



การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อการลดของเสีย :

กรณีศึกษาแผนกผลิตเบริ่งส์

โดย

นางสาวอิซาร์ตน์ วราสิทธิ์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อการลดของเสีย :

กรณีศึกษาแผนกผลิตแบรีงส์

โดย

นางสาวอิซาร์ตน์ วราสิทธิ์



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



PROCESS IMPROVEMENT FOR DEFECT REDUCTION :  
A CASE STUDY OF BEARING FACTORY

BY

MISS THICHARAT WARASIT



AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN

INDUSTRIAL DEVELOPMENT

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การค้นคว้าอิสระ

ของ

นางสาวธิชารัตน์ วราสิทธิ์

เรื่อง

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อการลดของเสีย : กรณีศึกษาแผนกผลิตแบร์ริงส์

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



(รองศาสตราจารย์ ดร. บุษบา พงกษาพันธุ์รัตน์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ



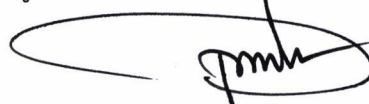
(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทศนีย์กร)

กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรารัตน์ กังสัมฤทธิ์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ วังศกาญจน์)

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อการลดของเสีย
ชื่อผู้เขียน	: กรณีศึกษาแผนกผลิตแปรงสี
ชื่อปริญญา	นางสาวธิดารัตน์ วราสิทธิ์
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศน์กร
ปีการศึกษา	2558

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งลดปัญหาข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่ลูกค้าพบหลังจากการใช้งานผลิตภัณฑ์ของ โรงงานกรณีศึกษาด้วยการประยุกต์ตามหลักแนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนของ DMAIC เริ่มจาก ขั้นตอนของการกำหนดปัญหา ซึ่งจากการเก็บข้อมูลข้อบกพร่องหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แปรงสีของลูกค้าภายในปี พ.ศ. 2558 พบว่าปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายเกินข้อกำหนดจากปัญหานี้จึงนำไปสู่การทดสอบความน่าเชื่อถือ ให้กับเครื่องมือวัด ผลสรุปว่าเครื่องมือวัดยังมีความน่าเชื่อถืออยู่ ในการหาสาเหตุและปัจจัยที่เกี่ยวข้องเริ่มด้วย แผนภาพกระบวนการแบบไซพอค ใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล และการวิเคราะห์ความผิดพลาดในกระบวนการ เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้น จึงทำการทดสอบสมมติฐานในแต่ละปัจจัย ได้ผลสรุป คือ ปัจจัยในส่วนของ กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ปริมาณจาระบีในแปรงสี และวิธีการฉีดจาระบีใส่แปรงสี เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลดังกล่าวนำไปสู่การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ หรือ  $2^k$  เพื่อหาระดับปัจจัยที่ดีที่สุด โดยจากผลการทดลองพบว่า การไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ปริมาณจาระบีที่ 1.6 มิลลิกรัม และการฉีดจาระบีแบบฉีดสามครั้ง เป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเมื่อนำผลจากการออกแบบการทดลองไป ประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต พบว่าค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแปรงสีลดลงจาก 8,200 ของเสีย/ชิ้น เหลือ 4,850 ของเสีย/ชิ้น หรือคิดเป็นการลดลงร้อยละ 40.85

**คำสำคัญ:** การลดของเสีย, สารอินทรีย์ระเหยง่าย, การออกแบบการทดลอง

Independent Study Title	PROCESS IMPROVEMENT FOR DEFECT REDUCTION : A CASE STUDY OF BEARING FACTORY
Author	Miss Thicharat Warasit
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Development Faculty of Engineering Thammasat University
Independent Study Advisor	Assoc. Prof. Dr. Wuthichai Wongthatsaneorn
Academic Years	2015

### ABSTRACT

The focus of this research is to reduce the defect of bearing products. We applied five steps of DMAIC to solve the problem. In the define phase, the data in year 2015 revealed that the outgas values are higher than the customer's specification. In the measure phase, we performed reliability hypothesis test of the measuring tools and the results revealed that they are still reliable. In the analysis phase, cause and effect diagram and failure mode and effect diagram analysis were used to find the causes of the problem. The results from the hypothesis test for each factor showed that washing process, grease amount and grease supply method are significant factors. In the improve phase, design of experiment was conducted to determine the level of the best parameter settings. The result showed that it is best not to perform washing, grease amount is set to 1.6 mg. and grease supply method is a three-step method. When using this setting, we found that the defect from outgas reduces from 8,200 ng/pc to 4,850 ng/pc or 40.85%.

**Keywords:** Reducing Defect, Outgas, Design of Experiment

## กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เนื่องด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่า ช่วยชี้แนะให้คำแนะนำในการดำเนินงาน ตลอดจนคอยให้คำปรึกษาในด้านวิชาการเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้อง ตลอดจนช่วยให้การตรวจสอบข้อบกพร่องในการจัดทำการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร. บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรารัตน์ กังสัมฤทธิ์ ที่ช่วยประเมินผล พร้อมทั้งช่วยตรวจสอบข้อบกพร่องในการจัดทำเล่มการค้นคว้าอิสระนี้ อีกทั้งช่วยชี้แนะให้ผู้วิจัยเห็นถึงจุดที่บกพร่องในการทำวิจัย เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปรับปรุงวิจัยที่ดีขึ้น และขอขอบคุณ คุณชมพูนุช พิกุล เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และนายชาญ สุดตาชาติ วิศวกรคุณภาพ สังกัดส่วนงานควบคุมคุณภาพ บริษัท เอ็นเอ็มบี – มಿನีแบ ไทย จำกัด ที่คอยให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา อีกครั้งยังช่วยตรวจสอบรูปเล่มของงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว รวมถึงเพื่อนที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ผู้วิจัยคาดหวังว่า การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงต่อไป

นางสาวธิชารัตน์ วราสิทธิ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(8)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกซ์ ซิกม่า	5
2.2 การวิเคราะห์ปัญหา	9
2.3 การรวบรวมข้อมูล	18
2.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด	18
2.5 การทดสอบสมมุติฐาน	20
2.6 การออกแบบการทดลอง	21



2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	31
3.1 กระบวนการผลิตเบริ่งส์รุ่น A	31
3.2 กระบวนการประกอบเบริ่งส์ช่วงหนึ่ง	32
3.3 กระบวนการประกอบเบริ่งส์ช่วงสอง	33
3.4 ขั้นตอนการค้นหาและระบุปัญหา	35
3.5 ขั้นตอนการวัดผล	38
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์	42
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	59
4.1 ขั้นตอนการปรับปรุง	59
4.2 ขั้นตอนการควบคุม	65
4.3 สรุปผลการดำเนินการ	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
5.1 บทสรุปการดำเนินงาน	71
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	73
5.3 ข้อเสนอแนะ	74
รายการอ้างอิง	75
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	76
ภาคผนวก ข	77
ประวัติผู้เขียน	78

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนงานการดำเนินงานวิจัย	4
2.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น	14
2.2 เกณฑ์การประเมินโอกาสที่จะเกิดผลกระทบขึ้น	16
2.3 เกณฑ์การประเมินความสามารถในการควบคุมความบกพร่อง	17
2.4 ค่าระดับความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	20
3.1 SIPOC ของกระบวนการผลิตแบริ่งรุ่น เอ (BEARING MODEL A)	37
3.2 ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากสารมาตรฐานระหว่างลูกค้าและบริษัทกรณีศึกษา	39
3.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Paired – T Test	41
3.4 สรุปปัจจัยที่เป็นไปได้ที่ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย	44
3.5 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงกระบวนการ	47
3.6 กระบวนการและปัจจัยสำหรับการทดสอบสมมุติฐาน	48
3.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยกระบวนการ ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	51
3.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยของปริมาณ จาระบีที่ใส่ในแบริ่งส์ ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	52
3.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยของขนาด ของรูเข็มฉีดจาระบี ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	54
3.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยของวิธีการ ฉีดจาระบีใส่แบริ่งส์ ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	55
3.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยของตัวกรอง ของเครื่องฉีดจาระบี ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	57
3.12 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA	58
4.1 ค่า Max difference และค่า Stdev จากการทดสอบสมมุติฐาน One Way ANOVA	60
4.2 ค่ากำลังของการทดลองจากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^k$	61
4.3 ตารางสรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยก่อนการปรับปรุง และการออกแบบการทดลอง	62
4.4 ตารางแสดงการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^k$	63

4.5	ผลตอบสนองในส่วนของคุณค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Out gas result)	63
4.6	การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงกระบวนการ	68
4.7	เปรียบเทียบค่าการประเมินค่าความเสี่ยงชี้้นำ (RPN) ก่อนและหลังการปรับปรุง	69



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ผลិតภัณฑ์แบร์ริงส์ และ ฮาร์ดดิสก์ของบริษัทกรณีศึกษา	2
1.2 ปัญหาหลังการใช้งานของลูกค้า ในปี ค.ศ 2015	2
2.1 กรอบแนวคิด SIPOC Model	9
2.2 ส่วนประกอบของผังแสดงเหตุและผล	11
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของการทดลอง	22
3.1 กระบวนการผลิตหลักของแบร์ริงส์	31
3.2 กระบวนการผลิตแบร์ริงส์ช่วงหนึ่ง	32
3.3 กระบวนการผลิตแบร์ริงส์ช่วงสอง	34
3.4 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนข้อบกพร่องต่างๆที่ลูกค้าพบหลังการใช้งานในปี 2015	36
3.5 กราฟแสดงข้อมูลค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายก่อนการใช้งาน และหลังการใช้งานของลูกค้า	37
3.6 ผลการวิเคราะห์เครื่องมือตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย	40
3.7 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในแบร์ริงส์	43
3.8 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 และไม่ล้างชิ้นงานแบร์ริงส์ขั้นที่ 1 ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร์ริงส์	51
3.9 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยของปริมาณจาระบีที่ใส่ในแบร์ริงส์ ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	53
3.10 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยของขนาดของรูเข็มฉีดจาระบี ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	54
3.11 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยของวิธีการฉีดจาระบีใส่แบร์ริงส์ ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	56
3.12 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยของตัวกรองของเครื่องฉีดจาระบี ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน	57
4.1 กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1	59
4.2 วิธีการฉีดจาระบีใส่แบร์ริงส์ แบบ One step และ Three step	60
4.3 กำลังของการทดลอง (Power and sample size)	61
4.4 อิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร์ริงส์สูงของแต่ละปัจจัย	64

4.5 กราฟแสดงข้อมูลค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ก่อนการใช้งานหลังการปรับปรุง	65
4.6 กราฟแสดง I-MR chart ของปริมาณจาระบีในชิ้นงานแบริ่งส์	66
5.1 กราฟแสดงข้อมูลค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายก่อนการใช้งานก่อนและหลังการใช้งานของ ลูกค้ำหลังการปรับปรุงกระบวนการ	73



## รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
Outgas	สารอินทรีย์ระเหยง่าย
DMAIC	กระบวนการ 5 ขั้นตอนตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา
Washing I	กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1
One step	การฉีดจาระบิลงแปรงสี 1 ครั้ง
Three step	การฉีดจาระบิลงแปรงสี 3 ครั้ง



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยถือว่ามีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย ไม่น้อยไปกว่ากลุ่มอุตสาหกรรมหรือธุรกิจอื่นๆ และในปัจจุบันกลุ่มงานอุตสาหกรรมได้ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ ยิ่งมีการแข่งขันสูงมากเพียงใด เราจำเป็นต้องมีการพัฒนาปรับปรุง รักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์ของเราเป็นที่ยอมรับของตลาด ลดต้นทุนในกระบวนการผลิต และรักษาเวลาในการส่งมอบให้กับลูกค้า เพื่อให้ลูกค้าเกิดความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ เพราะถ้าเกิดข้อบกพร่องหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า จะมีผลต่อความเชื่อมั่นของลูกค้า ทำให้ผลิตภัณฑ์ของเราไม่สามารถแข่งขันกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในกลุ่มเดียวกันได้ ส่งผลให้ความสามารถในการแข่งขันในธุรกิจของเราลดลง ความเชื่อมั่นของลูกค้าลดลง และยอดขายลดลงตามมาในที่สุด

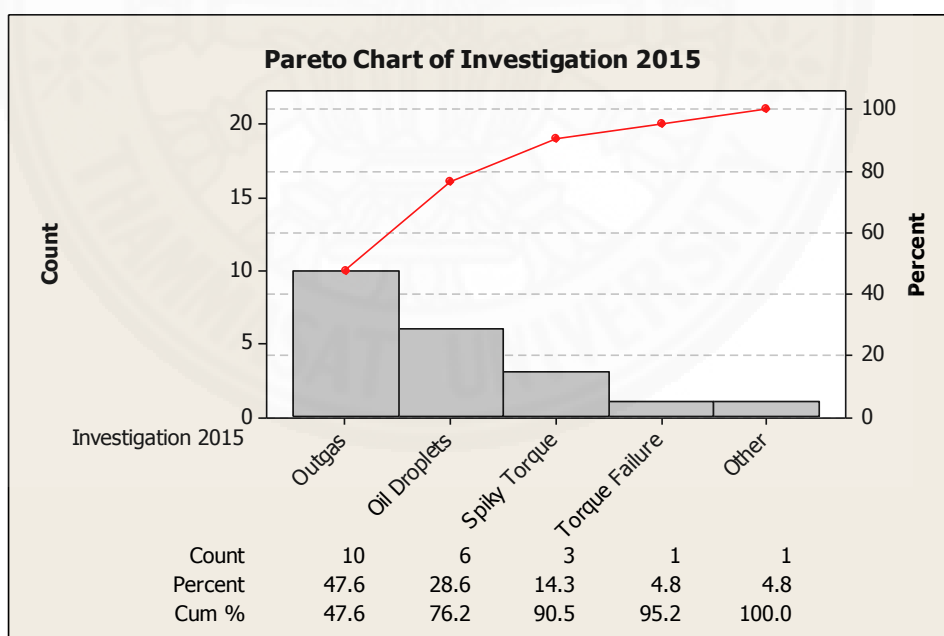
ดังนั้นการศึกษาแนวทางการลดข้อเสียที่ไม่เป็นไปตามความของลูกค้า ในกระบวนการผลิตแบร์ริงส์ ที่เกิดจากปัญหาในกระบวนการผลิตแบร์ริงส์และส่งผลกระทบต่อการใช้งานของลูกค้า จึงเป็นส่วนสำคัญสำหรับงานวิจัยนี้ ในอุตสาหกรรมการผลิตแบร์ริงส์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ คุณภาพและต้นทุนมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะลูกค้ามีการประเมินความสามารถทางกระบวนการผลิตเป็นรายไตรมาส เพื่อต้องการให้ทางบริษัทมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ให้ตอบโจทย์การใช้งานของลูกค้าให้ได้มากที่สุด รวมถึงการลดข้อบกพร่องของตัวผลิตภัณฑ์เอง ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าอย่างต่อเนื่อง

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทแบร์ริงส์ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งปัจจุบันมีคู่แข่งทางการค้ามากมาย ทางบริษัทกรณีศึกษานั้นมีนโยบายเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ แบร์ริงส์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ผู้ศึกษาจึงต้องการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับลูกค้า เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์แบร์ริงส์ของบริษัทกรณีศึกษามีคุณภาพได้ตามความต้องการของลูกค้า จากการเก็บข้อมูลปัญหาด้านคุณภาพจากลูกค้าพบหลายหลายปัญหาหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบร์ริงส์ ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี้ก่อให้เกิดงานที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าและส่งผลให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจกับผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา



ภาพที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์แบริ่งส์ และฮาร์ดดิสก์ของบริษัทกรณีศึกษา

ปัจจุบันทางผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์แบริ่งส์ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการลูกค้าซึ่งพบว่า หลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบริ่งส์ของบริษัทกรณีศึกษานั้นลูกค้าพบปัญหาต่างๆ หลากหลายปัญหา จากนั้นลูกค้าได้มีการส่งชิ้นงานที่มีปัญหาย้อนกลับมาให้ทางบริษัทกรณีศึกษาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ ดังกราฟตัวอย่าง ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1.2 ปัญหาหลังการใช้งานของลูกค้า ในปี ค.ศ 2015

จากปัญหาที่ได้กล่าวมานั้นสร้างความไม่พึงพอใจต่อลูกค้าเป็นอย่างมาก ทำให้ทางบริษัทกรณีศึกษา มีคะแนนประเมินในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์แบริ่งส์ค่อนข้างต่ำ



เมื่อ	Outgas: สารอินทรีย์ระเหยง่าย
	Oil Droplets: หยดน้ำมันบนชิ้นงาน
	Spiky Torque: เสี่ยงการหมุนตัวของชิ้นงานผิดปกติ
	Torque Failure: การเคลื่อนตัวของชิ้นงานผิดปกติ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิด สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Outgas) ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ A เพื่อทำการแก้ไขและป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้น
2. เพื่อลดปัญหาข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่ลูกค้าพบหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แม่พิมพ์ของบริษัทกรณีศึกษา

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษากระบวนการผลิตแม่พิมพ์ A เฉพาะปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่าย หรือ Outgas ที่พบตั้งแต่กระบวนการผลิตแม่พิมพ์ A จนถึงการใช้งานของลูกค้าเท่านั้นโดยใช้เครื่องมือ DMAIC เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์แม่พิมพ์ A จากขั้นตอนการกำหนดขอบเขตของปัญหาถึงขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ

## 1.4 วิธีการดำเนินงาน

ศึกษากระบวนการผลิตแม่พิมพ์ A ของบริษัทกรณีศึกษาและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ที่ส่งผลทำให้เกิดปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลข้อร้องจากลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา
2. ศึกษาหลักการทางซิกซ์ ซิกม่า และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
3. ระบุปัญหาที่มีความสำคัญ และทำการเลือกปัญหา (Define Phase)
4. ดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้
  - 4.1 ขั้นตอนการวัด (Measure phase)
  - 4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze phase)
  - 4.3 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve phase)

## 4.4 ขั้นตอนการควบคุม (Control phase)

5. สรุปผลการปรับปรุงของกรณีศึกษา และข้อเสนอแนะ
6. จัดทำรูปเล่ม

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปัญหาข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่ลูกค้าพบหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบร์ริงส์
2. เพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า
3. ลดปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

## 1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1

แผนงานการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	มิ.ย. 58	ก.ค. 58	ส.ค. 58	ก.ย. 58	ต.ค. 58	พ.ย. 58	ธ.ค. 58	ม.ค. 59	ก.พ. 59	มี.ค. 59	เม.ย. 59
1 ศึกษาข้อมูลข้อร้องจากลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา											
2 ศึกษาหลักการทางซิกซ์ ซิกม่า และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง											
3 ระบุปัญหาที่มีความสำคัญ และทำการเลือกปัญหา											
4 ดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้ 4.1 ขั้นตอนการวัด 4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ 4.3 ขั้นตอนการปรับปรุง 4.4 ขั้นตอนการควบคุม											
5 สรุปผลการปรับปรุงของกรณีศึกษา และข้อเสนอแนะ											
6 จัดทำรูปเล่ม											

## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทางผู้วิจัยจะกล่าวถึงงานวิจัย และการนำทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานวิจัยที่เกี่ยวกับการลดของเสียในกระบวนการผลิตเบริงส์ โดยใช้เทคนิค ชิکش ชิคม่า และการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้ารวบรวมทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับชิکش ชิคม่า

ต้นกำเนิดของวิธี Six Sigma เป็นหลักการบริหารด้านคุณภาพที่เกิดขึ้นปี พ.ศ. 2533 โดยกลุ่มวิศวกรของบริษัท Motorola ภายใต้การนำของ Dr.Mikel Herry (นายมิเกล เจ แฮร์รี) ซึ่งได้เป็นผู้ริเริ่มแนวคิดนี้ และนำมาใช้กับการออกแบบผลิตภัณฑ์ของบริษัทจนประสบความสำเร็จอย่างสูง ต่อมาบริษัทต่างๆ ในสหรัฐอเมริกาจึงได้นำแนวคิดการบริหารจัดการแบบ Six sigma เข้ามาใช้ และประสบความสำเร็จ สามารถลดค่าใช้จ่ายของบริษัทได้อย่างมาก ซึ่งแนวทางการบริหารงานแบบ Six sigma นั้นมุ่งเน้นในการลดความผิดพลาด ลดความสูญเปล่า และลดการแก้ไขตัวชิ้นงาน และสอนให้พนักงานรู้แนวทางในการจัดทำธุรกิจอย่างมีหลักการ โดย Six sigma จึงถูกนำมาใช้เป็นชื่อเรียกของวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการใดๆ โดยมุ่งเน้นการลดความไม่แน่นอน และการปรับปรุงขีดความสามารถในการทำงานให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด เพื่อนำมาซึ่งความพึงพอใจของลูกค้า

ชิکش ชิคม่าเป็นภาษาในวิชาสถิติ คำว่าชิคม่า หรือ  $\sigma$  เป็นอักษรในภาษากรีกที่ใช้แทนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อใช้วัดความแปรปรวนที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (Mean) ซึ่งค่าชิคม่าที่น้อยยิ่งสูงแสดงว่ามีความแปรปรวนของกระบวนการสูง ชิکش ชิคม่า เป็นกระบวนการเพื่อลดความผิดพลาด (Defect) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ โดยมุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดและมีความสูญเสียได้ไม่เกิน 3.4 หน่วยในล้านหน่วย หรือเรียกอีกอย่างว่า ความสูญเสียโอกาสลงให้เหลือเพียงแค่ 3.4 (Defect per Million Opportunities, OPMO)

ชิکش ชิคม่า เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและประสบความสำเร็จในการนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในสายงานหรือวงการอุตสาหกรรมและวิธีการนี้ก็ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการพัฒนากับผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ เป็นที่พึงพอใจกับลูกค้า

ซิกซ์ ซิกมา เป็นกระบวนการสำหรับการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ที่เป็นระบบ (Systematic) เป็นวิทยาศาสตร์ (Scientific) และตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อเท็จจริง (Fact based) กระบวนการนี้จะจัดขั้นตอนที่ไร้ประสิทธิภาพ (Unproductive Steps) แต่มุ่งเน้นการวัดโดยใช้วิธีการใหม่ๆ (New Measurements) และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น การปรับปรุงข้อบกพร่อง เพื่อทำการเพิ่มผลผลิต การเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด การรักษารฐานลูกค้า การปรับปรุงข้อบกพร่อง ที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

ซิกซ์ ซิกมา เป็นกระบวนการสำหรับการพัฒนาปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ที่เป็นระบบ (Systematic) เป็นวิทยาศาสตร์ (Scientific) และตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อเท็จจริง (Fact based) กระบวนการนี้จะจัดขั้นตอนที่ไร้ประสิทธิภาพ (Unproductive Steps) แต่มุ่งเน้นการวัดโดยใช้วิธีการใหม่ๆ (New Measurements) และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น การปรับปรุงข้อบกพร่อง เพื่อทำการเพิ่มผลผลิต การเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด การรักษารฐานลูกค้า การปรับปรุงข้อบกพร่อง ที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

ซิกซ์ ซิกมา สามารถนำวิธีการวัดคุณภาพเช่นการเก็บข้อมูลทางสถิติหรือความสามารถของกระบวนการใดๆ ในกระบวนการผลิต เช่น การเก็บข้อมูลความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability) หรือกระบวนการตรวจสอบข้อบกพร่องทางการผลิต (FMEA, Failure Mode & Effect Analysis) มาประยุกต์ใช้เพื่อลดข้อบกพร่องทางกระบวนการผลิต ข้อบกพร่องในที่นี้หมายถึง สิ่งใดที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ทำให้ลูกค้าไม่พึงพอใจกับผลิตภัณฑ์

### 2.1.1 หลักการสำคัญของ Six sigma

หลักแนวคิดหรือการบรรลุกลยุทธ์ที่สำคัญของ ซิกซ์ ซิกมา จะเกี่ยวข้องกับขั้นตอน 5 ขั้นตอนที่ประกอบด้วย Define – Measure –Analyze - Improve และ Control ตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Define Phase) คือ การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการปรับปรุงกระบวนการทำงานที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะเริ่มจากการกำหนดทีมงานผู้รับผิดชอบ เพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการหรือปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อลูกค้า

2. ขั้นตอนที่ 2 การวัดและการรวบรวมข้อมูล (Measure Phase) คือ การวัดความสามารถของกระบวนการที่เป็นจริงในปัจจุบัน หรือการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การตรวจสอบหรือการวัดเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ปัญหา หรือที่รู้จักกันดีว่าการวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบเครื่องมือวัด (Measurement System Analysis) เช่น การวิเคราะห์ระบบการวัด ด้วยวิธีการที่เรียกว่า

สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นต้น เพื่อเป็นประเมินระบบการวัดก่อนการหาสาเหตุของปัญหาในลำดับถัดไป

3. ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ (Analysis Phase) คือ การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาหลักซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในเชิงสถิติเพื่อระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อปัญหานั้น ซึ่งเรียกสาเหตุหลักนี้ว่า KPIV (Key Process Input Variable) ซึ่งต้องสามารถระบุให้ชัดเจนว่า อะไรคือ KPIV ของปัญหาที่พบและต้องสามารถเชื่อมโยงกับตัวหลักของกระบวนการ หรือที่เราเรียกว่า KPOV (Key Process Output Variable) ให้ได้หลักการสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การใช้กรอบแนวคิดของไซพอค SIPOC แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Analysis) การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น (FMEA Process) การตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น เป็นต้น

4. ขั้นตอนที่ 4 การปรับปรุง (Improvement Phase) คือ การปรับตั้งค่าสาเหตุหลัก (KPIV) โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อให้ผลลัพธ์ของกระบวนการเป็นไปตามต้องการ โดยการใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อปรับตั้งค่าสถานะต่างๆ ของกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามความต้องการ

5. ขั้นตอนที่ 5 การควบคุม (Control Phase) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งจากผลของการออกแบบการทดลองบรรลุผลแล้ว เราจำเป็นต้องดำเนินการออกแบบระบบควบคุมคุณภาพของกระบวนการตามผลของการออกแบบการทดลอง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการจะไม่มีย้อนกลับไปมีปัญหาเหมือนเช่นเดิมอีก

### 2.1.2 โครงสร้างและหน้าที่รับผิดชอบ ของ Six sigma ประกอบด้วย

1. Champion เป็นชื่อเรียกผู้ที่มีความรับผิดชอบสูงสุดต่อผลสำเร็จในงาน หรือผู้บริหารระดับสูง (Executive-Level Management) สนับสนุนให้เป้าหมายของงานสำคัญประสบความสำเร็จ รมรงค์และผลักดันให้เกิดองค์การ Six sigma และเกิดกระบวนการปรับปรุงองค์การอย่างต่อเนื่อง ขจัดอุปสรรค ให้รางวัลหรือค่าตอบแทน ตอบปัญหา อนุมัติโครงการ กำหนดวิสัยทัศน์โครงการ สนับสนุนทรัพยากรในด้านบุคลากร งบประมาณ เวลา สถานที่ กำลังใจ และความชัดเจนในหน้าที่ ผลักดันให้มีจำนวน Black Belt และ Green Belt ที่เหมาะสมในองค์การ มีหน้าที่ติดตามความก้าวหน้าของโครงการปรับปรุง ให้สอดคล้องกับเป้าหมายขององค์การ ส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างวัฒนธรรมในการปรับปรุงให้เกิดขึ้นในองค์การ โดยอาศัยการสื่อสาร การตั้งคำถามเพื่อย้ำให้เกิดแนวความคิดแบบ Six sigma มีการชมเชยและการให้ประกาศนียบัตรแก่พนักงานในองค์การ มีการคัดเลือกโครงการปรับปรุงที่ดีเยี่ยมและการให้รางวัลเมื่อพนักงานปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพ

2. Six sigma Director มีหน้าที่นำและบริหารองค์การให้สำเร็จบรรลุแนวทาง Six sigma ภายในหน่วยงานทางธุรกิจตนเอง เป็นผู้กำหนดแนวทางในการปฏิบัติและนโยบายการดำเนินงานของ Six sigma สนับสนุนกิจกรรมต่างๆ ที่สำคัญในการกระจายนโยบายให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง

3. Master Black Belt คือ ผู้ชำนาญการด้านเทคนิค และเครื่องมือสถิติ เป็นผู้มีความรู้และความเชี่ยวชาญในการทำงานเป็นอย่างดี และสามารถถ่ายทอดและให้การอบรมเพื่อสร้างทีม Black Belt และ Green Belt ตลอดจนการปรับปรุงได้ เป็นผู้ช่วยเลือกโครงการปรับปรุงให้แก่ Champion และเป็นผู้มีความคิดสร้างสรรค์ในการคัดเลือกโครงการปรับปรุง โดยมองในภาพรวมใหญ่ขององค์การ ได้แก่ การปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐาน และการเสนอโครงการปรับปรุงที่เชื่อมโยงกันระหว่างหน่วยงานต่าง เป็นต้น

4. Black belt คือ ผู้บริหารโครงการ (Project Manager) และผู้ประสานงาน (Facilitator) ได้รับการรับรองว่าเป็นสายดำชั้นครู Black belt เป็นการบ่งบอกถึงระดับความสามารถสูงสุดของนักกีฬาโยโด จะทำหน้าที่เป็นหัวหน้าโครงการ บริหารลูกทีมที่มีลักษณะข้ามสายงาน ซึ่งในการบริหาร Six sigma จะประกอบไปด้วยการทำโครงการย่อยที่คัดเลือกจากปัญหาที่มีอยู่ในกระบวนการต่างๆ ขององค์การ กระจายกลยุทธ์และนโยบายของบริษัทไปยังระดับปฏิบัติการ ผลักดันความคิดของ Champion ให้เกิดขึ้นและให้ความช่วยเหลือ Master Black Belt six sigma Director และ Champion นอกจากนี้ยังเป็นผู้ค้นหาปัญหาและอุปสรรคที่อยู่ในองค์การ และวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความจำเป็นในการทำให้องค์การบรรลุความพึงพอใจของลูกค้า เป็นผู้บริหารโครงการในแต่ละขั้นตอนตามแนวทาง Six sigma ประกอบด้วย กระบวนการวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม โดยให้เกิดการกระจายผลการปรับปรุงไปสู่การปฏิบัติ รายงานความก้าวหน้าของโครงการให้ผู้บริหารระดับสูงทราบ Black Belt จะต้องทำหน้าที่ในการโน้มน้าวทีมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คัดเลือกเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงได้อย่างเหมาะสม เก็บรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการปรับปรุงจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ภายในองค์การ ทั้งจากพนักงานจนถึงระดับผู้จัดการ สร้างความมั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงสามารถคงอยู่ได้ตลอดไป

5. Green belt คือ พนักงานที่ทำหน้าที่โครงการ เป็นผู้ที่ได้รับการรับรองว่ามีความสามารถเทียบเท่านักกีฬาโยโดในระดับสายเขียว ซึ่งในการบริหาร Six sigma นั้น ผู้ที่ทำหน้าที่เป็น Green belt จะเป็นผู้ช่วยของ Black belt ในการทำงาน ทำหน้าที่ในการปรับปรุงโดยใช้เวลาส่วนหนึ่งของการทำงานปกติ นำวิธีการปรับปรุงตามแนวทาง Six sigma ไปใช้ในโครงการได้ สามารถนำเอาแนวความคิดและวิธีการปรับปรุงไปขยายผลต่อในหน่วยงานของตนเองได้

6. Team Member ในโครงการทุกโครงการจะต้องมีสมาชิกทำงาน 4 - 6 คน โดยเป็นตัวแทนของคนที่ทำงานในกระบวนการที่อยู่ในขอบข่ายของโครงการ ส่วนสำคัญที่สุดในการทำ

Six sigma คือ โปรเจ็กต์ แคมเปญ ซึ่งจะมีหน้าที่ในการดูแลให้การสนับสนุน และจัดหางบประมาณที่เพียงพอให้แก่แต่ละ Six sigma และยังคงคอยสนับสนุน แบล็กเบลต์

## 2.2 การวิเคราะห์ปัญหา

### 2.2.1 เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการและข้อมูลทางสถิติ

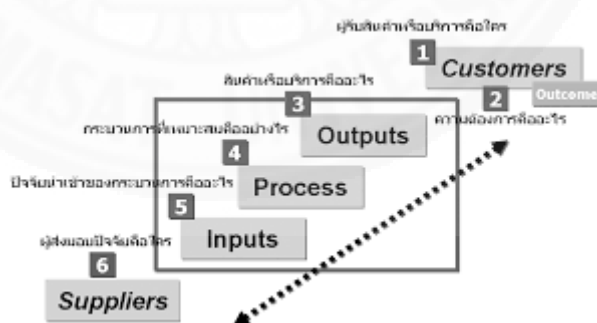
เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการและข้อมูลทางสถิตินี้มีอยู่หลากหลาย เครื่องมือให้ผู้ใช้งานเลือกใช้ ให้เหมาะกับการวิเคราะห์ในกระบวนการทำงาน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษา ทฤษฎีและวิธีการใช้งานของเครื่องมือที่สำคัญเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์งานวิจัยฉบับนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานและการวิเคราะห์ปัญหา ดังต่อไปนี้

#### 2.2.1.1 แผนผังแสดงรายละเอียดของกระบวนการ

หมายถึง รายละเอียดของวิธีการที่จะทำอย่างไรให้การดำเนินงานบรรลุเป้าหมาย ซึ่งจะทำให้พนักงานมองเห็นกระบวนการทั้งระบบหรือทั้งทั้งกระบวนการและสามารถระบุ จัดตั้งและจุดอ่อนได้ ซึ่งจะช่วยลดวงจรเวลาข้อบกพร่องในขณะเดียวกันก็จะคำนึงถึงคุณค่าที่แต่ละคนมีส่วนสนับสนุน (Recognizing Value of Individual Contributions)

#### 2.2.1.2 กรอบแนวคิด SIPOC Model

เป็นการพิจารณาการกำหนดกลุ่มผู้รับผิดชอบและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย โดย Tennessee associates international ในปี ค.ศ. 1995 เป็นผู้พัฒนา SIPOC Model ดังนี้



ภาพที่ 2.1 กรอบแนวคิด SIPOC Model ที่มา: [http://digital\\_collect.lib.buu.ac.th](http://digital_collect.lib.buu.ac.th)

เมื่อ S = Supplier (ผู้ส่งมอบปัจจัย)

I = Input (ปัจจัยนำเข้า)

P = Process (กระบวนการที่เหมาะสม)

O = Output (สินค้าและบริการ)

C = Customer (ผู้รับบริการ)

SIPOC Model เป็นกรอบแนวคิดที่ใช้ในการพิจารณาว่า ใครคือผู้รับบริการ (Customer) ซึ่งจะเริ่มต้นจากการพิจารณาพันธกิจว่า อะไรคือผลผลิต หรือ บริการ ที่จะส่งมอบและผู้รับผลผลิตและบริการโดยตรง คือ ผู้รับบริการ ดังนั้น จาก SIPOC Model เมื่อองค์กรสามารถระบุผู้รับบริการได้แล้วจะต้องค้นหาความต้องการของผู้รับบริการและนำไปสู่การออกแบบกระบวนการ รวมทั้งปัจจัยนำเข้าของกระบวนการนั้นๆ ตลอดจนเชื่อมโยงไปถึงผู้ส่งมอบปัจจัยนำเข้าด้วย

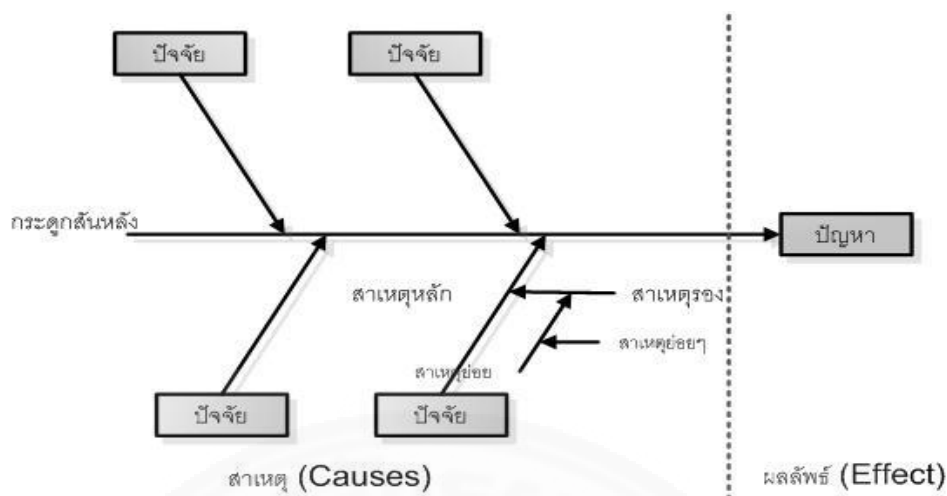
### 2.2.1.3 ตารางเมตริกซ์ของมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause & Effect Matrix Analysis or C&E Matrix)

หลังจากที่ได้สาเหตุมาจากแผนผังแสดงสาเหตุและผลแล้ว เราก็นำสาเหตุเหล่านั้นมาจัดลำดับ โดยการจะจัดลำดับโดยเรียงไปตามลำดับความสำคัญที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตที่จะเกิดขึ้น ผลลัพธ์ของตารางเมตริกซ์จะถูกแสดงอยู่ในแถวบนซึ่งจะมีการกำหนดคะแนนตามความสำคัญต่อลูกค้าและเป้าหมายทางเชิงกลยุทธ์ทางธุรกิจตัวเลขที่สูงจะแสดงผลเหตุและผล ส่วนจุดตัดของแต่ละแถวกับแต่ละคอลัมน์ จะใช้สำหรับค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่ในแถวบนและคอลัมน์ ถ้าหากมีความสัมพันธ์กันมาก น้ำหนักที่ให้ก็จะมีความสูงขึ้นไป จำนวนค่าความสัมพันธ์ที่ป้อนในแต่ละช่องตามแนวนอนเมื่อนำมาคูณกับค่าความสำคัญในแถวบนสุด แล้วรวมผลคูณที่ได้ไว้ในช่องขวามือสุดก็จะเป็นการบ่งบอกถึงความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผลผลิต ค่าที่ได้คะแนนสูงสุดจะเป็นตัวแปรหลักที่จะนำเข้ามาสู่กระบวนการแก้ไขปรับปรุง

### 2.2.1.4 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Analysis)

แผนผังสาเหตุและผลหรือที่เราเรียนกันว่าแผนภูมิแก๊งปลา เป็นแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ อย่างเป็นระบบระหว่างสาเหตุหลายๆ สาเหตุ ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาต่างๆ ว่ามีอะไรบ้าง มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันอย่างไร ลักษณะของแผนผังแก๊งปลาจะเป็นการระบุปัญหาไว้ที่ตรงหัวปลา และมีการรวบรวมสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาจากแหล่งกำเนิด โดยใช้หลักการ 4M1E ในการระบุที่มาของปัญหาว่าเกิดจากส่วนใด จาก คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุดิบ (Material) วิธีการ (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) แต่การวิเคราะห์ก็อาจจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละกระบวนการ เช่นกระบวนการนั้นไม่มีเครื่องจักร เป็นต้น ลักษณะของแผนผังแก๊งปลาหรือแผนผังสาเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 2.2





ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของผังแสดงเหตุและผล  
ที่มา: <http://www.prachasan.com/mindmapknowledge>

แผนผังนี้จะเป็นการแสดงถึงรายละเอียดย่อยของแต่ละกระบวนการที่ได้รับการตัดสินใจจากสมาชิกทีม เพื่อนำเข้าไปสู่ขั้นตอนของการกำหนดค่าตัวแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อย เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุให้ได้ตรงกับปัญหาที่แท้จริง เช่น การวิเคราะห์การสาเหตุและผลกระทบด้วยผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบเครื่องมือวัด (Measurement System Analysis: MAS) เป็นต้น เพื่อเป็นการค้นหาและเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเพื่อคัดเลือกปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ปัญหาในลำดับต่อไป

### 2.2.1.5 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น เป็นวิธีในการประเมินระบบการออกแบบหรือกระบวนการผลิต/บริการ โดยเป็นแนวทางในการป้องกัน ซึ่งพิจารณาความเป็นไปได้ในการเกิดข้อบกพร่อง และทำการวิเคราะห์หาข้อขัดข้องที่เป็นไปได้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต โดยทำการค้นหาสาเหตุและผลกระทบจากข้อบกพร่องนั้นๆ และกำหนดวิธีในการตรวจสอบและบ่งชี้ข้อบกพร่อง ประเมินโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง ความรุนแรงอันเกิดจากลักษณะข้อบกพร่อง โอกาสเป็นไปได้ที่จะเกิดข้อบกพร่องนั้น การตรวจพบลักษณะข้อบกพร่อง เพื่อนำมาหาค่าความเสี่ยงชี้้นำ เพื่อพิจารณาถึงลำดับความสำคัญของปัญหา เพื่อทราบถึงปัญหาที่มีความรุนแรงและผลกระทบมาก สามารถลำดับปฏิบัติการเพื่อจัดการแก้ไขปรับปรุงปัญหาต่างๆ เกิดการวางแผนเพื่อการออกแบบและกระบวนการผลิตอย่างรอบคอบ และมีประสิทธิภาพ

กระบวนการ FMEA ประกอบด้วยขั้นตอน การบ่งชี้และประเมินผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องในกระบวนการ การบ่งชี้ในกระบวนการ การบ่งชี้ถึงสาเหตุ

ข้อบกพร่องในกระบวนการและตัวแปรของกระบวนการ โดยให้ความสำคัญต่อการควบคุมเพื่อลดการเกิดขึ้นหรือการตรวจพบสภาพข้อบกพร่อง การพัฒนาลำดับข้อบกพร่องและจัดตั้งระบบเบื้องต้นสำหรับพิจารณาปฏิบัติการเชิงแก้ไข โดยในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

(1) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านการออกแบบ เป็นกิจกรรมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการออกแบบ เพื่อพิจารณาคุณสมบัติของสินค้าได้ตามเป้าหมาย ค่าใช้จ่าย และบรรลุผลผลิตภาพตามที่ต้องการ ประโยชน์ของ DFMEA ได้แก่

1. จัดลำดับความสำคัญสำหรับการปรับปรุงการออกแบบ
2. ชี้บ่งคุณลักษณะที่วิกฤติและสำคัญ
3. ช่วยประเมินผลข้อกำหนดการออกแบบและทางเลือก
4. ขจัดข้อห่วงใยด้านความปลอดภัย
5. ทำให้ทราบความล้มเหลวที่เป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะพัฒนา

ผลิตภัณฑ์

(2) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านกระบวนการผลิต เป็นกิจกรรมที่สร้างขึ้นเพื่อพิจารณากระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน การควบคุมกระบวนการเพื่อสร้างความมั่นใจว่า สินค้าที่ผลิตอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของสินค้า ดังนั้น PFMEA จึงมีความสัมพันธ์กันระหว่างขั้นตอนในแต่ละกระบวนการ และปัจจัยนำออกที่ไม่ยอมรับกระบวนการนั้น โดยพิจารณาถึงสาเหตุของการไม่ยอมรับและดำเนินการควบคุมหรือป้องกันสิ่งที่เกิดขึ้นดังกล่าว

- ประโยชน์ของ PFMEA ได้แก่

1. ช่วยบ่งชี้ข้อบกพร่องของกระบวนการ และเสนอแผนการ
2. ชี้บ่งคุณลักษณะที่วิกฤติและสำคัญ และช่วยในการพัฒนาแผน

ปฏิบัติการแก้ไข

ควบคุม

3. ช่วยจัดลำดับความสำคัญของปฏิบัติการแก้ไข
4. ช่วยวิเคราะห์กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

- ขั้นตอนการจัดทำ FMEA ได้แก่

1. กำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์
2. ศึกษาลำดับขั้นตอนของกระบวนการหรือการออกแบบ
3. อธิบายลักษณะของงานหรือหน้าที่ของแต่ละขั้นตอนกระบวนการ
4. ทบทวนหน้าที่หลักและระบุข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้
5. ระบุการควบคุมในปัจจุบัน

6. ให้คะแนนระดับความรุนแรง ความถี่ในการเกิดขึ้นและความสามารถในการตรวจจับ

7. คำนวณค่าความเสี่ยงชี้้นำ

8. กำหนดสาเหตุข้อบกพร่อง ที่ต้องการแก้ไข จากค่าความเสี่ยงชี้้นำ

9. ส่วนสำคัญในการจัดทำ FMEA ได้แก่ การประเมินค่าความเสี่ยงชี้ นำ (Risk Priority Number) ซึ่งได้แก่ การระดมสมองเพื่อประเมินเกณฑ์ความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Severity: Sev) โอกาสที่เป็นไปได้ในการเกิดข้อบกพร่องขึ้น (Occurrence: Occ) และการประเมินความสามารถในการควบคุมหรือการตรวจพบข้อบกพร่อง (Detection: Det) ซึ่งเกณฑ์ในการประเมินปัจจัยทั้งสาม และจะนำคะแนนจากการประเมินทั้งสามทำการคูณกันเพื่อหาค่าความเสี่ยงชี้ นำ เพื่อบ่งชี้ลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องที่ควรได้รับการแก้ไข ซึ่งเกณฑ์ในการประเมินทั้งสามปัจจัยแสดงดังตารางที่ 2.1 ถึง 2.3



ตารางที่ 2.1

เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น

การประเมินให้หัวข้อ Sev หรือความรุนแรง			
ระดับความรุนแรง	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบด้านการออกแบบ	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบด้านกระบวนการ	อันดับ/คะแนน
อันตราย	กระทบกระเทือนต่อฟังก์ชันการทำงาน ด้านความปลอดภัยและไม่สอดคล้องกับกฎข้อบังคับต่างๆ	- ข้อบกพร่องมีความรุนแรงมากทำให้ผลิตภัณฑ์ใช้งานไม่ได้ รวมถึงไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐ	10
		- ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกระทบต่อความปลอดภัยอย่างมาก (10 ไม่มีการเตือน / 9 มีการเตือน)	9
สูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานตามหน้าที่หลักได้และ ไม่สอดคล้องกับกฎข้อบังคับต่างๆ ลูกค้าไม่พึงพอใจอย่าง มาก	- ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ ต้องหยุดชะงักสายการผลิต - ลูกค้ามีความไม่พอใจในผลิตภัณฑ์มากและมีการร้องเรียน - ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ รววมถึงกฎ ข้อบังคับต่างๆ	8
สูง	ประสิทธิภาพการทำงานของผลิตภัณฑ์ลดลงลูกค้าไม่พอใจ	- ผลิตภัณฑ์มีข้อบกพร่องซึ่งเห็นได้ชัดเจน - มีประสิทธิภาพการทำงานลดลง - ลูกค้ามีความไม่พึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์	7
ปานกลาง	การทำงานของผลิตภัณฑ์ด้านฟังก์ชันรองไม่ทำงานลูกค้าไม่ รู้สึกได้รับความสะดวก และไม่พอใจ	- ลูกค้าสังเกตเห็นข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจน - ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์รบกวน สร้างความรำคาญให้แก่ลูกค้า ทำให้รู้สึกไม่สะดวก	6

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น

การประเมินให้หัวข้อ Sev หรือความรุนแรง			
ระดับความรุนแรง	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบด้านการออกแบบ	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบด้านกระบวนการ	อันดับ/คะแนน
ต่ำ	ฟังก์ชันการทำงานของผลิตภัณฑ์ด้านความสะดวกต่ำลง ลูกค้าไม่พอใจบ้าง ลูกค้ารู้สึกไม่สะดวก	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีผลกระทบต่อสายการผลิตเล็กน้อย</li> <li>- ต้องทำการ Rework ผลิตภัณฑ์</li> <li>- ลูกค้ารู้สึกไม่สะดวกบ้าง</li> </ul>	5
ต่ำมาก	ผลิตภัณฑ์มีความไม่สอดคล้อง เช่น มีเสียงข้อบกพร่องต่างๆ ซึ่งลูกค้าส่วนมากสังเกตเห็นได้	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีผลกระทบต่อสายการผลิตเล็กน้อย</li> <li>- ผลิตภัณฑ์มีความไม่สอดคล้อง</li> <li>- ลูกค้าส่วนใหญ่สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้</li> </ul>	4
เล็กน้อย	ผลิตภัณฑ์มีความไม่สอดคล้อง เช่น มีเสียงข้อบกพร่องต่างๆ ซึ่งลูกค้าส่วนมากสังเกตเห็นได้	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีผลกระทบต่อสายการผลิตเล็กน้อยต้องทำการแก้ไขบางส่วน</li> <li>- ลูกค้าส่วนใหญ่สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้</li> </ul>	3
น้อย	ผลิตภัณฑ์มีความไม่สอดคล้อง เช่น มีเสียงข้อบกพร่องต่างๆ ซึ่งลูกค้าส่วนมากสังเกตเห็นได้	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ลูกค้าบางส่วนสังเกตเห็นข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ได้เล็กน้อย มีผลกระทบต่อสายการผลิตเล็กน้อย</li> </ul>	2
ไม่มีเลย	ไม่มีผลกระทบใดๆ	ไม่มีผลกระทบใดๆ	1

ตารางที่ 2.2

เกณฑ์การประเมินโอกาสที่จะเกิดผลกระทบขึ้น

เกณฑ์การประเมินในหัวข้อ Occ หรือโอกาสที่จะเกิดผลกระทบขึ้น		
ระดับของโอกาส	รายละเอียดตัวอย่าง	อันดับ/คะแนน
สูงมาก	ไม่สามารถหลีกเลี่ยงข้อบกพร่องนั้นได้เลย มีโอกาสเกิดขึ้น 1 ใน 2	10
	ข้อบกพร่องเกิดขึ้นเป็นประจำ เสมอๆ มีโอกาสเกิดขึ้น 1 ใน 3	9
สูง	ข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นบ่อยๆ มีโอกาสเกิดขึ้น 1 ใน 8	8
	ข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นบ่อย มีโอกาสเกิดขึ้น 1 ใน 20	7
	ข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นซ้ำๆ มีโอกาสเกิดขึ้น 1 ใน 80	6
กลาง	ข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้น มีโอกาสเกิดขึ้น 1 ใน 400	5
	ข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นบ้าง มีโอกาสเกิดขึ้น 1 ใน 2,000	4
ต่ำ	ข้อบกพร่องนั้นพอจะมีการเกิดขึ้นบ้าง มีโอกาสเกิดขึ้นบ้างอย่างน้อย 1 ใน 15,000	3
ต่ำมาก	แทบไม่มีการเกิดข้อบกพร่องขึ้นเลย มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่า 1 ใน 150,000	2
ห่างไกล/ไม่มี	ไม่มีแนวโน้มที่จะเกิดข้อบกพร่อง มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่า 1 ใน 1,500,000	1

ตารางที่ 2.3

เกณฑ์การประเมินความสามารถในการควบคุมความบกพร่อง

การประเมินในหัวข้อ Det หรือความสามารถในการควบคุมข้อบกพร่อง		
ระดับความสามารถ	รายละเอียด/ตัวอย่าง	อันดับ/คะแนน
ไม่แน่ใจโดยสิ้นเชิง ห่างไกลมาก	ไม่มีการทวนสอบ การควบคุมหรือกระบวนการควบคุมข้อบกพร่อง การทวนสอบ การควบคุม ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้เลย เกิดข้อบกพร่องขึ้นแล้วพึงทราบภายหลังป้องกันการเกิดข้อบกพร่องนั้นไม่ได้เลย	10
ห่างไกลมาก	โอกาสห่างไกลมากที่จะตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมา	9
ห่างไกล	โอกาสห่างไกลที่จะตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมา	8
ต่ำมาก	โอกาสต่ำมากที่จะตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมา	7
ต่ำ	โอกาสต่ำที่จะตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมา	6
ปานกลาง	โอกาสปานกลางที่จะตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมา	5
ค่อนข้างสูง	โอกาสค่อนข้างสูงที่จะตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมา	4
สูง	โอกาสสูงที่จะตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมา	3
สูงมาก	โอกาสสูงมากที่จะตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมา	2
ด้วยความมั่นใจ	สามารถตรวจจับสาเหตุ กลไกและรูปแบบความเสียหายที่ตามมาได้แน่นอน	1

การประเมินตัวเลขความเสี่ยงขึ้นนำ (Risk Priority Number: RPN) โดย RPN เท่ากับผลคูณของระดับความรุนแรงของผลกระทบ (Sev: Severity) และโอกาสหรือความถี่ของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง (Occ: Occurrence) และระดับความสามารถในการตรวจจับ (Det: Detection) โดยที่แต่ละค่ามีเกณฑ์ตั้งแต่ 1-10 โดย  $RPN = Sev \times Occ \times Det$

## 2.3 การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูล คือ การรวมข้อเท็จจริงที่เป็นทั้งตัวเลข และไม่ใช่ตัวเลข เกี่ยวกับเรื่องที่เราสนใจที่จะศึกษาโดยการสำรวจ การสังเกต หรือการทดลอง เป็นต้น

ข้อมูลทางสถิติ (Statistical Data) คือข้อเท็จจริงที่เป็นตัวเลขและแบบไม่เป็นตัวเลข ซึ่งจะต้องมีจำนวนมากพอที่จะเปรียบเทียบหรือตีความหมายได้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

### 2.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Measurement Data)

คือ ข้อมูลที่เป็นเชิงตัวเลข เช่น การวัดยาวท่อเหล็กทองแดง ที่ได้จากระบวนการตัดเหล็กทองแดงหลายๆ ชิ้น จะมีความยาวที่แตกต่างกันออกไป การวัดความหนาของแผ่นเคลือบกระเบื้องผนังหลังคา และเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตแบร์ริงส์แต่ละชิ้น เป็นต้น

### 2.3.2 ข้อมูลที่ได้จากการนับ (Count Data)

เช่น จำนวนข้อบกพร่องของแบร์ริงส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบฝาจีบ เป็นต้น ข้อควรคำนึงในการเก็บข้อมูล เช่น การกำหนดจุดประสงค์ของการเก็บข้อมูลต้องชัดเจน การจำแนกกลุ่มของข้อมูล ที่สำคัญ คือ การพิจารณาวิธีที่เหมาะสมในการเก็บบันทึกข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่ถูกต้องและเหมาะสม

## 2.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA: Measurement System Analysis)

ระบบการวัดนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อระบบการประกันคุณภาพ เพราะการประกันคุณภาพเป็นการดำเนินการป้องกันกับปัญหาต่างๆ ด้านคุณภาพโดยผ่านการแจ้งเตือนล่วงหน้า ซึ่งการแจ้งเตือนนี้ได้มาจากการนำผลการผลิตในอดีต ไปคาดการณ์ผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต แต่การคาดการณ์นี้จะนำไปอย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อ ผลจากการผลิตอยู่ในสถานะเสถียรภาพ ซึ่งได้มาจากการควบคุมกระบวนการอย่างต่อเนื่อง



การวัดถือเป็นกระบวนการกระบวนการหนึ่ง ค่าจากการวัดจะมีความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของระบบการวัดเสมอ ถ้าความผันแปรจากระบบการวัดอยู่ภายใต้ความผันแปรตามธรรมชาติ ความผันแปรจะมีความเสถียรภาพตลอดเวลาและสามารถทำนายได้ แต่ถ้าทราบใดกระบวนการวัดอยู่ภายใต้แหล่งความผันแปรที่ผิดพลาด ความผันแปรจะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ เพราะฉะนั้นระบบการวัดจึงมีความสำคัญมากต่อการประกันคุณภาพของชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์ เราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการประเมินความสามารถของระบบการวัดเสียก่อน ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคาดการณ์ผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ

#### 2.4.1 สหสัมพันธ์ (Correlation)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป หรือ ข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป ตัวอย่างการศึกษาความสัมพันธ์ เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความดันโลหิต ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับค่าน้ำหนัก ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับอายุ เป็นต้น ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใด จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เป็นค่าที่วัดความสัมพันธ์ ซึ่งโดยวิธีการทางสถิติอยู่หลายวิธี การใช้สถิติตัวใดขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปรหรือระดับของการวัดในตัวแปรนั้นๆ ในการวัดความสัมพันธ์แต่ละแบบจะต้องมีการทดสอบนัยสำคัญก่อน จึงจะสรุปได้ว่าตัวแปรคู่ใดมีความสัมพันธ์กันจริงหรือไม่ มากน้อยเพียงใด สำหรับการแปลผลจะมองในแง่ของความเกี่ยวพัน ความสอดคล้อง การแปรผันร่วมกัน หรือไปด้วยกัน แต่ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรหนึ่งเป็นเหตุและอีกตัวแปรหนึ่งเป็นผล (หรือไม่สามารถระบุได้ว่าตัวแปรไหนเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรตาม)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะใช้สัญลักษณ์  $r$  แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง และ  $\rho$  แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่ใช้วัดขนาดของความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร มี 2 ลักษณะ คือ  $-1 \leq r \leq 1$  และ  $0 \leq r \leq 1$

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้  $-1$  หรือ  $1$  แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงแต่หากมีค่าเข้าใกล้  $0$  แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สำหรับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้

## ตารางที่ 2.4

ค่าระดับความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 – 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 - 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 - 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 - 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 - 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย +, - หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์โดยที่หาก

r มีเครื่องหมาย + หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งก็จะมีค่าสูงไปด้วย

r มีเครื่องหมาย - หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ

ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางชนิดที่มีลักษณะ  $0 \leq r \leq 1$  ซึ่งจะบอกได้เพียงขนาดหรือระดับของความสัมพันธ์เท่านั้น ไม่สามารถบอกทิศทางของความสัมพันธ์ได้

## 2.5 การทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis)

การทดสอบสมมติฐานเป็นการตัดสินใจแบบมีการทดลอง ซึ่งการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อยืนยันความเชื่อถืออย่างใดอย่างหนึ่งของผู้ทดสอบ โดยที่ตัวแบบของการตัดสินใจนี้มีอยู่ด้วยสองทางเลือกคือสมมติฐาน (Null Hypothesis:  $H_0$ ) และสมมติฐานอื่นๆ ที่เราเรียกว่า (Alternative Hypothesis:  $H_1$ )

การทดสอบสมมติฐานจำเป็นต้องมีการทำการทดลอง เพื่อหาเหตุผลมายืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบซึ่งถ้าเหตุผลที่ได้ไม่สามารถยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบแล้ว ผู้ทดสอบก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำการยอมรับทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งนั้นไม่ใช่เพราะทางเลือกนั้นถูกต้อง แต่ที่เลือกเพราะไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะทำการปฏิเสธ (Fail to Reject) ทางเลือกนั้น ในทางกลับกันถ้าเหตุผลที่ได้ นั้นสามารถทำการยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบได้ ความเชื่อของผู้ทดสอบก็จะสามารถทำการยอมรับได้ โดยหลักการของการทดสอบสมมติฐานจะอาศัยระดับนัยสำคัญเพื่อทดสอบว่า ผลจากการทดลองมีค่าแตกต่างมากกว่าหรือน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

## 2.6 การออกแบบการทดลอง

### 2.6.1 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

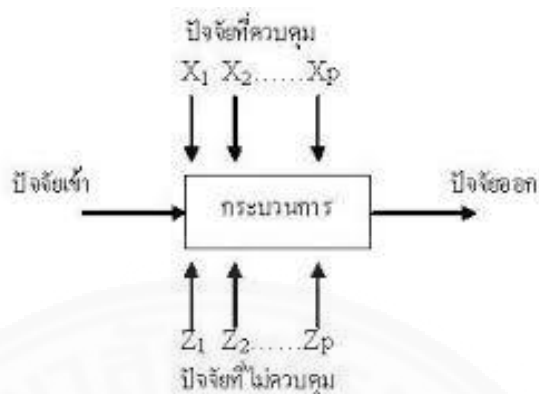
การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถศึกษาได้ทีละหลายๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย การออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของตัวแปรนำเข้า (Input factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Response) หรือปัจจัยนำออก (Output factors) ที่เกิดขึ้น

ปัจจัย (Factors) หรือตัวแปรนำเข้า ( $X_1, X_2, \dots, X_p$ ) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า  $Y$  ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ  $Y$  และ  $X$  ต่างๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้เรามีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (Process knowledge) เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป (Montgomery, 2009)

### 2.6.2 การออกแบบการทดลองทั่วไป

ปัจจุบันชีวิตคนเราดำเนินชีวิตอยู่กับความไม่แน่นอนตลอดเวลา และในการทดลองใดๆ ก็ตาม ผู้ทำการทำการทดลองมีจุดมุ่งหมายที่จะพยายามหาข้อมูลอนุมานบางอย่างเพื่อช่วยการตัดสินใจที่เกี่ยวกับสถานะในเรื่องที่ศึกษา สถิติอาจเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะช่วยในการตัดสินใจดีขึ้น คือ มีโอกาสถูกต้องมากขึ้น (อเนก พัทรินทร์ศักดิ์, 2540) ซึ่งการใช้สถิตินั้นจะต้องเกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิธีการที่ใช้สิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาให้ถี่ถ้วน และการออกแบบทดลองที่ดีและถูกต้องย่อมนำไปสู่ข้อสรุปที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด การทดลองในที่นี้หมายถึง การกล่าวถึงข้อความที่เป็นปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ คำว่าการทดลองมีความหมายในตัวอย่างชัดเจนในตัวมันอยู่แล้ว การทดลองเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับหลายสาขา ซึ่งจะต้องทำกับสิ่งถูกทดลองโดยตรง ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า การทดลอง คือ วิธีการควบคุมตัวแปรหรือกระทำต่อตัวแปรโดยตรงในปัญหาการวิจัยที่กระทำต่อตัวแปรโดยตรงในปัญหาการวิจัยที่กระทำโดยนักวิจัย (อเนก พัทรินทร์ศักดิ์, 2540) ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำไปเพื่อการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการ

ทำงานของกระบวนการและระบบซึ่งทั้งกระบวนการและระบบสามารถที่จะแทนด้วยแบบจำลองดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของการทดลอง

ที่มา : <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0510>

กระบวนการ คือ กลุ่มกิจกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งกันและกันซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องจักร (Machine) วัสดุดิบ (Material) มนุษย์ (People) วิธีการทำงาน (Method) สภาพแวดล้อมการทำงาน (Environment) และระบบการวัดค่า (Measurement) เพื่อเปลี่ยนเป็น ปัจจัยนำเข้า วัสดุดิบ (Material) ไปสู่ปัจจัยนำออกที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งเราสามารถเห็นได้ ตัวแปรกระบวนการบางชนิด  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$  เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ แต่ในขณะที่ตัวแปรบางตัว  $(z_1, z_2, \dots, z_p)$  เป็นตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ การออกแบบการทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะเปลี่ยนปัจจัย (Factors) นำเข้าของกระบวนการและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำออก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า ผลตอบ (Response) ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวข้องกับ

- 1) การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อผลตอบ  $y$
- 2) การหาวิธีตั้งค่า  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อให้ค่า  $y$  ได้ตามค่าที่ต้องการ
- 3) การหาวิธีตั้งค่า  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อให้ค่า  $y$  น้อยที่สุด
- 4) การหาวิธีตั้งค่า  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อผลของตัวแปรที่ไม่สามารถ

ควบคุมได้  $(z_1, z_2, \dots, z_p)$  มีผลกระทบน้อยที่สุด

ดังนั้นการออกแบบการทดลอง จึงอาจจะนำมาใช้ทั้งการพัฒนากระบวนการที่มีปัญหาเพื่อให้กระบวนการนั้นดีขึ้น หรือทำให้เกิดความมั่นคง (Robust or Insensitive) ต่อแหล่งความผันแปรที่อยู่ภายนอก

### 2.6.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Experiment of Factorial Design) หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นได้ในกระบวนการทดลองนั้น การออกแบบแฟคทอเรียลนี้เป็นที่นิยมกันมาในการออกแบบการทดลองที่ต้องเกี่ยวข้องกับหลายๆ ปัจจัยที่จะต้องทำการศึกษารวมถึงผลต่อผลตอบสนองที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น การออกแบบแฟคทอเรียลนั้นมีประโยชน์หลายประการ และยังเป็น การออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดใน การตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆ ปัจจัย หรือที่เราเรียกว่า Factor และแฟคทอเรียล ซึ่งแฟคทอเรียลมีความหมายว่า การทดลองที่การทำซ้ำของการทดลองนั้นๆ เช่น ถ้าเรามีปัจจัย A ปัจจัยและปัจจัย B โดยมี b คือ ระดับ ซึ่งแต่ละการทำซ้ำหรือการทดลองซ้ำจะมี AB ในรูปแบบของการ จะแบ่งได้ 2 ประเภทดังต่อไปนี้

(1) อิทธิพลหลัก หรือที่เรียกกันว่า Main Effect เป็นผลของการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยเฉพาะปัจจัยหนึ่งโดยตรงต่อ Response โดยไม่ได้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอื่นๆ

(2) อิทธิพลร่วม หรือที่เรียกกันว่า Interaction Effect คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน

#### 2.6.3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design)

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป จะเป็นการออกแบบการทดลองแบบที่จะกำหนดให้มีการทดสอบทุกๆ ทางเลือกที่คิดว่าเป็นไปได้ของปัจจัยทั้งหมดของ ซึ่งจะทำให้ประมาณอิทธิพลของปัจจัยต่อ Response ได้ทั้งแบบอิทธิพลหลัก (Main effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) แต่การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปนี้ จะต้องการเวลาและทรัพยากรในการทดลองมาก โดยเฉพาะเมื่อการทดลองมีปัจจัยจำนวนมาก ซึ่งการออกแบบจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามจำนวนและระดับของแต่ละปัจจัย คือ เมื่อจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยมีมากกว่า 2 ระดับ และเมื่อจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ ในกรณีนี้จะใช้ลักษณะ  $2^k$  Design โดยเลข 2 จะแทนระดับของแต่ละปัจจัย และ k แทนจำนวนปัจจัยที่พิจารณาในการทดลอง ซึ่งในการทดลองจะมีลักษณะที่เกี่ยวข้องดังนี้

ระดับของปัจจัย A สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1, 2, ..., a แทนด้วย i

ระดับของปัจจัย B สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1, 2, ..., b แทนด้วย j

ระดับของปัจจัย C สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1, 2, ..., c แทนด้วย k

จำนวนครั้งในการทำการทดลองซ้ำหรือ Replication แทนด้วย n ดังนั้น

ผลของการทดลองที่ปัจจัย A, B และ C ระดับ i, j และ k ตามลำดับ แทนด้วย  $Y_{ijkn}$  และสิ่งสำคัญในการทดลองตามนี้ออกแบบไว้ต้องทำตามลำดับการสุ่ม จากกระบวนการสุ่มที่เหมาะสมเท่านั้น มิฉะนั้นอาจจะส่งต่อผลการทดลองที่ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ และไม่สามารถนำไปใช้จริงได้ เนื่องจากไม่มีความน่าเชื่อถือ และจำนวนครั้งที่ n แทนด้วย

### 2.6.3.2 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย

เป็นการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น ปัจจัย A และปัจจัย B โดยปัจจัย A จะประกอบไปด้วย a ระดับ ส่วนปัจจัย B จะประกอบไปด้วย b ระดับ ซึ่งในแต่ละเรพลิเคตของการทดลองจะประกอบไปด้วย การทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ  $a \times b$  การทดลอง โดยมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง

### 2.6.3.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^k$

เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีมีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้ อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ความดัน อุณหภูมิ เป็นต้น หรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงาน ใน 2 ระดับ ที่กล่าวนี้จะแทนด้วยระดับสูง และต่ำของปัจจัยหนึ่งใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบ เช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น  $2^k$  ข้อมูล การออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงแรกเริ่ม เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบ เช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนที่น้อยที่สุดที่จะสามารถทำได้

### 2.6.3.4 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล $3^k$

หมายถึง การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง ระดับสูง ซึ่งมีสัญลักษณ์แทนระดับอาจแทนด้วยตัวเลขดังนี้  $-1, 0$  และ  $1$  ตามลำดับสังเกตว่าการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบการทดลอง

ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะที่เป็นแบบสมการแบบควอดราติกได้

### 2.6.3.5 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน $2^{k-p}$

โดยทั่วไปการที่จำนวนปัจจัยในการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  เพิ่มขึ้น มักส่งผลให้จำนวนการทดลองของเรปลิเคตที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นเกินกว่าทรัพยากรที่สามารถรองรับได้ เช่น เวลาหรือค่าใช้จ่ายเป็นต้น ใน  $1$  เรปลิเคตสมบูรณ์ของการออกแบบ  $2^6$  ต้องมีการทดลองทั้งหมด 64 การทดลอง ในการทดลองแบบนี้มี 6 ตัว จากระดับขั้นความเสรี 63 ตัว เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลัก ระดับความเสรี 15 ตัว เกี่ยวข้องกับปัจจัยร่วมแบบสองปัจจัยและระดับขั้นความเสรีที่เหลืออีก 42 ตัว เกี่ยวข้องกับปัจจัยร่วม 3 ปัจจัยหรือมากกว่า

ถ้าผู้ทดลองสามารถตั้งสมมติฐานอย่างมีเหตุผลได้ว่า ปัจจัยร่วมขั้นสูงบางตัวสามารถละเลยได้ ในกรณีนี้ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วมขั้นต่ำสามารถหาได้จากการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลอย่างสมบูรณ์เท่านั้น ซึ่งการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเศษส่วน (Fractional Factorial Design) เป็นการออกแบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ นอกจากนี้ยังใช้พิจารณาหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการอีกด้วย

การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเศษส่วนนิยมใช้มากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจมีหลายปัจจัยที่อยู่ในความสนใจและใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยส่วนมากมักใช้ในตอนเริ่มต้นของโครงการ เนื่องจากมีปัจจัยจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือไม่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่กำลังพิจารณา หลังจากดำเนินการทดลองเพื่อกรองปัจจัยแล้วปัจจัยที่มีอิทธิพลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไป

โดยความสำเร็จของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเศษส่วนขึ้นอยู่กับแนวคิดที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1) หลักการเมื่อมีจำนวนปัจจัยจำนวนน้อยที่มีผลเมื่อมีตัวแปรหลายตัว การดำเนินการต่างๆ ของระบบหรือกระบวนการมีแนวโน้มที่ถูกกำหนดโดยปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมขั้นต่ำเพียงบางตัวเท่านั้น

2) คุณสมบัตินิการฉายการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเศษส่วนสามารถถูกฉายไปสู่การออกแบบที่ดีกว่า (ใหญ่กว่า) ในส่วนย่อยของปัจจัยที่มีผล

3) การทดลองต่อเนื่องซึ่งมีความเป็นไปได้ในการรวมการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2 การทดลองหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เพื่อทำให้เกิดการทดลองที่ต่อเนื่องและมีการออกแบบที่ใหญ่กว่าทำให้สามารถประเมินผลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีอยู่ในความสนใจได้ดีขึ้น

#### 2.6.4 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

การนิยามประชากรในการตัดสินใจทางสถิติ จะเรียกการรวบรวม (Collection) ของสิ่งที่ต้องการจะตัดสินใจนั้นว่า ประชากร (Population) และเรียกส่วนหนึ่งของประชากร ที่ทำการศึกษาว่าสิ่ง ตัวอย่าง (Sample) โดยจะเรียกลักษณะสมบัติเชิงตัวเลข (Numerical Characteristic) ของ ประชากรนั้นว่า พารามิเตอร์ (Parameter) ซึ่งโดยปกติให้แทน ด้วยอักษรกรีกอาทิ  $\mu$ ,  $\sigma$  และเรียกลักษณะเชิงตัวเลขของสิ่งตัวอย่างว่า ตัวสถิติ (Statistic) ซึ่งโดยปกติจะให้แทนด้วยอักษรละติน อาทิ  $x$ , SD

พารามิเตอร์มี 2 ประเภทคือ แบบแอตทริบิวส์ (Attributes) ที่หมายถึง คุณลักษณะที่ไม่สามารถวัดได้ เช่น ความสวยงาม ความเรียบร้อย สี ฯลฯ และแบบผันแปร (Variable) ที่หมายถึง คุณลักษณะที่สามารถวัดได้และมีค่าผันแปรไปแม้ว่าจะวัดได้อย่างถูกต้องเช่น เส้นผ่านศูนย์กลางค่าใช้จ่าย แรงดึง ฯลฯ

ในทางวิศวกรรมอาจนิยาม “ประชากร” ได้ว่าเป็นการรวบรวมสิ่งที่สนใจที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทั้งกรณีอาจมีรูปร่าง (Tangible) หรือไม่มีรูปร่าง (Intangible) ก็ได้เช่นกระบวนการผลิต เครื่องจักร

วัตถุประสงค์ หรือกระบวนการบริการ เป็นต้นในการนิยามประชากรเพื่อการศึกษาและตัดสินใจ จึงควรเริ่มต้นจากการกำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน แล้วอาศัยกลวิธีของการศึกษาวิธีการของวิศวกรรมอุตสาหกรรมในการจัดการมาตรฐานการปฏิบัติการดังกล่าว โดยการนิยามประชากรนี้ให้ทำการระบุด้วยว่ามีตัวแปรอะไรที่สามารถควบคุมได้ และมีตัวแปรอะไรที่ไม่สามารถควบคุมได้ทั้งนี้ การนิยามประชากรดังกล่าวจะต้องได้จากการศึกษาและสังเกตจากสถานที่จริง และภายใต้สภาพแวดล้อมจริงหรืออาจเรียกว่าหลัก 3 จริงโดยไม่ควรนิยามจากความเข้าใจทางทฤษฎีหรือจากแบบจำลอง (Model) หรือจากแบบเขียน (Drawing) เท่านั้นเพราะจะทำให้การนิยามประชากรเป็นไปอย่างไม่ถูกต้อง อาทิอุณหภูมิห้อง อาจจะหมายถึงสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้สำหรับกระบวนการต่างๆ ไป แต่สำหรับอุตสาหกรรมในห้องสะอาด (Clean Room) แล้วจะถือว่าอุณหภูมิห้องเป็นสิ่งที่สามารถควบคุมได้เป็นต้น

ในการนิยามตัวแบบของประชากรที่ไม่ถูกต้อง เนื่องจากการขาดการสังเกตหรือขาดความรู้ ความเข้าใจทางด้านวิศวกรรมเทคโนโลยี และวิศวกรรมการบริหารนั้น จะมีผลทำให้ได้ข้อมูลที่เกิดจากภาวะที่มีได้ควบคุมตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ทำให้ข้อมูลมีความผันแปรผิดธรรมชาติไป ไม่สามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้โดย Dr. Walter A. Shewhart เรียกความผันแปรเนื่องจากสาเหตุที่มีได้ควบคุมสิ่งที่สามารถควบคุมได้นี้ว่า สาเหตุจากความผิดพลาด (Assignable Cause) และ Dr. Edwards Deming เรียกสาเหตุของความผันแปรประเภทนี้ว่า สาเหตุไม่ธรรมดา



หรือสาเหตุพิเศษ (Special Cause) อาจสรุปได้ว่า ความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติจะทำให้ได้ตัวแบบที่สามารถคาดการณ์ได้ ในขณะที่ความผันแปรจากสาเหตุผิดพลาด จะทำให้ได้ตัวแบบที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้

ดังนั้น ในการนิยามประชากรทางสถิติ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาข้อมูลของประชากรมีค่าไม่เท่ากันอย่างอิสระ และมีตัวแบบที่คงที่ที่สามารถคาดการณ์ได้หรือไม่ มิฉะนั้น มีความจำเป็นต้องนิยามใหม่ ทั้งนี้เนื่องจากว่ากลวิธีต่างๆ ทางสถิติจะไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความผันแปรจากสาเหตุความผิดพลาดได้ โดยการทวนสอบความถูกต้องของการนิยามประชากรอาจจะอาศัยเครื่องมือเบื้องต้นทางสถิติ อาทิ แผนภูมิควบคุม สำหรับการทวนสอบความมีเสถียรภาพ ของตัวแบบของข้อมูล

หลักการพื้นฐานที่สำคัญ 3 ประการเพื่อช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้องเที่ยงตรง และแม่นยำมากขึ้นมีดังนี้

1) การทดลองซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองเพิ่มมากขึ้นและยังทำการทดลองเพิ่มมากขึ้นเท่าใดก็จะได้ข้อมูลการทดลองเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลการทดลองและเพิ่มความเที่ยงตรง แม่นยำของข้อมูลมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลให้การวิเคราะห์และผลการสรุปจากการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยการทดลองซ้ำมีประโยชน์คือช่วยทำให้ผู้ทดลองสามารถประมาณค่าความผิดพลาดในการทดลองได้ ซึ่งใช้สำหรับเปรียบเทียบผลของปัจจัยที่สนใจศึกษาได้

2) หลักการสุ่ม (Randomization) คือ การจัดลำดับในการทดลองให้เป็นแบบสุ่มเพื่อลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลการทดลองช่วยลดความผิดพลาดโดยการสุ่มจะกระจายความผิดพลาดในการทดลองที่เกิดจากปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยรบกวนอื่นๆ ไปสู่ทุกๆ การทดลองด้วยโอกาส และขนาดเท่าๆ กันเพื่อให้ความผิดพลาดเหล่านั้นมีผลต่อการวิเคราะห์ผลการทดลองน้อยที่สุดและสำหรับการออกแบบการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ คือชุดการทดลองที่สามารถควบคุมทุกเงื่อนไขการทดลองให้มีความคล้ายคลึงกันโดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะระดับของปัจจัยหลักที่เลือกศึกษา และควบคุมระดับของปัจจัยรบกวนที่สามารถควบคุมให้ได้รับผลจากปัจจัยเหล่านั้นเท่าๆ กัน ส่วนปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือควบคุมได้ยากจะใช้วิธีการสุ่มซึ่งการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ เหมาะสำหรับการออกแบบการทดลองที่มีขนาดเล็กเนื่องจากผู้ทดลองสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในทุกการทดลองให้มีความคล้ายคลึงกันหรือมีเพียงบล็อกเดียวได้

3) การควบคุมหรือการบล็อก (Control or Blocking) เป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มความเที่ยงตรงแม่นยำ (Precision) ให้กับผลการทดลอง โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดหรือกำจัดผลจากปัจจัยรบกวนอื่นๆ (Nuisance factors) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลองก่อให้เกิดความผิดพลาดหรือเพิ่ม

ความแปรปรวนในการทดลอง ปัจจัยรบกวน คือ ปัจจัยที่มีผลหรืออาจมีผลต่อการทดลอง แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่สนใจศึกษาในการทดลองและผู้ทดลองต้องควบคุมให้มีระดับของปัจจัยภายนอกและปัจจัยรบกวน ให้มีระดับคงที่เท่าๆ กันทุกๆ เงื่อนไขการทดลอง โดยบล็อกเดียวกันหมายถึงการควบคุมสภาพการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด เช่น วัสดุที่ใช้ทดลองควรมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน ผู้ทดลองคนเดียวกัน วิธีการทดลองเดียวกัน ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะระดับปัจจัยที่สนใจศึกษาเท่านั้นและสำหรับการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มอย่างสมบูรณ์ คือการทดลองที่ประกอบด้วยวิธีการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์หลายชุด โดยการทดลองที่ทำการทดลองในชุดเดียวกันจะควบคุมสภาวะการทดลองให้มีความคล้ายคลึงกันให้มากที่สุด (Homogeneous conditions) หรือเรียกว่าบล็อกเดียวกัน ยกเว้นเงื่อนไขการทดลองของปัจจัยที่สนใจเท่านั้นที่เปลี่ยนแปลง

ข้อดีของการออกแบบการทดลอง คือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูง โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการนอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพณรงค์ ศิริเสถียร (2543) ศึกษาเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพผิวของผลิตภัณฑ์กระษะรถยนต์ โดยอาศัยแนวทางซิกซ์ ซิกมา ผู้วิจัยมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการโดยการลดความผันแปรขึ้นรูปตัวถังรถกระษะในแผนกขึ้นรูปตัวถัง โดยได้เลือกปัญหาที่พบในกระบวนการ คือ ปัญหาทางด้านคุณภาพผิวของชิ้นงาน คือ เมื่อขึ้นงานผ่านการประกอบในกระบวนการแล้วจะเกิดรอยตำหนิบนผิวของชิ้นงาน ซึ่งส่งผลให้จำเป็นต้องมีขั้นตอนการซ่อมแซมที่ท้ายกระบวนการก่อนส่งไปยังแผนกถัดไป ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวเป็นขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและยังเป็นเป็นการเพิ่มต้นทุนในกระบวนการผลิตอีกด้วย จากผลการศึกษาพบว่า การแก้ไขไม่ถูกวิธีของพนักงานในการปฏิบัติงาน โดยพนักงานพบว่าอุปกรณ์ระบุตำแหน่งของชิ้นงานไม่สามารถจับยึดชิ้นงานได้สนิท พนักงานจะทำการแก้ไขโดยใช้แรงกระแทกไปที่อุปกรณ์จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอย จึงทำการแก้ไขโดยเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำ ให้มีความอ่อนนุ่มมากขึ้นแต่ก็เป็นเพียงการแก้ไขเบื้องต้น และมีการเสนอแนะถึงแนวทางในการปรับปรุงขั้นต่อไปว่าควรพิจารณาทักษะ และความสามารถของพนักงานระดับปฏิบัติการ จำพวกการเสริมสร้างความสามารถในการทำงาน ความรับผิดชอบและการเพิ่มทักษะในการทำงานโดยการฝึกอบรม การฝึกวิเคราะห์ และการรวบรวมข้อมูลจะต้องครอบคลุมทุกจุดในการปฏิบัติงาน

อภิชาติ สิทธิวงศ์ (2555) ศึกษาเรื่อง การลดของเสียในกระบวนการผลิตแผ่นแก้ว สำหรับฮาร์ดดิสก์โทคเทคนิคชิกซ์ ชิกมา ผู้วิจัยพบว่าปัจจัยที่มีของเสียในกระบวนการผลิตค่อนข้างสูง คือ ของเสียประเภทรอยขีดข่วนบนแผ่นแก้วเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นซึ่งลงผลกระทบต่อต้นทุน และกำไรของบริษัท ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือของ ชิกซ์ ชิกมา ซึ่งมี 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย การกำหนดปัญหา (Define) การวัด (Measure) การวิเคราะห์ (Analyze) การปรับปรุง (Improve) และการควบคุม (Control) ซึ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหารอยขีดข่วนบนแผ่นแก้ว คือ สาเหตุเนื่องจาก วัตถุประสงค์การผลิต ชนิด A ชนิดของเครื่องขัด ความสะอาดของเครื่องขัด และเงื่อนไขการขัด จากสาเหตุทั้งหมดนั้นผู้วิจัยทำการปรับปรุงที่เป็นไปได้ 2 สาเหตุ คือ ด้านความสะอาดของเครื่องขัดทำการแก้ไข โดยอบรมให้พนักงานมีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการทำงาน และในด้านเงื่อนไขการขัดได้ทำการ ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วนแบบ  $2^{8-4}_{IV}$  ซึ่งหลังการปรับปรุงเพื่อลดของเสีย ประเภทรอยขีดข่วนบนแก้วลดลงได้ 60%

สุรพร เส็นนธ์ (2553) ศึกษาเรื่อง การลดจำนวนของเส้นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต วอยซ์คอยมอเตอร์ โดยใช้เทคนิคชิกซ์ ชิกมา ผู้วิจัยได้นำเทคนิคชิกซ์ ชิกมา เพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดจากการกระบวนการผลิตวอยซ์คอยล์มอเตอร์ ซึ่งพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุดคืออาการ Loctite Contam คิดเป็น 85.69% และพบว่าของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตวอยซ์คอยล์ มอเตอร์นั้น เกิดจากขั้นตอนการหยดกาวลงบนชิ้นงาน จากปัญหาดังกล่าวได้ทำการแก้ไขโดยการปรับ ลดขนาดของเข็มหยดกาวให้มีขนาดเล็กลง หลังจากการแก้ไขพบว่าของเสียที่เกิดจากอาการ Loctite Contam ลดลงเหลือ 32.14%

ธิติมา พงษ์สังกา (2551) ศึกษาเรื่อง การลดจำนวนของเสียในโรงงานผลิตเชิงไม้ ยางพาราโดยเทคนิคชิกซ์ ชิกมา ผู้วิจัยพบว่าในปัจจุบันโรงงานพบของเสียเป็นจำนวนมากถึง 9.4 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นจำนวนเงิน 5,196,555 บาทต่อปี ดังนั้นผู้วิจัยต้องการลดของเสีย โดยดำเนินการ แก้ไขปัญหาตามขั้นตอนของชิกซ์ ชิกมา จากการศึกษาพบว่าของเสียที่เกิดจากกาวเฝ้ามีย้อตราสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 7.5 ซึ่งของเสียเหล่านี้ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ ดังนั้นจากการระดมความคิด ของพนักงานหลังจากนั้นนำปัจจัยที่สนใจได้แก่ อุณหภูมิในการอบ ความชื้นในการอบ เวลาในการอบ ระยะเวลาในการปล่อยให้กาวแห้งในอากาศและปริมาตรกาวที่ใช้ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการ ผลิต ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงเศษส่วนของแฟคทอเรียลแบบ  $2^{5-2}$  หลังการประยุกต์ใช้ เงื่อนไขนี้พบว่า ปัญหาของเสียกาวเฝ้ามีย้อลดลงจาก 7.5 เป็น 2.23

ภัทรศิริ รุ่งสังข์ (2553) ศึกษาเรื่อง การปรับปรุงแรงบิดของการประกอบหัวอ่าน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยวิธีการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยทำการศึกษาปัญหาที่พบมากที่สุด คือ ความไม่ เหมาะสมในการยึดติดระหว่างชุดแขนอ่านและชุดหัวจับ โดยผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลองเชิงสุ่ม

สมบูรณ์ ในกระบวนการหาค่าผลกระทบต่อค่าแรงบิด และจากผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าแรงบิด คือ ขนาดของลูกบอลเป็นปัจจัยเดียวที่ส่งผลต่อค่าแรงบิด ผลหลังการทดลองค่าแรงบิดเฉลี่ยจากการทดลองเพิ่มขึ้น 24.50% และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง 52.30%

ฐิติวัชณ์ พงศ์ทิวาพรรณ (2555) ศึกษาเรื่อง การลดผลิตภัณฑ์มีตำหนิในกระบวนการหล่อ เครื่องประดับเงินและทองโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า การการศึกษาผู้วิจัยพบของเสียที่เกิดจากรูบนผิวชิ้นงานสูงถึง 23% จึงทำการศึกษาปัญหาของการเกิดรูบนผิวชิ้นงาน และหาวิธีการออกแบบทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็ม  $2^4$  หลังการประยุกต์ใช้เงื่อนไขนี้ทำให้ข้อเสียจากปัญหาชิ้นงานรูลดลงเหลือ 5.91

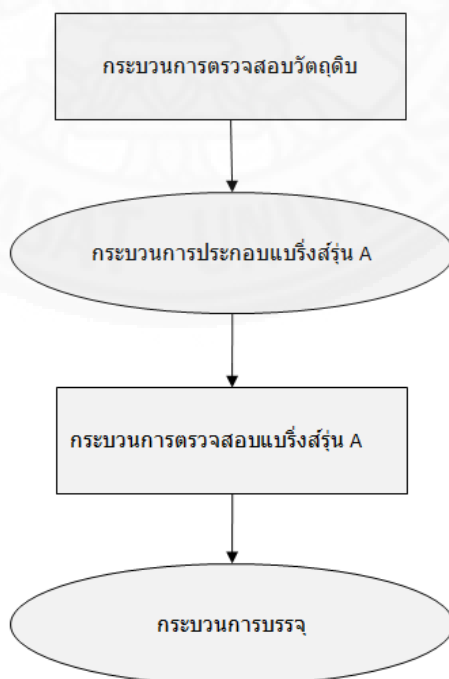
ชาญ สุดตาชาติ (2557) ศึกษาเรื่อง การปรับปรุงเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตสปินเดิลมอเตอร์ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ที่ประกอบด้วยกระบวนการ 5 ขั้นตอน คือ DMAIC เริ่มจากขั้นตอนการระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสปินเดิลมอเตอร์ พบว่าปัญหาความสูงของแอทแทรกทีฟเพลตเกินข้อกำหนดนั้นมีปริมาณยอดการทิ้งของเสียมากที่สุดในรุ่นการผลิตเอชบีบี จากปัญหาดังกล่าวนำไปสู่กระบวนการตรวจสอบความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยนำวิธีการประเมินค่าของระบบการวัด GR&R มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์เครื่องมือวัด จากนั้นทำการหาสาเหตุของปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยแผนภาพไขว่พอก และนำปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหาไปทำการทดสอบสมมุติฐาน ได้ข้อสรุปว่า ปริมาณกาวและวิธีการกดแอทแทรกทีฟเพลต เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความสูงของแอทแทรกทีฟเพลต อย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นจึงนำไปสู่การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบเต็ม (General Full Factorial Design) จากการนำผลออกแบบการทดลองไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง พบว่าปริมาณของเสียโดยรวมทั้งหมดในส่วน of ค่าความสูงและค่าความขนาดของแอทแทรกทีฟเพลต ลดลงจากร้อยละ 0.80 เป็น 0.30

จรรยา เหลี่ยมมงคล (2556) ศึกษาเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษาการผลิตไพวอดที่มีการประกอบฮับแคบ โดยมีการประยุกต์หลักการของ ซิกซ์ ซิกม่า ตามวิธีของ DMAIC โดยจากการศึกษาพบว่า บริษัทกรณีศึกษามีปัญหาในด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตพบว่า ปัญหาในการประกอบฮับแคบเข้ากับไพวอด โดยค่าความสูงของไพวอดที่มีการประกอบฮับแคบออกนอกค่าควบคุม ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวทำให้บริษัทมีของเสียเฉลี่ย คือ 2,455 DPPM จากปัญหาดังกล่าวนำไปสู่ขั้นตอนที่จะทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของเครื่องมือวัด โดยผู้วิจัยเรียกวิธีการวิเคราะห์แบบ GR&R จากนั้นทำการทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล ซึ่งผลว่า มี 3 ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าความสูงของฮับแคบ จากที่กล่าวมานั้นนำไปสู่การทดลองแบบ One Factor at Time (OFAT) โดยพบว่าหลังการนำปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาค่าความสูงที่ได้จากการทดลองไปใช้และควบคุมกระบวนการพบว่า ปริมาณของเสียลดลงเหลือ 846 DPPM

### บทที่ 3 วิธีการวิจัย

#### 3.1 กระบวนการผลิตแบริ่งรุ่น A สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในกระบวนการผลิตแบริ่งรุ่น A ของบริษัทกรณีศึกษานั้นจะมีกระบวนการเริ่มตั้งแต่กระบวนการตรวจสอบวัสดุดิบ (Raw Material Incoming Inspection) เมื่อตรวจสอบเสร็จแล้ววัสดุดิบที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบแล้วจะถูกส่งเข้าไปยังกระบวนการผลิตในส่วนต่างๆ โดยที่จะแบ่งส่วนของการผลิตแบริ่งออกเป็น แหวนวงนอก (Outer ring) แหวนวงใน (Inner ring) บอล (Ball) ตัวล๊อคบอล (Retainer) จาราบิ (Grease) ฝาปิด (Shield) และตัวล๊อคฝาปิด (Snap ring) โดยชิ้นส่วนทั้งหมดจะนำมาประกอบเข้าด้วยกันในกระบวนการประกอบ จากนั้นจะนำชิ้นส่วนแบริ่งที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการตรวจสอบ ลักษณะภายนอกอีกครั้ง และเมื่อผ่านกระบวนการตรวจสอบในขั้นตอนต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ชิ้นงานก็จะถูกส่งไปยังกระบวนการแพ็คเกจจิ้งเพื่อส่งมอบให้ลูกค้าเพื่อไปประกอบเป็นไพลอต Pivot ที่เป็นชิ้นส่วนสำคัญในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยกระบวนการผลิตหลักจะแสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตแบริ่ง

จากกระบวนการผลิตหลักของแบริ่งส์รุ่น A ที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น ทางผู้วิจัยนั้นได้ทำการมุ่งเน้นการดำเนินการวิจัยในส่วนของ การปรับปรุงกระบวนการประกอบแบริ่งส์ทั้งสองส่วนคือ ส่วนการประกอบแบริ่งส์ช่วงหนึ่ง และการประกอบแบริ่งส์ช่วงสอง เพื่อนำไปสู่การลดลงของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในการบวนการประกอบแบริ่งส์รุ่น A

### 3.2 กระบวนการผลิตแบริ่งส์ช่วงหนึ่ง (Assembly Bearing Step I)

กระบวนการผลิตแบริ่งส์ช่วงหนึ่ง (Assembly Bearing Step I) เป็นกระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยมี แหวนวงนอก (Outer ring) แหวนวงใน (Inner ring) บอล (Ball) ตัวล็อคบอล (Retainer) โดยมีกระบวนการย่อยที่เกี่ยวข้องดังแสดงในภาพที่ 3.2 พร้อมรายละเอียดของแต่ละกระบวนการ ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.2 กระบวนการผลิตแบริ่งส์ช่วงหนึ่ง

### 3.2.1 กระบวนการเตรียมงาน (Outer ring and Inner ring supply)

จะเป็นกระบวนการเตรียมงานโดยพนักงานจะทำหน้าที่จัดเตรียมแหวนวงนอก และแหวนวงในเพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป

### 3.2.2 กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 (Washing I)

จะเป็นกระบวนการล้างทำความสะอาดแหวนวงนอก และ แหวนวงใน โดยชิ้นงานที่พนักงานเตรียมไว้จะไหลเข้าสู่เข้าเครื่องล้างชิ้นงาน ชิ้นงานจะผ่านเครื่องล้าง 3 ขั้นตอนโดยการชำระล้างจะให้น้ำยา A ในการทำความสะอาดชิ้นงาน

### 3.2.3 กระบวนการประกอบแหวนวงนอก (Outer ring) แหวนวงใน (Inner ring)

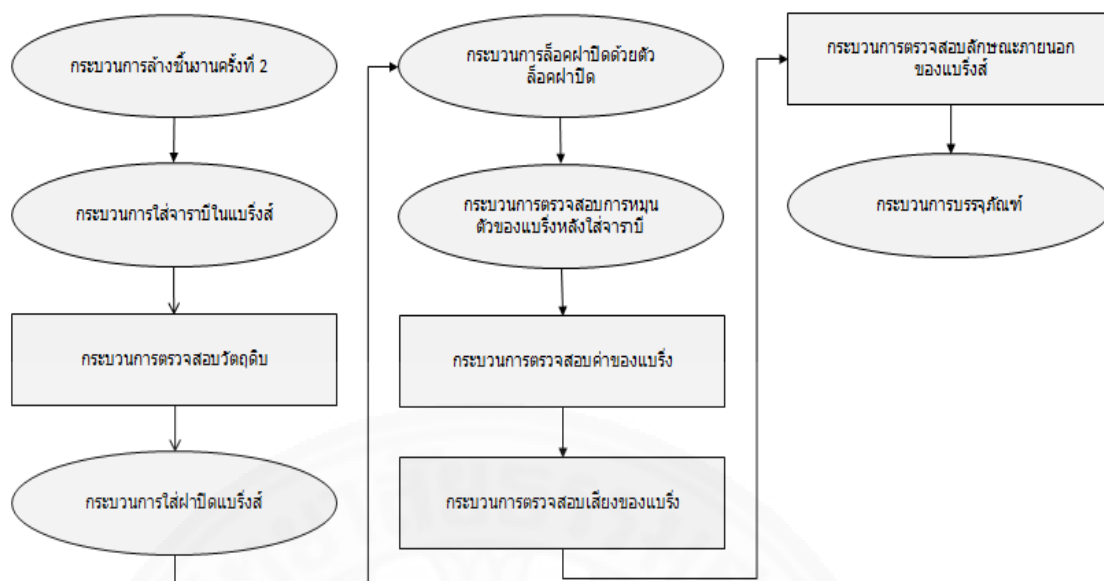
จะเป็นกระบวนการที่เครื่องจักรทำการคำนวณหาขนาดของของแหวนวงนอกและแหวนวงในเพื่อทำการจับคู่แหวนวงนอกและแหวนวงในเข้าด้วยกัน และเครื่องจักรก็คำนวณหา ขนาดของเม็ดบอลที่ต้องใช้ โดยเครื่องจักรจะทำการคิดคำนวณตาม สูตรการจับคู่ที่ป้อนไว้ในโปรแกรม

### 3.2.4 กระบวนการถือคบอลในแบร์ริงส์ด้วยตัวถือคบอล (Assembly Retainer)

หลังจากที่เครื่องจักรทำการประกอบแหวนวงนอก แหวนวงใน และบอลเสร็จเรียบร้อยแล้ว กระบวนการนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวถือคบอลในแบร์ริงส์ เพื่อให้ไม่ให้บอลหลุดออกจากตัวแบร์ริงส์ ขณะหมุนแบร์ริง หรือขณะใช้งานแบร์ริงส์นั่นเอง

## 3.3 กระบวนการผลิตแบร์ริงส์ช่วงสอง (Assembly Bearing Step II)

กระบวนการผลิตแบร์ริงส์ช่วงสอง (Assembly Bearing Step I) เป็นกระบวนการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ต่อจากกระบวนการผลิตแบร์ริงส์ช่วงหนึ่ง โดยจะทำการประกอบจารบี ฝาปิดแบร์ริงส์ ตัวถือคฝาแบร์ริงส์ ทำการตรวจสอบการหมุนของแบร์ริงส์ และทำการตรวจเช็คค่าความคุมต่างๆ ก่อนส่งไปยังกระบวนการถัดไป



ภาพที่ 3.3 กระบวนการผลิตแบริ่งส์ช่วงสอง

### 3.3.1 กระบวนการล้างชิ้นงานครั้งที่ 2 (Washing II)

จะเป็นกระบวนการล้างทำความสะอาดแบริ่งส์ หลักการทำงานจะคล้ายคลึงกับกระบวนการล้างชิ้นงาน 1 (Washing 1) แต่จะแตกต่างกันที่สารที่ใช้ในการชำระล้างเป็นสาร B

### 3.3.2 กระบวนการหยอดจาระบีลงแบริ่งส์ (Apply Grease to bearing)

กระบวนการนี้จะใช้เครื่องหยอดจาระบีอัตโนมัติ จุดประสงค์หลักของกระบวนการนี้ ก็เพื่อการหยอดจาระบีรอบๆ พื้นที่ระหว่างเม็ดบอลและตัวลือคบอก ซึ่งการหยอดต้องหยอดจาระบีไม่ให้ลงสัมผัสเม็ดบอล โดยการหยอดจาระบีก็เพื่อเพิ่มแรงหนีตให้กับแบริ่งส์ ซึ่งค่าจาระบีที่เครื่องหยอดต้องมีการควบคุมให้อยู่ในค่าที่กำหนดไว้

### 3.3.3 กระบวนการใส่ฝาปิดแบริ่งส์ (Apply shield to bearing)

จะเป็นกระบวนการใส่ฝาปิดแบริ่งส์ เพื่อป้องกันสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่น เศษเหล็ก หรือ สิ่งเจือปนต่างๆ หลุดเข้าไปในแบริ่งส์ขณะใช้งาน และเพื่อป้องกันไม่ให้จาระบีไหลออกมาจากแบริ่งส์ ขณะแบริ่งส์หมุนหรือขณะแบริ่งส์ทำงาน โดยเครื่องจักรจะทำหน้าที่ดูดฝาปิดแบริ่งส์เพื่อปิดที่แบริ่งส์



### 3.3.4 กระบวนการล๊อคฝาปิดแบริ่งส์ (Apply snap to bearing)

เป็นกระบวนการล๊อคฝาปิดแบริ่งส์อีกทีเพื่อป้องกันฝาปิดแบริ่งส์หลุดขณะแบบทำงาน โดยเครื่องจักรจะดูดตัวล๊อคฝาปิดแบริ่งส์และนำไปล๊อคที่แบริ่งส์

### 3.3.5 กระบวนการตรวจสอบการหมุนตัวของแบริ่งส์ (Rotation check)

จะเป็นกระบวนการตรวจสอบการหมุนตัวของแบริ่งส์หลังการใส่จาระบีแล้วว่าค่าของการหมุนตัวของแบริ่งส์อยู่ในค่าควบคุมหรือไม่ จำลองการตรวจสอบเหมือนกับการนำแบริ่งส์ไปใช้งาน โดยการหมุนแบริ่งส์ด้วยความเร็ว ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบการหมุนตัวของแบริ่งส์

### 3.3.6 กระบวนการตรวจสอบค่าของแบริ่ง (Bearing dimension check)

จะเป็นกระบวนการของเครื่องตรวจสอบจุดต่างๆ ของแบริ่งว่า แบริ่งส์อยู่ในค่าที่ควบคุมไว้หรือไม่ โดยเครื่องจักรจะทำการตรวจเช็คค่าต่างๆ ดังนี้

### 3.3.7 กระบวนการตรวจเช็คเสียงของแบริ่งส์ (Noise check)

จะเป็นกระบวนการตรวจสอบเสียงของแบริ่งส์ทุกตัวว่าเสียงขณะแบริ่งส์หมุนตัวมีค่าเสียงอยู่ในค่าที่ควบคุมไว้หรือไม่

### 3.3.8 กระบวนการเช็คลักษณะภายนอกของแบริ่ง (Visual by eyes)

จะเป็นกระบวนการตรวจสอบลักษณะภายนอกของแบริ่งส์ โดยพนักงานจะทำการตรวจสอบชิ้นงานด้วยตา เพื่อตรวจสอบชิ้นงานว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่

### 3.3.9 กระบวนการบรรจุ (Packing)

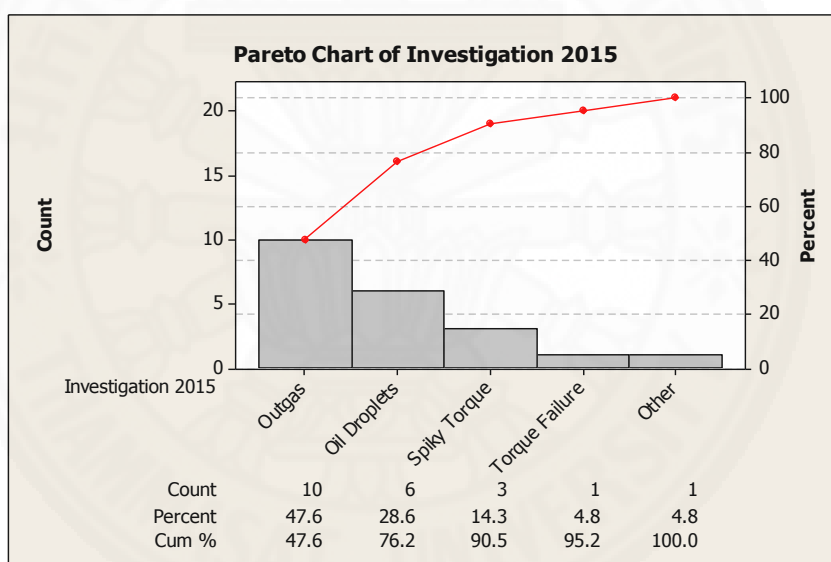
จะเป็นกระบวนการสุดท้ายของการผลิตแบริ่งส์ พนักงานจะทำหน้าที่ร้อยแบริ่งส์ใส่ห้องงาน และทำการแพ็คบรรจุภัณฑ์ รอการส่งขายให้กับลูกค้า

## 3.4 ขั้นตอนของการค้นหาและระบุปัญหา (Define Phase)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 เกี่ยวกับปัจจุบันอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันอย่างสูง ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ หรือกระบวนการประกอบอุตสาหกรรมประเภทอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ปัจจุบันมีคู่แข่งทางการค้ามากมาย ทางบริษัทจึงมีนโยบายเน้นการ พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ผู้

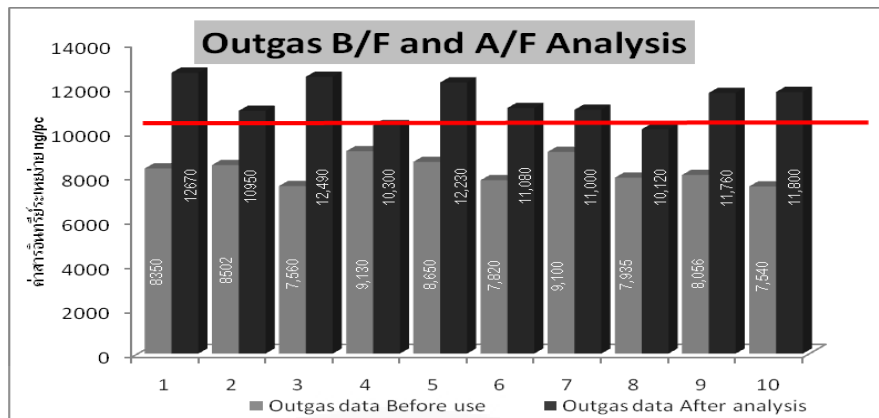
ศึกษาจึงต้องการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับลูกค้าเพื่อแก้ไขปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์แบร์ริงส์ของเรามีคุณภาพได้ตามความต้องการของลูกค้า จากการเก็บข้อมูลปัญหาด้านคุณภาพจากลูกค้า พบหลายหลายปัญหาหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบร์ริงส์ของบริษัทกรณีศึกษา ที่ก่อให้เกิดงานที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

จากที่ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลของข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของลูกค้าพบว่า ลูกค้าประสบกับปัญหาหลังใช้งานผลิตภัณฑ์ และมีการส่งชิ้นงานที่มีปัญหาคลับกลับมาให้ทางบริษัทกรณีศึกษาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ หลากหลายปัญหา จากการนำข้อมูลปัญหาลูกค้าร้องเรียน ภายในปี ค.ศ. 2015 มาจัดทำแผนภาพพาเรโตพบว่าปัญหา ปัญหาค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานมีค่าสูงเกินค่าควบคุมเมื่อลูกค้านำชิ้นงานแบร์ริงส์ไปใช้งาน ซึ่งทำให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการของลูกค้าเป็นอย่างมาก



ภาพที่ 3.4 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนข้อบกพร่องต่างๆ ที่ลูกค้าพบหลังการใช้งานในปี 2015

แต่อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลของทางบริษัท พบว่าค่าขอสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานก่อนใช้มีค่าไม่เกินค่าควบคุม คือ ค่าควบคุม เท่ากับ 10,000 แต่หลังจากการเก็บข้อมูลของชุดงานหลังการใช้งานของลูกค้า ทางผู้วิจัยพบว่าค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นจนเกินค่าควบคุม



ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงข้อมูลค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายก่อนการใช้งาน และหลังการใช้งานของลูกค้า

ข้อมูลจากกราฟจะเห็นได้ว่าในชิ้นงานหลังการใช้งานมีค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานก่อนการใช้งาน ดังนั้น ทางบริษัทกรณีจำเป็นต้องตั้งเป้าหมายเพื่อทำการลดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานก่อนใช้ลง ดังนั้นในส่วนของขั้นตอนการค้นหาลักษณะสาเหตุของการเกิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน และระบุปัญหาสำหรับการศึกษาค้นคว้านี้ ผู้วิจัยและทีมงาน เลื่อนำเครื่องมือ SIPOC มาประยุกต์ใช้เพื่อทำการกำหนดขอบเขต ในการค้นหาสาเหตุของการเกิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน

ตารางที่ 3.1

SIPOC ของกระบวนการผลิตแบริ่งรุ่น เอ (BEARING MODEL A)

ผู้ผลิตวัตถุดิบ Supplier	ปัจจัยนำเข้า Input	กระบวนการ Process	ปัจจัยออก Output	ลูกค้า Customer
A	น้ำยา A	ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1	แบริ่งสกรีน A	กระบวนการผลิตไพวอต (Pivot) เพื่อประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
B	แหวนวงนอก	ประกอบแหวนวงนอก+วงใน		
	แหวนวงใน			
C	บอล	ประกอบบอล		
D	ตัวลอคบอล	ประกอบตัวลอคบอล		
E	น้ำยา B	ล้างชิ้นงานขั้นที่ 2		
F	จาระบี	ฉีดยาจาระบี		
G	ฝาครอบ	ประกอบฝาครอบ		
H	ตัวลอคฝาครอบ	ประกอบตัวลอคฝาครอบ		
		ตรวจสอบการหมุนของแบริ่งสกรีน		
		ตรวจสอบค่าของแบริ่งสกรีน		
		ตรวจสอบขีดเสียดของแบริ่งสกรีน		
		ตรวจสอบลักษณะภายนอกของแบริ่งสกรีน		

จากตาราง SIPOC ของกระบวนการผลิตแบริ่งสกรู A เมื่อพิจารณาเฉพาะปัญหาของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริ่งสกรูนั้น จะเห็นว่ามียัตถุติบที่ใช้ในการผลิตที่เกี่ยวข้อง มีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ น้ำยา A ที่ใช้ในกระบวนการล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 และจาระบี ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตแบริ่งสกรู ซึ่งทั้งสองยัตถุติบที่เกี่ยวข้องนี้ บริษัทกรณีศึกษาไม่สามารถเลือกผู้ผลิตได้ เพราะเป็นการใช้ยัตถุติบที่ผลิตในเครือบริษัทเดียวกัน และแต่ละผู้ผลิตในบริษัทกรณีศึกษานั้นมีเพียงรายเดียวเท่านั้นที่ผลิตยัตถุติบเหล่านี้ ดังนั้นในส่วนของยัตถุติบนั้นผู้วิจัยจะไม่เน้นในการพิจารณาเพื่อหาสาเหตุของปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่าย ในส่วนของปัจจัยออกและส่วนของลูกค่านั้นจะเป็นไปในการทำงานเดียวกัน คือ ในส่วนของปัจจัยออกมีเพียง 1 เดียวเท่านั้น คือ แบริ่งสกรู A และมีเพียงลูกคาคือกระบวนการผลิตไพออต Pivot สำหรับฮาร์ดดิสไดส์เพียงกระบวนการเดียวเท่านั้น ดังนั้น ในส่วนของปัจจัยออกและส่วนของลูกค่านั้นผู้วิจัยจะไม่เน้นเพื่อหาปัญหา ดังนั้น ในการพิจารณาเพื่อหาสาเหตุของปัญหาค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริ่งสกรูนั้น ผู้วิจัยจึงทำการมุ่งเน้นเพียงแต่ในส่วนของกระบวนการของบริษัทกรณีศึกษาเพียงเท่านั้น เพื่อนำไปสู่การหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริ่งสกรู

แต่ก่อนที่จะทำสมมุติฐานนั้น เรายังมีอีกกระบวนการหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงและให้ความสำคัญเพื่อทำการวิเคราะห์ นั่นคือ กระบวนการตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งการตรวจสอบค่าดังกล่าวเป็นความต้องการของลูกค้ำ ดังนั้นการเช็คค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นจะต้องขึ้นอยู่กับความแม่นยำของเครื่องมือ ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้กับเครื่องมือการตรวจเช็คค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ใช้อยู่ในกระบวนการผลิต ว่าเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้น มีการเช็คค่าหรือวัดค่าที่ถูกต้องและแม่นยำตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยทั้งนี้ทางผู้วิจัยเลือกใช้การสร้างเชื่อมั่นให้กับเครื่องเช็คค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานโดยใช้หลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system Analysis) ด้วยวิธีการที่เรียกว่า สหสัมพันธ์ (Correlation) โดยที่กรณีศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงปัญหาค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในแบริ่งสกรูที่สูงเกินค่าควบคุม ซึ่งมีเครื่องมือที่ใช้เช็คหรือวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานของกระบวนการผลิตแบริ่งสกรู คือ เครื่องมือวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบอัตโนมัติ ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

### 3.5 ขั้นตอนการวัดผล (Measure Phase)

ในขั้นตอนการวัดผลนี้ผู้วิจัยต้องเก็บข้อมูลต่างๆ ภายในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาซึ่งการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยในส่วนของการศึกษาค้นคว้า นี้จะมีขั้นตอนในการดำเนินการวัดผล ดังนี้

### 3.5.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ระบบการวัด ด้วยวิธีการที่เรียกว่า สหสัมพันธ์ (Correlation) เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นและการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิตว่าเครื่องมือวัดนั้น มีการวัดค่าที่ถูกต้องและแม่นยำตามเกณฑ์ที่ลูกค้าได้กำหนดไว้หรือไม่ โดยที่ ทัศนศึกษาค้นคว้านี้ ได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงปัญหาที่ลูกค้าพบหลังการใช้งานสูงสุด ซึ่งมีเครื่องมือวัดที่สำคัญในกระบวนการวัดและประเมินผลในกระบวนการผลิตแบริงส์ สำหรับฮาร์ดดิสไดส์ คือ เครื่องมือวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบอัตโนมัติ

กระบวนการตรวจเช็คค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Out gas Inspection) ไม่ได้เป็นกระบวนการตรวจสอบในกระบวนการผลิตแบริงส์ แต่ทางบริษัทต้องทำการตรวจสอบเนื่องจากเป็นความต้องการของลูกค้า โดยใช้เครื่องมือวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบอัตโนมัติ ซึ่งในส่วนของ การเช็คหรือการวัดค่านั้นต้องทำหลังการประกอบแบริงส์เสร็จเรียบร้อยแล้ว เป็นการตรวจสอบคุณภาพของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานก่อนการใช้งาน โดยมีหลักการคือ นำชิ้นงานใส่ในตู้อบเพื่อให้ความร้อน แล้วปล่อยให้แก๊สไนโตรเจนไหลผ่าน และสารตัวอย่างจะถูกพาไปที่หลอด เก็บสารหลังจากนั้นก็ นำหลอดตัวอย่าง (Sample Tube) ที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายไปตรวจเช็คด้วยเครื่องมือวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบอัตโนมัติ จากนั้นเครื่องจะทำการแสดงค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจเช็คได้ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

แต่ในการตรวจสอบเครื่องมือวัดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบอัตโนมัตินี้ ทางบริษัททัศนศึกษาจะทำการ ฉีดสารมาตรฐานเข้าไปในหลอดตัวอย่าง (Sample Tube) โดยจะทำการฉีดสารมาตรฐานตามข้อกำหนดของลูกค้าจำนวน 10 ค่า เช่น 1.0 มิลลิกรัม 1.5 มิลลิกรัม เป็นต้น เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดของลูกค้า โดยใช้การวิเคราะห์แบบ สหสัมพันธ์ (Correlation) หลังจากนั้นลูกค้าก็จะส่งผลการตรวจสอบเครื่องมือวัดมาให้ทางบริษัท สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 3.2

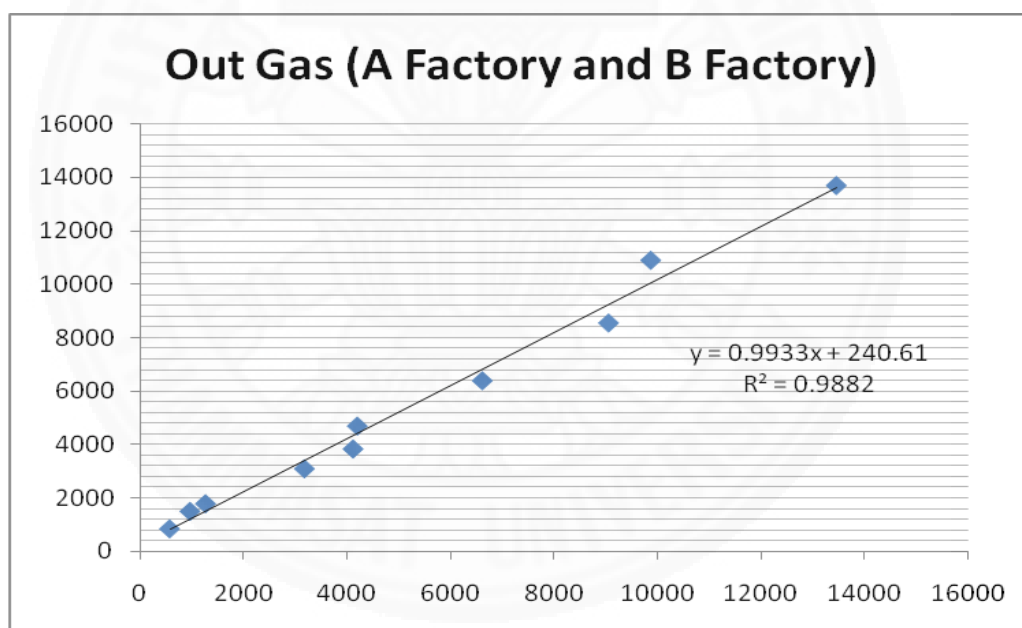
ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากสารมาตรฐานระหว่างลูกค้าและบริษัททัศนศึกษา

Sample no	A Factory	B Factory
1	13464	13720
2	4130	3850
3	6627	6408
4	3190	3110

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย จากสารมาตรฐานระหว่างลูกค้าและบริษัทกรณีศึกษา

Sample no	A Factory	B Factory
5	586	860
6	9065	8570
7	4212	4709
8	1280	1800
9	9880	10920
10	980	1515



ภาพที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์เครื่องมือตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย

## ตารางที่ 3.3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย Paired – T Test

Paired T-Test and CI: A Factory, B Factory				
Paired T for A Factory - B Factory				
	N	Mean	StDev	SE Mean
A Factory	10	5341	4315	1365
B Factory	10	5546	4312	1364
Difference	10	-205	470	148
95% CI for mean difference: (-541, 131)				
T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -1.38 P-Value = 0.201				

ผลของการวิเคราะห์เครื่องเช็คค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบอัตโนมัติ ระหว่างเครื่องมือวัดของลูกค้า และเครื่องมือวัดของบริษัทกรณศึกษา ด้วยวิธีสหสัมพันธ์ (Correlation) พบว่าค่าที่ได้มีค่า R-squareเท่ากับ 0.9882 ซึ่งแสดงว่าสมการมีความสัมพันธ์กันดีมาก ซึ่งทางบริษัทได้รับการยอมรับอยู่ใน Green zone จากทางบริษัทของลูกค้า และมีข้อกำหนดการตรวจเช็คแบบสหสัมพันธ์ ปีละ 1 ครั้งและนั่นผู้วิจัยทำการวิเคราะห์แบบ Paired –T Test สามารถเขียนสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดย  $\mu_1$  คือ ค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายของบริษัทลูกค้าในกรณศึกษา (A Factory)

$\mu_2$  คือ ค่าเฉลี่ยของการวิเคราะห์ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายของบริษัทกรณศึกษา (B Factory)

จากตารางที่ 3.3 จะเห็นได้ค่า P-Value = 0.201 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นเราจะยอมรับสมมติฐานหลัก ว่าเครื่องเช็คค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบอัตโนมัติของบริษัทลูกค้า (A Factory) กับบริษัทกรณศึกษา (B Factory) มีค่าเท่ากัน นั่นคือ หมายถึง เครื่องมือตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายของบริษัทกรณศึกษา มีความน่าเชื่อถือ สามารถใช้ในการตรวจสอบค่า

สารอินทรีย์ระเหยง่ายในชั้นงาน ของบริษัทกรณีศึกษาได้ อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่เครื่องมือวัด เครื่องนี้วัดค่าหรือตรวจสอบค่าได้นั้น ไปทำการวิเคราะห์ต่อได้อีกด้วย

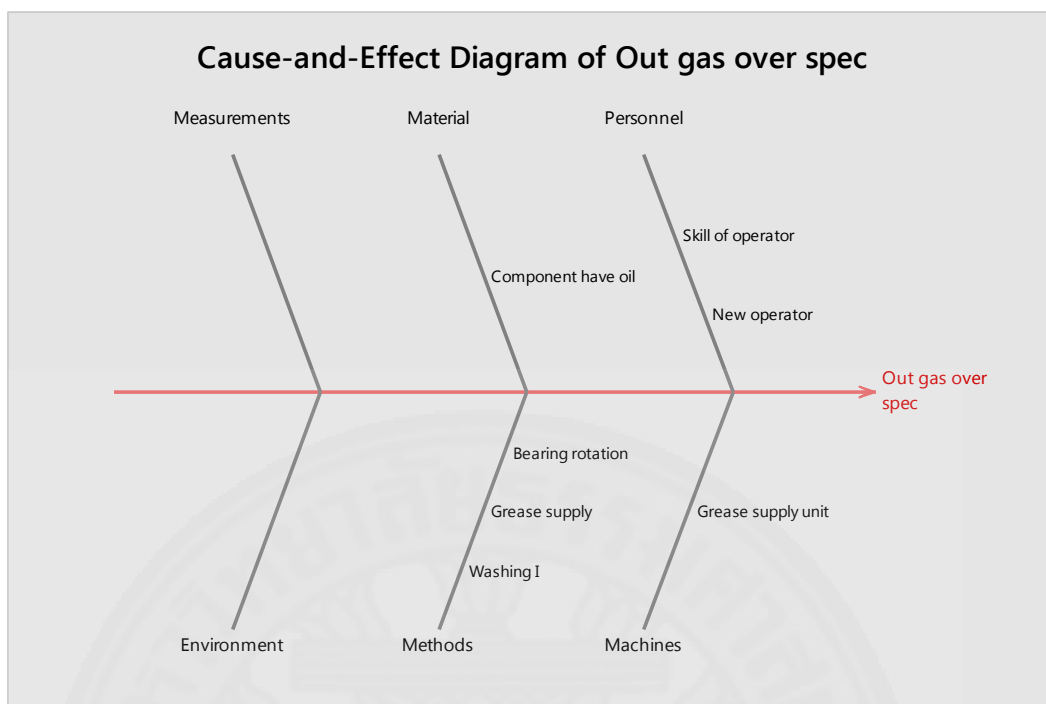
### 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

ในส่วนของขั้นตอนการวิเคราะห์นี้ ผู้วิจัยและทีมงานจะเริ่มต้นด้วยการการดำเนินงานตามขอบเขตที่ตั้งไว้ คือ การค้นหาสาเหตุของปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชั้นงานแบริงส์ ในกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา จากนั้นมีการนัดประชุมทีมงานเพื่อทำการระดมสมองของทีมงานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปัญหา งาน คือ ส่วนงานวิศวกรรม ส่วนงานการผลิต ส่วนงานด้านคุณภาพ และทีมงานในส่วนของลูกค้า เพื่อช่วยกันหาปัจจัยหลักที่เป็นสาเหตุของข้อบกพร่องที่ลูกค้าพบ ชั้นงานแบริงส์มีค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงเกินค่าควบคุม โดยมีการดำเนินงานจัดประชุมทีมงานเพื่ออภิปรายข้อกำหนดของขอบเขตและเป้าหมายในการศึกษานี้ และทำการวางแผนการดำเนินงาน รวมถึงแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบ เพื่อทำการหาสาเหตุของปัญหา ดังต่อไปนี้

#### 3.6.1 การวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้แผนภาพ

ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชั้นงานสูง ทางผู้วิจัยและทีมงานได้ใช้แผนภาพเหตุและผลมาใช้ในการวิเคราะห์หาปัญหา และจากการระดมสมอง ทำให้เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลได้ดังภาพที่ 3.7 ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชั้นงานสูง





ภาพที่ 3.7 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในแบริ่งส์

จากภาพที่ 3.7 เป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุและผลของกระบวนการผลิตแบริ่งส์ จากภาพจะเห็นได้ว่าทางบริษัทกรณีศึกษาจะมุ่งเน้นหาสาเหตุของปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในส่วน ของกระบวนการผลิตแบริ่งส์ของบริษัทกรณีศึกษาเท่านั้น จะพบว่ามึวิธีการหรือกระบวนการที่ทางทีม งานให้ความเห็นว่าเป็นสาเหตุของปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่าย มีดังต่อไปนี้

1. Washing I : กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1
2. Grease supply : กระบวนการฉีดจาระบีใส่แบริ่งส์
3. Bearing rotation : กระบวนการหมุนของแบริ่งส์

### 3.6.2 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis Process: FMEA Process)

การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการนั้น จะ ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมา โดยจะทำการคิดอย่าง เป็นระบบและคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ดังนั้นสาเหตุที่มีอยู่ในแผนภาพแสดง สาเหตุและผลจะถูกนำมาทำการวิเคราะห์ต่อในการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาด ในกระบวนการ เพื่อสามารถค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายใน ชิ้นงานสูงได้มากที่สุด ดังตารางที่ 3.4

## ตารางที่ 3.4

สรุปปัจจัยที่เป็นไปได้ที่ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย

ลักษณะขอข้อบกพร่อง	สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง
ชิ้นงานมีน้ำมัน	น้ำยาที่ใช้ล้างมีส่วนผสมของน้ำมัน
ชิ้นงานเป็นคราบ	น้ำยาที่ใช้ล้างสกปรก หมดยุการใช้งาน
ปริมาณการระเบิดเกินค่าควบคุม	หัวฉีดการระเบิดไม่ดี ทำให้ควบคุมปริมาณการระเบิดไม่ได้
	เครื่องฉีดการระเบิดตัวกรองไม่ดี ทำให้ควบคุมปริมาณการระเบิดไม่ได้
การระเบิดละเอียด	วิธีการฉีดการระเบิดไม่เหมาะสม
ตำแหน่งการใส่การระเบิดผิดปกติ	วิธีการฉีดการระเบิดไม่เหมาะสม
ตำแหน่งของการระเบิดผิดปกติ	เครื่องจักรจับเบร้งส์ไม่ดี ทำให้เบร้งส์เอียง

### 1. การกำหนดความรุนแรงและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากของเสีย

เนื่องจากทุกปัญหาที่ก่อนให้เกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ และสร้างความคําคาญให้แก่ลูกค้าทำให้รู้สึกไม่สะดวก ทางทีมงานประเมินคะแนน เท่ากับ 6 ได้แก่ ชิ้นงานมีน้ำมัน ชิ้นงานเป็นสนิม ปริมาณการระเบิดเกินค่าควบคุม และตำแหน่งการใส่การระเบิดผิดปกติ ในส่วนของปัญหาที่มีผลต่อสายการผลิตเล็กน้อย และลูกค้าสามารถเห็นข้อบกพร่องนี้ได้ ทางทีมงานประเมินคะแนน เท่ากับ 3 คะแนน

### 2. โอกาสที่จะเกิดของเสีย

2.1 ชิ้นงานมีน้ำมัน การที่ชิ้นงานผ่านกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ก่อให้เกิดชิ้นงานมีน้ำมัน เนื่องจากน้ำยาล้างชิ้นงานของกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 เป็นน้ำยาที่มีส่วนผสมของน้ำมัน ดังนั้นเมื่อชิ้นงานต้องผ่านกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ก็ไม่อาจหลีกเลี่ยงจากน้ำมันได้ ดังนั้นทางทีมงานจึงทำการประเมินระดับคะแนนเท่ากับ 10 ซึ่งอ้างอิงจากตารางที่ 2.2

2.2 ชิ้นงานมีคราบ การที่ชิ้นงานผ่านกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ถ้าน้ำยาที่ใช้ล้างชิ้นงานสกปรก หรือเสื่อมคุณภาพในการล้างชิ้นงานนั้น จะก่อให้เกิดชิ้นงานเป็นคราบ แต่จาก

การเก็บข้อมูล มีโอกาสน้อยมากที่จะพบปัญหาดังกล่าวในกระบวนการผลิต ดังนั้นโอกาสในการเกิดปัญหานี้ต่ำมาก ทางทีมงานจึงประเมินคะแนนเท่ากับ 2

2.3 ปริมาณจาระบีเกิดค่าควบคุม เครื่องฉีดจาระบีทำงานตลอดเวลา ถ้าเกิดปัญหาแล้วจะเกิดแบบต่อเนื่อง จะมีสาเหตุเกิดจาก หัวฉีดจาระบี กับตัวกรองในเครื่องฉีดจาระบีไม่ดี ดังนั้นทางทีมงานจึงมีการประเมินโอกาสในการเกิดปัญหานี้ที่ระดับปานกลาง และประเมินคะแนนเท่ากับ 5

2.4 จาระบีเลอะแบริ่งส์ จากการเก็บข้อมูลปัญหาจาระบีเลอะแบริ่งส์ ในกระบวนการผลิตแบริ่งส์มีโอกาสในการเกิดปัญหานี้ ปานกลาง จะเกิดปัญหานี้ตอนเครื่องจักรผิดปกติ หรือ วิธีการฉีดจาระบีใส่แบริ่งส์ไม่ดี ทางทีมงานจึงทำการประเมินคะแนนเท่ากับ 4

2.5 ตำแหน่งการใส่จาระบีผิดปกติ ปัญหาการใส่จาระบีผิดปกติ มีสาเหตุเกิดจากการฉีดจาระบีใส่ชิ้นงานแบริ่งส์ไม่ดี ทำให้การใส่จาระบีในแบริ่งส์ผิดปกติ มีโอกาสเกิดปัญหานี้ขึ้นที่ระดับปานกลางในกระบวนการผลิตแบริ่งส์ ดังนั้นทางทีมงานจึงประเมินคะแนนเท่ากับ 5

2.6 ตำแหน่งของจาระบีผิดปกติ การเกิดปัญหานี้มีสาเหตุเกิดจากการเครื่องจักรจับชิ้นงานแบริ่งส์ไม่ดี ทำให้ในระหว่างการหมุนเช็คแบริ่งส์ ผิดปกติ ทำให้จาระบีที่อยู่ในชิ้นงานแบริ่งส์ มีตำแหน่งผิดปกติตามไปด้วย ทางทีมงานมีการประเมินคะแนนเท่ากับ 4

### 3. การควบคุมของเสีย

3.1 ชิ้นงานมีน้ำมัน จากการพิจารณาการควบคุมกระบวนการ ทางบริษัท วิทยาลัยศึกษามีกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 2 เพื่อทำการล้างชิ้นงานที่มีน้ำมันจากกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ดังนั้นการประเมินความสามารถในการควบคุมความบกพร่องมีระดับสูงมาก มีคะแนนในการประเมินเท่ากับ 2

3.2 ชิ้นงานมีคราบ จากการพิจารณากระบวนการทำงานของบริษัท วิทยาลัยศึกษาพบว่าทางบริษัทมีการกำหนดให้กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 เปลี่ยนถ่ายน้ำยาทุกๆ 1 เดือน จึงทำให้มีการประเมินความสามารถในการควบคุมความบกพร่องของกระบวนการเท่ากับ 1 คะแนน

3.3 ปริมาณจาระบีเกินค่าควบคุม จากการพิจารณากระบวนการทำงานของกระบวนการฉีดจาระบีใส่แบริ่งส์พบว่า มีการกำหนดให้พนักงานทำการตรวจเช็คหัวฉีดจาระบี 1 วัน / ครั้ง และมีการให้พนักงานตรวจเช็คค่าจาระบี 5 ชิ้น / กะ จึงถึงจะมีการควบคุมความบกพร่องของกระบวนการค่อนข้างสูง ทีมงานจึงประเมินคะแนนเท่ากับ 4

3.4 จาระบีเลอะแบริ่งส์ จากการพิจารณากระบวนการทำงานของกระบวนการฉีดจาระบีใส่แบริ่งส์พบว่า มีการกำหนดให้พนักงานทำการตรวจเช็คตำแหน่งการลงของจาระบีในชิ้นงานแบริ่งส์ 5 ชิ้น / กะ จึงถึงจะมีการควบคุมความบกพร่องของกระบวนการค่อนข้างสูง ทีมงานจึงประเมินคะแนนเท่ากับ 4

3.5 ตำแหน่งการใส่จาระบีผิดปกติ จากการพิจารณากระบวนการทำงานของกระบวนการฉีดจาระบีใส่แบร็ริงส์พบว่า มีการกำหนดให้พนักงานทำการตรวจเช็คตำแหน่งการลงของจาระบีในชิ้นงานแบร็ริงส์ 5 ชิ้น / กะ จึงถึงจะมีการควบคุมความบกพร่องของกระบวนการค่อนข้างสูง ทีมงานจึงประเมินคะแนนเท่ากับ 4

3.6 ตำแหน่งของจาระบีผิดปกติ จากการพิจารณากระบวนการทำงานของกระบวนการตรวจสอบการหมุนของแบร็ริงส์พบว่า มีการกำหนดให้พนักงานทำการตรวจสอบการหมุนของชิ้นงานแบร็ริงส์ 1 วัน / ครั้ง จึงถึงจะมีการควบคุมความบกพร่องของกระบวนการค่อนข้างสูง ทีมงานจึงประเมินคะแนนเท่ากับ 4 ซึ่งสามารถดูผลการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิตแบบเต็มรูปแบบดังตารางที่ 3.5



ตารางที่ 3.5

การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของ ข้อบกพร่อง	S	สาเหตุที่ทำให้เกิด ข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการ ปัจจุบัน	D	RPN
การล้างชิ้นงานขั้นที่ 1	ชิ้นงานมีน้ำมัน	-อายุการใช้งานสั้น -มีสารอินทรีย์ระเหยง่าย	6	น้ำยาที่ใช้ล้าง	10	มีกระบวนการล้าง แบริงส์ขั้นที่ 2	2	120
	ชิ้นงานเป็นคราบ	-แบริงส์สกปรก	6	น้ำยาที่ใช้สกปรก	2	เปลี่ยนน้ำยาทุก 1 เดือน	1	10
การฉีดจาระบี	ปริมาณจาระบีเกินค่า ควบคุม	-จาระบีเลอะแบริงส์ -Torque NG -สารอินทรีย์ระเหยง่าย สูง	6	หัวฉีดจาระบีไม่ดี	5	เช็คหัวจาระบี 1 วัน /1 ครั้ง	4	120
			6	เครื่องฉีดจาระบีตัว กรองไม่ดี	5	เช็คค่าจาระบี 5 pcs/ 1 shift	4	120
	จาระบีเลอะแบริงส์	จาระบีเลอะฝาครอบ	3	วิธีการฉีดจาระบีไม่ดี	4	เช็คตำแหน่งการลงของ จาระบี 5 pcs/ 1 shift	4	48
	ตำแหน่งการใส่จาระบี ผิดปกติ	-จาระบีเลอะฝาครอบ -สารอินทรีย์ระเหยง่าย สูง	6	วิธีการฉีดจาระบีไม่ดี	5	เช็คตำแหน่งการลงของ จาระบี 5 pcs/ 1 shift	4	120
การหมุนของแบริงส์	ตำแหน่งของจาระบี ผิดปกติ	-จาระบีเลอะแบริงส์ -Torque NG	3	เครื่องจักรจับแบริงส์ ไม่ดี	4	ตรวจสอบการหมุนของ แบริงส์ 1 วัน /1 ครั้ง	4	48

จากตารางที่ 3.5 ผู้วิจัยจะทำการคัดเลือกสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง จากข้อกำหนดของบริษัทการศึกษาคือ สาเหตุที่ค่า Risk Priority Number หรือค่า RPN มีคะแนนตั้งแต่ 100 เป็นต้นไป ซึ่งจากตารางดังกล่าวจะเห็นว่า ในกระบวนการผลิตแบร็งส์นั้น มีสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อโอกาสการเกิดของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน มีดังต่อไปนี้ คือ การล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 และกระบวนการฉีดจาระบี จากนั้นทางผู้วิจัยและทีมงาน จึงนำกระบวนการที่อาจจะมีผลกระทบต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานสูงเกิน ไปสู่การกำหนดปัจจัย และระดับของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 3.5 เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบสมมุติฐานต่อไป

ตารางที่ 3.6

กระบวนการและปัจจัยสำหรับการทดสอบสมมุติฐาน

ลำดับที่	กระบวนการผลิต	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ	ระดับของปัจจัย
1	ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1	การล้าง	A : ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1
			B : ไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1
2	การฉีดจาระบี	ปริมาณจาระบีในแบร็งส์	1.6 มิลลิกรัม
			1.8 มิลลิกรัม
			2.0 มิลลิกรัม
3	การฉีดจาระบี	ขนาดรูเข็มฉีดจาระบี	A = $\Phi$ 7.84
			B = $\Phi$ 7.89
			C = $\Phi$ 7.94
4	การฉีดจาระบี	วิธีการฉีดจาระบี	แบบเอ : One step
			แบบบี : Three step
5	การฉีดจาระบี	ตัวกรองของเครื่องฉีด	รุ่น A
			รุ่น B

จากตารางที่ 3.6 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยในแต่ละกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานสูง โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของกระบวนการที่มาของปัจจัยที่ส่งผลกระทบ โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนและกระบวนการของปัจจัยที่ส่งผลกระทบและระดับของปัจจัยที่จะนำมาทำการทดสอบสมมุติฐาน ดังต่อไปนี้

### 3.6.2.1 กระบวนการล้างขั้นที่ 1 (Washing I)

เป็นกระบวนการแรกของกระบวนการประกอบแบร็งส์ จะต้องทำการล้างน้ำมันกันสนิทยอกก่อนเบื้องต้น เพราะงานก่อนเข้าเครื่องล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 จะมีน้ำมันกันสนิทยอกที่

ตัวชิ้นงาน กระบวนการล้างแบริ่งส์ 1 จะทำงานโดยเครื่องล้างชิ้นงานอัตโนมัติและน้ำยา A ในการล้างชิ้นงาน ซึ่งผู้วิจัยพบว่ากระบวนการผลิตแบริ่งส์รุ่น A มีกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 แต่การประกอบแบริ่งส์รุ่น B จะไม่มีกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 แต่อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยจึงต้องการทราบว่ากระบวนการล้างหรือไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน หรือไม่

### 3.6.2.2 กระบวนการฉีดจาระบี (Supply grease to bearing)

เป็นกระบวนการ ที่เครื่องจักรจะฉีดปริมาณจาระบีที่กำหนดไว้ลงในระหว่างบอลและตัวลอคบอลของแบริ่งส์ โดยกระบวนการดังกล่าวทำโดยเครื่องฉีดจาระบีอัตโนมัติ จากตารางที่ 3.5 ได้กล่าวให้ทราบว่ากระบวนการฉีดจาระบี มีหลากหลายปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ดังจะอธิบายต่อไปนี้

1. **ปริมาณจาระบีในแบริ่งส์ (Grease amount)** โดยจะมีข้อกำหนดของปริมาณจาระบีที่ลูกค้ากำหนดของแบริ่งส์รุ่น A อยู่ที่ 1.8 +/- 0.3 มิลลิกรัม หรือ 1.5 - 2.1 มิลลิกรัม ผู้วิจัยต้องการทราบว่า ปริมาณของจาระบีที่หยอดส่งไปในแบริ่งส์ที่ระดับแตกต่างกัน ตั้งแต่ที่ระดับ 1.6 มิลลิกรัม 1.8 มิลลิกรัม และ 2.0 มิลลิกรัม นั้นจะส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน หรือไม่ ทั้งนี้ผู้วิจัยจะไม่ทำการทดลองที่ระดับจาระบีที่ 1.5 มิลลิกรัม อันเนื่องมาจากเป็นค่าล่างสุดของขอบเขตล่างของข้อกำหนด (Lower spec limit) และระดับปริมาณจาระบีที่ 2.1 มิลลิกรัม เนื่องจากเป็นค่าสูงสุดของเส้นขอบบนของข้อกำหนด (Upper spec limit) ซึ่งปริมาณของจาระบีทั้งสองค่าไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงในกระบวนการผลิต อันเนื่องจากจะทำให้ปริมาณจาระบีที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง (Mass production) มีโอกาสที่ปริมาณจาระบีจะออกจากข้อกำหนด (Out of spec)

2. **ขนาดรูเข็มฉีดจาระบี (Nozzle size)** ในส่วนของขนาดรูเข็มฉีดจาระบีสำหรับกระบวนการผลิตแบริ่งส์รุ่น A จะมีค่าควบคุมจากข้อกำหนดมาตรฐานของกระบวนการทำงาน ซึ่งผู้วิจัยและสมาชิกในทีมได้สังเกตเห็นว่าขนาดของรูเข็มฉีดจาระบีที่มีแตกต่างกัน คือค่าอยู่ในค่าควบคุมที่ 7.89 +/- 0.05 ไมครอนเมตร คือ 7.84 ไมครอนเมตร 7.89 ไมครอนเมตร และ 7.94 ไมครอนเมตร จะส่งผลให้ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นแบริ่งส์แตกต่างกันหรือไม่

3. **วิธีการฉีดจาระบี (Grease step)** คือ วิธีการฉีดจาระบีใส่แบริ่งส์ ในกระบวนการผลิตแบริ่งส์รุ่น A นั้นมีวิธีการฉีดจาระบีลงแบริ่งส์ แบบฉีดหนึ่งครั้ง หรือแบบ One step แต่อีกกระบวนการสำหรับการผลิตแบริ่งส์รุ่น B นั้นมีวิธีการฉีดจาระบีลงแบริ่งส์ แบบฉีดสามครั้ง หรือแบบ Three step ดังนั้นผู้วิจัยต้องการทราบว่าวิธีการของการฉีดจาระบีลงแบริ่งส์ที่แตกต่างกันนั้น จะส่งผลให้ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริ่งส์มีค่าแตกต่างกันหรือไม่

4. **ตัวกรองของเครื่องฉีด (Packing type)** คือ เครื่องมือที่สำคัญในเครื่องฉีดจาระบี ตัวกรองของเครื่องฉีดนั้นจะมีหน้าที่ควบคุมปริมาณจาระบีที่จะใส่ลงขึ้นงานแบริงส์ สำหรับกระบวนการผลิตแบริงส์รุ่น A นั้นจะใช้ตัวกรองของเครื่องฉีด รุ่น A แต่มีอีกหลายๆ กระบวนการผลิตแบริงส์รุ่นต่างๆ จะใช้ตัวกรองของเครื่องฉีด รุ่น B จึงทำให้ผู้วิจัยและทีมงานต้องการทราบว่าตัวกรองของเครื่องฉีด ที่รุ่นที่แตกต่างกันจะมีผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ที่แตกต่างกันหรือไม่

### 3.6.3 ผลของขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

หลังจากที่ได้ปัจจัยหรือกระบวนการที่คาดว่าจะก่อให้เกิดค่าสารอินทรีย์ในชิ้นงานแบริงส์สูงแล้วนั้น ผู้วิจัยและทีมงานจะนำปัจจัยดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน โดยเลือก การทดสอบสมมุติฐาน ดังนี้

#### 3.6.3.1 กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 (Washing I)

ในการทดสอบสมมุติฐานสำหรับประชากรด้วย One way ANOVA เพื่อต้องการทราบว่ากระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ หรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนแปลง 2 ระดับ คือ A: ล้าง และ B: ไม่ล้าง ส่วนปัจจัยอื่นกำหนดให้อยู่ในสภาวะปัจจุบัน

$$H_0 : \mu_A = \mu_B$$

$$H_1 : \mu_A \neq \mu_B$$

โดย  $\mu_A$  คือ ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1

$\mu_B$  คือ ไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1

ในส่วนของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า การล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 หรือไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตารางที่ 3.7



ตารางที่ 3.7

การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยกระบวนการล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน

One-way ANOVA: Out gas result versus Washing I

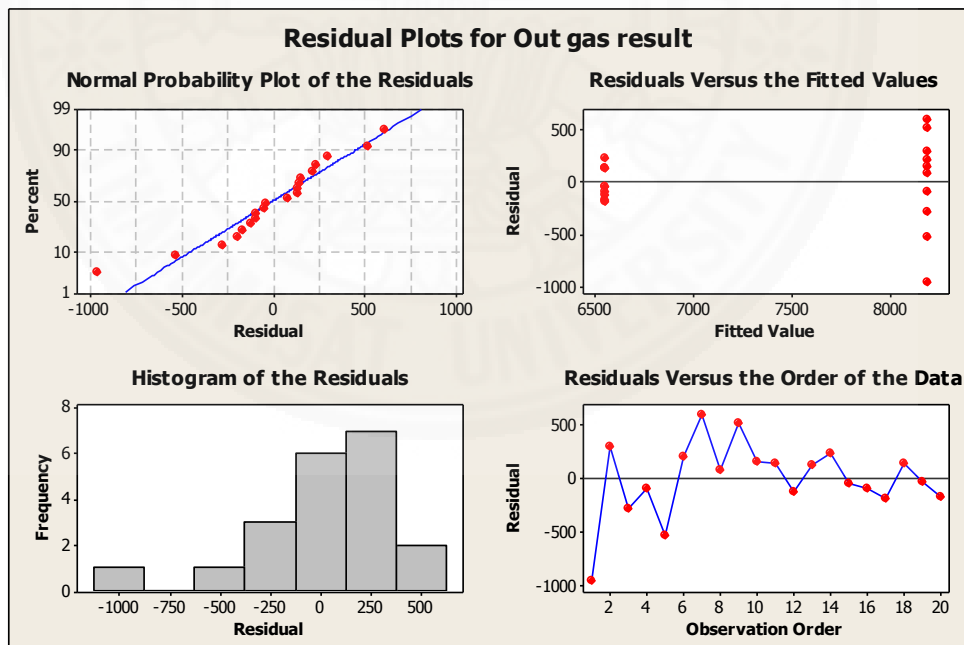
Source	DF	SS	MS	F	P
Washing I	1	13599303	13599303	106.73	0.000
Error	18	2293628	127424		
Total	19	15892931			

S = 357.0 R-Sq = 85.57% R-Sq(adj) = 84.77%

Level	N	Mean	StDev	Individual 99% CIs For Mean Based on Pooled StDev
No Washing	10	6542.6	150.1	(-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+)
Washing	10	8191.8	482.0	(-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+)

6600      7200      7800      8400

Pooled StDev = 357.0



ภาพที่ 3.8 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยการล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 และไม่ล้างชิ้นงานเบริงส์ชั้นที่ 1 ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานเบริงส์

### 3.6.3.2 ปริมาณจาระบีที่ใส่ในแบริ่งส์

การทดสอบสมมติฐานสำหรับประชากรด้วย One way ANOVA เพื่อต้องการทราบว่าปริมาณจาระบีที่ใส่ในแบริ่งส์ ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริ่งส์หรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนแปลง 3 ระดับ คือ ปริมาณจาระบีเท่ากับ 1.6, 1.8 และ 2.0 มิลลิกรัม ส่วนปัจจัยอื่นกำหนดให้อยู่ในสภาวะปัจจุบัน

$$H_0 : \mu_A = \mu_B = \mu_C$$

$$H_1 : \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$$

โดย  $\mu_A$  คือ ปริมาณจาระบี 1.6 มิลลิกรัม

$\mu_B$  คือ ปริมาณจาระบี 1.8 มิลลิกรัม

$\mu_C$  คือ ปริมาณจาระบี 2.0 มิลลิกรัม

ในส่วนของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริ่งส์ ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณจาระบีที่ใส่ในแบริ่งส์ มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริ่งส์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8

การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยของปริมาณจาระบีที่ใส่ในแบริ่งส์ ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน

One-way ANOVA: Out gas result versus Grease amount

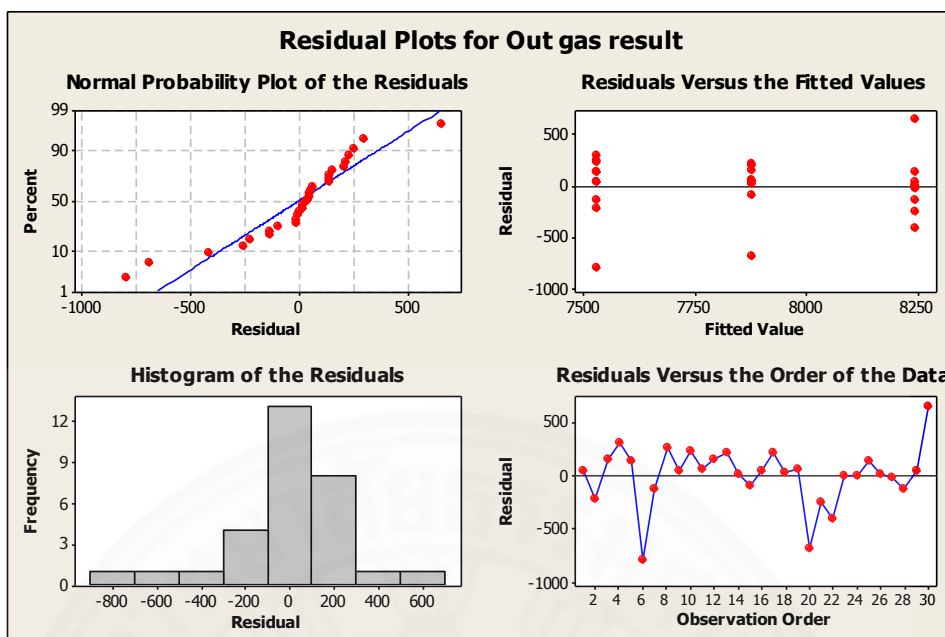
Source	DF	SS	MS	F	P
Grease amount	2	2599600	1299800	15.51	0.000
Error	27	2263120	83819		
Total	29	4862720			

S = 289.5 R-Sq = 53.46% R-Sq(adj) = 50.01%

Level	N	Mean	StDev
1.6	10	7524.9	325.7
1.8	10	7877.7	259.6
2.0	10	8245.9	279.2

Individual 99% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 289.5



ภาพที่ 3.9 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยของปริมาณจาระบีที่ใส่ในแบร์ริงส์ ต่อ  
ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน

### 3.6.3.3 ขนาดของรูเข็มฉีดจาระบี

การทดสอบสมมติฐานสำหรับประชากรด้วย One way ANOVA เพื่อต้องการทราบว่าขนาดของรูเข็มฉีดจาระบี ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร์ริงส์ หรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนแปลง 3 ระดับ คือ  $A = \Phi 7.84$ ,  $B = \Phi 7.89$  และ  $C = \Phi 7.94$  ส่วนปัจจัยอื่น กำหนดให้อยู่ในสถานะปัจจุบัน

$$H_0 : \mu_A = \mu_B = \mu_C$$

$$H_1 : \mu_A \neq \mu_B \neq \mu_C$$

โดย  $\mu_A$  คือ รูเข็มฉีดจาระบีขนาด  $\Phi 7.84$

$\mu_B$  คือ รูเข็มฉีดจาระบีขนาด  $\Phi 7.89$

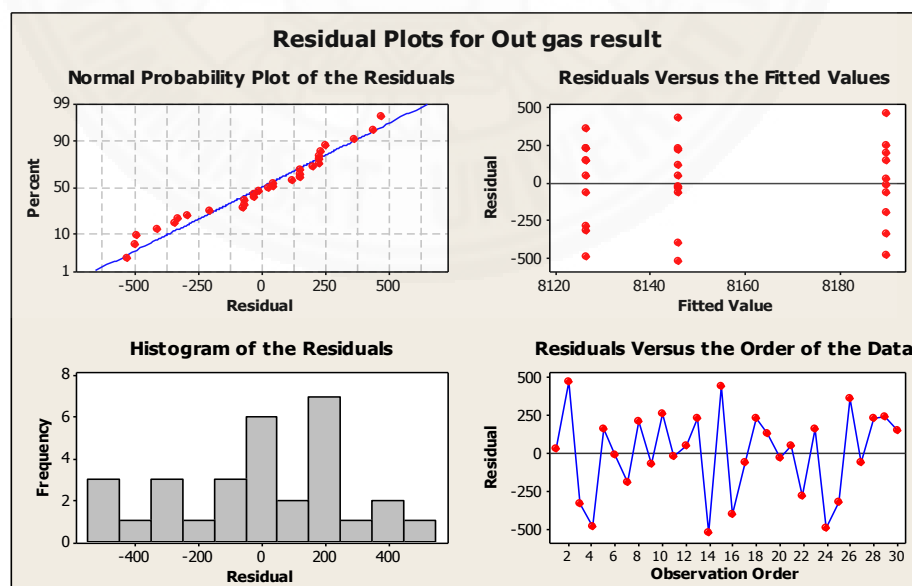
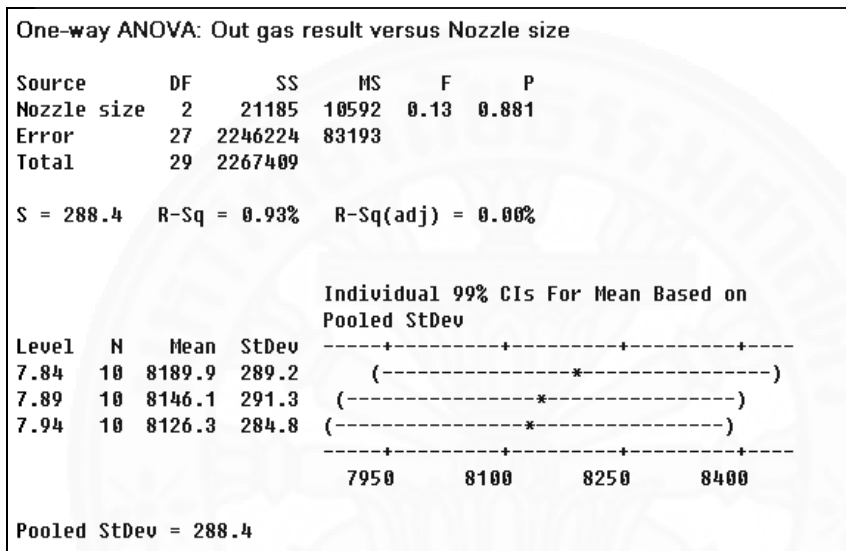
$\mu_C$  คือ รูเข็มฉีดจาระบีขนาด  $\Phi 7.94$

ในส่วนของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร์ริงส์ ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.881 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ขนาดของรูเข็ม

ฉีดจากระบี ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9

การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยของขนาดของรูเข็มฉีดจากระบี ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน



ภาพที่ 3.10 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยของขนาดของรูเข็มฉีดจากระบี ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน

### 3.6.3.4 วิธีการฉีดจาระบีใส่แบร์ริงส์

การทดสอบสมมุติฐานสำหรับประชากรด้วย One way ANOVA เพื่อต้องการทราบว่าวิธีการฉีดจาระบีใส่แบร์ริงส์ ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร์ริงส์หรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนแปลง 2 ระดับ คือ แบบเอ: ฉีดหนึ่งครั้ง และแบบบี: ฉีดสามครั้ง ส่วนปัจจัยอื่นกำหนดให้อยู่ในสภาวะปัจจุบัน

$$H_0 : \mu_A = \mu_B$$

$$H_1 : \mu_A \neq \mu_B$$

โดย  $\mu_A$  คือ วิธีการฉีดจาระบี แบบเอ : ฉีดหนึ่งครั้ง

$\mu_B$  คือ วิธีการฉีดจาระบี แบบบี : ฉีดสามครั้ง

ในส่วนของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร์ริงส์ ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า วิธีการฉีดจาระบีใส่แบร์ริงส์ มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร์ริงส์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10

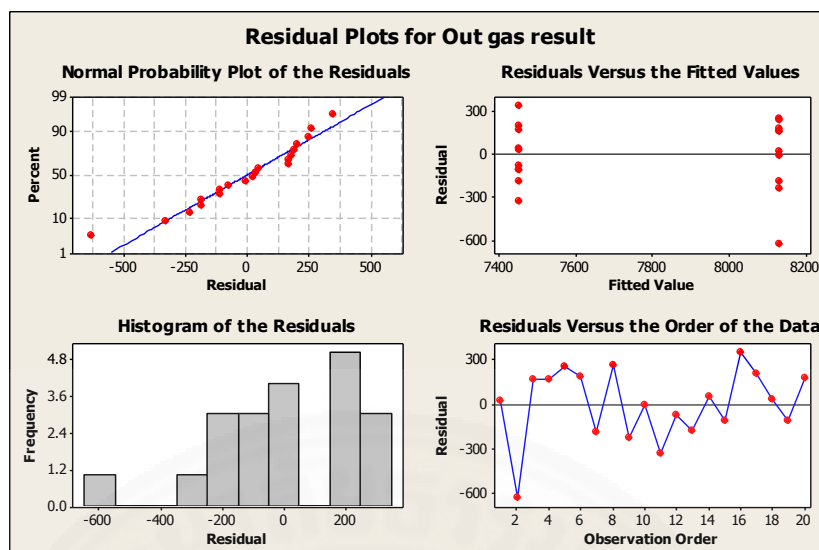
การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยของวิธีการฉีดจาระบีใส่แบร์ริงส์ ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน

One-way ANOVA: Out gas result versus Grease step					
Source	DF	SS	MS	F	P
Grease step	1	2322893	2322893	38.66	0.000
Error	18	1081488	60083		
Total	19	3404381			

S = 245.1    R-Sq = 68.23%    R-Sq(adj) = 66.47%

Individual 99% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev
one step	10	8130.0	281.3
Three step	10	7448.4	202.6

Pooled StDev = 245.1



ภาพที่ 3.11 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยของวิธีการฉีดจาระบีใส่แบริงส์  
ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน

### 3.6.3.5 ตัวกรองของเครื่องฉีดจาระบี

การทดสอบสมมุติฐานสำหรับประชากรด้วย One way ANOVA เพื่อต้องการทราบว่าตัวกรองของเครื่องฉีดจาระบี ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์หรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนแปลง 2 ระดับ คือ รุ่นเอ และรุ่นบี ส่วนปัจจัยอื่นกำหนดให้อยู่ในสถานะปัจจุบัน

$$H_0 : \mu_A = \mu_B$$

$$H_1 : \mu_A \neq \mu_B$$

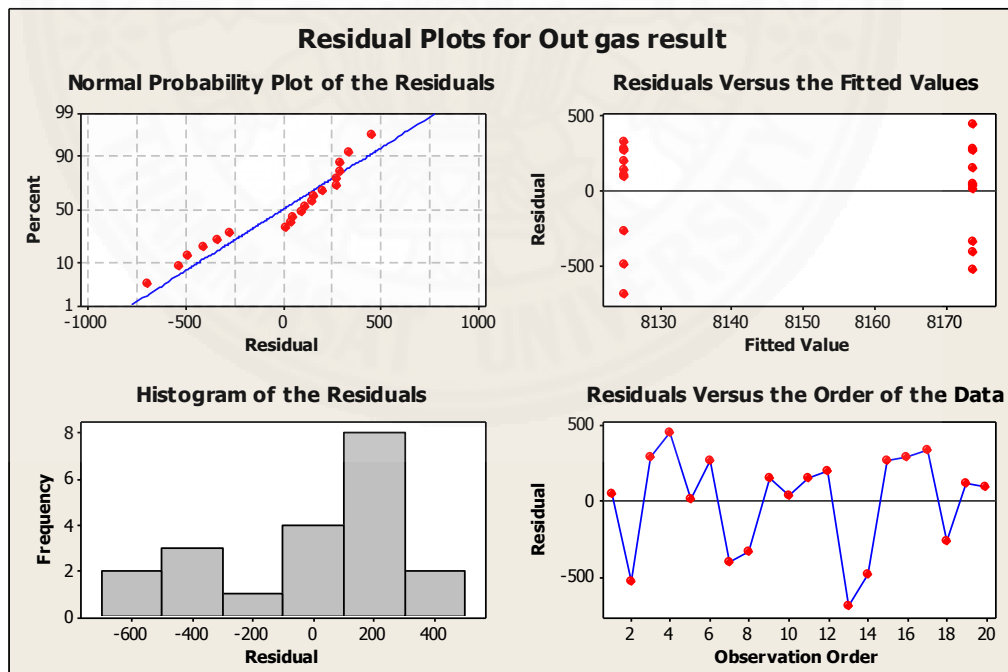
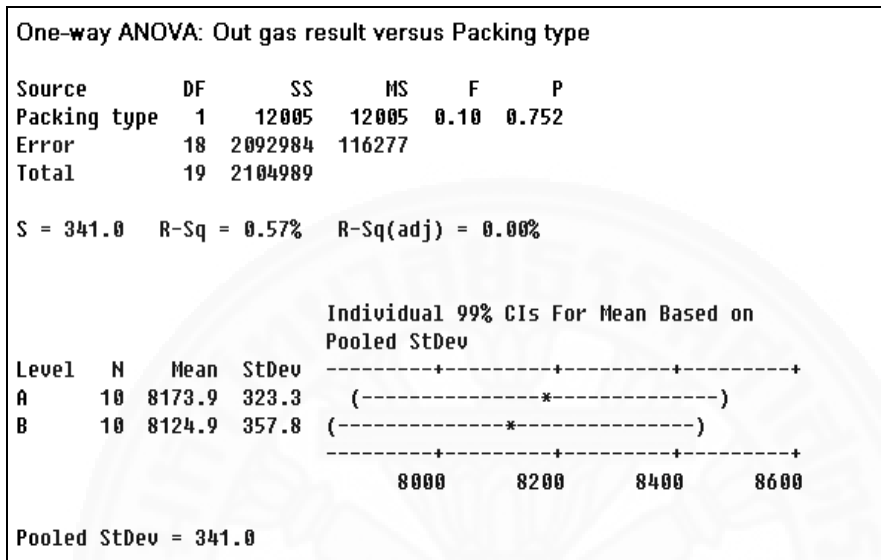
โดย  $\mu_A$  คือ ตัวกรองของเครื่องฉีดจาระบี รุ่น เอ

$\mu_B$  คือ ตัวกรองของเครื่องฉีดจาระบี รุ่น บี

ในส่วนของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.752 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.01 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ตัวกรองของเครื่องฉีดแบริงส์ แต่ละรุ่น ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ดังตารางที่ 3.11

## ตารางที่ 3.11

การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในส่วนของปัจจัยของตัวกรองของเครื่องฉีด  
จาระบี ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน



ภาพที่ 3.12 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลความผิดพลาดของปัจจัยของตัวกรองของเครื่องฉีดจาระบี  
ต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงาน

ตารางที่ 3.11

## สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA

ลำดับที่	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ	ระดับของปัจจัย	One way ANOVA test
			P-Value
1	การล้าง	A : ล้างชิ้นงานชั้นที่ 1	0.000
		B : ไม่ล้างชิ้นงานชั้นที่ 1	
2	ปริมาณจาระบีในแปรงสี	1.6 มิลลิกรัม	0.000
		1.8 มิลลิกรัม	
		2.0 มิลลิกรัม	
3	ขนาดรูเข็มฉีดจาระบี	A = $\Phi$ 7.84	0.881
		B = $\Phi$ 7.89	
		C = $\Phi$ 7.94	
4	วิธีการฉีดจาระบี	แบบเอ : One step	0.000
		แบบบี : Three step	
5	ตัวกรองของเครื่องฉีด	รุ่น A	0.752
		รุ่น B	

จากการทดสอบสมมติฐานและวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA สำหรับการทดลองทั้ง 5 ชุดการทดลอง สามารถสรุปค่า P-Value ดังตารางที่ 4.11 และจะเห็นว่ากระบวนการล้าง 1 ปริมาณจาระบีที่ใส่ในแปรงสี และวิธีการฉีดจาระบีใส่แปรงสี ให้ค่า P-Value ที่ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ทั้งสามปัจจัยเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในส่วนของขนาดของรูเข็มฉีดจาระบี และตัวกรองของเครื่องฉีดจาระบีนั้นให้ค่า P-Value ที่สูงกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ดังนั้นปัจจัยทั้งสองจึงไม่มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

จากนั้นจะต้องนำปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาดังกล่าว โดยเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหา สารอินทรีย์ระเหยง่ายใน เพื่อนำไปทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) ในขั้นตอนของการปรับปรุงต่อไป



## บทที่ 4

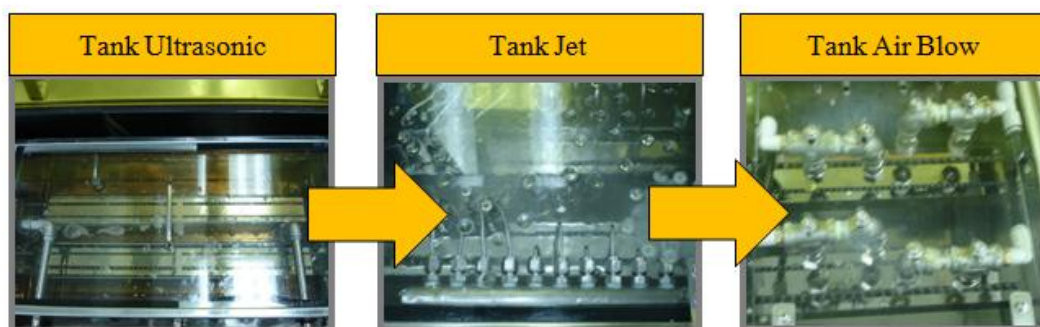
### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากบทที่ 3 ผู้วิจัยได้กล่าวถึงขั้นตอนของกระบวนการผลิตเบริ่งส์และปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกระบวนการผลิตเบริ่งส์รุ่น A แล้ว ในบทนี้ผู้วิจัยจะนำเอาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง มาทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) เพื่อนำไปสู่การทดลองที่ได้ผลดีที่สุดต่อการลดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในเบริ่งส์ จากนั้นจึงสามารถนำผลการทดลอง ที่ได้กำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ดังจะกล่าวต่อไปนี้

#### 4.1 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

จากผลของการทดสอบสมมติฐานและการ วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way ANOVA ในขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase) พบว่าปัจจัยของกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ที่ระดับ การล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 และการไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ปัจจัยปริมาณจาระบีที่ใส่ในเบริ่งส์ ที่ระดับ 1.6, 1.8 และ 2.0 มิลลิกรัม และปัจจัยในส่วนวิธีการใส่จาระบีลงในเบริ่งส์ ที่ระดับ ใส่จาระบีแบบฉีดหนึ่งครั้ง (One step) และแบบฉีดสามครั้ง (Three step) ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในเบริ่งส์สูง อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ผู้วิจัยจึงนำผลที่ได้ไปทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) โดยผู้วิจัยเลือกการออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ซึ่งจะได้การทดลองทั้งหมด 8 การทดลอง เนื่องจากมีปัจจัยอยู่ 3 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังต่อไปนี้

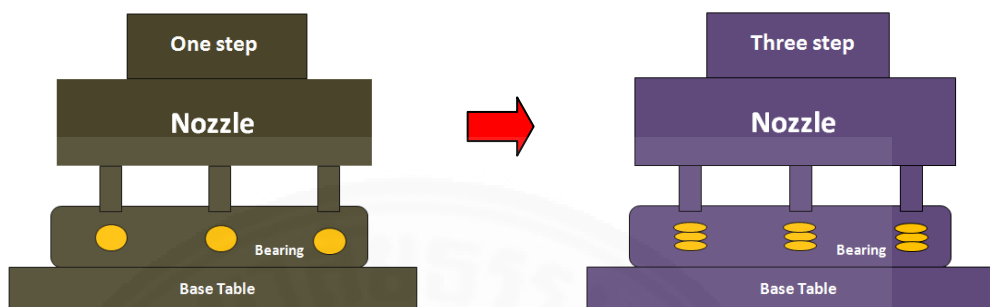
ปัจจัยที่ 1: กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ที่ระดับ ล้างชิ้นงานเบริ่งส์ขั้นที่ 1 และไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1



ภาพที่ 4.1 ภาพกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1

ปัจจัยที่ 2: ปริมาณจาระบีในแบรริงส์ ที่ระดับ 1.6 มิลลิกรัม และ 2.0 มิลลิกรัม

ปัจจัยที่ 3: วิธีการใส่จาระบีลงแบรริงส์ ที่ระดับ ใส่จาระบี ฉีดหนึ่งครั้ง (One step) และแบบ ใส่จาระบี ฉีดสามครั้ง (Three steps)



ภาพที่ 4.2 ภาพวิธีการฉีดจาระบีใส่แบรริงส์ แบบ One step และ Three step

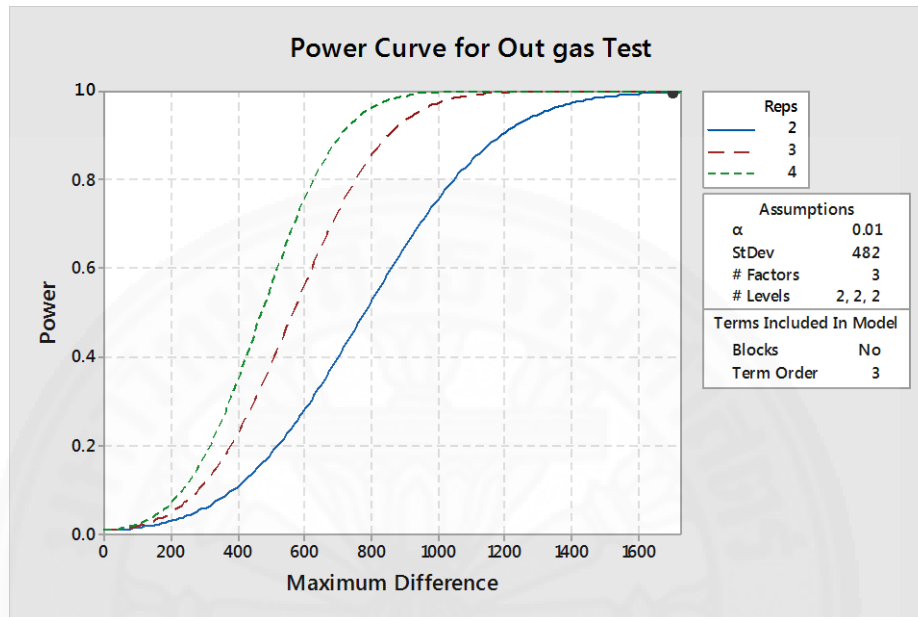
ก่อนที่จะทำการหาค่ากำลังของการทดลอง หรือ Power and Sample size จะต้องหาค่าความต่างสูงสุด จากค่าความต่างสูงสุด (Max difference mean) ในการทดสอบสมมุติฐาน One Way ANOVA ของแต่ละปัจจัยที่ทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

Max difference และค่า Stdev จากการทดสอบสมมุติฐาน One Way ANOVA

Factor	Level	Mean	Stdev
Washing I	Washing I	8,191.8	482.0
	NO Washing I	6,542.6	150.1
Grease amount	1.6 mg	7,524.9	325.7
	2.0 mg	8,245.9	279.2
Grease step	One step	8130.0	281.3
	Three steps	7,448.4	202.6
Max		8,245.9	<u>482.0</u>
Min		6,542.6	150.1
Max difference mean		<u>1,703.3</u>	

จากตารางที่ 4.1 ผู้วิจัยจะใช้ค่าความต่างสูงสุด (Max difference mean) ที่ 1,703.3 ng/pc และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: Stdev) ในกระบวนการที่มากที่สุด คือ 482 ในการหาค่ากำลังของการทดลอง



ภาพที่ 4.3 กำลังของการทดลอง (Power and sample size)

ตารางที่ 4.2

ค่ากำลังของการทดลองจากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$

Power and Sample Size			
General Full Factorial Design			
$\alpha = 0.01$ Assumed standard deviation = 482			
Factors: 3 Number of levels: 2, 2, 2			
Include terms in the model up through order: 3			
Not including blocks in model.			
Maximum Difference	Reps	Total Runs	Power
1703	2	16	0.99790
1703	3	24	1.00000
1703	4	32	1.00000

จากตารางค่ากำลังของการทดลองจากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  โดยจากตารางทางผู้วิจัยจะทำการทดลองซ้ำ (Replicate) ทั้งหมด 2 ครั้ง จะได้ค่ากำลังของการทดลองอยู่ที่ 99.79 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาค่าความต่างสูงสุดที่ 1,703.3 ng/pc ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกการทำซ้ำทั้งหมด 2 ครั้ง เพราะจากค่ากำลังของการทดลองเป็นที่น่าพึงพอใจ ถึงแม้ว่า ถ้าทำซ้ำ 3 ครั้งจะได้กำลังของการทดลองอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม แต่การทำทดลองเพียง 2 ครั้งก็เพียงพอและสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองอีกด้วย ดังนั้นการทดลองทั้งหมดจะเท่ากับ  $2^3$  และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จะทำให้ได้การทดลองทั้งหมด 16

จากกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนของการปรับปรุงกระบวนการ ดังที่ผู้วิจัยได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถสรุปในส่วนของปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่จะใช้ในกระบวนการออกแบบการทดลองเทียบกับปัจจัยและระดับของแต่ละปัจจัย ณ ช่วงเวลาของการศึกษากระบวนการก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์และปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และในส่วนของปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย แต่จำเป็นต้องเกี่ยวข้องในการออกแบบการทดลองนี้ คือ ปัจจัยของขนาดรูเข็มฉีดยาระบี และปัจจัยของตัวกรองเครื่องฉีดยาระบี ซึ่งจากผลการทดสอบสมมุติฐานก่อนหน้านี้พบว่าทั้งสองปัจจัยที่กล่าวมาเป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.01 ดังนั้น ในการออกแบบการทดลองต่อไปนี้ผู้วิจัยจะใช้ระดับของปัจจัยค่าเดิมที่ใช้ปกติอยู่ในกระบวนการผลิต คือ ขนาดรูเข็มฉีดยาระบี ใช้  $\phi 7.89$  และตัวกรองเครื่องฉีดยาระบีใช้แบบตัวกรองรุ่น A

#### ตารางที่ 4.3

สรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยก่อนการปรับปรุง และการออกแบบการทดลอง

ลำดับที่	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ	ระดับของปัจจัยที่ออกแบบการทดลอง	ระดับของปัจจัยก่อนเริ่มทำการปรับปรุง
1	กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1	ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1	ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1
		ไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1	
2	ปริมาณจาระบีในแบริงส์	1.6 มิลลิกรัม	1.925 มิลลิกรัม
		2.0 มิลลิกรัม	
3	วิธีการใส่จาระบีลงแบริงส์	ใส่จาระบี one step	ใส่จาระบี one steps
		ใส่จาระบี three step	

## ตารางที่ 4.4

การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$ 

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Washing I	Grease amount	Grease step	Out gas result
7	1	1	1	Washing	2.0	Three step	7373
14	2	1	1	No Washing	1.6	Three step	4764
5	3	1	1	Washing	1.6	Three step	6718
4	4	1	1	No Washing	2.0	One step	6355
1	5	1	1	Washing	1.6	One step	7752
6	6	1	1	No Washing	1.6	Three step	4765
13	7	1	1	Washing	1.6	Three step	6746
2	8	1	1	No Washing	1.6	One step	5747
12	9	1	1	No Washing	2.0	One step	6345
9	10	1	1	Washing	1.6	One step	7771
8	11	1	1	No Washing	2.0	Three step	5364
15	12	1	1	Washing	2.0	Three step	7323
16	13	1	1	No Washing	2.0	Three step	5368
3	14	1	1	Washing	2.0	One step	8431
10	15	1	1	No Washing	1.6	One step	5796
11	16	1	1	Washing	2.0	One step	8470

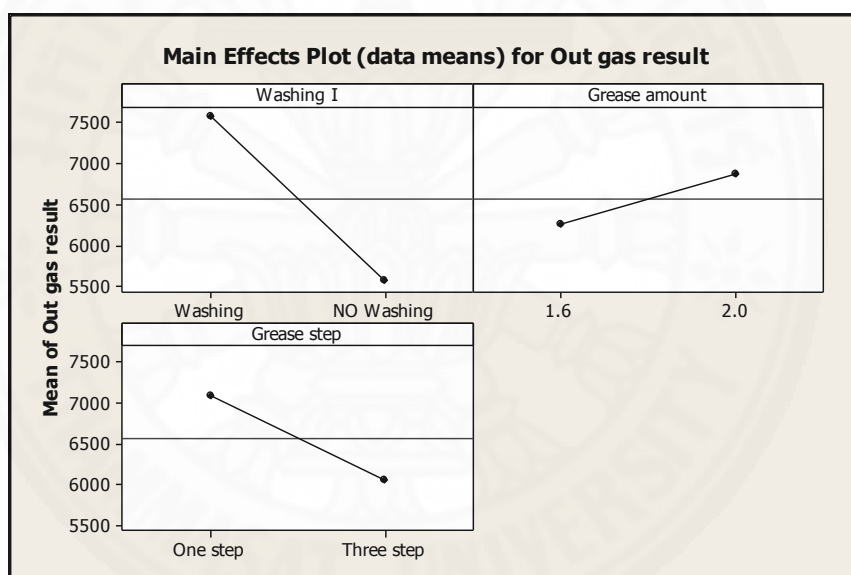
## ตารางที่ 4.5

ผลตอบสนองในส่วนของการวิเคราะห์ระยะเห่ง่าย (Out gas result)

Factorial Fit: Out gas resu versus Washing I, Grease amoun, Grease step						
Estimated Effects and Coefficients for Out gas result (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		6568	5.479	1198.84	0.000	
Washing I	-2010	-1005	5.479	-183.44	0.000	
Grease amount	621	311	5.479	56.70	0.000	
Grease step	-1031	-515	5.479	-94.07	0.000	
Washing I*Grease amount	-31	-16	5.479	-2.85	0.021	
Washing I*Grease step	35	18	5.479	3.22	0.012	
Grease amount*Grease step	-12	-6	5.479	-1.14	0.287	
Washing I*Grease amount*Grease step	24	12	5.479	2.19	0.060	
S = 21.9146 R-Sq = 99.98% R-Sq(adj) = 99.97%						
Analysis of Variance for Out gas result (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	21953989	21953989	7317996	15237.89	0.000
2-Way Interactions	3	9501	9501	3167	6.59	0.015
3-Way Interactions	1	2304	2304	2304	4.80	0.060
Residual Error	8	3842	3842	480		
Pure Error	8	3842	3842	480		

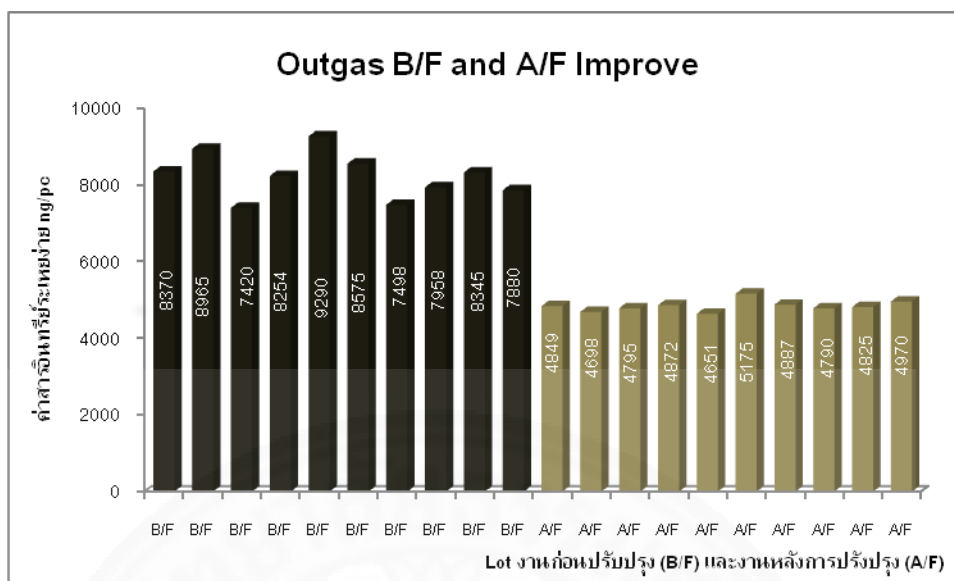
จากการพิจารณาผลตอบสนองในส่วนของคุณค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Out gas result) จากผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 (Washing I) ปริมาณจาระบีในแบร็งส์ (Grease amount) และวิธีการฉีดจาระบี (Grease step) มีผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง เนื่องจากกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้นมีค่า P-value น้อยกว่า 0.01

เมื่อทำการพิจารณาอิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร็งส์ของแต่ละปัจจัย จากผลการทดลองพบว่า กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ที่ระดับ การไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 จะให้ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร็งส์ต่ำที่สุด ในขณะที่ ปริมาณจาระบีในแบร็งส์ที่ระดับจาระบี 1.6 มิลลิกรัม และวิธีการฉีดจาระบี ที่ระดับ การฉีดแบบสามครั้ง จะให้ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่ำที่สุดเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.4 อิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร็งส์สูงของแต่ละปัจจัย

จากผลของการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยและทีมงานได้นำผลการทดลองดังกล่าวมาปรับปรุงในกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา โดยกำหนดให้กระบวนการผลิตแบร็งส์รุ่น A ยกเลิกกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 และทำการกำหนดปริมาณจาระบีในแบร็งส์ให้ใกล้เคียง หรือตั้งเป้าหมายไว้ที่ 1.6 มิลลิกรัม และได้กำหนดการวิธีการฉีดจาระบีแบบสามครั้ง ลงในแบร็งส์แทนการฉีดแบบเดิม คือ การฉีดแบบหนึ่งครั้ง หลังจากทำการปรับปรุงพบว่าค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร็งส์ลดต่ำลงดังรูปภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงข้อมูลค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Out gas) ก่อนการใช้งาน  
ก่อนและหลังการปรับปรุง

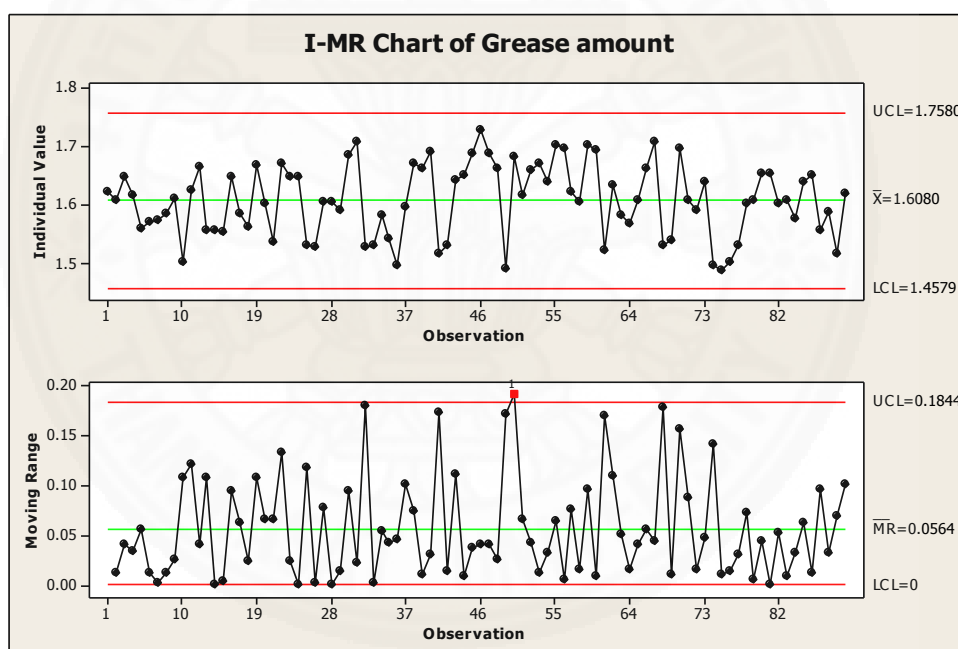
จากผลการเปรียบเทียบก่อน และหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตเบริ่งส์ รุ่น A พบว่า เมื่อทำการกำหนดให้กระบวนการผลิตเบริ่งส์รุ่น A ยกเลิกกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 และทำการกำหนดเป้าหมายของปริมาณจารบีในเบริ่งส์ 1.6 มิลลิกรัม และกำหนดวิธีการฉีดจารบีแบบสามครั้ง ลงในเบริ่งส์พบว่าค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานเบริ่งส์ลดลงจาก 8200 ng/pc เหลือ 4850 ng/pc หรือลดลงถึงร้อยละ 40.85 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตเบริ่งส์

ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายลดลงสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้จากนั้นผู้วิจัยและทีมงานได้เริ่มทำการควบคุมกระบวนการผลิตในบริษัทกรณีศึกษา เพื่อทำไปสู่การเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า และการลดปัญหาข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่ลูกค้าพบหลังการใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา โดยเริ่มทำการบันทึกผลการควบคุมของทั้ง 3 ปัจจัย ดังจะแสดงในขั้นตอนการควบคุม (Control phase) ในลำดับต่อไป

#### 4.2 ขั้นตอนการควบคุม (Control phase)

จากผลของขั้นตอนการปรับปรุงทำให้เห็นว่า การที่บริษัทกรณีศึกษาจะทำการลดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานเบริ่งส์นั้นให้มีค่าอยู่ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้อย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องทำการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายนี้ ซึ่งมีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ การ

ยกเลิกกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ปริมาณจาระบีในชิ้นงานแบริงส์ และวิธีการฉีดจาระบี ซึ่งจากที่ได้กล่าวมา ปัจจัยการยกเลิกกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 และปัจจัยของการฉีดจาระบี แบบฉีดสามครั้ง นั้นทางบริษัทกรณีศึกษา มีการระบุในขั้นตอนการทำงานของ กระบวนการผลิตแบริงส์ รุ่น A และในส่วนของปริมาณจาระบีในชิ้นงานแบริงส์นั้น ต้องทำการควบคุมระดับของปริมาณจาระบีในแบริงส์ ให้ได้ตามค่ากำหนดที่ได้กำหนดไว้ คือ ตั้งเป้าหมายที่ปริมาณจาระบีที่ 1.6 มิลลิกรัม ดังนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลของปริมาณจาระบีในชิ้นงานแบริงส์ จากกระบวนการผลิตแบริงส์รุ่น A หลังการปรับปรุง เพื่อนำมาสร้างแผนภูมิควบคุม I-MR chart พบว่าค่าควบคุมบน (Upper control limit) มีค่าเท่ากับ 1.758 มิลลิกรัม ค่าควบคุมล่าง (Lower control limit) มีค่าเท่ากับ 1.4579 มิลลิกรัม และเส้นกลาง (Center control limit) มีค่าเท่ากับ 1.608 มิลลิกรัม ดังนั้นทางบริษัทกรณีศึกษาได้กำหนดค่าควบคุมของปริมาณจาระบีในชิ้นงานแบริงส์รุ่น A เท่ากับ  $1.6 \pm 0.2$  มิลลิกรัม



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดง I-MR chart ของปริมาณจาระบีในชิ้นงานแบริงส์  
(จากการเก็บข้อมูลปริมาณจาระบี 30 วันทำงาน)

หลังจากที่มีการควบคุมกระบวนการหลังจากการปรับปรุงของกระบวนการผลิตของแบริงส์รุ่น A ทางผู้วิจัยและทีมงานได้มีการประเมินโอกาสที่จะเกิดของเสียหลังการปรับปรุงกระบวนการดังต่อไปนี้ และทำการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการหลังการปรับปรุงกระบวนการดังตารางที่ 4.5



## 1. โอกาสที่จะเกิดของเสียหลังการปรับปรุง

1.1 ชี้น้ำมันน้ำมัน และชี้น้ำมันมีคราบ หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบ รุ่งส์รุ่น A มีการยกเลิกกระบวนการล้างชี้น้ำมันชั้นที่ 1 ลง ทำให้โอกาสที่จะเกิดในชี้น้ำมันน้ำมัน ห่างไกล หรือไม่มีโอกาสเกิดขึ้นเพราะทางบริษัทกรณีศึกษาได้ตัดกระบวนการที่ก่อให้เกิดชี้น้ำมัน น้ำมันลงไป ทำให้ทางทีมงานมีการประเมินระดับคะแนนเท่ากับ 1

1.2 ชี้น้ำมันมีคราบ การที่ชี้น้ำมันไม่ผ่านกระบวนการล้างชี้น้ำมันชั้นที่ 1 ดังนั้น จึงไม่ ก่อให้เกิดคราบสกปรกจากน้ำยาที่หมดอายุ หรือสภาพจากการใช้งาน ดังนั้นโอกาสในการเกิดปัญหานี้ ต่ำมาก ทางทีมงานจึงประเมินคะแนนเท่ากับ 1

1.3 ปริมาณจาระบีเกินค่าควบคุม เกิดจากหัวฉีดตัวรองจาระบีไม่ดี ทางบริษัท กรณีศึกษามีการกำหนดให้ทำการเปลี่ยนตัวรองจาระบีทุกๆ 1 เดือน ดังนั้นโอกาสในการเกิดปัญหา ปริมาณจาระบีเกินค่าควบคุมก็มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยลง จึงทำให้มีการประเมินโอกาสในการเกิดปัญหานี้ ลดลง เท่ากับ 4

1.4 จาระบีเลอะแบริงส์ หลังจากการปรับปรุงกระบวนการมีการเปลี่ยนวิธีการฉีด จาระบีในแบริงส์ แบบฉีด สามครั้ง (Three steps) จึงส่งผลให้โอกาสในการเกิดปัญหาจาระบีเลอะ แบริงส์ลดลง จึงทำให้มีการประเมินโอกาสในการเกิดปัญหานี้ เท่ากับ 2

1.5 ตำแหน่งการใส่จาระบีผิดปกติ หลังจากการปรับปรุงกระบวนการมีการเปลี่ยน วิธีการฉีดจาระบีในแบริงส์ แบบฉีด สามครั้ง (Three steps) การปรับปรุงนี้ส่งผลให้ลดปัญหา การใส่ จาระบีลงชี้น้ำมันแบริงส์ โดยมีตำแหน่งการใส่ผิดปกติ หรือมีโอกาสดังกล่าวนี้ลดลง เหลือที่ระดับต่ำ มาก ดังนั้นทางทีมงานจึงประเมินคะแนนเท่ากับ 2

ตารางที่ 4.6

การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการ ปัจจุบัน	D	RPN
การล้างชิ้นงาน ชั้นที่ 1	ชิ้นงานมีน้ำมัน	- อายุการใช้งานสั้น - มีสารอินทรีย์ระเหยง่าย	6	น้ำยาที่ใช้ล้าง	1	มีกระบวนการล้าง แบริ่งส์ชั้นที่ 2	2	12
	ชิ้นงานเป็นคราบ	- แบริ่งส์สกปรก	6	น้ำยาที่ใช้สกปรก	1	เปลี่ยนน้ำยาทุก 1 เดือน	1	6
การฉีดจาระบี	ปริมาณจาระบีเกินค่า ควบคุม	- จาระบีเลอะแบริ่งส์	6	หัวฉีดจาระบีไม่ดี	4	เช็คหัวจาระบี 1 วัน /1 ครั้ง	4	96
		- Torque NG	6	เครื่องฉีดจาระบีตัวรองไม่ดี	2	เช็คค่าจาระบี 5 pcs/ 1 shift	4	48
	- สารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง	6						
	จาระบีเลอะแบริ่งส์	- จาระบีเลอะฝาครอบ	3	วิธีการฉีดจาระบีไม่ดี	2	เช็คตำแหน่งการลงของ จาระบี 5 pcs/ 1 shift	4	24
ตำแหน่งการใส่ จาระบีผิดปกติ	- จาระบีเลอะฝาครอบ - สารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง	6	วิธีการฉีดจาระบีไม่ดี	2	เช็คตำแหน่งการลงของ จาระบี 5 pcs/ 1 shift	4	48	
การหมุนของ แบริ่งส์	ตำแหน่งของจาระบี ผิดปกติ	- จาระบีเลอะแบริ่งส์ - Torque NG	3	เครื่องจักรจับแบริ่งส์ไม่ดี	4	ตรวจสอบการหมุนของ แบริ่งส์ 1 วัน /1 ครั้ง	4	48

## ตารางที่ 4.7

เปรียบเทียบค่าการประเมินค่าความเสี่ยงขึ้นนำ (RPN) ก่อนและหลังการปรับปรุง

กระบวนการ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	RPN ก่อนการปรับปรุง	RPN หลังการปรับปรุง
การล้างชิ้นงานชั้นที่ 1	ชิ้นงานมีน้ำมัน	- อายุการใช้งานสั้น - มีสารอินทรีย์ระเหยง่าย	120	12
	ชิ้นงานเป็นคราบ	- แบริ่งส์สกปรก	10	6
การฉีดจาระบี	ปริมาณจาระบีเกินค่าควบคุม	- จาระบีเลอะแบริ่งส์ - Torque NG - สารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง	120	96
	จาระบีเลอะแบริ่งส์	- จาระบีเลอะฝาครอบ	48	24
	ตำแหน่งการใส่จาระบีผิดปกติ	- จาระบีเลอะฝาครอบ - สารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง	120	48
	การหมุนของแบริ่งส์	- จาระบีเลอะแบริ่งส์ - Torque NG	48	48

จากตารางที่ 4.5 และจากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าการประเมินค่าความเสี่ยงขึ้นนำ หรือ Risk Priority Number (RPN) ของแต่ละกระบวนการมีค่าลดลง เพราะว่า โอกาสที่เป็นไปได้ในการเกิดข้อบกพร่องขึ้น Occ (Occurrence) มีค่าลดลงเนื่องจากหลังการปรับปรุงกระบวนการและมีการเปลี่ยนวิธีการทำงานเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องลง

### 4.3 สรุปผลการดำเนินการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องด้านคุณภาพที่ลูกค้าพบหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบริ่งส์ จากการเก็บข้อมูลข้อร้องเรียนจากลูกค้าหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบริ่งส์ พบว่าปัญหาค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริ่งส์หลังการใช้งานสูงเกินค่าการควบคุม ผู้วิจัยและทีมงานจึงทำการหาสาเหตุของปัญหาค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานนี้ จากการระดมสมองเริ่มตั้งแต่ การใช้แผนภาพ SIPOC เพื่อกำหนดขอบเขตของกระบวนการที่จะทำการศึกษา จากนั้นใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล และนำผลที่ได้จากแผนภาพเหตุและผลมาทำการวิเคราะห์ต่อในการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดใน

กระบวนการผลิต จากนั้นนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ได้ มาทำการทดลองและทำการทดสอบ สมมุติฐาน ด้วย One Way ANOVA จนกระทั่งนำไปสู่การค้นพบปัจจัยหลักที่ส่งผลและมีอิทธิพลต่อ ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกระบวนการผลิตเบริ่งส์ นั่นคือ กระบวนการล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 (ที่ระดับ การล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 และการไม่ล้างชิ้นงานเบริ่งส์ชั้นที่ 1) ปริมาณจาระบีในชิ้นงานเบริ่งส์ (ที่ระดับ 1.6, 1.8 และ 2.0 มิลลิกรัม) และวิธีการฉีดจาระบีลงเบริ่งส์ (ที่ระดับ การฉีดแบบหนึ่งครั้ง และการฉีดแบบสามครั้ง) ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

เมื่อทราบถึงปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบและมีอิทธิพลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูง นั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อเป็นการยืนยันผลว่าปัจจัย หลักทั้งสามปัจจัย ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานเบริ่งส์ ผู้วิจัยและทีมงานเลือกการ ออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ซึ่งจากผลของการทดลองพบว่า การไม่ล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 ปริมาณจาระบีในชิ้นงานเบริ่งส์ เท่ากับ 1.6 มิลลิกรัม และวิธีการฉีดจาระบีลงเบริ่งส์ แบบฉีดสาม ครั้ง เป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ที่จะทำให้ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานเบริ่งส์ต่ำที่สุด จากนั้น ผู้วิจัย ได้นำผลจากการออกแบบการทดลองไปทำการปรับปรุงกระบวนการ และทำการควบคุม กระบวนการผลิตเป็นลำดับต่อไป

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุปการดำเนินงาน

การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้หลักขั้นตอนของ (DMAIC) ตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่าและเครื่องมือควบคุมคุณภาพมาช่วยในการลดปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในงานแบเร็งส์ ซึ่งเป็นลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการของลูกค้ำ หลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบเร็งส์โดยได้เก็บข้อมูลของข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ส่งกระทบต่อกระบวนการลูกค้ำตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2558 จนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานตามหลัก 5 ขั้นตอน โดยสามารถสรุปผลการดำเนินการของแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

##### 5.1.1 การกำหนดปัญหา (Define Phase)

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตแบเร็งส์สำหรับการประกอบไพออด (Pivot) ที่เป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาได้รับการประเมินด้านคุณภาพจากลูกค้ำค่อนข้างต่ำ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลข้อบกพร่องของลูกค้ำหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบเร็งส์ ในปี พ.ศ. 2558 แสดงข้อมูลในแผนภาพพาเรโต ภาพที่ 1.2 พบว่าปัญหาสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบเร็งส์ เป็นปัญหาที่ลูกค้ำพบหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบเร็งส์มากที่สุด จากการตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบเร็งส์ของลูกค้ำพบว่า ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลังการใช้งานสูงเกินค่าควบคุม แต่จากข้อมูลก่อนการใช้งานผลิตภัณฑ์แบเร็งส์พบว่าค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในค่าควบคุมประมาณ 8,200 ng/pc ซึ่งค่าควบคุมอยู่ที่ 10,000 ng/pc ดังนั้นทางบริษัทกรณีศึกษาต้องทำการปรับปรุงภายในกระบวนการผลิตแบเร็งส์เพื่อลดของเสียที่เกิดผลกระทบต่อลูกค้ำหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์ คือการลดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบเร็งส์ก่อนการใช้งานของลูกค้ำลง

##### 5.1.2 การวัด (Measure Phase)

เพื่อเป็นการนำไปสู่การทดสอบความน่าเชื่อถือให้กับเครื่องมือวัด ด้วยการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยวิธี สหสัมพันธ์ (Correlation) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัดของบริษัทลูกค้ำและบริษัทกรณีศึกษา พบว่าค่า R-square มีค่าเท่ากับ 0.9882 ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าสมการมีความสัมพันธ์กันดีมาก รวมทั้งการทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Paired – T test แสดงค่า P-value เท่ากับ 0.201 นั้นแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากัน หรือไม่แตกต่างกัน

### 5.1.3 การวิเคราะห์และการปรับปรุง (Analyze and Improve Phase)

การดำเนินการในขั้นตอนนี้เริ่มจากการใช้แผนภาพกระบวนการแบบไซพอค (SIPOC) เพื่อการกำหนดขอบเขตการศึกษาจากนั้นทำการระดมสมองจากทีมงานโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และการวิเคราะห์ความผิดพลาดในกระบวนการ (Failure Mode and Effect Diagram Analysis) การเพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาทำการทดสอบสมมุติฐานในแต่ละปัจจัยได้ผลสรุปว่า ปัจจัยในส่วนของกำลังขึ้นงานขั้นที่ 1 ปริมาณจาระบีในแบริงส์ และวิธีการฉีดจาระบีใส่แบริงส์ เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลดังกล่าวนำไปสู่การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่ดีที่สุด โดยผลจากการออกแบบการทดลองพบว่า การไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ปริมาณจาระบีที่ 1.6 มิลลิกรัมและวิธีการฉีดจาระบีใส่แบริงส์แบบ ฉีดสามครั้ง เป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเมื่อนำผลจากการออกแบบทดลองไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตแบริงส์ พบว่าค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ลดลงจาก 8,200 ng/pc เหลือ 4,850 ng/pc หรือคิดเป็นการลดลงร้อยละ 40.85 เปอร์เซ็นต์

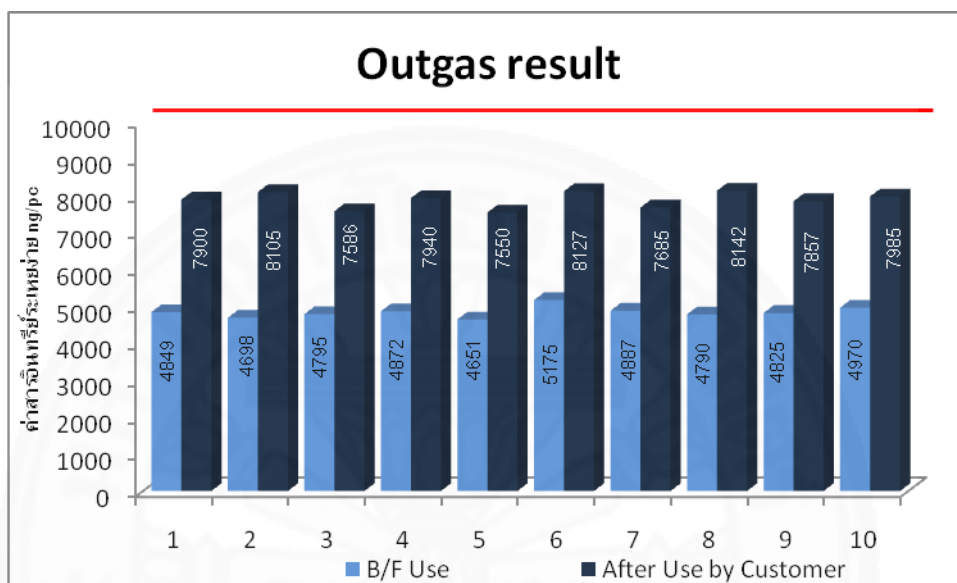
### 5.1.4 การควบคุม (Control Phase)

จากผลของขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการจะเห็นได้ว่า ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์หลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่าลดลง ดังนั้น เราจำเป็นต้องทำการควบคุมกระบวนการผลิตในส่วนของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหานี้ คือ การกำหนดให้กระบวนการผลิตแบริงส์รุ่น A ยกเลิกกระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 และกำหนดในส่วนของวิธีการฉีดจาระบีใส่แบริงส์แบบ ฉีดสามครั้ง ลงเอกสารการปฏิบัติงาน ในส่วนของปัจจัยของปริมาณจาระบีที่ใส่ในชิ้นงานแบริงส์มีการควบคุมปริมาณจาระบีที่ใส่ในแบริงส์ให้ใกล้เคียงกับค่า 1.6 มิลลิกรัม และทำการเก็บข้อมูลปริมาณจาระบีในแบริงส์ ในกระบวนการผลิตแบริงส์รุ่น A เพื่อนำมาสร้าง แผนภูมิควบคุม I – MR chart เพื่อนำไปสร้างเส้นควบคุมในกระบวนการผลิตจริงของแบริงส์รุ่น A ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1.6 \pm 0.2$  มิลลิกรัม

### 5.1.5 การติดตามผล

การติดตามผลหลังการปรับปรุงแก้ไข ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 จากการเก็บข้อมูลข้อบกพร่องหลังการใช้งานของผลิตภัณฑ์แบริงส์รุ่น A ของ

ลูกค้า ไม่พบข้อบกพร่อง ในเรื่องค่าสารอินทรีย์หลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบริงส์มีค่าสูงเกินค่าควบคุม จากการตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์หลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบริงส์จำนวน งานทั้งหมด 10 ล็อตของลูกค้า พบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีค่าเท่ากับ 7890 ng/pc ดังแสดงดังภาพ ที่ 5.1 ซึ่งอยู่ในค่าควบคุมและเป็นที่น่าพึงพอใจของลูกค้า



ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงข้อมูลค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายก่อนการใช้งานก่อนและหลังการใช้งานของ ลูกค้าหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การค้นคว้าอิสระนี้ ผู้ศึกษาและทีมงานได้ทำการศึกษาและวิจัยเพื่อนำไปสู่การลดปริมาณของเสียของลูกค้าด้วยการประยุกต์ใช้วิธี DMAIC ซึ่งทำให้ลดปัจจัยที่ก่อให้เกิดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ ในกระบวนการผลิตแบริงส์รุ่น A จึงทำให้ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายก่อนการใช้งานผลิตภัณฑ์แบริงส์ ลดลง และลดปัญหาข้อบกพร่องด้านคุณภาพของลูกค้าหลังการใช้งานผลิตภัณฑ์แบริงส์ ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในการศึกษาค้นคว้าอิสระด้วยตนเองนี้ พบว่ามีปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานที่มีผลต่อการดำเนินการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. พบอุปสรรคในการเช็คข้อมูลของสารอินทรีย์ระเหยง่าย เนื่องจากการเช็คค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นต้องส่งให้อีกส่วนงานหนึ่งของบริษัทกรณีศึกษาเป็นฝ่ายเช็คข้อมูลให้ ดังนั้นต้องใช้เวลาในการเช็คข้อมูลค่อนข้างนาน และมีความจำกัดเกี่ยวกับจำนวนตัวอย่างในการเช็คในแต่ละครั้ง

2. พบปัญหาในระดมความคิด เพื่อหาสาเหตุของปัญหาเนื่องจากการหาปัญหาในครั้งนีทางบริษัทกรณีต้องทำการศึกษาค้นคว้ากับบริษัทลูกค้า เพื่อหาสาเหตุของปัญหาให้ตรงจุด ขั้นตอนนี้ใช้เวลาในการหาสาเหตุและปัจจัย

3. พบอุปสรรคในกระบวนการฉีดจาระบีแบบ ฉีดสามครั้ง (Grease three Steps) เพราะในกระบวนการฉีดจาระบีใส่แบริงส์รุ่น A ต้องเปลี่ยนมาเป็นการฉีดจาระบีแบบ ฉีดสามครั้ง กระบวนการนี้จะให้เวลาในการ Set up นานและโปรแกรมของกระบวนการนี้เป็นโปรแกรมใหม่ จึงยากต่อการใช้งาน และต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญในการติดตั้ง แต่เมื่อมีการจัดทำเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานและคู่มือการใช้งานของโปรแกรมการฉีดจาระบีแบบ ฉีดสามครั้ง จึงทำให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้ตามข้อกำหนด

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

การค้นคว้าอิสระนี้ ผู้วิจัยและทีมงานทำการศึกษาเพื่อนำไปสู่การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตแบริงส์รุ่น A และกระบวนการผลิตของลูกค้าด้วยการประยุกต์ใช้วิธี DMAIC จากการค้นคว้าวิจัยพบว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการตามการออกแบบการทดลอง นั้นทำให้สามารถลดค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบริงส์ก่อนใช้งานลง ผลดังกล่าวเป็นที่น่าพึงพอใจต่อลูกค้าเป็นอย่างยิ่ง แต่อย่างไรทางบริษัทกรณีศึกษา ยังไม่สามารถขยายการปรับปรุงกระบวนการไปยังแบริงส์รุ่นอื่น ๆ เนื่องจาก

(1) การไม่ล้างชิ้นงานขั้นที่ 1 ไม่เหมาะสมกับแบริงส์รุ่นที่ลูกค้าซีเรียสเรื่องเสียงของแบริงส์เป็นพิเศษ ถึงแม้ว่าการไม่ล้างแบริงส์ขั้นที่ 1 นั้นจะมีกระบวนการที่รองรับ คือ กระบวนการล้างชิ้นงานขั้นที่ 2 แต่ไม่เพียงพอกับกระบวนการผลิตแบริงส์บางรุ่นเนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อปัญหา เสียงการหมุนตัวของชิ้นงานแบริงส์ผิดปกติ (Spiky Torque) ปัญหาดังกล่าวอาจส่งผลที่ไม่น่าพึงพอใจกับลูกค้าได้

(2) ในส่วนการควบคุมปริมาณจาระบีในชิ้นงานแบริงส์ลูกค้าต้องการให้ควบคุมปริมาณจาระบีในชิ้นงานแบริงส์ เท่ากับ  $1.8 \pm 0.1$  มิลลิกรัม จากการตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีค่าเท่ากับ 5,500 ng/pc



## รายการอ้างอิง

### การค้นคว้าอิสระ

- อภิชาติ สิทธิวงศ์, (2555), “การลดของเสียในกระบวนการผลิตแผ่นแก้วสำหรับฮาร์ดดิสก์ด้วยเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า”, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- นพวรรณค์ ศิริเสถียร, (2543), “การปรับปรุงคุณภาพผิวชิ้นงานของผลิตภัณฑ์กระบะรถยนต์ โดยอาศัย แนวทางทางซิกซ์ ซิกม่า”, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ภัทรศิริ รุ่งสังข์, (2553), “การปรับปรุงแรงบิดของการประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยวิธีการออกแบบการทดลอง” สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์
- ชาญ สุดตาชาติวงศ์, (2557), “การปรับปรุงเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตสปินเดิลมอเตอร์” สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- จรรยา เหลี่ยมมงคล, (2556), “การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษาการผลิต ไพวอดที่มีการประกอบฮับแคบ”, สาขาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

### สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- สุภาพร เพียรดี, (2554), เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) ที่มา:  
<https://www.gotoknow.org>
- ลำปาง แสนจันทร์, (2554), บทที่ 2 เครื่องมือ 7 ชนิดในการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (7 tools Statistics Process Control) ที่มา: <http://www.lampang.cmustat.com/>
- ลำปาง แสนจันทร์, (2554), บทที่ 6 หกซิกมา (SIX SIGMA) ที่มา:  
<http://www.lampang.cmustat.com/>
- ฤดี นิยมรัตน์, (2551), บทที่ 5 เครื่องมือเพื่อการควบคุมคุณภาพ ที่มา:  
<http://www.teacher.ssru.ac.th/>



ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลของแต่ละปัจจัยในส่วนของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายในชิ้นงานแบร็งส์

จากการเก็บข้อมูลตัวอย่างชิ้นงานแบร็งส์ ของแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไป  
ตรวจสอบค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย ดังแสดงในตารางที่ ก - 1

ตารางที่ ก - 1

## ข้อมูลของแต่ละปัจจัยในส่วนของค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย

กระบวนการล้าง แบร็งส์ 1		ปริมาณจาระบี			ขนาดของรูเข็มฉีด จาระบี			วิธีการฉีดจาระบี		ตัวกรองเครื่องฉีด จาระบี	
A : ล้าง	B : ไม่ ล้าง	1.6 mg	1.8 mg	2.0 mg	7.84	7.89	7.94	A : ฉีดหนึ่ง ครั้ง	B : ฉีดสาม ครั้ง	รุ่น เอ	รุ่น บี
7230	6683	7565	7931	7991	8215	8118	8174	8151	7118	8226	8275
8491	6425	7300	8031	7830	8660	8190	7837	7492	7375	7645	8329
7914	6677	7668	8089	8245	7849	8375	8281	8300	7264	8460	7430
8098	6780	7826	7895	8233	7701	7618	7630	8295	7496	8622	7634
7660	6495	7661	7785	8387	8344	8585	7800	8381	7338	8190	8395
8405	6452	6729	7924	8250	8180	7739	8490	8320	7797	8447	8417
8795	6350	7390	8095	8230	7990	8080	8058	7943	7651	7768	8459
8270	6680	7782	7897	8115	8395	8371	8355	8390	7480	7841	7855
8710	6506	7573	7940	8280	8120	8270	8362	7897	7340	8329	8237
8345	6378	7755	7190	8898	8445	8115	8276	8125	7625	8211	8218

## ภาคผนวก ข

### ตารางการออกแบบการทดลอง (Desing of Experiment)

ในการออกแบบการทดลอง (Desing of Experiment) โดยเลือกการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  จะได้รับการทดลองคือ  $2^3$  หรือ 8 การทดลอง เนื่องจากมีปัจจัยอยู่ 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ ปัจจัยที่ 1 คือ การล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 ที่ระดับ การล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 และการไม่ล้างชิ้นงานชั้นที่ 1 ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณจาระบีในแบริงส์ ที่ระดับ 1.6 มิลลิกรัม และ 2.0 มิลลิกรัม และปัจจัยที่ 3 คือ วิธีการฉีดจาระบีใส่แบริงส์ ที่ระดับ การฉีดแบบหนึ่งครั้ง และการฉีดแบบสามครั้ง จากนั้นทำการทดลองซ้ำ (Replicate) ทั้งหมด 2 ครั้ง จึงทำให้เกิดการทดลองทั้งสิ้น 16 การทดลอง ดังตารางที่ ข - 1

ตารางที่ ข - 1

ข้อมูลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$

แผนการทดลอง	กระบวนการล้างชิ้นงานชั้นที่ 1	ปริมาณจาระบีในแบริงส์	วิธีการฉีดจาระบีใส่แบริงส์	ค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย (ng/pc)
1	Washing	2.0 mg	Three steps	7,752
2	No Washing	1.6 mg	Three step	4,764
3	Washing	1.6 mg	Three step	6,718
4	No Washing	2.0 mg	One step	6,355
5	Washing	1.6 mg	One step	7,752
6	No Washing	1.6 mg	Three steps	4,765
7	Washing	1.6 mg	Three steps	6,746
8	No Washing	1.6 mg	One step	5,747
9	No Washing	2.0 mg	One step	6,345
10	Washing	1.6 mg	One step	7,771
11	No Washing	2.0 mg	Three steps	5,364
12	Washing	2.0 mg	Three steps	7,323
13	No Washing	2.0 mg	Three step	5,368
14	Washing	2.0 mg	One step	8,431
15	No Washing	1.6 mg	One step	5,796
16	Washing	2.0 mg	One step	8,470

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวอิซารัตน์ วราสิทธิ์
วันเดือนปีเกิด	22 มิถุนายน 2533
ตำแหน่ง	วิศวกรรับประกันคุณภาพสินค้า และการบริการลูกค้า (QA) สังกัดส่วนงานควบคุมคุณภาพ (QC)
ผลงานทางวิชาการ	การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 7 (CIOD 2016) การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อการลดของเสียในกระบวนการผลิต กรณีศึกษาแผนกผลิตเบริ่งส์
ประสบการณ์ทำงาน	ปี พ.ศ. 2556 วิศวกรรับประกันคุณภาพสินค้า และการบริการลูกค้า บริษัท เอ็นเอ็มบี – มಿನีแบ ไทย จำกัด