บทที่ 7

การปรับปรุง

7.1 บทนำ

หลังจากทำการวิเคราะห์หาปัจจัย หรือสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดค่าความแปรปรวนขึ้นในการตั้งแต่มุมแคมเบอร์ได้แล้วในขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงสาเหตุหรือปัจจัยดังกล่าวเพื่อที่จะทำให้ปัญหาลดลงตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้วิธีการระดมความคิดเพื่อแสวงหาวิธีการปรับจากทีมงานและใช้การออกแบบการทดลองในกรณีปัจจัยที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ที่จะทำให้ความแปรปรวนลดลงให้ได้ตามที่กำหนด

7.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากการวิเคราะห์พบว่ามีปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะต้องนำมาทำการหาวิธีการปรับปรุงทั้งหมด 3 ปัจจัยดังนี้

- ระบบการตรวจวัดมุมแคมเบอร์ที่ VI

ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุงระบบการวัดตรวจวัดมุมที่ VI ในขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเลือกเพื่อการปรับปรุง

- การเลือกขนาดความหนาของแผ่นเอาเสริม (Shim Thickness Selection)

ซึ่งขนาดของแผ่นรองเสริมนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดมุมแคมเบอร์ขึ้น จึงจะนำปัจจัยนี้ไปทำการหาค่าที่เหมาะสมว่าจะต้องใช้ความหนาของแผ่นรองเสริมขนาดเท่าใด จากการออกแบบทดลอง

- การตั้งค่าความสูงของรถยนต์ (Vehicle Heisht Setling)

การปรับตั้งความสูงของรถยนต์ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากความสูงของรถที่เปลี่ยนไป จะมีผลให้มุมแคมเบอร์เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ จึงจะทำการให้การออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าความสูงของรถยนต์ที่เหมาะสมร่วมกับการเลือกขนาดความหนาของแผ่นรองเสริมต่อไป

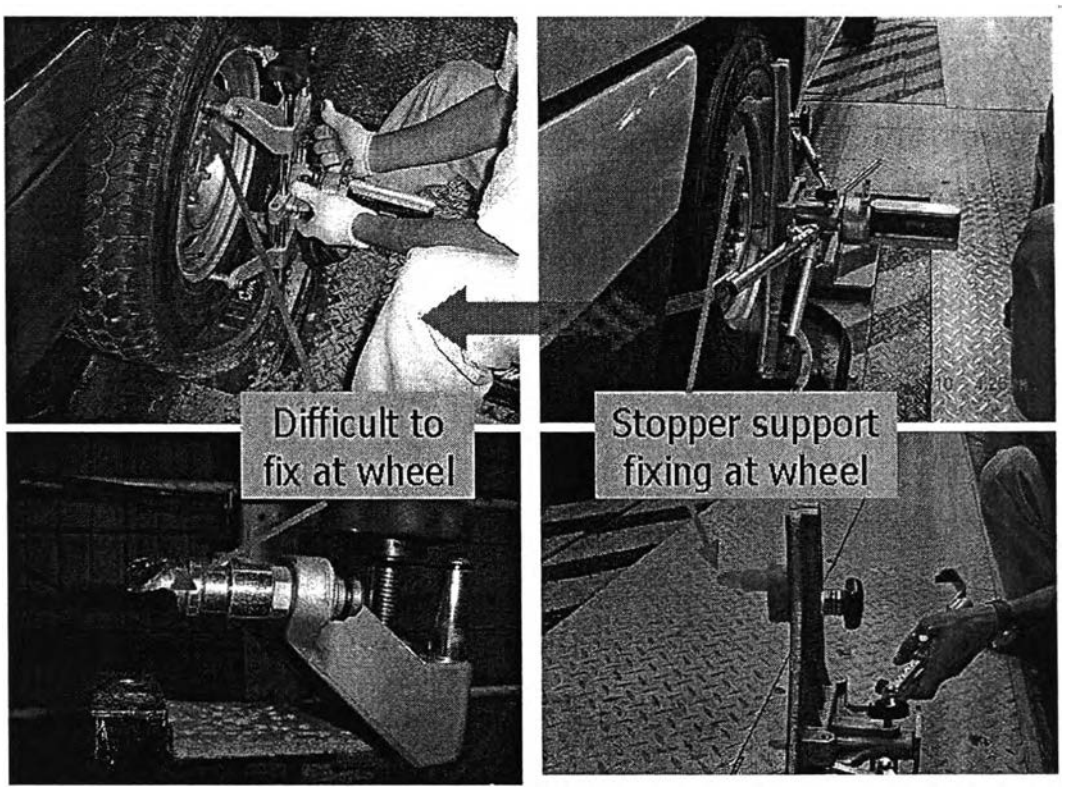
7.3 การเลือกวิธีการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์และระดมความคิดของที่งานพบว่าปัจจัยที่เป็นปัจจัยสำคัญและเป็นสาเหตุของค่ามุมแคมเบอร์ที่มีมากในการตรวจสอบที่แผนกควบคุมคุณภาพ (VQC.) คือการที่ในการตรวจสอบมุมแคมเบอร์ในกระบวนการผลิตได้ จึงทำการระดมความคิดเพื่อแสวงหาแนวทางการปรับปรุงระบบการวัดของการตรวจสอบดังกล่าวจากการระดมความคิดของทีมงานเพื่อหาสาเหตุของการที่ระบบวัดที่ VI มีค่า GR&R ไม่ดีคือ

การจับยึดที่ยากระหว่างอุปกรณ์จับยึดที่ใช้ในการวัดและขอบกระทะล้อรถยนต์

7.3.1 การปรับปรุงระบบการวัด

เมื่อทีมงานได้สรุปสาเหตุของการที่ระบบการวัด G R & R ที่ VI ไม่ดีแล้วว่ามาจากการจับยึดที่ใช้ในการวัดกับกระทะล้อรถยนต์จึงใช้วิธีการออกแบบตัวจับแบบใหม่ โดยไม่มีตัวปะทะกระทะล้อทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถติดตั้งอุปกรณ์จับยึดในการวัดได้และง่ายขึ้น ดังแสดงในรูป 7.1



รูป 7.1 อุปกรณ์จับยึดในการตรวจสอบมุมแคมเบอร์ที่ VI ก่อนและหลังปรับปรุง

7.3.2 การยืนยันผลการปรับปรุงระบบการวัด

หลังจากฝึกอบรมผู้ปฏิบัติให้ใช้อุปกรณ์จับยึดแบบใหม่ได้อย่างดีแล้วจึงทำการวิเคราะห์ระบบการวัดอีกครั้ง โดยใช้วิธีเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในบทที่6

ตาราง 7.1 ข้อมูลจากการวิเคราะห์ระบบการวัด

GR&R	Operator 1		Operator 2	
sample	Trial 1	Trial 2	Trial 1	Trial 2
1	0.52	0.50	0.51	0.54
2	0.04	0.05	-0.04	-0.06
3	-0.07	-0.13	-0.15	-0.01
4	-0.53	-0.44	-0.66	-0.55
5	0.06	0.09	0.01	0.20
6	-0.47	-0.50	-0.38	-0.44
7	0.58	0.66	0.68	0.54
8	0.22	0.10	0.23	0.28
9	0.36	0.40	0.28	0.35
10	0.52	0.45	0.48	0.33

ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดหลังการปรับปรุง

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.00447	2.86
Repeatability	0.00447	2.86
Reproducibility	0.00000	0.00
Opr	0.00000	0.00
Part-To-Part	0.15186	97.14
Total Variation	0.15633	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.066854	0.34430	16.91	34.43
Repeatability	0.066854	0.34430	16.91	34.43
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Opr	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.389689	2.00690	98.56	200.69
Total Variation	0.395382	2.03622	100.00	203.62

Number of Distinct Categories = 8

ผลปรากฏว่าค่า GR&R เทียบกับค่าพิกัดความเผื่อของค่าความแตกต่างมุมแคมเบอร์ มีค่าเท่ากับ 34.43 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ เกณฑ์การยอมรับ จึงสรุปได้ว่าเปลี่ยนอุปกรณ์ยึด ตัวใหม่มีผลทำให้แบบการวัดของการตรวจสอบมุมแคมเบอร์ที่ VI ดีขึ้น

7.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการทดลอง เชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยที่ K คือ จำนวนของปัจจัยที่นำมาทดลอง และ 2 คือจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และกำหนดให้ที่แต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็นต่ำ - กับ สูง + ตามหัวข้อที่ 7.2 ขั้นตอนการออกแบบการทดลองดังนี้

ปัจจัยที่นำมาศึกษาในขั้นนี้คือ

1). ความหนาของแผ่นรองเสริมมุม camber (Shim thickness) โดยในการใช้งานปัจจุบันได้กำหนด ค่าความหนาของการเสริมแผ่นรองไว้ที่ 1 มม. จนถึง 8 มม.

2) การปรับตั้งความสูงของรถยนต์ โดยวัดตั้งแต่จุดศูนย์กลางล้อไปจนถึง ขอบของตัวถังในแนวดิ่งกับศูนย์กลางล้อ โดยในปัจจุบัน ข้อกำหนดทางวิศวกรรมได้กำหนดให้ มีการให้สามารถตั้งความสูงตรงนี้ให้อยู่ในค่า ต่ำสุดคือ 406 มม. และสูงสุดคือ 446 มม.

ตาราง 7.2 แสดงปัจจัยและระดับในการตั้งค่าเพื่อการทดลอง

ปัจจัย (Factor)	ระดับค่าต่ำ (Low)	ระดับค่าสูง (High)
Shim Thickness	1 mm.	8 mm.
Vehicle Height	406 mm.	446 mm.

7.4.1 การทดลองซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำหมายถึงการที่ Treatment Combination หนึ่งจะถูกการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถที่จะประมาณค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ และทำให้ขนาดของความคลาดเคลื่อนลดลงได้ โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการทำซ้ำในแต่ละ Treatment Combination เท่ากับ 4 ครั้ง เนื่องจากทำให้ประหยัดเวลาในการทดลอง ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์กำลังของการทดลองได้ดังนี้ โดยจะสามารถคำนวน อำนาจของการทดลองได้ 0.99 ดังนี้

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Sigma = 0.194 Alpha = 0.05

Factors: 2 Base Design: 2, 4

Effect	Reps	Power
0.5	4	0.9970

7.4.2 การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลังสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งกำหนดพร้อมกับการสร้างเมตริการออกแบบ (Design Matrix) โดยสังเกตลำดับการทดลองได้จากช่อง Run Order ของตาราง

7.5 ขั้นตอนในการทดลอง

ทำการทดลองโดยตั้งค่าของรถยนต์ตามตารางที่แสดงลำดับการทดลอง พร้อมทั้งเก็บข้อมูลค่ามุมแคมเบอร์

ตาราง 7.3 แสดงผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	Shim	VH	Camber
14	1	8	406	1.1
11	2	1	446	1.32
2	3	8	406	0.9
9	4	1	406	1.64
3	5	1	446	1.2
8	6	8	446	0.48
12	7	8	446	0.48
10	8	8	406	0.92
5	9	1	406	1.68
16	10	8	446	0.45
6	11	8	406	0.81
15	12	1	446	1.33
4	13	8	446	0.53
13	14	1	406	1.55
1	15	1	406	1.63
7	16	1	446	1.26

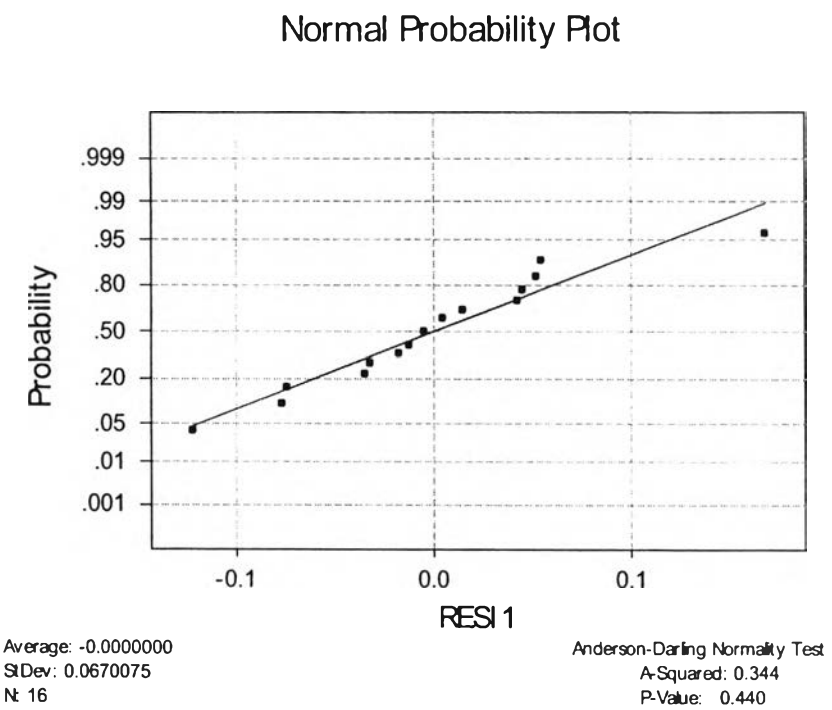
7.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้นจ้ะต้องทำการวิเคราะห์ยืนยันตามข้อสมมติทางสถิติที่สำคัญ คือ NID $(0,ó^2)$ จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adeqvacq Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไข NID $(0,ó^2)$ หรือไม่โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

การทดสอบสมมุติฐานของการเป็นปกติ

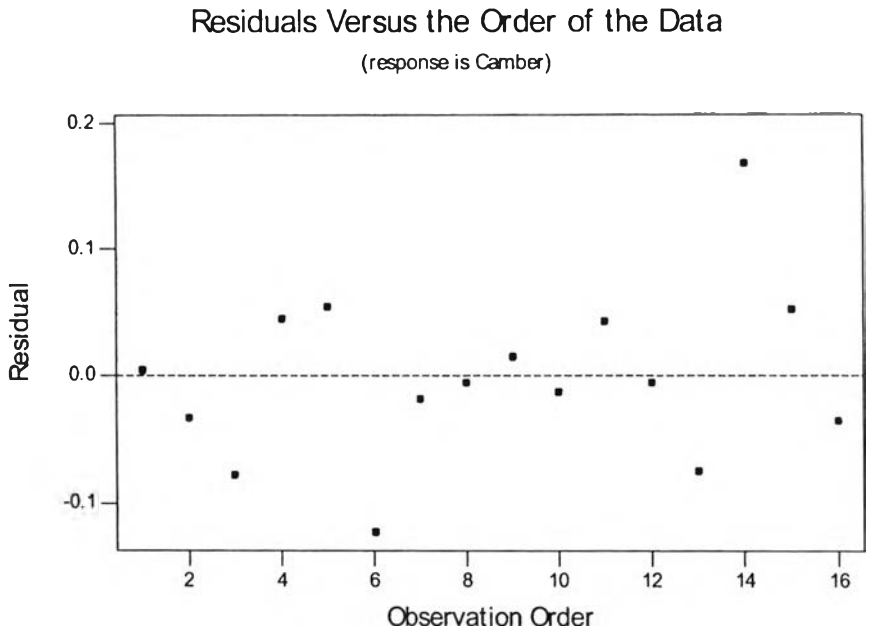
การทดสอบสมมุติฐานความเป็นปกติ สามารตรวจสอบได้ด้วยการตรวจสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของแต่ละตัวแปรตอบสนอง (ค่าของมุมแคมเบอร์ที่ได้จากการทดลอง) ที่ได้ควรเป็นเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ดังแดงในรูป 7.2

รูปที่ 7.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง



การทดสอบสมมุติฐานความเป็นอิสระ

การทดสอบสมมุติฐานความเป็นอิสระ สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล แสดงในรูป 7.3 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

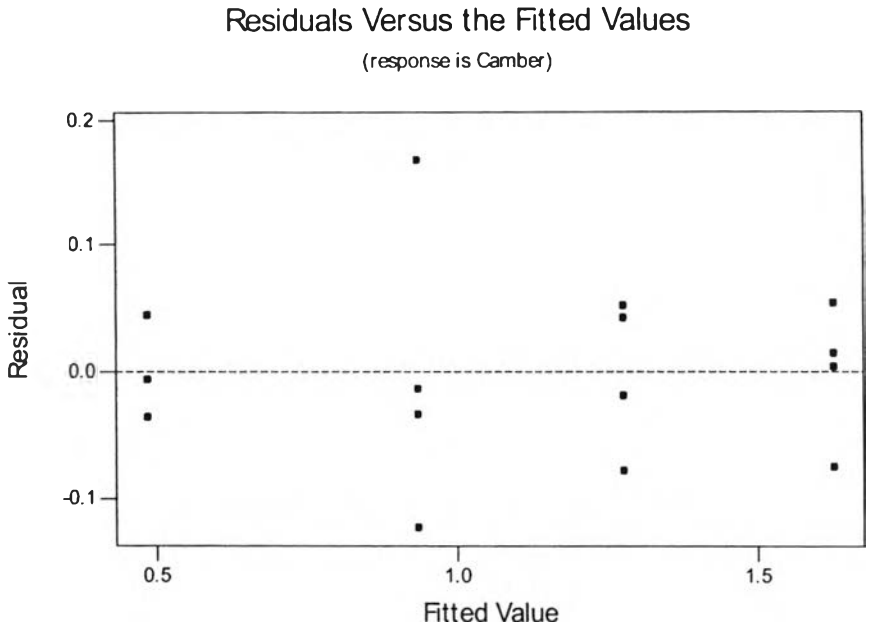


รูปที่ 7.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

ความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแยกถดถอย แสดงในรูป 7.4 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 7.4 แผนภาพแสดงส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

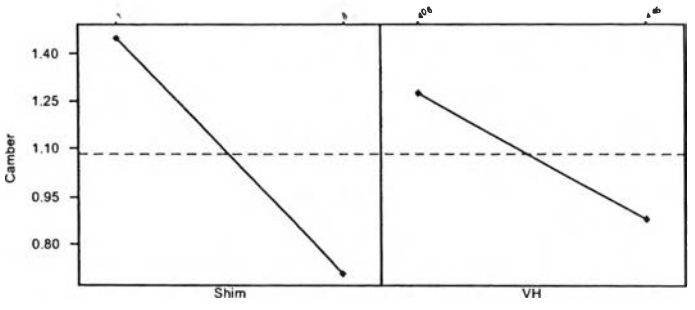
7.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ทั้งสองปัจจัยต่างก็มีผลต่อ มุม Camber ทั้งสิ้น โดยสามารถแสดงได้ด้วนสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\text{Camber} = 5.1 + 0.086\ (\text{shim thickness}) - 0.0083\ (\text{Vehicle height})$$

กราฟแสดงผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อผลการทดลอง

Main Effects Plot (data means) for Camber



ข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ โปรแกรม MINITAB

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	2.83725	2.83725	1.41862	252.76	0.000
2-Way Interactions	1	0.01000	0.01000	0.01000	1.78	0.207
Residual Error	12	0.06735	0.06735	0.00561		
Pure Error	12	0.06735	0.06735	0.00561		
Total	15	2.91460				

Estimated Coefficients for Camber using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	5.10605
Shim	0.046071
VH	-0.00833036
Shim*VH	-0.000357143

จากผลการทดลองทำให้เราสามารถกำหนดค่าของ ความหนาของแผ่นรองและความสูงของรถเพื่อให้ได้ค่าที่เราต้องการได้ โดยค่าของมุม Camber ที่ต้องการคือ 0.93 เพื่อที่จะทำให้ ความ

แปรปรวนที่ได้ลดลง ซึ่งข้อกำหนดทางวิศวกรรม คือ 0.93+- 0.50 องศา และนอกจากนั้นเพื่อเป็นการสะดวกต่อผู้ปฏิบัติงาน ในการเลือก ความหนาของแผ่นรองเสริม จึงกำหนดให้ค่า ความหนาของแผ่นรองเสริมที่จะใช้มีค่าคงที่ คือ 5 มม. เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการใช้แผ่นรองดังนั้นจะเหลือเพียงค่าความสูงของรถอย่างเดียวที่จะทำการปรับตั้งได้ ซึ่งจะได้ค่าความสูงของรถที่จะใช้ในการปรับตั้งคือ 430 มม. ซึ่งประมาณค่ามุม Camber ได้ 0.99 องศา

ตาราง 7.4 สรุปค่าที่ต้องการปรับตั้ง

Camber	shim thickness	Vehicle height
0.93	7	414
0.99	5	430

7.8 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนในการปรับปรุง (Improve Phase) เป็นการนำปัจจัยนำเข้าที่วิเคราะห์แล้วว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญและมีผลกระทบต่อปัญหาที่กำลังศึกษา คือ ว่าความแปรปรวนของมุมแคมเบอร์โดยมีทั้งหมด 3 ปัจจัยหลัก โดยมีหนึ่งปัจจัยที่ใช้วิธีการหาทางเลือกในการปรับปรุงโดยไม่ใช้การออกแบบการทดลอง คือ การปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดในการวัดตรวจสอบมุมแคมเบอร์ที่ VI และอีก 2 ปัจจัยที่เหลือคือ ขนาดความหนาของแผ่นรองเสริม และการตั้งความสูงของรถยนต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k คือ 2^2 Full Factorial Design ทำการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง จากผลการทดลองสามารถสรุปว่าทั้งสองปัจจัยมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดของมุมแคมเบอร์ โดยสามารถใช้แบบจำลองที่ได้จากผลการทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่จะได้ค่าของมุมแคมเบอร์ได้ดังนี้

Camber = 5.1 + 0.086 (shim thickness) – 0.0083 (Vehicle height)