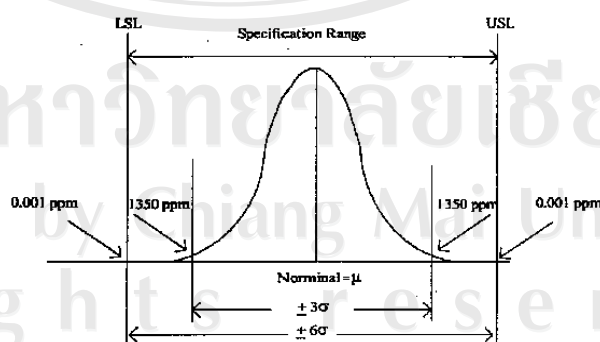


บทที่ 2

ทฤษฎี แนวคิด และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและความรู้ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา(Six Sigma) การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) รวมถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหา (Literature Review)

2.1 ซิกซ์ ซิกมา องค์การธุรกิจต้องใช้ยุทธศาสตร์ในการเอาชนะอุปสรรคเพื่อให้บรรลุตามเกณฑ์ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งจะทำให้มีการจัดลำดับความสำคัญทางธุรกิจและยุทธศาสตร์ได้พอเพียง นอกจากนั้น วิธีการที่บริษัทแต่ละแห่ง จะนำยุทธศาสตร์ไปใช้ย่อมมีความแตกต่างกัน แต่จะมีสิ่งเหมือนกันอย่างหนึ่งคือ การดำเนินการต้องเริ่มต้นมาจากผู้บริหาร เพราะยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมาไม่ใช่สิ่งที่ริเริ่มจากฐานล่างขององค์กร ทั้งนี้ปัจจัยที่จะต้องระบูก่อนการดำเนินการและใช้ยุทธศาสตร์ก็คือ ระดับการพึงพาอาศัยผู้อื่น โครงสร้าง จุดมุ่งเน้นและการคัดเลือกโครงการ การดำเนินการตามยุทธศาสตร์เอาชนะอุปสรรคสู่ความสำเร็จขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ของหลักการหลายประการดังนี้ ภาวะผู้นำจากบนลงล่างในแบบที่เห็นได้และคล่องแคล่ว มาตรฐานที่ติดตามความก้าวหน้าของความคิดริเริ่ม โดยสร้างความรับผิดชอบต่อภาระหน้าที่และมีความพยายาม การกำหนดเป้าหมายทั้งภายในและภายนอกองค์กร เป้าหมายที่ขยายออกไปโดยมุ่งเน้นที่การเปลี่ยนแปลงไปสู่สิ่งที่ดีกว่า และมีการฝึกอบรมแก่พนักงานทุกระดับอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าซิกซ์ ซิกมา เป็นกระบวนการที่อาศัยหลักการและเทคนิคที่ต้องอาศัยการดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ธุรกิจดำเนินไปโดยมีคุณภาพมากที่สุด



รูปที่ 2.1 เส้นโค้งการกระจายตัวปกติ

ซิกซ์ ซิกมา นั้นแท้จริงแล้วเป็นภาษาในวิชาสถิติ ซึ่งสัญลักษณ์ซิกมา เป็นตัวอักษรในภาษากรีก ที่ใช้แทนความหมายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งค่าซิกมายิ่งสูงแสดงว่ามี

ความแปรปรวนของกระบวนการยิ่งสูง ทำให้มีพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ในการยอมรับหรือในเส้นสเปคน้อยลง นั่นคือมีของเสียที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่ยอมรับได้น้อยลง โดยที่ในระดับหกซิกมา นั้นจะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่มีปริมาณ 3.4 ชิ้นในการผลิตหนึ่งล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 DPPM ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ (Normal Distribution Curve) จริงๆ ทางสถิติ นั่นที่ระดับซิกมา ซิกมาจะมีของเสียที่อยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ชิ้นต่อหนึ่งล้านชิ้นเท่านั้น แต่เหตุผลที่หลักการซิกมา ซิกมาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการยอมรับของเสียที่ 3.4 DPPM ก็เพราะว่า ในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้พบว่า ไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มีความแปรปรวนเลยจึงเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้นองค์กรจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลาง การควบคุมระดับซิกมา ซิกมา คือการควบคุมคุณภาพที่ระดับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงมากเท่าไร ยิ่งสามารถลดค่าความแปรปรวนในกระบวนการผลิตให้มีค่าน้อย ซึ่งส่งผลให้การดำเนินงานยังมีประสิทธิภาพมากขึ้น การดำเนินงานทุกขั้นตอนจะถูกควบคุมอย่างเป็นระบบ ซึ่งทำให้หลายองค์กรประสบความสำเร็จในการพัฒนาด้านคุณภาพ รวมถึงเพิ่มผลผลิตและเพิ่มความสามารถในการทำกำไรได้อีกด้วย กระบวนการพัฒนาแบบซิกมา ซิกมา ที่น่าสนใจคือ D-M-A-I-C คือห้าขั้นตอนที่ประกอบด้วย

1) ขั้นตอนการกำหนดขอบเขตของปัญหา (Define Phase) คือการนิยามปัญหา เป็นขั้นแรกของการประยุกต์แนวคิดของซิกมา ซิกมา ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดทีมงาน เพื่อทำการระดมความคิด และเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน โดยอาจจะพิจารณาจากปริมาณของเสียในปัจจุบัน

2) ขั้นตอนการวัดและรวบรวมข้อมูล (Measure Phase) คือการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ประกอบด้วยการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบของกระบวนการด้วยผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) โดยขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อค้นหาและเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเพื่อคัดเลือปัจจัยต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase) คือขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาที่เป็นต้นเหตุของปัญหา โดยอาศัยวิธีการทางสถิติวินิจัยเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง เช่นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) หรือการ

ทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) แล้ววิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป

4) ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) คือขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการดำเนินการออกแบบการทดลอง หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ โดยประกอบด้วยขั้นตอนของการกำหนดตัวแปรและข้อจำกัดที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง การกำหนดขั้นตอนของการทดลอง และวิธีการเก็บข้อมูล การทำการทดลองตามแผนการที่วางไว้ และการวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง จากนั้นทำการทดสอบยืนยันผล เพื่อนำเอาผลที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง

5) ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase) ขั้นตอนสุดท้ายนี้เป็นการพยายามควบคุมและสร้างระบบป้องกันความผิดพลาด โดยจัดทำแผนการควบคุมและการติดตามในกระบวนการ โดยมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผล ซึ่งต้องพิจารณาคัดเลือกแผนภูมิควบคุมด้วยการกำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่าง ความถี่ในการวัดและกำหนดวิธีการแก้ไขเมื่อเกิดค่าที่ได้ ไม่ตกอยู่ในขอบเขตที่ต้องการ ฝั่งควบคุมช่วยให้องค์กรลดปัญหาของเสียในระยะยาวและช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิต รวมถึงลดของเสียอันเกิดจากความผันแปรตามปกติ การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการจัดทำฝั่งควบคุมนี้ ต้องมีความระมัดระวังเพราะฝั่งควบคุมนี้จะแตกต่างกันออกไปหากมีการจัดกลุ่มของข้อมูลผิดไป การเก็บข้อมูลจึงควรรัดกุมและขนาดของข้อมูลต้องมากพอที่สามารถแยกแยะสาเหตุของของเสียที่เกิดจากสภาพที่ผิดปกติได้อย่างชัดเจนและถูกต้อง (สมอุษา วรรณกุล, 2547)

ถ้าฟังเรื่องคุณภาพไม่ใช่ปัจจัยผลักดันที่ทำให้องค์กรต้องใช้ยุทธศาสตร์เชิงปฏิบัติ ที่เรียกว่า ชิกซ์ ชิกมา แต่เพราะชิกซ์ ชิกมาเป็นเรื่องเกี่ยวกับการปรับปรุงความสามารถในการทำกำไร โดยแนวปฏิบัติแต่ละระดับที่ขยับ สูงขึ้นจะทำให้องค์กรมีกำไรสุทธิเพิ่มทำให้ผู้บริหารจำเป็นต้องใช้ยุทธศาสตร์นี้ นอกจากนั้น ยังมีสาเหตุที่องค์กรธุรกิจต้องยึดแนวปฏิบัติชิกซ์ ชิกมาหลายประการ ดังนี้

แนวปฏิบัตินี้กำหนดมาตรฐานที่แตกต่าง เท่าที่ผ่านมาเรามักกำหนดนิยามคำว่าคุณภาพโดยเน้นไปที่การกำหนดโครงสร้างให้กับมาตรฐาน ในขณะที่องค์กรต่างพยายามค้นคว้าที่จะสร้างผลิตภัณฑ์และบริการที่อยู่ภายในกรอบดังกล่าว หากองค์กรสามารถ ผลิตสินค้าหรือบริการที่มีคุณภาพก็ถือว่ามีการดำเนินงานตามมาตรฐาน โดยไม่คำนึงว่าทำได้ตามมาตรฐานนั้นด้วยวิธีการเช่นไร แต่แนวปฏิบัติชิกซ์ ชิกมานั้น ขยายขอบข่ายของนิยามคำว่าคุณภาพออกไปโดยนับรวมถึงมาตรฐานของคุณค่าทางเศรษฐกิจที่คาดหวังด้วย เช่น ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตสินค้า และยังคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยในทางปฏิบัติด้วย

ซิกซ์ ซิกมาเป็นแนวปฏิบัติที่ยึดกระบวนการเป็นศูนย์กลาง องค์กรธุรกิจนั้นต้องใช้กระบวนการนับพันอย่าง ในการสร้างสรรค์สินค้าและบริการ (กล่าวคือบรรดากิจการที่ต้องมีปัจจัยนำเข้า การเพิ่มมูลค่าและการผลิตสิ่งที่ต้องการตามกระบวนการ) กระบวนการเหล่านี้จะเป็นเรื่องในเชิงอุตสาหกรรมหรือในเชิงพาณิชย์ก็ได้ ทั้งนี้แนวปฏิบัติซิกซ์ ซิกมาสร้างเป้าหมายที่ปรับปรุงขึ้นเฉพาะเจาะจงให้กับทุกกระบวนการในองค์กร โดยทำให้องค์กรเกิดความเข้าใจและนำเอาเทคโนโลยีใหม่เข้าไปใช้ปรับปรุงผลประกอบในกระบวนการดำเนินงาน นี่จึงไม่ใช่เรื่องแปลกที่บ๊อบ กัลวิน อดีตประธานเจ้าหน้าที่บริหารของโมโตโรล่าเคยกล่าวว่า ผู้นำต้องนำเรื่องคุณภาพเป็นหลัก เพื่อที่จะทำให้เกิดการปรับปรุงที่ต่อเนื่องและยาวนาน ตัวอย่างความสำเร็จตามยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมาของจีอี เมื่อแจ็ก เวลช์ ประธานเจ้าหน้าที่บริหารของจีอีพิจารณาการใช้ยุทธศาสตร์ฝ่าฟันอุปสรรค ในปี 1996 เขาพบว่าองค์กรกำลังดำเนินการอยู่ในระหว่างขั้นตอนที่สามหรือสี่ คือ มีจุดผิดพลาด 35,000 จุดต่อหนึ่งล้านโอกาส เมื่อพิจารณาขนาดขององค์กรก็ประเมินเป็นค่าใช้จ่ายถึงราว 7-10 พันล้านดอลลาร์ต่อปี สำหรับการรื้อแก้หรือปรับปรุงความรู้ประสิทธิภาพในจุดต่าง ๆ เวลช์ตัดสินใจใช้ยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมาให้บรรลุผลในปี 2000 เขายอมรับว่าการริเริ่มสิ่งใหม่จะเป็นไปไม่ได้เลยหากขาดซึ่งการฝึกอบรมและวิสัยทัศน์ ดังนั้นจึงยอมลงทุนถึง 450 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี 1996 และ 1997 เพื่อจัดฝึกอบรมผู้บริหารและผู้จัดการจำนวน 5,000 คน กับวิศวกรและพนักงานอื่นอีก 80,000 คน ตามยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมาและถือว่าเป็นเงื่อนไขบังคับสำหรับพนักงานที่ต้องการเลื่อนตำแหน่งในระดับสูงขึ้น บริษัทใช้ยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมา สำรวจความเห็นของลูกค้าเกี่ยวกับมาตรฐานคุณภาพขั้นสูงสุดและพิจารณาปรับปรุงคุณภาพของแผนกบริการอื่น ผลปรากฏว่าในปี 1998 รายได้รวมของบริษัทเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 เป็น 100 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ กำไรเพิ่มร้อยละ 13 เป็น 9.3 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ผลตอบแทนจากทุนดำเนินงานเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.4 เป็นร้อยละ 9.2 ในปี 1997 นอกจากนั้นบริษัทยังเร่งมือลงทุนในสินทรัพย์สำคัญกล่าวคือ ทุนในด้านทรัพย์สินทางปัญญา และส่งผลให้พนักงานอุทิศตนให้กับงานเพื่อให้บรรลุสิ่งท้าทายและวัตถุประสงค์ใหม่ต่อไป ตัวอย่างบริษัทอีกหนึ่งที่ประสบความสำเร็จในการใช้ซิกซ์ ซิกมาก็คือโพลารอยด์ ความพยายามของโพลารอยด์ที่จะให้ยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมา บรรลุผลสำเร็จภายในปี 2001 เป็นกรณีศึกษาที่โดดเด่นที่สุดกรณีหนึ่งในการนำยุทธศาสตร์การฝ่าฟันอุปสรรคสู่ความสำเร็จไปปฏิบัติให้บรรลุผล ทั้งนี้โพลารอยด์มีเกณฑ์การปฏิบัติในเรื่องการฝึก "กลุ่มสายคำ" ในองค์กรในแง่มุมต่างๆ ดังนี้ รายได้ที่ต่ำ เมื่อกระบวนการใดในองค์กรทำให้องค์กรมี รายได้ต่ำอย่างต่อเนื่อง หรือคาดได้ว่าจะทำให้รายได้ตกจะต้องแก้ไขด้วยยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมา และต้นทุนของการมีคุณภาพต่ำ ประเด็นนี้เป็นการวัดสินค้าและกระบวนการที่ต้องมีการแทรกแซงในเรื่องการตรวจวัดคุณภาพอย่างเอาใจจริงเอาจัง และเป็นปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบกับรายได้เพื่อ

กำหนดความต้องการใช้ยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมาต่อไป นอกจากนั้นการมีขีดความสามารถต่ำ หมายถึงการที่บริษัทขาดสิ่งสนับสนุน โดยรวมทั้งเครื่องมือเครื่องมือนานา ทรัพยากรบุคคลในการผลิตสินค้าให้ได้ตรงเวลา แต่เดิมโพลาลอยด์ไม่เคยให้ความสำคัญกับประเด็นนี้มาก่อน แต่บริษัทถือว่าเป็นประเด็นที่ต้องดำเนินการแก้ไขด้วยยุทธศาสตร์ซิกซ์ ซิกมาเช่นกัน (ผู้จัดการออนไลน์, 2544)

2.2 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารการผลิต คุณภาพคือ คุณลักษณะและประโยชน์ของการใช้งานโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่จะทำให้สามารถตอบสนองการใช้งานได้เหมาะสมกับการใช้งานและสอดคล้องกับความต้องการ ส่วนประกอบที่สำคัญในกระบวนการควบคุมคุณภาพ คือ การบริหารจัดการและการควบคุมทรัพยากรที่เกี่ยวข้องต่อกระบวนการผลิต ซึ่งมีอยู่หลัก ๆ ได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Materials) และวิธีการ (Method) คนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการผลิต และเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความผันแปรในการผลิต เนื่องจากคนงานขาดความชำนาญ เกิดความเมื่อยล้า ขาดการอบรมอย่างถูกต้อง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ให้คุณภาพลดลง และคุณภาพของวัตถุดิบมีความสำคัญเช่นกัน รวมถึงเครื่องจักรในกรณีที่ไม่มีบำรุงรักษาเป็นประจำ อาจเกิดปัญหาทำให้เกิดการผันแปรในการผลิตได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นการตรวจสอบความผันแปรทุกปัจจัย ส่งผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีตามมา เครื่องมือที่นำมาสร้างคุณภาพ เช่น แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagrams) เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่แสดงว่ามูลเหตุใดเป็นมูลเหตุที่สำคัญที่สุด มักใช้ร่วมกับใบตรวจสอบในการเก็บข้อมูลและจำแนกข้อมูลเป็นหมวดหมู่ตามสาเหตุที่เกิดปัญหา โดยนำข้อมูลปัญหาที่รวบรวมได้ และที่มีผลกระทบต่อการผลิตหรือการดำเนินงานมาบันทึกเป็นกราฟแท่ง จัดลำดับความสำคัญของปัญหาโดยเรียงลำดับกราฟแท่งจากสูงไปต่ำ หรืออีกนัยหนึ่งแผนภูมิพาเรโตคือแผนภูมิฮิสโตแกรมที่มีการเรียงลำดับความสูงของกราฟจากสูงไปต่ำนั่นเอง การวิเคราะห์แบบพาเรโตจึงเป็นเครื่องมือช่วยจัดความสำคัญก่อนหลังของข้อมูลหรือสิ่งที่เราต้องการวิเคราะห์ ขั้นตอนการวิเคราะห์พาเรโต ได้แก่ การจัดทำรายการสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ ทำการวัดค่า จัดอันดับตามค่าจากมากไปน้อย คำนวณค่าสะสม วาดกราฟ วิเคราะห์กราฟตามลำดับ การวิเคราะห์พาเรโตจึงเป็นเครื่องมือช่วยจัดลำดับความสำคัญก่อนหลังของข้อมูลหรือสิ่งที่เราต้องการวิเคราะห์ สังเกตได้ว่าแผนภูมิพาเรโตก็คือแผนภูมิแท่งนั่นเอง และโปรแกรมยังแสดงค่าจำนวนความถี่ของเสีย เรียงลำดับจากมากที่สุดไปยังน้อยสุด พร้อมคำร้อยละและคำร้อยละสะสม แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagrams) ฟังก้างปลาใช้เพื่อหาสาเหตุของปัญหาอันก่อให้เกิดผล โดยปกติจะใช้เป็นเครื่องมือในการประชุมระดมความคิดจากหัวหน้างานและพนักงาน ฟังก้างปลา มีลักษณะคล้ายก้างปลา คือปลายด้านหนึ่งจะเป็นผลที่กำลังประสบอยู่ และแตกในส่วนของก้างที่แตกกิ่งออกไปจะแทนปัจจัยหรือสาเหตุต่าง

ๆ ที่ทำให้เกิดผลอันนั้น โดยปกติการสร้างแผนภูมิแก๊งปลา ควรเริ่มจากการกำหนดปัญหาที่จะทำการศึกษาก่อน จากนั้นเริ่มระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา เช่นสาเหตุที่ชิ้นงานที่ผลิตมีตำหนิ อาจเกิดจากตั้งเครื่องจักรไม่เหมาะสม พนักงานไม่มีทักษะ วัตถุดิบไม่มีคุณภาพเป็นต้น ขั้นตอนการสร้างผังก้างปลา เริ่มจากการชี้บ่งปัญหาหรือผลกระทบที่กำลังเผชิญอยู่อย่างชัดเจน เช่น การสูญหายของใบชาและจะถูกวางอยู่ที่ปลายสุดของฝั่ง จากนั้นจึงจัดทำโครงสร้างของผังเบื้องต้นช่วยให้เกิดความคิดอย่างเป็นระบบ เนื่องจากเรามีเวลาและทรัพยากรจำกัด ไม่สามารถแก้ไขทุกสาเหตุของปัญหาได้พร้อมกันทีเดียว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกเฉพาะสาเหตุสำคัญหรือสาเหตุหลักซึ่งมีผลกระทบต่อปัญหามาวิเคราะห์หาข้อมูลเพิ่มและหาแนวทางแก้ไขก่อน หลังจากนั้นทำการหาสาเหตุที่แท้จริงในแต่ละกิ่ง โดยสามารถที่จะแตกตัวออกไปได้เรื่อย ๆ จนถึงจุดซึ่งเป็นมูลเหตุอันแท้จริงของปัญหานั้น ต้นเหตุของปัญหาสามารถแยกเป็นหัวข้อหลักห้าหัวข้อใหญ่เช่น 1) ผลิตภัณฑ์หรือบริการซึ่งรวมถึงวัตถุดิบและวัสดุคงค้างระหว่างการผลิต 2) ขบวนการหรือวิธีการแปลงสภาพวัตถุดิบเป็นสินค้าสำเร็จรูป 3) เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในขบวนการแปลงสภาพ 4) โปรแกรมหรือตารางเวลา ในการสั่งซื้อ การผลิตและการแปลงสภาพ 5) บุคลากรทั้งจากภายในและภายนอก การเลือกสาเหตุหลักจากแผนภูมิแก๊งปลา เรามักจะเห็นภาพสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นมากมาย แต่ในสภาพความจริงทั่วไปแล้ว สาเหตุต่าง ๆ นั้นมีเพียงประมาณร้อยละ 20 เท่านั้นที่เป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาที่เหลือจะเป็นสาเหตุรอง และเนื่องจากเรามีเวลาและทรัพยากรจำกัด จึงไม่สามารถแก้ไขทุกสาเหตุของปัญหาได้พร้อมกันทีเดียว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกเฉพาะสาเหตุสำคัญหรือสาเหตุหลักมาวิเคราะห์ สาเหตุหลักที่ปลายก้างหลักเกิดจาก 4M ได้แก่ Man – การปฏิบัติงานตามมาตรฐานหรือไม่ มีความผิดพลาดในการทำงานหรือไม่ มีความสามารถในการปฏิบัติงานหรือไม่ มีมนุษยสัมพันธ์ดีหรือไม่ Machine – เครื่องจักรอุปกรณ์ เช่น มีความสามารถในการผลิตที่เหมาะสมหรือไม่ อัตราเดินเครื่องดีหรือไม่ การตรวจบำรุงรักษาทำได้อย่างถูกต้อง มีความปลอดภัยในการทำงานหรือไม่ Materials – วัสดุ เช่น มีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพและคุณสมบัติของวัสดุและชิ้นส่วนใช้หรือไม่ มีสิ่งแปลกปลอมเข้ามาบ้างหรือไม่ มีการจัดเก็บที่ดีและเหมาะสมหรือไม่ Methods – วิธีการ เช่น มีมาตรฐานการปฏิบัติงานหรือไม่ ลำดับการปฏิบัติงานเหมาะสมหรือไม่ มีการทบทวนแก้ไขมาตรฐานให้ดีขึ้นอยู่เสมอ ขึ้นต่อไปเป็นการระดมความคิดของผู้เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อหาสาเหตุที่น่าเป็นไปได้ ในการเลือกสาเหตุหลักจากแผนภูมิแก๊งปลา ในการหาจุดเริ่มต้นของสาเหตุหลักของปัญหา เราอาจจะลองผิตลอดูก่อน จากโครงสร้างของฝั่งที่เกิดจาก 4M แล้วจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุของปัญหาทั้งหมด วัตถุประสงค์หลักของการทำผังก้างปลา คือ การรวบรวมหาสาเหตุและการจัดรูปแบบให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยเฉพาะขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล สำหรับตัวอย่างของชาวบรรจุถุง เมื่อทำการสุ่มตรวจเพื่อหาปริมาณใบชาที่สูญเสีย

ระหว่างกระบวนการบรรจุ ให้บันทึกหาสาเหตุที่พบเห็นทั้งหมดแล้วทำการเรียงลำดับต้นเหตุที่ก่อให้เกิดความสูญเสียจากมากไปน้อย จากตัวอย่างการบรรจุใบชาข้างต้น พบว่า สาเหตุที่สำคัญที่ก่อให้เกิดการสูญเสียใบชาคือระหว่างกระบวนการเปลี่ยนม้วนกระดาษใหม่แทนของเดิมที่หมดไปในขบวนการบรรจุ บริษัทจึงได้ติดต่อกับผู้ค้าส่งให้ทำการเพิ่มขนาดของม้วนเป็นสองเท่าและปรับปรุงเครื่องจักรเล็กน้อยให้เหมาะสมกับขนาดใหม่ ทำให้ความสูญเสียลดลงกว่าร้อยละ 30 (ที่มา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาควรพยายามหาสาเหตุให้มากที่สุด โดยสามารถใช้แผนภูมิแก๊งปลา ในการหาสาเหตุและจัดกลุ่มสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ ทำให้เห็นภาพปัญหาและสาเหตุชัดเจนขึ้น หลังจากนั้นเราสามารถใช้อนุกรมพีทาโกรัสในการหาข้อมูลเชิงสถิติและเลือกเฉพาะสาเหตุหลัก เพื่อนำมาหาวิธีการแก้ปัญหาโดยด่วนที่สุดในขั้นตอนการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

2.3 กราฟ Normal Probability Plot การทดสอบว่าข้อมูลของสิ่งตัวอย่างที่ได้มานั้นมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ เป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ การทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติมีหลายวิธีได้แก่ Quantile-Quantile Plot คือการพล็อตจุดตัดระหว่างค่า z กับ Quintile ของข้อมูลตัวอย่าง โดยสมมติฐานคือข้อมูลที่เก็บมาได้ หากมีการกระจายเป็นแบบ Normal distribution แล้วกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Quantile ของตัวอย่างกับค่า z จะใกล้เคียงกับเส้นตรง และมีค่าความชันเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างและมีจุดตัดบนแกนตั้งเท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าตัวอย่าง หากข้อมูลตัวอย่างไม่เป็น Normal distribution ลักษณะของกราฟที่ได้จะไม่เป็นเส้นตรงอย่างเห็นได้ชัด การทดสอบข้อมูลตัวอย่างที่เก็บมาจากประชากรว่า มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือไม่ นับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งด้วยเพราะถ้าข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติแล้วการวิเคราะห์ทางสถิติต่าง ๆ ที่อยู่บนสมมติฐานของ Normal distribution ก็อาจจะไม่ถูกต้องเพราะถือว่าผิดข้อกำหนดสมมติฐาน ในโปรแกรม Minitab การทดสอบความเป็นปกติจะกระทำโดยใช้แผนภาพ Probability Plot

2.4 แนวคิดการทดสอบสมมติฐาน การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimation of Parameters) เป็นสิ่งที่วิศวกรทุกคนต้องพบ เช่น สมมติว่านายสมชาติ วิศวกรควบคุมคุณภาพมีหน้าที่ตรวจสอบความหนาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากที่ผ่านมานายสมชาติได้ดำเนินการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เป็นจำนวน 15 ชิ้น พบว่าความหนาที่ตรวจสอบมีความไม่แน่นอน โดยทุกผลิตภัณฑ์มีความหนาไม่เท่ากัน ดังนั้นนายสมชาติจึงมีความเชื่อว่า คุณลักษณะของความเป็นตัวแปรที่ไม่แน่นอน (Random Variable) สมมติว่า X_i คือความหนาของผลิตภัณฑ์ชิ้นที่ i (มีหน่วยเป็นนิ้ว) มีการแจกแจงข้อมูลเป็นรูปประจักษ์ค่า $\bar{x}$ หรือมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) จากการตรวจสอบชิ้นงาน 15 ชิ้น พบความหนาดังนี้ 9.3818, 8.9553, 5.9433, 11.2613, 10.2985, 11.8687, 6.7902, 7.9965, 8.2156,

9.1477, 7.8330, 9.7020, 8.1576, 9.1150, 10.9783 สมมติว่าสมมติว่าค่าเฉลี่ยของความหนาที่แท้จริง (ค่าเฉลี่ยประชากร) และต้องการที่จะทราบว่าโดยเฉลี่ยแล้วความหนาที่แท้จริงเป็นเท่าไร นี่เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งที่ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นของการประมาณค่าพารามิเตอร์ในงานทั่วไป หลังจากทีนายสมชาติได้ประมาณค่าพารามิเตอร์แล้วพบว่าค่าเฉลี่ยของความหนาผลิตภัณฑ์จากกลุ่มตัวอย่างดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 9.043 นิ้ว แต่สมชาติมีความเชื่อว่าค่าเฉลี่ยของความหนาที่แท้จริงมีค่าเท่ากับ 10 นิ้ว ตามที่คุณลักษณะการทำงานของเครื่องได้กำหนดไว้ ความต้องการในการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของความหนาผลิตภัณฑ์ (ของประชากร) มีค่าเท่ากับ 10 นิ้วหรือไม่นั้นต้องเป็นการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Testing of Statistical Hypothesis) การทดสอบสมมติฐานต้องประกอบด้วยสมมติฐานหลัก หมายถึงสมมติฐานเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบ เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อเป็นหลักในการทดสอบ มักใช้สัญลักษณ์แทนว่า H_0 และสมมติฐานทางเลือก หมายถึงสมมติฐานที่ตั้งขึ้นให้แย้งกับสมมติฐานหลัก และตั้งขึ้นเพื่ออธิบายความคาดหวังของผู้ทดสอบเมื่อสมมติฐานหลักถูกปฏิเสธ มักใช้สัญลักษณ์แทนว่า H_1 หรือ H_a (วิชัย นัตรทินวัฒน์, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม)

2.5 วิธีการทดสอบเป็นสมมติฐานทางสถิติ โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของสมมติฐานที่กำหนดขึ้นในการทดสอบมีอยู่สองรูปแบบคือสมมติฐานทางเลือกแบบทางเดียวและสมมติฐานทางเลือกแบบสองทาง ตัวอย่าง อายุใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนในเครื่องจักรหนึ่งเป็น 1,100 ชั่วโมง ถ้าผู้ผลิตต้องการทราบว่าเมื่อนำชิ้นส่วนนี้มาปรับปรุงใหม่ จะทำให้มีอายุใช้งานเฉลี่ยนานกว่า 1,100 ชั่วโมงหรือไม่ในที่นี้ผู้ผลิตมีทางเลือกในการตัดสินใจสองทางคือ

- 1) สรุปรว่าอายุใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนปรับปรุงใหม่เป็น 1,100 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า
 - 2) สรุปรว่าอายุใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนปรับปรุงใหม่มากกว่า 1,100 ชั่วโมง
- ดังนั้น สามารถเขียนทางเลือกทั้งสองเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu \leq 1,100$$

$$H_1: \mu > 1,100$$

การสรุป H_0 แสดงว่าอายุใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนปรับปรุงใหม่ไม่ได้ยาวนานกว่าชิ้นส่วนเดิม ในขณะที่การสรุป H_1 แสดงว่าอายุใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนปรับปรุงใหม่นานกว่าชิ้นส่วนเดิม ตัวอย่าง นักวิทยาศาสตร์วัดค่า pH ของความเป็นกรดจากตัวอย่างน้ำ 18 ตัวอย่างในแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อศึกษาปริมาณ pH เฉลี่ยของน้ำว่าจะมีค่าแตกต่างจาก 7.0 ซึ่งเป็นระดับ pH ปกติหรือไม่

ดังนั้น สามารถเขียนทางเลือกทั้งสองเป็นสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

$$H_0: \mu = 7$$

$$H_1: \mu \neq 7$$

การสรุป H_0 แสดงว่าระดับ pH เหลือของแม่น้ำเจ้าพระยาเป็น 7.0 หรือแสดงว่าน้ำมีสภาพปกติ การสรุป H_1 แสดงว่าระดับ pH เหลือของแม่น้ำเจ้าพระยาไม่ใช่ 7.0 หรือแสดงว่าน้ำมีสภาพไม่ปกติ

2.5.1 การสร้างเกณฑ์การทดสอบสถิติ

ขั้นตอนในการสร้างเกณฑ์การทดสอบมีดังนี้

- 1) กำหนด H_0 และ H_1
- 2) ระบุระดับนัยสำคัญ ที่ต้องการควบคุม
- 3) กำหนดตัวทดสอบสถิติและคำนวณตัวทดสอบสถิติจากข้อมูลตัวอย่าง
- 4) กำหนดเขตวิกฤติ
- 5) สรุปผลการทดสอบ

2.5.2 เกณฑ์การทดสอบสำหรับการทดสอบแบบหางเดียว

จากตัวอย่างแรก อายุใช้งานชิ้นส่วนซึ่งเป็นการทดสอบแบบหางเดียวทางข้างมากหรือทางด้านขวา สร้างเกณฑ์การทดสอบได้ดังนี้

- 1) กำหนด $H_0: \mu \leq 1,100$
 $H_1: \mu > 1,100$

2) ถ้าต้องการควบคุม ความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 ให้มีค่าน้อย เช่น 0.01 หมายความว่าฝ่ายจัดการต้องการให้มีโอกาสเพียง 1 ใน 100 ที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 นั่นคือสรุปว่าอายุใช้งานเฉลี่ยของชิ้นส่วนปรับปรุงสูงกว่าชิ้นส่วนเดิม แต่ในความเป็นจริงแล้วมีอายุใช้งานเฉลี่ยเท่ากันหรือกล่าวในทางสถิติได้ว่าการกำหนด $\alpha = 0.01$ แสดงว่าฝ่ายจัดการต้องการให้มีโอกาสเพียง 1 ใน 100 ที่ที่คำนวณได้ในตัวอย่างกลุ่มจะมีค่าอยู่ในเขตวิกฤติเมื่ออายุใช้งานเฉลี่ยจริงเป็น 1,100 ชั่วโมง

3) กำหนดตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็น และวัดว่าค่าต่างจากค่า $\mu = \mu_0$ (ใน H_0) กี่หน่วย

4) กำหนดเขตวิกฤติจาก $\alpha = 0.01$ ค่าวิกฤตบนสเกลของ z คือ a ซึ่งให้พื้นที่หางขวามือของโค้งปกติมาตรฐานเป็น 0.01 นั่นเอง ในตัวอย่างนี้คือ $z = 2.326$ ซึ่งหาได้จากตารางมาตรฐานทั่วไป ดังนั้นยอมรับ H_0 ถ้า $z \leq 2.326$ และ ปฏิเสธ H_0 ถ้า $z > 2.326$ ค่า $z = 0.57$ ที่คำนวณจากข้อมูลตัวอย่าง ตกอยู่ในเขตการยอมรับ ดังนั้นยอมรับ 5) H_0 แสดงว่าชิ้นส่วนปรับปรุงนี้ไม่ได้มีอายุใช้งานเฉลี่ยสูงกว่า 1,100 ชั่วโมง ในทำนองเดียวกับการทดสอบ $H_0: \mu \geq 1,100$ เทียบกับ $H_1: \mu \leq 1,100$ นี่จะเป็นการทดสอบแบบหางเดียวทางข้างน้อยหรือทางด้านซ้าย แต่เขตวิกฤติของการ

ทดสอบจะอยู่ทางด้านซ้ายมือของโค้งปกติมาตรฐานและถ้าเป็นการทดสอบแบบ สองหางคือ $H_1: \mu \neq 1,100$ แล้วเขตวิกฤติจะอยู่ทั้งทางทางด้านซ้ายและขวาของโค้งปกติมาตรฐาน โดยมีพื้นที่ทั้งสองด้านรวมกันเป็น α หรือพื้นที่แต่ละหางเป็นเกณฑ์การตัดสินใจของการทดสอบแบบหางเดียวทางข้างน้อย

2.5.3 ค่า p-value

ค่า p-value ของการทดสอบหมายถึงความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธ H_0 ด้วยค่าตัวทดสอบสถิติของค่าตัวอย่างที่คำนวณได้ เช่นค่า z ค่าทดสอบทางสถิติที่คำนวณจากข้อมูลตัวอย่างสามารถแสดงให้เห็นว่าตัวทดสอบสถิติของตัวอย่างชุดนี้อยู่ห่างจากสมมติฐานหลักที่กำลังทดสอบมากน้อยเพียงใด โดยการหาค่า p-value เช่น สมมติว่าตัวทดสอบสถิติที่คำนวณจากข้อมูลตัวอย่างมีค่าเป็น x ซึ่งคำนวณตัวทดสอบสถิติมาตรฐานได้ค่าเป็น z^*

การใช้ค่า p ในการทดสอบสมมติฐาน

ถ้าค่า $p\text{-value} \geq \alpha$ จะยอมรับ H_0

ถ้าค่า $p\text{-value} < \alpha$ จะปฏิเสธ H_0

2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) กลยุทธ์ในการออกแบบ การวางแผน และทำการทดลองอย่างมีระบบแบบแผนและมีประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาผลของปัจจัยโดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีความเที่ยงตรง แม่นยำ สามารถนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ และใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถประมาณค่าผลกระทบของปัจจัย โดยใช้ทรัพยากรในการทดลองที่มีอย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่า

2.6.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

สามารถแบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

- 1) เลือกกระบวนการที่จะศึกษาหรือปรับปรุง
- 2) พิจารณาวามีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อผลตอบของกระบวนการที่ศึกษา
- 3) ตรวจสอบแต่ละปัจจัยว่ามีปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานและกระบวนการเสถียรหรือไม่
- 4) เลือกศึกษาเฉพาะปัจจัยที่ค่อนข้างมีผลมากต่อผลตอบของกระบวนการเท่านั้น
- 5) ทำการทดลองเบื้องต้น หลังจากนั้นทำการทดลองจริงเหมาะสมที่สุด
- 6) ยืนยันผลการทดลองโดยทำการทดลองเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการบวนการจริง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลใช้ในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย มีความสำคัญมากที่สุด คือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วยสองระดับ เราเรียกการออกแบบ

ลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (Full Factorial Designs at Two levels) โดย k =จำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษา และสองคือระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองซึ่งมักใช้คำกล่าวเกี่ยวกับระดับของปัจจัยเป็น ระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้น ๆ ก็ได้ การทดลองรูปแบบนี้ เป็นการทดลองที่สามารถศึกษาผลของปัจจัยทุกตัวเปลี่ยนแปลงระดับของทุกปัจจัยพร้อม ๆ กัน แต่ที่อยู่ภายใต้สมมติฐานสามประการ คือ ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์และสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติที่ยอมรับได้ ดังนั้นถ้าหากสนใจศึกษาผลของปัจจัยสองปัจจัย จะมีจำนวนเงื่อนไขการทดลองทั้งสิ้นสี่การทดลอง (2^2 , $k = 2$ ปัจจัย) เงื่อนไขการทดลอง แสดงได้ดังนี้

เงื่อนไขในการทดลอง	A	B
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

โดย - แทนเงื่อนไขของปัจจัยที่ระดับต่ำ
 + แทนเงื่อนไขของปัจจัยที่ระดับสูง

ตาราง 2.2 เงื่อนไขการทดลองแบบ 2 ระดับ, 2 ปัจจัย

จำนวนปัจจัยที่ศึกษา	จำนวนระดับ=2	จำนวนระดับ=3	จำนวนระดับ=4
2	$2^2=4$	$3^2=9$	$4^2=16$
3	$2^3=8$	$3^3=27$	$4^3=64$
4	$2^4=16$	$3^4=81$	$4^4=256$
⋮	⋮	⋮	⋮
k	2^k	3^k	4^k

ตาราง 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเงื่อนไขการทดลอง
 จำนวนปัจจัยที่สนใจศึกษาและจำนวนระดับของปัจจัย

จากตารางแสดงความสัมพันธ์ 2.3 จะเห็นว่าถ้าจำนวนระดับของปัจจัยที่ศึกษาเพิ่มขึ้น จำนวนเงื่อนไขการทดลองทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น กรณีสนใจศึกษาผลของปัจจัยห้า ปัจจัย ถ้าจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยเพิ่มจากสองระดับเป็นสี่ระดับ จำนวนเงื่อนไขการทดลองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 32 การทดลองเป็น 1,024 การทดลอง เพราะจำนวนการทดลองมากเกินไป โดยปกติมีทรัพยากรสำหรับการทดลองอย่างจำกัด ดังนั้นเบื้องต้นอาจเลือกการออกแบบการทดลอง โดยใช้จำนวนระดับของปัจจัยแค่สองระดับ ซึ่งอาจให้ข้อมูลน้อยกว่าออกแบบการทดลองที่ใช้จำนวนระดับมากกว่า โดยเฉพาะกรณีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลตอบไม่ใช้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Nonlinear) แต่จุดประสงค์เบื้องต้นหรือสำหรับการทดลองเพื่อหาข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเบื้องต้นว่าควรออกแบบอย่างไรต่อไป การกำหนดระดับของปัจจัยการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของปัจจัยเริ่มต้นจะต้องกำหนดระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) ของแต่ละปัจจัย การกำหนดระดับของปัจจัยมีผลมากต่อผลการวิเคราะห์ และผลสรุปการกำหนดระดับของปัจจัย โดยพิจารณาระดับปกติหรือค่ากลางของแต่ละปัจจัย ซึ่งระดับปกติหรือค่ากลางได้มาจากการสอบถามผู้รู้ และการวิจัยค้นคว้า หลังจากกำหนดค่ากลางแล้วเพิ่ม และลดระดับของปัจจัยจากค่ากลาง เพื่อหาช่วงของปัจจัยที่เป็นไปได้ หรือสามารถทำการทดลองได้ จากช่วงที่เป็นไปได้ของปัจจัย เลือกกระดับสูงต่ำให้เหมาะสม กับข้อจำกัดในการทำการทดลอง เช่น ข้อจำกัดของวัสดุ อุปกรณ์ งบประมาณในการทดลอง จุดประสงค์ของการออกแบบการทดลอง เพื่อบ่งชี้ปัจจัยใดมีผลกระทบต่อผลตอบในกระบวนการ และเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ ระหว่างผลตอบและปัจจัยที่ศึกษาโดยรวมเฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การออกแบบการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเมื่อรู้แหล่งของความผันแปรหรือความผิดพลาดแล้วหาวิธีแก้ไขอย่างรวดเร็วและทันเวลา สามารถลดของเสีย และช่วยประหยัดทรัพยากรที่สูญเสียเนื่องจากความผันแปร โดยใช้ทรัพยากรในการทดลองอย่างคุ้มค่า ไม่สิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนี้ผลการทดลองจะมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ 2.6.2 หลักการพื้นฐานที่สำคัญสามประการ

เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองและเป็นหลักการเพื่อช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้อง เที่ยงตรงและแม่นยำมากขึ้น

1) การทดลองซ้ำ (Replication)

คือการทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองเพิ่มมากขึ้น และยังทำการทดลองซ้ำจำนวนครั้งมากเท่าใด ก็จะได้ข้อมูลจากการทดลองเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลการทดลองและเพิ่มความเที่ยงตรงแม่นยำของข้อมูลมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลให้การวิเคราะห์และผลสรุปจากการทดลองมีความถูกต้อง

แม่นยำมากยิ่งขึ้น แต่ข้อเสียคือ จะสิ้นเปลืองทรัพยากรสำหรับการทดลองเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ การทดลองซ้ำมีคุณสมบัติที่สำคัญสองประการคือ ประการแรกทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลองนี้

2) การสุ่ม (Randomization)

คือการจัดลำดับในการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม เช่น ลำดับการวัด ลำดับการเลือกวัสดุหรืออุปกรณ์ ลำดับการทำการทดลอง วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ มักกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรสุ่ม การใช้หลักการสุ่มจะสอดคล้องกับสมมติฐานนี้ นอกจากการสุ่มยังช่วยลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เนื่องจากผลของปัจจัยภายนอกที่อาจปรากฏในการทดลอง โดยการสุ่มจะช่วยกระจายความผิดพลาดในการทดลองที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ไปสู่ทุกการทดลองด้วยโอกาสและขนาดที่เท่ากัน เพื่อให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลเกิดขึ้นน้อยที่สุด การสุ่มเป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ การสุ่มจะทำให้สมมติฐานเป็นจริง การที่เราทดลองแบบสุ่มนั้นทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3) การควบคุม (Blocking หรือ Control)

เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิงบล็อกเดียวกันหมายถึงการควบคุมสภาพในการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด เช่น วัสดุที่ใช้ทดลองควรมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน ผู้ทดลองคนเดียวกัน วิธีการทดลองเดียวกัน ช่วงเวลาทดลองใกล้เคียงกัน โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะเงื่อนไขของปัจจัยที่เราสนใจศึกษาเท่านั้น ดังนั้นผลตอบในการทดลองที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของปัจจัยที่สนใจศึกษาเท่านั้น เพราะปัจจัยรบกวนภายนอกที่รู้ว่าจะมีผลต่อการทดลองจะถูกควบคุมให้อยู่ในระดับเดียวกันตลอดการทดลอง

2.6.3 ขั้นตอนสำหรับแฟกทอเรียลดีไซน์

- 1) ประมาณค่าผลกระทบ
- 2) สร้างรูปแบบโดยเลือกเฉพาะที่มีนัยสำคัญ เลือกการทำซ้ำ หรือ ไม่ทำซ้ำ
- 3) ทดสอบทางสถิติ (ANOVA)
- 4) ได้รูปแบบที่เหมาะสม

5) เช็คว่าส่วนข้าง

กราฟส่วนข้าง(Residual Plots) ใช้ในการตรวจสอบสมมติฐานทางสถิติ ซึ่งเป็นกราฟที่มีอยู่ในหลายคำสั่งทางสถิติ

Normal Probability Plot – เพื่อตรวจสอบลักษณะการกระจายที่ไม่เป็นแบบปกติ (nonnormality) การที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรงแสดงว่าเศษเหลือ (residuals) มีการกระจายแบบปกติ

Histogram of the Residuals – เพื่อตรวจสอบ จุดโค้งหลายจุด outliers และ ลักษณะการกระจายที่ไม่เป็นแบบปกติ ฮิสโตแกรมควรจะมีรูปร่างสมมาตรและเป็นระฆังคว่ำ

Residuals Versus the Fitted Values – เพื่อตรวจสอบ การกระจายตัวของค่าเศษเหลือในแต่ละย่านของข้อมูล ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นโค้ง และ ลักษณะของกราฟควรมีการกระจายแบบสุ่มรอบค่า 0

Residuals versus order – เพื่อตรวจสอบว่าค่าเศษเหลือขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนไปในการเก็บข้อมูลหรือไม่ บนกราฟนี้ไม่ควรปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใด ๆ อย่างชัดเจน

6) การแปลผล

(ปารเมศ ชูติมา, 2545)

2.7 การออกแบบพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface Design)

การวิเคราะห์ที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาคำตอบของการทดลองที่ประกอบด้วยจำนวนปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย ซึ่งนำทางสู่การค้นพบการตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด การตอบสนองที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้ในสองลักษณะ คือ การตอบสนองมากที่สุด (Maximum) หรือการตอบสนองต่ำสุด (Minimum) ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการทดลอง วิธีการของพื้นที่ตอบสนองประกอบด้วยกลุ่มของเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาจากค่าสังเกตเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าการตอบสนอง (Response Variable) ที่วัดได้หนึ่งหรือสองค่า เช่น ผลผลิต ดัชนีค่าสี และความหนืด กับตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง (Input Variables) เช่น เวลา อุณหภูมิ ความดัน และความเข้มข้น อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ ได้ใช้เพื่อให้คำตอบต่าง ๆ เช่น

1) คำตอบสนองได้รับผลกระทบจากชุดสิ่งทดลองบนพื้นที่เฉพาะที่น่าสนใจบางอย่างได้อย่างไร

2) ถ้าจำเป็นชุดของสิ่งทดลองอะไรที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์หนึ่งเป็นที่น่าพอใจตรงตามข้อกำหนดเฉพาะพร้อมกัน

3) ค่าอะไรของสิ่งทดลองที่จะทำให้ผลผลิตในจุดที่สูงที่สุดของพื้นที่เฉพาะหนึ่ง ๆ และพื้นที่การตอบสนองอะไรที่ใกล้กับค่าสูงสุดนี้ได้

การศึกษาค่าตัวแปรเพื่อให้ได้คำตอบต่าง ๆ อยู่ในรูปของสมการ

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon$$

เมื่อ y = ค่าตอบสนองที่สังเกตได้ ซึ่งมักรู้จักกันในชื่อ Dependent Variable

f = ฟังก์ชันของการตอบสนองของ $x_1, x_2, \dots, x_n$ ซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ซึ่งมัก
รู้จักกันในชื่อ Independent Variable

ε = เทอมของความคลาดเคลื่อนสุ่ม

แม้ว่ารูปแบบความเที่ยงตรงของฟังก์ชันการตอบสนอง f มักจะไม่ทราบเสมอ มักจะให้
เห็นว่าโดยทั่วไปสามารถประมาณการได้โดยฟังก์ชันเชิงเส้นตรงหรือเส้นโค้งของตัวแปรเชิง
ปริมาณความสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Relationship) เป็น
ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

ซึ่งสมการดังกล่าวเป็นสมการพื้นฐานที่สุด ที่มักรู้จักกันว่าเป็นรูปแบบหรือสมการ
ลำดับที่หนึ่ง (First-order Model or Equation) ส่วนรูปแบบลำดับที่สอง (Second-order
Model) เป็นความสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้นโค้ง (Quadratic Regression
Relationship)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \beta_{11} x_1^2 + \dots + \beta_{nn} x_n^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \dots + \beta_{n-1,n} x_{n-1} x_n + \varepsilon$$

พารามิเตอร์ของสมการนี้โดยทั่วไปมักไม่ทราบ ดังนั้นจะต้องถูกประมาณจากผลการ
ทดลอง ความหมายในเชิงกายภาพของพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นดังนี้

β_0 = จุดตัด (Intercept) หรือ Grand Mean

β_i = เป็นผลเชิงเส้นตรง (Linear Effect) ของ X_i เมื่อ $i=1, \dots, n$

β_{ii} = เป็นผลเชิงเส้นโค้ง (Quadratic Effect) ของ X_i เมื่อ $i=1, \dots, n$

β_{ij} = เป็นผลของปฏิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) ของ X_i และ X_j เมื่อ $i < j$
และ $i = 1, \dots, n-1$ ส่วน $j=1, \dots, n-1$

ในเทอมของความคลาดเคลื่อนโดยปกติจะถูกกำหนดให้มีการกระจายตัวเทียบกับ
ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีค่าความแปรปรวนเป็น σ^2 ความแปรปรวนในเชิงปริมาณ σ^2 ในการ
กระจายตัวของค่าตอบสนองเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างระหว่างจุดต่าง ๆ ที่ออกแบบกับความ
คลาดเคลื่อนในการทดลองที่ไม่สามารถควบคุมได้ ความแปรปรวนเนื่องจากความแตกต่างระหว่าง
จุดต่าง ๆ ที่ออกแบบสามารถอธิบายโดยฟังก์ชันของการตอบสนองถ้าเกิดทราบความแปรปรวน

ดังกล่าว แต่โดยปกติฟังก์ชันของการตอบสนองที่เป็นจริงไม่ค่อยทราบมาก่อน ดังนั้นจึงมักจะต้องประมาณการของค่าดังกล่าว เป็นผลให้การกระจายตัวของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่เฉพาะแต่เกิดเนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเพียงอย่างเดียวแต่เกิดเนื่องจากการขาดความสอดคล้องของรูปแบบหุ่นที่ประมาณการขึ้นมาหรือเรียกว่า Lack of fit of estimate model ถ้ารูปแบบหุ่นที่ประมาณขึ้นมา มีความสอดคล้องในการตอบสนองที่กำลังคาดคะเนแล้วค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) ของความคลาดเคลื่อน จะเกิดเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการทดลองเพื่อประเมินความเหมาะสมของรูปแบบหุ่นที่ประมาณ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนจึงถูกแบ่งเป็น ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนในการทดลอง และผลรวมกำลังสองอันเนื่องมาจากการขาดความสอดคล้องของรูปแบบหุ่น หลักการทางสถิติของกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) ถูกนำมาใช้ในการประมาณพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการตอบสนองของสมการถดถอยที่ตั้งสมมติฐานขึ้น เมื่อพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการตอบสนองที่ถูกตั้งสมมติฐานขึ้น ถูกแทนด้วยค่าประมาณของมัน ผลลัพธ์คือฟังก์ชันของการตอบสนองจะถูกทำให้สอดคล้องขึ้นและค่า Y จึงเป็นดังนี้

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_nx_n$$

สมการดังกล่าวเป็นฟังก์ชันการตอบสนองเชิงเส้นตรงที่ถูกทำให้สอดคล้องซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนการตอบสนองสำหรับค่าที่ต้องการของตัวแปรเชิงปริมาณ (Independent Variables) เมื่อฟังก์ชันการตอบสนองที่ถูกทำให้สอดคล้อง (Y) ได้นำมาสร้างกราฟในลักษณะของฟังก์ชันของตัวแปรเชิงปริมาณ ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างกราฟนี้เรียกว่า Response Surface Plots หรือ Contour Maps

2.8 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซิกซ์ ซิกมา เป็นเทคนิคที่มีแนวทางการแก้ปัญหาและเพิ่มคุณภาพในการผลิตอย่างเป็นระบบและมีมาตรฐาน ดังเช่น

อุตสาหกรรมการผลิตถลุงนาฬิกาการแข่งชิงสูงมาก ทั้งในประเทศไทย จีน และเวียดนาม แต่รุนแรงมากในตลาดต่างประเทศ เพราะค่าแรงถูกกว่าประเทศไทยมาก อย่างไรก็ตามสินค้าชนิดนี้เน้นที่คุณภาพมากกว่าราคาจึงทำให้การผลิตในประเทศไทยยังสามารถอยู่ได้ แต่เราไม่สามารถอยู่นิ่งเฉยได้อีกต่อไป จำเป็นต้องใช้แนวคิดของซิกซ์ ซิกมามาใช้ เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการพ่นสีรองพื้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากในกระบวนการผลิตถลุงนาฬิกาการแข่ง โดยเริ่มจากการนิยามปัญหา ตามด้วยการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบของกระบวนการด้วยผังก้างปลา ตามด้วยการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน หลังจากนั้นเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ สุดท้ายเป็นขั้นตอนควบคุมการผลิต จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่า กระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงคุณภาพมีของเสียเท่ากับ 19,615 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้นของผลผลิต ทำให้บริษัทสูญเสียเงินจำนวนมากต่อปี เมื่อทำตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา พบว่าระดับที่เหมาะสมจากผลการทดลองคือ ความหนืดของสารเคมีในการพ่นสีรองพื้น เท่ากับ 30 วินาที จำนวนรอบของการพ่นในการพ่นสีรองพื้นเท่ากับหกรอบ และ รูปแบบการพ่นในการพ่นสีรองพื้นแบบเดี่ยว ทำให้จำนวนของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการพ่นสีรองพื้นในกระบวนการผลิตกล่อมนาฬิกาเหลือเพียง 3,240 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้นของผลผลิต ซึ่งมีค่าลดลงจากเดิมร้อยละ 83 ซึ่งทำให้ระดับมาตรฐานของกระบวนการผลิตสูงขึ้น นอกจากนี้องค์ประกอบในด้านการทำงานของพนักงานและคุณภาพของวัตถุดิบมีความสำคัญ หากสามารถควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จะเป็นการลดความผันแปร ทำให้ลูกค้าเกิดความมั่นใจในคุณภาพของสินค้า จึงควรจัดอบรมให้มีการทำงานเป็นมาตรฐานและคัดเลือกผู้ส่งมอบ เพื่อส่งผลให้การผลิตมีประสิทธิภาพ (ปารเมศ ชูติมา, 2550)

อุตสาหกรรมหุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูง ทำให้การควบคุมปริมาณของเสียจึงจำเป็น โรงงานนี้เกิดของเสียเฉลี่ยต่อเดือน 146,295 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้นของผลผลิต ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำกลับไปทำใหม่ หรือจำหน่ายในราคาต่ำลง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพผิวงานหุบโครเมียม โดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกมา โดยมีเป้าหมายคือลดอัตราของเสียลงร้อยละ 70 เริ่มจากการกำหนดปัญหาพบว่ามาจากผิวชิ้นงานที่เกิดรอยตำหนิ และมีการแจกแจงลักษณะอาการของปัญหาโดยแผนภาพพาเรโต และสามารถวิเคราะห์หาปัญหาทางเสียได้ โดยพบว่าการดำเนินงานแก้ไขและปรับปรุงปัญหาสามารถแบ่งออกเป็นสองช่วง คือช่วงแรกจะเป็นการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ เพื่อลดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนหุบโครเมียม พบว่าค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงเหลือเพียง 66,050 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้นของผลผลิต และช่วงที่สองจะเป็นผลหลังจากการทำ การควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา พบว่ามีค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงเหลือเพียง 25,780 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้นของผลผลิต ซึ่งสามารถลดปัญหาทางเสียที่เกิดขึ้นได้และยังเพิ่มความสามารถของกระบวนการอีกด้วย (วสันต์ พุกผาสุก, 2550)

ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์มีปัญหาของผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องเกิดขึ้นค่อนข้างสูง คือปัญหาการบริเวณกิมบอลของผลิตภัณฑ์รุ่นสไปกาส ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนซึ่งแปรผันตามกับจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง ดังนั้นจึงได้ประยุกต์นำเทคนิคซิกซ์ ซิกมามาใช้ โดยเริ่มจากขั้นตอนการตรวจวัด เพื่อค้นหาตัวแปรที่อาจเกิดผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องเนื่องจากอาการการบริเวณกิมบอลของผลิตภัณฑ์แซนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์รุ่นสไปกาส โดยการระดมสมองจากทีมงาน โดยใช้

เครื่องมือพื้นฐานทางสถิติและกราฟ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์เช่น แผนภูมิแก๊งปลา (Cause and Effect Diagram) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) จากขั้นตอนการตรวจวัดสามารถสรุปตัวแปรที่อาจเกิดผลกระทบได้ดังนี้ ทิศทางการโค้งของแผงวงจร การลดความโค้งของแผงวงจร แผงวงจรบิด ขนาดของหยดกาว เวลาที่ใช้พักกาว และระยะเวลาในการใช้กาว หลังจากได้ตัวแปรเหล่านี้แล้วต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อหาตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัดส่วนของเสียของแต่ละตัวแปรหลัก หลังการปรับปรุงสามารถลดอัตราส่วนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องลดลงและส่งผลให้ค่าใช้จ่ายเนื่องจากผลิตภัณฑ์บกพร่องต่อเดือนลดลง ช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่าย (สมอูษา วรรณฤมล, 2547)

การพยายามที่จะลดเวลานำในการผลิตในโรงงานผลิตเลนส์แว่นตาโดยใช้เทคนิคลีนซิกซ์ ซิกมา ตาม DMAIC ซึ่งมีเวลานำในการผลิต 1.58 วัน สาเหตุของเวลานำที่ยาวนานได้แก่ การส่งต่องานไม่เป็นระบบ การปล่อยงานไม่เหมาะสม รูปแบบการทำงานไม่ก่อให้เกิดคุณค่า แนวคิดนี้จึงพยายามที่จะแก้ปัญหาโดยควบคุมด้วยสายตา การฝึกอบรมพนักงานข้ามสายงาน การจัดการกับคอขวดของกระบวนการ โดยทำการวัดเวลาจากกลุ่มตัวอย่าง ทำให้ได้ค่าความสามารถของกระบวนการ ผลการปรับปรุงกระบวนการทำให้เวลานำในการผลิตเฉลี่ยลดลงเหลือ 1.29 วัน มีค่า C_{pk} เท่ากับ 1.09 ในการควบคุมกระบวนการได้จัดบอร์ดให้ทุกคนเห็นผลการทำงานและสภาพการผลิตปัจจุบันตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (พิมพ์ชนก ไพศาลภานุมาศ, 2550)

จากสี่หัวข้อในการทำวิจัยนี้ เห็นได้ว่าเป็นการประยุกต์เทคนิคซิกซ์ ซิกมาในการแก้ปัญหาและสามารถเพิ่มความสามารถของกระบวนการได้อีก ด้วยแนวทางการแก้ปัญหาที่มีระบบเดียวกัน แม้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นต่างกันก็ตาม

การออกแบบการทดลองเป็นขั้นการปรับปรุงของเทคนิคซิกซ์ ซิกมา ตัวอย่างของอุตสาหกรรมหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองได้แก่

กระบวนการผลิตพลาสติกพีวีซีแผ่นใส เนื่องด้วยมีปริมาณของเสียประเภทเม็ดพีวีซี (PVC: Poly Vinyl Chloride) ไม่หลอมละลายเกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ร้อยละ 54.66 ของงานเสียทั้งหมด คิดเป็นมูลค่า 1,561,716 บาทต่อปี ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจำเป็นต้องลดงานเสียนี้อย่างเร่งด่วน โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดงานเสียนี้อย่างมีประสิทธิภาพและเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง โดยจำเป็นต้องกรองปัจจัยเบื้องต้น เพื่อจัดปัจจัยที่ไม่น่ามีผลต่อค่าจำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์หนึ่งตารางเมตรออกไปด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ผู้วิจัยได้นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ได้ผ่านการทดลอง จากการกรองปัจจัยเบื้องต้นมาทำการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิในการหลอม

พีวีซี ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และปริมาณเศษพลาสติกพีวีซีแผ่นที่นำกลับมาหลอมใหม่ 30 กิโลกรัมต่อการผลิต เมื่อนำผลการวิจัยไปใช้ในกระบวนการผลิตพบว่าค่าจำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์หนึ่งตารางเมตร อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือไม่เกิน 10 จุดต่อตารางเมตร ส่งผลให้สามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ลงได้ร้อยละ 80 (โสภิตา ท่วมมี, 2550)

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการเคลือบชิ้นงานด้วยโพลียูรีเทน ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับการผ่าตัดและรักษาผู้ป่วยที่มีสาเหตุมาจากหลอดเลือดหัวใจตีตัน โดยจะสอดคล้องตัวนำเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเส้นเลือดและควบคุมให้เดินทางไปสู่จุดที่ต้องการรักษา หลอดตัวนำที่สอดเข้าไปต้องมีความเรียบสม่ำเสมอ แต่การผลิตสายหลอดที่มีความยาว 1.9 เมตร มักเกิดปัญหาในการเคลือบผิวไม่เรียบหลายแห่ง จากข้อมูลพบว่าอัตราข้อบกพร่องที่เกิดโดยรวมมีค่ามากถึงร้อยละ 59 ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเคลือบได้สองปัจจัย คือ ความเร็วในการเคลือบและปริมาณสารเติมแต่งไฮโดรฟลูออไรด์ (ที่ใช้เป็นส่วนผสมของโพลียูรีเทน) เป้าหมายการดำเนินงานคือลดอัตราข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการเคลือบผิวชิ้นงานด้วยโพลียูรีเทน จากร้อยละ 50 ลงเหลือไม่เกินร้อยละ 25 โดยขั้นแรกศึกษาความสัมพันธ์และทำการเลือกปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญ โดยผ่านผังก้างปลา และกำหนดระดับ โดยใช้แบบฟูลแฟคทอเรียล กำหนดสามระดับและสามปัจจัยรวมถึงสุ่มซ้ำจำนวนสามครั้ง หลังจากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและพบว่าปัจจัยทั้งสอง มีผลกระทบต่ออัตราข้อบกพร่องที่เกิดจากการเคลือบผิว ปริมาณสารละลายเติมแต่งไฮโดรฟลูออไรด์ 45 กรัม เป็นค่าที่เหมาะสมในการเตรียมส่วนผสม เพื่อให้เกิดค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลียูรีเทนที่พอเหมาะสำหรับใช้เคลือบชิ้นงาน แต่จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยป้อนเข้า เช่นความหนืดของสารโพลียูรีเทน ลักษณะการเคลือบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมและหาวิธีในการควบคุมสำหรับการผลิตต่อไปด้วย (วรัญญา มีเพชร, 2550)

การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยแบบแฟคทอเรียลมีสี่ขั้น คือหนึ่งทดลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมบนขอบเขตของระดับปัจจัยเริ่มต้น สองหาขอบเขตของระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยใช้วิธี Steepest of ascent or descent into the region of the optimal levels of factor สามการทดลองเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมบนขอบเขตของระดับปัจจัยที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้เทคนิคการวางแผนการทดลองจุดศูนย์กลาง สี่การหาระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด (เอกรัฐ เมนะจินดา, 2541)

การลากขึ้นรูปและการประกอบด้วยการเชื่อม ความต้านทานแบบจุดในอุตสาหกรรมงานเชื่อม นั้นนิยมใช้เหล็กกล้ารีดเย็นเกรด SPCD ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าการ

ทดสอบความแข็งแรงดึง-เหือน ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดบนเหล็กกล้ารีดเย็นเกรด SPCD ที่ความหนา 2 mm. โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษานี้คือแรงกดระหว่างชิ้นงาน กระแสไฟฟ้า เวลาในการกดระหว่างชิ้นงาน และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเชื่อม ในการออกแบบการทดลองใช้ระเบียบวิธีการแบบใช้ปัจจัยสี่ตัวคือ ขนาดความโตที่ปลายอิเล็กโทรด กระแสเชื่อม แรงกด และเวลาในการกดแช่ โดยแต่ละปัจจัยมีสองระดับ ซึ่งได้ข้อมูลอ้างอิงจากการผลิตในปัจจุบัน ระดับปัจจัยของความโตที่ปลายอิเล็กโทรดคือ 5 mm, 7 mm กระแสเชื่อม 1600 A, 1800A แรงกดคือ 4 bar, 6 bar เวลาในการกดแช่คือ 3s, 5s เมื่อออกแบบการทดลองจะได้การทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองทำซ้ำห้าครั้งแบบสุ่ม เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดจากการทดลอง สรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อหลักได้แก่ เวลาในการกด กระแสไฟฟ้าและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเชื่อม โดยถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเชื่อมยังมีขนาดเล็กก็จะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงดึงให้ดีขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับปัจจัยตัวอื่น ซึ่งข้อสรุปจะเป็นแนวทางในการปรับค่าที่สำคัญของกระบวนการเชื่อมต้านทานแบบจุด ทั้งในเชิงคุณภาพและค่าใช้จ่าย เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเชื่อมเล็กลงย่อมเหมาะสมกว่าการปรับค่าของปัจจัยตัวอื่น ๆ ซึ่งต้องใช้พลังงานหรือเพิ่มค่าใช้จ่ายมากขึ้น แต่ก็ควรจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยต่อไปถึงอายุของหัวเชื่อมที่ขนาดเล็กลงนั้นในระดับเท่าใดที่จะไม่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของหัวเชื่อมควบคู่ไปด้วย(นราธิป แสงชัย, 2550)

โรงงานเครื่องประดับมีของเสียเป็นจำนวนมากในการผลิตสูงถึง 54.18 เปอร์เซ็นต์ จึงได้ทำการศึกษาการเกิดผิบนูนผิวขึ้นเครื่องประดับจากการหล่อ ปัจจัยที่ส่งผลคืออุณหภูมิ เวลาอบบ่ม อุณหภูมิน้ำโลหะ มุมเอียงชิ้นงานและขนาดทางเดินน้ำโลหะ จากวิธีของทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและน้ำโลหะมีผลต่อการเกิดผิบนูนผิวขึ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำปัจจัยดังกล่าวมาทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^2 เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการหล่อคือ 545°C และอุณหภูมิน้ำโลหะ 900°C จึงนำปัจจัยทั้งสองไปหล่อขึ้นงานตัวอย่าง 200 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานนี้เคยเกิดผิบนูนสูงถึง 78.21 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดจำนวนการเกิดผิบนูนลงเหลือ 24.50 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อได้ถึง 53.71 เปอร์เซ็นต์ (ปาณิกา เสนาณรงค์, 2550)

การศึกษาผลของปัจจัยสามประการคือสัดส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับจีเล็ของไม้ยางพารา ในอัตราส่วนผสมของพลาสติก 50 เปอร์เซ็นต์และ 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดเกรนของจีเล็ 40 Mesh และ 60 Mesh และอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ 190°C และ 210°C ว่ามีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ไม้พลาสติกที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปในด้านคุณสมบัติเชิงกลอย่างไร จากการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลมากที่สุดต่อการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ด้านการทนแรงดึง การทนแรงดัด และความแข็งแรงของไม้พลาสติก คือสัดส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับซีลี้อยของไม้ยางพารา (PP: ไม้) โดยน้ำหนักและอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลด้านค่าความแข็งนั้นคือ ขนาดเกรนของซีลี้อย ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัย ไม้พลาสติกที่สามารถทนแรงดัดได้มากที่สุดคือ ไม้พลาสติกชนิด PP 70 เปอร์เซนต์ ขนาดเกรน 40 Mesh อุณหภูมิขึ้นรูป 190°C และไม้พลาสติกที่มีความแข็งแรงมากที่สุดคือ ไม้พลาสติกชนิดนี้ การขึ้นรูปพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีนผสมกับไม้ ซึ่งออกแบบการทดลองโดยนำเรื่อง 2^3 Factorial Design มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเพื่อให้ได้ไม้พลาสติกที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี (กวีวัฒน์ จันทาไชย, 2547)

อุตสาหกรรมการผลิตกระป๋องบรรจุผลไม้และอาหารเพื่อการส่งออกมีปัญหาในด้านการผลิตเนื่องจากวัตถุดิบ ราคาน้ำมันมีราคาสูงขึ้น และยังมีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอนได้แก่ การตัดซอยโลหะตามขนาด การขึ้นรูปตัวกระป๋อง การเชื่อมตะเข็บ การทำลอนกระป๋อง การปิดฝากระป๋องด้านล่างและการทดสอบรอยรั่ว พบว่าขั้นตอนการพันเคลือบผงโพลีเอสเตอร์บนแนวเชื่อมกระป๋องไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากผู้ควบคุมการผลิตไม่ทราบค่าที่เหมาะสมของการปรับตั้งพารามิเตอร์ในกระบวนการพันเคลือบผงโพลีเอสเตอร์มีผลให้รอยพันเคลือบไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดการแตกของรอยเคลือบหรือบางครั้งเคลือบติดไม่ทั่วทำให้เกิดการรั่ว ปัญหาที่เกิดขึ้นกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์การทดสอบองค์ประกอบของปัจจัยที่จำเป็นต่อการผลิตคือ แรงดันลมจ่ายผงโพลีเอสเตอร์ (A) กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (B) แรงดันลมชะลอการไหลของผงโพลีเอสเตอร์ (C) และแรงดันลมดูดกลับผงโพลีเอสเตอร์ (D) การทดสอบปัจจัยการผลิต 4 ชนิด ๆ ละ 3 ระดับ จึงใช้ Factorial Design แบบ 3^4 ผลการทดลอง พบว่าปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัยมีผลต่อความหนาผิวเคลือบโพลีเอสเตอร์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ได้สมการถดถอยของพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อความหนาผิวเคลือบโพลีเอสเตอร์บนแนวเชื่อมกระป๋องคือ $Y = 90.97 + 18.25A - 0.37B - 5.93C - 1.13D - 10.74A^2 - 3.06B^2 - 3.32C^2 + 3.96AB - 1.05AC - 1.78AD$ โดยได้คำตอบของสภาวะเหมาะสมที่ทำให้ความหนาผิวเคลือบโพลีเอสเตอร์บนแนวเชื่อมกระป๋องอยู่ที่ $95\ \mu\text{m}$ ต้องปรับแรงดันลมจ่ายผงโพลีเอสเตอร์ (A) ที่ 0.95 Bar กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (B) ที่ 91 เปอร์เซนต์ (81.9 volt) แรงดันลมชะลอการไหลผงโพลีเอสเตอร์ (C) ที่ 5 Bar และแรงดันลมดูดกลับผงโพลีเอสเตอร์ (D) ที่ 1 Bar ทำให้ของเสียลดลงจาก 4 เปอร์เซนต์เหลือเพียง 1.5 เปอร์เซนต์ (รองศาสตราจารย์สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร, 2548)

จากห้วงงานวิจัยแรกเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองพบว่าทั้งสองงานวิจัยได้ใช้การทดลองแบบฟูลแฟกทอเรียลที่มีการคัดกรองปัจจัยออกแล้วนำปัจจัยที่มีผลมากที่สุดนำมาทดลองทั้งหมด อีกทั้งมีการทำซ้ำเพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการทดลองอีกด้วย ทำให้ผลวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือและนำไปใช้งานได้จริงสำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสม แต่การทดลองถัดมาเป็นการออกแบบ

การทดลองแบบทากูชิ ซึ่งความน่าเชื่อถือจะน้อยกว่าแบบแรก ซึ่งข้อดีของวิธีนี้คือวิธีที่ประหยัดทรัพยากรและมีความรวดเร็วในการทดลอง ดังนั้นการเลือกวิธีในการออกแบบการทดลองนั้น จำเป็นต้องถูกนำมาพิจารณาก่อนเริ่มการทดลองจริง และสามารถทดลองสุดท้ายกล่าวถึงการหา ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยแบบฟูลแฟกทอเรียลที่มีเนื้อหานั้นทางทฤษฎีเป็นหลัก

ในขณะที่องค์กรเกือบทุกองค์กรต่างพยายามค้นคว้าที่จะสร้างผลิตภัณฑ์และบริการที่อยู่ภายในกรอบเพื่อช่วงชิงผลประโยชน์ทางธุรกิจ พยายามทุกวิถีทางเพื่อผลิตสินค้าหรือบริการที่มีคุณภาพก็ถือว่ามีการดำเนินงานตามมาตรฐาน โดยไม่คำนึงว่าทำได้ตามมาตรฐานนั้นด้วยวิธีการ เช่นไร แต่แนวคิดของชิคมา นั้นขยายขอบข่ายของนิยามคำว่าคุณภาพออกไปโดยนับรวมถึงมาตรฐานด้วย เช่น นอกจากมองประเด็นที่ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตสินค้าและยังคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยในทางปฏิบัติด้วยชิคมา ชิคมา เป็นแนวปฏิบัติที่ยึดกระบวนการเป็นศูนย์กลาง องค์กรธุรกิจนั้นต้องใช้กระบวนการมากมาย ในการสร้างสรรค์สินค้าและบริการ คือทุกกิจการที่ต้องมีปัจจัยนำเข้า การเพิ่มมูลค่าและ การผลิตสิ่งที่ต้องการตามกระบวนการ กระบวนการเหล่านี้อาจจะเป็นเรื่องในเชิงอุตสาหกรรมหรือในเชิงพาณิชย์ก็ได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นแนวปฏิบัติชิคมา ชิคมา สร้างเป้าหมายที่ปรับปรุงขึ้นอย่างเฉพาะเจาะจงให้กับทุกกระบวนการในองค์กร โดยทำให้องค์กรเกิดความเข้าใจและนำเอาเทคโนโลยีใหม่เข้าไปใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต จึงไม่ใช่เรื่องแปลกที่บ๊อบ กัลวิน อดีตประธานเจ้าหน้าที่บริหารของโมโตโรล่าเคยกล่าวว่า ผู้นำต้องนำเรื่องคุณภาพมาเป็นเรื่องพิจารณาส่วนตัว เพื่อที่จะทำให้เกิดการปรับปรุงที่ต่อเนื่อง การรับรู้ถึงปัญหาในระดับการทำงานที่เชื่อมโยงขึ้นไปถึงการดำเนินการ จากนั้นค่อยพิจารณาถึงข้อผิดพลาด เพื่อค้นหาปัญหาที่มีความเกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดปัญหาในระดับกระบวนการขึ้น หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินแบบแผนและแนวโน้ม โดยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการและกำหนดทิศทางในการปรับปรุง เราต้องระบุตัวแปรเหล่านี้ให้ได้ก่อนที่จะตัวแปรเหล่านี้จะทำให้เกิดปัญหา ไม่ใช่ระบุหลังจากที่เกิดปัญหาแล้ว หลังจากนั้นกำหนดมาตรฐานของวิธีการ การส่งเสริมและกำหนดมาตรฐานของวิธีการตามหลักชิคมา ชิคมา ซึ่งให้ผลสูงสุด อย่าสร้างกระบวนการทำงานใหม่ทุกครั้งที่มีการออกแบบ ควรเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อจะนำไปสู่ประสิทธิภาพสูงสุดเท่านั้น (Mikel Harry, Ph.D., and Richard Schroeder, 2550)

การใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพเพื่อลดของเสีย มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น โดยมีเป้าหมายที่จะลดปริมาณของเสีย ซึ่งการนำเอาเทคนิคการควบคุมคุณภาพมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิต การดำเนินงานเริ่มจากการเก็บข้อมูลของเสีย แล้วนำมาทำแผนภูมิพาเรโต เพื่อหาปัญหาหลักที่เกิดขึ้น จากนั้นหาสาเหตุย่อยโดยใช้ผังก้างปลาและหาความสัมพันธ์ของสาเหตุจากแผนภาพความสัมพันธ์ จากนั้นวางแผนควบคุมคุณภาพโดยการเสนอ

ปฏิบัติการข้อเสนอแนะพร้อมทั้งอุปกรณ์เสริมที่ใช้ในการทำงาน โดยนำไปทดลองปฏิบัติในโรงงานเป็นระยะเวลา 2 เดือน หลังจากนั้นนำผลการควบคุมคุณภาพไปใช้แล้วพบว่าสามารถทำให้ปริมาณของเสียลดลง (สามอนงค์ ไสภะสุกร, 2546)

เทคโนโลยีการพ่นเคลือบด้วยความร้อนเป็นทางเลือกหนึ่งในการป้องกันการสึกหรอของวัสดุ ซิลิกอนมีคุณสมบัติในการต้านทานการสึกหรอได้ดี มีน้ำหนักเบา การพ่นด้วยผงอลูมิเนียมแบบเปลวไฟลงบนแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกลและกายภาพที่ต้องการ การออกแบบการทดลองแบบออกแบบพื้นผิวผลตอบ ซึ่งปัจจัยที่คุมได้คืออัตราการไหลของออกซิเจน อัตราการไหลของอะเซทิลีน และระยะห่างของการพ่น โดยคุม 3 ระดับคือต่ำ กลาง และสูง เพื่อให้ได้ผลตอบได้แก่ ความแข็ง ความหนา อัตราการสึกหรอและค่าสัดส่วนปริมาณรูพรุนของผิวเคลือบที่มีความพึงพอใจสูง ทำการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง สภาวะที่เหมาะสมคืออัตราการไหลของออกซิเจน 38 ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอะเซทิลีน 27 ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง และระยะห่างในการพ่น 58 มิลลิเมตร (อาภากร อยู่ดี, 2547)

เนื่องจากปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ ดังนั้นการอบไม้ซึ่งใช้เวลาและพลังงานจึงเป็นตัวแปรสำคัญและอาจทำให้เกิดความเสียหายในเนื้อไม้ เช่นการบิดตัว โก่งงอ ไม้แตก ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นการอบไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟ จึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของไม้เมื่อคลื่นไมโครเวฟที่ 600 และ 1,000 วัตต์ ถูกใช้แทนพลังงานเดิม เพื่อให้ไม้มีความชื้นเหลือเพียง 12% และใช้เวลาเพียง 2 ชั่วโมง พบว่าค่าโมดูลัสและค่าการต้านทานแรงกดไม่มีความแตกต่างจากค่าอ้างอิง ทำให้สรุปได้ว่าคลื่นไมโครเวฟมีแนวโน้มนำมาประยุกต์ใช้ในการอบไม้บางพาราเพื่อช่วยลดเวลาได้ (ธนศ รัตนวิไล, 2550)