บทที่ 7
วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

จากรูปที่ 6.1-6.6 ซึ่งแสดงถึง Performance Map ของเครื่องยนต์ทั้ง 3 แบบ โดยทดสอบกับน้ำมันออกเทน 91 และน้ำมันออกเทน 95 สามารถสรุปช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดได้ดังตารางที่ 7.1 ดังนี้

ตารางที่7.1 แสดงช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดจาก Performance Map

รุ่นของเครื่องยนต์	Toyota Model 4A-FE		Toyota Model 3E		Mitsubishi Model G32B	
ค่าออกเทนของน้ำมัน	91	95	91	95	91	95
ช่วงแรงบิดเบรค	104 N.m	104 N.m	83 N.m	88 N.m	63 N.m	64 N.m
ช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์	3200 rev/min	3000 rev/min	2200 rev/min	2200 rev/min	1800 rev/min	1500 rev/min
ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุด (%)	30.14	30.91	23.55	24.908	22.65	23.922

และจากรูปที่ 6.7-6.12 ซึ่งแสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ทั้ง 3 เครื่อง ก็สามารถสรุปช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดได้เช่นเดียวกัน ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 แสดงช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดจาก Normalised Map

รุ่นของเครื่องยนต์	Toyota Model 4A-FE		Toyota Model 3E		Mitsubishi Model G32B	
ค่าออกเทนของน้ำมัน	91	95	91	95	91	95
ช่วงอัตราส่วนแรงบิดเบรค	0.8	0.8	0.9	0.9	0.7	0.7
ช่วงอัตราส่วนความเร็วรอบ	0.8	0.75	0.55	0.55	0.45	0.375
ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุด (%)	30.14	30.91	23.55	24.908	22.65	23.922

จากตารางที่ 7.1 หรือ ตารางที่ 7.2 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE นั้นมีค่าสูงกว่าอีก 2 เครื่องยนต์มาก สืบเนื่องมาจาก ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE นั้นเป็นระบบหัวฉีด แต่ในเครื่องยนต์ Toyota Model 3E และเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B นั้นใช้คาร์บูเรเตอร์ในการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าการใช้ระบบหัวฉีดในการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น เป็นระบบที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงกว่าการใช้คาร์บูเรเตอร์

สำหรับรูปที่ 6.13 ซึ่งแสดง Generalised Map ของเครื่องยนต์ทั้ง 3 เครื่อง ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์เบนซินขนาด 1300 - 1600 cc. ก็คิดเป็นจำนวนประมาณร้อยละ 60 ของจำนวนที่มีใช้อยู่ทั้งหมด ดังนั้นรูปที่ 6.13 จึงสามารถใช้เป็นตัวแทนของเครื่องยนต์เบนซินขนาด 1300 - 1600 cc. ซึ่งมีจำนวนการใช้งานอยู่ในส่วนใหญ่ในเขตกรุงเทพฯ ได้ ซึ่งพบว่า ช่วงการทำงานที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ที่มีค่าสูงสุดถึง 24.537 % คือ ช่วงอัตราส่วนแรงบิดเบรค 0.80 และอัตราส่วนความเร็วรอบ 0.45 ซึ่งนอกเหนือจากช่วงการทำงานนี้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ก็จะมีค่าลดหลั่นลงไป ดังนั้นจาก Generalised Map ที่ได้นั้นพบว่า ถ้าสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ให้ทำงานอยู่ภายในช่วงดังกล่าวได้ ก็จะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคจากเครื่องยนต์โดยรวมสูงสุด หรืออีกนัยหนึ่งก็คือจะเกิดการประหยัดเชื้อเพลิงโดยรวมสูงสุดเช่นเดียวกัน

7.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของ Performance Map

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วหัวข้อที่ 3.2 ว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ที่ปรากฏอยู่ใน Performance Map นั้นได้จากการประมาณค่าจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเบรคและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์จากข้อมูลดิบ ซึ่งมีหลายขั้นตอน จึงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\%error = \frac{\left|\eta_{th,b,Per} - \eta_{th,b,Test}\right|}{\eta_{th,b,Per}} \times 100$$

โดย % error = เปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบ

$\eta_{th,b,Per}$ = ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคใน Performance Map

$\eta_{th,b,Test}$ = ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการทดสอบ

สำหรับผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบจริงของเครื่องยนต์รุ่นต่างๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- เครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE ค่าเปอร์เซ็นต์ความค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบจริงนั้น ทั้งในน้ำมันออกเทน 91 และในน้ำมันออกเทน 95 โดยรวมมีค่าไม่เกิน 3%

- เครื่องยนต์ Toyota Model 3E ค่าเปอร์เซ็นต์ความค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบจริงนั้น ทั้งในน้ำมันออกเทน 91 และในน้ำมันออกเทน 95 โดยรวมมีค่าไม่เกิน 5% แต่มีบางตำแหน่งที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก error จากการประมาณค่าของโปรแกรมแบบจำลอง

- เครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B ค่าเปอร์เซ็นต์ความค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบจริงนั้น ทั้งในน้ำมันออกเทน 91 และในน้ำมันออกเทน 95 โดยรวมมีค่าไม่เกิน 7% แต่มีบางตำแหน่งที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก error จากการประมาณค่าของโปรแกรมแบบจำลอง

7.2 การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบ Generalised Map กับ Normalised Map

ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.5 แล้วว่าถ้านำ Generalised Map กลับไปเปรียบเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ที่ได้ทำการทดสอบแต่ละเครื่องยนต์ จะพบค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละจุดบนเมตริก เนื่องจาก Generalised Map เกิดจากการเฉลี่ยข้อมูลของ Normalised Map ของเครื่องยนต์ทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบ แต่ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแต่ละเครื่องยนต์ทั้งหมดที่จุดการทำงานเดียวกันเมื่อถ่วงด้วย weight ของปริมาณสัดส่วนการใช้งานในท้องตลาดและปริมาณสัดส่วนการใช้งานของน้ำมันก็จะให้ผลลัพธ์เท่ากับศูนย์ โดยเราสามารถคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการนำ Generalised Map กลับไปเปรียบเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ที่ได้ทำการทดสอบแต่ละเครื่องยนต์ ได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$error = \eta_{th,b,Gen} - \eta_{th,b,Nor}$$

โดย error = ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบ Generalised Map กับ Normalised Map

$\eta_{th,b,Gen}$ = ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคใน Generalised Map,%

$\eta_{th,b,Nor}$ = ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคใน Normalised Map,%

ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบระหว่าง Generalised Map กับ Normalised Map ซึ่งคำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ. แสดงไว้ในตารางที่ 7.3 - 7.8 สำหรับคำอธิบายโปรแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ.

ตารางที่ 7.3 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91

Normalised Speed	Normalised Brake Torque									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	-	0.90	-0.49	-1.54	-2.21	-2.54	-2.51	-	-	-
0.3	-	0.26	-1.09	-2.05	-2.61	-2.78	-2.56	-	-	-
0.35	-	-0.37	-1.65	-2.54	-3.03	-3.14	-2.86	-2.19	-	-
0.4	-	-0.91	-2.12	-2.97	-3.44	-3.54	-3.26	-2.61	-	-
0.45	-	-	-2.49	-3.33	-3.81	-3.95	-3.71	-3.13	-	-
0.5	-	-	-2.74	-3.62	-4.15	-4.35	-4.19	-3.70	-	-
0.55	-	-	-2.85	-3.82	-4.44	-4.72	-4.67	-4.26	-3.52	-
0.6	-	-	-	-3.93	-4.68	-5.09	-5.14	-4.85	-4.21	-3.23
0.65	-	-	-	-	-4.86	-5.42	-5.61	-5.43	-4.89	-3.99
0.7	-	-	-	-	-5.00	-5.72	-6.06	-6.00	-5.56	-
0.75	-	-	-	-	-5.09	-6.01	-6.51	-6.58	-6.24	-
0.8	-	-	-	-	-5.15	-6.28	-6.96	-7.17	-6.93	-
0.85	-	-	-	-	-5.18	-6.55	-7.43	-7.79	-7.65	-
0.9	-	-	-	-	-5.20	-6.82	-7.91	-8.46	-8.49	-
0.95	-	-	-	-	-5.20	-7.10	-8.46	-9.29	-9.58	-
1.0	-	-	-	-	-	-7.42	-9.14	-10.43	-11.25	-

ตำแหน่งที่แรเงาเป็นช่วงการใช้งานจริงของเครื่องยนต์ในการขับขี่ตามมาตรฐาน ECE15 ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะช่วงของการใช้งานจริงจะเห็นว่าค่า error ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุดเพียง 4.44 , ค่า error เฉลี่ยเท่ากับ -2.614 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.146 แต่ถ้าพิจารณาทั้งตารางจะมีค่า error เฉลี่ยเท่ากับ -5.10 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.387

ตารางที่ 7.4 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95

Normalised Speed	Normalised Brake Torque									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	-	-1.01	-1.47	-2.02	-2.63	-3.32	-4.08	-4.92	-	-
0.3	-	-1.74	-2.22	-2.68	-3.11	-3.52	-3.91	-4.29	-	-
0.35	-	-2.31	-2.81	-3.25	-3.59	-3.87	-4.07	-4.18	-	-
0.4	-	-2.66	-3.24	-3.70	-4.04	-4.27	-4.36	-4.35	-	-
0.45	-	-	-3.50	-4.05	-4.44	-4.68	-4.75	-4.67	-4.43	-
0.5	-	-	-3.59	-4.29	-4.78	-5.08	-5.17	-5.08	-4.77	-
0.55	-	-	-3.51	-4.40	-5.05	-5.45	-5.61	-5.52	-5.19	-
0.6	-	-	-3.26	-4.40	-5.24	-5.79	-6.04	-6.00	-5.67	-
0.65	-	-	-2.86	-4.29	-5.37	-6.10	-6.48	-6.49	-6.16	-5.48
0.7	-	-	-	-4.08	-5.44	-6.37	-6.89	-6.98	-6.67	-5.94
0.75	-	-	-	-	-5.44	-6.61	-7.29	-7.48	-7.19	-6.40
0.8	-	-	-	-	-5.40	-6.83	-7.69	-7.99	-7.72	-
0.85	-	-	-	-	-5.33	-7.04	-8.10	-8.51	-8.29	-
0.9	-	-	-	-2.50	-5.23	-7.24	-8.52	-9.09	-8.96	-
0.95	-	-	-	-	-5.11	-7.44	-9.00	-9.81	-9.85	-
1.0	-	-	-	-	-5.01	-7.67	-9.61	-10.82	-11.30	-

ตำแหน่งที่แรงเงาเป็นช่วงการใช้งานจริงของเครื่องยนต์ในการขับขี่ตามมาตรฐาน ECE15 ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะช่วงของการใช้งานจริงจะเห็นว่าค่า error ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุดเพียง 4.78 , ค่า error เฉลี่ยเท่ากับ -3.44 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.96 แต่ถ้าพิจารณาทั้งตารางจะมีค่า error เฉลี่ยเท่ากับ -5.383 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.06

ตารางที่ 7.5 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91

Normalised Speed	Normalised Brake Torque									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	-	0.07	0.10	0.91	2.52	4.91	8.09	12.06	-	-
0.3	-	-	-0.63	1.02	2.59	4.06	5.44	6.73	-	-
0.35	-	-	-1.17	1.06	2.74	3.85	4.39	4.37	3.79	-
0.4	-	-	-1.59	1.06	2.88	3.87	4.02	3.35	1.83	-
0.45	-	-	-	1.04	2.99	3.95	3.93	2.92	0.92	-
0.5	-	-	-	1.00	3.06	4.03	3.94	2.78	0.54	-
0.55	-	-	-	0.97	3.08	4.09	3.98	2.77	0.43	-
0.6	-	-	-	0.93	3.08	4.10	4.01	2.80	0.46	-
0.65	-	-	-	0.91	3.05	4.08	4.01	2.86	0.60	-
0.7	-	-	-	0.92	2.98	4.01	3.99	2.94	0.84	-2.30
0.75	-	-	-	0.95	2.90	3.90	3.96	3.08	1.25	-1.51
0.8	-	-	-	1.03	2.78	3.74	3.93	3.33	1.96	-
0.85	-	-	-	1.21	2.63	3.55	3.95	3.84	3.21	-
0.9	-	-	-	-	2.47	3.34	4.14	4.86	5.50	-
0.95	-	-	-	-	2.30	3.14	4.69	6.95	9.92	-
1.0	-	-	-	-	2.12	3.04	6.17	11.51	19.08	-

ตำแหน่งที่แรงเงาเป็นช่วงการใช้งานจริงของเครื่องยนต์ในการขับขี่ตามมาตรฐาน ECE15 ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะช่วงของการใช้งานจริงจะเห็นว่าค่า error ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุดเพียง 4.06 , ค่า error เฉลี่ยเท่ากับ 2.43 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.37 แต่ถ้าพิจารณาทั้งตารางจะมีค่า error เฉลี่ยเท่ากับ 3.18 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.84

ตารางที่ 7.6 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95

Normalised Speed	Normalised Brake Torque									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	-	-	-1.39	-0.90	-0.29	0.41	1.22	2.13	-	-
0.3	-	-	-0.47	-0.02	0.41	0.82	1.20	1.56	-	-
0.35	-	-	0.22	0.74	1.11	1.30	1.33	1.20	-	-
0.4	-	-	0.67	1.37	1.76	1.83	1.60	1.06	0.20	-
0.45	-	-	0.90	1.83	2.32	2.35	1.94	1.08	-0.23	-
0.5	-	-	-	2.13	2.78	2.83	2.33	1.23	-0.44	-
0.55	-	-	-	2.27	3.11	3.26	2.70	1.46	-0.48	-
0.6	-	-	-	2.23	3.32	3.59	3.06	1.73	-0.42	-
0.65	-	-	-	2.04	3.40	3.84	3.38	2.01	-0.27	-
0.7	-	-	-	1.68	3.34	4.00	3.65	2.31	-0.05	-
0.75	-	-	-	1.16	3.17	4.07	3.88	2.60	0.21	-
0.8	-	-	-	0.49	2.87	4.06	4.07	2.89	0.52	-3.02
0.85	-	-	-	-0.33	2.46	3.98	4.22	3.19	0.88	-
0.9	-	-	-	-1.32	1.96	3.85	4.37	3.50	1.24	-
0.95	-	-	-	-2.46	1.38	3.70	4.50	3.78	1.54	-
1.0	-	-	-	-	0.74	3.54	4.62	3.94	1.54	-

ตำแหน่งที่แรเงาเป็นช่วงการใช้งานจริงของเครื่องยนต์ในการขับขี่ตามมาตรฐาน ECE15 ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะช่วงของการใช้งานจริงจะเห็นว่าค่า error ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุดเพียง 2.83 , ค่า error เฉลี่ยเท่ากับ 1.75 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.089 แต่ถ้าพิจารณาทั้งตารางจะมีค่า error เฉลี่ยเท่ากับ 1.81 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.623

ตารางที่ 7.7 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91

Normalised Speed	Normalised Brake Torque									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	2.23	3.49	4.23	4.43	4.12	3.27	1.90	0.00	-2.42	-5.37
0.3	-	3.95	4.01	3.87	3.55	3.02	2.30	1.38	0.27	-
0.35	-	4.35	3.86	3.41	3.02	2.67	2.36	2.10	1.90	-
0.4	-	4.72	3.77	3.05	2.57	2.31	2.29	2.51	2.95	3.63
0.45	-	5.03	3.71	2.76	2.19	1.99	2.18	2.73	3.67	4.99
0.5	-	5.28	3.66	2.53	1.90	1.74	2.07	2.89	4.19	-
0.55	-	5.44	3.62	2.37	1.68	1.57	2.01	3.03	4.60	-
0.6	-	5.47	3.56	2.25	1.56	1.48	2.02	3.17	4.93	-
0.65	-	5.41	3.48	2.18	1.52	1.49	2.09	3.33	5.19	-
0.7	-	5.22	3.39	2.17	1.57	1.60	2.24	3.51	-	-
0.75	-	4.93	3.28	2.21	1.73	1.81	2.48	3.71	-	-
0.8	-	-	3.20	2.34	1.98	2.12	2.76	3.90	-	-
0.85	-	-	-	2.55	2.35	2.53	3.09	4.03	-	-
0.9	-	-	-	2.86	2.83	3.02	3.43	4.05	-	-
0.95	-	-	-	3.27	3.44	3.59	3.71	3.82	-	-
1.0	-	-	-	3.74	4.15	4.18	3.84	3.12	-	-

ตำแหน่งที่แรงเงาเป็นช่วงการใช้งานจริงของเครื่องยนต์ในการขับขี่ตามมาตรฐาน ECE15 ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะช่วงของการใช้งานจริงจะเห็นว่าค่า error ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุดเพียง 5.47 , ค่า error เฉลี่ยเท่ากับ 2.94 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.068 แต่ถ้าพิจารณาทั้งตารางจะมีค่า error เฉลี่ยเท่ากับ 2.93 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.443

ตารางที่ 7.8 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95

Normalised Speed	Normalised Brake Torque									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	-	-	1.14	1.16	0.84	0.15	-0.90	-2.31	-4.06	-
0.3	-	1.96	1.69	1.37	1.01	0.60	0.13	-0.39	-0.95	-
0.35	-	2.97	2.20	1.59	1.16	0.88	0.78	0.85	1.09	-
0.4	-	3.82	2.65	1.80	1.29	1.10	1.25	1.72	2.52	-
0.45	-	4.52	3.03	2.00	1.42	1.28	1.60	2.37	3.59	5.28
0.5	-	5.08	3.36	2.18	1.55	1.46	1.91	2.90	4.44	-
0.55	-	-	3.63	2.36	1.70	1.65	2.20	3.36	-	-
0.6	-	5.79	3.84	2.52	1.86	1.84	2.48	3.77	-	-
0.65	-	5.95	3.98	2.67	2.04	2.07	2.77	4.15	-	-
0.7	-	5.97	4.06	2.81	2.23	2.32	3.07	4.50	-	-
0.75	-	5.86	4.07	2.93	2.45	2.59	3.39	4.82	-	-
0.8	-	5.61	4.04	3.06	2.67	2.89	3.69	5.09	-	-
0.85	-	5.21	3.94	3.18	2.93	3.20	3.99	5.30	-	-
0.9	-	-	-	3.29	3.21	3.54	4.27	5.39	-	-
0.95	-	-	-	3.39	3.53	3.88	4.46	5.25	-	-
1.0	-	-	-	3.43	3.86	4.21	4.50	4.70	-	-

ตำแหน่งที่แรงเงาเป็นช่วงการใช้งานจริงของเครื่องยนต์ในการขับขี่ตามมาตรฐาน ECE15 ซึ่งถ้าพิจารณาเฉพาะช่วงของการใช้งานจริงจะเห็นว่าค่า error ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงสุดเพียง 5.79 , ค่า error เฉลี่ยเท่ากับ 2.18 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.124 แต่ถ้าพิจารณาทั้งตารางจะมีค่า error เฉลี่ยเท่ากับ 2.74 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.728

อย่างไรก็ตาม การใช้ Generalised Map นั้นมีจุดประสงค์เพื่อตรวจหรือพิจารณาผลของการใช้เครื่องยนต์ในรถยนต์ ซึ่งโดยทั่วไป การใช้งานของเครื่องยนต์ในการขับขี่มาตรฐานทั่วๆ ไปจะอยู่ในช่วง Part load หรือในกรณีพิจารณาการขับขี่ตาม ECE15 จะอยู่ในช่วงของ Normalised Speed ระหว่าง 0.2 ถึง 0.6 และ Normalised Brake Torque ระหว่าง 0 ถึง 0.7 ซึ่งได้แรเงาไว้ในตารางที่ 7.3-7.8 ซึ่งช่วงดังกล่าวมีค่าความคลาดเคลื่อนของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ ต่างๆ สูงสุดไม่เกิน 5.79

7.3 วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากการนำ Generalised Map ไปทำนายอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตามรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน

สำหรับการประเมินผลของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการใช้ Generalised Map ทำนายอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการขับขี่จริง โดยเปรียบเทียบกับ Normalised Map ของแต่ละเครื่องยนต์ ซึ่งได้พิจารณาจำลองการขับขี่ตามแบบแผนการขับขี่ (Driving Pattern) ที่กำหนดโดย ECE 15 ในการทำนายอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงใน 1 cycle ของการขับขี่ ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง โดยมีสมมุติฐานในการคำนวณดังนี้

1. ช่วงที่ความเร็วของรถยนต์เป็นศูนย์ ให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เป็นความเร็วรอบขณะเดินเบา

2. ช่วงที่เปลี่ยนเกียร์ กำหนดให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เป็นความเร็วรอบขณะเดินเบาและแรงบิดน้อยที่สุดที่ความเร็วรอบขณะเดินเบา

จากสมมุติฐานข้างต้น จึงสามารถคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงได้จากสมการต่อไปนี้ ซึ่งมีค่า Δt = 1 วินาที

$$\sum_{t=0,\Delta t=1}^{195} Q_{fuel} = \frac{2\pi . N_{Nor} . T_{b,Nor} . N_{max} . T_{b,max} \times 100}{60\eta_{th,b} . \rho_{fuel} . LHV}$$

โดย Q_{fuel} = ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิง, cc

N_{Nor} = Normalised Speed

N_{max} = ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุด, rev/min

$T_{b,Nor}$ = Normalised Brake Torque

$T_{b,max}$ = แรงบิดเบรคสูงสุด, N.m

ρ_{feul} = ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง, kg/m^3 (768.2 kg/m^3)

$\eta_{th,b}$ = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์

LHV = Lower Heating Value, MJ/kg

ค่าแรงบิดเบรคสูงสุด ($T_{b,max}$) ของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องนั้นได้จากการทดสอบ สำหรับ $T_{b,max}$ ของ Generalised Map จะใช้ ค่าเฉลี่ยของแรงบิดเบรคสูงสุดของเครื่องยนต์ทุกเครื่องซึ่งได้ถ่วง weight สัดส่วนปริมาณการใช้งานในท้องตลาดและ weight สัดส่วนปริมาณการใช้งานของน้ำมันเชื้อเพลิงเรียบร้อยแล้ว ซึ่งคา $T_{b,max}$ ของ Generalised Map ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 132.1 N.m

จากสมการข้างต้นเราสามารถคำนวณหาปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใน 1 cycle ของการขับขี่ตามแบบแผนการขับขี่มาตรฐาน ECE15 ซึ่งแสดงผลการคำนวณไว้ในตารางที่ ง1-ง4 ในภาคผนวก ง. สามารถสรุปผลการคำนวณได้ดังตารางที่ 7.9 และ 7.10 ดังนี้

ตารางที่ 7.9 แสดงผลการทำนายปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองใน 1 cycle ของการขับขี่ตามแบบแผนการขับขี่ของ ECE15

Normalised Map	**ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ใน 1 cycle**	
	น้ำมันออกเทน 91	**น้ำมันออกเทน 95**
Toyota Model 4A-FE	229.32 CC.	242.42 CC.
Toyota Model 3E	213.94 CC.	222.02 CC.
Mitsubishi Model G32B	240.182 CC.	242.37 CC.
Generalised Map	**231.69 CC.**	

ตารางที่ 7.10 แสดงค่า error จากการเปรียบเทียบผลการทำนายปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองใน 1 cycle ระหว่าง Generalised Map กับ Normalised Map ของการขับขี่ตามแบบแผนการขับขี่ของ ECE15

Normalised Map	น้ำมันออกเทน 91		น้ำมันออกเทน 95	
	error (cc.)	**error %**	**error (cc.)**	**error %**
Toyota Model 4A-FE	2.37	1.02	-10.73	4.631
Toyota Model 3E	17.75	7.66	9.67	4.174
Mitsubishi Model G32B	-9.13	3.94	-10.68	4.61

จากตารางที่ 7.9 แสดงให้เห็นถึงปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ใน 1 cycle ของการขับขี่จริง และจากตารางที่ 7.10 ซึ่งแสดงถึงค่า error ที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบผลการทำนายปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองใน 1 cycle ระหว่าง Generalised Map กับ Normalised Map ของการขับขี่ตามแบบแผนการขับขี่ของ ECE15 โดยถ้าค่า error มีค่าเป็นบวก (+) นั่นคือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้จาก Generalised Map มีปริมาณมากกว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้จาก Normalised Map แต่ถ้ามีค่าเป็นลบ (-) นั่นคือ ปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้จาก Generalised Map มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้จาก Normalised Map จากตารางที่ 7.9 และ 7.10 สามารถสรุปได้ดังนี้

สำหรับเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE นั้นเมื่อเปรียบเทียบการทำนายอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใน 1 cycle ของการขับขี่มาตรฐาน เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91 ปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จาก Generalised Map เป็นปริมาณ 2.37 cc. หรือคิดเป็น 1.02 % และเมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95 ปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จาก Generalised Map เป็นปริมาณ 10.73 cc. หรือคิดเป็น 4.631 %

สำหรับเครื่องยนต์ Toyota Model 3E นั้นเมื่อเปรียบเทียบการทำนายอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใน 1 cycle ของการขับขี่มาตรฐาน เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91 และน้ำมันออกเทน 95 ปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จาก Generalised Map เป็นปริมาณ 17.75 cc. และ 9.67 cc. ตามลำดับ หรือคิดเป็น 7.66 % และ 4.174 % ตามลำดับ

สำหรับเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B นั้นเมื่อเปรียบเทียบการทำนายอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใน 1 cycle ของการขับขี่มาตรฐาน เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91 และน้ำมันออกเทน 95 ปริมาณเชื้อเพลิงที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าที่คำนวณได้จาก Generalised Map เป็นปริมาณ 9.13 cc. และ 10.68 cc. ตามลำดับ หรือคิดเป็น 3.94 % และ 4.61 % ตามลำดับ

ถ้าพิจารณาโดยรวม พบว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองโดยเฉลี่ยใน 1 cycle ของการขับขี่มาตรฐานจากเครื่องยนต์ทั้ง 3 ชนิดคือ 232.941 cc. และปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองโดยเฉลี่ยใน 1 cycle ของการขับขี่มาตรฐานจาก Generalised Map คือ 231.69 cc ซึ่งพบว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองโดยเฉลี่ยใน 1 cycle ของเครื่องยนต์ทั้ง 3 ชนิดมีค่ามากกว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองโดยเฉลี่ยใน 1 cycle จาก Generalised Map อยู่ 1.251 cc หรือคิดเป็น 0.54 % หรือความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์การขับขี่ของรถยนต์ทั้งหมดในท้องตลาดโดยใช้ Generalised Map จะมีค่าคลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 0.54 เท่านั้น