บทที่ 4
การทดสอบ ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

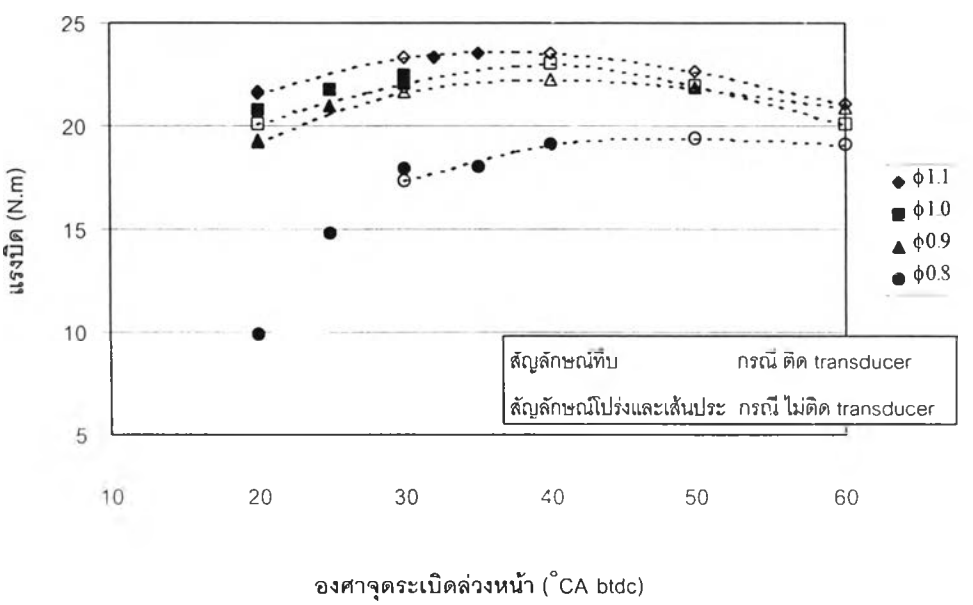
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงจุดที่ได้ทำการทดสอบ และผลการทดสอบ ณ แต่ละจุดที่ทำการทดสอบของเครื่องยนต์ Ricardo E6 จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลขององศาจุดระเบิดล่วงหน้า และ equivalence ratio โดยกราฟที่นำเสนอร่วมกัน ได้แก่ ผลการทดสอบทางสมรรถนะ อันได้แก่ แรงบิด และ bsfc. , ผลของการวัดค่าแรงดันในกระบอกสูบและ MFB (mass fraction burned) ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าแรงดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow และสุดท้ายเป็นอัตราการสันดาปในรูปของ flame development angle ($\Delta\theta_d$) และ Rapid burned angle ($\Delta\theta_b$) จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลของความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่อ Δt_d และ Δt_d

4.1 การทดสอบเครื่องยนต์ และผลการทดสอบ

การทดสอบกระทำด้วยเครื่องยนต์ Ricardo E6 โดยทำการทดสอบที่ ความเร็วรอบ 1500 , 1800 และ 2100 รอบต่อนาที ในแต่ละความเร็วรอบจะทำการทดสอบที่ลิ้นปีกผีเสื้อเปิดกว้างสุด (WOT) และที่อัตราการไหลอากาศประมาณร้อยละ 75 และ ร้อยละ 50 ของอัตราการไหลอากาศที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดกว้างสุด โดยแต่ละค่าการทดสอบจะทำการปรับค่า equivalence ratio ต่างๆ กัน โดยที่แต่ละค่า equivalence ratio คงที่นั้น จะแปรค่าองศาการจุดระเบิดค่าต่างๆ จนถึง MBT สำหรับค่า equivalence ratio และองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ได้ทำการทดสอบ ได้แสดงไว้ในตาราง 4.1 และสรุปผลการทดสอบและสรุปผลการวิเคราะห์การวัดความดันในกระบอกสูบที่ความเร็วรอบต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 อนึ่งจากตารางที่ 4.1 แสดงจุดที่ทำการทดสอบเครื่องยนต์ จะเห็นว่าในการทดสอบที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสุดของทุกความเร็วรอบ จะมีผลทดสอบที่ equivalence ratio บาง คือ 0.8 และ 0.9 เท่านั้น เนื่องจากไม่สามารถปรับ main jet ของคาร์บิวเรเตอร์ให้จ่ายเชื้อเพลิงมากพอที่จะทำให้ส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศหนาขึ้น คือ เป็น 1.0 และ 1.1 ได้

สำหรับการปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าสามารถปรับได้ตั้งแต่ 20 °CA btdc ถึง 60 °CA btdc ในกรณีที่สามารถปรับได้ช่วงกว้างโดยที่เครื่องยนต์ยังทำงานได้เป็นปกติเช่น ที่ equivalence ratio บาง จะปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มทีละ 10 องศา ส่วนกรณีที่ปรับได้ช่วงแคบ เช่น ที่ equivalence ratio หนา จะปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มทีละ 5 องศาจนถึง MBT

สำหรับการปรับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าให้ได้ MBT ในการทดสอบนั้น พบว่ามีหลายจุดที่ไม่สามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าจนแรงบิดมีค่าสูงสุดได้ เนื่องจากเริ่มเกิด knock ขึ้นเสียก่อน ดังจะเห็นได้จาก รูปที่ 4.0 ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของการทดสอบที่มีการติด pressure transducer (สัญลักษณ์ทึบ) และการทดสอบที่ไม่มีการติด pressure transducer (สัญลักษณ์โปร่งและเส้นประ) จะเห็นว่าในการทดสอบที่มีการติด pressure transducer ไม่สามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าจนได้แรงบิดสูงสุด เนื่องจากเกิด knock ขึ้น โดยทราบได้จากการแสดงผลความดันในกระบอกสูบของ oscilloscope ในระหว่างการทดสอบ จึงต้องงดการทดสอบเพื่อป้องกันมิให้ pressure transducer เสียหายเนื่องจาก knock ในขณะที่การทดสอบเครื่องยนต์เมื่อไม่ได้ติด pressure transducer จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้า จะทำให้ได้แรงบิดมากขึ้นจนมีค่าสูงสุด และเมื่อเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าขึ้นไปอีก แรงบิดที่ได้จะลดลง ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในช่วงที่เกิดแรงบิดสูงสุดเป็นช่วงที่เริ่มเกิด knock ขึ้นแล้ว



รูปที่ 4.0 แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ ของการทดสอบที่ติด pressure transducer (สัญลักษณ์ทึบ) และการทดสอบที่ไม่ติด pressure transducer (สัญลักษณ์โปร่งและมีเส้นประ) การทดสอบทำที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 %ของ WOT

Speed (rev./min.)	% Air flow	ϕ	องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า (°CA btdc)								
			20	25	30	35	40	45	50	55	60
1500	100	0.8				a	a				
	75	1.1	a		a	a					
		1.0	a	a	a						
		0.9	a	a	a						
		0.8	a	a	a	a					
	50	1.1	a		a		a				
		1.0	a	a	a						
		0.9	a	a	a	a	a				
		0.8		a	a	a	a	a	a	a	a
1800	100	0.9	a	a	a						
		0.8	a		a		a		a		
	75	1.1	a		a		a				
		1.0	a		a		a				
		0.9	a		a		a		a		
		0.8					a		a		a
	50	1.1	a		a		a	a	a		
		1.0			a		a		a		
		0.9			a		a		a		
2100	100	0.9	a								
	75	1.1	a	a	a	a					
		1.0			a	a	a				
		0.9			a		a		a		
	50	1.1	a		a		a		a		
		1.0			a		a		a		
		0.9			a		a		a		
		0.8							a	a	a

ตารางที่ 4.1 แสดงจุดที่ทำการทดสอบ (a แทนจุดที่ทำการทดสอบ)

	Speed (rev./min.)	% Air flow	Air flow (g/sec.)	Equivalence ratio	Spark timing(°CA btdc	Torque (N.m)	Power (kW)	bsfc. (kg/kW-hr)	P_{max} (bar)	θ_{Pmax} °CA atdc	$\Delta\theta_{0-10\%}$ °CA	$\Delta\theta_{10-90\%}$ °CA	$t_{0-10\%}$ msec.	$t_{10-90\%}$ msec.	หมายเหตุ
1	1500	100	6.8	0.80	35	27.83	4.37	0.299	34.0	24.0	34.3	26.9	3.81	2.99	
2	1500	100	6.7	0.80	40	27.51	4.32	0.302	35.9	17.0	36.4	28.6	4.05	3.18	
3	1500	75	5.4	1.10	20	21.71	3.41	0.427	22.9	34.0	27.3	32.6	3.03	3.63	
4	1500	75	5.4	1.10	32	23.31	3.66	0.398	29.3	26.0	32.7	29.7	3.63	3.30	
5	1500	75	5.4	1.10	35	23.54	3.70	0.394							knock
6	1500	75	5.4	1.00	20	20.79	3.27	0.404	19.6	40.0	28.4	33.0	3.15	3.67	
7	1500	75	5.3	1.00	25	21.80	3.42	0.377	25.7	30.0	30.0	27.2	3.33	3.02	
8	1500	75	5.3	1.00	30	22.48	3.53	0.373							knock
9	1500	75	5.4	0.90	20	19.33	3.04	0.400	22.5	36.0	28.8	27.3	3.20	3.04	
10	1500	75	5.4	0.90	25	20.98	3.29	0.368	25.5	31.0	30.9	26.4	3.44	2.93	
11	1500	75	5.4	0.90	30	22.12	3.47	0.349	29.9	23.0	30.6	26.5	3.40	2.94	
12	1500	75	5.4	0.80	20	9.87	1.55	0.677	12.0	3.0	31.2	73.3	3.47	8.14	
13	1500	75	5.4	0.80	25	14.85	2.33	0.457	12.3	10.0	33.1	57.6	3.68	6.39	
14	1500	75	5.4	0.80	30	17.96	2.82	0.371	21.9	33.0	35.2	30.2	3.91	3.36	
15	1500	75	5.4	0.80	35	18.01	2.83	0.377	22.2	29.0	37.6	32.0	4.18	3.56	
16	1500	75	5.4	0.80	40	19.10	3.00	0.355	22.5	28.0	41.6	32.1	4.62	3.57	
17	1500	50	3.8	1.10	20	8.23	1.29	0.798	15.4	38.0	27.8	31.7	3.09	3.52	
18	1500	50	3.8	1.10	30	11.43	1.79	0.560	19.6	27.0	31.9	28.5	3.55	3.17	
19	1500	50	3.8	1.10	40	12.29	1.93	0.521	23.9	19.0	35.4	26.1	3.94	2.90	
20	1500	50	3.8	1.00	20	9.51	1.49	0.619	12.9	36.0	30.3	38.1	3.36	4.23	
21	1500	50	3.8	1.00	25	11.70	1.84	0.507	16.4	32.0	30.5	34.9	3.39	3.87	
22	1500	50	3.8	1.00	30	12.29	1.93	0.484	19.1	28.0	32.0	29.1	3.56	3.23	
23	1500	50	3.8	0.90	20	8.77	1.38	0.612	9.8	49.0	29.9	48.0	3.32	5.33	
24	1500	50	3.8	0.90	25	10.79	1.69	0.493	13.4	36.0	30.2	40.9	3.35	4.54	
25	1500	50	3.8	0.90	30	11.93	1.87	0.452	17.9	29.0	35.1	27.9	3.90	3.10	
26	1500	50	3.7	0.90	35	13.12	2.06	0.397	19.4	27.0	36.4	28.9	4.04	3.21	
27	1500	50	3.7	0.90	40	13.16	2.07	0.401	19.5	22.0	39.2	32.4	4.36	3.59	
28	1500	50	3.8	0.80	25	7.63	1.20	0.639	9.9	46.0	33.3	46.3	3.70	5.14	
29	1500	50	3.8	0.80	30	8.59	1.35	0.567	11.3	38.0	35.8	44.4	3.98	4.93	
30	1500	50	3.8	0.80	35	9.78	1.54	0.495	13.8	32.0	41.3	36.8	4.59	4.09	
31	1500	50	3.8	0.80	40	10.56	1.66	0.461	14.0	32.0	43.5	39.4	4.83	4.38	
32	1500	50	3.8	0.80	45	10.83	1.70	0.446	17.8	26.0	43.9	32.8	4.88	3.65	
33	1500	50	3.8	0.80	50	10.97	1.72	0.443	18.6	24.0	49.4	30.7	5.49	3.42	
34	1500	50	3.8	0.80	55	11.11	1.74	0.442	20.7	21.0	50.9	28.3	5.65	3.14	
35	1500	50	3.8	0.80	60	11.06	1.74	0.444	22.3	17.0	54.6	28.8	6.07	3.20	

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปผลการทดสอบและสรุปผลการวิเคราะห์การวัดความดันในกระบอกสูบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 rev./min.

	Speed (rev./min.)	% Air flow	Air flow (g/sec.)	Equivalence ratio	Spark timing(°CA btdc)	Torque (N.m)	Power (kW)	bsfc. (kg/kW-hr)	P_{max} (bar)	θ_{Pmax} °CA atdc	$\Delta\theta_{0-10\%}$ °CA	$\Delta\theta_{10-90\%}$ °CA	$t_{0-10\%}$ msec.	$t_{10-90\%}$ msec.	หมายเหตุ
1	1800	100	8.1	0.90	20	18.01	3.39	0.468	31.8	31.0	27.4	26.8	2.54	2.48	
2	1800	100	8.0	0.90	25	29.16	5.50	0.328	29.0	32.0	28.4	31.8	2.63	2.95	
3	1800	100	8.0	0.90	30	30.53	5.75	0.315	32.3	28.0	32.8	29.6	3.03	2.74	
4	1800	100	8.3	0.80	20	27.15	5.12	0.310	19.6	39.0	30.2	38.2	2.80	3.54	
5	1800	100	8.3	0.80	30	24.45	4.61	0.344	27.2	29.0	34.5	32.4	3.20	3.00	
6	1800	100	8.4	0.80	40	26.55	5.00	0.318	28.8	28.0	41.2	35.7	3.81	3.31	
7	1800	100	8.2	0.80	50	26.60	5.01	0.316	37.6	18.0	47.7	27.0	4.42	2.50	
8	1800	75	6.1	1.10	20	17.96	3.39	0.487	18.0	42.0	27.3	36.5	2.53	3.38	
9	1800	75	6.1	1.10	30	20.61	3.89	0.422	25.4	24.0	30.6	32.5	2.84	3.01	
10	1800	75	6.1	1.10	40	20.57	3.88	0.423	35.1	18.0	35.7	22.5	3.30	2.08	
11	1800	75	6.1	1.00	20	17.78	3.35	0.436	19.7	37.0	28.6	32.7	2.65	3.03	
12	1800	75	6.1	1.00	30	20.38	3.84	0.379	21.3	29.0	32.0	37.0	2.96	3.42	
13	1800	75	6.1	1.00	40	20.88	3.94	0.369	28.4	20.0	37.9	30.2	3.51	2.80	
14	1800	75	6.1	0.90	20	15.68	2.95	0.460	14.7	43.0	30.3	41.7	2.80	3.86	
15	1800	75	6.1	0.90	30	19.65	3.70	0.365	21.6	34.0	33.8	32.9	3.13	3.05	
16	1800	75	6.1	0.90	40	20.93	3.95	0.343	25.8	25.0	38.6	33.0	3.58	3.05	
17	1800	75	6.1	0.90	50	20.88	3.94	0.342	37.1	14.0	44.2	23.6	4.09	2.19	
18	1800	75	6.1	0.80	40	16.50	3.11	0.390	23.3	27.0	44.2	47.6	4.09	4.41	
19	1800	75	6.1	0.80	50	17.32	3.26	0.371	24.3	24.0	47.7	32.8	4.42	3.04	
20	1800	75	6.1	0.80	60	17.55	3.31	0.368	28.7	19.0	54.4	29.1	5.04	2.70	
21	1800	50	4.1	1.10	20	7.22	1.36	0.827	11.5	36.0	31.1	37.8	2.88	3.50	
22	1800	50	4.1	1.10	30	9.96	1.88	0.590	17.1	28.0	33.8	29.3	3.13	2.71	
23	1800	50	4.1	1.10	40	11.01	2.08	0.537	20.5	22.0	38.7	27.3	3.58	2.53	
24	1800	50	4.0	1.10	45	10.83	2.04	0.543	20.3	22.0	43.1	28.8	3.99	2.67	
25	1800	50	4.0	1.10	50	10.97	2.07	0.533							knock
26	1800	50	4.0	1.00	30	9.14	1.72	0.591	15.3	32.0	35.9	32.1	3.33	2.97	
27	1800	50	4.1	1.00	40	10.01	1.89	0.538	18.2	23.0	39.8	30.8	3.69	2.85	
28	1800	50	4.0	1.00	50	10.74	2.02	0.495	22.0	13.0	44.6	29.5	4.13	2.73	
29	1800	50	4.0	0.90	30	6.03	1.14	0.792	11.7	30.0	36.0	43.2	3.34	4.00	
30	1800	50	4.1	0.90	40	8.77	1.65	0.550	13.0	31.0	43.6	40.1	4.04	3.71	
31	1800	50	4.0	0.90	50	9.14	1.72	0.524	14.1	23.0	51.2	42.5	4.74	3.94	

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปผลการทดสอบและสรุปผลการวิเคราะห์การวัดความดันในกระบอกสูบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1800 rev./min.

	Speed (rev./min.)	% Air flow	Air flow (g/sec.)	Equivalence ratio	Spark timing(°CA btdc	Torque (N.m)	Power (kW)	bsfc. (kg/kW-hr)	P_{max} (bar)	$\theta_{P_{max}}$ °CA atdc	$\Delta\theta_{0-10\%}$ °CA	$\Delta\theta_{10-90\%}$ °CA	$t_{0-10\%}$ msec.	$t_{10-90\%}$ msec.	หมายเหตุ
1	2100	100	9.7	0.90	20	35.37	7.78	0.273	24.7	39.0	26.3	36.1	2.09	2.87	
2	2100	75	7.3	1.10	20	27.51	6.05	0.320	17.7	45.0	29.4	37.7	2.33	2.99	
3	2100	75	7.3	1.10	25	29.02	6.38	0.306	25.1	30.0	29.7	30.1	2.36	2.39	
4	2100	75	7.3	1.10	30	30.07	6.61	0.296	25.6	31.0	33.1	30.1	2.62	2.39	
5	2100	75	7.3	1.10	35	30.71	6.75	0.288	29.4	23.0	34.5	28.5	2.73	2.26	
6	2100	75	7.3	1.00	30	28.06	6.17	0.282	18.5	31.0	34.7	41.8	2.75	3.32	
7	2100	75	7.3	1.00	35	30.25	6.65	0.263	26.4	26.0	37.0	29.9	2.94	2.37	
8	2100	75	7.3	1.00	40	31.03	6.82	0.256	27.3	25.0	40.0	30.4	3.17	2.41	
9	2100	75	7.3	0.90	30	25.82	5.68	0.277	18.3	38.0	36.6	38.5	2.90	3.05	
10	2100	75	7.3	0.90	40	20.15	4.43	0.355	27.9	22.0	38.9	31.0	3.09	2.46	
11	2100	75	7.3	0.90	50	20.25	4.45	0.352	33.1	19.0	45.2	29.0	3.58	2.30	
12	2100	50	5.1	1.10	20	7.63	1.68	0.834	11.1	48.0	30.4	41.0	2.41	3.25	
13	2100	50	5.2	1.10	30	10.10	2.22	0.633	17.3	28.0	34.1	32.1	2.71	2.54	
14	2100	50	5.1	1.10	40	11.65	2.56	0.548	20.2	22.0	40.3	30.5	3.20	2.42	
15	2100	50	5.1	1.10	50	11.52	2.53	0.554	24.6	17.0	45.1	27.5	3.58	2.18	
16	2100	50	5.1	1.00	30	9.37	2.06	0.589	14.8	28.0	32.9	39.0	2.61	3.09	
17	2100	50	5.1	1.00	40	11.24	2.47	0.496	16.9	29.0	41.4	33.3	3.29	2.64	
18	2100	50	5.1	1.00	50	11.38	2.50	0.495	21.4	22.0	47.1	31.2	3.74	2.48	
19	2100	50	5.1	0.90	30	8.45	1.86	0.588	12.5	29.0	34.2	44.3	2.71	3.52	
20	2100	50	5.1	0.90	40	9.83	2.16	0.506	16.3	26.0	41.1	35.9	3.26	2.85	
21	2100	50	5.1	0.90	50	10.74	2.36	0.461	19.0	24.0	48.5	32.3	3.85	2.56	
22	2100	50	5.1	0.80	50	8.91	1.96	0.530	15.6	30.0	51.9	36.8	4.12	2.92	
23	2100	50	5.1	0.80	55	10.69	2.35	0.442	18.1	22.0	54.2	37.0	4.31	2.94	
24	2100	50	5.1	0.80	60	10.51	2.31	0.449	21.2	23.0	55.8	31.8	4.42	2.52	

ตารางที่ 4.4 ตารางสรุปผลการทดสอบและสรุปผลการวิเคราะห์การวัดความดันในกระบอกสูบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2100 rev./min.

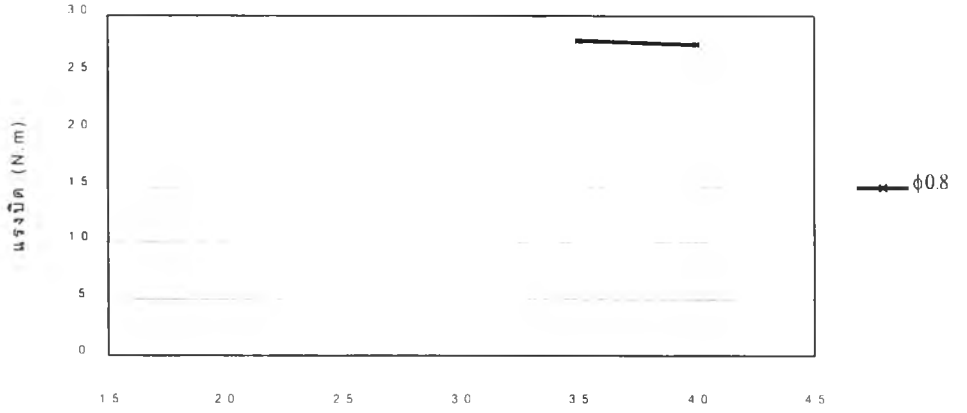
4.2 การวิเคราะห์ผลขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าและ equivalence ratio

ในการวิเคราะห์ผลขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าและ equivalence ratio จะวิเคราะห์โดยมีลำดับการนำเสนอดังต่อไปนี้ ทีละความเร็วรอบและอัตราการไหลอากาศจนครบทุกความเร็วรอบและอัตราการไหลอากาศ

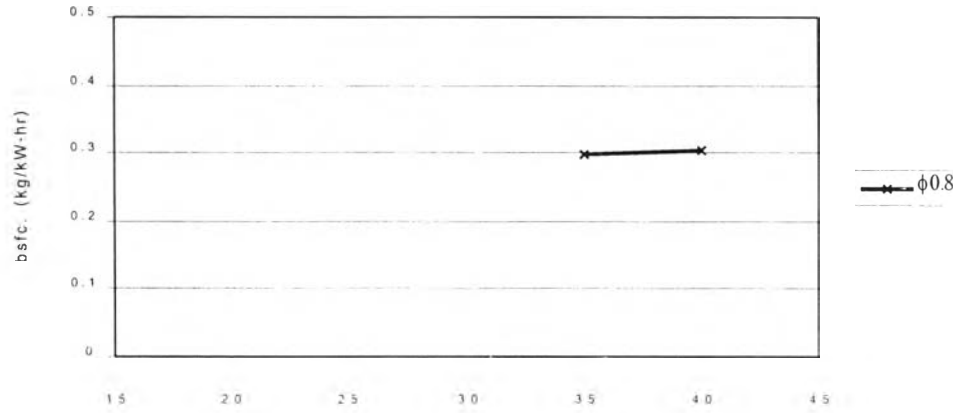
- แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ
- แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ
- แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ คู่กับกราฟผลการวิเคราะห์ Relative MFB* กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ที่ equivalence ratio ค่าเดียวกัน
- แสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle : $\Delta\theta_a$) และ ช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10% ถึง 90% (rapid burned angle : $\Delta\theta_b$) ของส่วนผสมที่เกิดการสันดาป
- อภิปรายผลการทดสอบจากกราฟที่แสดงไว้ข้างต้นทั้งหมด
- แสดงผลการทดสอบในรูปของ P-V diagram และอภิปรายผล

* Relative MFB หาได้จากการ normalised MFB ที่มีความเร็วรอบ อัตราการไหลอากาศ และ equivalence ratio เดียวกัน ด้วย MFB ของวัฏจักรที่มีงานสูงสุด ซึ่งกราฟที่ได้จะแสดงให้เห็นถึง availability โดยเปรียบเทียบกันของแต่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่มีความเร็วรอบ อัตราการไหลอากาศ และ equivalence ratio เดียวกัน

4.2.1 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราไหลอากาศ 100 % (WOT)

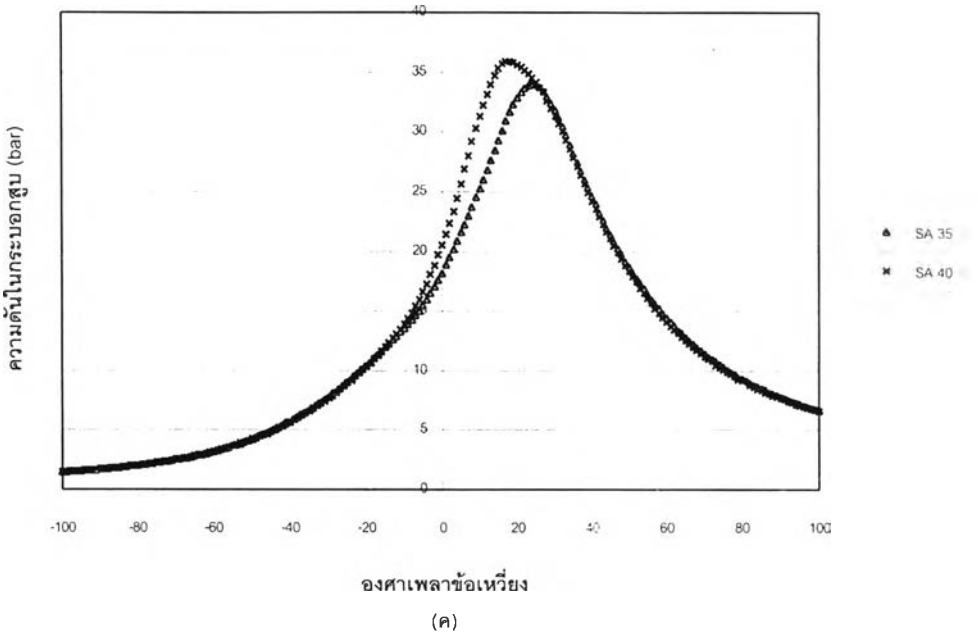


(ก)

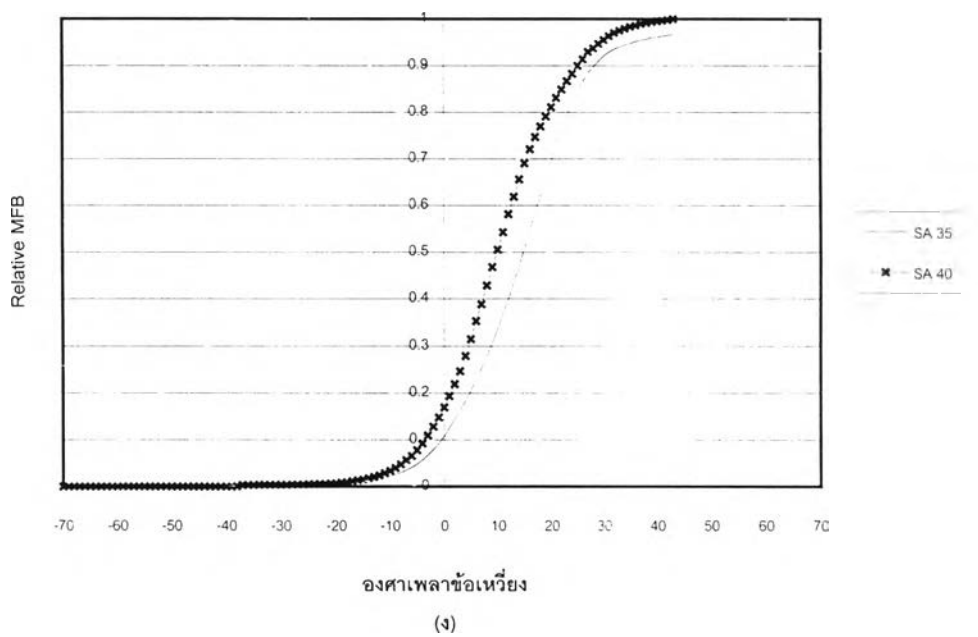


(ข)

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio เป็น 0.8



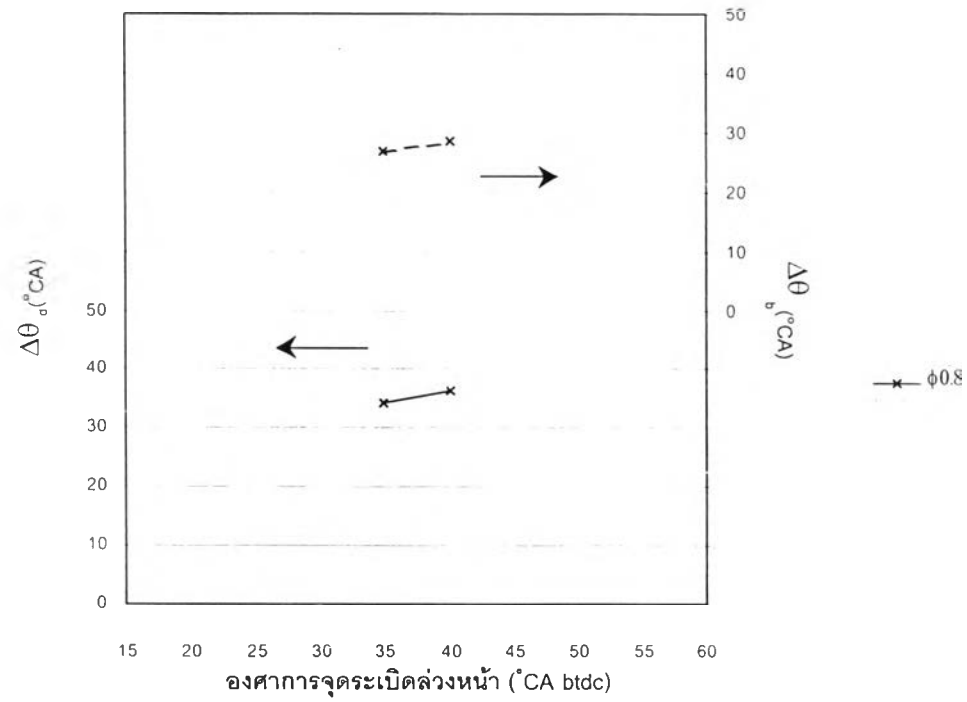
(ค)



(ง)

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio (ϕ)เป็น 0.8

หมายเหตุ : SA = Spark advance $^{\circ}$CA btdc



(จ)

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) (จ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่เมื่อ equivalence ratio (ϕ)เป็น 0.8

จากรูป 4.1 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio 0.8 โดยที่จุดนี้สามารถเพิ่มองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า ได้เพียง 40 °CA btdc เท่านั้น หากเพิ่มองศาการจุดกระเบิดล่วงหน้าขึ้นอีกจะทำให้เครื่องยนต์ knock จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่ม เครื่องยนต์จะให้แรงบิดมากขึ้น

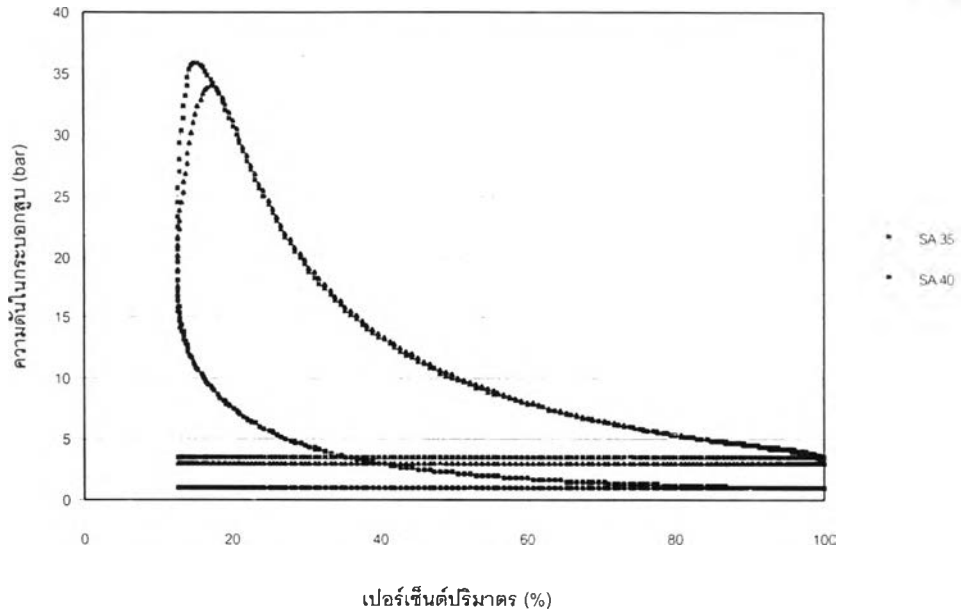
จากรูป 4.1 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง bsfc. กับองศาจุดระเบิดล่วง จะเห็นว่าเมื่อองศาระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น bsfc. จะลดลงเนื่องจากเครื่องยนต์มีแรงบิดเพิ่มขึ้นโดยจ่ายเชื้อเพลิงเท่าเดิม

จากรูป 4.1 (ค) และ (ง) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดต่างๆ คู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง Relative MFB (mass fraction burned) กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow จะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจะมีผลให้ความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้น และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดเข้าใกล้จุดศูนย์ตาย

บนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทำให้ช่วงที่เกิดการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เกิดขึ้นใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบสูง การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ทำให้ความดันสูงสุดมีค่ามาก

จากรูป 4.1 (จ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle: $\Delta\theta_d$) และ ช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10% ถึง 90% (rapid burned angle: $\Delta\theta_b$) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio เป็น 0.8 พบว่า เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_d$ กว้างขึ้น เนื่องจากองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มากหมายถึงเกิดการจุดระเบิดในช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้า เป็นผลให้อัตราการสันดาปในช่วงแรกเกิดขึ้นช้า เมื่อพิจารณาอัตราการสันดาปในช่วง rapid burned จะพบว่าเมื่อเพิ่มองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจาก 35 เป็น 40 °CA btdc มีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามผลจากการเริ่มการจุดระเบิดล่วงหน้า ในตำแหน่งที่เหมาะสม ทำให้ช่วงที่เกิด rapid burned นี้ตกอยู่ในช่วงใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันและความหนาแน่นของส่วนผสมสูง อัตราการสันดาปแม้จะเกิดไม่เร็วนักก็ให้ค่า Peak Pressure ที่สูงกว่าได้

I19937921

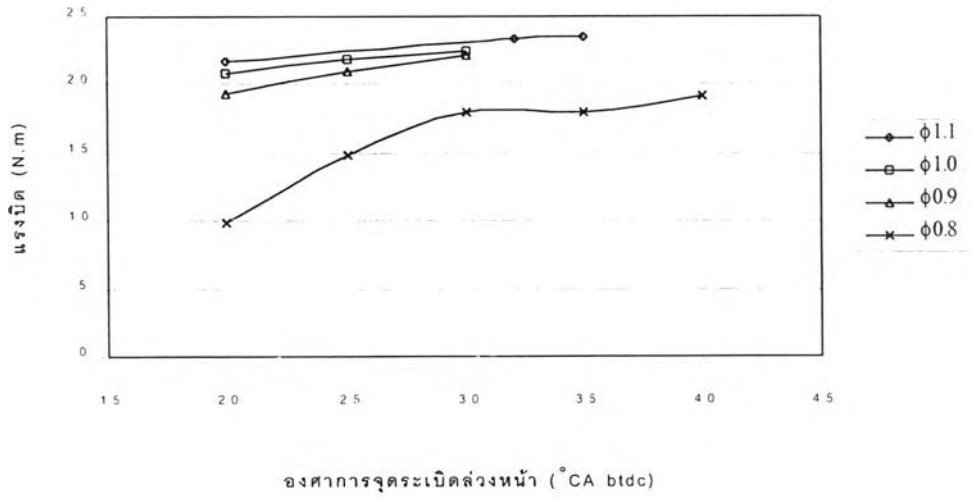


รูปที่ 4.1 (ฉ) แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) แสดง P-V Diagram ที่ equivalence ratio เป็น 0.8

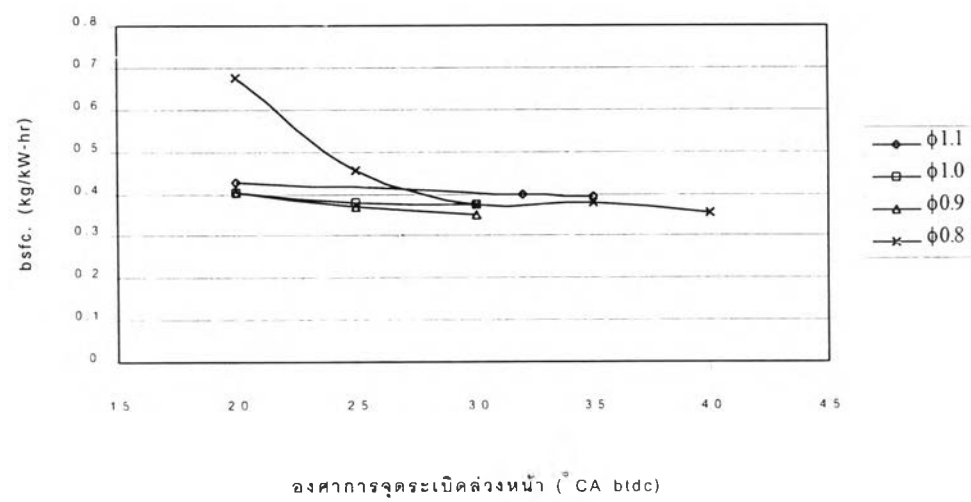
จากรูป 4.1 (ฉ) แสดง P-V Diagram ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8 จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ความดันสูงสุดจะมากขึ้น เป็นผลให้งานที่ได้รับมากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของ P-V Diagram แสดงถึงงานที่ได้รับ แม้ว่าการที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มากขึ้นจะทำให้การสูญเสียในช่วงจังหวะอัดสูงขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะตามรูป 4.1 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า คือ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้สูงขึ้นจนถึง MBT

อนึ่ง จะเห็นว่าในรูป P-V diagram ในจังหวะดูดและคายค่าความดันมีค่าเดียวตลอดช่วง เนื่องจากทำการทดสอบในคราวแรก ไม่ได้ทำการปรับพิสัยของ autoscan ให้ครอบคลุมถึงความดันในช่วงดังกล่าว อย่างไรก็ตามยังคงสามารถนำข้อมูลความดันในกระบอกสูบมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากในการวิเคราะห์ผลมิได้นำข้อมูลในช่วงดังกล่าวมาใช้ด้วย

4.2.2 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราไหลอากาศ 75 % ของ WOT

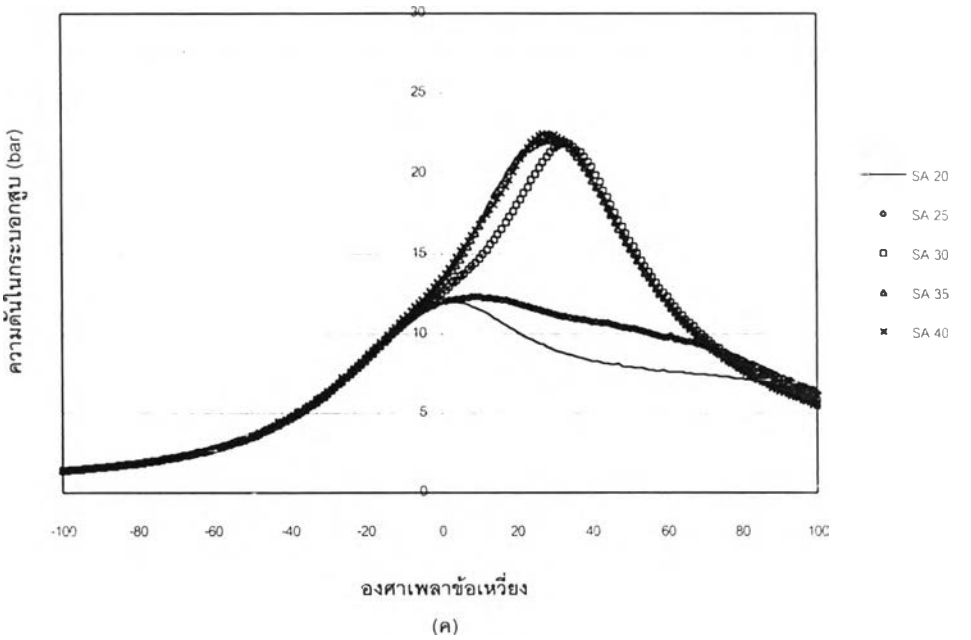


(ก)

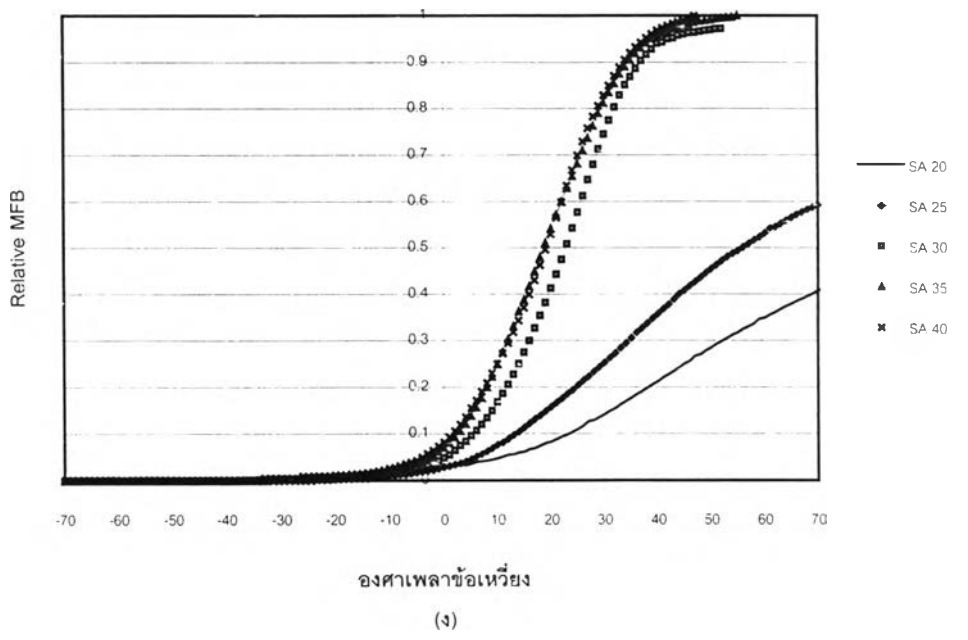


(ข)

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio เป็น1.1 , 1.0 , 0.9 และ 0.8

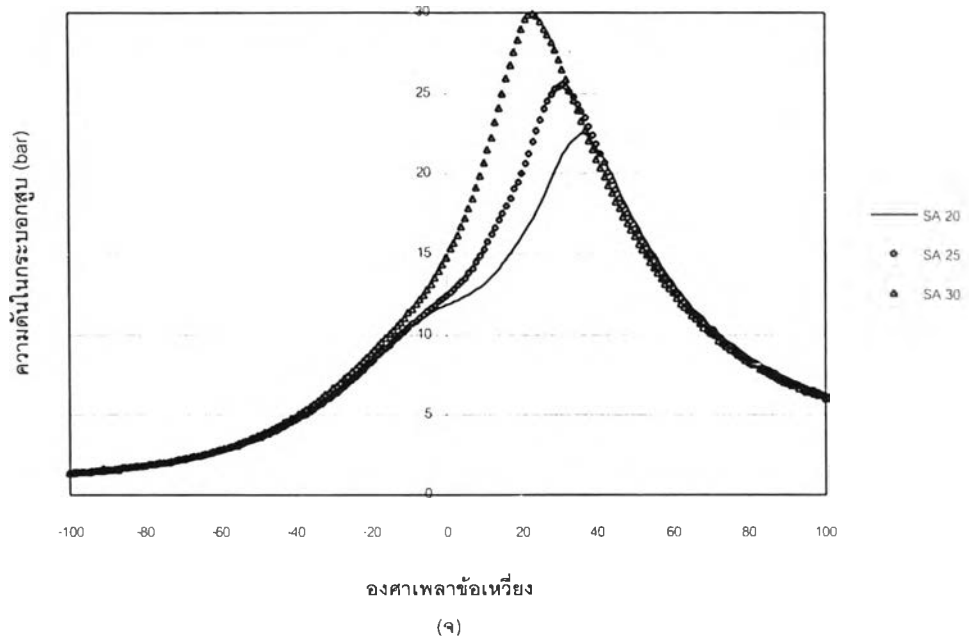


(ค)

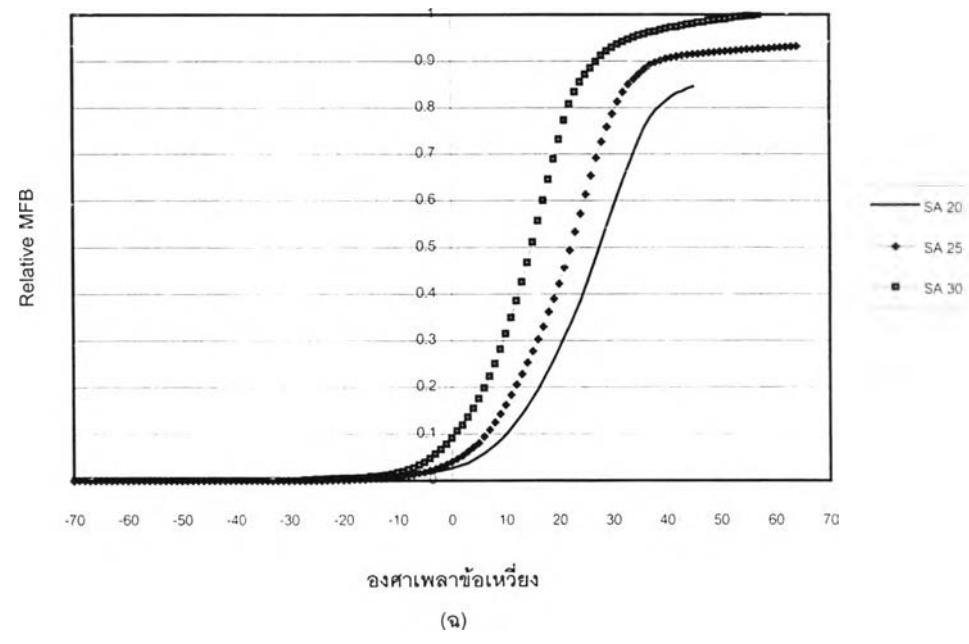


(ง)

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 %ของ WOT **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8

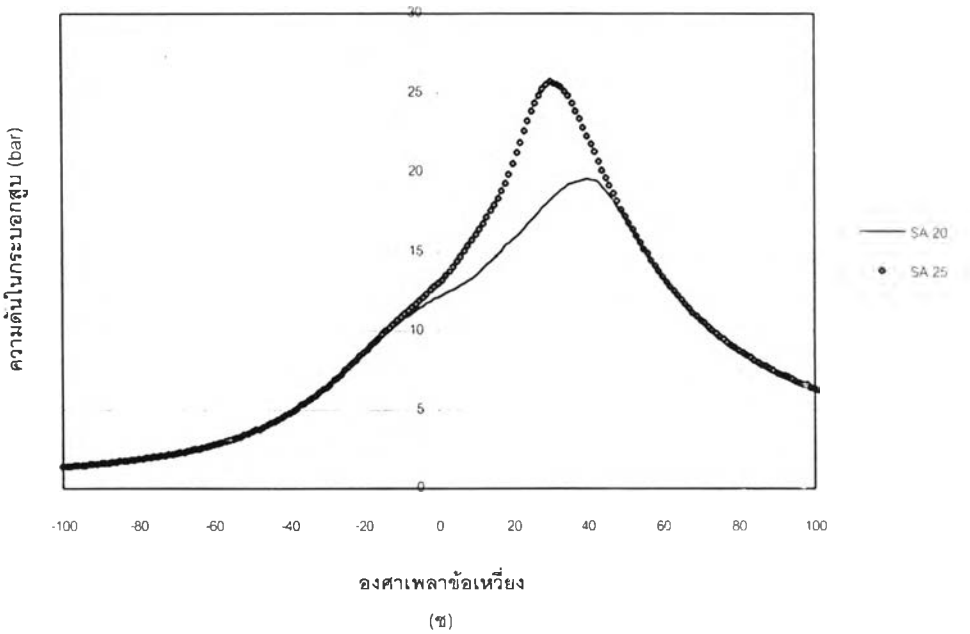


(จ)

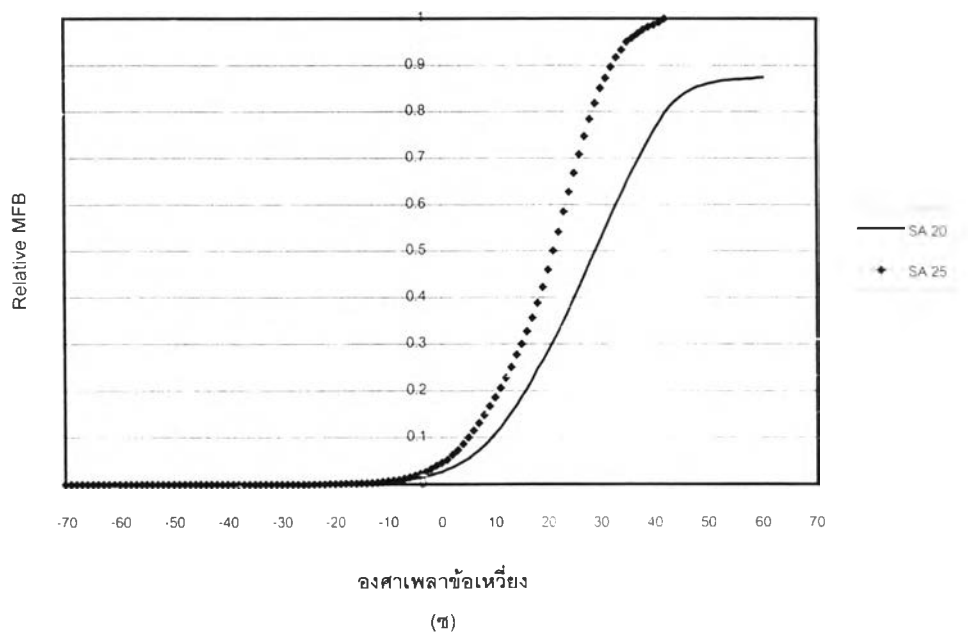


(ฉ)

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(จ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ฉ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9

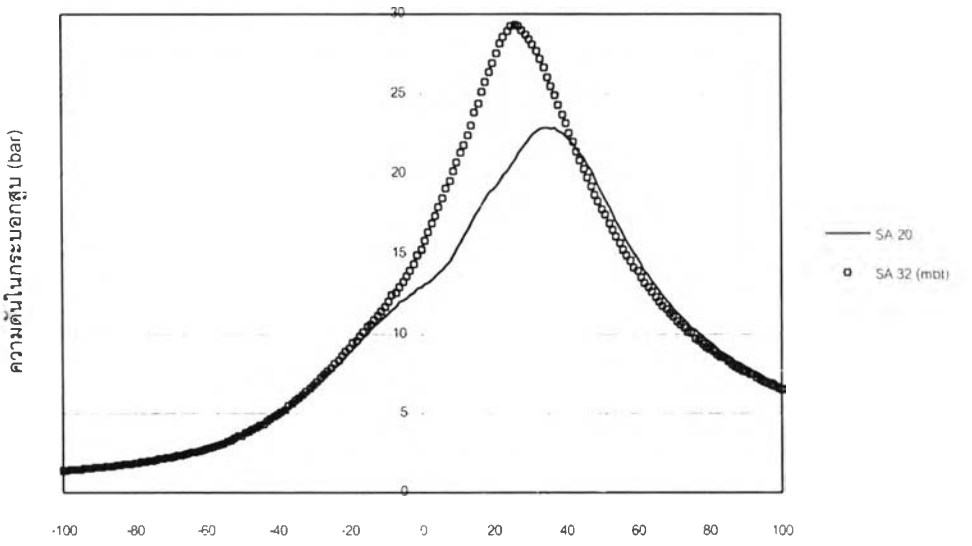


(ช)

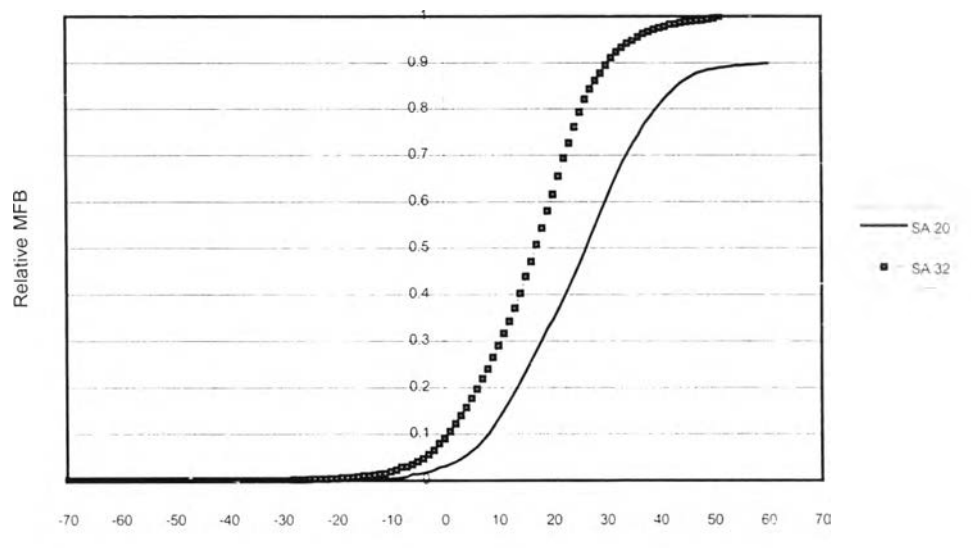


(ช)

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 %ของ WOT **(ช)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ช)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0

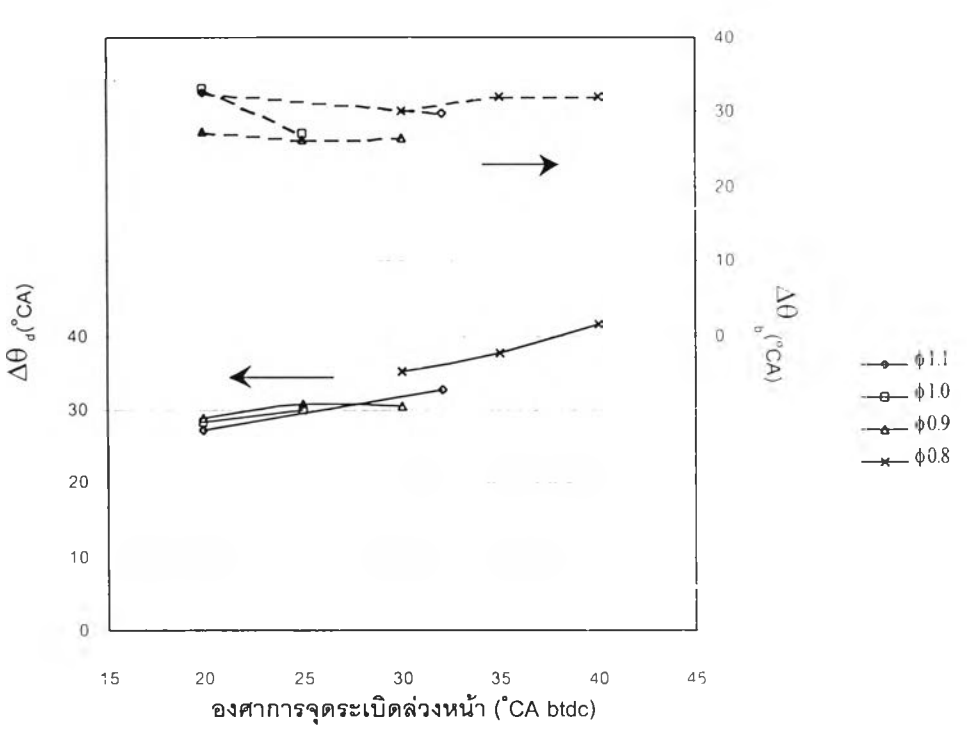


(ฌ)



(ญ)

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 %ของ WOT **(ฌ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ญ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



(ฎ)

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT (ฎ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่ equivalence ratio 1.1, 1.0, 0.9 และ 0.8

จากรูป 4.2 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้นจนถึง MBT ซึ่งเป็นจุดที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดโดยไม่ knock และเมื่อเพิ่มค่า equivalence ratio จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเพิ่ม equivalence ratio จาก 0.8 เป็น 0.9 และได้แรงบิดสูงสุดเมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1 นอกจากนั้นจะสังเกตได้ว่าที่อัตราส่วนผสมบาง คือ equivalence ratio 0.8 ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่ำ ได้แก่ 20 และ 25 °CA btdc แรงบิดมีค่าต่ำลงอย่างมาก สอดคล้องกับผลการวัดความดันในกระบอกสูบ เมื่อพิจารณาจากกราฟความดันกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงรูปที่ 4.2 (ค) จะเห็นว่ากราฟความดันที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 20 และ 25 °CA btdc ต่ำกว่าค่าอื่นๆอย่างมาก ซึ่งหากพิจารณาจากกราฟองศาที่เกิดการสันดาป รูปที่ 4.2 (ฎ) จะเห็นว่าการสันดาปช่วงเริ่มต้น 10% แรกของทั้งสองจุดดังกล่าว เกิดหลังจุดศูนย์ตายบนค่อนข้างมาก กล่าว

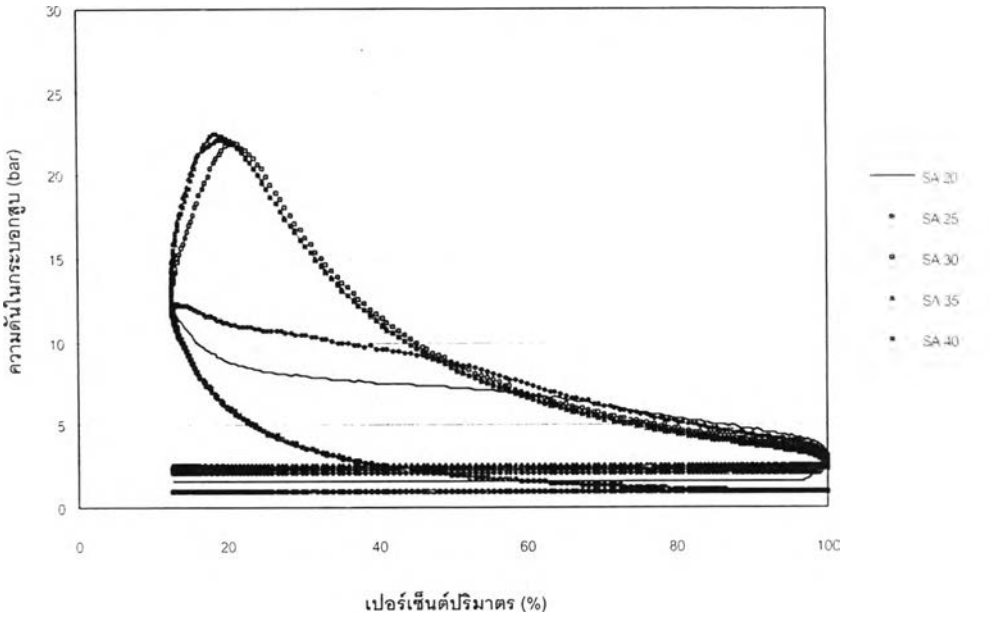
คือ การสันดาปส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลง ความดันและความหนาแน่นลดลง ทำให้การสันดาปในช่วง 10 ถึง 90 % ที่เหลือ ค่อนข้างช้า

จากรูป 4.2 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น bsfc. จะลดลงจนถึง MBT นอกจากนั้นจะเห็นว่าการลดเชื้อเพลิงซึ่งทำให้ส่วนผสมบางลง จะทำให้ bsfc. ต่ำลง จนเมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9 bsfc. มีค่าต่ำสุด เมื่อลดเชื้อเพลิงจน equivalence ratio เป็น 0.8 bsfc. กลับสูงขึ้นอีก ทั้งนี้เนื่องมาจาก ส่วนผสมบางจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่า แต่เมื่อส่วนผสมบางมากกว่า equivalence ratio 0.9 จะทำให้อัตราการสันดาปช้าและแรงบิดที่ได้ต่ำลงมาก bsfc. จึงมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะจะเห็นได้ชัดที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น 20 และ 25°CA btdc

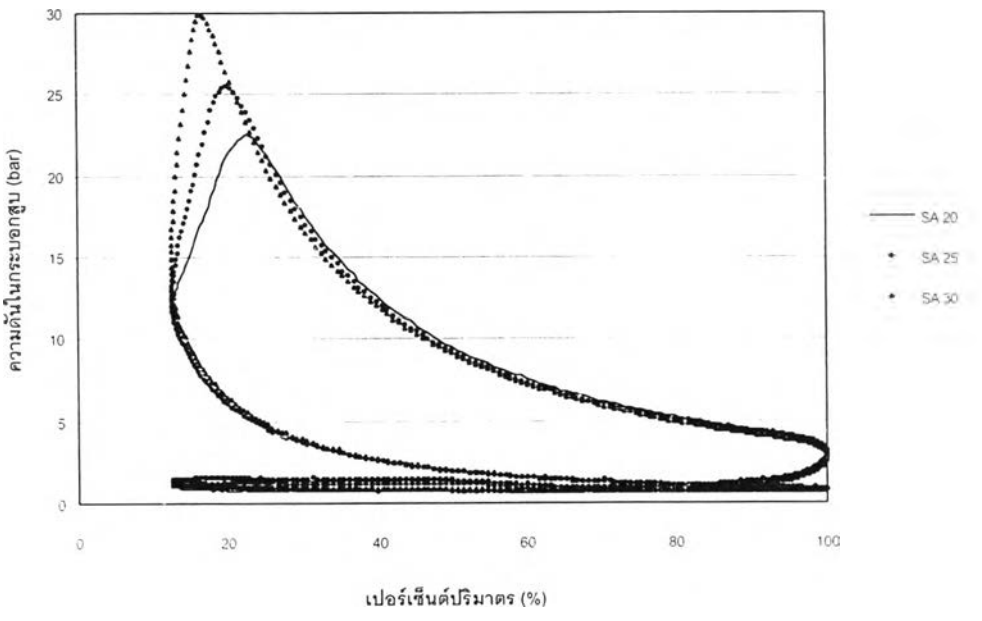
จากรูป 4.2 (ค) ถึง (ญ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดต่างๆ คู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง Relative MFB (mass fraction burned) กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8 , 0.9 ,1.0 และ 1.1 จากแนวโน้มของกราฟทั้งหมดจะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจะเป็นผลให้ความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้น และความดันสูงสุดเกิดขึ้นที่องศาเพลาข้อเหวี่ยงเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทำให้ช่วงที่เกิดการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เกิดขึ้นใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบสูง การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ทำให้ความดันสูงสุดมีค่ามาก

เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบระหว่างกราฟ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9,1.0 และ 1.1 จะเห็นว่าที่ equivalence ratio เป็น 1.0 จะสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้เพียง 25 °CA btdc ในขณะที่ equivalence ratio เป็น 0.9 และ 1.1 สามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่า และเพิ่มการจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากขึ้นอีกเมื่อส่วนผสมบางลงเป็น equivalence ratio เท่ากับ 0.8 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ equivalence ratio เป็น 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่าที่ equivalence ratio เท่ากับ 1.1 มีความดันสูงสุดมากกว่าที่ค่าอื่นๆ เนื่องมาจากมีเชื้อเพลิงมากกว่าและองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากกว่า และเมื่อลดเชื้อเพลิงให้ equivalence ratio เป็น 0.9 จะเห็นว่า ความดันสูงสุดมากกว่าที่ equivalence ratio เท่ากับ 1.0 เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่า แต่เมื่อลดเชื้อเพลิงจน equivalence ratio เป็น 0.8 พบว่าความดันสูงต่ำกว่าที่ equivalence ratio เท่ากับ 0.9 อันเนื่องมากจากมีเชื้อเพลิงน้อยและ equivalence ratio ที่ต่ำกว่า ทำให้อัตราการสันดาปช้า ความดันสูงสุดจึงมีค่าต่ำ แม้องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจะมีค่ามากกว่า

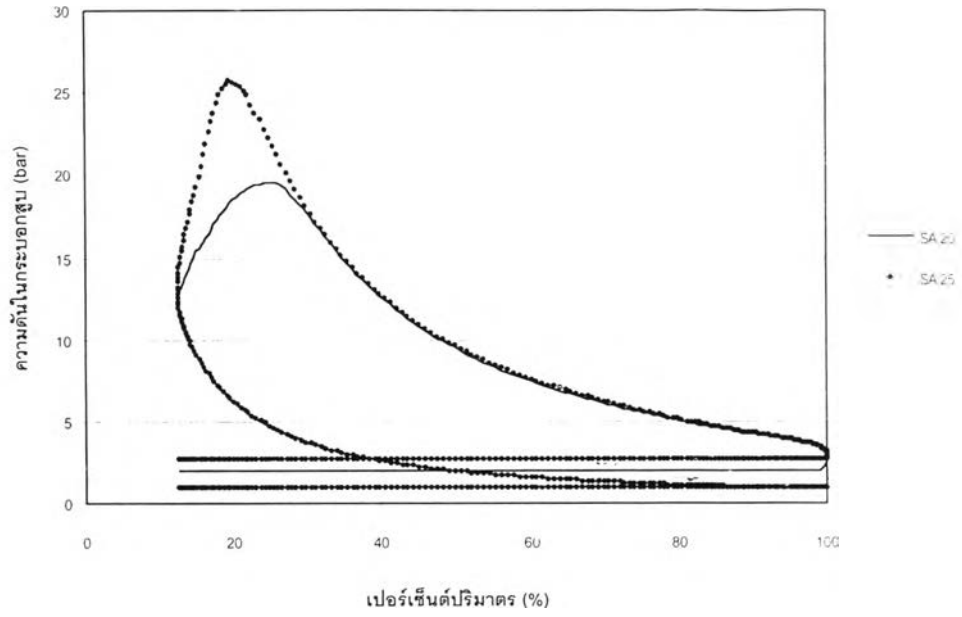
จากรูป 4.2 (ฎ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle: $\Delta\theta_d$) และ ช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10 % ถึง 90% (rapid burned angle: $\Delta\theta_b$) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ พบว่า เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_d$ มีแนวโน้มกว้างขึ้น เนื่องจากองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มาก หมายถึงเกิดการจุดระเบิดในช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบมีค่าต่ำ อัตราการเกิดปติกริยาเกิดขึ้นช้า เป็นผลให้อัตราการสันดาปในช่วงแรกเกิดขึ้นช้า นอกจากนั้นจากกราฟจะเห็นว่า equivalence ratio มีผลต่อ $\Delta\theta_d$ คือ เมื่อ equivalence ratio มากทำให้ $\Delta\theta_d$ ลดลง เนื่องจากส่วนผสมที่หนาขึ้นจะมี flame speed สูงขึ้น เมื่อพิจารณาอัตราการสันดาปในช่วง rapid burned จะพบว่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้วลดลงเนื่องจากการเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าทำให้ช่วงที่เกิด rapid burned นี้ตกอยู่ในช่วงใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันและความหนาแน่นของส่วนผสมสูง อัตราการสันดาปจะเกิดขึ้นรวดเร็ว ทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ส่วนผลของ equivalence ratio ที่มีต่อ $\Delta\theta_b$ จะเห็นว่าเมื่อ equivalence ratio เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศที่หนากว่าจะมี flame speed สูง การเพิ่ม equivalence ratio จึงมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ สั้นลงเช่นเดียวกันกับ $\Delta\theta_d$



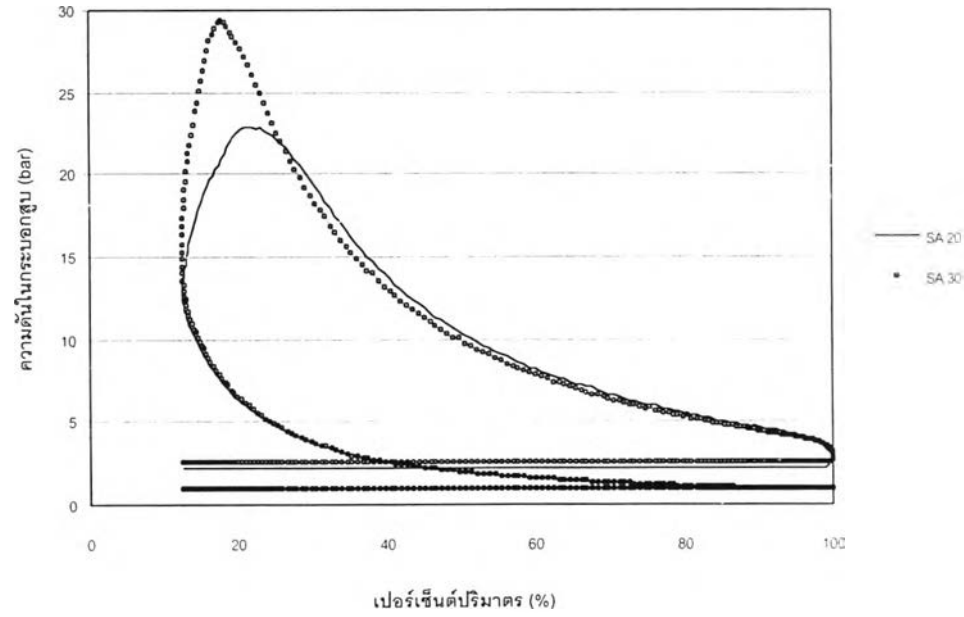
รูปที่ 4.2 (ฐ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8



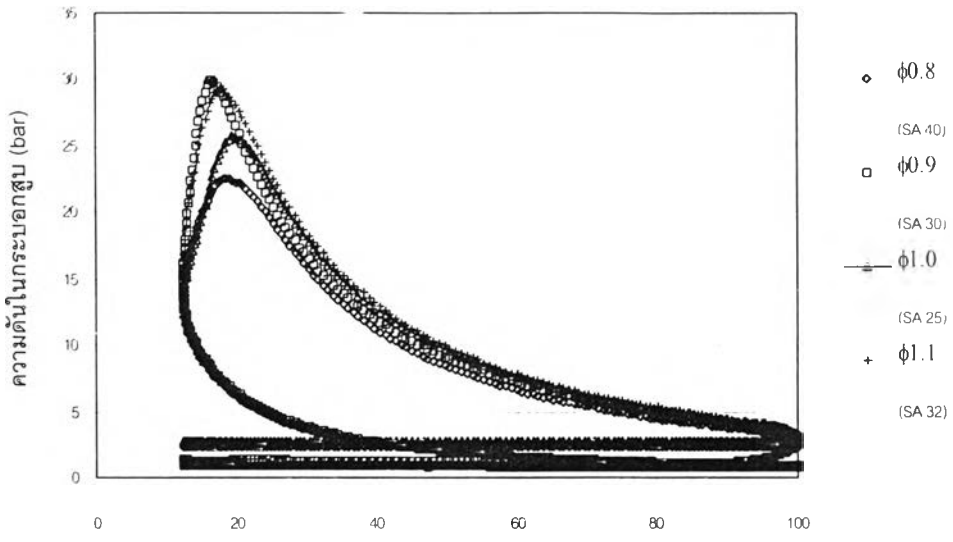
รูปที่ 4.2 (ฑ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9



รูปที่ 4.2 **(ฌ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0



รูปที่ 4.2 **(ญ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



รูปที่ 4.2 **(ด)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9, 1.0 และ 1.1 โดยมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT

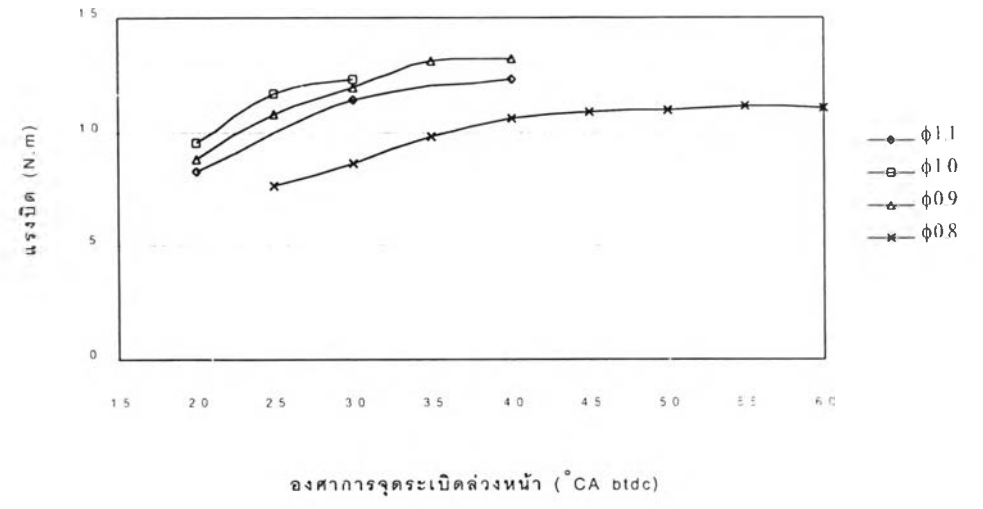
จากรูป 4.2 (ฐ) ถึง (ณ) แสดง P-V Diagram ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ความดันสูงสุดจะมากขึ้น ทำให้งานที่ได้มากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของ P-V Diagram แสดงถึงงาน แต่จากรูป 4.2 (ฐ) ในช่วงองศาจุดระเบิดล่วงหน้า 30 , 35 และ 40 มี P-V Diagram ที่ไม่ต่างกันเท่าไรนัก ดังนั้นงานที่ได้ควรจะใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับรูป 4.2 (ก) ที่แสดงกราฟแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า จะเห็นว่าในช่วงองศาจุดระเบิดล่วงหน้า 30 , 35 และ 40 ที่ equivalence ratio เป็น 0.8 มีค่าแรงบิดใกล้เคียงกัน

อนึ่ง จะเห็นว่าสำหรับบางรูป ในจังหวะดูดและคายค่าความดันมีค่าเดียวตลอดช่วง เนื่องจากทำการทดสอบในคราวแรก ไม่ได้ทำการปรับพิสัยของ autoscan ให้ครอบคลุมถึงความดันในช่วงดังกล่าว อย่างไรก็ตามยังคงสามารถนำข้อมูลความดันในกระบอกสูบมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากในการวิเคราะห์ผลมิได้นำข้อมูลในช่วงดังกล่าวมาใช้ด้วย

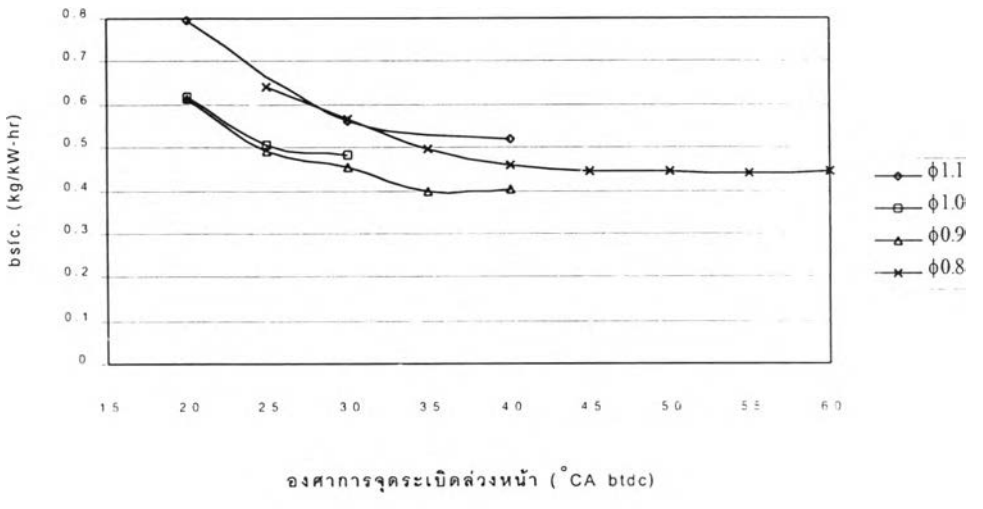
จากกราฟ 4.2 (ด) ซึ่งแสดง P-V diagram ที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT จะเห็นได้ว่าที่ equivalence ratio 0.9 และ 1.1 ซึ่งองศาจุดระเบิดล่วงหน้าใกล้เคียงกัน มีความดันสูงสุดใกล้เคียงกัน แต่ที่ equivalence ratio 1.1 มีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าทำให้มีงานมากกว่า เนื่องจากมีมวลเชื้อเพลิงมากกว่า สอดคล้องกับผลการทดสอบทางสมรรถนะ ซึ่งแรงบิดที่ MBT

เมื่อ equivalence ratio 1.1 มีค่าสูงกว่าที่ equivalence ratio 0.9 สำหรับที่ equivalence ratio เท่ากับ 1.0 จะเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้น้อยกว่าที่ equivalence ratio 0.9 และ 1.1 ทำให้ความดันสูงสุดน้อย แต่เมื่อเทียบพื้นที่ใต้กราฟกับ equivalence ratio 0.9 แล้ว งานที่ได้ไม่แตกต่างกัน ส่วน equivalence ratio 0.8 ถึงแม้จะมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามาก แต่มวลเชื้อเพลิงน้อย ทำให้มีความดันสูงสุดและงานน้อยกว่าที่ equivalence ratio อื่นๆ

4.2.3 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราไหลอากาศ 50 % ของ WOT

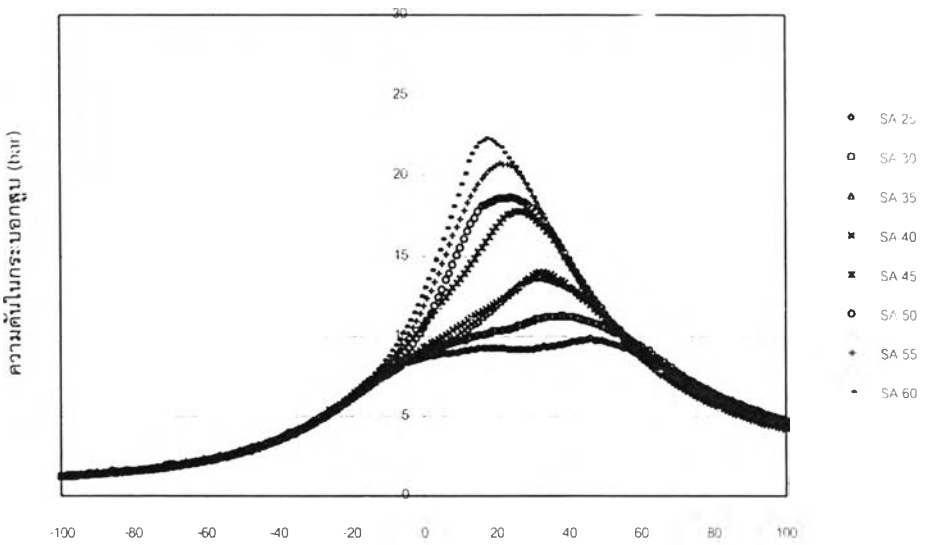


(ก)

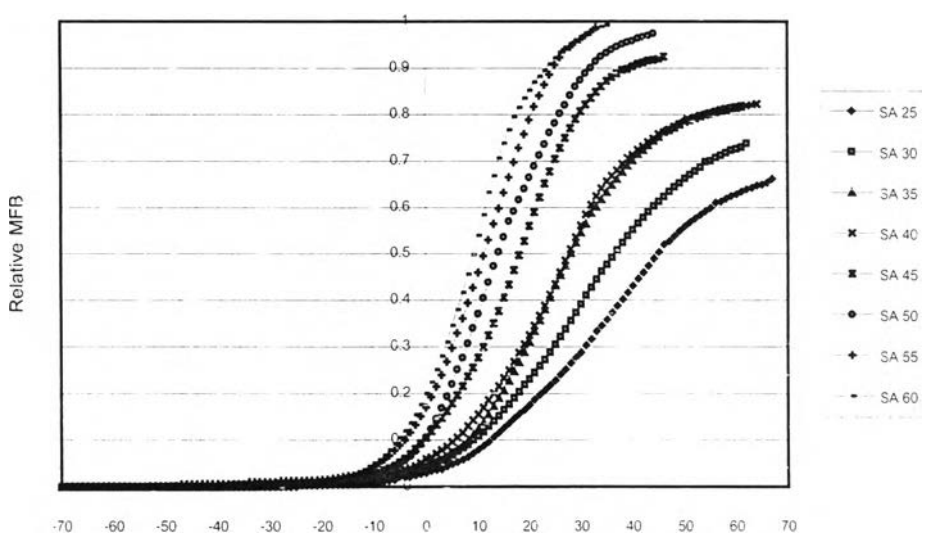


(ข)

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio 1.1 , 1.0 , 0.9 และ 0.8

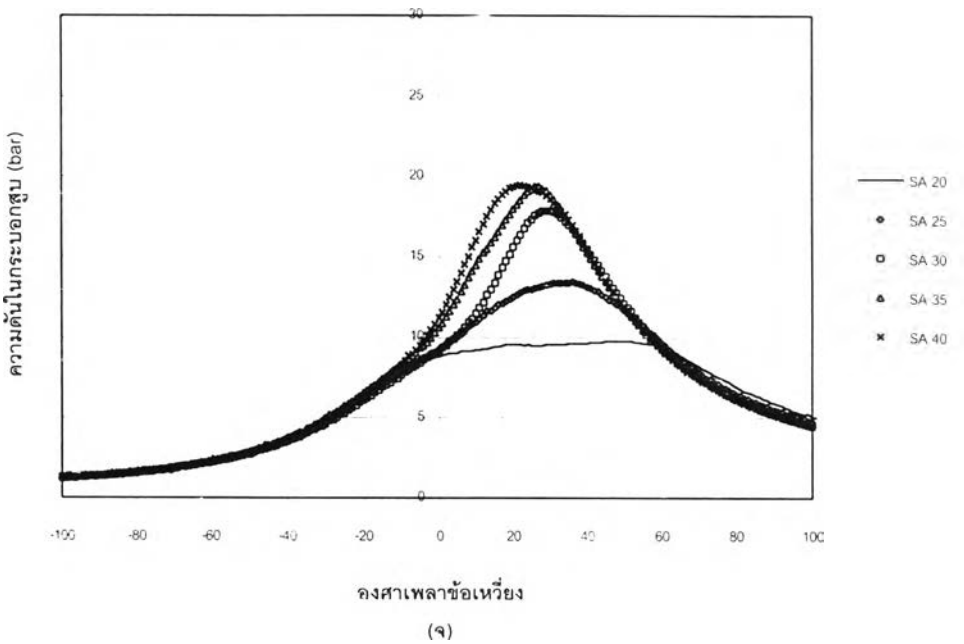


(ค)

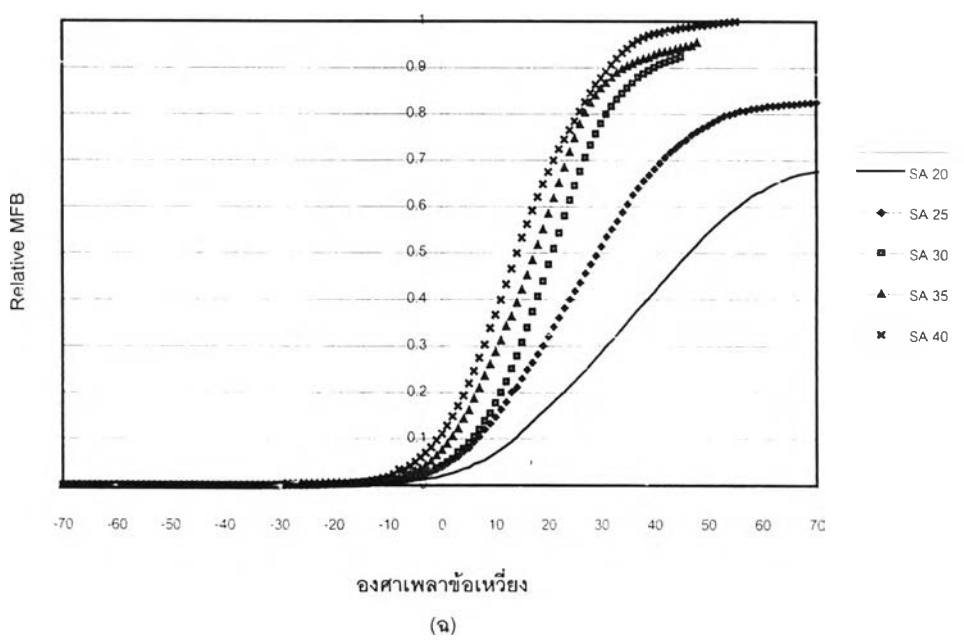


(ง)

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8

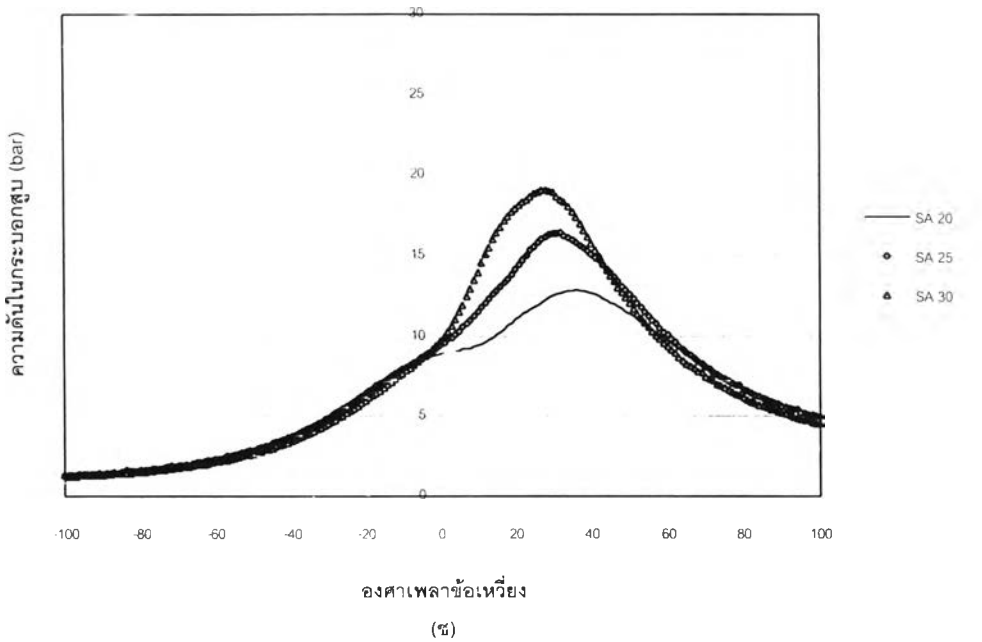


(จ)

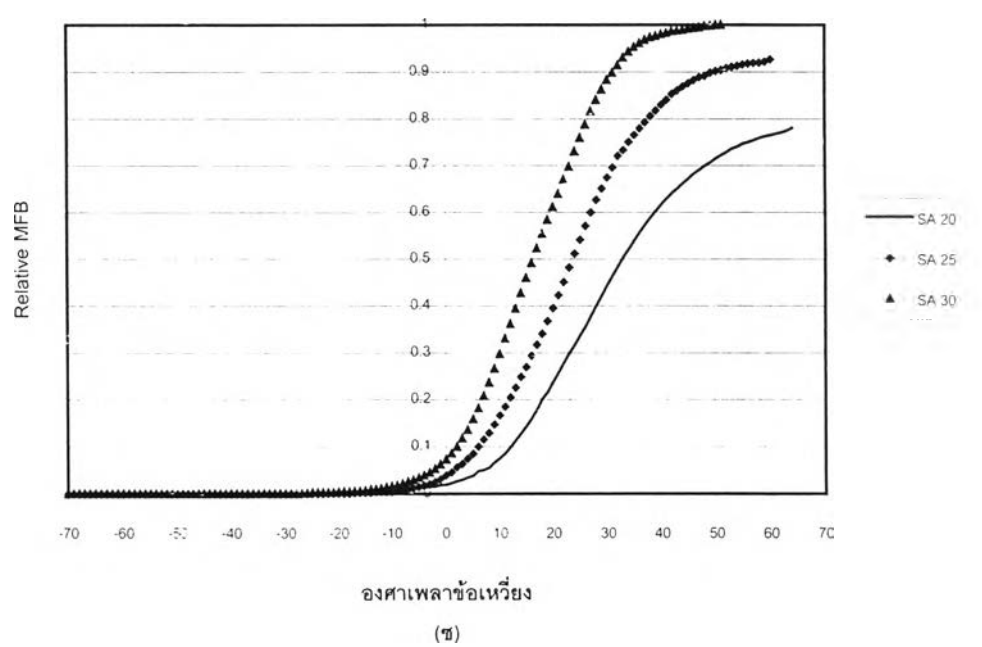


(ฉ)

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(จ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ฉ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9

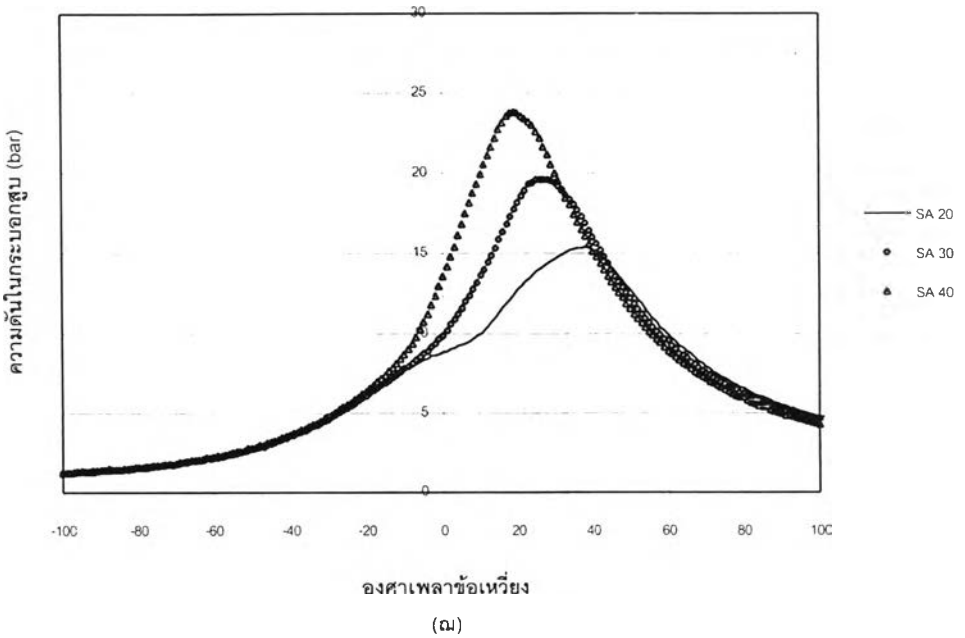


(ซ)

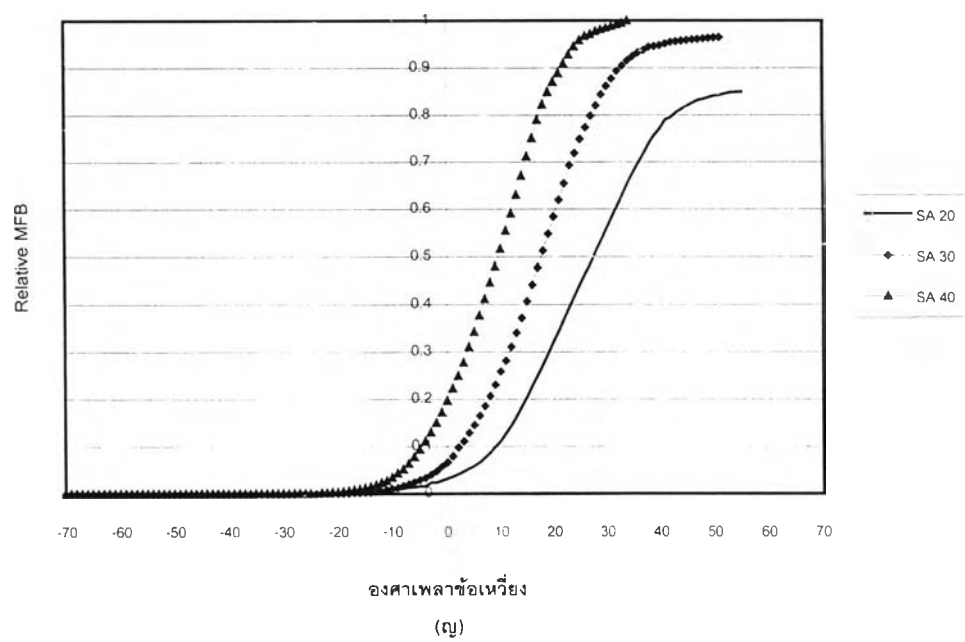


(ซ)

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0

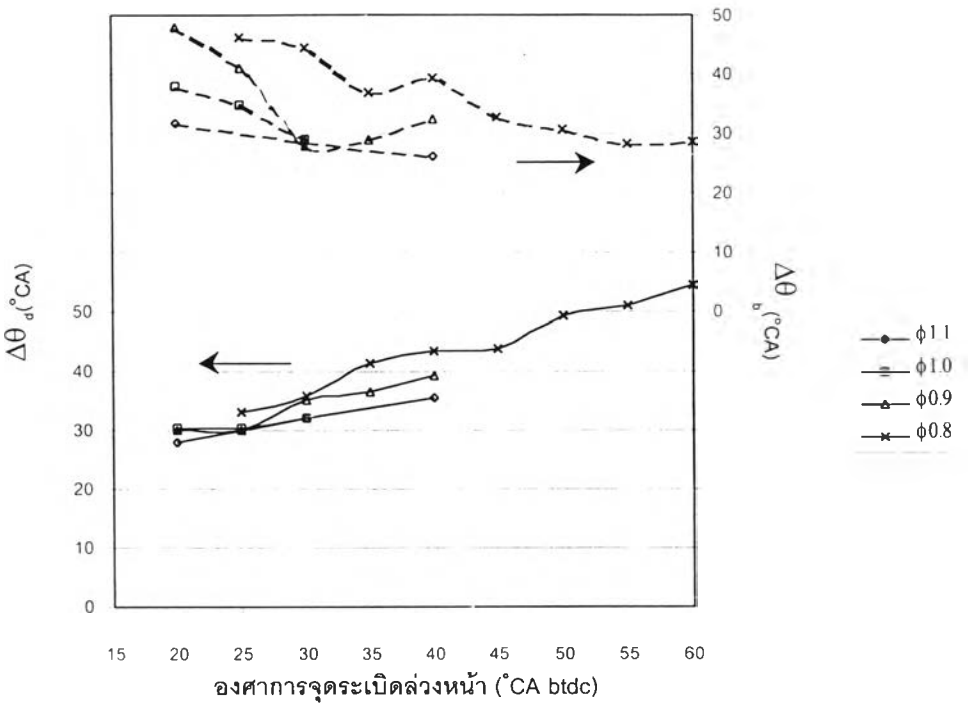


(ฌ)



(ญ)

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT (ฌ) กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ (ญ) กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



(ฎ)

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT (ฎ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่ equivalence ratio 1.1, 1.0, 0.9 และ 0.8

จากรูป 4.3 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้นจนถึง MBT ซึ่งเป็นจุดที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดโดยไม่ knock และเมื่อเพิ่ม equivalence ratio จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเพิ่ม equivalence ratio จาก 0.8 เป็น 0.9

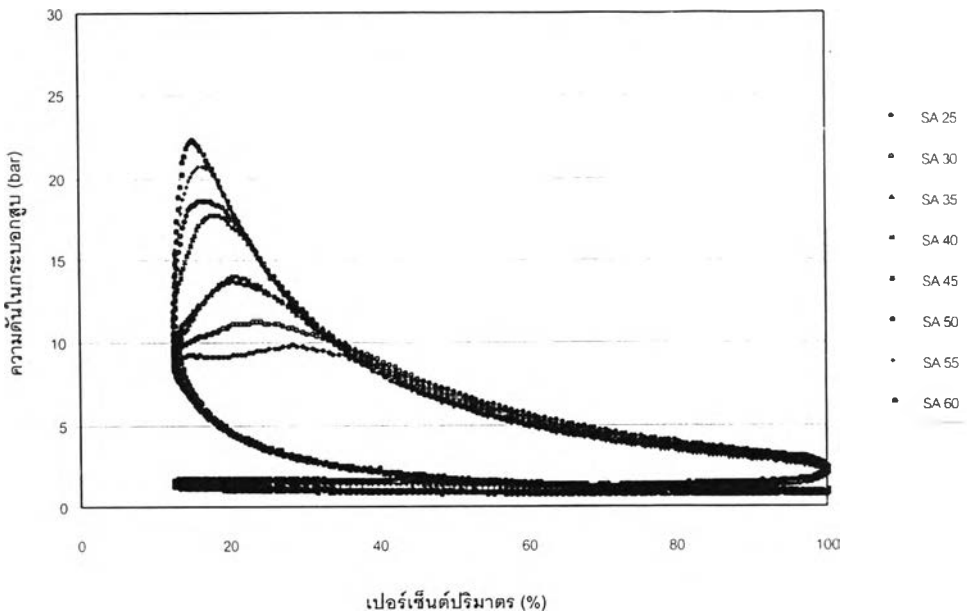
จากรูป 4.3 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น bsfc. จะลดลงจนถึง MBT นอกจากนั้นจะเห็นว่าการลดเชื้อเพลิงซึ่งทำให้ส่วนผสมบางลง จะทำให้ bsfc. ต่ำลง จนเมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9 bsfc. มีค่าต่ำสุด เมื่อลดเชื้อเพลิงจน equivalence ratio เป็น 0.8 bsfc. กลับสูงขึ้นอีก ทั้งนี้เนื่องมาจากส่วนผสมบางจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่า แต่เมื่อส่วนผสมบางมากถึง equivalence ratio 0.8 จะทำให้อัตราการสันดาปช้าและแรงบิดที่ได้ต่ำลงมาก bsfc. จึงมีค่าสูงขึ้น

จากรูป 4.3 (ค) ถึง (ญ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดต่างๆ คู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง Relative MFB (mass fraction burned) กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8 , 0.9 ,1.0 และ 1.1 จากแนวโน้มของกราฟทั้งหมดจะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจะเป็นผลให้ความดันสูงมีค่าสูงขึ้น และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทำให้ช่วงที่เกิดการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เกิดขึ้นใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบสูง การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ทำให้ความดันสูงสุดมีค่ามาก

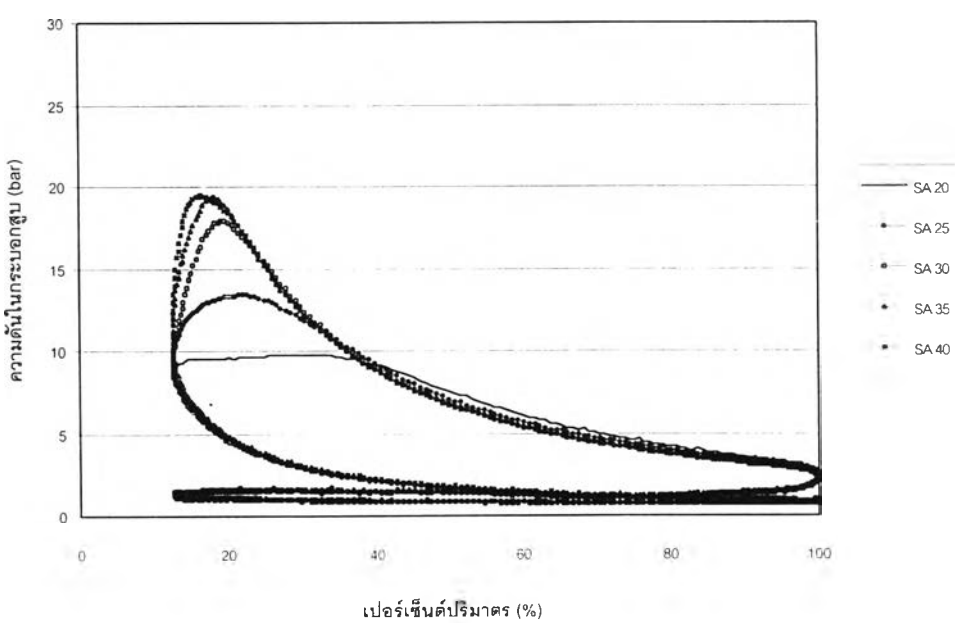
เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9,1.0 และ 1.1 จะเห็นว่าที่ equivalence ratio เป็น 1.0 จะสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้จนถึง 30 °CA btdc ในขณะที่ equivalence ratio เป็น 0.9 และ 1.1 สามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่า คือ 40 °CA btdc และเพิ่มการจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากขึ้นถึง 60 °CA btdc เมื่ออัตราส่วนผสมบางลงเป็น 0.8 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ equivalence ratio เป็น 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่าที่ 1.1 มีความดันสูงสุดมากกว่าอันเนื่องมาจากมีเชื้อเพลิงมากกว่าและองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากกว่า และเมื่อลดเชื้อเพลิงให้ equivalence ratio เป็น 0.9 จะเห็นว่า ความดันสูงสุดไม่ต่างจากความดันสูงสุดเมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0 แม้ว่าจะมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากกว่า ซึ่งเป็นแนวโน้มที่ต่างไปจากจุดที่ความเร็วรอบ และอัตราการไหลอื่นๆ ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลจากความแปรปรวนของวัฏจักร (cycle by cycle variation) ซึ่งหากพิจารณาแนวโน้มของกราฟรูปที่ 4.3 (จ) ซึ่งอัตราส่วนเชื้อเพลิงเป็น 0.9 จะเห็นว่าที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 40°CA btdc น่าที่จะมีความดันสูงสุดมากความดันสูงสุดที่ 30°CA btdc แต่จากกราฟจะเห็นว่าไม่ต่างกันเท่าใดนัก ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้เนื่องจากทดสอบที่อัตราการไหลอากาศต่ำซึ่งมีความแปรปรวนสูง และเมื่อพิจารณาที่ equivalence ratio เป็น0.8 จะเห็นว่าความดันสูงสุดที่ได้มีค่าสูงกว่าที่ equivalence ratio 1.1 เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่ามาก

จากรูป 4.3 (ฎ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle: $\Delta\theta_d$) และ ช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10% ถึง 90% (rapid burned angle: $\Delta\theta_b$) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ พบว่าเมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_d$ มีแนวโน้มกว้างขึ้น เนื่องจากองศาจุดระเบิด

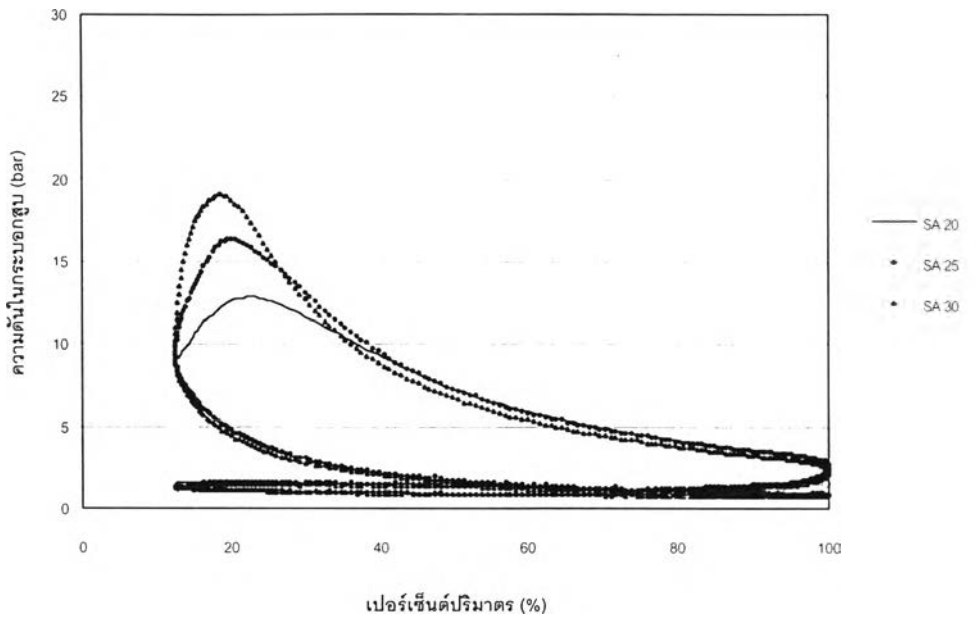
ล่วงหน้าที่มาก หมายถึงเกิดการจุดระเบิดในช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้า เป็นผลให้อัตราการสันดาปในช่วงแรกเกิดขึ้นช้า นอกจากนั้นจากกราฟจะเห็นว่า equivalence ratio มีผลต่อ $\Delta\theta_d$ คือ เมื่อ equivalence ratio มากทำให้ $\Delta\theta_d$ ลดลง เนื่องจากส่วนผสมที่หนาขึ้นจะมี flame speed สูงกว่า เมื่อพิจารณาอัตราการสันดาปในช่วง rapid burned จะพบว่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้วลดลงเนื่องจากการเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าทำให้ช่วงที่เกิด rapid burned นี้ตกอยู่ในช่วงใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันและความหนาแน่นของส่วนผสมสูง อัตราการสันดาปจะเกิดขึ้นรวดเร็ว ทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ส่วนผลของ equivalence ratio ที่มีต่อ $\Delta\theta_b$ จะเห็นว่าเมื่อ equivalence ratio เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่อง equivalence ratio ที่หนากว่าจะมี flame speed สูง การเพิ่ม equivalence ratio จึงมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ สั้นลงเช่นเดียวกันกับ$\Delta\theta_d$



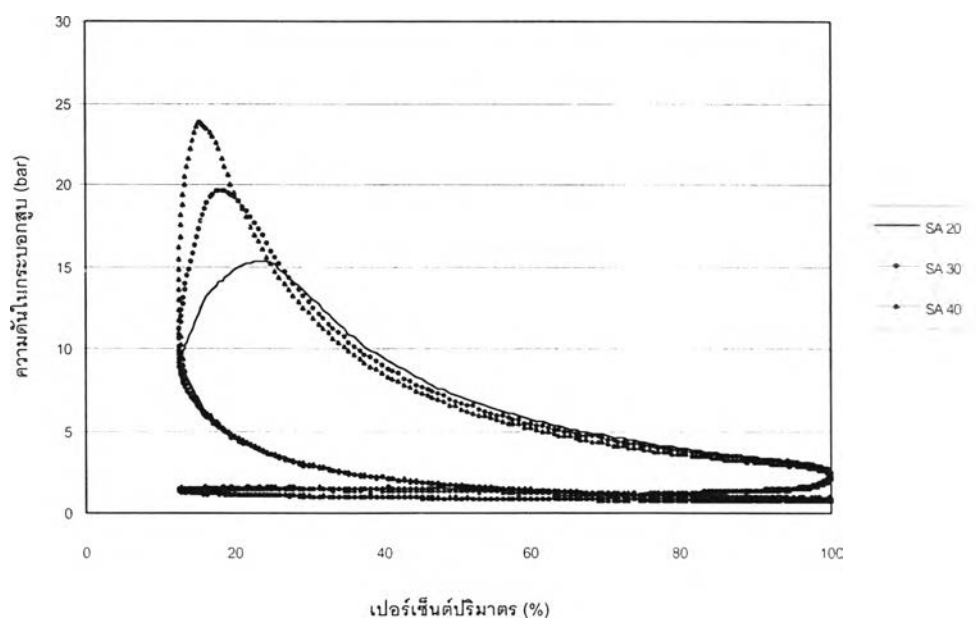
รูปที่ 4.3 (ฎ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8



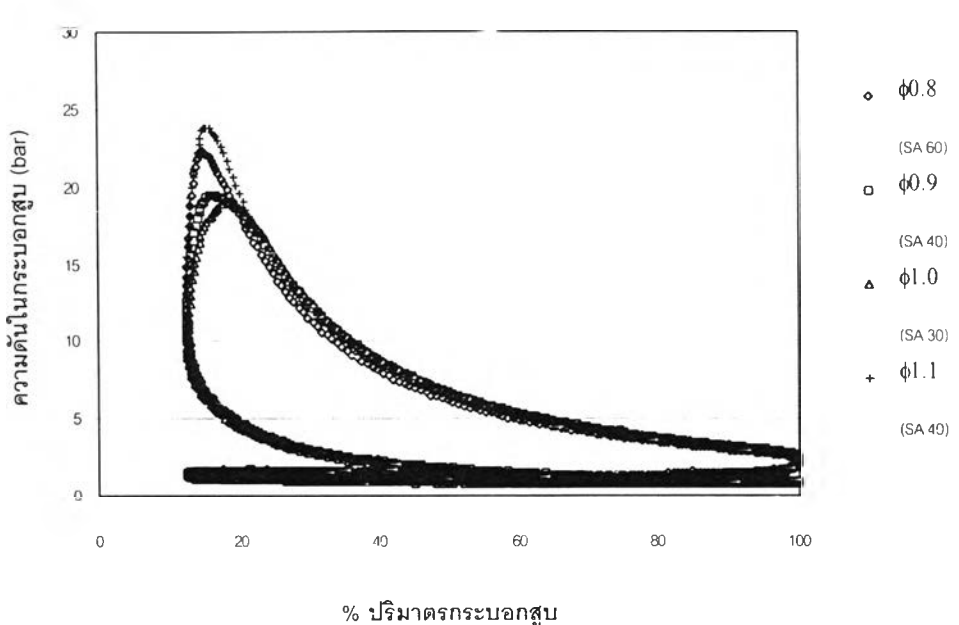
รูปที่ 4.3 (ฐ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9



รูปที่ 4.3 **(ฑ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0



รูปที่ 4.3 **(ฒ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



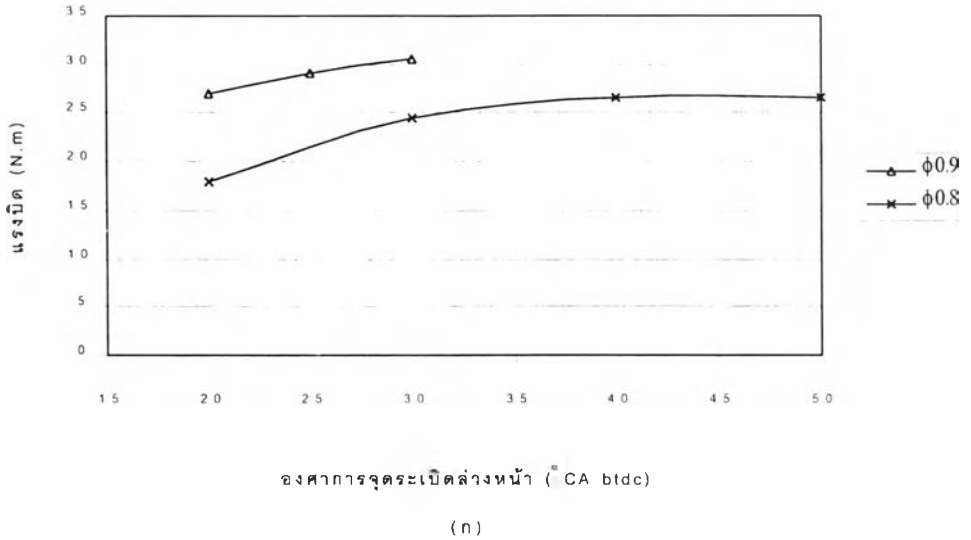
รูปที่ 4.3 **(ณ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9, 1.0 และ 1.1 โดยมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT

จากรูป 4.3 (ฏ) ถึง (ฒ) แสดง P-V Diagram ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9, 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ความดันสูงสุดจะมากขึ้น เป็นผลให้งานที่ได้รับมากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของ P-V Diagram แสดงถึงงานที่ได้รับ แม้ว่าการที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มากขึ้นจะทำให้การสูญเสียในช่วงจังหวะอัดสูงขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะตามรูป 4.3 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า คือ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้สูงขึ้นจนถึง MBT

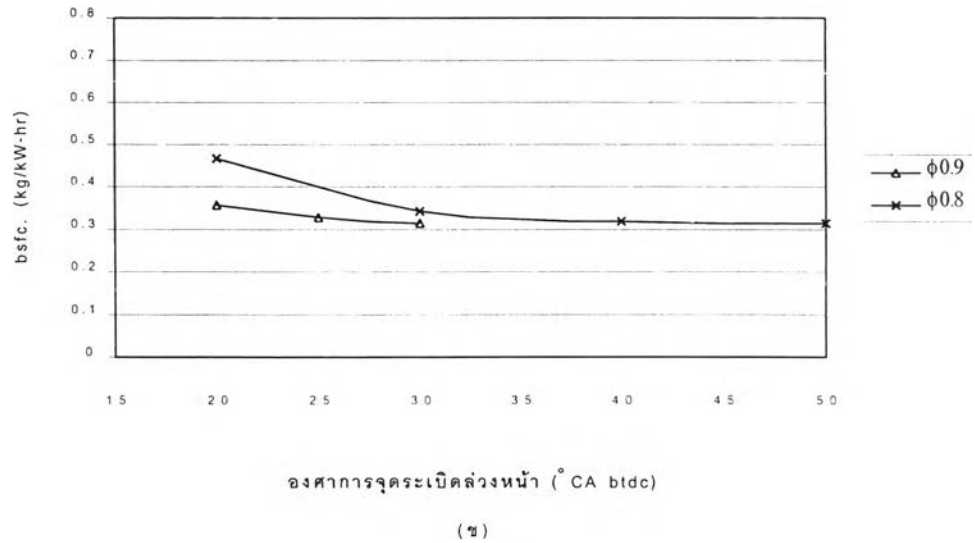
จากกราฟ 4.2 (ณ) ซึ่งแสดง P-V diagram ที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT จะเห็นว่าที่ equivalence ratio 1.1 มีความดันสูงสุดสูงกว่า equivalence ratio อื่นๆ เนื่องจากมีส่วนผสมหนา และองศาจุดระเบิดล่วงหน้าค่อนข้างมากกว่า โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับที่ equivalence ratio 1.0 ซึ่งมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าค่อนข้างน้อย จนเกือบจะมีลักษณะของ late burn สำหรับ equivalence ratio 0.9 จะเห็นว่าถึงแม้จะมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าสูง แต่ความดันสูงสุดค่อนข้างต่ำ หากพิจารณาจากรูป 4.3 (จ) จะเห็นว่าที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 40 น่าที่จะมีความดันสูงสุดสูงกว่านี้ แต่ที่ผลเป็นเช่นนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก cycle by cycle variation ทำให้ข้อมูลความดันที่ได้เป็นวัฏจักรที่ค่อนข้างมีความเบี่ยงเบนสูง ส่วนที่ equivalence ratio 0.8 จะเห็นว่า ความดันสูงสุดค่อน

ข้างสูง เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มาก แต่เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด จะเห็นว่าได้งานน้อยกว่าที่ equivalence ratio อื่นๆ เนื่องจากมวลเชื้อเพลิงน้อย

4.2.4 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราไหลอากาศ 100 % (WOT)

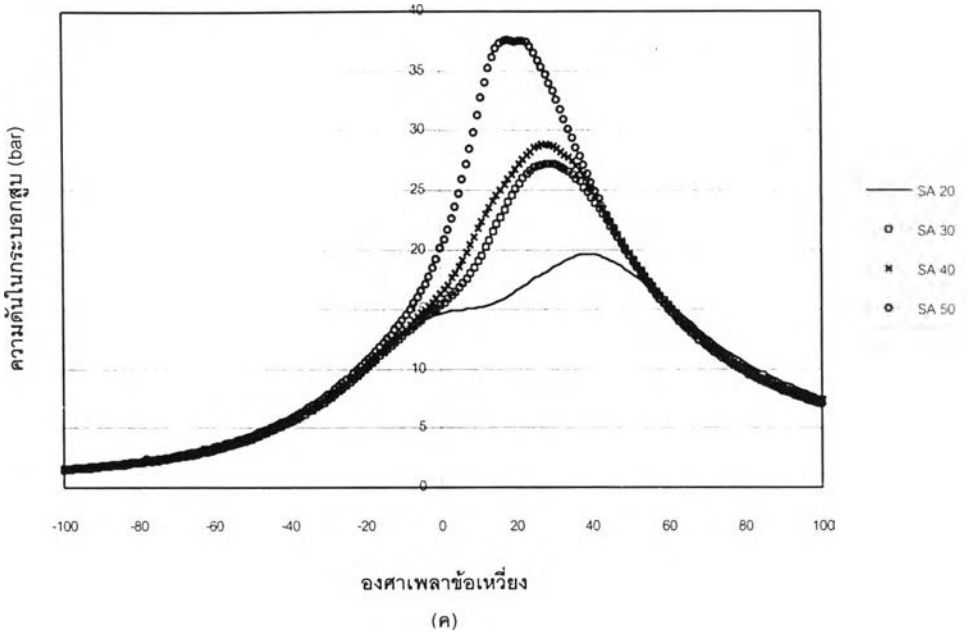


(ก)

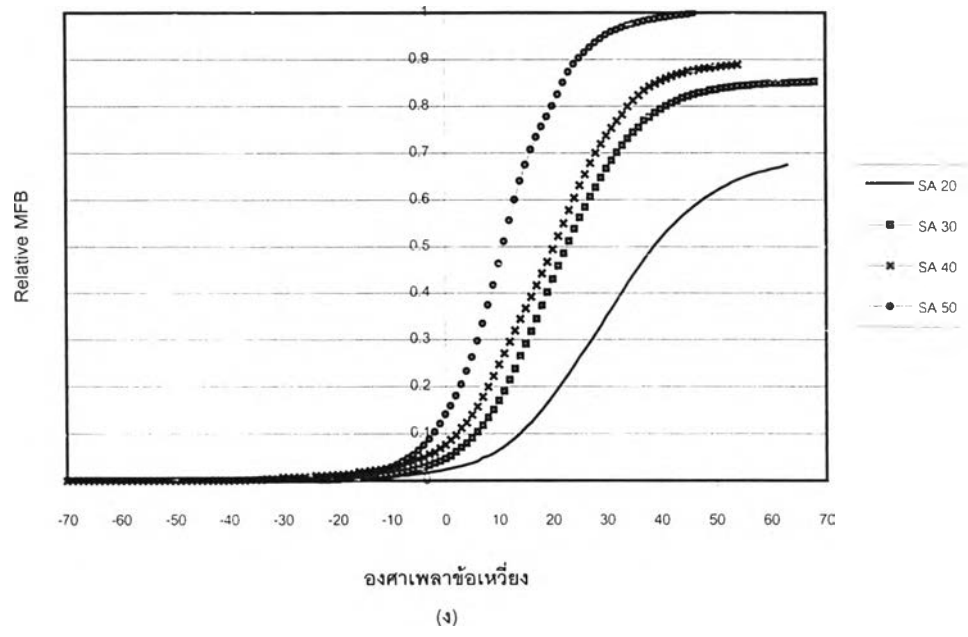


(ข)

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio 0.9 และ 0.8

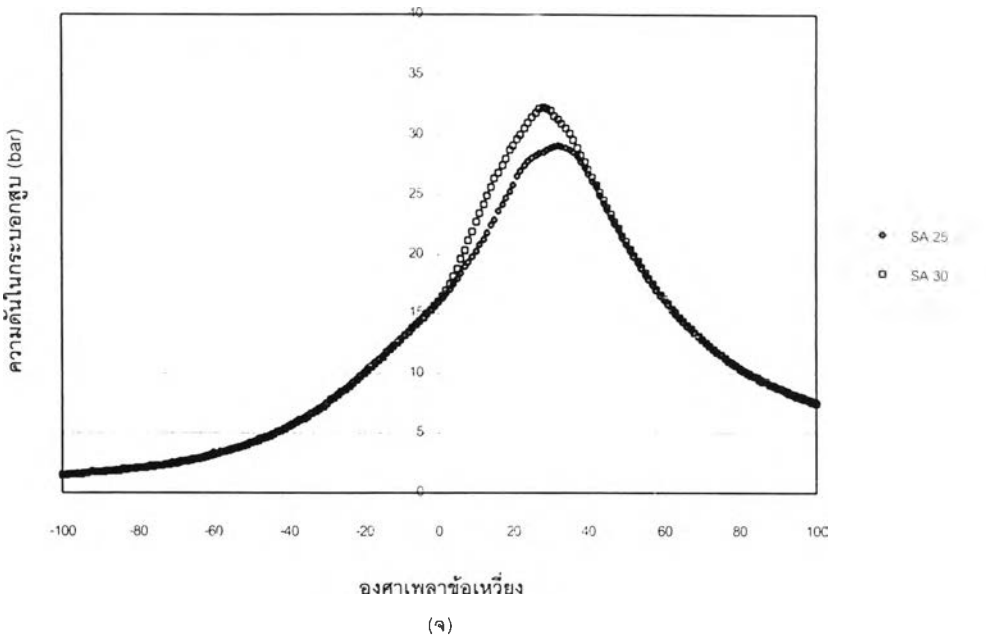


(ค)

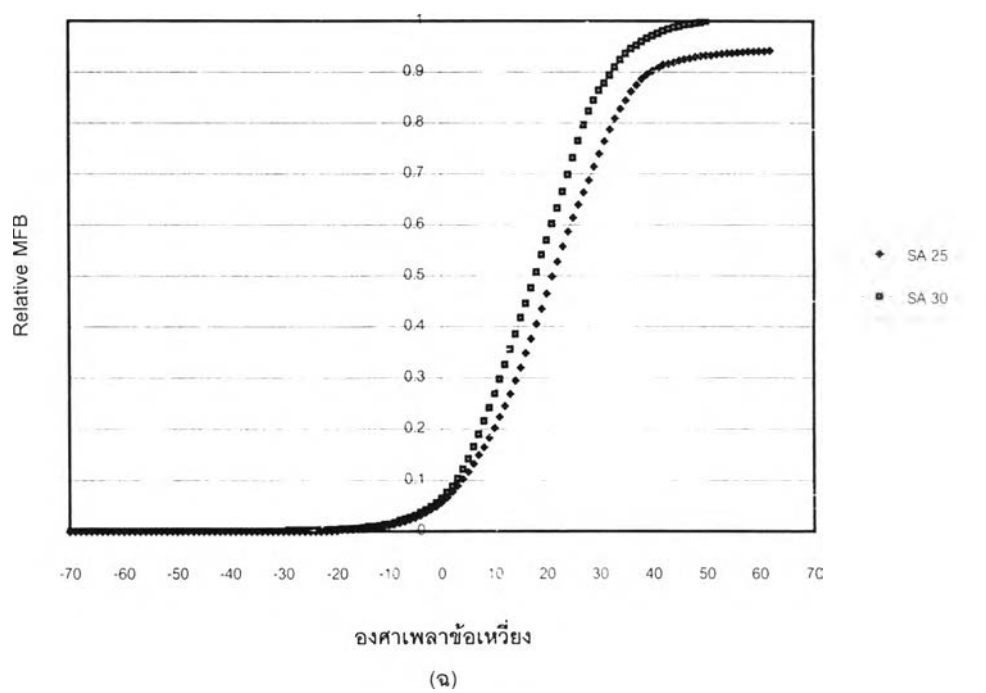


(ง)

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8

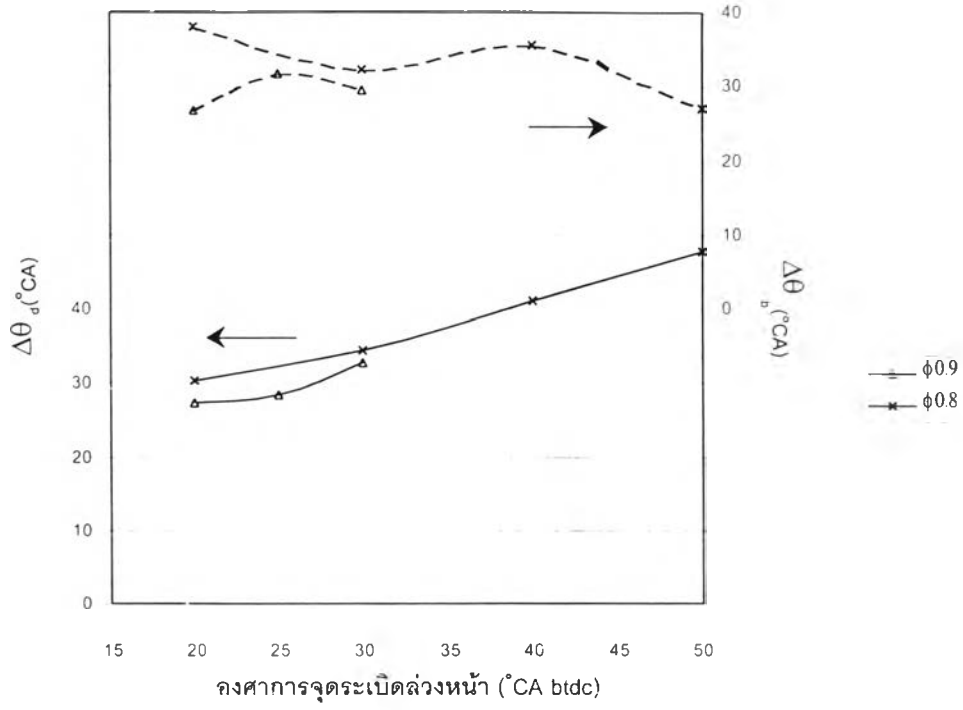


(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(จ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ฉ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9



(ซ)

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(ซ)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่ equivalence ratio 0.9 และ 0.8

จากรูป 4.4 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้นจนถึง MBT ซึ่งเป็นจุดที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดโดยไม่ knock และเมื่อเพิ่ม equivalence ratio จาก 0.8 เป็น 0.9 จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้น อันเนื่องมาทำงานที่อัตราการไหลอากาศเท่า equivalence ratio ที่สูงกว่าหมายถึงมวลเชื้อเพลิงและพลังงานที่ให้กับเครื่องยนต์มากกว่า ดังนั้นที่ equivalence ratio 0.9 เครื่องยนต์จึงให้แรงบิดมากกว่า

จากรูป 4.4 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio มีค่าเป็น 0.8 และ 0.9 จะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น bsfc. จะลดลงจนถึง MBT นอกจากนั้นเมื่อเปรียบ bsfc เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง equivalence ratio เป็น 0.8 กับ 0.9 จะเห็นว่า equivalence ratio 0.9 มี bsfc. ต่ำกว่า ซึ่งจากกราฟ รูป 4.4 (ก) ที่ equivalence ratio 0.9 เครื่อง

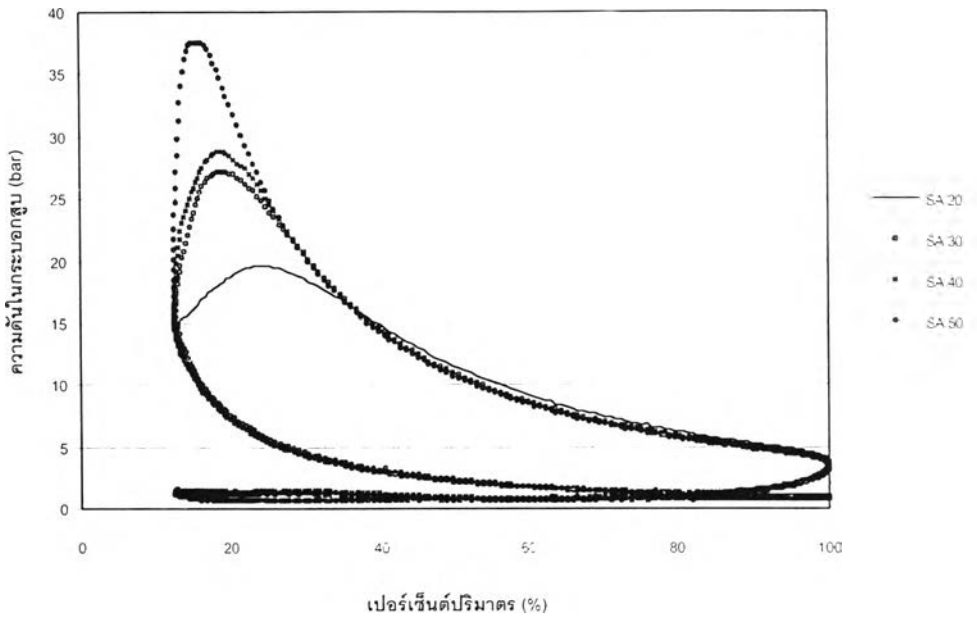
ยนต์จะมีแรงบิดมากกว่าที่ equivalence ratio เท่ากับ 0.8 ค่อนข้างมาก ทำให้เมื่อคิดเป็น bsfc ที่ equivalence ratio เป็น 0.9 จึงมีค่าต่ำกว่า

จากรูป 4.4 (ค) ถึง (ฉ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดต่างๆ คู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง Relative MFB (mass fraction burned) กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8 และ 0.9 จากแนวโน้มของกราฟทั้งหมดจะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจะเป็นผลให้ความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้น และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น จะทำให้ช่วงที่เกิดการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เกิดขึ้นใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบสูง การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ทำให้ความดันสูงสุดมีค่ามาก

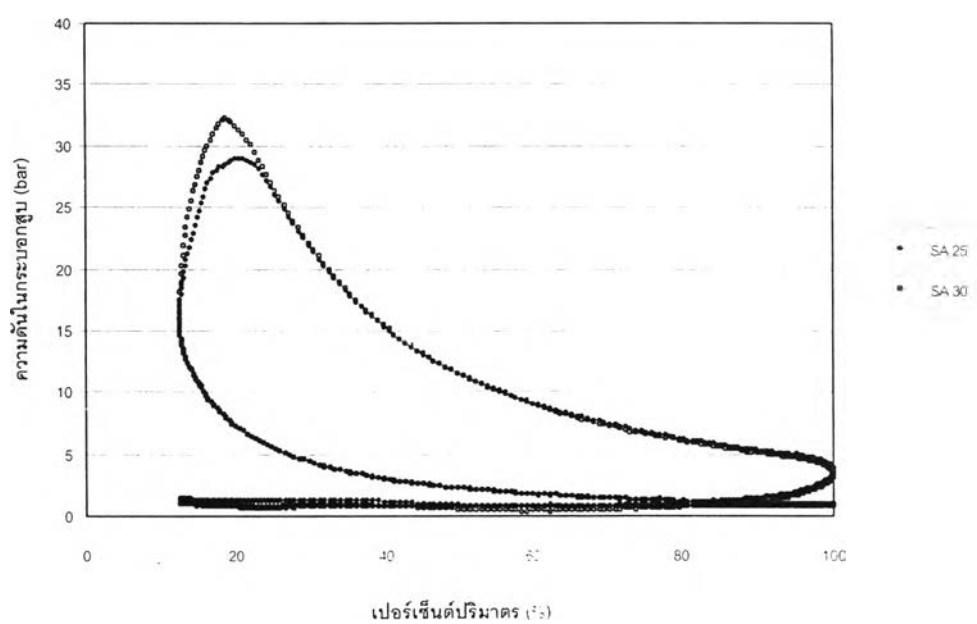
เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ equivalence ratio เป็น 0.8 กับ 0.9 จะเห็นว่าที่equivalence ratio เป็น 0.9 จะสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้จนถึง 30 °CA btdc ในขณะที่ equivalence ratio เป็น 0.8 สามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่าคือ 50 °CA btdc จะเห็นว่าที่ equivalence ratio เป็น 0.8 ความดันสูงสุดที่ได้มีค่าสูงกว่าที่equivalence ratio เท่ากับ 0.9 เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่ามาก

จากรูป 4.4 (ช) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle: $\Delta\theta_d$) และ ช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10% ถึง 90% (rapid burned angle: $\Delta\theta_b$) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ พบว่าเมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_d$ มีแนวโน้มกว้างขึ้น เนื่องจากองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มาก หมายถึงเกิดการจุดระเบิดในช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้า เป็นผลให้อัตราการสันดาปในช่วงแรกเกิดขึ้นช้า นอกจากนั้นจากกราฟจะเห็นว่า equivalence ratio มีผลต่อ $\Delta\theta_d$ คือ เมื่อ equivalence ratio มากทำให้ $\Delta\theta_d$ ลดลง เนื่องจากส่วนผสมที่หนาขึ้นจะมี flame speed สูงกว่า เมื่อพิจารณาอัตราสันดาปในช่วง rapid burned จะพบว่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้วลดลงเนื่องจากการเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าทำให้ช่วงที่เกิด rapid burned นี้ตกอยู่ในช่วงใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันและความหนาแน่นของส่วนผสมสูง อัตราการสันดาปจะเกิดขึ้นรวดเร็ว ทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ส่วนผลของ equivalence ratio ที่มีต่อ $\Delta\theta_b$ จะเห็นว่า

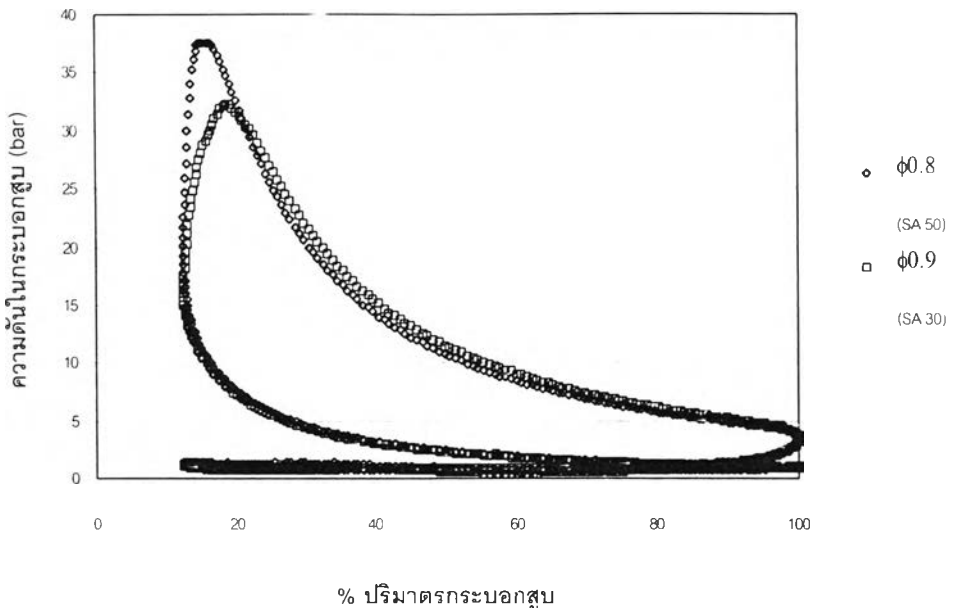
เมื่อ equivalence ratio เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศที่หนากว่าจะมี flame speed สูง การเพิ่ม equivalence ratio จึงมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ สั้นลงเช่นเดียวกันกับ $\Delta\theta_d$



รูปที่ 4.4 **(ซ)** แสดงแสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100% (WOT) เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8



รูปที่ 4.4 **(ฌ)** แสดงแสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100% (WOT) เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9

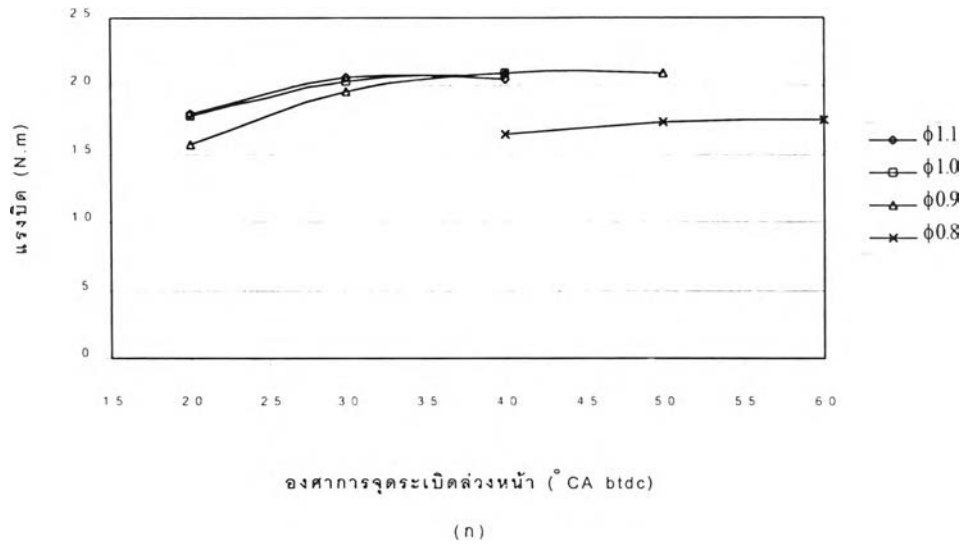


รูปที่ 4.4 **(ญ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100% (WOT) เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8 และ 0.9 โดยมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT

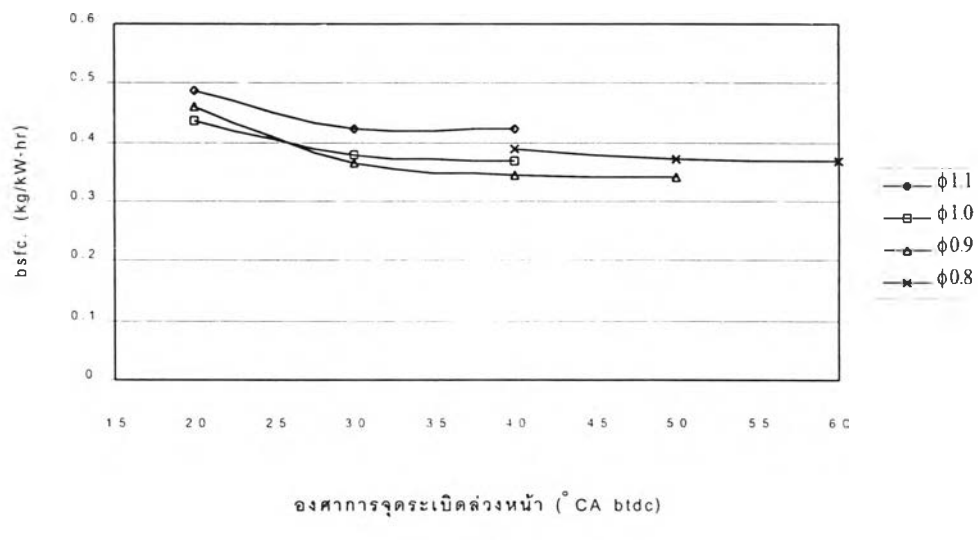
จากรูป 4.4 (ช) และ (ฌ) แสดง P-V Diagram ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8 และ 0.9 จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ความดันสูงสุดจะมากขึ้น เป็นผลให้งานที่ได้รับมากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของ P-V Diagram แสดงถึงงานที่ได้รับ แม้ว่าการที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มากขึ้นจะทำให้การสูญเสียในช่วงจังหวะอัดสูงขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะตามรูป 4.4 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า คือ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้สูงขึ้นจนถึง MBT

จากรูป 4.4 (ญ) ซึ่งแสดง P-V diagram ที่ equivalence ratio เป็น 0.8 และ 0.9 เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT จะเห็นว่าที่ equivalence ratio เป็น 0.8 มีความดันสูงสุดมากกว่าที่ equivalence ratio 0.9 ถึงแม้จะมวลเชื้อเพลิงจะน้อยกว่า เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้ถึง 50°CA btdc ในขณะที่ equivalence ratio 0.9 เพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้เพียง 30°CA btdc เท่านั้น นอกจากนั้นหากพิจารณาจากรูป 4.4 (ค) จะเห็นว่า equivalence ratio 0.8 ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 50°CA btdc นี้ ความดันสูงสุดสูงเกินกว่าที่แนวโน้มควรจะเป็น ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจาก cycle by cycle variation ซึ่งทำให้ข้อมูลความดันที่ได้เป็นวัฏจักรที่ค่อนข้างมีความเบี่ยงเบนสูง

4.2.5 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราไหลอากาศ 75 % ของ WOT

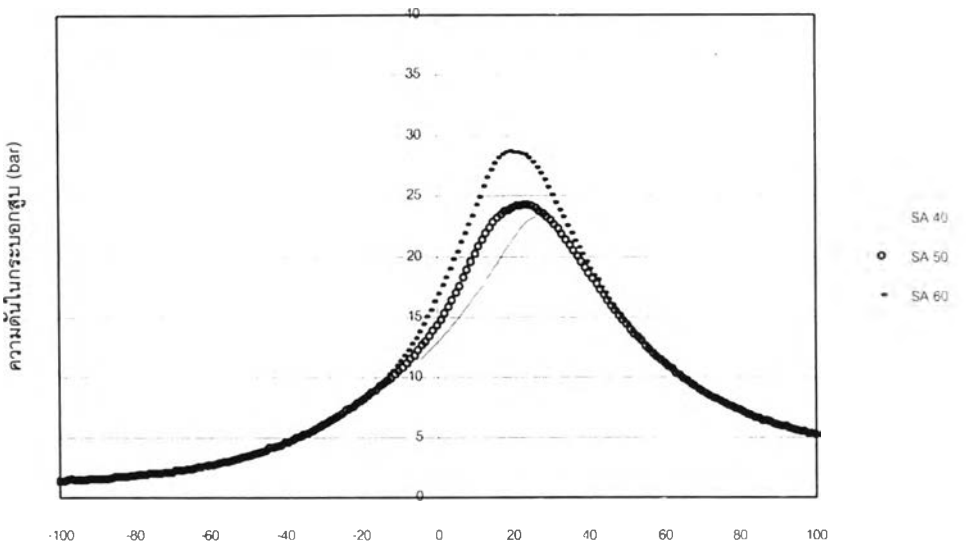


(ก)

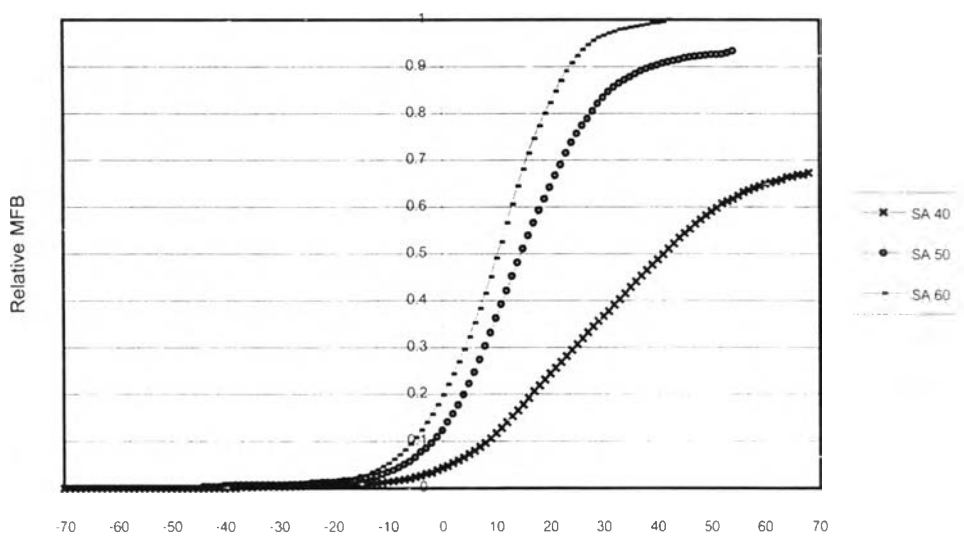


(ข)

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio 1.1 , 1.0 , 0.9 และ 0.8

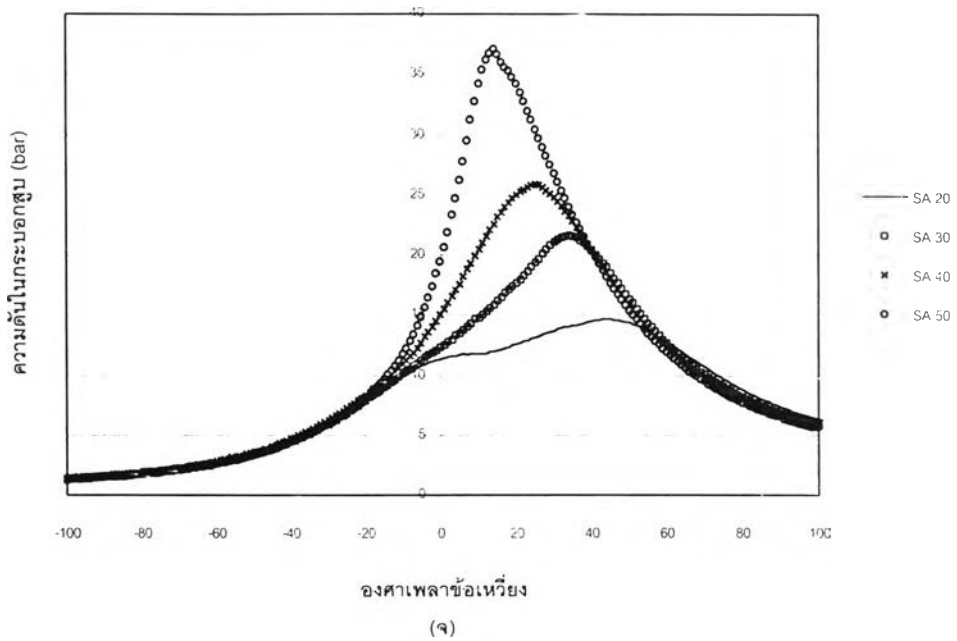


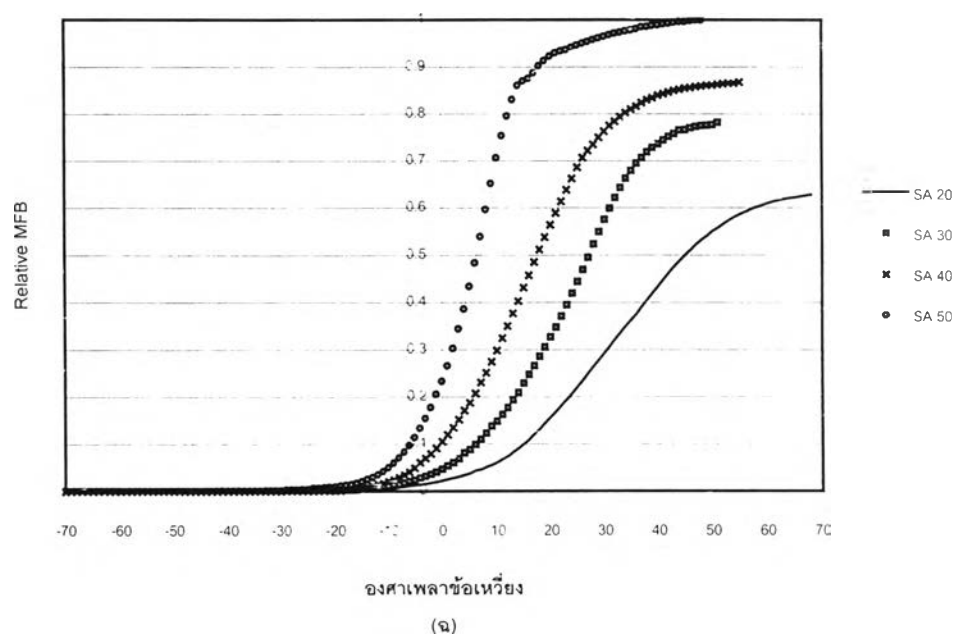
(ค)



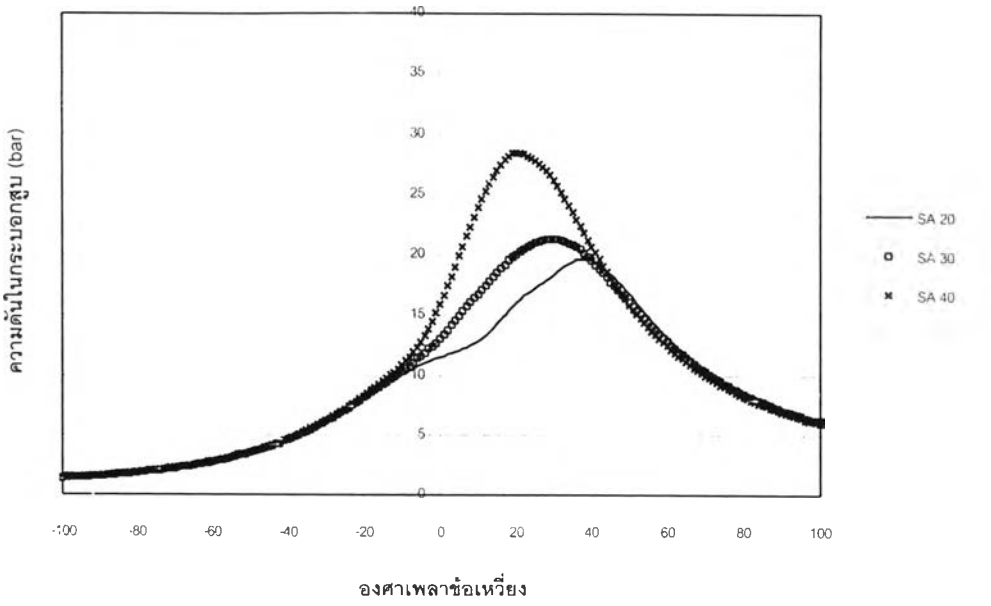
(ง)

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8

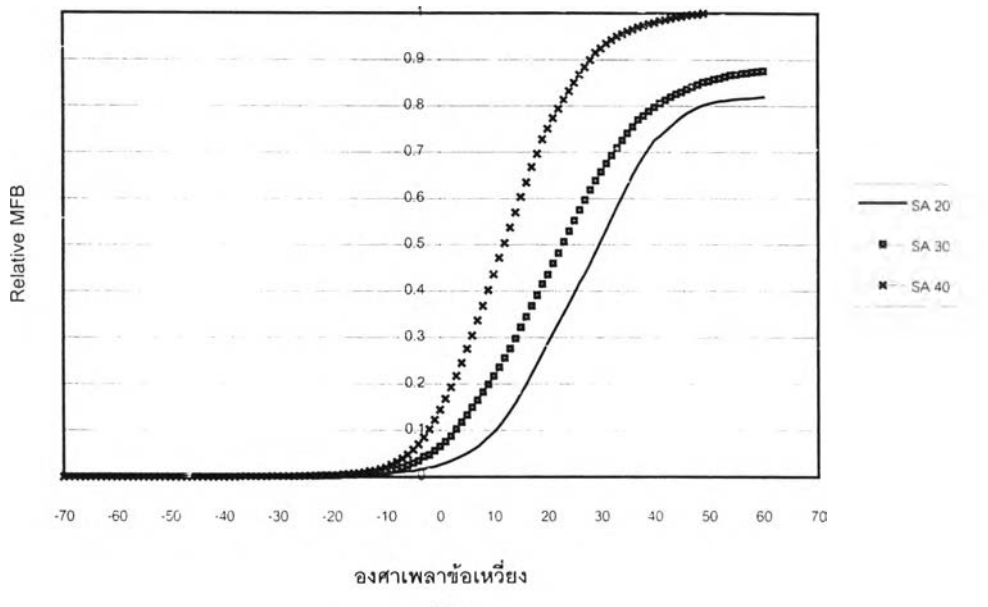




รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(จ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ฉ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9

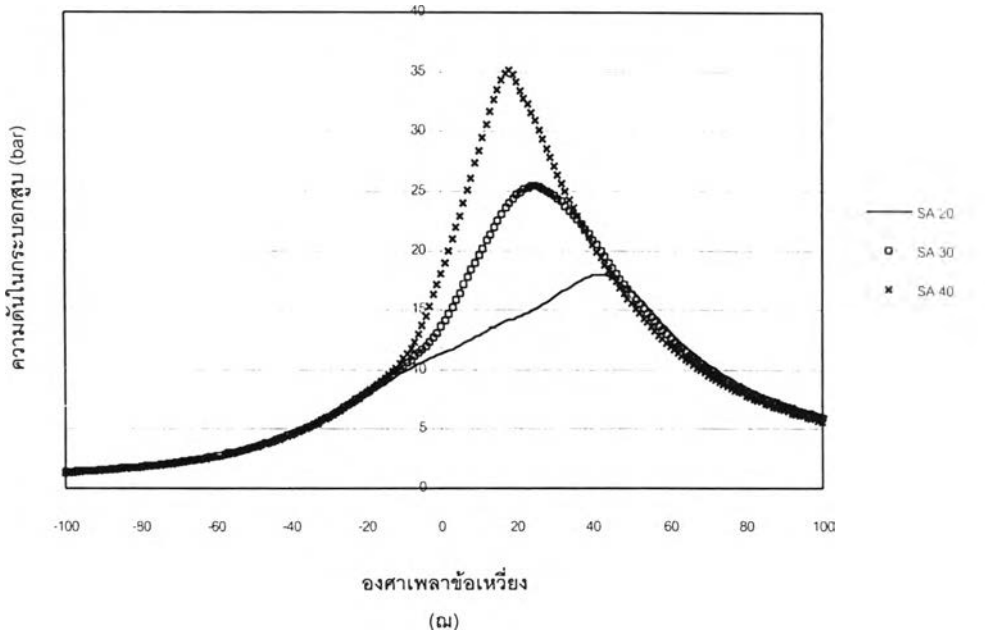


(ซ)

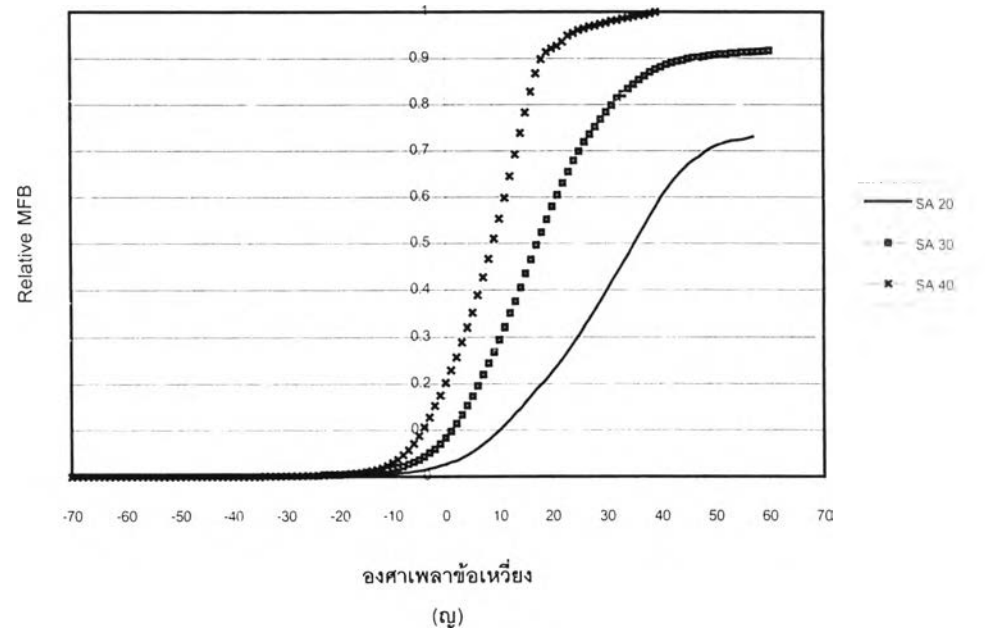


(ซ)

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0

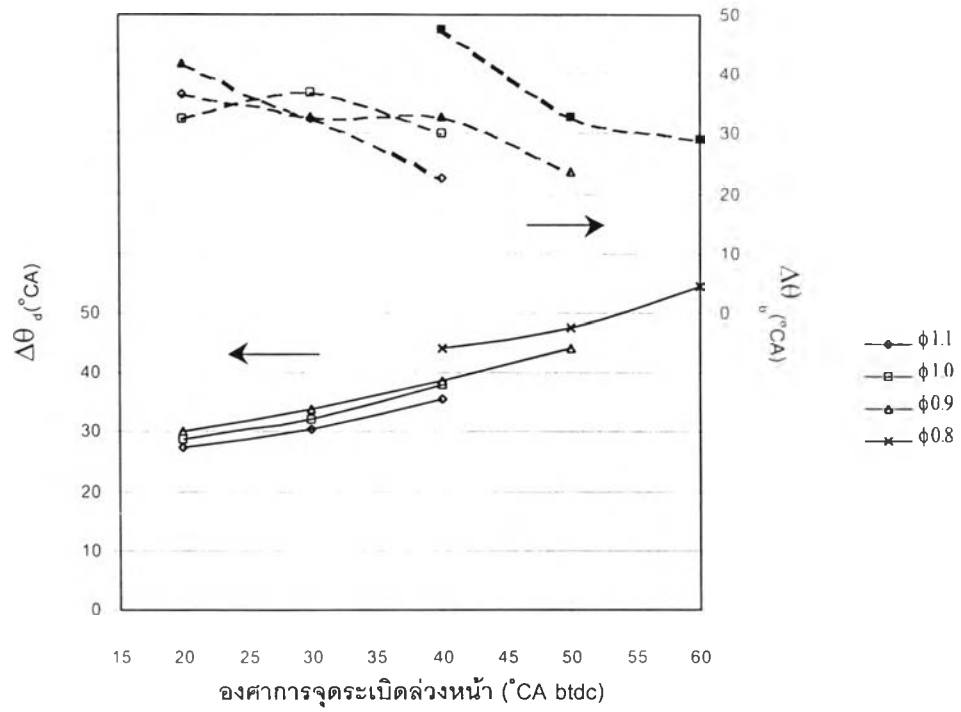


(ฌ)



(ญ)

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(ฌ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ญ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



(ฎ)

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT (ฎ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่ equivalence ratio 1.1, 1.0, 0.9 และ 0.8

จากรูป 4.5 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้นจนถึง MBT ซึ่งเป็นจุดที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดโดยไม่ knock และเมื่อเพิ่ม equivalence ratio จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้น

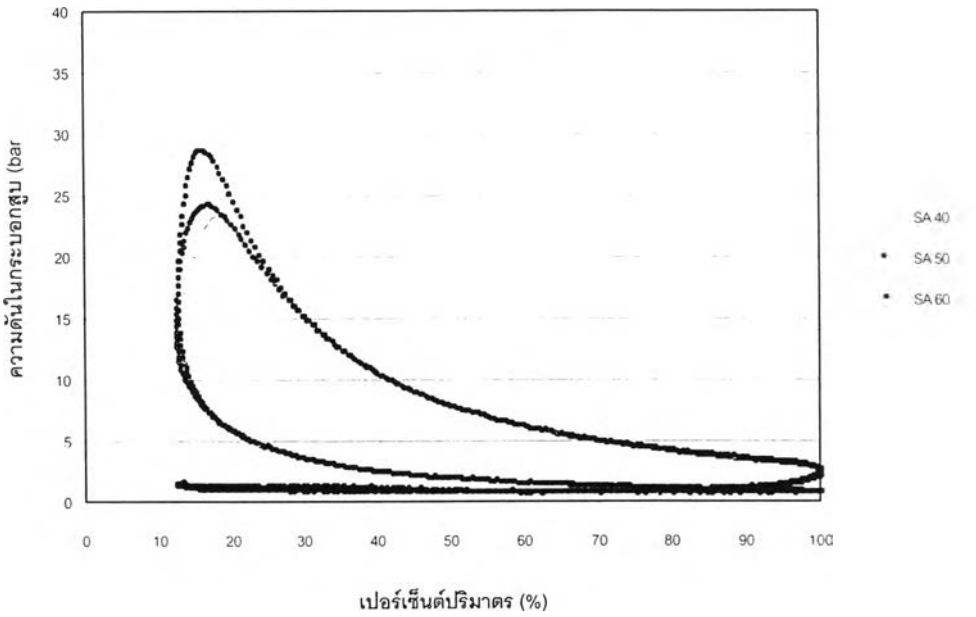
จากรูป 4.5 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น bsfc. จะลดลงจนถึง MBT นอกจากนั้นจะเห็นว่าการลดเชื้อเพลิงซึ่งทำให้ส่วนผสมบางลง จะทำให้ bsfc. ต่ำลง จนเมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9 bsfc. จะมีค่าต่ำสุด เมื่อลดเชื้อเพลิงจน equivalence ratio เป็น 0.8 bsfc. จะกลับสูงขึ้นอีก ทั้งนี้เนื่องมากจากส่วนผสมบางจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่า แต่เมื่อส่วนผสมบางมากถึง equivalence ratio 0.8 จะทำให้อัตราการสันดาปช้าและแรงบิดที่ได้ต่ำลงมาก bsfc. จึงมีค่าสูงขึ้น

จากรูป 4.5 (ค) ถึง (ญ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดต่างๆ คู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง Relative MFB (mass fraction burned) กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8 , 0.9 ,1.0 และ 1.1 จากแนวโน้มของกราฟทั้งหมดจะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจะเป็นผลให้ความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้น และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทำให้ช่วงที่เกิดการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ คือ ช่วง flame development period เกิดขึ้นใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบสูง การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ทำให้ความดันสูงสุดมีค่ามาก

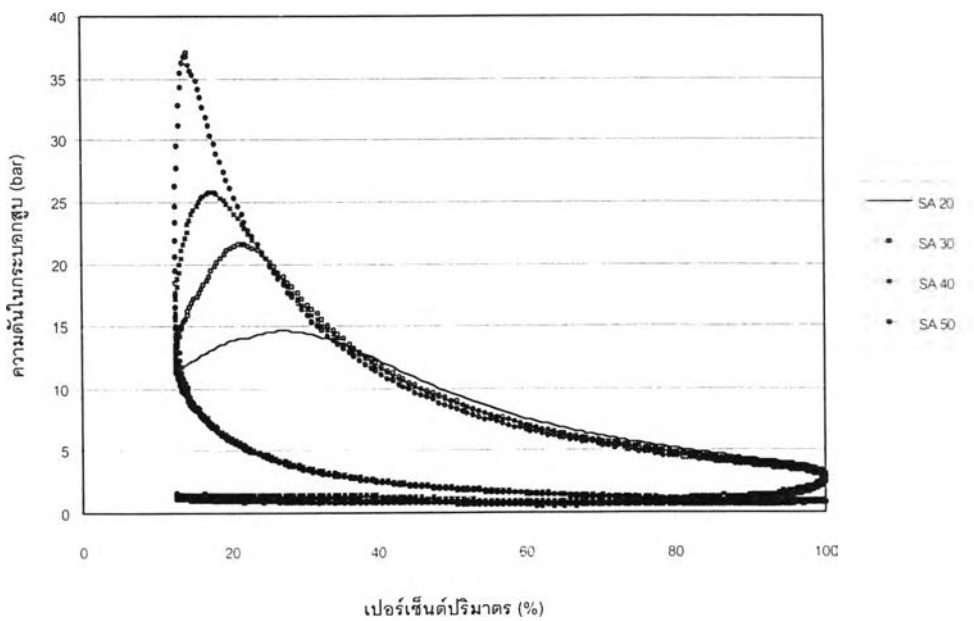
เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9,1.0 และ 1.1 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ equivalence ratio เป็น 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่าที่ 1.1 มีความดันสูงสุดมากกว่าอันเนื่องมาจากมีเชื้อเพลิงมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง equivalence ratio เป็น 1.0 กับ 0.9 จะเห็นว่าที่ equivalence ratio เป็น 0.9 มีความดันสูงสุดมากกว่าที่ 1.0 เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่าคือเพิ่มได้ถึง 50 °CA btdc แต่เมื่อลดเชื้อเพลิงจน equivalence ratio เป็น 0.8 พบว่าความดันสูงสุดต่ำกว่าที่ equivalence ratio เท่ากับ 0.9 แม้จะมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากกว่า อันเนื่องมากจากมีเชื้อเพลิงน้อยและ equivalence ratio ที่ต่ำกว่า ทำให้อัตราการสันดาปช้า ความดันสูงสุดที่ได้จึงมีค่าต่ำ แม้จะมีองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจะมากกว่า

จากรูป 4.5 (ฎ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle: $\Delta\theta_d$) และ ช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10% ถึง 90% (rapid burned angle: $\Delta\theta_b$) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ พบว่าเมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_d$ มีแนวโน้มกว้างขึ้น เนื่องจากองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มาก จะทำให้เกิดการจุดระเบิดในช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้า เป็นผลให้อัตราการสันดาปในช่วงแรกเกิดขึ้นช้า นอกจากนั้นจากกราฟจะเห็นว่า equivalence ratio มีผลต่อ $\Delta\theta_d$ คือ เมื่อ equivalence ratio มากทำให้ $\Delta\theta_d$ ลดลง เนื่องจากส่วนผสมที่หนาขึ้นจะมี flame speed สูงกว่า สำหรับการสันดาปในช่วง rapid burned จากแนวโน้มโดยรวมจะพบว่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้วลดลงเนื่องจากการเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าทำให้ช่วงที่เกิด rapid burned นี้ ตกอยู่ในช่วงใกล้กับจุดศูนย์ตายบน

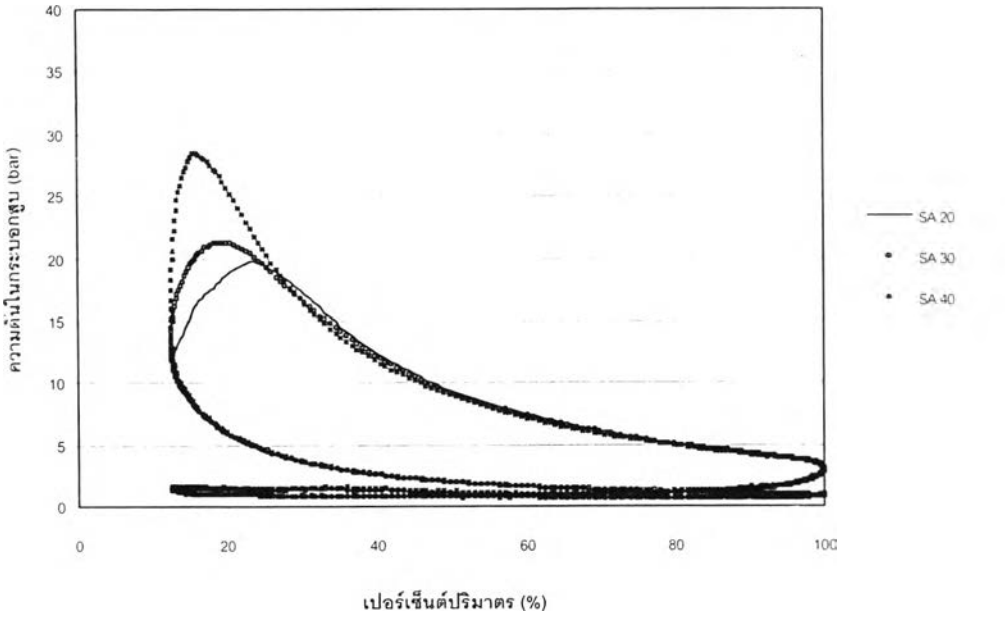
ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันและความหนาแน่นของส่วนผสมสูง อัตราการสันดาปจะเกิดขึ้นรวดเร็ว ทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ส่วนผลของ equivalence ratio ที่มีต่อ $\Delta\theta_b$ จะเห็นว่าเมื่อ equivalence ratio เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก equivalence ratio ที่หนากว่าจะมี flame speed สูง การเพิ่ม equivalence ratio จึงมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ สั้นลงเช่นเดียวกันกับ $\Delta\theta_d$ อนึ่งจะสังเกตได้ว่าที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าน้อยๆ เช่น ที่ 20 °CA btdc $\Delta\theta_b$ ไม่ได้ลดลงตามอัตราส่วนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความแปรปรวน หากพิจารณาจากรูป 4.5 (ฎ) จะสังเกตได้ว่าช่วง flame development period ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 20 °CA btdc นี้ สิ้นสุดลงในช่วงที่เลยจุดศูนย์ตายบนไปแล้ว 8 – 10 °CA จึงเป็นที่น่าสังเกตว่าหากช่วง rapid burned period เริ่มขึ้นในช่วงที่เลยจุดศูนย์ตายบนไปมาก อาจส่งผลให้ $\Delta\theta_b$ มีความแปรปรวนสูงได้



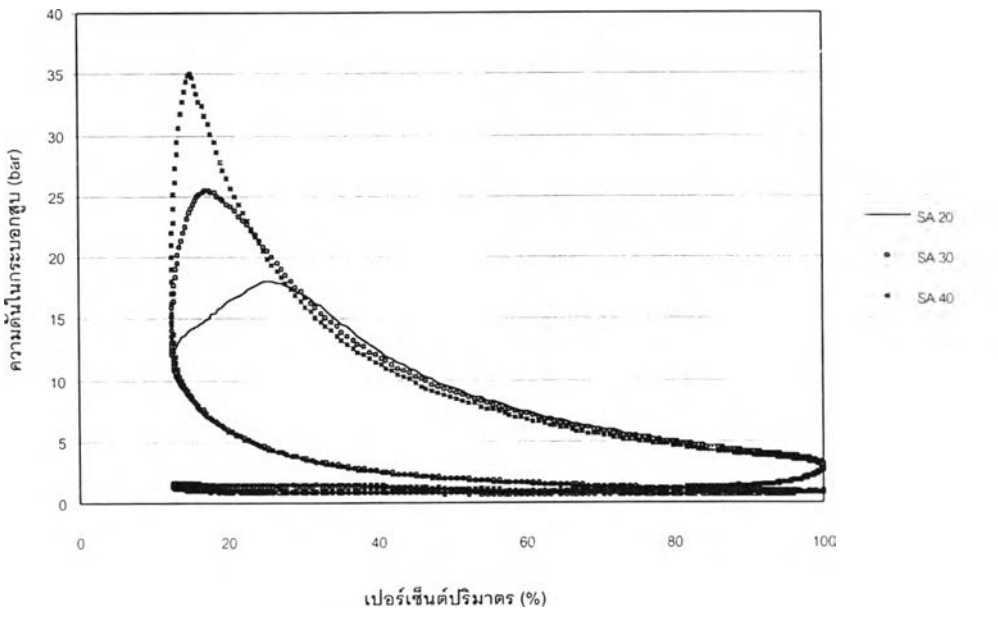
รูปที่ 4.5 (ฎ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8



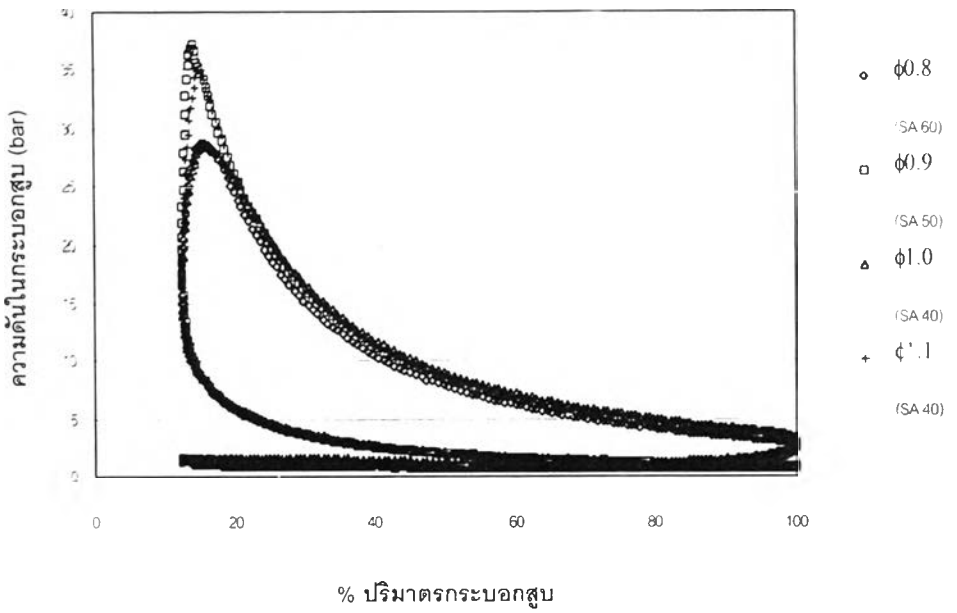
รูปที่ 4.5 (ฐ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9



รูปที่ 4.5 (ฑ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0



รูปที่ 4.5 (ฒ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



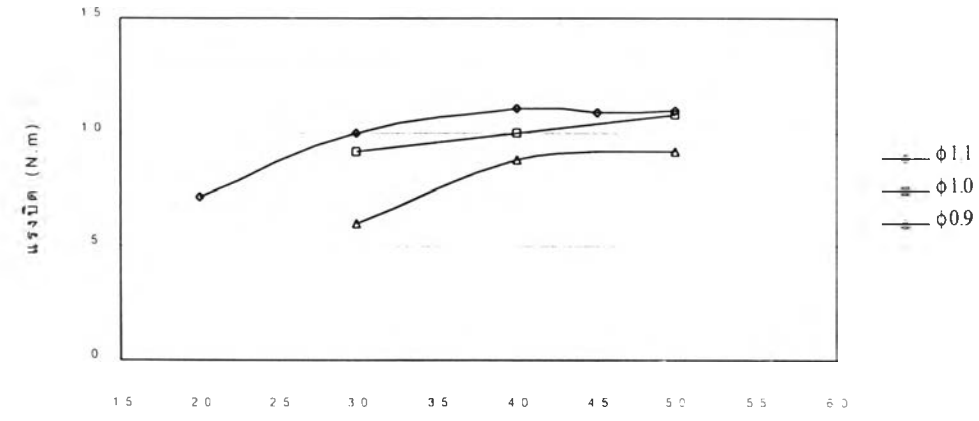
รูปที่ 4.5 (ณ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9, 1.0 และ 1.1 โดยมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT

จากรูป 4.5 (ฎ) ถึง (ฒ) แสดง P-V Diagram ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9, 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ความดันสูงสุดจะมากขึ้น เป็นผลให้งานที่ได้รับมากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของ P-V Diagram แสดงถึงงานที่ได้รับ แม้ว่าการที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มากขึ้นจะทำให้การสูญเสียในช่วงจังหวะอัดสูงขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะตามรูป 4.5 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า คือ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้สูงขึ้นจนถึง MBT

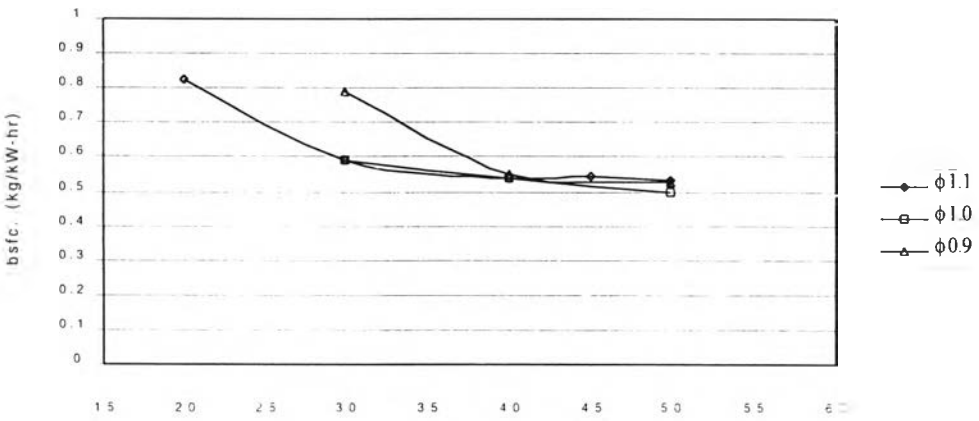
จากกราฟ 4.5 (ณ) ซึ่งแสดง P-V diagram ที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT จะเห็นว่าผลที่ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับที่ความเร็วรอบ 1500 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% คือ ที่ equivalence ratio 0.9 และ 1.1 มีความดันสูงสุดใกล้เคียงกัน และสูงกว่าที่ equivalence ratio เป็น 0.8 และ 1.1 โดยที่ equivalence ratio 0.9 มีความดันสูงสุดสูงเนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มาก ในขณะที่ equivalence ratio 1.1 มีความดันสูงสุดสูงเนื่องจากมีมวลเชื้อเพลิงมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใต้กราฟของ P-V diagram ซึ่งแสดงถึงงานที่ได้รับ จะเห็นว่าที่ equivalence ratio 0.9 , 1.0 และ 1.1 ค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะ โดยดูได้จากกราฟแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ในรูป 4.5 (ก) จะเห็น

ว่าแรงบิดที่ equivalence ratio 0.9 , 1.0 และ 1.1 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ equivalence ratio 0.8 ถึง แม้จะสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากแต่มีมวลเชื้อเพลิงน้อยเกินไป น่าสังเกตว่าสำหรับเครื่องยนต์ Ricardo E6 ขีดจำกัดส่วนผสมบางของเครื่องน่าจะอยู่ใกล้ที่ equivalence ratio 0.8 หรือต่ำกว่านี้เล็กน้อย เนื่องจากจะเห็นว่ามีบางจุดที่ไม่สามารถทำงานที่ equivalence ratio นี้ได้ ในขณะที่จุดที่สามารถทำงาน ได้ก็จะได้แรงบิดต่ำกว่า equivalence ratio อื่นค่อนข้างมาก

4.2.6 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราไหลอากาศ 50 % ของ WOT

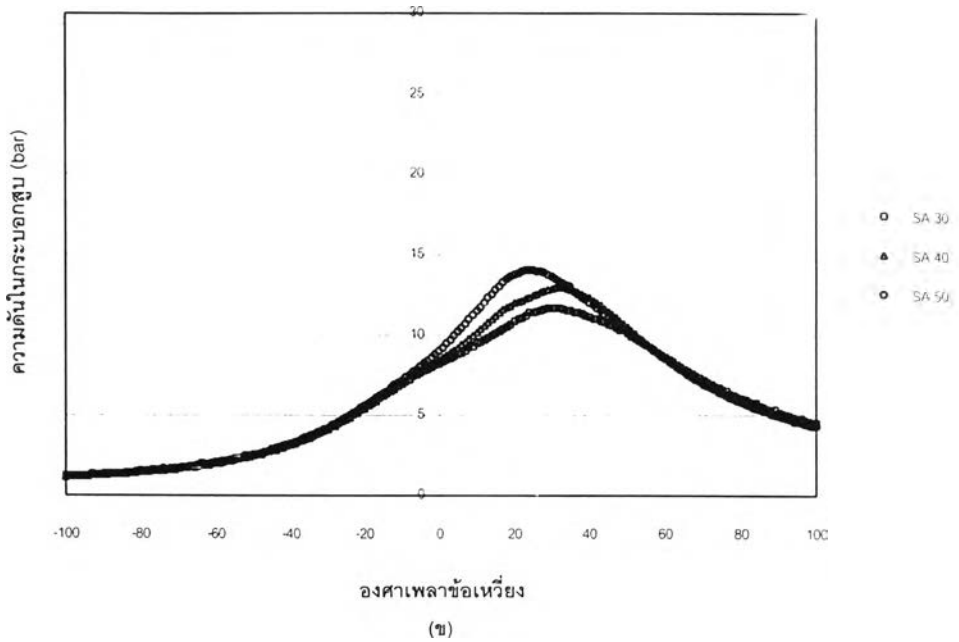


(ก)

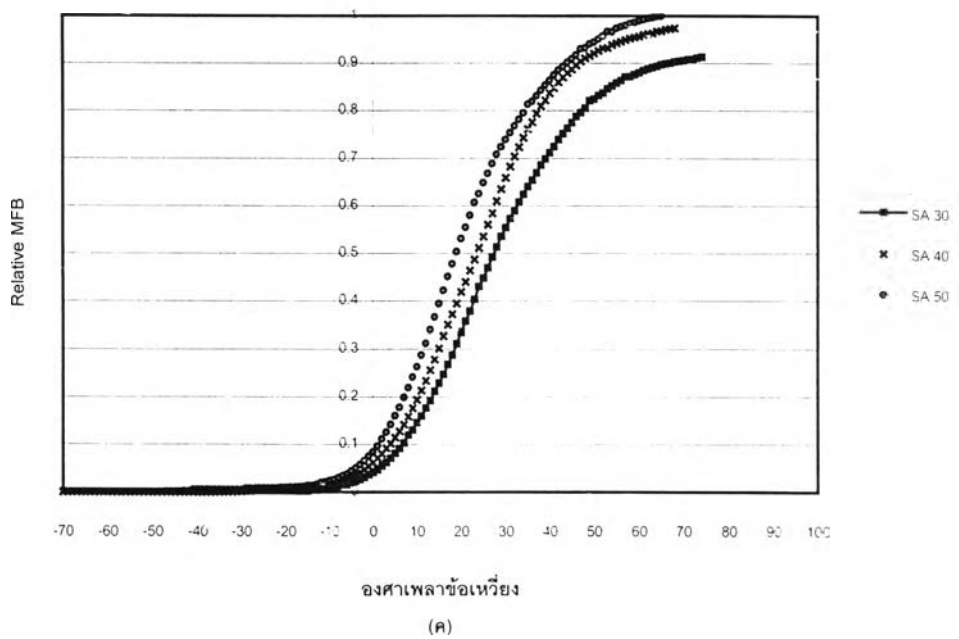


(ข)

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio 1.1 , 1.0 และ 0.9

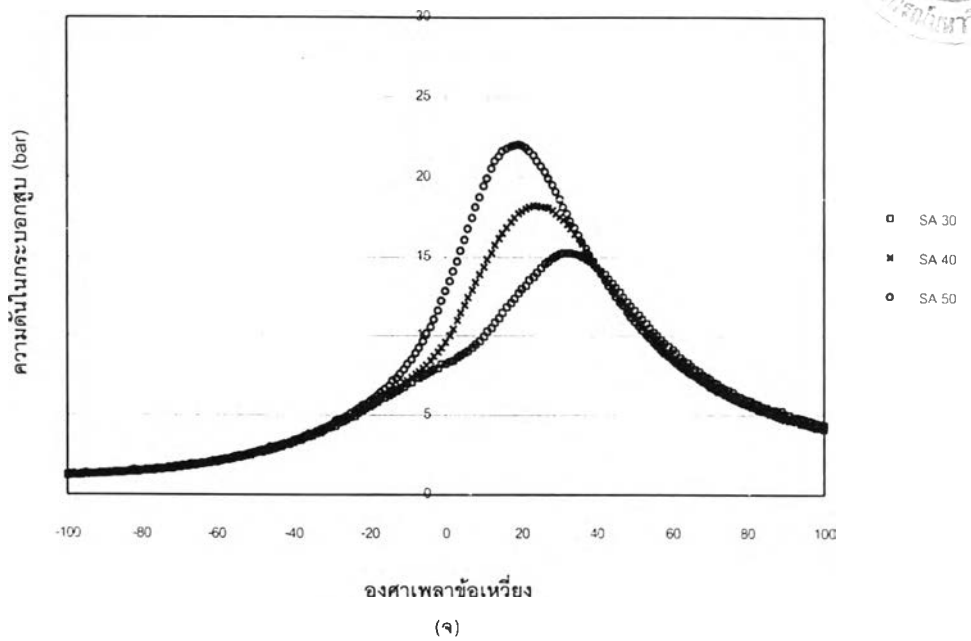


(ข)

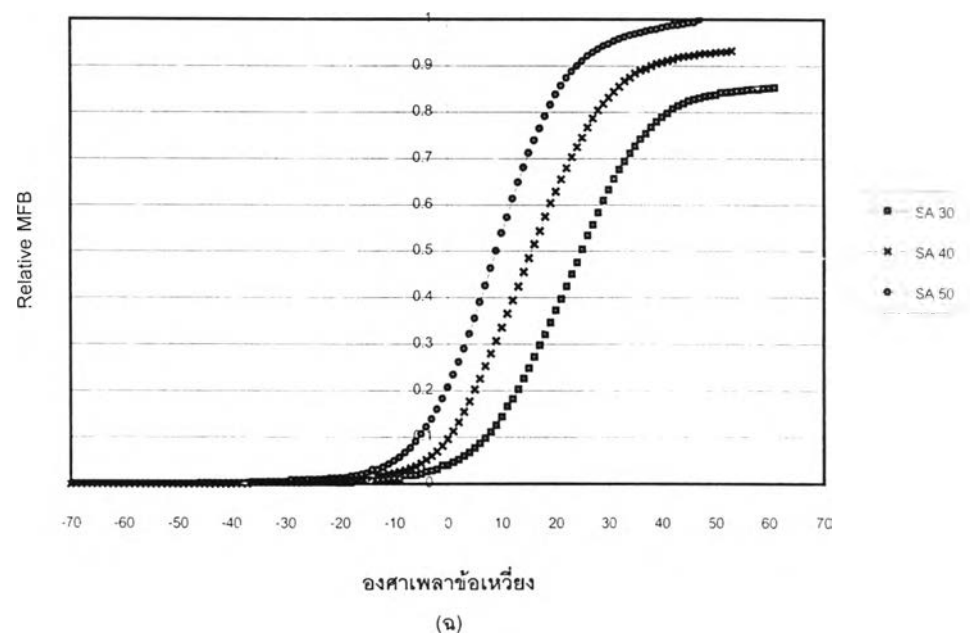


(ค)

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9

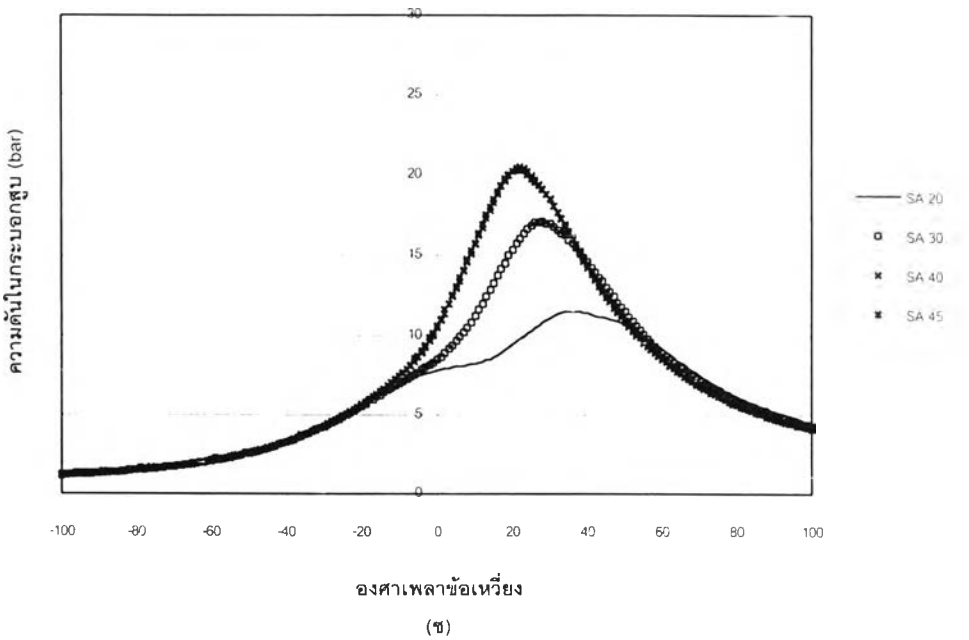


(จ)

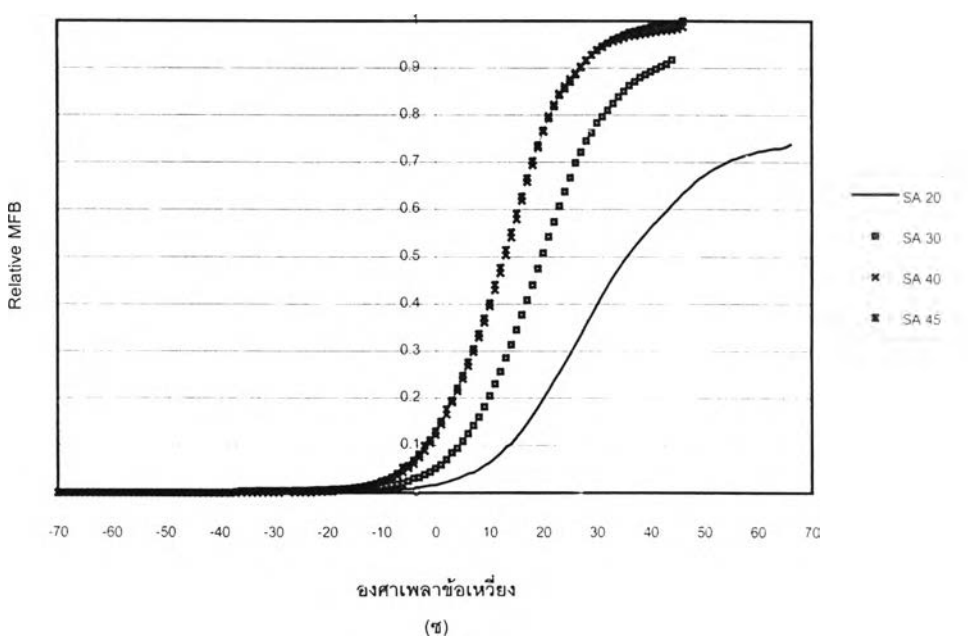


(ฉ)

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 %ของ WOT **(จ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ฉ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0

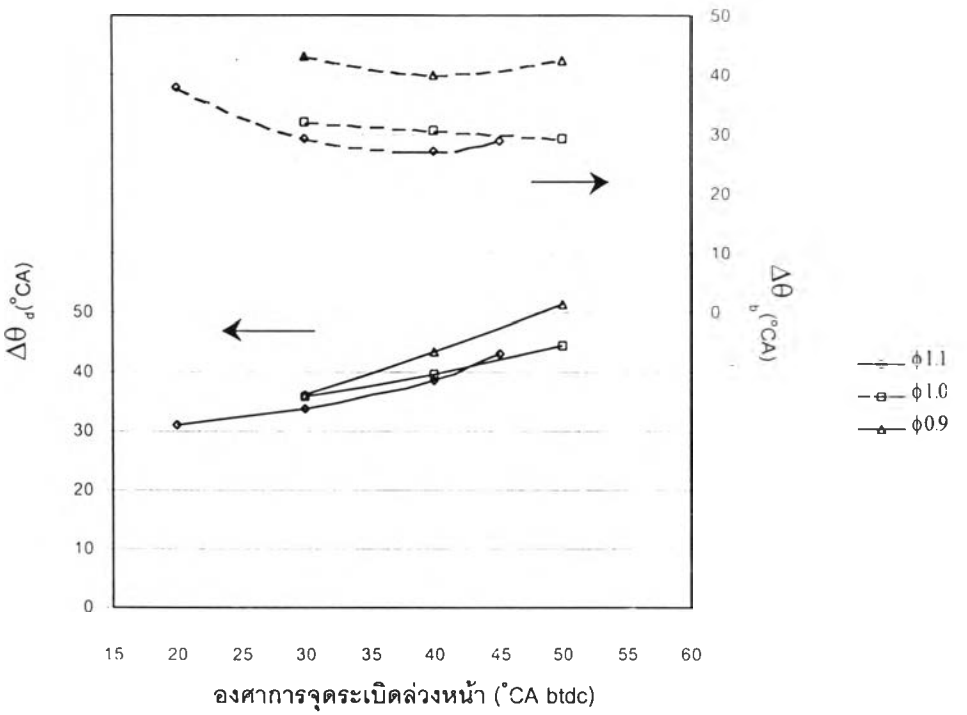


(ซ)



(ซ)

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 %ของ WOT **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



(ฌ)

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 %ของ WOT **(ฌ)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่อัตราส่วนผสมอากาศเชื้อเพลิง 1.1, 1.0 และ 0.9

จากรูป 4.6 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้นจนถึง MBT ซึ่งเป็นจุดที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดโดยไม่ knock และเมื่อเพิ่ม equivalence ratio จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้น

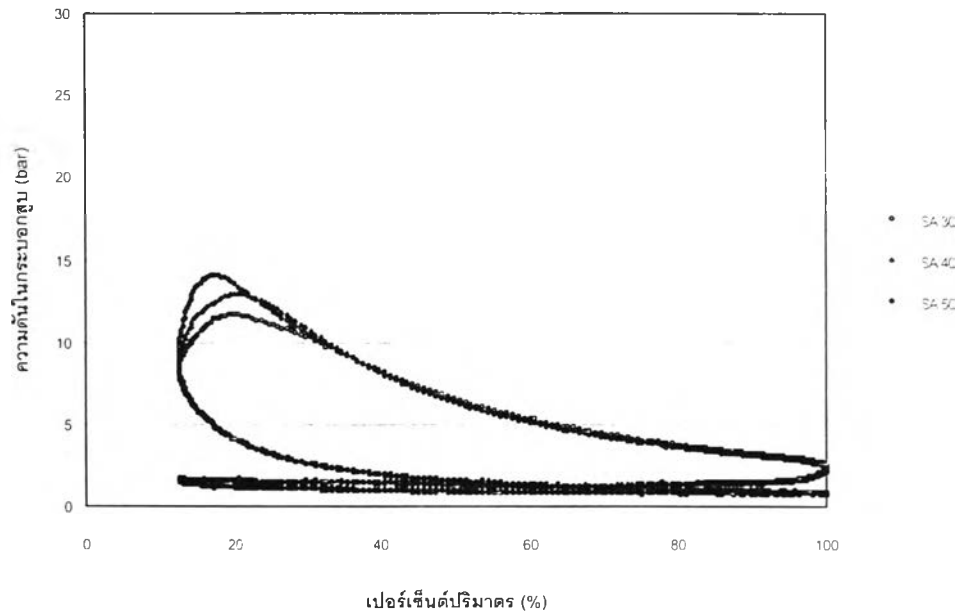
จากรูป 4.6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น bsfc. จะลดลงจนถึง MBT เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ bsfc. ระหว่าง ที่ equivalence ratio 1.0 กับ 1.1 จะเห็นว่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ตลอดช่วงยกเว้นที่ 50 °CA btdc โดยที่ equivalence ratio 1.1 ซึ่งเกิด knock ที่จุดนี้จะมีค่า bsfc. สูงกว่า และเมื่อลดเชื้อเพลิงจน equivalence ratio เป็น 0.9 bsfc. จะสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วงที่องศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามาก ในขณะที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่ำ bsfc. ที่ส่วน equivalence ratio 0.9 จะสูงกว่า 1.0 และ 1.1 ค่อนข้างมาก

จากรูป 4.6 (ค) ถึง (ซ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดต่างๆ คู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง Relative MFB (mass fraction burned) กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9 ,1.0 และ 1.1 จากแนวโน้มของกราฟทั้งหมดจะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจะเป็นผลให้ความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้น และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทำให้ช่วงที่เกิดการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เกิดขึ้นใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบสูง การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ทำให้ความดันสูงสุดมีค่ามาก

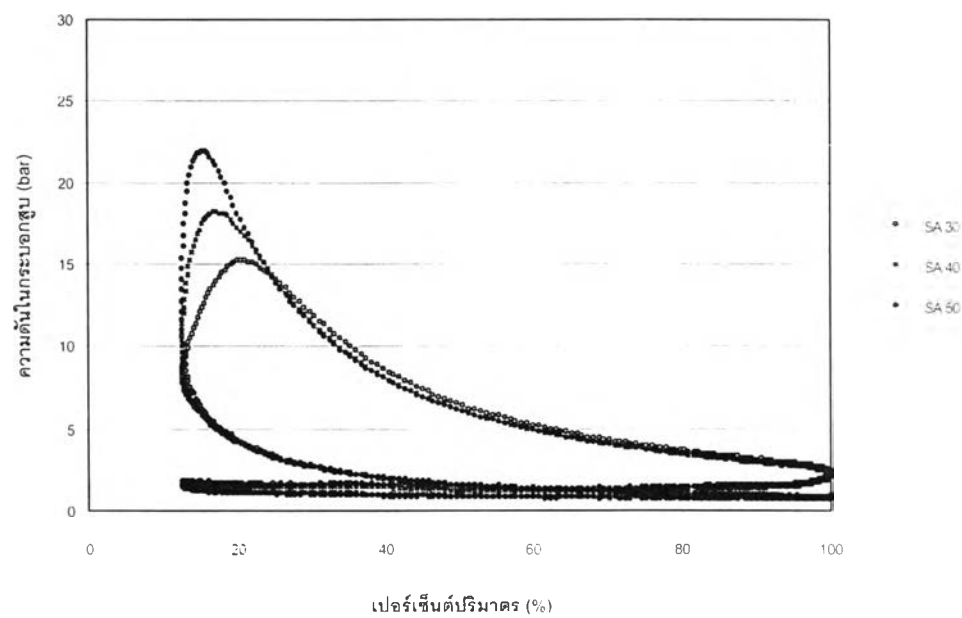
สำหรับผลของ equivalence ratio ที่มีต่อลักษณะความดันในกระบอกสูบนั้น หากเปรียบเทียบระหว่าง equivalence ratio เป็น 0.9,1.0 และ 1.1 ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น 30 และ 40 ° CA btdc จะพบว่าเมื่อเพิ่ม equivalence ratio ให้หนาขึ้น จะได้ความดันสูงสุดเพิ่มขึ้น และองศาเพลาเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดจะเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนผสมที่หนาจะมีอัตราการสันดาปที่รวดกว่า ทำให้มีความดันสูงสุดสูง และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบน นอกจากนั้นจะสังเกตได้ว่า ที่ equivalence ratio 1.0 สามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่าที่ equivalence ratio เป็น 1.1 ซึ่งผลจากการเพิ่มองศาจุดระเบิด ณ equivqlence ratio เป็น 1.0 ดังกล่าว เครื่องยนต์มีการ knock บ้างเป็นบางวัฏจักร ซึ่งในการใช้งานคงต้องละจุดนี้ไว้ ซึ่งผลที่พบนี้ต่างไปจากที่อัตราเร็วรอบ 1500 rev./min. ซึ่ง equivalence ratio 1.0 เพิ่มองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าได้น้อยที่สุด นอกจากนั้นจะสังเกตได้ว่าที่ equivalence ratio 1.1 กราฟความดันที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น 40 และ 45 °CA btdc มีความใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการวัดแรงบิดที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 40 และ 45 °CA btdc มีค่าใกล้เคียงกัน และเกิดการ knock เมื่อค่าองศาการจุดระเบิดสูงกว่า 45 °CA btdc

จากรูป 4.6 (ฌ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle: $\Delta\theta_d$) และ ช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10 ถึง 90% (rapid burned angle: $\Delta\theta_b$) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ พบว่า เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_d$ มีแนวโน้มนานขึ้น เนื่องจากองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มาก หมายถึงเกิดการจุดระเบิดในช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้า เป็นผลให้อัตราการสันดาปในช่วงแรกเกิดขึ้นช้า นอกจากนั้นจากกราฟจะเห็น

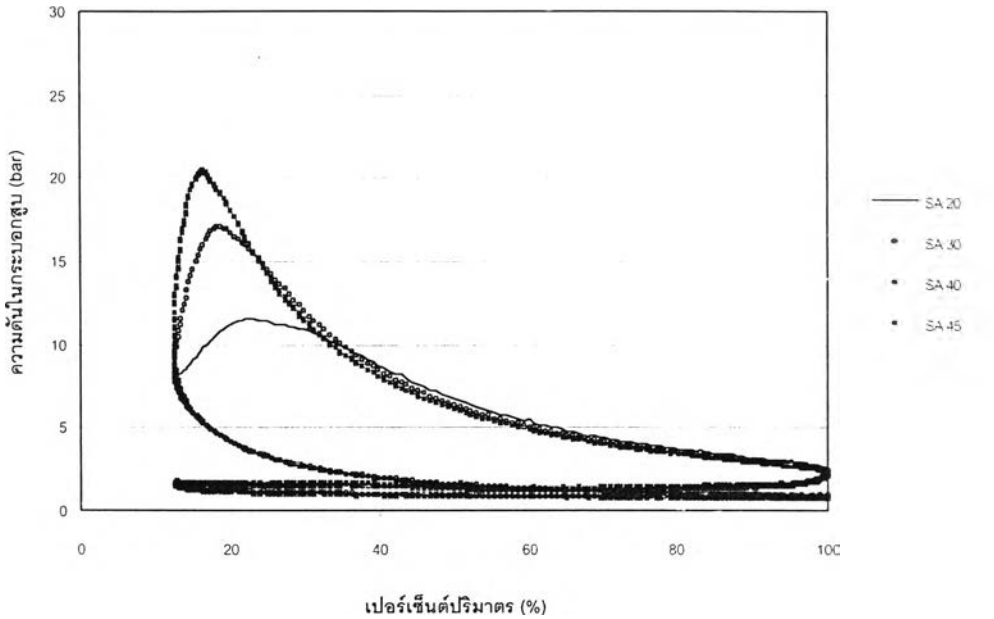
ว่า equivalence ratio มีผลต่อ $\Delta\theta_d$ คือ เมื่อ equivalence ratio มากทำให้ $\Delta\theta_d$ ลดลง เนื่องจากส่วนผสมที่หนาขึ้นจะมี flame speed สูงกว่า เมื่อพิจารณาอัตราการสันดาปในช่วง rapid burned จะพบว่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้วลดลงเนื่องจากการเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าทำให้ช่วงที่เกิด rapid burned นี้ตกอยู่ในช่วงใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันและความหนาแน่นของส่วนผสมสูง อัตราการเผาๆไหม้จะเกิดขึ้นรวดเร็ว ทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ส่วนผลของ equivalence ratio ที่มีต่อ $\Delta\theta_b$ จะเห็นว่าเมื่อ equivalence ratio เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก equivalence ratio ที่หนากว่าจะมี flame speed สูง การเพิ่ม equivalence ratio จึงมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ สั้นลงเช่นเดียวกันกับ $\Delta\theta_d$ โดยเฉพาะที่ equivalence ratio 0.9 จะมีช่วง $\Delta\theta_b$ ยาวกว่าที่ 1.0 อย่างเห็นได้ชัด



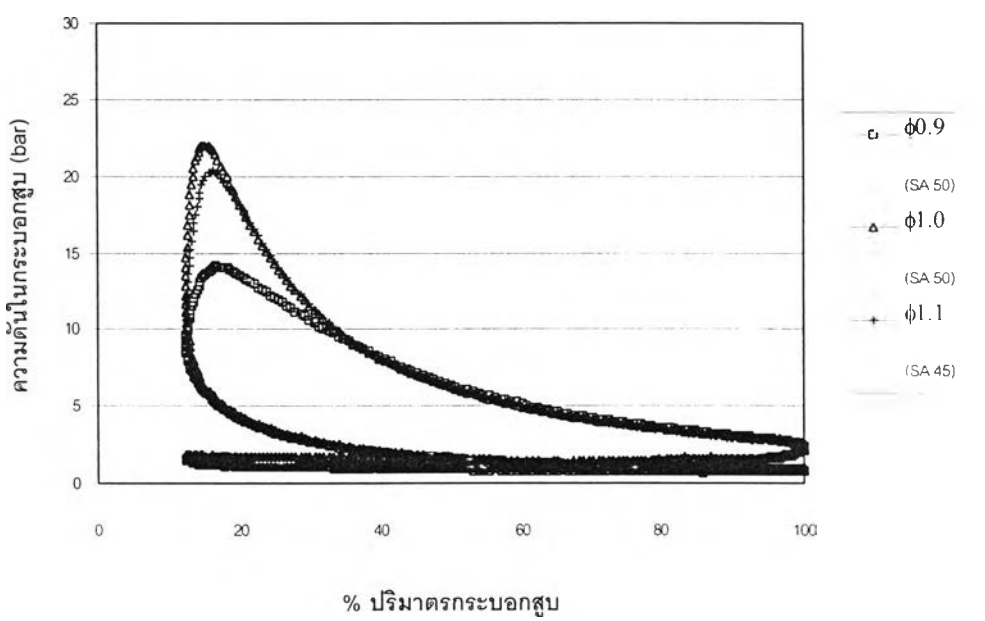
รูปที่ 4.6 (ญ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9



รูปที่ 4.6 (ฎ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0



รูปที่ 4.6 (ฏ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1

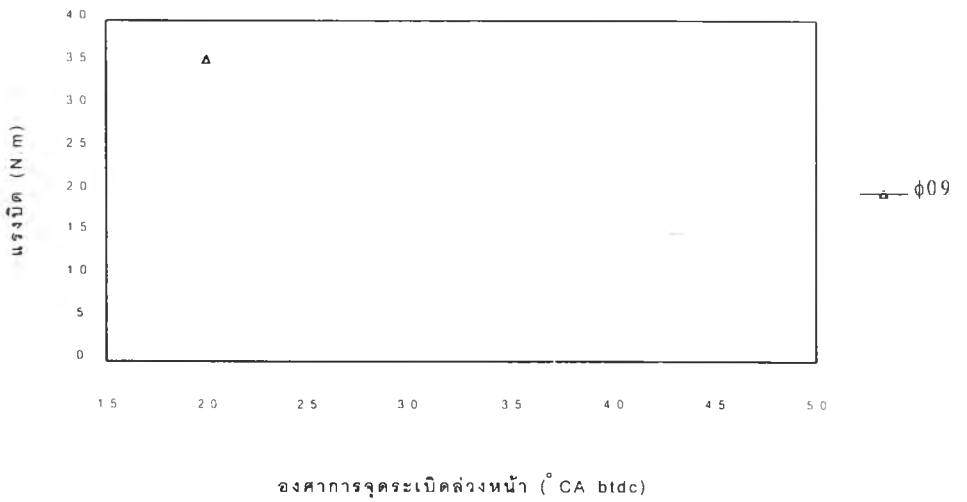


รูปที่ 4.6 (ฐ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9, 1.0 และ 1.1 โดยมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT

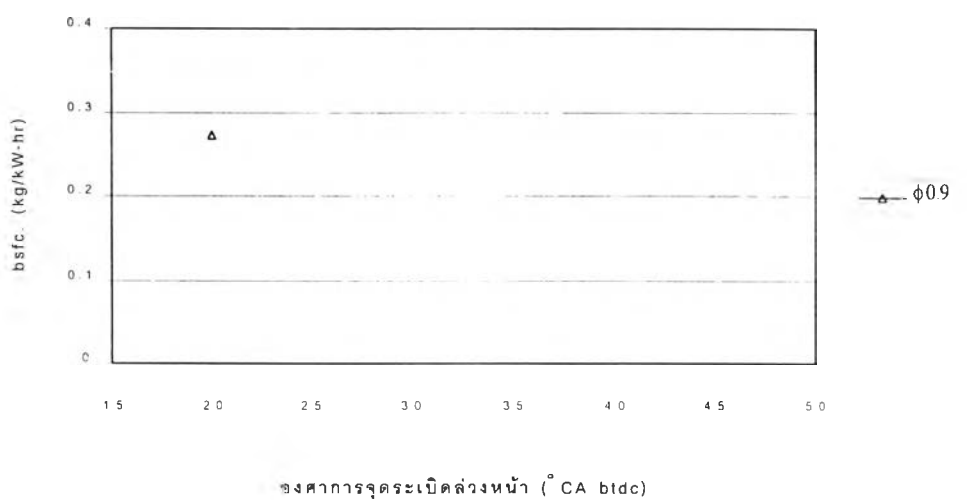
จากรูป 4.6 (ญ) ถึง (ฏ) แสดง P-V Diagram ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9, 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ความดันสูงสุดจะมากขึ้น เป็นผลให้งานที่ได้รับมากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของ P-V Diagram แสดงถึงงานที่ได้รับ แม้ว่าการที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มากขึ้นจะทำให้การสูญเสียในช่วงจังหวะอัดสูงขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะตามรูป 4.6 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า คือ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้สูงขึ้นจนถึง MBT

จากกราฟ 4.6 (ฐ) ซึ่งแสดง P-V diagram ที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ equivalence ratio 1.0 กับ 1.1 จะเห็นว่าที่ equivalence ratio 1.0 มีความดันสูงสุดสูงกว่า ถึงแม้จะมีมวลเชื้อเพลิงน้อยกว่าก็ตาม เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากกว่า แต่เมื่อเทียบกับที่ equivalence ratio 0.9 ซึ่งมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าใกล้เคียงกัน จะเห็นว่ามีความดันสูงสุดและงานต่ำกว่าที่ equivalence ratio 1.0 และ 1.1 อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งต่างไปจากที่ความเร็วรอบและอัตราการไหลอากาศอื่นๆ ซึ่งที่ equivalence ratio 0.9 จะมีความดันสูงสุดและงานใกล้เคียงกับที่ equivalence ratio 1.1 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟ P-V diagram ซึ่งแสดงถึงงานที่ได้ จะเห็นว่าสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะ ซึ่งพิจารณาได้จากกราฟแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าในรูป 4.6 (ก) คือ ที่ equivalence ratio 1.0 และ 1.1 มีแรงบิดและงานใกล้เคียงกัน ส่วนที่ equivalence ratio 0.9 มีแรงบิดและงานต่ำกว่าที่ equivalence ratio 1.0 และ 1.1 อย่างเห็นได้ชัด

4.2.7 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราไหลอากาศ 100 %

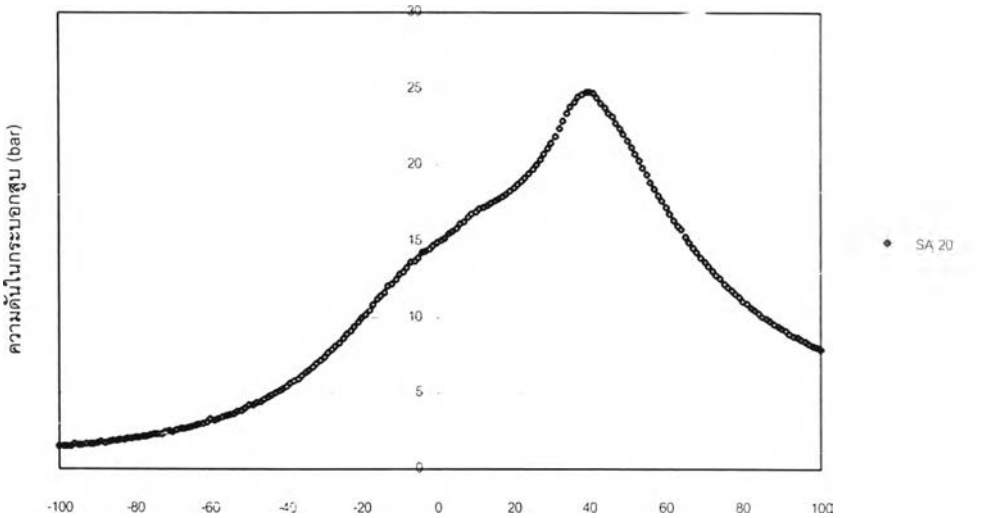


(ก)

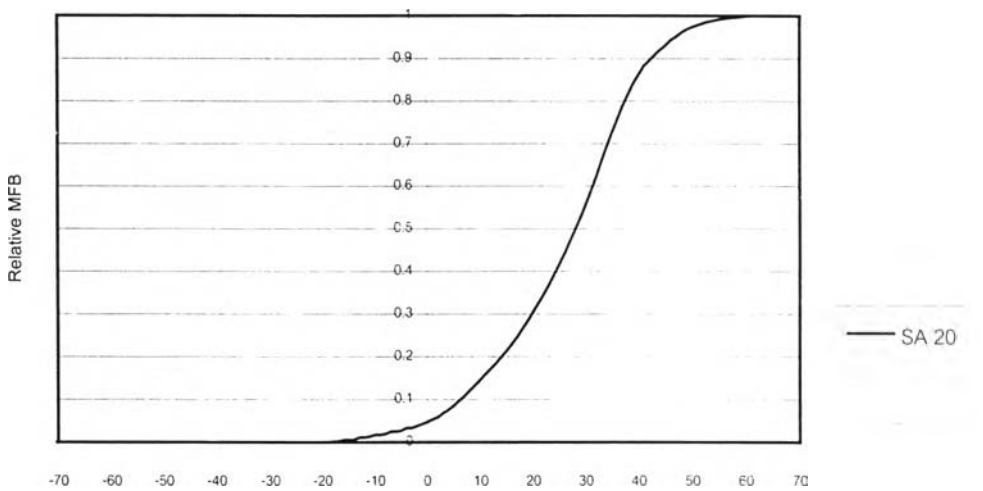


(ข)

รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio 0.9

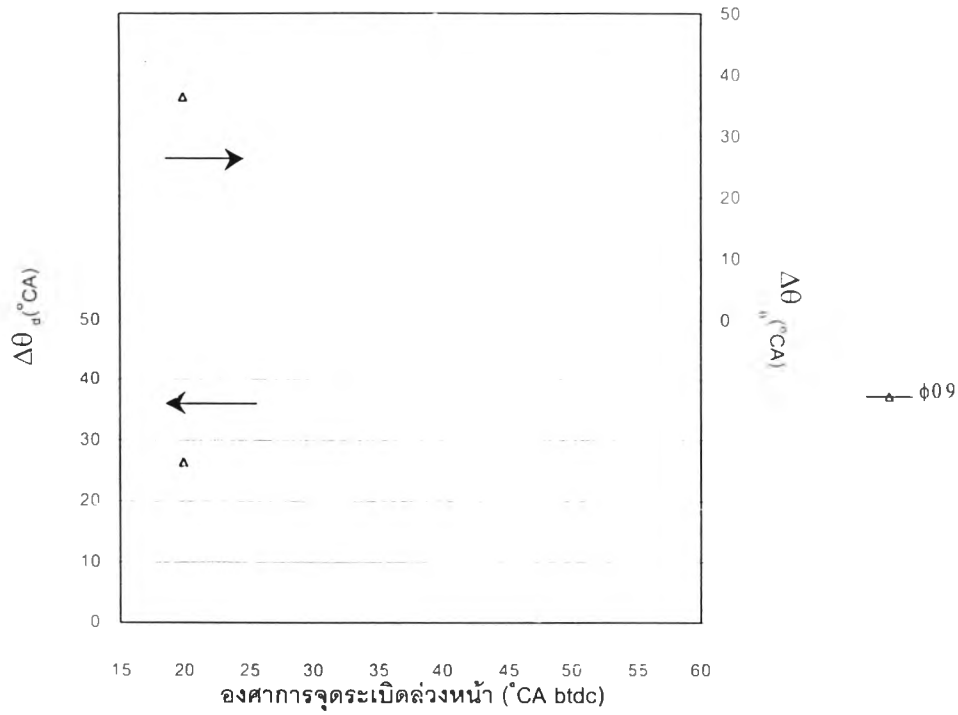


(ค)



(ง)

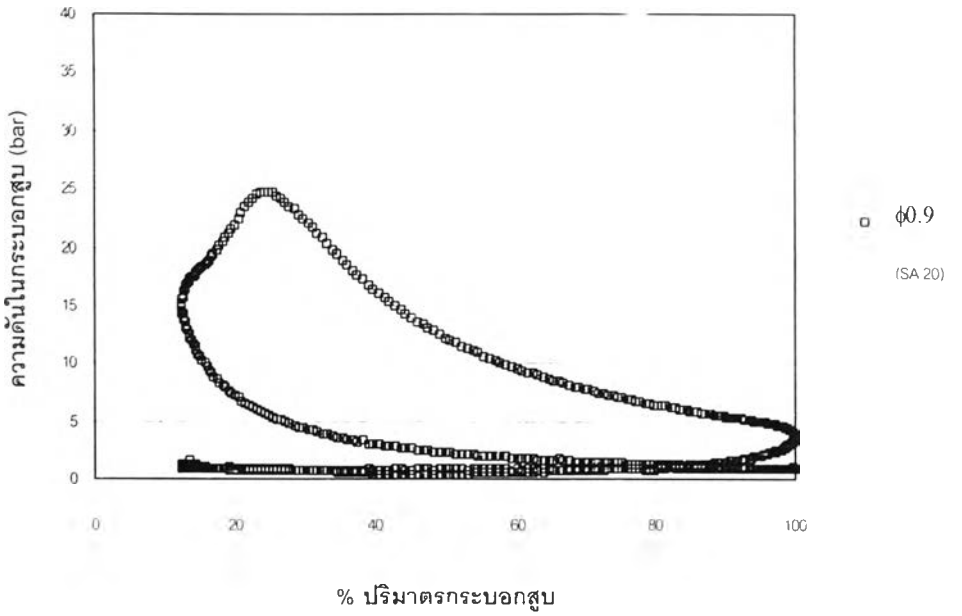
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 20 °CA btdc เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9



(จ)

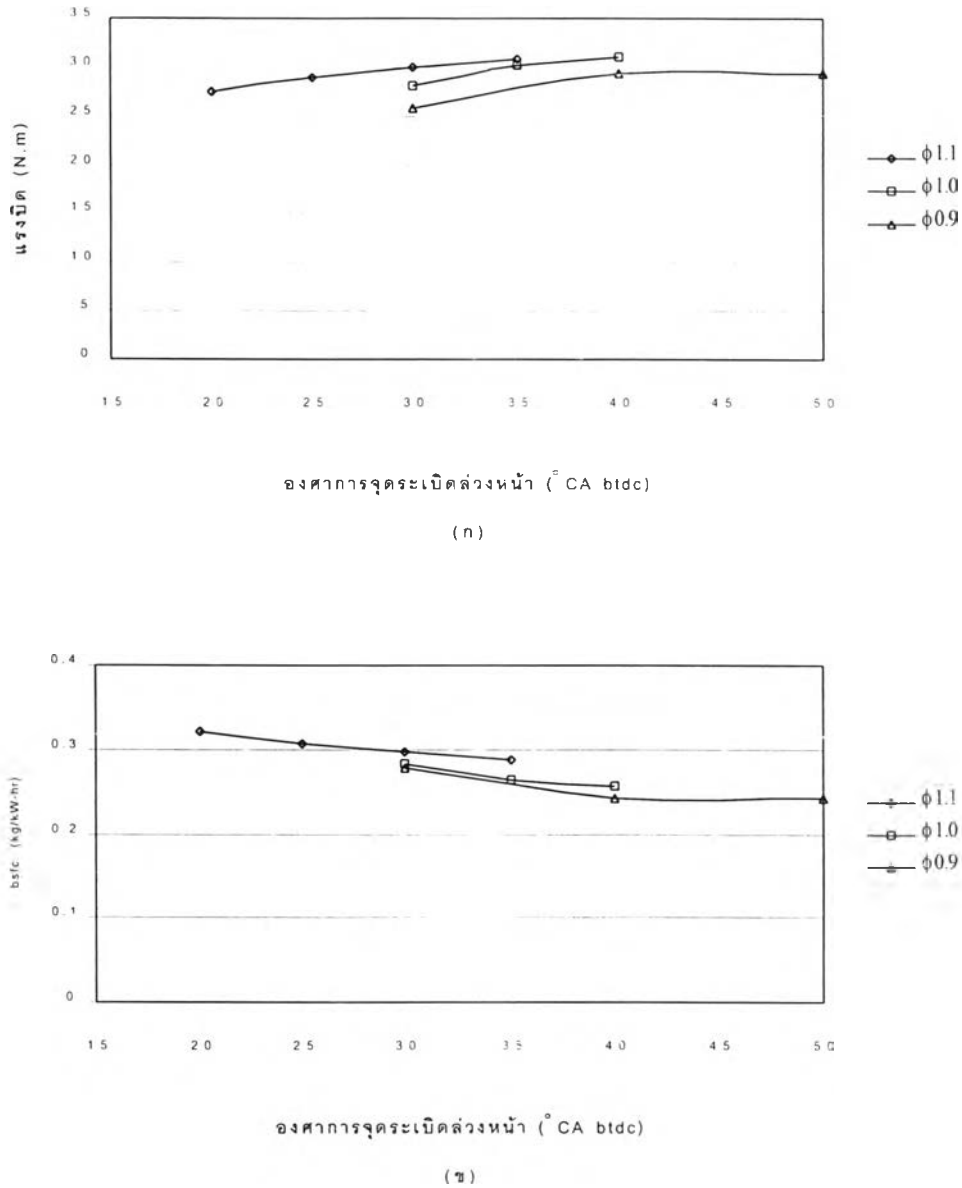
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100 % (WOT) **(จ)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่อัตราส่วนผสมอากาศเชื้อเพลิง 0.9 องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 20°CA btdc

จุดที่ทดสอบได้มีเพียงจุดเดียวคือที่ equivalence ratio 0.9 และองศาจุดระเบิดล่วงหน้า 20 ° CA btdc เนื่องจาก ไม่สามารถปรับปริมาณเชื้อเพลิงให้มี equivalence ratio สูงกว่า 0.9 ได้ ด้วยข้อจำกัดของคาร์บิวเรเตอร์ที่ใช้ และที่ equivalence ratio 0.9 นี้เมื่อปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากกว่า 20 °CA btdc จะเกิดการ knock ทำให้ทดสอบได้เพียงจุดเดียว

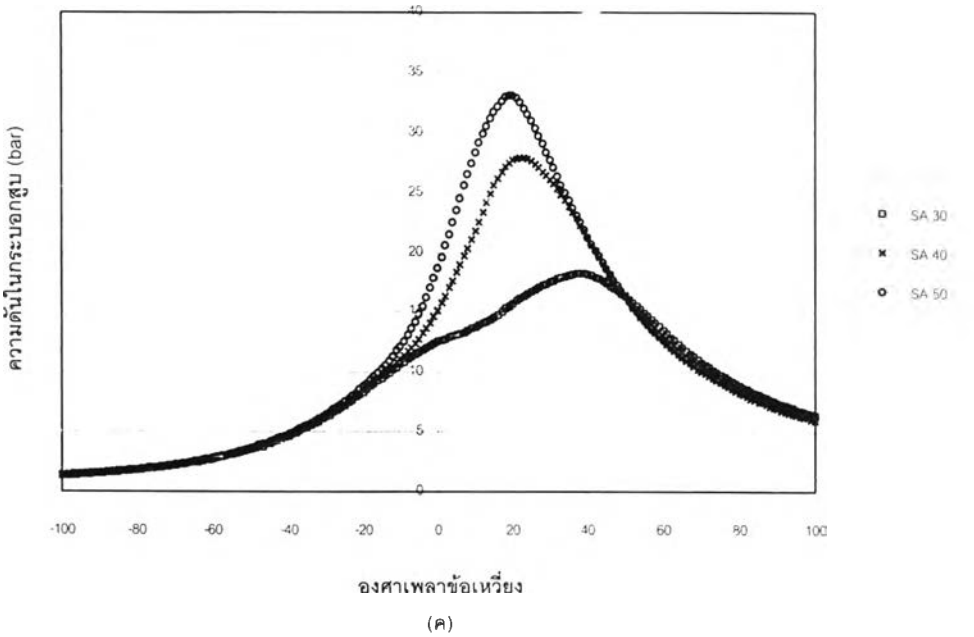


รูปที่ 4.7 **(ฉ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 100% (WOT) เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9

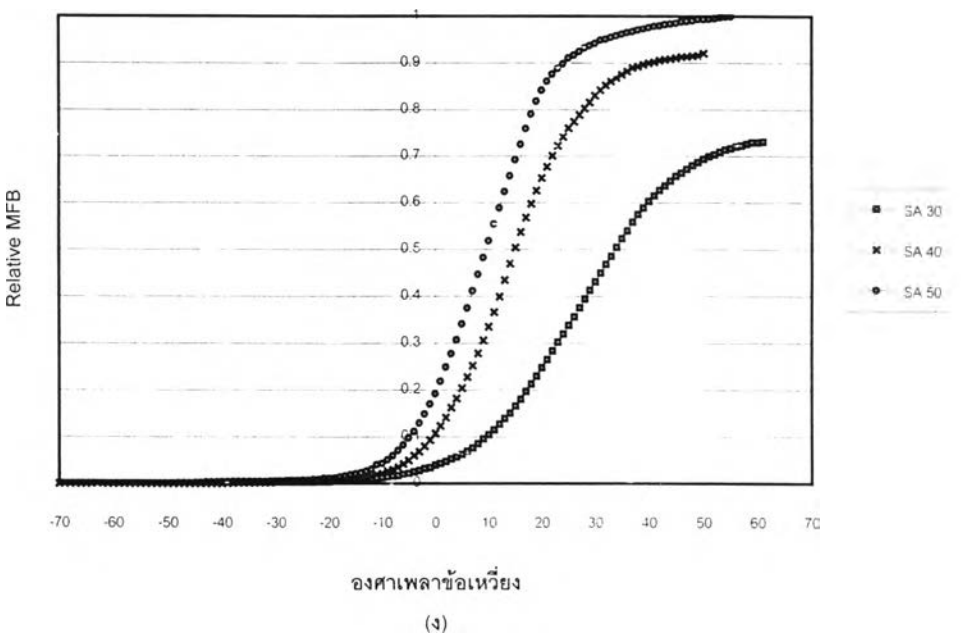
4.2.8 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราไหลอากาศ 75 % ของ WOT



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ equivalence ratio 1.1 , 1.0 และ 0.9

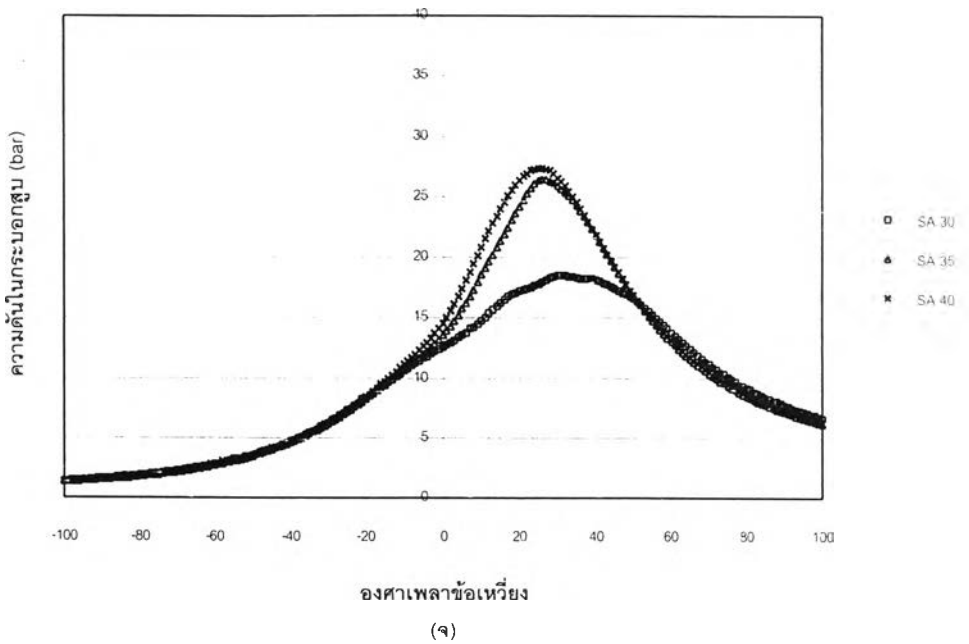


(ค)

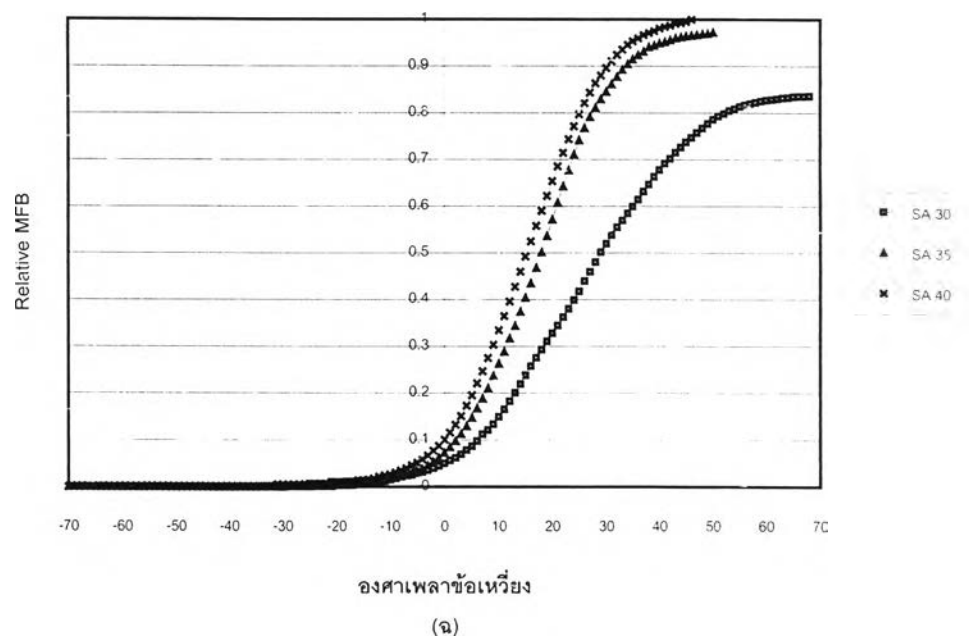


(ง)

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 %ของ WOT **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9

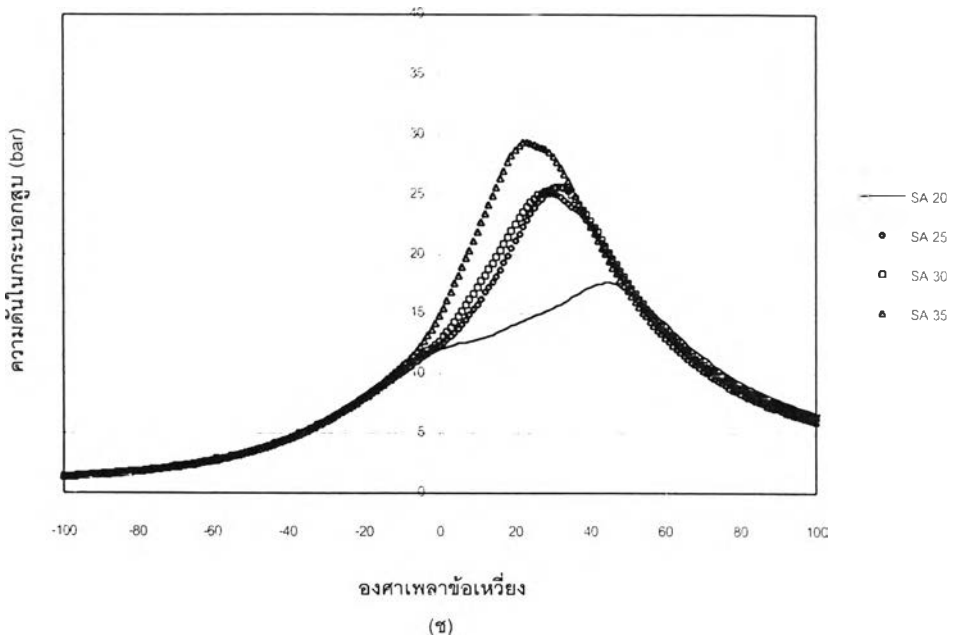


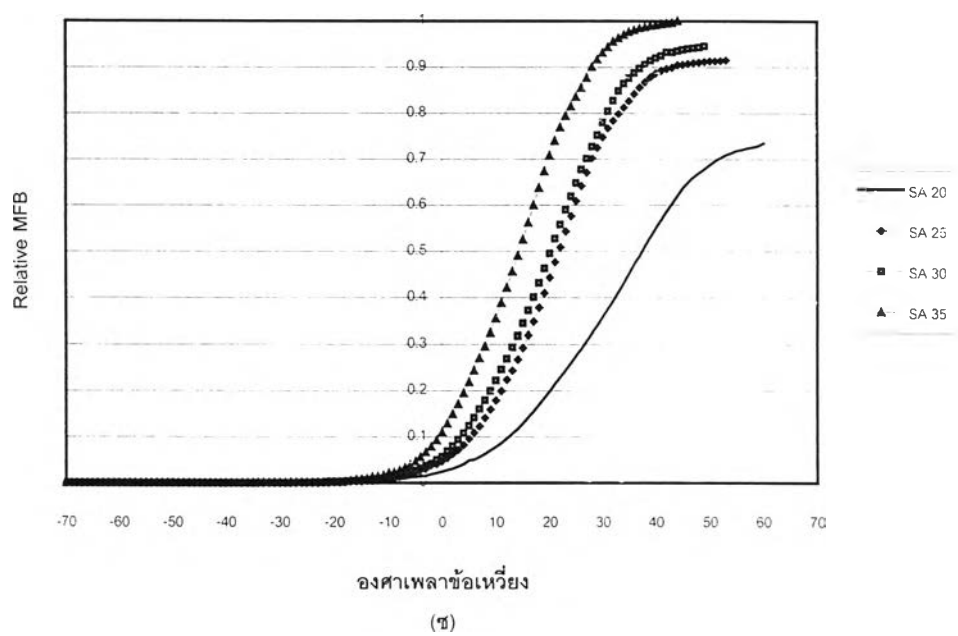
(จ)



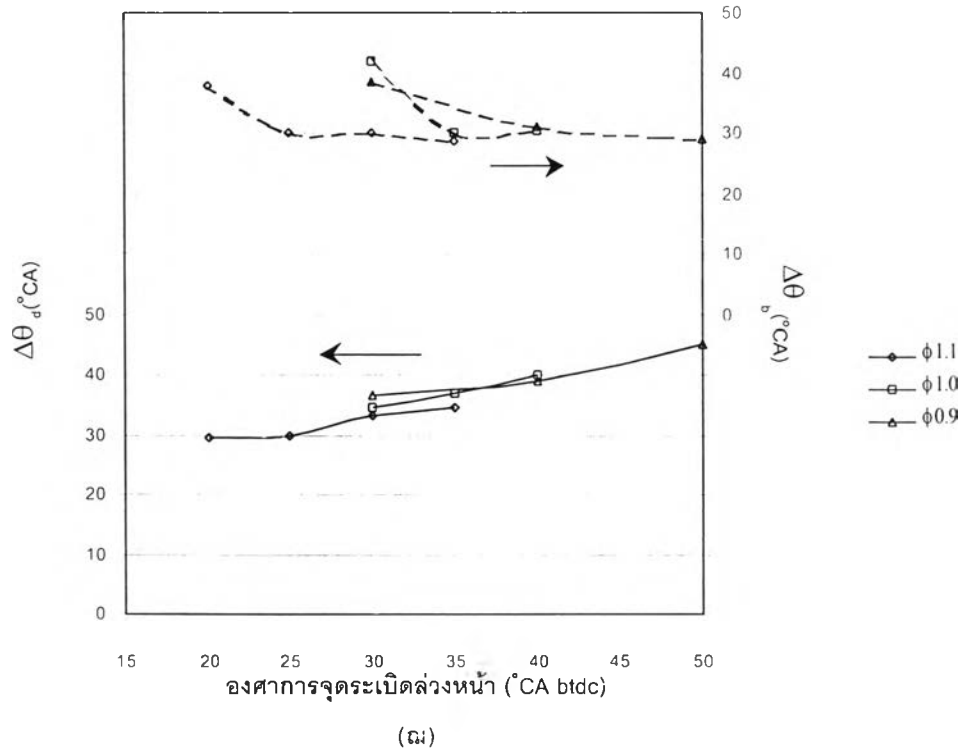
(ฉ)

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT (จ) กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ (ฉ) กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratioเป็น 1.0





รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



(ฌ)

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75 % ของ WOT **(ฌ)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่ equivalence ratio 1.1, 1.0 และ 0.9

จากรูป 4.8 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratioต่างๆ จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้นจนถึง MBT ซึ่งเป็นจุดที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดโดยไม่ knock และเมื่อเพิ่ม equivalence ratio จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้น โดยที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงอากาศเป็น 1.1 เครื่องยนต์มีแรงบิดสูงสุด และจากกราฟจะเห็นว่าที่ส่วนผสมบางสามารถให้แรงบิดใกล้เคียงกับเมื่อใช้ส่วนผสมหนาได้โดยการเพิ่มองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่สูงขึ้น

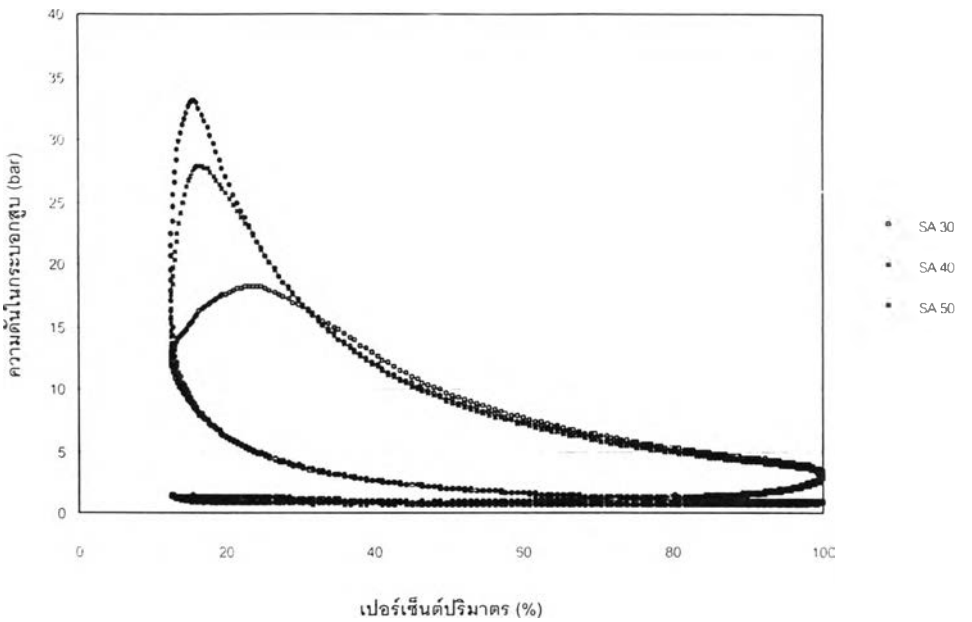
จากรูป 4.8 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น bsfc. จะลดลงจนถึง MBT นอกจากนั้นจะเห็นว่าการลดเชื้อเพลิงซึ่งทำให้ส่วนผสมบางลง จะทำให้ bsfc. ต่ำลง เนื่องมากจากส่วนผสมบางจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่า จะเห็นว่าที่ equivalence ratio เป็น 0.9 จะมี bsfc. ต่ำสุด

จากรูป 4.8 (ค) ถึง (ญ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดต่างๆ คู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง Relative MFB (mass fraction burned) กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9 ,1.0 และ 1.1 จากแนวโน้มของกราฟทั้งหมดจะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจะเป็นผลให้ความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้น และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทำให้ช่วงที่เกิดการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ คือ ช่วง flame development period เกิดขึ้นใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบสูง การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ทำให้ความดันสูงสุดมีค่ามาก

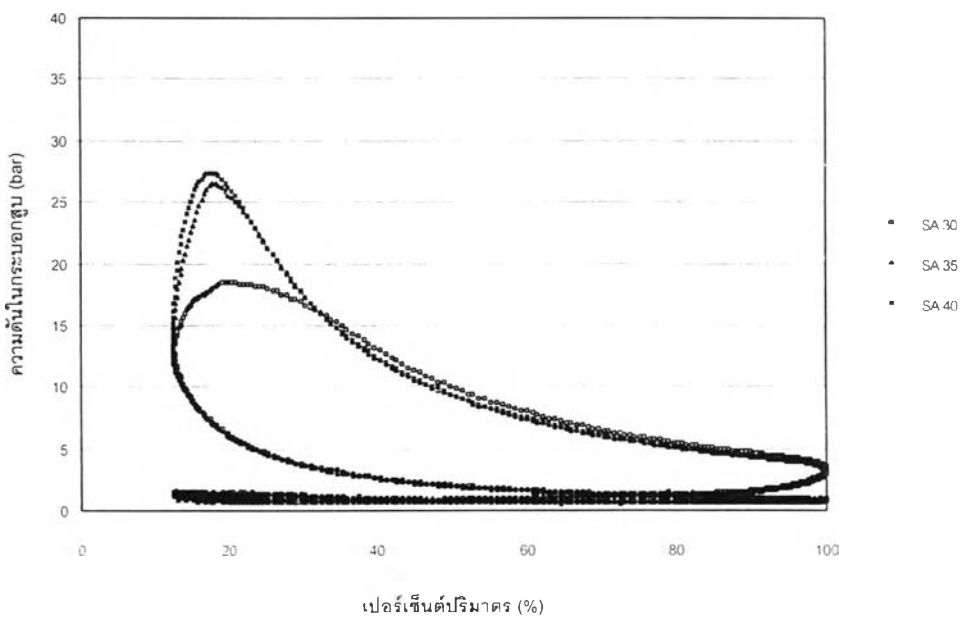
เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ equivalence ratio เป็น 0.9,1.0 และ 1.1 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ equivalence ratio เป็น 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่าที่ 1.1 มีความดันสูงสุดมากกว่า ถึงแม้องศาจุดระเบิดล่วงหน้าจะน้อยกว่า อันเนื่องมาจากมีเชื้อเพลิงมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง equivalence ratio เป็น 1.0 กับ 0.9 จะเห็นว่าที่ equivalence ratio เป็น 0.9 มีความดันสูงสุดมากกว่าที่ 1.0 เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มาก

จากรูป 4.8 (ฌ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle: $\Delta\theta_d$) และ ช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10 ถึง 90% (rapid burned angle: $\Delta\theta_b$) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ พบว่า เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_d$ มีแนวโน้มกว้างขึ้น เนื่องจากองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มาก จะทำให้เกิดการจุดระเบิดในช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบต่ำ อัตราการเกิดปฏิกริยาเกิดขึ้นช้า เป็นผลให้อัตราการสันดาปในช่วงแรกเกิดขึ้นช้า นอกจากนั้นจากกราฟจะเห็นว่า equivalence ratioมีผลต่อ $\Delta\theta_d$ คือ เมื่อ equivalence ratio มากทำให้ $\Delta\theta_d$ ลดลง เนื่องจากส่วนผสมที่หนาขึ้นจะมี flame speed สูงกว่า สำหรับการสันดาปในช่วง rapid burned จากแนวโน้มโดยรวมจะพบว่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าทำให้ช่วงที่เกิด rapid burned นี้ตกอยู่ในช่วงใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันและความหนาแน่นของส่วนผสมสูง อัตราการสันดาปจะเกิดขึ้นรวดเร็ว ทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ส่วนผลของ equivalence ratio ที่มีต่อ $\Delta\theta_b$ จะเห็นว่าเมื่อ equivalence ratio เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก equivalence

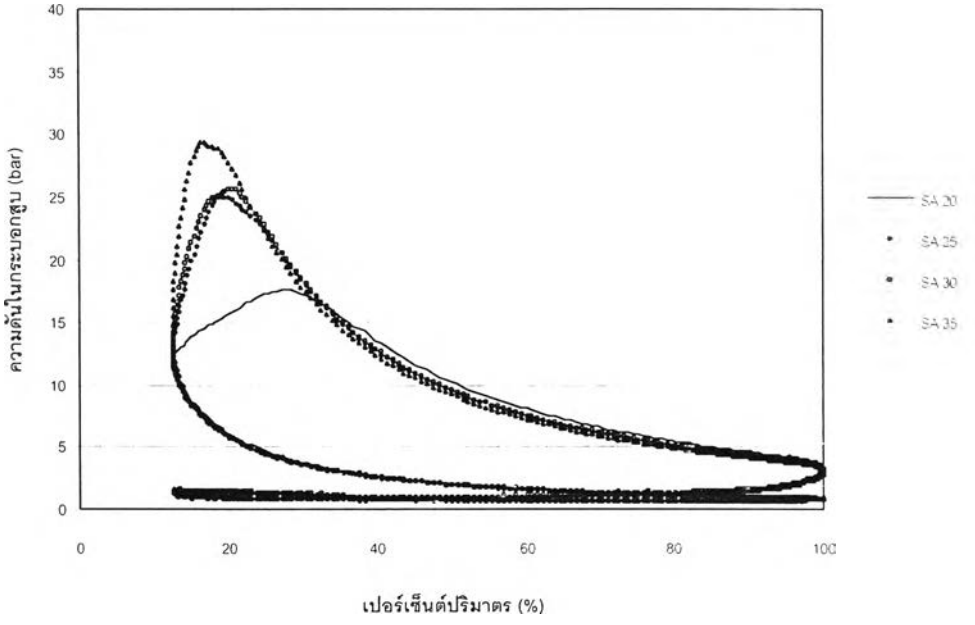
ratio ที่หนากว่าจะมี flame speed สูง การเพิ่ม equivalence ratio จึงมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ สั้นลงเช่นเดียวกันกับ $\Delta\theta_d$



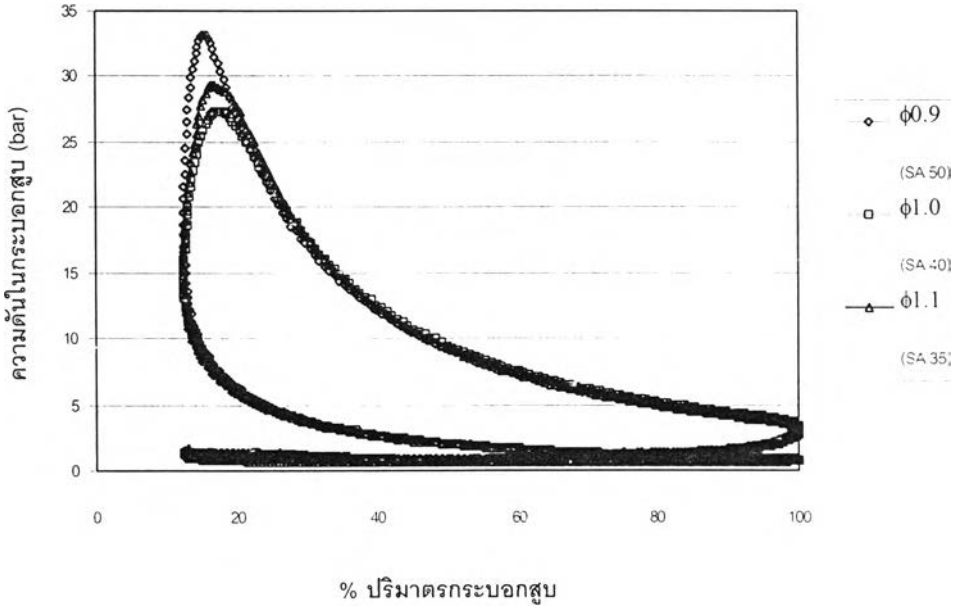
รูปที่ 4.8 (ญ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9



รูปที่ 4.8 (ฎ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0



รูปที่ 4.8 (ฏ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1

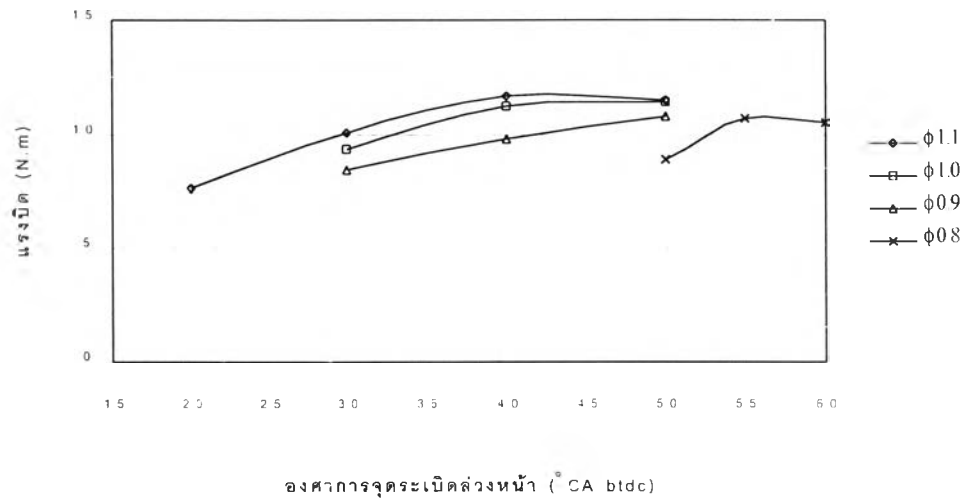


รูปที่ 4.8 (ฐ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 1800 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9, 1.0 และ 1.1 โดยมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT

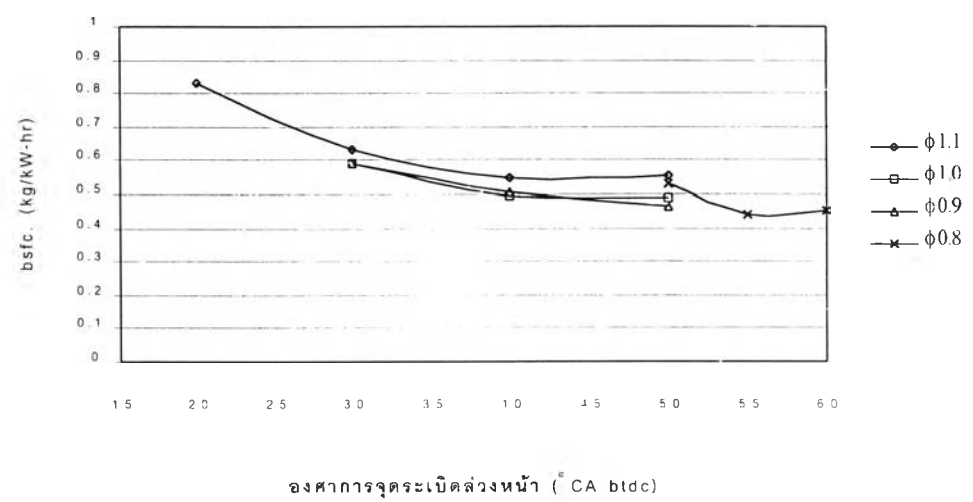
จากรูป 4.8 (ญ) ถึง (ฎ) แสดง P-V Diagram ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9, 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ความดันสูงสุดจะมากขึ้น เป็นผลให้งานที่ได้รับมากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของ P-V Diagram แสดงถึงงานที่ได้รับ แม้ว่าการที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มากขึ้นจะทำให้การสูญเสียในช่วงจังหวะอัดสูงขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะตามรูป 4.8 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า คือ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้สูงขึ้นจนถึง MBT

จากกราฟ 4.8 (ฐ) ซึ่งแสดง P-V diagram ที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ เมื่อ องศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT จะเห็นว่าที่ equivalence ratio 0.9 จะมีความดันสูงสุดมากที่สุด ถึงแม้จะมีมวลเชื้อเพลิงน้อยก็ตาม เนื่องจากสามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากถึง 50 °CA btdc แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ equivalence ratio 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่า equivalence ratio 1.1 มีความดันสูงสุดมากกว่า ทั้งที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าน้อยกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ equivalence ratio 1.1 มีอัตราการสันดาปที่เร็วกว่า และมีมวลเชื้อเพลิงมากกว่าที่ equivalence ratio 1.0 อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากรูปที่ 4.8 (จ) จะเห็นว่าที่ equivalence ratio 1.0 ความดันสูงสุดที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 40 °CA btdcน่าจะมีแนวโน้มที่สูงกว่านี้ ซึ่งผลที่ได้เช่นนี้อาจเกิดจาก cycle by cycle variation ทำให้ข้อมูลความดันที่ได้เป็นวัฏจักรที่ค่อนข้างมีความเบี่ยงเบนสูง

4.2.9 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Ricardo E6 ที่อัตราเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราไหลอากาศ 50 % ของ WOT

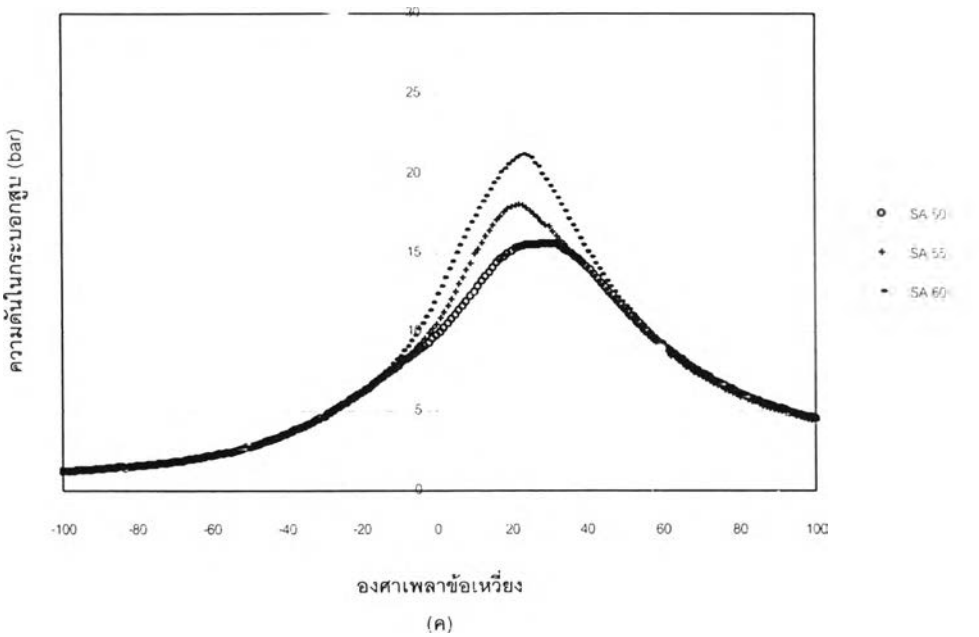


(ก)

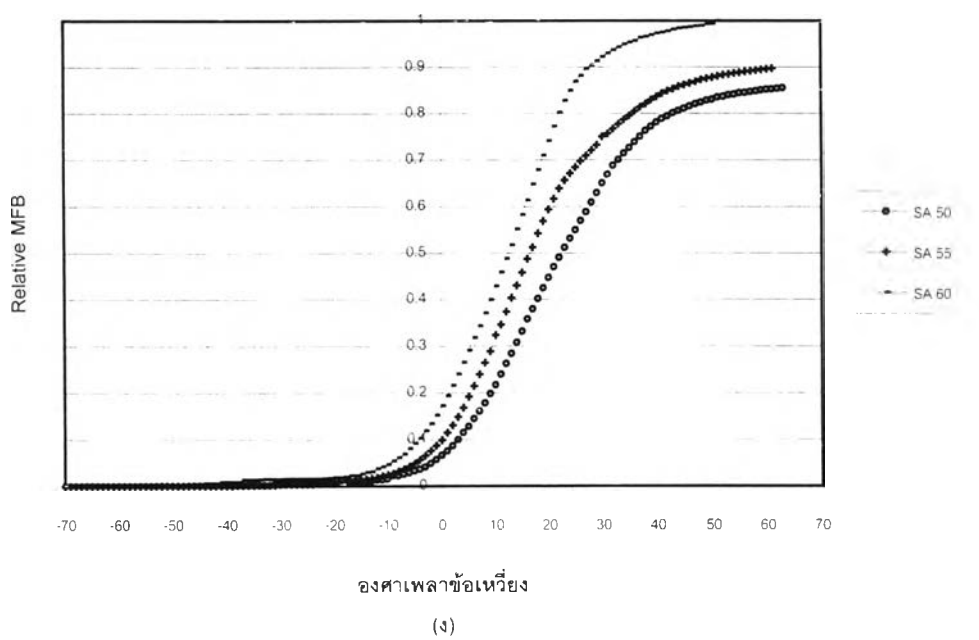


(ข)

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(ก)** ความสัมพันธ์ของแรงบิด และ **(ข)** ความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio 1.1 , 1.0 , 0.9 และ 0.8

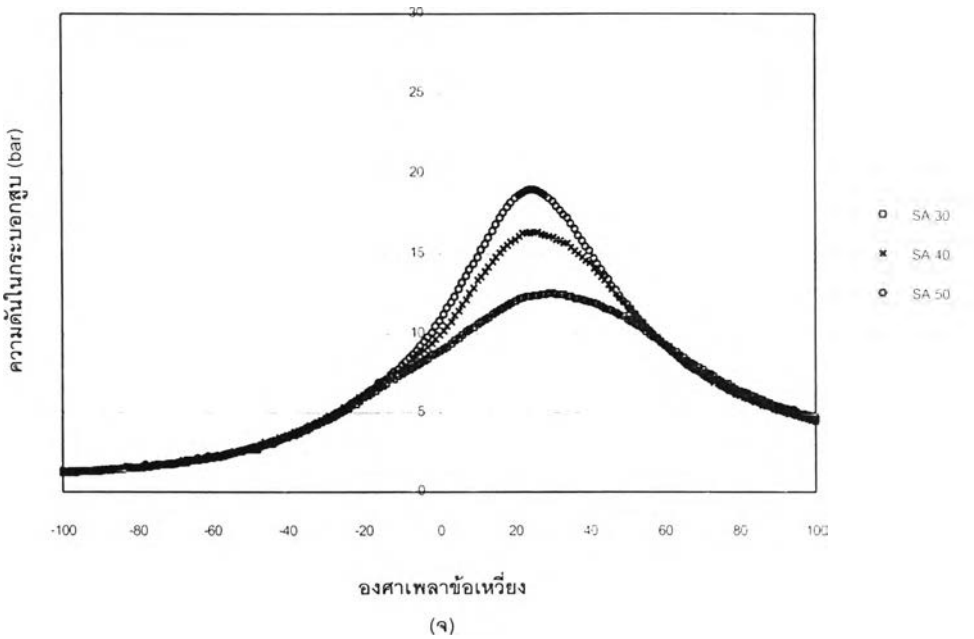


(ค)

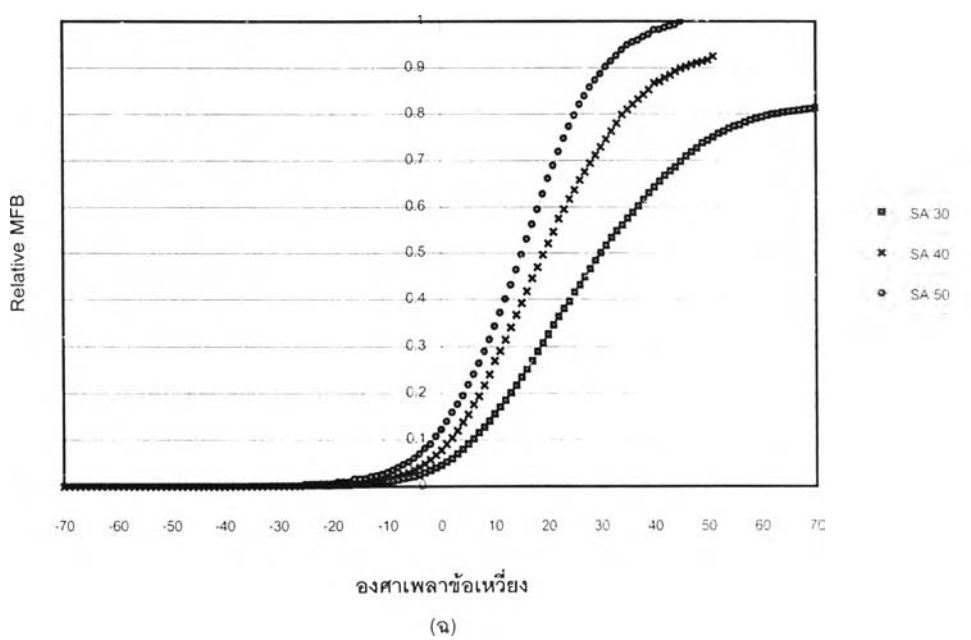


(ง)

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(ค)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ง)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8

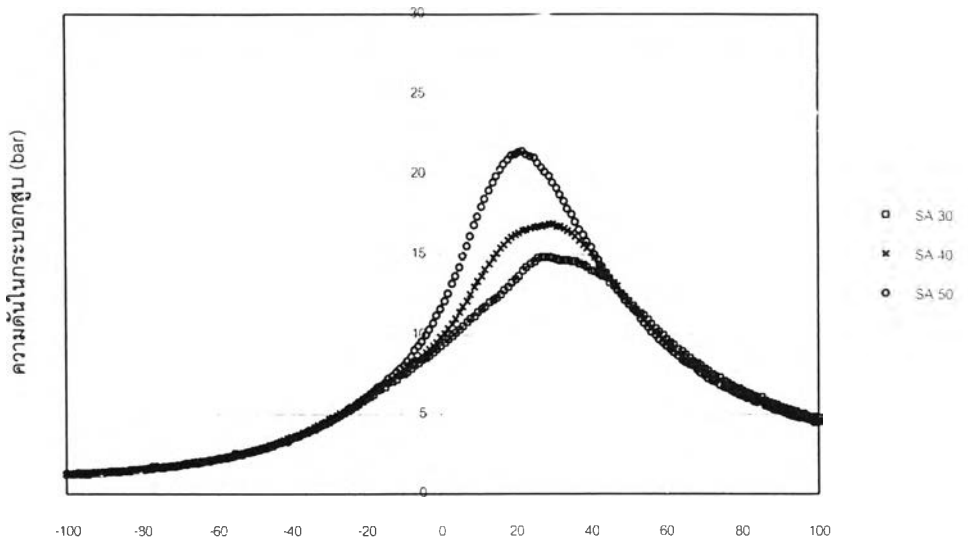


(จ)

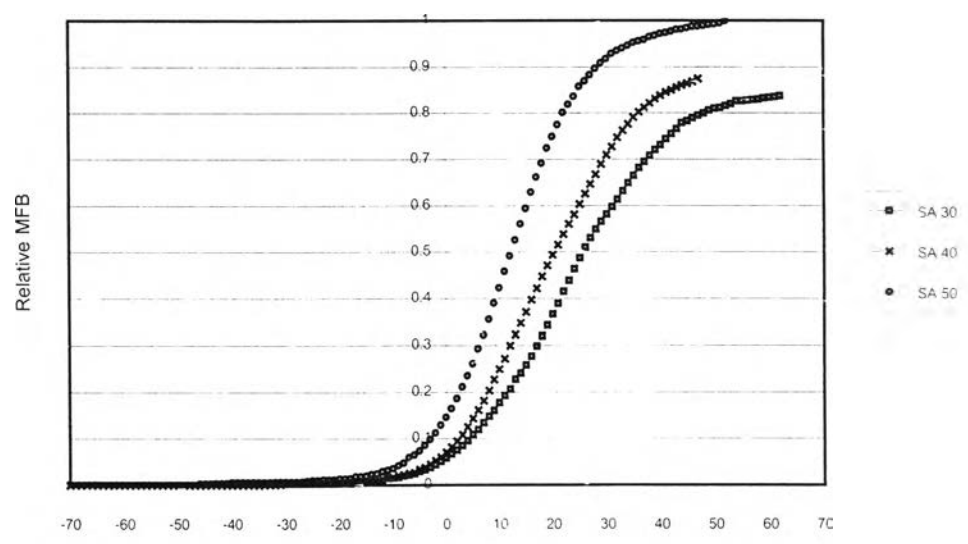


(ฉ)

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 %ของ WOT **(จ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ฉ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9

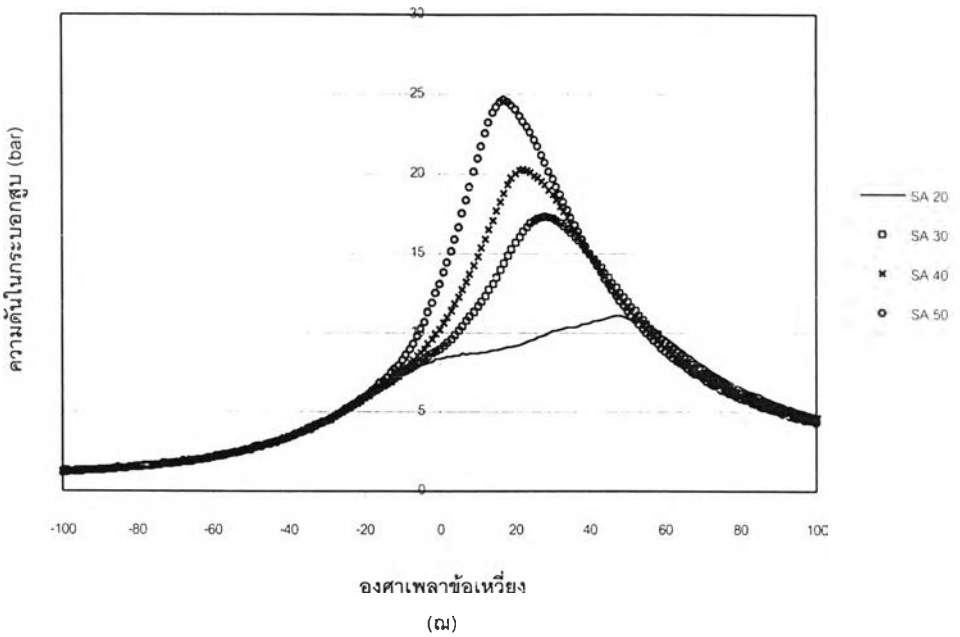


(ซ)

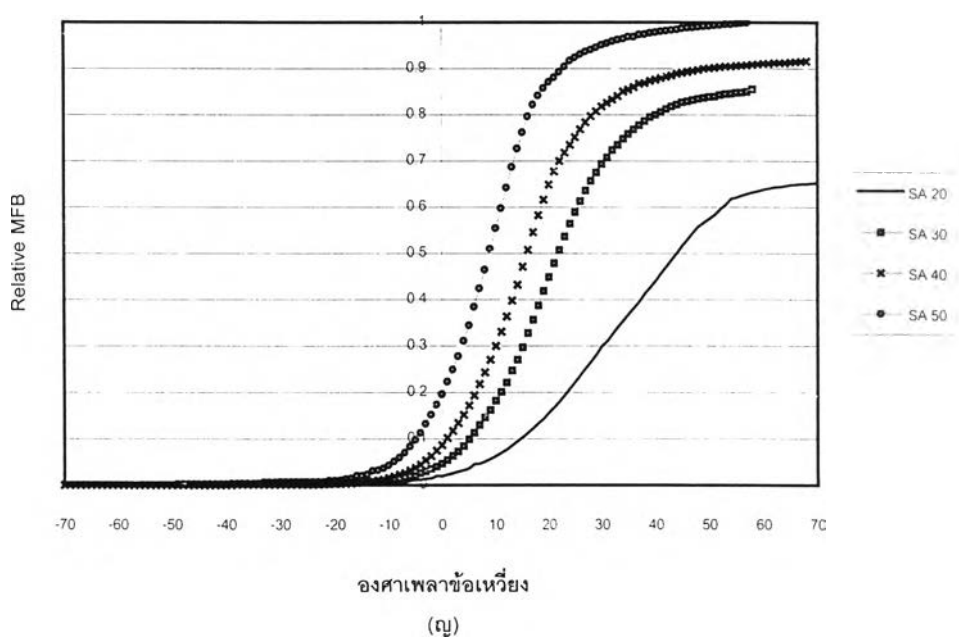


(ซ)

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ซ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0

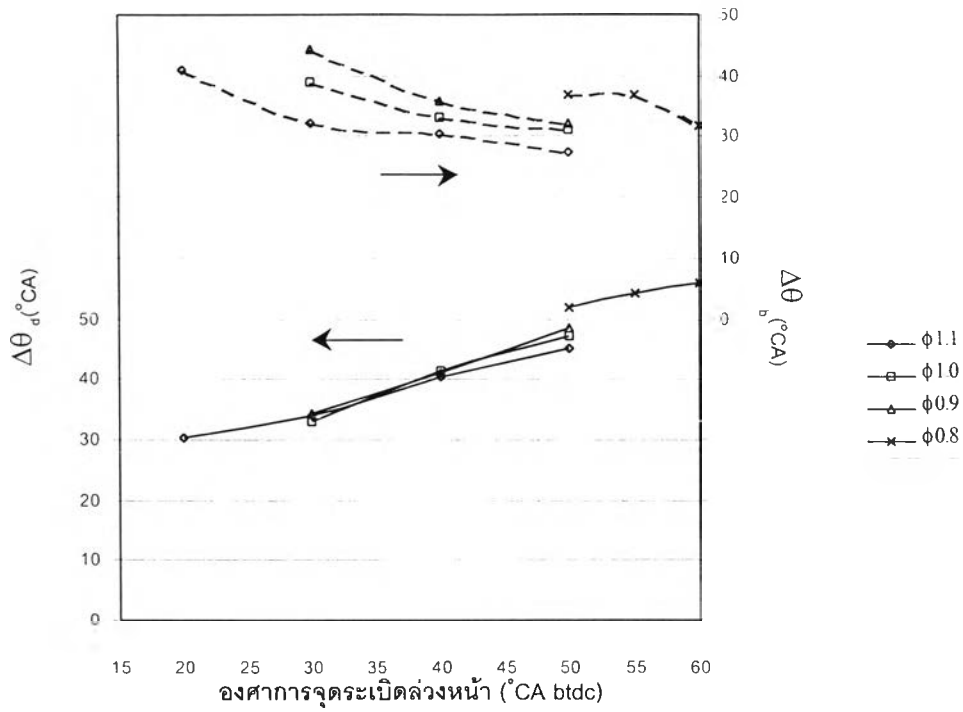


(ฌ)



(ญ)

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 %ของ WOT **(ฌ)** กราฟความสัมพันธ์ความดัน และ **(ญ)** กราฟความสัมพันธ์ Relative MFB กับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



(ฎ)

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดสอบ ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50 % ของ WOT (ฎ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% ($\Delta\theta_d$) และ จาก 10% ถึง 90% ($\Delta\theta_b$) ที่อัตราส่วนผสมอากาศเชื้อเพลิง 1.1, 1.0, 0.9 และ 0.8

จากรูป 4.9 (ก) แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้นจนถึง MBT ซึ่งเป็นจุดที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดโดยไม่ knock และเมื่อเพิ่ม equivalence ratio จะทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดมากขึ้น โดยที่ equivalence ratio เป็น 1.1 เครื่องยนต์มีแรงบิดสูงสุด

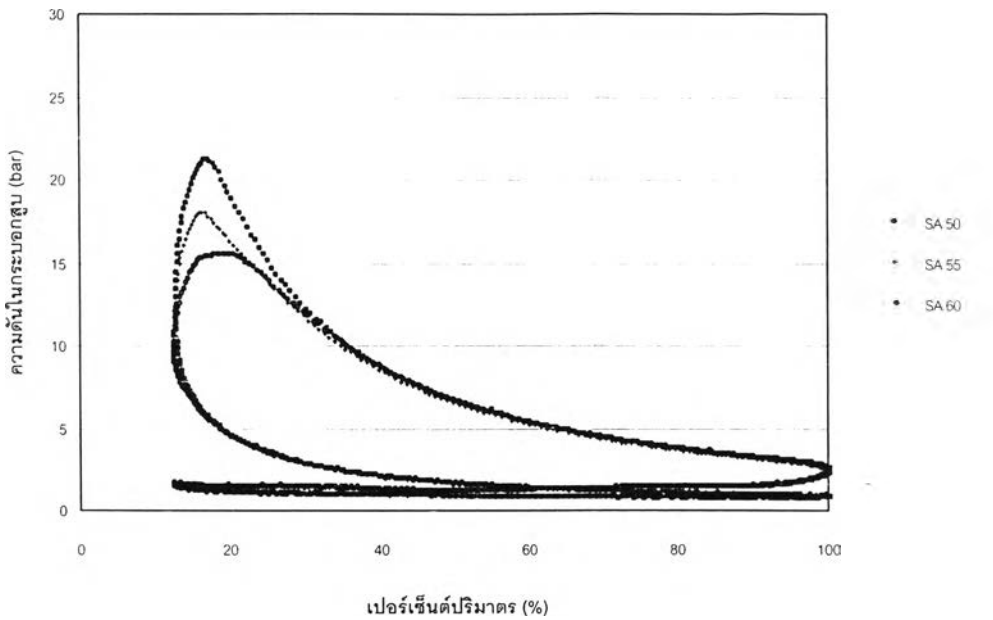
จากรูป 4.9 (ข) แสดงความสัมพันธ์ของ bsfc. กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเพิ่มขึ้น bsfc. จะลดลงจนถึง MBT นอกจากนั้นจะเห็นว่าเมื่อลดเชื้อเพลิงซึ่งทำให้ส่วนผสมบางลงจาก equivalence ratio 1.1 เป็น equivalence ratio 1.0 จะทำให้ bsfc. ต่ำลง แต่เมื่อลด equivalence ratio ลงจาก 1.0 เป็น 0.9 bsfc. มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มที่ equivalence ratio เป็น 0.9 จะมี bsfc. ต่ำกว่าที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าสูง เมื่ออัตราส่วนเชื้อเพลิงเป็น 0.8 เครื่องยนต์จะไม่สามารถทำงานได้ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่ำ แต่ในช่วงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าสูงซึ่งเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ จะมีค่า bsfc. ต่ำกว่าที่ส่วนผสมหนา

จากรูป 4.9 (ค) ถึง (ญ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบกับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดต่างๆ คู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง Relative MFB (mass fraction burned) กับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความดันในกระบอกสูบด้วยวิธีของ Rassweiler and Withrow เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9 ,1.0 และ 1.1 จากแนวโน้มของกราฟทั้งหมดจะเห็นว่าเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นจะเป็นผลให้ความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้น และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ทำให้ช่วงที่เกิดการสันดาปเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ คือ ช่วง rapid burned period เกิดขึ้นใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบสูง การสันดาปจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันสูง ทำให้ความดันสูงสุดมีค่ามาก

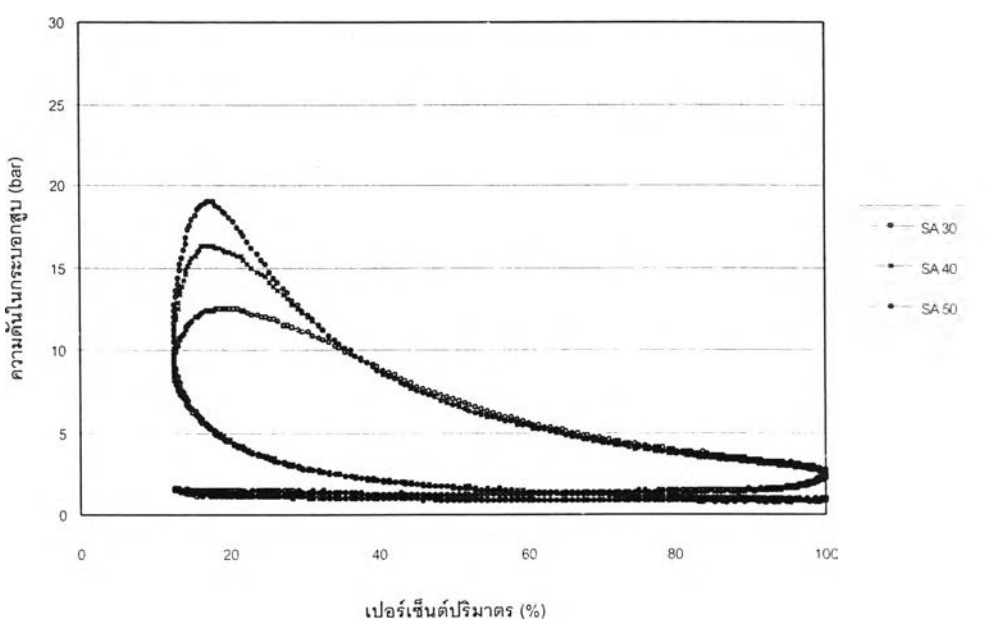
เมื่อพิจารณาโดยเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9,1.0 และ 1.1 โดยพิจารณาที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 50 °CA btdc เหมือนกัน จะเห็นได้ชัดว่า เมื่อส่วนผสมหนาขึ้นจะได้ค่าความดันสูงสุดมากขึ้น และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดความดันสูงสุดจะมีค่าเข้าใกล้จุดศูนย์ตายบนมากขึ้น แต่ในกรณีที่ equivalence ratio เป็น 0.8 สามารถเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากถึง 60 °CA btdc ทำให้มีค่าความดันสูงสุดมากกว่า equivalence ratio 0.9 แม้ส่วนผสมจะบางกว่าเนื่องจากองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากกว่า

จากรูป 4.9 (ฎ) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 0 ถึง 10% (flame development angle: $\Delta\theta_d$) และ ช่วงองศาที่เกิดการสันดาปส่วนผสม 10 ถึง 90% (rapid burned angle: $\Delta\theta_b$) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่ equivalence ratio ต่างๆ พบว่า เมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_d$ มีแนวโน้มกว้างขึ้น เนื่องจากองศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มาก จะทำให้เกิดการจุดระเบิดในช่วงที่ความดันและความหนาแน่นในกระบอกสูบต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้า เป็นผลให้อัตราการสันดาปในช่วงแรกเกิดขึ้นช้า ส่วนผลของ equivalence ratio ที่มีผลต่อ $\Delta\theta_d$ นั้น พบว่าเมื่อ equivalence ratio มากทำให้ $\Delta\theta_d$ ลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่ม equivalence ratio จาก 0.8 เป็น 0.9 แต่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในช่วงจาก equivalence ratio 0.9 ถึง 1.1 เนื่องจากส่วนผสมที่หนาขึ้นจะมี flame speed สูงกว่า สำหรับการสันดาปในช่วง rapid burned จากแนวโน้มโดยรวมจะพบว่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้วลดลงเนื่องจากการเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าทำให้ช่วงที่เกิด rapid burned นี้ตกอยู่ในช่วงใกล้กับจุดศูนย์ตายบน ซึ่งเป็นจุดที่มีความดันและความหนาแน่นของส่วนผสมสูง อัตรา

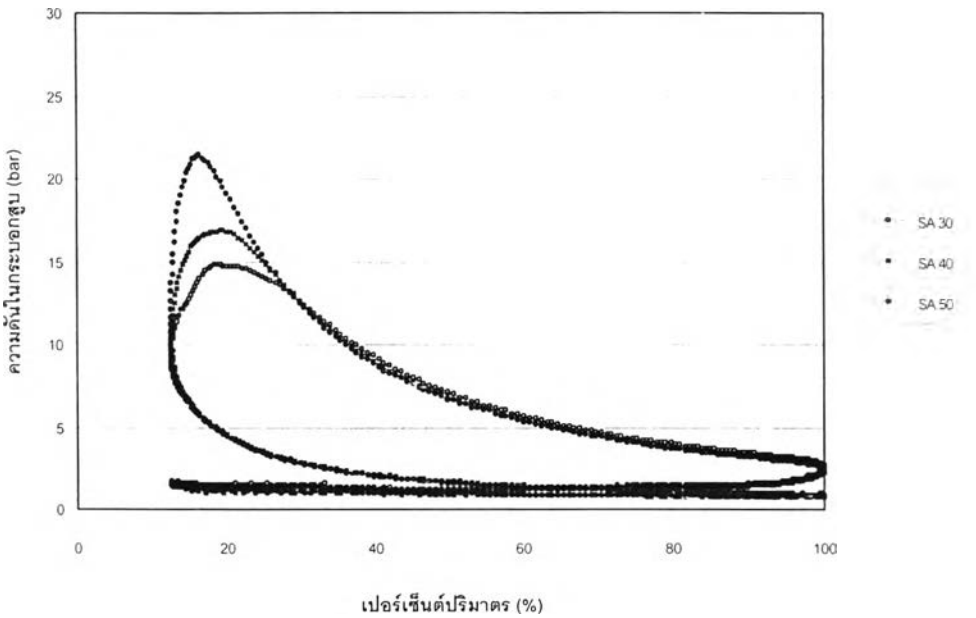
การสันดาปจะเกิดขึ้นรวดเร็ว ทำให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลงเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ส่วนผลของ equivalence ratio ที่มีต่อ $\Delta\theta_b$ จะเห็นว่าเมื่อ equivalence ratio เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ $\Delta\theta_b$ มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากส่วนผสมที่หนากว่าจะมี flame speed สูง การเพิ่ม equivalence ratio จึงมีผลทำให้ $\Delta\theta_b$ สั้นลงเช่นเดียวกันกับ $\Delta\theta_d$



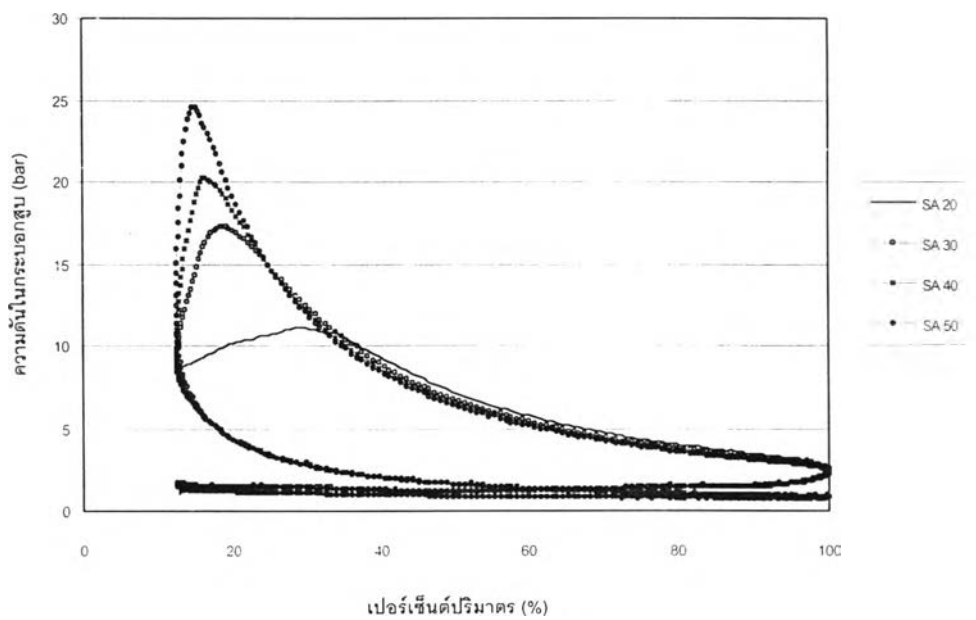
รูปที่ 4.9 (ฏ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8



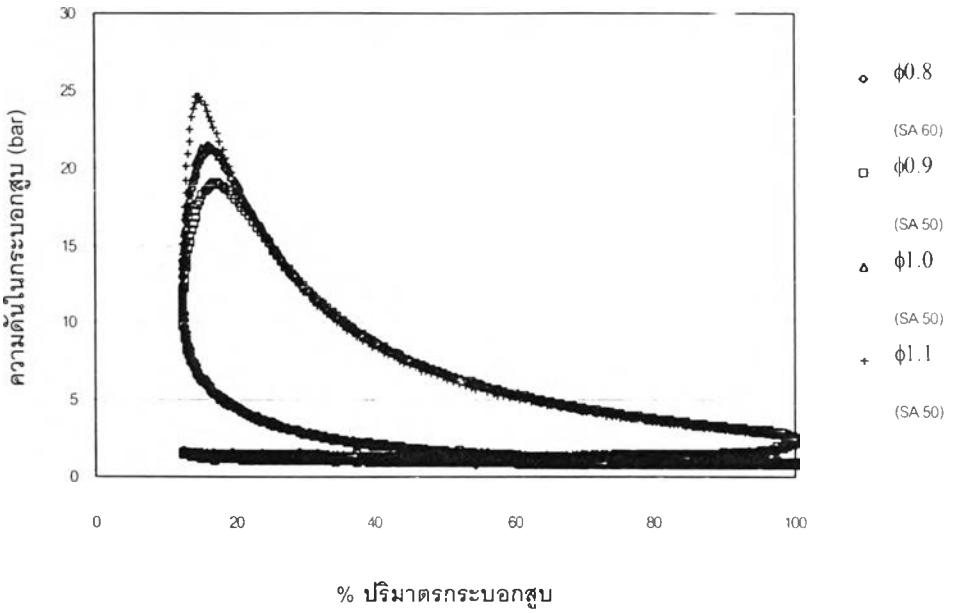
รูปที่ 4.9 (ฐ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.9



รูปที่ 4.9 **(ฑ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.0



รูปที่ 4.9 **(ฒ)** แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 1.1



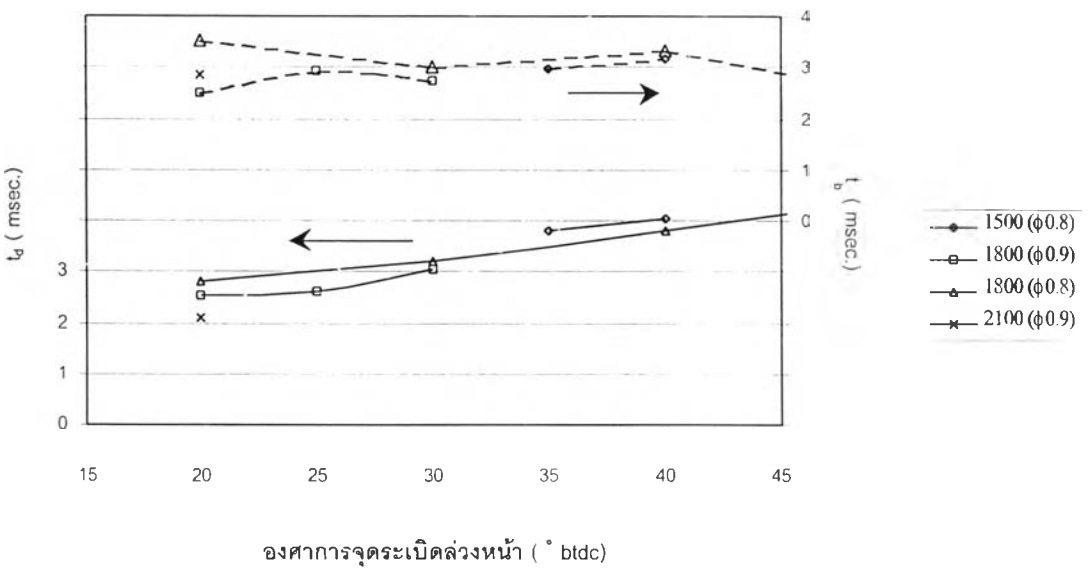
รูปที่ 4.9 (ณ) แสดง P-V Diagram ที่ความเร็วรอบ 2100 rev./min. อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9, 1.0 และ 1.1 โดยมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT

จากรูป 4.9 (ฎ) ถึง (ฒ) แสดง P-V Diagram ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าต่างๆ เมื่อ equivalence ratio เป็น 0.8, 0.9, 1.0 และ 1.1 จะเห็นว่า เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ความดันสูงสุดจะมากขึ้น เป็นผลให้งานที่ได้รับมากขึ้นด้วย เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของ P-V Diagram แสดงถึงงานที่ได้รับ แม้ว่าการที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้าที่มากขึ้นจะทำให้การสูญเสียในช่วงจังหวะอัดสูงขึ้นก็ตาม ซึ่งสอดคล้องกับผลทางสมรรถนะตามรูป 4.9 (ก) แสดงความสัมพันธ์ของแรงบิดกับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า คือ เมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้นทำให้แรงบิดที่ได้สูงขึ้นจนถึง MBT

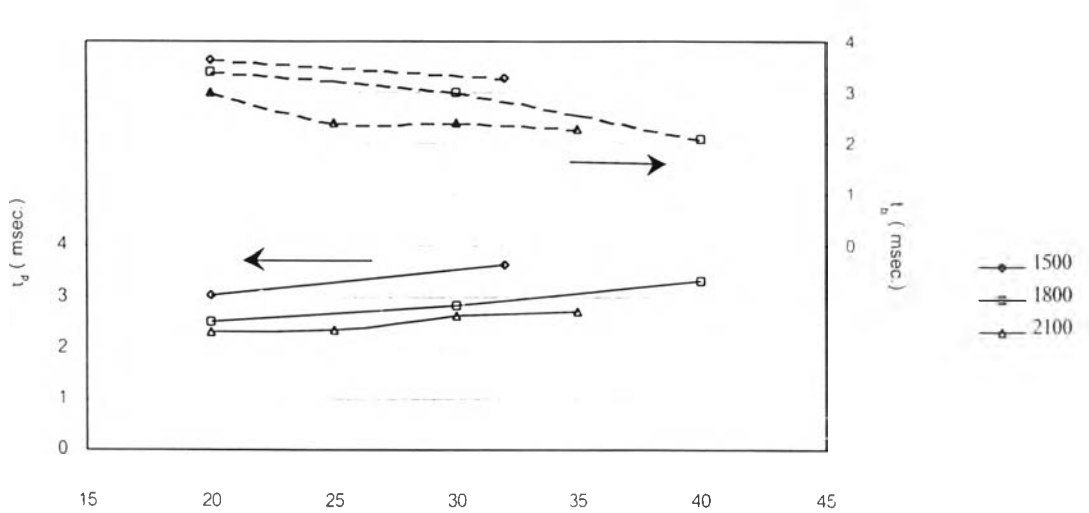
จากกราฟ 4.9 (ณ) ซึ่งแสดง P-V diagram ที่ equivalence ratio ค่าต่างๆ เมื่อ องศาจุดระเบิดล่วงหน้าเป็น MBT หากเปรียบเทียบระหว่างที่ equivalence ratio 1.0 กับ 1.1 ซึ่งมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าเท่ากันแล้ว จะเห็นว่าที่ส่วนผสมหนากว่าจะมีความดันสูงสุดและงานมากกว่า เนื่องจากมีมวลเชื้อเพลิงมากกว่าและอัตราการสันดาปที่เร็วกว่าส่วนผสมที่บาง แต่เมื่อพิจารณาที่ equivalence ratio 0.8 จะเห็นว่ามีความดันสูงสุดค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีองศาจุดระเบิดล่วงหน้าสูง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาแนวโน้มของรูป 4.9(ค) ที่องศาจุดระเบิดล่วงหน้า 60 °CA btdc มีความดันสูงสุดที่สูงเกินไป ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เพราะข้อมูลความดันเป็นของวัฏจักรที่มีความเบี่ยงเบนสูง เนื่องจากผลของ cycle by cycle variation

4.3 การวิเคราะห์ผลของความเร็วรอบเครื่องยนต์

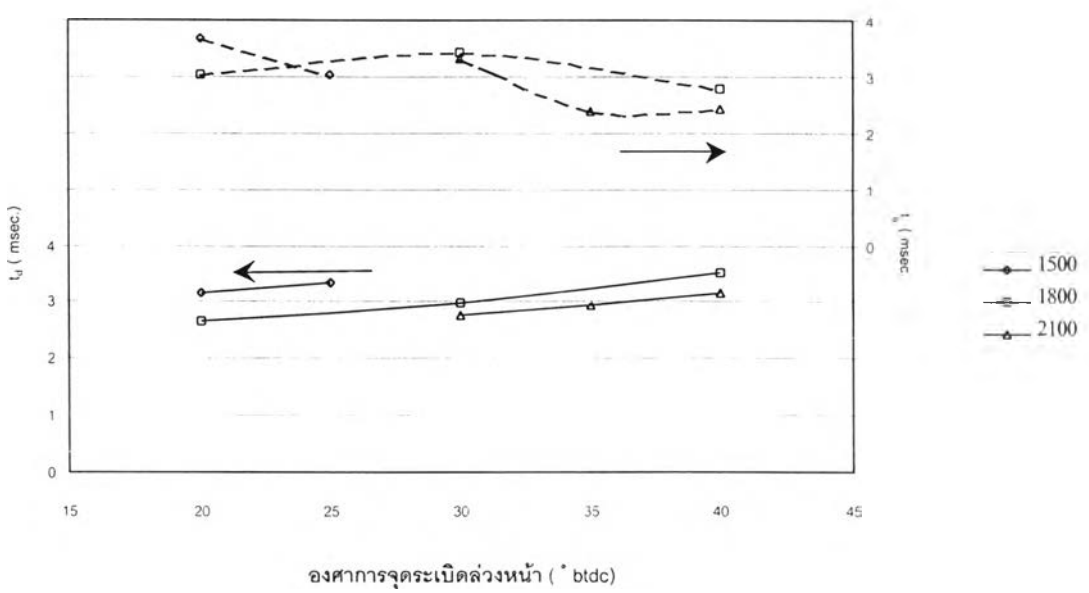
ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลของอัตราเร็วรอบต่ออัตราการสันดาป โดยจะแสดงกราฟความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10 ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราเร็วรอบ 1500,1800 และ 2100 rev./min. ที่แต่ละอัตราการไหลอากาศและ equivalence ratio หลังจากนั้นจะอภิปรายสรุปเพื่อให้เห็นถึงผลของอัตราเร็วรอบ ต่ออัตราการสันดาปของเครื่องยนต์



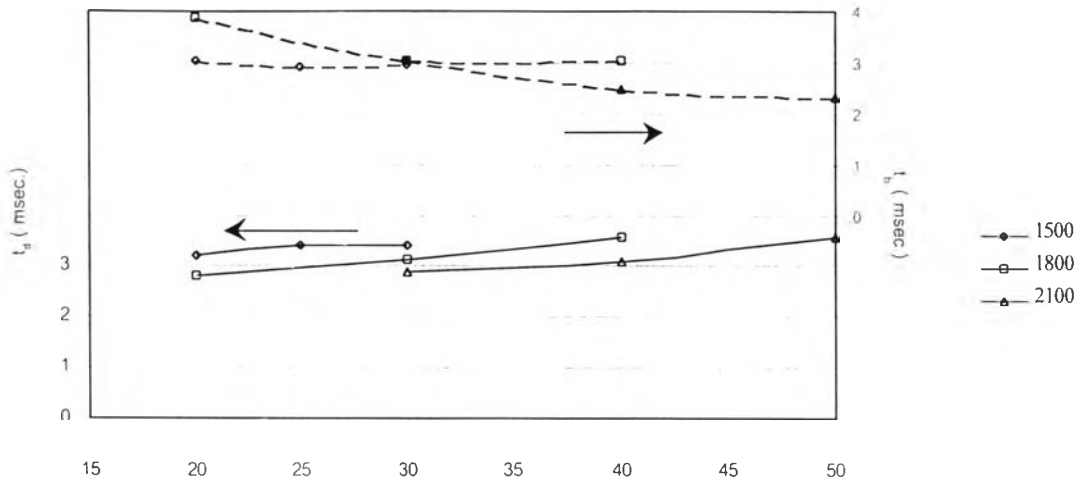
รูปที่ 4.10 (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 100% equivalence ratio เป็น 0.8 และ 0.9



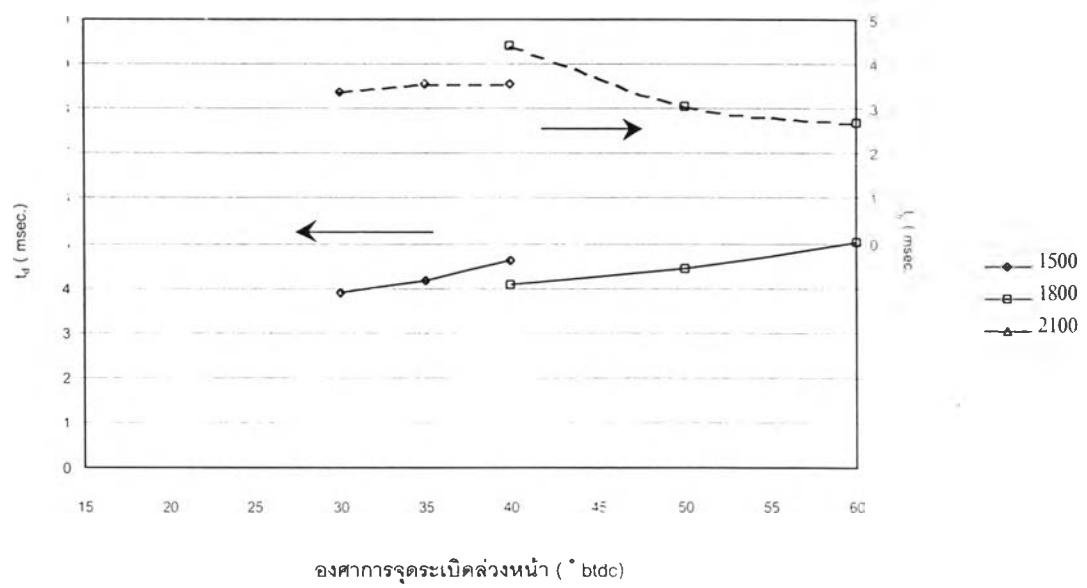
รูปที่ 4.10 **(ข)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT และ equivalence ratio เป็น 1.1



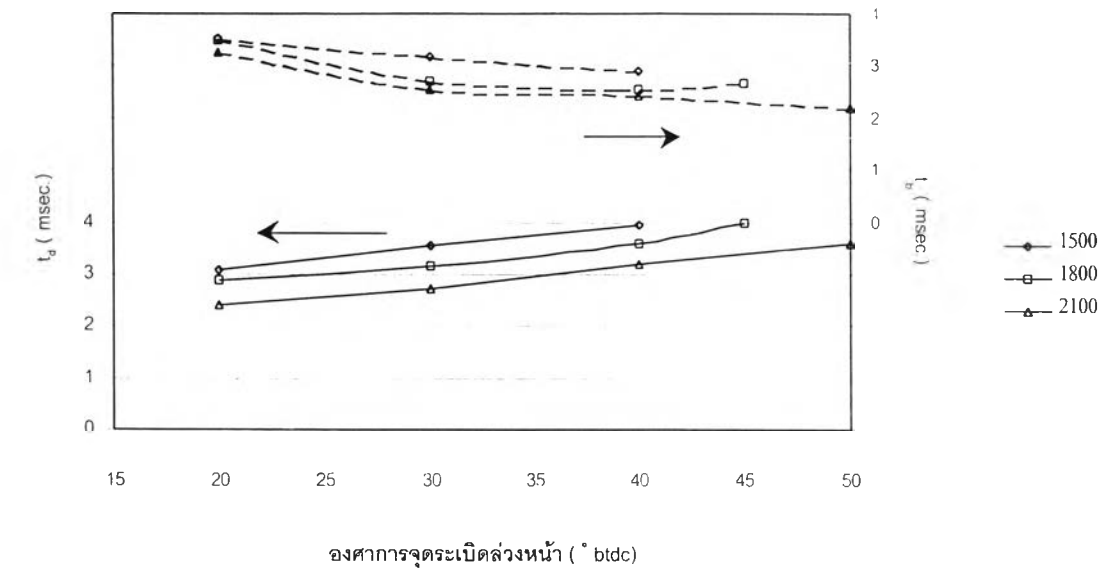
รูปที่ 4.10 **(ค)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT และ equivalence ratio เป็น 1.0



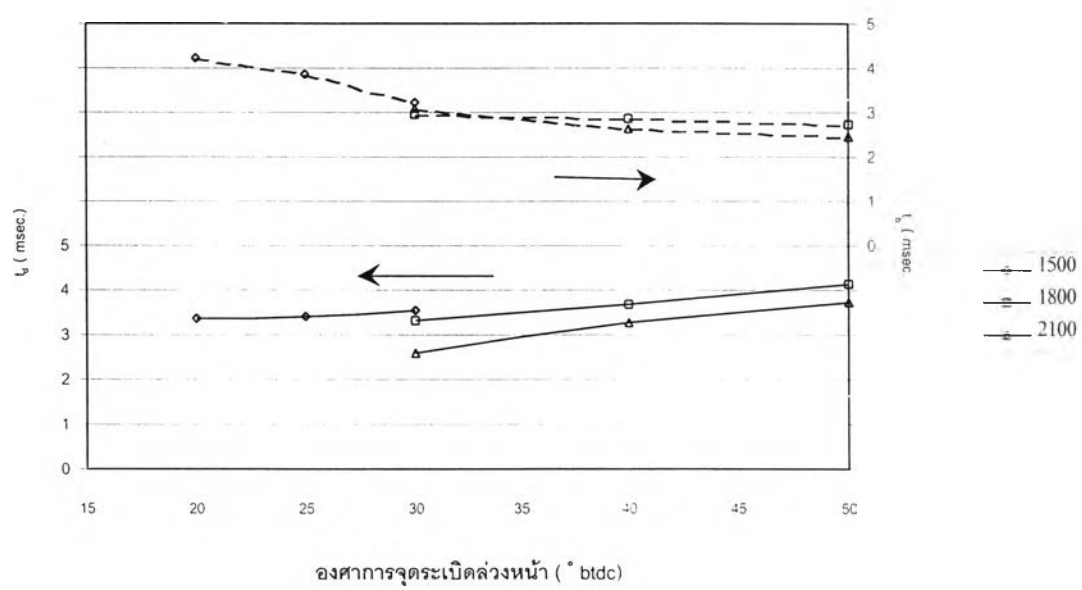
รูปที่ 4.10 **(ง)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT และ equivalence ratio เป็น 0.9



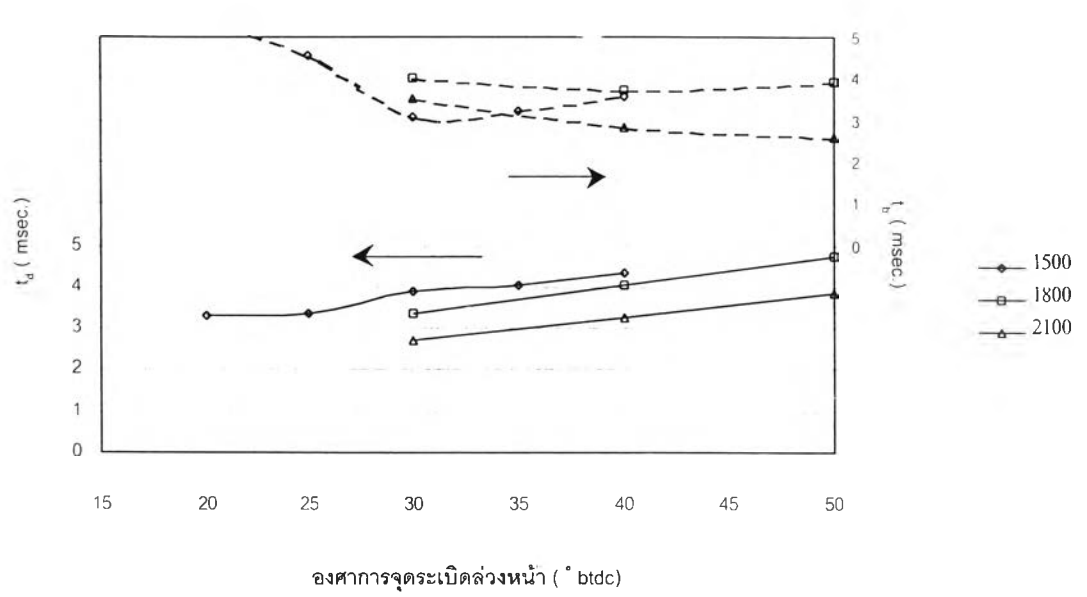
รูปที่ 4.10 **(จ)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d)) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 75% ของ WOT และ equivalence ratio และ 0.8



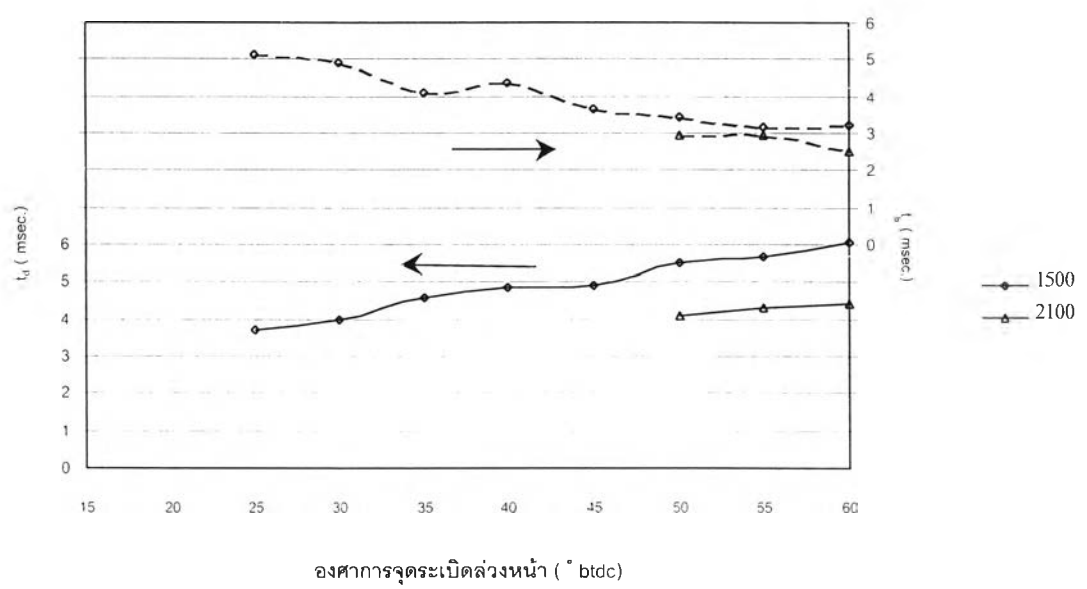
รูปที่ 4.10 (ฉ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT และ equivalence ratio เป็น 1.1



รูปที่ 4.10 (ช) กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT และ equivalence ratio เป็น 1.0



รูปที่ 4.10 **(ซ)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT และ equivalence ratio เป็น 0.9



รูปที่ 4.10 **(ฌ)** กราฟแสดงความสัมพันธ์ของช่วงองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราการไหลอากาศ 50% ของ WOT และ equivalence ratio เป็น 0.8

จากรูป 4.10 (ก) ถึง 4.10 (ฌ) เป็นกราฟความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่เกิดการสันดาปจาก 0 ถึง 10% (Δt_d) และ จาก 10% ถึง 90% (Δt_b) กับองศาจุดระเบิดล่วงหน้า ที่อัตราเร็วรอบ 1500, 1800 และ 2100 rev./min. ที่อัตราการไหลอากาศและ equivalence ratio ต่างๆ สามารถอภิปรายผลขององศาจุดระเบิดล่วงหน้าและผลของอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ออัตราการสันดาป ได้ดังนี้ การเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามีผลทำให้อัตราการสันดาปในช่วงแรก (flame development period) ช้าลง ดังจะเห็นว่า Δt_dมีค่ามากขึ้นเมื่อองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น สอดคล้องกับที่ได้อภิปรายไว้ก่อนหน้านี้ในหัวข้อ 4.2 แล้ว จะเห็นว่าอัตราเร็วรอบที่สูงขึ้น มีผลทำให้ Δt_d มีค่าน้อยลง คือ มีอัตราการสันดาปในช่วงแรกที่รวดเร็วขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราเร็วรอบจะทำให้ส่วนผสมภายในกระบอกสูบมีระดับ turbulence intensity สูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการสันดาปและการขยายตัวของ flame front จึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว สำหรับในช่วง rapid burned period จะเห็นว่าการเพิ่มองศาจุดระเบิดล่วงหน้าจะมีผลให้อัตราการสันดาปในช่วง rapid burned period มีแนวโน้มที่รวดเร็วขึ้น เนื่องจาก Δt_b มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อองศาจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น เช่นเดียวกับผลที่ได้อภิปรายมาแล้วในหัวข้อ 4.2 โดยผลของอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสันดาปในช่วงนี้ คือ เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้นจะทำให้ Δt_b มีแนวโน้มลดลง คือ อัตราการสันดาปในช่วง rapid burned period จะรวดเร็วขึ้น โดยเหตุผลเดียวกับกรณี ช่วง flame development period คือ อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นจะทำให้ส่วนผสมภายในกระบอกสูบมีระดับ turbulence intensity สูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการสันดาปและการขยายตัวของ flame front จึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ช่วง flame development period จึงสั้นลง อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ความสัมพันธ์ขององศาการจุดระเบิดล่วงหน้าและความเร็วรอบเครื่องยนต์กับ Δt_d จะเห็นได้ชัดเจนกว่า Δt_b