



ความสามารถกระบวนการของการตัดชิ้นทดสอบความแข็งโดย การประยุกต์เทคนิคเชิงสถิติ

Process Capability Indices of a Hardness Specimen Cutting Process by the Application of Statistical Techniques

สุรพงศ์ บางพาน*

Surapong Bangphan

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาควิชา วิทยา เชียงใหม่

128 หมู่ 1 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai Campus,
128 mu 1 Huaykaew Road, Muang District, Chiang Mai, 50300, Thailand
*E-mail: pong_pang49@yahoo.com, Tel: 053-921444, Fax: 053-213183

บทคัดย่อ

ดัชนีความสามารถของกระบวนการเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับปรับปรุงอย่างต่อเนื่องของคุณภาพ เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติเป็นการปรับปรุงคุณภาพสำหรับการผลิต ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์ ด้วยความสามารถของกระบวนการเพื่อพิจารณาถึงความสามารถของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตัดชิ้นทดสอบ ความแข็งด้วยเครื่องตัด วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ ได้นำแผนผังความน่าจะเป็นแบบปกติและแผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ chart ด้วยดัชนีความสามารถของกระบวนการซึ่งประกอบด้วยค่า C_p และ C_R เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ ส่วนการวัดค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นจะนำมาทำการปรับปรุงระดับคุณภาพ โดยได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของกระบวนการให้เข้าใกล้เชิง ค่าเป้าหมายมากที่สุดและจำเป็นต้องทำการลดความผันแปรในกระบวนการตัดชิ้นทดสอบความแข็งด้วยเครื่องตัด ผลลัพธ์ ทั้งหมดที่ได้มีความเชื่อถือได้โดยเราสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม กล่าวคือความสามารถของ กระบวนการ C_p เพิ่มขึ้นจาก 0.64 ถึง 3.72 ซึ่งแสดงด้วยผลการดำเนินการด้วยเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติที่ ได้ทำการปรับปรุงจนประสบความสำเร็จในการปรับปรุงสมรรถนะสำหรับกระบวนการในการตัด โดยที่อัตราส่วนของ ความสามารถ (C_R) ลดลงจาก 1.157 ถึง 0.269 ซึ่งหมายถึงกระบวนการนี้มีค่าพิสัยความเผื่ออยู่ที่ 27%

คำสำคัญ: การตัดชิ้นทดสอบความแข็ง แผนภูมิควบคุม ดัชนีความสามารถของกระบวนการ การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ

ABSTRACT

This research proposed Process-capability indices are effective tools for the continuous improvement of quality. Statistical process-control techniques improve the quality in mass production. In this study, a process-capability analysis was carried out in the preparing machine and equipments of a hardness specimen that produces cutting process. For this purpose, normal probability plots and $\bar{X} - R$ chart were prepared and the process capability indices C_p and C_R were calculated. In order to satisfy the process-capability measures it is necessary to improve the quality level by shifting the process mean

to the most nearest target value and reducing the variations in the hardness specimen cutting process. All these results are positive by which we conclude that the process is under control. The process capability (C_p) increased from 0.64 to 3.72 which show that implementation of SPC technique is proved to be successful in improving the performance of cutting. Capability Ratio (C_R) is reduced from 1.157 to 0.269 which means that the process spread now occupies 27% of the tolerance.

Keywords: Hardness Specimen Cutting Process, Control Chart, Process Capability Indices, Statistical Quality Control

1. บทนำ

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในการผลิตประกอบด้วย 5 m (man, machine, material, method และ measurement) ความสามารถของกระบวนการคือความผันแปรที่เกิดจาก 5 m ทั้งหมด เช่น ความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต อาจเป็นความผันแปรที่เกิดจากธรรมชาติ หรือการค้นหาความผันแปรที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ เช่นการควบคุมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต หรือการควบคุมวิธีการทำงาน เป็นต้น [1]

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเป็นการประยุกต์เทคนิคที่มีขั้นตอนมากมายสำหรับวงจรของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยกระบวนการ การออกแบบผลิตภัณฑ์ กรรมวิธีการผลิต และการวางแผนกรรมวิธีการผลิต เป็นต้น เนื่องจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการสามารถช่วยในการตัดสินใจ ตลอดจนขึ้นส่วนการผลิตซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าพิสัยความถี่และค่าตัวเลขเชิงวิศวกรรม นั่นคือดัชนีความสามารถที่มีหลากหลายค่าประกอบด้วยค่า C_p , C_{pu} , C_{pl} และ C_{pk} ซึ่งค่าดังกล่าวถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตซึ่งเป็นการเตรียมเพื่อทำการวัดค่าร่วมกันในการวัดค่าเชิงปริมาณสำหรับความเป็นไปได้ของกระบวนการและสมรรถนะกระบวนการ ดัชนีความสามารถของกระบวนการสำหรับกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ สุดท้ายจะกลายมาเป็นลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพ [2-3] ความสามารถของกระบวนการเป็นการพิจารณาถึงทฤษฎีและงานวิจัยทางด้านทฤษฎีในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยใช้การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ [4] รายละเอียด 6 ขั้นตอนของการประยุกต์สำหรับดัชนีความสามารถประกอบด้วย การป้องกันการ

ผลิตที่ไม่สอดคล้องกันของผลิตภัณฑ์ การวัดงานอย่างต่อเนื่องเพื่อการปรับปรุง ข้อมูลข่าวสาร อำนาจหน้าที่ ความรับผิดชอบ ข้อกำหนดของการปรับปรุงทางตรง และการตรวจสอบระบบคุณภาพ [1]

Wright [5] ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับบทบาทของการกระจายที่เพิ่มขึ้นของดัชนีความสามารถของกระบวนการ กล่าวคือดัชนีความสามารถของกระบวนการประกอบด้วยค่า C_p , C_{pk} และ C_{pm} ได้เสนอว่าในกรรมวิธีการผลิตของโรงงานควรจะมีการเตรียมการและมีการชี้แนะแนวทางเพื่อทำการยืนยันในกระบวนการว่าความสามารถของกระบวนการเป็นลักษณะเฉพาะที่ซึ่งได้มีการปรับค่าความสามารถของกระบวนการไว้ล่วงหน้าระหว่างโรงงานและลูกค้า Pearn et al. [6] ได้เสนอแนะว่าดัชนีของความสามารถช่วยตรวจสอบความแม่นยำของกระบวนการในกรรมวิธีการผลิต และ Singhal [7] ได้กล่าวว่า แผนภูมิสามารถวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการที่มีหลากหลายรูปแบบได้ ซึ่งจะอยู่บนพื้นฐานของดัชนีความสามารถของกระบวนการสำหรับควบคุมและตรวจสอบกระบวนการที่มีหลากหลายรูปแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อจะทำการควบคุมความสามารถของกระบวนการในการตัดชิ้นทดสอบความแข็ง โดยได้ทำการประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงสถิติมาช่วยในกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ลดของเสียในกระบวนการผลิต ปัจจุบันของเสียในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัสดุเสียสำหรับนักศึกษาซึ่งมีของเสียค่อนข้างมาก รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 จำเป็นจะต้องมีการควบคุมกระบวนการจะได้เป็นแนวทางในการพัฒนาตัวนักศึกษานำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อพัฒนาประเทศต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อควบคุมความสามารถของกระบวนการของการตัดชิ้นทดสอบแข็ง
2. เพื่อหาค่าความสามารถของกระบวนการที่เหมาะสมและดีที่สุดที่สุดในกระบวนการตัดชิ้นทดสอบความแข็ง
3. ใช้โปรแกรมเหตุและผลมาควบคุมการผลิต

2. อุปกรณ์ชิ้นงานทดสอบและวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์และชิ้นงานทดสอบ

2.1.1 อุปกรณ์และชิ้นงานทดสอบรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ เครื่องจักรและชิ้นทดสอบ

รายการ	จำนวน
1. เครื่องตัด	1
2. เครื่องกลึง	2
3. เครื่องตัดไฟเบอร์	1
4. 4. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์	1
5. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบตัวเลข	1
6. ฟุตเหล็ก	1
7. ปากกาเน้นข้อความ	5
8. ชิ้นทดสอบความแข็ง	100

2.1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

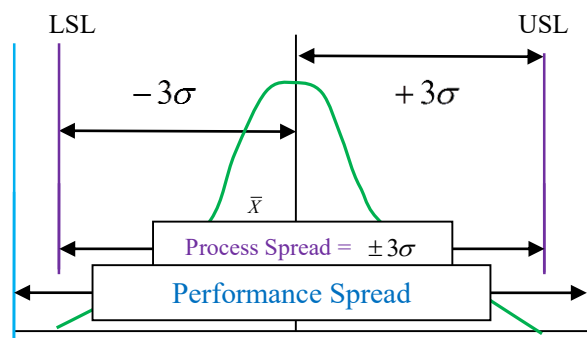
ขั้นตอนและรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ศึกษาเครื่องตัดชิ้นทดสอบความแข็ง
 2. ศึกษาวัสดุที่ใช้ทำชิ้นทดสอบความแข็ง
 3. ศึกษาวิธีการทำงานของนักศึกษา
 4. ศึกษาการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในการตัดชิ้นทดสอบความแข็ง
 5. ศึกษาหลักการของโปรแกรมเหตุและผล
- การวิจัยจะทำการศึกษาแผนภูมิควบคุมและดัชนีความสามารถของกระบวนการเพื่อทำการจำแนก

ความสามารถในการปรับปรุงกระบวนการการตัดชิ้นทดสอบความแข็ง การศึกษาความสามารถของกระบวนการซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะทำการสร้างมาตรฐานคุณภาพสำหรับกระบวนการเพื่อการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องสำหรับควบคุมชิ้นทดสอบความแข็งด้วยเครื่องตัด ในระหว่างการปฏิบัติงานควรระวังไม่ให้มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นก่อนที่ดำเนินการด้วยการศึกษาความสามารถของกระบวนการ กระบวนการควรควบคุมด้วยทางสถิติ และควรเลือกข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระโดยทำการสร้างแผนภูมิควบคุมด้วย $\bar{X} - R$ chart ตัวแปรอิสระแสดงดังตารางที่ 2 ขนาดความหนาของชิ้นทดสอบความแข็งซึ่งมีขนาดที่กำหนด 20 ± 0.05 มิลลิเมตร สำหรับการวัดค่าชิ้นทดสอบความแข็งมีขนาดตัวอย่างกลุ่มย่อยเท่ากับ 4 ตัวอย่าง (n) ของ 25 ลำดับของตัวอย่างทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 100 ตัวอย่าง (M) หลังจากนั้นจะนำค่าดังกล่าวคำนวณเพื่อหาค่า $\bar{X} - R$ chart และคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการต่อไป

2.2 การคำนวณหาค่าความสามารถของกระบวนการ

การศึกษาศักยภาพของกระบวนการเป็นการช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพและประสิทธิภาพของกระบวนการ การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการวัดการประมาณค่าของสมรรถนะตลอดจนการประเมินความสามารถของกระบวนการจนนำไปสู่ความพึงพอใจของลูกค้าในรูปแบบของคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ [9] ส่วนความสามารถของกระบวนการในการวัดค่าให้อยู่ขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง สามารถแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขอบเขตข้อกำหนดของกระบวนการ [1]

ตารางที่ 2 ขนาดชิ้นทดสอบความแข็ง (specimen) หลังจากตัดด้วยเครื่องตัด

ลำดับ	S-1	S-2	S-3	S-4	\bar{X}	R-bar
1	20.01	20.02	20.00	20.03	-	-
2	20.03	20.02	20.03	20.01	-	-
3	19.96	19.99	20.01	20.02	-	-
4	19.96	20.05	20.01	19.99	-	-
5	19.98	19.99	19.97	20.01	-	-
6	20.03	20.04	19.98	19.99	-	-
7	20.05	20.03	20.04	20.01	-	-
8	20.05	20.04	20.01	20.03	-	-
9	19.98	20.02	20.01	19.99	-	-
10	20.05	20.03	20.04	20.01	-	-
11	20.02	20.04	20.05	20.03	-	-
12	19.97	20.01	20.02	19.99	-	-
13	20.04	20.05	19.96	19.98	-	-
14	20.02	20.04	20.01	19.99	-	-
15	19.96	20.02	19.99	20.01	-	-
16	20.03	20.05	20.04	20.02	-	-
17	20.04	19.98	19.99	20.01	-	-
18	20.04	19.97	19.96	20.02	-	-
19	20.05	19.95	19.98	20.03	-	-
20	20.04	19.96	19.97	19.99	-	-
21	20.05	20.01	20.02	20.01	-	-
22	20.01	20.04	20.03	19.99	-	-
23	19.99	20.03	20.04	19.98	-	-
24	20.01	20.05	20.02	20.03	-	-
25	20.03	20.05	19.98	19.99	-	-

2.2.1 ดัชนีความสามารถของกระบวนการ

ความสามารถของกระบวนการในการผลิต เป็นการวิเคราะห์แหล่งที่มาของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการพิจารณาจากแหล่งความผันแปรที่เกิดจากการวัดค่าของข้อมูลจากตัวอย่าง การวัดความสามารถของกระบวนการจะมีความสามารถหรือไม่ นั้นขึ้นอยู่กับค่าตัวเลขที่ได้จากขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง และการใช้ค่า 6σ ภายใต้การหาจากค่า \bar{X} ที่เป็นค่าเฉลี่ยของกระบวนการและ σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสูตรที่ใช้ในการคำนวณความสามารถของกระบวนการ (process capability, C_p) คือ

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

เมื่อ

USL คือ ขีดจำกัดข้อกำหนดด้านบน (Upper Specification Limit)

LSL คือ ขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่าง (Lower Specification Limit)

σ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ทราบค่าของกระบวนการ ถ้าไม่ทราบค่าจะใช้ $\hat{\sigma}$ และสามารถประมาณการค่า $\hat{\sigma}$ ได้คือ $\hat{\sigma} = \bar{R} / d_2$ ค่า d_2 หาได้จากตารางที่ ก.3 [1]

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}} \quad (2)$$

นอกจากดัชนีความสามารถของกระบวนการ เป็นการวัดค่าขีดความสามารถของกระบวนการผลิตแล้ว ยังมีดัชนีความสามารถในการวัดกระบวนการผลิตเรียกว่า อัตราส่วนความสามารถ (capability ratio) หากจากสูตรดังนี้

$$C_R = \frac{1}{C_p} \times 100 \quad (3)$$

C_R คือ อัตราส่วนความสามารถ

การวัดค่าอัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ จากรูปที่ 1 สามารถหาค่าอัตราส่วนความสามารถ (capability ratio, C_R) ได้ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงค่า C_R ที่ได้จากการวัดค่า C_p

ค่า C_p	ค่า C_R (%)
1.00	100
1.33	75
1.67	69
2.00	50

การปรับปรุงกระบวนการเป็นการปรับปรุงความผันแปรที่เกิดจาก 5 m (man, machine, material method และ measurement) สามารถทำให้ลดลงได้ด้วยการพิจารณาเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้การผลิตมีผลดีขึ้น นอกจากนี้แล้วความสามารถของกระบวนการสามารถพิจารณาที่แผนภูมิควบคุมดังรูปที่ 2 สามารถค้นหาสาเหตุของความผันแปรที่เกิดในกระบวนการผลิต จากการสังเกตการทำงานของกลุ่มนักศึกษาพบว่า การใช้เครื่องจักรในการผลิตยังไม่ชำนาญ เทคนิคการวัดชิ้นงานยังไม่นิ่ง การเลือกวัสดุ (เป็นไปตามข้อกำหนดปกติ) และวิธีการ

ทำงานยังไม่มีความร่วมมือและมีการจัดเตรียมการวางแผนงานเท่าที่ควร จะสังเกตเห็นได้ว่ามีของเสีย เช่น ขนาดตัดเผื่อมากเกินไปดังเช่น ขนาดที่ต้องการ 20 ± 0.05 มิลลิเมตร แต่เผื่อขนาดบางตัวอย่างมีขนาดถึง 22 มิลลิเมตร จำเป็นต้องมีการลดความผันแปรในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะการใช้เครื่องจักร และวิธีการทำงาน จำเป็นต้องศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องจักรและทำการปรับวิธีการทำงานใหม่ ตลอดจนการใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ในการวัดชิ้นงานในการวัดชิ้นงานไม่ได้วัดระนาบกับชิ้นงานทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

2.2.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

โดยวิธี \bar{X} และ R chart แผนภูมิควบคุมลักษณะและแผนภูมิควบคุมความแปรผันสามารถใช้วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ แผนภูมิ \bar{X} และ R chart โดยไม่ต้องมีข้อกำหนดและการพิจารณาความผันแปรที่เกิดขึ้นแต่อย่างใด ส่วนการเก็บตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์ อย่างน้อยควรจะมี 100 ตัวอย่าง จะทำให้การวิเคราะห์ความสามารถมีความเชื่อมั่น สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า \bar{X} และ R chart คือ

$$\begin{aligned} & \bar{X} - \text{chart} \\ & UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ & LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & R - \text{chart} \\ & UCL_R = D_4 \bar{R} \\ & LCL_R = D_3 \bar{R} \end{aligned} \quad (5)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \hat{\mu} &= \bar{\bar{X}}, \mu = \bar{\bar{X}} \\ \hat{\sigma} &= \frac{\bar{R}}{d_2}, \sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \end{aligned}$$

ค่า d_2 , A_2 , D_3 และ D_4 หาได้จากตารางที่ ก.3 [1]

$\bar{\bar{X}}$ คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนข้อมูลทั้งหมด
 \bar{R} คือ ค่าเฉลี่ยจำนวนตัวอย่างพิสัยทั้งหมด

UCL คือ ขีดจำกัดควบคุมด้านบน
 (Upper Control Limit)

LCL คือ ขีดจำกัดควบคุมด้านล่าง
 (Lower Control Limit)

ค่า C_p , C_{pk} และ C_{pm} เป็นการสมมติกลุ่มข้อมูลตัวอย่างที่มีการกระจายแบบปกติ สมมติฐานที่มีข้อกำหนดสองด้าน ถ้า μ และ σ เป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับของข้อมูลที่กระจายแบบเป็นปกติ และค่า USL และ LSL และค่า T คือค่าขีดจำกัดของข้อกำหนดสูงสุด ต่ำสุด และค่าเป้าหมาย ตามลำดับ ดังนั้นดัชนีความสามารถสำหรับการหาค่า C_p , C_{pk} และ C_{pm} จะประมาณการดังต่อไปนี้

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (6)$$

$$\hat{C}_{pk} = \min \left[\frac{USL - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \right] \quad (7)$$

$$\hat{C}_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{s^2 + (\bar{x} - T)^2}} \quad (8)$$

$$\hat{C}_{pu} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \hat{C}_{pl} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma} \quad (9)$$

สำหรับค่า C_{pk} จะประมาณการด้วยค่า \hat{C}_{pk} ยังสามารถแสดงเป็น $C_{pk} = C_p (1 - \hat{k})$ และประมาณการด้วยค่า $\hat{C}_{pk} = \hat{C}_p (1 - \hat{k})$ ซึ่งแสดงเส้นกึ่งกลางของลำดับของข้อกำหนดคือค่า m และค่าเฉลี่ยของกระบวนการคือ μ แสดงว่าจุดกึ่งกลางของช่วงลำดับของข้อกำหนดโดย $m = (USL + LSL)/2$ จากระยะทางระหว่างของค่าเฉลี่ยกระบวนการคือ μ และค่าที่เหมาะสมที่สุดของค่า m และ $m \leq \mu \leq USL$ คือ

$$\hat{k} = \frac{|m - \mu|}{(USL - LSL)/2}, \quad 0 \leq \hat{k} \leq 1 \quad (10)$$

การประมาณค่าสำหรับดัชนี C_p ทำการปรับได้ด้วย factor k คือ

$$\hat{C}_{pk} = \hat{C}_p(1 - \hat{k}) \quad (11)$$

ดังนั้น $0 \leq k \leq 1$ จะได้ $\hat{C}_{pk} \leq \hat{C}_p$

เมื่อ μ และ σ เป็นค่าเฉลี่ยของกระบวนการและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามลำดับ การประมาณค่าสำหรับค่า C_{pu} และ C_{pl} เป็นการประมาณการโดยค่า μ , σ , \bar{x} และค่า S ตามลำดับ จะได้รับความสัมพันธ์ดังนี้

$$C_p = (C_{pu} + C_{pl}) / 2 \quad (12)$$

$$C_{pk} = \min \{C_{pl}, C_{pu}\} \quad (13)$$

อัตราส่วนความสามารถ (Capability Ratio (C_R)) แสดงการบอกสัดส่วนของความกว้างที่ดีที่ทั้งนี้ต้องอาศัยข้อมูลเข้ามาเกี่ยวข้อง $C_R = 1/C_p$ C_R จะประมาณการด้วยค่า

$$\hat{C}_R = 1/\hat{C}_p \quad (14)$$

เมื่อ

C_p คือ ความสามารถของกระบวนการ

C_{pk} คือ ความสามารถที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการในระยะสั้น)

C_{pu} คือ ความสามารถของกระบวนการด้านบน (ส่วนย่อยของ C_{pk})

C_{pl} คือ ความสามารถของกระบวนการด้านล่าง (ส่วนย่อยของ C_{pk})

C_{pm} คือ การวิเคราะห์ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการด้วยค่ากลางจากข้อกำหนดเฉพาะ

P_p คือ สมรรถนะของกระบวนการ

P_{pk} คือ ความสามารถของกระบวนการในระยะยาว

P_{pu} คือ สมรรถนะของกระบวนการด้านบน (ส่วนย่อยของ P_{pk})

P_{pl} คือ สมรรถนะของกระบวนการด้านล่าง (ส่วนย่อยของ P_{pk})

การคำนวณหาความสามารถของกระบวนการจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์กลุ่มย่อยภายในขอบเขตให้อยู่บนพื้นฐานทั้ง 2 ข้อของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_{within} เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานภายในขอบเขตกลุ่มย่อย เมื่อขนาดกลุ่มย่อยมีค่ามากกว่า 1 (ตามโปรแกรม Minitab Release 15.00) ค่า σ_{within} เป็นค่าประมาณการโดย S_r ขอบเขตของกลุ่มย่อยเฉลี่ย \bar{R} σ_{within} คือ การประมาณค่าโดย S_r เมื่อ

$$S_r = \sum_i \frac{\left(\frac{f_i r_i}{d_2(n_i)} \right)}{\sum_i f_i} \quad (15)$$

โดยที่ $f_i r_i$ หาได้จาก $f_i = \frac{(d_2(n_i))^2}{(d_3(n_i))^2}$

$$S_r = \frac{\bar{R}}{d_2(n_i)}$$

ถ้าค่า n ทั้งหมดเป็นค่าที่เหมือนกัน

r_i คือ ขอบเขตของกลุ่มย่อยที่ i^{th}

$d_2(n_i)$ คือ การอ่านค่าคงที่จากตารางที่ ก.3 [1]

$d_3(n_i)$ คือ การอ่านค่าคงที่จากตารางที่ ก.3 [1]

การประมาณค่าคงที่สำหรับค่า

$$\sigma_{overall} \text{ คือ } \frac{S}{C_4(N)}$$

เมื่อ
$$S = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (X_{ij} - \bar{X})^2}{(\sum_i n_i) - 1}} \quad (16)$$

X_{ij} คือ ค่าจากการสังเกตที่ j^{th} ในกลุ่มย่อยที่ i^{th}

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการดำเนินการ

n_i คือ จำนวนจากการสังเกตในกลุ่มย่อยที่ i^{th}

$C_4(N)$ คือ ค่าคงที่ในภาคผนวกที่ ก.3 [1]

N or $\sum n_i$ คือ ผลรวมของจำนวนสำหรับการสังเกต

ถ้าไม่ได้เลือก สามารถใช้ค่าคงที่ในภาคผนวกที่ ก.3 [1]

ค่า $\sigma_{overall}$ เป็นการประมาณค่าโดยค่า S

การประมาณการค่า C_{pk} สำหรับความเชื่อมั่นจะใช้สูตรดังนี้

$$C_{pk} = \pm z \sqrt{\frac{1}{9n} + \frac{C_{pk}^2}{2n-2}} \quad (17)$$

หมายเหตุ

σ_{within} จะคำนวณเพื่อหาค่า C_p, C_{pu}, C_{pl} และ C_{pk}

$\sigma_{overall}$ จะคำนวณเพื่อหาค่า $P_p, P_{pu}, P_{pl}, P_{pk}$ และ C_{pm}

3. อภิปรายผล

3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัย

จากค่าตารางที่ 2 นำมาคำนวณเพื่อหาค่า $\bar{X} - R$ chart พิจารณาจำนวนกลุ่มย่อยในงานวิจัยนี้ กลุ่มย่อยของชิ้นทดสอบเท่ากับ 4 นำไปเปิดตารางเพื่อหาค่า d_2, A_2, D_3 และ D_4 ได้ดังนี้ ค่า $d_2=2.059, A_2=0.729, D_3=0.00$ และ $D_4=2.282$ ทำการหาค่า $\bar{X} - R$ chart

โดยที่

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{N} = \frac{1.35}{25} = 0.054, \quad CL_R = \bar{R} = 0.054$$

$R - chart$

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = (2.282)(0.054) = 0.123228$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = (0)(0.054) = 0.00$$

คำนวณหาค่า $\bar{X} - chart$,

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{N} = \frac{500.30}{25} = 20.012$$

$\bar{X} - chart$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 20.012 + 0.729(0.054) = 20.05137$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 20.012 - 0.729(0.054) = 19.9726$$

ส่วนรายละเอียดที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4

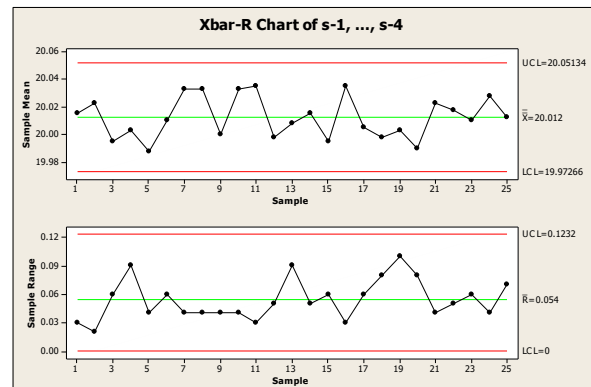
ตารางที่ 4 ค่า $\bar{X} - R$ ที่ได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

ลำดับที่	S-1	S-2	S-3	S-4	X-bar	R-bar
1	20.01	20.02	20	20.03	20.02	0.03
2	20.03	20.02	20.03	20.01	20.02	0.02
3	19.96	19.99	20.01	20.02	20.00	0.06
4	19.96	20.05	20.01	19.99	20.00	0.09
5	19.98	19.99	19.97	20.01	19.99	0.04
6	20.03	20.04	19.98	19.99	20.01	0.06
7	20.05	20.03	20.04	20.01	20.03	0.04
8	20.05	20.04	20.01	20.03	20.03	0.04
9	19.98	20.02	20.01	19.99	20.00	0.04
10	20.05	20.03	20.04	20.01	20.03	0.04

ตารางที่ 4 (ต่อ) ค่า $\bar{X} - R$ ที่ได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

ลำดับที่	S-1	S-2	S-3	S-4	X-bar	R-bar
11	20.02	20.04	20.05	20.03	20.04	0.03
12	19.97	20.01	20.02	19.99	20.00	0.05
13	20.04	20.05	19.96	19.98	20.01	0.09
14	20.02	20.04	20.01	19.99	20.02	0.05
15	19.96	20.02	19.99	20.01	20.00	0.06
16	20.03	20.05	20.04	20.02	20.04	0.03
17	20.04	19.98	19.99	20.01	20.01	0.06
18	20.04	19.97	19.96	20.02	20.00	0.08
19	20.05	19.95	19.98	20.03	20.00	0.1
20	20.04	19.96	19.97	19.99	19.99	0.08
21	20.05	20.01	20.02	20.01	20.02	0.04
22	20.01	20.04	20.03	19.99	20.02	0.05
23	19.99	20.03	20.04	19.98	20.01	0.06
24	20.01	20.05	20.02	20.03	20.03	0.04
25	20.03	20.05	19.98	19.99	20.01	0.07
ผลรวมทั้งหมด					500.3	1.35
ค่าเฉลี่ย					20.01	0.054

และแผนภูมิควบคุมกระบวนการในการตัดชิ้นทดสอบ ความแข็งแรงแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ chart สำหรับชิ้นทดสอบ ความแข็งแรง

จากรูปที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4 ข้อมูลที่ทำการตรวจสอบพบว่า ไม่มีจุดใดออกนอกเส้นควบคุมทั้งสองแผนภูมิ ข้อมูลค่อนข้างจะกระจายบนและล่างเส้นควบคุมซึ่งขึ้นทดสอบความแข็งแรงแต่ละชิ้นงานอยู่ในขนาดคือ 20 ± 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้จากการตรวจสอบมีค่าอยู่ในพิสัยความเผื่อ แต่แนวโน้มค่าเฉลี่ยออกห่างจากเส้นศูนย์กลาง เพราะว่าการกลุ่มนักศึกษาดังกล่าวยังมีการตัด

ชิ้นงานมีของเสียค่อนข้างมากและการวัดชิ้นงานยังไม่ถูกต้องเท่าที่ควร ตลอดจนถึงไม่มีแนวทางในการทำงานควรจำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงเพื่อลดความผันแปรต่อไป

ส่วนการคำนวณหาค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการในงานวิจัยนี้จะใช้สมการที่ 15-16 ในการคำนวณเพื่อหาค่าความสามารถของกระบวนการของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_{within} เพื่อหาค่า C_p, C_{pu}, C_{pl} และ C_{pk} ส่วนการประมาณค่า $\sigma_{overall}$ จะใช้คำนวณเพื่อหาค่า $P_p, P_{pu}, P_{pl}, P_{pk}$ และ C_{pm} ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับค่าดังแสดงในรูปที่ 3 (ตามโปรแกรม Minitab Release 15.00) สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการตัดสินใจทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องตัด ได้ดังนี้

$$S_r = \sum_i \left(\frac{f_i r_i}{d_2(n_i)} \right) = \frac{(5.3763405 \times 1.35)}{(2.059 \times 25)} = 0.0262263$$

$$\text{หรือ } S_r = \frac{\bar{R}}{d_2(n_i)} = \frac{0.054}{2.059} = 0.0262263$$

$r_i = 1.2 \quad d_2 = 2.059 \quad d_3 = 0.888 \quad n = 4$ (รวมเท่ากับ 100),

$$f_i = \frac{(d_2(n_i))^2}{(d_3(n_i))^2} = \frac{(2.059 \times 4)^2}{(0.888 \times 4)^2} = 5.3763405$$

ดังนั้นค่า C_p, C_{pu}, C_{pl} และ C_{pk} หาได้จาก

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6S} = \frac{20.05 - 19.95}{6 \times (0.0262263)} = 0.635$$

$$C_{pu} = \frac{USL - \bar{X}}{3S} = \frac{20.05 - 20.0123}{3 \times (0.0262263)} = 0.483$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{X} - LSL}{3S} = \frac{20.0123 - 19.95}{3 \times (0.0262263)} = 0.788$$

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{X}}{3S}, \frac{\bar{X} - LSL}{3S} \right\} = \min \{0.483, 0.788\} = 0.483$$

ส่วนการประมาณค่า $\sigma_{overall}$ จะใช้คำนวณเพื่อหาค่า $P_p, P_{pu}, P_{pl}, P_{pk}$ และ C_{pm} หาได้ดังนี้
หาค่า S or σ ก่อนสามารถหาได้ดังนี้

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (\bar{X}_{ij} - \bar{X})^2}{(\sum n_i) - 1}} = \sqrt{\frac{0.01741}{24}} = 0.0269$$

ส่วนการคำนวณเพื่อหาค่า $\sum_i \sum_j (\bar{X}_{ij} - \bar{X})^2$
ดังนั้นค่า $P_p, P_{pu}, P_{pl}, P_{pk}$ และ C_{pm} หาได้จาก

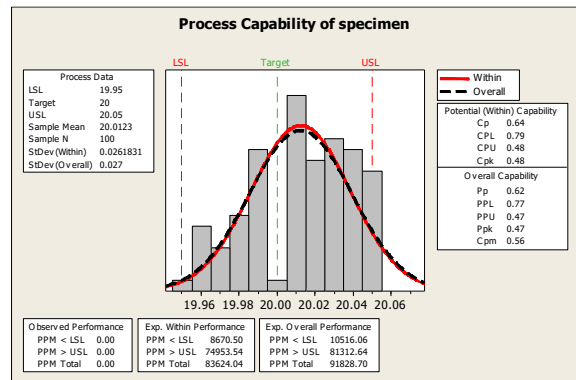
$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{overall}} = \frac{20.05 - 19.95}{6 \times 0.0269} = 0.620$$

$$P_{pu} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_{overall}} = \frac{20.05 - 20.012}{3 \times 0.0269} = 0.471$$

$$P_{pl} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_{overall}} = \frac{20.012 - 19.95}{3 \times 0.0269} = 0.77$$

$$P_{pk} = \min \{p_{pu}, p_{pl}\} = \{0.471, 0.77\} = 0.471$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณสำหรับกราฟความสามารถของกระบวนการแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสามารถของกระบวนการ

จากรูปที่ 3 สามารถอธิบายเชิงสถิติความสามารถของกระบวนการได้ ข้อมูลที่ได้ควรจะประมาณการด้วยการกระจายแบบปกติ แต่จากรูป กระบวนการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20 ± 0.05 มิลลิเมตร ค่าข้อกำหนดควบคุมบนและล่างค่อนข้างห่างจากเส้นควบคุมขีดจำกัดคุณลักษณะ

ค่าเฉลี่ยของชั้นทดสอบความแข็ง ควรจะพิจารณาขนาดความหนาที่น้อยกว่าเส้นขีดจำกัดควบคุมคุณลักษณะด้านล่างเท่ากับ 19.95 มิลลิเมตร และขนาดความหนาที่มากกว่าเส้นขีดจำกัดควบคุมคุณลักษณะด้านบนเท่ากับ 20.05 มิลลิเมตร พิจารณาที่ดัชนีค่า P_{pk} มีค่าเท่ากับ 0.48

แสดงว่ากระบวนการจำเป็นต้องมีการปรับปรุงโดยอาจพิจารณาลดความผันแปรและกระบวนการ ควรจะเข้าใจสัปดาห์เป้าหมายหรือค่าเฉลี่ยมากที่สุด ความแปรผันที่มีขนาดใหญ่ในกระบวนการจำเป็นต้องนำมาพิจารณาในขั้นตอนกระบวนการผลิต ส่วนผลรวมค่า PPM (parts per million) มีค่าเท่ากับ 91,828.70 เป็นคุณลักษณะเฉพาะที่ต้องสนใจนำมาพิจารณาที่อยู่ภายนอกขีดจำกัดของค่าพิสัยความถี่ ค่า PPM เป็นค่าประมาณการควรจะพิจารณานำเอาออกจาก 91,829 ในด้านส่วนของชั้นทดสอบความแข็ง ดังนั้นควรจะมีการปรับปรุงกระบวนการโดยทำให้ลดน้อยลงของความแปรผันในกระบวนการที่เกิดขึ้น

และในงานวิจัยนี้ต้องการความสามารถของกระบวนการที่ 95% สำหรับหาค่า C_{pk} สามารถคำนวณได้ดังนี้ ให้ค่า $T =$ ค่าเป้าหมาย (ใช้ค่ากลางระหว่าง LSL และ USL) $= m = 20.00$, $\sigma = 0.0269$

$$\bar{X} = 20.012, T = \frac{20.05 + 19.95}{2} = 20.00$$

$$t = \sqrt{\sigma^2 + (\bar{X} - T)^2} = \sqrt{0.0269^2 + (20.012 - 20)^2} = 0.02946$$

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6t} = \frac{20.05 - 19.95}{6 \times 0.02946} = \frac{0.1}{0.17676} = 0.566$$

ดังนั้นค่า C_{pk} ที่ 95% จะมีค่าดังนี้

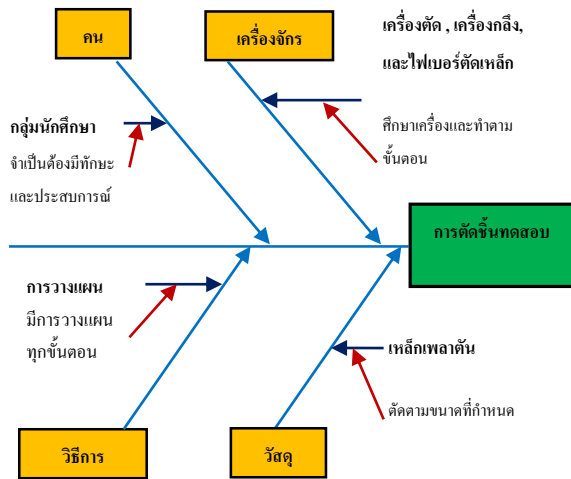
$$\begin{aligned} C_{pk} &= \pm z \sqrt{\frac{1}{9n} + \frac{C^2_{pk}}{2n-2}} \\ &= 0.483 \pm 1.645 \sqrt{\frac{1}{9(25)} + \frac{(0.483)^2}{2(25)-2}} \\ &= 0.483 \pm 0.1587 \end{aligned}$$

ความสามารถประมาณการที่ 95% ค่า C_{pk} สำหรับการตัดชั้นทดสอบความแข็งจะอยู่ระหว่าง 0.6417 และ 0.3243 จะเห็นได้ว่า ค่าที่ได้ไม่มีความเหมาะสมในกระบวนการทำงานในการตัดชั้นทดสอบความแข็งนี้ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการในการตัดชั้นทดสอบความแข็ง โดยพิจารณาทางด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่า วิธีการทำงานและพิจารณาเครื่องจักรที่ใช้ในการตัด เพราะว่าค่าที่ได้จากคำนวณมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด

ส่วนค่า C_p , C_{pk} และ P_{pk} มีค่าน้อยกว่า 1.33 จำเป็นต้องมีการปรับลดความผันแปรที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าวคือ การใช้เครื่องจักร วิธีการทำงาน และเทคนิคการวัดชิ้นงานใหม่ โดยพิจารณาจากปัจจัยและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้วยการสร้างไดอะแกรมเหตุและผลผังแสดงตารางที่ 5 และรูปที่ 4 เพื่อควบคุมกระบวนการให้มีความสามารถได้ดังนี้

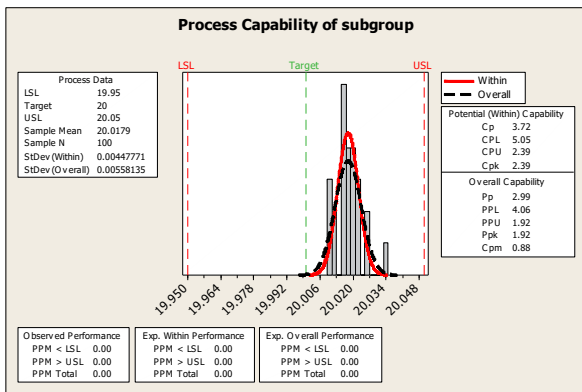
ตารางที่ 5 ปัจจัยและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมการตัดชั้นทดสอบความแข็งด้วยไดอะแกรมเหตุและผล

ทักษะการทำงาน	กลุ่มนักศึกษา (ก่อนใช้ไดอะแกรม)	กลุ่มนักศึกษา (หลังใช้ไดอะแกรม)	ความแตกต่าง
เครื่องตัด	ทำงานตามแบบใช้เวลามากกว่า	ทำงานตามแบบใช้เวลาน้อยกว่า	มีทักษะมากกว่า 50%
เครื่องกลึง	ทำงานตามแบบใช้เวลามากกว่า	ทำงานตามแบบใช้เวลาน้อยกว่า	มีทักษะมากกว่า 50%
ทักษะการทำงาน	ยังไม่มีทักษะและประสบการณ์	มีทักษะและมีประสบการณ์	มีความแตกต่าง
วัสดุ	ใช้วัสดุชนิดเดียวกัน	ใช้วัสดุชนิดเดียวกัน	ไม่แตกต่าง
เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์	วัดขนาดไม่เที่ยง ไม่มีการ celibate	วัดขนาดได้ระนาบ มีการ celibate	มีความแตกต่าง



รูปที่ 4 ไคอะแกรมเหตุและผลสำหรับควบคุมกระบวนการในการตัดชิ้นทดสอบความแข็ง

ภายหลังจากมีการวางแผนการทำงานใหม่โดยใช้ไคอะแกรมเหตุและผลเพื่อคำนวณหาค่า C_p , C_{pu} , C_{pl} , C_{pk} , P_p , P_{pu} , P_{pl} , P_{pk} และ C_{pm} แสดงดังรูปที่ 5 และดังตารางที่ 6 ดังนี้



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสามารถของกระบวนการ (หลังจากการปรับปรุงกระบวนการ)

ตารางที่ 6 ค่า $\bar{X}-R$ ที่ได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างหลังจากการวางแผนควบคุม

ลำดับ	S-1	S-2	S-3	S-4	\bar{X}	R
1	20.01	20.01	20.00	20.02	20.010	0.020
2	20.01	20.02	20.01	20.02	20.015	0.010
3	20.03	20.01	20.00	20.01	20.013	0.030
4	20.02	20.01	20.03	20.00	20.015	0.030

ตารางที่ 6 (ต่อ) ค่า $\bar{X}-R$ ที่ได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างหลังจากการวางแผนควบคุม

ลำดับ	S-1	S-2	S-3	S-4	\bar{X}	R
5	20.03	20.02	20.00	20.02	20.018	0.030
6	20.01	20.02	20.01	20.02	20.015	0.010
7	20.02	20.01	20.02	20.01	20.015	0.010
8	20.01	20.01	20.03	20.02	20.018	0.020
9	20.02	20.02	20.01	20.03	20.020	0.020
10	20.01	20.02	20.01	20.02	20.015	0.010
11	20.00	20.01	20.02	20.01	20.010	0.020
12	20.01	20.02	20.00	20.02	20.013	0.020
13	20.00	20.01	20.02	20.01	20.010	0.020
14	20.02	20.02	20.00	20.02	20.015	0.020
15	20.02	20.03	20.01	20.02	20.020	0.020
16	20.02	20.02	20	20.03	20.018	0.030
17	20.04	20.02	20	20.03	20.023	0.040
18	20.03	20.02	20.00	20.03	20.020	0.030
19	20.00	20.03	20.00	20.04	20.018	0.040
20	20.04	20.02	20.05	20.03	20.035	0.030
21	20.02	20.02	20.02	20.03	20.023	0.010
22	20.00	20.02	20.03	20.03	20.020	0.030
23	20.03	20.02	20.02	20.03	20.025	0.010
24	20.02	20.02	20.03	20.03	20.025	0.010
25	20.02	20.02	20.02	20.03	20.023	0.010
ผลรวม					500.448	0.530
ผลรวมค่าเฉลี่ย					20.0179	0.0212

จากตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ย \bar{X} ที่ได้แนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลางของกระบวนการแสดงว่าสมรรถนะของกระบวนการดีและจากรูปที่ 5 ความสามารถของกระบวนการของค่า C_p , C_{pu} , C_{pl} , C_{pk} , P_p , P_{pu} , P_{pl} , P_{pk} และ C_{pm} จากการใช้สมการที่ 1-17 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการวางแผนการควบคุมดังแสดงตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าสมรรถนะกระบวนการ ก่อนและหลังการวางแผนควบคุม

ดัชนีความสามารถของกระบวนการ	ก่อนวางแผนควบคุม	หลังจากการวางแผนควบคุม
C_p	0.64	3.72
C_R	1.157	0.269
C_{pu}	0.48	2.39
C_{pl}	0.79	5.05
C_{pk}	0.48	2.39
P_p	0.62	2.99
P_{pu}	0.47	1.92
P_{pl}	0.77	4.06
P_{pk}	0.47	1.92

ตารางที่ 7 (ต่อ) เปรียบเทียบค่าสมรรถนะกระบวนการ ก่อนและหลังการวางแผนควบคุม

ดัชนีความสามารถของกระบวนการ	ก่อนวางแผนควบคุม	หลังจากการวางแผนควบคุม
C_{pm}	0.56	0.88
σ_{within}	0.0261831	0.00447771
$\sigma_{overall}$	0.027	0.00558135

4. อภิปรายผล

ผลการทดสอบเพื่อหาค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการพบว่า ในช่วงแรกของการตัดชิ้นทดสอบความแข็ง ไม่ได้มีการวางแผนการทำงาน ไม่มีการตรวจสอบเครื่องตัด ไม่มีการปรับแต่งเครื่องมือวัด ไม่มีเทคนิคการทำงาน จึงทำให้ค่าที่ได้ในช่วงแรกน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดดังเช่น ค่า C_p , C_{pk} , P_{pk} และ C_{pm} จากตารางที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบดัชนีความสามารถของกระบวนการระหว่างก่อนวางแผนการกับหลังจากการวางแผนการทำงานจะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เพราะว่าทราบปัญหาที่เกิดขึ้น กล่าวคือ ความผันแปรที่เกิดขึ้น เกิดขึ้นจากคน (นักศึกษา) เครื่องตัด และวิธีการทำงาน ส่วนวัตุระบุดตามขนาดเท่ากับ 20.00 มิลลิเมตร หลังจากลดความผันแปรในกระบวนการดังกล่าวด้วยวิธี ใโดอะแกรมเหตุและผลมาช่วยควบคุมให้การตัดชิ้นทดสอบความแข็งนี้มีสมรรถนะของกระบวนการ มีความเชื่อมั่น เพราะว่าค่าที่ได้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด คือค่า 20.00 มิลลิเมตร มีของเสียน้อยลดลง (ขนาดความหนาชิ้นงาน) ประมาณ 70% ก่อนวางแผนควบคุมเฉลี่ยมากกว่า 1 มิลลิเมตร หลังจากวางแผนควบคุมเฉลี่ยน้อยกว่า 0.03 มิลลิเมตร (เพื่อขนาดชิ้นงานทำให้ต้องเสียขนาดของวัสดุ 1 มิลลิเมตรต่อ 1 ชิ้น ชิ้นทดสอบ 100 ตัวอย่างเท่ากับ 100 มิลลิเมตร)

5. สรุปผลการวิจัย

จากการใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติมาควบคุมกระบวนการตัดชิ้นทดสอบความแข็งด้วยเครื่องตัดสรุปได้ดังนี้

1. ก่อนการวางแผนควบคุม มีความผันแปรจากกระบวนการ
2. กลุ่มนักศึกษาขาดความรับผิดชอบ ไม่รู้จักสังเกต ไม่มีการวางแผนงาน
3. ของเสียในกระบวนการมีมาก
4. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกลาง แนวโน้มค่าเฉลี่ยกลางอยู่ห่างจากเส้นศูนย์กลาง
5. ค่า C_p มีค่าเท่ากับ $0.64 < 1.33$, ค่า C_{pk} เท่ากับ $0.48 < 1$ ค่า P_p เท่ากับ $0.62 < 1$ และค่า $P_{pk} < 1$ ส่วนค่า $C_R = 1.157$ แสดงว่าสมรรถนะของกระบวนการไม่มีความสามารถ

ภายหลังจากมีการวางแผนควบคุมโดยใช้ใโดอะแกรมเหตุและผลสรุปได้ดังนี้

การใช้ใโดอะแกรมเหตุและผลมาช่วยในการควบคุมสามารถลดความผันแปรในกระบวนการได้ กลุ่มนักศึกษามีทักษะเพิ่มมากขึ้น มีความรับผิดชอบ รู้จักสังเกตพินิจวิเคราะห์การแก้ไขปัญหาในการทำงาน มีการวางแผนการควบคุม ทำงานตามขั้นตอน ของเสียในกระบวนการลดลง 70% แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยกลาง ค่าเฉลี่ยแนวโน้มเข้าสู่เส้นศูนย์กลางค่า C_p มีค่าเท่ากับ $3.72 > 1.33$, ค่า C_{pk} เท่ากับ $2.39 > 1$ ค่า P_p เท่ากับ $2.99 > 1$ และค่า P_{pk} อยู่ที่ $1.92 > 1$ ส่วนค่า $C_R = 0.269$ ลดลง 27% แสดงว่าสมรรถนะของกระบวนการมีความสามารถ

จากการใช้การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติด้วยใโดอะแกรมเหตุและผลมาควบคุมกระบวนการตัดชิ้นทดสอบความแข็ง ทำให้กระบวนการมีความสามารถ กล่าวคือ แนวโน้มค่าเฉลี่ยเข้าสู่ศูนย์กลางเข้าใกล้ค่า 20.00 มิลลิเมตร ที่กำหนด กล่าวคือ ค่า $C_p = 3.72 > 1.33$ ตามที่ได้มีการลดความผันแปรในกระบวนการที่เกิดขึ้น จึงทำให้ค่า C_p มีค่าสูง กระบวนการมีความเชื่อมั่นของระบบ และทำให้ค่า C_R มีค่าน้อยกว่า ทำให้ความสามารถของกระบวนการมีความสามารถเพิ่มมากขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยการตรวจสอบความสามารถของกระบวนการสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาและวิจัยในกรรมวิธีการผลิตจำเป็นต้องมีการวางแผนควบคุมคุณภาพเชิงสถิติของความสามารถของกระบวนการ รู้จักใช้เทคนิค มีทักษะ ทำให้เกิดความชำนาญ
 2. เป้าหมายของกระบวนการลดของเสียเป็นศูนย์
 3. ต้องทำงานเป็นทีมและเป็นแบบแผนในการทำงาน
 4. จำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต
 5. ต้องพิจารณา คน เครื่องจักร วัสดุ และวิธีการทำงาน ตลอดจนสภาพแวดล้อมในการทำงาน
 6. ความละเอียดรอบคอบ ความมุ่งมั่นจะทำให้งานที่ได้ออกมามีคุณภาพ
 7. การใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ และวิธีการทำงานต้องมีความแม่นยำ มีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก
- แนวทางทั้งหมดดังที่กล่าวมานี้จนกลายมาเป็นความเป็นไปได้สำหรับการดำเนินการด้วยเทคนิคการ

ควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ อนึ่ง เครื่องมือควบคุมกระบวนการเชิงสถิติสามารถที่จะช่วยแก้ปัญหาของปัญหาที่เกิดขึ้นจริงที่มีอยู่อย่างมากมายด้วยความแตกต่างระหว่างกระบวนการและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ความต้องการทางด้านคุณภาพที่มีเพิ่มมากขึ้นและการเพิ่มผลผลิตสำหรับความแตกต่างทางด้านกระบวนการผลิต การพัฒนาวิธีการในช่วงครึ่งแรกของศตวรรษนี้ที่ถูกพัฒนาโดย Shewhart และคนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพ จนนำมาสู่การใช้ประโยชน์ โดยได้มีการประยุกต์ใช้การควบคุมคุณภาพจวบจนปัจจุบันที่มีอยู่อย่างมากมายในอุตสาหกรรมการผลิต

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาคพายัพ เชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนในการนำเสนอผลงานในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรพงศ์ บางพาน. การควบคุมคุณภาพ. เอกสารประกอบการสอน, เชียงใหม่, 2553.
- [2] Ramakrishnan, B., Sandborn, P. and Pecht, M. Process capability indices and product reliability. *Microelectronics Reliability*, 2001; 41: 2067– 2070.
- [3] Montgomery, D.C. Introduction to Statistical Quality Control. New York: John Wiley & Sons Inc, 2005; 364–413.
- [4] Kane, V.E. Process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 1986; 18: 41–52.
- [5] Wright PA. The cumulative distribution function of process capability index Cpm. *Statistics and Probability Letters*, 2002; 47: 49–251.
- [6] Pearn, W.L., Shu, M.H., Hsu, B.M. Monitoring manufacturing quality for multiple Li-BPIC processes based on capability index Cpmk. *International Journal of Production Research*, 2005; 43(12): 2493–2512.
- [7] Singhal, S.C. Multi process performance analysis chart (MPPAC) with capability zones. *Quality Engineering*, 1991; 4(1): 75–81.
- [8] Chan, L.K., Cheng, S.W. and Spiring, F.A. A new Measure of Process Capability. *Journal of Quality Technology*, 1998; 20: 162–175.
- [9] English, J.R and Taylor, G.D. Process capability analysis: a robustness study. *International Journal of Production Research*, 1993; 31: 1621–1635.