5-8 แสดงค่าแรงบิดที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 3500 rev/min



รูปที่ 5-9 แสดงค่าแรงบิดที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 4000 rev/min

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่รอบคงที่ (Thermal efficiency, η_{th})

ผลที่ได้จากการทดสอบ mixture loop test ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2000 rev/min ถึง 4000 rev/min เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็น LPG แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังรูปที่ 5-10 ถึง 5-14

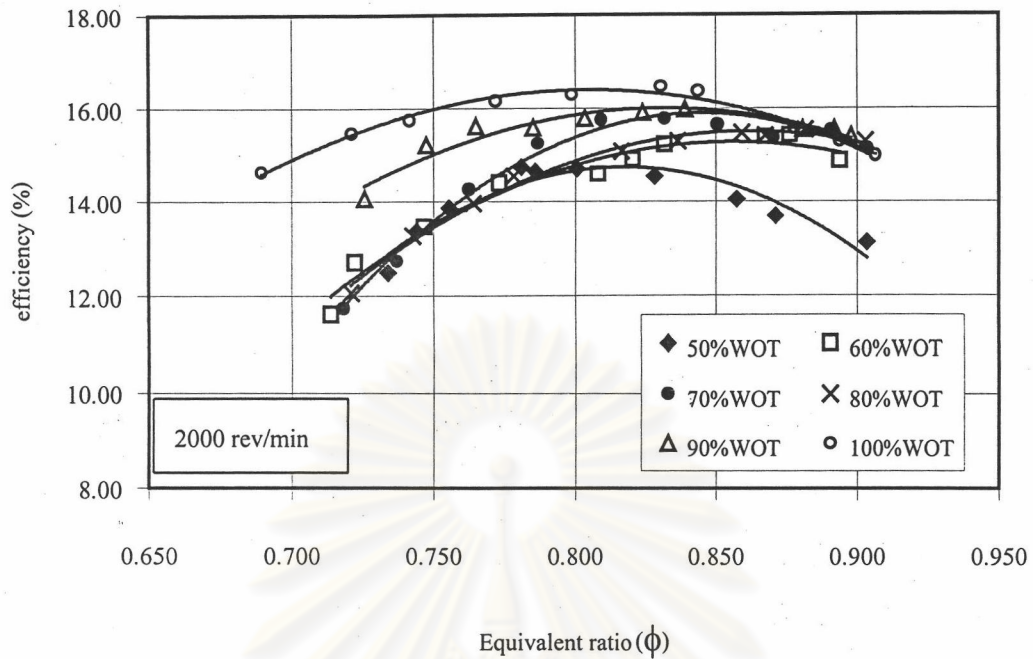
รูปที่ 5-10 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rev/min พบว่าเมื่อกำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่า $\eta_{th} = 16.46\%$ พบที่ตำแหน่ง WOT และส่วนผสมมีค่า $\phi = 0.831$

รูปที่ 5-11 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 2500 rev/min พบว่าเมื่อกำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่า $\eta_{th} = 20.91\%$ พบที่ตำแหน่ง air flow rate 70%WOT และส่วนผสมมีค่า $\phi = 0.850$

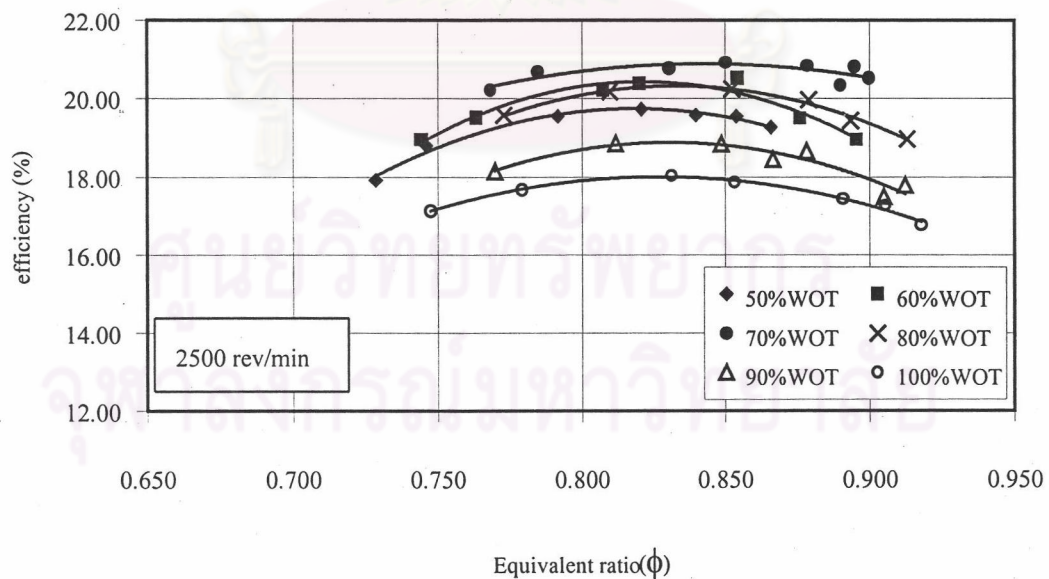
รูปที่ 5-12 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 3000 rev/min พบว่าเมื่อกำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่า $\eta_{th} = 16.48\%$ พบที่ตำแหน่ง air flow rate 80%WOT และส่วนผสมมีค่า $\phi = 0.848$

รูปที่ 5-13 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 3500 rev/min พบว่าเมื่อกำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่า $\eta_{th} = 20.58\%$ พบที่ตำแหน่ง air flow rate 70%WOT และส่วนผสมมีค่า $\phi = 0.913$

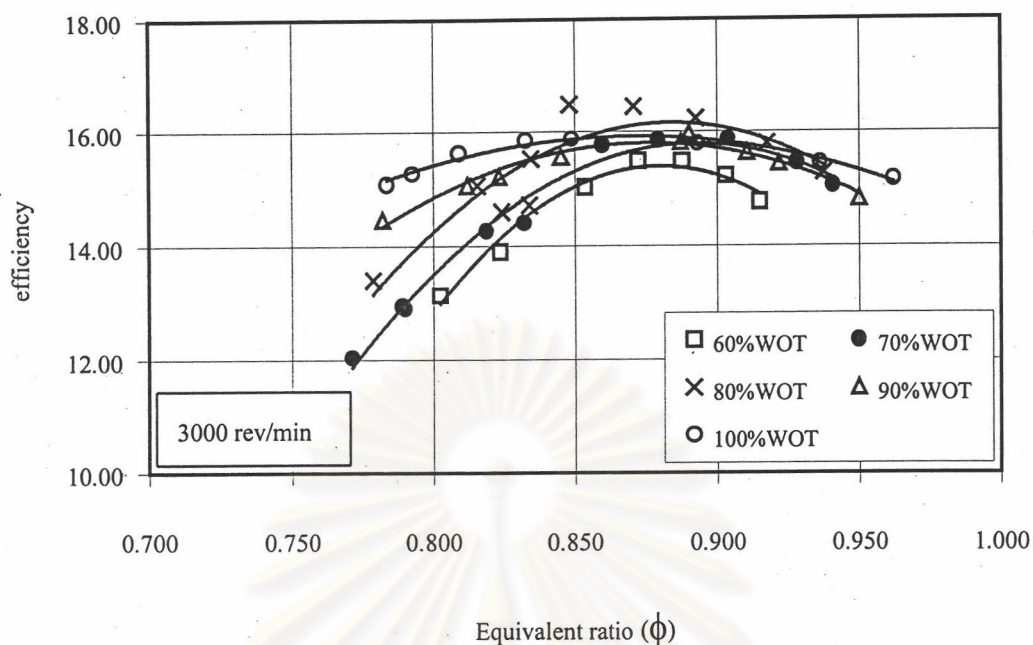
รูปที่ 4-14 เป็นผลการทดสอบเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG ที่ความเร็วรอบคงที่ 4000 rev/min พบว่าเมื่อกำหนดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์คงที่ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเชื้อเพลิงให้ส่วนผสมหนาขึ้นจนถึงส่วนผสมที่ค่าหนึ่ง จากนั้นค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้จะคงที่หรือเริ่มลดลง โดยค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดมีค่า $\eta_{th} = 21.77\%$ พบที่ตำแหน่ง air flow rate 90%WOT และส่วนผสมมีค่า $\phi = 0.840$



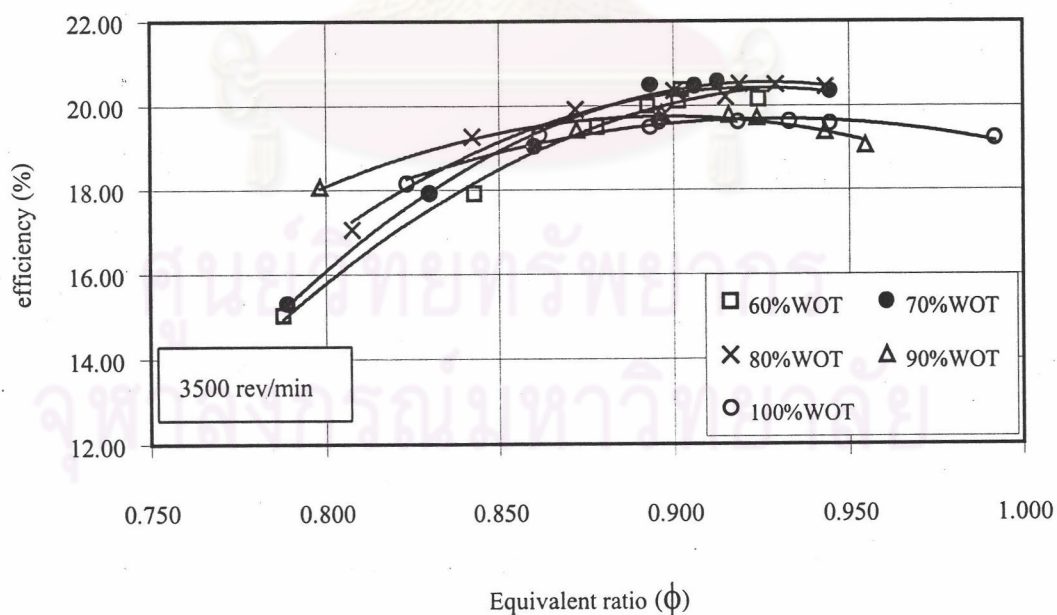
รูปที่ 5-10 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 2000 rev/min



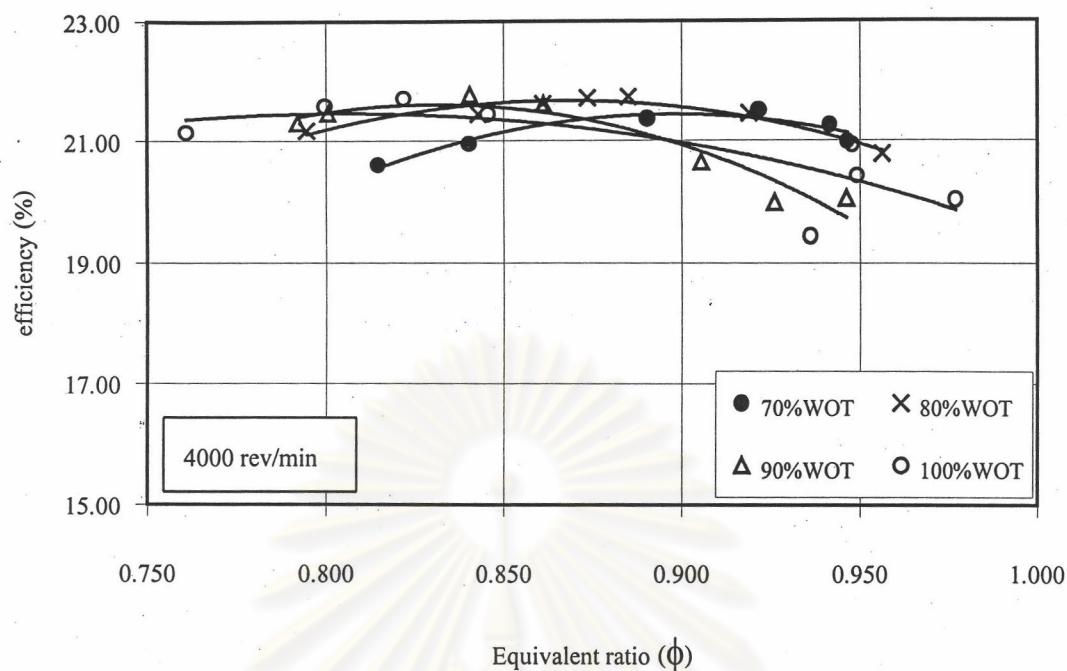
รูปที่ 5-11 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 2500 rev/min



รูปที่ 5-12 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 3000 rev/min



รูปที่ 5-13 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 3500 rev/min

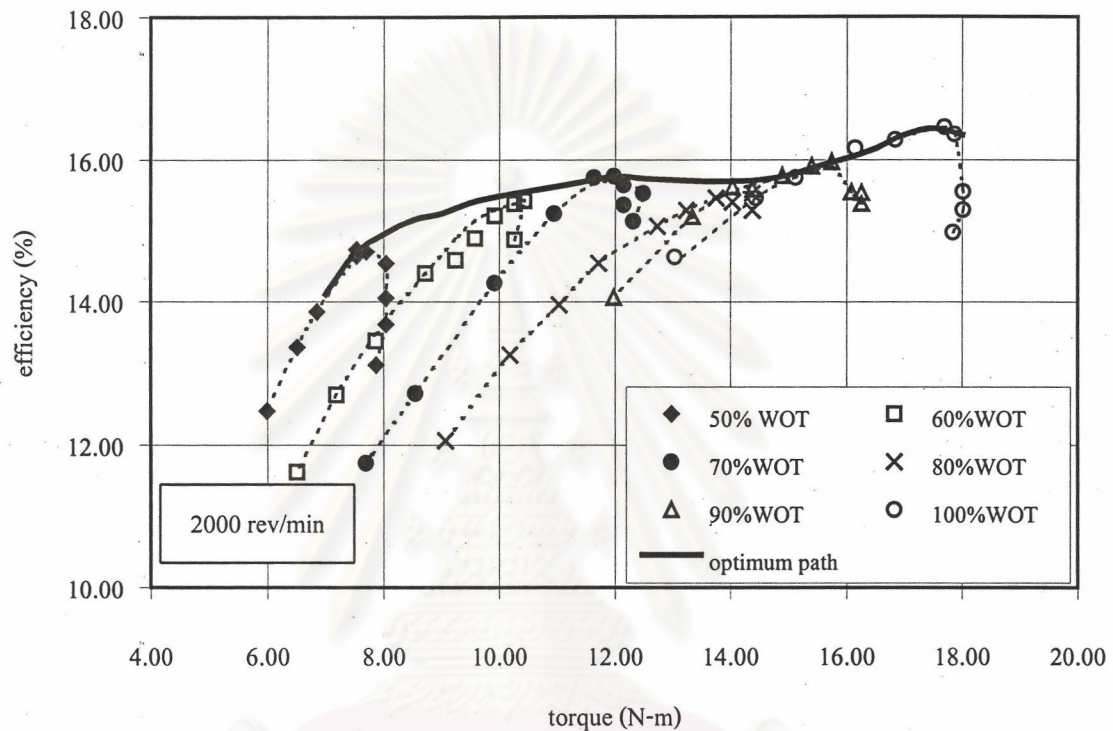


รูปที่ 5-14 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้จากการทดสอบ Mixture loop test โดยการปรับสกรูวาล์วควบคุมการไหลของ LPG ที่ค่าการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบคงที่ 4000 rev/min

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

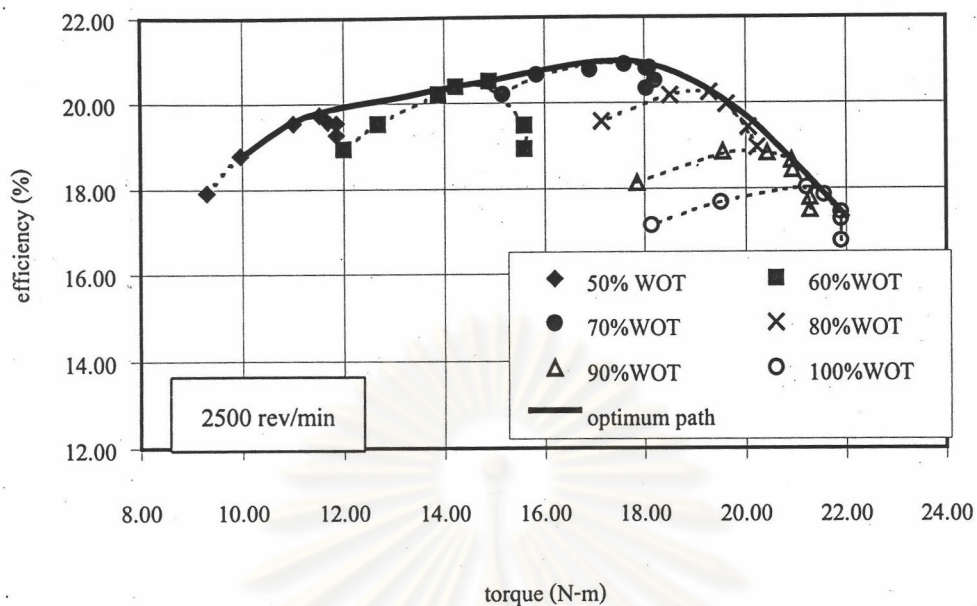
5.3.3 ค่าสมรรถนะที่เหมาะสมที่ความเร็วรอบคงที่ (Constant speed optimum performance)

แนวสมรรถนะที่เหมาะสม หาได้จากการเขียนเส้นสัมผัสของเส้นโค้งที่ได้จากการเขียนความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ภาระต่างๆ ความเร็วรอบคงที่ตั้งแต่ 2000-4000 rev/min แสดงในรูปที่ 5-15 ถึง 5-19 เส้นประคือความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ภาระต่างๆ และเส้นทึบคือเส้นที่บอกถึง optimum path

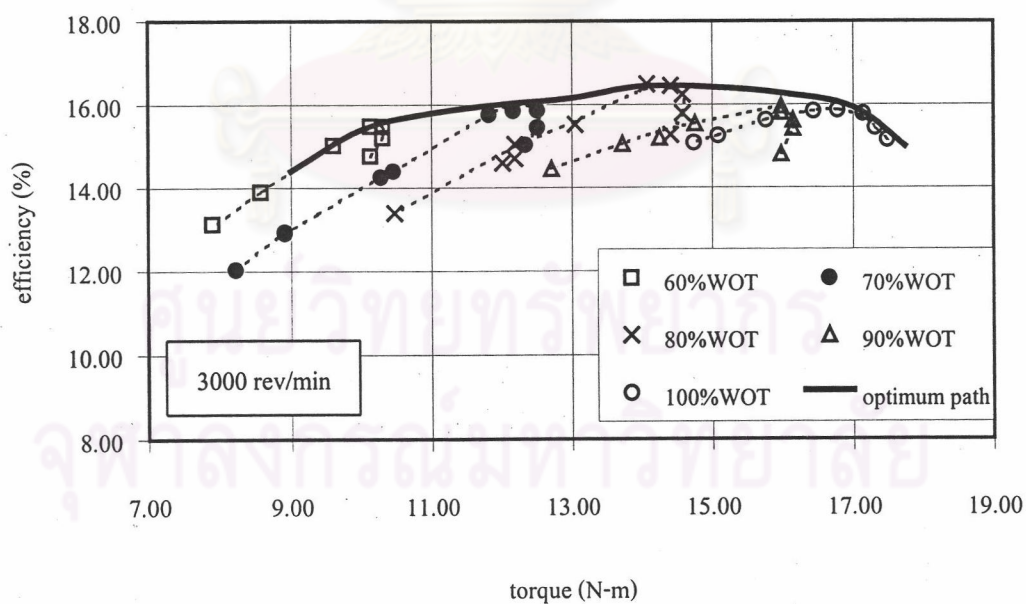


รูปที่ 5-15 แสดงการเขียนเส้น optimum path จากความสัมพันธ์ของแรงบิดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ภาระต่างๆ ของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ที่ความเร็วคงที่ 2000 rev/min

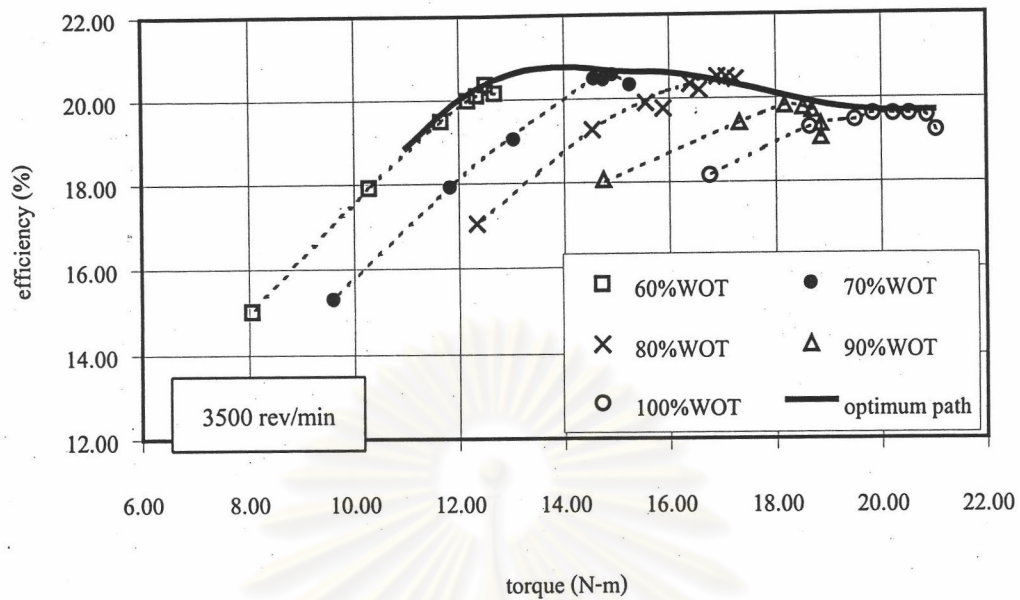
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



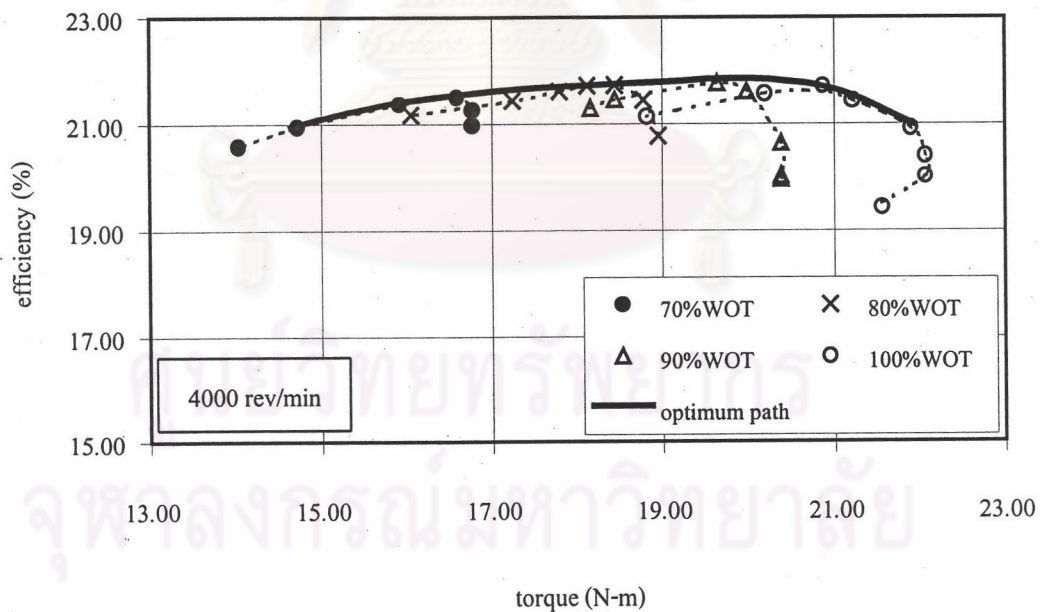
รูปที่ 5-16 แสดงการเขียนเส้น optimum path จากความสัมพันธ์ของแรงบิดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ภาระต่างๆ ของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ที่ความเร็วคงที่ 2500 rev/min



รูปที่ 5-17 แสดงการเขียนเส้น optimum path จากความสัมพันธ์ของแรงบิดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ภาระต่างๆ ของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ที่ความเร็วคงที่ 3000 rev/min



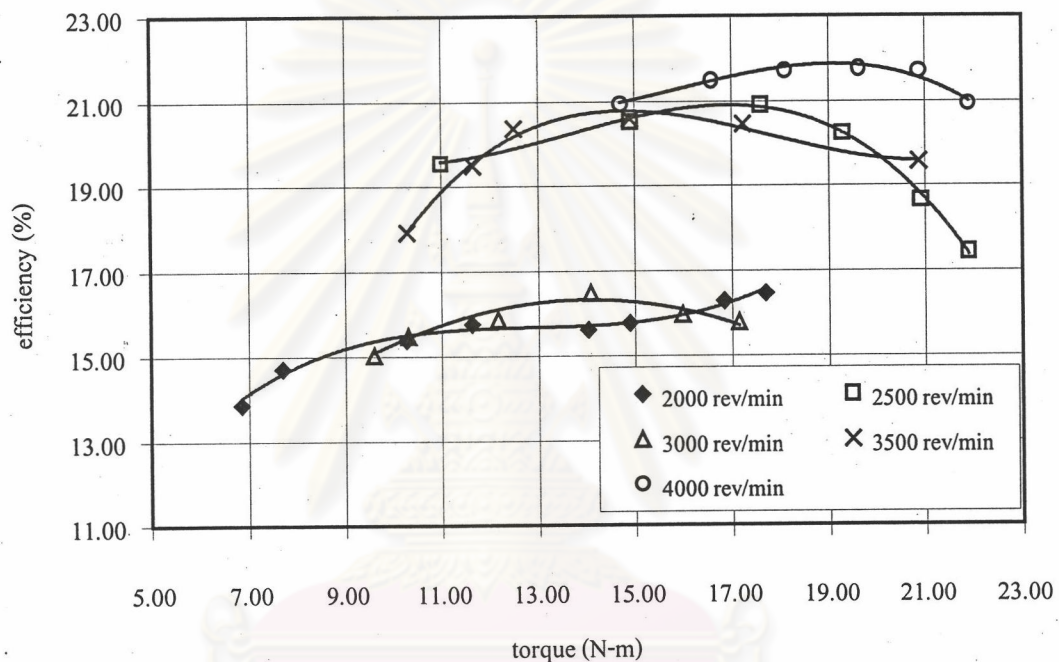
รูปที่ 5-18 แสดงการเขียนเส้น optimum path จากความสัมพันธ์ของแรงบิดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ภาระต่างๆ ของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ที่ความเร็วคงที่ 3500 rev/min



รูปที่ 5-19 แสดงการเขียนเส้น optimum path จากความสัมพันธ์ของแรงบิดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ภาระต่างๆ ของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ที่ความเร็วคงที่ 4000 rev/min

5.3.4 แนวสมรรถนะที่เหมาะสมของเครื่องยนต์สองจังหวะ LPG (optimum performance path)

ผลการทดสอบ mixture loop test กับเครื่องยนต์สองจังหวะ Daihatsu ZM356 cc. โดยใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ทำงานตามเมตริกทดสอบในรูปที่ 4-11 พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของ optimum performance มีค่าประมาณ 22% ที่ค่าแรงบิด 20 N-m และความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4000 rev/min นอกจากนี้พบค่าแรงบิดสูงสุดของ optimum performance มีค่า 22 N-m ที่ความเร็วรอบ 2500 rev/min และที่ความเร็วรอบ 4000 rev/min เมื่อ MBT spark advance ที่ 37 องศาเพลนซ์ก่อนถึง TDC โดยแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 5-20

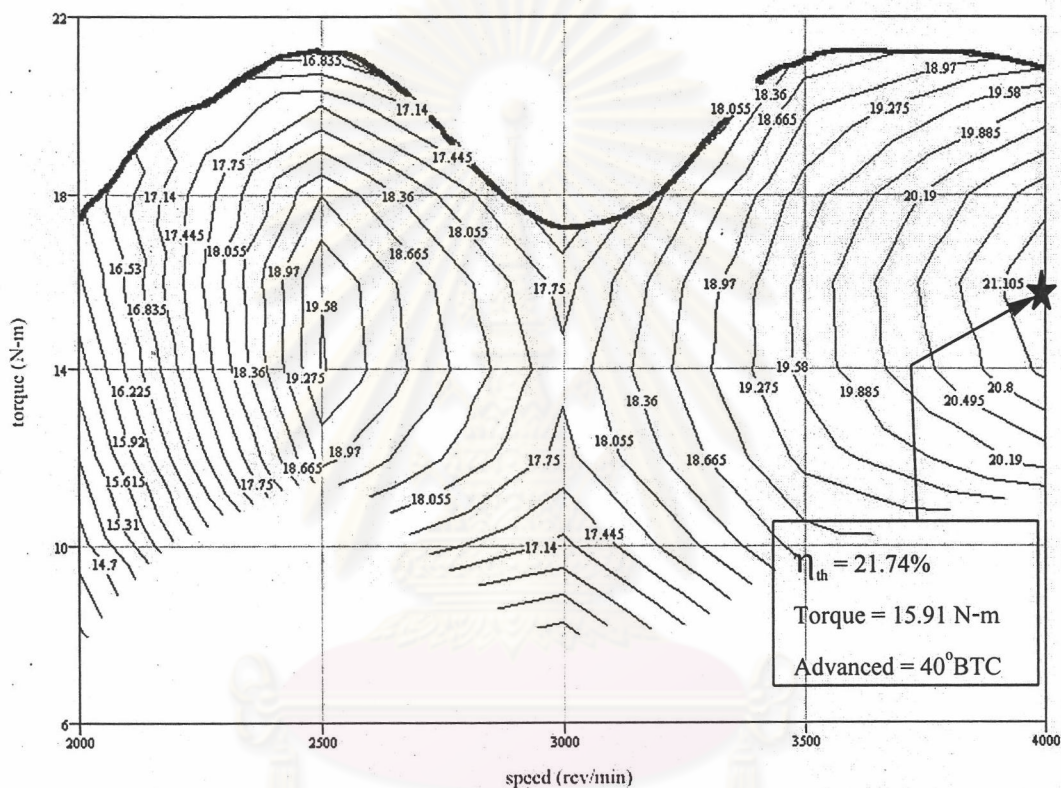


รูปที่ 5-20 แสดง optimum path ของความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับแรงบิดที่แก้ไขตามมาตรฐาน AS2789.1-1985 ของเครื่องยนต์สองจังหวะ Daihatsu ZM356 cc. ที่ MBT spark advance โดยใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง

5.3.5 แผนภูมิสมรรถนะที่เหมาะสมของเครื่องยนต์ (Engine map)

สมรรถนะที่เหมาะสมของแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์สองจังหวะที่ใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ได้ถูกนำมาเขียนเป็นแผนภูมิตายมิติหรือ engine map

จากแผนภูมิสมรรถนะที่เหมาะสมของเครื่องยนต์สองจังหวะที่ใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง พบว่าจุดทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์ในเชิงประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด เกิดเมื่อแรงบิดมีค่า 15.91 N-m ที่ความเร็วรอบ 4000 rev/min ซึ่งได้ค่าสูงสุด 21.60% โดยแสดงสัญลักษณ์รูปดาวในแผนภูมิสมรรถนะเครื่องยนต์



รูปที่ 5-21 แสดงแผนภูมิสมรรถนะที่ optimum fuel consumption ของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. เมื่อใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง

5.3.6 ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) ที่ optimum performance

ผลการทดสอบเบื้องต้นตามเมตริกซ์ทดสอบรูปที่ 4-11 พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์ LPG ที่ optimum performance มีค่าประมาณ 21.74 % ที่แรงบิด 15.91 N-m และความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4000 Rev/min โดยแสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนตามเมตริกซ์ทดสอบดังกล่าวไว้ในตารางที่ 5-9

5.3.7 ค่าแรงบิดเครื่องยนต์ (Brake torque, T_b) ที่ optimum performance

จากผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่าแรงบิดเครื่องยนต์ LPG ที่ optimum performance สูงสุด 21.90 N-m ที่ความเร็วรอบ 2500 rev/min และ 4000 rev/min โดยแสดงค่าแรงบิดที่แก้ไข (Corrected torque) ตามเมตริกซ์ทดสอบในรูป 4-11 ไว้ในตารางที่ 5-10

ตารางที่ 5-9 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละของเครื่องยนต์ LPG ที่ optimum performance ซึ่งทดสอบตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาปริมาณ air flow rate (%) ที่ค่าต่างๆ กัน

speed (rev/min) % mass air	Efficiency (%)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	14.70	19.72	-	-	-
60%	15.38	20.52	15.48	20.37	-
70%	15.75	20.79	15.86	20.58	21.74
80%	15.77	20.28	16.44	20.45	21.71
90%	15.78	18.65	15.96	20.01	21.37
100%	16.46	17.44	15.79	19.57	20.95

ตารางที่ 5-10 แสดงแรงบิดแก้ไข (corrected torque, N-m) ของเครื่องยนต์ LPG ที่ optimum performance ซึ่งทดสอบตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาปริมาณ air flow rate (%) ที่ค่าต่างๆ กัน

speed (rev/min) % mass air	Torque (N-m)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	7.70	11.51	-	-	-
60%	10.27	14.91	10.31	12.52	-
70%	11.63	18.10	12.17	14.92	15.91
80%	13.26	19.28	14.42	17.25	18.12
90%	14.89	20.92	15.98	19.06	19.64
100%	17.69	21.90	17.14	20.87	21.90

5.3.8 ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Bake specific fuel consumption, bsfc)

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เป็นค่าส่วนกลับของประสิทธิภาพเชิงความร้อน และนำมาใช้เพื่อพิจารณาในเชิงของการประหยัดเชื้อเพลิง โดยจะแสดงค่าเพื่อเปรียบเทียบผลในหัวข้อถัดไป สำหรับผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ LPG ที่ Optimum performance ต่ำสุดคือ 359 g/kW-hr และเป็นจุดเดียวกับที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด จากการทดสอบตามเมตริกซ์ทดสอบในรูป 4-11 พบว่าค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะตลอดช่วงการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 359 – 530 g/kW-hr แสดงในตารางที่ 5-11

ตารางที่ 5-11 แสดง bsfc (g/kW-hr) ของเครื่องยนต์ LPG ที่ optimum performance ซึ่งทดสอบตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 และเครื่องยนต์อยู่ในสถานะที่มีเสถียรภาพ โดยพิจารณาปริมาณ air flow rate (%) ที่ค่าต่างๆกัน

speed (rev/min) % mass air	bsfc (g/kW-hr)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	530	395	-	-	-
60%	507	380	504	383	-
70%	495	375	492	379	365
80%	495	384	474	381	359
90%	494	418	488	390	359
100%	474	447	494	398	372

5.3.9 ตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์ LPG

ตัวแปรการทำงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการศึกษาได้แก่ equivalence ratio (ϕ), MBT spark advance และรอบการทำงานของเครื่องยนต์ จากผลการทดสอบหาสมรรถนะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. ตามจุดเมตริกซ์ทดสอบในรูปที่ 4-11 พบว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอยู่ในช่วงส่วนผสมบางตลอดเวลา และค่า equivalence ratio อยู่ในช่วงระหว่าง $\phi = 0.801$ ถึง $\phi = 0.947$ และในบริเวณที่ภาระงาน (Load) ต่ำๆ (ปริมาณมวลอากาศเข้าเครื่องยนต์น้อย) หรือที่รอบเครื่องยนต์ต่ำ ค่าของ equivalent ratio บางกว่าที่บริเวณรอบการทำงานสูงและภาระงาน (Load) สูงใกล้ full load (wide open throttle) ค่า equivalence ratio (ϕ) ตามจุดทดสอบที่เครื่องยนต์ต้องการแสดงในตารางที่ 5-12 ซึ่งทดสอบกับ MBT spark advance ดังตาราง 5-13

ตารางที่ 5-12 แสดง Equivalence ratio ของเครื่องยนต์ LPG ที่ optimum performance โดยทดสอบตาม Matrix ทดสอบรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาตามปริมาณ Air flow rate (%) ค่าต่างๆกัน

speed (rev/min) % mass air	equivalence ratio (ϕ)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50%	0.801	0.842	-	-	-
60%	0.805	0.854	0.888	0.910	-
70%	0.809	0.852	0.880	0.913	0.890
80%	0.806	0.851	0.871	0.918	0.874
90%	0.804	0.878	0.890	0.931	0.883
100%	0.831	0.891	0.893	0.945	0.947

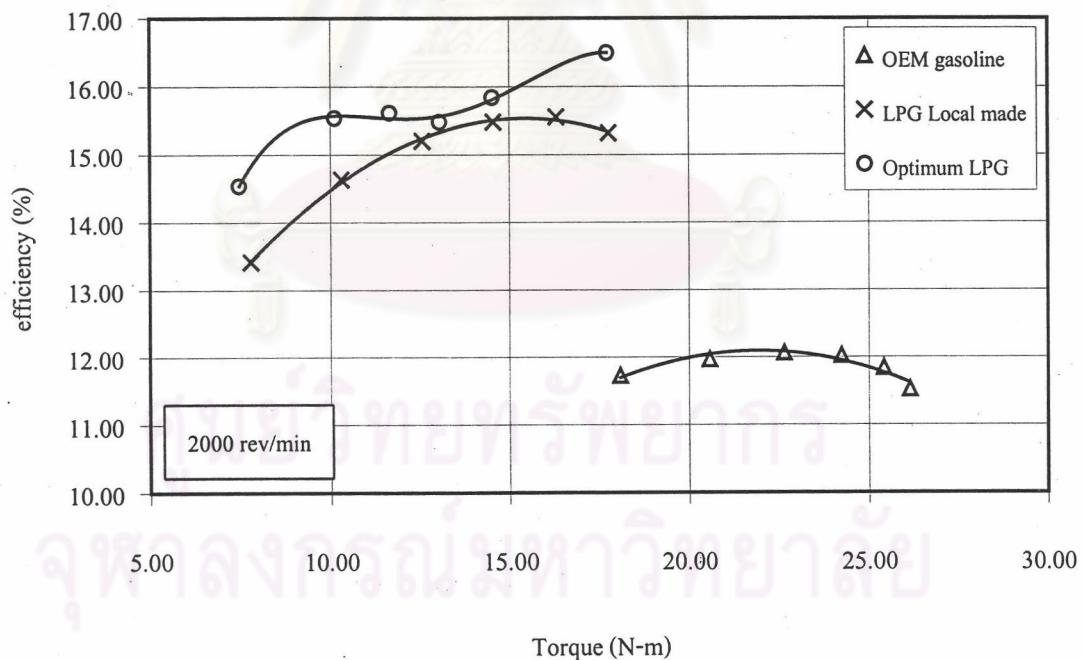
ตารางที่ 5-13 แสดง MBT ของเครื่องยนต์ LPG ที่ optimum performance โดยทดสอบ

ตาม Matrix ทดสอบรูปที่ 4-11 โดยพิจารณาตามปริมาณ Air flow rate (%) ค่าต่างๆกัน

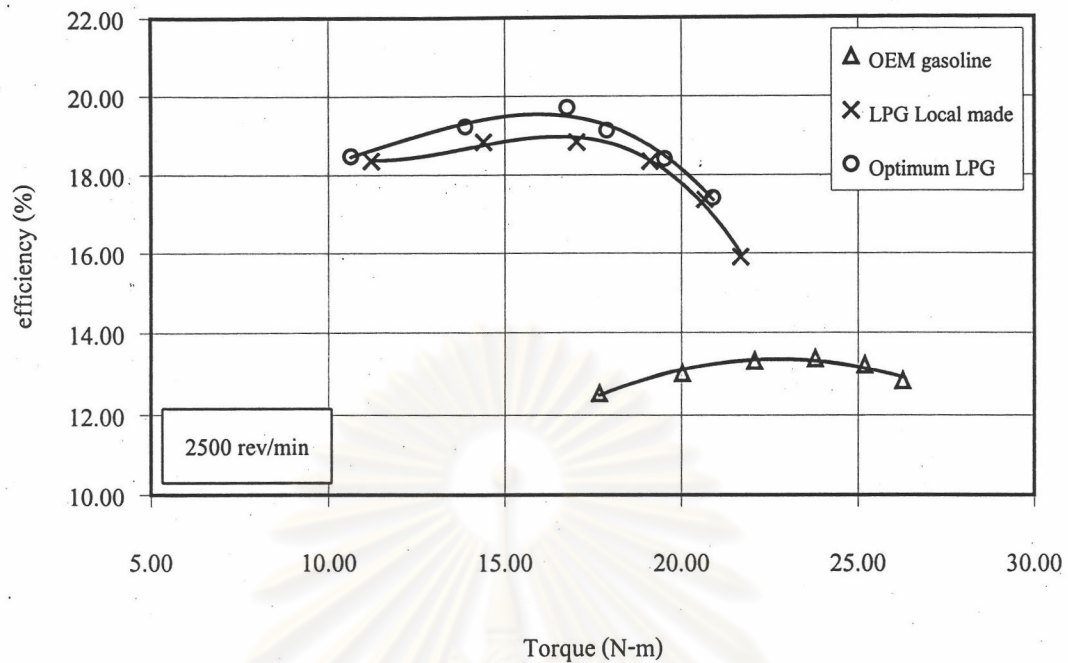
% mass air \ Speed (rev/min)	MBT ($^{\circ}$ BTDC)				
	2000	2500	3000	3500	4000
50	33	35	-	-	-
60	35	35	35	38	-
70	37	35	35	38	40
80	37	37	35	38	37
90	37	40	37	37	40
100	37	40	38	35	40

5.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบ Engine performance path ที่ความเร็วรอบคงที่

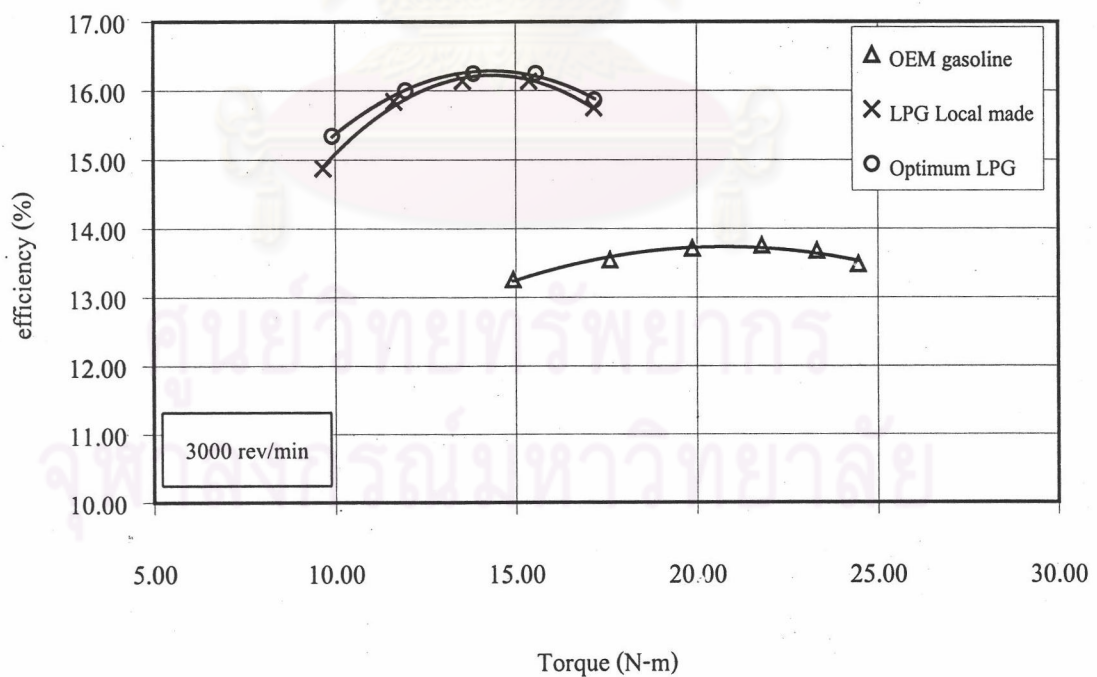
เมื่อนำแผนภูมิของ performance path ของเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนออกแทน 91 ,Conventional LPG และ Optimum path LPG มาเปรียบเทียบที่ความเร็วรอบคงที่ แสดงดังรูปที่ 5-22 ถึง 5-26



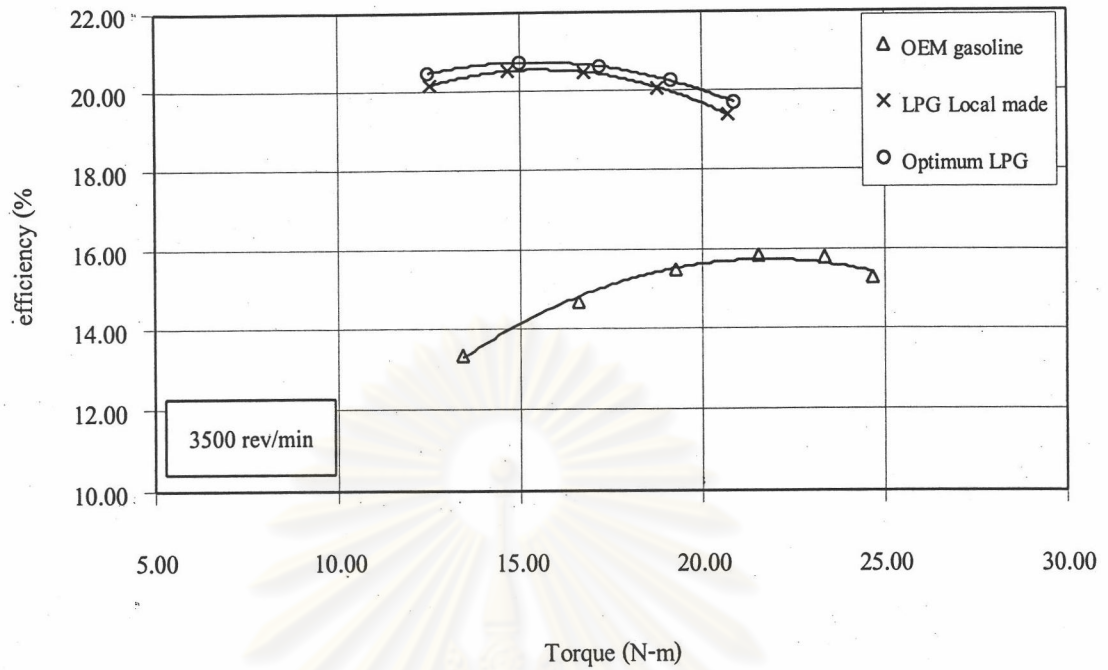
รูปที่ 5-22 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. ระหว่างแรงบิดที่แก้ไขกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rev/min



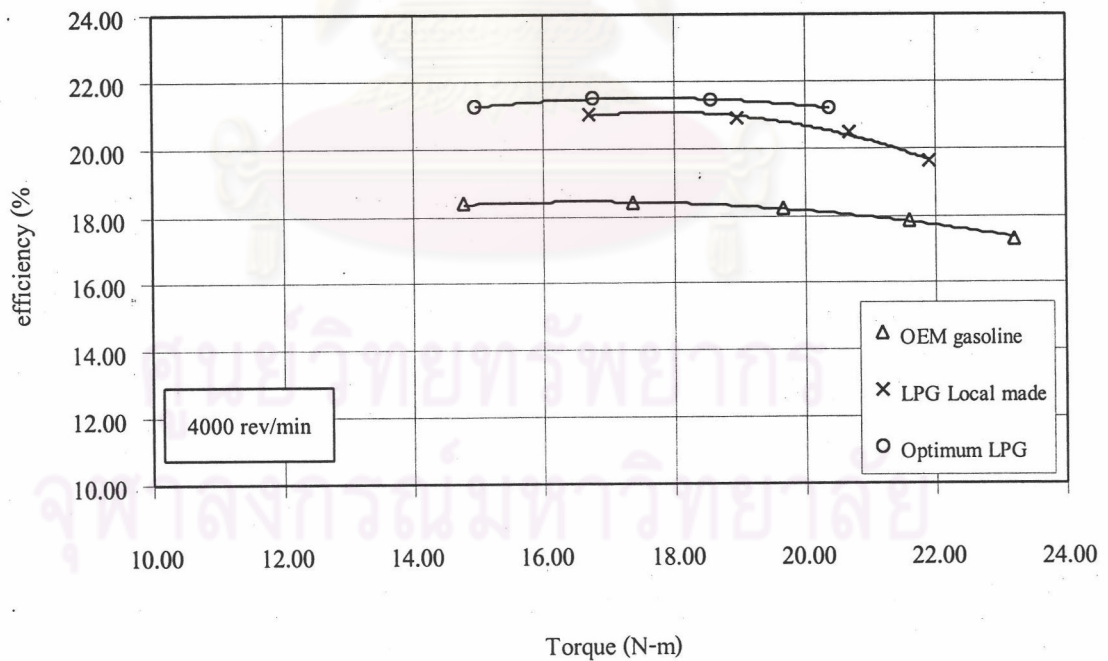
รูปที่ 5-23 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. ระหว่างแรงบิดที่แก้ไขกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่ความเร็วรอบคงที่ 2500 rev/min



รูปที่ 5-24 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. ระหว่างแรงบิดที่แก้ไขกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่ความเร็วรอบคงที่ 3000 rev/min



รูปที่ 5-25 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. ระหว่างแรงบิดที่แก้ไขกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่ความเร็วรอบคงที่ 3500 rev/min



รูปที่ 5-26 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ Daihatsu ZM356cc. ระหว่างแรงบิดที่แก้ไขกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่ความเร็วรอบคงที่ 4000 rev/min

5.5 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีต่อเครื่องยนต์

อิทธิพลของ A/F ratio มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ เนื่องจากเครื่องยนต์ที่เชื้อเพลิง LPG สามารถปรับแต่งให้มีส่วนผสม A/F ratio ที่กว้างมาก ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องยนต์เช่น แรงบิด, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, bmep (brake mean effective pressure), bsfc (brake specific fuel consumption), มลภาวะจากไอเสีย จึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วน A/F ratio เป็นสำคัญ

เมื่อพิจารณาสมรรถนะของเครื่องยนต์ขณะที่มีความเร็วคงที่, ปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้าเครื่องยนต์มีค่าคงที่ ถ้าปรับส่วนผสมตั้งแต่ส่วนผสมบางโดยการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิง ทำให้ส่วนผสมหนาขึ้น แรงบิดของเครื่องยนต์ที่ได้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อันเป็นผลมาจากการที่มีเชื้อเพลิงเข้าไปให้สันดาปมากขึ้น แต่แรงบิดที่ออกมาไม่ได้เพิ่มขึ้นตลอดการเพิ่มอัตราส่วน A/F ratio พบว่าเมื่อ A/F ratio มีค่าหนึ่ง ที่อากาศในห้องสันดาปมีพอดีในการทำปฏิกิริยาทางเคมีพอดีกับเชื้อเพลิงที่เข้าไปทั้งหมด ที่สภาวะนี้เครื่องยนต์ได้ใช้อากาศในห้องสันดาปอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ทำให้แรงบิดสูงสุดด้วย ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับการใช้อากาศในห้องสันดาป ดังนั้นการเพิ่มเชื้อเพลิงเข้าไปให้มากกว่าจุดดังกล่าว ไม่ทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้น

สำหรับแก๊สโซลีนซึ่งเป็นเชื้อเพลิงเหลว ในทางปฏิบัติพบว่า ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่ถูกดูดเข้าไปในห้องเผาไหม้ มักจะไม่มีเวลาผสมและคลุกเคล้าได้อย่างทั่วถึง เชื้อเพลิงบางส่วนอาจอยู่ในสภาวะที่เป็นหยดเล็ก ๆ (droplet) นอกจากนี้ก๊าซไอเสียจากการสันดาปในรอบก่อนหน้า ยังคงมีค้างอยู่ในห้องสันดาป ปังจัยเหล่านี้ทำให้ส่วนผสมที่เข้าไปใหม่เจือจางลง จึงจำเป็นต้องใช้ส่วนผสมที่หนากว่าส่วนผสมที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีพอดี (stoichiometric) ในการทำให้เกิดแรงบิดสูงสุด

เมื่อต้องการให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการทำงานดีที่สุด ส่วนผสมที่ใช้ต้องทำปฏิกิริยาเคมีและปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาทั้งหมด นั่นคือในทางปฏิบัติ การทำให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์จำเป็นต้องให้มีอากาศในห้องสันดาปสูงกว่าความต้องการในการเผาไหม้จริงๆ ดังนั้นส่วนผสมจึงมีเชื้อเพลิงต่ำกว่า stoichiometric A/F ratio

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.6 ตารางเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์สองจังหวะ

เมื่อนำข้อมูลสมรรถนะที่ได้จากการทดสอบกับเครื่องยนต์สองจังหวะ OEM ที่ใช้แก๊สโซลีน, Conventional LPG และ Optimum LPG มาเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 5-13 กับ 5-14

ตารางที่ 5-13 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบรรจุอากาศ (charging efficiency) ระหว่างเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้แก๊สโซลีนกับ LPG พบว่าที่ภาระงานเดียวกัน (ในการทดสอบนี้ใช้เปอร์เซ็นต์มวลอากาศที่ไหลผ่านเข้าเครื่องยนต์) เครื่องยนต์ที่ใช้ LPG มีประสิทธิภาพการบรรจุอากาศต่ำกว่าการใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิงทุกความเร็วรอบ โดยที่ 3500 rev/min ประสิทธิภาพการบรรจุ (charging efficiency) ลดลงมากที่สุดถึง 21.3%

ตารางที่ 5-14 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและแรงบิดระหว่างเครื่องยนต์สองจังหวะเมื่อใช้แก๊สโซลีนกับ conventional LPG พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ LPG เพิ่มขึ้นทุกจุดทำงาน โดยที่ตำแหน่ง WOT 2500 rev/min ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นมากที่สุด 46% นอกจากนี้ยังพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ Optimum LPG มีค่ามากกว่า Conventional LPG ที่ทุกจุดการทำงานอีกด้วยแต่ค่าที่เพิ่มขึ้นไม่มากนัก โดยที่ตำแหน่ง WOT 2500 rev/min ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นมากที่สุด 9.5%

เมื่อเปรียบเทียบแรงบิดที่ได้จากการทดสอบพบว่า แรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้ LPG มีค่าลดลงทุกจุดการทำงาน โดยเฉพาะที่ 2000 rev/min และ 3000 rev/min แรงบิดมีค่าลดลงมากกว่าที่รอบการทำงานอื่น และพบว่าที่ภาระงานต่ำ (ในการทดสอบนี้หมายถึงเปอร์เซ็นต์มวลอากาศที่ไหลผ่านเข้าเครื่องยนต์) แรงบิดมีค่าลดลงมากกว่าที่ภาระงานสูง โดยที่ 2000 rev/min ค่าแรงบิดลดลงมากที่สุดตั้งแต่ 32% ถึง 57% นอกจากนี้ยังพบว่าค่าแรงบิดของ Optimum LPG มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก Conventional LPG โดยที่ภาระงานต่ำ (ในการทดสอบนี้หมายถึงเปอร์เซ็นต์มวลอากาศที่ไหลผ่านเข้าเครื่องยนต์) แรงบิดที่ได้ของ Optimum LPG มีค่าลดลง ขณะที่ภาระงานสูงหรือ WOT แรงบิดที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

จากการทดสอบพบว่าการทำงานที่ Optimum LPG มีอัตราส่วนผสมบางกว่า Conventional LPG นั่นคือจะทำค่า CO ซึ่งเป็นปัญหาของ emission หลักของเครื่องยนต์สองจังหวะต่ำลง [31] นอกจากนี้สามารถเพิ่มแรงบิดของ Optimum efficiency LPG ที่ส่วนผสมบางด้วยการเพิ่มพลังงานในการจุดระเบิดให้มากขึ้น โดยการดัดแปลงที่ง่ายที่สุดคือการลดช่องว่าง (gap) หน้าทองขาว (contact) ของระบบจุดระเบิดทำให้หน้าทองขาวปิดนานขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มมุม dwell (คือมุมการหมุนของลูกเบี้ยวหลังจากหน้าทองขาวปิดจนกระทั่งเปิดอีกครั้ง) คอด้ยได้รับกระแสไฟมากขึ้นดังนั้นเมื่อหน้าทองขาวเปิดทำให้ประกายไฟที่หัวเทียนมีพลังงานเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5-13 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบรรจุก๊าซเข้าเครื่องยนต์สองจังหวะ Daihatsu ZM356cc. ระหว่างการใช้แก๊สโซลีนและ LPG

rev/min	OEM efficiency (%) gasoline						OEM torque (N-m) gasoline						equivalent ratio gasoline					
	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air
2000	11.52	11.84	12.02	12.07	11.97	11.73	26.15	25.41	24.24	22.63	20.58	18.09	1.488	1.567	1.656	1.757	1.873	2.008
2500	12.84	13.22	13.38	13.32	13.03	12.53	26.27	25.19	23.79	22.07	20.03	17.67	1.488	1.558	1.627	1.695	1.761	1.822
3000	13.48	13.68	13.75	13.71	13.54	13.26	24.46	23.32	21.79	19.88	17.60	14.93	1.473	1.546	1.621	1.695	1.767	1.837
3500	15.26	15.79	15.87	15.49	14.64	-	24.70	23.35	21.55	19.29	16.57	-	1.379	1.430	1.491	1.564	1.651	-
4000	17.33	17.86	18.21	18.38	18.37	-	23.21	21.61	19.66	17.38	14.76	-	1.321	1.349	1.362	1.361	1.344	-
rev/min	conventional LPG efficiency (%) LPG						conventional LPG torque (N-m) LPG						equivalent ratio Conventional LPG					
	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air
2000	15.32	15.55	15.48	15.20	14.64	13.42	17.78	16.30	14.56	12.57	10.31	7.80	0.907	0.898	0.903	0.904	0.894	0.903
2500	15.90	17.36	18.34	18.83	18.83	18.35	21.68	20.67	19.12	17.03	14.40	11.22	0.918	0.912	0.913	0.900	0.896	0.896
3000	15.75	16.14	16.14	15.84	14.87	-	17.16	15.38	13.53	11.63	9.67	-	0.962	0.950	0.937	0.941	0.915	-
3500	19.38	20.06	20.48	20.53	20.15	-	20.74	18.77	16.74	14.66	12.51	-	0.992	0.955	0.943	0.945	0.924	-
4000	19.61	20.45	20.91	20.99	-	-	21.90	20.70	18.96	16.68	-	-	0.936	0.946	0.956	0.947	-	-
rev/min	Optimum efficiency (%) LPG						Optimum torque (N-m) LPG						equivalent ratio Optimum LPG					
	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	WOT	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air
2000	16.49	15.84	15.48	15.62	15.54	14.54	17.73	14.54	13.05	11.67	10.13	7.47	0.831	0.804	0.806	0.809	0.805	0.801
2500	17.41	18.40	19.13	19.71	19.22	18.48	20.89	19.54	17.89	16.76	13.88	10.64	0.891	0.878	0.851	0.852	0.854	0.842
3000	15.86	16.25	16.25	16.00	15.34	-	17.17	15.58	13.84	11.95	9.92	-	0.893	0.890	0.871	0.880	0.888	-
3500	19.68	20.25	20.62	20.72	20.48	-	20.88	19.16	17.20	14.98	12.49	-	0.945	0.931	0.918	0.913	0.910	-
4000	21.20	21.46	21.48	21.25	-	-	20.37	18.56	16.75	14.94	-	-	0.947	0.883	0.874	0.890	-	-

rev/min	Changing efficiency (%) OEM and conv. LPG						changing efficiency (%) OEM and Opt. LPG						changing efficiency (%) conv. with Opt. LPG					
	100% air	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	100% air	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	100% air	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air
2000	33.0	31.3	28.8	25.9	22.3	14.4	43.1	33.8	28.8	29.4	29.8	24.0	7.6	1.9	0.0	2.8	6.1	8.3
2500	23.8	31.3	37.1	41.4	44.5	46.4	35.6	39.2	43.0	48.0	47.5	47.5	9.5	6.0	4.3	4.7	2.1	0.7
3000	16.8	18.0	17.4	15.5	9.8	-	17.7	18.8	18.2	16.7	13.3	-	0.7	0.7	0.7	1.0	3.2	-
3500	27.0	27.0	29.0	32.5	37.6	-	29.0	28.2	29.9	33.8	39.9	-	1.5	0.9	0.7	0.9	1.6	-
4000	13.2	14.5	14.8	14.2	-	-	22.3	20.2	18.0	15.6	-	-	8.1	4.9	2.7	1.2	-	-

rev/min	Changing torque (%) OEM and conv. LPG						changing torque (%) OEM and Opt. LPG						changing torque (%) conv. with Opt. LPG					
	100% air	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	100% air	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air	100% air	90%air	80%air	70%air	60%air	50%air
2000	-32.0	-35.9	-39.9	-44.5	-49.9	-56.9	-32.2	-42.8	-46.2	-48.4	-50.8	-58.7	-0.3	-10.8	-10.4	-7.2	-1.7	-4.2
2500	-17.5	-17.9	-19.6	-22.8	-28.1	-36.5	-20.5	-22.4	-24.8	-24.1	-30.7	-39.8	-3.6	-5.5	-6.4	-1.6	-3.6	-5.2
3000	-29.8	-34.0	-37.9	-41.5	-45.1	-	-29.8	-33.2	-36.5	-39.9	-43.6	-	0.1	1.3	2.3	2.8	2.6	-
3500	-16.0	-19.6	-22.3	-24.0	-24.5	-	-15.5	-17.9	-20.2	-22.3	-24.6	-	0.7	2.1	2.7	2.2	-0.2	-
4000	-5.6	-4.2	-3.6	-4.0	-	-	-12.2	-14.1	-14.8	-14.0	-	-	-7.0	-10.3	-11.7	-10.4	-	-

ตารางที่ 5-14 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและแรงบิดของเครื่องยนต์สองจังหวะ Daihatsu ZM356cc. ระหว่างการใช้แก๊สโซลีนกับ Conventional LPG และ Optimum LPG