การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับข้อกำหนด ในกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรค

Application of Six Sigma Technique to Increase the Conformed Product in Examination Latex Gloves Processing

กิตติพล บุญทอง

Kittipon Boonthong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Agro-Industry Technology Management

Prince of Songkla University

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรค

ผู้เขียน นายกิตติพล บุญทอง

สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ดร.กันยา อัครอารีย์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ดร. เกรียงไกร ไวยกาญจน์)

.....กรรมการ

(ดร.ณวรา จันทรัตน์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร)

.....กรรมการ

(ดร.กันยา อัครอารีย์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่าผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นายกิตติพล บุญทอง)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายกิตติพล บุญทอง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรค

ผู้เขียน นายกิตติพล บุญทอง

สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่าในกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้งของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งกำหนดเกณฑ์ระดับคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ไม่เกินระดับ 1.5 (AQL $\leq$ 1.5) เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ได้จำนวนผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดเพิ่มขึ้น โดยดำเนินการตามแนวทางที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การกำหนดหัวข้อปัญหา การวัดสภาพของปัญหา การวิเคราะห์หาสาเหตุ การปรับปรุงกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการ ผลิต ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการกำหนดระดับคุณภาพของถุงมือยางคือจำนวนของถุงมือยางที่ตรวจพบตำหนิรูรั่ว จากการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจวัดด้วยสายตาและการทดสอบการรั่วซึมน้ำ เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่าลักษณะของตำหนิรูรั่วที่เกิดขึ้น มีด้วยกัน 6 รูปแบบ ซึ่งเกิดขึ้นจาก 4 สาเหตุหลัก ได้แก่ ผิวของเบ้ามือเสื่อมสภาพและสึกหรอ ผิวของเบ้ามือมีสิ่งสกปรกและคราบสารเคมีตกค้าง ฟองอากาศที่เกิดจากขั้นตอนการจุ่มสารช่วยจับตัว และการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ เมื่อทำการวิเคราะห์จาก 19 ขั้นตอนในกระบวนการผลิตถุงมือยางพบว่ามีเพียง 11 ขั้นตอนเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของการเกิดตำหนิรูรั่ว ประกอบด้วย 1 ขั้นตอนจากกระบวนการการเตรียมและติดตั้งเบ้ามือ 6 ขั้นตอนจากกระบวนการล้างทำความสะอาดเบ้ามือ 3 ขั้นตอนจากกระบวนการจุ่มสารช่วยจับตัว และ1 ขั้นตอนจากกระบวนการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ เมื่อพิจารณาถึงตัวแปรสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สามารถเกิดขึ้นได้ (KPIV) ของแต่ละกระบวนการพบว่ามีทั้งหมด 88 KPIV เมื่อกลั่นกรองด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของการเกิดตำหนิรูรั่วกับ KPIV ของแต่ละกระบวนการด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบ พบว่าตัวแปรดังกล่าวลดลงเหลือ 37 KPIV จากนั้นทำการกลั่นกรองปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบต่อการเกิดตำหนิรูรั่วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ ผลที่ได้พบว่ามีเพียง 18 KPIV ที่ส่งผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่ว จากนั้นระดมความคิดร่วมกับทีมงานเพื่อจัดกลุ่มปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สำหรับวางแผนการดำเนินงานออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) ปัจจัยที่ต้องดำเนินการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ 2) ปัจจัยที่สามารถดำเนินการปรับปรุงแก้ไขได้ทันที และ

3) ปัจจัยที่ไม่สามารถดำเนินการได้ โดยพิจารณาถึงความพร้อมในการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา ความเป็นไปได้ทางเทคนิคและผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ปัจจัยที่ได้ทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติมี 3 ปัจจัยคือ อายุการใช้งานของเบ้ามือ จำนวนรอบของการผลิต และอุณหภูมิของสารช่วยจับตัว พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อการเกิดตำหนิรูรั่วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากนั้นดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตสำหรับปัจจัยในกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย ตำแหน่งและอัตราการไหลของน้ำชะล้างสารละลายกรด ความสะอาดของสารละลายด่าง ลักษณะการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะเคลื่อนผ่านชุดแปรงขัด ตำแหน่งที่ขนแปรงขัดสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ ทิศทางการหมุนของชุดแปรงขัด ตำแหน่งที่น้ำสเปรย์ชุดแปรงขัดสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ และการควบคุมระดับสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม จากนั้นกำหนดแนวทางในการควบคุมปัจจัยที่ได้ทำการปรับทั้งหมดในสายการผลิตต้นแบบ ผลจากการดำเนินงานพบว่าจากสัดส่วนของจำนวนถุงมือยางที่สุ่มตรวจสอบคุณภาพและตรวจพบตำหนิรูรั่วลดลงจากเดิม 53,378 PPM เหลือเพียง 36,598 PPM ส่งผลให้จำนวนของถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนดเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 23 เป็นร้อยละ 57 คิดเป็นมูลค่า 58,000 เหรียญสหรัฐต่อปี

Thesis Title	Application of Six Sigma Technique to Increase the Conformed Product in Examination Latex Gloves Processing
Author	Mr.Kittipon Boonthong

Major Program Agro-Industry Technology Management

Academic Year 2014

ABSTRACT

Application of six sigma technique in the processing of powder free examination latex glove of the case study factory with the criteria of acceptable quality level (AQL) of 1.5 was carried out to improve the processing capability to increase the conformed products. The studies included 5 phases according to those techniques i.e. define, measure, analysis, improvement and control. The results revealed that the most important critical defect, determined by visual testing and water leak testing, is pinhole defect. The critical pinhole defect could be classified into 6 types which occurred from 4 main root causes including the quality of former surface, residual of dirt or chemical on the former surface, bubble from coagulant and latex compound dipping process. The analysis on processing step of powder free latex glove product showed that from 19 main steps, only 11 steps that affected to root cause of pinhole defect occurred. The results shown that key process input variable (KPIV) on 11 steps are 88 KPIV. To decrease the KPIV so take all KPIV to analysis by cause and effect matrix technique. The result from C&E matrix found that it had only 37 KPIV which compliance with cause of pinhole defect. After that used failure mode and effect analysis (FMEA) to screen the KPIV. The result from this method found it had only 18 KPIV which has higher RPN score. When consider base on feasibility of case study factory, side effect to production and production technique can be classified all 18 KPIV in to 3 group were 1) do experiment 2) can be improvement and 3) cannot improvement or do experiment. This study had experiment three factors on group I, the result show that all of three factors it affected to pinhole defect occurred on latex gloves. And then improves of seven factors on former cleaning step consist of water spray two factors, one factor of former cleaning by alkaline solution four factors of brushing step and one factor of coagulant dipping. The last step of this study following six sigma techniques was control phase had to make and established the control program to control all of factors which was improved. The efficiency of production performance after implement found that the quantity of defective gloves because of pinhole defect decreased from 53,378 PPM to 36,598 PPM. The conformed products increased from 23% to 57% which can reveal for the economic value of 58,000 USD per year.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของหลักสูตรการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหการเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยได้รับคำปรึกษา แนะนำความรู้ทางด้านวิชาการ และการดำเนินงานวิจัยจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ โสภโณดร และ ดร.กันยา อัครอารีย์

ขอขอบพระคุณ ดร.ณวรา จันทรัตน์ และ ดร.เกรียงไกร ไวยกาญจน์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบรายงานวิทยานิพนธ์แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไฮแคร์อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการศึกษาวิจัยและสนับสนุนทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณวิษณุ จิตจันทร์ และคุณวิมล อำไพ วิศวกรพี่เลี้ยงที่ให้คำแนะนำในการเก็บข้อมูลและการดำเนินการทดลองตลอดระยะเวลาของการทำวิจัย รวมถึงพนักงานฝ่ายผลิตและฝ่ายประกันคุณภาพทุกท่านที่คอยช่วยเหลือการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) และคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาและการวิจัยภายใต้โครงการทักษะนักอุตสาหกรรมเกษตร

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนเงินอุดหนุนวิจัย คณาจารย์ และบุคลากรคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำศึกษาวิจัย

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณบิดา มารดา พี่น้องและเพื่อนๆ ที่ได้เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยและคอยช่วยเหลือผู้วิจัยเสมอมา

กิตติพล บุญทอง

สารบัญ

หน้า

สารบัญ..... (10)

รายการตาราง..... (11)

รายการภาพประกอบ..... (12)

บทที่

1 บทนำ..... 1

บทนำต้นเรื่อง..... 1

การตรวจเอกสาร..... 3

วัตถุประสงค์การวิจัย..... 41

2 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 42

3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 47

4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 96

เอกสารอ้างอิง..... 99

ประวัติผู้เขียน..... 103

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวอย่างสูตรน้ำยางคอมปาวด์สำหรับการผลิตถุงมือยาง	6
2	มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของถุงมือยางสำหรับการตรวจโรค	17
3	การตรวจสอบและระดับคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ของถุงมือสำหรับการตรวจโรค	17
4	คุณลักษณะเกี่ยวกับแรงดึงและเกณฑ์ที่กำหนดของถุงมือสำหรับการตรวจโรค	19
5	เกณฑ์การชักตัวอย่างและเกณฑ์การยอมรับของถุงมือสำหรับการตรวจโรค	19
6	ผลการประเมินคัดเลือกปัญหาเพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุง	54
7	ผลการประเมินความแม่นยำและถูกต้องของการตรวจสอบถุงมือยางด้วยสายตา	61
8	ผลการประเมินความแม่นยำและถูกต้องของการตรวจสอบถุงมือยางด้วยวิธีรั่วซึมน้ำ	61
9	ลักษณะและสาเหตุของรูรั่วแต่ละรูปแบบที่เกิดขึ้นบนถุงมือยาง	63
10	ตัวแปรหลักที่สำคัญของปัจจัยนำเข้า (KPIV) ในแต่ละขั้นตอน	66
11	ผลการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบของการเกิดตำหนิรูรั่ว	70
12	ผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)	75
13	แนวทางการดำเนินงานของแต่ละปัจจัยในแต่ละกลุ่ม	82
14	จำนวนตำหนิรูรั่วที่พบบนถุงมือยางจากอายุของเบ้ามือและจำนวนรอบผลิตที่ต่างกัน	91
15	ผลการทดลองอุณหภูมิของสารช่วยจับตัวต่อการเกิดตำหนิรูรั่วของถุงมือยาง	93
16	แนวทางการควบคุมปัจจัยที่ได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงแล้ว	94

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
1	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถุงมือยางประเภทต่างๆ	4
2	ลักษณะของเครื่อง Ball Mills ที่ใช้อุตสาหกรรมถุงมือยาง	9
3	ลักษณะถังผสมน้ำยางคอมปาวด์ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมถุงมือยาง	9
4	รูปแบบของชุดยึดจับเบ้ามือ (Holder Set)	10
5	ตัวอย่างเบ้ามือเซรามิกสำหรับใช้ในการผลิตถุงมือยาง	11
6	ลักษณะของถังสารละลายกรดและด่างที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยาง	12
7	ลักษณะทั่วไปของถังน้ำล้างในกระบวนการผลิตถุงมือยาง	12
8	ลักษณะทั่วไปของถัง Coagulant	13
9	ลักษณะทั่วไปของถังน้ำยาง	13
10	ลักษณะทั่วไปของถังชะล้าง (Leaching tank)	14
11	ตำแหน่งการตรวจวัดความกว้างและความยาวของถุงมือยาง	16
12	ตำแหน่งการตรวจวัดความหนาของถุงมือยาง	16
13	ตัวอย่างอุปกรณ์การทดสอบการรั่วซึมน้ำของถุงมือยาง	18
14	ตารางอักษรของรหัสขนาดสิ่งตัวอย่าง	20
15	จำนวนการสุ่มตัวอย่างเมื่อมีการแบ่งล๊อตให้เล็กลง	22
16	ตารางแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวปกติและตัวอย่างการอ่านค่าจากตาราง	23
17	การกระจายของข้อมูลและโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดทางทฤษฎี	25
18	การกระจายของข้อมูลและโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดเมื่อค่าเฉลี่ยขยับไป $\pm 1.5\sigma$	26
19	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา	47
20	แผนผังแสดงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา	49
21	แผนผังแสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง	50

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	สัดส่วนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนดของแต่ละสายการผลิต ตั้งแต่เดือนมกราคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2553	58
23	ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการของสายการผลิตต้นแบบ	59
24	ตัวอย่างตำหนิรูรั่วที่เกิดขึ้นบนถุงมือยาง	64
25	แผนผังพาเรโตแสดงคะแนนรวมของ KPIV จากการวิเคราะห์ C&E matrix	74
26	แผนผังพาเรโตแสดงคะแนน RPN ของแต่ละ KPIV ที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA	81
27	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอายุการใช้งานของเบ้ามือต่อการเกิดตำหนิรูรั่ว	83
28	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนรอบการผลิตต่อการเกิดตำหนิรูรั่ว	84
29	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอุณหภูมิของสารช่วยจับตัวต่อการเกิดตำหนิรูรั่ว	85
30	อุปกรณ์ชะล้างสารละลายกรดก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง	86
31	ลูกกลิ้งแปรงของชุดแปรงขัดเบ้ามือก่อนและหลังการปรับปรุง	87
32	ตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับเบ้ามือก่อนและหลังการปรับปรุง	88
33	ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรงแต่ละอันก่อน และหลังการปรับปรุง	88
34	อุปกรณ์สเปรย์น้ำของชุดแปรงขัดทำความสะอาดเบ้ามือหลังการปรับปรุง	89
35	ลักษณะฟองอากาศที่เกิดขึ้นและลอยตัวบริเวณผิวหน้าในถังจุ่มสารช่วยจับตัว	90
36	อุปกรณ์บ่งชี้และตำแหน่งการติดตั้งควบคุมระดับสารช่วยจับตัว	90
37	ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการของสายการผลิตต้นแบบหลังการปรับปรุง	95

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมยางพาราเป็นหนึ่งอุตสาหกรรมเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ประกอบด้วย 2 กลุ่มหลักคืออุตสาหกรรมต้นน้ำ เป็นการแปรรูปน้ำยางสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบขั้นต้นเพื่อการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องอื่นๆ ได้แก่ ยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน ยางเครพ และน้ำยางข้น โดยปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตและส่งออกวัตถุดิบจากยางพารา เป็นอันดับหนึ่งของโลก (กระทรวงพาณิชย์, 2556) ส่วนกลุ่มที่สองคืออุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งแปรรูปผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมต้นน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้น เช่น ยางยานพาหนะ ชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ สายพานลำเลียง ถุงมือยาง และถุงยางอนามัย เป็นต้น (เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์ และ กฤษณา จันทร์คล้าย, 2552) จากการขยายตัวของงานบริการ ด้านการแพทย์และการรักษาสุขอนามัยสำหรับกระบวนการผลิตที่เข้มงวดมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร ทำให้ความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ถุงมือยางทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศมีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งความพร้อมและความได้เปรียบในเรื่องวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตคือ น้ำยางข้น ส่งผลให้อุตสาหกรรมถุงมือยางของประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ถุงมือยางทางการแพทย์ (Medical gloves) ได้เป็นอันดับสองของโลกรองจากประเทศมาเลเซีย ในปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีสัดส่วนการส่งออกถุงมือยางเป็นอันดับ 5 จากกลุ่มสินค้าผลิตภัณฑ์ยางพาราทั้งหมดประมาณ 12,500 ล้านชิ้น มีรายได้จากการส่งออก มากกว่า 17,500 ล้านบาท และพบว่าแนวโน้ม การผลิตถุงมือยางของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (กระทรวงพาณิชย์, 2556) ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานผลิตถุงมือยางจำนวน 48 แห่ง ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดสงขลา ชลบุรี และระยอง (กรมโรงงาน, 2556)

สถานประกอบการที่คัดเลือกเป็นโรงงานกรณีศึกษาสำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นหนึ่งในกลุ่มผู้ผลิตและส่งออกถุงมือยางที่สำคัญของประเทศไทย มีกำลังการผลิตและส่งออกมากกว่า 80 ล้านชิ้นต่อเดือน ผลิตภัณฑ์หลักที่ดำเนินการผลิตคือ ถุงมือยางทางการแพทย์ ชนิดแบบมีแป้งและไม่มีแป้ง ทั้งที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางสังเคราะห์ ถุงมือยางที่ผลิตประมาณร้อยละ 70 ส่งออกไปยังลูกค้าในตลาดต่างประเทศ โดยมีกลุ่มลูกค้าหลักคือกลุ่มผู้ให้บริการทางการแพทย์ โรงงานแปรรูปอาหาร และกลุ่มลูกค้าสำหรับการใช้งานทั่วไป

จากการเข้าไปศึกษากระบวนการผลิต เก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหารจัดการและการดำเนินงานทางธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าปริมาณการผลิตและการส่งออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น รวมถึงมีคำสั่งซื้อจากลูกค้ารายใหม่เข้ามาอย่างต่อเนื่อง แต่ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษายังคงประสบปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการกระบวนการผลิต การดำเนินงานและการจัดการต้นทุนการผลิต ยังไม่บรรลุตามเป้าหมายและนโยบายทางธุรกิจของบริษัท ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อการตอบสนองความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้า จากปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดเมื่อปรึกษาร่วมกับผู้บริหารของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าปัญหาสำคัญที่ต้องการให้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงเป็นอันดับแรกคือ ปัญหาจำนวนถุงมือยางที่ผลิตออกมา เมื่อทำการตรวจสอบคุณภาพแล้วผ่านเกณฑ์คุณภาพที่สามารถยอมรับได้ซึ่งมีค่า AQL ไม่เกิน 1.5 มีจำนวนต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ ทำให้มีผลกระทบต่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้า ส่งมอบสินค้าไม่ทันเวลา และทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสทางการตลาด ซึ่งกฎเกณฑ์ดังกล่าวถือเป็นข้อกำหนดหลักที่สำคัญสำหรับการซื้อขายและส่งออกถุงมือยางทางการแพทย์ไปยังลูกค้าต่างประเทศ จากปัญหาดังกล่าวจำเป็นต้องหาวิธีการและเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงาน เพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาให้สามารถบรรลุเป้าหมายทางธุรกิจที่กำหนดไว้ โดยแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจและประสบความสำเร็จจากการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายทั้งอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการคือ เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า (Six sigma technique)

เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารคุณภาพ ซึ่งมีพื้นฐานการดำเนินงานมาจากวิทยาศาสตร์และสถิติ สามารถพิสูจน์ได้พร้อมทั้งมีหลักการและขั้นตอนการดำเนินงานที่ชัดเจน ได้แก่ การกำหนดหัวข้อปัญหา (Define) การวัดสาเหตุของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) การปรับปรุงกระบวนการ (Improvement) และ การควบคุม (Control) (Park, 2003) โดยมีแนวคิดและเป้าหมายที่จะพยายามลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ให้อยู่ภายในขีดจำกัดของข้อกำหนดโดยยอมให้มีข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ไม่เกิน 3.4 ส่วนในล้านส่วน (Part per million: PPM) มุ่งเน้นการพัฒนาแบบก้าวกระโดด เน้นผลลัพธ์ในด้านการลดต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงิน (วชิรพงษ์ สาลีสิงห์, 2548) ดังนั้นการนำเทคนิคซิกซ์ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา คาดว่าจะช่วยเพิ่มจำนวนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด ส่งผลให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถแข่งขันกับคู่แข่งรายอื่นในอุตสาหกรรมถุงมือยาง ตลอดจนสามารถตอบสนองและสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้เพิ่มขึ้น

การตรวจเอกสาร

1. ถุงมือยาง (ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ, 2556)

ผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง (Latex gloves) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนั้นได้ถูกคิดค้นและดำเนินการผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในช่วงศตวรรษที่ 19 โดยนายแพทย์วิลเลียม ฮัลสเตด (Dr. William Halstead) หัวหน้าทีมศัลยแพทย์ที่โรงพยาบาลจอห์น ฮอพกินส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา (จินตนา ลีกิจวัฒนะ, 2551) หลังจากพบว่าพยาบาลท่านหนึ่งซึ่งทำงานในแผนกศัลยกรรมเกิดอาการปวดแสบปวดร้อนและเป็นผื่นคันที่บริเวณมือ เนื่องจากเกิดอาการแพ้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคที่ใช้ล้างมือก่อนการผ่าตัด จากนั้นนายแพทย์วิลเลียมฮัลสเตด ได้ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการสั่งหล่อรูปมือด้วยปูนปลาสเตอร์ แล้วส่งไปยังโรงงาน เพื่อใช้ในการผลิตถุงมือบางๆให้กับพยาบาล หลังจากพยาบาลได้สวมถุงมือก็สามารถช่วยลดอาการแพ้ที่เกิดขึ้น ต่อจากนั้นมานายแพทย์วิลเลียม ฮัลสเตด ก็ได้สั่งทำถุงมือยางเพิ่มเติมสำหรับใช้สวมใส่ในขณะทำการผ่าตัด เพื่อความปลอดภัยและป้องกันการติดเชื้อโรคต่างๆ จนเป็น ที่แพร่หลายไปยังนายแพทย์ด้านศัลยกรรมท่านอื่นๆ จนปัจจุบันถุงมือยางได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายวงการไม่ใช่เฉพาะวงการทางการแพทย์เท่านั้น

1.1 ชนิดและการใช้งานถุงมือยาง

ปัจจุบันพบว่ามีการใช้งานถุงมือยางในหลายรูปแบบและหลายวงการอุตสาหกรรม ได้แก่ ถุงมือยางทางการแพทย์ (Medical glove) ถุงมือยางสำหรับใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial glove) และถุงมือยางสำหรับใช้ในครัวเรือน (Household glove) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถุงมือยางแสดงดังภาพที่ 1 โดยผลิตภัณฑ์ถุงมือยางทุกชนิดได้จากการกระบวนการจุ่ม (Dipping process) (ภิรมย์ รัตนา, 2548) แต่จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตคือ ถุงมือยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ และผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของถุงมือยาง ตามลักษณะผิวของถุงมือยางคือ ชนิดผิวเรียบ ชนิดผิวไม่เรียบบางส่วน หรือเรียบทั้งหมด รวมถึงถุงมือยางชนิดแบบผิวมีแป้งและชนิดผิวไม่มีแป้ง (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548) รายละเอียดของถุงมือยางแต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถุงมือยางประเภทต่างๆ
ที่มา: ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

1.1.1 ถุงมือยางทางการแพทย์ (Medical glove)

เครื่องมือทางการแพทย์ หมายถึง อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร เครื่องใช้สิ่งฝังในร่างกาย น้ำยาหรือตัวทดสอบที่ใช้วินิจฉัยภายนอกร่างกายซอฟต์แวร์ วัสดุหรือวัตถุอื่นที่คล้ายกันหรือเกี่ยวข้องกัน ที่ผู้ผลิตมุ่งนำไปใช้ไม่ว่าจะโดยลำพังหรือใช้ร่วมกับสิ่งอื่นสำหรับมนุษย์ (อภิชาต ยิ้มแสง, 2555) โดยถุงมือยางชนิดนี้มีลักษณะบาง กระชับ ยืดหยุ่นได้ดีถุงมือยางจัดเป็นหนึ่งในกลุ่มเครื่องมือทางการแพทย์ ขั้นตอนต่างๆในกระบวนการผลิตต้องใช้เทคโนโลยีที่สูงกว่าการผลิตถุงมือยางประเภทอื่นๆการผลิตและส่งออกถุงมือยางประเภทนี้ จะต้องผ่านการตรวจสอบและผ่านการรับรองจากคณะกรรมการอาหารและยาและระบบมาตรฐานต่างๆ ถุงมือยางสำหรับใช้ในทางการแพทย์สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

- ถุงมือยางสำหรับใช้ในการผ่าตัด (Surgical glove) ถุงมือยางชนิดนี้นำไปใช้ในงานทางด้านศัลยกรรม มีลักษณะบาง แข็งแรง มีความยาวถึงข้อศอก ระบุข้างซ้าย ข้างขวา ผ่านกรรมวิธีการฆ่าเชื้อ 100% ใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันเชื้อโรคจากภายนอกได้

- ถุงมือสำหรับใช้ในการตรวจโรค (Examination glove) ถุงมือยางชนิดนี้นำไปใช้สำหรับการตรวจโรคทั่วไป มีลักษณะบาง กระชับ สั้นแค่ข้อมือ ใช้ครั้งเดียวทิ้งโดยไม่มีการนำกลับมาใช้อีก

1.1.2 ถุงมือยางสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial glove)

มีขนาดใหญ่และแข็งแรง อาจมีขนาดบางและกระชับ เพื่อความทนทานต่องานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลไม้กระป๋อง งานช่างทั่วไป เป็นต้น

1.1.3 ถุงมือยางสำหรับใช้ในครัวเรือน (Household glove)

เป็นถุงมือยางที่แม่บ้านใช้สวมใส่ในการทำความสะอาด ซักล้าง มีขนาดใหญ่ แข็งแรง ทนทานต่อการใช้งาน มีอายุการใช้งานนาน สวมใส่สบายนุ่มมือ

1.2 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

ถุงมือยางที่ผลิตในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้น้ำยางข้นชนิด 60 % เป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น โดยทั่วไปกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทย ใช้หลักการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นแยกหรือนิยมเรียกว่า การผลิตน้ำยางข้นด้วยวิธีปั่นแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวส์ เป็นการผลิตน้ำยางข้นที่มีการใช้ กันมากในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน กระบวนการผลิตน้ำยางข้น สามารถแยกออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักคือ1) กระบวนการรับน้ำยางและเตรียมน้ำยางสด 2) กระบวนการปั่นแยกน้ำยางข้นและรักษาสภาพ และ 3) กระบวนการผลิตยางสกิม (ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ, 2556)

กระบวนการผลิตถุงมือยางเป็นกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ จากกระบวนการจุ่ม (Dipping) กระบวนการจุ่มหรือเป็นกระบวนขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธีการจุ่มโดยจะนำเบ้ามือ (Former) ตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโดยทั่วไปแบบพิมพ์จะทำจากโลหะพลาสติก เซรามิก แก้ว อะลูมิเนียมหรือวัสดุอื่นๆ ที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์จุ่มลงในน้ำยางคอมปาวด์ (Compound latex) น้ำยางคอมปาวด์ในอุตสาหกรรมประเภทการจุ่ม ประกอบด้วยน้ำยางข้นและสารเคมี (วราภรณ์ ขจรไชยกูล และ นุชนาฎ ณ ระนอง, 2545) ซึ่งสูตรสารเคมีจะมีความแตกต่างไปตามแต่ละผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างสูตรเคมีสำหรับถุงมือยางประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างสูตรน้ำยางคอมปาวด์สำหรับการผลิตถุงมือยาง

สารเคมี	ส่วนในร้อยส่วนของน้ำหนักยางแห้ง (phr)
60% Concentrated latex	100
10% KOH	0.3
20% Potassium laurate	0.2
50% Sulphur	0.5
50% ZDC	0.75
40% SOBE	0.5
40% Wingstay L	0.75
50% ZnO	0.4

ที่มา: พงษ์ธร แซ่อุย (2548)

กระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับการตรวจโรค มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้ การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ การล้างทำความสะอาดเบ้ามือ การอบเบ้ามือให้แห้ง การจุ่มสารช่วยจับตัว การอบแห้งสารช่วยจับตัว การจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ การอบฟิล์มยาง การม้วนขอบถุงมือ การล้างฟิล์มยาง การอบแห้ง และการถอดถุงมือ (Yip and Cacioli, 2002) รายละเอียดการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

1.2.1 การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์

การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์เป็นขั้นตอนการผสมน้ำยางข้น (Concentrate latex) กับสารเคมีต่างๆ ตามสูตรที่กำหนด ซึ่งสารเคมีแต่ละประเภทประกอบด้วย สารทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูป (Vulcanizing agent) สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Accelerator agent) สารตัวเติม (Filler) ทั้งนี้เพื่อให้ได้ถุงมือยางที่มีคุณสมบัติเชิงกล ลักษณะทางกายภาพและสีตรงตามความต้องการ โดยสารเคมีที่นำมาใช้ในการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ จะต้องเตรียมให้อยู่ในรูปของของเหลว แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของสารเคมีแต่ละชนิด อาจเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลาย (Solution) สารแขวนลอยในตัวกลางที่เป็นน้ำ (Dispersion) หรืออิมัลชัน (Emulsion) หลังจากทำการผสมน้ำยางข้นกับสารเคมีแล้ว ทำการบ่มน้ำยางคอมปาวด์ไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วตรวจสอบคุณภาพของน้ำยางคอมปาวด์ก่อนการนำไปใช้งาน การตรวจสอบคุณภาพจะประกอบด้วยการทดสอบอัตราการบวมพอง (Swelling index) ส่วนประกอบที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total solid content : TSC)

และ ค่าความเป็นกรดด่าง เมื่อคุณภาพของน้ำยางคอมปาวด์ผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดจึงส่งไปยังกระบวนการผลิต (พงษ์ธร แซ่อุย, 2548)

1.2.2 การติดตั้งและเตรียมเบ้ามือ

ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการนำเบ้ามือ มาติดตั้งกับข้อเหล็กยึดเบ้ามือบนสายโซ่ลำเลียงของสายการผลิต จากนั้นเบ้ามือจะถูกลำเลียงเข้าสู่ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดโดยกระบวนการดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้

- การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรด เพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรก คราบสารเคมีที่ติดอยู่บนของผิวเบ้ามือ
- การชะล้างสารละลายกรดด้วยน้ำสะอาดเพื่อล้างคราบสารละลายกรดออกจากผิวของเบ้ามือ
- การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายด่าง เพื่อทำความสะอาดคราบสกปรกที่ตกค้างจากถังกรด และปรับสภาพความเป็นกรดด่างบนผิวของเบ้ามือ
- การขัดทำความสะอาดเบ้ามือด้วยชุดลูกกลิ้งแปรงขัด พร้อมกับการฉีดน้ำในขณะขัดเบ้ามือ
- การล้างเบ้ามือด้วยน้ำร้อน เพื่อล้างทำความสะอาดคราบสารเคมีและสิ่งสกปรกต่างๆที่ตกค้างบนผิวของเบ้ามือ และช่วยปรับอุณหภูมิของเบ้ามือให้เหมาะสม
- การอบเบ้ามือให้แห้งหมาดๆ ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการจุ่มขึ้นรูป

1.2.3 การจุ่มขึ้นรูปถุงมือยาง

เบ้ามือที่ผ่านขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว จะถูกลำเลียงเข้าสู่ขั้นตอนของการจุ่มขึ้นรูปถุงมือยาง โดยกระบวนดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

- การจุ่มเบ้ามือที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดลงในสารช่วยจับตัว (Coagulant) ซึ่งเป็นสารที่จะช่วยให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดการจับตัวเป็นแผ่นฟิล์มยางเกาะที่ผิวของเบ้ามือและป้องกันไม่ให้ฟิล์มยางเหนียวติดกับเบ้ามือ
- การอบเบ้ามือที่ผ่านการจุ่มสารช่วยจับตัว เพื่อให้สารช่วยจับตัวที่เคลือบอยู่บนผิวของเบ้ามือแห้ง
- การลดอุณหภูมิของเบ้ามือ ช่วยควบคุมและปรับอุณหภูมิของเบ้ามือให้เหมาะสมก่อนการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์
- การจุ่มเบ้ามือลงในน้ำยางคอมปาวด์

- การอบน้ำยางคอมปาวด์ที่เคลือบอยู่บนผิวเบ้ามือ ให้เกิดเป็นแผ่นเจลฟิล์ม เพื่อให้ง่ายต่อการม้วนขอบ

- การจุ่มเบ้ามือที่มีฟิล์มยางเคลือบอยู่ลงในสารโพลิเมอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้ถุงมือยางเหนียวติด หลังถอดถุงมือยางออกจากเบ้าและง่ายต่อการสวมใส่

- การขึ้นขอบถุงมือ เพื่อให้ฟิล์มยางเกิดความแข็งแรง

- การล้างถุงมือยางด้วยน้ำร้อนเพื่อชะล้างสารเคมีและโปรตีน

- การอบถุงมือยางให้สุกสมบูรณ์

- การถอดถุงมือออกจากเบ้ามือ เมื่อฟิล์มยางผ่านการอบจนสุกสมบูรณ์ จะทำการดึงถุงมือยางออกจากเบ้ามือ ถือเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตถุงมือยาง

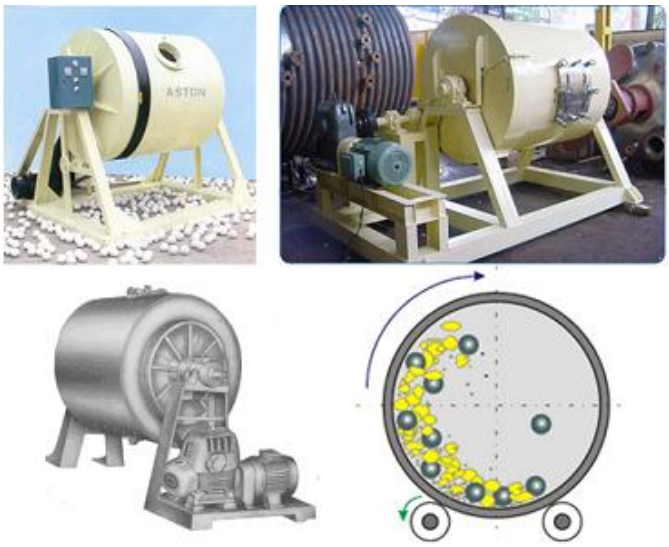
1.3 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สำคัญในกระบวนการผลิตถุงมือยาง (ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ, 2556)

เครื่องจักรและอุปกรณ์สำคัญและที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตถุงมือยางโดยพิจารณาตามกระบวนการผลิต ดังนี้

1.3.1 เครื่องจักรกระบวนการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ (Latex compound)

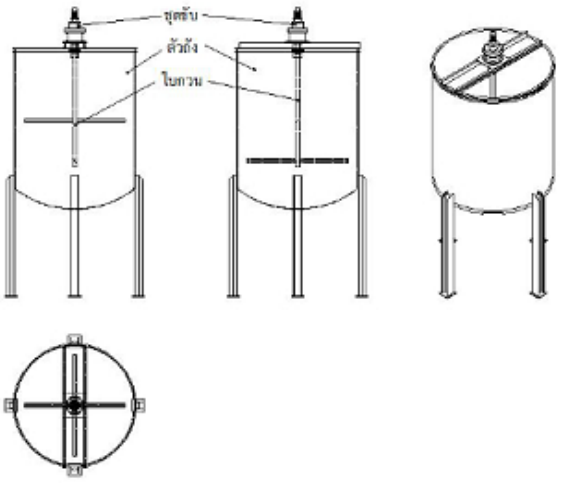
เครื่องจักรและอุปกรณ์ในส่วนนี้จะมี 2 ส่วน คือ เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารเคมีผสมน้ำยางข้นเพื่อเตรียมน้ำยางคอมปาวด์และถังเก็บน้ำยางข้นพร้อมเครื่องกวน

- เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสารเคมีผสมในน้ำยางสด ในขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ส่วนใหญ่ เป็นเครื่องจักรในการทำให้ขนาดของสารเคมี มีขนาดเล็กลงจนเป็นสารเนื้อเดียวกัน หรือเรียกว่า การโฮโมจิไนส์ ซึ่งในการเลือกใช้งานของอุปกรณ์ แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับการใช้งานของสารเคมี หรือขนาดและความละเอียดของสารเคมีที่ต้องการเช่น เครื่องผสมความเร็วสูง (Homogenizer) เป็นเครื่องที่ทำให้สารเคมีเป็นเนื้อเดียวกันโดยใบมีดที่หมุนด้วยความเร็วสูง เครื่อง Ball Mills เป็นอุปกรณ์ในการลดขนาดของสารเคมีโดยการกระแทก หรือเสียดสีของลูกบอล ซึ่งบรรจุอยู่ภายในทรงกระบอก ลักษณะของเครื่อง Ball Mills แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะของเครื่อง Ball Mills ที่ใช้อุตสาหกรรมถุงมือยาง
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

- ถังผสมน้ำยาง (Fixed Mixing Tank) เป็นถังผสมส่วนผสมต่างๆในการผลิตน้ำยางคอมปาวด์ รวมถึงเป็นถังเก็บและบ่มน้ำยางคอมปาวด์โดยปกติถังน้ำยางคอมปาวด์ประกอบด้วย ตัวถังและมีเครื่องกวนติดตั้งอยู่เพื่อกวนผสมน้ำยางกับสารเคมีให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ขนาดถังจะขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของโรงงาน ลักษณะของถังผสมน้ำยางแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ลักษณะถังผสมน้ำยางคอมปาวด์ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมถุงมือยาง
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

1.3.2 สายการผลิตถุงมือยาง (Glove production line)

เครื่องจักรในสายการผลิตเป็นส่วนสำคัญมากในการผลิตถุงมือยางเพราะเป็นเครื่องจักรหลักในการผลิตและเป็นส่วนที่มีผลต่อกำลังการผลิตคุณภาพถุงมือยางที่ผลิตรวมถึงชนิดของถุงมือยางที่ผลิตด้วยส่วนประกอบของเครื่องผลิตถุงมือยางจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

- โครงสร้างของเครื่องจักรการผลิต ส่วนใหญ่ผู้ออกแบบจะพิจารณาคำนวณออกแบบเป็นอย่างดีเพื่อให้สามารถรับน้ำหนัก และภาระจากการทำงานของเครื่อง รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งไปในเครื่องจักรผลิต

- อุปกรณ์ลำเลียง ทำหน้าที่ในการพาเบ้ามือให้เคลื่อนที่ไปยังกระบวนการต่างๆ ในสายการผลิต ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆคือ โซ่ลำเลียง (Chain conveyor) ชุดต้นกำลัง (Power unit) เฟื่องโซ่ (Sprocket) ชุดยึดแบบจับเบ้ามือ (Holder set) เบ้ามือ (Former) สามารถอธิบายรูปร่างและการใช้งานพอสังเขปได้ ดังนี้

- ชุดยึดแบบจับเบ้ามือ (Holder set) ชุดยึดจับแบบมือทำหน้าที่ยึดจับกับเบ้ามือกับโซ่ลำเลียง การเลือกใช้รูปแบบของชุดยึดจับเบ้ามือขึ้นอยู่กับโซ่ที่ใช้ในสายการผลิตทำด้วยเหล็กหล่อหรือสแตนเลส รูปแบบของชุดยึดเบ้ามือดังแสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 4 รูปแบบของชุดยึดจับเบ้ามือ (Holder set)
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

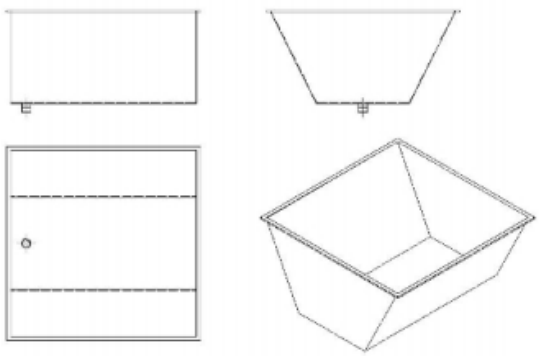
1.3.3 เบ้ามือ (Former)

เป็นแบบสำหรับใช้ในการจุ่มน้ำยางเพื่อให้น้ำยางเกาะเป็นฟิล์มบางโดยทั่วไปทำจากเซรามิก รูปแบบของเบ้ามือขึ้นอยู่กับรูปแบบของถุงมือยางที่ต้องการผลิต ตัวอย่างของเบ้ามือ แสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 ตัวอย่างเบ้ามือเซรามิกสำหรับใช้ในการผลิตถุงมือยาง
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

1.3.4 ถังสารละลายกรดและด่างสำหรับล้างเบ้ามือ (Acid & Alkaline Tank)

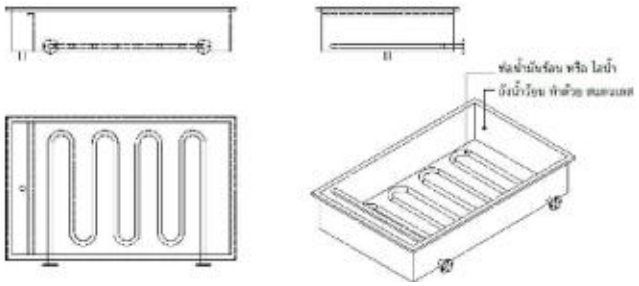
หลังจากถุงมือยางถูกออกจากแบบมือ จะมีคราบสกปรกติดที่เบ้ามือจำเป็นต้องมีการล้างออกปกติจะใช้กรดเจือจางในการล้างและปรับสมดุลด้วยด่างอีกครั้ง หลังจากนั้นก็ล้างออกด้วยน้ำเปล่าอีกครั้ง ลักษณะของถังกรดและถังเบสโดยมากจะออกแบบให้ มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และทำด้วยวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะของถังสารละลายกรดและด่างที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยาง
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

1.3.5 ถังน้ำล้าง (Washing Tank)

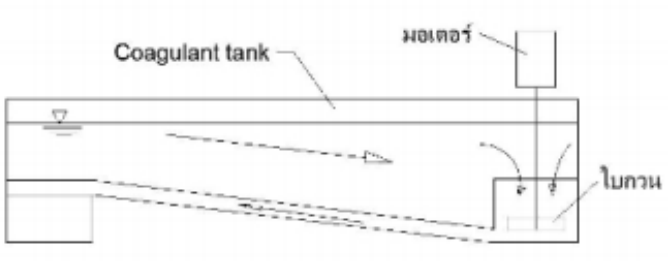
ทำหน้าที่ในการล้างทำความสะอาดผิวของเบ้ามือ หลังจากผ่านถังกรดและด่างเพื่อล้างกรดและด่างออก เพื่อให้เบ้ามือสะอาดโดยปกติถังน้ำล้างจะมี 2-3 ถัง ในการล้างเบ้ามือนี้จะต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 60-70 °ซ โดยการทำให้น้ำร้อนอาจให้ความร้อนโดยตรงหรือผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ลักษณะของถังล้างเบ้ามือ แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ลักษณะทั่วไปของถังน้ำล้างในกระบวนการผลิตถุงมือยาง
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

1.3.6 ถังสารช่วยจับตัว (Coagulant tank)

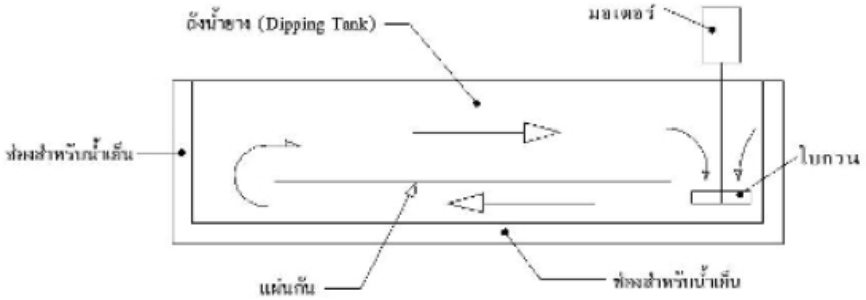
เป็นถังสารเคมีซึ่งประกอบด้วย สารละลายแคลเซียมไนเตรต เป็นสารช่วยจับตัวอนุภาคยางและสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารช่วยป้องกันยางไม่ให้ฟิล์มยางติดกกับผิวของเบ้ามือ (Former) ลักษณะของถังสารช่วยจับตัว จะมีเครื่องกวนทำหน้าที่กวนไม่ให้สารเคมีตกตะกอน และเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนให้สารเคมีไหลวน แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะทั่วไปของถัง Coagulant
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

1.3.7 ถังน้ำยาง (Latex dipping tank)

ถังน้ำยางถูกออกแบบให้มีการหมุนเวียนของน้ำยาง เพื่อไม่ให้น้ำยางคอมปาวด์ตกตะกอนโดยใช้เครื่องกวนมีลักษณะเป็นใบพัดโดยทั่วไปถังน้ำยางมักออกแบบเป็น 2 ลักษณะคือ มีเครื่องกวนอยู่บริเวณปลายข้างใดข้างหนึ่งของถังน้ำยาง และแบบอยู่ด้านข้างของน้ำยาง แสดงดังภาพที่ 9 นอกจากนี้ถังน้ำยางมักจะออกแบบให้มี 2 ชั้นโดยมีน้ำเย็นหล่อเย็นทั่วทั้งถัง เพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำยางให้คงที่ เนื่องจากแบบมือที่มาจุ่มเพื่อให้เกิดฟิล์มบางบนเบ้ามือจะมีอุณหภูมิสูงเพราะเพิ่งผ่านกระบวนการอบแห้ง

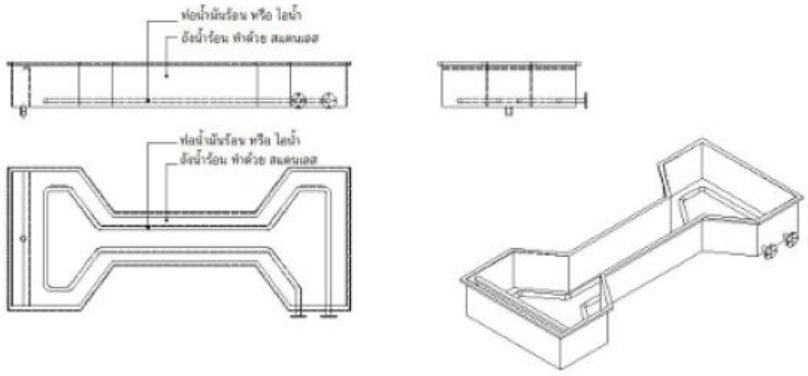


ภาพที่ 9 ลักษณะทั่วไปของถังน้ำยาง
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

1.3.8 ถังน้ำชะล้าง (Leaching tank)

ถังชะล้างเป็นถังที่ทำหน้าที่ ในการชะล้างสารเคมีออกจากฟิล์มยาง เป็นขั้นตอนสำคัญในการกำจัดโปรตีนออกจากฟิล์มของถุงมือยาง โดยการชะล้างจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การล้างขณะที่ฟิล์มถุงมือเปียก (Wet gel) และล้างขณะฟิล์มแห้ง (Dry film) การชะล้างฟิล์มยางใน

กระบวนผลิตถุงมือยางจะใช้น้ำร้อนอุณหภูมิประมาณ 60-80 °ซ นานประมาณ 1-2 นาที แสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ลักษณะทั่วไปของถังชะล้าง (Leaching tank)
ที่มา : ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ (2556)

1.3.9 ถังแป้ง (Powder tank)

กระบวนการจุ่มเบ้ามือลงในน้ำแป้งของถุงมือที่ผ่านการทำให้ถุงมือแห้งและเกิดการวัลคาไนซ์ ถังแป้งโดยทั่วไปจะออกแบบคล้ายกับถังสารละลายกรดแต่มีผนังกันให้น้ำแป้งไหล Over flow แล้วจะตกลงสู่ถังเก็บเพื่อส่งผ่านไปยังถังแป้งอีกครั้ง

1.3.10 ตู้อบถุงมือ (Drying oven)

ตู้อบถุงมือยางเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากของกระบวนการผลิตถุงมือยาง เพราะเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานที่สุด ใช้พลังงานมากที่สุด ตู้อบในกระบวนการผลิตถุงมือจะแบ่งตามกระบวนการผลิต คือ

- กระบวนการอบแห้งแบบมือหลังถังล้างทำความสะอาด ก่อนที่เย้ามือจะเคลื่อนที่ไปจุ่มสารช่วยจับตัว
- กระบวนการอบแห้งสารเคมี หลังจากการจุ่มสารช่วยจับตัว ทำหน้าที่อบแห้งสารเคมีบนผิวเบ้ามือ โดยจะใช้อุณหภูมิประมาณ 120 ^{O}ซ เพื่อระเหยน้ำในสารละลายเคมี
- กระบวนการอบถุงมือหลังการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ เป็นการอบเพื่อระเหยน้ำในเนื้อยางออก เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มเจลยาง ทำให้ง่ายต่อการม้วนขอบหรือการล้างในถังชะล้างต่อไป

- กระบวนการอบเพื่อให้ถุงมือเกิดการวัลคาไนซ์ (Vulcanization) เป็นที่สมบูรณ์ กระบวนการอบให้ยางแห้งและวัลคาไนซ์ โดยปกติจะแบ่งการอบออกเป็น 2 ช่วงคือช่วงการอบเพื่อไล่ความชื้นใช้อุณหภูมิประมาณ 70-80 ^{0}ซ เพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศในเนื้อยางและในช่วงต่อมาจะเป็นการอบเพื่อให้ยางวัลคาไนซ์ใช้อุณหภูมิไม่เกิน 100 ^{0}ซ ตู้อบถุงมือในแต่ละกระบวนการจะออกแบบโครงสร้างคล้ายกัน มีลักษณะเปิดทางด้านเข้าและด้านออกของเบ้ามือ ผนังเป็นเหล็กกล้า 2 ชั้นและมีฉนวนความร้อนอยู่ด้านใน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนผ่านผนัง

1.3.11 เครื่องม้วนขอบถุงมือ (Beading machine)

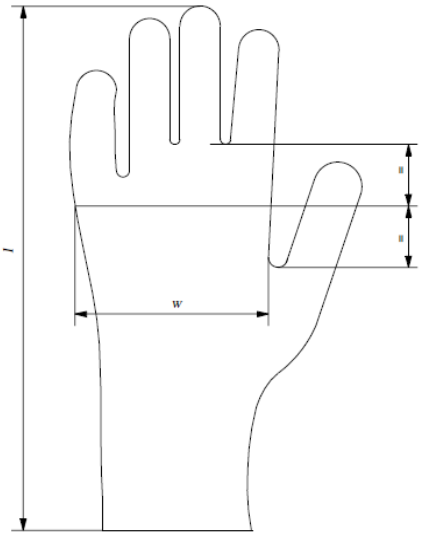
เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ม้วนขอบถุงมือ กระบวนการนี้จะทำหลังจากออกจากตู้อบที่อบถุงมือยางให้เป็นเจล ลักษณะของเครื่องม้วนขอบ ใช้แปรงม้วนพลาสติกในการม้วนขอบ โดยทั่วไปเครื่องม้วนขอบจะมี 2 ส่วน คือส่วนด้านล่างจะออกแบบให้เป็นสายพานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของเบ้ามือและส่วนที่ 2 จะอยู่ ด้านบนเบ้ามือ ทำหน้าที่ม้วนขอบถุงมือยางโดยใช้มอเตอร์เป็นตัวขับให้แปรงม้วน

1.4 ข้อกำหนดคุณภาพถุงมือยางสำหรับตรวจโรค (กองควบคุมเครื่องมือแพทย์, 2547)

สำหรับการวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคที่ผลิตมาจากน้ำยางธรรมชาติ ชนิดไม่มีแป้ง ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงกระบวนการผลิตและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับถุงมือยางชนิดดังกล่าวเท่านั้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 31 และ 32 พ.ศ. 2547 เกี่ยวกับข้อกำหนดคุณภาพมาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์ถุงมือยางทางการแพทย์ประเภทถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียวที่ผลิตเพื่อขายภายในประเทศและผลิตเฉพาะเพื่อการส่งออก มีรายละเอียดดังนี้

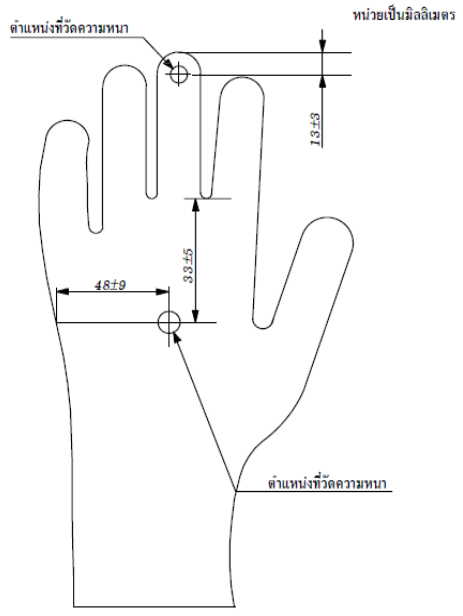
1.4.1 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ตำแหน่งของการวัดมิติด้านความกว้างฝ่ามือ (Width) ความยาว (Length) และความหนา (Thickness) บริเวณปลายนิ้วและฝ่ามือ แสดงดังภาพที่ 11 และภาพที่ 12 ส่วนมาตรฐานมิติของถุงมือยางแต่ขนาด มีรายละเอียดตามตารางที่ 2



W คือ ความกว้าง
I คือ ความยาว

ภาพที่ 11 ตำแหน่งการตรวจวัดความกว้างและความยาวของถุงมือยาง
ที่มา : กองควบคุมเครื่องมือแพทย์ (2547)



หมายเหตุ ระยะ 48 มิลลิเมตร ± 9 มิลลิเมตร คือจุดกึ่งกลางฝ่ามือของถุงมือขนาดต่าง ๆ กัน

ภาพที่ 12 ตำแหน่งการตรวจวัดความหนาของถุงมือยาง
ที่มา : กองควบคุมเครื่องมือแพทย์ (2547)

ตารางที่ 2 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของถุงมือยางสำหรับการตรวจโรค

ขนาดระบุ	ความกว้าง (มม.)	ความยาว ต่ำสุด (มม.)	ความหนา (ชั้นเดียว) ต่ำสุด (มม.)	ความหนา (ชั้นเดียว) สูงสุด (มม.)
เล็กพิเศษ (XS)	≤ 80	220	สำหรับทุกขนาด บริเวณผิวเรียบ: 0.08 บริเวณไม่ผิวเรียบ: 0.11	สำหรับทุกขนาด บริเวณผิวเรียบ: 2.00 บริเวณไม่ผิวเรียบ: 2.03
เล็ก (S)	80±5	220		
กลาง (M)	85±5	230		
กลาง (M)	95±5	230		
ใหญ่ (L)	100±5	230		
ใหญ่ (L)	110±5	230		
ใหญ่พิเศษ(XL)	≥ 110	230		

โดยเกณฑ์ที่ใช้สำหรับการกำหนดระดับของการตรวจสอบและระดับคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ (Acceptable quality level: AQL) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การตรวจสอบและระดับคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ของถุงมือสำหรับการตรวจโรค

คุณลักษณะ	ระดับการตรวจสอบ	ระดับคุณภาพที่ยอมรับ
1. มิติ (ความกว้าง ความยาว ความหนา)	S-2	AQL 4.0
2. การรั่วซึมน้ำ	I	AQL1.5
3. แรงดึงเมื่อขาดและความยืดเมื่อขาด (ก่อนและหลังการบ่มเร่ง)	S-2	AQL 4.0

1.4.2 การทดสอบการรั่วซึมน้ำ (Water leak Testing)

อุปกรณ์การทดสอบการรั่วซึมน้ำของถุงมือยางแสดงดังรูปที่ 13 วิธีการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

- สวมถุงมือยางตัวอย่างสำหรับทดสอบกับท่อแมนเดรล แล้วยึดด้วยอุปกรณ์ที่ เช่น วงแหวน (O-ring) โดยไม่ให้ขอบของถุงมือยางสูงกว่าเกิน 40 มิลลิเมตรจากปลายท่อแมนเดรล
- เติมน้ำสะอาดปริมาตร 1,000 $\pm$ 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในถุงมือยางตัวอย่างทางท่อแมนเดรล เช็ดน้ำที่กระเซ็นเปียกบนถุงมือ ถ้าระดับน้ำสูงไม่ถึงระยะ 40 มิลลิเมตรจากขอบถุงมือให้ยกถุงมือขึ้น เพื่อให้แน่ใจว่าทุกส่วนของถุงมือได้รับการตรวจสอบ ยกเว้นส่วน 40 มิลลิเมตรจากขอบถุงมือยาง

- ตรวจดูทันทีว่ามีน้ำรั่วซึมออกจากถุงมือตัวอย่างหรือไม่ โดยรอยรั่วซึมระยะ 40 มิลลิเมตรจากขอบถุงมือไม่ถือเป็นข้อบกพร่อง ถ้าไม่มีการรั่วซึมให้แขวนถุงมือทิ้งไว้ 2 นาทีนับจากเทน้ำลงในถุงมือยาง แล้วตรวจดูการรั่วซึมน้ำอีกครั้งหนึ่ง

ภาพที่ 13 ตัวอย่างอุปกรณ์การทดสอบการรั่วซึมน้ำของถุงมือยาง
ที่มา : Koon Seng (2014)

1.4.3 คุณสมบัติเกี่ยวกับแรงดึง (Tensile Properties)

การทดสอบคุณสมบัติด้านแรงดึงของถุงมือยาง โดยใช้ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลจำนวนไม่น้อยกว่า 3 ชิ้นจากถุงมือยางแต่ละข้าง การทดสอบแรงดึงมี 2ประเภทคือ การทดสอบแรงดึง ก่อนและหลังการบ่มเร่ง ซึ่งค่าของแรงดึงเมื่อขาดและความยืดเมื่อขาดก่อนและหลังการบ่มเร่งต้องเป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณลักษณะเกี่ยวกับแรงดึงและเกณฑ์ที่กำหนดของถุงมือสำหรับการตรวจโรค

ประเภทที่ทำจาก	ก่อนบ่มเร่ง		หลังบ่มเร่ง	
	แรงดึงเมื่อขาดต่ำสุด (นิวตัน)	ความยืดเมื่อขาดต่ำสุด (ร้อยละ)	แรงดึงเมื่อขาดต่ำสุด (นิวตัน)	ความยืดเมื่อขาดต่ำสุด (ร้อยละ)
น้ำยางธรรมชาติ	7.0	650	6.0	500
น้ำยางสังเคราะห์	7.0	500	7.0	400

เกณฑ์การชักตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของถุงมือยางในแต่ละข้อกำหนด และจำนวนของข้อบกพร่องที่ยอมรับได้ จะต้องเป็นไปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์การชักตัวอย่างและเกณฑ์การยอมรับของถุงมือสำหรับการตรวจโรค

การทดสอบ	ขนาดรุ่น (ชิ้น)							
	ไม่เกิน 35,000		35,001-150,000		150,001-500,000		มากกว่า 500,000	
	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ	จำนวนบกพร่องที่ยอมรับ	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ	จำนวนบกพร่องที่ยอมรับ	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ	จำนวนบกพร่องที่ยอมรับ	จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ	จำนวนบกพร่องที่ยอมรับ
1. มิติ	13	1	13	1	13	1	13	1
2.แรงดึงและความยืดเมื่อขาด								
-ก่อนบ่มเร่ง	13	1	13	1	13	1	13	1
-หลังบ่มเร่ง	13	1	13	1	13	1	13	1
3.ทดสอบการรั่วซึม	125	7	13	10	315	14	500	21
รวม	164		239		354		539	

2. มาตรฐาน MIL-STD 105E (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2538)

มาตรฐาน MIL-STD 105E เป็นมาตรฐานที่ถูกสร้างขึ้นในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยกองทัพอเมริกาเพื่อใช้ในการชักสิ่งตัวอย่างกรณีที่มีการฟอร์มล็อต เพื่อพิจารณาถึงความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ในการตัดสินใจคุณภาพด้านดีหรือเสีย แต่ปัจจุบันกองทัพอเมริกาได้หยุดการพัฒนาและยกเลิกมาตรฐาน MIL-STD-105E ไปแล้ว พร้อมประกาศให้ผู้ที่ใช้มาตรฐานนี้ไปใช้มาตรฐาน ANSI/ASQ Z 1.4 แทน แต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็น ANSI หรือ ISO ได้มีการนำมาตรฐาน MIL-STD-105E มาปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมบางส่วนให้ทันสมัยมากขึ้น จึงมีความแตกต่างกันในคำนิยาม คำจำกัดความและระเบียบปฏิบัติบางอย่างเท่านั้น ส่วนตารางตัวเลขต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นขนาดสิ่งตัวอย่าง ตัวเลขการยอมรับและปฏิเสธ ซึ่งเกิดจากการคำนวณทางสถิติยังคงเหมือนเดิม

มาตรฐาน MIL-STD-105E ถือเป็นแบบแผนการชักสิ่งตัวอย่างที่ประกอบไปด้วยขอบเขตในการใช้งาน เอกสารอ้างอิง นิยาม ข้อกำหนดทั่วไป วิธีปฏิบัติในการนำมาตรฐานไปใช้งาน รวมถึงตารางและกราฟอีกมากมาย แต่ส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการชักสิ่งตัวอย่าง รวมถึงวิธีการหรือข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องเพื่อให้สามารถนำมาตรฐานนี้ไปใช้ได้อย่างถูกต้องซึ่งมีดังนี้

2.1 ตารางอักษรรหัสของขนาดตัวอย่าง

Table 1 - Sample size code letters (see 10.1 and 10.2)

Lot size	Special inspection levels				General inspection levels		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 to 8	A	A	A	A	A	A	B
9 to 15	A	A	A	A	A	B	C
16 to 25	A	A	B	B	B	C	D
26 to 50	A	B	B	C	C	D	E
51 to 90	B	B	C	C	C	E	F
91 to 150	B	B	C	D	D	F	G
151 to 280	B	C	D	E	E	G	H
281 to 500	B	C	D	E	F	H	J
501 to 1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201 to 3 200	C	D	E	G	H	K	L
3 201 to 10 000	C	D	F	G	J	L	M
10 001 to 35 000	C	D	F	H	K	M	N
35 001 to 150 000	D	E	G	J	L	N	P
150 001 to 500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 and over	D	E	H	K	N	Q	R

ภาพที่ 14 ตารางอักษรของรหัสขนาดสิ่งตัวอย่าง

ที่มา : กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2538)

เป็นตารางแรกที่ผู้ใช้จะต้องเปิดเพื่อกำหนดอักษรรหัสสำหรับแผนการชักสิ่งตัวอย่าง โดยอักษรรหัสจะขึ้นอยู่กับขนาดล็อต และระดับการตรวจสอบดังแสดงในภาพที่ 14 ซึ่งมาตรฐานการแบ่งระดับการตรวจสอบเป็นการตรวจสอบทั่วไป 3 ระดับ คือ G I, G II และ G III และการตรวจสอบพิเศษ 4 ระดับ คือ S-1, S-2, S-3, และ S-4 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ระดับการตรวจสอบทั่วไป (General Inspection Levels) มาตรฐานแบ่งระดับการตรวจสอบ เป็น 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1, 2 และ 3

- ระดับที่ 1 (G-I) จะมีการตรวจสอบตัวอย่างเพียงครึ่งหนึ่งของระดับที่ 2
- ระดับที่ 2 (G-II) เป็นระดับที่ใช้เป็นงานปกติ
- ระดับที่ 3 (G-III) เมื่อต้องการตรวจสอบตัวอย่างเป็น 2 เท่าของระดับที่ 2

อย่างไรก็ตามระดับเหล่านี้แตกต่างกันใน ความเข้มงวดของการป้องกันผู้บริโภคเมื่อต้องยอมรับรุ่นที่ไม่ได้คุณภาพ

2.1 2 ระดับการตรวจสอบพิเศษ (Special Inspection Levels)

ระดับการตรวจสอบพิเศษนี้จะมีตัวอย่างน้อยมากและจะถูกใช้เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้จำนวนตัวอย่างน้อยๆ แต่ต้องยอมรับค่าความเสี่ยงสูง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ S-I, S-II, S-III และ S-IV

2.2 ชนิดของการตรวจสอบ

2.2.1 การตรวจสอบแบบปกติ (Normal Inspection)

ใช้เริ่มต้นการตรวจสอบครั้งแรกและถ้าระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์อยู่ระดับ AQL หรือดีกว่า การตรวจสอบแบบปกติก็จะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง

2.2.2 การตรวจสอบแบบเข้มงวด (Tightened Inspection)

ใช้เมื่อประวัติคุณภาพของผู้ผลิตเริ่มเสื่อมแย่ลง มีการกดดันจากลูกค้าให้ผู้ผลิตส่งผลิตภัณฑ์ที่มีระดับคุณภาพอย่างน้อยต้องไม่ต่ำกว่า AQL

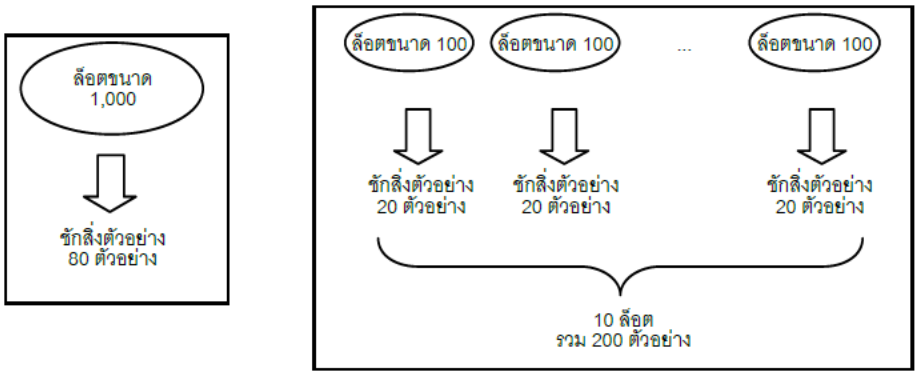
2.2.3 การตรวจสอบแบบผ่อนปรน (Reduced Inspection)

ใช้เมื่อประวัติคุณภาพของผู้ผลิตดีเยี่ยม การตรวจแบบนี้ใช้ตัวอย่างน้อยคือระดับคุณภาพ (อัตราส่วนของเสียที่แฝงอยู่ในรุ่น) ที่ลูกค้ายอมรับได้ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจในการยอมรับรุ่นเนื่องจากผู้ซื้อคาดว่าผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตจะอยู่ในระดับที่ดีกว่า AQL เริ่มต้นควรตรวจสอบด้วยการตรวจสอบแบบปกติ (Normal) และอาจเปลี่ยนเป็นเคร่งครัด (Tightened) หรือผ่อนปรน (Reduced) ตามกฎของการสับเปลี่ยนวิธีการตรวจสอบ (Switching Rule)

กรณีทั่วไปที่ไม่ได้ระบุความต้องการพิเศษ มาตรฐานกำหนดให้ใช้การตรวจสอบแบบทั่วไประดับ II แต่ถ้าต้องการให้มีการตรวจเป็นแบบอื่นก็สามารถทำได้โดยเป็นข้อตกลงร่วมกันของคู่ค้าที่ต้องระบุในสัญญาก่อนซื้อขาย สำหรับระดับการตรวจแบบพิเศษนั้นจะใช้ในกรณีที่การตรวจสอบมีค่าใช้จ่ายสูงมาก เช่น การตรวจสอบแบบทำลาย หรือการตรวจสอบที่ต้องใช้เวลานานในห้องปฏิบัติการ โดยในระดับการตรวจสอบแบบพิเศษจะใช้จำนวนตัวอย่างน้อยกว่าระดับทั่วไป อย่างไรก็ตามความเสี่ยงจากการตัดสินใจก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

นอกจากนี้ในมาตรฐานไม่ได้กำหนดหน่วยของขนาดล็อตหรือแบชมาให้ หมายความว่าเราสามารถใช้หน่วยใดก็ได้ในการกำหนดขนาดล็อต เช่น ชิ้น กิโลกรัม ถุง กล่อง หรือพาเลท ฯลฯ แต่หน่วยในการชักสิ่งตัวอย่างก็ต้องมีหน่วยเดียวกันด้วย เช่น กำหนดขนาดล็อตเป็นชิ้น ตอนชักสิ่งตัวอย่างก็ต้องนับเป็นชิ้น หากกำหนดขนาดล็อตเป็นกิโลกรัม ตอนชักสิ่งตัวอย่างก็ต้องชั่งเป็นกิโลกรัม หรือกำหนดขนาดล็อตเป็นกล่อง ตอนชักสิ่งตัวอย่างก็ต้องนับเป็นกล่องด้วย นอกจากการกำหนดหน่วยในการชักสิ่งตัวอย่างแล้ว

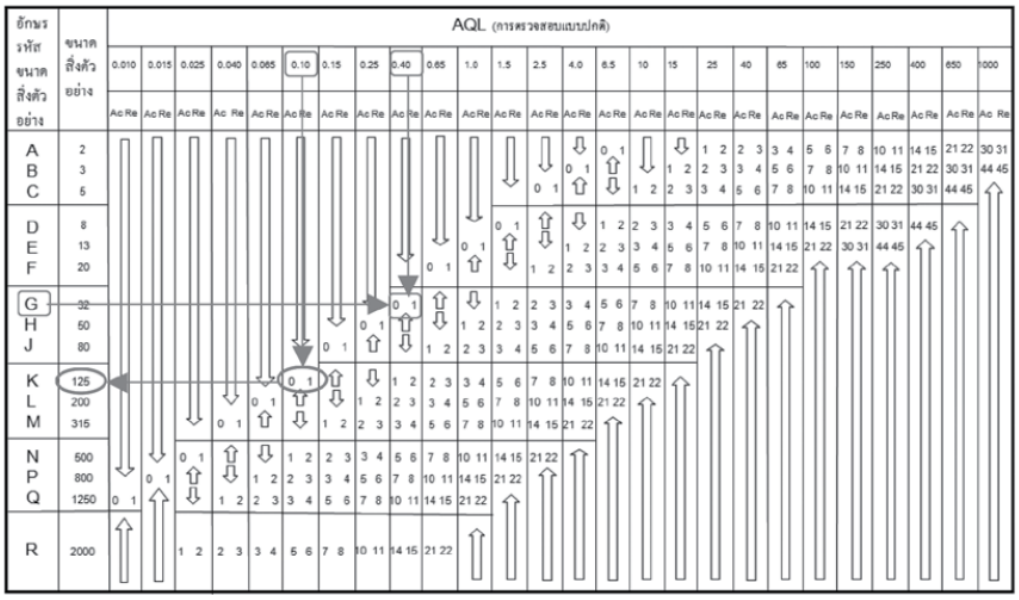
สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการกำหนดล็อตคือ สิ่งของหรือผลิตภัณฑ์ภายในล๊อตจะต้องมีความคล้ายคลึงกัน (Homogeneous) เพื่อให้ผลการชักสิ่งตัวอย่างสามารถอธิบายคุณภาพของล็อตได้ ถ้าหากล็อตที่ต้องการตรวจสอบมีความแตกต่างกัน จำเป็นที่จะต้องแบ่งเป็นล็อตเล็ก ๆ เพื่อให้การตรวจสอบมีความถูกต้อง การแบ่งออกเป็นล็อตเล็กๆหลายๆ ล็อตจะส่งผลให้ขนาดสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 จำนวนการสุ่มตัวอย่างเมื่อมีการแบ่งล๊อตให้เล็กลง
ที่มา : กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2538)

2.3 ตารางแผนการชักสิ่งตัวอย่าง

เป็นตารางหลักที่ใช้สำหรับกำหนดขนาดของสิ่งตัวอย่างและเกณฑ์ในการตัดสินใจ ซึ่งโดยส่วนมากผู้ใช้งานมาตรฐานจะคุ้นเคยกับตารางชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวแบบปกติมากที่สุด เพราะเป็นตารางเดียวที่ใช้งานกัน ส่วนตารางอื่น ๆ นั้นมักไม่ได้นำมาใช้งาน แต่ในความเป็นจริงนั้นมาตรฐานออกแบบแผนการชักสิ่งตัวอย่างไว้ทั้งหมด 9 แผนการ ได้แก่ แผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวปกติ เชิงเดี่ยวเคร่งครัด เชิงเดี่ยวผ่อนคลาย เชิงคู่ปกติ เชิงคู่เคร่งครัด เชิงคู่ผ่อนคลายหลายเชิงปกติ หลายเชิงเคร่งครัด และหลายเชิงผ่อนคลาย ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ เชิงเดี่ยว เชิงคู่ และหลายเชิง โดยผู้ใช้งานต้องเลือกแผนการที่เหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการตรวจสอบ อย่างไรก็ตาม แผนการทั้ง 9 แบบจะมีหน้าตาที่คล้ายกัน กล่าวคือในแนวตั้งด้านซ้ายช่องแรกเป็นอักษรรหัส ช่องถัดมาเป็นขนาดสิ่งตัวอย่างและแนวนอนด้านบนเป็นค่า AQL ส่วนตัวเลขในตารางจะเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจที่เรียกว่าตัวเลขแห่งการยอมรับ (Ac) และตัวเลขแห่งการปฏิเสธ (Re) ตัวอย่างตารางแผนการชักตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ตารางแผนการชักสิ่งตัวอย่างเชิงเดี่ยวปกติและตัวอย่างการอ่านค่าจากตาราง
ที่มา : กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2538)

จากภาพที่ 14 สำหรับวิธีการเลือกแผนการชักสิ่งตัวอย่างเริ่มจากการนำอักษรรหัสที่ได้จากตารางแรกและค่า AQL ที่กำหนดไว้ มากำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสินใจ เช่น ที่อักษรรหัส G, AQL เท่ากับ 0.40 จะได้ขนาดสิ่งตัวอย่างเป็น 32 และมีตัวเลขแห่งการยอมรับ

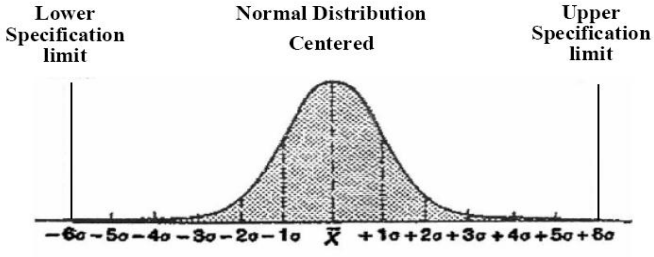
(Ac) เป็น 0 ตัวเลขแห่งการปฏิเสธ (Re) เป็น 1 แต่ในกรณีที่ไม่มีตัวเลข ณ ตำแหน่งนั้น แสดงว่าไม่สามารถใช้แผนการชักสิ่งตัวอย่างตามที่ต้องการได้ มาตรฐานจึงกำหนดให้ใช้แผนการใต้ลูกศรแรกที่เจอ เช่นที่อักษรรหัส G, AQL เท่ากับ 0.10 พบว่า ไม่มีตัวเลขการยอมรับและปฏิเสธ จึงต้องอ่านตามลูกศรไปเรื่อย ๆ พบว่าลูกศรไปหยุดที่ตัวเลข 0 1 ในที่บรรทัดของอักษรรหัส K ซึ่งผู้งานโดยส่วนมากมักจะเข้าใจว่า ให้ทำการสุ่มตัวอย่าง 32 ตัวอย่าง โดยมีตัวเลขแห่งการยอมรับเป็น 0 และตัวเลขแห่งการปฏิเสธเป็น 1 แต่ในความเป็นจริงนั้นไม่ถูกต้อง เพราะการอ่านแผนการนั้น จะต้องอ่านแผนการจากบรรทัดเดียวกันเสมอกล่าวคือ หากใช้ ตัวเลขการยอมรับและปฏิเสธจากบรรทัดของอักษรรหัส K ก็จะต้องใช้จำนวนตัวอย่างของอักษรรหัส K ด้วย ซึ่งจะได้ขนาดสิ่งตัวอย่างเป็น 125 ดังนั้น แผนการชักสิ่งตัวอย่างที่ได้ คือ ชักสิ่งตัวอย่างจำนวน 125 ตัวอย่าง โดยมีตัวเลขแห่งการยอมรับเป็น 0 และตัวเลขแห่งการปฏิเสธเป็น 1 ส่วนในกรณีที่ขนาดของล็อตมีค่าน้อยกว่า 125 ให้ทำการตรวจสอบแบบร้อยละ100 เพราะไม่สามารถทำการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับได้

3. เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1990 บริษัทโมโตโรล่า (Motorola) ได้มีการคิดค้นเทคนิคการบริหารกระบวนการขึ้นมารูปแบบหนึ่งเรียกว่า ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) โดยตั้งชื่อตามอักษรกรีกที่มีความหมายในทางสถิติคือ ระดับความผันแปรของกระบวนการ โดยบริษัทโมโตโรล่าประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้แนวทางดังกล่าว และได้รับผลสำเร็จที่วัดออกมาเป็นตัวเงินมหาศาลจากการดำเนินงาน ต่อมาบริษัทจีอี (GE) โดย Mr.Jack Welch ได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบ Six Sigma ของบริษัทโมโตโรล่า ให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยมีลักษณะเป็นแบบ Project Based Approach คือเน้นทำเป็นเรื่องๆ ภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ประมาณ 6 เดือน นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการบริหารโครงการและแนวทางในการจูงใจให้ผู้บริหารทุกระดับเล็งเห็นความสำคัญของการดำเนินงานและยังเพิ่มวิธีการประเมินผลสำเร็จที่สามารถวัดผลออกมาได้ในรูปของการเงินของบริษัท ด้วยรูปแบบใหม่ของ Six Sigma ที่มีการปรับแก้จึงทำให้เทคนิคดังกล่าวเป็นที่นิยมในบริษัททั่วไป

ซิกม่า (σ) เป็นสัญลักษณ์ทางสถิติใช้อธิบายค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยค่าซิกม่าเป็นตัวแปรหนึ่งที่จะบอกให้ทราบว่า การกระจายของข้อมูลเป็นอย่างไรและมีค่าความเบี่ยงเบนออกจากค่าเฉลี่ยเท่าไร กล่าวคือ หากค่าซิกม่ายิ่งสูงแสดงว่ากระบวนการนั้นมีความแปรปรวนสูง ทำให้มีพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่การยอมรับน้อยลง (Holtz and Campbell, 2003) กระบวนการผลิตหรือการบริการโดยทั่วไป มักมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ $\pm 3\sigma$ คิดเป็นปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่สามารถยอมรับได้เท่ากับร้อยละ 99.73 ของตัวอย่างทั้งหมด

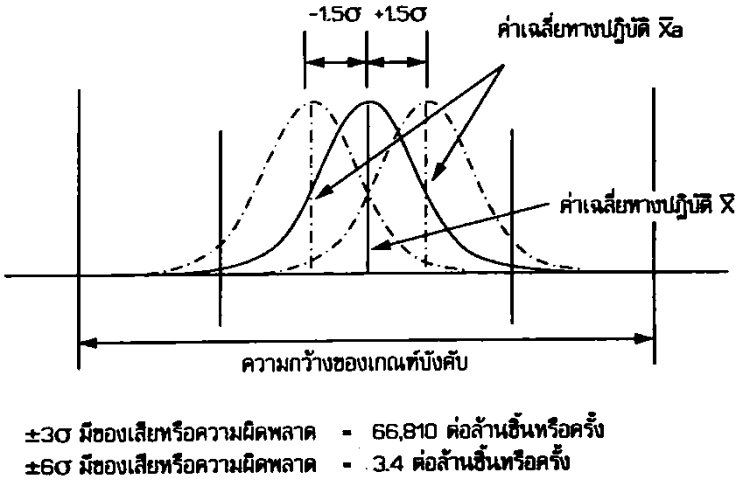
หรือมีโอกาสเกิดของเสียได้เท่ากับ 2,700 ส่วนในล้านส่วน (Part per million: PPM) โดย Breyfogle (1999) ได้กล่าวว่าสัดส่วนดังกล่าวยังถือว่าไม่ใช่ระดับที่ลูกค้าพอใจ เพราะในมุมมองของลูกค้านั้นมีความต้องการที่จะให้กระบวนการ มีโอกาสในการเกิดของเสียเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุดซึ่งหมายความว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนต้องอยู่ที่ระดับ $\pm 6\sigma$ ซึ่งจะมีโอกาสเกิดของเสียได้เท่ากับ 0.002 PPM เท่านั้น แสดงดังภาพที่ 17 แต่ในทางปฏิบัติองค์กรไม่สามารถดำเนินงาน เพื่อการผลิตสินค้าหรือบริการที่ทำให้ค่าเฉลี่ยในทางปฏิบัติกับค่าเฉลี่ยทางทฤษฎีเป็นค่าเดียวกันทั้งหมดทั้งนี้เนื่องจากไม่มีกระบวนการใดเลย ที่จะไม่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอก นั่นคือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอก เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อค่าความเบี่ยงเบนของข้อมูล เป็นผลให้ค่าเฉลี่ยในทางปฏิบัติ มีโอกาสที่จะขยับออกจากค่าเฉลี่ยทางทฤษฎีไปทั้งทางซ้ายและขวา



Spec Limit	Percent	Defective ppm
±1σ	68.27	317300
±2σ	95.45	45500
±3σ	99.73	2700
±4σ	99.9937	63
±5σ	99.999943	0.57
±6σ	99.9999998	0.002

ภาพที่ 17 การกระจายของข้อมูลและโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดทางทฤษฎี
ที่มา: Breyfogle (1999)

จากการศึกษาของบริษัทโมโตโรล่า ผู้คิดค้นเทคนิคซิกซ์ซิกม่า (Breyfogle, 1999) พบว่าค่าความเบี่ยงเบนของข้อมูล อันเนื่องมาจากการรบกวนของปัจจัยภายนอก มีค่าอยู่ที่ $\pm 1.4\sigma$ ถึง $\pm 1.6\sigma$ จึงได้นำค่าเฉลี่ยของช่วงข้อมูลดังกล่าวคือ $\pm 1.5\sigma$ มาเป็นค่าความเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยในทางปฏิบัติที่จะทำให้ค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด ดังนั้นเมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนที่ได้จากการศึกษามารวมกับ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการโดยทั่วไปที่ระดับ $\pm 3\sigma$ จึงทำให้ได้ค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ $\pm 4.5\sigma$ มีผลให้จำนวนโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องเท่ากับ 3.4 PPM เท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การกระจายของข้อมูลและโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดเมื่อค่าเฉลี่ยขยับไป ±1.5σ
ที่มา: อนุวัตร หอมรสสุคนธ์ และ เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์ (2547)

เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า สามารถมองการทำงานทุกอย่างเป็นระบบ และแยกออกเป็นกระบวนการทำงานย่อยๆ ซึ่งในกระบวนการนั้นต้องมองว่าเป้าหมายคืออะไร ใครคือลูกค้า และลูกค้าคาดหวังอะไรและได้รับอะไร ที่สำคัญต้องทำให้ลูกค้าพอใจในสิ่งที่ได้รับหรือว่ามีสิ่งใดที่ลูกค้าได้รับแต่เป็นสิ่งที่ลูกค้าไม่ต้องการ แล้วจะเปลี่ยนแปลงให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าอย่างไร รวมทั้งการควบคุมให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแน่นอนสม่ำเสมอ ซึ่งจะกำหนดวิธีการรวมทั้งขั้นตอนต่างๆในการทำโครงการ Six Sigma ไว้อย่างชัดเจนโดยอาศัยวิธีการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เปลี่ยนข้อมูลที่รวบรวมได้ให้ออกมาเป็นข้อมูลทางสถิติที่จะให้ผู้บริหารใช้ในการตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเทคนิคซิกซ์ ซิกม่าคือ ความพยายามในการลดความแปรปรวนของกระบวนการ โดยพยายามลดความผันแปรทั้งหมดของกระบวนการ ให้ตกอยู่ภายในขีดจำกัดของข้อกำหนด และยอมให้มีข้อบกพร่องเกิดขึ้นได้ไม่เกิน 3.4 PPM (วชิรพงษ์ สาลีสิงห์, 2548) ยิ่งสามารถลดค่าความแปรปรวนในการบวนการผลิตให้มีค่าน้อย ส่งผลให้การดำเนินงานยิ่งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนทุกขั้นตอนของการทำงานทุกประเภทจะถูกควบคุมอย่างเป็นระบบ ซึ่งการควบคุมคุณภาพในระดับ ซิกซ์ ซิกม่า นั้นเป็นกลยุทธ์และวิธีการดำเนินงานซึ่งทำให้หลายบริษัทสามารถประสบความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านคุณภาพเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ คือความสามารถในการทำกำไรของบริษัท

จากจุดเด่นของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่าที่มุ่งเน้นการตอบสนองความต้องการหรือความพึงพอใจของลูกค้า โดยองค์กรจะต้องนำความต้องการที่แท้จริงของลูกค้ามาตีความให้ถูกต้องตามหลักการของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่าแล้วนำไปปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงาน ซึ่งประโยชน์ที่องค์กรจะได้รับจากการนำเทคนิคซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ คือ

- ลดระยะเวลาในการเสนอผลิตภัณฑ์ใหม่เข้าสู่ตลาดการแข่งขัน
- เป็นผู้นำทางเทคโนโลยี
- มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง
- ต้นทุนผลิตภัณฑ์ลดลงในด้านกระบวนการผลิต
- กระบวนการผลิตมีคุณภาพสูง
- ของเสียหรือข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตเข้าใกล้ศูนย์
- ความแปรปรวนของกระบวนการผลิตลดต่ำลง
- ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตลดน้อยลง

การปรับปรุงกระบวนการด้วยเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า มีการจัดตั้งทีมงาน เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยทีมงานจะประกอบด้วยบุคคลดังต่อไปนี้ (Young and Frank, 2006)

- ผู้บริหารระดับสูงขององค์กร จะเป็นคนกำหนดเป้าหมายในการดำเนินโครงการซิกซ์ ซิกม่า จัดสรรทรัพยากรต่างๆ ที่จำเป็นในการดำเนินงาน กำหนดบทบาทและความรับผิดชอบของทีมงาน

- Champion ผู้บริหารระดับกลางที่เข้าใจแนวทางการดำเนินงานแบบซิกซ์ ซิกม่า มีหน้าที่ที่สำคัญการคัดเลือกหัวข้อในการดำเนินโครงการซิกซ์ ซิกม่า ให้แก่ Black Belt เพื่อนำไปปฏิบัติ

- Master Black Belt บุคคลที่จะให้คำปรึกษา และแนะนำในเชิงเทคนิค เกี่ยวกับการดำเนินโครงการซิกซ์ ซิกม่า

- Black Belt บุคคลที่มีความเข้าใจวิธีการทางสถิติและสามารถนำความรู้ดังกล่าวไปประยุกต์ในการปรับปรุงงาน

- Green Belt ทีมงานของ Black Belt โดยจะคัดเลือกพนักงานในพื้นที่ที่ทำการปรับปรุง เพื่อช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์เบื้องต้น

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานตามแนวทางของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า

การดำเนินงานของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่าประกอบด้วย 5 ขั้นตอนคือ การกำหนดสภาพปัญหา (Define) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis) การแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ (Improvement) และการควบคุมกระบวนการ (Control) รายละเอียดการดำเนินงาน เครื่องมือและเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นตอน (Thomas, 2009)

3.1.1 ขั้นตอนการกำหนดสภาพปัญหา (Define Phase)

เป็นการวิเคราะห์และศึกษาความต้องการของลูกค้าที่องค์กรไม่สามารถตอบสนองได้ รวมถึงปัจจัยคุณภาพที่เป็นปัญหาวิกฤต (Critical to Quality: CTQ) ซึ่งส่งผลกระทบต่อลูกค้าและเป้าหมายทางธุรกิจขององค์กร จากนั้นทำการคัดเลือกโครงการที่จะทำการปรับปรุงโดยให้ความสำคัญกับลูกค้า หรือกระบวนการถัดไปที่จะได้รับผลกระทบเป็นหลัก แล้วทำการนิยามกำหนดปัญหาหรือผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และตัวชี้วัดของโครงการอย่างชัดเจน ซึ่งเป้าหมายและผลจากการทำนั้นต้องสามารถวัดและตรวจสอบได้ รวมทั้งต้องคำนวณเป็นเงินหรือต้นทุนกลับคืนมาได้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบผลการทำโครงการได้อย่างชัดเจนว่าบรรลุเป้าหมายหรือไม่ นอกจากนี้ยังต้องมีการกำหนดผู้ร่วมโครงการที่จะมาร่วมมือกันอย่างจริงจังเพื่อให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ โดยคัดเลือกจากผู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหาทั้งโดยตรงและโดยอ้อมเป็นหลัก และควรประกอบด้วยบุคคลหลายระดับตั้งแต่ วิศวกร หัวหน้างาน ช่าง จนถึงพนักงานระดับปฏิบัติการ เพื่อให้ครอบคลุมปัญหาในทุกแง่มุม นอกจากนี้ประสบการณ์ที่มีต่อปัญหาของแต่ละคนจะช่วยให้สามารถ รวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ครบถ้วนอีกด้วยสำหรับเครื่องมือหรือวิธีการที่สำคัญในขั้นตอนนี้ คือ

- การกำหนดปัญหา หรือ การเลือกโครงการ (Problem statement)
- การกำหนดลูกค้า (Define customer)
- การกำหนดตัวชี้วัด (Define metric)
- การกำหนดขอบเขตของโครงการ (Define project scope)
- การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย (Define objective and target)
- การกำหนดผู้ร่วมทำโครงการ (Define team member)
- การประมาณการการประหยัดเงิน (Estimate saving)

3.1.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

เป็นการกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยการศึกษากระบวนการอย่างละเอียด พร้อมทั้งกำหนดปัจจัยที่สำคัญที่เกิดจากกระบวนการ (Key Process Output Variables : KPOVs) และปัจจัยสำคัญที่นำเข้าสู่กระบวนการ (Key Process Input Variables : KPIVs) ที่ส่งผลต่อ KPOVs รวมถึงการกำหนดแนวทาง และการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าของปัจจัยดังกล่าว โดยการศึกษากระบวนการที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และทำการระดมสมอง (Brain storming) กับผู้ร่วมทำโครงการเพื่อค้นหาปัจจัยขาเข้ากระบวนการที่สำคัญแต่ละปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุของปัญหาและมีผลกระทบกับปัจจัยขาออกกระบวนการที่สำคัญ หรือผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องที่เกิดจากกระบวนการ จากนั้นทำการคัดกรองปัจจัยขาเข้ากระบวนการที่สำคัญที่ได้มาทั้งหมด ให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องมากจริงๆ เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้ในขั้นตอนการวัดนี้มีการวิเคราะห์ระบบการวัดและทำการปรับปรุงให้มีความถูกต้องเที่ยงตรง แม่นยำ และมีความผิดพลาดจากการวัดน้อยที่สุด เพื่อให้เป็นมาตรฐานสำหรับการวัดค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นในระหว่างที่ทำโครงการ สุดท้ายเมื่อระบบการวัดมีความถูกต้องแล้วจึงทำการวัดความสามารถของกระบวนการเพื่อให้ทราบความสามารถของกระบวนการก่อนทำการปรับปรุงว่าเป็นอย่างไร เพื่อเอาไว้เปรียบเทียบกับผลที่ได้หลังการปรับปรุงเพื่อให้แน่ใจว่าการปรับปรุงที่ทำไปนั้นได้ผลจริง สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนนี้มีดังนี้

- การสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการ (Process flow diagram)
- การสร้างแผนที่กระบวนการ (Process Mapping)
- การสร้างแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram)
- การสร้างตารางเหตุและผล (C&E Matrix)
- การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)
- การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis: MSA)
- การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Capability Analysis)

3.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

เป็นขั้นตอนการนำปัจจัยขาเข้าที่สำคัญของกระบวนการ (KPIVs) ที่ผ่านการคัดกรองมาแล้ว มาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติ โดยการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ (Hypothesis testing) เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆ มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วพบว่ามีนัยสำคัญ

จะนำไปดำเนินการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไปจากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ทำให้ทราบ KPIVs ที่มีผลกระทบการเกิดสาเหตุของปัญหามากที่สุดโดยในขั้นตอนนี้มีเครื่องมือที่สำคัญดังนี้

- การใช้แผนภูมิรูปภาพ (Graphs)
- การใช้แผนภูมิแปรผันเชิงซ้อน (Multi vari chart)
- การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Tests)
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

3.1.4 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

การออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง KPIVs กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ KPOVs นั้นๆ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ได้ระดับ KPOVs ที่ดีที่สุด ขั้นตอนการทำงานและมาตรฐานการทำงานต่างๆ จะถูกทบทวนและปรับปรุงใหม่ เพื่อทำให้การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนต่อไปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งสำคัญที่จะได้รับจากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ คือ แนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่ดีที่สุด

3.1.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมกระบวนการได้ด้วยตนเอง แล้วทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตอีกครั้ง เปรียบเทียบกับเป้าหมายในตอนแรก หากยังไม่ได้ตามเป้าหมายก็จะต้องย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้ต้องมีการประเมินผลการดำเนินงานโดยวัดจากระดับคุณภาพที่เปลี่ยนไป และความสามารถในการลดต้นทุน สิ่งสำคัญที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ แผนการควบคุมกระบวนการ โดยทั่วไปมักจัดทำเอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงานหรือปรับปรุงให้ดีขึ้น แล้วนำการควบคุมกระบวนการโดยวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ ซึ่งเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในขั้นตอนนี้มีดังนี้

- แผนการควบคุม (Control Plan)
- การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control: SPC)
- วิธีการป้องกันความผิดพลาด (Error Proofing)
- การควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ (Automated Control)
- การจัดทำเอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Operating Procedure)
- การสุ่มตรวจสอบการปฏิบัติงาน (Audit)

จะเห็นว่าตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของเทคนิคซิกซ์ซิกม่า นั้นมีการมุ่งเน้นให้ทำการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ และมีระเบียบแบบแผนที่ชัดเจนโดยมีการแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ๆด้วยกัน มีการนำเทคนิคต่าง ๆ เข้ามาช่วยในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้การแก้ไขปัญหาเป็นไปอย่างถูกต้องตรงจุดที่ต้นตอของปัญหามากที่สุด มีประสิทธิภาพสูง และสามารถมั่นใจได้ในระยะยาวว่าจะไม่เกิดปัญหาขึ้นอีก นอกจากนี้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ยังมีหลักยุทธศาสตร์อีกอย่างหนึ่งที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงในการทำด้วย นั่นก็คือการรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ทำการศึกษาทั้งหมด หลังจากนั้นจึงค่อยทำการคัดกรองให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดและกระทบต่อปัญหาโดยตรงจริงๆเท่านั้น ก่อนที่จะนำเอาปัจจัยต่างเหล่านั้ ไปทำการปรับปรุงและทำการควบคุมต่อไปในระยะยาว เพื่อลดความแปรปรวนที่จะเกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในการรวบรวมปัจจัยทั้งหมดอาจทำให้ได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมา 30 - 50 ปัจจัย หลังจากนั้นปัจจัยทั้งหมดก็จะถูกนำไปผ่านการพิจารณาและวิเคราะห์ตามขั้นตอนต่างของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า จนกระทั่งในที่สุดเหลือปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรงจริงๆ เพียง 3 - 6 ปัจจัยเท่านั้น สามารถนำไปทำการปรับปรุงเพื่อให้กระบวนการนั้นดีขึ้น

3.2 เทคนิคและเครื่องมือที่นำมาใช้ในการดำเนินงานของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

การดำเนินงานตามแนวทางและหลักการของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า มีการนำเทคนิคและเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและสามารถใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.2.1 การระดมสมอง (Brainstorming)

การระดมสมองมักถูกนำมาใช้ในกิจกรรมการระบุปัญหาและสาเหตุ การกำหนดแนวทางการแก้ไข การกำหนดและเลือกจุดปัญหา โดยการระดมสมองเป็นกระบวนการในการรวมความคิดและความสนใจของกลุ่มผู้ดำเนินงาน ความสำคัญของการระดมสมองอยู่ที่การร่วมกันคิดเพื่อให้เกิดแง่มุมต่างๆได้มากที่สุด เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และประเมินผล การระดมสมองจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการหาทางแก้ปัญหาใหม่ที่เกิดขึ้นหรือเป็นการหาทางระบุหนทางใหม่ในการแก้ปัญหาเดิมที่เคยเกิดขึ้นแล้ว วิธีการปฏิบัติ กระบวนการระดมสมองมีดังนี้

สมาชิกในกลุ่มประกอบด้วยตัวแทนของฝ่ายที่มีส่วนได้ส่วนเสียจากการดำเนินการ จำกัดสมาชิกในกลุ่ม 5-10 คน ถ้ากลุ่มมีสมาชิกมากกว่า10 คน จะทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการระดมสมองลดน้อยลง การแนะนำสมาชิกและอธิบายแนวทางในการรวมความคิดไม่มี

ความคิดไหนถูกหรือผิด ทุกความคิดจะถูกยอมรับโดยความเสมอภาคแนวความคิดใหม่ที่เกิดขึ้นโดยปราศจากเหตุผลหรือเป็นความคิดไปทางลบจะไม่ถูกนำมาพิจารณาความสำคัญของกระบวนการนี้คือการทำให้เกิดแนวความคิดในการแก้ปัญหานั้นให้ได้มากที่สุดอาจมีการรวมและขยายแนวความคิดได้

การดำเนินการประชุมขั้นแรกถามความคิดเห็นของสมาชิกต่อ อธิบายปัญหาหรือคำถามที่ตั้งไว้คราวๆให้เข้าใจ ต่อจากนั้นเปิดโอกาสให้สมาชิกเสนอความคิดมาสัก 1 อย่าง และกระบวนการควรเป็นไปอย่างต่อเนื่องในทั้ง 2 กรณี คำถามแรกจากสมาชิกมักจะกระตุ้นให้สมาชิกคนอื่นเกิดแนวความคิดอื่นๆ ขึ้นมาอีกเปรียบเหมือน “การก้าวกระโดด”การทำให้เกิดการก้าวกระโดดภายในกลุ่มสามารถก่อให้เกิดแนวความคิดมากมายในหัวข้อที่เราตั้งไว้อย่างไรก็ตามหัวหน้าทีมควรจะต้องควบคุมการระดมสมองให้มีเหตุมีผลและเป็นไปด้วยความเรียบร้อย

ในบางครั้งอาจมีการเสนอแนะแนวทางอื่นนอกเหนือจากประเด็นที่เราตั้งไว้หัวหน้าทีมจึงต้องคอยควบคุมและระมัดระวังไม่ให้ออกนอกประเด็นมากในบางครั้งอาจต้องมีการตั้งปัญหาเพื่อเป็นตัวอย่างให้สมาชิกเกิดความคุ้นเคยกับวิธีการที่จะกระทำ ตัวอย่างของปัญหาอาจจะเป็น“ให้บอกประโยชน์ของการใช้คลิบหนีบกระดาษ” แบบฝึกหัดที่ให้ควรจะทำให้สมาชิกรู้สึกผ่อนคลาย และก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการพิจารณาประเด็นหลักต่อไป มีการบันทึกข้อเสนอแนะทั้งหมดที่ได้มา อาจมีการบันทึกเทป แต่วิธีนี้จะไม่ใช้เพื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาตอบสนองก่อนหน้าที่จะมีการประชุมระดมสมองเมื่อไม่มีข้อเสนอแนะอื่นเพิ่มเติมก็ควรปิดการประชุมระดมสมอง

3.2.2 แผนผังแสดงกระบวนการผลิต (Processing Flow chart)

เป็นแผนผังที่จัดทำขึ้นเพื่อแสดงขั้นตอนการดำเนินงานอย่างละเอียดของกระบวนการ มีการระบุตัวแปรและผลลัพธ์ที่สำคัญของกระบวนการ เพื่อช่วยให้ทราบและเข้าใจ ถึงสิ่งผิดปกติหรือสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3.2.3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart)

เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับแสดงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยเรียงลำดับปัญหา ตามความถี่ที่พบจากมากไปหาน้อย และแสดงขนาดความถี่มากหรือน้อย ด้วยกราฟแท่งควบคู่ไปกับการแสดงค่าสะสมของความถี่ด้วยกราฟเส้น ซึ่งแกนนอนของกราฟเป็น ประเภทของปัญหาและแกนตั้งเป็น ค่าร้อยละของปัญหาที่พบ แผนภูมิพาเรโตใช้ในการเลือกปัญหาที่จะลงมือทำ เพราะปัญหาสำคัญในเรื่องคุณภาพมีอยู่ไม่กี่ประการ แต่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องด้านคุณภาพจำนวนมาก

ส่วนปัญหาปลีกย่อยมีอยู่มากมายแต่ไม่ส่งผลกระทบด้านคุณภาพมากนัก ดังนั้นจึงควรเลือกแก้ไขปัญหาที่สำคัญซึ่งถ้าแก้ไขได้จะลดข้อบกพร่องด้านคุณภาพลงได้มาก

3.2.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and effect diagram)

เป็นแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆที่มีความเกี่ยวข้อง ทำการแยกและเลือกปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้น โดยการระดมสมองปรึกษาหารือในกลุ่มคน เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปอาจก่อให้เกิดผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุด) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปของขนาดหรือปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้ เพราะจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ก่อนสรุปปัญหาควรกำหนดน้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

3.2.5 การรวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

เป็นการวิเคราะห์เชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อแยกแหล่งที่มาของความผันแปรต่างๆ และวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด แล้วพยายามปรับปรุงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ซึ่งความแม่นยำของการวัดประกอบไปด้วย

- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

- ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกัน

การวิเคราะห์ระบบการวัดเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะ ทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับและปฏิเสธ หรือ ผ่าน และไม่ผ่าน การประเมินผลความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดมักใช้ตัวชี้วัดดังต่อไปนี้ คือ เปอร์เซ็นต์การทำซ้ำ ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านการทำซ้ำ และประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ

3.2.6 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis)

ความสามารถของกระบวนการ คือ ความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากกระบวนการที่ศึกษา สามารถประเมินผลจากความแปรปรวนที่อธิบายความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติของกระบวนการ ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพจึงเป็นการลดความผันแปรลงอย่าง

ต่อเนื่อง โดยทั่วไปในการพิจารณาเพื่อปรับปรุงกระบวนการ มักให้ความสนใจกับความสามารถของกระบวนการใน ระยะสั้นและระยะยาว โดยที่การศึกษาระยะสั้นจะสะท้อนถึงผลจากการออกแบบกระบวนการ ขณะที่การศึกษาระยะยาวจะสะท้อนถึงผลจากการออกแบบและการควบคุมกระบวนการ ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ กำหนดถึงตำแหน่งที่เป็นจริงของกระบวนการว่าอยู่ห่างจากพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะที่ใกล้ที่สุดเท่ากับเท่าไร โดยวัดค่าความผันแปรของกระบวนการ

3.2.7 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis:FMEA)

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่พิจารณาว่ามีข้อบกพร่องอะไรบ้างที่มีโอกาสเกิดขึ้น ข้อบกพร่องเหล่านั้นมีผลกระทบรุนแรงมากน้อยเพียงใด ข้อบกพร่องแต่ละลักษณะเกิดจากสาเหตุใด และมีระบบในการตรวจจับข้อบกพร่องนั้น ก่อนเข้าสู่กระบวนการถัดไปหรือไม่ และมีความยากง่ายในการตรวจจับเพียงใด ประโยชน์ของการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ ทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และกระบวนการมากขึ้น ช่วยลดเวลาการทำงานหากมีความผิดพลาดเกิดขึ้น คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงขึ้น

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ มีการประเมินผลออกมาเป็นตัวเลขความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งการคำนวณค่า RPN มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ของ 3 ปัจจัย คือ O×S×D เมื่อ O (Occurrence) คือ โอกาสของการเกิดข้อผิดพลาด S (Severity) คือ ระดับความรุนแรง และ D (Detection) คือ โอกาสในการตรวจจับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

3.2.8 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

เครื่องมือและเทคนิคที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา คือ การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นกระบวนการที่นำไปสู่การตัดสินใจหรือสรุปผล บนพื้นฐานของหลักฐานที่ได้จากตัวอย่าง ดังนั้นในการตัดสินใจจึงอาจมีความผิดพลาดได้ การกำหนดสมมติฐานทางสถิติ แบ่งออกได้ 2 แบบ คือสมมติฐานเพื่อการทดสอบ (Null hypothesis) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ H_0 เป็นสมมติฐานที่มีลักษณะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่แน่นอน ต้องการทดสอบว่าเป็นความจริงหรือไม่ และสมมติฐานแย้ง (Alternative hypothesis) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ H_1 เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นมาควบคู่กับ H_0 เพื่อเป็นทางเลือกหรือข้อแย้งกับ H_0 ในกรณีที่ต้องปฏิเสธ H_0

3.2.9 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE)

เพื่อตรวจสอบดูว่าปัจจัยหรือการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อสิ่งที่กำลังสนใจ (Montgomery, 1997) โดยปัจจัยดังกล่าวสามารถแบ่งเป็น ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าได้ในการออกแบบการทดลอง ครอบคลุมตั้งแต่การนิยามปัญหา การเลือกตัวแปรตอบสนอง การเลือกแบบแผนทดลอง การทำการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง การออกแบบการทดลองในทางปฏิบัติทางอุตสาหกรรม การทดลองที่ได้รับการออกแบบจะมีการทำงานอย่างเป็นระบบ ในการสืบค้นตัวแปรของกระบวนการ (Process variable) หรือตัวแปรของผลิตภัณฑ์ (Product variable) หลังจากที่กำหนดเงื่อนไขของกระบวนการหรือองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถทำการปรับปรุงเพื่อความสามารถในการผลิต ความน่าเชื่อถือ คุณภาพ และประสิทธิภาพ

ตัวอย่างเช่นทำการค้นหาอิทธิผลของชนิดสารเคลือบ (Coating type) และอุณหภูมิของเตาเผา (Furnace temperature) ที่มีต่อความต้านทานการกร่อน (Corrosion resistance) ของเหล็กกล้าแบบเส้น ทำการทดลองที่สามารถเก็บข้อมูลแบบมีเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงชนิดสารเคลือบและอุณหภูมิเตาเผาและทำการวัดค่าความต้านทานการกัดกร่อน เพื่อนำมาหาเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสม

เนื่องด้วยทรัพยากรมีจำนวนจำกัดดังนั้นการทดลองแต่ละครั้งต้องให้สาระข้อมูลที่สำคัญที่สุด ซึ่งการทดลองมีการวางแผนที่ดีทำให้ได้สาระข้อมูลที่สำคัญและมีคุณภาพมากว่าการทดลองที่เกิดขึ้นจากงานที่ไม่ได้รับการวางแผนมาก่อน โดยเฉพาะการทดลองตามแผนที่วางไว้จะสามารถวิเคราะห์เกี่ยวกับอิทธิผลของปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้ดีกว่าด้วย ตัวอย่างเช่น มีสมมติฐานว่าอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยสองตัวมีนัยสำคัญ ควรที่จะทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ของอิทธิพลร่วมด้วยและควรทำการทดลองแบบ factorial มากกว่าการทดลองแบบ OFAT (one factor at a time) อิทธิพล interaction จะเกิดขึ้นเมื่อปัจจัยตัวหนึ่งมีผลต่อปัจจัยอีกตัวหนึ่งที่ระดับต่างกันไป การทดลองที่ได้รับการออกแบบมาโดยมากจะมี 4 ขั้นตอนคือ การวางแผน (Planning) การคัดเลือก (Screening) การหาค่าที่ดีที่สุด (optimization) และการทวนสอบ (verification)

(1) การวางแผน (Planning) การวางแผนที่ดีจะช่วยทำให้เกิดปัญหาระหว่างการทำการทดลองน้อยลง ตัวอย่างเช่น บุคลากร อุปกรณ์ที่ทำการทดลอง เงินทุน และเรื่องกรรมวิธีการผลิตซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบสมบรูณ์ ถ้าโครงงานที่ทำการทดลองนี้มีความสำคัญอันดับรองลงมามากกว่าอีกโครงงานหนึ่ง ซึ่งทำให้ต้องมีการแบ่งใช้ทรัพยากรบางส่วนไป การแบ่งการทดลองเป็นส่วนๆทำให้ผลการทดลองที่ได้มานั้นยังสามารถนำไปใช้ได้และเมื่อทรัพยากรที่ถูกแบ่งใช้ไปนั้นลับคืนมาก็สามารถทำการทดลองได้เหมือนเดินและดำเนินต่อจากตอนที่หยุดไว้ก่อนหน้า การเตรียมการทดลองขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่กำลังเจอ และเป็นขั้นตอนที่อาจจะต้องทำการทดลอง

- กำหนดปัญหา (Define the problem) ขั้นตอนนี้คือการกำหนดปัญหาที่มีขอบเขตชัดเจน ช่วยให้การกำหนดตัวแปรที่ถูกต้องและให้สามารถตอบคำถามได้ตามที่ต้องการ

- กำหนดวัตถุประสงค์ (Define the objective) ขั้นตอนนี้คือกำหนดวัตถุประสงค์ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนจะทำให้มั่นใจว่าการทดลองที่จะทำนั้นสามารถตอบคำถามได้ตรงและสาระข้อมูลที่จะได้มานี้ใช้ได้จริง การสร้างแผนการทดลองเพื่อให้ได้สาระข้อมูลที่ถูกต้องในขั้นตอนนี้ควรมีการทบทวนถึงสิ่งต่างๆที่มีความเกี่ยวข้อง เช่น หลักการทางทฤษฎีหรือข้อมูลในอดีต ตัวอย่างเช่นต้องการหาว่าปัจจัยใดหรือเงื่อนไขของกระบวนการแบบใดที่มีผลประสิทธิภาพและความแปรปรวนของกระบวนการ หรือทำการหาเงื่อนไขของกระบวนการที่ดีที่สุด

- กระบวนการและระบบการวัดจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุมโดยหลักทางทฤษฎี ทั้งกระบวนการ และระบบการวัดควรอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติด้วยการใช้หลักการควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) ในกรณีที่กระบวนการไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุมแบบสมบูรณ์แต่อย่างน้อยกระบวนการนั้นๆก็ควรที่จะสามารถทำซ้ำและให้ค่ากระบวนการแบบเดิมรวมทั้งต้องมีการวัดความแปรปรวนของกระบวนการ ซึ่งถ้าความแปรปรวนของกระบวนการนี้มีค่ามากกว่าความแตกต่างหรืออิทธิพลที่กำลังพิจารณาผลการทดลองที่ได้นี้อาจไม่ได้ประโยชน์มากนัก

(2) การคัดเลือก (Screening) ในการพัฒนากระบวนการผลิตส่วนมากมีตัวแปรหลายตัวแปรที่มีแนวโน้มเกี่ยวข้องกับการปรับปรุง การคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านั้นให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรนี้ทำให้สามารถพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นได้หรือพิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย “Vital Few” การคัดเลือกอาจสามารถทำได้ถึง

การหาค่าที่เหมาะสม (Optimal) ของตัวแปรนั้นๆ รวมทั้งบอกด้วยว่าค่าตอบสนอง (Response) มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

(3) การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) หลังจากการคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญจำนวนน้อย (Vital Few) แล้วต้องการหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยเหล่านั้น ค่าปัจจัยที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลองด้วย ตัวอย่างเช่น วัตถุประสงค์ คือ การหาค่าผลผลิต (Yield) ของกระบวนการที่มากที่สุดและมีค่าความแปรปรวนของกระบวนการน้อยที่สุด

(4) การทวนสอบ (Verification) การทวนสอบเป็นการทำการทดลองซ้ำเพื่อพิสูจน์ว่าค่าที่วิเคราะห์มาเป็นค่าที่ดีที่สุดนั้น ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีจริงหรือไม่ตัวอย่างเช่น ทำการทดลองที่มีเงื่อนไขตามค่าที่หามาจากการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อหาขนาดของช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยค่าตอบสนอง

3.2.10 การประเมินทางเลือกหรือคัดเลือกโครงการด้วยวิธี Weighted Sum (สุรัส ตั้งไพบูลย์, 2554)

เป็นกระบวนการที่เป็นระบบใช้สำหรับประเมินค่าและจัดอันดับความสำคัญของแนวทางในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด ในภาวะปัจจุบันมักถูกเลือกมาปฏิบัติก่อนโดยใช้ Weighted Sum Method ในกิจกรรมเลือกและประเมินทางเลือก และในกิจกรรมการกำหนดและเลือกจุดปัญหาใหม่ในการทำงานต่อไป การประเมินระดับความสำคัญของแต่ละหัวข้อเพื่อใช้จัดอันดับการเลือกแนวทางในการใช้เทคนิค เพื่อเปรียบเทียบและประเมินหลายๆทางเลือกกับข้อกำหนดต่างๆซึ่งได้ให้น้ำหนักความสำคัญก่อนหน้านั้นแล้ว หลักที่ใช้ในการให้คะแนนขึ้นอยู่กับความสำคัญของการจัดการ น้ำหนักที่ให้จะคงที่สำหรับแต่ละหลักการที่ใช้คะแนนของแต่ละแนวทาง จะได้จากการคูณน้ำหนักและคะแนนที่ได้ แต่ละหลักการที่กำหนด เมื่อรวมคะแนนแต่ละข้อทั้งหมดแล้วก็จะสามารถนำมาเรียงตามคะแนน แนวทางหรือเทคนิคใดที่ได้คะแนนมากที่สุดจะถูกพิจารณาให้นำไปปฏิบัติก่อน วิธีการดำเนินการ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

ก) เลือกระดับคะแนนในการให้ความสำคัญ โดยทั่วไปจะใช้ช่วงตั้งแต่ 1-10 โดยที่ 1 ให้ความสำคัญน้อยที่สุด และ 10 เป็นคะแนนความสำคัญมากที่สุด

ข) กำหนดเงื่อนไขคุณภาพ เพื่อใช้ในการจัดอันดับแนวทางเลือกเงื่อนไขทั่วไปที่ใช้ในการพิจารณา ได้แก่ ความง่ายต่อการปฏิบัติ เทคนิคและทุนที่ต้องใช้และการคืนทุน

ค) บางเงื่อนไขสามารถทำให้ชัดเจนขึ้นได้โดยเพิ่มรายละเอียดลงไป เช่นทุนที่

ต้องใช้หากนำไปปฏิบัติ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อย เช่น การลดปริมาณน้ำเสีย การลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้า และการลงทุนต่ำ

ง) เขียนเงื่อนไขทั้งหมด คะแนน และแนวทางเลือกลงในตาราง

ง) กำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเงื่อนไข ในช่วง 1-10 แล้วใส่ลงในแถวของแต่ละเงื่อนไข เช่นตัวพิจารณาว่าการลดปริมาณน้ำเสียเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ก็จะให้คะแนนสูงสุดคือ 10 ในขณะที่ความง่ายต่อการปฏิบัติจะให้ 7 คะแนน เป็นต้น

จ) ในแต่ละแนวทางก็จะประเมินตามเงื่อนไขแต่ละข้อแล้วให้คะแนน

ฉ) ค่าที่ได้จากการให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละเงื่อนไขและคะแนนที่ให้แต่ละแนวทางตามแบบฟอร์ม

ช) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ ก – ฉ สำหรับแนวทางอื่นกับทุกเงื่อนไข

ฌ) เอาคะแนนที่ได้ในแต่ละเงื่อนไขของแต่ละแนวทางมารวมกัน

ญ) ใช้คะแนนรวมของแต่ละแนวทางมาเปรียบเทียบกัน แนวทางที่ได้คะแนนสูงที่สุดจะถูกนำมาเลือกปฏิบัติเป็นอันดับแรก

4. การบริหารคุณภาพด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า

จากการแข่งขันของอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทำให้หลายองค์กรแสวงหาแนวทางที่สามารถปรับปรุงองค์กร เพื่อพัฒนาและสร้างโอกาสในการแข่งขัน และตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น ทำให้แนวคิดด้านการบริหารคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต และการบริการ เข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น มีรายงานจากหลายองค์กรพบว่าประสบความสำเร็จจากการนำแนวคิดของการบริหารคุณภาพด้วยเทคนิคซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

การประยุกต์หลักการดำเนินงานของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อปรับปรุงกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับขึ้นรูปสุขภัณฑ์เซรามิก ในขั้นตอนการบดวัตถุดิบ (ทราย โดโลไมท์ และพิชเชอร์) เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีต้นทุนพลังงานสูงถึง 8.2 ล้านบาทต่อปี โดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบด เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่ผ่านการบดต่ำกว่า 10 ไมครอน จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการบดวัตถุดิบประกอบด้วย 1) ขนาดของลูกบด 2) สัดส่วนลูกบดต่อปริมาตรหม้อบด 3) สัดส่วนวัตถุดิบต่อปริมาตรหม้อบด 4) ความหนาแน่นของหม้อบด 5) ความเร็วรอบหม้อบด 6) เวลาบด จากนั้นได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางสถิติแบบ 2^k factorial with center points และสร้างสมการ multi-factors linear regression model เพื่อหาสภาวการณ์บดที่ดีที่สุด ข้อสรุปของการทดลองพบว่า การใช้สภาวะการบดที่ปริมาณวัตถุดิบ 39%

และเติมลูกบด 38% ของปริมาตรหม้อบด และใช้เวลาบด 5.75 ชั่วโมง ลดลงจาก 8 ชั่วโมง ส่งผลให้ได้วัตถุดิบที่มีขนาดอนุภาคตรงตามที่ต้องการ สามารถลดต้นทุนในการบดลง 28% ซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายอนุภาคที่มีความสม่ำเสมอมากขึ้นไป (ตรีทศ เหล่าศิริหงส์ทอง และคณะ, 2551)

มีการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการชุบชิ้นงานด้วยโครเมี่ยม โดยมีเป้าหมาย คือ การลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นลง 70 เปอร์เซ็นต์จากอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นโดยระบุขอบเขตปัญหาที่จะทำการแก้ไข และกำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการ โดยจากการวัดความสามารถกระบวนการ พบว่าการเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นงานเป็นเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด จึงเลือกปัญหาดังกล่าว มาทำการแก้ไข ขั้นตอนที่สองเป็นการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยการสร้างแผนผังกระบวนการ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยสร้างแผนภาพสาเหตุและผล ซึ่งจะนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการ เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด จากนั้นจะศึกษาระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมี่ยม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องในระบบการตรวจสอบ ขั้นตอนที่สามเป็นการวิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบกับค่าความหยาบผิวชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และนำมาหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ตอบสนอง ขั้นตอนสุดท้ายจะดำเนินการควบคุมตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ผลจากการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้มูลค่าความสูญเสียลงจาก 774,714 เหลือเพียง 128,648 บาทต่อเดือน (วสันต์ พุกผาสุก, 2549)

การลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากงานซ่อมข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ โดยมุ่งเน้นแก้ไขข้อบกพร่องหลักสองชนิดที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องสูงที่สุด ได้แก่ข้อบกพร่องเรื่องเส้นใยและสีเป็นคราบ การดำเนินงานวิจัยได้ใช้แนวทางการปรับปรุงของซิกซ์ซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอน เริ่มจากระยะการนิยามปัญหาได้ศึกษาสภาพปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการปรับปรุง จากนั้นในระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาได้วิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงนับโดยวิเคราะห์ทั้งความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด จากนั้นวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน แล้วจึงระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อการเกิดเส้นใย และสีเป็นคราบโดยใช้แผนภาพและตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ จากนั้นในระยะการวิเคราะห์

หาสาเหตุของข้อบกพร่องได้นำเอาปัจจัยที่เลือกมาทำการทดสอบนัยสำคัญด้วยวิธีการทางสถิติ และปรับปรุงโดยหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง จากนั้นทดสอบเพื่อยืนยันผลและมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานใหม่ในระยะการติดตามควบคุม หลังการปรับปรุงสามารถลดสัดส่วนจำนวนรถที่มีข้อบกพร่องลงได้ 63.6% โดยสามารถลดจำนวนข้อบกพร่องลงได้ 70.2% คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องที่ลดลงได้เท่ากับ 5,008,650 บาทต่อปี (อาทิตย์ หงส์พันธ์ และนภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2553)

การลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาการเกิดของเสียของผลิตภัณฑ์ พบว่าปัญหาการบวมที่แก้มยาง เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดถึง 0.12% ของผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ที่ผลิตทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1220 PPM จากนั้นทำการวิเคราะห์กระบวนการตรวจสอบคุณภาพของยางรถยนต์ด้วยสายตา พบว่าระบบการตรวจวัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุจัดทำแผนผังกระบวนการเพื่อทำความเข้าใจภาพรวมของกระบวนการผลิต ระบุปัจจัยนำเข้าและลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ของแต่ละปัจจัยของแต่ละขั้นตอน จากนั้นวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาการบวมที่แก้มยางโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ และทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแปรด้วยวิธีการทางสถิติ พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเกิดการบวมที่แก้มของยางประกอบด้วย Dwell time, Stitcher speed และ Cycle time จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย จึงได้จัดทำแผนการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้อย่างต่อเนื่อง ภายหลังจากการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ พบว่าจำนวนยางรถยนต์เสียจากที่เกิดจากยางบวมที่แก้มยางลดลง 0.047% มีค่าเท่ากับ 470 ppm (จิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์ และ ณัฐเจตน์ เกษกมล, 2551)

ปัญหาการส่งมอบสินค้าล่าช้าของศูนย์กระจายสินค้าอาหาร มีขั้นตอนการดำเนินงาน 5 ขั้นตอนตามหลักการของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า คือ การกำหนดปัญหา การวัดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และการควบคุมตัวแปรผลจากการดำเนินงานนำไปสู่ การปรับปรุงแผนผังคลังสินค้าสำหรับใช้ในการจัดเก็บสินค้าใหม่ ทำให้พนักงานทำงานได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น ส่งผลให้สามารถลดเวลาในการขนถ่ายสินค้า และมีข้อร้องเรียนจากการส่งมอบสินค้าล่าช้าลดลงจากเดิม 34 ครั้งต่อสัปดาห์เหลือเพียง 20 ครั้งต่อสัปดาห์ เทียบเท่าระดับซิกม่าของกระบวนการที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 1.44 เป็น 2.09 ทำให้บริษัทมีกำไรจากการดำเนินงานเพิ่มขึ้น 30,000 ปอนด์ต่อปี (Nabhani and Shokri, 2009)

จากปัญหามีข้อร้องเรียนจากลูกค้าเกี่ยวกับ การประกอบเครื่องยนต์ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดของบริษัทแห่งหนึ่งนำไปสู่การใช้หลักการของเทคนิคซิกซ์ซิกม่า เพื่อปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวขั้นตอนการดำเนินงานเป็นไปตามหลักการของเทคนิคซิกซ์ซิกม่า โดยมีเป้าหมายเพื่อลดจำนวนเครื่องยนต์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ขั้นตอนการปรับปรุงเริ่มต้นจากการนิยามปัญหาหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพของเครื่องยนต์ จากนั้นทำการวัดสภาพปัญหาโดยการรวบรวมประสิทธิภาพและความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุได้ใช้เทคนิค Why-Why analysis และ FMEA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาสเหตุ จากนั้นทำการปรับปรุงกระบวนการ ขั้นตอนสุดท้ายทำการควบคุมกระบวนการประกอบเครื่องยนต์โดยการตรวจติดตาม อบรมพนักงาน สร้างแรงจูงใจให้พนักงานและจัดทำบอร์ดเพื่อรายงานประสิทธิภาพกระบวนการผลิตประจำวัน ผลที่ได้จากการนำเทคนิคซิกซ์ซิกม่าไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการพบว่า สามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องจากเดิม 7,243 PPM เหลือเพียง 687 PPM ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสินค้าที่ไม่มีคุณภาพ ลดลงจากเดิม 30,000 ดอลล่าร์ เหลือเพียง 9,000 ดอลล่าร์ (Shrivastava *et.al.,*2008)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง

2. เพื่อเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ถุงมือยางสำหรับตรวจโรคที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด

บทที่ 2

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ครอบคลุมการประยุกต์ใช้แนวทางของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้งของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด ซึ่งมีระดับคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ AQL ไม่เกิน 1.5 โดยคัดเลือกสายการผลิตต้นแบบเพียง 1 สายการผลิต การดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ตามแนวทางของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการกำหนดหัวข้อปัญหา (Define Phase)

1.1 สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการดำเนินงานและการบริหารจัดการทางธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษา วิธีการปฏิบัติงานและประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับการตรวจโรค ชนิดไม่มีแป้ง ตั้งแต่ขั้นตอนการตรวจรับ การตรวจสอบคุณภาพการจัดเตรียมวัตถุดิบ วิธีการผลิตและการควบคุมสภาวะต่างๆในแต่ละขั้นตอน การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถุงมือยางชนิดดังกล่าว การบรรจุ จนกระทั่งการส่งมอบให้ลูกค้า พร้อมทั้งจัดทำแผนผังแสดงกระบวนการผลิต

1.2 ระบุสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้งและวิเคราะห์ผลกระทบของปัญหาต่อเป้าหมายทางธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษา ความพึงพอใจและการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ระดมความคิดร่วมกับผู้บริหารและของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อคัดเลือกปัญหาที่มีความสำคัญที่สุดเพียง 1 ปัญหา มาทำการแก้ไขปรับปรุงจากนั้นวิเคราะห์ผลกระทบวิกฤตต่อคุณภาพและผลกระทบเชิงธุรกิจของปัญหาที่ได้คัดเลือก

1.3 จัดทำรายละเอียดโครงการ ของปัญหาที่ได้คัดเลือกจากข้อ 1.2 ประกอบด้วย หัวข้อปัญหา ทีมงาน ระยะเวลาดำเนินการ ตัวชี้วัดและเป้าหมายของการดำเนินโครงการ

2. ขั้นตอนการวัดสภาพของปัญหา (Measure Phase)

2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตประจำวันของผลิตภัณฑ์ถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้งของแต่ละสายการผลิตย้อนหลัง 5 เดือน ระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2553 รายละเอียดของข้อมูลที่เก็บรวบรวมประกอบด้วย

2.1.1 จำนวนของถุงมือยางที่ผลิตในแต่ละเดือนของแต่ละสายการผลิต

2.1.2 จำนวนของถุงมือยางในแต่ละระดับคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ (Acceptable Quality Level: AQL) ตั้งแต่ AQL 0.65, 1.5, 2.5, 4.0 และ 6.5 ในแต่ละเดือนของแต่ละสายการผลิต

2.1.3 จำนวนของตำหนิแต่ละประเภทในกลุ่มตำหนิวิกฤต (Critical Defect) ที่ได้ตรวจพบบนถุงมือยางตัวอย่างแต่ละล๊อตที่สุ่มมาตรวจสอบคุณภาพเพื่อกำหนดระดับ AQL ในแต่ละเดือนของแต่ละสายการผลิต

2.2 สรุปและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวม ร่วมกันกับทีมงานเพื่อคัดเลือกสายการผลิตต้นแบบเพียง 1 สายการผลิตสำหรับทำการศึกษา

2.3 วิเคราะห์ดัชนีความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับ (Attribute data) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการของสายการผลิตต้นแบบที่ได้คัดเลือก โดยการประเมินจากอัตราส่วนเฉลี่ยของถุงมือยางที่ตรวจสอบตำหนิข้อบกพร่อง จากนั้นคำนวณดัชนีประเมินศักยภาพของกระบวนการ ($P_{p\ bench}$) จากสูตรต่อไปนี้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

$$P_{p\ bench} = 1/3\ (\text{Process Z})$$

2.4 วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบนับ ของขั้นตอนการตรวจคุณภาพของถุงมือยางด้วยสายตา (Visual testing) และการทดสอบการรั่วซึมด้วยน้ำ (Water leak testing) เพื่อทดสอบความความถูกต้องของระบบการวัดและการได้มาของข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

2.4.1 คัดเลือกพนักงานซึ่งทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางหลังออกจากตู้อบจำนวน 3 คน (กะทำงานละ 1 คน) โดยเป็นพนักงานที่ทำงานมาแล้วอย่างน้อย 1 ปี มีความชำนาญ สามารถแยกแยะและเข้าใจลักษณะของตำหนิในแต่ละประเภท

2.4.2 เตรียมถุงมือยางตัวอย่างสำหรับใช้ในการทดสอบ จำนวน 2 ชุดโดยคัดเลือกถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดไม่มีแป้งจำนวน 50 ชิ้น มีคุณภาพที่แตกต่างกันดังนี้

- ไม่มีตำหนิจำนวน 36 ชิ้น
- มีตำหนิในกลุ่มตำหนิวิกฤตจำนวน 5 ชิ้น
- มีตำหนิในกลุ่มตำหนิหลักจำนวน 5 ชิ้น
- มีตำหนิในกลุ่มตำหนิรองจำนวน 4 ชิ้น

สำหรับชุดถุงมือยางตัวอย่างสำหรับการทดสอบการรั่วซึมน้ำกำหนดให้มีถุงมือยางที่มีตำหนิรูรั่วจำนวน 10 ชิ้น

2.4.3. พนักงานตรวจสอบคุณภาพที่ได้คัดเลือกมาจากแต่ละกะทำงาน ทำการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางตัวอย่างจำนวน 2 ครั้ง โดยการทำซ้ำแต่ละครั้งจะเว้นช่วงการตรวจสอบจำนวน 1 วัน เพื่อไม่ให้พนักงานจดจำกลุ่มตัวอย่างได้

2.4.4 ประเมินความแม่นยำและความถูกต้องในการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางตัวอย่างของพนักงานแต่ละคน โดยใช้ตัวชี้วัดต่อไปนี้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

- เปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ
- เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ
- เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ
- เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

3.1 ระดมสมองร่วมกับทีมงานเพื่อวิเคราะห์ลักษณะ รูปแบบและสาเหตุของการเกิดตำหนิรูรั่ว พร้อมทั้งระบุขั้นตอนหลักในการกระบวนการผลิตที่มีเกี่ยวและสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดตำหนิดังกล่าวบนถุงมือยาง

3.2 ระบุปัจจัยนำเข้า (Input) และตัวแปรที่สำคัญของปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable: KPIV) ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตถุงมือยาง

3.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของตำหนิรูรั่วกับ KPIV โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบ (Cause and effect matrix analysis: C&E Matrix) จากนั้นนำคะแนนรวมที่ได้มาสร้างเป็นแผนผังพาเรโตเพื่อคัดเลือก KPIV ที่อยู่ในสัดส่วนร้อยละ 80 ตามหลักการคัดเลือกปัญหาของแผนผังพาเรโต (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

3.4 นำ KPIV ที่ผ่านการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบมาวิเคราะห์ต่อเพื่อคัดเลือก KPIV โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) จากนั้นระดมสมองเพื่อประเมินความรุนแรงของผลกระทบ (Severity: S) อัตราการเกิด (Occurrence: O) และความสามารถในการตรวจจับ (Detection: D) ของวิธีการควบคุมในปัจจุบันดังสมการต่อไปนี้

$$RPN = S \times O \times D$$

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความรุนแรงของผลกระทบ (Severity) มีระดับคะแนนดังต่อไปนี้ มีผลกระทบสูงมาก (10 คะแนน) ผลกระทบปานกลาง (7 คะแนน) ผลกระทบน้อย (5 คะแนน) ผลกระทบน้อยมาก (3 คะแนน) และไม่มีผลกระทบเลย (1 คะแนน)

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินอัตราหรือโอกาสการเกิด (Occurrence) มีระดับคะแนนดังต่อไปนี้ มีโอกาสเกิดขึ้นสูงมากหรือพบข้อบกพร่องเป็นประจำ (10 คะแนน) มีโอกาสเกิดขึ้นสูงหรือพบข้อบกพร่องบ่อย (7 คะแนน) มีโอกาสเกิดขึ้นปานกลางหรือเกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว (5 คะแนน) มีโอกาสเกิดขึ้นต่ำหรือเกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย (3 คะแนน) และเกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย (1 คะแนน)

เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการตรวจจับ (Detection) ของวิธีการควบคุมมีระดับคะแนนดังต่อไปนี้ ไม่มีระบบการควบคุมใดๆในปัจจุบัน (10 คะแนน) มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อผิดพลาดได้ (7 คะแนน) มีระบบควบคุมและมีโอกาสที่จะตรวจจับข้อผิดพลาดได้ (5 คะแนน) มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อผิดพลาดได้ (3 คะแนน) และมีระบบควบคุมและมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อผิดพลาดได้ (1 คะแนน)

จากนั้นคัดเลือก KPIV ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดตำหนิที่ทำการศึกษามากที่สุดโดยใช้แผนผังพาเรโต (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

3.5 จัดกลุ่ม KPIV ที่ได้จากการวิเคราะห์เป็น 3 กลุ่ม เพื่อวางแผนสำหรับการดำเนินการต่อในขั้นตอนถัดไป โดยคำนึงถึง ผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ความเป็นได้ทางเทคนิค และความพร้อมในการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา ประกอบด้วย

3.5.1 ปัจจัยที่ต้องทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.5.2 ปัจจัยที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ทันที

3.5.3 ปัจจัยที่ยังไม่พร้อมดำเนินการแก้ไขปรับปรุง

4. ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improvement Phase)

4.1 ระดมความคิดร่วมกับทีมงานเพื่อออกแบบและหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับดำเนินการปรับปรุงปัจจัยที่สามารถดำเนินการแก้ไขได้ทันที

4.2 ดำเนินการทดลองเพื่อหาสภาวะหรือค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ได้ดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมทางสถิติแล้วว่ามีนัยสำคัญต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง

5. ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

5.1 กำหนดแนวทางเพื่อใช้ควบคุมปัจจัยที่ได้แก้ไขปรับปรุงแล้วโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคและวิธีการที่เหมาะสม เพื่อเป็นเครื่องมือในการเฝ้าติดตามกระบวนการ ควบคุมและตรวจสอบความผันแปรของปัจจัยดังกล่าว

5.2 ดำเนินการควบคุมกระบวนการผลิตในสายการผลิตต้นแบบที่ได้คัดเลือกตามแนวทางที่กำหนดในข้อ 5.1 จากนั้นเปรียบเทียบผลการดำเนินงานก่อนและหลังการดำเนินโครงการ พร้อมทั้งประเมินผลการปรับปรุงจากตัวชี้วัดของโครงการ

5.3 สรุปผลการดำเนินงานของโครงการ ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการดำเนินงานวิจัยจากการประยุกต์ใช้แนวทางของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้งของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเป็นหนึ่งสถานประกอบการในกลุ่มผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ถุงมือยางที่สำคัญของประเทศไทย มีกำลังการผลิตและการส่งออกประมาณ 80 ล้านชิ้นต่อเดือน กลุ่มผลิตภัณฑ์หลักที่ดำเนินการผลิตและส่งออกคือ ถุงมือยางสำหรับตรวจโรค (Examination glove) และถุงมือยางสำหรับการใช้งานทั่วไป (Disposable glove) ทั้งที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber) และน้ำยางสังเคราะห์ไนไตร (Nitrile butadiene rubber) ชนิดแบบมีแป้งและไม่มีแป้ง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถุงมือยางชนิดดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 19 ผลิตภัณฑ์ถุงมือยางที่ผลิตทั้งหมดประมาณร้อยละ 70 ส่งออกไปยังลูกค้าต่างประเทศในทวีปยุโรป โดยมีกลุ่มลูกค้าหลักคือ กลุ่มผู้ให้บริการทางการแพทย์ กลุ่มผู้ผลิตและแปรรูปอาหาร และลูกค้าทั่วไป นอกจากนี้ยังรับจ้างผลิตและบรรจุภายใต้เครื่องหมายการค้าของลูกค้า (Original equipment manufacturer: OEM) มากกว่า 50 ตราสินค้า

(ก) (ข)

ภาพที่ 19 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา

(ก) ถุงมือยางที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ (ข) ถุงมือยางที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์ไนไตร

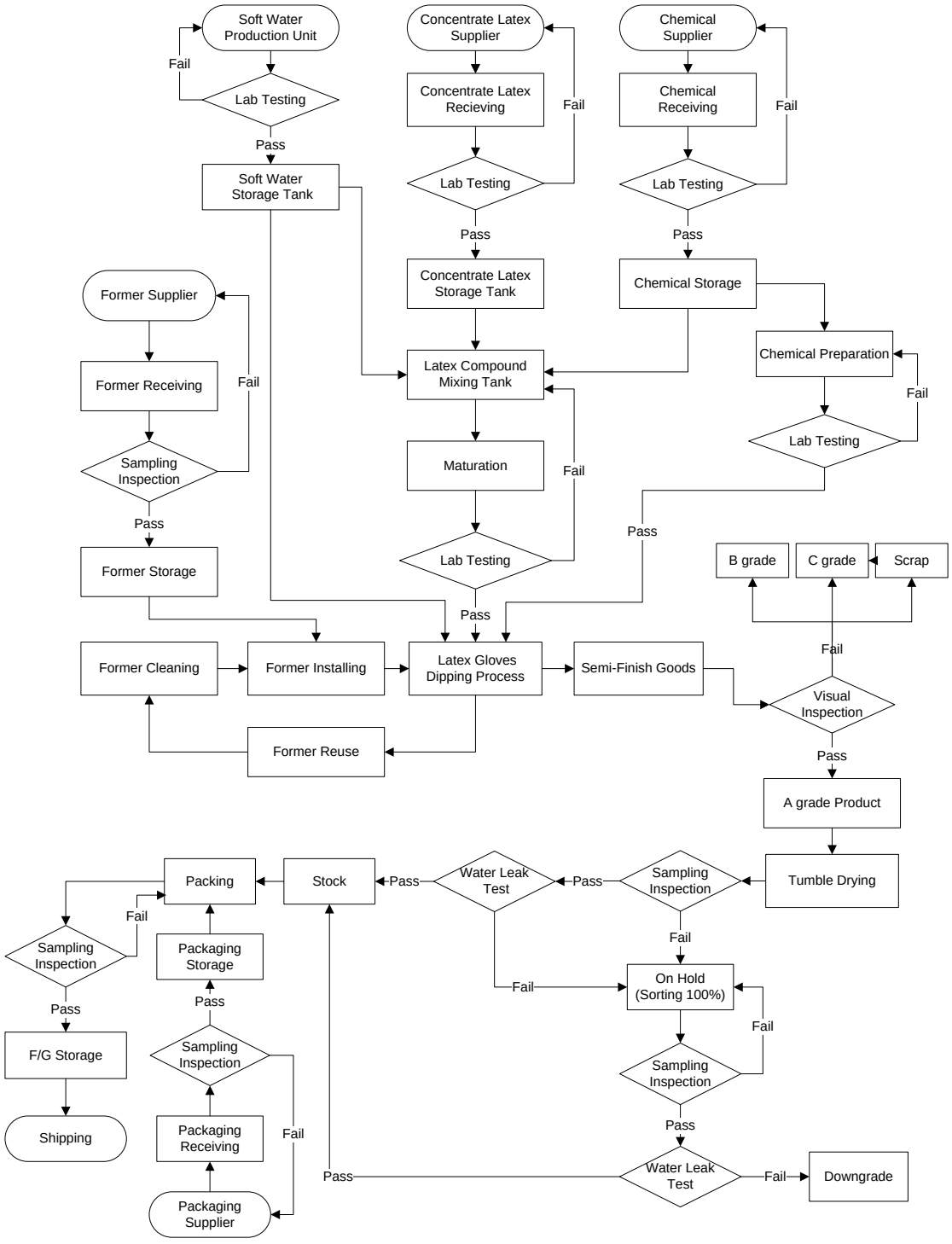
ผลการดำเนินงานที่ได้จากการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา โดยการประยุกต์ใช้แนวทางของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ตั้งแต่ขั้นตอนการกำหนดหัวข้อปัญหา (Define phase) การวัดสภาพของปัญหา (Measure phase) การวิเคราะห์หาสาเหตุ (Analysis phase) การปรับปรุง (Improvement phase) และควบคุมกระบวนการ (Control phase) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การกำหนดหัวข้อปัญหา (Define Phase)

เป็นขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา วิธีการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต พร้อมทั้งระบุประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นปรึกษาร่วมกับผู้บริหารของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อคัดเลือกปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อเป้าหมายทางธุรกิจขององค์กรและการตอบสนองต่อความต้องของลูกค้ามากที่สุด มาทำการปรับปรุง พร้อมทั้งจัดทำรายละเอียดการปรับปรุงที่คัดเลือก ผลจากการดำเนินงานประกอบด้วย

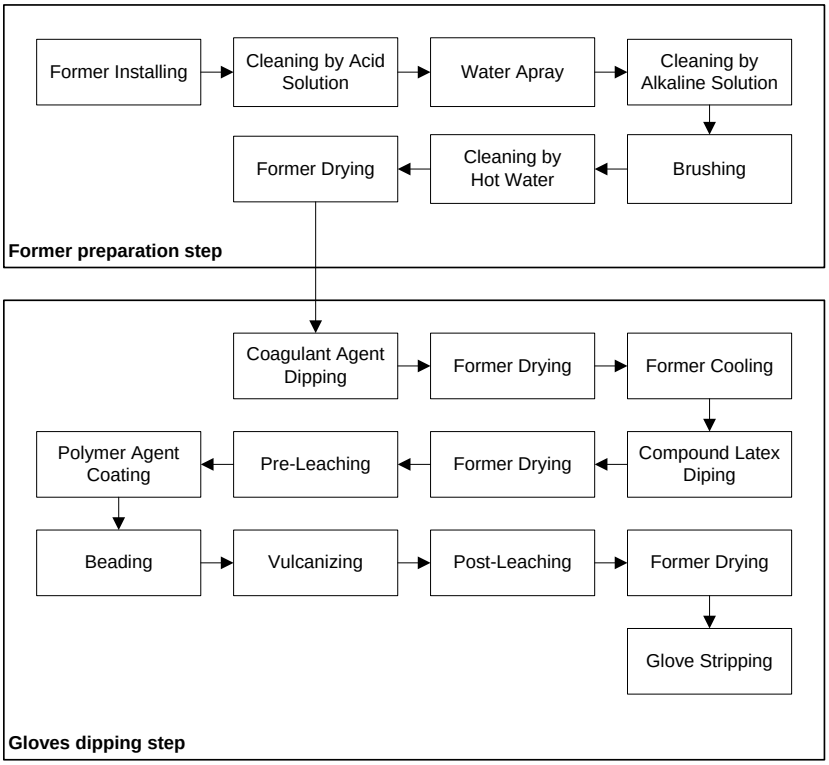
1.1 กระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง

ผลิตภัณฑ์ถุงมือยางสำหรับตรวจโรคจัดอยู่ในกลุ่มเครื่องมือทางการแพทย์ (Medical device) มีเทคโนโลยีและเทคนิคในการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อน ยุ่งยากกว่าการผลิตถุงมือยางประเภทอื่นๆ รูปแบบของกระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous process) ใช้เทคนิคการจุ่มขึ้นรูป (Dipping) กระบวนการผลิตถุงมือยางชนิดดังกล่าว มีขั้นตอนหลักที่สำคัญ คือ ขั้นตอนการเตรียมผสมน้ำยางคอมปาวด์ ขั้นตอนการติดตั้งเบ้ามือเข้ากับสายการผลิต ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเบ้ามือ ขั้นตอนการจุ่มขึ้นรูปถุงมือยาง ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยาง ภาพรวมของการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตถุงมือยางในแต่ละขั้นตอนของโรงงานกรณีศึกษาแสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แผนผังแสดงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา

กระบวนการผลิตถุงมือยางเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องมีขั้นตอนย่อยในกระบวนการ 19 ขั้นตอนย่อย (ภาพที่ 21) ซึ่งแต่ละขั้นตอนล้วนแต่มีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ปัจจัยขาออก (Output) ของกระบวนก่อนหน้าจะกลายเป็น ปัจจัยขาเข้า (Input) ของกระบวนการถัดไป ฉะนั้นหากมีความแปรปรวนหรือความผิดพลาดเกิดขึ้นในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งจะส่งผลกระทบต่อขั้นตอนถัดไปและคุณภาพของถุงมือยางที่ได้ทันที



ภาพที่ 21 แผนผังแสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง

รายละเอียดและการควบคุมปัจจัยของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตถุงมือยางมีดังต่อไปนี้

1.1.1 การติดตั้งเบ้ามือ (Former installing)

เป็นการนำเบ้ามือมาติดตั้งกับข้อเหล็กยึดเบ้ามือบนสายโซ่ลำเลียงของสายการผลิต จากนั้นเบ้ามือจะถูกลำเลียงเข้าสู่ขั้นตอนการล้างทำความสะอาด

1.1.2 การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรด (Former cleaning by acid solution)

เพื่อทำความสะอาดคราบสกปรกและสารเคมีที่เกาะติดอยู่บนผิวของเบ้ามือ เช่น คราบสารเคมีแคลเซียมคาร์บอเนต ในขั้นตอนนี้ต้องควบคุมระดับของสารละลายกรดให้สูงกว่าระดับที่เบ้ามือจุ่มสารช่วยจับตัว ควบคุมอุณหภูมิและค่าความเข้มข้นของสารละลายด่าง

1.1.3 การชะล้างสารละลายกรดด้วยน้ำสะอาด (Water spray)

เป็นขั้นตอนการฉีดน้ำเพื่อชะล้างคราบสารละลายกรดออกจากผิวของเบ้ามือก่อนที่เบ้ามือจะเคลื่อนที่ไปจุ่มลงในถังสารละลายด่าง

1.1.4 การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายด่าง (Former cleaning by alkaline solution)

เป็นการล้างทำความสะอาดคราบสารเคมีและสิ่งสกปรกต่างๆ บนผิวของเบ้ามือที่ตกค้างจากการล้างด้วยสารละลายกรด และเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดด่างบนผิวของเบ้ามือ โดยจะต้องควบคุมระดับของสารละลายด่างให้สูงกว่าระดับของการจุ่มสารละลายกรดเล็กน้อยและต้องควบคุมค่าความเข้มข้นของสารละลายด่างให้เป็นไปตามข้อกำหนด

1.1.5 การขัดทำความสะอาดเบ้ามือด้วยชุดลูกกลิ้งแปรงขัด (Brushing)

เป็นขั้นตอนการขัดทำความสะอาดผิวของเบ้ามือโดยใช้ชุดลูกกลิ้งแปรงและมีน้ำฉีดชะล้างเบ้ามือตลอดเวลา

1.1.6 การล้างเบ้ามือด้วยน้ำร้อน (Hot water)

เป็นการล้างทำความสะอาดคราบสารเคมีและสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ตกค้างบนผิวของเบ้ามือ ก่อนที่จะทำการจุ่มในสารช่วยจับตัว และยังช่วยควบคุมอุณหภูมิของเบ้ามือให้เหมาะสม

1.1.7 การอบเบ้ามือให้แห้งก่อนจุ่มสารช่วยจับตัว (Drying oven)

เป็นขั้นตอนการอบเบ้ามือให้แห้งโดยลมร้อน เพื่อระเหยน้ำที่ติดบนเบ้ามือออกช่วยให้แห้งหมาดก่อนจุ่มลงในสารช่วยจับตัว

1.1.8 การจุ่มเบ้ามือลงในสารช่วยจับตัว (Coagulant dipping)

เป็นการจุ่มเบ้ามือที่ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดและอบแห้งแล้ว ลงในสารช่วยจับตัว ซึ่งได้จากการผสมสารเคมี Detect coating agent (DCA) เป็นสารเคมีที่ช่วยป้องกันไม่ให้ฟิล์มยางติดเบ้ามือ กับสารแคลเซียมไนเตรท ($Ca(NO_3)_2$) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้น้ำยางเกิดการจับตัวเป็นแผ่นฟิล์มยาง โดยอุณหภูมิของเบ้ามือที่จะจุ่มลงในสารช่วยจับตัวควรมีอุณหภูมิประมาณ 50 - 60 ^{o}ซ เพื่อให้สารช่วยจับตัวเกิดการไหลเวียนและป้องกันไม่ให้สารเคมีเกิดการตกตะกอน จำเป็นต้องมีการกวนผสมตลอดเวลา

1.1.9 การอบเบ้ามือหลังการจุ่มสารช่วยจับตัวให้แห้ง (Dehydration oven)

เป็นการอบเบ้ามือให้แห้ง โดยการระเหยน้ำออกจากสารช่วยจับตัวที่เคลือบอยู่บนผิวของเบ้ามือ ก่อนจุ่มลงในน้ำยางคอมปาวด์

1.1.10 การลดอุณหภูมิของเบ้ามือ (Cooling)

เพื่อช่วยควบคุมและปรับลดอุณหภูมิของเบ้ามือให้เหมาะสมก่อนการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์

1.1.11 การจุ่มเบ้ามือลงในน้ำยางคอมปาวด์ (Compound latex dipping)

เป็นการจุ่มเบ้ามือลงในน้ำยางคอมปาวด์ โดยต้องควบคุมระดับของน้ำยางไม่ให้สูงหรือต่ำเกินไป ควบคุมการไหลเวียนของน้ำยางคอมปาวด์ หมั่นทำความสะอาดใบกวนอย่างสม่ำเสมอ และต้องควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามข้อกำหนดเพื่อป้องกันน้ำยางคอมปาวด์เสียสภาพ ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อคุณภาพถุงมือยาง

1.1.12 การอบน้ำยางคอมปาวด์ที่เคลือบอยู่บนผิวเบ้ามือ (Gelling oven)

เป็นการอบเบ้ามือที่มีน้ำยางคอมปาวด์เคลือบอยู่ให้แห้งเกิดเป็นแผ่นเจลฟิล์มยางบางๆ เพื่อให้ง่ายต่อการม้วนขอบ

1.1.13 การล้างฟิล์มยาง (Pre-leaching)

เป็นการล้างฟิล์มยางที่เคลือบอยู่บนเบ้ามือหลังจากการอบหมาดด้วยน้ำร้อน เพื่อเป็นการชะล้างสารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อยางและลดปริมาณโปรตีนในถุงมือยาง โดยต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อนให้อยู่ในช่วง 60 - 70 ^{o}ซ

1.1.14 การเคลือบสารโพลิเมอร์ (Polymer solution coating)

เป็นการเคลือบฟิล์มยางด้วยสารโพลิเมอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้ถุงมือยางเหนียวติดหลังถอดถุงมือยางออกจากเบ้าและง่ายต่อการสวมใส่

1.1.15 การขึ้นขอบถุงมือ (Beading)

เป็นการม้วนขึ้นขอบถุงมือยางด้วยลูกกลิ้งพลาสติกกลม เพื่อให้ฟิล์มยางเกิดความแข็งแรง

1.1.16 การอบเบ้ามือให้แห้งและเกิดการวัลคาไนซ์สมบูรณ์ (Vulcanizing oven)

เป็นการอบฟิล์มยางที่เคลือบอยู่บนผิวเบ้ามือให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ ช่วยให้ถุงมือยางที่ได้แข็งแรงมากขึ้น ขั้นตอนนี้จะมีระยะเวลาในการอบยาวที่สุดประมาณ 15 นาที

1.1.17 การล้างถุงมือยางหลังการอบด้วยน้ำร้อน (Post-leaching)

เป็นการล้างถุงมือยางอีกครั้งหลังการอบ เพื่อชะล้างสารเคมีและลดปริมาณโปรตีนออกจากถุงมือยาง

1.1.18 การอบถุงมือยางให้แห้งก่อนถอด (Drying)

เป็นขั้นตอนการอบแห้งถุงมือยางที่ผ่านการล้างในขั้นตอนก่อนหน้านี้ก่อนถอดออกจากเบ้ามือ

1.1.19 การถอดถุงมือออกจากเบ้ามือ (Stripping)

เป็นการดึงถุงมือยางออกจากเบ้ามือ ถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตถุงมือยาง

ถุงมือยางที่ผ่านขั้นตอนการถอดออกจากเบ้ามือแล้ว จะนำไปผ่านกระบวนการอบซ้ำอีกครั้งด้วยความร้อน เพื่อลดความชื้นและเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของถุงมือยางให้ดีขึ้น หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าว พนักงานควบคุมคุณภาพจะทำการสุ่มตัวอย่างถุงมือยาง เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพตามข้อกำหนด ด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual testing) และทดสอบการรั่วซึมน้ำ (Water leak testing) โดยดำเนินการสุ่มตัวอย่างถุงมือยางตามหลักการสุ่มตัวอย่างของวิธีการ MIL-STD 105E ผลที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพทั้งสองวิธีจะนำไปใช้การประเมินระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยาง โดยโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดระดับการประเมินคุณภาพถุงมือยางออกเป็น 5 ระดับ ประกอบด้วย AQL 0.65, 1.5, 2.5, 4.0 และ 6.5

1.2 ประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา

จากผลการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหารจัดการและการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้งของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่ขั้นตอนการตรวจรับ การตรวจสอบคุณภาพและการจัดเก็บวัตถุดิบ การเตรียมสารเคมี การผสมน้ำยางคอมปาวด์ การเตรียมเบ้ามือ การจุ่มขึ้นรูปถุงมือยาง การควบคุมสภาวะต่างๆในแต่ละขั้นตอนของการผลิต ข้อกำหนดและวิธีการตรวจสอบคุณภาพของถุงมือยาง การจัดเก็บถุงมือยางในคลังสินค้า การบรรจุถุงมือยางลงบรรจุภัณฑ์ จนกระทั่งการ ส่งมอบสินค้าให้ลูกค้า พบว่ามีปัญหาหลักเกิดขึ้นจากการดำเนินงานสรุปได้ดังนี้

(1) การสูญเสียวัตถุดิบในขั้นตอนผสมน้ำยางคอมปาวด์

(2) การสูญเสียเวลาการผลิตเนื่องจากเครื่องจักรไม่พร้อมใช้งาน

(3) จำนวนผลผลิตถุงมือยางของแต่สายการผลิตไม่ได้ตามเป้าหมาย

(4) จำนวนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพไม่ได้ตามเป้าหมาย

(5) ต้นทุนการผลิตโดยรวมของถุงมือยางต่อชิ้นเพิ่มสูงขึ้น

(6) พื้นที่การจัดเก็บถุงมือยางในคลังสินค้าไม่เพียงพอ

(7) ประสิทธิภาพการบรรจุถุงมือยางของพนักงานไม่ได้ตามเป้าหมาย

จากปัญหาทั้งหมดข้างต้น ได้ระดมความคิดร่วมกับผู้บริหาร เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของแต่ละปัญหาต่อเป้าหมายการดำเนินงานทางธุรกิจขององค์กร รวมไปถึงการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า พบว่าทุกปัญหาล้วนแต่มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต คุณภาพของถุงมือยาง ข้อร้องเรียนของลูกค้า การส่งมอบสินค้าล่าช้าและการสูญเสียโอกาสทางการตลาด เพื่อคัดเลือกปัญหาที่สำคัญที่สุดมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุงเป็นลำดับแรก จึงทำการระดมความคิดเพื่อพิจารณาคะแนนและน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

(1) ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า (5 คะแนน)

(2) สอดคล้องกับเป้าหมายทางธุรกิจขององค์กร (4 คะแนน)

(3) ความเป็นไปได้ทางเทคนิค (3 คะแนน)

(4) ความพร้อมด้านงบประมาณและการลงทุน (2 คะแนน)

(5) ผลตอบแทนจากการดำเนินการปรับปรุง (1 คะแนน)

การประเมินคัดเลือกปัญหาใช้หลักการของวิธี Weighted sum โดยกำหนดคะแนนความสัมพันธ์ดังนี้ ระดับความสัมพันธ์น้อยมาก (1 คะแนน) ระดับความสัมพันธ์น้อย (3 คะแนน) ระดับสัมพันธ์ปานกลาง (5 คะแนน) ระดับความสัมพันธ์มาก (7 คะแนน) และระดับความสัมพันธ์มากที่สุด (9 คะแนน) (สุรัส ตั้งไพฑูรย์, 2554) ผลการประเมินเพื่อคัดเลือกปัญหาโดยทีมผู้บริหารของโรงงานกรณีศึกษาประชุมร่วมกัน พิจารณา และให้คะแนนในแต่ละประเด็น แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการประเมินคัดเลือกปัญหาเพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุง

คะแนนความสำคัญ	5	4	3	2	1	
ประเด็นปัญหา	ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า	สอดคล้องกับเป้าหมายทางธุรกิจขององค์กร	ความเป็นไปได้ทางเทคนิค	ความพร้อมด้านงบประมาณและการลงทุน	ผลตอบแทนจากการดำเนินการปรับปรุง	คะแนนรวม
1. การสูญเสียวัตถุดิบในขั้นตอนผสมน้ำยางคอมปาวด์	3	7	7	5	7	81
2. การสูญเสียเวลาการผลิตเนื่องจากเครื่องจักรไม่พร้อมใช้งาน	5	7	5	3	5	79
3. จำนวนผลผลิตถุงมือยางของแต่สายการผลิตไม่ได้ตามเป้าหมาย	9	7	5	3	5	109
4. จำนวนของถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับไม่ได้ตามเป้าหมาย	9	9	7	7	7	133
5. ต้นทุนการผลิตโดยรวมของถุงมือยางต่อชิ้นเพิ่มสูงขึ้น	3	9	5	5	7	83
6. พื้นที่การจัดเก็บถุงมือยางในคลังสินค้าไม่เพียงพอ	3	5	7	5	3	70
7. ประสิทธิภาพการบรรจุถุงมือยางของพนักงานไม่ได้ตามเป้าหมาย	7	9	7	5	5	107

ผลการประเมินดังแสดงในตารางที่ 6 ชี้ให้เห็นว่าจากประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดจำนวน 7 ปัญหา ประเด็นที่ได้คะแนนรวมสูงสุดถือว่าเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญที่สุดควรคัดเลือกมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุง ดังนั้นในการดำเนินโครงการซิกซ์ ซิกม่าครั้งนี้จึงเลือกปัญหาจำนวนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนดไม่ได้ตามเป้าหมาย ซึ่งมีคะแนนรวมสูงสุด มาทำการศึกษาและแก้ไขปรับปรุงเป็นลำดับแรก

1.4 วิเคราะห์ผลกระทบวิกฤตของปัญหาที่คัดเลือก

ประเด็นที่คัดเลือกมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุงโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกม่า คือ ถุงมือยางที่ผลิตออกมาแล้วผ่านเกณฑ์คุณภาพตามข้อกำหนดมีจำนวนต่ำกว่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดเป้าหมายของจำนวนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพตามข้อกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 56 ของถุงมือยางที่ผลิตทั้งหมดในแต่ละวัน ถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับหรือสอดคล้องกับข้อกำหนดคุณภาพ (Conformed product) คือ ผลิตภัณฑ์ถุงมือยางที่มีระดับคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ (Acceptable quality level: AQL)ไม่เกินระดับ AQL 1.5 เท่านั้น ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวอ้างอิงตามข้อกำหนดด้านคุณภาพของมาตรฐานสากล EN-455 สำหรับถุงมือยางทางการแพทย์ใช้ครั้งเดียว (European standard for medical glove single use) (British Standards Institution, 2009) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงและควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ถุงมือยางทางการแพทย์สำหรับกลุ่มลูกค้าตลาดในทวีปยุโรป ซึ่งเป็นกลุ่มลูกค้าหลักของโรงงานกรณีศึกษา

การกำหนดระดับคุณภาพ (AQL)ของถุงมือยางใช้แนวทางของวิธี MIL-STD 105E ถือเป็นวิธีการสากลที่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ถุงมือยางทุกโรงงานใช้เป็นมาตรฐานการดำเนินงาน โดยมีหลักการคือการสุ่มตัวอย่างเพื่อการยอมรับตามแนวทางของ MIL-STD 105E โดยใช้แผนการสุ่มแบบทั่วไประดับที่ 1 (General 1: G1) จากนั้นดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของถุงมือยางตัวอย่างด้วยวิธีการตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตา และทดสอบการรั่วซึมน้ำ ตามวิธีการของมาตรฐาน ASTM D 5151 Standard test method for detection of holes in medical gloves (ASTM international, 2006) เพื่อตรวจสอบหาตำหนิหรือข้อบกพร่องต่างๆที่ปรากฏหรือเกิดขึ้นบนถุงมือยาง โดยตัวอย่างถุงมือยางสำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพทั้งสองวิธีการ จะเป็นตัวอย่างชุดเดียวกันไม่มีการสุ่มซ้ำ โรงงานกรณีศึกษาได้แบ่งประเภทกลุ่มตำหนิสำคัญที่มีโอกาสเกิดขึ้นบนถุงมือยางออกเป็น 3 กลุ่มคือ ตำหนิกลุ่มวิกฤต (Critical defect) ตำหนิหลัก (Major defect) และตำหนิรอง (Minor defect)

เกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนกตำหนิชนิดต่างๆ พิจารณาจากผลกระทบด้านคุณภาพและความปลอดภัยต่อการใช้งานถุงมือยางของลูกค้า สำหรับการประเมินระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยาง จะพิจารณาจากจำนวนถุงมือยางที่ตรวจสอบพบตำหนิในกลุ่มวิกฤตเท่านั้น เพราะเป็นตำหนิหลักที่มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพและการใช้งานถุงมือยาง ตำหนิในกลุ่มวิกฤตประกอบด้วย

(1) รูรั่ว (Pinhole) เป็นรูรั่วที่มีขนาดเล็ก มีโอกาสเกิดขึ้นได้ทุกจุดบนถุงมือยาง แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท โดยเรียกชื่อตามตำแหน่งของการตรวจพบประกอบด้วย

- รูรั่วที่ปลายนิ้ว (Pinhole at the finger tip: PT)
- รูรั่วบริเวณนิ้วมือ (Pinhole at the finger: PF)
- รูรั่วบริเวณง่ามนิ้วมือ (Pinhole between finger: PBF)
- รูรั่วบริเวณฝ่ามือ (Pinhole palm: PP)
- รูรั่วที่ข้อมือ (Pinhole worth: PW)

(2) รอยรั่วที่เกิดจากเบ้ามือกระทบการระหว่างการผลิต (Knocking) เป็นรอยรั่วขนาดใหญ่ มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าส่วนมากจะเกิดขึ้นบริเวณนิ้วก้อยและนิ้วหัวแม่มือของถุงมือยาง

(3) รอยรั่วที่เกิดจากเบ้ามือไปกระทบกับส่วนใดส่วนหนึ่งระหว่างการผลิต (Touching) เป็นรูรั่วขนาดใหญ่ มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มักจะเกิดขึ้นบริเวณส่วนปลายของนิ้วมือ

(4) รอยตัด (Cutting) เป็นรอยรั่วที่เกิดจากของมีคม

(5) ถุงมือฉีกขาด (Tear)

(6) ถุงมือปนขนาด (Mixed size)

(7) แมลง (Insect)

ข้อมูลที่ได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตและการควบคุมคุณภาพถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าร้อยละ 80 ของตำหนิในกลุ่มวิกฤตที่ตรวจสอบพบ คือ ตำหนิรูรั่ว (Pinhole) ดังนั้นในการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะตำหนิรูรั่วเท่านั้น

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากจำนวนของถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนดมีจำนวนต่ำกว่าเป้าหมาย พบว่าส่งผลกระทบโดยตรงต่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้าเนื่องจากทำให้โรงงานกรณีศึกษาไม่สามารถส่งมอบถุงมือยางที่มีคุณภาพตามข้อกำหนดได้ตามจำนวนการสั่งซื้อของลูกค้า ส่งมอบสินค้าไม่ทันเวลา ลูกค้าเกิดการร้องเรียนทำให้สูญเสียโอกาสทางการตลาด รวมไปถึงการลดเกรดคุณภาพของถุงมือยางทำให้มีกำไรต่อชิ้นลดลง บางครั้งจำเป็นต้องคัดเลือกถุงมือยางทุกชิ้นและทำการตรวจสอบซ้ำเพื่อกำหนดระดับคุณภาพใหม่อีกครั้ง ทำให้เกิดต้นทุนการดำเนินงานที่เพิ่มสูงขึ้น

1.5 รายละเอียดของโครงการ

หลังจากที่กำหนดหัวของปัญหาได้แล้ว จำเป็นต้องจัดทำรายละเอียดของโครงการ เพื่อเป็นแนวทางในวางแผนการดำเนินงานและให้เห็นภาพรวมของโครงการทั้งหมด รายละเอียดของการดำเนินโครงการประกอบด้วย

1.5.1 ชื่อโครงการปรับปรุง

การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับข้อกำหนดในกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรค

1.5.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

วิเคราะห์แนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด

1.5.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

ดำเนินการปรับปรุงเฉพาะผลิตภัณฑ์ถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้งที่ผลิตมาจากน้ำยางธรรมชาติ โดยทำการคัดเลือกสายการผลิตต้นแบบเพียง 1 สายการผลิตเท่านั้น

1.5.4 ระยะเวลาดำเนินการ

เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2554 (12 เดือน)

1.5.5 ตัวชี้วัดของโครงการ

ตัวชี้วัดหลัก คือ จำนวนของถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด ซึ่งมีระดับคุณภาพไม่เกิน AQL 1.5

ตัวชี้วัดรอง คือ จำนวนถุงมือยางที่สุ่มมาตรวจสอบแล้วพบตำหนิรูรั่ว (Pinhole)

1.5.6 สมาชิกของโครงการ

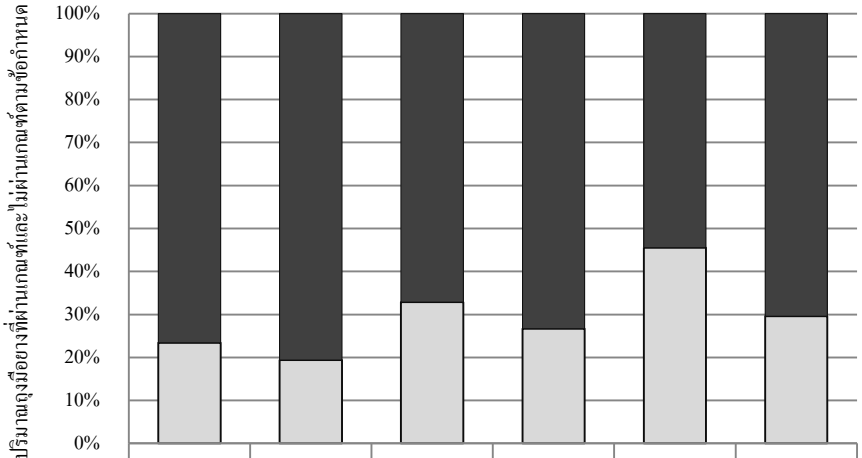
- ผู้จัดการโรงงาน
- ผู้จัดการฝ่ายผลิต
- ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ
- หัวหน้าแผนกการผลิต
- หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ
- หัวหน้าแผนกเตรียมน้ำยางคอมปาวด์
- หัวหน้าแผนกห้องปฏิบัติการ
- หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุง

2. การวัดสภาพของปัญหา (Measure Phase)

ขั้นตอนนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตถุงมือยางชนิดไม่มีแป้งของแต่ละสายการผลิต ข้อมูลตำหนิ และระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยางที่ผลิตย้อนหลัง 5 เดือน จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดเลือกสายการผลิตต้นแบบ วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการและวิเคราะห์ความแม่นยำของการการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยาง ผลที่ได้จากการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ข้อมูลการผลิตถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง

ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีสายการผลิตถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง จำนวน 5 สายการผลิต จากทั้งหมด 14 สายการผลิต ดำเนินการผลิตถุงมือยาง 24 ชั่วโมงต่อวัน แบ่งชั่วโมงการทำงานเป็น 3 กะทำงาน จากข้อมูลจำนวนผลผลิตและระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยางจากแต่ละสายการผลิตย้อนหลัง 5 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2553 ได้สรุปข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด (Conformed product) กับจำนวนของถุงมือยางที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด (Non- Conformed product) ของแต่ละสายการผลิต แสดงดังภาพที่ 22



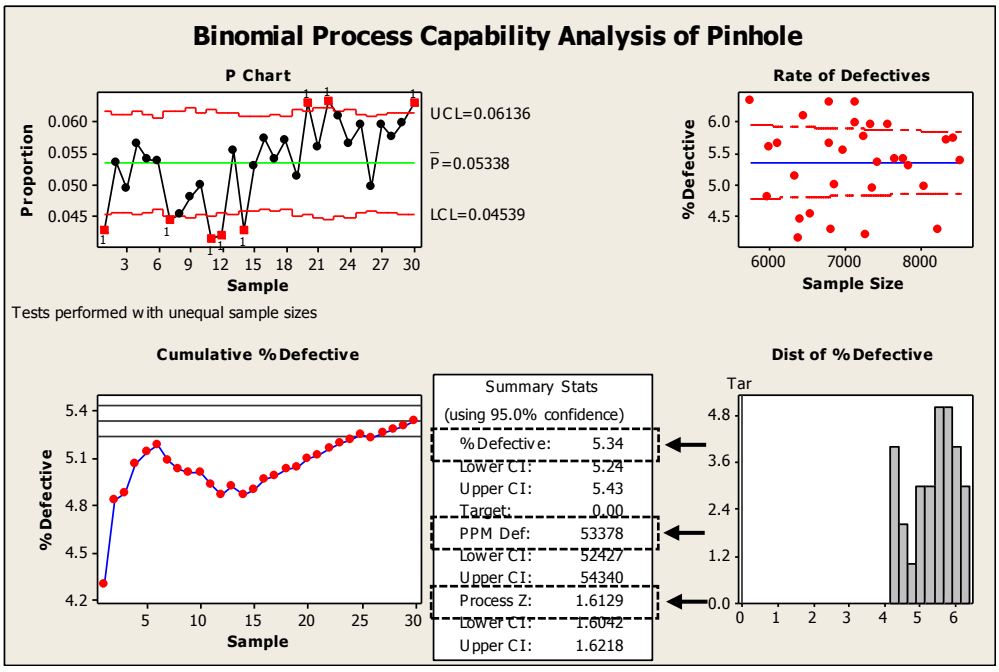
สายการผลิต	A	B	C	D	E	Average
Non-Conformed product	0.77	0.81	0.67	0.73	0.54	0.70
Conformed product	0.23	0.19	0.33	0.27	0.46	0.30

ภาพที่ 22 สัดส่วนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนด ของแต่ละสายการผลิต ตั้งแต่เดือนมกราคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2553

จากภาพที่ 22 พบว่าสายการผลิตที่มีจำนวนสัดส่วนของถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนดมากที่สุดคือ สายการผลิต E, C, D, A และ B ตามลำดับ โดยสายการผลิต B เป็นสายการผลิตที่มีจำนวนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับน้อยที่สุดเพียงร้อยละ 19 ของจำนวนถุงมือยางที่ผลิตทั้งหมด เมื่อพิจารณาร่วมกับทีมงานถึงความพร้อมและความต่อเนื่องของแผนการผลิตของแต่ละสายการผลิต จำเป็นต้องเลือกสายการผลิต A เป็นสายการผลิตต้นแบบสำหรับการดำเนินโครงการซิกซ์ ซิกม่าในครั้งนี้ จากข้อมูลพบว่าสายการผลิต A มีสัดส่วนของจำนวนถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนดร้อยละ 23 จากจำนวนถุงมือยางที่ผลิตทั้งหมด

2.2 วิเคราะห์ความสามารถกระบวนการของสายการผลิตต้นแบบ

ข้อมูลผลการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางที่ได้จากวิธีการตรวจสอบด้วยสายตาและทดสอบการรั่วซึมน้ำ แสดงออกมาในรูปแบบข้อมูลนับ (Attribute data) ของจำนวนถุงมือยางบกพร่องที่ตรวจพบตำหนิรูรั่วต่อจำนวนถุงมือยางตัวอย่างที่สุ่มมาตรวจสอบทั้งหมด 30 ชุดตัวอย่าง การประเมินความสามารถของกระบวนการใช้หลักการวัดความสามารถของกระบวนการแบบนับโดยประเมินจากอัตราส่วนโดยเฉลี่ยของถุงมือยางที่ตรวจพบตำหนิรูรั่ว (% Defective) การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการของสายการผลิตต้นแบบด้วยโปรแกรมทางสถิติ (Minitab) แสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการของสายการผลิตต้นแบบ

ข้อมูลจากภาพที่ 23 เมื่อประเมินความสามารถของกระบวนการจากอัตราส่วนโดยเฉลี่ยของถุงมือยางที่ตรวจพบตำหนิรูรั่วจากถุงมือยางที่สุ่มมาตรวจสอบคุณภาพทั้งหมด พบว่าสายการผลิตต้นแบบมี % Defective เท่ากับ 5.34 สัดส่วนการเกิดตำหนิรูรั่วเท่ากับ 53,378 PPM สามารถประเมินดัชนีค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ($P_{p\ bench}$) ดังแสดงในสมการ ที่ (1) จากค่า Process Z โดยเป็นค่าที่แสดงความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ของข้อมูลแบบนับ (จรัล ทรัพย์เสรี, 2552) พบว่าเท่ากับ 1.6129

$$P_{p\ bench} = 1/3\ (process\ Z) \qquad \text{---------- (1)}$$
$$= 1/3\ (1.6129)$$
$$= 0.54$$

ค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ($P_{p\ bench}$) ที่ได้เท่ากับ 0.54 ถือว่ามีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 1.33 (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544)

2.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยาง

การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเนื่องจากในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมั่นใจในเรื่องความเสถียรของระบบการตรวจวัดที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง แม่นยำและเชื่อถือได้ เนื่องจากผลการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางจะนำไปใช้ในการประเมินระดับคุณภาพ AQLของถุงมือยางที่ผลิตออกมาในแต่ล๊อต ดังนั้นความถูกต้อง แม่นยำของการตรวจสอบจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าวิธีการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางมี 2 วิธีการ คือ การตรวจสอบคุณภาพด้วยสายตา (Visual testing) และการทดสอบการรั่วซึมน้ำ (Water leak testing) โดยผลที่ได้จากการตรวจสอบแสดงออกมาในรูปของข้อมูลแบบนับ (Attribute data) คือ ทำการตรวจสอบและประเมินผลเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะแล้วได้ผลลัพธ์หรือคำตอบออกมาเป็น ผ่าน/ไม่ผ่าน ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางของพนักงานควบคุมคุณภาพจากจำนวน 3 คน แสดงดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ผลการประเมินความแม่นยำและถูกต้องของการตรวจสอบถุงมือยางด้วยสายตา

ดัชนีชี้วัด	พนักงานกะ A	พนักงานกะ B	พนักงานกะ C	พนักงานทั้ง 3 คน
% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ	100 %	100 %	100 %	-
% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ	100 %	100 %	100 %	-
% ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้	-	-	-	100 %
% ประสิทธิผลด้านไบอัส	-	-	-	100 %

ตารางที่ 8 ผลการประเมินความแม่นยำและถูกต้องของการตรวจสอบถุงมือยางด้วยวิธีรั่วซึมน้ำ

ดัชนีชี้วัด	พนักงานกะ A	พนักงานกะ B	พนักงานกะ C	พนักงานทั้ง 3 คน
% รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ	100 %	100 %	100 %	-
% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ	100 %	100 %	100 %	-
% ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้	-	-	-	100 %
% ประสิทธิผลด้านไบอัส	-	-	-	100 %

ผลจากการประเมินดังตารางที่ 7 และ 8 แสดงว่าพนักงานควบคุมคุณภาพทั้ง 3 คน สามารถตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางตัวอย่างทั้งวิธีการตรวจสอบด้วยสายตาและทดสอบการรั่วซึมน้ำได้ถูกต้องและแม่นยำ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลผลการตรวจสอบคุณภาพถุงมือยาง สำหรับที่ใช้ในการประเมินระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยางมีความแม่นยำและเชื่อถือได้

3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ขั้นตอนนี้ทำการระดมความคิดร่วมกับทีมงาน เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ลักษณะและสาเหตุของตำหนิรูรั่วแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นบนถุงมือยาง จากนั้นวิเคราะห์กระบวนการผลิตเพื่อระบุขั้นตอนการผลิตย่อยที่มีผลกระทบและสัมพันธ์กับสาเหตุของการเกิดตำหนิรูรั่ว พร้อมทั้งระบุความผันแปรที่สำคัญของปัจจัยนำเข้าของแต่ละขั้นตอน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกลั่นกรองปัจจัยเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบ จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาวิเคราะห์ต่อโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ หลังจากทราบปัจจัยที่เกี่ยวข้องและกระทบโดยตรงต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางแล้ว จึงทำการแยกปัจจัยออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ประกอบด้วยปัจจัยที่ต้องทำการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ ปัจจัยที่สามารถดำเนินการปรับปรุงได้ทันที และปัจจัยที่ยังไม่พร้อมในการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขผลที่ได้จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ลักษณะของตำหนิรูรั่ว

ตำหนิรูรั่ว (Pinhole defect) ที่เกิดขึ้นบนถุงมือยาง มีลักษณะเป็นรูขนาดเล็กยากต่อการมองเห็นด้วยสายตาเปล่า มีโอกาสเกิดขึ้นได้ทุกตำแหน่งบนถุงมือยาง แต่สามารถตรวจสอบได้โดยวิธีการทดสอบการรั่วซึมด้วยน้ำ (Water leak testing) ถือว่าตำหนิรูรั่วที่เกิดขึ้นบนถุงมือยางเป็นตำหนิหรือข้อบกพร่องหลักที่สำคัญที่สุดที่ถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดมาตรฐานและประเมินระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยาง เนื่องจากเป็นตำหนิที่มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และความปลอดภัยของผู้ใช้งานถุงมือยาง (David, 2008)

ตารางที่ 9 ลักษณะและสาเหตุของรูรั่วแต่ละรูปแบบที่เกิดขึ้นบนถุงมือยาง

รูปแบบ	ตัวอย่างตำหนิรูรั่ว	ลักษณะของตำหนิรูรั่ว	สาเหตุ
A		รูรั่วกลวง วงกลมขนาดเล็ก เกิดขึ้นเพียงจุดเดียว	- ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ - ผิวของเบ้ามือเสื่อมสภาพ
B		จุดวงกลมบางใสขนาดเล็ก ยังไม่เกิดเป็นรูกลวง เกิดขึ้นเพียงจุดเดียว แต่อาจจะเกิดเป็นรูรั่วได้เมื่อทำการทดสอบด้วยลมหรือเติมน้ำ	- ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มสารช่วยจับตัว
C		รูรั่วกลวงขนาดเล็ก ไม่เป็นวงกลม เกิดขึ้นเพียงจุดเดียว	- ผิวของเบ้ามือไม่สะอาด มีคราบสกปรกตกค้าง
D		จุดบางใสขนาดเล็ก ไม่เป็นวงกลม เกิดขึ้นเพียงจุดเดียว ยังไม่เกิดเป็นรูกลวง แต่อาจจะเกิดเป็นรูรั่วได้เมื่อทำการทดสอบด้วยลมหรือเติมน้ำ	- ผิวของเบ้ามือไม่สะอาด มีคราบสกปรกตกค้าง
E		รูกลม กลวงขนาดเล็ก เกิดขึ้นหลายๆ จุดใกล้ๆกัน	- ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ - ผิวของเบ้ามือเสื่อมสภาพ - ผิวของเบ้ามือไม่สะอาด มีคราบสกปรกตกค้าง
F		จุดวงกลมบางใสขนาดเล็ก ยังไม่เกิดเป็นรูกลวง เกิดขึ้นหลายๆจุดใกล้ๆกัน แต่อาจจะเกิดเป็นรูรั่วได้เมื่อทำการทดสอบด้วยลมหรือเติมน้ำ	- ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มสารช่วยจับตัว - ผิวของเบ้ามือเสื่อมสภาพ - ผิวของเบ้ามือไม่สะอาด มีคราบสกปรกตกค้าง

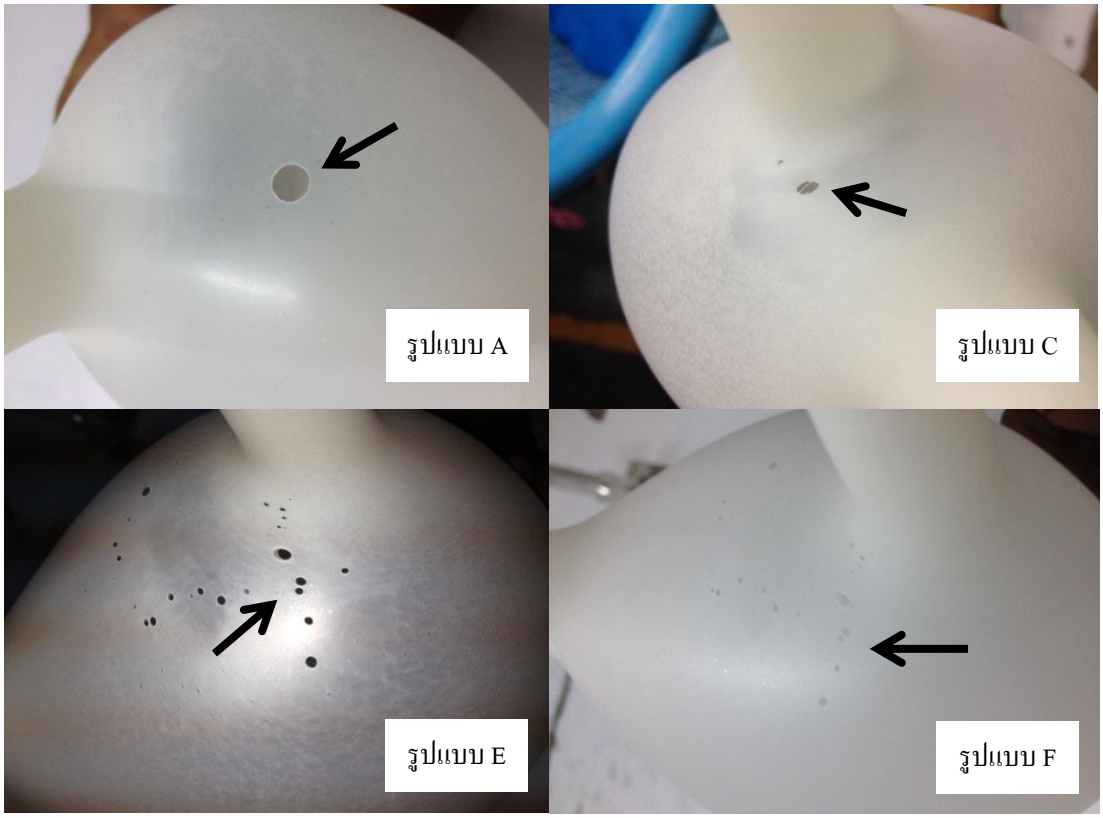
ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลจากการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ลักษณะและสาเหตุของตำหนิรูรั่วแต่ละรูปแบบที่เกิดขึ้นบนถุงมือยาง สรุปได้ว่าลักษณะของตำหนิรูรั่วที่เกิดขึ้นบนถุงมือยางชนิดไม่มีแป้งของโรงงานกรณีศึกษา มีทั้งลักษณะที่เป็นจุดวงกลมและไม่เป็นวงกลม เกิดขึ้นเพียงจุดเดียวและเกิดขึ้นหลายจุดใกล้ๆกัน ทั้งที่เป็นรูกลวงและจุดบางใส แต่จุดบางใสที่เกิดขึ้นมีโอกาสกลายเป็นรูรั่วได้เมื่อทำการตรวจสอบด้วยการเติมลมหรือทดสอบการรั่วซึมด้วยน้ำ ตัวอย่างตำหนิรูรั่วที่เกิดขึ้นบนถุงมือยางแสดงดังภาพที่ 24 โดยตำหนิรูรั่วทั้งหมดที่เกิดขึ้น บนถุงมือยาง มีสาเหตุหลักมาจาก 4 ปัจจัยดังนี้

(1) ผิวของเบ้ามือสึกหรอเสื่อมสภาพ (รูรั่วแบบ A, E และ F)

(2) ผิวของเบ้ามือไม่สะอาดมีสิ่งแปลกปลอมตกค้าง (รูรั่วแบบ C, D, E และ F)

(3) ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มสารช่วยจับตัว (รูรั่วแบบ B และ F)

(4) ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ (รูรั่วแบบ A และ E)



ภาพที่ 24 ตัวอย่างตำหนิรูรั่วที่เกิดขึ้นบนถุงมือยาง

3.2 ขั้นตอนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการเกิดตำหนิรูรั่วของถุงมือยาง

เนื่องจากกระบวนการผลิตถุงมือยางเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ซับซ้อน มีขั้นตอนย่อยในกระบวนการผลิตถึง 19 ขั้นตอน แต่เมื่อพิจารณาสาเหตุหลักของการเกิดตำหนิรูรั่วจากทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้น พบว่ามีเพียง 11 ขั้นตอนเท่านั้นที่สัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับสาเหตุของการเกิดตำหนิรูรั่ว ตั้งแต่ขั้นตอนการติดตั้งเบ้ามือจนถึงขั้นตอนการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

(1) ขั้นตอนการติดตั้งเบ้ามือ (Former installing)
(2) ขั้นตอนการล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรด (Former cleaning by acid)
(3) ขั้นตอนการชะล้างสารละลายกรดบนผิวของเบ้ามือ (Water spray)
(4) ขั้นตอนการล้างเบ้ามือด้วยสารละลายด่าง (Former cleaning by alkaline)
(5) ขั้นตอนการขัดเบ้ามือด้วยชุดแปรงขัด (Brushing)
(6) ขั้นตอนการล้างเบ้ามือด้วยน้ำร้อน (Former cleaning by hot water)
(7) ขั้นตอนการอบเบ้ามือก่อนจุ่มสารช่วยจับตัว (Drying oven)
(8) ขั้นตอนการจุ่มสารช่วยจับตัว (Coagulant dipping)
(9) ขั้นตอนการอบเบ้ามือหลังจุ่มสารช่วยจับตัว (Dehydration oven)
(10) ขั้นตอนการลดอุณหภูมิของเบ้ามือ (Cooling)
(11) ขั้นตอนการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์ (Compound latex dipping)

จาก 11 ขั้นตอนย่อยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางนำไปสู่การระดมความคิดร่วมกับทีมงานเพื่อระบุปัจจัยนำเข้า (Input) ที่สำคัญของแต่ละขั้นตอน จากนั้นวิเคราะห์ตัวแปรหลักที่สำคัญของแต่ละปัจจัยนำเข้า (Key process input variable: KPIV) ของแต่ละขั้นตอน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตัวแปรหลักที่สำคัญของปัจจัยนำเข้า (KPIV) ในแต่ละขั้นตอน

กระบวนการ (Process)	ปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ (Input)	ตัวแปรหลักที่สำคัญของปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable: KPIV)
1. การติดตั้งเบ้ามือ (Former installing)	1.1 เบ้ามือ	1. อายุการใช้งานของเบ้ามือ
		2. ขนาดของเบ้ามือ
		3. สภาพความสมบูรณ์ของผิวเบ้ามือ
		4. จำนวนรอบของการผลิต
		5. ความสะอาดของเบ้ามือ
	1.2 ข้อเหล็กยึดเบ้ามือ	6. อายุการใช้งานของข้อเหล็กยึดเบ้ามือ
		7. ชนิดของข้อเหล็กยึดเบ้ามือ
		8. ความแข็งแรงของข้อเหล็กยึดเบ้ามือ
2. การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรด (Former cleaning by acid)	2.1 เบ้ามือที่ถอดเอาชิ้นถุงมือออกแล้ว	9. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารละลายกรด
	2.2 สารละลายกรด	10. ความเข้มข้นของสารละลายกรด
		11. อุณหภูมิของสารละลายกรด
		12. ความสะอาดของสารละลายกรด
		13. ระดับความสูงของสารละลายกรดในถังจุ่ม
3. การชะล้างสารละลายกรด (Water spray)	3.1 เบ้ามือที่ผ่านการจุ่มสารละลายกรด	14. ความเร็วของเบ้ามือขณะเคลื่อนที่ผ่านชุดน้ำชะล้าง
		15. ความเข้มข้นของสารละลายกรดตกค้างบนผิวเบ้ามือ
	3.2 น้ำชะล้าง	16. ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสบนผิวของเบ้ามือ
		17. อัตราการไหลของน้ำ
		18. ความสะอาดของน้ำ
4. การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายด่าง (Former cleaning by alkaline)	4.1 เบ้ามือที่ผ่านการล้างสารละลายกรด	19. ความเข้มข้นของสารละลายกรดตกค้างบนผิวเบ้ามือ
		20. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารละลายด่าง
	4.2 สารละลายด่าง	21. ความเข้มข้นของสารละลายด่าง
		22. ความสะอาดของสารละลายด่าง
		23. อุณหภูมิของสารละลายด่าง
		24. ระดับความสูงของสารละลายด่างในถังจุ่ม
5. การขัดเบ้ามือด้วยชุดแปรง (Brushing)	5.1 เบ้ามือหลังจากจุ่มสารละลายด่าง	25. ความเร็วของเบ้ามือขณะเคลื่อนที่ผ่านชุดแปรง
		26. ลักษณะการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะผ่านชุดแปรง
	5.2 ชุดลูกกลิ้งแปรงขัด	27. ตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ
		28. ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรง
		29. ความสมบูรณ์ของขนแปรงขัด
		30. ความเร็วรอบของลูกกลิ้งแปรงขัด
	5.3 ชุดสเปรย์น้ำ	31. ความสะอาดของน้ำ
		32. อัตราการไหลของน้ำ
		33. ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ

ตารางที่ 10 (ต่อ)

กระบวนการ (Process)	ปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ (Input)	ตัวแปรหลักที่สำคัญของปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable: KPIV)
6. การล้างเบ้ามือด้วยน้ำร้อน (Hot water)	6.1 เบ้ามือที่ผ่านการขัดด้วยชุดแปรง	34. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มน้ำร้อน
		35. ความเข้มข้นของสารละลายด่างตกค้างบนผิวเบ้ามือ
		36. อัตราการไหลเวียนของน้ำร้อน
	6.2 น้ำร้อน	37. ระดับความสูงของน้ำร้อนในถังจุ่ม
		38. อุณหภูมิของน้ำร้อน
		39. ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำร้อน
7. การอบเบ้ามือก่อนจุ่มสารช่วยจับตัว (Drying oven)	7.1 เบ้ามือที่ผ่านการล้างด้วยน้ำร้อน	40. ความเร็วของเบ้ามือขณะเคลื่อนผ่านตู้อบ
		41. อุณหภูมิของเบ้ามือก่อนเข้าตู้อบ
	7.2 ลมร้อน	42. อุณหภูมิของตู้อบ
8. การจุ่มสารช่วยจับตัว (Coagulant dipping)	8.1 เบ้ามือที่ผ่านการอบแห้ง	43. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว
		44. อุณหภูมิของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว
		45. ทิศทางการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว
		46. ความชื้นบนผิวของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว
	8.2 สารช่วยจับตัว	47. อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว
		48. ระดับความสูงของสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม
		49. ความสะอาดของสารช่วยจับตัว
		50. ความเข้มข้นของสาร DCA
		51. ความเข้มข้นของสารแคลเซียมไนเตรท
		52. ค่าความเป็นกรดด่างของสารช่วยจับตัว
		53. แรงตึงผิวของสารช่วยจับตัว
	8.3 ชุดใบพัดกวนผสม	54. ความเร็วรอบของใบพัด
		55. ทิศทางการหมุนของใบพัด
		56. ตำแหน่งของใบพัดกวน
		57. ขนาดของท่อเป่า
9. การอบเบ้ามือหลังจุ่มสารช่วยจับตัว (Dehydration Oven)	9.1 เบ้ามือที่ผ่านการจุ่มสารช่วยจับตัว	58. ความเร็วของเบ้ามือขณะผ่านตู้อบ
		59. อุณหภูมิของเบ้ามือก่อนเข้าตู้อบ
	9.2 ลมร้อน	60. อุณหภูมิของตู้อบ
10. การลดอุณหภูมิของเบ้ามือ (Cooling)	10.1 เบ้ามือที่จุ่มสารช่วยจับตัวแล้ว	61. ความเร็วของเบ้ามือขณะผ่านชุดระบายความร้อน
		62. อุณหภูมิของเบ้ามือก่อนเข้าชุดระบายความร้อน
	10.2 พัดลม	63. ทิศทางการเคลื่อนที่ของลม
		64. จำนวนของพัดลมระบายอากาศ
		65. ความเร็วรอบของพัดลมระบายอากาศ

ตารางที่ 10 (ต่อ)

กระบวนการ (Process)	ปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ (Input)	ตัวแปรหลักที่สำคัญของปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable: KPIV)
11. การจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	11.1 เบ้ามือที่ผ่านชุดระบายความร้อน	66. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มน้ำยางคอมปาวด์
		67. อุณหภูมิของเบ้ามือขณะจุ่มน้ำยางคอมปาวด์
		68. ทิศทางเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะจุ่มน้ำยางคอมปาวด์
		69. ความชื้นของเบ้ามือก่อนจุ่มน้ำยางคอมปาวด์
	11.2 น้ำยางคอมปาวด์	70. อุณหภูมิของน้ำยางคอมปาวด์
		71. ระยะเวลาในการบ่มน้ำยางคอมปาวด์
		72. ความสะอาดของน้ำยางคอมปาวด์
		73. ปริมาณสารตัวเติมในน้ำยางคอมปาวด์
		74. ค่า TSC ของน้ำยางคอมปาวด์
		75. ค่า DRC ของน้ำยางคอมปาวด์
		76. ค่า CTR ของน้ำยางคอมปาวด์
		77. ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำยางคอมปาวด์
		78. ค่า MST ของน้ำยางคอมปาวด์
		79. ค่าความหนืดของน้ำยางคอมปาวด์
		80. ปริมาณสบู่ลอเรตในน้ำยางคอมปาวด์
		81. ความเข้มข้นของแอมโนเนียในน้ำยางคอมปาวด์
		82. ระดับความสูงของน้ำยางคอมปาวด์ในถังจุ่ม
		83. อัตราการไหลเวียนของน้ำยางคอมปาวด์
		84. แรงตึงผิวของน้ำยางคอมปาวด์
	11.3 ชุดใบพัดระบบกวน	85. ขนาดของใบพัด
		86. ความเร็วรอบของใบพัด
		87. ทิศทางการหมุนของใบพัด
		88. ตำแหน่งของใบพัดกวน

3.3 การวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบ

จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนย่อยทั้ง 11 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตถุงมือยางที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุการเกิดตำหนิรูรั่ว พบว่ามีตัวแปรหลักที่สำคัญของปัจจัยนำเข้า (KPIV) ทั้งหมด 88 ปัจจัย โดยบาง KPIV อาจไม่ได้มีผลกระทบหลักโดยตรงต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง จึงนำ KPIV ทั้งหมดไปวิเคราะห์ต่อโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบ (Cause and effect matrix analysis: C&E matrix) เพื่อกลั่นกรอง KPIV เบื้องต้นที่มีความสัมพันธ์กับสาเหตุหลักของการเกิดตำหนิรูรั่ว ผลจากการระดมความคิดร่วมกับทีมงานเพื่อกำหนดระดับคะแนนความสำคัญ โดยพิจารณาจากโอกาสในการเกิดขึ้นของแต่ละสาเหตุมีรายละเอียดดังนี้

(1) ผิวของเบ้ามือไม่สะอาดมีสิ่งสกปรกตกค้าง
มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด (4 คะแนน)
(2) ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มสารช่วยจับตัว
มีโอกาสเกิดขึ้นมาก (3 คะแนน)
(3) ผิวของเบ้ามือสึกหรอเสื่อมสภาพ
มีโอกาสเกิดขึ้นปานกลาง (2 คะแนน)
(4) ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์
มีโอกาสเกิดขึ้นน้อย (1 คะแนน)

พร้อมทั้งระดมความคิดร่วมกับทีมงานเพื่อกำหนดระดับคะแนนความสัมพันธ์ในการประเมินตามหลักการของวิธี Weighted sum (สุรัส ตั้งไพฑูรย์, 2554) โดยกำหนดระดับคะแนนการประเมินดังนี้ ระดับความสัมพันธ์น้อยมากหรือแทบไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (1 คะแนน) ระดับความสัมพันธ์น้อย (3 คะแนน) ระดับความสัมพันธ์ปานกลาง (5 คะแนน) ระดับความสัมพันธ์มาก (7 คะแนน) และระดับความสัมพันธ์มากที่สุด (10 คะแนน)

ผลจากการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบของแต่ละ KPIV กับสาเหตุหลักของการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางทั้ง 4 สาเหตุ แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบของการเกิดตำหนิรูรั่ว

	คะแนนความสำคัญ	4	2	3	1	
ลำดับ	KPIV	ผิวของเบ้ามือไม่สะอาดมีสิ่งสกปรกตกค้าง	ผิวของเบ้ามือสึกหรอเสื่อมสภาพ	ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มสารช่วยยึดตัว	ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	คะแนนรวม
1	อายุการใช้งานของเบ้ามือ	7	9	0	0	46
2	ขนาดของเบ้ามือ	3	0	0	0	12
3	สภาพความสมบูรณ์ของผิวเบ้ามือ	5	9	0	0	38
4	จำนวนรอบของการผลิต	9	5	0	0	46
5	ความสะอาดของเบ้ามือ	9	0	0	0	36
6	อายุการใช้งานของข้อเหล็กยึดเบ้ามือ	1	0	7	7	32
7	ชนิดของข้อเหล็กเบ้ามือ	0	0	1	1	4
8	ความแข็งแรงของข้อเหล็กยึดเบ้ามือ	1	0	9	9	40
9	ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารละลายกรด	9	3	0	0	42
10	ความเข้มข้นของสารละลายกรด	9	9	0	0	54
11	อุณหภูมิของสารละลายกรด	7	5	0	0	38
12	ความสะอาดของสารละลายกรด	7	3	0	0	34
13	ระดับความสูงของสารละลายกรดในถังจุ่ม	9	0	0	0	36
14	ความเร็วของเบ้ามือขณะเคลื่อนที่ผ่านชุดน้ำชะล้าง	9	0	0	0	36
15	ความเข้มข้นของสารละลายกรดตกค้างบนผิวเบ้ามือ	3	0	0	0	12
16	ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสบนผิวของเบ้ามือ	9	0	0	0	36
17	อัตราการไหลของน้ำ	9	0	0	0	36
18	ความสะอาดของน้ำ	3	0	0	0	12
19	ความเข้มข้นของสารละลายกรดตกค้างบนผิวเบ้ามือ	3	1	0	0	14
20	ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารละลายด่าง	9	1	0	0	38
21	ความเข้มข้นของสารละลายด่าง	9	3	0	0	42
22	ความสะอาดของสารละลายด่าง	9	1	0	0	38
23	อุณหภูมิของสารละลายด่าง	7	0	0	0	28
24	ระดับความสูงของสารละลายด่างในถังจุ่ม	9	0	0	0	36
25	ความเร็วของเบ้ามือขณะเคลื่อนที่ผ่านชุดแปรง	9	1	0	0	38

ตารางที่ 11 (ต่อ)

	คะแนนความสำคัญ	4	2	3	1	
ลำดับ	KPIV	ผิวของเบ้ามือไม่สะอาดมีสิ่งสกปรกตกค้าง	ผิวของเบ้ามือสึกหรอเสื่อมสภาพ	ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มสารช่วยจับตัว	ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	คะแนนรวม
26	ลักษณะการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะชุดแปรง	9	1	0	0	38
27	ตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ	5	1	0	0	22
28	ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรง	9	0	0	0	36
29	ความสมบูรณ์ของขนแปรงขัด	9	0	0	0	36
30	ความเร็วรอบของลูกกลิ้งแปรงขัด	9	1	0	0	38
31	ความสะอาดของน้ำ	3	0	0	0	12
32	อัตราการไหลของน้ำ	7	0	0	0	28
33	ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ	9	0	0	0	36
34	ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มน้ำร้อน	7	0	0	0	28
35	ความเข้มข้นของสารละลายด่างตกค้างบนผิวเบ้ามือ	3	0	0	0	12
36	อัตราการไหลเวียนของน้ำร้อน	3	0	0	0	4
37	ระดับความสูงของน้ำร้อนในถังจุ่ม	7	0	0	0	28
38	อุณหภูมิของน้ำร้อน	7	1	0	0	30
39	ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำร้อน	3	0	0	0	12
40	ความเร็วของเบ้ามือขณะเคลื่อนผ่านตู้อบ	1	1	0	0	6
41	อุณหภูมิของเบ้ามือก่อนเข้าตู้อบ	1	1	0	0	6
42	อุณหภูมิของตู้อบ	3	0	0	0	12
43	ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว	0	0	9	0	27
44	อุณหภูมิของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว	0	0	9	0	27
45	ทิศทางการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว	0	0	9	0	27
46	ความชื้นบนผิวเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว	0	0	3	0	9
47	อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว	0	0	9	0	27
48	ระดับความสูงของสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม	0	0	9	0	27
49	ความสะอาดของสารช่วยจับตัว	0	0	1	0	3
50	ความเข้มข้นของสาร DCA	0	0	5	0	15

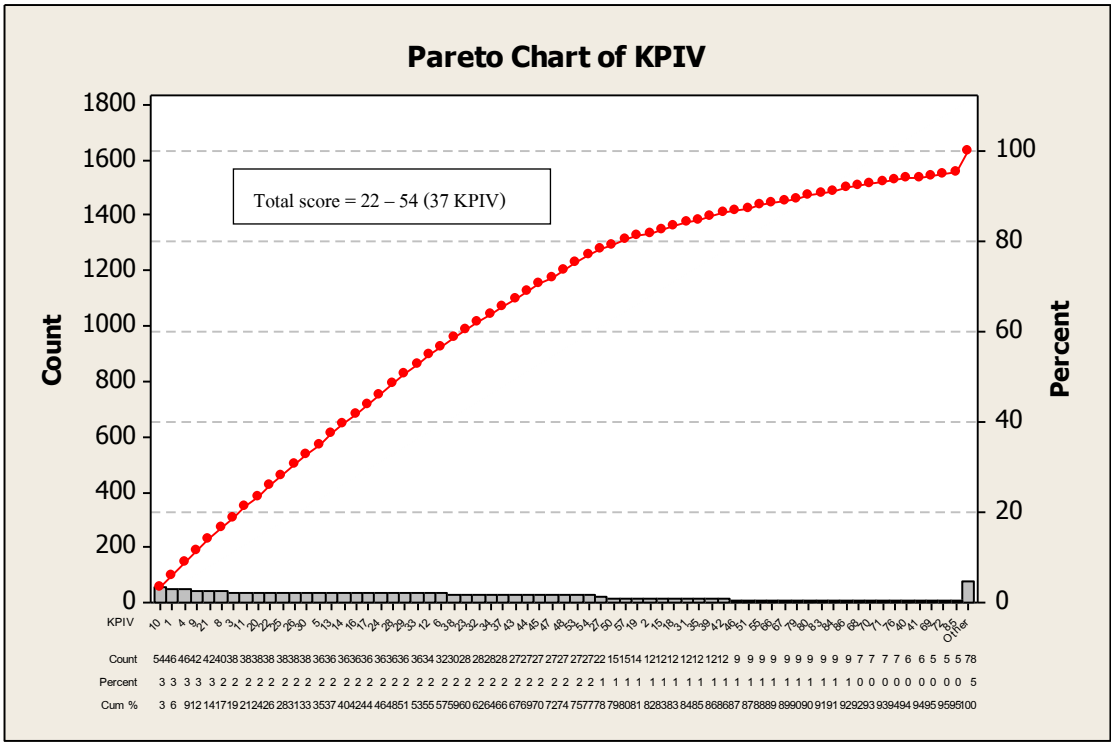
ตารางที่ 11 (ต่อ)

	คะแนนความสำคัญ	4	2	3	1	
ลำดับ	KPIV	ผิวของเบ้ามือไม่สะอาดมีสิ่งสกปรกตกค้าง	ผิวของเบ้ามือสึกหรอเสื่อมสภาพ	ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มสารช่วยจับตัว	ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	คะแนนรวม
51	ความเข้มข้นของสารแคลเซียมไนเตรท	0	0	3	0	9
52	ค่าความเป็นกรดด่างของสารช่วยจับตัว	0	0	1	0	3
53	แรงตึงผิวของสารช่วยจับตัว	0	0	9	0	27
54	ความเร็วรอบของใบพัด	0	0	9	0	27
55	ทิศทางการหมุนของใบพัด	0	0	3	0	9
56	ตำแหน่งของใบพัดกวน	0	0	1	0	3
57	ขนาดของท่อเป่า	0	0	5	0	15
58	ความเร็วของเบ้ามือขณะผ่านตู้อบ	1	0	0	0	4
59	อุณหภูมิของเบ้ามือก่อนเข้าตู้อบ	1	0	0	0	4
60	อุณหภูมิของตู้อบ	1	0	0	0	4
61	ความเร็วของเบ้ามือขณะผ่านชุดระบายความร้อน	1	0	0	0	4
62	อุณหภูมิของเบ้ามือก่อนเข้าชุดระบายความร้อน	1	0	0	0	4
63	ทิศทางการเคลื่อนที่ของลม	1	0	0	0	4
64	จำนวนของพัดลมระบายอากาศ	1	0	0	0	4
65	ความเร็วรอบของพัดลมระบายอากาศ	1	0	0	0	4
66	ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	9	9
67	อุณหภูมิของเบ้ามือขณะจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	9	9
68	ทิศทางเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	7	7
69	ความชื้นของเบ้ามือก่อนจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	5	5
70	อุณหภูมิของน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	7	7
71	ระยะเวลาในการบ่มน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	7	7
72	ความสะอาดของน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	5	5
73	ปริมาณสารตัวเติมในน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	3	3
74	ค่า TSC ของน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	3	3
75	ค่า DRC ของน้ำยางคอมปาวด์	0	0	0	3	3

ตารางที่ 11 (ต่อ)

		คะแนนความสำคัญ	4	2	3	1	
ลำดับ	KPIV		ผิวของเข้ามือไม่สะอาดมีสิ่งสกปรกตกค้าง	ผิวของเข้ามือสึกหรอเสื่อมสภาพ	ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มสารช่วยจับตัว	ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการจุ่มน้ำยางคอมปาวด์	คะแนนรวม
76	ค่า CTR ของน้ำยางคอมปาวด์		0	0	0	7	7
77	ค่าความเป็นกรดด่างของน้ำยางคอมปาวด์		0	0	0	3	3
78	ค่า MST ของน้ำยางคอมปาวด์		0	0	0	3	3
79	ค่าความหนืดของน้ำยางคอมปาวด์		0	0	0	9	9
80	ปริมาณสบู่ลอเรตในน้ำยางคอมปาวด์		0	0	0	9	9
81	ความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำยางคอมปาวด์		0	0	0	3	3
82	ระดับความสูงของน้ำยางคอมปาวด์ในถังจุ่ม		0	0	0	3	3
83	อัตราการไหลเวียนของน้ำยางคอมปาวด์		0	0	0	9	9
84	แรงตึงผิวของน้ำยางคอมปาวด์		0	0	0	9	9
85	ขนาดของใบพัด		0	0	0	5	5
86	ความเร็วรอบของใบพัด		0	0	0	9	9
87	ทิศทางการหมุนของใบพัด		0	0	0	5	5
88	ตำแหน่งของใบพัดกวน		0	0	0	3	3

จากนั้นนำคะแนนรวมของแต่ละ KPIV ในตารางที่ 11 ไปสร้างเป็นแผนผังพาเรโต เพื่อกลั่นกรองและคัดเลือก KPIV เบื้องต้นที่สัมพันธ์กับการเกิดตำหนิรูรั่ว และอยู่ในสัดส่วนร้อยละ 80 ของ KPIV ทั้งหมด ผลจากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังพาเรโต (ภาพที่ 25) พบว่ามี KPIV เพียง 37 ปัจจัยเท่านั้น ที่อยู่ในสัดส่วนร้อยละ 80 แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าทุก KPIV มีผลกระทบหลักโดยตรงกับการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง จากความผิดพลาดหรือความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตถุงมือยาง จึง KPIV ทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ต่อด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis: FMEA)



ภาพที่ 25 แผนผังพาเรโตแสดงคะแนนรวมของ KPIV จากการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบ

3.4 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

ผลจากการกลั่นกรอง KPIV ด้วยการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบ พบว่ามี KPIV เพียง 37 ปัจจัยเท่านั้นที่สัมพันธ์กับการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง จึงนำ KPIV ทั้งหมด มาวิเคราะห์ต่อด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis: FMEA) การวิเคราะห์ด้วยวิธีการดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์ถึงความผิดพลาดหรือการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้าของแต่ละขั้นตอนที่สามารถเกิดขึ้นได้ สาเหตุที่ก่อให้เกิดความผิดพลาด ผลกระทบจากความผิดพลาดและความรุนแรงของความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น จากนั้นทำการประเมินโดยการให้คะแนนและแสดงผลการวิเคราะห์ของแต่ละ KPIV ออกมาเป็นค่า RPN ผลจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของแต่ละ KPIV แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

กระบวนการ	ตัวแปรสำคัญของปัจจัยนำเข้า	ความผิดพลาดของตัวแปรที่สามารถเกิดขึ้นได้	ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาด	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	ระบบการควบคุมความผิดพลาดในปัจจุบัน	S	O	D	RPN
1.การติดตั้งเบ้ามือ (Former installing)	1. อายุการใช้งานของเบ้ามือ	เบ้ามือเก่าและผ่านการใช้งานในการผลิตมานาน	ผิวของเบ้ามือเสื่อมสภาพ ประสิทธิภาพการเปียกผิวลดลง	สารเคมีที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเบ้ามือ (Coating glaze) เสื่อมสภาพ	กำหนดอายุของเบ้ามือที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิต	10	7	7	490
	2. สภาพความสมบูรณ์ของผิวเบ้ามือ	ผิวของเบ้ามือเกิดการสึกหรอและเสื่อมสภาพ	คราบสกปรกเกาะติดที่ผิวของเบ้ามือได้ง่ายขึ้น ประสิทธิภาพการเปียกผิวของเบ้ามือลดลง	เบ้ามือถูกกัดกร่อนด้วยสารเคมีและผ่านการใช้งานมานาน	สุ่มตรวจเช็คความสมบูรณ์ของเบ้ามือก่อนการติดตั้ง	10	3	3	90
	3. จำนวนรอบของการผลิต	จำนวนรอบใช้งานเบ้ามือในการผลิตเพิ่มมากขึ้น	ผิวของเบ้ามือมีคราบสิ่งสกปรกตกค้างสะสมเพิ่มมากขึ้น	การล้างทำความสะอาดยังไม่มีประสิทธิภาพ	เปลี่ยนเบ้ามือออกเมื่อครบกำหนดรอบตามแผนการผลิต	10	10	5	500
	4. ความสะอาดของเบ้ามือ	เบ้ามือที่นำมาติดตั้งก่อนการผลิตไม่สะอาด	ผิวของเบ้ามือมีคราบสิ่งสกปรกหรือสารเคมีตกค้าง	พนักงานล้างทำความสะอาดเบ้ามือไม่สะอาด	ตรวจสอบคุณภาพเบ้ามือทุกชิ้นก่อนนำมาติดตั้ง	10	3	3	90
	5. อายุการใช้งานของข้อเหล็กยึดเบ้ามือ	ข้อเหล็กยึดเบ้ามือเสื่อมสภาพและสึกหรอ	เบ้ามือเกิดการแกว่งและส่ายไปมาขณะเดินสายการผลิต	ข้อเหล็กยึดเบ้ามือผ่านการใช้งานในสายการผลิตมานาน	ตรวจเช็คความแข็งแรงของข้อเหล็กยึดก่อนการติดตั้งเบ้ามือ	10	3	3	90
	6. ความแข็งแรงของข้อเหล็กยึดเบ้ามือ	ข้อเหล็กยึดเบ้ามือไม่แข็งแรง	เบ้ามือเกิดการแกว่งและส่ายไปมาขณะเดินสายการผลิต	ข้อเหล็กยึดเบ้ามือเสื่อมสภาพเนื่องจากผ่านการใช้งานมานาน	ตรวจเช็คความแข็งแรงของข้อเหล็กยึดก่อนการติดตั้งเบ้ามือ	5	7	3	105
2.การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรด (Former cleaning by acid)	7. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารละลายกรด	เบ้ามือเคลื่อนที่เร็วหรือช้าเกินไปขณะจุ่มลงในถังสารละลายกรด	การชะล้างสิ่งสกปรกและสารเคมีที่เกาะอยู่บนผิวของเบ้ามือไม่ดี เบ้ามือมีคราบสิ่งสกปรกตกค้าง	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเบ้ามือไม่เหมาะสม	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของสายการผลิต	10	3	3	90
	8. ความเข้มข้นของสารละลายกรด	สารละลายกรดมีความเข้มข้นสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด	การชะล้างสิ่งสกปรกและสารเคมีที่เกาะอยู่บนผิวของเบ้ามือไม่ดี ผิวของเบ้ามือถูกกัดกร่อน	ความเข้มข้นของสารละลายกรดไม่ได้ตามข้อกำหนด	สุ่มตรวจเช็คความเข้มของสารละลายกรดทุกๆ 4 ชั่วโมง	10	5	3	105

ตารางที่ 12 (ต่อ)

กระบวนการ	ตัวแปรสำคัญของปัจจัยนำเข้า	ความผิดพลาดของตัวแปรที่สามารถเกิดขึ้นได้	ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาด	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	ระบบการควบคุมความผิดพลาดในปัจจุบัน	S	O	D	RPN
2.การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรด (Former cleaning by acid)	9. อุณหภูมิของสารละลายกรด	สารละลายกรดมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด	การชะล้างสิ่งสกปรกและสารเคมีที่เกาะอยู่บนผิวของเบ้ามือไม่ดี ผิวของเบ้ามือถูกกัดกร่อน	อุณหภูมิของสารละลายกรดไม่ได้ตามข้อกำหนด การควบคุมวาล์วจ่ายสตีมผิดพลาด	ตรวจเช็คอุณหภูมิของสารละลายกรดทุกๆ 1 ชั่วโมง	10	7	1	70
	10. ความสะอาดของสารละลายกรด	สารละลายกรดไม่สะอาด มีคราบตะกอนสารเคมีสะสมเพิ่มขึ้น	ประสิทธิภาพการชะล้างคราบสกปรกและสารเคมีลดลง	สารละลายกรดผ่านการใช้งานมานาน ไม่มีการเปลี่ยนถ่าย	ตรวจสอบความขุ่นของสารละลายกรดด้วยสายตา	10	3	3	90
	11. ระดับความสูงของสารละลายกรดในถังจุ่ม	ระดับของสารละลายกรดสูงกว่าระดับของสารช่วยจับตัวที่เคลือบอยู่บนผิวของเบ้ามือ	ผิวของเบ้ามือถูกกัดกร่อน ส่งผลให้รอบการใช้งานของเบ้ามือลดลง	เปิดวาล์วจ่ายสารละลายกรดลงถังจุ่มมากเกินไป	ควบคุมโดยแผ่นกั้นลดระดับในอ่างสารละลายกรด	7	3	1	21
3.การชะล้างสารละลายกรด (Water spray)	12. ความเร็วของเบ้ามือขณะเคลื่อนที่ผ่านชุดน้ำชะล้าง	เบ้ามือเคลื่อนที่เร็วหรือช้าเกินไปขณะเคลื่อนที่ผ่านชุดน้ำชะช้างสารละลายกรด	การฉีดน้ำชะล้างคราบสารละลายกรดบนผิวของเบ้ามือไม่ทั่วถึง	เบ้ามือเคลื่อนที่เร็วเกินไป	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของสายการผลิต	7	3	3	63
	13. ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสบนผิวของเบ้ามือ	น้ำชะล้างสัมผัสกับผิวของเบ้ามือไม่ทั่วถึง	เกิดการตกค้างของสารละลายกรดบนผิวของเบ้ามือ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและเจือจางความเข้มข้นของสารละลายด่าง	ตำแหน่งการสัมผัสของการฉีดน้ำชะล้างบนผิวของเบ้ามือยังไม่เหมาะสม	ไม่มีการตรวจเช็คในปัจจุบัน	7	7	10	490
	14. อัตราการไหลของน้ำชะล้างสารละลายกรด	น้ำไหลไม่แรงพอที่จะฉีดชะล้างคราบสารละลายกรดออกจากผิวของเบ้ามือ	เกิดการตกค้างของสารละลายกรดบนผิวของเบ้ามือ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงและเจือจางความเข้มข้นของสารละลายด่าง	เปิดวาล์วจ่ายน้ำชะล้างน้อยเกินไปและเกิดการอุดตันของรูท่อน้ำ	ไม่มีการตรวจเช็คในปัจจุบัน	7	5	10	350

ตารางที่ 12 (ต่อ)

กระบวนการ	ตัวแปรสำคัญของปัจจัยนำเข้า	ความผิดพลาดของตัวแปรที่สามารถเกิดขึ้นได้	ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาด	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	ระบบการควบคุมความผิดพลาดในปัจจุบัน	S	O	D	RPN
4.การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายด่าง (Former cleaning by alkaline)	15. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารละลายด่าง	เบ้ามือเคลื่อนที่เร็วหรือช้าเกินไปขณะจุ่มลงในถังสารละลายด่าง	การชะล้างสิ่งสกปรกและสารเคมีที่เกาะอยู่บนผิวของเบ้ามือไม่ดี	เบ้ามือเคลื่อนที่เร็วเกินไป	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของสายการผลิต	10	3	3	90
	16. ความเข้มข้นของสารละลายด่าง	สารละลายด่างมีความเข้มข้นต่ำหรือสูงกว่าค่าที่กำหนด	คราบสิ่งสกปรกตกค้างบนผิวเบ้ามือ ค่ากรดด่างบนผิวเบ้ามือไม่เป็นกลาง ชุดแปรงขัดทำความสะอาดคราบสกปรกยาก	ความเข้มข้นของสารละลายด่างเกิดการเปลี่ยนแปลงขณะใช้งานและการเตรียมสารละลายด่างผิดพลาด	ตรวจเช็คเปอร์เซ็นต์สารละลายด่างทุกๆ 4 ชั่วโมง	10	5	3	150
	17. ความสะอาดของสารละลายด่าง	สารละลายด่างไม่สะอาด มีคราบสกปรกและสารเคมีสะสมเพิ่มขึ้น	เกิดการตกค้างของคราบสิ่งสกปรกบนเบ้ามือประสิทธิภาพการชะล้างคราบสกปรกลดลง	รอบเวลาการใช้สารละลายด่างเพิ่มขึ้น ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายสารละลายด่าง	มีรอบการเปลี่ยนถ่ายสารละลายด่างทุกๆ 5 วัน	10	7	5	350
	18. อุณหภูมิของสารละลายด่าง	สารละลายด่างมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปเกินไป	คราบสกปรกและสารเคมีตกค้างบนผิวของเบ้ามือ ค่าความเป็นกรดด่างของเบ้ามือไม่เหมาะสม	เบ้ามือมีอุณหภูมิสูงขณะจุ่มสารละลายด่าง	ตรวจเช็คอุณหภูมิของสารละลายกรดทุกๆ 1 ชั่วโมง	5	5	3	75
	19. ระดับความสูงของสารละลายด่างในถังจุ่ม	ระดับของสารละลายด่างสูงหรือต่ำกว่ากว่าระดับของสารละลายกรดที่เคลือบอยู่บนผิวของเบ้ามือ	คราบสารละลายกรดตกค้างบนผิวของเบ้ามือ ค่าความเป็นกรดด่างของเบ้ามือไม่เหมาะสม	เปิดวาล์วจ่ายสารละลายด่างลงถังจุ่มมากหรือน้อยเกินไป	ควบคุมโดยแผ่นกั้นลดระดับในอ่างสารละลายด่าง	7	3	1	21
5.การขัดทำความสะอาดเบ้ามือด้วยชุดแปรง (Brushing)	20. ความเร็วของเบ้ามือขณะเคลื่อนที่ผ่านเข้าชุดแปรงขัด	เบ้ามือเคลื่อนที่เร็วหรือช้าเกินไปขณะผ่านชุดแปรงขัด	ประสิทธิภาพในการขัดทำความสะอาดคราบสกปรกบนผิวของเบ้ามือไม่ดี คราบสกปรกตกค้าง	การวางตำแหน่งของชุดแปรงขัดยังไม่เหมาะสม	ไม่มีการตรวจเช็คในปัจจุบัน	10	7	10	700

ตารางที่ 12 (ต่อ)

กระบวนการ	ตัวแปรสำคัญของปัจจัยนำเข้า	ความผิดพลาดของตัวแปรที่สามารถเกิดขึ้นได้	ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาด	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	ระบบการควบคุมความผิดพลาดในปัจจุบัน	S	O	D	RPN
5.การขัดทำความสะอาดเบ้ามือด้วยชุดแปรง (Brushing)	21. ลักษณะการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะผ่านชุดแปรงขัด	เบ้ามือไม่หมุนขณะเคลื่อนที่ผ่านชุดแปรงขัด	การขัดทำความสะอาดคราบสารเคมีและสิ่งสกปรกบนผิวของเบ้ามือทำได้ไม่ทั่วถึง	ข้อเหล็กยึดเบ้ามือสึกหรอและลูกกลิ้งแปรงกดแน่นกับเบ้ามือทำให้เบ้ามือไม่หมุน	ไม่มีการตรวจเช็คในปัจจุบัน	10	5	10	500
	22. ตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ	การสัมผัสของขนแปรงกับผิวของเบ้ามือไม่ทั่วถึงมีช่องว่างมากเกินไป	เกิดการตกค้างของสิ่งสกปรกบนผิวของเบ้ามือและง่ามนิ้ว	การวางตำแหน่งของชุดแปรงขัดยังไม่เหมาะสม	ไม่มีการตรวจเช็คในปัจจุบัน	10	7	10	700
	23. ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรง	ลูกกลิ้งแปรงแต่ละตัวมีทิศทางการหมุนไม่สัมพันธ์กับการขัดทำความสะอาด	เกิดการตกค้างของสิ่งสกปรกบนผิวของเบ้ามือและง่ามนิ้ว	การออกแบบทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรงไม่เหมาะสม	ไม่มีการตรวจเช็คในปัจจุบัน	7	7	10	490
	24. ความสมบูรณ์ของแปรงขัด	ขนแปรงสึกหรอไม่พร้อมใช้งาน	เกิดการตกค้างของสิ่งสกปรกบนผิวของเบ้ามือและง่ามนิ้ว	ชุดลูกกลิ้งแปรงผ่านการใช้งานมานาน	ตรวจเช็คและแจ้งช่างเปลี่ยนใหม่เมื่อสึกหรอ	10	3	1	30
	25. ความเร็วรอบของชุดลูกกลิ้งแปรง	ลูกกลิ้งแปรงแต่ละตัวมีความเร็วรอบที่ไม่ต่ำ	การขัดทำความสะอาดคราบสารเคมีและสิ่งสกปรกบนผิวของเบ้ามือไม่ดีเท่าที่ควร	การติดตั้งโซ่ขับลูกกลิ้งแปรงและความเร็วรอบมอเตอร์ไม่เหมาะสม	ความเร็วรอบของลูกกลิ้งแปรงขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของมอเตอร์	7	5	3	105
	26. อัตราการไหลของน้ำชะล้าง	น้ำชะล้างไหลไม่แรงพอที่จะฉีดทำล้างคราบสกปรกบนผิวเบ้ามือ	เกิดการตกค้างของสิ่งสกปรกบนผิวของเบ้ามือ	เปิดวาล์วจ่ายน้ำชะล้างน้อยเกินไป	ควบคุมโดยการรี่วาล์วจ่ายน้ำ	5	5	3	75
	27. ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ	น้ำฉีดชะล้างคราบสกปรกไม่ได้สัมผัสโดยตรงบนผิวเบ้ามือ	การชะล้างคราบสารเคมีและสิ่งสกปรกบนผิวของเบ้ามือไม่ดี	การติดตั้งชุดน้ำสเปรย์อยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม	ไม่มีการตรวจสอบและแก้ไข	7	7	10	490

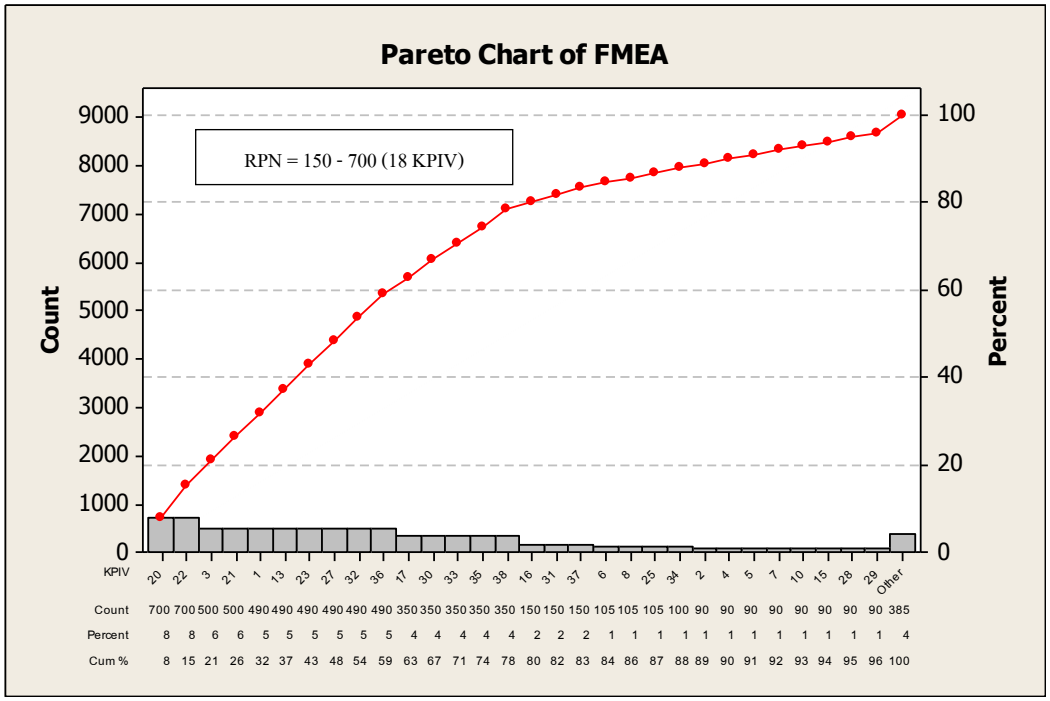
ตารางที่ 12 (ต่อ)

กระบวนการ	ตัวแปรสำคัญของปัจจัยนำเข้า	ความผิดพลาดของตัวแปรที่สามารถเกิดขึ้นได้	ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาด	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	ระบบการควบคุมความผิดพลาดในปัจจุบัน	S	O	D	RPN
6.การล้างเบ้ามือด้วยน้ำร้อน (Hot water)	28. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มลงในน้ำร้อน	เบ้ามือเคลื่อนที่เร็วหรือช้าเกินไปขณะผ่านถังน้ำร้อน	การล้างคราบสกปรกและสารเคมีบนผิวเบ้ามือไม่ดี อุณหภูมิของเบ้ามือไม่เหมาะสม	ความเร็วของสายการผลิตเร็วหรือช้าเกินไป	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของสายการผลิต	10	3	3	90
	29. ระดับความสูงของน้ำร้อนในถังจุ่ม	ระดับของน้ำร้อนต่ำกว่าระดับของสารละลายด่างบนผิวของเบ้ามือ	เกิดการตกค้างของสารละลายด่างและคราบสกปรกบนผิวเบ้ามือ	เปิดวาล์วจ่ายน้ำเข้าถังน้ำร้อนน้อยเกินไป	ใช้การริ่วาล์วจ่ายน้ำร้อน	10	3	3	90
	30. อุณหภูมิของน้ำร้อน	น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด	อุณหภูมิของเบ้ามือไม่เหมาะสม	เปิดไอน้ำเข้าคอยล์ระบบทำความร้อนมากเกินไป	ตรวจเช็คทุกๆ 1 ชั่วโมง	10	7	5	350
7.การจุ่มสารช่วยจับตัว (Coagulant dipping)	31. ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว	เบ้ามือเคลื่อนที่เร็วเกินไปขณะจุ่มสารช่วยจับตัว	มีฟองอากาศเกิดขึ้นในถังสารช่วยจับตัวขณะเบ้ามือเคลื่อนที่ผ่าน	มีการกำหนดความเร็วของสายการผลิตที่เร็วเกินไป	ความเร็วของเบ้ามือขึ้นอยู่กับความเร็วของสายการผลิต	10	3	5	150
	32. อุณหภูมิของเบ้ามือก่อนจุ่มสารช่วยจับตัว	เบ้ามือมีอุณหภูมิสูงเกินไปก่อนจุ่มลงสารช่วยจับตัว	เกิดการเปลี่ยนถ่ายความร้อนระหว่างเบ้ามือกับสารสารช่วยจับตัวทำให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น	อุณหภูมิของตู้อบ 1 สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้	มีการสุ่มตรวจเช็คเป็นครั้งคราว	10	7	7	490
	33. ทิศทางการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว	เบ้ามือเกิดการหมุน แกว่งและส่ายไปมา ขณะจุ่มลงในสารช่วยจับตัว	มีฟองอากาศเกิดขึ้นในสารช่วยจับตัว ขณะเบ้ามือเคลื่อนที่ผ่าน	ไม่สามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว	ติดตั้งอุปกรณ์บังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของเบ้ามือ	10	10	1	100
	34. อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว	สารช่วยจับตัวมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้	เกิดฟองอากาศในสารช่วยจับตัว	ระบบควบคุมอุณหภูมิผิดปกติ	ตรวจเช็คทุกๆ 1 ชั่วโมง	10	7	5	350

ตารางที่ 12 (ต่อ)

กระบวนการ	ตัวแปรสำคัญของปัจจัยนำเข้า	ความผิดพลาดของตัวแปรที่สามารถเกิดขึ้นได้	ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาด	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	ระบบการควบคุมความผิดพลาดในปัจจุบัน	S	O	D	RPN
7.การจุ่มสารช่วยจับตัว (Coagulant dipping)	35. ระดับความสูงของสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม	ระดับของสารช่วยจับตัวเท่ากันตลอดทั้งถังจุ่ม	เกิดการไหลย้อนของฟองอากาศที่เกิดขึ้นบนผิวของสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม	ระดับของสารช่วยจับตัวในถังจุ่มเท่ากัน ทำให้ไม่เกิดการไหลเวียนของสารช่วยจับตัว	ควบคุมโดยการริ่วาล์วจ่ายสารช่วยจับตัว	10	7	7	490
	36. แรงตึงผิวของสารช่วยจับตัว	สารช่วยจับตัวมีแรงตึงผิวสูงเกินไป	เกิดพังผืดบริเวณง่ามนิ้วของเบ้ามือทำให้เกิดจุดบางใสของถุงมือยางบริเวณง่ามนิ้ว	การควบคุมอุณหภูมิของการช่วยจับตัวไม่เหมาะสม	ไม่มีการตรวจเช็คในปัจจุบัน	5	3	10	150
	37. ความเร็วรอบของใบพัดระบบ	ความเร็วรอบของใบพัดระบบกวนผสมเร็วหรือช้าเกินไป	สารเคมีในสารช่วยจับตัวเกิดการตกตะกอนหรือมีฟองอากาศเกิดขึ้นได้ง่าย	การกำหนดความเร็วรอบของใบพัดกวนระบบกวนผสม ยังไม่เหมาะสม	ไม่มีการตรวจเช็คในปัจจุบัน	7	5	10	350

จากนั้นนำคะแนน RPN ของแต่ละ KPIV ที่ได้จากตารางที่ 12 มาสร้างเป็นแผนผังพาเรโต แสดงดังภาพที่ 26 พบว่ามี KPIV เพียง 18 ปัจจัยเท่านั้น ที่อยู่ในสัดส่วนร้อยละ 80 และมีผลกระทบต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง



ภาพที่ 26 แผนผังพาเรโตแสดงคะแนน RPN ของแต่ละ KPIV ที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA

โดย KPIV ที่มีผลกระทบต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง ประกอบด้วยปัจจัยจากขั้นตอนต่างๆดังนี้

(1) ขั้นตอนการติดตั้งเบ้ามือ จำนวน 2 ปัจจัย ประกอบด้วย อายุการใช้งานของเบ้ามือ และจำนวนรอบของการผลิต

(2) ขั้นตอนการชะล้างสารละลายกรด จำนวน 2 ปัจจัย ประกอบด้วย ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ และอัตราการไหลของน้ำชะล้าง

(3) ขั้นตอนการล้างเบ้ามือด้วยสารละลายด่าง จำนวน 2 ปัจจัย ประกอบด้วย ความสะอาดของสารละลายด่าง และความเข้มข้นของสารละลายด่าง

(4) ขั้นตอนการทำความสะอาดเบ้ามือด้วยชุดแปรงขัด จำนวน 5 ปัจจัย ประกอบด้วย ความเร็วของเบ้ามือและลักษณะการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะผ่านชุดแปรงขัด ตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับเบ้ามือ ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรง และตำแหน่งที่น้ำชะล้างสัมผัสกับเบ้ามือ

(5) ขั้นตอนการล้างเบ้ามือด้วยน้ำร้อน จำนวน 1 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของน้ำร้อน

(6) ขั้นตอนจุ่มสารช่วยจับตัว จำนวน 6 ปัจจัย ประกอบด้วย ความเร็วของเบ้ามือและอุณหภูมิของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว ระดับความสูงของสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม แรงตึงผิวของสารช่วยจับตัว และความเร็วรอบของชุดใบพัดกวนผสม

จากนั้นระดมความคิดร่วมกับทีมงาน เพื่อระบุแนวทางสำหรับดำเนินการต่อของแต่ละปัจจัย โดยพิจารณาจากความพร้อมในการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา ความเป็นไปได้ทางเทคนิค และผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ได้แบ่งปัจจัยออกเป็น 3 กลุ่ม (ตารางที่ 3) ดังนี้

1) ปัจจัยที่ดำเนินการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากยังไม่สามารถสรุปและพิสูจน์ได้ว่า ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางหรือไม่

2) ปัจจัยที่สามารถดำเนินการปรับปรุงแก้ไขได้ทันที

3) ปัจจัยที่ยังไม่พร้อมแก้ไขปรับปรุง เนื่องจากความเป็นได้ทางเทคนิค เงินทุน และกระทบต่อกระบวนการผลิตหากทำการปรับปรุงจำเป็นต้องหยุดสายการผลิตเป็นระยะเวลานาน

ตารางที่ 13 แนวทางการดำเนินงานของแต่ละปัจจัยในแต่ละกลุ่ม

แนวทางการดำเนินการ	ปัจจัย
1. ทำการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ (3 ปัจจัย)	1.1 อายุการใช้งานของเบ้ามือ 1.2 จำนวนรอบของการผลิต 1.3 อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว
2. สามารถดำเนินการปรับปรุงแก้ไขได้ทันที (8 ปัจจัย)	2.1 ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ 2.2 อัตราการไหลของน้ำชะล้าง 2.3 ความสะอาดของสารละลายด่าง 2.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะผ่านชุดแปรงขัด 2.5 ตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ 2.6 ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรง 2.7 ตำแหน่งที่น้ำชะล้างสัมผัสกับเบ้ามือ 2.8 ระดับความสูงของสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม
3. ยังไม่พร้อมในดำเนินการแก้ไขปรับปรุง (7 ปัจจัย)	3.1 ความเข้มข้นของสารละลายด่าง 3.2 ความเร็วของเบ้ามือขณะผ่านชุดแปรงขัด 3.3 อุณหภูมิของน้ำร้อน 3.4 ความเร็วของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว 3.5 อุณหภูมิของเบ้ามือขณะจุ่มสารช่วยจับตัว 3.6 แรงตึงผิวของสารช่วยจับตัว 3.7 ความเร็วรอบของชุดใบพัดกวนผสม

3.5 การทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 14 มีจำนวน 3 ปัจจัยที่ต้องทำการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One – Way ANOVA) ประกอบด้วยปัจจัยอายุการใช้งานของเบ้ามือจำนวนรอบของการผลิต และอุณหภูมิของสารช่วยจับตัว ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.1 อายุการใช้งานของเบ้ามือ

ดำเนินการทดลองโดยติดตั้งเบ้ามือที่มีอายุการใช้งานที่แตกต่างกันจำนวน 2 ชุด จำนวนชุดละ 500 อัน ในสายการผลิต จากนั้นตรวจสอบคุณภาพถุงมือยางที่ผลิตจากเบ้ามือทั้ง 2 ชุด ทุกชิ้น เพื่อรวบรวมข้อมูลการเกิดตำหนิรูรั่ว

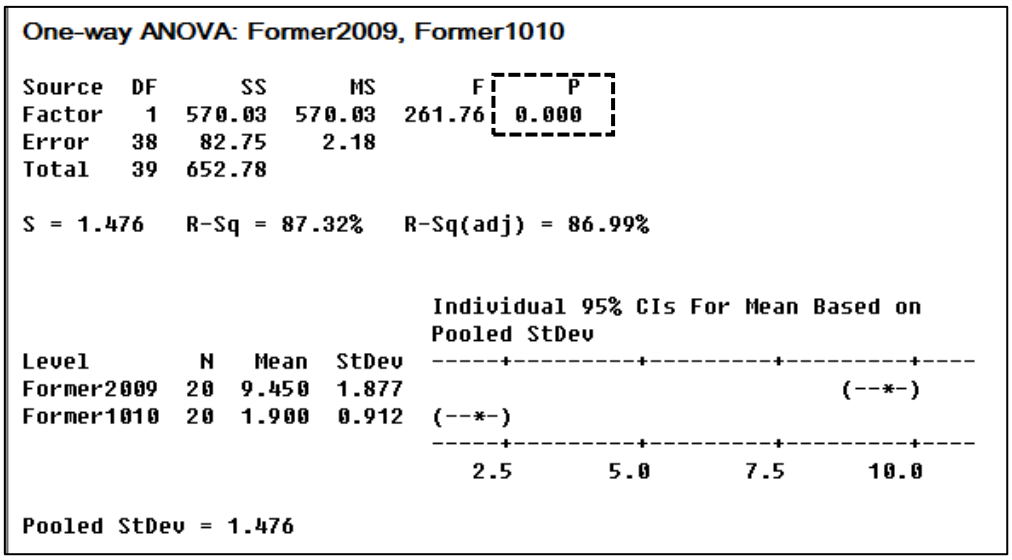
สมมติฐานของการทดลอง คือ

H_0: อายุของเบ้ามือที่ต่างกันไม่มีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง

($Former_{09} = Former_{10}$)

H_1: อายุของเบ้ามือที่ต่างกันมีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง

($Former_{09} \neq Former_{10}$)



One-way ANOVA: Former2009, Former1010

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	570.03	570.03	261.76	0.000
Error	38	82.75	2.18		
Total	39	652.78			

S = 1.476 R-Sq = 87.32% R-Sq(adj) = 86.99%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	----------+---------+---------+---------+----
Former2009	20	9.450	1.877	(--*-)
Former1010	20	1.900	0.912	(--*-)

2.5 5.0 7.5 10.0

Pooled StDev = 1.476

ภาพที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอายุการใช้งานของเบ้ามือต่อการเกิดตำหนิรูรั่ว

จากภาพที่ 27 พบว่าค่า P-Value ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 เพราะฉะนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สามารถสรุปได้ว่าอายุการใช้งานของเบ้ามือที่ต่างกัน มีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.5.2 จำนวนรอบของการผลิต

ดำเนินการทดลองโดยติดตั้งเบ้ามือจำนวน 500 อัน และผลิตถุงมือยางในการสายผลิตต้นแบบ เมื่อรอบการผลิตครบ 500 รอบ และ 2,000 รอบ นำถุงมือยางมาตรวจสอบคุณภาพเพื่อรวบรวมข้อมูลการเกิดตำหนิรูรั่ว

สมมติฐานของการทดลอง คือ

H_0: จำนวนรอบของการผลิตไม่มีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง

($Cycle_{500} = Cycle_{2000}$)

H_1: จำนวนรอบของการผลิตมีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง

($Cycle_{500} \neq Cycle_{2000}$)

```
One-way ANOVA: Cycle1000, Cycle2000

Source  DF      SS      MS       F      P
Factor   1  656.10  656.10  244.91  0.000
Error   38  101.80    2.68
Total   39  757.90

S = 1.637   R-Sq = 86.57%   R-Sq(adj) = 86.21%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level       N    Mean  StDev  -------+---------+---------+---------+--
Cycle1000  20   3.900  1.252  (--*--)
Cycle2000  20  12.000  1.947                                (--*--)
                           -------+---------+---------+---------+--
                                5.0       7.5      10.0      12.5

Pooled StDev = 1.637
```

ภาพที่ 28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของจำนวนรอบการผลิตต่อการเกิดตำหนิรูรั่ว

จากภาพที่ 28 พบว่าค่า P-Value ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ฉะนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สามารถสรุปได้ว่าจำนวนรอบของการผลิตที่ต่างกัน มีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

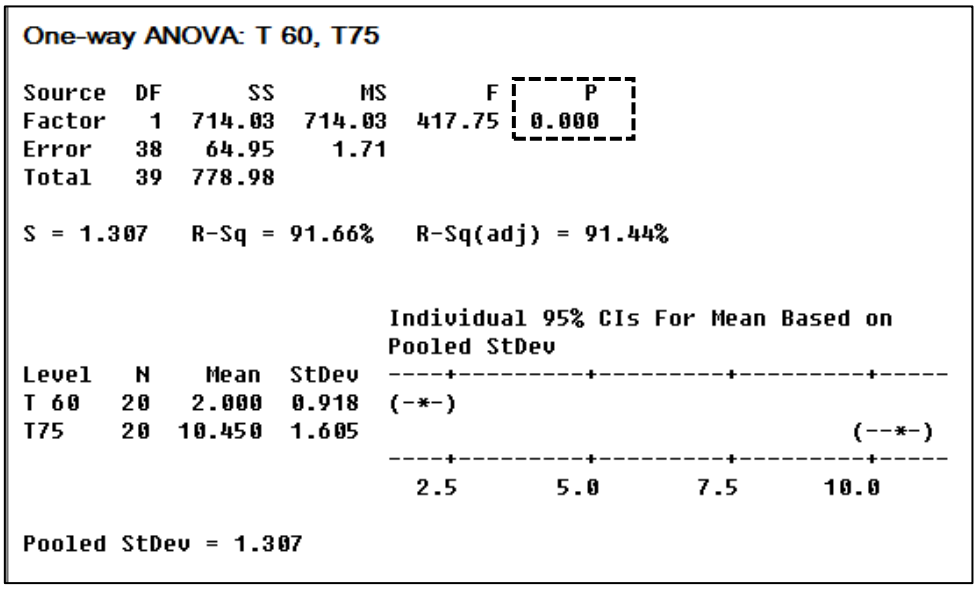
3.5.3 อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว

ดำเนินการทดลองโดยติดตั้งเบ้ามือจำนวน 500 อัน และควบคุมอุณหภูมิของสารช่วยจับตัว 60 $+2^{0}$ซ และ 75 $+2^{0}$ซ จากนั้นนำถุงมือยางมาตรวจสอบคุณภาพเพื่อรวบรวมข้อมูลการเกิดตำหนิรูรั่ว

สมมติฐานของการทดลอง คือ

H_0: อุณหภูมิของสารช่วยจับตัวมีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง ($Coagulant_{60} = Coagulant_{75}$)

H_1: อุณหภูมิของสารช่วยจับตัวไม่มีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง ($Coagulant_{60} \neq Coagulant_{75}$)



ภาพที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนอุณหภูมิของสารช่วยจับตัวต่อการเกิดตำหนิรูรั่ว

จากภาพที่ 29 พบว่าค่า P-Value ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 เพราะฉะนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของสารช่วยจับตัวที่ต่างกันมีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลจากการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติของทั้ง 3 ปัจจัยประกอบด้วย อายุการใช้งานของเบ้ามือ จำนวนรอบของการผลิต และอุณหภูมิของสารช่วยจับตัว พบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4. การปรับปรุงกระบวนการ (Improvement phase)

ขั้นตอนนี้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการระดมความคิดร่วมกับทีมงานเพื่อออกแบบและปรับปรุงปัจจัยที่สามารถดำเนินการได้ทันที พร้อมทั้งดำเนินการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของอุณหภูมิสารช่วยจับตัว และความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของเบ้ามือกับจำนวนรอบของการผลิต ผลการดำเนินงานมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การปรับปรุงอุปกรณ์ในขั้นตอนชะล้างสารละลายกรดบนเบ้ามือ

อุปกรณ์ชะล้างสารละลายกรดถูกติดตั้งเพื่อใช้ในการฉีดน้ำชะล้างสารละลายกรดออกจากผิวเบ้ามือก่อนที่เบ้ามือจะเคลื่อนที่ลงไปจุ่มสารละลายด่าง ปัญหาก่อนการปรับปรุงพบว่าตำแหน่งที่น้ำสัมผัสกับผิวเบ้ามือยังไม่เหมาะสม โดยน้ำที่ฉีดชะล้างสัมผัสเฉพาะบริเวณฝ่ามือของเบ้ามือเท่านั้น ทำให้มีคราบสารละลายกรดตกค้างบริเวณข้อมือของเบ้ามือ ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายด่าง นอกจากนี้ยังพบว่าไม่มีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำชะล้าง ทำให้ประสิทธิภาพในการชะล้างสารละลายกรดไม่ดี

ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงโดยการออกแบบให้ท่อน้ำมีมุมเอียง ในแนวระนาบเดียวกับเบ้ามือ พร้อมทั้งเจาะรูเพิ่มจากเดิมอีก 3 รูเป็น 6 รู เพื่อให้น้ำฉีดชะล้างบริเวณข้อมือของเบ้ามือด้วย แสดงดังภาพที่ 30

(ก)

(ข)

ภาพที่ 30 อุปกรณ์ชะล้างสารละลายกรดก่อนการปรับปรุง (ก) และหลังการปรับปรุง (ข)

4.2 การปรับปรุงชุดแปรงขัดทำความสะอาดเบ้ามือ

ชุดแปรงขัดทำความสะอาดเบ้ามือประกอบด้วยลูกกลิ้งแปรงทรงกระบอกด้านละ 3 อัน และมีชุดน้ำสเปรย์ฉีดเบ้ามือด้านละ 1 ชุด ขณะเดินสายการผลิตลูกกลิ้งแปรงทุกตัวจะหมุนตลอดเวลาเพื่อขัดคราบสกปรกและสารเคมีที่ตกค้างอยู่บนผิวของเบ้ามือออก ปัญหาก่อนการปรับปรุงพบว่า

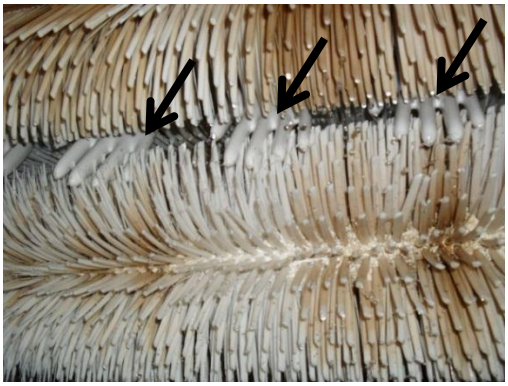
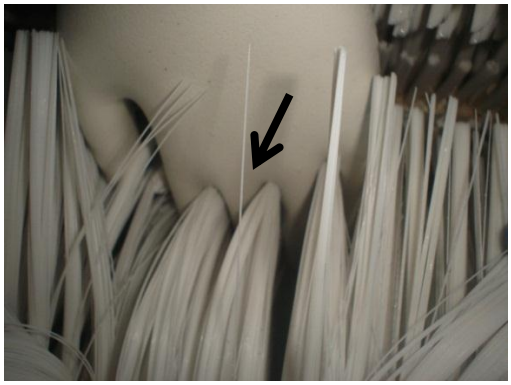
(1) ลักษณะการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะผ่านเข้าชุดแปรงขัดไม่เหมาะสมพบปัญหาเบ้ามือไม่หมุน เนื่องจากมีแรงกดจากลูกกลิ้งแปรงมากเกินไป ทำการปรับปรุงโดยออกแบบการติดตั้งขนแปรงขัดใหม่และลดจำนวนขนแปรงลง โดยการถอดขนแปรงออกเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของลูกกลิ้งแปรงแต่ละอัน ปรับตำแหน่งการติดตั้งเบ้ามือเพื่อให้ขนแปรงสามารถเข้าทำความสะอาดในมุมอับ บริเวณง่ามนิ้วได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แสดงดังภาพที่ 31

(ก)

(ข)

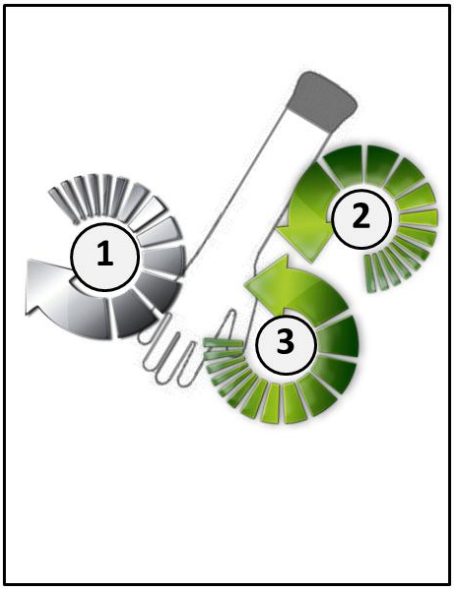
ภาพที่ 31 ลูกกลิ้งแปรงของชุดแปรงขัดเบ้ามือก่อนการปรับปรุง (ก) และหลังการปรับปรุง (ข)

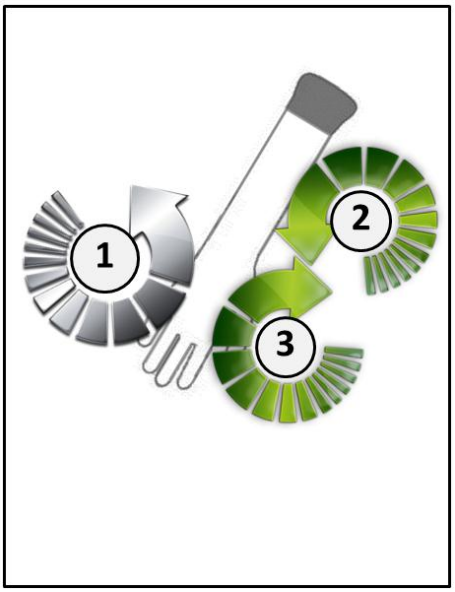
(2) ขนแปรงไม่สามารถเข้าถึงมุมอับของเบ้ามือบริเวณง่ามนิ้ว ทำให้เกิดการตกค้างของคราบสิ่งสกปรกและสารเคมีในบริเวณดังกล่าว หลังมีการปรับปรุงตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับเบ้ามือทำให้ ขนแปรงสามารถเข้าทำความสะอาดถึงมุมอับบริเวณง่ามนิ้วได้ แสดงดังภาพที่ 32


(ก)

(ข)

ภาพที่ 32 ตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับเบ้ามือก่อนปรับปรุง (ก) และหลังการปรับปรุง (ข)

(3) เบ้ามือแต่ละตัวมีทิศทางการหมุนที่ไม่สัมพันธ์กับการขัดทำความสะอาดเบ้ามือ ทำการปรับปรุงโดยการออกแบบเปลี่ยนทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรงตำแหน่งที่ 1 และ 3 (ภาพที่ 33) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการขัดทำความสะอาดเบ้ามือมากยิ่งขึ้น



(ก)


(ข)

ภาพที่ 33 ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรงแต่ละอันก่อนปรับปรุง (ก) และหลังการปรับปรุง (ข)

(5) อุปกรณ์ชุดน้ำสเปรย์เบ้ามือถูกติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่สูงกว่าระดับข้อมือของเบ้ามือ_ส่งผลให้ไม่สามารถฉีดน้ำให้สัมผัสกับเบ้ามือได้ ดำเนินการปรับปรุงโดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวให้สามารถฉีดน้ำเข้าถึงเบ้ามือได้ แสดงดังภาพที่ 34

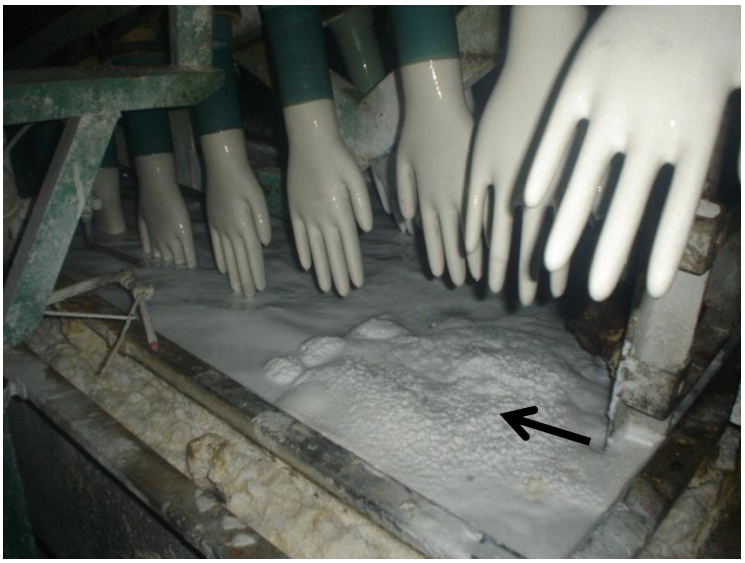
(ก)

(ข)

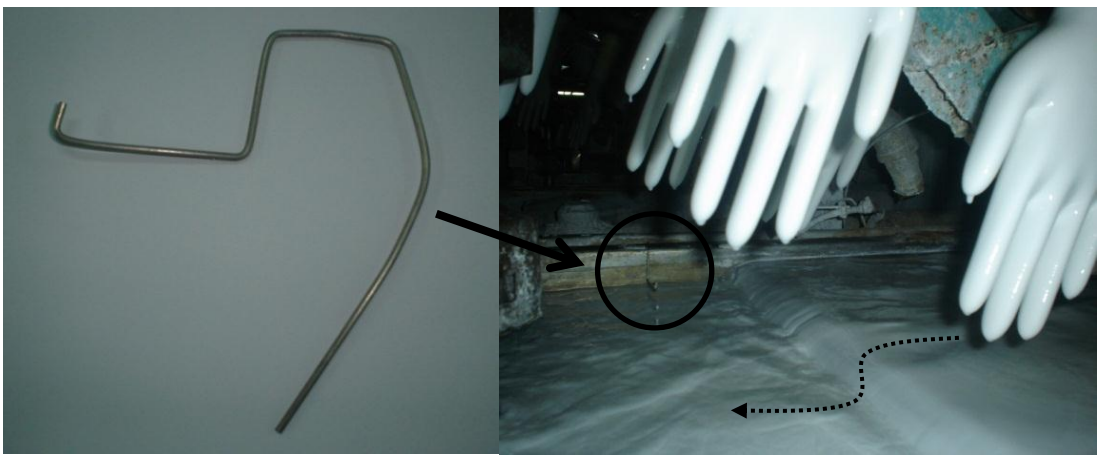
ภาพที่ 34 อุปกรณ์สเปรย์น้ำของชุดแปรงขัดทำความสะอาดเบ้ามือก่อนการปรับปรุง (ก) และหลังการปรับปรุง (ข)

4.3 การปรับปรุงการควบคุมระดับของสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม

สารช่วยจับตัวจะมีฟองอากาศเกิดขึ้น เมื่อเปิดใช้งานชุดใบพัดกวนผสม ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นบริเวณผิวหน้าของสารช่วยจับตัวบริเวณแกนของใบพัดชุดกวนผสม จากนั้นจะเกิดการรวมตัวและลอยไปมาบริเวณผิวหน้าของสารช่วยจับตัว (ภาพที่ 35) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้ออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการบ่งชี้ระดับของสารช่วยจับตัวในถัง ซึ่งถูกติดตั้งใกล้กับจุดที่เบ้ามือยกตัวขึ้นจากการจุ่มสารช่วยจับตัว ซึ่งสามารถควบคุมให้สารช่วยจับตัวเกิดการไหลเวียน แสดงดังภาพที่ 36



ภาพที่ 35 ลักษณะฟองอากาศที่เกิดขึ้นและลอยตัวบริเวณผิวหน้าในถังจุ่มสารช่วยจับตัว



ภาพที่ 36 อุปกรณ์บ่งชี้และตำแหน่งการติดตั้งควบคุมระดับสารช่วยจับตัว

4.4 การทดลองเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

จากทั้ง 3 ปัจจัยที่ทำการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ได้นำผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้มาระดมความคิดร่วมกับทีมงานเพื่อหาแนวทางการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับใช้เป็นแนวทางและมาตรฐานที่เหมาะสมในการทำงานต่อไป

4.4.1 อายุการใช้งานของเบ้ามือกับจำนวนรอบการผลิต

เนื่องจากการทดลองมีข้อจำกัดในหลายๆด้านทั้งในส่วนของแผนการผลิต ความพร้อมของโรงงานกรณีศึกษาและความเป็นไปได้ทางเทคนิค ทีมงานจึงมีความเห็นร่วมกันที่จะทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของเบ้ามือกับจำนวนรอบการผลิตที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากทางโรงงานกรณีศึกษาไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้เบ้ามือใหม่ทั้งหมดสำหรับการผลิต จึงมีความจำเป็นต้องใช้เบ้ามือเก่าที่มีอายุต่างกันสำหรับการผลิตถุงมือยางในแต่ละรอบเนื่องจากข้อจำกัดทางงานการจัดซื้อเบ้ามือของโรงงาน ผลการทดลองที่ได้จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้แสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 จำนวนตำหนิรูรั่วที่พบบนถุงมือยางจากอายุของเบ้ามือและจำนวนรอบผลิตที่ต่างกัน

จำนวนรอบการผลิต	อายุการใช้งานของเบ้ามือ														
	เบ้ามือ 0 – 6 เดือน					เบ้ามือ 6 เดือน – 1 ปี					เบ้ามือ 1 ปี				
	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย
100	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	2	0	0	1	1
400	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	2	1
700	1	1	0	0	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
1,000	2	1	1	2	2	2	3	1	0	2	3	1	1	2	2
1,300	1	2	1	1	1	3	2	3	3	3	6	4	3	5	5
1,600	0	0	1	1	1	3	2	3	4	3	4	5	6	3	5
1,900	1	1	2	1	1	2	2	3	2	2	7	7	3	9	7
2,200	3	1	2	1	2	3	2	1	3	2	7	6	10	6	7
2,500	2	2	1	4	2	2	3	4	3	3	8	8	9	7	8
2,800	3	3	1	1	2	4	5	9	3	5	11	8	6	6	8
3,100	2	2	1	2	2	4	5	2	8	5	8	13	12	13	12
3,300	2	2	3	3	3	6	7	3	2	5	20	9	15	16	15
3,600	4	3	3	3	3	4	5	7	4	5	16	14	14	13	14
3,900	5	3	4	4	5	9	8	11	4	8	21	25	12	10	17
4,200	5	4	4	6	5	3	6	9	8	7	10	11	21	19	15
4,500	3	6	5	5	5	8	9	12	11	10	17	16	18	21	18

จากตารางที่ 14 เมื่อพิจารณาข้อมูลผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า จำนวนรอบการใช้งานเบ้ามือที่มีอายุต่างกันจะมีความแตกต่างกันดังนี้ เบ้ามือใหม่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 6 เดือนสามารถใช้ในการผลิตได้ไม่เกิน 3,600 รอบ เบ้ามืออายุการใช้งานตั้งแต่ 6 เดือนถึง 1 ปี สามารถใช้ในการผลิตได้ไม่เกิน 2,500 รอบ ส่วนเบ้ามือที่มีอายุการใช้งานเกิน 1 ปี สามารถใช้ในการผลิตได้ไม่เกิน 1,000 รอบ โดยจำนวนรอบการผลิตของเบ้าทั้ง 3 ช่วงอายุการใช้งาน ได้พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของจำนวนถุงมือยางตัวอย่างที่ตรวจสอบเจอตำหนิรูรั่ว แล้วไม่เกินค่าการยอมรับสัดส่วนของถุงมือยางที่ตรวจสอบพบตำหนิรูรั่วของโรงงานกรณีศึกษา กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 3.5 ของถุงมือยางที่สุ่มมาตรวจสอบคุณภาพในแต่ละล๊อต พบว่าทุกอายุการใช้งานของเบ้ามือมีแนวโน้มของการเกิดตำหนิรูรั่วบน ถุงมือยางที่เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบของการผลิตถุงมือยางเพิ่มขึ้นเนื่องจาก

1. เบ้ามือเก่าที่ผ่านการใช้งานมานานทำให้ประสิทธิภาพในการเปียกผิวลดลง เนื่องจากสารเคมีเคลือบผิว (Coating glaze) ที่เคลือบอยู่บนผิวของเบ้ามือเกิดการสึกกร่อน ทำให้คราบสกปรกและสารเคมีเกาะติดอยู่ที่ผิวของเบ้ามือได้ง่ายขึ้น (วรรณา ต.แสงจันทร์, 2554) การขัดทำความสะอาดจะทำได้ยากด้วยเช่นกัน ซึ่งจากแตกต่างกับเบ้ามือใหม่ซึ่งมีลักษณะผิวของเบ้ามือที่ดีและสมบูรณ์มากกว่า

2. จำนวนของรอบการผลิตที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเกาะติดของคราบสารเคมีบนผิวของเบ้ามือ เนื่องจากกระบวนการทำความสะอาดไม่สามารถขัดทำความสะอาดคราบสกปรกและสารเคมีที่ตกค้างบนผิวของเบ้ามือออกได้ทั้งหมด

4.4.1 อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว

สารช่วยจับตัวเป็นสารละลายที่ได้จากการเตรียมสารเคมี DCA สารเคมีแคลเซียมไนเตรทและน้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งสามารถเกิดฟองอากาศได้ง่ายมากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือการควบคุมการใช้งานในกระบวนการผลิตไม่เหมาะสม การดำเนินทดลองเกี่ยวกับสารช่วยจับตัวค่อนข้างจะมีข้อจำกัดด้วยเช่นกันเนื่องจากสาร DCA เป็นสารที่มีการเตรียมผสมมาจากผู้ผลิตข้างนอกเป็นความลับของโรงงานกรณีศึกษา ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีการควบคุมอุณหภูมิของสารช่วยจับตัวอยู่ในช่วง 65 – 70 ^{o}ซ ในการทดลองนี้ได้ทำการแบ่งช่วงอุณหภูมิของสารช่วยจับตัวออกเป็น 3 ช่วง คือ 60$\pm$ 2 ^{o}ซ, 65$\pm$ 2 ^{o}ซ และ 70$\pm$ 2 ^{o}ซ โดยทำการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการควบคุมสารช่วยจับตัว ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 15 จำนวนถุงมือยางที่พบตำหนิรูรั่วที่อุณหภูมิของสารช่วยจับตัวต่างกัน

ตัวอย่างชุดที่	อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว (°ซ)		
	60 ± 2	65 ± 2	70 ± 2
1	1	2	5
2	0	3	6
3	2	2	4
4	1	3	5
5	0	1	7
6	1	0	8
7	1	0	4
8	2	1	5
9	0	2	6
10	1	1	7
11	2	0	4
12	1	1	3
13	3	2	5
14	1	2	4
15	2	3	5
16	1	1	4
17	0	3	4
18	3	2	5
19	2	1	3
20	2	1	4
ค่าเฉลี่ย	1.3	1.6	4.9

จากตารางที่ 15 พบว่าสารช่วยจับตัวที่มีอุณหภูมิ 60± 2 °ซ และ 65± 2 °ซ มีค่าเฉลี่ยของจำนวนตำหนิรูรั่วที่เกิดบนถุงมือยางใกล้เคียงกันคือ 1.3 และ 1.6 ดังนั้นในการคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับควบคุมสารช่วยจับตัวคืออุณหภูมิ 60 – 65 °ซ

5. การควบคุมกระบวนการ (Control)

ขั้นตอนนี้ได้ระบุแนวทางที่เหมาะสมสำหรับใช้ควบคุมปัจจัยที่ได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงและทำการทดลองไปแล้วในขั้นตอนก่อนหน้านี้ จากนั้นเก็บข้อมูลผลปรับปรุงและการควบคุมกระบวนการผลิตของสายผลิตต้นแบบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลของการปรับปรุงรายละเอียดของผลการดำเนินงานที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

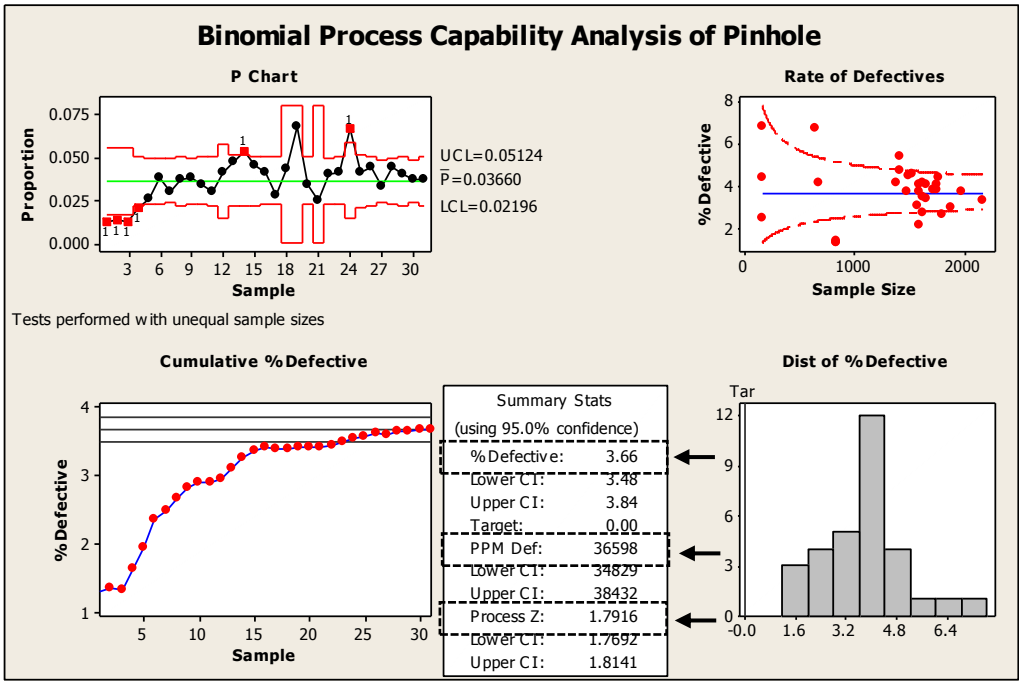
5.1 แนวทางการควบคุมปัจจัยที่ได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงไปแล้ว

ตารางที่ 16 แนวทางการควบคุมปัจจัยที่ได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงแล้ว

ปัจจัยที่ได้ดำเนินการปรับปรุง	แนวทางการควบคุม
1. ชุดน้ำชะล้างสารละลายกรด - ตำแหน่งที่น้ำสัมผัสกับผิวเบ้ามือ - อัตราการไหลของน้ำชะล้าง	จัดทำแผนการบำรุงรักษาเพื่อการตรวจสอบความพร้อมใช้งานทุกๆสัปดาห์
2. ความสะอาดของสารละลายด่าง	เพิ่มความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายสารละลายด่างจากเป็น 3 วันต่อครั้ง
3. ชุดแปรงขัดทำความสะอาดเบ้ามือ - ลักษณะการเคลื่อนที่ของเบ้ามือขณะผ่านชุดแปรง - ตำแหน่งที่ขนแปรงสัมผัสกับผิวของเบ้ามือ - ทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งแปรง - ตำแหน่งที่น้ำชะล้างสัมผัสกับเบ้ามือ	จัดทำแผนการบำรุงรักษาเพื่อการตรวจสอบความพร้อมใช้งานทุกๆสัปดาห์
4. อุณหภูมิและระดับของสารช่วยจับตัวในถังจุ่ม	ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมระดับของสารช่วยจับตัวก่อนเดินสายการผลิต และกำหนดมาตรฐานการทำงานโดยควบคุมอุณหภูมิของสารช่วยจับตัวอยู่ในช่วง 60 - 65 ^{o}ซ
5. จำนวนรอบการใช้งานเบ้ามือและจำนวนกระบวนการผลิต	- เบ้ามือใหม่ซึ่งมีอายุการใช้งานไม่เกิน 6 เดือน กำหนดรอบการใช้งาน ไม่เกิน 3,600 รอบ - เบ้ามือใหม่ซึ่งมีอายุการใช้งาน 6 เดือน ถึง1 ปี กำหนดรอบการใช้งานไม่เกิน 2,500 รอบ - เบ้ามือใหม่ซึ่งมีอายุการใช้งาน 1 ปีขึ้นไป กำหนดรอบการใช้งานไม่เกิน 1,000 รอบ

5.2 ผลของการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการของสายการผลิตต้นแบบ

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขบางปัจจัยที่ได้คัดเลือกและประยุกต์ใช้แนวทางในการควบคุมปัจจัยที่ได้กล่าวในตารางที่ 16 จากนั้นดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตของสายการผลิตต้นแบบเป็นเวลา 1 เดือน โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย จำนวนถุงมือยางที่ผลิตทั้งหมด ระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยางแต่ละระดับ จำนวนถุงมือยางที่สุ่มมาตรวจสอบและพบตำหนิรูรั่ว ผลจากการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการพบว่า % Defective ลดลงจากเดิม 5.34 เหลือเพียง 3.66 สัดส่วนการเกิดตำหนิรูรั่วลดลงจากเดิม 53,378 PPM ลดลงเหลือเพียง 36,598 PPM (ภาพที่ 37) จากนั้นประเมินความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการพบว่าจากเดิมมีค่าเท่ากับ 0.54 เพิ่มขึ้นเป็น 0.60 ส่งผลให้จำนวนของถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนดเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 23 เป็นร้อยละ 57 ของถุงมือยางที่ผลิตทั้งหมด



ภาพที่ 37 ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการของสายการผลิตต้นแบบหลังการปรับปรุง

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของถุงมือยางสำหรับตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง ที่ผลิตออกมาแล้วผ่านการเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด (AQL ≤ 1.5) มีจำนวนต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ นำไปสู่การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ตั้งแต่ขั้นตอนการกำหนดหัวข้อปัญหา การวัดสภาพของปัญหา การวิเคราะห์หาสาเหตุการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ

ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการกำหนดระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยางคือ จำนวนถุงมือยางที่ตรวจสอบพบตำหนิรูรั่ว ด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตาและการทดสอบการรั่วซึมน้ำ พบว่าลักษณะของตำหนิรูรั่วที่เกิดขึ้นบนถุงมือยางมี 6 รูปแบบ โดยสาเหตุหลักของการเกิดตำหนิรูรั่วมาจาก 4 สาเหตุหลักคือ ผิวของเบ้ามือเสื่อมสภาพและมีคราบสารเคมีหรือสิ่งสกปรกตกค้าง ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการจุ่มสารช่วยจับตัวและน้ำยางคอมปาวด์

จากขั้นตอนย่อยทั้งหมด 19 ขั้นตอนในกระบวนการผลิตถุงมือยาง พบว่ามีเพียง 11 ขั้นตอนเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง โดยมี KPIV ทั้งหมด 88 ปัจจัย เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง KPIV จากแต่ละขั้นตอน กับสาเหตุของการเกิดตำหนิรูรั่วด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เมตริกซ์สาเหตุและผลกระทบ (C&E Matrix) พบว่ามี KPIV ที่สัมพันธ์กันเพียง 37 ปัจจัยจากนั้นทำการวิเคราะห์ KPIV ที่ได้ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เมื่อเรียงลำดับคะแนน RPN ของแต่ละ KPIV ด้วยแผนผังพาเรโต พบว่ามี KPIV เพียง 18 ปัจจัยเท่านั้นที่สัมพันธ์กับการเกิดตำหนิรูรั่วของถุงมือยาง

หลังจากพิจารณาร่วมกับทีมงานถึง ความพร้อมในการดำเนินงาน ความเป็นไปได้ทางเทคนิค แผนการผลิตและผลกระทบต่อกระบวนการผลิต จึงได้จัดกลุ่ม KPIV ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) ดำเนินการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวน 3 ปัจจัย 2) สามารถดำเนินการแก้ไขปรับปรุงได้ทันที จำนวน 8 ปัจจัย 3) ยังไม่พร้อมในการดำเนินการแก้ไขปรับปรุง จำนวน 7 ปัจจัย ผลจากการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมทางสถิติ (Minitab) ของทั้ง 3 ปัจจัยในกลุ่มที่ 1 พบว่า อายุการใช้งานของเบ้ามือ จำนวนรอบการผลิตและอุณหภูมิของสารช่วยจับตัว มีผลต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

นอกจากนี้ได้ดำเนินระดมสมองร่วมกับทีมงานเพื่อออกแบบและปรับปรุงแก้ไขปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการล้างทำความสะอาดเบ้ามือ ของขั้นตอนการชะล้างสารละลายกรด โดยดำเนินการออกแบบชุดฉีดน้ำใหม่ ขั้นตอนการขัดทำความสะอาดเบ้ามือได้ทำการออกแบบทิศทางการหมุนของลูกกลิ้งตำแหน่งกำหนดขนาดของลูกกลิ้งแปรงแต่ละอัน ออกแบบลักษณะของขนแปรง และปรับปรุงชุดสเปรย์น้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขัดทำความสะอาด ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนรอบการใช้งานของเบ้ามือในการผลิตให้เพิ่มมากขึ้น และสุดท้ายทำการออกแบบอุปกรณ์เพื่อช่วยในการควบคุมและชี้บ่งระดับของสารช่วยจับในถังจุ่มทั้งนี้เพื่อกันการไหลย้อนของฟองอากาศที่เกิดขึ้นบนผิวของสารช่วยจับตัว หลังการปรับปรุงได้กำหนดแนวทางปฏิบัติงานสำหรับใช้ในการควบคุมปัจจัยในกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ดังนี้

1) ตรวจสอบคุณภาพของผิวเบ้ามือทุกอันก่อนการติดตั้งเข้ากับสายการผลิต

2) กำหนดรอบการใช้งานของเบ้ามือในกระบวนการผลิตตามช่วงอายุการใช้งานของเบ้ามือ ดังนี้

- เบ้ามือที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 6 เดือน สามารถใช้งานในการผลิตไม่เกิน 3,500 รอบของการผลิต

- เบ้ามือที่มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 6 เดือน ถึง 1 ปี สามารถใช้งานในการผลิตไม่เกิน 2,500 รอบของการผลิต

- เบ้ามือที่มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป สามารถใช้งานในการผลิตไม่เกิน 1,000 รอบของการผลิต

3) จัดทำแผนบำรุงรักษาสำหรับตรวจสอบความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์ชุดน้ำสำหรับชะล้างสารละลายกรดและชุดลูกกลิ้งแปรงขัดเบ้ามือ

4) เพิ่มความถี่ในการเปลี่ยนสารละลายด่าง จากเดิมทุกๆ 5 วัน เป็น 3 วันต่อครั้ง

5) จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับควบคุมอุณหภูมิของสารช่วยจับตัวให้อยู่ในช่วง 60 – 65 ^{0}ซ

6) ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมระดับของสารช่วยจับตัวในถังจุ่มก่อนการเดินสายผลิต

ผลจากการดำเนินงานและแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตของสายการผลิตต้นแบบ พบว่า % Defective ของถุงมือยางที่ตรวจพบตำหนิรูรั่วลดลงจากเดิม 5.34 เหลือเพียง 3.66 สัดส่วนของการเกิดตำหนิรูรั่วลดลงจากเดิม 53,378 PPM เหลือเพียง 36,598 PPM ส่งผลให้จำนวนของถุงมือยางที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามข้อกำหนด เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 23 เป็นร้อยละ 57 ของจำนวนถุงมือยางที่ผลิตทั้งหมด คิดเป็นมูลค่า 58,000 เหรียญสหรัฐต่อปี

ข้อเสนอแนะ

1. กระบวนการผลิตถุงมือยางเป็นกระบวนผลิตแบบต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการควบคุมและแก้ไขปัญหาหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้เร็วที่สุด เนื่องจาก Output ที่ออกจากขั้นตอนหนึ่งเป็น Input ของขั้นตอนถัดไป หากไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทันท่วงที จะเกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการถัดไปและคุณภาพสุดท้ายของถุงมือยางที่ได้

2. การแก้ปัญหาการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยาง หากจะให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นจะต้องศึกษาและควบคุมปัจจัยในทุกๆขั้นตอนที่เกี่ยวข้อง เพราะทุกขึ้นตอนล้วนแต่สัมพันธ์ต่อการเกิดตำหนิรูรั่วและคุณภาพของถุงมือยางที่ได้

3. การกำหนดระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยางที่ผลิตในแต่ละล๊อตจะพิจารณาจำนวนของตำหนิในกลุ่มวิกฤตชนิดอื่นด้วย ผลจากการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการถุงมือยางตัวอย่างที่สุ่มมาตรวจสอบบางล๊อตตรวจพบตำหนิ Touching และ Knocking ด้วยทำให้ระดับคุณภาพ AQL ของถุงมือยางล๊อตดังกล่าวไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นในการควบคุมกระบวนการจำเป็นต้องควบคุมผลกระทบและตำหนิอื่นๆที่อยู่ในกลุ่มวิกฤตด้วย

4. จากการศึกษาพบว่ามีอีกจำนวน 7 ปัจจัยในกลุ่มที่ 3 ที่ยังไม่ได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงซึ่งทุกปัจจัยล้วนแต่มีผลกระทบต่อการเกิดตำหนิรูรั่วบนถุงมือยางดังนั้นโรงงานกรณีศึกษาควรหาแนวทางที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงแก้ไขปัจจัยดังกล่าว เมื่อมีความพร้อมต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2548. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถุงมือสำหรับตรวจโรคใช้ครั้งเดียว มอก. 1056 – 2548. กรุงเทพฯ.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2548. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมถุงมือปราศจากเชื้อสำหรับการศัลยกรรมชนิดใช้ครั้งเดียว มอก. 538 - 2548. กรุงเทพฯ.

กระทรวงพาณิชย์. 2556. สินค้าส่งออกสำคัญ 15 รายการแรกของไทย ปี 2552 – 2555 (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www2.ops3.moc.go.th/export/export_topn_5y/report.asp (15 เมษายน 2557)

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2548. ถุงมือยาง ตัวอย่างสินค้าศักยภาพ (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://intranet.dip.go.th/boc/download/Pattern_Investment/rubber/hand%20rubber.pdf (21 ตุลาคม 2553)

กรมโรงงาน. 2556. ข้อมูลโรงงานประกอบกิจการถุงมือยาง (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://www.diw.go.th/diw/data1search.asp (23 ตุลาคม 2557)

กองควบคุมเครื่องมือแพทย์. 2547. คู่มือ การปฏิบัติตามกฎหมายเกี่ยวกับถุงมือทางการแพทย์. กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2547. การวิเคราะห์เคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA. พิมพ์ครั้งที่ 1.เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง. กรุงเทพฯ.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2546. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA). พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2550. หลักการการควบคุมคุณภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.

จินตนา ลีกิจวัฒนะ. 2551. ถุงมือยาง. บทความวิทยุกระจายเสียง วันนี้กับวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 6. สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย. สิงหาคม 2551.

จิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์ และ ณัฐเจตน์ เกษกมล. 2551. การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกม่าในการลดอัตราของเสีย. ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี : 2. 48-58

จรัล ทรัพย์ทวี. 2552. SPC ตอน P Chart with Minitab. ว. For Quality: 137. 87-89

เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์ และ กฤษณา จันทร์คล้าย. 2552. โซ่อุปทานของการสร้างมูลค่าเพิ่มยางพาราไทย. การประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 9 (Thai VCML 2009).19-21 พฤศจิกายน 2552. หน้า 64-75.

ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง, อัมพวรรณ จิรอาภาวงศ์ และทศพล เกียรติเจริญผล. 2551. การประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์เซรามิกส์. ว.วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา : 19. 36-44

ทนงศักดิ์ วัฒนา และ ศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ. 2556. เทคโนโลยีการผลิตถุงมือยางทางการแพทย์. ว. Technology Production : 38. 67-72

พงษ์ธร แซ่อุย. 2548. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). ปทุมธานี

ภิรมย์ รัตนา. 2548. อุปสงค์เพื่อการส่งออกถุงมือยางของประเทศไทยไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุรัส ตั้งไพบูลย์. 2554. การเพิ่มผลผลิตละเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1.สถาบันไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยยาง. 2553. รายงานวิชาการข้อมูลยางพารา 2553. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. 2548. ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma ฉบับ Champion และ Black Belt. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศิริวัฒนา อินเตอร์พริ้นท์. กรุงเทพฯ.

วสันต์ พุกผาสุก. 2549. การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า กรณีศึกษา: บริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล และ นุชนาฎ ณ ระนอง. 2545. การวิจัยและพัฒนาคุณภาพถุงมือยางทางการแพทย์. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ Rubber Tech Expo 2002. ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์.18 - 21 กรกฎาคม 2545. หน้า 197-208.

วรรณา ต.แสงจันทร์. 2553. การพัฒนาสารเคลือบเซรามิก (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_manual/M036.pdf (18 ตุลาคม 2556)

ศูนย์สารสนเทศยาง. 2553. ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของประเทศไทย (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://www.rubbercenter.org/informationcenter/static/stat_thai.html#3 (21ตุลาคม 2553)

อนุวัตร หอมรสสุคนธ์ และ เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์. 2547. การปรับปรุงคุณภาพกับ Six Sigma Solution. ว. เพื่อคุณภาพ 85:107-113.

อภิชาต ยิ้มแสง. 2555. คู่มือการดำเนินกิจกรรมระบบมาตรฐาน ISO 13485. พิมพ์ครั้งที่ 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.

อาทิตย์ หงส์พันธ์ และ นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ. 2553. การลดสัดส่วนข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า. งานประชุมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ 2553. 13-15 ตุลาคม 2553. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. QMG 34: 1-7

Breyfogle, F.W. 1999. Implementing Six Sigma Smart Solutions Using Statistical Methods. p. 256-274. Wikey-Interscience. New York.

Buchele, M. 2004. AQL - A guarantee for quality. J. Sampermed Informs. 2: 1-4.

Das, P., Roy, S. and Antony, J. 2007. An Application of six sigma methodology to reduce lot-to-lot shade variation of linen fabrics. J. Industrial Textiles. 36: 227-251.

Farhad, N. and Alireza, S. 2009. Reducing the delivery lead time in a food distribution SME through the implementation of six sigma methodology. J. Manufacturing Technology Management.20: 957-974

Gupta, P. 2004.Six Sigma Business Scorecard. McGraw-Hill. New York.

Hassan, N. A. 2000. Powder free medical gloves. United State Patent no. 6019922. Feb. 1, 2000.

Holtz, R. and Campbell, P. 2003. Six Sigma: Its implementation in Ford's facility management and maintenance functions. J. Facilities Management. 2: 320-329.

Koon Seng. 2014. Quality assurance (Online). Website: http://www.kongseng.com/quality.html (June 14, 2014)

Montgomery, D. C. 2005. Introduction to Statistical Quality Control. 5th ed. John Wiley&Sons, Inc. USA.

Park, S. H. 2003. Six Sigma for Quality and Productivity Promotion. Asian Productivity Organization. Tokyo.

Satya S. C. 2009. Six sigma programs: An implementation model. Int. J. Production Economics. 119: 1-16.

Shrivastava, R. L., Khwaja, I. A. and Tushar N. D. 2008. Engine Assembly Process Quality Improvement Using Six Sigma. Proceedings of the world congress on engineering 2008 Vol. III WCE 2008. London, U.K. 2 – 4 July 2008. p. 135–140.

Thomas, A. 2009. Applying lean six sigma in a small engineering company – a model for change. J. Manufacturing Technology Management. 20:113-129.

Yip, E. and Cacioli, P. 2002. The manufacture of gloves from natural rubber latex. J. Allergy and Clinical Immunology. 110 : 3-14.

Young, H. K. and Frank T. A. 2006. Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. J. Technovation. 26: 708–715.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายกิตติพล บุญทอง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5211020004

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (การจัดการอุตสาหกรรมยาง)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2551

ทุนการศึกษา

ทุนโครงการทักษะนักอุตสาหกรรมเกษตร จากคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Kittipon Boonthong, Pairat Sophanodora and Kanya Ackara-aree. 2011. Implementation of six sigma technique to increase the conformed products in latex gloves processing. Proceeding of The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011). Merlin Beach Resort Hotel, Tritrang Beach Phuket. 2-3 May 2011. p. 207

Kittipon Boonthong, Pairat Sophanodora and Kanya Ackara-aree. 2011. The increasing of conformed latex gloves product by applying the six sigma technique. Proceeding of the 1st TNI Academic Conference topic of 2011-Business and Industrial Management. Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok. 27 May 2011. p. 31-35