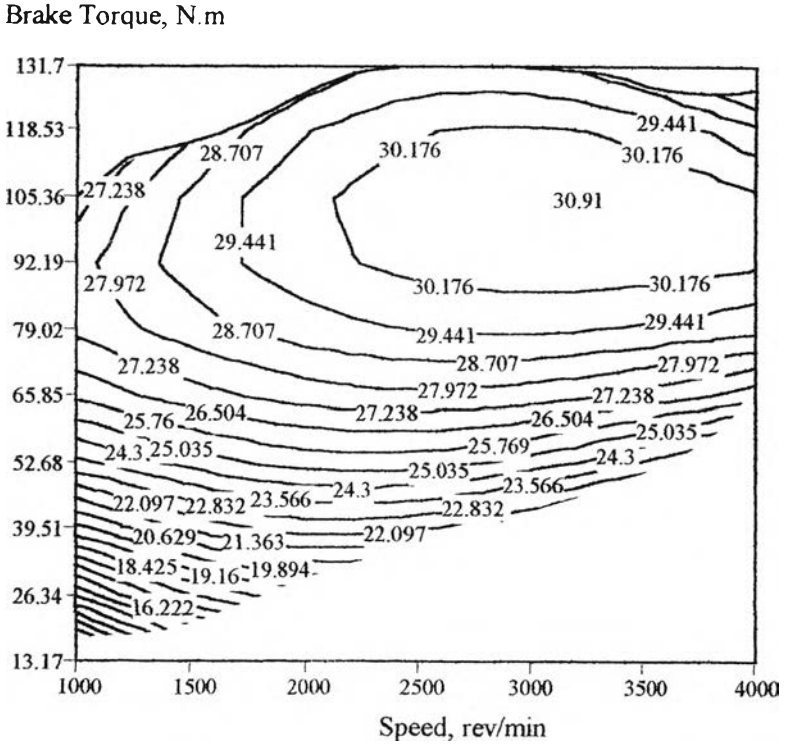
บทที่ 3

แนวคิดในการสร้าง Generalised Map

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดในการสร้าง Generalised Map ซึ่งขั้นตอนต่างๆ ที่จะนำไปสู่ Generalised Map นั้น จะเริ่มจากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างเป็น Performance Map ก่อนเป็นขั้นตอนแรก หลังจากนั้นจึงทำการแปลง Performance Map ให้เป็น Normalised Map แล้วจึงนำไปสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือ การสร้าง Generalised Map ซึ่งแนวคิดในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

3.1 แนวคิดในการสร้าง Performance Map

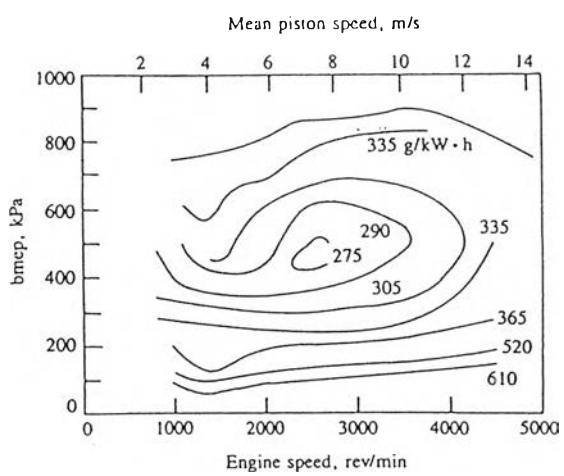
สำหรับ Performance Map ที่จะสร้างขึ้นในงานวิจัยเรื่องนี้ เป็นกราฟที่แสดงเส้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคคงที่ บนแกนระหว่างแรงบิดเบรคและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 95

เหตุผลที่ใช้แกนของ T_b และ Speed ใน Performance Map แทนที่จะใช้แกนของ bmep กับ Speed เป็นแกนของ Performance Map ที่ใช้กันอยู่ทั่วๆ ไปดังในรูปที่ 3.2 เนื่องจาก ทำให้สะดวกต่อการนำไปคำนวณ Fuel Consumption จาก Driving Pattern ECE15 ซึ่งหากใช้แกนของ bmep กับ Speed เป็นแกนของ Performance Map นั้นจะต้องแปลง bmep ให้กลับมาเป็น T_b ก่อนจึงจะนำไปคำนวณ Fuel Consumption จาก Driving Pattern ECE15 ได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มขั้นตอนในการคำนวณ ทั้งยังเป็นการเพิ่ม error จากการแปลง bmep ให้กลับมาเป็น T_b อีกด้วย และสาเหตุที่เลือกให้ Performance Map แสดงค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค แทนที่จะแสดงค่าของ bsfc เนื่องจาก การแสดงค่าให้อยู่ในรูปของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคนั้น สะดวกเมื่อใช้เปรียบเทียบในกรณีที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างชนิดกันได้

อย่างไรก็ตามเราสามารถใช้ Performance Map ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้สำหรับพิจารณาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ขนาดต่างๆ ได้ โดยแปลงจากแกนของ Brake Torque เป็น Normalised Brake Torque ก่อน ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ขนาดต่างๆ ได้ โดยไม่มีผลจากขนาดของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.2 แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ SI[4]

การสร้าง Performance Map นั้น เราจำเป็นที่จะต้องทราบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคระหว่างแกนของความเร็วรอบเครื่องยนต์และแรงบิดเบรค ทุกจุดเมตริกซ์ (Matrix) ที่กำหนด ซึ่งค่าต่างๆ ที่จะนำไปสร้างเป็น Performance Map นั้นมาจากผลการทดสอบเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการทดสอบอาจไม่ได้อยู่ในฟอร์มของ Grid data จึงมีความจำเป็นจะต้องทำการประมาณค่าบน Grid จากผลการทดสอบที่มีอยู่โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ประมาณค่า แรงบิดเบรค (T_b) ที่ค่าความดันท่อร่วมไอดี (MAP)ต่างๆ โดยให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่

การทดลองเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้น ในแต่ละความเร็วรอบเครื่องยนต์ ได้ทำการเปลี่ยนแปลง load ของเครื่องยนต์ โดยกำหนดด้วยค่า ความดันท่อร่วมไอดี ประมาณ 6 ค่าด้วยกันคือ 15 in.Hg, 18 in.Hg, 21 in.Hg, 24 in.Hg, 27 in.Hg และ 30 in.Hg ซึ่งจะเป็นภาระของเครื่องยนต์จากภาระน้อยที่สุดไปถึงภาระมากที่สุด หรือ Full load ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงต้องทำการ fit curve ด้วยวิธีถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial Regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเบรค (T_b) กับความดันท่อร่วมไอดี (MAP) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เพื่อปรับค่าที่ได้จากการทดลองและประมาณค่าแรงบิดเบรคที่ความดันท่อร่วมไอดีบางจุดบน Grid ที่ไม่ได้ทำการทดลอง ซึ่งในขั้นตอนนี้ตัวอย่างรูปแบบของความสัมพันธ์คือ

$$T_b = F(MAP) \quad \text{ที่ speed 1000 rev/min}$$

หรือ

$$T_b = F(MAP) \quad \text{ที่ speed 3200 rev/min}$$

ซึ่งจำนวนสมการที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับจำนวนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ

3.1.2 ประมาณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค ($\eta_{th,b}$) ที่ค่าความดันท่อร่วมไอดี (MAP) ต่างๆ โดยให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่

ในขั้นตอนนี้ก็จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งในขั้นตอนนี้ตัวอย่างรูปแบบของความสัมพันธ์คือ

$$\eta_{th,b} = F(MAP) \quad \text{ที่ speed 1000 rev/min}$$

หรือ

$$\eta_{th,b} = F(MAP) \quad \text{ที่ speed 3200 rev/min}$$

ซึ่งจำนวนสมการที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับจำนวนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ทดสอบเช่นกัน

3.1.3 ประมาณค่า แรงบิดเบรค (T_b) ที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยให้ความดันท่อร่วมไอดี (MAP) คงที่

ในขั้นตอนนี้ทำการ Fit Curve เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง แรงบิดเบรค (T_b) กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ (N) เพื่อที่จะประมาณหาค่าแรงบิดเบรค (T_b) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ที่ค่าความดันท่อร่วมไอดีคงที่ ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 สมการ คือ

$$T_b = F(N) \quad \text{ที่ MAP 15 in.Hg}$$

$$T_b = F(N) \quad \text{ที่ MAP 18 in.Hg}$$

$$T_b = F(N) \quad \text{ที่ MAP 21 in.Hg}$$

T_b = F(N) ที่ MAP 24 in.Hg

T_b = F(N) ที่ MAP 27 in.Hg

T_b = F(N) ที่ MAP 30 in.Hg

ซึ่งในแต่ละสมการที่ได้ก็จะคำนวณหาค่าแรงบิดเบรคที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตั้งแต่1000 rev/min. ไปจนถึง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 4000 rev/min. เช่นกัน เป็นต้นว่าที่ค่าความดันท่อร่วมไอดี 15 in.Hg สามารถประมาณค่าแรงบิดเบรคที่ 1400 rev/min หรือค่าแรงบิดเบรคที่ 3800 rev/min ได้

3.1.4 ประมาณค่า $\eta_{th,b}$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ โดยให้ความดันท่อร่วมไอดี (MAP) คงที่

ในขั้นตอนนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับขั้นตอนที่ 3 โดยทำการ Fit Curve เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ ($\eta_{th,b}$) กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ (N) เพื่อที่จะประมาณหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ ($\eta_{th,b}$) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ที่ค่าความดันท่อร่วมไอดีคงที่ ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 สมการเช่นกันคือ

$\eta_{th,b}$ = F(N) ที่ MAP 15 in.Hg

$\eta_{th,b}$ = F(N) ที่ MAP 18 in.Hg

$\eta_{th,b}$ = F(N) ที่ MAP 21 in.Hg

$\eta_{th.b}$ = F(N) ที่ MAP 24 in.Hg

$\eta_{th,b}$ = F(N) ที่ MAP 27 in.Hg

$\eta_{th,b}$ = F(N) ที่ MAP 30 in.Hg

ในแต่ละสมการหรือในแต่ละความดันท่อร่วมไอดีที่ได้ ก็จะคำนวณหาค่า $\eta_{th,b}$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าต่างๆ ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เริ่มคำนวณหาค่า $\eta_{th,b}$ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่า 1000 rev/min, 1200 rev/min, 1400 rev/min, ไปอย่างนี้เรื่อยๆ จนถึงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 4000 rev/min. ได้

3.1.5 ประมาณค่า $\eta_{th,b}$ ที่ค่าแรงบิดเบรคต่างๆ โดยให้ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่

จากขั้นตอนที่ 3. และขั้นตอนที่ 4. ลักษณะของข้อมูลที่ได้นั้นคือ ในแต่ละความเร็วรอบเครื่องยนต์ จะได้ค่า $\eta_{th,b}$ และค่าแรงบิดเบรค อย่างละ 6 ค่า คือที่ ความดันท่อร่วมไอดีตั้งแต่ 15 in.Hg ไปจนถึง 30 in.Hg สำหรับที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าอื่นๆ ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่ไม่ทราบค่า $\eta_{th,b}$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rev/min เมื่อแรงบิดเบรคมีค่าเท่ากับ 50 N.m และก็ไม่อาจทราบว่าที่

ความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกันนี้ ถ้าแรงบิดเบรคของเครื่องยนต์มีค่า 70 N.m ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์จะมีค่าเท่าไร สำหรับที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าอื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้นในขั้นตอนนี้ จึงเป็นการ Fit Curve เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\eta_{th,b}$ กับแรงบิดเบรคที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ นั่นคือ

หาความสัมพันธ์ของ $\eta_{th,b} = F(T_b)$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rev/min

หาความสัมพันธ์ของ $\eta_{th,b} = F(T_b)$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rev/min

หาความสัมพันธ์ของ $\eta_{th,b} = F(T_b)$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1400 rev/min

. . .

. . .

. . .

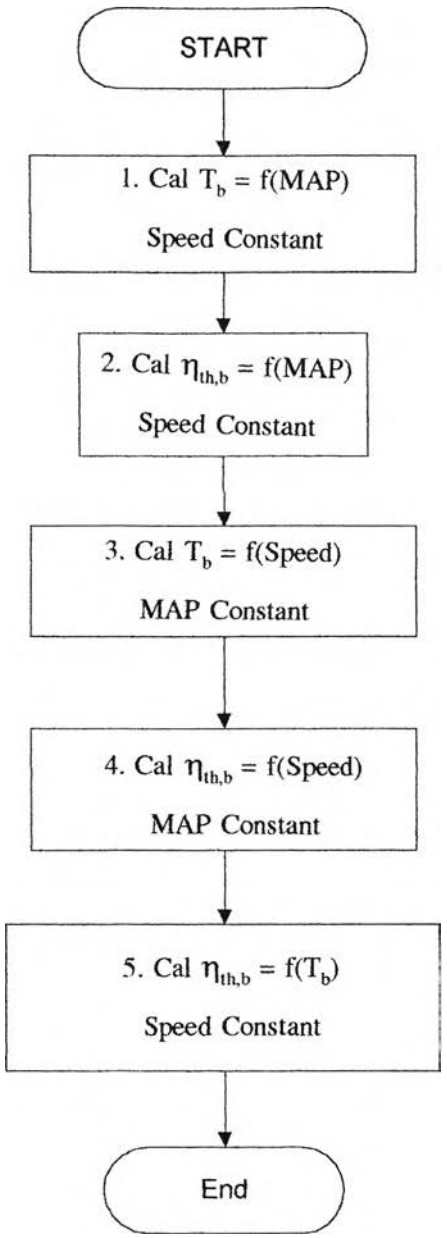
หาความสัมพันธ์ของ $\eta_{th,b} = F(T_b)$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 4000 rev/min

ซึ่งก็จะมีสมการความสัมพันธ์ระหว่าง $\eta_{th,b}$ กับแรงบิดเบรคทั้งหมด 16 สมการ คือ ตั้งแต่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 rev/min, 1200 rev/min, 1400 rev/min, ... , 4000 rev/min ซึ่งในแต่ละความเร็วรอบเครื่องยนต์จะคำนวณหาค่า $\eta_{th,b}$ ที่ค่าแรงบิดเบรคทั้งหมด 10 ค่า ด้วยกันคือ ตั้งแต่ $0.1T_{b,max}$, $0.2T_{b,max}$, $0.3T_{b,max}$, ... , $T_{b,max}$ เป็นต้นว่า ถ้า แรงบิดเบรคสูงสุด ($T_{b,max}$) มีค่า 140 N.m ก็จะคำนวณหาค่า $\eta_{th,b}$ ที่ค่าแรงบิดเบรคของเครื่องยนต์เท่ากับ 14 N.m , 28 N.m , 32 N.m , ... , 140 N.m เมื่อคำนวณครบทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์แล้ว ก็จะได้ค่า $\eta_{th,b}$ ที่ค่าแรงบิดเบรคและความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1 ซึ่งเมื่อนำค่า $\eta_{th,b}$ ไปเขียนลงในกราฟบนแกนของแรงบิดเบรคและความเร็วรอบเครื่องยนต์และลากเส้นต่อตำแหน่งทุกตำแหน่งที่มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค ($\eta_{th,b}$) เท่ากันก็จะได้ Performance Map ซึ่งมีลักษณะดังเช่นรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า $\eta_{th,b}$ ที่ค่าแรงบิดเบรคและความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ซึ่งใช้สำหรับสร้าง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 95 ซึ่งมีแรงบิดเบรคสูงสุด 131.727 N.m

ความเร็วรอบเครื่องยนต์	แรงบิดเบรค (N.m)									
(rev/min)	13.17	26.34	39.51	52.68	65.85	79.02	92.19	105.36	118.53	131.7
1000	-	14.94	19.72	23.39	25.95	27.39	27.72	26.94	-	-
1200	-	16.21	20.55	23.93	26.35	27.81	28.31	27.86	-	-
1400	-	17.22	21.24	24.41	26.72	28.19	28.81	28.57	-	-
1600	-	17.98	21.78	24.80	27.05	28.53	29.22	29.15	-	-
1800	-	-	22.16	25.11	27.33	28.82	29.58	29.61	28.91	-
2000	-	-	22.38	25.32	27.55	29.07	29.88	29.98	29.38	-
2200	-	-	22.44	25.42	27.70	29.27	30.13	30.29	29.74	-
2400	-	-	22.33	25.41	27.77	29.41	30.33	30.53	30.00	-
2600	-	-	22.06	25.29	27.78	29.51	30.49	30.71	30.18	28.90
2800	-	-	-	25.07	27.71	29.55	30.59	30.83	30.28	28.92
3000	-	-	-	-	27.57	29.54	30.65	30.90	30.29	28.82
3200	-	-	-	-	27.36	29.48	30.66	30.91	30.22	-
3400	-	-	-	-	27.10	29.38	30.63	30.86	30.07	-
3600	-	-	-	23.19	26.78	29.23	30.56	30.75	29.82	-
3800	-	-	-	-	26.42	29.06	30.44	30.58	29.46	-
4000	-	-	-	-	-	28.85	30.28	30.32	28.97	-

สำหรับขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการสร้าง Performance Map นั้นสามารถสรุปเป็น flow chart หลักๆ ได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดง Flow Chart ของขั้นตอนหลักๆ ที่ใช้ในการสร้าง Performance Map

3.2 การประเมินความแม่นยำของ Performance Map

ในหัวข้อนี้เป็นการประเมินความแม่นยำของ Performance Map ที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่างๆ ที่ปรากฏอยู่ใน Performance Map นั้นได้จากการประมาณค่าจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดเบรคและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์จากข้อมูลดิบ ซึ่งจากขั้นตอนต่างๆ ที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.1 นั้นมีหลายขั้นตอน จึงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นจากการประมาณค่าเมื่อนำไปเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองขึ้นอย่างแน่นอน

สำหรับการประเมินความแม่นยำของ Performance Map นั้น ทำได้โดยนำค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของ Performance Map ถ้าพบว่าจุดการทำงานของเครื่องยนต์ขณะทดสอบไม่ตรงกับจุดการทำงานที่ปรากฏใน Performance Map จะต้อง interpolate ค่า $\eta_{th,b}$ ของ Performance Map ให้อยู่ตำแหน่งเดียวกันกับจุดทดสอบ แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนโดยใช้สมการดังนี้

$$\%\text{error} = \frac{\left|\eta_{th,b,Per} - \eta_{th,b,Test}\right|}{\eta_{th,b,Per}} \times 100 \qquad (3.1)$$

โดย %error = เปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบ

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

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

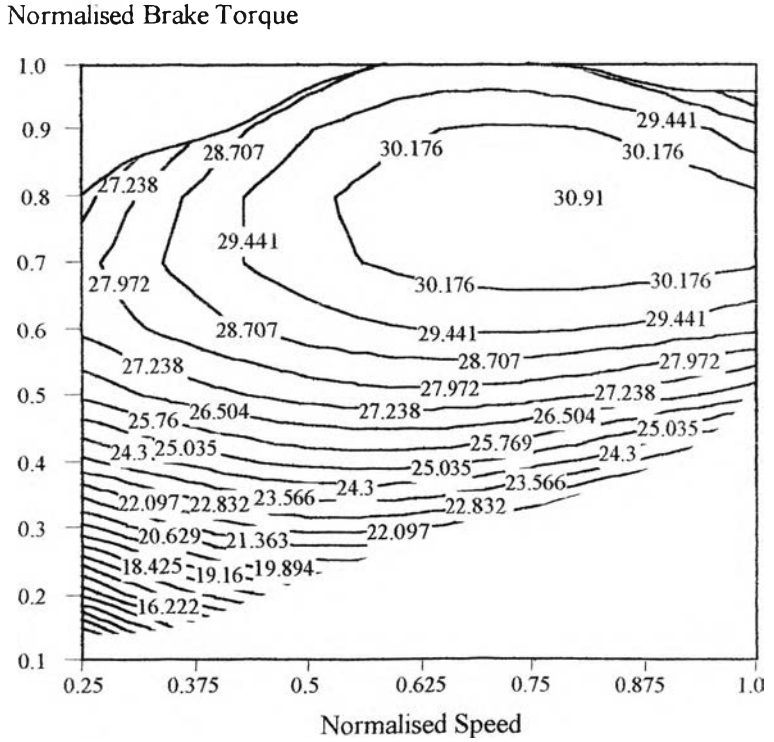
สำหรับตัวอย่างผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91 และน้ำมันออกเทน 95 แสดงไว้ดังตารางที่ 3.2 ดังข้างล่างนี้

ตารางที่ 3.2 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91 และน้ำมันออกเทน 95

FUEL OCTANE 91						FUEL OCTANE 95					
Speed (rev/min)	MAP in.Hg	Corrected Torque (N.m)	$\eta_{th,b,Test}$ (%)	$\eta_{th,b,Per}$ (%)	%ERROR (%)	Speed (rev/min)	MAP in.Hg	Corrected Torque (N.m)	$\eta_{th,b,Test}$ (%)	$\eta_{th,b,Per}$ (%)	%ERROR (%)
900	10.75	3.06	2.23	-	-	900	12	19.29	12.70	12.67	0.26
900	15	35.64	18.17	17.27	4.96	900	15	34.51	18.45	17.87	3.15
900	18	49.90	21.24	21.83	2.79	900	18	48.73	22.36	22.73	1.67
900	21	63.14	23.15	24.86	7.39	900	21	62.94	24.12	24.90	3.22
900	24	77.40	24.98	26.50	6.07	900	24	78.16	26.87	27.10	0.86
900	27	88.60	25.11	25.62	2.05	900	27	93.39	27.80	27.50	1.07
900	30	101.84	25.24	24.86	1.51	900	30	105.57	26.52	26.40	0.45

3.3 แนวคิดในการสร้าง Normalised Map

ก่อนที่จะไปถึงแนวคิดในการสร้าง Generalised Map นั้นจะต้องแปลง Performance Map ให้เป็น Normalised Map ก่อน เพราะ Generalised Map นั้นเป็นการเฉลี่ยข้อมูลของเครื่องยนต์ต่างๆ รวมกัน ซึ่งถ้าเครื่องยนต์ที่มีขนาดต่างกันก็จะทำให้ แรงบิดเบรคสูงสุด ($T_{b,max}$)ของเครื่องยนต์ แตกต่างกัน ซึ่งไม่สามารถนำมาเฉลี่ยรวมกันได้ แต่ถ้าพิจารณาให้เป็น Normalised Brake Torque ซึ่งก็คือ $T_b/T_{b,max}$ ก็จะมีค่าตั้งแต่ 0 - 1 เหมือนกันทุกเครื่อง ดังนั้นก่อนที่จะนำไปสู่การสร้าง Generalised Map จะต้องเปลี่ยน Performance Map ให้เป็น Normalised Map ก่อน ทำได้โดยเปลี่ยนแกน T_b เป็น Normalised Brake Torque ซึ่งทำได้โดยนำค่าแรงบิดสูงสุด($T_{b,max}$) ซึ่งเป็นแรงบิดเบรคสูงสุดที่ทดสอบได้ของแต่ละเครื่องไปหาร และเปลี่ยนแกนความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Speed) เป็น Normalised Speed โดยนำค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุด (N_{max}) มาหาร สำหรับความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงสุดนั้นยากที่จะทำการวัดหรือทราบได้ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ไดนาโมมิเตอร์ ดังนั้นจึงกำหนดค่าขึ้นมาให้เท่ากันทุกเครื่องซึ่งมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดที่ทำการทดสอบ ซึ่งเมื่อทำการแปลงข้อมูลแล้วก็จะได้ Normalised Map ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 95

3.4 แนวคิดในการสร้าง Generalised Map

เนื่องจาก Generalised Map เป็นตัวแทนกลุ่มของเครื่องยนต์ในกลุ่มศึกษา ดังนั้น การสร้าง Generalised Map นั้นจะต้องนำข้อมูลสมรรถนะของแต่ละเครื่องยนต์ในกลุ่มศึกษามาเฉลี่ยรวมกัน จึงจำเป็นจะต้องใช้วิธีทางสถิติเพราะปริมาณของเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบมีการใช้งานจริงในท้องตลาดในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการเฉลี่ยข้อมูลทั้งหมดจะต้องทำการถ่วง weight ด้วยปริมาณสัดส่วนร้อยละของแต่ละเครื่องในท้องตลาด และเนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้กับรถยนต์เบนซินในปัจจุบันประกอบด้วย น้ำมันเบนซินออกเทน 91 และ น้ำมันเบนซินออกเทน 95 ซึ่งปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นการสร้าง Generalised Map จึงต้องคำนึงถึง weight ปริมาณสัดส่วนร้อยละของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดด้วย ซึ่งค่าประสิทธิภาพที่แสดงใน Generalised Map สามารถคำนวณได้จากสูตรคำนวณดังนี้

$$\eta_{th,b,Gen} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (w_{91}\eta_{th,b,Nor,91} + w_{95}\eta_{th,b,Nor,95})_i}{\sum_{i=1}^{n} (w_{91} + w_{95})_i} \qquad (3.2)$$

โดย n = จำนวนเครื่องยนต์ที่ทดสอบ

w_{91} = weight ของปริมาณสัดส่วนร้อยละของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91 ในท้องตลาด

w_{95} = weight ของปริมาณสัดส่วนร้อยละของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 95 ในท้องตลาด

$\eta_{th,b,Nor,91}$ = ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคใน Normalised Map เมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 91, %

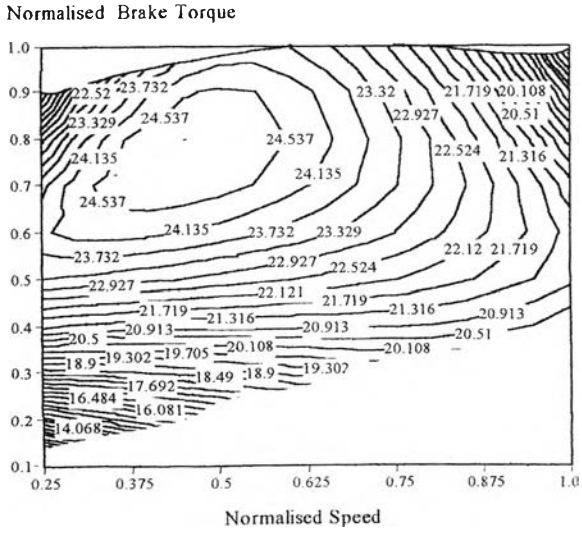
$\eta_{th,b,Nor,95}$ = ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคใน Normalised Map เมื่อใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 95, %

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

หลังจากนำค่า $\eta_{th,b}$ ในแต่ละตำแหน่งมาทำการเฉลี่ยครบทุกตำแหน่งแล้วก็จะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่จะนำไปสร้างเป็น Generalised Map ขึ้นมาดังตัวอย่างในตารางที่ 3.2 และ Generalised Map ที่ได้จะมีลักษณะดังรูป 3.5

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ทั้งหมดที่จะนำไปสร้างเป็น Generalised Map

อัตราส่วนความเร็ว	อัตราส่วนแรงบิดเบรค									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.25	-	13.93	18.25	21.37	23.32	24.07	23.64	22.02	-	-
0.30	-	14.47	18.33	21.25	23.24	24.29	24.40	23.57	-	-
0.35	-	14.92	18.43	21.16	23.13	24.32	24.74	24.39	-	-
0.40	-	-	18.54	21.10	23.01	24.26	24.86	24.80	24.08	-
0.45	-	-	18.66	21.06	22.89	24.14	24.83	24.94	24.48	-
0.50	-	-	18.79	21.03	22.77	23.99	24.71	24.91	24.61	-
0.55	-	-	-	21.02	22.65	23.82	24.52	24.77	24.55	-
0.60	-	-	-	21.01	22.53	23.62	24.29	24.53	24.34	-
0.65	-	-	-	21.00	22.41	23.41	24.01	24.22	24.02	-
0.70	-	-	-	20.99	22.27	23.18	23.70	23.85	23.61	-
0.75	-	-	-	20.95	22.13	22.93	23.36	23.42	23.10	-
0.80	-	-	-	20.90	21.96	22.65	22.97	22.92	22.50	-
0.85	-	-	-	20.82	21.77	22.34	22.53	22.35	21.78	-
0.90	-	-	-	20.69	21.55	22.00	22.04	21.66	20.86	-
0.95	-	-	-	20.50	21.31	21.62	21.44	20.77	19.61	-
1.0	-	-	-	-	21.02	21.18	20.68	19.50	17.67	-



รูปที่ 3.5 แสดง Generalised Map ซึ่งเป็นตัวแทนของเครื่องยนต์ในกลุ่มศึกษาของงานวิจัย

3.5 การประเมินความแม่นยำของ Generalised Map

เนื่องจาก Generalised Map เกิดจากการเฉลี่ยข้อมูลของ Normalised Map ของเครื่องยนต์ทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบ ดังนั้น เมื่อนำ Generalised Map กลับไปเปรียบเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ที่ได้ทำการทดสอบแต่ละเครื่องยนต์ ย่อมเกิดค่าคลาดเคลื่อนขึ้นแน่นอน แต่ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแต่ละเครื่องยนต์ทั้งหมดที่จุดการทำงานเดียวกันเมื่อถ่วงด้วย weight ของปริมาณสัดส่วนการใช้งานในท้องตลาดก็จะให้ผลรวมเท่ากับศูนย์ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบระหว่าง Generalised Map กับ Normalised Map ของแต่ละเครื่องจะคำนวณได้จากการพิจารณาตำแหน่งการทำงานของเครื่องยนต์ที่ตำแหน่งเดียวกันและนำค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ปรากฏจากทั้งสองแผนภูมิมาหาค่าผลต่างธรรมดา ซึ่งสามารถแสดงได้เป็นสมการดังนี้

$$\text{error} = \eta_{th,b,Gen} - \eta_{th,b,Nor} \qquad (3.3)$$

โดย error = ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบ Generalised Map กับ Normalised Map

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

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

สำหรับตารางที่ 3.4 นั้น เป็นตารางที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่าง Generalised Map กับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95 โดยให้สมการที่ 3.3 ข้างต้น

I 18486010

ตารางที่ 3.4 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95

อัตราส่วนความเร็ว	อัตราส่วนแรงบิดเบรค									
	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	-	-
0.30	-	-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	-	-
0.40	-	-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	-
0.50	-	-	-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	-
0.60	-	-	-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
0.70	-	-	-	-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
0.80	-	-	-	-	-5.40	-6.83	-7.69	-7.99	-7.72	-
0.85	-	-	-	-	-5.33	-7.04	-8.10	-8.51	-8.29	-
0.90	-	-	-	-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	-

อย่างไรก็ตามอย่างที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นว่าผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของแต่ละเครื่องยนต์ทั้งหมดที่จุดการทำงานเดียวกันเมื่อถ่วงด้วย weight ของปริมาณสัดส่วนการใช้งานในท้องตลาดก็จะให้ผลรวมเท่ากับศูนย์ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i error_i}{n} = 0 \qquad (3.4)$$

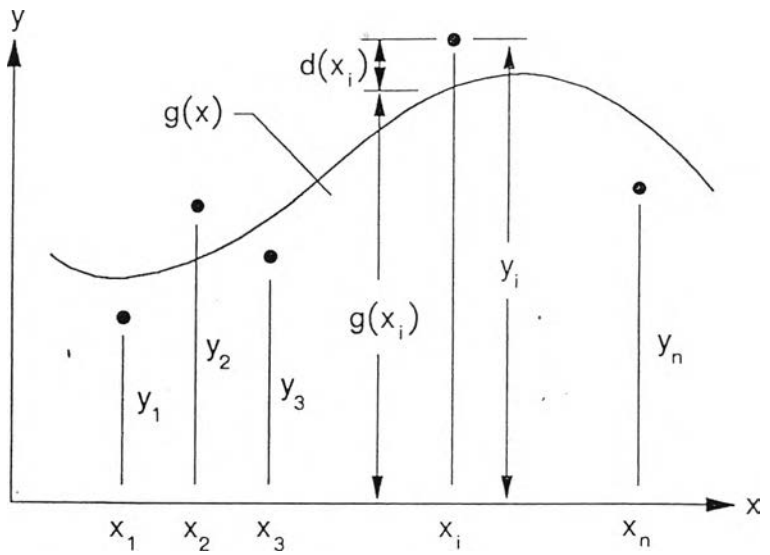
โดย n = จำนวนเครื่องยนต์ที่ทดสอบ

w_i = weight ของปริมาณสัดส่วนร้อยละของเครื่องยนต์ในท้องตลาด

$error_i$ = ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบ Generalised Map กับ Normalised Map

3.6 การถดถอยแบบพหุนาม[6]

การถดถอยแบบพหุนาม (polynomial regression) เป็นระเบียบวิธีที่ใช้ประดิษฐ์ฟังก์ชั่นพหุนามสำหรับข้อมูลที่มีการกระจายโดยทั่วไปที่ไม่อยู่ในรูปแบบของเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 การถดถอยแบบพหุนามโดยการประดิษฐ์ฟังก์ชั่นพหุนามจากชุดของข้อมูลที่กำหนดมาให้[6]

ชุดของข้อมูลในรูปที่ 3.5 นี้ ประกอบด้วย x_i, y_i, i=1,2,.....,n กล่าวคือ มีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น n ข้อมูล ในที่นี้เราจะประดิษฐ์ฟังก์ชั่นพหุนามอันดับ m สำหรับข้อมูลชุดนี้คือ

$$g(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \ldots\ldots + a_m x^m \qquad (3.5)$$

โดย a_0, a_1, a_2, ...,a_m เป็นค่าคงที่ที่ไม่รู้ค่า ซึ่งจะคำนวณหาจากเงื่อนไขที่ว่า สมการพหุนามที่จะประดิษฐ์ขึ้นมานี้จะก่อให้เกิดค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จากข้อมูลที่กำหนดมาให้ ขั้นตอนในการประดิษฐ์สมการพหุนามนี้ เริ่มจากการหาค่าความผิดพลาด E ทั้งหมดที่เกิดขึ้นมาจาก n ข้อมูล ในรูปแบบดังนี้

$$E = \sum_{i=1}^{n} [d(x_i)]^2 \qquad (3.6)$$

ซึ่งสามารถเขียนให้ประกอบด้วยฟังก์ชั่นพหุนามดังแสดงในสมการ (3.5) ได้คือ

$$E = \sum_{i=1}^{n}[y_i - g(x_i)]^2$$

$$E = \sum_{i=1}^{n}[y_i - (a_0 + a_1x + a_2x^2 + ... + a_mx^m)]^2 \qquad (3.7)$$

ในการหาตัวที่ไม่รู้ค่า $a_0, a_1, a_2, ...,a_m$ รวมทั้งสิ้น m+1 ค่านั้น เราจะใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด (least-squares) ซึ่งหาจากวิธีการหาค่าต่ำสุด (minimization) ของค่าความผิดพลาด E โดยเกี่ยวข้องกับตัวไม่รู้ค่า ก่อให้เกิดระบบสมการที่ประกอบด้วย m+1 สมการย่อยนั่นคือ

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial a_0} &= 0 \\ \frac{\partial E}{\partial a_1} &= 0 \\ \frac{\partial E}{\partial a_2} &= 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial E}{\partial a_m} &= 0 \end{aligned}\right\} m+1 \quad \text{สมการ} \qquad (3.8)$$

ดังตัวอย่างเช่น สมการแรกในระบบสมการนี้สามารถประดิษฐ์ขึ้นได้ดังนี้

$$2\sum_{i=1}^{n}[y_i - (a_0 + a_1x + a_2x^2 + ... + a_mx^m)](-1) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_i - \sum_{i=1}^{n} a_0 - \sum_{i=1}^{n} x_i a_1 - \sum_{i=1}^{n} x_i^2 a_2 - .... - \sum_{i=1}^{n} x_i^m a_m = 0$$

$$na_0 + (\sum_{i=1}^{n} x_i)a_1 + (\sum_{i=1}^{n} x_i^2)a_2 + ... + (\sum_{i=1}^{n} x_i^m)a_m = \sum_{i=1}^{n} y_i$$

และเช่นเดียวกันกับสมการที่สอง ซึ่งคือ

$$2\sum_{i=1}^{n}[y_i - (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + ... + a_mx_i^m)](-x_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \sum_{i=1}^{n} x_i a_0 - \sum_{i=1}^{n} x_i^2 a_1 - \sum_{i=1}^{n} x_i^3 a_2 - .... - \sum_{i=1}^{n} x_i^{m+1} a_m = 0$$

$$(\sum_{i=1}^{n} x_i)a_0 + (\sum_{i=1}^{n} x_i^2)a_1 + (\sum_{i=1}^{n} x_i^3)a_2 + ... + (\sum_{i=1}^{n} x_i^{m+1})a_m = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i$$

และสมการอื่นๆ ที่เหลือก็สามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน สมการทั้งหมดที่ประดิษฐ์ขึ้นมาได้นี้ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของระบบสมการที่ประกอบด้วย m+1 สมการย่อยได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^{n} x_i & \sum_{i=1}^{n} x_i^2 & \cdots & \sum_{i=1}^{n} x_i^m \\ \sum_{i=1}^{n} x_i & \sum_{i=1}^{n} x_i^2 & \sum_{i=1}^{n} x_i^3 & \cdots & \sum_{i=1}^{n} x_i^{m+1} \\ \sum_{i=1}^{n} x_i^2 & \sum_{i=1}^{n} x_i^3 & \sum_{i=1}^{n} x_i^4 & \cdots & \sum_{i=1}^{n} x_i^{m+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sum_{i=1}^{n} x_i^m & \sum_{i=1}^{n} x_i^{m+1} & \sum_{i=1}^{n} x_i^{m+2} & \cdots & \sum_{i=1}^{n} x_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum_{i=1}^{n} y_i \\ \sum_{i=1}^{n} x_i y_i \\ \sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{n} x_i^m y_i \end{Bmatrix} \qquad (3.9)$$

โดยเมตริกซ์จัตุรัสขนาด (m+1)x(m+1) ทางด้านซ้ายของระบบสมการนี้เป็นเมตริกซ์สมมาตรที่รู้ค่า และเวกเตอร์ขนาด (m+1)x1 ทางด้านขวาของระบบสมการก็รู้ค่าเช่นกัน ดังนั้นตัวไม่รู้ค่า a_0, a_1, a_2, ...,a_m ทั้งหมด m+1 สามารถคำนวณหาได้จากระบบสมการนี้โดยใช้ระเบียบวิธีการแก้ระบบสมการวิธีใดวิธีหนึ่งก็ได้ ซึ่งในการวิจัยนี้ได้ใช้ระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์ในการคำนวณหาค่าตัวไม่รู้ค่า a_0, a_1, a_2, ...,a_m

3.7 ระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์[6]

ระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์ (Gauss elimination) จัดได้ว่าเป็นระเบียบวิธีแก้ระบบสมการที่ได้รับความนิยมมากระเบียบวิธีหนึ่ง ซึ่งระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์ในภาพรวม สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

3.7.1 การกำจัดไปข้างหน้า (forward elimination) หากเรามีระบบสมการที่ประกอบด้วย 3 สมการย่อยดังนี้

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{Bmatrix} \qquad (3.10)$$

การกำจัดไปข้างหน้าจะเปลี่ยนระบบสมการที่ (3.10) ไปให้อยู่ในรูปแบบซึ่งเมตริกซ์จัตุรัสทางด้านซ้ายของสมการ จะเป็นเมตริกซ์นั้นที่ประกอบด้วยค่าศูนย์ตลอดแถบล่างซ้ายของเมตริกซ์นั้น ในแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ 0 & a_{22}^{'} & a_{23}^{'} \\ 0 & 0 & a_{33}^{''} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2^{'} \\ b_3^{''} \end{Bmatrix} \qquad (3.11)$$

โดยเครื่องหมายที่เป็นครรชนีบนของสัมประสิทธิ์แสดงถึงว่าสัมประสิทธิ์นั้นเป็นค่าใหม่ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปจากสัมประสิทธิ์เดิมในสมการที่ (3.10)

3.7.2 การแทนค่าย้อนกลับ (back substitution) เมื่อจัดระบบสมการให้อยู่ในรูปแบบของสมการที่ (3.11) ได้แล้ว ก็เป็นการง่ายทีเดียวที่จะคำนวณหาค่า x_i โดยเริ่มจากสมการท้ายสุดก่อน แล้วทำไล่ย้อนกลับขึ้นไปเพื่อหาค่า x_i ทีละสมการดังนี้

$$x_3 = \frac{b_3^{''}}{a_{33}^{''}}$$

$$x_2 = \frac{(b_2^{'} - a_{23}^{'} x_3)}{a_{22}^{'}} \qquad (3.12)$$

$$x_1 = \frac{(b_1 - a_{12} x_2 - a_{13} x_3)}{a_{11}}$$

สำหรับการประยุกต์ระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์กับระบบสมการที่ประกอบด้วยสมการเยอะๆ ถึง n สมการก็จะมีวิธีการแก้ระบบสมการรูปแบบเดียวกันกับที่กล่าวมาข้างต้น