การลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในกระบวนการผลิตกระจกวัตถุดิบในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

นายปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

DUST CONTAMINATION DEFECTIVE REDUCTION IN GLASS MATERIAL PRODUCTION PROCESS IN ELECTRONIC DEVICE INDUSTRY

Mr. Pitiwat Udomluck

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2011

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในกระบวนการผลิตกระจกวัตถุดิบในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
โดย	นายปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

………………………………………….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…………………………………………… ประธานกรรมการ
(รองศาศตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

………………………………………….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย)

…………………………………………… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

…………………………………………… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

นายปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์ : การลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในกระบวนการผลิตกระจกวัตถุดิบในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. (DUST CONTAMINATION DEFECTIVE REDUCTION IN GLASS MATERIAL PRODUCTION PROCESS IN ELECTRONIC DEVICE INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย, 170 หน้า.

ในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนกระจกวัตถุดิบที่เป็นปัญหาหลักในกระบวนการผลิตกระจกวัตถุดิบในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยดำเนินการตามแนวทางของวงจรเดมมิ่ง นำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยในขั้นตอนการวางแผน ทำการศึกษาข้อมูลของปัญหา เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย โดยกราฟพาเรโตบ่งชี้ว่าของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบเป็นของเสียหลัก ซึ่งมีสัดส่วนที่มากกว่าร้อยละ 90 ของของเสียทั้งหมด หรือร้อยละ 20 ของอัตราผลผลิตกระจกวัตถุดิบทั้งหมด

เมื่อนำมาฝุ่นตัวอย่างจากของเสียมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง scanning electron microscope and energy-dispersive X-ray spectroscopy สามารถระบุว่าฝุ่นจากของเสียนั้นทั้งหมดเป็นเศษกระจกที่แตกออกมาปนเปื้อน ซึ่งหมายถึงการทำงานของระบบทำความสะอาดฝุ่นในเครื่องจักรไม่สามารถกำจัดฝุ่นได้ทั้งหมด วัดความสามารถของกระบวนการของระบบในการตรวจจับตำแหน่งของฝุ่นในเครื่องจักร สามารถยืนยันว่าเครื่องตรวจจับมีความถูกต้องและแม่นยำตามข้อกำหนด ใช้แผนผังก้างปลามาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีโอกาสเกิดปัญหาในเครื่องตัดและเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ โดยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนมาจากปัจจัยที่ทำงานโดยตรงกับกระจกวัตถุดิบ

ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ 2-level full factorial design ซึ่งพบปัจจัยที่มีผลกระทบมากกับของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบ ในเครื่องตัด 3 ปัจจัย ในเครื่องแยกชิ้นกระจกวัตถุดิบ 2 ปัจจัย และระบบทำความสะอาดและกำจัดฝุ่น 4 ปัจจัย ทำการติดตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้งานที่ได้หลังการทดลองกับเครื่องตัดและเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ซึ่งทำให้อัตราของของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบลดลงเหลือ 10.95% ของอัตราผลผลิต หรือลดลงประมาณ 51.75% ของอัตราของของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนก่อนทำการปรับปรุง

ภาควิชา ....วิศวกรรมอุตสาหการ.... ลายมือชื่อนิสิต..

สาขาวิชา ....วิศวกรรมอุตสาหการ.... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก......................

ปีการศึกษา ..2554..............................

5371431121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : DUST CONTAMINATION DEFECTIVES / DEMING CYCLE / PDCA / DOE

PITIWAT UDOMLUCK : DUST CONTAMINATION DEFECTIVE REDUCTION IN GLASS MATERIAL PRODUCTION PROCESS IN ELECTRONIC DEVICE INDUSTRY. ADVISOR : ASST.PROF. NATCHA THAWESAENGSKULTHAI, Ph.D., 170 pp.

This paper focuses on reducing dust contamination defectives, which is a major problem of glass material production process in electronic device industry. Deming cycle approach of PDCA process step was applied to solve the problem. At plan phase, the problem statement, objective and scope were set. Pareto chart identified that dust contamination defects are the major defect of glass material by over 90% or contribute to 20% of glass material production yield.

Analysis from scanning electron microscope and energy-dispersive X-ray spectroscopy machine (SEM & EDX) reveals that the dust occurred from the cracked edge of glass material. Next do and check phase, the attribute agreement analysis was performed to confirm the precision and accuracy of the measuring system of dust position. A cause-and-effect diagram showed possible causes of the problem which came from Dicer machine and Glass pick up and detect dust machine. The factors that affect to dust contamination are device which touched the glass material directly.

Evaluated by design of experiment (DOE) with 2-level full factorial design found three factors on dicer machine, two factors of glass pick up machine and four factors of cleaning air blow detect dust machine are highly affect to dust contamination defectives. By setting the machine according to the above parameters, the average of dust contamination defectives can be reduced to 10.95% of glass material production yield or approximately 51.75% of the previous dust contaminated defectives.

Department : ......Industrial Engineering....... Student's Signature..............................

Field of Study : ....Industrial Engineering....... Advisor's Signature..............................

Academic Year : ..2011...........................

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาของ ผศ.ดร. ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งกรุณาสละเวลา ช่วยเหลือให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ จนสามารถพัฒนางานวิทยานิพนธ์ตลอดการทำงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รศ.ดร. ปารเมศ ชุติมา ที่กรุณาสละเวลา เพื่อรับเป็นประธานควบคุมวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำในแนวทางของงานวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, รศ.ดร. วันชัย ริจิรวนิช รศ.สมชายพวงเพิกศึก ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องข้อผิดพลาดต่างๆในงานวิจัย และพัฒนาวิทยานิพนธ์ได้เป็นผลสำเร็จ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่ ฐิติศานต์ ขิระทาน หัวหน้าผู้ให้คำปรึกษา การช่วยเหลือต่างๆให้ การวิจัยพัฒนาดำเนินไปได้ด้วยดี และมีประสิทธิภาพ ประสิทธิผลที่บรรลุเป้าหมาย ขอบคุณ พี่ประหยัด คำวันสา และเพื่อนๆ วีระ ปิยะภิญโญ, พงศธร ปารเมศ บุญสนอง และสิริศักดิ์ สุขสาคร ที่ร่วมทำการวิจัยพัฒนาด้วยกัน และการแสดงความคิดเห็นระดมสมองต่างๆ ที่ตนเองมีความรู้ความสามารถอย่างตั้งใจ เพื่อให้ผลออกมา สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถานศึกษาองค์ความรู้ ที่สอนวิชา ความรู้ ความคิด และความสามารถต่างๆที่ได้เล่าเรียนมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณแม่ สุภาภรณ์ อุดมลักษณ์ ผู้เป็นที่รัก ที่เคารพ ผู้ให้กำลังใจให้คำแนะนำในการทำการวิจัย และมอบโอกาสในการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

สารบัญ

บทที่ หน้า

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PDCA :	Plan – Do – Check – Action phase
SEM&EDX:	Scanning electron microscope and energy dispersive x-ray spectrometer
CE diagram:	Cause and effect diagram
KPIV:	Key process input variable
KPOV:	Key process output variable
MSA:	Measurement system analysis
DOE:	Design of experiment
FMEA:	Failure mode and effect analysis
RPN:	Risk priority number
DI water:	Deionized water
mm/s:	Millimeter per second
mm^3/s:	Cubic millimeter per second
µm:	Micrometer
mV:	Milli-volt
pps:	Pulse per second
OCAP:	Out control action plan

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อนำมาประกอบเป็นจำนวนมากต่อวัน และการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของปริมาณการผลิต ชนิดของผลิตภัณฑ์ และคู่แข่งทางการตลาดมีมาก ซึ่งทำให้ต้องมีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง ความสามารถและประสิทธิภาพการผลิตอยู่เสมอ ซึ่งการปรับปรุงประสิทธิภาพต้องคำนึงถึง คุณภาพ จำนวนความต้องการ ต้นทุนค่าใช้จ่าย และกำลังการผลิต ซึ่งทำให้ต้องมีการบริหารการ วางแผนการผลิต เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพและต้นทุนต่ำ การวางแผนการผลิตเพื่อพัฒนา ประสิทธิภาพในกระบวนการ โดยการควบคุมคุณภาพ จึงทำให้เกิดวิธีการเทคนิคและเครื่องมือ หลากหลายประเภท ซึ่งวงจรเดมมิ่ง เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เพื่อ ปรับปรุงคุณภาพภายในองค์กรทุกองค์กร

ในการบริหารการผลิตที่ดี สามารถช่วยลดความสูญเสีย จากกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิด มูลค่าเพิ่ม (Non Value Added) ที่ไม่มีผล ไม่มีคุณภาพแก่สินค้า และทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น กิจกรรมดังกล่าวเป็นผลเนื่องจากการวางแผนระบบของการผลิตไม่ดีและไม่ทันการเปลี่ยนแปลงที่ เกิดขึ้นตลอดเวลา การที่มีต้นทุนที่สูงขึ้นจากกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ทำให้เกิดอุปสรรค และเป็นข้อด้อยเมื่อต้องการเข้าแข่งขันในตลาดเชิงธุรกิจในโลกยุคปัจจุบัน

วงจรเดมมิ่ง แนวทางซึ่งการพัฒนาวิธีทำงานและผลิตภัณฑ์ เพื่อเข้าสู่การทำงานที่มี คุณภาพอย่างสมบูรณ์แบบ และมีเป้าหมายที่จะลดความผันแปรของกระบวนการ ลดต้นทุนการ ผลิตและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าในคุณภาพของสินค้าตามต้องการ

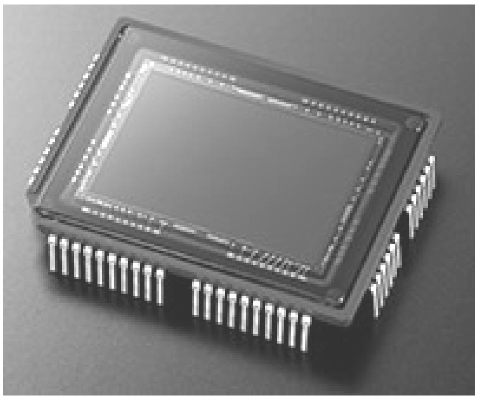
ในกรณีศึกษานี้ เป็นสายการผลิตชิ้นส่วนที่เป็นวัตถุดิบประเภทหนึ่งในชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิคส์ ซึ่งมีระบบการผลิตแบบผลิตในปริมาณที่มากต่อครั้งการผลิต (Mass production) ซึ่งอาศัยทั้งการทำงานของเครื่องจักร และแรงงานคนในการประกอบการผลิต การประยุกต์และ ปรับปรับปรุงเพื่อลดของเสียในระบบการผลิต เพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนของวัตถุดิบ โดยเครื่องมือ

และเทคนิคทางคุณภาพ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นกรณีศึกษาได้

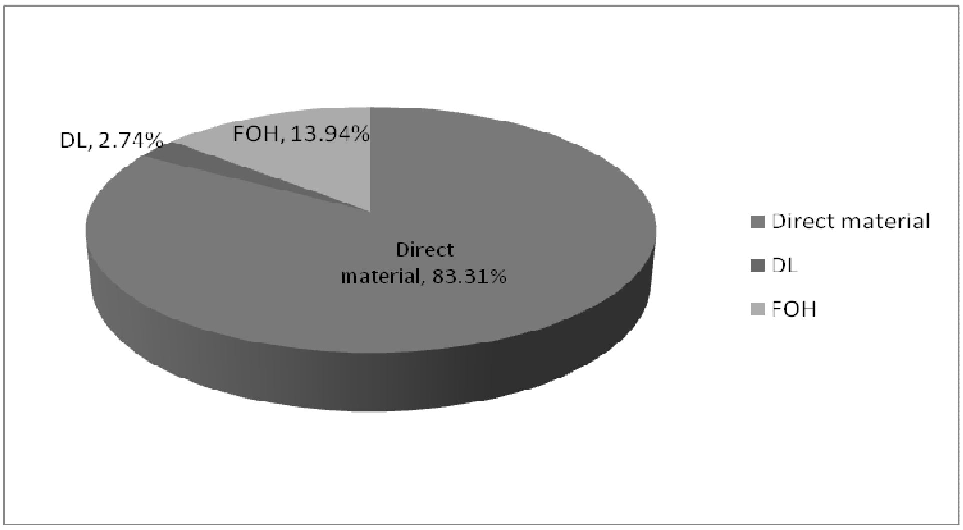
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขั้นตอนการวางแผนและระบุปัญหา (Plan phase)

ในงานวิจัย มีจุดมุ่งหมายที่ต้องการลดของเสียที่เกิดขึ้นในแผนกการเตรียมวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตหน่วยประมวลผลการสร้างภาพในกล้องถ่ายรูป (Imaging device) โดยใช้ทฤษฎีทางคุณภาพ มาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนต่อหน่วยของวัตถุดิบที่เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีของเสียจำนวนมาก โดยต้นทุนต่อหน่วยของวัตถุดิบนั้น เมื่อพิจารณาแยกประเภทของต้นทุนในการผลิตหน่วยประมวลผลการสร้างภาพในกล้องถ่ายรูป แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ ต้นทุนของวัตถุดิบ (Raw material) ต้นทุนแรงงานทางตรง (Direct labor) และต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายโรงงาน (FOH) เห็นได้ชัดว่าต้นทุนวัตถุดิบเป็นต้นทุนที่มีสัดส่วนมากที่สุด ถ้าสามารถลดต้นทุนในส่วนวัตถุดิบลงได้ ทำให้สามารถผลิตสินค้าที่มีราคาต้นทุนที่ต่ำลงและได้เปรียบคู่แข่งเมื่อเข้าสู่การแข่งขันในตลาดทางธุรกิจ



ภาพที่ 1.1 หน่วยประมวลผลการสร้างภาพในกล้องถ่ายรูป (Imaging device)



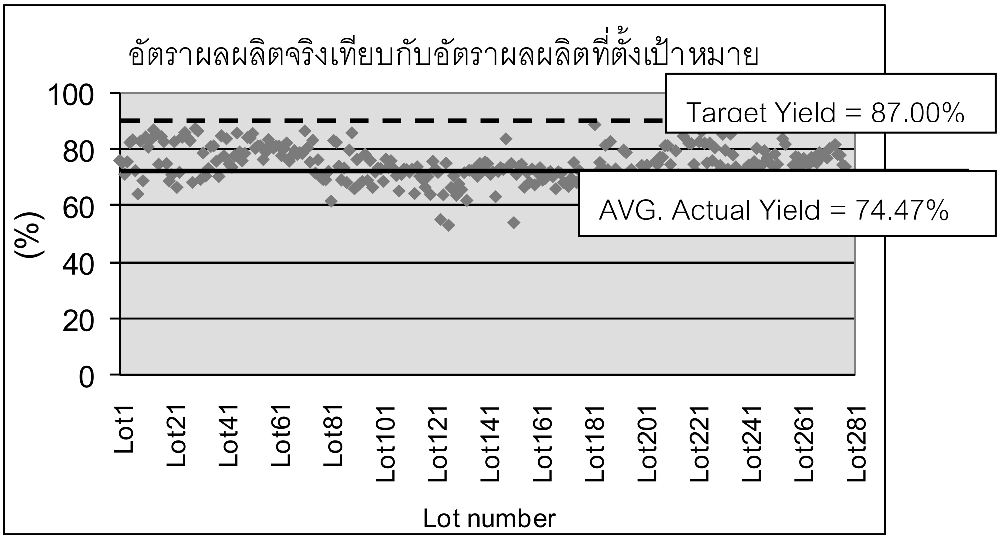
ภาพที่ 1.2 สัดส่วนของต้นทุนของผลิตภัณฑ์ในการผลิตหน่วยประมวลผลการสร้างภาพ

เมื่อพิจารณาในส่วนของต้นทุนของวัตถุดิบในแต่ละประเภท แยกออกมาเป็นสัดส่วนของราคาในแต่ละประเภทโดยเทียบกับราคารวมทั้งหมด เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ความรุนแรงที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเป็นของเสีย และ เก็บข้อมูลของของเสียในแต่ละประเภทของวัตถุดิบเพื่อดูจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นว่า วัตถุดิบประเภทใดเกิดของเสียเป็นจำนวนมาก และเทียบความสำคัญในปัญหาเพื่อที่จะทำการแก้ไขเป็นลำดับแรก ดังในตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละสัดส่วนของต้นทุนของวัตถุดิบกับ อัตราการเกิดของเสีย เมื่อเรียงลำดับตามจำนวนของเสียของวัตถุดิบที่เกิดขึ้น ทำการเลือกและการระบุวัตถุดิบตัวอย่าง โดยในส่วนนี้ต้องคิดคำนึงถึงทั้งสองปัจจัยแล้วเลือกปัญหาที่มีผลเสียมากที่สุด ไม่ใช่เพียงเลือกตามราคาวัตถุดิบ เช่น เวเฟอร์ชิป มีราคาสูงที่สุด แต่มีอัตราการเกิดของเสียจำนวนน้อยในกระบวนการเตรียมวัตถุ ดังนั้นในส่วนของการเลือกประเภทของวัตถุดิบ จึงเลือกที่จะทำการปรับปรุง วัตถุดิบที่มีจำนวนของเสียที่มากที่สุด นั่นคือ กระจกวัตถุดิบ เพราะเป็นปัญหาสำคัญที่มีอัตราการสูญเสียที่สูงที่สุด เมื่อเทียบในระดับความรุนแรงและจำนวนของเสียมากที่สุด และผลของการทดลองสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพและการลดต้นทุนให้เห็นผลได้ชัดเจน โดยในตารางที่ 1.1 แสดงค่าใช้จ่ายของของเสียที่เกิดขึ้นต่อวัน ซึ่งคำนวณจากราคาวัตถุดิบต่อชิ้นที่คำนวณราคาเบื้องต้น ยังไม่ได้หักค่าใช้จ่ายของของเสีย

ตารางที่ 1.1 ต้นทุนของวัตถุดิบ และอัตราการสูญเสียของวัตถุดิบ ในกระบวนการประกอบและผลิตวัตถุดิบ ในเดือน กรกฎาคม พ.ศ.2554

รายการวัตถุดิบ	ร้อยละสัดส่วนต้นทุน	ของเสียของวัตถุดิบ (%)	ค่าใช้จ่ายจากของเสียที่เกิดขึ้น (บาท/วัน)
กระจก	5.13%	20.00%	80,000
แพคเกจเซรามิค	5.13%	3.00%	7,200
เวเฟอร์ชิป	51.28%	0.02%	432
สารประสาน	1.28%	-	-
ลวดทองคำ	25.64%	-	-
เรซิน	1.28%	-	-

ในกรณีศึกษานี้เป็นแผนกที่ต้องผลิตวัตถุดิบประเภทกระจกที่ไว้ปิดด้านบนของหน่วยประมวลผลการสร้างภาพในกล้องถ่ายรูป (Imaging device) โดยผลิตกระจกวัตถุดิบป้อนไปยังแผนกการประกอบที่รวมวัตถุดิบ (Assembly process) จากแผนกต่างๆมาประกอบรวมกันเพื่อผลิตเป็นหน่วยประมวลผลการสร้างภาพ ทำให้แผนกที่ต้องผลิตกระจกวัตถุดิบนี้ ต้องมีการช่วยสนับสนุนความต้องการของแผนกการประกอบให้ทันในการประกอบแต่ละครั้ง ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นคือ มีการสูญเสียที่เกิดจากการผลิตของเสียออกมามาก ทำให้กระจกวัตถุดิบมีคุณภาพไม่ดีจำนวนที่ต้องการไม่เพียงพอ และอัตราผลผลิต ที่ได้จริง(Actual yield) ไม่เป็นไปตามอัตราผลผลิตที่ตั้งไว้ (Target yield) ซึ่งทำให้มีของเสียมากและต้นทุนของวัตถุดิบเองมี ราคาที่สูงขึ้นอีกด้วย ดังนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการของแผนกถัดไป และลดของเสีย เพื่อให้อัตราผลผลิตที่ได้จริงเทียบกับอัตราผลผลิตที่ตั้งไว้มีระดับเดียวกันหรือสูงกว่า จึงต้องมีการพัฒนาในด้านต่างๆ อยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ได้มาซึ่งความพึงพอใจ สนับสนุนการผลิตในแผนกถัดไป และลดต้นทุนในการผลิตกระจกวัตถุดิบลงได้



ภาพที่ 1.3 อัตราผลผลิตที่ได้จริงเปรียบเทียบกับอัตราผลผลิตที่ตั้งเป้าหมายของกระจกวัตถุดิบในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2554

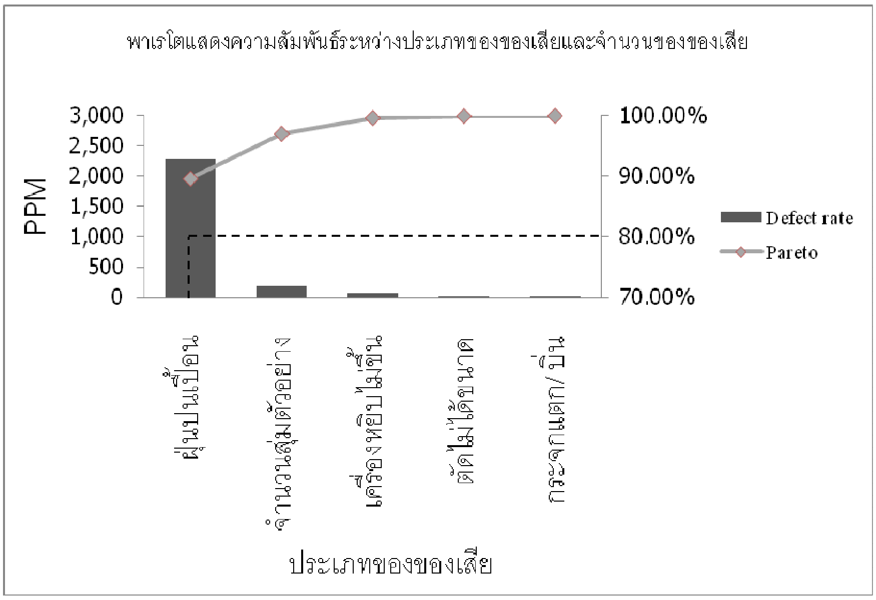
ในวัตถุดิบประเภท กระจกวัตถุดิบ นี้ ยังแบ่งลักษณะต่างๆ ทั้งขนาด และ เนื้อสารที่ใช้ในการเคลือบผิว เพื่อความเหมาะสมเมื่อไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการตามลักษณะต่างๆ กัน และเมื่อทำการแบ่งย่อยตาม ขนาดของกระจกวัตถุดิบต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบในแต่ละขนาดของกระจกวัตถุดิบ เทียบกับค่าใช้จ่ายของต้นทุนวัตถุดิบ เมื่อเทียบส่วนต่างของ ราคาต้นทุนต่อชิ้นของวัตถุดิบที่คำนวณเป็นค่าเป้าหมาย(Target cost) และราคาต้นทุนต่อชิ้นที่ผลิตจริง เมื่อรวมค่าความสูญเสียของของเสียแล้ว (Actual cost) เพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการพิจารณาหา กระจกขนาดที่มีความแตกต่างของราคาต้นทุนทั้งสองมากที่สุด และตั้งเป็นชนิดของกระจกที่กำหนดให้เป็นเป้าหมายที่ควรได้รับการปรับปรุงก่อน และมีผลกระทบที่วัดค่าได้ง่ายที่สุด เกิดผลกระทบที่รุนแรง ชัดเจนที่สุด

ในกระจกแต่ละขนาดเมื่อเรียงตาม ต้นทุนที่แตกต่างจากราคาที่ตั้งมาตรฐานไว้ และต้นทุนของของเสียที่เสียไป เมื่อเก็บข้อมูลต่อเดือน ในเดือนสิงหาคม 2554 จะได้ ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ต้นทุนจริงแบ่งตามขนาดของกระจกวัตถุดิบ และต้นทุนที่แตกต่างจากราคามาตรฐาน ในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2554

สค.-54	Input ที่ได้จากการคำนวณ				ของเสีย		ผลที่ได้ Actual		
ขนาดกระจก	Target Yield	ต้นทุนเป้าหมาย (บาท/ชิ้น)	จำนวน (ชิ้น)	ต้นทุนทั้งหมด (บาท)	จำนวน (ชิ้น)	ต้นทุนทั้งหมด (บาท)	Actual Yield	ต้นทุนจริง (บาท/ชิ้น)	ต้นทุนทั้งหมด (บาท)
35x24มม.	87%	47.824	335,550	16,047,372.30	83,890	4,011,962.63	75%	55.476	18,614,951.86
36x25มม.	85%	73.424	97,600	7,166,186.21	28,037	2,058,589.78	71%	87.902	8,579,237.01
7x7มม.	85%	4.178	1,252,800	5,234,278.50	209,908	877,009.05	83%	4.279	5,360,405.70
30x25มม.	85%	52.446	68,432	3,588,958.41	9,915	519,998.29	86%	51.836	3,547,226.34
10x10มม.	90%	3.579	622,820	2,229,192.68	118,555	424,331.17	81%	4.154	2,586,964.35
8x8มม.	87%	4.536	440,640	1,998,555.28	65,603	297,547.25	85%	4.642	2,045,580.11

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ พบว่า วัตถุดิบประเภทกระจกนี้ กระจกขนาด 35x24มม. มีความแตกต่างของต้นทุนที่ตั้งมาตรฐานไว้กับราคาต้นทุนจริงมากที่สุด โดยต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นของเสีย มากถึง 4 ล้านบาทต่อเดือน จึงเลือกเป็นกระจกวัตถุดิบชนิดที่เป็นต้นแบบในการทำการปรับปรุงเป็นอันดับแรก เพียงประเภทเดียว เพื่อทำให้ควบคุมติดตาม บันทึกผล และวิเคราะห์ได้ง่าย และเมื่อ นำประเภทของของเสียมาทำพาเรโต เพื่อวิเคราะห์ผลว่าของเสียชนิดใดที่ควรทำการปรับปรุงเป็นลำดับแรก ตามทฤษฎีการแก้ไขปัญหา ของพาเรโต ได้ภาพที่ 1.4

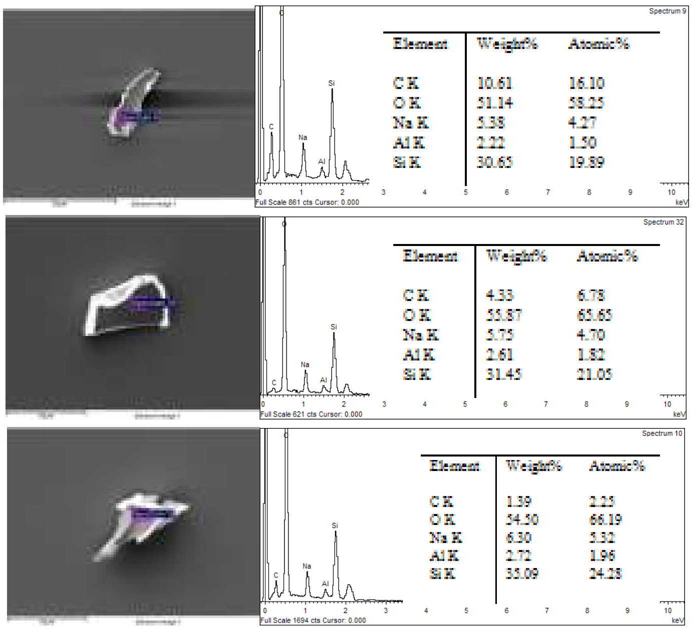


ภาพที่ 1.4 กราฟพาเรโตที่แสดงถึงอัตราของประเภทของเสียต่างๆ

เมื่อเรียงลำดับตามพาเรโตแล้ว พบว่า <u>ปัญหาฝุ่นปนเปื้อน</u> มีเปอร์เซ็นต์ของของเสียทั้งหมด 90% ของของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น ซึ่งตามทฤษฎี พาเรโตที่ต้องแก้ไขของเสียที่มีเปอร์เซ็นต์ของของเสียทั้งหมดที่ 80% แล้วจึงนำตัวอย่างของของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน มาวิเคราะห์ในส่วนลึก ถึงชนิดของฝุ่นที่เกิดขึ้นก่อนว่าปัญหาเกิดมาจากวัสดุประเภทใด โดยผ่านเครื่องขยายภาพและวิเคราะห์ประเภทของสสาร SEM&EDX (Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray spectrometer)

ภาพที่ 1.5 เครื่อง SEM&EDX

เมื่อนำตัวอย่างที่ของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM&EDX เพื่อดูองค์ประกอบต่างๆของสสาร และวิเคราะห์หาว่าฝุ่นที่เกิดขึ้นนั้นมาจากวัตถุชนิดใดเมื่อนำไปเทียบกับตัวชี้วัดมาตรฐานที่มีชี้แจงองค์ประกอบของสสารที่ชัดเจน ผลที่ได้พบว่า ฝุ่นที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากเศษฝุ่นกระจกวัตถุดิบเอง

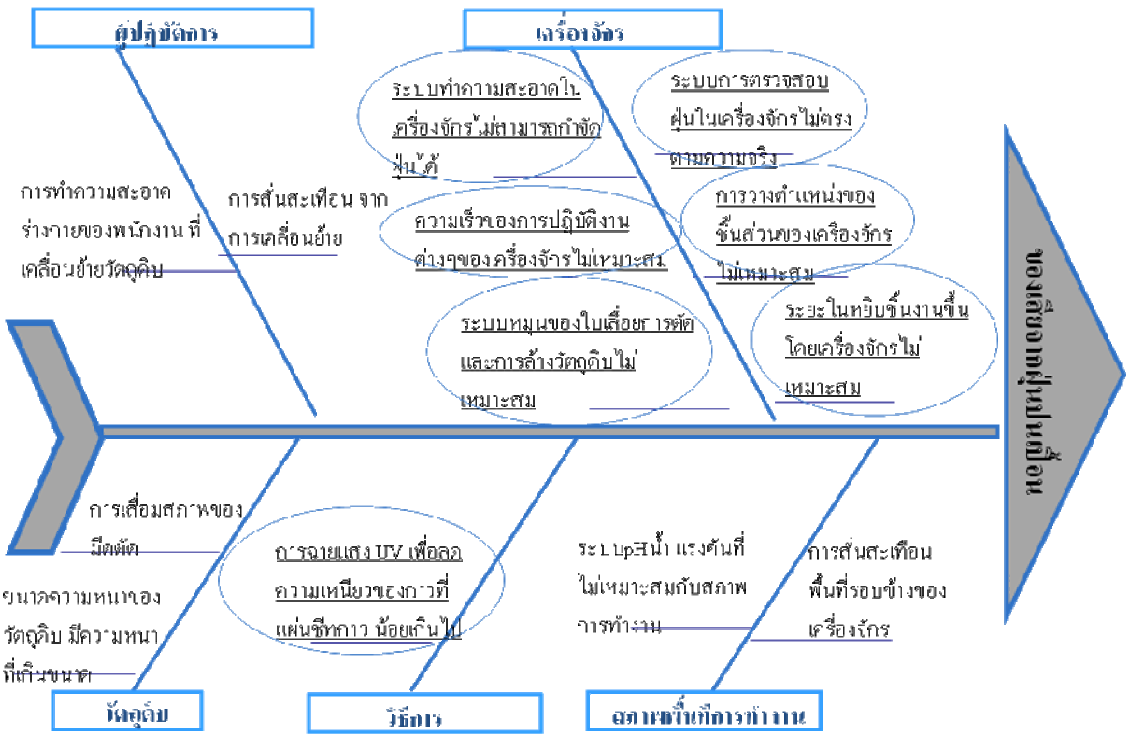


ภาพที่ 1.6 ภาพของฝุ่นเมื่อขยายภาพและวิเคราะห์ชนิดของฝุ่น ด้วยเครื่อง SEM&EDX

ซึ่งการพบเศษฝุ่นที่เป็นกระจกวัตถุดิบเองนั้น หมายถึง ระบบภายในเครื่องจักรนั้น ไม่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน และระบบการทำความสะอาดภายในเครื่องจักรเอง ไม่สามารถกำจัดเศษฝุ่นที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการการทำงานได้ หรือเป็นเพราะการทำงานของระบบนั่นเองที่ไม่เหมาะสม อย่างเช่น ลมจากท่อลมที่ใช้เพื่อเป่า ฝุ่น แรงเกินไป ทำให้ขอบด้านข้างของกระจกวัตถุดิบหลังจากการตัดนั้น มีการสึกกร่อนได้

ทำการพิสูจน์ด้วยวิธีการปฏิบัติงานอย่างง่าย ที่จะแก้ปัญหา โดยทำการล้างโดยใช้เวลาให้นานขึ้น และใช้เวลาในการเป่าลมให้นานขึ้น แต่ผลที่ได้พบว่า ในการแก้ปัญหาในลักษณะนี้ทำให้เกิดผลเสียอื่นๆตามมา เช่น การทำล้างหรือเป่าลมโดยใช้เวลานานขึ้น ทำให้ขอบกระจกมีการสึกกร่อน แตกร้าวมากขึ้น และยิ่งทำให้เกิดฝุ่นจากกระจกเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ต้องมีการทดลองอย่างมีขั้นตอนในการแก้ปัญหาที่ชัดเจนเกิดขึ้น

เมื่อวิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหาโดยมีข้อมูลชนิดของฝุ่นแล้ว สามารถทำให้มุ่งประเด็นของปัญหาที่เกิดขึ้นได้ง่ายยิ่งขึ้น ปัญหาฝุ่นที่เกิดจากเศษกระจกนั้น เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลา (CE-diagram) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่นำไปแก้ไข และติดตามผลหลังการปรับปรุง



ภาพที่ 1.7 แผนผังก้างปลาแสดงถึงสาเหตุที่เป็นของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน

โดยปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ สามารถควบคุมและทำการทดลองแก้ไขด้วยเครื่องมือทางด้านสถิติ หรือทฤษฎีต่างๆได้ง่าย และเห็นผลได้ชัดเจน เลือกขึ้นมาได้ 7 ปัจจัย ดังนี้

1. ระบบทำความสะอาดที่ผิวกระจกวัตถุดิบของเครื่อง ไม่สามารถกำจัดฝุ่นได้ทั้งหมด
2. ระบบการตรวจสอบฝุ่นในเครื่องจักรไม่ตรงตามความเป็นจริง หรือตัดสินงานผิด
3. ความเร็วของการปฏิบัติงานต่างๆของเครื่องจักร ไม่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน
4. การวางตำแหน่งต่างๆของชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน
5. ระบบหมุนของใบเลื่อยตัดและการล้างวัตถุดิบไม่เหมาะสม หมายถึง การหมุนของใบมีดหมุนกดลงผิวด้านบนหรือ หมุนขึ้นบนผิวด้านล่างของกระจกวัตถุดิบ และการล้างในระนาบแกน X และแกน Y สามารถสั่งให้โปรแกรมเรียงลำดับว่า ต้องการให้น้ำฉีดเป็นลำดับอย่างไร เพื่อให้น้ำกวาดฝุ่นบนผิวหน้าของกระจก ออกไปให้ได้มากที่สุด
6. ความสูงในการหยิบชิ้นงานในเครื่องจักรไม่เหมาะสม สามารถทำให้ฝุ่นที่อยู่ตรงรอยตัดฟุ้งกระจายได้มากน้อยต่างกัน
7. การฉายแสงยูวี เพื่อลดความเหนียวของกาวที่แผ่นชีทกาวใช้เวลาน้อยเกินไป ทำให้การหยิบชิ้นงานกระจกวัตถุดิบได้ยาก และทำให้มีเศษกระจกที่เป็นฝุ่นที่ติดกับแผ่นชีทกาวฟุ้งกระจาย

เมื่อเลือกสาเหตุปัจจัยที่ตั้งเป็นข้อสันนิษฐาน และนำไปวิเคราะห์ออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์และแก้ไขปัญหา หาปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรง และทำการควบคุมปัจจัยเหล่านั้น ก่อนนำไปขยายผลในเครื่องหรือระบบอื่นๆได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ เพื่อลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบในเหลือน้อยกว่า 13.00% ของอัตราผลผลิต หรือลดลง 50%ของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบในปัจจุบัน เพื่อให้ได้ อัตราผลผลิตได้ถึง87.00% ของอัตราผลผลิตทั้งหมด อ้างอิงจากข้อมูลในการผลิตที่ดีที่สุดที่เคยผลิตได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ดำเนินการตามแบบทฤษฎีคุณภาพวงจรเดมมิ่ง ขั้นตอน PDCA และเครื่องมือการวิเคราะห์ ออกแบบการทดลอง มาแก้ปัญหา และปรับปรุงในระบบการผลิตตัวอย่าง
2. ศึกษารายละเอียดในแผนกการตัดวัตถุดิบ ในกระบวนการผลิต, วิธีการ และขั้นตอนการผลิตในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคส์ตัวอย่าง
3. ทำการศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้น เฉพาะวัตถุดิบประเภทกระจกเท่านั้น และทำการทดลอง โดยใช้เครื่องจักร เฉพาะเครื่องตัดเครื่องที่ 3 และเครื่องจัดเก็บและตรวจสอบกระจกเครื่องที่ 5 เท่านั้น เพื่อให้เป็นเครื่องตัวอย่าง ก่อนที่จะทำการประยุกต์ไปยังเครื่องจักรชนิดเดียวกันเครื่องอื่นๆ

1.4 ชนิดของงานวิจัย

Problem solving research การทำวิจัยนี้ จะสามารถแก้ปัญหา เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้กับโรงงานตัวอย่าง และสามารถพัฒนาต่อเนื่องไปยังแผนกอื่นๆได้

1.5 แนวทางการทำวิจัย

จากข้อมูลข้างต้น จึงได้มีแนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการตามทฤษฎีคุณภาพ เพื่อลดของเสีย และออกแบบกระบวนการผลิต, วิธีการและขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบในการประกอบชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคส์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

1.6 การจัดตั้งคณะทำงาน

กำหนดสมาชิกในการดำเนินงานการพัฒนาปรับปรุงในงานโครงการวิจัย โดยพิจารณาผู้เชี่ยวชาญของกระบวนการต่างๆ ที่มีประสบการณ์ 4 ปีของการทำงานขึ้นไป ประกอบด้วย

1. นายฐิติศานต์ ขิระทาน ที่ปรึกษาโครงการและหัวหน้าหน่วยวิศวกรควบคุมกระบวนการ
2. นายปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์ หัวหน้าโครงการ และผู้ติดตามการดำเนินการ
3. นายประหยัด คำวันสา วิศวกรผู้เชี่ยวชาญของเครื่องตัด
4. นายวีระ ปิยะภิญโญ วิศวกรผู้เชี่ยวชาญของเครื่องตัด
5. นายพงศธร ปารเมศ บุญสนอง วิศวกรผู้เชี่ยวชาญของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบ
6. นายสิริศักดิ์ สุขสาคร วิศวกรผู้เชี่ยวชาญของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบ

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

รายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. ระยะการวางแผน และระยะการนิยามปัญหา (Plan phase)

- ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับวิธีการลดความสูญเปล่าและกิจกรรมที่เพิ่มและไม่เพิ่มคุณค่า เพื่อให้สามารนำความรู้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้
- สำรวจสภาพปัญหา ที่มาของปัญหา จัดลำดับความสำคัญของปัญหา แล้วกำหนดเป้าหมายโครงการในการหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิต

2. ระยะการลงมือปฏิบัติตามแผน (Do phase)

- จัดตั้งกลุ่มปฏิบัติงาน สำรวจสภาพปัญหาโดยเข้าไปศึกษากระบวนการผลิตจริงอย่างใกล้ชิดและทำการจดบันทึกปัญหาต่างๆ ที่พบ เช่น วิธีการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า และขั้นตอนการทำงานในการผลิต
- เก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของปัญหา เช่น ปัญหาและของเสียหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เวลาการทำงานของแต่ละขั้นตอนการผลิต การทำงานของเครื่องจักร จำนวนของเครื่องจักร ความแตกต่างของเครื่องจักร ประเภทผลิตภัณฑ์ที่ผลิต และความสามารถในการผลิต (Productivity) ที่แต่ละสถานีงานทำได้ใน 1ชั่วโมง

3. ระยะการตรวจสอบ (Check phase)

- ระดมสมอง แสดงความคิดเห็น เพื่อสรุปสถานะปัจจุบันของกระบวนการผลิต
- รวบรวมประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัญหาต่างๆในปัจจุบัน และสรุปออกมาเป็นประเด็นปัญหาหลักๆ ที่สำคัญ

- วิเคราะห์หาสาเหตุของแต่ละกลุ่มปัญหา เพื่อให้ทราบ ปัจจัย หรือสาเหตุใด ที่ก่อให้เกิดปัญหานั้นๆ และจัดกลุ่มสาเหตุของปัญหา ที่สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการเดียวกัน
- เมื่อได้กลุ่มสาเหตุของปัญหาแล้ว ทำการวิเคราะห์ความยาก-ง่ายในการแก้ไขสาเหตุนั้นกับผลที่จะได้รับทางการเงินซึ่งจะทำให้ได้หัวข้อปัญหาที่จำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขเป็นลำดับต้นๆ จากนั้นจึงนำหัวข้อปัญหาที่ได้นั้นมาวางแผนในการแก้ไขต่อไป
- สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน
- การวางแผนแก้ไขสภาพการผลิตในปัจจุบัน เช่น ยกเลิกหรือปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า กำหนดหน้าที่การทำงานอย่างชัดเจน

4. ระยะการดำเนินการให้เหมาะสม (Action phase)

- รวบรวมแนวทางการแก้ไขปัญหาจากทฤษฏี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการระดมสมอง จากนั้นจึงทำการสรุปผลแนวทางการปรับปรุงแก้ไขในแต่ละหัวข้อปัญหา
- ประชุมร่วมกับผู้บริหาร และคณะทำงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อปรึกษาความเป็นไปได้ในการนำแนวทางการทดลองและแนวทางการแก้ไข คือ แนวทางที่สามารถปฏิบัติได้ภายในระยะเวลาวิจัย จะใช้วิธีวัดผลจริงที่ได้
- ดำเนินการทดลองใช้แนวทางการปรับปรุงแก้ไขภายในระยะเวลาทำงานวิจัย
- สำหรับแนวทางที่สามารถปฏิบัติได้ภายในระยะเวลาวิจัย จะทำการวัดผลหลังจากการนำแนวทางการปรับปรุงแก้ไขไปใช้ โดยใช้วิธีการวัดค่าจริงที่ได้หลังจากการนำแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ไปทดลองใช้ ซึ่งมีตัววัดที่สำคัญที่แสดงถึงการปรับปรุง ได้แก่ เวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในสายการผลิต การจัดสมดุลสายการผลิต และจำนวนงานที่สามารถทำได้ต่อวัน หรือตัววัดอื่นๆที่มีความเหมาะสมมากกว่า
- จัดประชุมทีมงาน เพื่อสรุปผลของการนำแนวทางการปรับปรุงแก้ไขไปใช้

- ร่วมกันพิจารณากำหนดตัววัดสถานะผลการดำเนินงาน ที่ต้องคอยตรวจติดตามในการควบคุม เพื่อรักษาสภาพหลังการปรับปรุง
- กำหนดวิธีการเก็บข้อมูล หรือเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจติดตามตัววัดและกำหนดผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการเก็บข้อมูลและคอยตรวจติดตามตัววัดดังกล่าว

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
6. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำวิธีการดำเนินงาน โดยทฤษฎีทางคุณภาพไปใช้ปรับปรุงการทำงานออกแบบวิธีการและขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. เพิ่มปริมาณของผลผลิต และลดต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย จากการลดลงของของเสีย
4. เพื่อเป็นตัวอย่าง แนวทางวิธีการทำงานเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตของบริษัทและผู้ที่สนใจในงานวิจัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยได้นำทฤษฎีที่เกี่ยวกับแนวคิดของระบบพัฒนาคุณภาพที่มีการดำเนินการที่มีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนและนำเครื่องมือ เทคนิคที่ใช้ในระบบพัฒนาคุณภาพมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อนำมาลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่ต้องการปรับปรุงแก้ไข โดยเทคนิคและเครื่องมือทางคุณภาพ ที่ประกอบด้วยแผนภูมิต่างๆจากข้อมูลในกระบวนการ เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เครื่องมือการวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบ และการออกแบบการทดลองที่ใช้วิธีทางสถิติที่สามารถประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการ

2.1 ทฤษฎีทางคุณภาพ

ในการปรับปรุงคุณภาพภายในองค์กร การดำเนินการที่มีแบบแผนลำดับขั้นตอนเพื่อพัฒนาให้เป็นระบบและยั่งยืน โดยมีการดำเนินการในหลายแนวทางที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

2.1.1 วงจรเดมมิ่ง

คุณภาพ เป็นพื้นฐานที่สำคัญของการดำเนินงานในโครงการทุกๆโครงการ และเพื่ออนาคตของทุกๆธุรกิจ ในการปรับปรุงระบบการผลิตและระบบการให้บริการอย่างต่อเนื่อง Deming ได้นำเสนอ Shewhart cycle หรือ PDSA cycle ในการขับเคลื่อน ผลักดันองค์กรให้หมุนไปข้างหน้าตามวงจรอย่างต่อเนื่อง และธุรกิจดำเนินการก้าวต่อไปอย่างสม่ำเสมอ โดย Deming ได้นำวงจรของ Shewhart มาประยุกต์ใช้ปรับปรุง และอธิบายให้เห็นความชัดเจนและเป็นรูปธรรม ต่อมาเมื่อ Deming ได้รับเชิญเป็นวิทยากรและที่ปรึกษาให้กับอุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่น ผ่านสหภาพนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรญี่ปุ่น ทำให้อุตสาหกรรมของญี่ปุ่นพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว และชาวญี่ปุ่นที่นำ ทฤษฎีของ Deming ไปใช้ จึงเรียก Shewhart cycle ว่า Deming Cycle และดำเนินงานตามแบบ วงจร PDCA ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การวางแผน Plan (P)

การวางแผน จุดเริ่มต้นของวงจรและของการทำงานในโครงการ เป็นส่วนสำคัญที่จะกำหนดทิศทางในการทำงานในส่วนถัดไปดำเนินการไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการหาสาเหตุและข้อมูลของปัญหา โดยการเก็บข้อมูลจริงในอดีต การวิเคราะห์เบื้องต้นระดมความคิดของสมาชิกภายในกลุ่ม เพื่อเลือกปัญหาที่มีความสำคัญที่ต้องแก้ไข การหาสาเหตุและกำหนดวิธีการในการแก้ไขปัญหา สร้างตารางเวลาในการปฏิบัติงาน

กำหนดวิธีการและทฤษฎีอ้างอิงที่ประยุกต์ใช้ในการทำงาน วิธีการในการตรวจสอบและประเมินผล โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการทำงาน โดยขั้นนี้ดำเนินการ ดังนี้

1.1 กำหนดหาทิศทางและบ่งชี้ปัญหาที่ต้องการแก้ไข มีผลกระทบ มีความสำคัญเกิดขึ้นในการแก้ปัญหา เพื่อปรับปรุงให้เกิดผลประโยชน์ที่ดีขึ้น โดยสมาชิกภายในกลุ่มต้องร่วมมือและประสานงานกันอย่างใกล้ชิดในการระบุปัญหาให้ชัดเจน และทำการศึกษา วิเคราะห์แนวทางในการระบุปัญหา

1.2 เก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่ทำให้ระบุสาเหตะและที่มาของปัญหาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดำเนินการวางแผนในการเก็บข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการสนับสนุนโครงการให้เป็นระบบ และเข้าใจได้ง่าย

1.3 อธิบายปัญหา กำหนดทางเลือก แสดงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการแสดงในเครื่องมือคุณภาพมาประยุกต์ใช้ เพื่อการวิเคราะห์ได้ง่าย เช่น แผนภูมิก้างปลา แผนภูมิพาเรโต แผนภูมิควบคุม โดยระดมความคิดของสมาชิกภายในกลุ่ม เพื่อให้มีข้อมูลและแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่มากขึ้น และมีความละเอียดของข้อมูลโดยความเชี่ยวชาญในแต่ละด้านของสมาชิกภายในกลุ่ม

1.4 เลือกวิธีการดำเนินการในการแก้ไขปัญหา ปรับปรุงในการดำเนินงาน วิเคราะห์วิจารณ์ทางเลือกต่างๆจากสมาชิกภายในกลุ่ม เพื่อเลือกแนวทางการแก้ไขที่เหมาะสมที่สุดให้สามารถบรรลุผลของวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การปฏิบัติงาน Do (D)

การปฏิบัติงานตามแผนที่กำหนด ต้องมีการประชุมเพื่อกำหนดทิศทางของสมาชิกในกลุ่มให้ไปในทิศทางเดียวกัน ดำเนินการตามแผนได้ถูกต้อง และมีความรู้ความเข้าใจในความสำคัญในการดำเนินการ ในขั้นตอนนี้ต้องมีการตรวจสอบระบบต่างๆที่ใช้งาน เพื่อยืนยันความเป็นปกติของปัจจัยอื่นๆของระบบ ก่อนทำการทดลอง เมื่อสามารถยืนยันว่าระบบนั้นมีความเชื่อถือได้จึงสามารถดำเนินการต่อไปได้

3. การตรวจสอบ Check (C)

การวางแผน ออกแบบการทดลอง เพื่อจะทำการตรวจสอบว่า เมื่อทำการทดลองและเปลี่ยนแปลงเพื่อความเหมาะสมและแก้ไขปัญหาตามแผนและวัตถุประสงค์แล้ว ผลลัพธ์เบื้องต้นทีได้จะสามารถเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ และพบปัญหาหรือผลกระทบข้างเคียงต่างๆในการดำเนินการหรือการทดลองหรือไม่ รวบรวมผลของข้อมูล

การทดลอง เพื่อหาความแตกต่างระหว่างผลการดำเนินงานจริงและ ผลที่คาดเอาไว้เบื้องต้น โดยการนำเทคนิค ทฤษฏีและเครื่องมือทางคุณภาพต่างๆมาประยุกต์ใช้

4. การดำเนินการปรับปรุง Action (A)

การดำเนินการปรับปรุงให้เหมาะสมและวัดผลของข้อมูลในระยะยาว เมื่อทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพต่างๆที่เป็นเป้าหมายของวัตถุประสงค์ ดูผลกระทบข้างเคียงต่างๆที่เกิดขึ้น และดำเนินการรักษา ควบคุม ผลหลังการปรับปรุง ให้อยู่ในระดับที่ต้องการต่อไป

วงจร PDCA ที่สมบูรณ์จะเกิดขึ้น เมื่อได้นำผลจากการดำเนินการปรับปรุงที่เหมาะสม มาทำการพัฒนาต่อไปในขั้นตอนการวางแผนเพื่อให้ดียิ่งขึ้นต่อไป และดำเนินการตามวงจรอย่างนี้เรื่อยๆไม่มีที่สิ้นสุด เพื่อเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน (Continuous improvement) จนสามารถดำเนินการตามวงจร PDCA ในทุกๆกิจกรรม ได้อย่างเป็นปกติ ไม่ยุ่งยากอีกต่อไป (วีระพล บดีรัฐ, 2543)

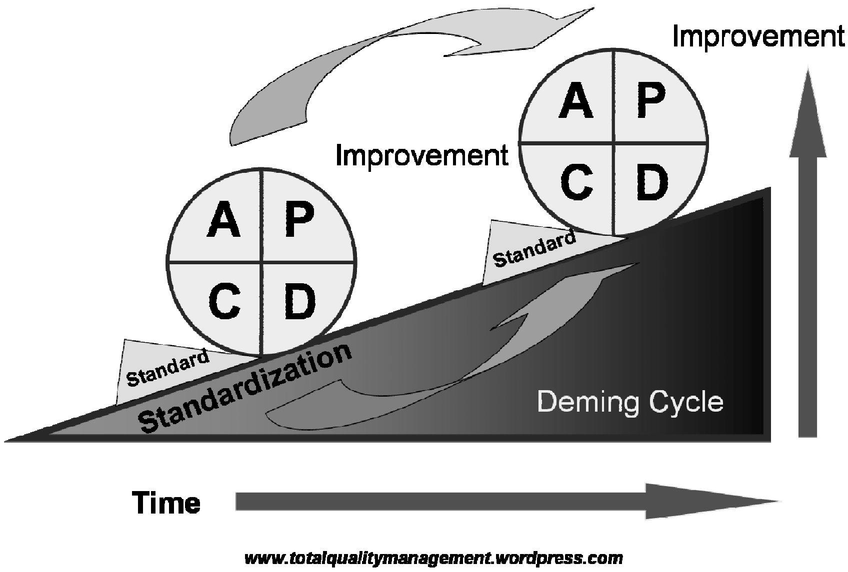
2.1.2 ประโยชน์ของวงจรเดมมิ่ง

โดยสถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ (2552) ได้กล่าวถึงประโยชน์ในการดำเนินงานแบบ วงจร PDCA ไว้ดังนี้

1. เพื่อทำการป้องกัน
   - 1.1 ทำให้ผู้ปฏิบัติงาน ทำการวางแผนที่ดีก่อนการปรับปรุง ช่วยป้องกันและระวังปัญหาต่างๆที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ลดความอันตราย ลดความคิดพลาดในการปฏิบัติงาน และลดการใช้งานทรัพยากรโดยไม่เกิดประโยชน์
   - 1.2 มีการตรวจสอบในระยะที่กำหนด เพื่อทำการควบคุมผลการปฏิบัติงาน และแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว
   - 1.3 การตรวจสอบป้องกันนำไปสู่การแก้ไขปรับปรุงอย่างมีระบบ ทำให้ปัญหาที่เคยเกิดขึ้นแล้วไม่เกิดขึ้นอีก ลดความรุนแรงของปัญหา
2. เพื่อแก้ไขปัญหา
   - 2.1 ใช้ PDCA แก้ไขปัญหา ด้วยการตรวจสอบว่าอะไรที่เป็นปัญหา และเมื่อมีปัญหา และดำเนินการตามวงจร PDCA ต่อไป
3. เพื่อปรับปรุงกระบวนการ

“ทำวันนี้ให้ดีกว่าเมื่อวานนี้ และพรุ่งนี้ต้องดีกว่าวันนี้” การดำเนินการ ตามแบบ PDCA เพื่อทำการปรับปรุงตลอดเวลา เพื่อให้วิธีการที่ดีกว่าเดิมเสมอ ยกระดับคุณภาพ และหาจุดบกพร่อง ปัญหา ทำการพัฒนาเสมอ
(สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2552)

การดำเนินงานตาม วงจรเดมมิ่ง เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้เมื่อดำเนินงาน 2 ลักษณะ คือ ทำการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น กิจกรรม PDCA เป็นแนวทาง โดยตั้งเป้าหมายจากการวางแผน นำแผนงานไปปฏิบัติ ทำการตรวจสอบหลังการปฏิบัติตามแผนเพื่อประเมินผล และทำการปฏิบัติงาน ปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสม หากผลเป็นไปตามเป้าหมายจึงจัดทำมาตรฐานการดำเนินงาน และทำการแก้ไขปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไป โดยเริ่มดำเนินการคล้ายหมุนวงจรเดมมิ่งต่อไป (วีรพล บดีรัฐ, 2543)



ภาพที่ 2.1 การหมุนของวงจรเดมมิ่ง (Nameer, 2009 : online)

โดยในการวิจัยได้นำหลักแนวคิดของ ซิกซ์ ซิกม่า มาร่วมใช้และทำความเข้าใจในวิธีการดำเนินงานเพื่อสามารถบรรยายรายละเอียดที่นำมาเพิ่มเติมประยุกต์ใช้ร่วมกับการดำเนินการแบบ PDCA มาเปรียบเทียบและใช้ร่วมกัน

2.1.3 แนวคิดของ ซิกซ์ ซิกม่า

มีแนวคิดพื้นฐานมาจากแนวความคิดในเชิงสถิติภายใต้สมมติฐานที่ว่า

1. ทุกสิ่งทุกอย่างคือกระบวนการ

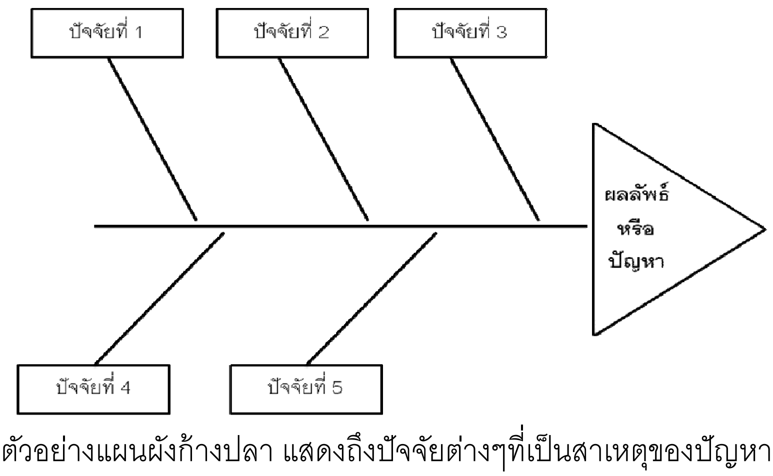
2. กระบวนการทุกกระบวนการมีการแปรปรวนแบบหลากหลาย (Variation) อยู่ตลอดเวลา
3. การนำเอาข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อให้เกิดความเข้าใจในธรรมชาติของความแปรปรวนแบบหลากหลาย จะนำไปสู่การเรียนรู้ พัฒนาและปรับปรุงกระบวนการให้ดียิ่งขึ้น

โดยทั่วไปเราสามารถนิยามกระบวนการให้เป็นรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$y = f\,(x_1, x_2,\ldots, x_k, v_1, v_2,\ldots,v_m) \qquad \text{....(1)}$$

สมการที่ (1) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น (x) ซึ่งเป็นปัจจัยเริ่มต้น (Input) ของกระบวนการกับผลลัพธ์หรือผลผลิต (y) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ (Output) ของกระบวนการ ปัญหาใหญ่ของวิธี ซิกซ์ ซิกม่า คือการค้นหาว่าตัวแปร x ที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อตัวแปร y และการค้นหาค่าที่เหมาะสมของ x ที่สำคัญนี้ เพื่อที่จะได้ผลลัพธ์ y ที่ดีที่สุดตามที่ต้องการ ค่าที่เหมาะสมของ x ที่หาได้จำเป็นจะต้องเป็นค่าที่จะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อยเพราะถูกรบกวนโดยตัวแปรรบกวน (v) ก็จะไม่ทำให้ y มีการเปลี่ยนแปลงมากเกินไปจนยอมรับไม่ได้ โดยทั่วไปแล้วกระบวนการส่วนมากจะมีตัวแปรต้นอยู่มาก แต่ตัวแปรต้นที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์หรือผลผลิตจะมีจำนวนไม่มาก ตัวแปรต้นที่สำคัญนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นตัวแปรที่มีความแปรปรวนมากที่สุดเสมอไป

และปัจจัยต่างๆมาจากการวิเคราะห์ ที่หาปัจจัยที่มีโอกาสที่น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ใช้ค่าที่แตกต่างกันของปัจจัย มีผลกระทบเกิดขึ้น โดยใช้แผนผังก้างปลา (Cause and Effect diagram) มาวิเคราะห์สาเหตุและผล ตัวอย่างแผนผังก้างปลา ภาพที่ 2.2

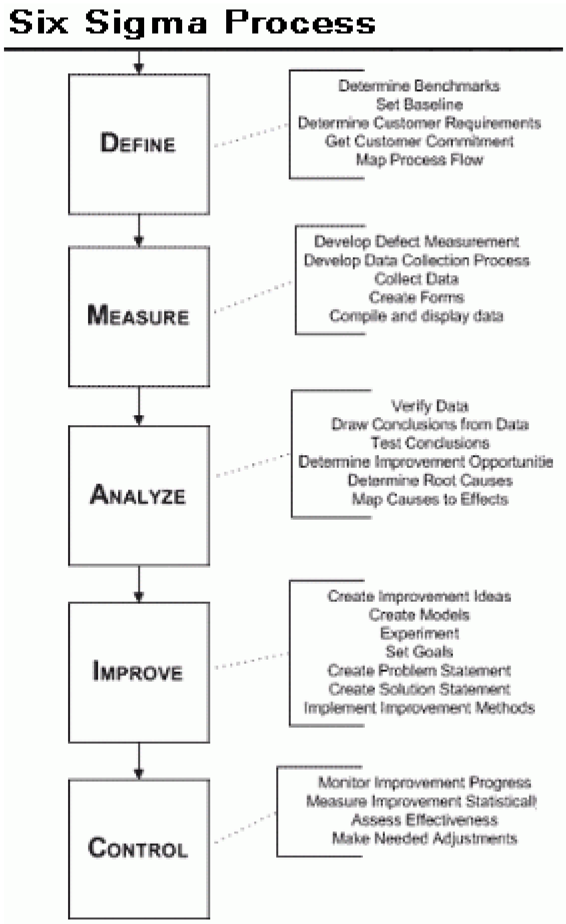


ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างแผนผังก้างปลา แสดงถึงปัจจัยต่างๆที่เป็นสาเหตุของปัญหาหรือผลลัพธ์

ภาพที่ 2.2 แสดงถึง 5 สาเหตุหรือ 5 ตัวแปรต้น x ที่สำคัญซึ่งมีผลกระทบต่อปัญหาหรือผลลัพธ์ โดยความเป็นจริง สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหามีอยู่มาก แต่สาเหตุที่มีผลกระทบมีอยู่ไม่มาก อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่ยากที่สุดอย่างหนึ่งของทุกองค์กรคือการพัฒนาแบบยั่งยืนถาวร ซึ่งทุกองค์กรจำเป็นต้องพยายามรักษาประสิทธิภาพของกระบวนการของตนเอาไว้ ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีผลผลิต y ที่ได้คุณภาพที่กำหนดซึ่งยอมรับได้ตลอดไป โดยปกติแล้วผลของตัวแปร v ที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยตรงจะมีการสะสมเพิ่มขึ้น ถ้าการสะสมนี้มีมากในระดับหนึ่ง จะทำให้กระบวนการสูญเสียประสิทธิภาพในการผลิตและไม่สามารถผลิตผลผลิต y ที่มีคุณภาพที่ยอมรับได้ และวิธีที่สามารถใช้เพื่อขจัดปัญหาหรือควบคุมการสะสมที่เกิดจาก v คือวิธี Design for Six Sigma หรือ Six Sigma Engineering ดังนั้น แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า นอกจากจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของผลผลิตแล้ว ยังช่วยในการหาวิธีการที่รักษาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตให้ยั่งยืนถาวรอีกด้วย (กันยรัตน์ คมวัชระ, 2547)

2.1.4 **ขั้นตอนการทำงานของ ซิกซ์ ซิกม่า**

แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า ขึ้นอยู่กับการเก็บ บันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อกำหนดวิธีการที่ง่ายที่สุดในการปรับปรุงกระบวนการทุกขั้นตอนเพื่อที่จะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง เป้าหมายในการปรังปรุงคุณภาพโดย ซิกซ์ ซิกม่า คือ ความพยายามที่จะลดความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงแบบหลากหลาย (Variability) ในกระบวนการ และวิธีการดำเนินการตามมาตรฐานของ ซิกซ์ ซิกม่า ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนสำคัญ คือ



ภาพที่ 2.3 กระบวนการมาตรฐานของ ซิกซ์ ซิกม่า (CSQA.info, 2011 : online)

D : Define phase

M : Measure phase

A : Analyze phase

I : Improve phase

C : Control phase

ซึ่งเรียกย่อๆ ว่า DMAIC โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน สรุปได้ ดังนี้

D: Define คือ ขั้นตอนการระบุและคัดเลือกหัวข้อเพื่อการดำเนินการตามโครงการ ซิกซ์ ซิกม่า ในองค์กร มีการกำหนดปัญหาและเป้าหมายอย่างชัดเจน ว่าอะไร ส่วนไหน ที่จำเป็นต้องปรับปรุง และจะปรับปรุงให้ถึงระดับไหน โดยมีขั้นตอนการคัดเลือกโครงการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 โครงการนั้นต้องสอดคล้องกับเป้าหมายหลักขององค์กร (Business Goal)

ขั้นตอนที่ 2 มอบหมายให้ฝ่ายต่างๆ ที่เสนอโครงการไปพิจารณาหากลยุทธ์ (Strategy) ในการดำเนินงานที่สอดคล้องกับเป้าหมายหลักขององค์กร

ขั้นตอนที่ 3 แต่ละฝ่ายนำเสนอกลยุทธ์ในการดำเนินการให้ผู้บริหารทราบ และเมื่อผู้บริหารเห็นชอบแล้ว ให้กลับไปกำหนดพื้นที่ดำเนินงาน (High Potential Area)

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้าย หลังจากกำหนดพื้นที่ที่จะดำเนินการได้แล้ว ให้แต่ละฝ่ายกลับไปพิจารณาหัวข้อย่อยที่จะใช้ในการดำเนินการ

M: Measure เป็นขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการที่เป็นข้อมูลจริงในปัจจุบัน เป็นสิ่งที่จะทำให้เข้าใจถึงสภาพของระบบและกระบวนการที่มีหรือใช้อยู่ในปัจจุบัน ในขณะเดียวกันการวัด ต้องมีความเข้าใจว่าจะวัดอะไร วัดอย่างไร วัดที่ไหน และวัดเมื่อไหร่ จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์หลังจากที่ได้กำหนดปัญหาที่เป็นเป้าหมายไว้อย่างชัดเจน ขั้นตอนการวัดจะแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอน Plan Project with Metric คือ การวางแผนและดำเนินการคัดเลือกตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการดำเนินการโครงการ

ขั้นตอน Baseline Project คือการวัดค่าความสามารถของกระบวนการที่เป็นจริงในปัจจุบัน โดยวัดผ่านตัวชี้วัดต่างๆ ที่เลือกสรรมาจากขั้นตอน Plan Project with Metric

ขั้นตอน Consider Lean Tools คือ วิธีการปรับปรุงกระบวนการด้วยการใช้เทคนิคต่างๆ ของวิศวกรรมอุตสาหการ

ขั้นตอน Measurement System Analysis (MSA) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเป็นขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการทำงานว่ามีความปกติหรือไม่ก่อนจะลงมือปฏิบัติงาน

ขั้นตอน Organization Experience หมายถึง ขั้นการนำประสบการณ์ที่ผ่านมาขององค์กร จะช่วยคิดในการแก้ไขปัญหา

A: Analyze ขั้นตอนนี้คือการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาหลัก โดยการเอาข้อมูลทางตัวเลขที่ได้จากการวัดวิเคราะห์ที่หาสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงแบบหลากหลาย โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ในเชิงสถิติเพื่อระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อปัญหานั้น ซึ่งเรียกสาเหตุหลักนี้ว่า KPIV (Key Process Input Variable) ซึ่งต้องสามารถระบุให้ชัดเจนว่า อะไรคือ KPIV ของปัญหาและต้องสามารถเชื่อมโยงกับปัจจัยหลักของกระบวนการ หรือที่เรียกว่า KPOV (Key Process Output Variable) ให้ได้ หลักการสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

การตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) ผังการกระจาย (Scattering Diagram) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

I: Improve ขั้นตอนนี้คือการพัฒนาหรือการปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการ เป็นการพัฒนาวิธีที่จะขจัดปัญหา การปรับตั้งค่าสาเหตุหลัก (KPIV) เพื่อจุดประสงค์เพื่อให้ผลลัพธ์ของกระบวนการเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ด้วยการใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อค้นหาและปรับตั้งค่าสภาวะต่างๆของกระบวนการให้เป็นไปตามความต้องการ รวมไปถึงการสร้างระเบียบแบบแผนของการจัดการเพื่อลดปัญหา

C: Control ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งต้องดำเนินการออกแบบระบบที่ควบคุมคุณภาพของกระบวนการเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการที่ปรับปรุงนั้นจะไม่ย้อนกลับไปเกิดปัญหาในลักษณะเดิมอีก ปรับปรุงให้คงอยู่ในระดับที่น่าพอใจตลอดไป และเป็นข้อมูลในการวางแผนดำเนินการพัฒนาให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นต่อไป (Montgomery, 2009 อ้างถึงใน กันตา สุวรรณฤทธิ์, 2554)

นำแนวทางของทั้งสองวิธีการมาประยุกต์ใช้ โดยนำเครื่องมือในลำดับขั้นตอนต่างๆมาช่วยแก้ปัญหา ในขั้นตอนการแก้ไขปัญหาคุณภาพต่างๆ

2.2 ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาคุณภาพ

การพัฒนาขั้นตอนในการแก้ไขปัญหา มีการประยุกต์ปรับปรุงขั้นตอนมากมาย จนในปัจจุบันมีวิธีการ แนวทาง ที่สามารถนำมาใช้กันอย่างมากมาย โดยในงานวิจัยได้นำเสนอวิธีการดำเนินงานที่มีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในองค์กรอุตสาหกรรม หรือองค์กรต่างๆ ในวิธีประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาแบบพื้นฐาน คือวงจรเดมมิ่ง (Shewhart cycle หรือ Deming cycle) ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในการพัฒนา และอีกแนวทางที่นิยมในอุตสาหกรรมในประเทศไทยนำมาประยุกต์ใช้นั่นคือ แนวทางซิกซ์ ซิกม่า (Six sigma approach) ในวิธีการต่างๆสามารถพัฒนาปรับปรุงในกระบวนการต่างๆ เพื่อลดของเสีย ลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มประสิทธิภาพ ประสิทธิผลของกระบวนการและองค์กรได้

ทำการเปรียบเทียบของทั้ง 2 แนวทางว่ามีความคล้ายคลึงกันขั้นตอนใด เพื่อที่จะดำเนินการและใช้เครื่องมือทางคุณภาพมาวัดผลในแต่ละกระบวนการได้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบของลำดับขั้นตอนทั้งวงจรเดมมิ่งและแนวทางซิกซ์ ซิกม่า

<table>
<tr><th>ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย</th><th>วงจรเดมมิ่ง</th><th>แนวทางซิกซ์ ซิกม่า</th></tr>
<tr><td>ลำดับขั้นตอน</td><td>PDCA</td><td>DMAIC</td></tr>
<tr><td>I. การกำหนดปัญหา</td><td>1) การวางแผน (P)</td><td>1) การนิยามปัญหา (D)</td></tr>
<tr><td>II. การหาสาเหตุหลักของปัญหา</td><td>2) การลงมือปฏิบัติ (D)</td><td rowspan="2">2) การวัด (M)
3) การวิเคราะห์ (A)</td></tr>
<tr><td>III. การหาวิธีการแก้ปัญหา</td><td>3) การตรวจสอบ (C)
หรือการศึกษา (S)</td></tr>
<tr><td>IV. การนำวิธีการแก้ปัญหา
ในการปฏิบัติ</td><td rowspan="2">4) การดำเนินการ (A)</td><td>4) การปรับปรุง (I)</td></tr>
<tr><td>V. การประเมินผล</td><td>5) การควบคุม (C)</td></tr>
</table>

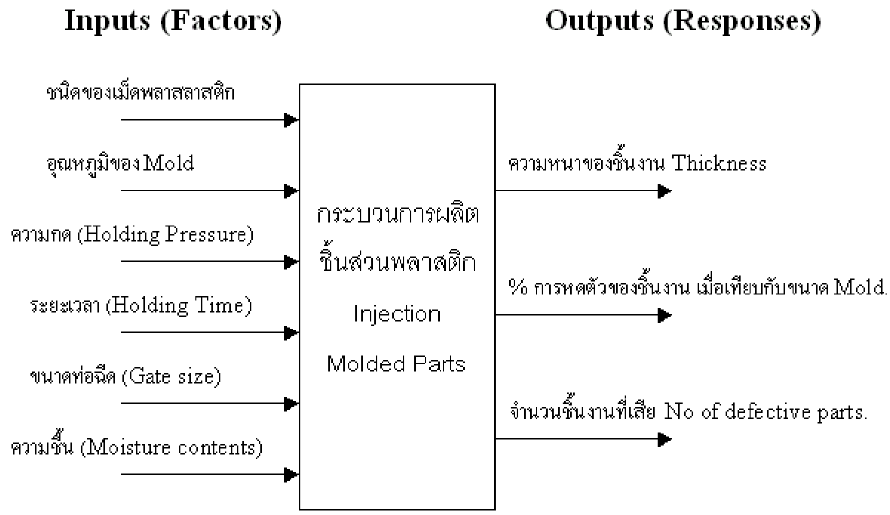
2.3 เครื่องมือ และกระบวนการจัดการคุณภาพ

ปัจจุบันของโลกการผลิตและการบริการที่ต้องการคุณภาพ เพื่อให้ลูกค้าพึงพอใจ จึงมีการพัฒนา การสร้างแนวคิด ทฤษฏี และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพหลากหลายเครื่องมือขึ้นให้เหมาะสมกับการใช้งานในความต้องการต่างๆ และสามารถยืนยันหรืออ้างอิงให้ลูกค้าพึงพอใจ

2.3.1 Design of Experiment (DOE)

เพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าปัจจัย (Factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ที่ต้องการวัดของกระบวนการนั้น

กระบวนการ (Process) คือการทำงานรวมกัน และผสมผสานกันของ เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) มนุษย์ (People) วิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการบริการ ภาพที่ 2.4 เป็นตัวอย่างกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในหมวดการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เพื่อชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง



ภาพที่ 2.4 ปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง ๖(ฉลอง สีแก้วสิ่ว, 2553 : online)

ในกระบวนการหนึ่งๆอาจจะมีปัจจัยมากมาย ซึ่งบางตัวไม่สามารถควบคุมได้และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระกระทบต่อกระบวนการก็ตาม จำเป็นต้องปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ในการออกแบบการทดลองเราจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวไม่สามารถปล่อยให้มันเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมันมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise ซึ่งต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งหรือช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด ซึ่งเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input Variable หรือ KPIV ในขณะเดียวกันสามารถรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ก็โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆอาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวก็เป็นได้ วิธีวัดก็มีได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าการวัดเป็น ค่าต่อเนื่อง (Continuous data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) ถ้าวัดได้ด้วยการนับหรือการสังเกต ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variable) แต่เพราะไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จำเป็นจะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่บอกถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้น เราเรียกตัวแปรที่เราคัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV

จากภาพที่ 2.4 ตัวแปรเข้า Input factors ที่เห็นนั้นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการมาก และ Output factors ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตุด้วยคนเท่านั้น คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือมีตำหนินั่นเอง เมื่อต้องใช้ DOE นั้นจะไม่นิยมใช้ Response หลายตัวในการทำครั้งหนึ่ง

<u>ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง</u>

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)
2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย
3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษาได้
4. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น
5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง
6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ไม่ใช่แค่การ Run computer program เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้น แต่รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model adequacy checking) หาค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้วิเคราะห์ก็ต้องเข้าใจเงื่อนไข ของ ANOVA ด้วย
7. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะได้รับรู้ เผื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองบ้างก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจข้อวิเคราะห์ ความคิดเห็น ของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

<u>การดำเนินการ การออกแบบการทดลอง</u>

1. กำหนดเป้าหมาย ที่ทำให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้น้อยที่สุด ได้ผลลัพธ์ของตัวปัจจัยที่เรากำลังพิจารณาให้มากที่สุด โดยใช้ต้นทุนและเวลาดำเนินการน้อยที่สุด
2. กลยุทธ์และวิธีการดำเนินการที่ดี ควรจะเริ่มจากเข้าใจสภาพปัญหาอย่างถ่องแท้ และรู้ว่าตัวผู้ดำเนินการหรือผู้บริหารต้องการสิ่งใด
3. สิ่งที่ต้องยึดถือและต้องทำให้ได้ 3 ประการ

   3.1 การสุ่ม (Randomization) การดำเนินการใดๆกับปัจจัยจะต้องอิสระ เพื่อให้ข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน นอกจากนั้นจะต้องคำนึงถึง หลักการกระจายอย่างทั่วถึงสมดุล (Balance out) สำหรับปัจจัยอื่นที่เราไม่อาจควบคุมได้

   3.2 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึงการดำเนินการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อจุดประสงค์ 2 อย่างที่สำคัญคือ

   - เพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ การดำเนินการวิเคราะห์จะนำเอาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวไปประเมินว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อกระบวนการบ้าง
   - เพื่อกำจัดทิ้งความคลาดเคลื่อน (Average out) อิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ ที่มีต่อปัจจัย เปรียบดังเช่นการหาค่าเฉลี่ยนั่นเอง เป็นวิธีการในการประเมินค่าอิทธิพลของปัจจัยอีกอย่าง

   3.3 การบล็อค (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความแม่นยำ (Precision) ของการทดลอง หรือคือเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

2.3.2 Full Factorial Design (FFD)

FFD หมายถึงวิธีการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองทุกกรณี ดังตัวอย่างตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 กรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ของ Full factorial design

Main Effects	2-Way Interaction	3-Way Interaction
A	AB	ABC
B	AC	
C	BC	

2-Level Full factorial design หมายถึงเมื่อใช้ Full factorial โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main effect ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตารางที่ 2.3 และจะต้องมีจำนวนรอบการทดลองหรือ Run = 2^3 = 8 ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย

ปัจจัย (Main Effects)	**ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป** (Condition)
A	A_L = 1.25 A_H = 3.25
B	B_L = 20 B_H = 40
C	C_L = 2300 C_H = 2500

ตารางที่ 2.4 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง 1 (Run)

Run	A	B	C
1	1.25	20	2300
2	1.25	20	2500
3	1.25	40	2300
4	1.25	40	2500
5	3.25	20	2300
6	3.25	20	2500
7	3.25	40	2300
8	3.25	40	2500

จากตารางที่ 2.4 หมายความว่า ผู้ทำการทดลองจะต้องปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยทั้งสามคือ A, B และ C ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.4 โดย 1 รอบการทดลอง จะต้องมีการบันทึกค่าตัวแปรตอบสนอง 1 ครั้ง แล้วค่อยปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยให้เป็นตาม Run ที่ 2 และวัดค่าตัวแปรตอบสนอง อีกครั้ง ทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบทุก Run

3-Level Full factorial design หมายถึงเมื่อใช้ Full factorial โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 3^k ตัวอย่างที่ 2 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตารางที่ 2.5 และจำนวนรอบการทดลองหรือ Run = 3^3 = 27 ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยกรณีเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับ

ปัจจัย (Main Effects)	**ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป** (Condition)
A	A_L = 1.25 A_M = 2.25 A_H = 3.25
B	B_L = 20 B_M = 30 B_H = 40
C	C_L = 2300 C_M =2400 C_H = 2500

ตารางที่ 2.6 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง 2 (Run)

Run	A	B	C
1	1.25	20	2300
2	1.25	20	2400
3	1.25	20	2500
4	1.25	30	2300
5	1.25	30	2400
6	1.25	30	2500
7	1.25	40	2300
8	1.25	40	2400
9	1.25	40	2500
10	2.25	20	2300
11	2.25	20	2400
12	2.25	20	2500
13	2.25	30	2300
14	2.25	30	2400
15	2.25	30	2500

ตารางที่ 2.6 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง 2 (Run)(ต่อ)

Run	A	B	C
16	2.25	40	2300
17	2.25	40	2400
18	2.25	40	2500
19	3.25	20	2300
20	3.25	20	2400
21	3.25	20	2500
22	3.25	30	2300
23	3.25	30	2400
24	3.25	30	2500
25	3.25	40	2300
25	3.25	40	2400
27	3.25	40	2500

การใช้รหัส (Coded) เป็นการปรับเปลี่ยนหน่วย สเกล ของแต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (Standardize) เพื่อให้ง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ โดยกำหนดให้ -1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น Low และ ให้ 1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น High ดังตารางที่ 2.7 ที่ใช้ค่าจากตารางที่ 2.5 โดยแทนค่าของทุกปัจจัยด้วยรหัส

ตารางที่ 2.7 แทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	-1	-1	1	1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	-1	1	1	-1	-1	1	-1
5	1	-1	-1	-1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	1	1	-1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

จากตารางที่ 2.7

A = - 1 หมายถึง ค่าของ A = 1.25 และ A = 1 หมายถึง ค่าของ A = 3.25

AB ก็หมายถึงเอารหัสของ A คูณกับ B ได้เลย ซึ่งก็จะได้รหัสของ Interaction ในบางตำราการใช้รหัสก็ใช้เพียง (-) และ (+) เท่านั้น แต่ความหมายก็เช่นเดียวกัน จากตารางที่ 2.7 เราสามารถเขียนแทนด้วยรหัสอีกรูปแบบหนึ่งได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส (-) และ(+)

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-	-	-	+	+	+	-
2	-	-	+	+	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	-	+	+	-	-	+	-
5	+	-	-	-	-	+	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+

ในกรณีที่ผู้ทำการทดลองออกแบบโดยใช้ 3-Level และจะต้องใช้ Code แทน ก็จะใช้ 0 แทนค่าตรงกลางของแต่ละปัจจัย จากตารางที่ 5 เมื่อแทนด้วยรหัสจะได้ค่าดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) เมื่อแทนด้วยรหัส 3-Level

Run	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	0
3	-1	-1	1
4	-1	0	-1
5	-1	0	0
6	-1	0	1
7	-1	1	-1

ตารางที่ 2.9 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) เมื่อแทนด้วยรหัส 3-Level (ต่อ)

Run	A	B	C
8	-1	1	0
9	-1	1	1
10	0	-1	-1
11	0	-1	0
12	0	-1	1
13	0	0	-1
14	0	0	0
15	0	0	1
16	0	1	-1
17	0	1	0
18	0	1	1
19	1	-1	-1
20	1	-1	0
21	1	-1	1
22	1	0	-1
23	1	0	0
24	1	0	1
25	1	1	-1
25	1	1	0
27	1	1	1

แต่ผู้ออกแบบจะต้องเข้าใจรหัสนี้ของทุกๆปัจจัยว่าหมายถึงค่าเท่าไหร่ เพราะการใช้รหัส จะใช้ในขั้นตอนการออกแบบและการวิเคราะห์เท่านั้น เมื่อทำการทดลองจะต้องแปลงรหัสให้เป็นค่าจริง และเมื่อต้องการเขียน Model ที่ได้จากการทดลอง จะต้องแปลงรหัสนี้กลับเป็นค่าจริงๆด้วยเช่นกัน (ฉลอง สีแก้วสิ่ว, 2553 : online)

ข้อดีของ Full factorial design

1. ไม่มีการเกิด Alias สามารถแยกแยะผลกระทบของ Effects ที่มีทั้งหมด แยกแยะได้อย่างชัดเจน
2. สามารถวิเคราะห์ Main factor และ Interaction ได้ทั้งหมด

ข้อด้อยของ Full factorial design

1. ต้องทำการทดลองให้ครบทุก Run ทำให้ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรมาก ใช้เวลา
2. เมื่อจำนวน Run มากๆ อาจจะประสบปัญหาในการป้องกันความคลาดเคลื่อนของกาปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆได้ (ฉลอง สีแก้วสิ่ว, 2553 : online)

2.4 การคำนวณอัตราของของเสีย และอัตราผลผลิต

การคำนวณจำนวนของเสียในอัตราร้อยละ (Percentage) คือการคำนวณจำนวนสิ่งที่ต้องการต่างๆที่เกิดขึ้นในการผลิตจำนวน 100 ชิ้น โดยการคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราของของเสียที่เกิดขึ้น (Defective rate)} = \frac{\text{จำนวนของเสีย}}{\text{จำนวนที่ผลิตทั้งหมด}} \times 100$$

และในการคำนวณอัตราผลผลิต โดยการคำนวณดังนี้

$$\text{อัตราผลผลิต (Yield rate)} = \frac{\text{จำนวนของชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด} - \text{จำนวนของเสีย}}{\text{จำนวนของชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด}} \times 100$$

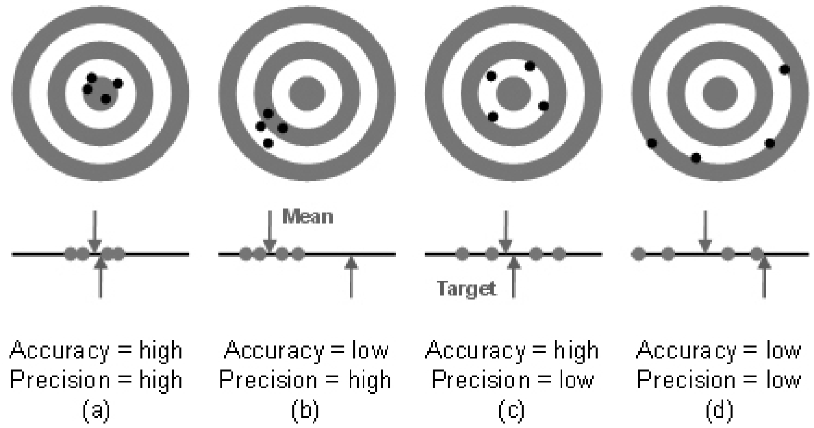
ในงานวิจัยนี้จะใช้การแปลงหน่วยของอัตราร้อยละ ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์ “%” ในการสรุปจำนวนของของเสียทั้งหมด เพื่อให้ไดอย่างชัดเจน แต่ใช้การเปรียบเทียบแบบอัตราร้อยละในอัตราผลผลิตของกระบวนการ

2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

การวัดคือพื้นฐานของระบบควบคุมโดยทั่วไป เพื่อนำข้อมูลจากการวัดไปปรับปรุงคุณภาพ เพราะการควบคุมเพื่อนำไปปรับปรุงนั้น ต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดที่ถูกต้องไปใช้ในการวิเคราะห์ผล และหาสาเหตุ ปัจจัย เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา และทำการตัดสินใจ โดยต้องอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล ซึ่งต้องผ่านการวิเคราะห์เพื่อให้การตัดสินใจนั้นไปในทางที่ถูกต้องเหมาะสม โดยต้องใช้ข้อมูลที่มีความเที่ยงตรง แม่นยำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในเครื่องมือวัด วิธีการวัด และผู้วัด โดยการวัด (Measurement) ประกอบไปด้วย ความถูกต้อง (Validity) ความละเอียดของเครื่องมือวัด (Resolution) ความเที่ยงตรง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) โดยที่ความถูกต้องเป็นพื้นฐานสำคัญของระบบการวัด (Measurement system) และวิธีการวัดต้องสามารถ

แสดงจำนวนหรือปริมาณที่ผู้ทำการวัดสนใจได้ ความละเอียดของเครื่องมือวัดต้องสามารถวัดได้มากกว่าหน่วยที่ต้องการวัด เช่น ถ้าต้องการวัดน้ำหนักของชิ้นงานที่มีความแตกต่างในหน่วยของกรัม ความละเอียดของเครื่องมือวัดที่วัดได้ต้องละเอียดสามารถวัดได้มากกว่าหน่วยกรัม คือต้องละเอียดถึงการวัดทศนิยมของหน่วยกรัมได้

ความเที่ยงตรง เป็นคุณสมบัติของวิธีการวัดหรือเครื่องมือวัด ระบบการวัดจะมีความเที่ยงตรงมากหรือน้อย ต้องพิจารณาจากขนาดของความผันแปรที่เกิดขึ้นโดยการวัดวัตถุชิ้นเดียวกันหลายครั้ง โดยมีการควบคุมผู้วัด วิธีการวัด เครื่องมือวัด อยู่ในชุดเดียวกัน ถ้าค่าทีวัดได้จากการวัดวัตถุชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้งแล้วได้ค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ยังไม่ต้องสนใจว่าค่านั้นเป็นค่าที่ถูกต้องหรือไม่ และขนาดของความผันแปรในการวัดซ้ำเกิดขึ้นน้อย แสดงว่าระบบการวัดมีความเที่ยงตรงสูง และค่าที่มีความแม่นยำ คือความสามารถของระบบการวัดที่สามารถวัดได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง ในกรณีที่มีการวัดซ้ำ ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ควรมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง

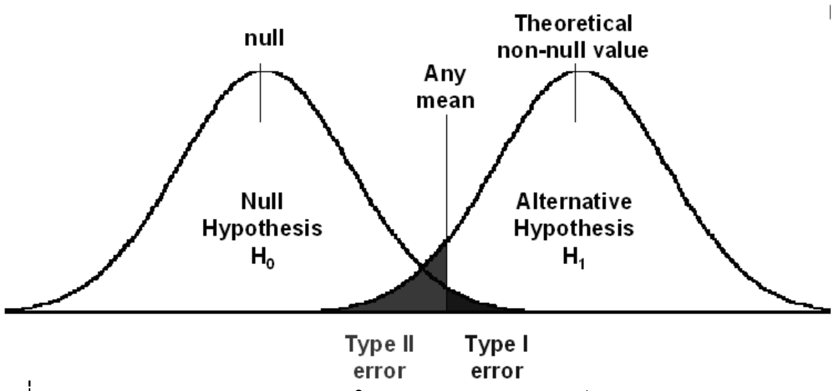


ภาพที่ 2.5 องค์ประกอบของระบบการวัด (Wilson, 2010 : online)

เพราะการควบคุมการผลิตต้องมีระบบการวัดในการปฏิบัติงาน ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของระบบการวัด จึงมีผลกระทบต่อกระบวนการเหล่านี้โดยตรง แบ่งออกเป็น

1) ผลกระทบต่อการควบคุมผลิตภัณฑ์ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในสินค้าชิ้นหนึ่งมีความน่าจะเป็นที่ผลการวิเคราะห์ที่ได้ยังอยู่ภายในข้อกำหนดของเงื่อนไขที่ตัดสินว่า สินค้าชิ้นนั้นเป็นสินค้าดี แต่ในความเป็นจริง สินค้านั้นเป็นของเสีย ทำให้เกิดความผิดพลาดชนิดที่ I (Type I error) หรือเรียกว่า ความเสี่ยงของผู้บริโภค (Customer's risk) และกรณีที่สินค้าชิ้นนั้นเป็นสินค้าที่ดี แต่ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด ตัดสินให้ผลการวัดที่ได้นั้น ทำให้

สินค้าที่ได้เป็นของเสีย ซึ่งทางสถิติเรียกว่า ความผิดพลาดชนิดที่ II (Type II error) หรือเรียกว่า ความเสี่ยงของผู้ผลิต (Producer's risk)



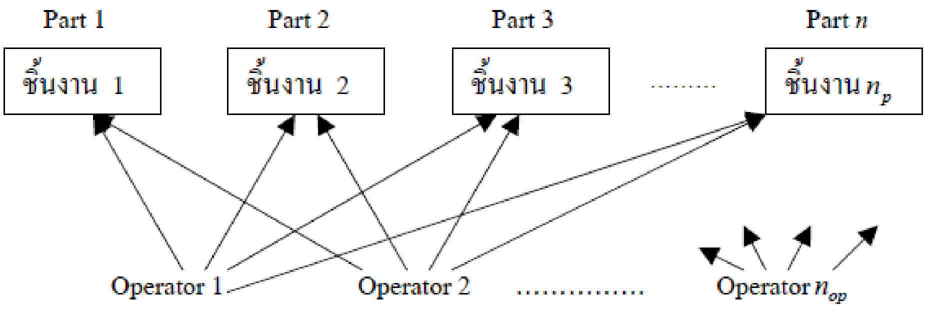
ภาพที่ 2.6 ผลกระทบต่อการตัดสินใจยอมรับผลิตภัณฑ์ (Chang, 2011 : online)

2) ผลกระทบต่อการควบคุมกระบวนการ มีความจำเป็นต้องดำเนินการให้บรรลุเงื่อนไข ดังนี้
   - อยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ
   - กระบวนการอยู่ตรงเป้าหมาย
   - ขนาดความผันแปรที่สามารถให้การยอมรับได้

โดยเครื่องมือการควบคุมที่มีประสิทธิภาพที่ดี ได้แก่ แผนภูมิการควบคุมกระบวนการ และดัชนีความสามารถของกระบวนการ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากระบบการวัดอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ทั้ง 2 ชนิด

2.5.1 **การศึกษาระบบการวัด** (Gauge R & R measurement system)

การศึกษาระบบการวัด คือการศึกษาระบบการวัด เพื่อศึกษาความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Precision) ของระบบการวัด โดยให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับสาเหตุของ "ความผิดพลาดจากการวัด" (Measurement errors) โดยใช้ผู้วัด (Operators) หลายคน แต่ใช้เครื่องมือและระบบการวัดเดียวกัน และผู้วัดแต่ละคนวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นซ้ำทั้งสิ้นจำนวน n_M ครั้ง โดยใช้เครื่องมือวัด วิธีวัดวิธีเดียวกันโดยชิ้นงานที่ถูกวัดมีทั้งสิ้นจำนวน n_p ชิ้น และผู้วัดมีทั้งสิ้น n_{op} คน



ภาพที่ 2.7 ภาพรวมของการศึกษาระบบการวัด (สันติชัย ชีวสุทธิศิลป์, 2547 อ้างถึงใน กันตา สุวรรณฤทธิ์, 2554)

ซึ่งผู้วัดแต่ละคนจะวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นซ้ำทั้งสิ้น n_M ครั้งโดยใช้เครื่องมือวัดและวิธีวัดเดียวกันโดย วิธีการศึกษา “Gauge repeatability and reproducibility”

1. เครื่องมือวัดควรมีการบำรุงรักษา (Maintenance) และการปรับแต่ง (Calibration) ตรวจสอบอยู่เป็นปกติ
2. การติดเครื่องหมาย สัญลักษณ์เพื่อแสดงหมายเลขชิ้นงาน (Number the parts) ไม่ควรให้ผู้ทำการวัดรู้ว่า ชิ้นงานที่กำลังวัดคือชิ้นงานหมายเลขใด เพราะอาจเกิดความลำเอียง บิดเบือนข้อมูลที่วัดได้จริง เนื่องจากผู้วัดต้องวัดชิ้นงานซ้ำหลายครั้ง แต่อาจใส่ข้อมูลเดิมทุกครั้ง (หมายเลขชิ้นงาน1, 2, 3,…, n_p)
3. ผู้วัดแต่ละคนจะวัดชิ้นงานทั้งหมดตาม “ลำดับแบบสุ่ม” (Random order) จนครบทุกชิ้นงานตัวอย่างโดยไม่รู้ว่าชิ้นงานใดมาก่อนหรือหลัง จนครบ 1 รอบ (ไม่วัดเรียงตามลำดับเลข 1, 2, 3,…, n_p)
4. หลังจากวัดชิ้นงานตัวอย่างจนครบทุกชิ้น ให้บันทึกค่าที่วัดได้ และเริ่มวัดตามวิธีในข้อ 3 จนครบจำนวนครั้ง หรือรอบ (Repeat the cycle) ที่ต้องการวัดซ้ำ (n_M) สำหรับแต่ละชิ้นงาน แล้วเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผล ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้น จะนำมาวิเคราะห์ผล ดังนี้

2.5.2 **ความสามารถของการวัดซ้ำ** (Gauge repeatability)

ความสามารถของการวัดซ้ำ หรือความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึงความผันแปรของค่าวัดในแต่ละรอบ ค่าที่ควรจะเป็น (Expected value) ของระบบการวัดที่ทำการวัด โดยการใช้ ผู้วัดคนเดียว อุปกรณ์วัดชิ้นเดียวกัน เพื่อการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ ซึ่งโดยทั่วไป ในอุตสาหกรรมการผลิต หมายถึง ความผันแปรของอุปกรณ์ (Equipment Variation; EV) ทั้งนี้เพราะความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัดมักจะมีผลมาจากตัวอุปกรณ์ ความสามารถ

ในการวัดซ้ำ โดยใช้ผู้วัดคนเดียวกัน ใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน วัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้ง และเปรียบเทียบความสามารถของการวัดซ้ำของผู้วัดแต่ละคนโดยพิจารณาจากขนาดความผันแปร หรือค่าพิสัย

2.5.3 **ความสามารถในการทำซ้ำ** (Gauge reproducibility)

ความสามารถในการทำซ้ำ หรือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบวัด หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะหมายถึง ความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด ความสามารถของการทำซ้ำ โดยใช้ผู้วัดหลายคนเพื่อวัดชิ้นงานเดียวกัน โดยใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน ใช้วิธีวัดเดียวกัน วัดความสามารถการทำซ้ำ โดยพิจารณาความผันแปร ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างผู้วัด (จำนวนผู้วัด n_{op} คน)

การประเมินผล Repeatability และ Reproducibility ซึ่ง มีทั้งหมด 3 วิธี คือ

- วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range method) ซึ่งเหมาะกับกรณีการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ข้อดีของวิธีการนี้คือ วิเคราะห์ผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยก Repeatability ออกจาก Reproducibility ได้
- วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and range method) ซึ่งเหมาะสมกับการทดลองซ้ำ ในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยก Repeatability ออกจาก Reproducibility ได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่า Repeatability ได้
- วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลอง เพื่อพิจารณาว่าผู้วัดชิ้นงาน และชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่า Repeatability ได้ แต่อย่างไรก็ดีวิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ความยุ่งยากในการคำนวณจึงต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MINITAB) ช่วยในการคำนวณ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551)

2.6 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)

เมื่อหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุง และปรับแต่งเครื่องจักรและกระบวนการให้เป็นไปตามผลการทดลองที่ได้ การเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยต่างๆ จะนำผลที่ได้นั้นมาทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น ด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ พร้อมกับพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้น พร้อมทำการป้องกันการเกิดของปัญหาเพื่อสามารถย้ำเตือนและสร้างความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงให้กับผู้ปฏิบัติงานอีกด้วย ซึ่ง FMEA คือการประเมินผลของตัวแปร 3 ตัวแปร และ ค่า R P N โดยค่า RPN ได้จากการคำนวณ ได้มาจากผลคูณของค่าพารามิเตอร์ O x S x D ดังนี้

O = Occurrence คือ ระดับความถี่ของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือความผิดพลาด โดยเกณฑ์การให้คะแนน คือ 1 - 10 โดย 1 คือความถี่น้อยที่สุดของการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาด และ 10 คือ ความถี่มากที่สุดของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

S = Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น เกณฑ์การให้คะแนน คือ 1 – 10 โดย 1 คือความรุนแรงน้อยที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น และ 10 คือความรุนแรงมากที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น

D = Detecting คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า ขึ้น เกณฑ์การให้คะแนน คือ 1 – 10 โดย 1 คือความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่ดีที่สุด และ 10 คือความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่แย่ที่สุด

โดย ค่า O S และ D ใช้เป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือค่า RPN เท่ากับ 1 ซึ่งมาจาก 1 x 1 x 1 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยทีสุด และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้อย่างสมบูรณ์ก่อนส่งมอบงานให้ลูกค้า

และในขณะเดียวกัน ผลของค่า RPN ที่มีระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหา คือค่า RPN เท่ากับ 1000 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีมากที่สุด และตรวจจับปัญหานี้ได้ยาก

โดยการให้คะแนนของทั้ง 3 ตัวแปร นั้น จะทำการระดมสมองของกลุ่มปฏิบัติงาน ผู้เชียวชาญ และผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลายๆฝ่าย ในการวิเคราะห์และให้คะแนน (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
1. A. R. Mukhopadhyay and S. Ray	2006	Quality tools, 7 QC tools	งานวิจัยที่นำแนวทางของทฤษฎีคุณภาพ มาลดของเสียที่เกิดในกระบวนการบรรจุเส้นไหมในกรวยเส้นไหม ซึ่งใช้ พาเรโตมาวิเคราห์มาปัญหาหลักเพื่อแก้ไข พบว่า มากกว่า 65% ของของเสียที่เกิดขึ้น มาจากความแปรปรวนของน้ำหนักของกรวยเส้นไหม น้อยเกินไปหรือมากเกินไป ดำเนินงานตาม ซิกซ์ ซิกม่า วิเคราะห์หาปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพ ตั้งสมมุติฐานและทำการทดสอบ ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ควรนำไปใช้
2. P.Das, and S. Roy	2007	Six sigma, 7QC tools, DOE	งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาความแปรปรวนของสีย้อมผ้าที่เกิดขึ้นในบริษัทสิ่งทอ ซึ่งทำให้รอบเวลาในกระบวนเพิ่มขึ้นเพราะต้องนำไปทำสีใหม่อีกครั้ง ซึ่งประมาณการ re-processing ของสิ่งทอทำให้ อัตราผลผลิตของกระบวนการมีเพียง 75% ซึ่งวัตถุประสงค์ในงานวิจัยต้องลดของเสียจากความแปรปรวนของสีย้อมผ้า เพื่อลดเวลาการผลิต โดยนำแนวทางของซิกซ์ ซิกม่าเข้ามาประยุกต์ใช้ โดยใช้เครื่องมือทางสถิติ 7QC tools เข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูลเพื่อระบุปัญหาที่สำคัญต่อของเสียและเวลา ก่อนที่จะทำการทดลอง DOE และนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลด้วย โปรแกรม MINITAB ในการทำงานแบบ ANOVA ซึ่งหลังจากปรับปรุงแล้วสามารถลดรอบเวลาเหลือที่เวลาเฉลี่ย 0.0125 h/m และอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 82%
3. R.C Law, L. Zhang, H.Y. Beh, J.Kmetec, F. Wall, C.E Chan and H.K Koay	2008	Six sigma, 7QC tools, DOE	งานวิจัยที่เกี่ยวกับ การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ (Package) และการประกอบสำหรับ ผลิตภัณฑ์ LED ที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง ที่ใช้ในรถยนต์ ที่มีข้อจำกัดที่เข้มงวด ทางด้านคุณภาพ โดยการพัฒนาตามแบบซิกซ์ ซิกม่าในงานวิจัยนี้ เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ multi – array thermo sonic ในระหว่างการเชื่อมต่อลวดทองคำกับแผ่นวงจรของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นแผ่นทองคำ งานวิจัยแบ่งการดำเนินงานตามแบบ DMAIC โดยใช้เครื่องมือทางด้านคุณภาพ 7QC tools และ DOE เข้ามาช่วยในการทดลอง และใช้ Statistical Process Control (SPC) เข้ามาควบคุมการผลิต

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
4. T.N. Desai and R. L. Shrivastava	2008	Quality tools, Minitab	งานวิจัยที่ศึกษาการปรับปรุงผลผลิตในเครื่อง SAW A101 Boom ซึ่งจะทำการระบุปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของกระบวนการ โดยใช้ Pareto และระบุขั้นตอนที่ไม่เกิดคุณค่าเพื่อกำจัดเวลาในกระบวนการนั้นๆทิ้ง และหาปัจจัยต่างๆด้วยการวิเคราะห์ CE diagram, FMEA และ Matrix diagram ทำการลดปัญหาที่เกิดจากปัจจัยนั้น และควบคุมเก็บข้อมูลในแต่ละการทดลองเพื่อลดความแปรปรวน ซึ่งหลังจากได้ทำการปรับปรุงทำให้อัตราผลผลิตในกระบวนการเพิ่มขึ้นถึง 93% จาก 61.8% และทำการควบคุมผลของอัตราการผลิต และอบรมการทำงานที่เปลี่ยนแปลงให้แก่พนักงาน โดยมีหลักว่า Do it right the first time
5.) A. Valles, J. Sanchez, S. Noriega and B. G. Nunez	2009	Six sigma, DOE, Minitab	งานวิจัยที่ทำการศึกษา บริษัท Semiconductor ที่ผลิตวงจรไฟฟ้าในเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท ซึ่งเกิดของเสียในระบบทดสอบวงจรไฟฟ้า โดยมีสัดส่วนของเสียเป็น 50% ของทั้งหมด ดังนั้นต้องการลดระดับของเสียด้วย Six Sigma ทำการเก็บข้อมูลเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบ นำไปทำการทดลองแบบ DOE – 2 level full factorial และวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งพบว่า ปัจจัยสำคัญ 3 ประการที่ทำให้เกิดของเสียคือ ความดัน, ความสูงของเครื่องมือ และรอบเวลา ซึ่งหลังจากการปรับปรุง ทำให้มีการเพิ่มของอัตราผลผลิต และลดความแปรปรวนในกระบวนการลงได้
6.) B. Aksoy and A. Y. Orbak	2009	Six sigma, Minitab	งานวิจัยที่ดำเนินงานตามแผน ซิกซ์ ซิกม่า DMAIC เพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำกลับมาแก้ไข ในระบบ robotic arc welding โดยมีการประยุกต์ใช้โปรแกรม Minitab มาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่างๆ เพื่อหาปัจจัยสำคัญที่ต้องการแก้ไข มีการทำทดสอบสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 95% ทำการเก็บข้อมูลและควบคุมปัจจัย ด้วย Cp และ Cpk

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
7.) E.V. Gijo and J. Scaria	2010	Six sigma, DOE, Minitab	งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกม่า มาใช้เพื่อลดของเสียและการแก้ไขชิ้นงานในกระบวนการขัดรูของบานพับประตูในอุตสาหกรรมยานยนต์ ในการประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกม่าแบบ DMAIC เพื่อให้เป็นไปตามระบบและขั้นตอนในการพัฒนาคุณภาพให้เพิ่มขึ้น โดยสามารถลดของเสียและการแก้ไขชิ้นงาน และสามารถเพิ่มอัตราการผลิตเป็น 100% ในขั้นตอนการทำวิจัย ได้ทำการเก็บข้อมูลเพื่อหา สาเหตุที่สามารถทำให้เกิดปัญหา มี 4 สาเหตุ คือ พารามิเตอร์ในกระบวนการ, อุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิก, การเซตตำแหน่งเริ่มต้น และเครื่องมือที่ใช้ โดยนำเทคนิคทางด้านสถิติเข้ามาช่วย เช่น DOE, โปรแกรม Minitab เพื่อมาวิเคราะห์และสรุปผล
8.) E.V. Gijo, J. Scaria and J.Antony	2011	Six sigma, 7 QC tools, DOE	งานวิจัยที่นำแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า มาเป็นเครื่องมือและวิธีดำเนินงาน เพื่อลดของเสียจากกระบวนการขัดละเอียดในบริษัทชิ้นส่วนรถยนต์ในอินเดีย หาวิธีการที่เป็นระบบเพื่อพัฒนาองค์กรขึ้นสู่การมีคุณภาพระดับโลก นำเครื่องมือทางด้านการควบคุมคุณภาพ 7QC tools และ DOE มาใช้ในการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของกระบวนการผลิต ควบคุมความแปรปรวนต่างๆในกระบวนการ โดยผลสรุปหลังจากทำการปรับปรุง สามารถลดของเสียจากกระบวนการขัดละเอียด จาก 16.6% ลดลงเหลือ 1.19%และมีผลทำให้บริษัทได้กำไรเพิ่มขึ้นจากการลดของเสีย และจำนวนชั่วโมงการทำงานของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องทำการนำชิ้นงานไปปรับปรุงทำใหม่ (Rework) เพื่อเพิ่มผลผลิต

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
9.) N.P. Santry, M.D.Devi and E.S. Reddy	2011	Six Sigma. Pareto, CE diagram	งานวิจัยที่ให้ความสำคัญกับการปรับปรุงกระบวนการและลดความผันแปรโดยการใช้แนวทาง Six Sigma มาช่วยในการปรับปรุงในกระบวนการของโรงงาน AMARA RAJA Batteries ซึ่งนำไปลดของเสียที่เรียกว่า Paste rejection ทำการระบุปัญหาที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดย CE diagram และนำปัจจัยที่ได้ไปปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้นโดยการพัฒนาเครื่องจักรในการติดตัวรับสัญญาณตรวจจับ (Sensor) และสามารถลดของเสียจาก 3.09% ให้เหลือเพียง 2.26% ภายในสองเดือนเท่านั้น
10.) S.Kumar and P.S. Satsangi	2011	Six sigma, DOE, Minitab	งานวิจัยทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการและลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการหล่อmold โดยใช้วิธีการ Six Sigma เข้ามาปรับปรุง โดยทำการระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลและสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และทำการทดลองแบบ DOE โดย MINITAB เพื่อปรับปรุงพารามิเตอร์และดูผลของตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุด ผลที่ได้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้ค่าที่ดีที่สุดในกระบวนการ โดยปัจจัยที่มีผลคือ ปริมาณความชื้น, แรง strength, อุณหภูมิ และแม่แบบของMold ส่งผลถึงคุณภาพของกระบวนการโดยไม่ต้องลงทุมเพิ่มมาก
11.) อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว	2002	Six sigma, FMEA	งานวิจัยที่สำรวจผลวิจัยตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อระบุสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขซึ่งขั้นตอนเริ่มต้นของการศึกษาได้ทำการศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัดการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทำโดยแผนภาพแสดงสาเหตุและผล และเชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA ใช้หลักการทำแบบสุ่มในการเก็บข้อมูล เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่าๆกัน วิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆที่มีผลกระทบ ปรับปรุงเพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น โดยอาศัยหลักการทางสถิติเพื่อการยืนยันผลการทดลอง และจัดทำมาตรการควบคุมและป้องกันปัญหา อย่างต่อเนื่องประมาณ 6 เดือน ทำให้ความผันแปรในกระบวนการผลิตลดลง

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
12.) ชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์	2003	Six sigma, FMEA, Gauge R&R, DOE	งานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีลดความสูญเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี เช่นลดความสูญเปล่าจากการปรับตั้งค่าความเปรียบต่างสี โดยมีเป้าหมายคือเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) ขึ้น 20% โดยมีการใช้ แผนผังก้างปลา เชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA และมีการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและเสถียรของเครื่องมือวัดและผู้วัด วิเคราะห์ระบบการวัดและความคลาดเคลื่อนในทฤษฎีต่างๆ เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาด เพื่อที่จะหาเครื่องมือการวัดที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำที่สุด ก่อนที่จะมาเริ่มทำ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ทำการทดลองซ้ำ (Repeatability) การสุ่ม (Randomization) หลังการปรับปรุงพบว่า ความสามารถของกระบวนการของค่าความเปรียบต่างสี มีค่าความต่างสูงขึ้น อยู่ในเกณฑ์ดี และสามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงจากเดิม 20.92% จากเวลาการปรับตั้งค่าเดิม
13.) ภัทรา อายุวัฒน์	2003	Six sigma, 7QC tools Gauge R&R	งานวิจัยที่เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ ศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการรับน้ำหนักกด (Gram load) ของชุดหัวอ่านสำเร็จ และดำเนินการตามขั้นตอน ซิกซ์ ซิกม่า และการศึกษาความถูกต้องของระบบการวัด คือค่า Total Gage R&R โดยวัดผลที่ ค่าแปรผันจากเครื่องมือวัด (Repeatability), ค่าแปรผันจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility) และค่าแปรผันจากชิ้นงาน (Part-to-Part) ในงานวิจัยนำเครื่องมือทางการควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง (7QC tools) มาใช้ในการวัดผล และFMEA เพื่อประเมินความเสี่ยง หลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้น 720 DPPM (Defect part per million) ซึ่งคิดเป็น 91.88% ของจำนวนของเสียที่ลดได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
14.) ศิริวดี เอื้ออรัญติ	2003	Six sigma, FMEA,	งานวิจัยนำเสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่อง อันเนื่องมาจากคราบสกปรก (Contamination) ของกระบวนการผลิต หัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์ ในขั้นตอนการวิจัย สามารถระบุสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขโดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรม ศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยแผนภาพแสดงเหตุและผล และเชื่อมโยงหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน และทำการปรับปรุงเพื่อลดสัดส่วนของเสียเนื่องมาจากคราบสกปรก โดยใช้หลักการสถิติวิศวกรรมเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง สุดท้ายทำมาตราการควบคุมและป้องกันปัญหา หลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า สามารถลดความสูญเสียได้ 53% ของจำนวนของเสียที่ลดได้จากการปรับปรุงกระบวนการผลิต
15.) วรภูมิ จตุวรพัฒน์	2004	Six sigma, 7QC tools	งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ของชุดหัวอ่าน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของฮาร์ดดิสไดร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของการขนส่ง และต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ ประยุกต์ใช้แนวทางการปรับปรุง และออกแบบบรรจุภัณฑ์ โดยวิธีการซิกซิกม่า ซึ่งมุ่งหวังจะได้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองทุกความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังคงความสามารถในการป้องกัน ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการขนส่งผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์แบบใหม่ได้ถูกออกแบบและทดสอบโดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติก่อนที่จะได้มีการนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้กับผลิตภัณฑ์และทำการประเมินผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้าที่อาจเกิดขึ้นจากการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์จากการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ ผลการปรับปรุงสามารถลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ และสามารถช่วยลดต้นทุน การขนส่งผลิตภัณฑ์ระหว่างประเทศได้และทำการประเมินผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้าที่อาจเกิดขึ้นจากการลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
16.) สมบัติ สุขนิจ	2004	Six sigma, MSA	งานวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซี โดยนำ แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ในการผลิต เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าจำนวนเจลที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการแล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อให้ได้ค่าจำนวนเจลที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสม แล้วทำการทดสอบยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริง ควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ และสามารถลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตได้ทั้งหมดจนเหลือ 0%
17.) อุรคินทร์ พลนิกร	2006	Six sigma, 7QC tools, FMEA,	งานวิจัย เพื่อวิเคราะห์และลดของเสียของกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นในอุตสาหกรรมท่อสเตนเลส เกรด 304 โดยดำเนินงานตามแบบอย่างของซิกซ์ ซิกม่า ใช้หลักการของการออกแบบการทดลอง (Design and analysis of experiment) และเครื่องมือคุณภาพ 7QC tools มาช่วยวิเคราะห์และลดของเสียของโรงงานตัวอย่าง ค้นหาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการ ใช้เทคนิค FMEA เข้ามาช่วยในการกรองปัจจัยเบื้องต้น จากนั้นจึงใช้การออกแบบการทดลองเข้ามาวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ และผลสรุป ของเสียทั้งหมดจากกระบวนการเดิมอยู่ที่ประมาณ 8.2% หลังจากที่ปรับปรุงปัญหาแล้วสามารถลดของเสียลงเหลือ 1.6% สามารถลดต้นทุนลงได้ 108.75 ล้านบาท
18.) อรวรรณ พิทักษ์เกียรติกุล	2007	Six sigma, FMEA,	งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการทดสอบตัวรับส่งสัญญาณทางแสงในการป้องกันการเกิดฝุ่นและรอยขีดข่วนบนหน้าเลนส์ โดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่า โดยเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหา 1 ใน 3 models หลักของผลิตภัณฑ์ และคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษาโดยการใช้เทคนิคลักษณะบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) จะได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดสอบล้มเหลว ผลจากการปรับปรุงพบว่า ผลิตภาพการผลิตจากกระบวนการทดสอบของผลิตภัณฑ์ที่เลือกนำมาศึกษามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 84.49% เป็น 92.82%

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
19.) ภาณุ ชุดเจือจีน	2007	Six sigma, Gauge R&R, CE diagram, FMEA, 7 QC tools	งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้แนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพ่นสีรองพื้น ในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง ซึ่งกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสีย เท่ากับ 19,615 DPPM ซึ่งทำให้บริษัทสูญเสียเงินเป็นจำนวนนับล้านบาทต่อปี ซึงการนำการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกม่า โดยการบ่งชี้ปัญหาและยืนยันความสามารถของกระบวนการโดย Gauge R&R, FMEA และ CE diagram และการวิเคราะห์ปัญหา และทดลองปรับปรุงแก้ไข ได้นำโปรแกรม MINITAB แบบ Two proportions ในการทำการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบและทำการหาระบบการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมาใช้งาน
20.) วสันต์ พุกผาสุก	2008	Six sigma, MSA, FMEA, CE diagram, 7QC tools, Poka Yoke	งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม และปรับปรุงคุณภาพผิวงานชุบโครเมียมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า กำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการ โดยอาศัยการวัดความสามารถกระบวนการ พบว่าการเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นงาน และหาความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละงานในกระบวนการจากแผนที่กระบวนการ แล้วจึงทำการวิเคราะห์สาเหตุจากแผนภาพแสดงเหตุและผล และประเมินความเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด วิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบกับค่าความหยาบผิวชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน หาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ตอนสนองและควบคุมตัวแปรต่างๆด้วยเครื่องมือทางสถิติ และสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82%

รายชื่อผู้วิจัย	ปี	เทคนิคที่เกี่ยวข้อง	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
21.) จุฑาทิพย์ ทะประสพ	2008	Deming cycle, CE diagram, 7QC tools, DOE	งานวิจัยที่ต้องการลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการพิมพ์กราเวียร์ หาสาเหตุหลักของปัญหาคุณภาพในกระบวนการพิมพ์บรรจุภัณฑ์พลาสติก และพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต โดยแบ่งเป็น 5 ลำดับตามระยะ PDCA โดยใช้เทคนิคคุณภาพ ได้แก่ กราฟ แผนภาพการกระจาย แผนผังแสดงสาเหตุและผล พาเรโต แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง แผนผังต้นไม้ การออกแบบการทดลอง และแผนภูมิควบคุม ผลจากการออกแบบการทดลองทำให้รู้ปัจจัยที่มีผลกระทบ ได้แก่ อุณหภูมิส่วนพิมพ์ และแรงตึงของม้วนฟิล์ม และปรับปรุงทำให้เปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทเบี้ยวเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ของเสียรวมเฉลี่ยลดลง 14.94% และ 12.71%
22.) เยาวนาฏ ศรีวิชัย	2011	Six sigma, MSA, FMEA, CE diagram, 7QC tools, Poka Yoke	งานวิจัยที่ต้องการลดจำนวนข้อบกพร่องบนผืนงาน โดยเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า โดยทำการศึกษาแผนภาพกระบวนการผลิต เพื่อเข้าใจในสภาพปัญหาและกำหนดเป้าหมายในการแก้ไข ประเมินความเสี่ยงของการเกิดข้อบกพร่องโดย FMEA และเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องมือทางสถิติ 7 QC tools ซึ่งพบว่าตาของผืนงานในแนวขวางกว้างกว่าค่าที่กำหนดไว้ และทำการวัดความสามารถของกระบวนการและทำการทดลอง ปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานโดยใช้เทคนิคการป้องกันความผิดพลาดในการทำงาน (Poka Yoke) จากนั้นทำการเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการทำงานและอุปกรณ์เดิมกับจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดจากวิธีการทำงานและเครื่องจักรอุปกรณ์แบบที่เสนอด้วยการทดสอบสมมติฐานแบ Mann-Whitney ซึ่งพบว่าวิธีการทำงานและเครื่องจักรอุปกรณ์แบบที่เสนอสามารถลดจำนวนข้อบกพร่องบนผืนงานได้จริง และข้อบกพร่องลดลง 58.19%

บทที่ 3

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้ใช้หลักการของวงจรเดมมิ่งเข้ามาใช้ โดยการแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ Plan – Do – Check – Action phase ซึ่งในขั้นตอน Plan phase ได้อธิบายในบทที่ 1 เกี่ยวกับการวางแผน ลักษณะที่มาและความสำคัญของปัญหา และหาปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหา เพื่อนำไปดำเนินการและทำการวัดเก็บข้อมูลของปัญหาในบทที่ 3

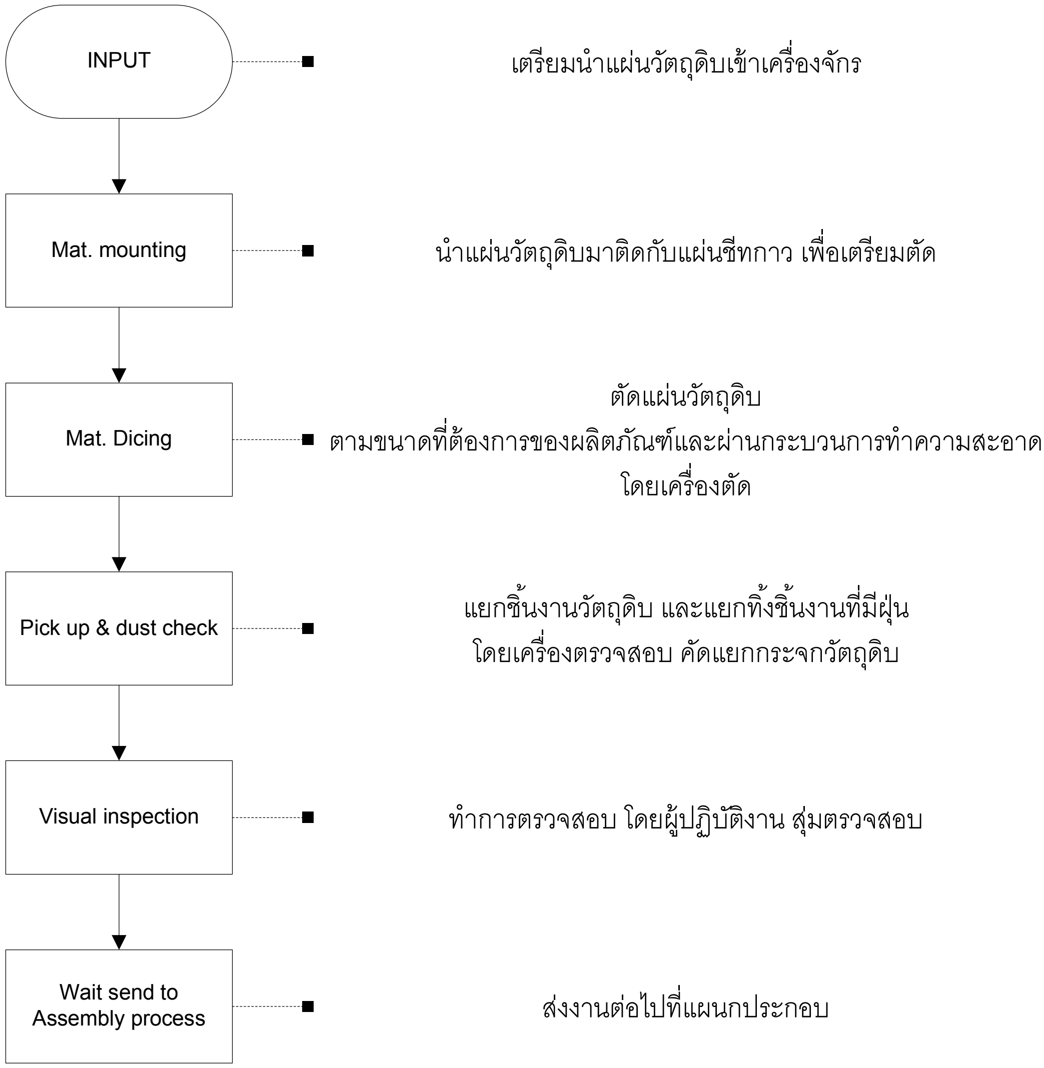
3.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Do phase)

โดยในขั้นตอนนี้จะดำเนินการ วัดความสามารถของกระบวนการ เป็นขั้นตอนการศึกษาถึงแหล่งที่มา และข้อมูลต่างๆที่เป็นสาเหตุของปัญหาด้วยการใช้เครื่องมือต่างๆ ทางสถิติ เข้ามาช่วยในงานวิจัย โดยศึกษารายละเอียดของกระบวนการผลิตในขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษาและทำการวิเคราะห์ความถูกต้องแม่นยำของระบบ เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ผล

ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อลดขอบเขตของแหล่งที่มาของปัญหาที่ทำการพิจารณาและเพื่อเป็นแนวทางหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา นำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จากการประชุมและแสดงความคิดเห็นจากสมาชิกในกลุ่มที่เลือกมาจากผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการที่เกี่ยวข้องและผู้เชี่ยวชาญในด้านกระบวนการตัด คัดเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบที่สำคัญต่อกระบวนการผลิต ทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

โดยเบื้องต้นทำการศึกษากระบวนการไหลของกระบวนการผลิตกระจกวัตถุดิบ ซึ่งในการผลิตกระจกวัตถุดิบนี้ ทางบริษัทได้ทำการจัดซื้อ แผ่นกระจกขนาดใหญ่มาจากผู้จัดจำหน่าย ซึ่งสามารถสั่งขนาดที่มี ความกว้าง ความยาว ความหนาในขอบเขตที่ต้องการได้ ก่อนที่จะนำไปแปรรูป ตามขนาดที่ต้องการใช้ในระบบการผลิต ซึ่งกระจกแผ่นใหญ่จะผ่านเข้าสู่ กระบวนการตัด การแยกชิ้น การจัดวาง การตรวจสอบ ก่อนส่งต่อไปยังแผนกการประกอบ

ในกระบวนการของการเตรียมกระจกวัตถุดิบ จะต้องใช้เครื่องตัดกระจกวัตถุดิบ และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ เพื่อจัดเก็บชิ้นงานที่ได้ตามมาตรฐานหลังทำการตัดแล้ว และตรวจสอบชิ้นงานที่มีฝุ่นปนเปื้อนได้ ก่อนแยกทิ้งเป็นของเสียไป ซึ่งกระบวนการไหล ของวัตถุดิบมีลักษณะ ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กระบวนการไหลของกระจกวัตถุดิบในกระบวนการตัด

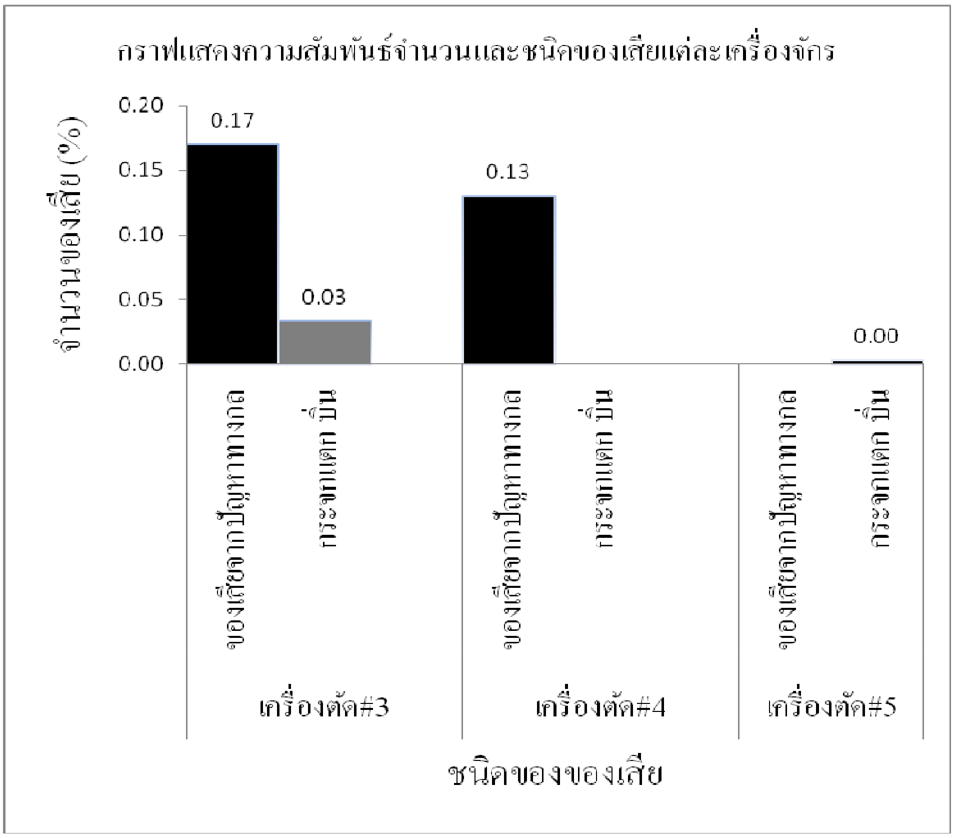
โดยหลังจากทำการศึกษากระบวนการไหลของกระจกวัตถุดิบ พบว่ากระจกวัตถุดิบต้องมีการไหลผ่าน เครื่องจักร 2 ชนิด ด้วยกัน คือ เครื่องตัด และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ซึ่งในงานวิจัย ทำการคัดเลือกเครื่องจักร 2 ประเภท นี้ ประเภทละหนึ่งเครื่องที่มีการผลิตกระจกวัตถุดิบที่มีขนาด 35x24มม.เป็นเครื่องต้นแบบที่ทำปรับปรุง ประยุกต์ใช้ทฤษฎีในการแก้ปัญหา ก่อนขยายผลไปยังเครื่องอื่นๆ

ข้อมูลทางเครื่องจักที่ใช้ในการผลิตทั้งเครื่องตัด และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ถูกทำการติดตั้งพารามิเตอร์และระบบต่างๆให้เหมือนกับการใช้งานที่ญี่ปุ่น ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกัน เพราะเป็นเครื่องที่ถูกใช้งานในการผลิตมาแล้วที่ญี่ปุ่น ก่อนส่งมาใช้ในประเทศไทย ดังนั้นในการเลือกเครื่องจักรที่จะเข้าไปปรับปรุง สามารถตัดปัจจัยเรื่องพารามิเตอร์

ของเครื่องจักรที่แตกต่างกันออกไปได้เพราะถูกติดตั้งมาเหมือนกัน ดังนั้นสามารถเลือกเครื่องจักรที่มีการผลิตของเสีย ออกมามากที่สุด หรือเกิดปัญหาของเครื่องจักรหยุดการทำงานเพราะต้องแก้ไขปัญหาทางกลของเครื่องจักรบ่อยครั้ง โดยเปรียบเทียบกับของเสียที่ผลิตออกมาของแต่ละเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ ดังนี้

เครื่องตัด ถึงแม้ของเสียที่เกิดจากฝุ่น จะไม่ได้ถูกคัดแยกทิ้งที่กระบวนการของเครื่องตัด แต่เครื่องตัดเป็นเครื่องที่มีการผลิตและทำความสะอาดฝุ่นโดยตรง ในระบบการตัดมีการทำความสะอาดฝุ่นตลอดเวลาการทำงานของเครื่องจักร ในเครื่องตัดมีการฉีดน้ำหล่อเย็นและทำความสะอาดด้วยความดันเพื่อไล่ฝุ่นไหลไปตามทิศทางของน้ำ ดังนั้นการหยุดของเครื่องตัดเมื่อเกิดปัญหา ระบบท่อน้ำที่ฉีดออกมา จะหยุดทำงานไปด้วย เพื่อให้สะดวกในการซ่อมบำรุง ทำให้น้ำไม่เกิดการไหลเวียน ฝุ่นต่างๆจากการตัดจะไม่ถูกขจัดออกไป และติดอยู่ในตำแหน่งต่างๆของชิ้นงานกระจกวัตถุดิบ การเลือกเครื่องตัดที่จะเป็นเครื่องต้นแบบนั้น เลือกตามของเสียที่เกิดจากการหยุดเครื่องจักรเมื่อเกิดปัญหา และของเสียจากกระจกวัตถุดิบแตกหรือ/บิ่น ที่มีจำนวนมากที่สุด เพราะหมายถึงโอกาสการเกิดของฝุ่นจากกระจกจะมีโอกาสเกิดสูงขึ้นอีกด้วย ดังแสดงในกราฟที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 เครื่องตัดที่ 3



ภาพที่ 3.3 อัตราของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละเครื่องตัด ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2554

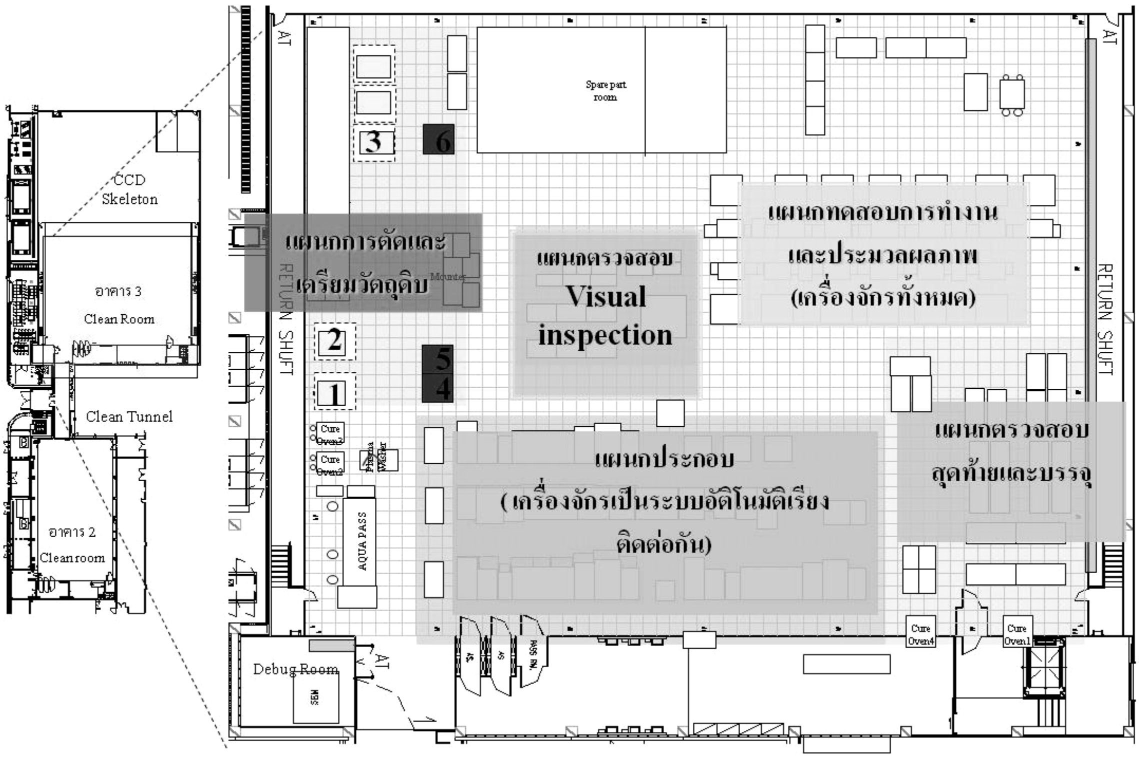
ในการเลือกเครื่องตัดที่ใช้ในการตัดกระจกวัตถุดิบขนาด 35x24มม. จากการเปรียบเทียบอัตราการเกิดของเสียที่เกิดขึ้นพบว่า <u>เครื่องตัดที่ 3</u> มีจำนวนของเสียมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบจำนวนของเสีย ในเดือนกรกฎาคม 2554

เครื่องตัดที่ 3 :	มีของเสียจากการหยุดเครื่องจากปัญหาทางกล	0.17%
	มีกระจกแตก/บิ่น	0.03%

จากกราฟที่ 3.2 เนื่องจากข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องตัดไม่มีคัดแยกจำนวนของเสียชนิดฝุ่นปนเปื้อนแต่ทำการเลือกเครื่องที่พบของเสียมากที่สุด และได้พบกับข้อเปรียบเทียบทางข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องตัดที่ 5 “ทำไมจึงเกิดของเสียน้อยกว่าเครื่องอื่นๆ” จึงมีการระดมสมองภายในกลุ่มและมีการตรวจสอบ พบว่าเครื่องตัดที่ 3 และ 4 อยู่ในพื้นที่เดียวกันและเป็นพื้นที่ที่มีเครื่องจักรหลายชนิดเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิด การสั่นสะเทือนของพื้นมาก เมื่อเทียบการพื้นที่ในการวางตำแหน่งของเครื่องตัดที่ 5 ที่อยู่ในตำแหน่งที่มีเครื่องจักรจำนวนน้อยกว่า เพราะเป็นพื้นที่ที่ทางโรงงานมีการต่อเติมสร้างขึ้นมาใหม่ เพื่อให้รองรับกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณการสั่งซื้อที่มากขึ้น

และระบบท่อน้ำที่ใช้ต่อเข้ากับเครื่องตัดระยะทางที่ต่างกัน ซึ่งเครื่องตัดที่ 5 อยู่ไกลกว่าเครื่องอื่นๆ จึงมีแรงดันน้อยกว่า ทำให้ลดการกระแทกของรอยตัดได้

แต่เนื่องจากเครื่องตัดที่ 3 และ 4 ถูกติดตั้งระบบท่อลม และท่อน้ำไปแล้ว ทำให้การถอนการติดตั้งแล้วย้ายที่ และทำการปรับผังโรงงานใหม่ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในการต่อระบบท่อลม และท่อน้ำใหม่ทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถทำการปรับผังใหม่ได้ และเครื่องตัดที่ 5 และเครื่องตัดที่อยู่ในพื้นที่ใกล้ มีการผลิตเต็มอัตราอยู่แล้ว การปรับการวางแผนผลิตวัตถุดิบใหม่ทั้งหมดเพื่อให้สามารถรองรับการผลิตแทนเครื่องตัดที่ 3 และ 4 ได้ จะทำให้เกิดผลกระทบต่อ การผลิตกระจกวัตถุดิบประเภทอื่นๆ ซึ่งไม่สามารถรับประกันได้ว่า ถ้าปรับเปลี่ยนไปแล้วจะทำให้เกิดผลดีขึ้นในทุกๆขนาดของกระจกวัตถุดิบ ดังนั้นจึงไม่สามารถปรับการวางแผนผลิตวัตถุดิบใหม่ทั้งหมดได้ ซึ่งเป็นกรณีเดียวกับ เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบทั้ง 3 เครื่องด้วย

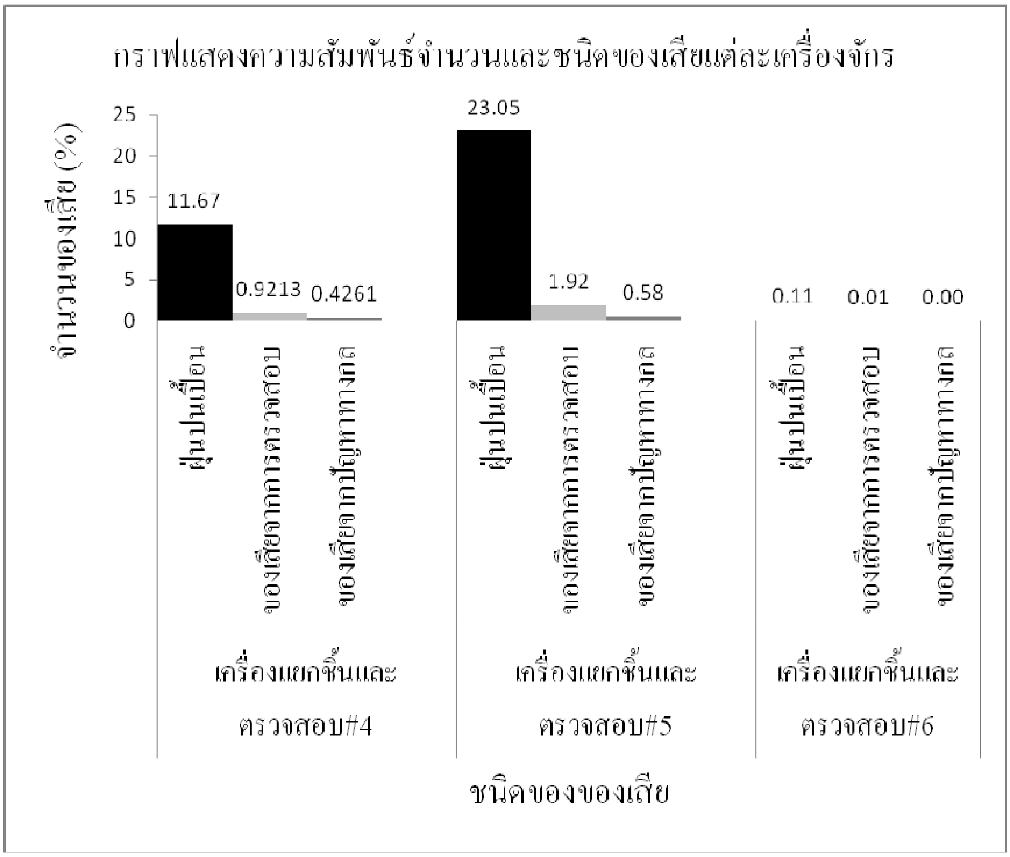


ภาพที่ 3.4 แผนผังโรงงานและการวางตำแหน่งของเครื่องตัดและเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ

โดย แบ่งเป็น เครื่องตัด เป็นพื้นที่สีเหลือง และ เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบเป็นพื้นที่สีแดง ซึ่ง

หมายเลข 1 เป็นพื้นที่การวางตำแหน่ง เครื่องตัดที่ 3
หมายเลข 2 เป็นพื้นที่การวางตำแหน่ง เครื่องตัดที่ 4
หมายเลข 3 เป็นพื้นที่การวางตำแหน่ง เครื่องตัดที่ 5
หมายเลข 4 เป็นพื้นที่การวางตำแหน่ง เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ที่ 4
หมายเลข 5 เป็นพื้นที่การวางตำแหน่ง เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ที่ 5
หมายเลข 2 เป็นพื้นที่การวางตำแหน่ง เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ที่ 6

<u>เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ</u> เป็นเครื่องที่ทำการคัดแยกของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนโดยตรง สามารถคัดเลือกได้จากจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนได้ เครื่องจักรที่ระบบการทำงานในการตรวจจับฝุ่นได้ในขนาดที่ใหญ่กว่า 3 ไมโครเมตรได้ ซึ่งในงานวิจัยจ้องมีการยืนยันความถูกต้อง แม่นยำของเครื่องจักร ด้วยวิธี Regression analysis



ภาพที่ 3.5 อัตราของเสียที่เกิดในแต่ละเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในเดือน กรกฎาคม พ.ศ.2554

ในการเลือกเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ได้ใช้ในการทำงานกับกระจกวัตถุดิบขนาด 35x24มม. จากการเปรียบเทียบอัตราการเกิดของเสียของฝุ่นปนเปื้อน จึงเลือกเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5 ที่มีจำนวนของเสียมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบจำนวนของเสีย ในเดือนกรกฎาคม 2554

เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5:

มีของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน	23.05%
มีของเสียจากปัญหาเชิงกล	0.05%
มีของเสียจากการตรวจสอบ ด้วยการสุ่มจากผู้ปฏิบัติงาน	1.92%

เมื่อกำหนดเครื่องจักรที่เป็นตัวต้นแบบในการทดลองได้ทั้ง 2 ชนิด ดำเนินการวัดความสามารถในการทำงานของเครื่องจักรและ วัดความเป็นปกติในเครื่องจักร เช่น วัดปริมาณของฝุ่นที่อยู่ในเครื่องจักร เพื่อตรวจสอบความเป็นปกติของเครื่องจักร เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการดำเนินการในขั้นตอนถัดไป

ภาพที่ 3.6 เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5

3.1.1 **การวัดความสามารถของกระบวนการตรวจสอบในเครื่องจักร**

ในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบนั้น มีระบบการทำงานที่สามารถจะตรวจสอบและระบุตำแหน่งของฝุ่นที่ปนเปื้อนได้ในขนาดเล็กที่สุด 3 ไมโครเมตร จนถึงขนาดที่ใหญ่ขึ้นไป เพราะเป็นฝุ่นที่มีผลกระทบต่อแสงในการประมวลผลภาพ ฝุ่นในขนาดนี้จะทำการบังแสงซึ่งทำให้ภาพที่ได้หลังจากการถ่ายมีจุดดำที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้าฝุ่นมีขนาดเล็กกว่า 3 ไมโครเมตร แสงจะสามารถทำการกระจายแสง ทำให้แสงสามารถผ่านขนาดของฝุ่นไปได้ และภาพที่ได้มีความเป็นปกติไม่มีจุดดำจากการบังแสง ซึ่งทำให้ต้องมีการวัดความสามารถของ

เครื่องจักรในการตรวจสอบระบุตำแหน่งฝุ่น เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ความแม่นยำของเครื่องตรวจสอบ เพื่อพิสูจน์ปัจจัยที่ตั้งไว้ให้เป็น ปัจจัยที่มีความน่าจะเป็นที่จะเป็นปัญหาที่เกิดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน จากแผนภูมิก้างปลา ปัจจัยใน ระบบการตรวจสอบฝุ่นในเครื่องจักรไม่ตรงตามความเป็นจริง_ซึ่งถ้าระบบการตรวจสอบฝุ่น ถ้าไม่ตรงตามความเป็นจริง อาจทำให้เครื่องจักรตัดสินผิดพลาดในการทำให้กระจกวัตถุดิบที่ได้ตามข้อกำหนด แต่เครื่องจักรกลับตัดสินงานผิดพลาดและทำให้เป็นของเสียโดยเกินความเป็นจริง (Over-reject defect)

โดยในการวิเคราะห์ใช้วิธี Regression analysis แบ่งการวัดการตรวจสอบ เป็น 2 ด้านของกระจก ด้านบนและด้านล่างของกระจก ตามกล้อง 2 กล้องที่ใช้ในการตรวจสอบของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ

<u>ด้านบนของกระจกวัตถุดิบ</u>

ทำการตรวจสอบระบบตรวจสอบฝุ่นของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบด้วยกล้องตรวจสอบฝุ่นด้านบน ด้วยตัวอย่างมาตรฐานที่ทำขึ้นและวัดด้วยเครื่องจักรมาตรฐานที่ได้รับการตรวจสอบและวัดผลมาแล้ว ซึ่งผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 3.1

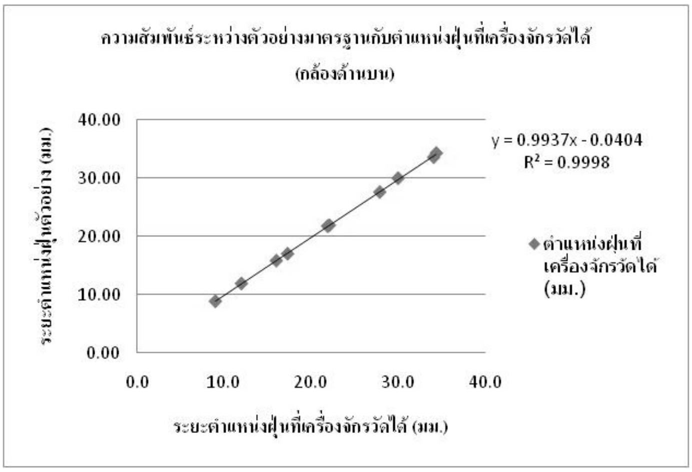
ตารางที่ 3.1 ค่าที่กล้องด้านบนของเครื่องจักรวัดได้เทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน

ตัวอย่างที่	ขนาดฝุ่น	ตำแหน่งฝุ่น (ตัวอย่างมาตรฐาน) (มม.)	ตำแหน่งฝุ่นที่เครื่องจักรวัดได้ (มม.)										$\overline{X}$	R	ค่าแตกต่าง	ค่าแตกต่าง / ตำแหน่งฝุ่นมาตรฐาน
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	3 μm	9.0	9.3	9.2	8.5	9.2	9.0	9.1	8.8	9.0	9.0	8.7	8.98	0.80	-0.02	0.22%
2	3 μm	12.0	12.2	12.0	12.3	12.3	12.4	12.5	11.9	11.9	12.0	11.3	12.08	1.20	0.08	-0.67%
3	4 μm	16.0	15.9	16.0	15.7	15.8	16.0	16.3	16.0	15.8	15.5	16.1	15.91	0.80	-0.09	0.56%
4	4 μm	17.3	17.5	17.0	17.5	17.0	17.5	17.2	17.5	17.3	17.3	17.5	17.33	0.50	0.03	-0.17%
5	5 μm	22.1	22.2	21.5	21.7	22.3	21.5	22.0	22.0	22.0	21.8	22.2	21.92	0.80	-0.18	0.81%
6	5 μm	21.9	21.9	21.9	21.8	21.1	21.8	21.5	21.8	21.9	22.0	22.1	21.78	1.00	-0.12	0.55%
7	6 μm	27.9	27.8	27.8	28.0	27.9	27.5	27.9	27.9	27.9	27.8	27.8	27.83	0.50	-0.07	0.25%
8	6 μm	30.0	29.6	30.2	29.9	30.6	29.7	30.0	30.3	29.5	30.1	30.2	30.01	1.10	0.01	-0.03%
9	7 μm	34.1	34.0	34.0	34.3	34.3	34.7	34.0	33.6	33.9	34.0	33.5	34.03	1.20	-0.07	0.21%
10	7 μm	34.4	34.0	34.6	34.5	34.5	34.2	34.5	34.1	34.1	34.4	34.5	34.34	0.60	-0.06	0.17%
**ตำแหน่งการวัดคือความยาวรัศมีจากมุมกระจก														$\overline{R}$ = 0.85		เฉลี่ย = 0.19%

ทำการเปรียบเทียบค่าร้อยละ ของค่าความแตกต่างระหว่างระยะตำแหน่งฝุ่นที่เครื่องจักรวัดได้กับระยะตำแหน่งฝุ่นที่เป็นมาตรฐาน เทียบกับตำแหน่งฝุ่นที่เป็นมาตรฐาน เพื่อควบคุมความแตกต่างที่ยอมรับได้ในรัศมีที่ตำแหน่งฝุ่นเป็นจุดศูนย์กลาง โดยควบคุมไม่ให้มีค่าเกิน 3.0% (ได้จากคำนวณระยะตำแหน่งฝุ่นไกลสุด และทำให้รัศมีที่ตำแหน่งฝุ่นเป็นจุดศูนย์กลาง ไม่เกิน

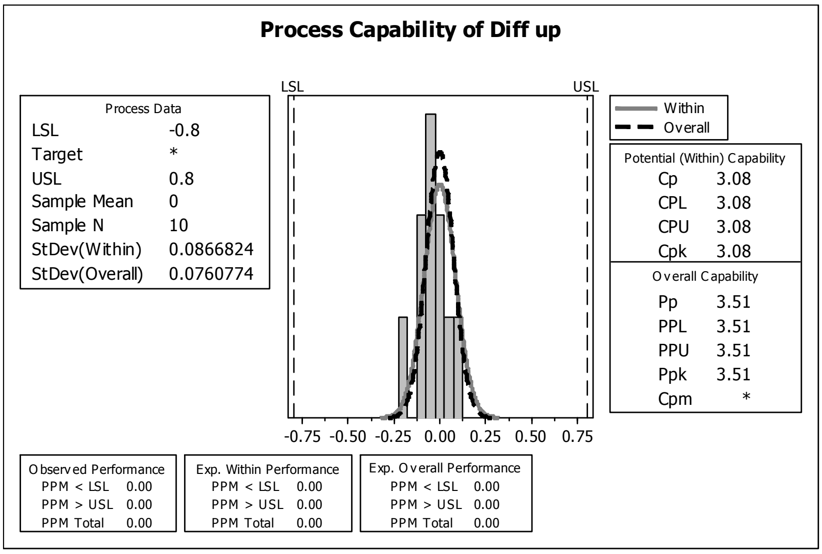
1 มิลลิเมตร) ซึ่งผลจากการคำนวณพบว่า ทุกตัวอย่างมีค่า ไม่เกิน 3.0% ซึ่งเป็นผลที่ยอมรับได้ในความแม่นยำของเครื่องจักร

แสดงกราฟค่าความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab และ Microsoft Excel จะได้ดังภาพที่ 3.5 และ 3.6



ภาพที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างมาตรฐานกับตำแหน่งที่เครื่องจักรวัดได้ (กล้องด้านบน)

นำผลของค่าความแตกต่างไปทดสอบความสามารถของกระบวนการมีข้อกำหนดควบคุมของเครื่องจักร ต้องมีค่าที่วัดได้ไม่เกิน 0 ± 0.8 mm ซึ่งกล้องตรวจสอบกระจกวัตถุดิบด้านล่างได้ผล ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.8 ผลของการทดสอบความสามารถของกระบวนการของกล้องตรวจสอบกระจกวัตถุดิบด้านบน

ผลที่ได้มี Cpk เท่ากับ 3.08 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.33 ซึ่งผลของความสามารถของกระบวนการ มีความแปรปรวนต่ำและค่าความแตกต่างระหว่างตำแหน่งฝุ่นที่กำหนด กับค่าตำแหน่งที่เครื่องจักรวัดได้ มีค่าอยู่ในระยะที่ข้อกำหนดยอมรับได้

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ Regression ของความสามารถของกล้องด้านบน

Regression Analysis: Machine versus standard

```
The regression equation is
Machine = - 0.072 + 0.996 standard


Predictor       Coef    SE Coef       T      P
Constant     -0.0718     0.1024   -0.70  0.503
standard    0.995672   0.004261  233.68  0.000


S = 0.114637   R-Sq = 100.0%   R-Sq(adj) = 100.0%


Analysis of Variance

Source          DF      SS      MS         F      P
Regression       1  717.63  717.63  54607.45  0.000
Residual Error   8    0.11    0.01
Total            9  717.73
```

ซึ่งค่าที่ได้ R-square = 99.98% ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าความสัมพันธ์มาตรฐานที่กำหนดไว้คือ >95% หมายถึงค่าตัวแปรทั้งสองคือระยะตำแหน่งฝุ่นมาตรฐานและระยะตำแหน่งฝุ่นที่เครื่องจักรวัดได้ มีความสัมพันธ์กันและมีค่าไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในกระบวนการตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นกล้องตรวจสอบตำแหน่งฝุ่นที่ด้านบนของกระจกวัตถุดิบจึงยอมรับในความถูกต้องของการวัดตามข้อกำหนด

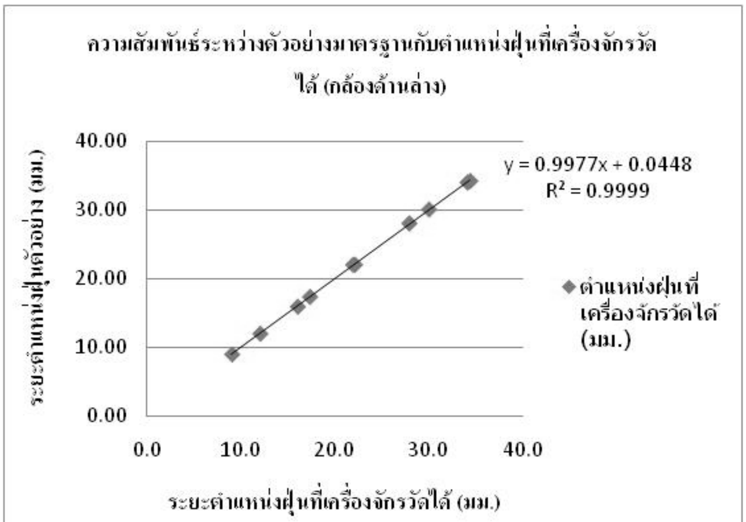
<u>ด้านล่างของกระจกวัตถุดิบ</u>

ทำการตรวจสอบระบบตรวจสอบฝุ่นของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบด้วยกล้องตรวจสอบฝุ่นด้านล่าง ด้วยตัวอย่างมาตรฐานที่ทำขึ้นและวัดด้วยเครื่องจักรมาตรฐานที่ได้รับการตรวจสอบและวัดผลมาแล้ว ซึ่งผลการทดสอบได้ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 ค่าที่กล้องด้านล่างของเครื่องจักรวัดได้เทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน

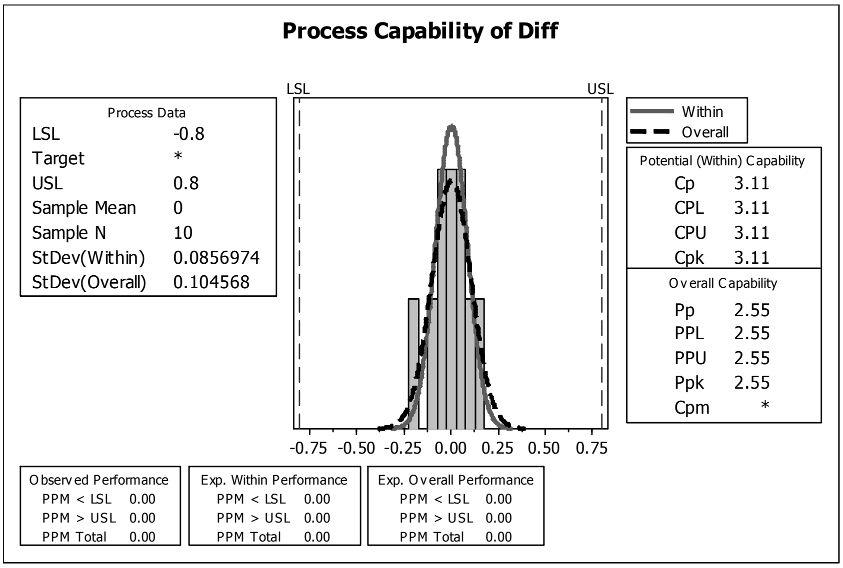
ตัวอย่างที่	ขนาดฝุ่น	ตำแหน่งฝุ่น (ตัวอย่างมาตรฐาน) (มม.)	ตำแหน่งฝุ่นที่เครื่องจักรวัดได้ (มม.)										$\overline{X}$	R	ค่าแตกต่าง	ค่าแตกต่าง / ตำแหน่งฝุ่นมาตรฐาน
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	3 μm	9.0	9.2	8.9	9.0	8.8	9.1	9.1	9.0	8.9	9.0	8.8	8.98	0.40	-0.02	0.22%
2	3 μm	12.0	12.0	12.0	12.1	11.8	12.3	11.5	12.0	12.2	12.0	12.0	11.99	0.80	-0.01	0.08%
3	4 μm	16.0	16.0	16.3	15.8	15.8	15.9	15.6	16.1	16.2	15.5	16.1	15.93	0.80	-0.07	0.44%
4	4 μm	17.3	17.5	17.0	17.2	17.0	17.7	17.7	17.3	17.3	17.3	17.6	17.36	0.70	0.06	0.35%
5	5 μm	22.1	22.0	22.0	22.0	22.4	22.4	21.9	21.8	22.1	22.0	21.7	22.03	0.60	-0.07	0.32%
6	5 μm	21.9	21.9	22.5	22.3	21.3	21.5	21.5	22.3	22.5	21.9	22.5	22.02	1.20	0.12	0.55%
7	6 μm	27.9	27.8	27.8	28.3	28.0	28.0	28.5	27.8	27.9	28.3	28.0	28.04	0.70	0.14	0.50%
8	6 μm	30.0	30.0	30.0	30.5	30.3	29.9	29.8	29.7	30.0	30.1	30.4	30.07	0.80	0.07	0.23%
9	7 μm	34.1	33.5	33.3	34.3	34.8	33.5	33.5	34.1	34.1	34.7	34.2	34.00	1.50	-0.10	0.29%
10	7 μm	34.4	34.4	34.4	34.1	34.0	34.0	34.7	34.5	34.0	34.1	33.9	34.21	0.70	-0.19	0.55%
**ตำแหน่งการวัดคือความยาวรัศมีจากมุมกระจก														$\overline{R}$ = 0.82		เฉลี่ย = 0.35%

แสดงกราฟค่าความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงและวิเคราะห์ผล ได้ดังภาพที่ 3.7 และ 3.8



ภาพที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวอย่างมาตรฐานกับตำแหน่งที่เครื่องจักรวัดได้ (กล้องด้านล่าง)

นำผลของค่าความแตกต่างไปทดสอบความสามารถของกระบวนการมีข้อกำหนดควบคุมของเครื่องจักร ต้องมีค่าที่วัดได้ไม่เกิน 0 ± 0.8 mm ซึ่งกล้องตรวจสอบกระจกวัตถุดิบด้านล่างได้ผล ดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.10 ผลของการทดสอบความสามารถของกระบวนการของกล้องตรวจสอบกระจกวัตถุดิบด้านล่าง

ผลที่ได้มี Cpk เท่ากับ 3.11 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.33 ซึ่งผลของความสามารถของกระบวนการ มีความแปรปรวนต่ำและค่าความแตกต่างระหว่างตำแหน่งฝุ่นที่กำหนด กับค่าตำแหน่งที่เครื่องจักรวัดได้ มีค่าอยู่ในระยะที่ข้อกำหนดยอมรับได้

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์ Regression ของความสามารถของกล้องด้านล่าง

Regression Analysis: Machine versus standard

```
The regression equation is
Machine = 0.0448 + 0.998 standard


Predictor       Coef    SE Coef       T      P
Constant     0.04478    0.09709    0.46  0.657
standard    0.997696   0.004041  246.89  0.000


S = 0.108723   R-Sq = 100.0%   R-Sq(adj) = 100.0%


Analysis of Variance

Source          DF      SS      MS         F      P
Regression       1  720.55  720.55  60956.22  0.000
Residual Error   8    0.09    0.01
Total            9  720.64
```

ซึ่งค่าที่ได้ R-square = 99.99% ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าความสัมพันธ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ >95% หมายถึงค่าตัวแปรทั้งสองคือระยะตำแหน่งฝุ่นมาตรฐานและระยะตำแหน่งฝุ่นที่

เครื่องจักรวัดได้ มีความสัมพันธ์กันและมีค่าไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในกระบวนการตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นกล้องตรวจสอบตำแหน่งฝุ่นที่ด้านล่างของกระจกวัตถุดิบจึงยอมรับในความถูกต้องของการวัดตามข้อกำหนด

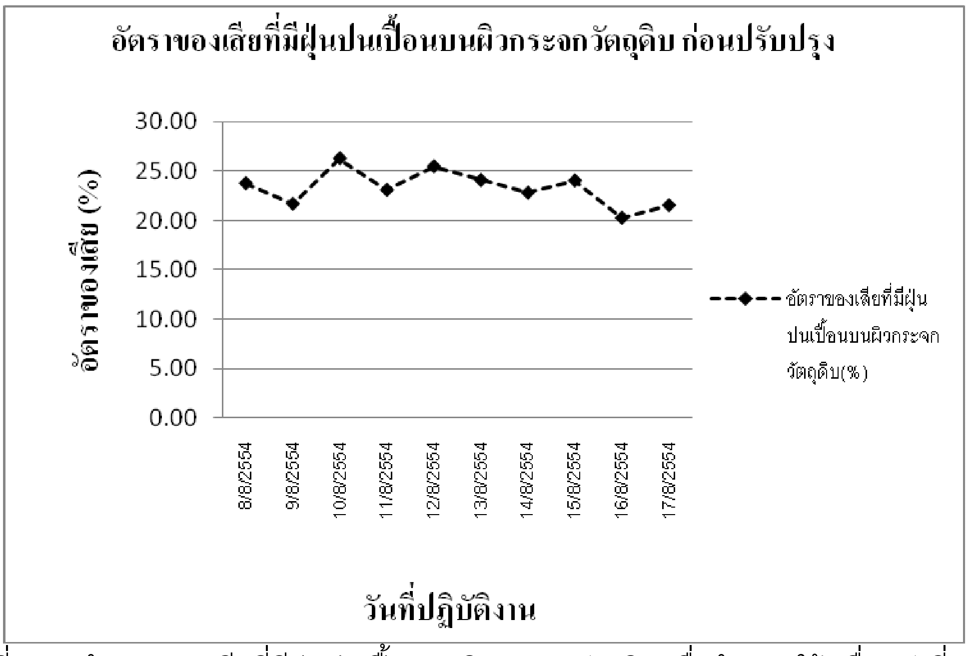
จากการทดสอบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องแล้ว จากผลสรุปเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบทั้งกล้องด้านบนและกล้องด้านล่าง สามารถตรวจสอบตำแหน่งของฝุ่นได้ตามตัวอย่างมาตรฐานได้

3.2 การเก็บข้อมูลการผลิตก่อนการทดลองของเครื่องจักรทั้ง 2 ชนิด

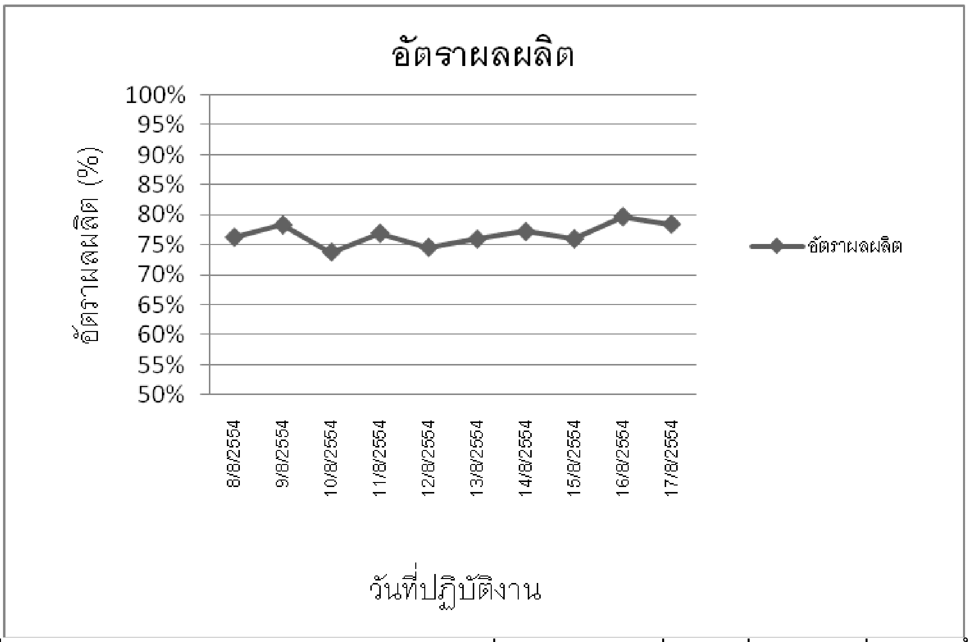
เพื่อต้องการทำการเปรียบเทียบข้อมูลผลการทดลองก่อนและหลังการปรับปรุง โดยกำหนดการใช้เครื่องจักร 2 ชนิด ชนิดละ 1 เครื่องเท่านั้น จากที่กำหนด เครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5 เก็บข้อมูลในการปฏิบัติงานจริงใน 10 วันของเดือนสิงหาคม 2554 ได้ผลคือ

ค่าเฉลี่ยของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ = 22.70% ต่อวัน

ค่าเฉลี่ยของอัตราผลผลิตของกระบวนการผลิต = 77.30%



ภาพที่ 3.11 จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ เมื่อกำหนดใช้เครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5 ก่อนการทดลอง



ภาพที่ 3.12 อัตราผลผลิตของกระบวนการผลิต เมื่อกำหนดใช้เครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5 ก่อนการทดลอง

3.3 การวัดผลของฝุ่นภายในเครื่องจักร

ในโรงงานและที่ตั้งของเครื่องตัด และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ทำการวิจัยนั้น อยู่ภายในห้องสะอาด (Clean room) ในระดับชั้น Class 100 ซึ่งการจำแนกระดับชั้นความสะอาดตาม ISO 14644-1:1999 นั้น ใช้เป็นมาตรฐานสากลในการจำแนกระดับชั้นของห้องสะอาดทั่วโลก เพื่อขจัดปัญหาความแตกต่างของมาตรฐานห้องสะอาดของแต่ละประเทศ โดยระดับชั้นความสะอาดของห้อง (Cleanliness class) ตามมาตรฐานนี้ แบ่งเป็น 9 ระดับ ดังตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.9 ในการแบ่งระดับของความสะอาดนี้อาศัยพื้นฐานจากจำนวนอนุภาคกับค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของจำนวนอนุภาคต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศ (ทวี เวชพฤติ และกิตติพงศ์ เตมียะประดิษฐ์, 2531)

ตารางที่ 3.5 การจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาดตาม ISO 14644-1:1999

Class	maximum particles/m³						FED STD 209E equivalent
	≥0.1 µm	≥0.2 µm	≥0.3 µm	≥0.5 µm	≥1 µm	≥5 µm	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			
ISO 3	1,000	237	102	35	8		Class 1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83		Class 10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Class 100
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 1000
ISO 7				352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000	room air

ในเครื่องจักรทั้ง 2 ชนิดนั้น ต้องมีการทำการวัดผลของจำนวนฝุ่นภายในเครื่องจักร เพื่อวัดว่าจำนวนของฝุ่นภายในเครื่องนั้นอยู่ในข้อกำหนดที่ยอมรับได้และไม่ได้เป็นปัญหาที่ทำให้เกิดปัญหาของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบ ซึ่งจะทำการวัดผลของจำนวนฝุ่นจากเครื่อง Particle counter measurement ของ บริษัท Lighthouse ที่ได้ทำการสอบเทียบในเครื่องวัดผลต้นแบบและยืนยันผลมาแล้ว

ภาพที่ 3.13 เครื่อง Particle counter measurement ที่ใช้วัดจำนวนฝุ่นในอากาศภายในเครื่องจักร ทั้ง 2 ชนิด

ซึ่งผลที่ได้จากการวัดผลของจำนวนฝุ่นในส่วนประกอบสภาพแวดล้อมในเครื่องจักร ในเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2554 ได้ผล ตารางที่ 3.4 – 3.9

ผลฝุ่นจากเครื่องตัดที่ 3

ตารางที่ 3.6 ผลของจำนวนฝุ่นที่วัดได้ จากน้ำDI ภายในเครื่องตัดที่ 3

Dust particle/m3	จำนวน Particle
≥0.1 μm.	80
≥0.2 μm.	0
≥0.3 μm.	0
≥0.5 μm.	5
≥1 μm.	0
≥5 μm.	0

ตารางที่ 3.7 ผลของจำนวนฝุ่นที่วัดได้ จากอากาศทั่วไป ภายในเครื่องตัดที่ 3

Dust particle/m3	จำนวน Particle
≥0.1 μm.	79
≥0.2 μm.	10
≥0.3 μm.	0
≥0.5 μm.	8
≥1 μm.	0
≥5 μm.	0

ตารางที่ 3.8 ผลของจำนวนฝุ่นที่วัดได้ จากอากาศที่ปลายท่อลมทำความสะอาด ภายในเครื่องตัดที่ 3

Dust particle/m3	จำนวน Particle
≥0.1 μm.	51
≥0.2 μm.	0
≥0.3 μm.	0
≥0.5 μm.	0
≥1 μm.	0
≥5 μm.	0

ผลฝุ่นจากเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5

ตารางที่ 3.9 ผลของจำนวนฝุ่นที่วัดได้ จากอากาศทั่วไป ในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5

Dust particle/m3	จำนวน Particle
≥0.1 µm.	85
≥0.2 µm.	15
≥0.3 µm.	0
≥0.5 µm.	7
≥1 µm.	0
≥5 µm.	0

ตารางที่ 3.10 ผลของจำนวนฝุ่นที่วัดได้ จากอากาศที่ปลายท่อลมทำความสะอาดด้านบน ในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5

Dust particle/m3	จำนวน Particle
≥0.1 µm.	30
≥0.2 µm.	10
≥0.3 µm.	0
≥0.5 µm.	0
≥1 µm.	0
≥5 µm.	0

ตารางที่ 3.11 ผลของจำนวนฝุ่นที่วัดได้ จากอากาศที่ปลายท่อลมทำความสะอาดด้านล่าง ในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5

Dust particle/m3	จำนวน Particle
≥0.1 µm.	55
≥0.2 µm.	0
≥0.3 µm.	0
≥0.5 µm.	0
≥1 µm.	0
≥5 µm.	0

ซึ่งผลจำนวนฝุ่นที่วัดได้นั้น จากตารางที่ 3.4 –3.8 พบว่า ฝุ่นในเครื่องอยู่ในสภาวะที่ปกติ ไม่ได้มีจำนวนมากเกินไปในเครื่องจักรจนอยู่ในสภาวะผิดปกติจนทำให้เกิดปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบได้

3.4 สรุปผลขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการ

ในขอบเขตงานวิจัย ได้ระบุ กระจกวัตถุดิบเป็นวัตถุดิบต้นแบบที่ต้องการดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากของเสียที่เกิดจากฝุ่น ในกระจกวัตถุดิบขนาด 35x24 มิลลิเมตร แล้วเลือกเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการผลิต โดยเลือกเครื่องตัดเครื่องที่ 3 และเลือกเครื่องแยกชิ้น และตรวจสอบกระจกวัตถุดิบเครื่องที่ 5 ซึ่งทำการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของกระบวนการในเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่อง เพื่อดำเนินการขั้นต่อไป

บทที่ 4

ขั้นตอนการตรวจสอบและการออกแบบการทดลอง

การตรวจสอบและวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา เป็นดำเนินการตามวงจรเดมมิ่ง ในขั้นตอนของ C – Check phase โดยนำข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา ปัจจัยต่างๆ มาทำการทดลองเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล โดยการออกแบบการทดลองและเก็บข้อมูล โดยใช้หลักการทางสถิติต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยขั้นตอนที่สำคัญต่างๆ การตั้งสมมติฐาน ทดสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภูมิก้างปลา เพื่อหาปัจจัยต่างๆที่มีความน่าจะเป็นที่ทำให้เกิดปัญหาการเกิดฝุ่นปนเปื้อน และทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อทำการวิเคราะห์ หาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนที่แท้จริง และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งานที่แท้จริง

4.1 **ขั้นตอนการตรวจสอบ** (Check phase)

วิเคราะห์ด้วยแผนภูมิก้างปลา จากภาพที่ 1.7 แผนผังก้างปลาแสดงถึงสาเหตุที่เป็นของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน เพื่อหาปัจจัยที่มีความน่าจะเป็นที่ก่อให้เกิดปัญหา ของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน และจำแนกปัจจัยต่างๆว่า ปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยที่ยังไม่สามารถควบคุมได้ (Noise) และปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยควบคุมได้ (Controllable) แล้วถึงนำปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ มาเป็นปัจจัยในการทดลอง โดยปัจจัยในระบบการตรวจสอบฝุ่นในเครื่องจักรไม่ตรงตามความเป็นจริงได้ทำการตรวจสอบไปแล้ว โดยผลที่ได้หลังจากการทดสอบ พบว่า ระบบตรวจสอบในเครื่องจักรตัดสินงานได้อย่างถูกต้องตามข้อกำหนดโดยไม่มีข้อผิดปกติใดๆจึงสามารถตัดปัจจัยในการทดลองข้อนี้ได้

แต่ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอย่างลงลึกในสาเหตุปัจจัย ต้องมีการศึกษาการทำงานที่มีรายละเอียดในการทำงานของเครื่องจักร ในแต่ละการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเครื่องจักรและการเคลื่อนที่ของกระจกวัตถุดิบเอง เพื่อสามารถวิเคราะห์ และระดมสมองภายในกลุ่ม ในการหาปัจจัยที่มีผลกระทบที่ทำให้เกิดปัญหาที่มีฝุ่นปนเปื้อน โดยแยกแต่ละเครื่องจักร และมองกระบวนการทำงานของเครื่องจักรที่มีจังหวะที่ เคลื่อนที่ ทำงานที่เป็นผลที่สัมผัสกับกระจกวัตถุดิบโดยตรง มีส่วนเกี่ยวข้องที่ทำให้กระจกวัตถุดิบเปลี่ยนแปลงไปโดยตรง และสรุปกระบวนการทำงานดังกล่าว ได้ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2

เครื่องตัด

เครื่องจักรเคลื่อนแท่นจับแผ่นกระจกวัตถุดิบที่ติดแผ่นชีทกาวเข้าตำแหน่งตัด

มีดตัดที่ 1 ตัดขอบนำร่องการตัด

มีดตัดที่ 2 ตัดลึกตลอดความหนาของกระจกวัตถุดิบ เพื่อแบ่งชิ้นของกระจกวัตถุดิบ

ท่อน้ำDI ฉีดน้ำหล่อเย็นในขณะตัด เพื่อลดความร้อนและทำความสะอาด

เครื่องจักรส่งแผ่นกระจกวัตถุดิบไปแท่นหมุนเพื่อหมุนขณะฉีดน้ำจากท่อน้ำเมกาโซนิค

ท่อน้ำเมกาโซนิค (Mcga-sonic) ฉีดน้ำในลักษณะกวาดฝุ่นออกไป เพื่อทำความสะอาด

หลังจากท่อน้ำเมกาโซนิค หยุดฉีด แท่นหมุน หมุนเพื่อให้แผ่นกระจกวัตถุดิบแห้ง และกำจัดฝุ่นออกไป

นำ แผ่นกระจกวัตถุดิบ เข้าเครื่องแผ่รังสียูวี (UV) เพื่อลดความเหนียวของกาวที่แผ่นชีทกาว
เพื่อให้หยิบกระจกวัตถุดิบได้

ภาพที่ 4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องตัด และการเคลื่อนที่ของแต่ละชิ้นส่วนของเครื่องตัด

เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ

เครื่องจักรดึงแผ่นชีทกาว ขึงให้ตึง เพื่อให้ง่ายเมื่อเข็มแทงแล้ว แผ่นชีทกาวขาดหลุดจากกระจกวัตถุดิบ

แท่นเข็มแทงเลื่อนมาอยู่ในตำแหน่งที่กำหนด เพื่อดันแผ่นชีทกาวให้ยกขึ้นก่อนที่แผ่นชีทกาวจะขาด

แท่นเข็มแทง แทงทะลุแผ่นชีทกาว และดันกระจกวัตถุดิบให้สูงขึ้นเพื่อหลุดออกจากแผ่นชีทกาว

ตัวจับชิ้นงานเคลื่อนที่ลงมาจับกระจกวัตถุดิบ ในจังหวะที่แท่นเข็มแทงยกกระจกวัตถุดิบขึ้น กดติดกัน

ตัวจับชิ้นงาน ยกตัวขึ้น เพื่อผ่อนแรงกดจากแท่นเข็มแทง

แท่นเข็มแทง เคลื่อนที่ลดลงด้วยความเร็วที่ไม่ทำให้ฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจาย

ตัวจับชิ้นงานเคลื่อนที่ลงมา อยู่ในตำแหน่งปกติเพื่อสามารถ เคลื่อนที่ได้ในแกน X, Y

กระจกวัตถุดิบ เคลื่อนที่ผ่านกล้องทดสอบ เพื่อทดสอบหาตำแหน่งที่มีฝุ่น
ทั้งด้านบนและพลิกกลับด้านล่างของกระจกวัตถุดิบเพื่อทดสอบหาฝุ่นอีกครั้ง

ตัวจับชิ้นงานนำกระจกวัตถุดิบเข้าไปเก็บใน ที่บรรจุวัตถุดิบ ก่อนนำไปส่งแผนกถัดไป

ภาพที่ 4.2 แผนผังการทำงานของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ และการเคลื่อนที่ของแต่ละชิ้นส่วนของเครื่องจักร

จากแผนผังเหตุและผล (Cause and effect diagram) และการวิเคราะห์การทำงานในกระบวนการของเครื่องจักร และคัดเลือกกระบวนการทำงานโดยตรงต่อกระจกวัตถุดิบทั้งหมด ทำการตั้งสมมุติฐานหาปัจจัยที่มีความน่าจะเป็นของปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นปนเปื้อนได้ และกำหนดปัจจัยเหล่านั้น เพื่อเป็นตัวทดลองในการออกแบบการทดลอง จึงสามารถระบุปัจจัย 7 ปัจจัย ในปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร และปัจจัยที่เกิดจากวิธีการทำงาน

ในส่วนของการตรวจสอบ ระบบการตรวจสอบฝุ่นในเครื่องจักรไม่ตรงตามตำแหน่งจริงของฝุ่น ได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำ ในหัวข้อ 3.1.1 การวัดความสามารถของกระบวนการตรวจสอบในเครื่องจักร และสามารถยืนยันความถูกต้องของการวัดในเครื่องจักรได้ ดังนั้นปัจจัยนี้จึงไม่นำมาทดสอบในส่วนการออกแบบการทดลองในงานวิจัย

นำปัจจัยที่เหลือ มาทดสอบโดยทั้งหมดเป็นปัจจัยที่มีเครื่องจักรทำงานโดยตรงกับกระจกวัตถุดิบ ซึ่งจากสาเหตุที่ได้วิเคราะห์จากแผนภูมิก้างปลามีเครื่องจักรที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการ 2 เครื่องจักรหลัก และ 1 เครื่องจักรย่อย โดย 5 ปัจจัย มีการใช้งานโดยตรงในเครื่องตัดกระจกวัตถุดิบและเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ และต้องการนำทั้ง 5 ปัจจัย มาพิสูจน์ความสัมพันธ์ของการใช้งานที่ทำให้เกิดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบ ดังนั้น เครื่องจักรย่อย 1 เครื่องจักร 1 กระบวนการ คือ เครื่องฉายแสงยูวี นั้น ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหัวข้อการฉายแสงยูวี เพื่อลดความเหนียวของกาวที่แผ่นชีทกาว เพื่อให้ตัวจับชิ้นงานในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบวัตถุดิบ จับชิ้นงานได้ง่ายขึ้น โดยนำปัจจัยนี้ มาทดสอบสมมุติฐาน แบบ Two proportions เพื่อ พิสูจน์ความแตกต่างของผลการทดลองในการใช้งานของค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกัน เพราะสามารถพิสูจน์ได้ทันที ไม่มีปัจจัยอื่นๆมาเกี่ยวข้อง

4.2 การทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของผลของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องฉายแสงยูวีใช้ในการผลิตทั้งสองค่าพารามิเตอร์ แต่ใช้ในประเภทขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งในกระจกวัตถุดิบขนาด35x24 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการฉายแสงยูวี 150 วินาที ทดสอบเวลาที่แตกต่างอีกค่าหนึ่ง

สมมติฐานในการทดสอบ

$H_0 : P_{150} = P_{210}$: ไม่มีความแตกต่างของเวลาในการฉายแสงยูวี ในแต่ละค่าของเวลาต่างๆ

$H_1 : P_{150} \neq P_{210}$: มีความแตกต่างของเวลาในการฉายแสงยูวี ในแต่ละค่าของเวลาต่างๆ

โดยค่าจากการทดลองและเก็บข้อมูลของการผลิตกระจกวัตถุดิบใน 1 วันประมาณ 10,000 ชิ้น และแบ่งเป็น 2 การทดลอง ครั้งละ 5,000 ชิ้น ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สัดส่วนของเสียจากการปรับเวลาการฉายแสงยูวีที่ 150 วินาที และ 210 วินาที

เวลาในการฉายรังสียูวี	จำนวนตรวจสอบ (ชิ้น)	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	อัตราของเสีย (%)
150 วินาที	5000	993	19.86
210 วินาที	5000	925	18.50

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรม MINITAB 16 ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของการฉายแสงยูวีที่ 150 วินาที และ 210 วินาที

Test and CI for Two Proportions

```
Sample    X     N  Sample p
1       993  5000  0.198600
2       925  5000  0.185000


Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference:  0.0136
95% CI for difference:  (-0.00183111, 0.0290311)
Test for difference = 0 (vs not = 0):  Z = 1.73  P-Value = 0.084

Fisher's exact test: P-Value = 0.089
```

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 16 แบบ Two proportions ในส่วน ของค่า P-Value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.089 ซึ่ง มีค่ามากกว่าเลขนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ไม่มีความแตกต่างของเวลาในการฉายแสงยูวี ในแต่ละค่าของเวลาทั้งสอง ในระดับความเชื่อมั่น 95% ยอมรับสมมติฐาน H_0 ดังนั้นจึงไม่นำปัจจัยนี้มาใช้ในการทดลอง

ส่วนปัจจัย 5 ปัจจัยของเครื่องตัดและเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบในงานวิจัยนี้ กลุ่มผู้ปฏิบัติงานต้องการทดสอบปัจจัยที่มีการทำงานโดยตรงต่อกระจกวัตถุดิบ ทุกปัจจัยทั้งหมด เพื่อเป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างต้นแบบในการพัฒนาปรับปรุงเครื่องจักรรุ่นนี้ในเครื่องอื่นๆด้วยเช่นกัน และนำผลที่ได้จากเครื่องจักรทั้งสองชนิดเป็นมาตรฐาน ที่กำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบจริงในกระบวนการทำงานของเครื่องจักร และปัจจัยใดๆที่สามารถ กำหนดให้เป็นปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบ และด้วยในกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน มีสมาชิกในกลุ่มที่มีจำนวนที่พอเพียงในการปฏิบัติในลักษณะนี้ ดังนั้นการทดลองนี้ จึงเป็นการสร้างมาตรฐานในการทดลองที่จะประยุกต์กับเครื่องจักรเครื่องอื่นๆต่อไป

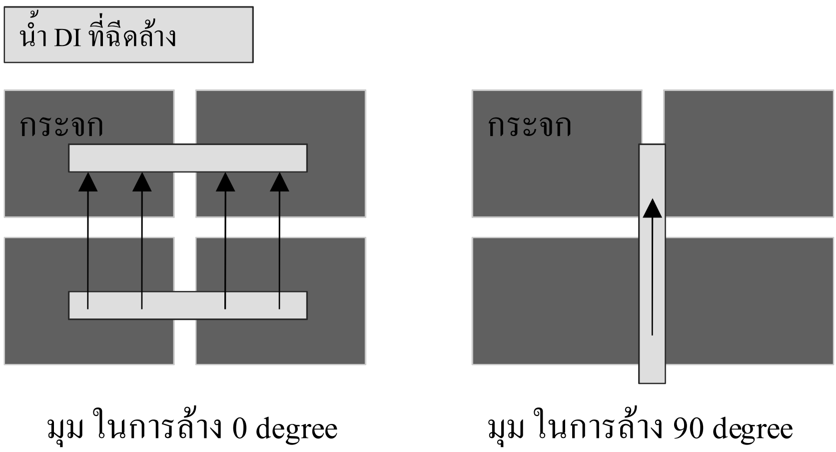
ซึ่งสามารถควบคุมได้ในวิธีออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งประกอบไปด้วย

<u>ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร</u>

1. ระบบการหมุนของใบเลื่อยตัดของเครื่องตัดเมื่อตัดกระจกวัตถุดิบ โดยการทิศทางโดยการหมุนใบเลื่อย และหมุนใบเลื่อยลง ดูผลของฝุ่นปนเปื้อนที่เกิดขึ้น
2. ระบบทำความสะอาดในเครื่องจักรไม่สามารถกำจัดฝุ่นได้ โดยแยกตามเครื่องจักร ในระบบทีความสะอาดนี้ประกอบไปด้วย ระบบย่อยต่างๆดังนี้

   <u>เครื่องตัด</u>

   - ความสูงของท่อฉีดน้ำ DI วัดจากปลายท่อกับร่องตัดกระจกวัตถุดิบ
   - รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI โดยเฉพาะเพื่อล้างฝุ่นหลังจากการตัด เพราะตั้งสมมุติฐานว่าการล้างในขณะที่ ยังไม่ได้ตัดมีดตัดที่ 2 ยิ่งทำให้การแตกหักของเศษกระจกวัตถุดิบมากขึ้น แบ่งออกเป็น 2 วิธีล้าง คือ
     a. ฉีดน้ำล้างหลังจากตัดมีดตัดที่ 1 และล้างอีกครั้งหลังจากตัดมีดตัดที่ 2
     b. ฉีดน้ำล้างหลังจากตัดมีดตัดที่ 1 และมีดตัดที่ 2 เสร็จแล้ว จึงฉีดน้ำล้างทั้งหมด
   - ลักษณะของท่อฉีดน้ำ DI โดยเฉพาะเพื่อล้างฝุ่นหลังจากการตัด ในลักษณะของท่อฉีด โดยมุมฉีดล้างที่ต่างกัน



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการฉีดน้ำ DI เพื่อล้างฝุ่นหลังการตัด ทั้ง 2 ลักษณะ

   - ระบบการฉีดน้ำแบบเพิ่มแรงดันลมเข้าไปเพื่อเพิ่มความแรงของน้ำ โดยเรียกว่า เครื่องเมกาโซนิค (Mega-sonic) โดยมีปัจจัย คือ ความสูง

ระหว่างท่อเมกาโซนิคกับพื้นผิวชิ้นกระจกวัตถุดิบ และแรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ

<u>เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ</u>

- อัตราการเป่าลมของท่อลมทำความสะอาดเพื่อไล่ฝุ่นบนผิวกระจกวัตถุดิบ ทั้งด้านบนและด้านล่าง โดยในระบบนี้ กระจกวัตถุดิบต้องมีการผ่านท่อลม Ionizer เพื่อลดกระแสไฟฟ้าสถิตที่ทำให้ฝุ่นติดอยู่บนผิวกระจกวัตถุดิบ แล้วจึงไล่ด้วยลมเพื่อไล่ฝุ่นอีกครั้ง โดยมีปัจจัย คือ อัตราการเป่าของลม และความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบ โดยท่อลมต้องมีการใช้เครื่องวัดฝุ่นวัดค่าของฝุ่นที่ผ่านกับท่อลมเพื่อยืนยันความสะอาดของลมที่เป่าออกมาด้วย

3. ความเร็วของการทำงานไม่เหมาะสมในการใช้งาน แยกตามเครื่องจักรได้ ดังนี้

<u>เครื่องตัด</u>

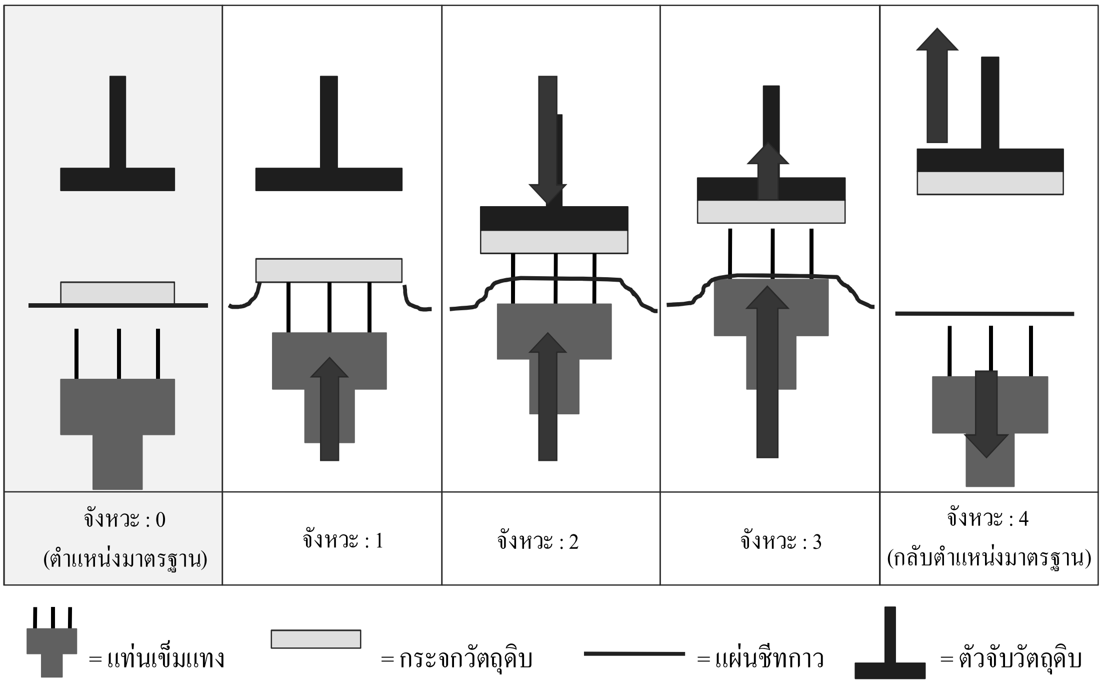
- ความเร็วในการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI(น้ำที่ไม่มีประจุไฟฟ้า)หลังการตัด

<u>เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ</u>

- ความเร็วในการดึงแผ่นชีทกาวให้ตึง ก่อนที่แท่นเข็มแทงจะแทงขึ้น
- ความเร็วในการที่แท่นเข็มแทงดันแผ่นชีทกาวให้ยกขึ้นก่อนที่แผ่นชีทกาวจะขาด
- ความเร็วในการยกขึ้นของแท่นเข็มแทง เพื่อดันกระจกวัตถุดิบให้สูงขึ้นและหลุดออกจากแผ่นชีทกาว หลังแผ่นชีทกาวขาด
- ความเร็วในการตัวจับชิ้นงานลงมาจับกระจกวัตถุดิบ โดยใช้จังหวะให้เหมาะสมกับจังหวะที่แท่นเข็มแทงยกกระจกวัตถุดิบขึ้น

4. ระยะในการหยิบชิ้นงานขึ้นโดยเครื่องจักรในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบไม่เหมาะสม โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

- ระยะเคลื่อนที่ขึ้นของแท่นเข็มแทง ดันกระจกวัตถุดิบขึ้นมา
- ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงาน เคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมา
- ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมา



ภาพที่ 4.4 จังหวะของการหยิบกระจกวัตถุดิบ ในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ

5. การวางตำแหน่งของชิ้นส่วน หรือการใช้ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องจักรให้เหมาะสม กับสภาวะในการใช้งาน และให้ผลในการลดปัญหาของฝุ่นปนเปื้อนได้ เช่น ความสูงของท่อลมทำความสะอาด ความสูงของท่อฉีดน้ำ DI

4.3 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง (Sample size)

จากข้อมูลจากอัตราของเสียจากฝุ่นปนเปื้อนที่เก็บข้อมูลจากเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2554 นำมาคำนวณหาจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการทดลอง โดยกำหนดให้ ค่า Propotion1 (หลังการปรับปรุง) มีค่าเท่ากับอัตราของเสียเป็น 13.0% จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่กำหนด และค่า Propotion2 (ก่อนการปรับปรุง) จากการเก็บข้อมูล มีค่าเท่ากับอัตราของเสียเป็น 24.0% และกำหนด Power value ที่ต้องการเท่ากับ 0.95 ทำการคำนวณด้วย MINITAB 16 จะได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณหาจำนวนสิ่งตัวอย่าง

Power and Sample Size

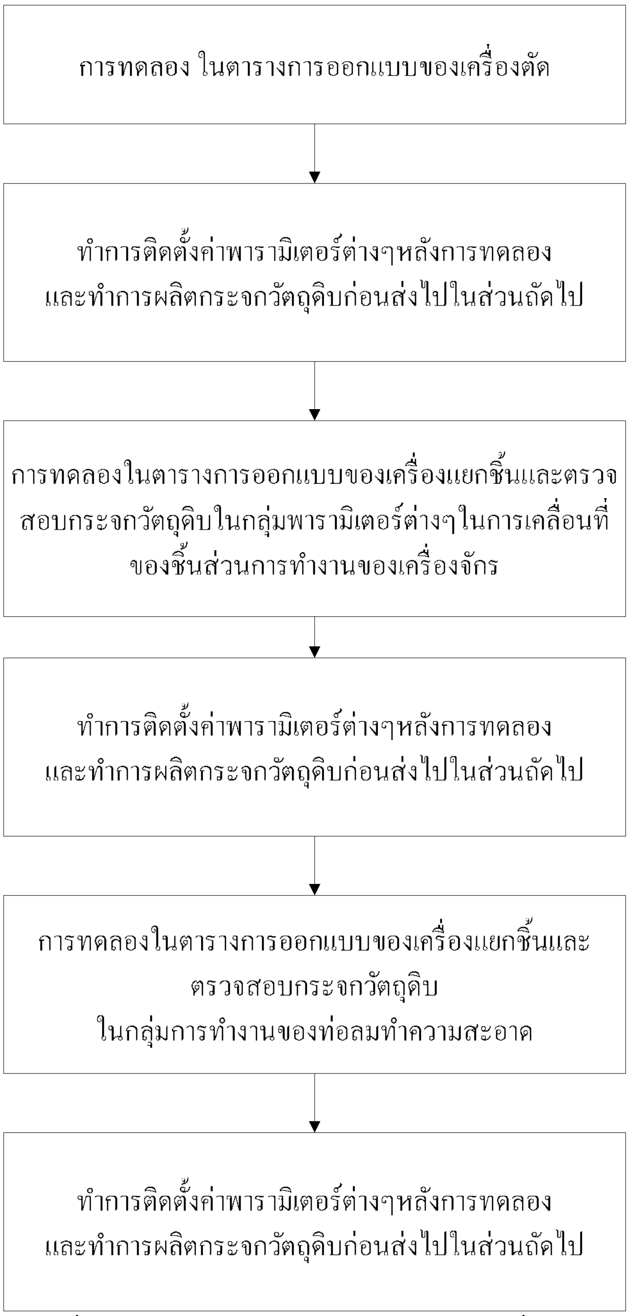
```
Test for Two Proportions

Testing comparison p = baseline p (versus <)
Calculating power for baseline p = 0.24
Alpha = 0.05

              Sample  Target
Comparison p    Size   Power  Actual Power
        0.13     267    0.95      0.950005

The sample size is for each group.
```

จากการคำนวณด้วย MINITAB พบว่า ควรใช้ขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างต้อง มากกว่า 267 ชิ้นตัวอย่าง และต้องการควบคุมกระจกวัตถุดิบตามชุดการผลิต (Material lot) ที่มี 50 แผ่น สามารถตัดได้ 1,250 ชิ้น ดังนั้นจึงแบ่งรอบการทดลอง (Replication) ออกเป็น 3 รอบการทดลอง ตามความจุของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ป้อนวัตถุดิบด้วย เป็นชุดการทดลอง 20:15:15 แผ่นกระจก และผลิตกระจกวัตถุดิบได้ 500:375:375 ชิ้น ตามลำดับ

4.4 **ตารางการออกแบบการทดลอง** (Design of Experiment)

ในตารางการออกแบบการทดลอง ใช้วิธีการทดลองแบบ 2-Level full factorial design เนื่องจากทางสมาชิกภายในกลุ่มต้องการหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองที่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง โดยมีสมมติฐานว่า ปัจจัยทุกตัวมีความน่าจะเป็นที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้งหมด และได้ผ่านการอนุมัติจากผู้บริหารของแผนก เพื่อให้เกิดหลักฐานข้อมูลที่บ่งชี้ปัจจัยในการทดลองได้จริง พิสูจน์ข้อมูลที่ทำให้เกิดข้อสงสัยหรือข้อโต้แย้งในภายหลังในทุกๆปัจจัย และทางแผนกสามารถรองรับค่าใช้จ่ายในการทดลองได้

และเพื่อให้การทดลองในตารางการออกแบบการทดลองง่ายขึ้น แบ่งการทำงานในเครื่องจักรให้ชัดเจนขึ้น และเก็บข้อมูลได้ผลที่ชัดเจน จึงแบ่งการทดลอง และลำดับขั้นตอนในการทำการทดลอง ออกเป็น 3 หัวข้อย่อย ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แผนผังการลำดับการทดลองในเครื่องต่างๆ

ซึ่งแบ่งตามวิธีการทำงานของเครื่องจักรทั้งสอง ที่มีจังหวะการทำงานที่กระทำโดยตรงต่อกระจกวัตถุดิบ และทำการทดสอบ หาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่สามารถปฏิบัติงานได้โดยไม่ทำให้เกิดของเสียทุกชนิดจากปัญหาไม่เหมาะสมในทันทีที่ใช้งาน เพื่อเป็นตัวกำหนด เพื่อหาค่าน้อยที่สุด และมากที่สุดในแต่ละปัจจัยของแต่ละเครื่อง และนำไปใช้ในตารางการออกแบบการทดลอง

ในการทดลองต้องแบ่งจำนวนกระจกวัตถุดิบที่ต้องการวัดผลในจำนวนการทดลองที่เท่ากันโดยกำหนด จำนวนกระจกวัตถุดิบแผ่นใหญ่ 50 แผ่น สามารถตัดเป็นกระจกวัตถุดิบพร้อมประกอบ 1,250 ชิ้น (1 ชุดการผลิต) แบ่งการควบคุมการป้อนวัตถุดิบในการทดลองเพื่อวัดผล เป็น 3 ครั้ง โดยแบ่งเป็น 20:15:15 แผ่น แล้ววัดผลและควบคุมทั้ง 3 ครั้ง (3 runs in 1 experiment) ผลที่ได้มาทำการสรุปผลในการทดลอง โดย 1 ชุดการผลิต ใช้เวลาในการทดลองประมาณ 2 ชั่วโมง

โดยกระจกวัตถุดิบก่อนตัด 1 ถุง บรรจุ 5 แผ่น โดยป้อนวัตถุดิบครั้งละ 1 กล่องบรรจุเตรียมผลิต (Magazine) ซึ่ง 1 กล่องบรรจุเตรียมผลิต บรรจุได้มากที่สุด 20 แผ่น ตามหลักการทำงาน (Work procedure) และใน 1 วันสามารถผลิตได้ 8 ชุดการผลิตหรือ 10,000 ชิ้นต่อวัน

นำไปทำการออกแบบการทดลอง ในการทดลองแบบ 2-Level Full factorial design_และตารางการทดลองที่โปรแกรม MINITAB 16 ทำการสุ่มขึ้นมา แบ่งตามเครื่องจักร มีดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 ตารางของค่าที่ใช้งานและค่าที่ใช้ในการทดลองของเครื่องตัด

ข้อ (No)	ปัจจัยในการทดลอง (Factor)	ค่าในปัจจุบัน (Used value)	ค่าน้อยสุด (Min. value)	ค่ามากที่สุด (Max. value)	หน่วย (Units)
1	ระบบการหมุนของใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด	หมุนกด	หมุนกด	หมุนขึ้น	
2	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	200	200	600	mm/s
3	ความสูงของท่อฉีดน้ำ DI	1.2	0.9	2	mm
4	รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI	มีด1+ล้าง+มีด2+ล้าง	มีด1+ล้าง+มีด2+ล้าง	มีด1+มีด2+ล้าง	
5	ลักษณะของท่อน้ำ DI	90	0	90	degree
6	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับพื้นผิวชิ้นงานกระจกวัตถุดิบ	10	8	10	mm
7	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ	150	100	150	mV

โดยค่าน้อยที่สุดและค่ามากที่สุดที่ใช้ เป็นค่าที่สามารถใช้งานได้จริง และไม่ทำให้เกิดของเสียขึ้นทันทีเนื่องจาก มีความผิดพลาดจากเครื่องจักรมีผลกระทบทำให้ไม่สามารถทำงานได้ และเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานตารางการทดลอง ใช้การใช้รหัส (Coded) แทน ทำการแทนค่า ด้วยการใช้รหัส แทนค่า โดย

ให้ ค่าน้อยที่สุดของปัจจัยการทดลองแทนค่าด้วย “ -1 ” และ

ค่ามากที่สุดของปัจจัยการทดลองแทนค่าด้วย “ 1 ”

และใช้การสุ่มการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม MINITAB 16 แบบ 2 level full factorial ในปัจจัยทั้งหมด 7 ปัจจัย จะได้ตารางการทดลอง ออกมาดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัด

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	ระบบการหมุนใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด	ความเร็วการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	ความสูงท่อฉีดน้ำ DI	รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI	ลักษณะท่อน้ำDI	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับผิวกระจก	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ
				A	B	C	D	E	F	G
1	111	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1
2	23	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
3	126	1	1	1	-1	1	1	1	1	1
4	41	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1
5	107	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1
6	66	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1
7	43	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
8	72	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1
9	112	1	1	1	1	1	1	-1	1	1
10	95	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1
11	103	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1
12	62	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1
13	71	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1
14	94	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1
15	56	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1
16	114	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1
17	128	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	88	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1
19	99	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1
20	118	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1
21	55	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1
22	45	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1

ตารางที่ 4.5 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัด (ต่อ)

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	ระบบการหมุนใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด	ความเร็วการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	ความสูงท่อฉีดน้ำ DI	รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI	ลักษณะท่อน้ำDI	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับผิวกระจก	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ
				A	B	C	D	E	F	G
23	33	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
24	120	1	1	1	1	1	-1	1	1	1
25	42	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1
26	98	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
27	116	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1
28	105	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
29	34	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
30	79	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1
31	85	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1
32	17	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1
33	108	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1
34	110	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1
35	125	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1
36	54	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1
37	32	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
38	92	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1
39	53	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
40	14	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
41	127	1	1	-1	1	1	1	1	1	1
42	48	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1
43	20	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1
44	102	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1
45	104	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1
46	63	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1
47	5	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
48	27	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
49	16	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
50	115	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1
51	76	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1
52	91	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1

ตารางที่ 4.5 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัด (ต่อ)

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	ระบบการหมุนใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด	ความเร็วการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	ความสูงท่อฉีดน้ำ DI	รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI	ลักษณะท่อน้ำDI	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับผิวกระจก	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ
				A	B	C	D	E	F	G
53	73	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1
54	78	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1
55	8	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
56	49	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1
57	61	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1
58	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
59	58	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1
60	82	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
61	119	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
62	77	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
63	80	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1
64	26	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
65	50	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
66	19	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
67	90	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1
68	3	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1
69	75	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
70	121	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1
71	83	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
72	68	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
73	52	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1
74	97	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
75	30	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
76	67	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
77	35	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1
78	93	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1
79	9	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
80	59	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1
81	38	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1
82	37	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1

ตารางที่ 4.5 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัด (ต่อ)

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	ระบบการหมุนใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด	ความเร็วการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	ความสูงท่อฉีดน้ำ DI	รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI	ลักษณะท่อน้ำDI	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับผิวกระจก	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ
				A	B	C	D	E	F	G
83	51	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1
84	7	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1
85	57	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
86	47	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1
87	122	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
88	24	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1
89	13	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1
90	31	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1
91	2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
92	81	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1
93	65	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
94	4	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1
95	70	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
96	29	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1
97	44	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1
98	25	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1
99	10	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
100	40	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1
101	69	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1
102	21	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1
103	28	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1
104	74	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1
105	86	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1
106	46	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1
107	15	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
108	123	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1
109	124	1	1	1	1	-1	1	1	1	1
110	100	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
111	89	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1
112	84	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1

ตารางที่ 4.5 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัด (ต่อ)

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	ระบบการหมุนใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด	ความเร็วการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	ความสูงท่อฉีดน้ำ DI	รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI	ลักษณะท่อน้ำDI	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับผิวกระจก	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ
				A	B	C	D	E	F	G
113	12	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
114	106	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1
115	101	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
116	6	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1
117	96	1	1	1	1	1	1	1	-1	1
118	64	1	1	1	1	1	1	1	1	-1
119	39	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
120	18	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1
121	11	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1
122	60	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1
123	36	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
124	22	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
125	87	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1
126	113	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
127	117	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
128	109	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1

แม้เครื่องตัดจะไม่สามารถตัดสินของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนได้ ดังนั้นจึง ต้องจัดตั้งผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบโดยกล้องตรวจสอบ ที่ผ่านการทดสอบ MSA แล้ว ซึ่งได้รับการรับรองจากทางบริษัทแล้ว ทำการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาการปฏิบัติงานที่มี กลุ่มปฏิบัติงาน โดยมีวิศวกร ติดตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลอง และควบคุมเครื่องจักร ศึกษาการทำงาน เพื่อดูผลกระทบต่างๆของเครื่องจักร เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในเครื่องตัดแล้ว กำหนดให้เป็นค่าหลักที่ไม่เปลี่ยนแปลง เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบในการทดลองต่อไป จึงนำกระจกวัตถุดิบที่ได้นั้น เข้ามาสู่เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ โดยมีปัจจัย และตารางในการทดลอง ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 ค่าที่ใช้งานและค่าที่ใช้ในการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ

ข้อ (No.)	ปัจจัยในการทดลอง (Factor)	ค่าในปัจจุบัน (Used value)	ค่าน้อยสุด (Min. value)	ค่ามากที่สุด (Max. value)	หน่วย (Units)
1	ความเร็วของแท่นเข็มแทง ดันกระจกวัตถุดิบให้สูงขึ้นและหลุดออกจากแผ่นชีทกาว	85	50	100	pps
2	ความเร็วในการตัวจับชิ้นงานลงมาจับกระจกวัตถุดิบ	100	50	150	pps
3	ระยะเคลื่อนที่ขึ้นของแท่นเข็มแทงดันกระจกวัตถุดิบ①	5	2	6	mm
4	ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานเคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมา②	20	15	25	mm
5	ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมา③	20	15	25	mm
6	อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน	60	40	90	mm^3/s
7	อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง	60	40	90	mm^3/s
8	ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน	1	0.5	2	mm
9	ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง	1	0.5	2	mm

ในการออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ เพื่อให้ง่ายในการ ปฏิบัติงานและศึกษาผลกระทบ จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง โดย กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มของพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงานของเครื่องจักร กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด เพราะใน 2 กลุ่มการทดลองนี้ ถึงแม้จะอยู่ในเครื่องเดียวกัน แต่ลำดับขั้นตอนในการทำงาน แยกส่วนกันอย่างชัดเจน เพราะในการทำงานของเครื่องจักรจะทำการหยิบและแยกชิ้นกระจกวัตถุดิบเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดตามที่ต้องการออกมาก่อน แล้วส่งผ่านไปยังส่วนที่ทำความสะอาดก่อนทำการตรวจสอบ ดังนั้นแล้วการแยกกลุ่มการทดลอง

ออกมาอย่างชัดเจน จึงช่วยให้การออกแบบการทดลองง่ายขึ้น ทั้งในส่วนการวิเคราะห์ และส่วนปฏิบัติงานของผู้ทำการทดลอง

ใช้การใช้รหัส แทน ทำการแทนค่า ด้วยการใช้รหัส แทนค่า โดยให้ค่าน้อยที่สุดแทนด้วย “ -1 ” และค่ามากที่สุด แทนด้วย “ 1 ” เช่นเดียวกับการสุ่มการทดลองในโปรแกรม MINITAB 16

ตารางที่ 4.7 การออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ กลุ่มของพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงานของเครื่องจักร

No.	Std Order	Center Pt	Blocks	ความเร็วแท่นเข็มแทงดันกระจกวัตถุดิบ	ความเร็วตัวจับชิ้นงานจับกระจกวัตถุดิบ	ระยะเคลื่อนที่แท่นเข็มแทง (1)	ระยะเคลื่อนที่แท่นเข็มแทง (2)	ระยะเคลื่อนที่แท่นเข็มแทง (3)
				A	B	C	D	E
1	17	1	1	-1	-1	-1	-1	1
2	12	1	1	1	1	-1	1	-1
3	9	1	1	-1	-1	-1	1	-1
4	3	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	31	1	1	-1	1	1	1	1
6	18	1	1	1	-1	-1	-1	1
7	29	1	1	-1	-1	1	1	1
8	30	1	1	1	-1	1	1	1
9	2	1	1	1	-1	-1	-1	-1
10	19	1	1	-1	1	-1	-1	1
11	8	1	1	1	1	1	-1	-1
12	23	1	1	-1	1	1	-1	1
13	13	1	1	-1	-1	1	1	-1
14	5	1	1	-1	-1	1	-1	-1
15	4	1	1	1	1	-1	-1	-1
16	24	1	1	1	1	1	-1	1
17	15	1	1	-1	1	1	1	-1
18	7	1	1	-1	1	1	-1	-1
19	27	1	1	-1	1	-1	1	1
20	6	1	1	1	-1	1	-1	-1
21	16	1	1	1	1	1	1	-1
22	32	1	1	1	1	1	1	1
23	22	1	1	1	-1	1	-1	1
24	21	1	1	-1	-1	1	-1	1

ตารางที่ 4.7 การออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ กลุ่มของพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงานของเครื่องจักร (ต่อ)

No.	Std Order	Center Pt	Blocks	ความเร็วแท่นเข็มแทงดันกระจกวัตถุดิบ	ความเร็วตัวจับ ชิ้นงานจับกระจกวัตถุดิบ	ระยะเคลื่อนที่แท่นเข็มแทง (1)	ระยะเคลื่อนที่แท่นเข็มแทง (2)	ระยะเคลื่อนที่แท่นเข็มแทง (3)
				A	B	C	D	E
25	14	1	1	1	-1	1	1	-1
26	26	1	1	1	-1	-1	1	1
27	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1
28	11	1	1	-1	1	-1	1	-1
29	20	1	1	1	1	-1	-1	1
30	28	1	1	1	1	-1	1	1
31	25	1	1	-1	-1	-1	1	1
32	10	1	1	1	-1	-1	1	-1

ตารางที่ 4.8 การออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ กลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

No	Std Order	Center Pt	Blocks	อัตราการเป่าลมที่ผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน	อัตราการเป่าลม ที่ผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง	ความสูงระหว่างท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน	ความสูงระหว่างท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง
				A	B	C	D
1	16	1	1	1	1	1	1
2	12	1	1	1	1	-1	1
3	10	1	1	1	-1	-1	1
4	2	1	1	1	-1	-1	-1
5	4	1	1	1	1	-1	-1
6	1	1	1	-1	-1	-1	-1
7	11	1	1	-1	1	-1	1
8	3	1	1	-1	1	-1	-1
9	14	1	1	1	-1	1	1
10	15	1	1	-1	1	1	1
11	6	1	1	1	-1	1	-1

ตารางที่ 4.8 การออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ กลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด (ต่อ)

No	Std Order	Center Pt	Blocks	อัตราการเป่าลม ที่ผิวกระจก วัตถุดิบด้านบน	อัตราการเป่าลม ที่ผิวกระจก วัตถุดิบ ด้านล่าง	ความสูงระหว่าง ท่อลมกับผิว กระจกวัตถุดิบ ด้านบน	ความสูงระหว่าง ท่อลมกับผิว กระจกวัตถุดิบ ด้านล่าง
				A	B	C	D
12	7	1	1	-1	1	1	-1
13	5	1	1	-1	-1	1	-1
14	8	1	1	1	1	1	-1
15	9	1	1	-1	-1	-1	1
16	13	1	1	-1	-1	1	1

4.5 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา

วิเคราะห์วิธีทำงาน และศึกษาการเคลื่อนไหวต่างๆของเครื่องจักร เพื่อหาปัจจัยที่สามารถเป็นสาเหตุของผลกระทบของปัญหาของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน แบ่งปัจจัยเพื่อการทดลองโดยเครื่องจักรทั้ง 2 เครื่องออกจากกัน โดยแบ่ง การทดลอง ออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1) ทำการทดลองเครื่องตัด เพื่อหาค่าที่ใช้ในการทำงาน ที่มีค่าเฉลี่ยของปัญหาฝุ่นปนเปื้อนน้อยที่สุด และมีค่าเสถียรมากที่สุด ก่อนตั้งเป็นค่าควบคุมที่กำหนดได้ และส่งกระจกวัตถุดิบหลังการทดลองส่งไปยัง เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ โดยในขั้นตอนนี้ใช้ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบกับเครื่องตรวจสอบฝุ่นที่ผ่านการทดสอบ MSA แล้ว
2) นำกระจกวัตถุดิบที่ควบคุมค่าพารามิเตอร์ของเครื่องตัดแล้ว มาใช้ในการทดลองกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องแยกชิ้น และตรวจสอบวัตถุดิบ ในการเคลื่อนที่ความเร็วต่างๆของชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการใช้งานและสัมผัสกับกระจกวัตถุดิบ เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของปัญหาฝุ่นปนเปื้อนน้อยที่สุด และมีค่าเสถียรมากที่สุด ตั้งเป็นค่าควบคุม และทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป โดยในขั้นตอนนี้ใช้ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบกับเครื่องตรวจสอบฝุ่นที่ผ่านการทดสอบ MSA แล้ว

3) นำกระจกวัตถุดิบที่ควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้ว ทำการทดลองเกี่ยวกับค่าหรืออัตราการไหลต่างๆที่เกี่ยวกับลมที่เป่าทำความสะอาดท้ายกระบวนการ ก่อนตรวจสอบด้วยกล้องตรวจสอบที่เครื่องจักร เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปัญหาฝุ่นปนเปื้อนน้อยที่สุด และมีค่าเสถียรมากที่สุด ก่อนนำค่าที่ได้ทั้งหมด มาประยุกต์ใช้

หลังจากที่ได้ค่าพารามิเตอร์และองค์ประกอบต่างๆจากการทดลองแล้วจึงนำ สถานะของเครื่องจักรนี้ มาใช้งานกับการผลิตจริงและเก็บค่าข้อมูลที่ได้ เพื่อมาสรุปผล

บทที่ 5
ขั้นตอนการดำเนินการปรับปรุง

การดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ในส่วนของ Action phase โดยดำเนินงานต่อเนื่องจากการวางแผนการทดลองจาก Check phase ดำเนินงานและนำผลการทดลองที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้งานจริงและควบคุมผลการทำงาน

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองและนำไปปรับปรุงแก้ไขในกระบวนการ ในโครงการนี้จะเริ่มที่กระบวนการในเครื่องตัดก่อน เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุดของเครื่องตัดก่อน แล้วจึงปรับปรุงแก้ไขกระบวนการของกลุ่มของพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงานของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ และเมื่อได้ผลที่ดีที่สุดแล้ว จึงทำการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกลุ่มของการทดลองของท่อลมทำความสะอาด เพื่อให้ได้ผลที่ดีที่สุดของกระบวนการไหลทั้งหมดในการเตรียมกระจกวัตถุดิบ และให้ง่ายต่อการแยกกลุ่มปัจจัยในการทดลอง

5.1 ผลการทดลองในตารางออกแบบการทดลองของเครื่องตัด

การทดลองตามตารางที่กำหนดไว้ของเครื่องตัดและ เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ จะปฏิบัติตามพารามิเตอร์ที่ใช้ต่างๆที่ถูกออกแบบไว้ นำผลของการทดลองที่เป็นค่าของอัตราผลผลิตในการทดลองแต่ละครั้ง นำไปใส่ในตารางส่วนหลังที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อนำข้อมูลให้โปรแกรม MINITAB 16 ทำการวิเคราะห์ผล และดูกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบทำให้เกิดฝุ่นปนเปื้อนน้อยที่สุด เพื่อนำไปเป็นตัวพารามิเตอร์หลักควบคุมในแต่ละเครื่องจักร ในตารางการออกแบบการทดลอง แทนปัจจัยในการทดลองต่างๆ เพื่อให้กระชับ และอ่านกราฟในการทดลองได้ง่ายขึ้น แทนค่าด้วยสัญลักษณ์ ให้กับปัจจัยต่างๆในเครื่องตัด ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางการแทนค่าสัญลักษณ์ของตัวแปรปัจจัยในการทดลองของเครื่องตัด

ข้อ	ปัจจัยในการทดลอง	สัญลักษณ์
1	ระบบการหมุนของใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด	A
2	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	B
3	ความสูงของท่อฉีดน้ำ DI	C
4	รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI	D
5	ลักษณะของท่อน้ำ DI	E
6	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับพื้นผิวชิ้นงานกระจกวัตถุดิบ	F
7	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ	G

ซึ่งตารางการออกแบบการทดลอง จากโปรแกรม MINITAB 16 ทำการสุ่มการทดลองให้ ดังนี้

ตารางที่ 5.2 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัดและผลการทดลอง

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	Factor							Dust defect (%)
				A	B	C	D	E	F	G	
1	111	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	21.14
2	23	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	16.11
3	126	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	33.00
4	41	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	14.95
5	107	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	17.11
6	66	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	14.09
7	43	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	19.01
8	72	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	13.96
9	112	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	20.97
10	95	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	22.38
11	103	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	9.12
12	62	1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	29.11
13	71	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	10.33
14	94	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	27.96
15	56	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	24.46
16	114	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	23.91
17	128	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33.95
18	88	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	21.90
19	99	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	10.83
20	118	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	21.35
21	55	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	17.00
22	45	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	20.22
23	33	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	9.87
24	120	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	23.04
25	42	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	24.00
26	98	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	13.95
27	116	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	24.69
28	105	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	18.68
29	34	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	12.76
30	79	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	20.18

ตารางที่ 5.2 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัดและผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	Factor							Dust defect (%)
				A	B	C	D	E	F	G	
31	85	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	14.48
32	17	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	17.44
33	108	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	22.15
34	110	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	21.68
35	125	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	28.62
36	54	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	25.12
37	32	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	28.63
38	92	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	32.76
39	53	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	19.77
40	14	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	23.13
41	127	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	25.46
42	48	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	21.58
43	20	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	22.33
44	102	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	13.11
45	104	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	16.73
46	63	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	26.46
47	5	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	10.00
48	27	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	26.01
49	16	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	26.15
50	115	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	15.32
51	76	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	23.44
52	91	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	26.22
53	73	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	19.86
54	78	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	23.52
55	8	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	14.33
56	49	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	16.31
57	61	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	28.35
58	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	9.55
59	58	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	30.58
60	82	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	22.48

ตารางที่ 5.2 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัดและผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	Factor							Dust defect (%)
				A	B	C	D	E	F	G	
61	119	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	21.01
62	77	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	19.46
63	80	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	24.58
64	26	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	29.00
65	50	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	22.99
66	19	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	18.46
67	90	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	28.77
68	3	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	11.66
69	75	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	15.32
70	121	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	27.00
71	83	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	15.10
72	68	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	17.65
73	52	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	21.33
74	97	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	10.22
75	30	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	33.00
76	67	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	10.95
77	35	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	11.22
78	93	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	26.64
79	9	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	18.47
80	59	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	27.57
81	38	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	16.31
82	37	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	12.33
83	51	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	17.33
84	7	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	10.00
85	57	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	27.44
86	47	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	20.68
87	122	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	31.01
88	24	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	24.87
89	13	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	19.57
90	31	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	23.34

ตารางที่ 5.2 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัดและผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	Factor							Dust defect (%)
				A	B	C	D	E	F	G	
91	2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	13.24
92	81	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	19.00
93	65	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	11.02
94	4	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	12.86
95	70	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	18.21
96	29	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	23.97
97	44	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	21.77
98	25	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	27.13
99	10	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	26.15
100	40	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	18.34
101	69	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	11.36
102	21	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	19.33
103	28	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	31.48
104	74	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	22.76
105	86	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	21.16
106	46	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	25.87
107	15	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	20.35
108	123	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	26.00
109	124	1	1	1	1	-1	1	1	1	1	32.48
110	100	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	13.55
111	89	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	27.00
112	84	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	23.66
113	12	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	25.67
114	106	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	22.86
115	101	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	12.12
116	6	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	16.55
117	96	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	33.02
118	64	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	29.17
119	39	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	10.66
120	18	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	23.58

ตารางที่ 5.2 การออกแบบการทดลองของเครื่องตัดและผลการทดลอง (ต่อ)

NO.	Std Order	Center Pt	Blocks	Factor							Dust defect (%)
				A	B	C	D	E	F	G	
121	11	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	19.23
122	60	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	30.75
123	36	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	13.23
124	22	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	26.77
125	87	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	13.01
126	113	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	18.41
127	117	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	14.13
128	109	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	14.98

5.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเครื่องตัด

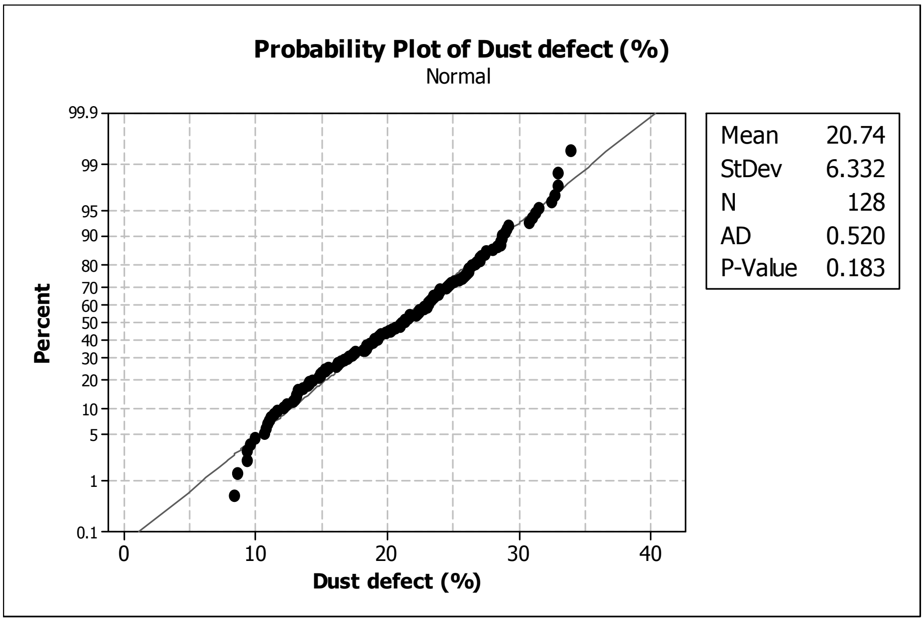
การออกแบบการทดลองที่อยู่ภายใต้เงื่อนไข คือ ข้อมูลเป็นแบบสุ่มและมีการกระจายแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน เมื่อข้อมูลอยู่ภายในเงื่อนไขดังกล่าว แล้วจึงนำผลข้อมูลนั้นๆนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ สมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องตัด

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ทดสอบได้โดยการพล็อตใน Normal probability plot เป็นการพล็อตค่าตัวแปรตอบสนอง เป็นจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบที่ถูกเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามากในแกน X ซึ่งมีหน่วยเป็นอัตราร้อยละ เทียบกับค่าความน่าจะเป็นสะสมโดยคิดค่าความน่าจะเป็นในอัตราร้อยละ ในแกน Y ซึ่งในส่วนของเครื่องตัด ดังแสดงในภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 Normality plot ของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบที่เกิดขึ้นในเครื่องตัด

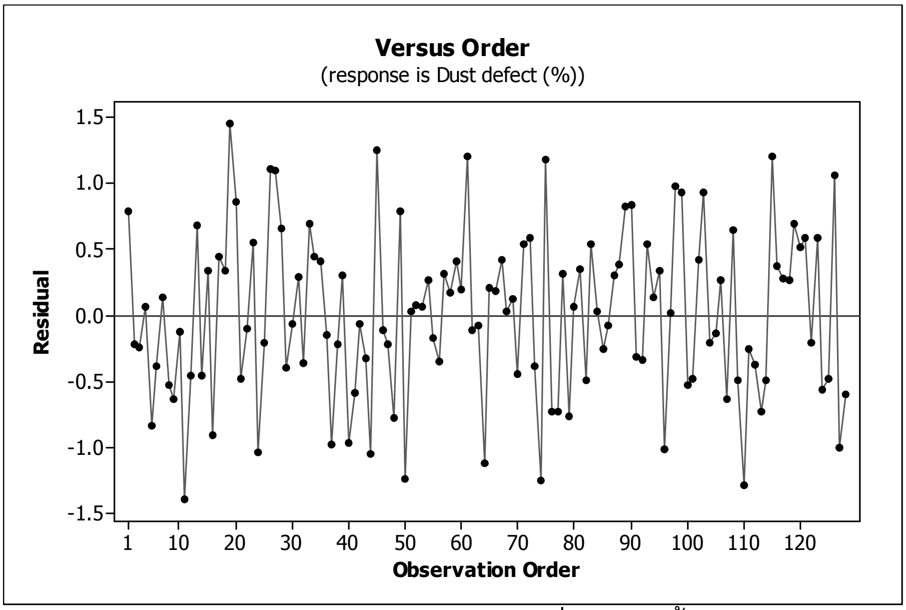
จากภาพที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเบี่ยงเบนของข้อมูล พิจารณาจากค่า P-value =0.183 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบสมมติฐานของการสุ่มของข้อมูล สมมติฐานในการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องตัด

H_0 : ลำดับข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

ทดสอบโดยแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 แผนภาพการกระจายระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับลำดับการเก็บข้อมูลของเครื่องตัด

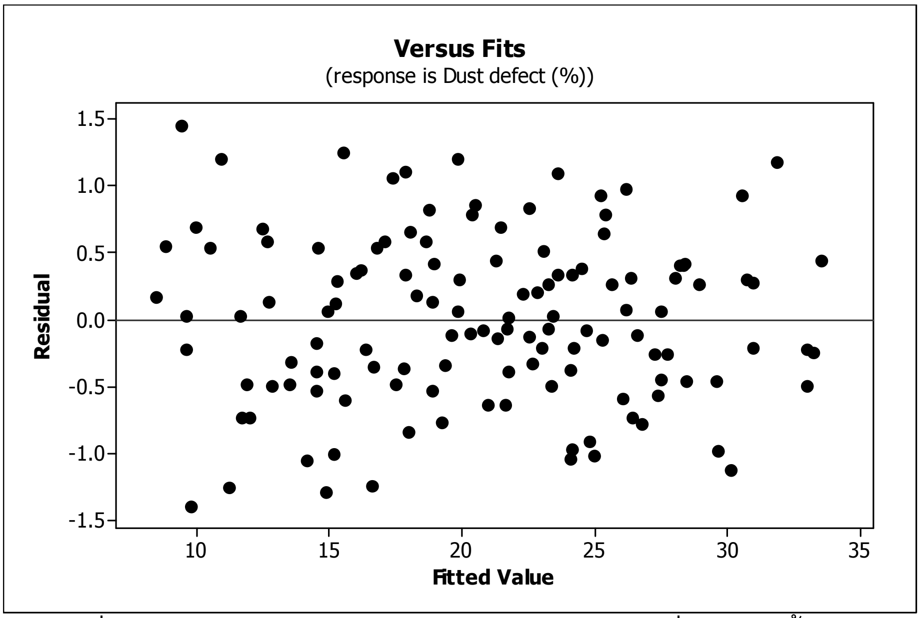
พบว่าข้อมูลของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ มีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่อยู่ในรูปแบบลักษณะใดๆ ดังนั้นจึง ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ลำดับข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองอยู่ภายใต้สภาวะความสุ่ม

3) การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สมมติฐานในการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องตัด

H_0 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

H_1 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ทดสอบโดยแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ของข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 แผนภาพการกระจายระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับค่าที่ถูกฟิตของเครื่องตัด

ข้อมูลของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบมีการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้นจึง ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

5.1.2 **การวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องตัด**

โดยการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB 16 สามารถวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง แสดงผลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง

ตารางที่ 5.3 การประมาณค่าผลกระทบและสัมประสิทธิ์ของการทดลองของเครื่องตัดด้วยโปรแกรม MINITAB 16

Factorial Fit: Dust defect (%) versus A, B, C, D, E, F, G

Estimated Effects and Coefficients for Dust defect (%) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		20.7418	0.2204	94.11	0.000
A	5.0433	2.5216	0.2204	11.44	0.000
B	-0.0773	-0.0387	0.2204	-0.18	0.865
C	0.3892	0.1946	0.2204	0.88	0.403
D	8.1761	4.0880	0.2204	18.55	0.000
E	7.2670	3.6335	0.2204	16.49	0.000
F	0.0505	0.0252	0.2204	0.11	0.912

ตารางที่ 5.3 การประมาณค่าผลกระทบและสัมประสิทธิ์ของการทดลองของเครื่องตัดด้วยโปรแกรม MINITAB 16 (ต่อ)

G	-0.1739	-0.0870	0.2204	-0.39	0.704
A*B	0.1592	0.0796	0.2204	0.36	0.727
A*C	0.0708	0.0354	0.2204	0.16	0.876
A*D	-0.4961	-0.2480	0.2204	-1.13	0.293
A*E	0.3761	0.1880	0.2204	0.85	0.418
A*F	-0.2686	-0.1343	0.2204	-0.61	0.559
A*G	0.1220	0.0610	0.2204	0.28	0.789
B*C	-0.0542	-0.0271	0.2204	-0.12	0.905
B*D	0.1814	0.0907	0.2204	0.41	0.691
B*E	-0.2008	-0.1004	0.2204	-0.46	0.661
B*F	0.0033	0.0016	0.2204	0.01	0.994
B*G	0.2245	0.1123	0.2204	0.51	0.624
C*D	-0.1533	-0.0766	0.2204	-0.35	0.737
C*E	-0.4942	-0.2471	0.2204	-1.12	0.295
C*F	0.2948	0.1474	0.2204	0.67	0.522
C*G	-0.5139	-0.2570	0.2204	-1.17	0.277
D*E	-0.0130	-0.0065	0.2204	-0.03	0.977
D*F	-0.1633	-0.0816	0.2204	-0.37	0.721
D*G	0.0248	0.0124	0.2204	0.06	0.956
E*F	0.6783	0.3391	0.2204	1.54	0.162
E*G	-0.0592	-0.0296	0.2204	-0.13	0.896
F*G	0.0480	0.0240	0.2204	0.11	0.916
A*B*C	-0.0220	-0.0110	0.2204	-0.05	0.961
A*B*D	0.1248	0.0624	0.2204	0.28	0.784
A*B*E	0.7964	0.3982	0.2204	1.81	0.108
A*B*F	-0.3702	-0.1851	0.2204	-0.84	0.425
A*B*G	0.5673	0.2837	0.2204	1.29	0.234
A*C*D	-0.3223	-0.1612	0.2204	-0.73	0.485
A*C*E	0.4605	0.2302	0.2204	1.04	0.327
A*C*F	-0.3398	-0.1699	0.2204	-0.77	0.463
A*C*G	-0.3711	-0.1855	0.2204	-0.84	0.424
A*D*E	-0.4583	-0.2291	0.2204	-1.04	0.329
A*D*F	-0.1905	-0.0952	0.2204	-0.43	0.677
A*D*G	-0.0398	-0.0199	0.2204	-0.09	0.930
A*E*F	-0.2439	-0.1220	0.2204	-0.55	0.595
A*E*G	0.3661	0.1830	0.2204	0.83	0.430
A*F*G	0.3727	0.1863	0.2204	0.85	0.422
B*C*D	-0.0392	-0.0196	0.2204	-0.09	0.931
B*C*E	-0.3045	-0.1523	0.2204	-0.69	0.509
B*C*F	0.2877	0.1438	0.2204	0.65	0.532
B*C*G	0.7320	0.3660	0.2204	1.66	0.135
B*D*E	-0.0808	-0.0404	0.2204	-0.18	0.859
B*D*F	-0.1230	-0.0615	0.2204	-0.28	0.787
B*D*G	-0.0430	-0.0215	0.2204	-0.10	0.925
B*E*F	0.2980	0.1490	0.2204	0.68	0.518
B*E*G	0.3186	0.1593	0.2204	0.72	0.490
B*F*G	0.0414	0.0207	0.2204	0.09	0.927
C*D*E	-0.2467	-0.1234	0.2204	-0.56	0.591
C*D*F	0.0773	0.0387	0.2204	0.18	0.865
C*D*G	0.6111	0.3055	0.2204	1.39	0.203
C*E*F	0.3808	0.1904	0.2204	0.86	0.413
C*E*G	-0.0898	-0.0449	0.2204	-0.20	0.844
C*F*G	-0.3708	-0.1854	0.2204	-0.84	0.425
D*E*F	0.6583	0.3291	0.2204	1.49	0.174
D*E*G	0.8545	0.4273	0.2204	1.94	0.089
D*F*G	0.1905	0.0952	0.2204	0.43	0.677
E*F*G	0.6283	0.3141	0.2204	1.43	0.192
A*B*C*D	-0.3989	-0.1995	0.2204	-0.90	0.392
A*B*C*E	-0.0680	-0.0340	0.2204	-0.15	0.881
A*B*C*F	0.4098	0.2049	0.2204	0.93	0.380

ตารางที่ 5.3 การประมาณค่าผลกระทบและสัมประสิทธิ์ของการทดลองของเครื่องตัดด้วย โปรแกรม MINITAB 16 (ต่อ)

A*B*C*G	-0.4770	-0.2385	0.1363	-1.75	0.331
A*B*D*E	0.3308	0.1654	0.1363	1.21	0.439
A*B*D*F	-0.3283	-0.1641	0.1363	-1.20	0.441
A*B*D*G	0.1130	0.0565	0.1363	0.41	0.750
A*B*E*F	-0.0273	-0.0137	0.1363	-0.10	0.936
A*B*E*G	0.2270	0.1135	0.1363	0.83	0.558
A*B*F*G	-0.3358	-0.1679	0.1363	-1.23	0.434
A*C*D*E	0.4298	0.2149	0.1363	1.58	0.360
A*C*D*F	0.1808	0.0904	0.1363	0.66	0.627
A*C*D*G	0.3720	0.1860	0.1363	1.36	0.403
A*C*E*F	-0.3483	-0.1741	0.1363	-1.28	0.423
A*C*E*G	0.0336	0.0168	0.1363	0.12	0.922
A*C*F*G	0.1208	0.0604	0.1363	0.44	0.735
A*D*E*F	0.1505	0.0752	0.1363	0.55	0.679
A*D*E*G	0.3167	0.1584	0.1363	1.16	0.452
A*D*F*G	0.3458	0.1729	0.1363	1.27	0.425
A*E*F*G	0.1673	0.0837	0.1363	0.61	0.650
B*C*D*E	-0.6783	-0.3391	0.1363	-2.49	0.243
B*C*D*F	-0.4811	-0.2405	0.1363	-1.76	0.328
B*C*D*G	-0.0455	-0.0227	0.1363	-0.17	0.895
B*C*E*F	0.1355	0.0677	0.1363	0.50	0.706
B*C*E*G	0.0605	0.0302	0.1363	0.22	0.861
B*C*F*G	0.3027	0.1513	0.1363	1.11	0.467
B*D*E*F	-0.1783	-0.0891	0.1363	-0.65	0.631
B*D*E*G	-0.2627	-0.1313	0.1363	-0.96	0.512
B*D*F*G	-0.0286	-0.0143	0.1363	-0.10	0.933
B*E*F*G	-0.0427	-0.0213	0.1363	-0.16	0.901
C*D*E*F	0.1445	0.0723	0.1363	0.53	0.690
C*D*E*G	0.2477	0.1238	0.1363	0.91	0.531
C*D*F*G	-0.0208	-0.0104	0.1363	-0.08	0.952
C*E*F*G	0.6214	0.3107	0.1363	2.28	0.263
D*E*F*G	-0.2705	-0.1352	0.1363	-0.99	0.503
A*B*C*D*E	0.3089	0.1545	0.1363	1.13	0.460
A*B*C*D*F	-0.2695	-0.1348	0.1363	-0.99	0.504
A*B*C*D*G	0.1973	0.0987	0.1363	0.72	0.601
A*B*C*E*F	-0.4555	-0.2277	0.1363	-1.67	0.343
A*B*C*E*G	0.2933	0.1466	0.1363	1.08	0.477
A*B*C*F*G	-0.0039	-0.0020	0.1363	-0.01	0.991
A*B*D*E*F	0.6170	0.3085	0.1363	2.26	0.265
A*B*D*E*G	0.0414	0.0207	0.1363	0.15	0.904
A*B*D*F*G	0.1411	0.0705	0.1363	0.52	0.696
A*B*E*F*G	-0.3592	-0.1796	0.1363	-1.32	0.413
A*C*D*E*F	0.0411	0.0205	0.1363	0.15	0.905
A*C*D*E*G	-0.1433	-0.0716	0.1363	-0.53	0.692
A*C*D*F*G	0.2502	0.1251	0.1363	0.92	0.527
A*C*E*F*G	-0.0314	-0.0157	0.1363	-0.12	0.927
A*D*E*F*G	0.2767	0.1384	0.1363	1.01	0.495
B*C*D*E*F	0.3017	0.1509	0.1363	1.11	0.468
B*C*D*E*G	-0.5308	-0.2654	0.1363	-1.95	0.302
B*C*D*F*G	-0.0711	-0.0355	0.1363	-0.26	0.838
B*C*E*F*G	-0.1345	-0.0673	0.1363	-0.49	0.708
B*D*E*F*G	-0.4652	-0.2326	0.1363	-1.71	0.338
C*D*E*F*G	0.2577	0.1288	0.1363	0.94	0.518
A*B*C*D*E*F	0.7077	0.3538	0.1363	2.60	0.234
A*B*C*D*E*G	0.7164	0.3582	0.1363	2.63	0.232
A*B*C*D*F*G	-0.1970	-0.0985	0.1363	-0.72	0.602
A*B*C*E*F*G	-0.6042	-0.3021	0.1363	-2.22	0.270

ตารางที่ 5.3 การประมาณค่าผลกระทบและสัมประสิทธิ์ของการทดลองของเครื่องตัดด้วยโปรแกรม MINITAB 16 (ต่อ)

```
A*B*D*E*F*G  -0.0523  -0.0262   0.1363   -0.19  0.879
A*C*D*E*F*G   0.1917   0.0959   0.1363    0.70  0.610
B*C*D*E*F*G  -0.1508  -0.0754   0.1363   -0.55  0.678


S = 1.54238     PRESS = 38976.3
R-Sq = 99.95%   R-Sq(pred) = 0.00%   R-Sq(adj) = 94.07%
```

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองของเครื่องตัดด้วยโปรแกรม MINITAB16

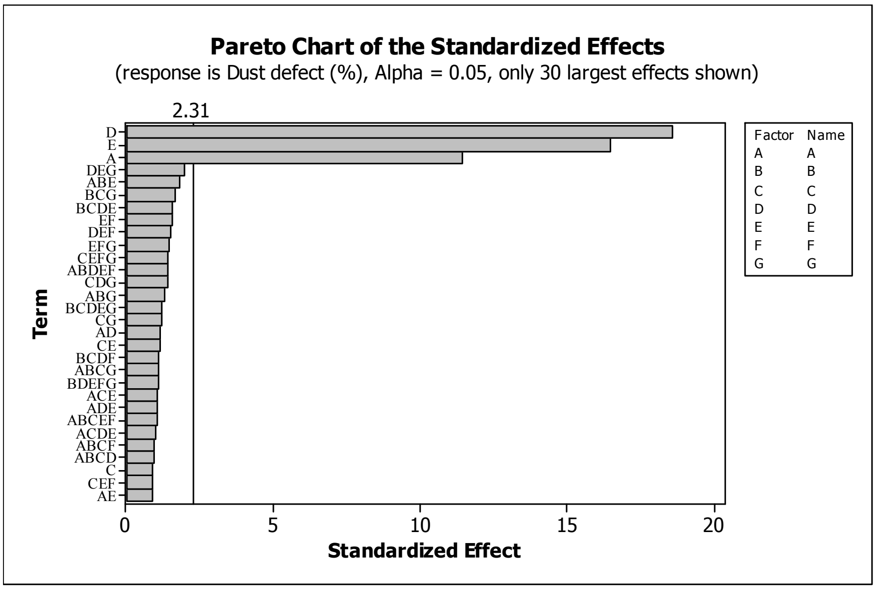
```
Analysis of Variance for Dust defect (%) (coded units)

Source               DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS       F      P
Main Effects          7  4649.06  4649.06   664.15  279.18  0.046
  A                   1   813.91   813.91   813.91  342.13  0.034
  B                   1     0.19     0.19     0.19    0.08  0.824
  C                   1     4.85     4.85     4.85    2.04  0.389
  D                   1  2139.15  2139.15  2139.15  899.21  0.021
  E                   1  1689.91  1689.91  1689.91  710.37  0.024
  F                   1     0.08     0.08     0.08    0.03  0.883
  G                   1     0.97     0.97     0.97    0.41  0.639
2-Way Interactions   21    55.80    55.80     2.66    1.12  0.645
  A*B                 1     0.81     0.81     0.81    0.34  0.664
  A*C                 1     0.16     0.16     0.16    0.07  0.838
  A*D                 1     7.88     7.88     7.88    3.31  0.320
  A*E                 1     4.53     4.53     4.53    1.90  0.399
  A*F                 1     2.31     2.31     2.31    0.97  0.505
  A*G                 1     0.48     0.48     0.48    0.20  0.732
  B*C                 1     0.09     0.09     0.09    0.04  0.875
  B*D                 1     1.05     1.05     1.05    0.44  0.626
  B*E                 1     1.29     1.29     1.29    0.54  0.596
  B*F                 1     0.00     0.00     0.00    0.00  0.992
  B*G                 1     1.61     1.61     1.61    0.68  0.561
  C*D                 1     0.75     0.75     0.75    0.32  0.674
  C*E                 1     7.82     7.82     7.82    3.29  0.321
  C*F                 1     2.78     2.78     2.78    1.17  0.475
  C*G                 1     8.45     8.45     8.45    3.55  0.311
  D*E                 1     0.01     0.01     0.01    0.00  0.970
  D*F                 1     0.85     0.85     0.85    0.36  0.656
  D*G                 1     0.02     0.02     0.02    0.01  0.942
  E*F                 1    14.72    14.72    14.72    6.19  0.243
  E*G                 1     0.11     0.11     0.11    0.05  0.864
  F*G                 1     0.07     0.07     0.07    0.03  0.889
3-Way Interactions   35   176.40   176.40     5.04    2.12  0.503
  A*B*C               1     0.02     0.02     0.02    0.01  0.949
  A*B*D               1     0.50     0.50     0.50    0.21  0.727
  A*B*E               1    20.30    20.30    20.30    8.53  0.210
  A*B*F               1     4.38     4.38     4.38    1.84  0.404
  A*B*G               1    10.30    10.30    10.30    4.33  0.285
  A*C*D               1     3.32     3.32     3.32    1.40  0.447
  A*C*E               1     6.79     6.79     6.79    2.85  0.340
  A*C*F               1     3.70     3.70     3.70    1.55  0.430
  A*C*G               1     4.41     4.41     4.41    1.85  0.403
  A*D*E               1     6.72     6.72     6.72    2.83  0.342
  A*D*F               1     1.16     1.16     1.16    0.49  0.612
  A*D*G               1     0.05     0.05     0.05    0.02  0.908
  A*E*F               1     1.90     1.90     1.90    0.80  0.535
  A*E*G               1     4.29     4.29     4.29    1.80  0.408
```

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองของเครื่องตัดด้วยโปรแกรม MINITAB 16 (ต่อ)

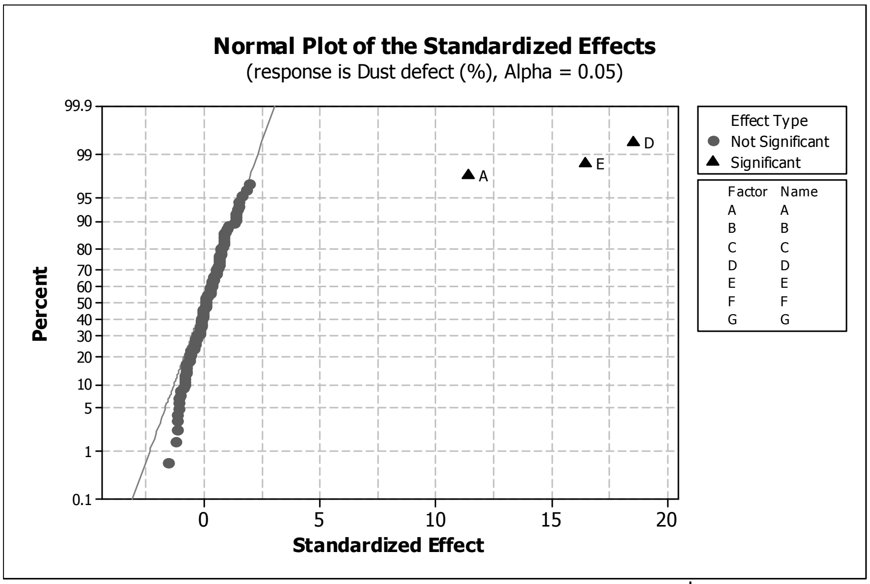
A*F*G	1	4.44	4.44	4.44	1.87	0.402
B*C*D	1	0.05	0.05	0.05	0.02	0.909
B*C*E	1	2.97	2.97	2.97	1.25	0.465
B*C*F	1	2.65	2.65	2.65	1.11	0.483
B*C*G	1	17.15	17.15	17.15	7.21	0.227
B*D*E	1	0.21	0.21	0.21	0.09	0.817
B*D*F	1	0.48	0.48	0.48	0.20	0.730
B*D*G	1	0.06	0.06	0.06	0.02	0.900
B*E*F	1	2.84	2.84	2.84	1.19	0.472
B*E*G	1	3.25	3.25	3.25	1.37	0.451
B*F*G	1	0.05	0.05	0.05	0.02	0.904
C*D*E	1	1.95	1.95	1.95	0.82	0.532
C*D*F	1	0.19	0.19	0.19	0.08	0.824
C*D*G	1	11.95	11.95	11.95	5.02	0.267
C*E*F	1	4.64	4.64	4.64	1.95	0.396
C*E*G	1	0.26	0.26	0.26	0.11	0.797
C*F*G	1	4.40	4.40	4.40	1.85	0.404
D*E*F	1	13.87	13.87	13.87	5.83	0.250
D*E*G	1	23.37	23.37	23.37	9.82	0.197
D*F*G	1	1.16	1.16	1.16	0.49	0.612
E*F*G	1	12.63	12.63	12.63	5.31	0.261
4-Way Interactions	35	101.45	101.45	2.90	1.22	0.629
A*B*C*D	1	5.09	5.09	5.09	2.14	0.382
A*B*C*E	1	0.15	0.15	0.15	0.06	0.844
A*B*C*F	1	5.38	5.38	5.38	2.26	0.374
A*B*C*G	1	7.28	7.28	7.28	3.06	0.331
A*B*D*E	1	3.50	3.50	3.50	1.47	0.439
A*B*D*F	1	3.45	3.45	3.45	1.45	0.441
A*B*D*G	1	0.41	0.41	0.41	0.17	0.750
A*B*E*F	1	0.02	0.02	0.02	0.01	0.936
A*B*E*G	1	1.65	1.65	1.65	0.69	0.558
A*B*F*G	1	3.61	3.61	3.61	1.52	0.434
A*C*D*E	1	5.91	5.91	5.91	2.49	0.360
A*C*D*F	1	1.05	1.05	1.05	0.44	0.627
A*C*D*G	1	4.43	4.43	4.43	1.86	0.403
A*C*E*F	1	3.88	3.88	3.88	1.63	0.423
A*C*E*G	1	0.04	0.04	0.04	0.02	0.922
A*C*F*G	1	0.47	0.47	0.47	0.20	0.735
A*D*E*F	1	0.72	0.72	0.72	0.30	0.679
A*D*E*G	1	3.21	3.21	3.21	1.35	0.452
A*D*F*G	1	3.83	3.83	3.83	1.61	0.425
A*E*F*G	1	0.90	0.90	0.90	0.38	0.650
B*C*D*E	1	14.72	14.72	14.72	6.19	0.243
B*C*D*F	1	7.41	7.41	7.41	3.11	0.328
B*C*D*G	1	0.07	0.07	0.07	0.03	0.895
B*C*E*F	1	0.59	0.59	0.59	0.25	0.706
B*C*E*G	1	0.12	0.12	0.12	0.05	0.861
B*C*F*G	1	2.93	2.93	2.93	1.23	0.467
B*D*E*F	1	1.02	1.02	1.02	0.43	0.631
B*D*E*G	1	2.21	2.21	2.21	0.93	0.512
B*D*F*G	1	0.03	0.03	0.03	0.01	0.933
B*E*F*G	1	0.06	0.06	0.06	0.02	0.901
C*D*E*F	1	0.67	0.67	0.67	0.28	0.690
C*D*E*G	1	1.96	1.96	1.96	0.83	0.531
C*D*F*G	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.952
C*E*F*G	1	12.36	12.36	12.36	5.19	0.263
D*E*F*G	1	2.34	2.34	2.34	0.98	0.503

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองของเครื่องตัดด้วยโปรแกรม MINITAB 16 (ต่อ)

5-Way Interactions	21	59.93	59.93	2.85	1.20	0.628
A*B*C*D*E	1	3.05	3.05	3.05	1.28	0.460
A*B*C*D*F	1	2.32	2.32	2.32	0.98	0.504
A*B*C*D*G	1	1.25	1.25	1.25	0.52	0.601
A*B*C*E*F	1	6.64	6.64	6.64	2.79	0.343
A*B*C*E*G	1	2.75	2.75	2.75	1.16	0.477
A*B*C*F*G	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.991
A*B*D*E*F	1	12.18	12.18	12.18	5.12	0.265
A*B*D*E*G	1	0.05	0.05	0.05	0.02	0.904
A*B*D*F*G	1	0.64	0.64	0.64	0.27	0.696
A*B*E*F*G	1	4.13	4.13	4.13	1.74	0.413
A*C*D*E*F	1	0.05	0.05	0.05	0.02	0.905
A*C*D*E*G	1	0.66	0.66	0.66	0.28	0.692
A*C*D*F*G	1	2.00	2.00	2.00	0.84	0.527
A*C*E*F*G	1	0.03	0.03	0.03	0.01	0.927
A*D*E*F*G	1	2.45	2.45	2.45	1.03	0.495
B*C*D*E*F	1	2.91	2.91	2.91	1.22	0.468
B*C*D*E*G	1	9.02	9.02	9.02	3.79	0.302
B*C*D*F*G	1	0.16	0.16	0.16	0.07	0.838
B*C*E*F*G	1	0.58	0.58	0.58	0.24	0.708
B*D*E*F*G	1	6.92	6.92	6.92	2.91	0.338
C*D*E*F*G	1	2.12	2.12	2.12	0.89	0.518
6-Way Interactions	7	47.36	47.36	6.77	2.84	0.428
A*B*C*D*E*F	1	16.02	16.02	16.02	6.74	0.234
A*B*C*D*E*G	1	16.42	16.42	16.42	6.90	0.232
A*B*C*D*F*G	1	1.24	1.24	1.24	0.52	0.602
A*B*C*E*F*G	1	11.68	11.68	11.68	4.91	0.270
A*B*D*E*F*G	1	0.09	0.09	0.09	0.04	0.879
A*C*D*E*F*G	1	1.18	1.18	1.18	0.49	0.610
B*C*D*E*F*G	1	0.73	0.73	0.73	0.31	0.678
Residual Error	1	2.38	2.38	2.38		
Total	127	5092.38				



ภาพที่ 5.4 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของเครื่องตัด



ภาพที่ 5.5 Normal probability plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของเครื่องตัด

ผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 16 ในตารางที่ 5.4 พิจารณาค่า P-value ของผลหลักของปัจจัยหลัก (Main Effects) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.046 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นหมายถึง ในการทดลองนี้จึงมีผลหลักที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อ จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบในกระบวนการของเครื่องตัด และพิจารณาจากตารางที่ 5.3 และ 5.4 และกราฟภาพที่ 5.4 และ 5.5 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลหลักของระบบการหมุนของใบเลื่อยตัด มีค่า P-value เท่ากับ 0.034 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ระบบการหมุนของใบเลื่อยตัดมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ
2. ผลหลักของรูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI มีค่า P-value เท่ากับ 0.021 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ
3. ผลหลักของลักษณะของท่อฉีดน้ำ DI มีค่า P-value เท่ากับ 0.024 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ลักษณะของท่อฉีดน้ำ DI มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ

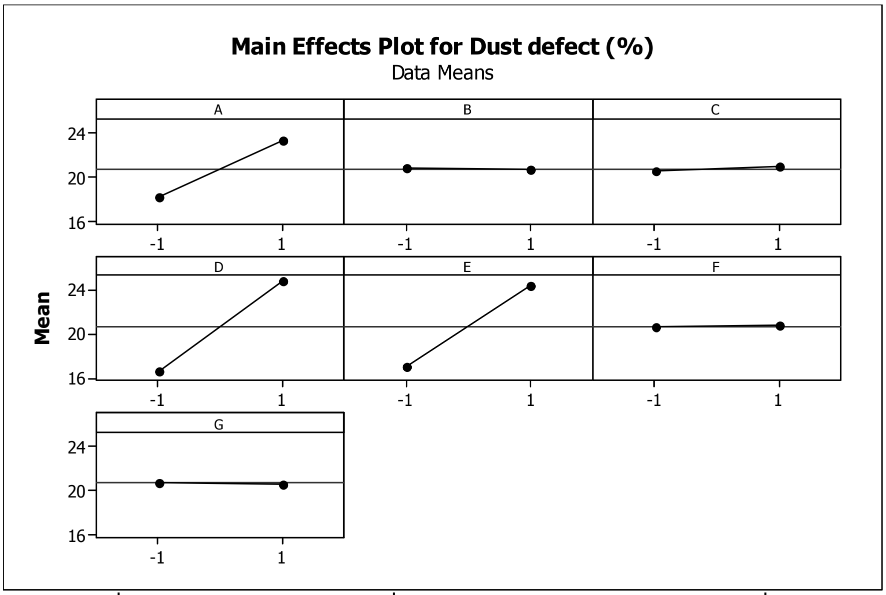
และพิจารณาค่า P-value ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอื่นๆ ในตารางที่ 5.4 พบว่า ไม่มีค่าปัจจัยใดที่มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นหมายถึง ค่าสถิติทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต ดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบในกระบวนการของเครื่องตัด

5.1.3 การจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้นของเครื่องตัด

ในการวิเคราะห์ผลของค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำการศึกษาต่างๆ โดยใช้การจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear regression) และใช้สัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม MINITAB 16 มาแทนค่าลงในสมการความสัมพันธ์ โดยจะใช้ค่าของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการมาใช้ ซึ่งจะได้ผลของสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยในเครื่องตัด โดยใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์ของการทดลองจากตารางที่ 5.3

โดยแทนปัจจัยในการทดลองต่างๆ ด้วยสัญลักษณ์ A-G ในตารางที่ 5.1

$$\text{Dust defect (\%)} = 20.7418 + 2.5216\,A - 0.0387\,B + 0.1946\,C + 4.0880\,D + 0.0252\,F + 3.6335\,E - 0.0870\,G$$

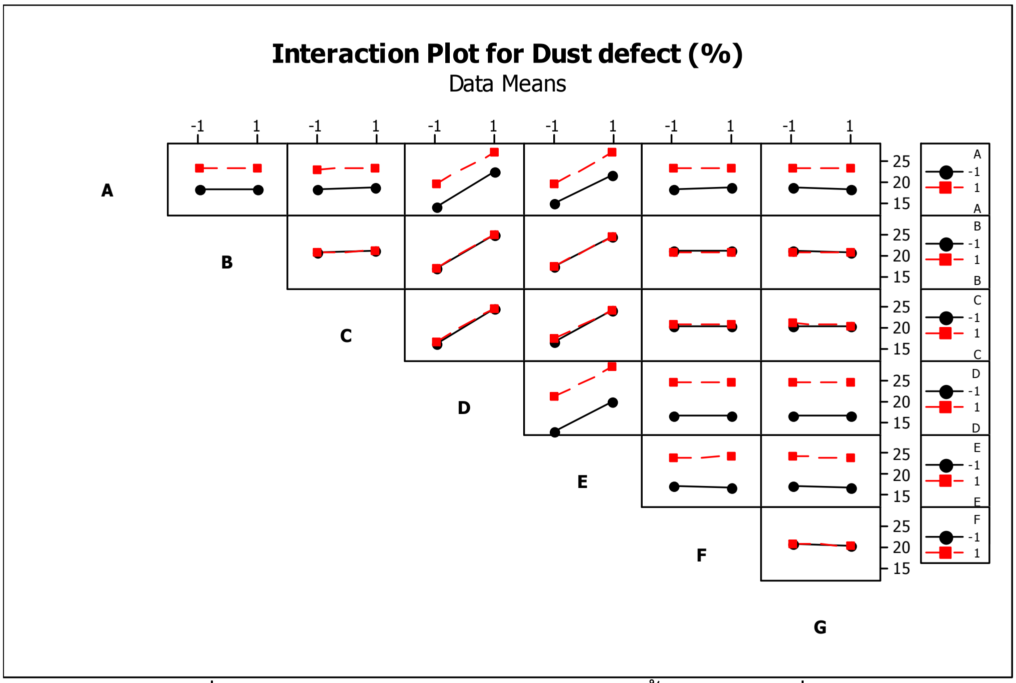


ภาพที่ 5.6 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองของเครื่องตัด

วิเคราะห์ผลของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง คือจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ซึ่งจากภาพที่ 5.6 สามารถหาค่าของปัจจัยที่มีผลตอบสนองมากที่สุดที่ ทำให้ จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ลดลง โดยปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ

1. ระบบการหมุนของใบเลื่อยตัดของเครื่องตัดควรใช้ คมของใบเลื่อยหมุนกดลงที่ผิวกระจก

2. รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI เพื่อล้างฝุ่นหลังการตัด ควรใช้ ฉีดน้ำล้างหลังจากตัดมีดตัดที่ 1 และล้างอีกครั้งหลังจากตัดมีดตัดที่ 2
3. ลักษณะของท่อฉีดน้ำ DI ควรใช้ มุมในการล้าง 0 degree



ภาพที่ 5.7 ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทั้งหมดของเครื่องตัด

วิเคราะห์ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จากภาพที่ 5.7 พบว่า ปัจจัยตัว (B, C, F, G) ไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และแยกเฉพาะปัจจัยที่ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองคือ (A, D, E) ซึ่งได้ผล คือ

ผล “-1” ของปัจจัยระบบการหมุนของใบเลื่อยตัดควรใช้ คมของใบเลื่อยหมุนกดลงที่ผิวกระจก (A) ควรใช้รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI ควรใช้ ฉีดน้ำล้างหลังจากตัดมีดตัดที่ 1 และล้างอีกครั้งหลังจากตัดมีดตัดที่ 2 (D) และลักษณะของท่อฉีดน้ำ DI ควรใช้ มุมในการล้าง 0 องศา มีผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยตัวอื่น ซึ่งทำให้ควรใช้ผล “-1” เพื่อทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด สอดคล้องกับค่าของผลหลักของปัจจัย

แต่เนื่องจากปัจจัยตัวอื่นๆที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทำให้เกิดความเสี่ยงในการใช้งานเพิ่มขึ้น และอาจต้องเพิ่มพลังงานที่ต้องใช้มากขึ้น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จึงกำหนดให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ในค่าที่ใช้งานในปัจจุบัน ดังนั้นค่าที่ควรใช้ คือ

ตารางที่ 5.5 ตารางค่าที่ควรใช้หลังจากการทดลองของเครื่องตัด

ข้อ (No.)	ปัจจัยในการทดลอง (Factor)	ค่าที่ควรใช้ (Improved value)	หน่วย (Units)
1	ระบบการหมุนของใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด	หมุนกด	
2	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	200	mm/s
3	ความสูงของท่อฉีดน้ำ DI	1.2	mm
4	รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI	มีด1+ล้าง+มีด2+ล้าง	
5	ลักษณะของท่อน้ำ DI	0	degree
6	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับพื้นผิวชิ้นงานกระจกวัตถุดิบ	10	mm
7	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ	150	mV

และนำรหัส (-1, 1) ของปัจจัยทั้งสาม แทนลงในสมการของแบบจำลองการถดถอย เพื่อประมาณค่าของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ก่อนการทดลอง จะได้ดังนี้

$$\text{Dust defect (\%)} = 20.7418 + 25.216\,A - 0.0387\,B + 0.1946\,C + 4.0880\,D + 0.0252\,F + 3.6335\,E - 0.0870\,G$$

แต่เนื่องจากค่าปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบต่อปัจจัย มีผลต่อสมการน้อย ดังนั้นจึงสรุป สมการของค่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ จากเครื่องตัด ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{Dust defect (\%)} &= 20.7418 + 2.5216\,A + 4.0880\,D + 3.6335\,E \\ &= 10.4967\ \%\end{aligned}$$

แต่เนื่องจากการทดลองยังต้องผ่านกระบวนการทำงาน อีก 1 เครื่องจักร นั่นคือ เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ดังนั้น ทำการเปรียบเทียบผลของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ หลังจากการทดลองกับเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ

5.1.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยของเครื่องตัด

ทดสอบความมีนัยสำคัญของสมการการถดถอย เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้น โดยสมมติฐานดังนี้

$H_0 : B_1 = B_2 = \ldots = B_x = 0$

H_1 : B1 $\neq$ 0 อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่า

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลอง แสดงผลดังนี้

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองของแบบจำลองการถดถอยของเครื่องตัดด้วยโปรแกรม MINITAB 16

Regression Analysis: Dust defect (%) versus A, D, E

```
The regression equation is
Dust defect (%) = 20.7 + 2.52 A + 4.09 D + 3.63 E


Predictor      Coef  SE Coef       T      P
Constant    20.7418   0.1683  123.27  0.000
A            2.5216   0.1683   14.99  0.000
D            4.0880   0.1683   24.29  0.000
E            3.6335   0.1683   21.59  0.000


S = 1.90375   R-Sq = 91.2%   R-Sq(adj) = 91.0%


Analysis of Variance

Source           DF      SS      MS       F      P
Regression        3  4643.0  1547.7  427.03  0.000
Residual Error  124   449.4     3.6
Total           127  5092.4
```

จากตารางที่ 5.6 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Sq) มีค่าเท่ากับ 91.2% หมายความว่าความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 91.2% และค่าของ R-Sq(adj) มีค่าเท่ากับ 91.0% มีค่าใกล้เคียงกับค่า R-Sq แสดงว่า มีโอกาสน้อยที่จะพบว่ามีพจน์ที่ไม่มีนัยสำคัญได้ถูกเติมลงไปในแบบจำลองและวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นหมายถึง ในแบบจำลองการถดถอยของเครื่องตัดที่สร้างขึ้นมามีนัยสำคัญของการถดถอยที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

และนำกระจกทดลองที่ใช้ส่งต่อไปยังเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ เพื่อทำการทดลองต่อไป

5.2 ผลการทดลองในตารางออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการเคลื่อนที่

ในการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม เพื่อให้การออกแบบการทดลองทำได้ง่ายขึ้น สรุปได้ง่ายขึ้น เพราะแบ่งการทดลองในการทำงานที่เกี่ยวข้องกันไว้อย่างชัดเจน โดย

กลุ่มที่ 1 กลุ่มของพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน และ

กลุ่มที่ 2 กลุ่มของการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

ในกลุ่มที่ 1 ตารางการออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มของพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน ซึ่งตารางการออกแบบการทดลอง จากโปรแกรม MINITAB 16 และแทนปัจจัยในการทดลองด้วยสัญลักษณ์ให้กับปัจจัยต่างๆในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน ดังนี้

ตารางที่ 5.7 ตารางการแทนค่าสัญลักษณ์ของตัวแปรปัจจัยในการทดลอง ของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ กลุ่มของพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

ข้อ	ปัจจัยในการทดลอง	สัญลักษณ์
1	ความเร็วของแท่นเข็มแทง ดันกระจกวัตถุดิบให้สูงขึ้นและหลุดออกจากแผ่นชีทกาว	A
2	ความเร็วในการตัวจับชิ้นงานลงมาจับกระจกวัตถุดิบ	B
3	ระยะเคลื่อนที่ขึ้นของแท่นเข็มแทง ดันกระจกวัตถุดิบ①	C
4	ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงาน เคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมา②	D
5	ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมา③	E

ซึ่งตารางการออกแบบการทดลอง จากโปรแกรม MINITAB 16 ทำการสุ่มการทดลองให้ ดังนี้

ตารางที่ 5.8 การออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

No.	StdOrder	CenterPt	Blocks	Factor					Dust Defect (%)
				A	B	C	D	E	
1	17	1	1	-1	-1	-1	-1	1	14.22
2	12	1	1	1	1	-1	1	-1	9.32
3	9	1	1	-1	-1	-1	1	-1	10.46
4	3	1	1	-1	1	-1	-1	-1	16.58
5	31	1	1	-1	1	1	1	1	151500
6	18	1	1	1	-1	-1	-1	1	11.42
7	29	1	1	-1	-1	1	1	1	15.54
8	30	1	1	1	-1	1	1	1	16.55
9	2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	14.33
10	19	1	1	-1	1	-1	-1	1	17.22
11	8	1	1	1	1	1	-1	-1	21.58
12	23	1	1	-1	1	1	-1	1	22.67
13	13	1	1	-1	-1	1	1	-1	16.54
14	5	1	1	-1	-1	1	-1	-1	22.65
15	4	1	1	1	1	-1	-1	-1	16.89
16	24	1	1	1	1	1	-1	1	21.54
17	15	1	1	-1	1	1	1	-1	17.33
18	7	1	1	-1	1	1	-1	-1	23.68
19	27	1	1	-1	1	-1	1	1	10.99
20	6	1	1	1	-1	1	-1	-1	25.33
21	16	1	1	1	1	1	1	-1	18.55
22	32	1	1	1	1	1	1	1	16.65
23	22	1	1	1	-1	1	-1	1	24.76
24	21	1	1	-1	-1	1	-1	1	20.60
25	14	1	1	1	-1	1	1	-1	15.76
26	26	1	1	1	-1	-1	1	1	10.27
27	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	16.79
28	11	1	1	-1	1	-1	1	-1	9.47
29	20	1	1	1	1	-1	-1	1	15.41
30	28	1	1	1	1	-1	1	1	12.75

ตารางที่ 5.8 การออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน (ต่อ)

No.	StdOrder	CenterPt	Blocks	Factor					Dust Defect (%)
				A	B	C	D	E	
31	25	1	1	-1	-1	-1	1	1	9.42
32	10	1	1	1	-1	-1	1	-1	10.87

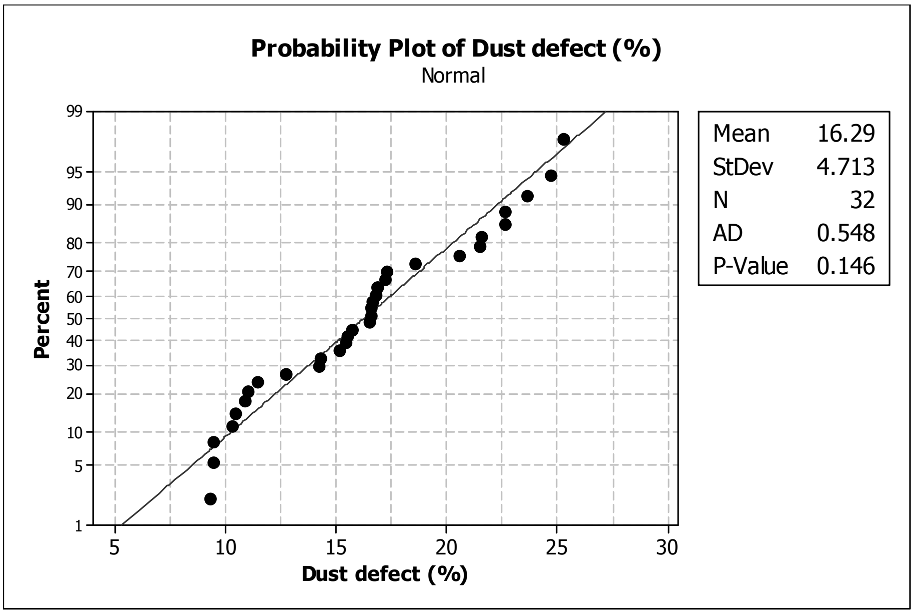
5.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่

1) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ สมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ทดสอบได้โดยการพล็อตใน Normal probability plot เป็นการพล็อตค่าตัวแปรตอบสนองเป็นจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบที่ถูกเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามากในแกน X ซึ่งมีหน่วยเป็นอัตราร้อยละ เทียบกับค่าความน่าจะเป็นสะสมโดยคิดค่าความน่าจะเป็นในอัตราร้อยละ ในแกน Y ซึ่งในส่วนของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงานแสดงในภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.8 Normality plot ของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบที่เกิดขึ้นในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

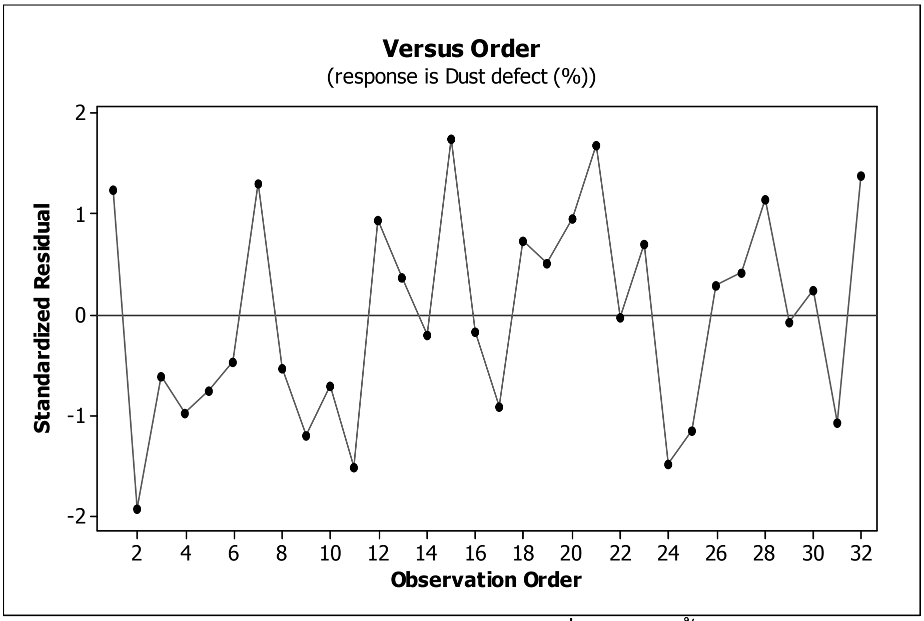
จากภาพที่ 5.8 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเบี่ยงเบนของข้อมูล พิจารณาจากค่า P-value =0.146 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบสมมติฐานของการสุ่มของข้อมูล สมมติฐานในการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

H_0 : ลำดับข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

ทดสอบโดยแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 5.9



ภาพที่ 5.9 แผนภาพการกระจายระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับลำดับการเก็บข้อมูลของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

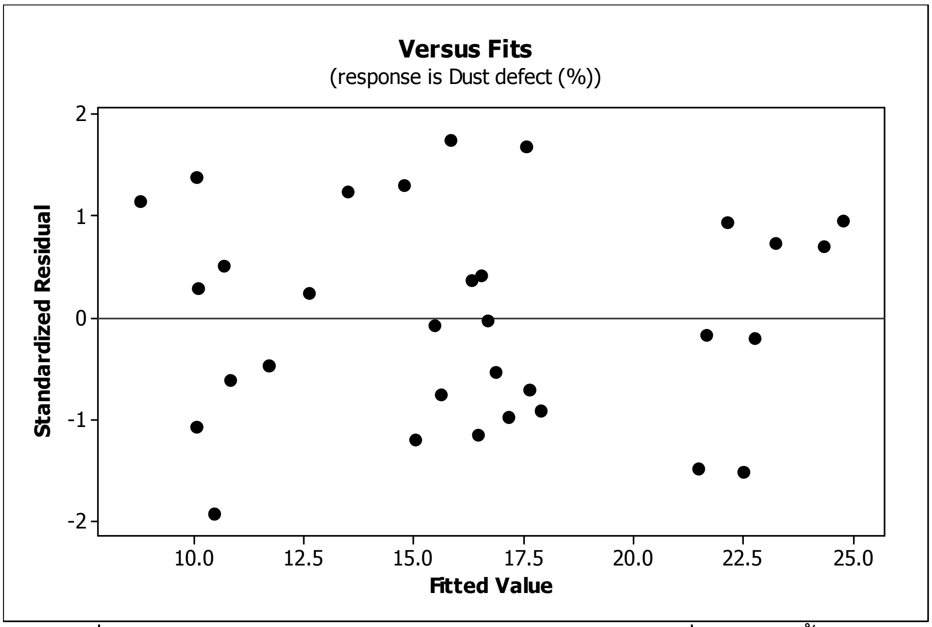
พบว่าข้อมูลของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ มีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่อยู่ในรูปแบบลักษณะใดๆ ดังนั้นจึง ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ลำดับข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองอยู่ภายใต้สภาวะความสุ่ม

3) การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สมมติฐานในการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

H_0 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

H_1 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ทดสอบโดยแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ของข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 5.10



ภาพที่ 5.10 แผนภาพการกระจายระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับค่าที่ถูกฟิตของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

ข้อมูลของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบมีการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้นจึง ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

5.2.2 **การวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบในกลุ่มพารามิเตอร์ต่าง ๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน**

โดยการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB 16 สามารถวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง แสดงผลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง

ตารางที่ 5.9 การประมาณค่าผลกระทบและสัมประสิทธิ์ของการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน ด้วยโปรแกรม MINITAB 16

Factorial Fit: Dust defect (%) versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for Dust defect (%) (coded units)

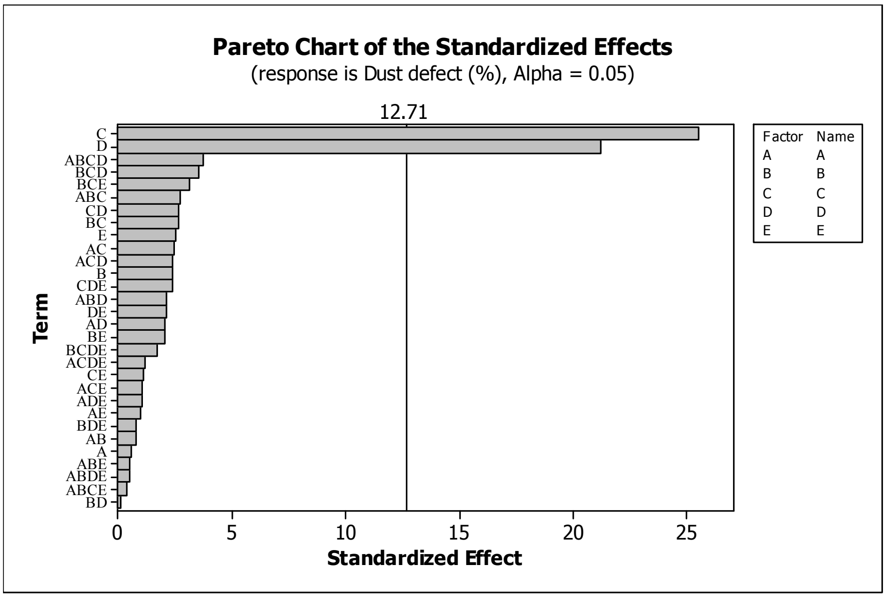
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		16.290	0.1328	122.66	0.005
A	0.167	0.083	0.1328	0.63	0.643
B	0.642	0.321	0.1328	2.42	0.250
C	6.779	3.390	0.1328	25.52	0.025
D	-5.628	-2.814	0.1328	-21.19	0.030
E	-0.686	-0.343	0.1328	-2.58	0.235
A*B	-0.217	-0.108	0.1328	-0.82	0.564
A*C	0.653	0.327	0.1328	2.46	0.246
A*D	0.561	0.280	0.1328	2.11	0.282
A*E	0.276	0.138	0.1328	1.04	0.488
B*C	-0.714	-0.357	0.1328	-2.69	0.227
B*D	-0.042	-0.021	0.1328	-0.16	0.900
B*E	0.558	0.279	0.1328	2.10	0.283
C*D	-0.714	-0.357	0.1328	-2.69	0.227
C*E	-0.309	-0.155	0.1328	-1.16	0.452
D*E	0.563	0.282	0.1328	2.12	0.281
A*B*C	-0.731	-0.365	0.1328	-2.75	0.222
A*B*D	0.572	0.286	0.1328	2.15	0.277
A*B*E	-0.146	-0.073	0.1328	-0.55	0.681
A*C*D	-0.643	-0.322	0.1328	-2.42	0.249
A*C*E	0.289	0.145	0.1328	1.09	0.473
A*D*E	0.277	0.138	0.1328	1.04	0.487
B*C*D	0.937	0.468	0.1328	3.53	0.176
B*C*E	-0.846	-0.423	0.1328	-3.18	0.194
B*D*E	-0.218	-0.109	0.1328	-0.82	0.562
C*D*E	-0.641	-0.320	0.1328	-2.41	0.250
A*B*C*D	0.998	0.499	0.1328	3.76	0.166
A*B*C*E	-0.107	-0.053	0.1328	-0.40	0.756
A*B*D*E	0.141	0.070	0.1328	0.53	0.690
A*C*D*E	-0.324	-0.162	0.1328	-1.22	0.437
B*C*D*E	-0.462	-0.231	0.1328	-1.74	0.332

S = 0.751301   PRESS = 578
R-Sq = 99.92%   R-Sq(pred) = 16.07%   R-Sq(adj) = 97.46%

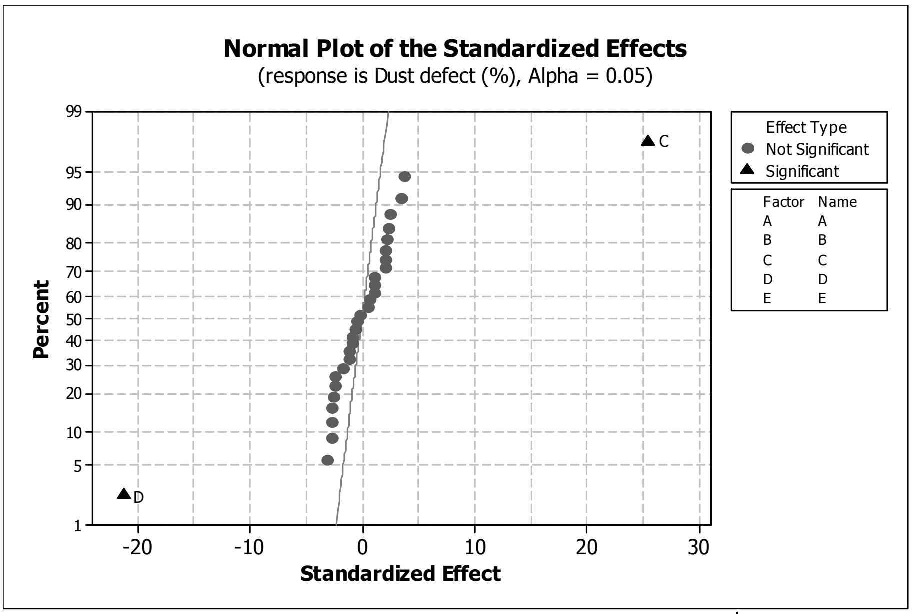
ตารางที่ 5.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน ด้วยโปรแกรม MINITAB 16

Analysis of Variance for Dust defect (%) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	628.365	628.365	125.673	222.65	0.051
A	1	0.223	0.223	0.223	0.39	0.643
B	1	3.296	3.296	3.296	5.84	0.250
C	1	367.679	367.679	367.679	651.39	0.025
D	1	253.406	253.406	253.406	448.94	0.030
E	1	3.761	3.761	3.761	6.66	0.235
2-Way Interactions	10	20.885	20.885	2.088	3.70	0.386
A*B	1	0.376	0.376	0.376	0.67	0.564
A*C	1	3.413	3.413	3.413	6.05	0.246
A*D	1	2.514	2.514	2.514	4.45	0.282
A*E	1	0.608	0.608	0.608	1.08	0.488
B*C	1	4.083	4.083	4.083	7.23	0.227
B*D	1	0.014	0.014	0.014	0.02	0.900
B*E	1	2.492	2.492	2.492	4.41	0.283
C*D	1	4.083	4.083	4.083	7.23	0.227
C*E	1	0.766	0.766	0.766	1.36	0.452
D*E	1	2.537	2.537	2.537	4.49	0.281
3-Way Interactions	10	28.055	28.055	2.805	4.97	0.337
A*B*C	1	4.271	4.271	4.271	7.57	0.222
A*B*D	1	2.616	2.616	2.616	4.64	0.277
A*B*E	1	0.170	0.170	0.170	0.30	0.681
A*C*D	1	3.309	3.309	3.309	5.86	0.249
A*C*E	1	0.670	0.670	0.670	1.19	0.473
A*D*E	1	0.613	0.613	0.613	1.09	0.487
B*C*D	1	7.022	7.022	7.022	12.44	0.176
B*C*E	1	5.721	5.721	5.721	10.13	0.194
B*D*E	1	0.381	0.381	0.381	0.67	0.562
C*D*E	1	3.283	3.283	3.283	5.82	0.250
4-Way Interactions	5	10.768	10.768	2.154	3.82	0.370
A*B*C*D	1	7.970	7.970	7.970	14.12	0.166
A*B*C*E	1	0.091	0.091	0.091	0.16	0.756
A*B*D*E	1	0.158	0.158	0.158	0.28	0.690
A*C*D*E	1	0.842	0.842	0.842	1.49	0.437
B*C*D*E	1	1.707	1.707	1.707	3.02	0.332
Residual Error	1	0.564	0.564	0.564		
Total	31	688.637				



ภาพที่ 5.11 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน



ภาพที่ 5.12 Normal probability plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

ผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 16 ในตารางที่ 5.10 พิจารณาค่า P-value ของผลหลักของปัจจัยหลัก (Main Effects) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.040 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นหมายถึง ในการทดลองนี้จึงมีผลหลักที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อ จำนวนของเสียที่มีฝุ่น

ปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ในกระบวนการของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ และพิจารณาจากตารางที่ 5.9 และ 5.10 และกราฟภาพที่ 5.11 และ 5.12 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลหลักของระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงาน เคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมา มีค่า P-value เท่ากับ 0.025 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงาน เคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมา มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ
2. ผลหลักของระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมา มีค่า P-value เท่ากับ 0.030 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมา มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ

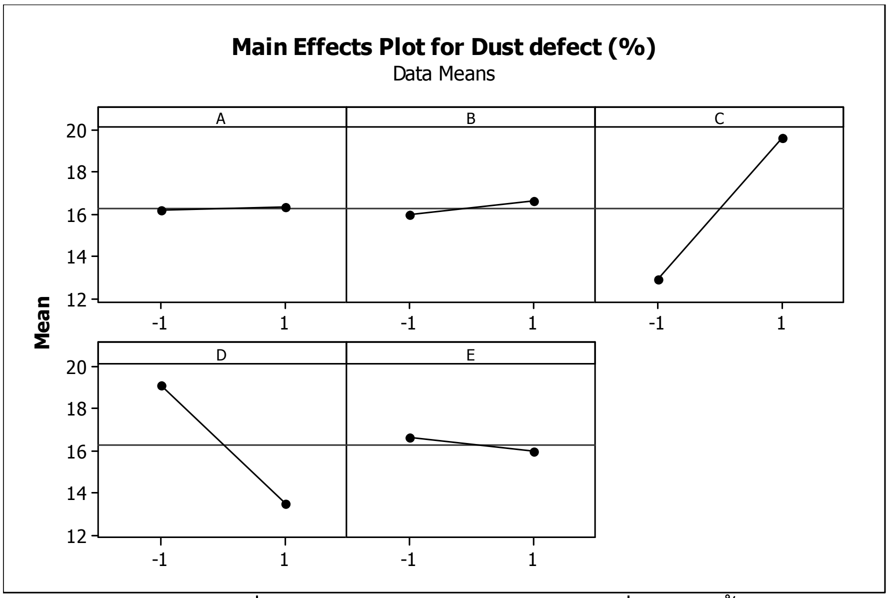
และพิจารณาค่า P-value ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอื่นๆ ในตารางที่ 5.10 พบว่า ไม่มีค่าปัจจัยใดที่มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นหมายถึง ค่าสถิติทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต ดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ในกระบวนการของแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

5.2.3 การจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้นของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่าง ๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

ในการวิเคราะห์ผลของค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำการศึกษาต่างๆ โดยใช้การจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear regression) และใช้สัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม MINITAB 16 มาแทนค่าลงในสมการความสัมพันธ์ ได้ผลของสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน โดยใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์ของการทดลองจากตารางที่ 5.9

โดยแทนปัจจัยในการทดลองต่างๆ ด้วยสัญลักษณ์ A-G ในตารางที่ 5.7

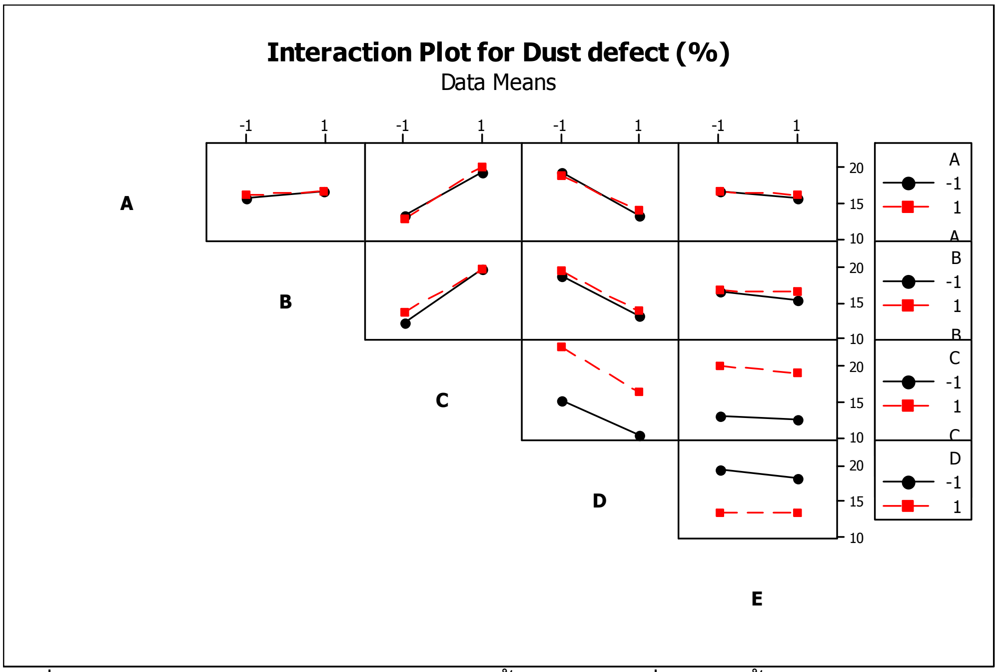
Dust defect (%) = 16.2903 + 0.0834 A + 0.3209 B + 3.3897 C – 2.8141 D – 0.3428 E



ภาพที่ 5.13 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

วิเคราะห์ผลของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง สามารถหาค่าของปัจจัยที่มีผลตอบสนองมากที่สุดที่ ทำให้จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบลดลง โดย 2 ปัจจัย คือ

1. ระยะ 2 มม. เคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงาน เคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมา
2. ระยะ 25 มม. เคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมา



ภาพที่ 5.14 ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทั้งหมดของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

วิเคราะห์ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จากภาพที่ 5.14 พบว่า ปัจจัยตัว (A, B, E) ไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และแยกเฉพาะปัจจัยที่ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองคือ (C, D) ซึ่งได้ผล คือ

ผล “-1” ของปัจจัยระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงาน เคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมาในระยะ 2 มม. (C) มีผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยตัวอื่น ซึ่งทำให้ควรใช้ผล “-1” เพื่อทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด สอดคล้องกับค่าของผลหลักของปัจจัย

ผล “1” ของระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมาในระยะ 25 มม. (D) มีผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยตัวอื่น ซึ่งทำให้ควรใช้ผล “1” เพื่อทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด สอดคล้องกับค่าของผลหลักของปัจจัย

แต่เนื่องจากปัจจัยตัวอื่นๆที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทำให้เกิดความเสี่ยงในการใช้งานเพิ่มขึ้น และอาจต้องเพิ่มพลังงานที่ต้องใช้มากขึ้น ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จึงกำหนดให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ในค่าที่ใช้งานในปัจจุบัน ดังนั้นค่าที่ควรใช้หลังการปรับปรุง คือ

ตารางที่ 5.11 ตารางค่าที่ควรใช้หลังจากการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

ข้อ (No.)	ปัจจัยในการทดลอง (Factor)	ค่าที่ควรใช้ (Improved value)	หน่วย (Units)
1	ความเร็วของแท่นเข็มแทง ดันกระจกวัตถุดิบให้สูงขึ้นและหลุดออกจากแผ่นชีทกาว	85	pps
2	ความเร็วในการตัวจับชิ้นงานลงมาจับกระจกวัตถุดิบ	100	pps
3	ระยะเคลื่อนที่ขึ้นของแท่นเข็มแทง ดันกระจกวัตถุดิบ①	2	mm
4	ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงาน เคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมา②	25	mm
5	ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมา③	20	mm

และนำรหัส (-1, 1) ของปัจจัยทั้งสอง แทนลงในสมการของแบบจำลองการถดถอย เพื่อประมาณค่าของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ก่อนการทดลอง จะได้ดังนี้

$$\text{Dust defect (\%)} = 16.2903 + 0.0834\,A + 0.3209\,B + 3.3897\,C - 2.8141\,D - 0.3428\,E$$

แต่เนื่องจากค่าปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบต่อปัจจัย มีผลต่อสมการน้อย ดังนั้นจึงสรุป สมการของค่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ จากเครื่องตัด ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{Dust defect (\%)} &= 16.2903 + 3.3897\,C - 2.8141\,D \\ &= 10.0865\ \%\end{aligned}$$

และทำการทดลองในส่วนการทดลองกลุ่มที่ 2 ถัดไป

5.2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่าง ๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน

ทดสอบความมีนัยสำคัญของสมการการถดถอย เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้น โดยสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : B_1 = B_2 = \ldots = B_x = 0$$

H_1 : B1 $\neq$ 0 อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่า

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลอง แสดงผลดังนี้

ตารางที่ 5.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองของแบบจำลองการถดถอยของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน ด้วยโปรแกรม MINITAB 16

Regression Analysis: Dust defect (%) versus C, D

```
The regression equation is
Dust defect (%) = 16.3 + 3.39 C - 2.81 D


Predictor      Coef  SE Coef       T      P
Constant    16.2903   0.2698   60.38  0.000
C            3.3897   0.2698   12.56  0.000
D           -2.8141   0.2698  -10.43  0.000


S = 1.52623   R-Sq = 90.2%   R-Sq(adj) = 89.5%


Analysis of Variance

Source          DF      SS      MS       F      P
Regression       2  621.09  310.54  133.32  0.000
Residual Error  29   67.55    2.33
Total           31  688.64
```

จากตารางที่ 5.12 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Sq) มีค่าเท่ากับ 90.2% หมายความว่าความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 90.2% และค่าของ R-Sq(adj) มีค่าเท่ากับ 89.5% มีค่าใกล้เคียงกับ ค่า R-Sq แสดงว่า มีโอกาสน้อยที่จะพบว่ามีพจน์ที่ไม่มีนัยสำคัญได้ถูกเติมลงไปในแบบจำลอง และวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า

0.05 นั่น หมายถึง ในแบบจำลองการถดถอยที่สร้างขึ้นมามีนัยสำคัญของการถดถอยที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

และนำกระจกวัตถุดิบที่ได้หลังการทดลอง ใช้ในการทดลองถัดของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มของการใช้งานท่อลมทำความสะอาด ต่อไป

5.3 ผลการทดลองในตารางออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

ในกลุ่มที่ 2 ตารางการออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มของการใช้งานท่อลมทำความสะอาด เป็นกลุ่มการทดลองที่อยู่ในกระบวนการการทำงานท้ายสุดของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบวัตถุดิบ ซึ่งตารางการออกแบบการทดลอง จากโปรแกรม MINITAB 16 และแทนปัจจัยในการทดลองด้วยสัญลักษณ์ ให้กับปัจจัยต่างๆในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน ดังนี้

ตารางที่ 5.13 ตารางการแทนค่าสัญลักษณ์ของตัวแปรปัจจัยในการทดลอง ของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ กลุ่มของการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

ข้อ	ปัจจัยในการทดลอง	สัญลักษณ์
1	อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน	A
2	อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง	B
3	ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน	C
4	ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง	D

ซึ่งตารางการออกแบบการทดลอง จากโปรแกรม MINITAB 16 ทำการสุ่มการทดลองให้ ดังนี้

ตารางที่ 5.14 การออกแบบการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มของการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

No	StdOrder	CenterPt	Blocks	Factor				Dust Defect (%)
				A	B	C	D	
1	16	1	1	1	1	1	1	13.52
2	12	1	1	1	1	-1	1	7.86
3	10	1	1	1	-1	-1	1	13.48
4	2	1	1	1	-1	-1	-1	9.88
5	4	1	1	1	1	-1	-1	7.58
6	1	1	1	-1	-1	-1	-1	12.37
7	11	1	1	-1	1	-1	1	11.88
8	3	1	1	-1	1	-1	-1	10.56
9	14	1	1	1	-1	1	1	16.33
10	15	1	1	-1	1	1	1	14.89
11	6	1	1	1	-1	1	-1	12.87
12	7	1	1	-1	1	1	-1	10.76
13	5	1	1	-1	-1	1	-1	15.73
14	8	1	1	1	1	1	-1	8.65
15	9	1	1	-1	-1	-1	1	16.09
16	13	1	1	-1	-1	1	1	18.72

5.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

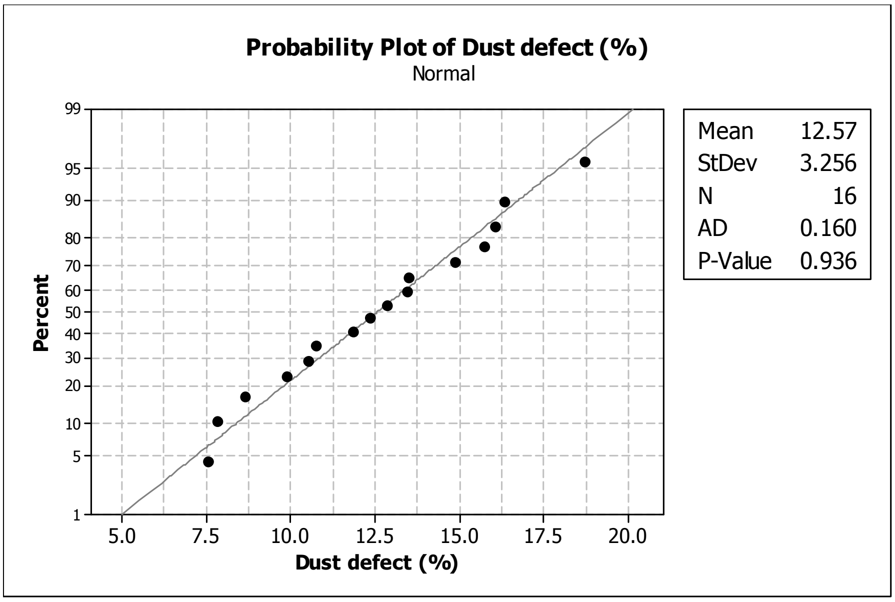
1) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ สมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ทดสอบได้โดยการพล็อตใน Normal probability plot เป็นการพล็อตค่าตัวแปรตอบสนองเป็นจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบที่ถูกเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามากในแกน X ซึ่งมีหน่วยเป็นอัตราร้อยละ เทียบกับค่าความน่าจะเป็นสะสม

โดยคิดค่าความน่าจะเป็นในอัตราร้อยละ ในแกน Y ซึ่งในส่วนของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด ดังแสดงในภาพที่ 5.15



ภาพที่ 5.15 Normality plot ของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบที่เกิดขึ้นในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

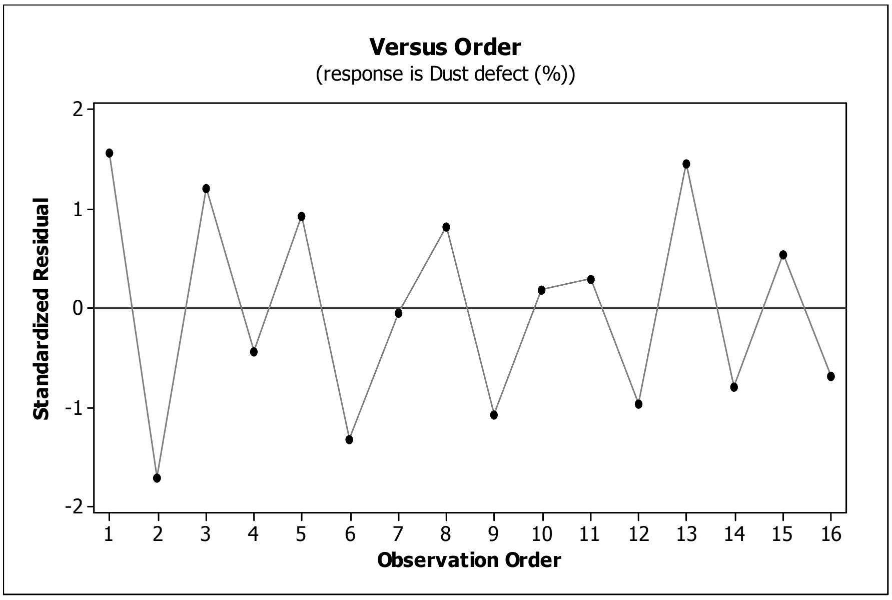
จากภาพที่ 5.15 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเบี่ยงเบนของข้อมูล พิจารณาจากค่า P-value =0.936 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบสมมติฐานของการสุ่มของข้อมูล สมมติฐานในการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

H_0 : ลำดับข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

ทดสอบแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 5.16



ภาพที่ 5.16 แผนภาพการกระจายระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับลำดับการเก็บข้อมูลของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

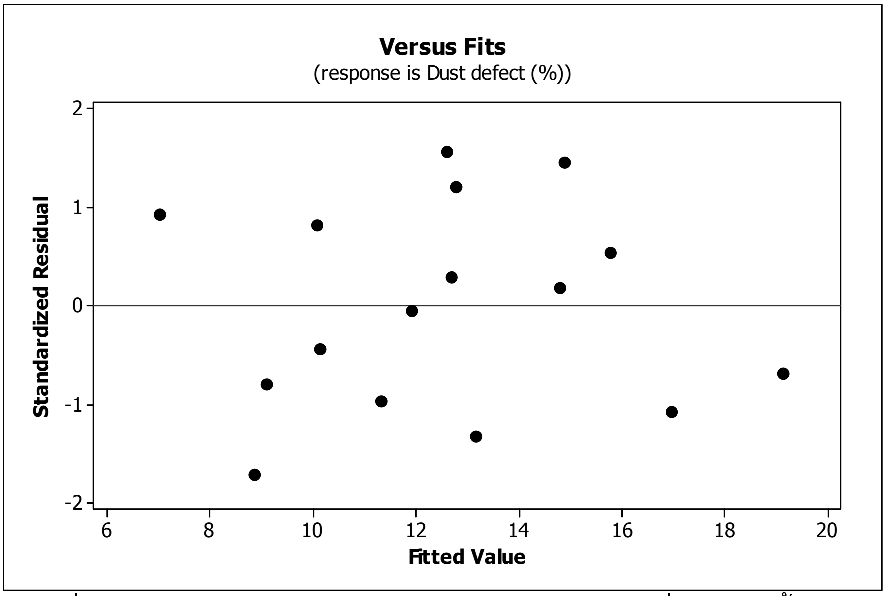
พบว่าข้อมูลของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ มีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่อยู่ในรูปแบบลักษณะใดๆ ดังนั้นจึง ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ลำดับข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองอยู่ภายใต้สภาวะความสุ่ม

3) การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สมมติฐานในการทดสอบสมมติฐานในการทดสอบของแบบจำลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

H_0 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

H_1 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ทดสอบโดยแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ของข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 5.17



ภาพที่ 5.17 แผนภาพการกระจายระหว่างจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบกับค่าที่ถูกฟิตของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

ข้อมูลของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ มีการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้นจึง ปฏิเสธสมมุติฐาน H_1 และรับสมมุติฐาน H_0 : ค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

5.3.2 **การวิเคราะห์ผลการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด**

โดยการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB 16 สามารถวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง แสดงผลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง

ตารางที่ 5.15 การประมาณค่าผลกระทบและสัมประสิทธิ์ของการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด ด้วยโปรแกรม MINITAB 16

Factorial Fit: Dust defect (%) versus A, B, C, D

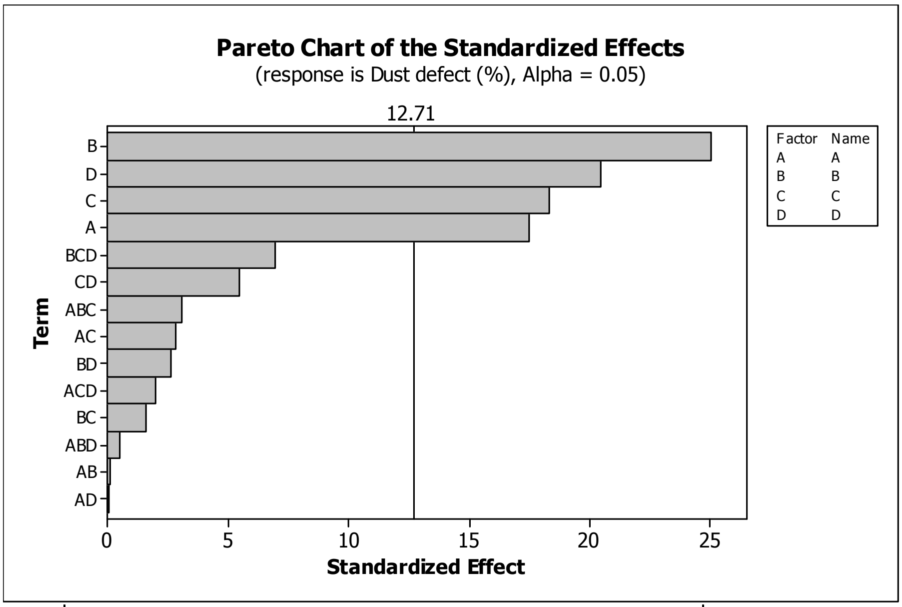
```
Estimated Effects and Coefficients for Dust defect (%) (coded units)
Term      Effect    Coef  SE Coef       T      P
Constant          12.573  0.07437  169.05  0.004
A         -2.604  -1.302  0.07437  -17.50  0.036
B         -3.721  -1.861  0.07437  -25.02  0.025
C          2.721   1.361  0.07437   18.29  0.035
```

ตารางที่ 5.15 การประมาณค่าผลกระทบและสัมประสิทธิ์ของการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด ด้วยโปรแกรม MINITAB 16 (ต่อ)

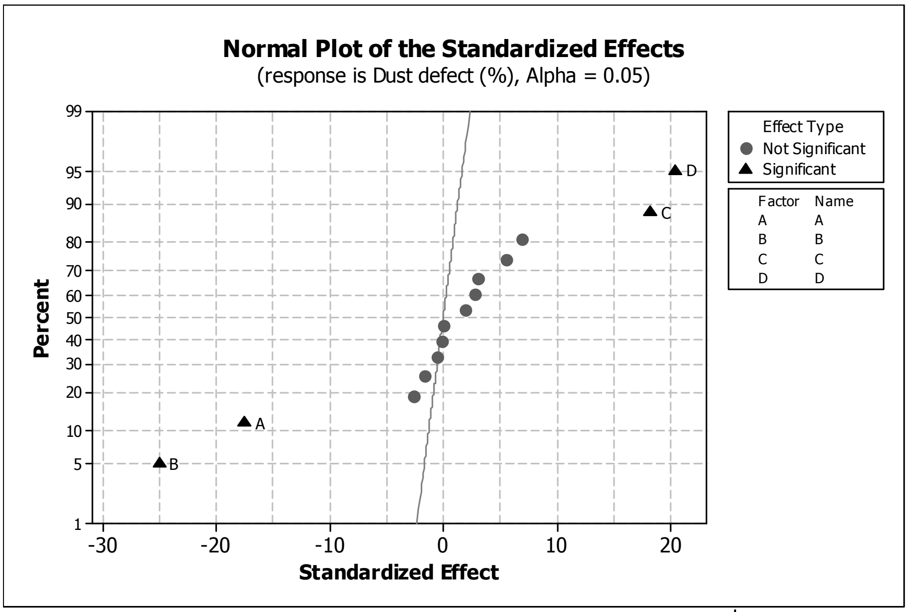
```
D          3.046   1.523  0.07437   20.48  0.031
A*B       -0.016  -0.008  0.07437   -0.11  0.931
A*C        0.421   0.211  0.07437    2.83  0.216
A*D        0.006   0.003  0.07437    0.04  0.973
B*C       -0.236  -0.118  0.07437   -1.59  0.358
B*D       -0.396  -0.198  0.07437   -2.66  0.229
C*D        0.816   0.408  0.07437    5.49  0.115
A*B*C      0.459   0.229  0.07437    3.08  0.200
A*B*D     -0.081  -0.041  0.07437   -0.55  0.682
A*C*D      0.296   0.148  0.07437    1.99  0.296
B*C*D      1.034   0.517  0.07437    6.95  0.091


S = 0.2975      PRESS = 22.6576
R-Sq = 99.94%   R-Sq(pred) = 85.76%   R-Sq(adj) = 99.17%
```

ตารางที่ 5.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด ด้วยโปรแกรม MINITAB 16

```
Analysis of Variance for Dust defect (%) (coded units)

Source              DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS       F      P
Main Effects         4  149.248  149.248  37.3121  421.58  0.037
  A                  1   27.118   27.118  27.1181  306.40  0.036
  B                  1   55.391   55.391  55.3908  625.84  0.025
  C                  1   29.621   29.621  29.6208  334.67  0.035
  D                  1   37.119   37.119  37.1186  419.39  0.031
2-Way Interactions   6    4.227    4.227   0.7046    7.96  0.265
  A*B                1    0.001    0.001   0.0011    0.01  0.931
  A*C                1    0.710    0.710   0.7098    8.02  0.216
  A*D                1    0.000    0.000   0.0002    0.00  0.973
  B*C                1    0.223    0.223   0.2233    2.52  0.358
  B*D                1    0.628    0.628   0.6281    7.10  0.229
  C*D                1    2.665    2.665   2.6651   30.11  0.115
3-Way Interactions   4    5.494    5.494   1.3735   15.52  0.188
  A*B*C              1    0.842    0.842   0.8418    9.51  0.200
  A*B*D              1    0.026    0.026   0.0264    0.30  0.682
  A*C*D              1    0.351    0.351   0.3511    3.97  0.296
  B*C*D              1    4.275    4.275   4.2746   48.30  0.091
Residual Error       1    0.089    0.089   0.0885
Total               15  159.058
```



ภาพที่ 5.18 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด



ภาพที่ 5.19 Normal probability plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

ผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB 16 ในตารางที่ 5.16 พิจารณาค่า P-value ของผลหลักของปัจจัยหลัก (Main Effects) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.037 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นหมายถึง ในการทดลองนี้จึงมีผลหลักที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อ จำนวนของเสียที่มีฝุ่น

ปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ในกระบวนการของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบกลุ่ม การใช้งานท่อลมทำความสะอาด และพิจารณาจากตารางที่ 5.15 และ 5.16 และกราฟภาพที่ 5.18 และ 5.19 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ผลหลักของอัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน มีค่า P-value เท่ากับ 0.036 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ
2. ผลหลักของอัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง มีค่า P-value เท่ากับ 0.025 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่างมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ
3. ผลหลักของความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน มีค่า P-value เท่ากับ 0.035 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ
4. ผลหลักของความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง มีค่า P-value เท่ากับ 0.031 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ

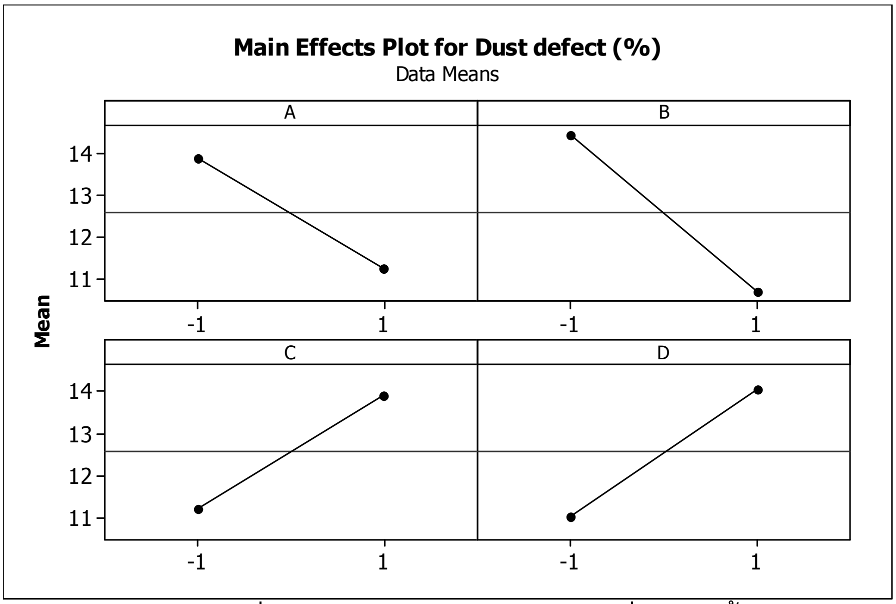
และพิจารณาค่า P-value ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอื่นๆ ในตารางที่ 5.16 พบว่า ไม่มีค่าปัจจัยใดที่มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นหมายถึง ค่าสถิติทดสอบมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต ดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ในกระบวนการของแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

5.3.3 การจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้นของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

ผลของสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด โดยใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์ของการทดลองจากตารางที่ 5.15

โดยแทนปัจจัยในการทดลองต่างๆ ด้วยสัญลักษณ์ A-G ในตารางที่ 5.13

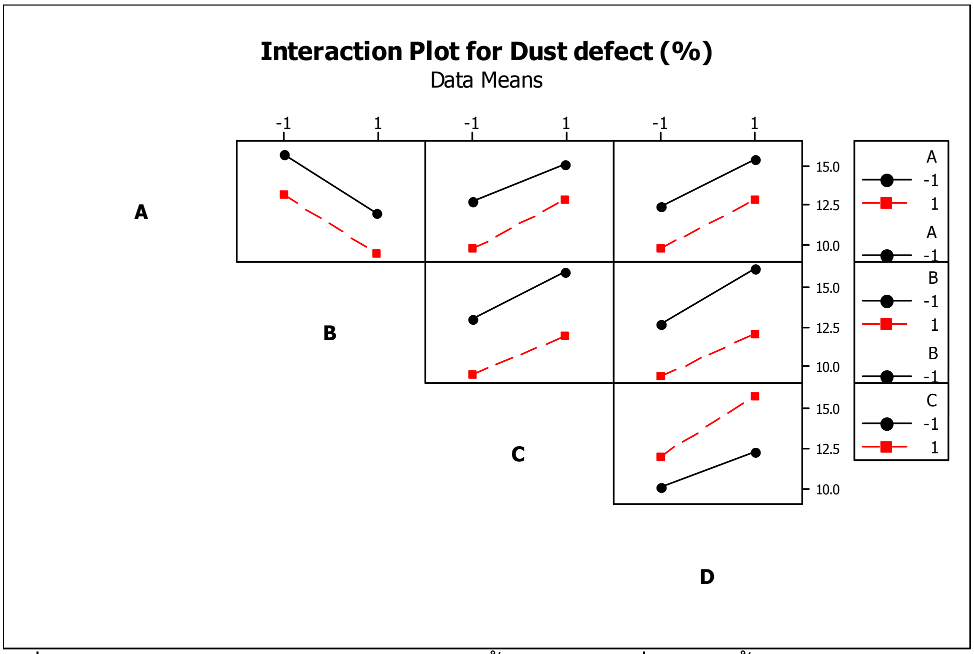
Dust defect (%) = 12.5731 – 1.3019 A – 1.8606 B + 1.3606 C + 1.5231 D



ภาพที่ 5.20 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

วิเคราะห์ผลของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง สามารถหาค่าของปัจจัยที่มีผลตอบสนองมากที่สุดที่ ทำให้ จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบลดลง โดยทั้ง 4 ปัจจัย คือ

1. อัตราการเป่าลม 90 มม^3./วินาที ของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน
2. อัตราการเป่าลม 90 มม^3./วินาที ของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง
3. ความสูง 0.5 มม. ของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน
4. ความสูง 0.5 มม. ของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง



ภาพที่ 5.21 ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทั้งหมดของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

วิเคราะห์ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง จากภาพที่ 5.14 พบว่าปัจจัยทุกปัจจัยมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ได้ผล คือ

ผล “-1” ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบนขนาด 0.5 มม. (C) และความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่างขนาด 0.5 มม. (D) เพื่อทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าของผลหลักของปัจจัย

ผล “1” อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน 90 มม^3./วินาที (A) และอัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง 90 มม^3./วินาที (B) เพื่อทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าของผลหลักของปัจจัย

จะให้ผลจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบน้อย ตามที่สรุปไว้ และใช้ค่าของปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบตามค่าเดิมในปัจจุบัน ดังนั้นค่าที่ควรใช้หลังการปรับปรุงในเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด คือ

ตารางที่ 5.17 ตารางค่าที่ควรใช้หลังจากการทดลองของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด

ข้อ (No.)	ปัจจัยในการทดลอง (Factor)	ค่าที่ควรใช้ (Improved value)	หน่วย (Units)
1	อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน	90	mm^3/s
2	อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง	90	mm^3/s
3	ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน	0.5	mm
4	ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง	0.5	mm

และนำรหัส (-1, 1) ของปัจจัยทั้งสอง แทนลงในสมการของแบบจำลองการถดถอยเพื่อประมาณค่าของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ

$$\text{Dust defect (\%)} = 12.5731 - 1.3019\,A - 1.8606\,B + 1.3606\,C + 1.5231\,D$$
$$= 6.5269\ \%$$

ผลการทดลองที่ได้ มีจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบลดลงมาก แต่เนื่องจากกระจกวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นกระจกวัตถุดิบที่ถูกคัดกรองของเสียไปบางส่วนแล้วจากการทดลองก่อนหน้า และจำนวนกระจกวัตถุดิบที่วัดผลมีจำนวนไม่มากพอ ดังนั้นหลังจากทำการทดลองครบทั้งหมด ทำการเก็บข้อมูลของผลหลังการปรับปรุง ด้วยกระจกวัตถุดิบในชุดต่อไป เพื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ กับจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ก่อนทำการทดลอง

5.3.4 **การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน**

ทดสอบความมีนัยสำคัญของสมการการถดถอย เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้น โดยสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : B_1 = B_2 = \ldots = B_x = 0$$

H_1 : B1 $\neq$ 0 อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่า

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลอง แสดงผลดังนี้

ตารางที่ 5.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองของแบบจำลองการถดถอยของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด ด้วยโปรแกรม MINITAB 16

Regression Analysis: Dust defect (%) versus A, B, C, D

```
The regression equation is
Dust defect (%) = 12.6 - 1.30 A - 1.86 B + 1.36 C + 1.52 D


Predictor      Coef  SE Coef      T      P
Constant    12.5731   0.2361  53.26  0.000
A           -1.3019   0.2361  -5.51  0.000
B           -1.8606   0.2361  -7.88  0.000
C            1.3606   0.2361   5.76  0.000
D            1.5231   0.2361   6.45  0.000


S = 0.944348   R-Sq = 93.8%   R-Sq(adj) = 91.6%


Analysis of Variance

Source          DF       SS      MS      F      P
Regression       4  149.248  37.312  41.84  0.000
Residual Error  11    9.810   0.892
Total           15  159.058
```

จากตารางที่ 5.18 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Sq) มีค่าเท่ากับ 93.8% หมายความว่าความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ มีค่าเท่ากับ 93.8% และค่าของ R-Sq(adj) มีค่าเท่ากับ 91.6% มีค่าใกล้เคียงกับ ค่า R-Sq แสดงว่า มีโอกาสน้อยที่จะพบว่ามีพจน์ที่ไม่มีนัยสำคัญได้ถูกเติมลงไปในแบบจำลอง และวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่น หมายถึง ในแบบจำลองการถดถอยที่สร้างขึ้นมามีนัยสำคัญของการถดถอยที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

5.4 การวัดผลการปฏิบัติงานหลังการทดลอง

ทำการติดตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด และทดลองในการปฏิบัติงาน เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดทั้งกระบวนการผลิตว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้น ส่งผลทำให้ลดของเสียที่เกิดจากฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ในภาพรวมของทั้งเครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5

โดยการปฏิบัติงานเพื่อเก็บข้อมูล ในพารามิเตอร์ต่างๆ และหาค่าความเหมาะสมจากการทดลองได้แล้ว ข้อมูลที่ได้นั้น ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ คือ

<u>ก่อนทำการปรับปรุง</u> (5-15 กรกฎาคม 2554)

อัตราผลผลิตชิ้นส่วนของกระจกวัตถุดิบขนาด 35x24มม. มีค่าเท่ากับ 77.30% และ

จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 22.70% ของอัตราผลผลิตทั้งหมด (โดยข้อมูลอยู่ในบทที่ 3)

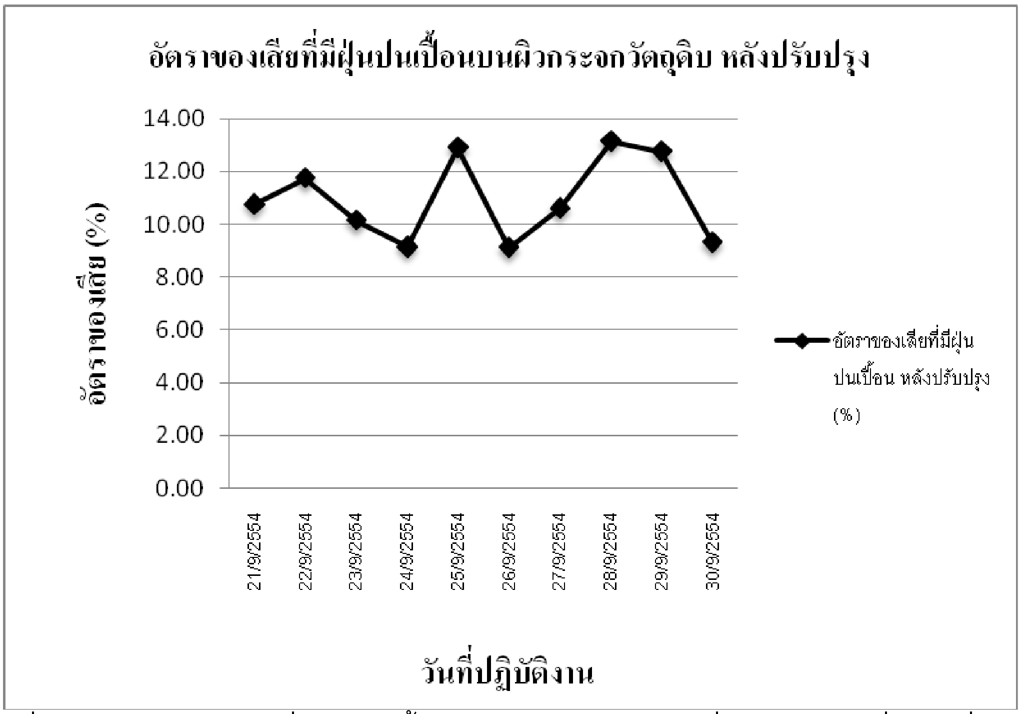
โดยข้อมูลที่เก็บได้หลังจากทำการปรับปรุงนั้นได้ผล ดังนี้

<u>หลังทำการปรังปรุง</u> (21-30 กันยายน 2554)

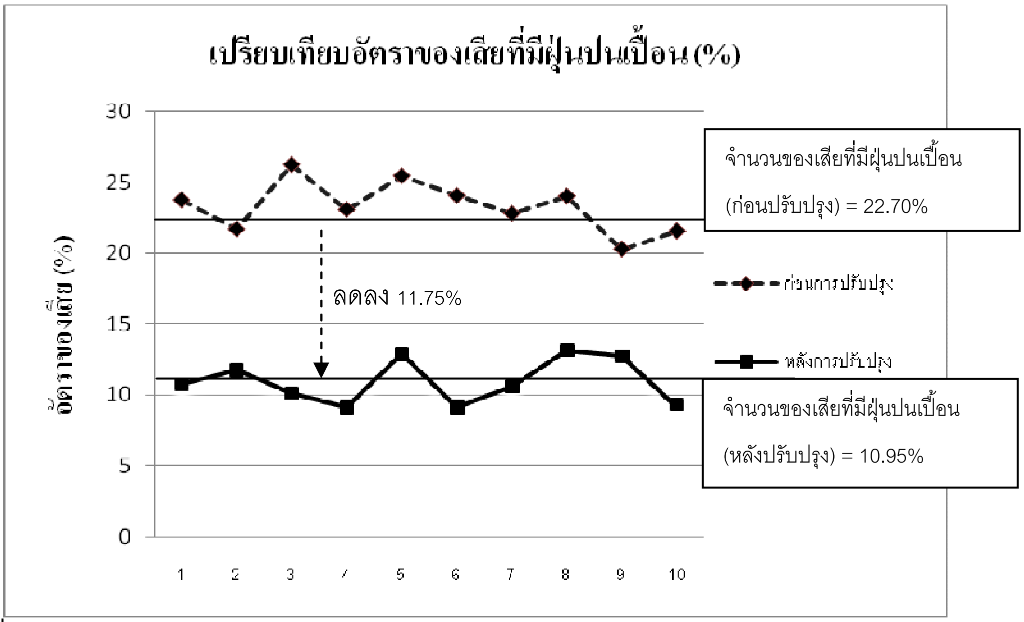
อัตราผลผลิตชิ้นส่วนของกระจกวัตถุดิบขนาด 35x24มม. มีค่าเท่ากับ 89.04% และ

จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 10.95% ของอัตราผลผลิตทั้งหมด

ในการเก็บข้อมูลในวันที่ 21-30 กันยายน พ.ศ. 2554 เพื่อนำมาเปรียบเทียบเบื้องต้น กับจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบก่อนทำการปรับปรุง เปรียบเทียบแล้วพบว่าหลังการปรับปรุง จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ ลดลงเป็นจำนวนมาก ถึง 11.74% ดังนั้นผลการเก็บข้อมูลหลังการทดลองเบื้องต้น สามารถลดจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ และเก็บผลต่อเนื่องในช่วง การควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 5.22 จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ เมื่อกำหนดใช้เครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5 ก่อนการทดลอง



ภาพที่ 5.23 การเปรียบเทียบผลการปฏิบัติงาน ก่อนและหลังการปรับปรุง ของกระบวนการผลิต

5.5 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในการทดลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องจักร และทำการปรับปรุง หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ปฏิบัติงานในการผลิต เพื่อให้ได้ผลของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบน้อยที่สุด ด้วยวิธีการ การออกแบบการทดลอง สามารถหาค่าที่สามารถลดจำนวนของเสียลงได้จริง และดำเนินการในขั้นตอนการควบคุมต่อไป โดยค่าที่ใช้ หลังการปรับปรุง มีดังนี้

<u>เครื่องตัด</u>

ข้อ (No.)	ปัจจัยในการทดลอง (Factor)	ค่าที่ควรใช้ (Improved value)	หน่วย (Units)
1	***ระบบการหมุนของใบเลื่อยตัดของเครื่องตัด***	***หมุนกด***	
2	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของท่อฉีดน้ำDI	200	mm/s
3	ความสูงของท่อฉีดน้ำ DI	1.2	mm
4	***รูปแบบการล้างของการฉีดน้ำ DI***	***มีด1+ล้าง+มีด2+ล้าง***	
5	***ลักษณะของท่อน้ำ DI***	*0*	*degree*
6	ความสูงระหว่างท่อเมกาโซนิคกับพื้นผิวชิ้นงานกระจกวัตถุดิบ	10	mm
7	แรงเมกาโซนิคที่ใส่ลงไปในน้ำ	150	mV

<u>เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆ ในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงาน</u>

ข้อ (No.)	ปัจจัยในการทดลอง (Factor)	ค่าที่ควรใช้ (Improved value)	หน่วย (Units)
1	ความเร็วของแท่นเข็มแทง ดันกระจกวัตถุดิบให้สูงขึ้นและหลุดออกจากแผ่นชีทกาว	85	pps
2	ความเร็วในการตัวจับชิ้นงานลงมาจับกระจกวัตถุดิบ	100	pps
3	***ระยะเคลื่อนที่ขึ้นของแท่นเข็มแทง ดันกระจกวัตถุดิบ①***	***2***	***mm***
4	***ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงาน เคลื่อนที่ลงมากดกระจกวัตถุดิบพร้อมกับแท่นเข็มแทงดันขึ้นมา②***	***25***	***mm***
5	ระยะเคลื่อนที่ลงของตัวจับชิ้นงานหลังจากหยิบกระจกวัตถุดิบและผ่อนแรงกดจากแท่งเข็มแทงดันขึ้นมา③	20	mm

<u>เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ในกลุ่มการใช้งานท่อลมทำความสะอาด</u>

ข้อ (No.)	ปัจจัยในการทดลอง (Factor)	ค่าที่ควรใช้ (Improved value)	หน่วย (Units)
1	***อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน***	***90***	mm^3/s
2	***อัตราการเป่าลมของท่อลมบนผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง***	***90***	mm^3/s
3	***ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านบน***	***0.5***	***mm***
4	***ความสูงของตำแหน่งปลายท่อลมกับผิวกระจกวัตถุดิบด้านล่าง***	***0.5***	***mm***

ซึ่งค่าที่ใช้ในช่องที่เป็นอักษรตัวหนาและเอียง หมายถึง ค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากมีการปรับปรุงพัฒนาแล้ว ในเครื่องต่างๆ และได้ผลของการปฏิบัติงานที่บรรลุตามเป้าหมาย และควบคุมให้อยู่ในความเสถียรของผลของการพัฒนาแล้ว

บทที่ 6

การควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

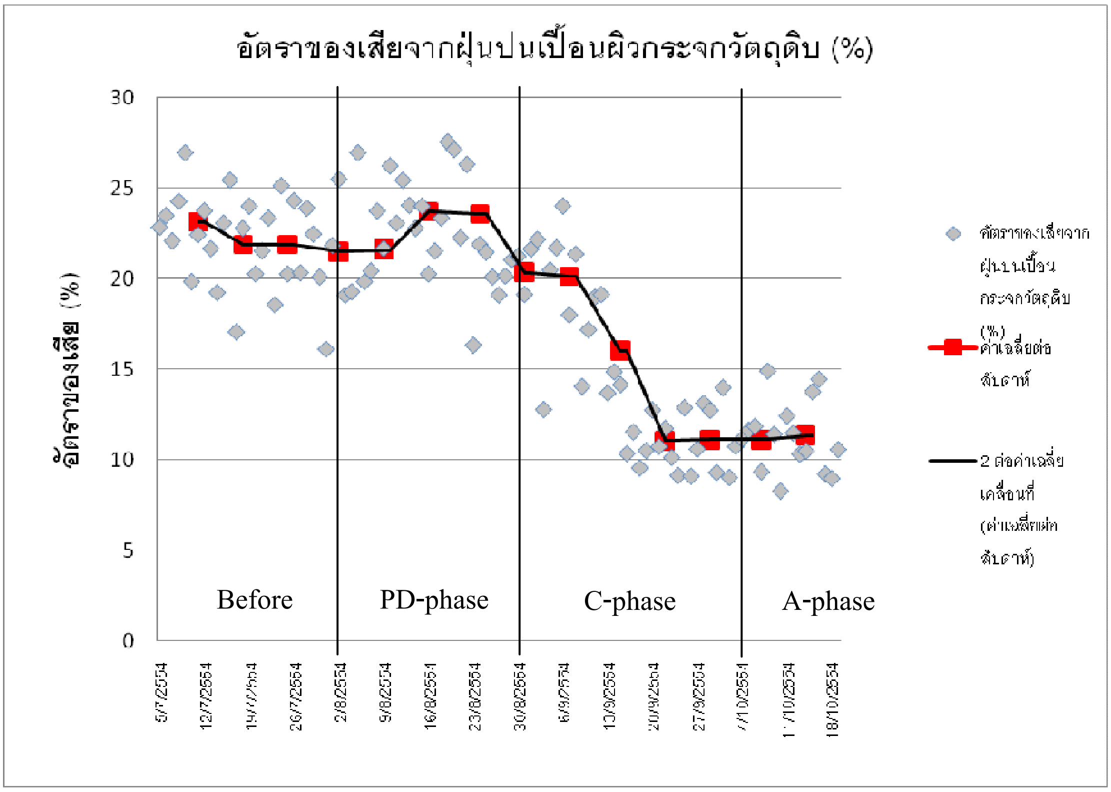
การควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำการเก็บผลการปฏิบัติงานที่ได้หลังจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงระบบ และพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการทดลองหาค่าที่มีความเหมาะสม นำข้อมูลต่างๆมาประเมินผลความสามารถในการปฏิบัติงานต่างๆ และออกแบบระบบควบคุมคุณภาพของกระบวนการเพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการจะไม่ย้อนไปมีปัญหาเหมือนเดิม และปรับปรุงให้คงอยู่ในระดับที่น่าพอใจตลอดไป และเป็นวิธีการดำเนินการในวงจรเดมมิ่งที่เหมือนทำการหมุนวงล้อเดมมิ่งให้เคลื่อนที่พัฒนาต่อไป

6.1 ข้อมูลของการปฏิบัติงานจริงตลอดระยะเวลาการทดลองและหลังทำการปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลและผลการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง พบว่าการปรับปรุงที่ได้หลังการทดลองได้ผลที่สามารถช่วยลดอัตราของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนที่ผิวกระจกวัตถุดิบได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถรักษา ควบคุมผลหลังการเปลี่ยนแปลงได้

ซึ่งจากการเก็บข้อมูลหลังปรับปรุงในช่วงของขั้นตอนการควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ในวันที่ 1 -20 ตุลาคม พ.ศ. 2554 ได้ผลของอัตราผลผลิตชิ้นส่วนของกระจกวัตถุดิบขนาด 35x24 มม. มีอัตราการผลผลิตที่สามารถควบคุมได้มากกว่า 89.00% และอัตราของของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบโดยเฉลี่ย สามารถควบคุมให้น้อยกว่า 11.00% พบว่า จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนที่ผิวกระจกวัตถุดิบ ลดลงเทียบเป็น<u>อัตราของของเสียที่ลดลง เท่ากับ 51.75%</u> จากอัตราของเสียเดิมในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

และในการปรับปรุงยังสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตกระจกวัตถุดิบได้เพิ่มขึ้น เท่ากับ 11.74% ซึ่งสามารถทำให้อัตราผลิตจริง เท่ากับ 89.04% มากกว่าอัตราผลผลิตที่ตั้งเป็นเป้าหมายไว้ ที่ 87.00%



ภาพที่ 6.1 จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ โดยเครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบวัตถุดิบที่ 5 ในการเก็บข้อมูลทั้งหมด

โดยการทำการทดลอง และปรับปรุงเปลี่ยนแปลงระบบการทำงานในครั้งนี้ สามารถลดจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนได้จริงตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ในช่วงการเก็บข้อมูลของขั้นตอนการควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และเนื่องจากเป็นการปรับปรุงแก้ไขในเครื่องจักร จึงไม่พบผลกระทบใดๆที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนต่อกระบวนการทำงาน ดังนั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงานของผู้ปฏิบัติงานใดๆ

6.2 การวิเคราะห์จุดที่ควรระวังที่อาจเกิดผลกระทบในกระบวนการผลิตกระจกวัตถุดิบ

เพื่อประเมินปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นหลังจากการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยสำคัญที่เป็นปัญหาของเครื่องจักรหลังการทดลอง ซึ่งอาจเป็นปัญหาที่ยังไม่เกิดขึ้นมาก่อน และในการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีป้องกัน การดำเนินการต่างๆ ในกรณีต่างๆที่เกิดขึ้น โดยนำวิธีการของ FMEA มาดัดแปลง เพื่อประเมินและวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ มีผลที่แสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางวิเคราะห์จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ

จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ

Process Name : กระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ

Issued date : 8 Oct. 11

Product : กระจกวัตถุดิบ 35x24 มม.

Committee วิศวกรฝ่ายผลิตในกระบวนการตัด, วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ, วิศวกรควบคุมกระบวนการ, ช่างเทคนิคในกระบวนการตัด

Doc. number : 001A

Process no.	Machine	Key Process Input	Potential Failure Mode	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN	Action Recommended	Person in-charge
1	เครื่องตัด	ลักษณะรูปแบบของท่อน้ำDI (น้ำหล่อเย็น) ที่ฉีดลงบนกระจกวัตถุดิบในขณะตัด	ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ใบมีดตัด ทำให้อายุของใบมีดตัดลดลง และทำให้ขอบรอยตัดไม่ได้ตามข้อกำหนด เกิดฝุ่นจากเศษกระจกมาก และน้ำDI ไม่สามารถล้าง กำจัดฝุ่นออกได้	6	เกิดขึ้น เมื่อเกิดลักษณะการหมดอายุก่อนกำหนดของใบมีดตัด ขอบที่ตัดจะไม่สวยงาม และมีจำนวนฝุ่นจากรอยแตกที่ไม่สมบูรณ์ของกระจกวัตถุดิบมาก และน้ำ DI ไม่สามารถชะล้าง	5	สามารถกำหนดค่าของขอบเขตอายุของใบมีดโดยการทดลอง และขนาดรอยตัดในเครื่องตัด ให้เตือนทุกครั้งหลังจากตัดได้ และ ควบคุมรูปแบบการฉีดของน้ำ DI	2	60	ทำการเก็บข้อมูลของใบมีดตัด ในจำนวนครั้งของการตัด เพื่อหาค่าจำนวนครั้งในการตัดที่เหมาะสมในกระบวนการหลังปรับปรุง เพื่อบันทึกข้อกำหนดเข้าสู่เครื่องจักร	นายประหยัด คำวันสา นายวีระ ปิยะภิญโญ

ตารางที่ 6.1 ตารางวิเคราะห์จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ (ต่อ)

จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ										
Process Name :	กระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ						Issued date : 8 Oct. 11			Product : กระจกวัตถุดิบ 35x24 มม.
Committee	วิศวกรฝ่ายผลิตในกระบวนการตัด, วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ, วิศวกรควบคุมกระบวนการ, ช่างเทคนิคในกระบวนการตัด									Doc. number : 001A
Process no.	Machine	Key Process Input	Potential Failure Mode	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN	Action Recommended	Person in-charge
2	เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ	จุดควบคุมระยะการเคลื่อนที่ของส่วนต่างๆในเครื่องจักรที่กระทำต่อกระจกวัตถุดิบ	จุดควบคุมระยะการเคลื่อนที่ต่างๆผิดปกติ เช่น Stopper, นอตและสกรูควบคุม, สปริงรับแรง และตัวผ่อนแรงต่างๆ ทำให้เกิดความเสียหายต่อกระจกวัตถุดิบและเครื่องจักร	8	การขันไม่แน่น หรือกำหนดจุดที่ผิดพลาด หลังจากการบำรุงรักษา ทำให้ระยะการเคลื่อนที่เปลี่ยนไป ซึ่งทำให้การทำงานมีผลกระทบต่อกระจกวัตถุดิบ ซึ่งแตกหักได้ง่าย	5	เพิ่มการควบคุมด้วยสิ่งต่างๆ ที่คอยเตือนการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ทั้งเซนเซอร์ควบคุมระดับ จุดสังเกตแบบ eye mark การควบคุมระยะเคลื่อนที่โดยเครื่องจักร	6	240	ตรวจสอบระดับต่างๆ ทั้งระยะการเคลื่อนที่ในการทำงานของเครื่องจักร และการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆว่าใช้งานได้จริงหรือไม่ ทุกวันก่อนเริ่มปฏิบัติงาน และทำป้ายหรือสัญลักษณ์ในการแจ้งเตือนค่าระยะต่างๆที่กำหนดไว้เพื่อให้สังเกตได้ง่าย	นายพงศธร ปารเมศ บุญสนอง

ตารางที่ 6.1 ตารางวิเคราะห์จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ (ต่อ)

จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ

Process Name : กระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ | Issued date : 8 Oct. 11 | Product : กระจกวัตถุดิบ 35x24 มม.

Committee วิศวกรฝ่ายผลิตในกระบวนการตัด, วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ, วิศวกรควบคุมกระบวนการ, ช่างเทคนิคในกระบวนการตัด | Doc. number : 001A

Process no.	Machine	Key Process Input	Potential Failure Mode	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN	Action Recommended	Person in-charge
3	เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ	พารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่กระทำต่อกระจกวัตถุดิบผิดพลาด ไม่สามารถหยิบกระจกวัตถุดิบได้	การเคลื่อนที่ของส่วนการทำงานของเครื่องจักร มีระยะผิดพลาดไม่สามารถทำงานกับกระจกวัตถุดิบได้ทุกขนาดควบคุมของกระจกวัตถุดิบ ทำให้เครื่องจักรต้องหยุดเพื่อทดลองหาค่าที่ใช้งานใหม่	5	ส่วนของเครื่องจักรเคลื่อนที่ลงมาไม่ถึงระยะที่กำหนด หรือระยะที่กำหนดไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อควบคุมความหนาของกระจกวัตถุดิบในขนาดกำหนดทั้งหมด	4	ควบคุมด้วยค่าที่กำหนดในเครื่องจักรให้เคลื่อนที่ตามคำสั่งโดยอัตโนมัติ และกำหนดระยะที่เหมาะสมโดยการทดลอง และสามารถเปลี่ยนขนาดกำหนดกับทางsupplier ได้	4	80	เก็บข้อมูลการใช้งานและจำนวนครั้งที่เกิดปัญหานี้ เพื่อดูผลหลังการปรับปรุง และตรวจสอบระยะการเคลื่อนที่ และค่าที่กำหนดทุกวันก่อนการทำงาน	นายพงศธร ปารเมศ บุญสนอง

ตารางที่ 6.1 ตารางวิเคราะห์จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ (ต่อ)

จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ											
Process Name :	กระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ						Issued date : 8 Oct. 11				Product : กระจกวัตถุดิบ 35x24 มม.
Committee	วิศวกรฝ่ายผลิตในกระบวนการตัด, วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ, วิศวกรควบคุมกระบวนการ, ช่างเทคนิคในกระบวนการตัด										Doc. number : 001A
Process no.	Machine	Key Process Input	Potential Failure Mode	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN	Action Recommended	Person in-charge
4	เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ	การปรับส่วนการทำงานของการเป่าลมเพื่อทำความสะอาดกระจกวัตถุดิบหลังจากแยกชิ้นส่วนแล้ว	ลักษณะการไหลของลมเปลี่ยนไป อาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของลม ทำให้ฝุ่นมีการฟุ้งกระจายไปยังชิ้นงานของกระจกวัตถุดิบชิ้นอื่นๆ ที่ยังไม่ได้รับการทำความสะอาด ทำให้ฝุ่นปนเปื้อนหรือเป็นรอยขีดข่วน	5	การเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างท่อลมกับกระจกวัตถุดิบใกล้มากขึ้นและอัตราการเป่าลมที่แรงขึ้น ทำให้ลักษณะการไหลของลมเปลี่ยนไป อาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของลม ทำให้ฝุ่นมีการฟุ้งกระจาย	6	การควบคุมทิศทางการไหลและการกระจายของลม โดยใช้เครื่องตรวจสอบการไหลของลม และทำการตรวจสอบในทุกๆเดือน	5	150	เก็บข้อมูลการใช้งานและจำนวนครั้งที่เกิดปัญหานี้ เพื่อดูผลหลังการปรับปรุง และเมื่อทดสอบว่าการไหลของลมเป็นปกติแล้ว ควบคุมผลในแต่ละเดือน	นายสิริศักดิ์ สุดสาคร

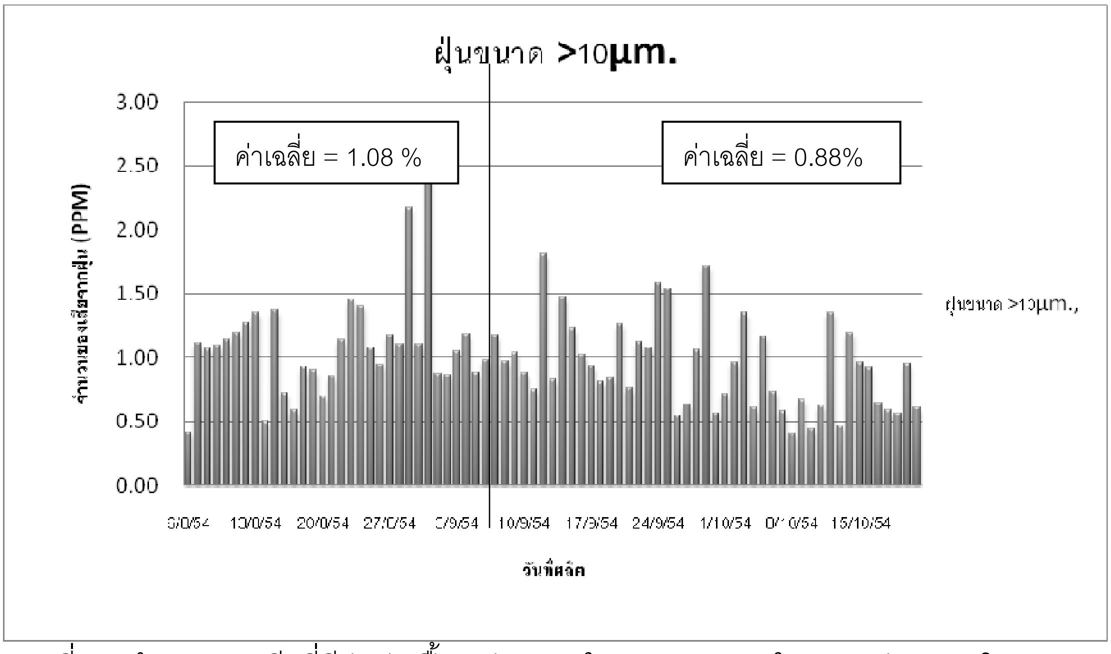
จะพบว่า ข้อผิดพลาดที่มีคะแนน RPN (Risk Priority Number) สูง มากกว่า 100 คะแนน มีตัวช่วยควบคุมเพิ่มเติมขึ้น นอกเหนือจากการควบคุมโดยเครื่องจักร นั่นคือ ตัวควบคุมผลแบบเซนเซอร์ (Sensor) ในการควบคุมต่างๆ ทั้งระยะต่างๆ การฟุ้งกระจายของลม ซึ่งทำให้การตรวจพบปัญหาทำได้ดีขึ้นและละเอียดมากขึ้น

ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิตนี้ ช่วยให้สามารถเตือนการทำงานที่อาจเกิดข้อผิดพลาดได้หลังจากมีการเปลี่ยนแปลง และย้ำในจุดที่ควรระวัง เพื่อหาวิธีการป้องกัน ก่อนที่ปัญหาที่จะเกิดขึ้น โดยการประเมินนี้เกิดขึ้นจากการระดมความคิดของสมาชิกผู้ปฏิบัติงานและผู้เชี่ยวชาญ มาหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้และหาทางป้องกัน และสามารถรับมือ แก้ไขข้อผิดพลาดอื่นๆที่อาจเกิดขึ้น นอกเหนือจากที่ได้เตรียมไว้ โดยใช้การวิเคราะห์ในข้อมูลต่างๆในลักษณะเดียวกัน

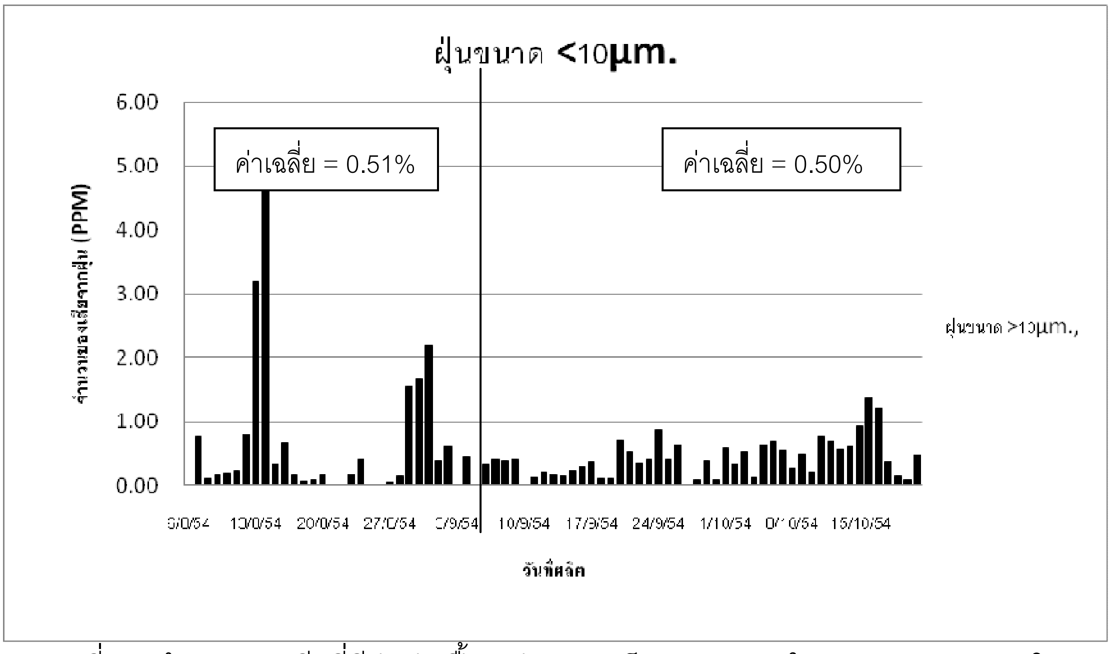
6.3 การศึกษาผลกระทบของเครื่องจักรผลิตงานในแผนกถัดไป (แผนกประกอบ Assembly process และแผนกทดสอบแสง Testing process)

ทำการตรวจสอบผลกระทบของกระจกวัตถุดิบ เมื่อส่งไปเป็นวัตถุดิบเบื้องต้นในแผนกถัดไป เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น ในลักษณะการใช้งานเกี่ยวกับขนาดหรือรูปร่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆของตัวกระจกวัตถุดิบก่อนและหลังการทดลอง ดังนั้นเครื่องจักรประกอบจึงสามารถใช้กระจกวัตถุดิบ ในขณะเครื่องจักรหยิบชิ้นงานไปประกอบได้อย่างปกติ

ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากจำนวนฝุ่นของกระจกวัตถุดิบโดยตรง จากการตรวจสอบจากเครื่องจักรประกอบในฝุ่นขนาดใหญ่กว่า10 ไมโครเมตรที่แผนกประกอบ และตรวจสอบฝุ่นขนาดเล็กกว่า10 ไมโครเมตร ที่แผนกทดสอบแสง เพราะสามารถตรวจจับฝุ่นขนาดเล็กมากได้เพราะไปบดบังแสง เมื่อทดสอบการถ่ายภาพ ซึ่งได้ผล ดังภาพที่ 6.2 และ 6.3



ภาพที่ 6.2 จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน ฝุ่นขนาดใหญ่กว่า10µm. ในแผนกประกอบ โดยกระจกวัตถุดิบจากเครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบวัตถุดิบที่ 5

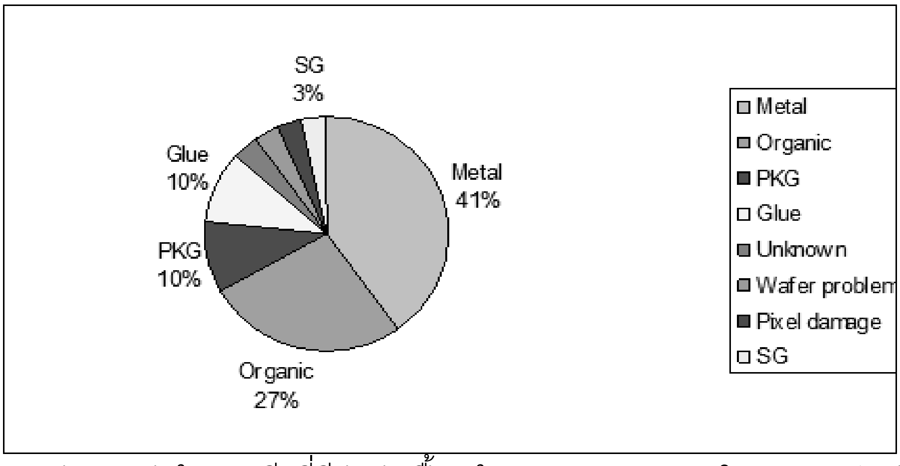


ภาพที่ 6.3 จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า10µm. ในแผนกทดสอบแสง โดยกระจกวัตถุดิบจากเครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบวัตถุดิบที่ 5

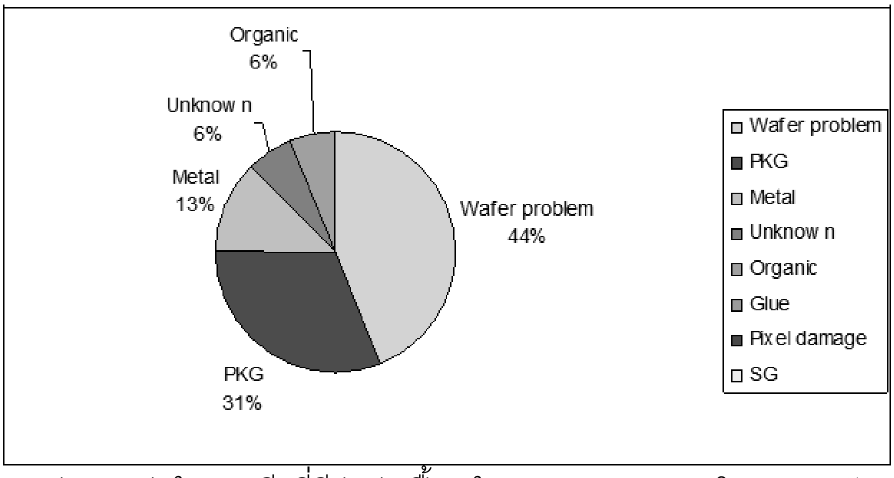
จากภาพที่ 6.2 – 6.3 พบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นในแผนกถัดไปของกระจกวัตถุดิบไม่พบว่าเกิดผลกระทบไม่ดีเกิดขึ้น ในจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในแต่ละกระบวนการ ซึ่งวัดได้จาก

ค่าเฉลี่ยของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน ไม่ได้มีค่าต่างกันมากนัก และยังพบว่า ในแผนกประกอบมีจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน ลดลงอีกด้วย

เพื่อทำการติดตามที่ละเอียดยิ่งขึ้น จึงนำของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนที่ได้จากแผนกประกอบและแผนกทดสอบแสง ไปวิเคราะห์หาประเภทของฝุ่นที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนการทดลอง



ภาพที่ 6.4 ประเภทฝุ่นในของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน ในแผนกทดสอบแสง โดยกระจกวัตถุดิบจากเครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบวัตถุดิบที่ 5 ก่อนการปรับปรุง (กันยายน 2554)



ภาพที่ 6.5 ประเภทฝุ่นในของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน ในแผนกทดสอบแสง โดยกระจกวัตถุดิบจากเครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบวัตถุดิบที่ 5 หลังการปรับปรุง (ตุลาคม 2554)

จากภาพที่ 6.5 ประเภทของฝุ่นที่จากกระจกวัตถุดิบ (SG – Sealer glass) ไม่พบหลังการปรับปรุง ซึ่งแตกต่างจาก ภาพที่ 6.4 ข้อมูลก่อนการทดลอง ดังนั้นการปรับปรุงนี้ยังสามารถสร้างผลประโยชน์ไปถึงแผนกถัดไปอีกด้วย

6.4 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน

เนื่องจากในกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบนั้น ไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงานใดๆ จึงมีความเสี่ยงในการปฏิบัติงาน ของผู้ปฏิบัติงานที่ไม่รู้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ดังนั้นกลุ่มสมาชิกจึงมีการระดมความคิด เพื่อสิ่งที่สามารถบอกเตือนการทำงานในระบบของเครื่องจักรเปลี่ยนไป ให้ผู้ปฏิบัติงานรับรู้และเข้าใจ เมื่อต้องปฏิบัติหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์หรือส่วนต่างๆของเครื่องจักรที่เปลี่ยนแปลงไป ในเวลา ปฏิบัติงานร่วมกับเครื่องจักรในการผลิต การซ่อมบำรุง หรือการแก้ไขปัญหาต่างๆเฉพาะเหตุการณ์ และเก็บข้อมูลสิ่งที่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงไปหลังจากนี้ต่อไป เพื่อให้เป็นการควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุง เอกสารหรือเครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้น เพื่อเตือนผู้ปฏิบัติงาน และเก็บข้อมูล

6.4.1 ตารางข้อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้งานของเครื่องจักร (Machine Parameter and condition list)

เอกสารที่ทำการบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานของเครื่องจักรในครั้งล่าสุด รวมถึงระบุลักษณะชนิดของวัตถุดิบที่ทำการตัด วัตถุดิบ ผู้ทำการติดตั้ง วันที่ทำการติดตั้ง เพื่อเป็นเอกสารควบคุมการทำงานและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดความผิดปกติของผลิตภัณฑ์

6.4.2 แผนภูมิควบคุม (Control chart)

เอกสารที่ทำการบันทึกข้อมูลผลที่มีผลของความผิดปกติในการทำงานแต่ละครั้ง เพื่อแยกออกจากข้อมูลปกติ เพื่อวิเคราะห์ความเสถียรของการปฏิบัติงานและให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถสังเกตเห็น และตัดสินใจได้โดยง่าย โดยบันทึกข้อมูลแยกเป็นแต่ละชุดการผลิตของกระจกวัตถุดิบ และคำนวณเป็นอัตราส่วนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในแต่ละชุดการผลิต เช่น ตารางใน ภาพที่ ก.1 ในภาคผนวก ควบคุมจำนวนของเสียในแต่ละชุดการผลิต (1,250 ชิ้น) กำหนดให้มีของเสียได้ไม่เกินร้อยละ 13.00 ของการผลิตทั้งหมด เพื่อควบคุมให้ อัตราผลผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่ตั้งเป้าหมายไว้ ดังนั้น กำหนดจำนวนของเสียกำหนดไม่ควรเกิน (1,250 x 13.00)/100 เท่ากับ 162.5 ชิ้น หรือควบคุมให้ไม่เกิน 160 ชิ้น ต่อ 1 ชุดการผลิต

6.4.3 แผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อเกิดสภาวะนอกการควบคุม (OCAP: Out Control Action Plan)

เอกสารที่แสดงการแก้ไขหรือปฏิบัติงานในขั้นตอนที่พบว่ามีปัญหาหรือคุณภาพของงานที่ผลิตออกมา ไม่ตรงตามข้อกำหนด แสดงในภาพของ แผนภูมิการไหลเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย และมีวงจรการทำงานที่สามารถย้อนกลับ หรือสังเกตได้ง่าย เช่น

6.4.4 เอกสารบันทึกปัญหาของเครื่องจักร และบันทึกสภาวะที่ผิดปกติ (Machine error and abnormal condition record)

เอกสารที่ต้องมีการบันทึกเมื่อเกิดสภาวะที่ผิดปกติ ทั้งในเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์ เพื่อบันทึกจำนวนครั้งที่เกิดขึ้น และบันทึกการแก้ไขที่ได้ทำไปแล้วว่า ได้ผลหรือไม่ อย่างไร และผลข้างเคียงต่างๆที่เกิดขึ้น ในการปฏิบัติงานแต่ละครั้ง

6.4.5 คู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Work standard manual)

เอกสารที่เป็นคู่มือในการปฏิบัติงาน วิธีการ เมื่อต้องการที่จะปรับปรุงเปลี่ยนแปลง พารามิเตอร์ต่างๆที่ได้เปลี่ยนแปลงไป เมื่อเห็นว่า พารามิเตอร์ของเครื่องจักรตัวนั้นๆ ไม่เหมาะสมในการใช้ ซึ่งคู่มือ แสดงรายละเอียดการทำงานต่างๆ ปุ่มกดหรือหน้าจอแสดงผลของเครื่องจักรที่เป็นโปรแกรมเพื่อเข้าไปเปลี่ยนแปลงแก้ไข

โดยเอกสารที่เพิ่มขึ้นนี้เพื่อให้สามารถตรวจจับสิ่งปกติได้ และเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อเป็นประวัติการเกิดสิ่งผิดปกติในลักษณะต่างๆ และเมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในระยะต่อๆไปจะสามารถแก้ไขได้โดยง่ายและเพิ่มเอกสารหรือสิ่งควบคุมและป้องกันอื่นๆ เพื่อสนับสนุนการทำงานให้ดียิ่งขึ้นต่อๆไป

6.5 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

การประเมินผลการปฏิบัติงาน พบว่า การปรับปรุงในแผนกเตรียมกระจกวัตถุดิบ ในเครื่องตัดที่ 3 และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบที่ 5 สามารถลดจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนได้ตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้และเห็นผลได้อย่างชัดเจน คือมีอัตราการผลผลิตที่สามารถควบคุมได้มากกว่า 89.00% และอัตราของของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบโดยเฉลี่ยสามารถควบคุมให้น้อยกว่า 11.00% และไม่มีผลกระทบไปถึงแผนกถัดไป คือ แผนกประกอบ และแผนกทดสอบแสง ซึ่งทำให้ของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน เนื่องจากฝุ่นจากกระจกวัตถุดิบ ลดลงหรืออยู่ในระดับปกติ

ในงานวิจัยนี้เป็นต้นแบบการทดลองเพื่อพัฒนาต่อๆไป ทำการชี้จุดควรระวังในพื้นที่ต่างๆ ที่ได้รับการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในจุดปฏิบัติงานนั้นๆ ระวังอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเพิ่มเติมเอกสารในการควบคุมในกระบวนการต่างๆ ให้ครอบคลุม และสามารถเพิ่มเติมเอกสารหรือบันทึกในกิจกรรมต่างๆที่เกิดความผิดปกติขึ้นได้

บทที่ 7

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

วงจรเดมมิ่ง เมื่อทำการพัฒนาปรับปรุงในขั้นตอน PDCA จนครบแล้ว จะทำการสรุปและดำเนินการหาปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุง หรือวิธีการที่จะสามารถดำเนินการพัฒนาต่อไป เหมือนการหมุนวงจรเดมมิ่งเพื่อให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องไม่มีที่สิ้นสุดเพื่อให้องค์กรเป็นเลิศในการพัฒนาและมีระบบที่มีการเพิ่มคุณภาพให้ดีที่สุด

ในรายงานการศึกษาและวิจัยนี้ มีผลของการทดลอง และรายละเอียดต่างๆ ที่ได้ดำเนินการพัฒนาปรับปรุงในแต่ละขั้นตอน ซึ่งผลที่ได้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

7.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยได้ดำเนินการตามแนวทางของ วงจรเดมมิ่ง และประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเข้ามาช่วยในการพัฒนาปรับปรุงทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการวางแผนและระบุปัญหา (Plan phase), ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Do phase), ขั้นตอนการตรวจสอบและการออกแบบการทดลอง (Check phase), ขั้นตอนการดำเนินการปรับปรุง (Action phase) และ ขั้นตอนการควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะสรุปผลและวิเคราะห์ปัญหาก่อนที่จะเริ่มหมุนวงจรเดมมิ่งต่อไปเพื่อให้เป็นการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Continuous improvement) และใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ Design of experiment: DOE เข้ามาปรับปรุงกระบวนการทำงานของระบบการผลิตกระจกวัตถุดิบอย่างต่อเนื่อง

โดยผลการปรับปรุงกระบวนการทำงาน สามารถลดอัตราของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ เหลือเพียง 10.95 % ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยต่อวัน จากเดิม 22.70% ต่อวัน ซึ่งถือว่าลดลงได้ถึง 51.75% ของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบ และยังทำให้อัตราผลผลิตชิ้นส่วนของกระจกวัตถุดิบขนาด 35x24 มม. เพิ่มขึ้นเป็น 89.04% จากเดิม 77.30% ซึ่งเป็นผลที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

7.2 สรุปผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ

ในงานวิจัยเรื่องนี้ได้นำเครื่องมือทางสถิติและเทคนิคต่างๆ ในวิศวกรรมอุตสาหการ มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนา วิเคราะห์และแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกรณีของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบในโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา โดยการเลือกเครื่องมือทางสถิติขึ้นมาใช้นั้นเกิดจากทั้งการเรียนรู้ทั้งในการเรียนการสอนและการหาความรู้เพิ่มเติม นำมาประยุกต์ใช้จริงใน

โรงงานกรณีศึกษา หรือเป็นเครื่องมือทางสถิติที่มีการใช้เดิมของทางโรงงานอยู่ก่อนแล้วซึ่งเครื่องมือสถิตินี้ สมาชิกผู้ปฏิบัติงานจะมีความรู้ความสามารถเดิมติดตัวอยู่แล้ว ทำให้การเรียนรู้และการฝึกฝนในงานวิจัยนี้สามารถดำเนินต่อไปได้จนได้ผลสำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ และทำการประเมินผลการใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ได้ตามหัวข้อ ดังนี้

1. ความยาก-ง่ายในการนำไปใช้ปฏิบัติงาน
2. ความเหมาะสมของการนำไปใช้ปฏิบัติงาน
3. ผลที่ได้รับจากการปฏิบัติงานและพัฒนา
4. การนำไปประยุกต์ใช้ต่อหลังสิ้นสุดงานวิจัย

และวิเคราะห์ผลของการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ได้ แสดงในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.1 ผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆในงานวิจัย

เครื่องมือ/เทคนิคที่ใช้	ความยาก-ง่าย ในการนำไปปฏิบัติ	ความเหมาะสม ของการนำไปใช้	ผลที่ได้รับจากการปฏิบัติ	การนำไปประยุกต์ ใช่ต่อหลังสิ้นสุดงานวิจัย
แผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Process flow chart)	สามารถนำไปใช้โดยง่าย และสมาชิกในทีมสามารถเรียนรู้และปฏิบัติได้ง่าย	เหมาะสมมากในการใช้งาน เพื่ออธิบายและทำความเข้าใจได้ง่าย	เข้าใจในขั้นตอน และอธิบายการดำเนินงานได้อย่างถูกต้อง	สามารถนำไปใช้งานได้ทุกๆกระบวนการทำงาน เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ
กราฟวงกลม (Pie chart)	สามารถนำไปใช้ได้โดยง่าย แต่มีความยากในระดับปานกลาง ในการทำความเข้าใจในความหมายหรือตัวแปรที่ต้องการสื่อ	เหมาะสม เพียงในการใช้งานที่ต้องการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างในจำนวนที่ชัดเจน	แสดงความแตกต่างในผลที่การแสดงให้เห็นได้ชัดเจน	สามารถนำไปใช้งานได้ทุกๆกระบวนการทำงาน เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ
แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)	สามารถนำไปใช้ได้โดยง่าย แต่มีความยากในระดับปานกลาง ในการทำความเข้าใจในความหมายหรือตัวแปรที่ต้องการสื่อ	เหมาะสมมากในการเก็บข้อมูลการกระจายของข้อมูล	เก็บข้อมูลได้โดยง่าย นำไปใช้กับผู้ปฏิบัติงานได้ เมื่ออธิบายสิ่งที่ต้องการให้ทำได้ และนำมาใช้ได้ทันที	สามารถนำไปใช้งานได้ทุกๆกระบวนการทำงาน เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ
กราฟพาเรโต (Pareto chart)	สามารถนำไปใช้ได้โดยง่าย แต่ต้องมีการอธิบายความเข้าใจในทฤษฎีของพาเรโตให้ทุกคนในกลุ่มเข้าใจก่อน	เหมาะสมมากในการเลือกเป้าหมายที่ชัดเจนมากขึ้น	เลือกเป้าหมายที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรกๆ เพื่อหาปัญหาที่แท้จริงได้	นำไปใช้หาเป้าหมายในการแก้ไขปัญหาในปัญหาอื่นๆได้

ตารางที่ 7.1 ผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆในงานวิจัย (ต่อ)

เครื่องมือ/เทคนิคที่ใช้	ความยาก-ง่าย ในการนำไปปฏิบัติ	ความเหมาะสม ของการนำไปใช้	ผลที่ได้รับจากการปฏิบัติ	การนำไปประยุกต์ ใช่ต่อหลังสิ้นสุดงานวิจัย
แผนภูมิก้างปลา (CE diagram)	สามารถนำไปใช้โดยง่าย และสมาชิกในทีมสามารถเรียนรู้และปฏิบัติได้ง่าย	เหมาะสมมากในการหาและอธิบายสาเหตุของปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไข	หาสาเหตุที่เป็นแกนรากได้ (Root cause) และอธิบายความเป็นมาของปัญหาได้	สามารถนำไปใช้งานได้ทุกๆ กระบวนการทำงาน เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ
การออกแบบการทดลอง (Design of experiment)	การนำไปประยุกต์ใช้อยู่ในระดับยาก ต้องมีการอธิบายให้สมาชิกในกลุ่มเข้าใจในวิธีการ และเหตุผลที่ต้องใช้วิธีการนี้ในการปฏิบัติงาน	มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการปฏิบัติงาน	หาปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่มีผลต่อการปฏิบัติงานจริง และเก็บผลของข้อมูลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อได้	นำไปประยุกต์ใช้กับการทดลองในเครื่องจักรอื่นๆ เพื่อหาความเหมาะสมในการใช้งาน และในส่วนเครื่องตัด และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบ อื่นๆ นำผลปัจจัยที่มีผลกระทบไปใช้ต่อได้
วิธีดำเนินการแบบวงจรเดมมิ่ง (Deming cycle)	การนำไปประยุกต์ใช้ในระดับยากปานกลาง ต้องมีการอธิบายขั้นตอนการทำงานทุกครั้งก่อน และตั้งเป้าหมายในแต่ละครั้ง เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนก่อนข้ามไปในขั้นตอนถัดไป	มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการปฏิบัติงาน	ฝึกฝนการใช้แนวคิดทางทฤษฎีทางคุณภาพ วงจรเดมมิ่ง สร้างเป็นนิสัยการทำงานที่มีวิธีขั้นตอนที่เป็นลำดับขั้นตอนชัดเจน	นำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานครั้งต่อๆไป

7.3 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยในแต่ละระยะ

ในขั้นตอนการดำเนินงานตามแบบวงจรเดมมิ่ง ที่ได้กำหนดขึ้นในบนเริ่มต้นของโครงงานวิจัย ได้เป็นแนวทางการทำงานให้มีระบบเป็นขั้นเป็นตอน และสามารถสรุปผลและชี้วัดค่าต่างๆที่ต้องการในแต่ละช่วงการทำงานได้ โดยแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ตามแบบ PDCA ได้ดังนี้

1) สรุปบทขั้นตอนการวางแผนและระบุปัญหา

ทำการพิสูจน์หาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้จำนวนของเสียของกระจกวัตถุดิบที่มีจำนวนมาก ที่ทำให้อัตราการผลิตจริงไม่สามารถทำได้ตามอัตราการผลิตเป้าหมาย ซึ่งทำให้ค่าของราคาของกระจกวัตถุดิบเฉลี่ยต่อชิ้นมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ซึ่งทำการหาประเภทของเสียสูงที่สุดที่ต้องได้รับการแก้ไข โดยแจกตามทฤษฎีพาเรโต พบว่า ปัญหาของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบเป็นปัญหาหลักที่ต้องการแก้ไข นำฝุ่นที่ได้ไปตรวจสอบองค์ประกอบเพื่อชนิดและแหล่งที่มาของฝุ่นด้วย เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray spectrometer พบว่าฝุ่นเป็นเศษกระจกวัตถุดิบเอง นั่นหมายถึง การทำงานของเครื่องจักรและระบบทำความสะอาดภายในเครื่องจักรไม่สามารถกำจัดฝุ่นที่เป็นเศษกระจกที่เกิดขึ้นในการผลิตชิ้นงานออกไปได้หมด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบลดลง 50% ของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบทั้งหมด โดยใช้ทฤษฎีทางคุณภาพมาใช้ในการจัดการงานวิจัยในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจำนวนของเสีย ที่ตั้งเป็นเป้าหมายมาจากจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบเฉลี่ยจำนวนน้อยที่สุดที่เคยเกิดขึ้น

เครื่องมือทางคุณภาพและเครื่องวัดที่ใช้ใน ขั้นตอนการระบุและคัดเลือกหัวข้อปัญหา

- Scatter plot
- Pareto chart
- เครื่อง Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray spectrometer
- Cause and effect diagram

2) สรุปบทขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ศึกษาแหล่งที่มาและข้อมูลต่างๆ เพื่อกลั่นกรองถึงแหล่งที่มาของปัญหาของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบ ด้วยการวิเคราะห์ระบบการไหลแล้วพบว่าในการผลิตกระจกวัตถุดิบ มีเครื่องจักรหลัก 2 เครื่องจักร คือ เครื่องตัด และเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ทำการเลือกเครื่องจักรต้นแบบที่จะทำการทดลองแก้ไขจากเครื่องที่เกิดของเสียเป็นจำนวนมากที่สุดของเครื่องจักรทั้งสอง

ทำการทดสอบความสามารถของเครื่องจักรในระบบการตรวจสอบฝุ่น ความสามารถในการผลิตและอัตราการเกิดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบ และตรวจสอบจำนวนของฝุ่นภายในเครื่องจักรเพื่อเก็บข้อมูล เพื่อนำไปเทียบข้อมูลหลังการปรับปรุง

เครื่องมือทางคุณภาพและเครื่องวัดที่ใช้ใน ขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการ

- Regression analysis and Correlation
- Cpk
- Bar chart
- Run chart

3) สรุปบทขั้นตอนการตรวจสอบและการออกแบบการทดลอง

วิเคราะห์ผลของสาเหตุต่างๆที่ได้จากแผนภูมิก้างปลา มาทำการวิเคราะห์ในรายละเอียด ของกระบวนการไหลของกระจกวัตถุดิบ ว่ามีการทำงานโดยตรงกับเครื่องจักร เพื่อสามารถกำหนดหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบกับกระจกวัตถุดิบ ซึ่งเครื่องจักรที่ได้มีการทำงานโดยตรง มีเครื่องตัด เครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบและ เครื่องฉายแสงยูวี โดยเครื่องฉายแสงยูวี มีกระบวนการเพียง 1 กระบวนการ ดังนั้นจึงทำการพิสูจน์สมมติฐานได้ทันที ซึ่งพบว่า เวลาที่ใช้ในการฉายแสงยูวีไม่ได้มีผลกระทบต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบ

นำ 7 ปัจจัยของเครื่องตัด และ 9 ปัจจัยของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ซึ่งแยกปัจจัยของเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบ ออกเป็น 2 ส่วน จากระบบการทำงานของเครื่องจักรเอง นั่นคือ 5 ปัจจัยของ กลุ่มพารามิเตอร์ต่างๆในการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนการทำงานของเครื่องจักร และ 4 ปัจจัยของ กลุ่มของการทำงานของ

ท่อลมทำความสะอาด ซึ่งใช้การออกแบบการทดลองจากโปรแกรม MINITAB แบบ 2-Level full factorial design และเริ่มทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้

เครื่องมือทางคุณภาพและเครื่องวัดที่ใช้ใน ขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการ

- Hypothesis testing
- MINITAB - DOE: 2-Full factorial design

4) สรุปบทขั้นตอนการดำเนินการปรับปรุง

ทำการทดลองตามตารางการออกแบบการทดลอง และใส่จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนที่เก็บข้อมูลได้ในแต่ละการทดลองเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ต่อด้วย โปรแกรม MINITAB โดยทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วย การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติของข้อมูล, การทดสอบสมมติฐานของการสุ่มของข้อมูล และการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเมื่อทดสอบแล้วได้ผลเป็นไปตามข้อกำหนดของความถูกต้องของแบบจำลอง แล้วจึงนำข้อมูลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง

จากจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบที่เป็นตัวแปรตอบสนอง หาค่าปัจจัยแต่ละปัจจัยที่ทำให้จำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนเกิดขึ้นน้อยที่สุด และสรุปปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบ เพื่อนำไปเป็นปัจจัยหลักที่นำไปทำการทดลองในเครื่องตัดและเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบเครื่องอื่น

ทำการเก็บข้อมูล เพื่อพิสูจน์ผลของการปรับปรุง ซึ่งหลังจากการปรับปรุงทำการเก็บข้อมูล พบว่าสามารถลดจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบลงได้ 51.75% ซึ่งทำให้อัตราของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนบนผิวกระจกวัตถุดิบลดลงเหลือ 10.95% จาก 22.70%

เครื่องมือทางคุณภาพและเครื่องวัดที่ใช้ใน ขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการ

- MINITAB - DOE: 2-Full factorial design
- Run chart

5) สรุปบทควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

เก็บผลการปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง หลังการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงระบบ และพารามิเตอร์ในค่าที่มีความเหมาะสม ซึ่งผลหลังการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 สามารถควบคุมของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนที่ผิวกระจกวัตถุดิบ ให้ค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 11.00% ต่อวัน และไม่มีปัญหาที่ผิดปกติหรือผลกระทบใดๆเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นในแผนกถัดไป โดยวิเคราะห์จากจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนภายในสินค้าสำเร็จรูปที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตรที่แผนกประกอบ และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ที่แผนกทดสอบแสง และผลสรุปที่ได้คือ ไม่เกิดผลกระทบที่เป็นข้อเสียหาย แต่สามารถลดจำนวนของเสียจากฝุ่นทั้งสองขนาดได้อีกด้วย

ทำเอกสารในการควบคุมเพิ่มเติม เพื่อเป็นสิ่งที่บอกเตือนการทำงานในระบบของเครื่องจักรที่มีการเปลี่ยนแปลง ให้ผู้ปฏิบัติงานรับรู้และเข้าใจ ในส่วนการปฏิบัติงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และเป็นเครื่องมือการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมได้อีกด้วย

- Scatter diagram
- Histogram
- Pie chart
- Flow chart – OCAP

7.4 สรุปผลตามวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	ผลลัพธ์ที่ได้
เพื่อลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบในเหลือน้อยกว่า 13.00% ของอัตราผลผลิต หรือลดลง 50%ของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบในปัจจุบัน เพื่อให้ได้ อัตราผลผลิตได้ถึง87.00% ของอัตราผลผลิตทั้งหมด อ้างอิงจากข้อมูลในการผลิตที่ดีที่สุดที่เคยผลิตได้	สามารถลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบ ลดลงเหลือน้อยกว่า 11%ของอัตราผลผลิต หรือลดลงได้ 51.75% ของจำนวนของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบจากเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2554 ทำให้อัตราผลผลิตปัจจุบันได้มากกว่า 89.00% ของอัตราผลผลิตทั้งหมด

7.5 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาในเรื่องการลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนกระจกวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้นำผลกระทบหรือการเพิ่มคุณค่าในกระบวนการอื่นๆ
2) ศึกษาเพียงกระบวนการในสินค้า ประเภท กระจกวัตถุดิบขนาด 35x24 มิลลิเมตรเท่านั้น และเครื่องจักรที่เฉพาะทำงานโดยตรงกับกระจกวัตถุดิบเท่านั้น
3) ผลต่างๆที่เกิดจากกระบวนการของข้อผิดพลาด อุบัติเหตุที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานจะไม่นำมาเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

7.6 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

1) เวลาที่มีจำกัดในการป้อนข้อมูลที่กำหนดโดยตารางออกแบบการทดลอง มีเวลาจำกัดในการตั้งค่าเครื่องจักรต่างๆ เพื่อให้สามารถผลิตงานในจำนวนที่สามารถวัดผลออกมาได้ผลของค่าเฉลี่ยของของเสียในระดับการควบคุมใกล้เคียงกัน
2) การตรวจสอบกระจกวัตถุดิบก่อนนำเข้าทดลอง ต้องมีการตรวจสอบที่เข้มงวดในความเป็นปกติของวัตถุดิบว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ มีสิ่งตกค้างหรือลักษณะความผิดปกติหรือไม่ เพื่อไม่ให้มีการวัดผลที่ผิดพลาดไป
3) ต้องมีเวลาเพื่อการแนะนำ อบรมผู้ปฏิบัติงานให้เกิดความเข้าใจในการทำการทดลองต่างๆ ความคาดหวัง การเตือนข้อผิดพลาด การควบคุมสภาวะต่างๆ เพื่อให้ได้ผลของการทดลองที่เชื่อถือได้
4) ปัจจัยที่นำมาทำการทดลองมีจำนวนมากซึ่ง ต้องให้ผู้ติดตั้งเครื่องจักรระวังและตรวจสอบ ค่าที่ใช้งานว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ มีการบันทึกรูปภาพในการกรอกข้อมูลแต่ละครั้ง เพื่อเป็นบันทึกการเปลี่ยนแปลง
5) ต้องมีการขออนุญาตทางผู้บริหาร เพื่อยอมรับผลการทดลองที่อาจเกิดของเสียขึ้นมากกว่าปกติในการทดลองที่ให้ผลออกมาไม่ดี แต่จะทำการบันทึกข้อมูลไว้เป็นประวัติในการทำงานของเครื่องจักร เพื่อเป็นข้อมูลในการทดลองครั้งถัดไป

7.7 ข้อเสนอแนะ

จากผลของการดำเนินงานวิจัย ที่ได้ทำการทดลองมา กลุ่มผู้ปฏิบัติงานมีความเห็นกับกรณีศึกษาที่ต้องการงานวิจัยนี้เป็นตัวอย่าง

1) หลังจากทำการติดตั้งเครื่องจักรมือสองหรือถูกปรับค่าติดตั้งต่างๆจากต่างประเทศ เพื่อสามารถนำเข้ามาปฏิบัติงานได้ทันที ควรมีการสร้างการออกแบบการทดลอง เพื่อให้เหมาะสมกับองค์ประกอบในการทำงานต่างๆที่แตกต่างกันของโรงงานในแต่ละประเทศ เช่นในกรณีศึกษานี้ พบว่า น้ำ DI (น้ำหล่อเย็น) ในโรงงานในประเทศไทยแตกต่างกับโรงงานในประเทศญี่ปุ่น ในส่วนของ แรงดันน้ำในท่อ อุณหภูมิ และค่า pH ในน้ำ ซึ่งมีผลต่ออัตราการกัดกร่อนของใบมีดตัดและกระจกวัตถุดิบ
2) การเกิดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อน ในการวัดจำนวนของเสีย ควรระวังของเสียที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกระจกวัตถุดิบโดยตรง ทำให้เกิดเป็นคราบที่เป็นรอยนิ้วมือ ทำให้เครื่องจักรตัดสินว่าเป็นของเสีย ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ดังนั้น ในการปฏิบัติงาน ผู้ปฏิบัติงานควรสวมมือที่เป็นถุงมือที่ใช้ในห้องควบคุมฝุ่นโดยเฉพาะ (Clean room)
3) ควรมีการอบรมโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ให้แก่พนักงานที่ปฏิบัติงานในกลุ่ม เพื่อสามารถวิเคราะห์ผลและเพิ่มความง่ายให้ในการทำงาน
4) ต้องมีการขออนุญาตทางผู้บริหาร ในระยะเวลาในการดำเนินงาน และเสนอผลที่ได้รับจากวัตถุประสงค์ของโครงการที่น่าสนใจ มีการพัฒนาที่ดีขึ้นมากกว่าสิ่งที่เสียไปจากการทดลอง
5) ผลของงานวิจัย ควรมีการนำไปทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ที่ได้ผลดีที่สุด โดยวิธี Optimize value ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการทดลองเพื่อให้ได้ผลตามที่ตั้งเป้าหมายเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านระยะเวลาในการทำการทดลอง
6) การวิเคราะห์จุดที่ควรระวังสำหรับกระบวนการเตรียมกระจกวัตถุดิบ สามารถนำไปใช้ ในการวิเคราะห์ข้อมูล FMEA ในการทดลองต่อไปได้
7) ควรมีการนำผลที่ได้จากการวิจัย ไปปรับปรุงในเครื่องตัดและเครื่องแยกชิ้นและตรวจสอบกระจกวัตถุดิบเครื่องอื่นๆ และนำไปพัฒนาให้เหมาะสมกับการทดลองเครื่องจักรชนิดอื่นๆ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประเมินผลด้วย MINITAB). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2551.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ Failure Mode and Effect Analysis. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2549.

กันตา สุวรรณฤทธิ์. การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้แนวคิด ลีน ซิกซ์ ซิกม่า . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554

กันยรัตน์ คมวัชระ. การนำ Six Sigma มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการศึกษา. ฉบับที่ 1 ขอนแก่น: วารสารประกันคุณภาพ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2547.

ฉลอง สีแก้วสิ่ว. Design of Experiment คืออะไร. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา http://www.geocities.ws/chalong_sri/Full_DOE.html. [8 สิงหาคม 2554]

ชนัตถ์ โรจนะบุรานนท์. การลดความสูญเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ทวี เวชพฤติ และกิตติพงศ์ เตมียะประดิษฐ์. การออกแบบห้องสะอาด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2531.

เยาวนาฏ ศรีวิชัย. การลดข้อบกพร่องบนผืนงานในกระบวนการผลิตลวดตาข่ายโดยใช้เทคนิคซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554.

ภาณุ ชุดเจือจีน. การประยุกต์ซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดของเสียจากการพ่นสีพื้น ในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ภัทรา อายุวัฒน์. การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

วรภูมิ จตุวรพัฒน์. การปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ของชิ้นส่วนฮาร์ดไดร์ โดยวิธีการซิกซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

วสันต์ พุกผาสุก. การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

วีระพล บดีรัฐ. PDCA วงจรสู่ความสำเร็จ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร : ประชาชน จำกัด, 2543.

สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. การดำเนินการแบบ PDCA. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา http://youth.fipi.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=42 [8 สิงหาคม 2554]

สมบัติ สุขนิจ. การแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซีโดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ศิริวดี เอื้ออรัญติ. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

อรวรรณ พิทักษ์เกียรติกุล. การปรับปรุงกระบวนการทดสอบตัวรับสัญญาณทางแสงในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551

อุรคินทร์ พลนิกร. การลดของเสียจากกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นในอุตสาหกรรมท่อสแตนเลสเกรด 304 . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋อง โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ภาษาอังกฤษ

Aksoy, B. and Orbak, A.Y. Reducing the Quantity of Reworked Parts in a Robotic Arc Welding Process. Wiley InterScience 25 (June 2008) : 495-512

Das, P. and Roy, S. An Application of Six Sigma methodology to reduce lot to lot shade variation of linen fabrics. Sage journals 36 (January 2007) : 227-251

Desai, T.N. and Shrivastava, R.L. Sigma – A new direction to quality and productivity management. In World congress on engineering and computer science, pp. 1-6. 2008.

Gijo, E.V., Scaria, J. ,and Anthony, J. Application of Six Sigma Methodology to Reduce Defects of a Grinding Process. Quality and Reliability Engineering International 27 (December 2011) : 1221-1234

Gijo, E.V. and Scaria, J. Reducing rejection and rework by application of Six Sigma methodology in manufacturing process. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage 6 (2010) : 77-90

Kumar, S. and Satsangi, P.S. Six sigma an excellent tool for process improvement – a case study. International Journal of Scientific and Engineering Research 9 (September 2011) : 1-10

Law, R.C., et al. Six sigma Methodology in Improving Assembly Yield of High-Power and High-Brightness Light-Emitting Diodes Packages for Automotive Application. In 33rd International Electronics Manufacturing Technology Conference, pp. 1-7. 2008.

Mukhopadhyay, A.R. ,and Ray, S. Reduction of Yarn Packing Defects Using Six Sigma Methods: A case study. London : Taylor & Francis Group, 2006.

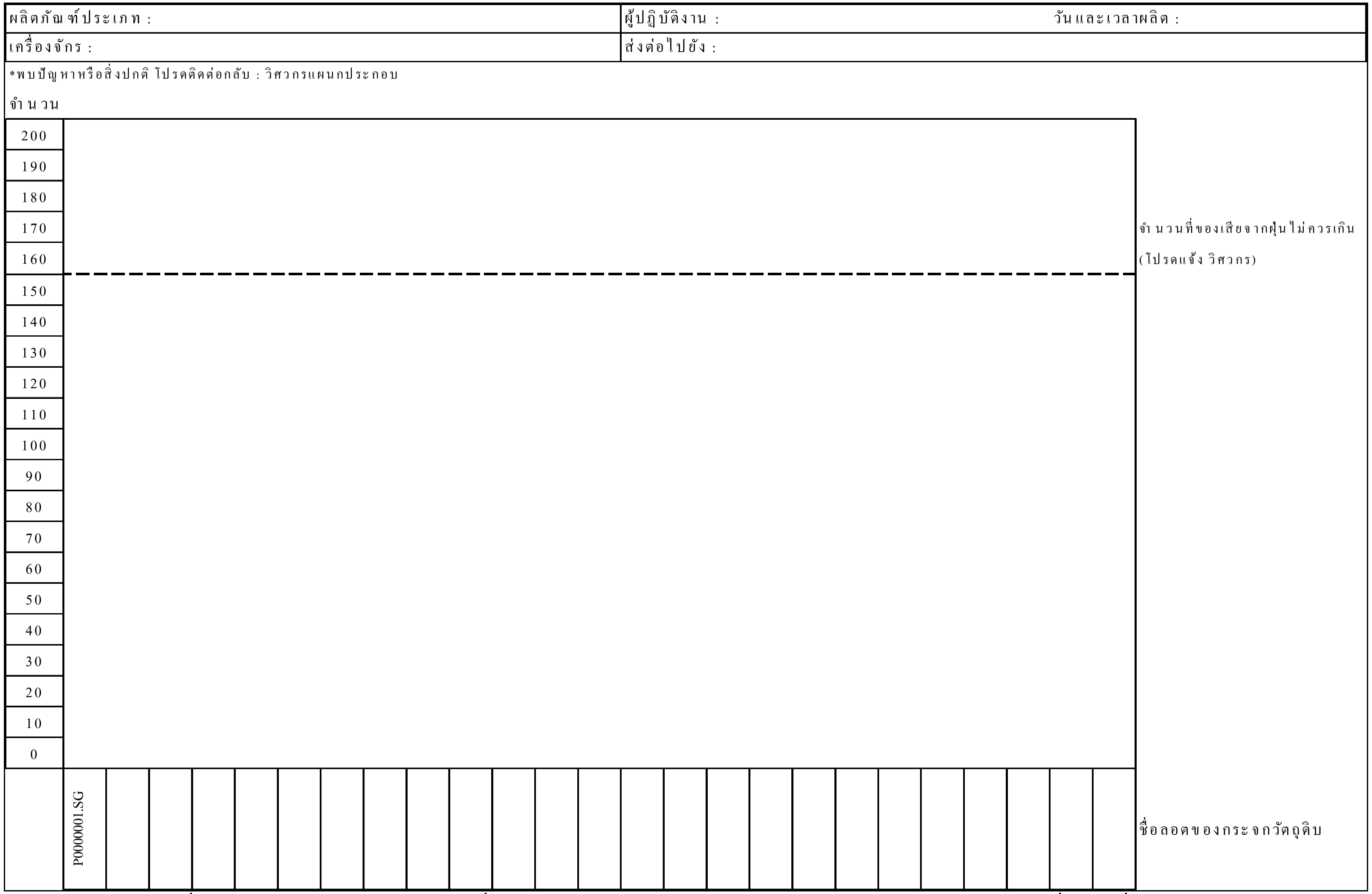
Santry, M.N.P., Devi, M.D. and Reddy, E.S. Application of Six sigma for process improvement and variation reduction of automotive batteries. Science insights : An International 2 (October 2011) : 25-31

Valles, A., Sanchez, J., Noriega, S., and Nunez, B.G. Implementation of Six sigma in a manufacturing process: a case study. International journal of industrial engineering 16 (2009) : 171-181

ภาคผนวก

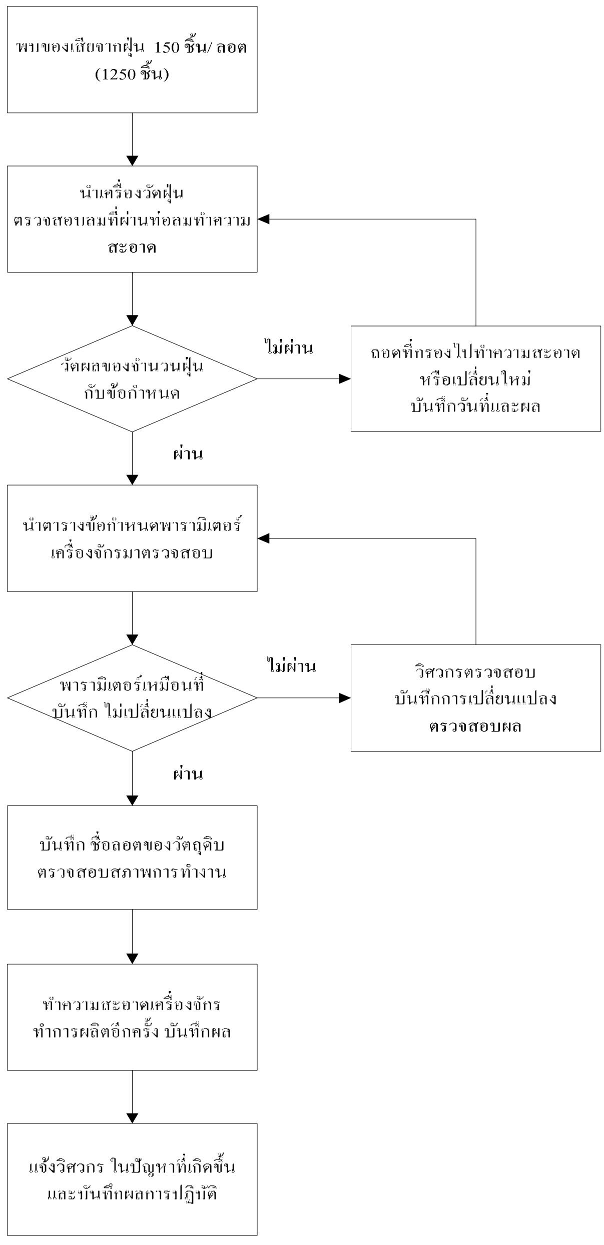
ภาคผนวก ก

แบบฟอร์มเอกสารที่เกี่ยวข้องในการปฏิบัติงาน ในการควบคุม



ภาพที่ ก.1 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมที่ใช้ในส่วนของการผลิต สามารถสังเกตเห็นจำนวนของเสียเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติ

OCAP : กรณีพบฝุ่นเกินระดับปกติในกระจกวัตถุดิบ 1 ลอต	**เครื่องจักร : เครืองแยกชิ้นและตรวจสอบวัตถุดิบ**
ผู้รับผิดชอบ : นายปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์ ตำแหน่ง : วิศวกรกระบวนการประกอบ	**เลขที่เอกสาร : วันที่บันทึก :**



เอกสารผ่านการตรวจสอบแล้วโดย : หัวหน้าฝ่ายวิศวกรกระบวนการประกอบ	**เอกสารนี้ใช้โดยตรงกับ : วิศวกร, ช่างเทคนิค**

ภาพที่ ก.2 ตัวอย่างแผนการแก้ไข ป้องกันปัญหาเมื่อเกิดสภาวะนอกการควบคุม ในกรณีพบฝุ่นเกินระดับปกติ

<table>
<tr><td colspan="2">Abnormal condition
บันทึกสภาวะผิดปกติ</td><td colspan="2">วันที่:</td><td>ผู้บันทึก:</td><td>กะ
ทำงาน:</td></tr>
<tr><td colspan="3">เครื่องจักร:</td><td colspan="3">ประเภทผลิตภัณฑ์:</td></tr>
<tr><td>วัตถุดิบ:</td><td colspan="5">ข้อมูลกระจกวัตถุดิบ (lot name, delivery date)
ข้อมูลอุปกรณ์ในเครื่องจักร</td></tr>
<tr><td colspan="6">ปัญหา:</td></tr>
<tr><td colspan="6">การแก้ไขเบื้องต้น โดย technician:</td></tr>
<tr><td colspan="6">การปรับปรุงโดยวิศวกร:</td></tr>
<tr><td colspan="3">สรุปผล:</td><td colspan="2">วิศวกรผู้รับผิดชอบ:</td><td>ผู้จัดการฝ่ายที่
รับผิดชอบ:</td></tr>
</table>

ภาพที่ ก.3 ตัวอย่างเอกสารบันทึกปัญหาของเครื่องจักร และบันทึกสภาวะที่ผิดปกติ

ภาคผนวก ข

คะแนนการประเมินในการวิเคราะห์จุดควรระวัง (ประยุกต์จาก FMEA)

ตาราง ข.1 ระดับการให้คะแนนของความรุนแรงของปัญหา ในการวิเคราะห์จุดควรระวัง

ระดับความรุนแรง	คะแนน
เครื่องจักรได้รับความเสียหาย และเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานทันที	10
เครื่องจักรได้รับความเสียหายสะสม และผู้ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงในการรับอันตราย	9
มีผลกระทบรุนแรงทั้งในแผนก และแผนกถัดไป และเกิดการปฏิบัติงานที่ผิดปกติ ไม่เป็นไปตามการทำงานมาตรฐาน (Work standard)	8
มีผลกระทบรุนแรงทั้งในแผนก และแผนกถัดไป ในระบบการไหล เครื่องจักร ผู้ปฏิบัติงาน	7
มีผลกระทบรุนแรงภายในแผนกเท่านั้น ในระบบการไหล เครื่องจักร ผู้ปฏิบัติงาน	6
มีผลกระทบให้เกิดของเสียในระดับผิดปกติ แต่สามารถแก้ไขเครื่องจักร หรือระบบการทำงานได้ทันที	5
มีผลกระทบให้เกิดของเสียในระดับผิดปกติ แต่สามารถแก้ไขเครื่องจักรไขได้ทันที ไม่มีผลกระทบต่อระบบการทำงาน	4
มีผลกระทบให้เกิด ของเสียเพียงเล็กน้อยที่ไม่สามารถหาข้อแตกต่างจากอัตราของเสียปกติ	3
ไม่เกิดของเสีย แต่มีการปรับปรุงเครื่องจักร เฉพาะสถานการณ์ เพียงเล็กน้อย	2
ไม่เกิดผลกระทบ ไม่เกิดของเสีย	1

ตาราง ข.2 ระดับการให้คะแนนของความถี่ในการเกิดปัญหา ในการวิเคราะห์จุดควรระวัง

ระดับความถี่ในการเกิดปัญหา	อัตราการเกิดปัญหา (จำนวนครั้งการเกิดปัญหา/ จำนวนโอกาสทั้งหมด) ขึ้นอยู่กับหน่วยนับของปัญหานั้น	คะแนน
ความถี่ในการเกิดปัญหามาก ถึงมีโอกาสเกิดปัญหาขึ้นทั้งหมด	$\geq$ 1/2	10
	1 / 3	9
ความถี่ในการเกิดปัญหามาก ถึงมีโอกาสเกิดปัญหาขึ้นทั้งหมด	1 / 10	8
	1 / 50	7
ความถี่ในการเกิดปัญหา อยู่ในระดับที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ที่ต้องการแก้ไขทัน	1 / 100	6
	1 / 1,000	5
ความถี่ในการเกิดปัญหา อยู่ในระดับที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ในระดับปกติ	1 / 5,000	4
ความถี่การในเกิดปัญหาน้อยมาก	1 / 10,000	3
	1 / 100,000	2
ไม่มีโอกาสที่จะเกิดปัญหาได้	0	1

ตาราง ข.3 ระดับการให้คะแนนของระบบตรวจสอบ ความสามารถในการตรวจจับปัญหา ในการวิเคราะห์จุดควรระวัง

ระดับความรุนแรง	คะแนน
ไม่มีระบบตรวจสอบใดๆ ที่สามารถป้องกันได้	10
ระบบตรวจสอบ ตรวจจับความผิดปกติได้ยาก ต้องการเปลี่ยนระบบตรวจสอบทั้งหมด	9
ระบบตรวจสอบ ตรวจจับความผิดปกติได้ยาก หรือต้องมีการเพิ่มเติมและติดตั้งระบบตรวจสอบเพิ่ม	8
ระบบตรวจสอบ ตรวจจับความผิดปกติได้ยาก หรือต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์หรือตำแหน่งใช้งานของระบบตรวจสอบที่มีอยู่ ต้องหยุดเครื่องจักรปรับปรุงเป็นเวลานาน	7
ระบบตรวจสอบ สามารถตรวจจับได้ปกติ แต่ต้องมีการปรับพารามิเตอร์ในการตรวจจับให้เหมาะสมและเพิ่มระบบตรวจสอบอีกเล็กน้อยเพื่อเพิ่มระดับความเชื่อมั่น	6
ระบบตรวจสอบ สามารถตรวจจับได้ปกติ แต่ต้องมีการปรับพารามิเตอร์ในการตรวจจับให้เหมาะสม	5
ระบบตรวจสอบ สามารถตรวจจับได้ปกติ อาจเพิ่มหรือพัฒนาระบบขึ้นตามการพัฒนา	4
ระบบตรวจสอบ ตรวจจับได้ง่าย ภายในระบบตรวจจับที่มีทั้งหมด หรือเพิ่มเติมระบบเพียงเล็กน้อย	3
ระบบตรวจสอบ ตรวจจับได้ง่าย สามารถตรวจจับได้โดยในระบบการตรวจสอบเพียง 1 ระบบ	2
ระบบตรวจสอบ ตรวจจับได้ง่าย ไม่มีโอกาสที่จะเกิดการหลุดของข้อผิดพลาดใดๆ	1

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ – สกุล	นายปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์
วัน เดือน ปี เกิด	วันอาทิตย์ที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2527
ภูมิลำเนา	75 ถนนป่าขาม ตำบลหัวเวียง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

ประวัติการศึกษา

2533	ประถมศึกษา	โรงเรียนอนุบาลลำปาง จังหวัดลำปาง
2539	มัธยมศึกษา	โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง
2545	ปริญญาตรี	วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2553	ปริญญาโท	วิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการทำงาน

2551	วิศวกรควบคุมกระบวนการ โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ สวนอุตสาหกรรมบางกะดี จังหวัดปทุมธานี
2555	วิศวกรอาวุโส ด้านวิเคราะห์ข้อมูลการให้บริการ ของธุรกิจ Call center, รัชดาภิเษก กรุงเทพมหานครฯ