การปรับปรุงคุณภาพ โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ

กรณีศึกษา : โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

*สมศักดิ์ แก้วพลอย

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีการแข่งขันกันอย่างสูงมาก เนื่องจากผู้ดำเนินธุรกิจทางด้านนี้มีอยู่มากทั้งภายในและภายนอกประเทศ ทำให้ผู้ประกอบรถยนต์มีทางเลือกในการพิจารณาเลือกผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มีความจำเป็นที่จะต้องตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า โดยมุ่งที่จะผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ (Quality) ราคาสามารถแข่งขันได้ (Cost) และส่งมอบทันเวลา (Delivery) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการแข่งขันทางธุรกิจ จึงมีความจำเป็นต้องรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และลดต้นทุนการผลิตเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางธุรกิจและเป็นแรงจูงใจให้กับลูกค้า

บทความเรื่องนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการประกอบคานขวางในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ จากการศึกษาพบว่าชิ้นส่วนดังกล่าวต้องมีระดับคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งทางบริษัทฯ ก็มีความตระหนักและให้ความสำคัญในด้านคุณภาพของงานที่ผลิตเพื่อส่งมอบให้ลูกค้าเสมอ และมีความเข้ม งวดในการทำงาน กล่าวคือปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพของกระบวนการประกอบคานขวาง เป็นการตรวจสอบ 100% และเมื่อตรวจพบงานที่ไม่ได้คุณภาพที่กำหนดไว้จะมีการปรับแต่งชิ้นงานหรือนำไปแก้ไขใหม่ (Rework) โดยให้งานเหล่านั้นได้คุณภาพตามข้อกำหนดของมาตรฐานที่ลูกค้าต้องการ ด้วยลักษณะการทำงานดังกล่าวทำให้พนักงานหรือผู้เกี่ยวข้องมองปัญหาเหล่านั้นเหมือนกับเป็นขั้นตอนหนึ่งของการทำงาน ซึ่งปกติปัญหาประเภทนี้ควรจะปรับปรุงให้มีน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย แต่ยังคงระดับคุณภาพของงานตามที่ลูกค้ากำหนดไว้เหมือนเดิม ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการผลิตได้ในอนาคต

*อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏสงขลา

2. กรรมวิธีการประกอบคานขวาง

คานขวาง (Cross Member) เป็นชิ้นส่วนหนึ่งของรถยนต์ซึ่งประกอบอยู่บริเวณช่วงล่างของรถยนต์ระหว่างคัทซี (Chassis) ทำการประกอบด้วยวิธีการเชื่อม (Welding) 2 แบบคือ การเชื่อมจุด (Spot Welding) และการเชื่อมมิก (Gas Metal Arc Welding) โดยเชื่อมประกอบบนอุปกรณ์จับงาน (Fixture) ซึ่งชิ้นส่วนดังกล่าวประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 1

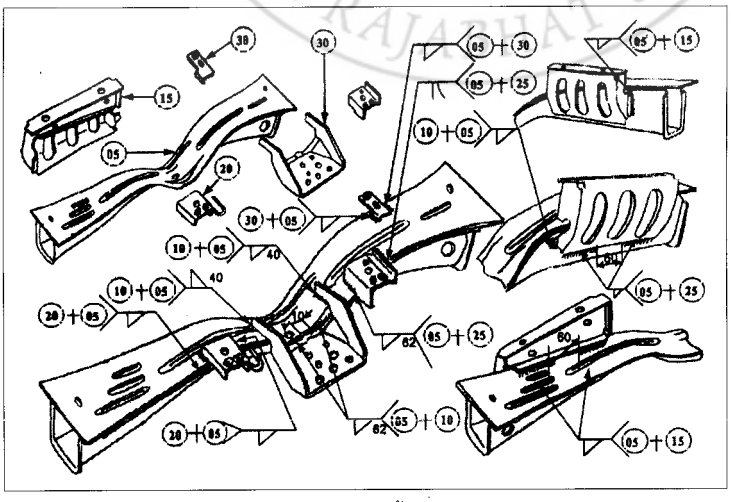
3. การระบุปัญหา

ผลของปัญหาด้านคุณภาพการผลิต จะปรากฏออกมาในรูปของความสูญเสียซึ่งคำนวณได้จากจำนวนชิ้นของเสียคูณด้วยราคาต้นทุนต่อชิ้นและของเสียแต่ละชิ้นจะมีจุดบกพร่องที่ต่างกันออกไป และอาจมาจากสาเหตุจำนวนมากมายในสายการผลิตหนึ่ง ๆ แต่หากวิเคราะห์ลึกลงไป เรากลับพบว่าสาเหตุความบกพร่องไม่กี่สาเหตุกลับก่อความสูญเสียให้มากมาย ขณะที่ความสูญเสียเล็ก ๆ น้อย ๆที่เหลือนั้นกลับมาจากสาเหตุจำนวนมากมาย

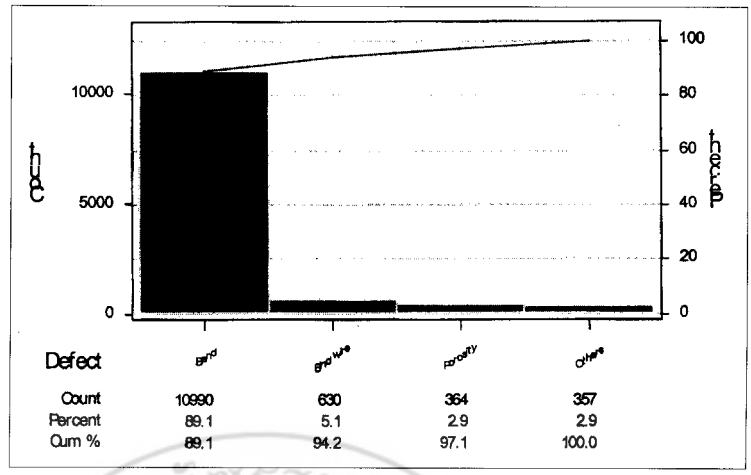
สำหรับการเลือกปัญหาในกระบวนการประกอบคานขวาง จำเป็นที่จะต้องเลือกปัญหาที่มีความสำคัญมากมาทำการแก้ไขก่อน โดยการแยกแยะความผันแปรในข้อมูล เพื่อวิเคราะห์ความเสถียรภาพของกระบวนการ

จากข้อมูลการตรวจสอบคานขวางพบว่ามีอาการของข้อบกพร่องที่ทำการตรวจพบสามารถวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต ดังรูปที่ 2

เมื่อพิจารณาจากแผนภาพพาเรโตของอาการปัญหา และอาศัยหลักการของพาเรโตที่ว่าสิ่งที่มีความสำคัญมากจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20%) และสิ่งที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยมีปริมาณมาก (ประมาณ 80%) จะพบว่าจากรูปที่ 2 อาการที่มีความสำคัญมากและควรค่าแก่การศึกษานั้นคือ การโก่งงอของคานขวาง (Bend of Cross Member) โดยมีความเชื่อว่าถ้าเรายังทำการผลิตหรือประกอบต่อไปภายใต้กระบวนการเดิม จะพบผลิตภัณฑ์บกพร่องเนื่องจากการโก่งงอของคานขวางมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกปัญหาการโก่งงอของคานขวางมาทำการปรับปรุงคุณภาพ



รูปที่ 1 การประกอบชิ้นส่วนคานขวาง



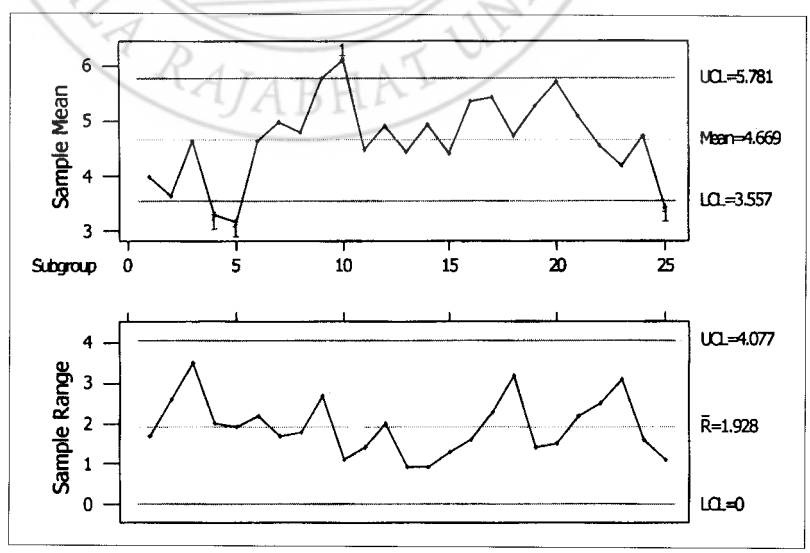
รูปที่ 2 แผนภาพพาเรโตของอาการปัญหาของกระบวนการประกอบคานขวาง

4. การประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ

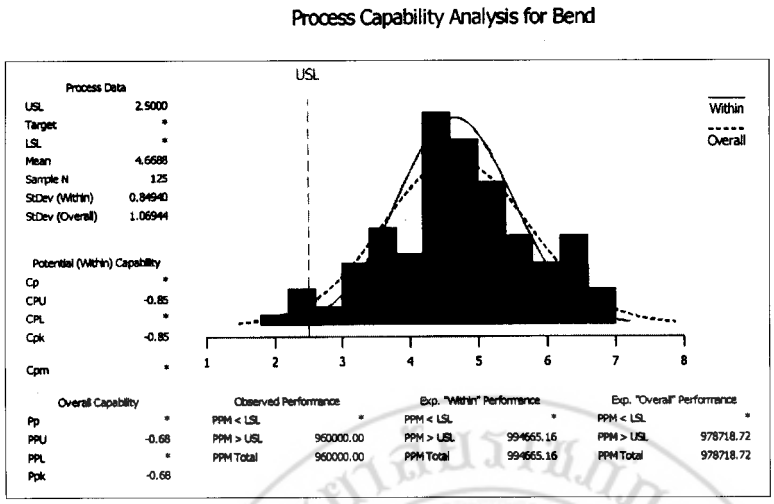
สำหรับการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการประกอบคานขวางของการโก่งงอจะเป็นการประเมินเพื่อที่จะได้ทราบถึงสถานะในปัจจุบันของกระบวนการ และจะได้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุงต่อไป

ในการประเมินความสามารถของกระบวนการ สามารถประเมินได้หลายวิธีด้วยกัน แต่ในบทความฉบับนี้จะใช้แผนภูมิควบคุม ดังรูปที่ 3 ผ่านดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น (C_{pk}) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (P_{pk})

จากการประเมิน เนื่องจากข้อกำหนดเฉพาะมีอยู่ด้านบนด้านเดียวคือ +2.5 มม. ดังนั้นสามารถประเมินดัชนีความ สามารถของกระบวนการแบบระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ −0.85 และดัชนีความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาว (P_{pk}) เท่ากับ −0.68 ดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงว่ากระบวนการที่ทำการศึกษานี้ไม่มีความสามารถด้านสมรรถนะทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาว โดยมีความจำเป็นต้องดำเนินการมาตรการแรก ด้วยการปรับค่าตั้ง (Setting) ของกระบวนการให้เข้าใกล้ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะให้มากที่สุด แล้วจึงค่อยหาทางปรับปรุงค่าความผันแปร



รูปที่ 3 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R การโก่งงอของคานขวาง



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการสำหรับการโก่งงอของคานขวาง

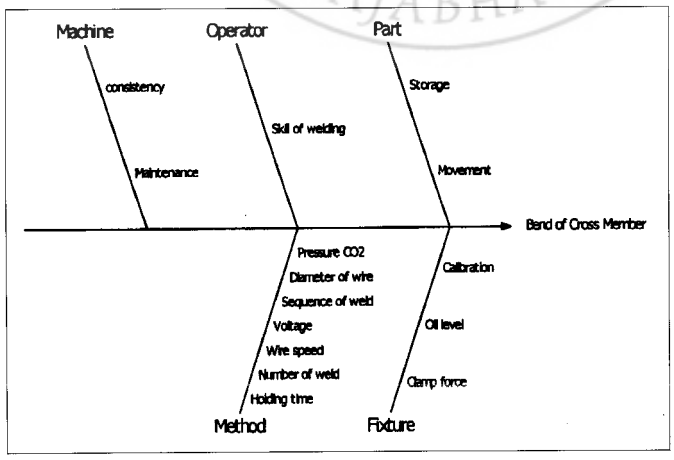
5. แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

จากที่ได้กล่าวมาในหัวข้อการระบุปัญหาข้างต้นว่าปัญหาก็คือการโก่งงอของกระบวนการประกอบคานขวางเมื่อทำการศึกษากระบวนการโดยครบถ้วนแล้ว จะพอทำให้ทราบว่าตัวแปรเข้าที่สำคัญของกระบวนการมีอะไรบ้าง ต่อมาจึงมีความจำเป็นต้องทำการระดมสมองเพื่อทำการค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด

ในขั้นตอนของการระดมสมองนั้นจะให้ผู้ที่มีส่วนร่วมในกลุ่มเสนอความคิดเห็น โดยที่สมาชิกในกลุ่มนั้นจะเป็นวิศวกรผู้ซึ่งมีความรู้ในกระบวนการที่ทำการศึกษา ซึ่งในการเสนอความคิดเห็นนั้นจะไม่จำกัดความคิดด้านคุณภาพและปริมาณ เพื่อป้องกันการตกหล่นของสาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหา สุดท้ายจะนำความคิดเห็นที่ได้มาทำการจัดกลุ่มเป็นหมวดหมู่ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 5 เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย และให้เกิดความง่ายในการวิเคราะห์

6. การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง

การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes and Effect Analysis) หรือที่เรียกว่า FMEA เป็นกลวิธีที่ใช้ในการเข้าถึงสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบเพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้เพื่อป้องกัน



รูปที่ 5 แผนภาพสาเหตุและผลของการโก่งงอของคานขวาง

มีให้ปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปรากฏขึ้นมา ซึ่งกลวิธีดังกล่าวนี้ถือว่าเป็นการเสริมทักษะในการแก้ปัญหาให้กับวิศวกรให้มีลำดับทางความคิดที่เป็นระบบมีขั้นตอนและมีการจัดลำดับก่อนหลังของการแก้ปัญหา โดยเน้นไปที่การแก้ปัญหาที่มีโอกาสเกิด (Most Likely Failure) เพื่อตอบสนองต่อความพึงพอใจของลูกค้าแบบเบ็ดเสร็จ โดยในที่นี้ถือว่าเป็นการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Process FMEA) ซึ่งจากการวิเคราะห์ FMEA จะได้ว่าปัจจัยสำคัญที่น่าจะมีผลต่อปัญหาในเรื่องการโก่งงอของกระบวนการประกอบคานขวาง ได้แก่ ลำดับในการเชื่อม และจำนวนแนวเชื่อม

7. การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการโก่งงอ

สาเหตุเบื้องต้นที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย FMEA พบว่าสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษามากที่สุด คือลำดับในการเชื่อม จำนวนแนวเชื่อม ซึ่งจากการทดลองและทำการวิเคราะห์โดยใช้การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด) ปรากฏว่าทั้งสองปัจจัยนั้นก็คือลำดับในการเชื่อม และจำนวนแนวเชื่อมมีผลต่อการโก่งงอของการประกอบคานขวาง

8. การปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่นำมาทำการปรับปรุงในขั้นตอนนี้คือ เปลี่ยนเป็นวิธีการเชื่อมแบบใหม่ โดยเปลี่ยนวิธีการเชื่อมเป็นลำดับการเชื่อมแบบใหม่และจำนวนแนวเชื่อมแบบใหม่พร้อมกันทั้งสองปัจจัย มาทำการหาค่าปรับปรุงโดยใช้การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด)

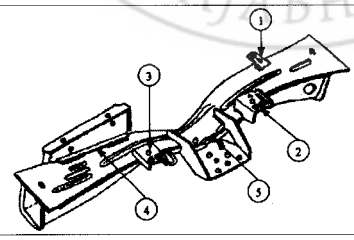
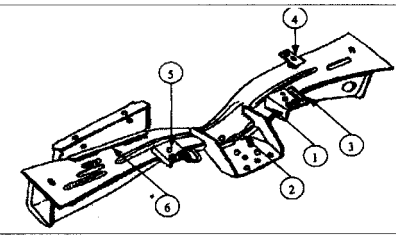
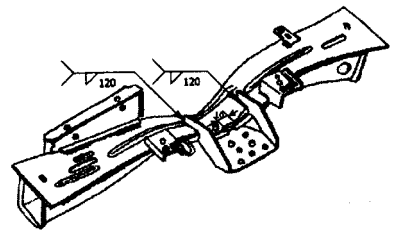
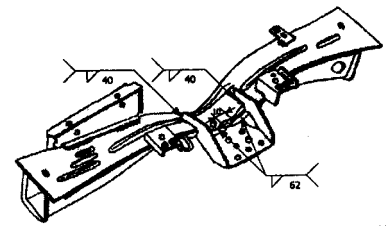
8.1 สมมติฐานการทดลอง

ในการทดสอบครั้งนี้กำหนดให้

X คือระยะโก่งงอที่ได้จากการเชื่อมประกอบแบบใหม่

Y คือระยะโก่งงอที่ได้จากการเชื่อมประกอบแบบเดิม

ตารางที่ 1 การเชื่อมประกอบแบบเดิมและแบบใหม่

	การเชื่อมประกอบแบบเดิม	การเชื่อมประกอบแบบใหม่
ลำดับในการเชื่อม		
จำนวนแนวเชื่อม		

ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้จะสามารถกำหนดสมมติฐานเพื่อการ

ทดสอบได้ว่า

H_0 : การเชื่อมประกอบแบบใหม่ไม่มีผลต่อการโก่งงอของคานขวาง

H_1 : การเชื่อมประกอบแบบใหม่มีผลต่อการโก่งงอของคานขวาง

และสามารถเขียนสมมติฐานเชิงสถิติได้ว่า

$H_0 \quad : \quad \mu_x = \mu_y$

$H_1 \quad : \quad \mu_x < \mu_y$

8.2 แผนการทดลอง

จากการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างใช้สิ่งตัวอย่างอย่างละ 10 ตัวอย่าง เนื่องจากมีกำลังในการทดสอบ (Power of Test) 0.9874 แล้วดำเนินการทดลองให้เป็นไปอย่างสุ่มแบบสมบูรณ์ ซึ่งผลจากการทดลองการเชื่อมประกอบแบบเดิมกับการเชื่อมประกอบแบบใหม่ โดยวัดระยะโก่งงอของคานขวางดังรูปที่ 6

8.3 การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูล

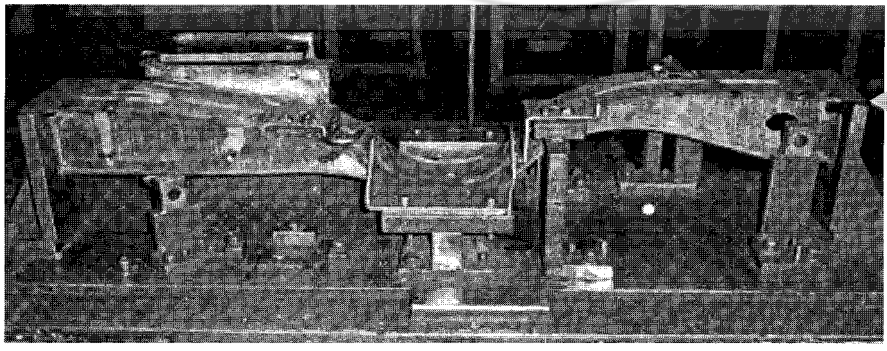
เมื่อดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วก่อนนำข้อมูลนั้นไปวิเคราะห์ถึง

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด) มีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจสอบถึงคุณสมบัติของข้อมูล 2 ประการด้วยกัน คือ การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลและการทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวน

8.3.1 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test)

การทดสอบโดยนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ความเป็นปกติของข้อมูล

โดยใช้กระดาษทดสอบความเป็นปกติ (Normality Probability Plot; NOPP) ดังรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าค่า

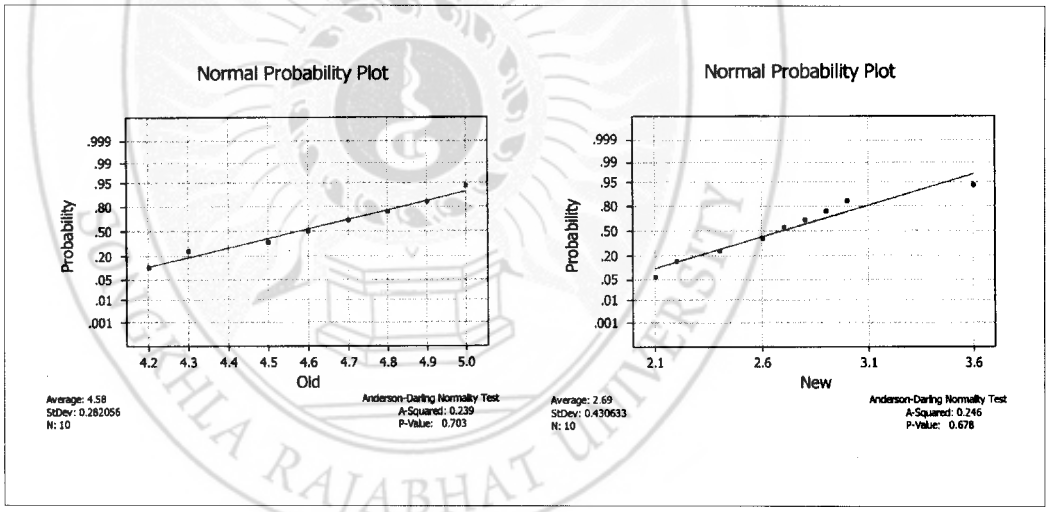


รูปที่ 6 ชิ้นส่วนคานขวางและการตรวจสอบการโก่งงอของคานขวาง

P-Value ของวิธีการเชื่อมแบบเดิมมีค่า 0.703 และวิธีการเชื่อมแบบใหม่มีค่า 0.678 ซึ่งมีค่ามากและข้อมูลมีความแตกต่างจากตัวแบบปกติ (กราฟเส้นตรง) ไม่มากนัก แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

8.3.2 การทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวน (Variance Test)

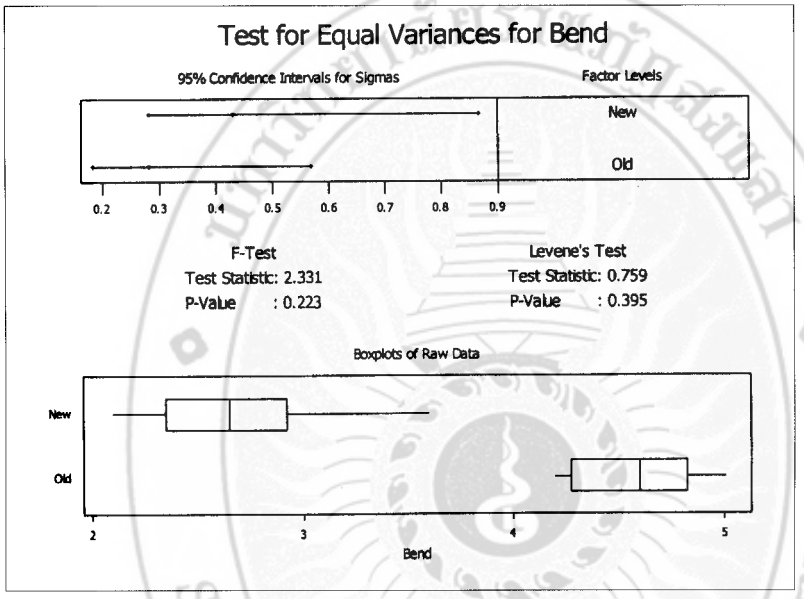
นำผลการทดลองมาทดสอบความแปรปรวน โดยการทดสอบ F-Test (เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ) ดังรูปที่ 8 โดยพิจารณาจากค่า P-Value จะเห็นได้ว่าค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.223 ซึ่งเมื่อพิจารณากับเกณฑ์การตัดสินใจของอัลฟ่าที่ระดับ 0.05 ได้ว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองชุดของวิธีการเชื่อมแบบเดิมและวิธีการเชื่อมแบบใหม่ไม่มีความแตกต่างของความแปรปรวน



รูปที่ 7 กระดาษทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลการประกอบแบบเดิมและแบบใหม่

8.4 การทดสอบความมีนัยสำคัญ

จากสมมติฐานที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 8.1 นำมาทดสอบความมีนัยสำคัญ กรณีประชากร 2 ชุดและช่วงความเชื่อมั่น (Two-Sample T-Test and Confidence Interval) ของข้อมูลดังตารางที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 8 การทดสอบความแตกต่างกันของความแปรปรวนของวิธีการเชื่อม

ตารางที่ 2 การทดสอบสมมติฐาน (การเชื่อมแบบใหม่)

Two-Sample T-Test and CI: Current, Improve

Two-sample T for Current vs Improve

	N	Mean	StDev	SE Mean
Current	10	4.580	0.282	0.089
Improve	10	2.690	0.431	0.14

Difference = mu Current - mu Improve

Estimate for difference: 1.890

95% lower bound for difference: 1.608

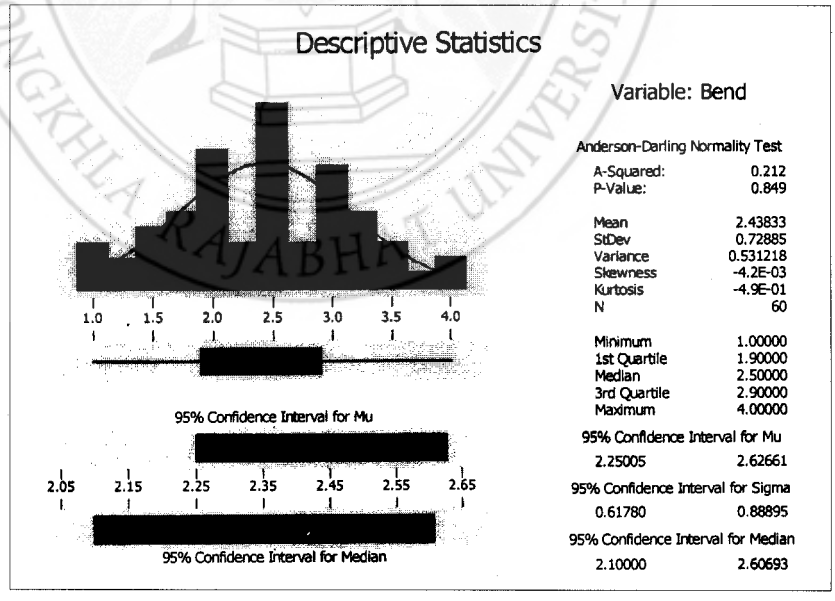
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 11.61 P-Value = 0.000 DF = 18

Both use Pooled StDev = 0.364

จากตารางที่ 2 เป็นผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของวิธีการเชื่อมจะเห็นได้ว่าค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งเมื่อพิจารณากับเกณฑ์การตัดสินใจนั่นก็คือค่าของอัลฟ่าที่ระดับ 0.05 จะเห็นได้ว่าวิธีการเชื่อมแบบใหม่มีผลกับการโก่งงอ ซึ่งการโก่งงอของการเชื่อมประกอบแบบเดิมมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.58 มม. ความเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 0.282 มม. และการโก่งงอของการเชื่อมประกอบแบบใหม่มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.69 มม. ความเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 0.431 มม.

8. ผลการปรับปรุง

จากผลการปรับปรุงได้ทำการเปลี่ยนวิธีการเชื่อมแบบใหม่ (เปลี่ยนลำดับการเชื่อมแบบใหม่และจำนวนแนวเชื่อมแบบใหม่พร้อมกัน) ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลภายหลังจากการปรับปรุงดังรูปที่ 9 แล้วทำการประเมินผ่านดัชนีความสามารถของกระบวนการ จะเห็นได้ว่าค่า C_{pk} มีค่าเท่ากับ 0.03 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการโก่งงอของกระบวนการประกอบคานขวางที่ได้ก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงโดยนำค่า C_{pk} (โดยทั่วไปอุตสาหกรรมไทยมักกำหนดค่า C_{pk} ไม่ต่ำกว่า 1.00) มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะเห็นว่าค่า C_{pk} ก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ -0.85 แต่เมื่อทำการปรับปรุงแล้วค่า C_{pk} มีค่าสูงขึ้นกว่าเดิมอย่างมากนั่นก็คือค่า C_{pk} มีค่าเท่ากับ 0.03 โดยทำให้สัดส่วนของเสียลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นก็มีความจำเป็นต้องการปรับปรุงต่อไป ซึ่งก็คือการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องนั่นเอง



รูปที่ 9 ฮีสโตแกรมแสดงการกระจายของระยะการโก่งงอของคานขวาง

9. บทสรุป

การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งมุ่งเน้นการแก้ปัญหาการโก่งงอของคานขวาง เมื่อวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโตพบว่าข้อมูลอยู่ในสภาวะเสถียร และอาการของปัญหาการโก่งงอของคานขวางเกิดขึ้นมากที่สุดจึงทำการปรับปรุงโดยมุ่งที่จะลดปัญหานี้ก่อน แล้วจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและผลของปัญหาหรือกำหนดแนวทางในการแก้ปัญหาด้วยการระดมสมองร่วมกันโดยผ่านแผนภูมิก้างปลา และการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่องและจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้สรุปได้ว่าปัจจัยที่ควรได้รับการศึกษานั้นได้แก่ ลำดับในการเชื่อม และจำนวนแนวเชื่อม

จากผลการวิเคราะห์ของลำดับในการเชื่อมและจำนวนแนวเชื่อมมีผลต่อการโก่งงอ จึงได้มีการเปลี่ยนปัจจัยทั้งสองพร้อมกันเป็นวิธีการเชื่อมประกอบแบบใหม่นำมาปรับปรุงโดยใช้การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด) ซึ่งปรากฏว่าวิธีการเชื่อมแบบใหม่มีผลต่อการโก่งงอ ดังนั้นในการดำเนินการประกอบต่อไปให้ทำการปรับปรุงวิธีการประกอบใหม่โดยเปลี่ยนวิธีการเชื่อมแบบใหม่ตามที่ได้วิเคราะห์มา

ดังนั้นจากที่กล่าวมานี้อาจสรุปได้ว่า ในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิผลสำหรับการควบคุมคุณภาพมีความจำเป็นต้องอาศัยการตัดสินใจด้วยเหตุและผล โดยจะต้องไม่ตัดสินใจด้วยการอาศัยประสบการณ์ (Experiment-Keiken) ลางสังหรณ์ (Intuition-Kan) และความกล้าตัดสินใจ (Gut-Dokyo) (ซึ่งปกติในภาษาญี่ปุ่นจะเรียกสั้นๆว่า KKD)

บรรณานุกรม

10.1 กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543, **ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล (QC Circle)**, เทคนิคอลแอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง.

10.2 กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2542, **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2**, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

10.3 บริษัทไทยรุ่งยูเนี่ยนคาร์ จำกัด (มหาชน), 2544, **เอกสารประกอบการอบรมการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิตและการประกอบ.**

10.4 สมศักดิ์ แก้วพลอย, 2544, **การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการประกอบคานขวางในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

10.5 สมศักดิ์ แก้วพลอย, 2545, **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2545**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

10.5 Montgomery, D.C., 2001, **Introduction to Statistical Quality Control**, 4th ed., John Wiley&Sons.

10.6 Montgomery, D.C. and Runger, G.C., 1999, **Applied Statistics and Probability for Engineers**, 2nd ed., John Wiley&Sons.