บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

5.1 บทนำ

นำข้อมูลปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 4 ปัจจัย จากการวิเคราะห์ FMEA มากำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าก่อนนำไปทดสอบสมมุติฐาน

เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- โปรแกรม MINITAB เป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นฐานและสามารถประมวลผลการประยุกต์สถิติเชิงวิศวกรรมที่ครอบคลุมทั้งด้านการควบคุมคุณภาพไปจนถึงการออกแบบการทดลอง ซึ่งโปรแกรม MINITAB นี้สอดคล้องกับเครื่องมือที่ประกอบอยู่ในซิกซ์ ซิกม่า

5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมุติฐาน

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาได้สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบทั้งหมด ปัจจัย ได้แก่

1. แผ่น Media เลื่อนในขั้นตอนการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย(Final Torque)
2. การหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)
3. การคลายตัวของสกรูกันแกว่ง
4. Nest มีผลต่อการวัดค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูล

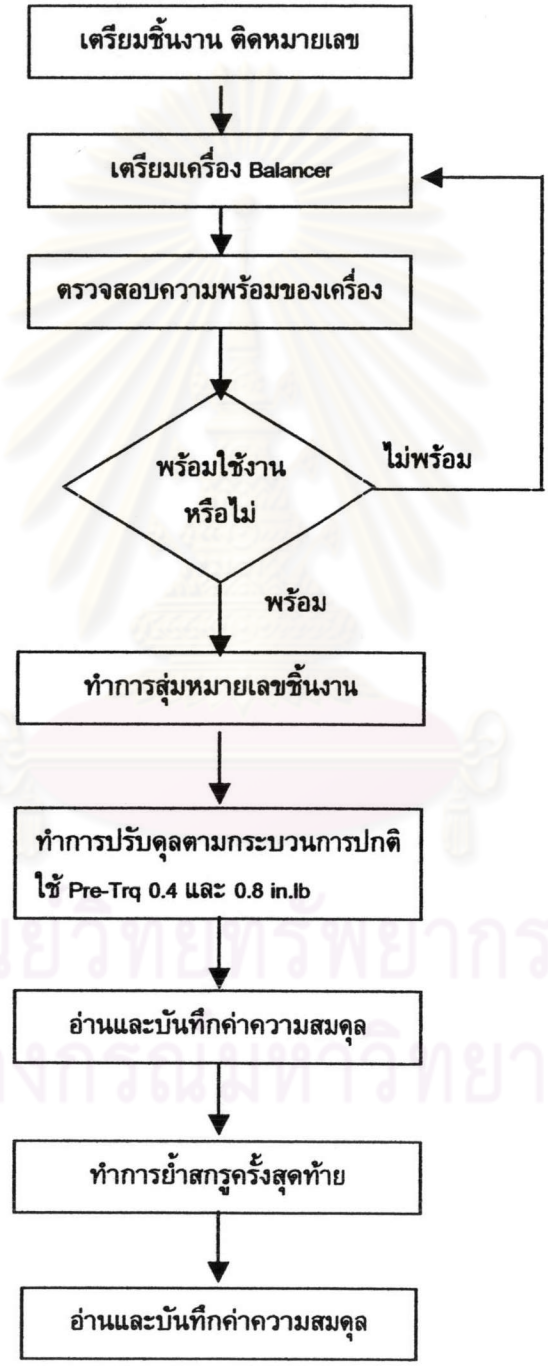
ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานของทั้ง ปัจจัยนั้น จะทำการทดสอบสมมติฐานระดับของแต่ละปัจจัยใน 2 ระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองและสามารถทำการทดลองได้ง่าย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนดำเนินการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

5.2.1 แผ่น Media เลื่อนในขั้นตอนการหมุนสกรูย้ำครั้งสุดท้าย (Final Torque)

ในการหมุนสกรูย้ำครั้งสุดท้ายเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการประกอบแผ่นบันทึกข้อมูลเข้ากับ Hard Drive Drive การเลื่อนของแผ่นบันทึกข้อมูลในขั้นตอนนี้จะทำให้ค่าความสมดุลเปลี่ยนแปลงไปซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลการทวนซ้ำ(Verify)

การทดลองในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดลองว่าแรงในการย้ำสกรูก่อนการปรับดุล (Pre-Torque) ในปัจจุบันมีผลต่อค่าความสมดุลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) หรือไม่การ

อ่านค่าจะอ่านค่าในขั้นตอนที่เครื่องทำการปรับดุลเสร็จแล้วแต่ยังไม่ทำการหมุนสกรครั้งสุดท้าย (Final Torque) เปรียบเทียบกับค่าหลังจากเครื่องหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) การทดลองจะทำการเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการหมุนสกรูที่ 0.4 และ 0.8 ปอนด์ นิ้ว



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับแรงที่ใช้ Pre-Torque

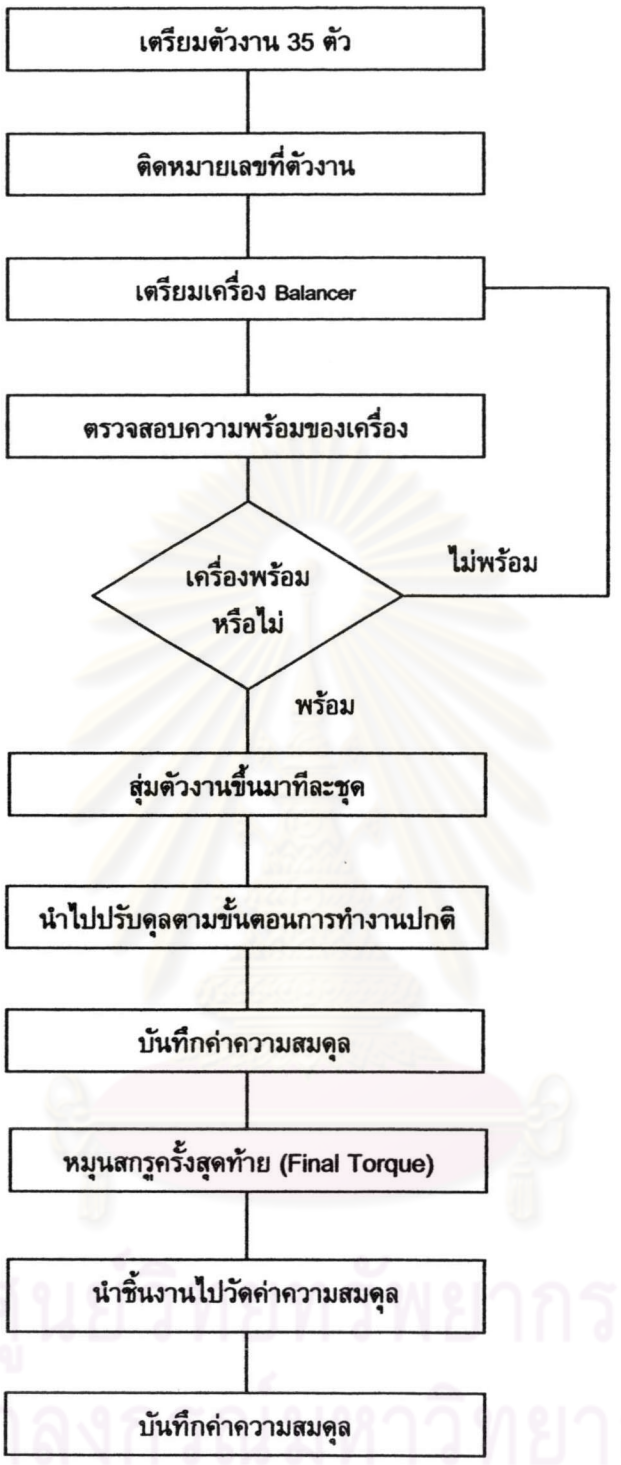
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2 การหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)

ในการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย(Final Torque)เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการประกอบแผ่นบันทึกข้อมูลเข้ากับ Hard Drive Drive การเลื่อนของแผ่นบันทึกข้อมูลในขั้นตอนนี้จะทำให้ค่าความสมดุลเปลี่ยนแปลงไปซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลการทวนซ้ำ(Verify)

การทดลองในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดลองว่าการย้ำสกรูครั้งสุดท้าย(Final Torque) ในปัจจุบันมีผลต่อค่าความสมดุลหรือไม่ การอ่านค่าจะอ่านค่าในขั้นตอนที่เครื่องทำการปรับดุลเสร็จแล้วแต่ยังไม่ทำการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย(Final Torque)เปรียบเทียบกับค่าหลังจากเครื่องหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



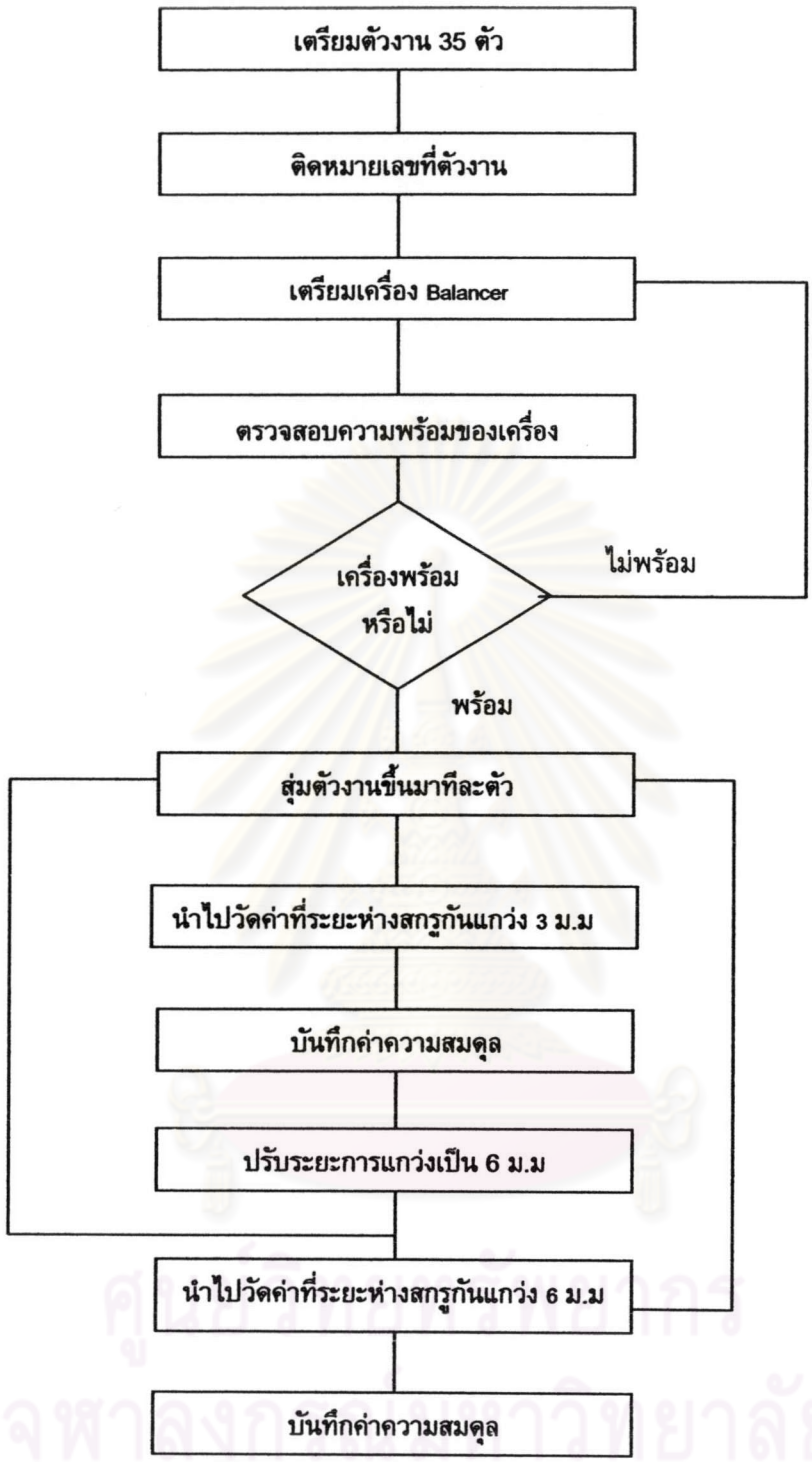
รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการเลื่อนตัวของแผ่นบันทึกข้อมูลในช่วง Final Torque

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3 การคลายตัวของสกรูกันแกว่ง

สกรูกันแกว่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของที่วางงานในการทวนสอบ (Verify Nest) หน้าที่ของสกรูกันแกว่งคือ เพื่อควบคุมระยะการแกว่งของที่วางงานขณะที่ทำการปฏิบัติการทวนสอบ การแกว่งตัวมากเกินไปจะทำให้เครื่องอ่านค่าความสมดุลผิดพลาดได้ เพราะค่าการสั่นสะเทือนของที่วางงานถูกรวมไปกับค่าความไม่สมดุลของตัวงาน และถ้าระยะการแกว่งน้อยเกินไปจะทำให้เครื่องอ่านค่าได้ผิดพลาดเช่นกันเพราะตอนที่ระบบจับยึดปล่อยให้ที่วางงานให้เป็นอิสระ ตอนแรกที่วางงานจะแกว่งตัวและค่อยๆหยุดนิ่ง ถ้าระยะการแกว่งน้อยเกินไปชุดที่วางงานจะกระแทกกับสกรูกันแกว่งทำให้เครื่องอ่านค่าผิดพลาดได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



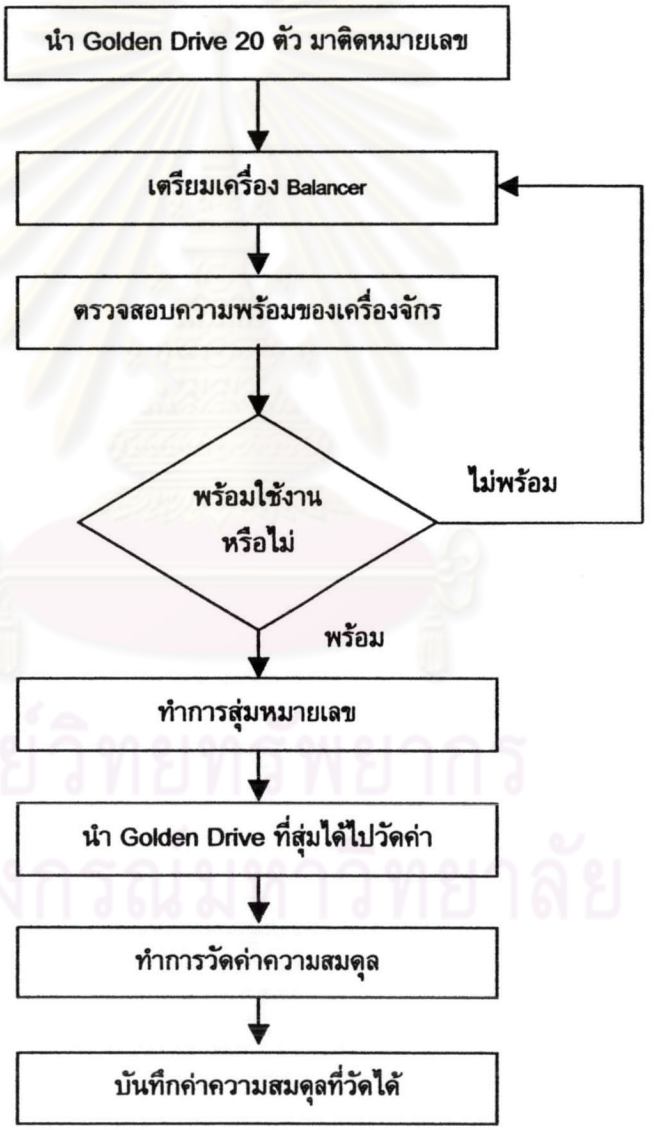
รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการคลายตัวของสกรูกันแกว่งของที่วางงานเพื่อการทวนสอบ(Verify Nest)

5.2.4 Nest มีผลต่อการวัดค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูล

เครื่องปรับความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูลจะมีที่วางงาน(Nest)เพื่อทำการปรับความสมดุลและวัดค่าความสมดุล ในขั้นตอนการวัดค่าความสมดุล Nest อาจจะมีผลต่อค่าความสมดุลที่วัดได้เนื่องจากการปรับตั้งหรือชิ้นส่วนประกอบบางอย่างที่อาจเกิดความคลาดเคลื่อนไป

การทดลองจะเป็นการทดลองเพื่อจะหาว่า Nest ทั้ง 2 Nest ในสภาพปัจจุบันมีผลต่อค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลที่อ่านได้หรือไม่

ขั้นตอนในการทำการทดลองโดยการวัดค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความสมดุลที่วัดได้จากแต่ละ Nest กับค่าความสมดุลของตัวงานที่ทราบค่าแล้ว(Golden Drive)



รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทดลองสำหรับการอ่านค่าของแต่ละ Nest

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 สรุประดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน

สามารถสรุประดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าได้ดังตารางที่ 5.1 โดยจะทำการทดสอบสมมติฐานด้วยค่าระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าดังกล่าว ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบสมมติฐานต่อไป จากนั้นคัดเลือกเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่ให้ค่าผลการทดสอบสมมติฐานที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญไปดำเนินการออกแบบการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ตารางที่ 5.1 สรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน

เลขที่	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
1	แรง Pre-Torque	0.4	0.8	In.lb
2	การทำ Final Torque	Before	After	In.lb
3	ระยะแกว่ง	3	6	mm
4	ที่วางงาน(Nest)	A	B	-

5.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน

แสดงผลการทดลองในภาคผนวก

5.4.1 แผ่น Media เลื่อนในขั้นตอนการหมุนสกรูย้ำครั้งสุดท้าย (Final Torque)

5.4.1.1 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

เป็นการวิเคราะห์เพื่อกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง ที่จะใช้ในการดำเนินการทดสอบสมมติฐานว่า มีความเพียงพอที่จะยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่

ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

Power and Sample Size

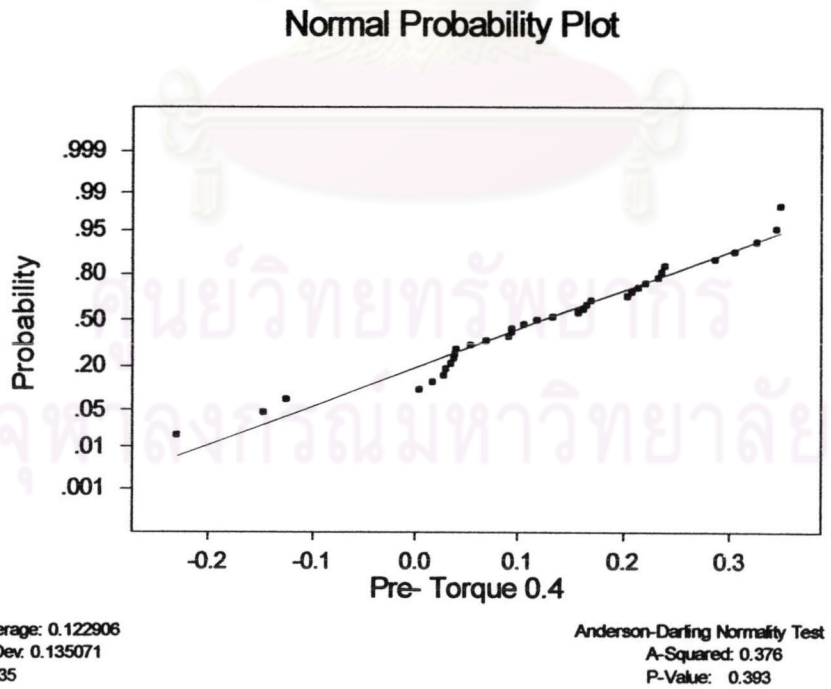
2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference
Alpha = 0.05 Sigma = 0.17

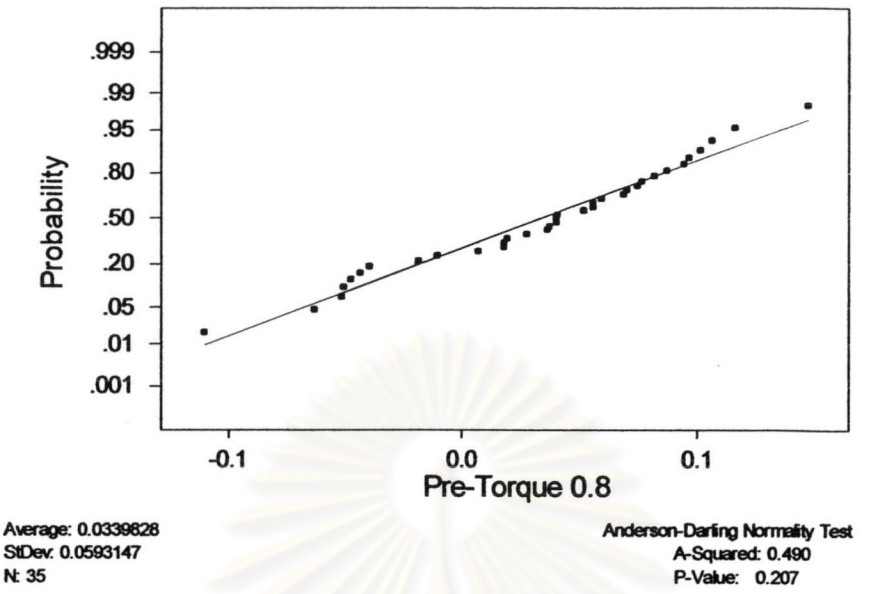
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.15	28	0.9000	0.9001
0.15	31	0.9250	0.9275
0.15	35	0.9500	0.9534
0.15	41	0.9750	0.9765
0.15	49	0.9900	0.9909

5.4.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยมีการกระจายแบบปกติ จากการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล พบว่าค่าความสมดุลทั้งการใช้แรงในขั้นตอนการหมุนสกรูก่อนการปรับดุลที่ 0.4 และ 0.8 มีการกระจายแบบปกติโดยมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.7 และ 5.8



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลในกรณีที่ใช้ค่า pre-torque เท่ากับ 0.4 in.lb



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลในกรณีที่ใช้ค่า pre-torque เท่ากับ 0.8 in.lb

5.4.1.3 การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่า ความแตกต่างของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) ของแผ่นบันทึกข้อมูลทั้งในกรณีที่ใช้ค่า Pre-Torque 0.4 และ 0.8 in.lb ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

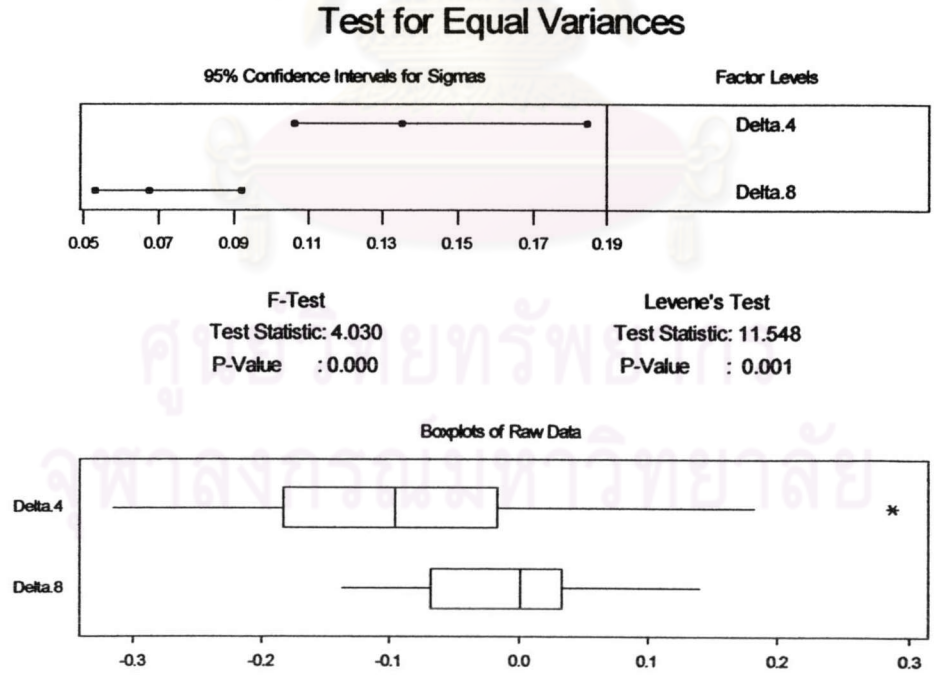
$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

โดยกำหนดให้ σ^2_1 แทนค่าความแปรปรวนของค่าความแตกต่างของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) ด้วยแรงที่ใช้ Pre-Torque เท่ากับ 0.4 in.lb และ σ^2_2 แทนค่าความแตกต่างของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) ด้วยแรงที่ใช้ Pre-Torque เท่ากับ 0.8 in.lb ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และ รูปที่ 5.22 สำหรับ Pre-Torque 0.4 in.lb และ ตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.23 สำหรับ Pre-Torque 0.8 in.lb

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนทั้งในกรณีที่ใช้ค่า Pre-Torque 0.4 และ 0.8 in.lb

Test for Equal Variances

```
Level1      Rbefore
Level2      Rafter
ConfLvl     95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

  Lower      Sigma      Upper      N  Factor Levels

0.050254  0.063971  0.087332     35  Rbefore
0.153485  0.195379  0.266726     35  Rafter


F-Test (normal distribution)

Test Statistic: 0.107
P-Value       : 0.000

Levene's Test (any continuous distribution)

Test Statistic: 48.933
P-Value       :  0.000
```



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลกการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนทั้งในกรณีที่ใช้ค่า Pre-Torque 0.4 และ 0.8 in.lb

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) ด้วยแรงที่ใช้ Pre-Torque เท่ากับ 0.4 in.lb และ 0.8 in.lb ดังแสดงในตารางที่ 5.4 , 5.5 และรูปที่ 5.22 , 5.23 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า แรงที่ใช้ในการหมุนสกรูก่อนการปรับดุลมีผลกระทบต่อความแปรปรวนค่าความแตกต่างของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) ที่ความเชื่อมั่น 95%

ขั้นต่อไปคือการทดสอบสมมุติฐานสำหรับค่าแฉลี่ยตัวแปรสุ่มปกติสองชุดโดยการเก็บข้อมูลภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแล้วทำการเปลี่ยนสถานการณ์ซึ่งหมายถึงอิทธิพลที่ต้อวการจะศึกษาของการทดลองนั้น กล่าวคือในการทดลองนี้จะใช้ตัวงานตัวเดียวกันทำการประกอบงานตามขั้นตอนการทำงานปกติด้วยแรงในการหมุนสกรูก่อนการปรับดุลด้วยแรงที่ระดับ 0.4 in.lb และ 0.8 in.lb แล้วนำเอาค่าทั้งสองมาเปรียบเทียบกันว่าแรงในการหมุนสกรูก่อนการปรับดุลมีอิทธิพลต่อค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลหรือไม่ ค่าความสมดุลที่นำมาเปรียบเทียบกันเป็นค่าความสมดุลที่เปลี่ยนไปหลังจากทำการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายเทียบกับค่าก่อนการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบแบบเป็นคู่(Pair T-Test)เป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0 : \mu d = 0$

$H_1 : \mu d \neq 0$

โดยกำหนดให้ μd แทนค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)

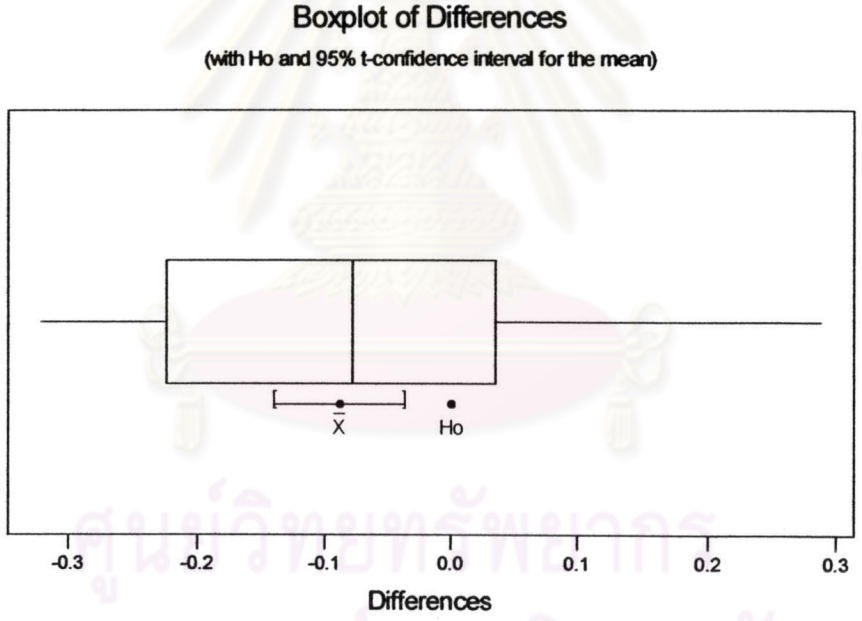
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายด้วยแรงที่ใช้ในขั้นตอน pre-torque ที่ 0.4 และ 0.8 in.lb

Test for Equal Variances: Delta.4 vs Delta.8

Paired T-Test and CI: Delta.4, Delta.8

```
Paired T for Delta.4 - Delta.8

                N      Mean     StDev   SE Mean
Delta.4        35   -0.0950    0.1353    0.0229
Delta.8        35   -0.0061    0.0674    0.0114
Difference     35   -0.0889    0.1508    0.0255

95% CI for mean difference: (-0.1407, -0.0371)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -3.49  P-Value = 0.001
```



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายด้วยแรงที่ใช้ในขั้นตอน pre-torque ที่ 0.4 และ 0.8 in.lb

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายโดยมีการใช้แรงในการหมุนสกรูก่อนการปรับดุลที่ต่างกันดังตารางที่ 5.5 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าการใช้แรงในการหมุนสกรู

ก่อนการปรับดุล (Pre-Torque) ด้วยแรง 0.4 in.lb และ 0.8 in.lb ให้การเปลี่ยนแปลงของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายแตกต่างกันที่ความเชื่อมั่น 95%

5.4.2 การวิเคราะห์สมมติฐานการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย(Final Torque)

5.4.2.1 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

เป็นการวิเคราะห์เพื่อกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง ที่จะใช้ในการดำเนินการทดสอบสมมติฐานว่า มีความเพียงพอที่จะยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

Power and Sample Size

2-Sample t Test

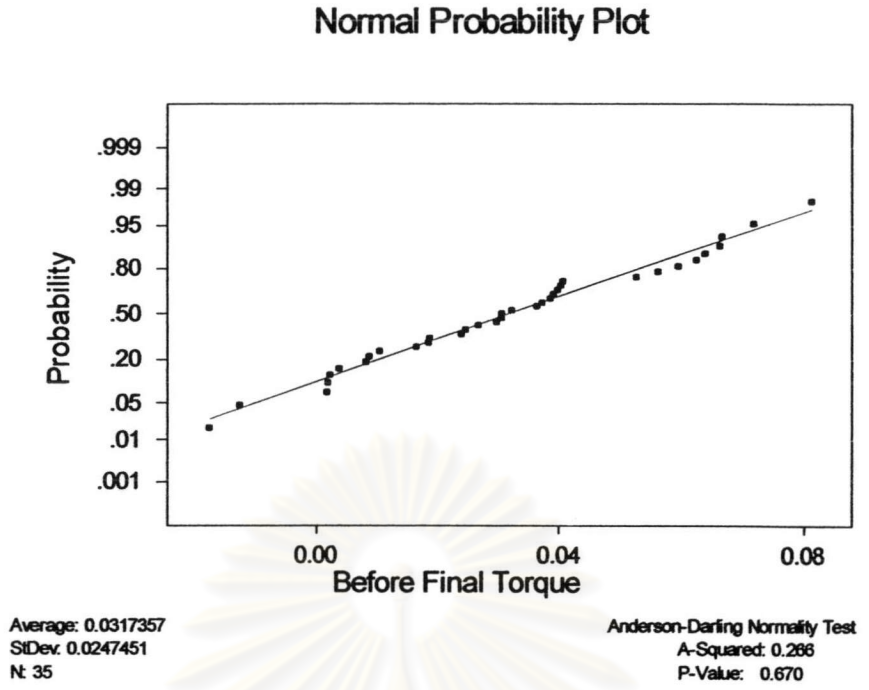
Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference
Alpha = 0.05 Sigma = 0.17

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.15	28	0.9000	0.9001
0.15	31	0.9250	0.9275
0.15	35	0.9500	0.9534
0.15	41	0.9750	0.9765
0.15	49	0.9900	0.9909

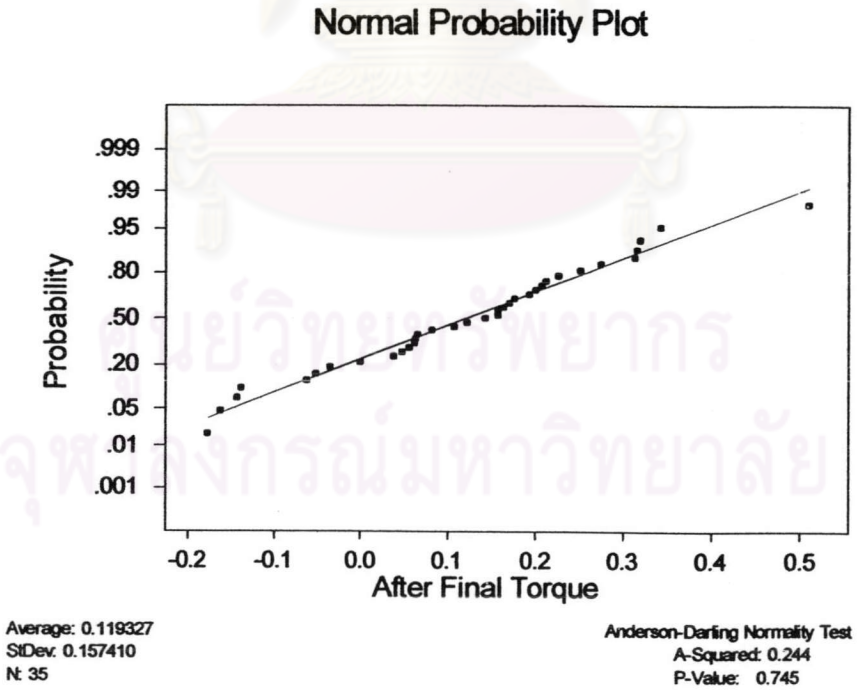
สรุปว่า จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 35 ค่า ซึ่งจะให้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % และค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test : 1 - β) มีค่ามากกว่า 95 % ดังนั้น จึงกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 2 ปัจจัย เท่ากับ 35 ตัวอย่าง

5.4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองปัจจัยมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ จากการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลพบว่าค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย(Final Torque) มีการกระจายแบบปกติโดยมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.15 และ 5.16



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลก่อนการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย

5.4.2.3 การทดสอบสมมุติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

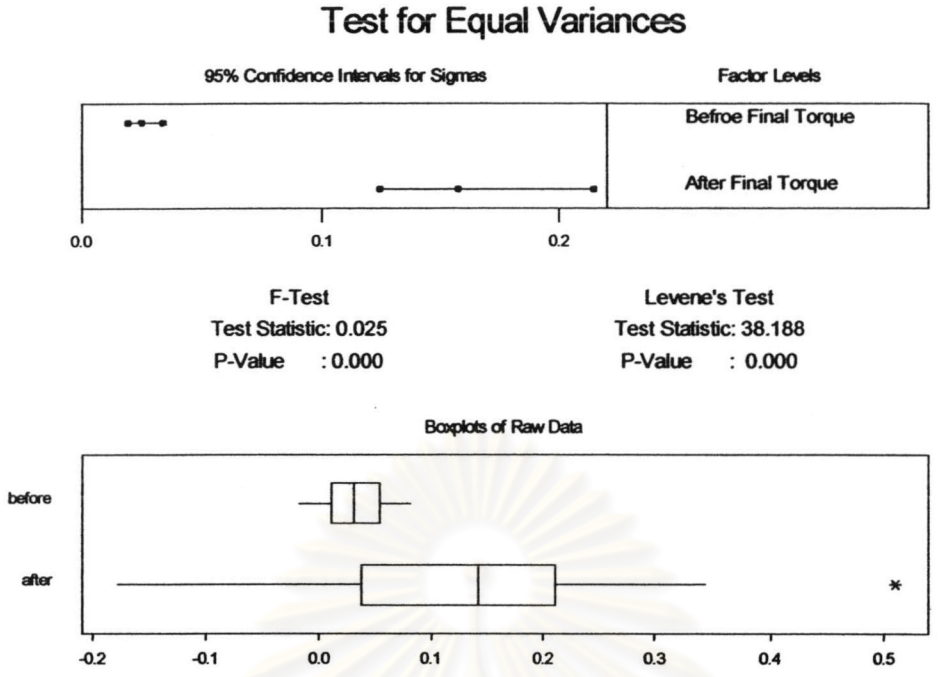
โดยกำหนดให้ σ^2_1 แทนค่าความแปรปรวนของค่าความสมดุลก่อนการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) และ σ^2_2 แทนค่าความสมดุลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และ รูปที่ 5.22 สำหรับค่า และ ตารางที่ 5.5 และ รูปที่ 5.23 สำหรับ Pre-Torque 0.8 in.lb

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน

Test for Equal Variances

```
Level1      Rbefore
Level2      Rafter
ConfLvl     95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

  Lower      Sigma      Upper      N  Factor Levels

0.019439   0.024745   0.033781     35  Rbefore
0.123658   0.157410   0.214892     35  Rafter


F-Test (normal distribution)


Test Statistic: 0.025
P-Value       : 0.000


Levene's Test (any continuous distribution)


Test Statistic: 38.188
P-Value       :  0.000
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) ดังแสดงในตารางที่ 5.4 , 5.5 และรูปที่ 5.22 , 5.23 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า การหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูล ที่ความเชื่อมั่น 95%

ขั้นตอนต่อไปการทดสอบสมมุติฐานสำหรับค่าแฉลี่ยตัวแปรสุ่มปกติสองชุดโดยการเก็บข้อมูลภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแล้วทำการเปลี่ยนสถานการณ์ซึ่งหมายถึงอิทธิพลที่ต้องการจะศึกษาของการทดลองนั้น กล่าวคือในการทดลองนี้จะใช้ตัวงานตัวเดียวกันทำการประกอบงานตามขั้นตอนการทำงานปกติแล้วนำเอาค่าก่อนและหลังการหมุนย้ำสกรูครั้งสุดท้ายมาเปรียบเทียบกันดูว่าการย้ำสกรูครั้งสุดท้ายมีอิทธิพลต่อค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบแบบเป็นคู่(Pair T-Test)เป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0 : \mu d = 0$

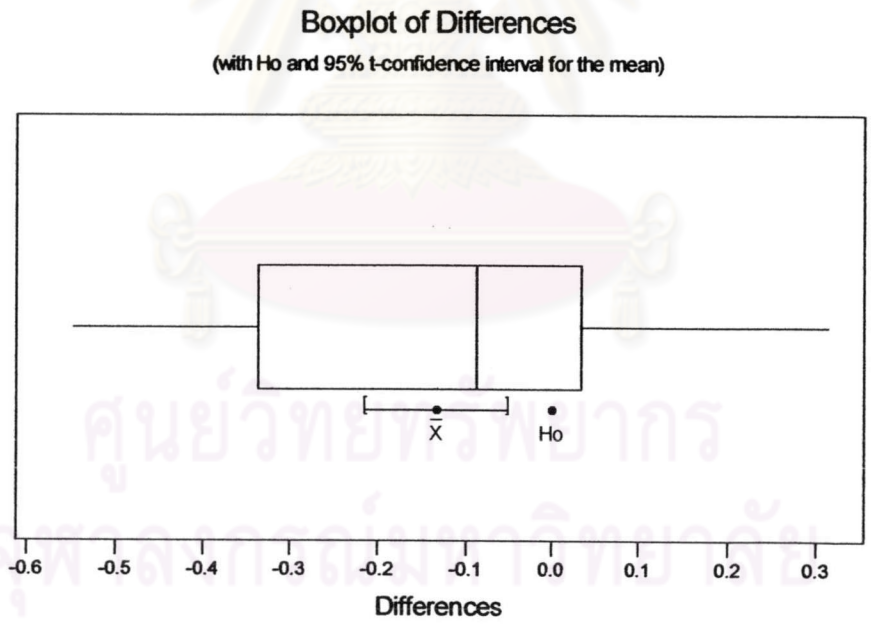
$H_1 : \mu d \neq 0$

โดยกำหนดให้ μ_d แทนค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อูลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)

Paired T-Test and CI: Rbefore, Rafter

```
Paired T for Rbefore - Rafter

                N      Mean     StDev   SE Mean
Rbefore        35    0.0317    0.0247    0.0042
Rafter         35    0.1193    0.1574    0.0266
Difference     35   -0.0876    0.1564    0.0264

95% CI for mean difference: (-0.1413, -0.0339)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -3.31  P-Value = 0.002
```



รูปที่ 5.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อูลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque)

จากผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่าความสมดุลแผ่นบันทึกข้อมูลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายดังตารางที่ 5.5 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย(Final

Torque)มีค่ามากกว่าก่อนการหมุนสกรูครั้งสุดท้ายที่ความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่า การหมุนสกรูครั้งสุดท้ายมีผลต่อค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูล

5.4.3 การวิเคราะห์สมมติฐานสกรูกันแกว่งของที่วางงานเพื่อการทวนสอบ (Verify nest)คลายตัว

5.4.3.1 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

เป็นการวิเคราะห์เพื่อกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง ที่จะใช้ในการดำเนินการทดสอบสมมติฐานว่า มีความเพียงพอที่จะยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่

ตารางที่ 5.8 ผลการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

Power and Sample Size

2-Sample t Test

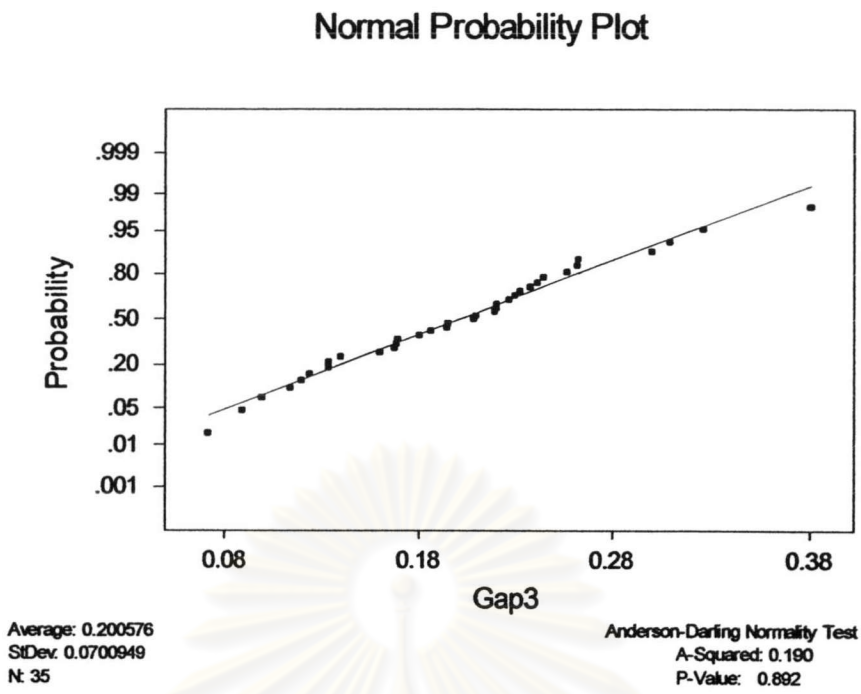
Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference
Alpha = 0.05 Sigma = 0.17

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.15	28	0.9000	0.9001
0.15	31	0.9250	0.9275
0.15	35	0.9500	0.9534
0.15	41	0.9750	0.9765
0.15	49	0.9900	0.9909

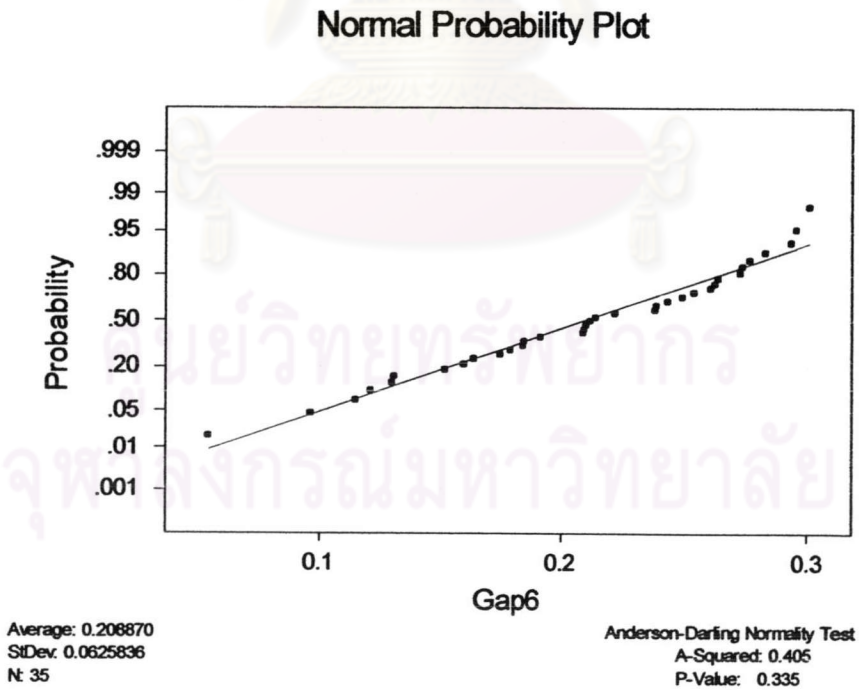
สรุปว่า จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 35 ค่า ซึ่งจะให้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % และค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test : 1 - β) มีค่ามากกว่า 95 % ดังนั้น จึงกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 2 ปัจจัย เท่ากับ 35 ตัวอย่าง

5.4.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองปัจจัยมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ จากการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลพบว่าค่าความสมดุลก่อนและหลังการหมุนสกรูครั้งสุดท้าย(Final Torque) มีการกระจายแบบปกติโดยมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.15 และ 5.16



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลที่ระยะกันแกว่ง 3 mm



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงการกระจายของค่าความสมดุลที่ระยะกันแกว่ง 6 mm

5.4.3.3 การทดสอบสมมุติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลโดยการตั้งสกรูกันแกว่งของที่วางงานเพื่อการทวนสอบที่ 3 มิลลิเมตรเปรียบเทียบกับการตั้งสกรูกันแกว่งของที่วางงานเพื่อการทวนสอบที่ 6 มิลลิเมตร ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ย โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

Paired T-Test and CI: Before Tighten, After Tighten

```
Paired T for Before Tighten - After Tighten

                    N      Mean     StDev   SE Mean
Before Tight       20    0.0579    0.0286    0.0064
After Tighte       20    0.2047    0.1926    0.0431
Difference         20   -0.1468    0.1980    0.0443

95% CI for mean difference: (-0.2394, -0.0541)
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -3.31
P-Value = 0.004
```

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0 : \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

$H_1 : \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

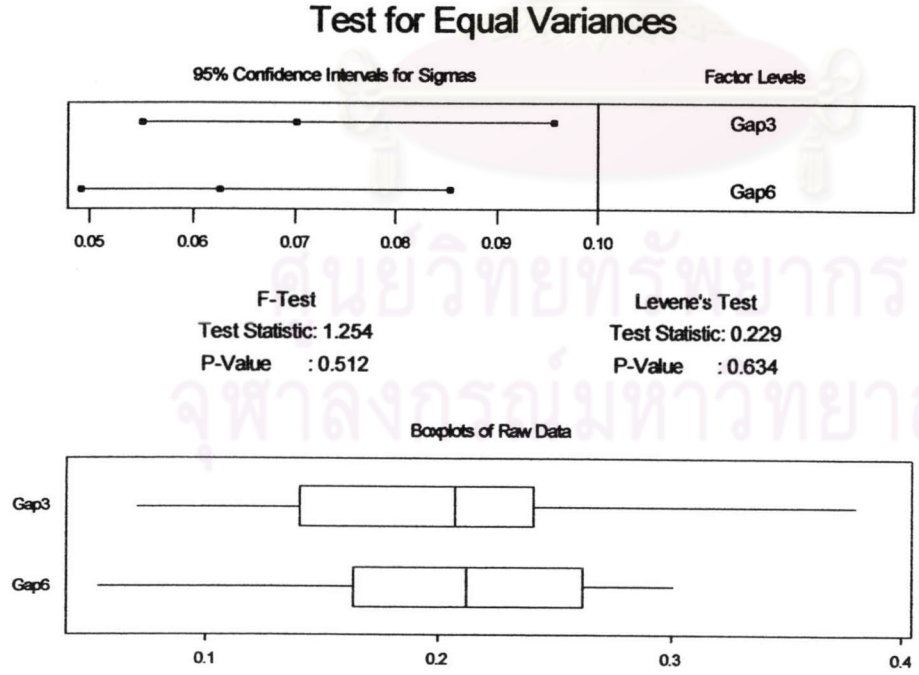
โดยกำหนดให้ σ^2_1 แทนค่าความแปรปรวนของค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลโดยการตั้งสกรูกันแกว่งของที่วางงานเพื่อการทวนสอบที่ 3 มิลลิเมตร และ σ^2_2 แทนค่าความสมดุลของแผ่นบันทึกข้อมูลโดยการตั้งสกรูกันแกว่งของที่วางงานเพื่อการทวนสอบที่ 6 มิลลิเมตร โดยผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5.9 และ รูปที่ 5.15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน

Test for Equal Variances

```
Level1      Gap3
Level2      Gap6
ConfLvl     95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

  Lower      Sigma      Upper      N  Factor Levels

5.51E-02  7.01E-02  9.57E-02     35  Gap3
4.92E-02  6.26E-02  8.54E-02     35  Gap6


F-Test (normal distribution)


Test Statistic: 1.254
P-Value       : 0.512


Levene's Test (any continuous distribution)


Test Statistic: 0.229
P-Value       : 0.634
```



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน

โดยกำหนดให้ β_1 คือค่าความชัน(slope) ของเส้นถดถอยที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ E(Y) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า x ไป 1 หน่วย

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบสมมุติฐานความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความสมดุลของ Golden Drive และค่าความสมดุลที่อ่านได้จาก Main Nest

Regression Analysis: Main Nest versus Golden Drive

The regression equation is
Main Nest = 0.00580 + 0.981 Golden Drive

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.005798	0.008971	0.65	0.526
Golden D	0.98119	0.03657	26.83	0.000

S = 0.02200 R-Sq = 97.6% R-Sq(adj) = 97.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.34838	0.34838	719.95	0.000
Residual Error	18	0.00871	0.00048		
Total	19	0.35709			

จากผลการทดลองพบว่าค่า R-Sq(adj) = 97.4% แสดงว่าค่าความสมดุลที่อ่านได้จากการ Main Nest และค่าความสมดุลของ Golden Drive มีค่าสูงมากและจาก P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสลงว่าค่าความสมดุลที่อ่านได้จากการ Nest A และค่าความสมดุลของ Golden Drive มีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบสมมุติฐานความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความสมดุลของ Golden Drive และค่าความสมดุลที่อ่านได้จาก Veryfy Nest

Regression Analysis: Verify Nest versus Golden Drive

The regression equation is
Verify Nest = - 0.0027 + 1.02 Golden Drive

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.00269	0.01260	-0.21	0.833
Golden D	1.02136	0.05136	19.89	0.000

S = 0.03090 R-Sq = 95.6% R-Sq(adj) = 95.4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.37749	0.37749	395.46	0.000
Residual Error	18	0.01718	0.00095		
Total	19	0.39467			

จากผลการทดลองพบว่าค่า R-Sq(adj) = 95.4% แสดงว่าค่าความสมดุลที่อ่านได้จากการ Verify Nest และค่าความสมดุลของ Golden Drive มีค่าสูงมากและจาก P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสลงว่าค่าความสมดุลที่อ่านได้จากการ Nest B และค่าความสมดุลของ Golden Drive มีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากผลการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัย สรุปผลได้ดังตารางที่ 5.13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.13 สรุปความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย

เลขที่	ปัจจัย	ระดับ	ค่า P-Value			ความมีนัยสำคัญ
			การกระจายแบบปรกติของข้อมูล	ความเท่ากันของค่าความแปรปรวน	ความเท่ากันของค่าเฉลี่ยหรือความสัมพันธ์เชิงเส้น	
1	แรงหมุนสกรูก่อนการปรับดุล (Pre-Torque)	0.4 in.lb	0.393	0.00	0.001	Significant
		0.8 in.lb	0.207			
2	การหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final-Torque)	Before	0.670	0.00	0.002	Significant
		After	0.745			
3	ระยะการแกว่งตัวของที่วางงานเพื่อการทวนสอบ (Verify Nest)	3 mm	0.892	0.634	0.628	No Significant
		6 mm	0.335			
4	ที่วางงาน (Nest)	Golden	0.498		R^2 (G&A) adj = 97.4% P-Value = 0.00	No Significant
		Main Nest	0.268			
		Verify Nest	0.712		R^2 (G&B) adj = 95.4% P-Value = 0.00	

5.5 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

จากผลการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัย พบว่า ถ้าค่า P-Value ของปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของของค่าความสมดุล ของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในที่นี้พบว่าเหลือเพียง 3 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ แรงหมุนสกรูก่อนการปรับดุล (Pre-Torque) การหมุนสกรูครั้งสุดท้าย (Final Torque) และการคลายตัวของสกรูกันแกว่งของที่วางงานเพื่อการทวนสอบ(Verify Nest) ส่วนค่า P-Value ของการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความสมดุลที่อ่านได้จากที่วางงานและ Golden Drive น้อยกว่า 0.05 หมายความว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือ ที่วางงานอ่านค่าความสมดุลได้ไม่ตกต่างจาก Golden Drive โดยสามารถสรุประดับของปัจจัยที่สำคัญดังกล่าว ดังแสดงในตาราง 5.14

ตารางที่ 5.14 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

เลขที่	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		1	2	
1	แรงหมุนสกรูก่อนการปรับดุล (Pre-Torque)	0.4	0.8	In.lb
2	การทำ Final Torque 3.4 in.lb	Before	After	In.lb

ผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ได้ทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นนั้น จะนำไปพิจารณาและวิเคราะห์ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่า Verify Failed ให้ดีขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย