

การลดของเสียของเหล็กหล่อเหนียวประเภทขนาดผิกรูปร่างและทรายตกในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2558  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECTIVE REDUCTION OF DUCTILE CAST IRON IN MISS DIMENSION AND SAND  
INCLUSION IN AUTOMOTIVE PART FACTORY

Mr. Teerapong Sam-ran



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียของเหล็กหล่อเหนียวประเภทขนาดผิดรูป และทรายตกในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
โดย	นายธีระพงษ์ สำราญ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคีย์)

ธีระพงษ์ สำราญ : การลดของเสียของเหล็กหล่อเหนียวประเภทขนาดฉีดรูปและทรายตกในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ (DEFECTIVE REDUCTION OF DUCTILE CAST IRON IN MISS DIMENSION AND SAND INCLUSION IN AUTOMOTIVE PART FACTORY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย, 188 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียของผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อเหนียว Cylinder Disc Brake รุ่น Cy/D/B 110 ประเภทขนาดฉีดรูป และประเภททรายตกในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาในเชิงประดิษฐ์คิดค้น และการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบไซนิน ขั้นตอนการวิจัยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) กำหนดปัญหา ทำการวิเคราะห์ความผันแปรด้วยแผนภาพความสนใจ (2) หาสาเหตุหลักของปัญหา ระดมสมองหาสาเหตุของปัญหา และคัดกรองสาเหตุหลักของปัญหา (3) หาวิธีการแก้ปัญหา ทำการทดลองแบบไซนินโดยการสลับที่ระดับปัจจัยที่ดีที่สุด และแย่ที่สุด ใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาในเชิงประดิษฐ์คิดค้นในการช่วยแก้ไขปัญหที่เกิดข้อขัดแย้งทางเทคนิค เมื่อได้ข้อแนะนำในการแก้ปัญหาแล้วจึงนำมาออกแบบแนวคิดจากนั้นคัดเลือกแนวคิดด้วยวิธีการรวมน้ำหนัก จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด (4) นำการแก้ไขปัญหามาปฏิบัติ ทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง และ (5) ติดตามควบคุมและประเมินผล ผลการแก้ไขปัญหาคือปัญหาขนาดฉีดรูปมีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง 9.11% และหลังการปรับปรุง 1.58% มีสัดส่วนลดลง 7.53% และปัญหาทรายตกพบว่ามีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง 4.95% และหลังการปรับปรุง 0.60% มีสัดส่วนลดลง 4.35%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558



# # 5670923721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: TRIZ / SHAININ DOE / DEFECTIVE / CAST IRON

TEERAPONG SAM-RAN: DEFECTIVE REDUCTION OF DUCTILE CAST IRON IN MISS DIMENSION AND SAND INCLUSION IN AUTOMOTIVE PART FACTORY.  
 ADVISOR: ASSOC. PROF. NATCHA THAWESAENGSKULTHAI, Ph.D., 188 pp.

This research aims to reduce defective rate of automotive ductile cast iron part of Cylinder Disc Brake model Cy/D/B110. The two major types of defects are dimension no good (NG) and sand inclusion. The paper applies the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) and Shainin DOE in solving the defect problem. The research methodology consisted of five steps: (1) Define phase analyzed the variations by concentration chart. (2) Measuring phase identified root causes of problem by brain storming and problem scoring. (3) Analysis phase generated the solutions by adopting the Shainin, a basic DOE approach (Best of Best (BOB) and Worst of Worst (WOW)). Additionally, TRIZ approach was used to solve the technical contradiction and to generate solutions. The most suitable idea was selected by the weight sum method (WSM). Then design of experiment was used to find the best optimal factor level. (4) Improve phase implemented the solution and compare the performance results between before and after improvements. (5) Control phase is to monitor and control the results after the improvements. The results found that the defective rate of dimension NG type reduced from 9.11% to 1.58% (7.53% reduction) and the defective rate of sand inclusion type reduced from 4.95% to 0.60% (4.35% reduction).

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

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

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ญัฐชา ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่สละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางในการดำเนินงานวิจัยจนสามารถดำเนินงานวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จ ลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสวงศ์ โอสถศิลป์ รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และรองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคิก ที่สละเวลาในการคุมสอบและให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ในแขนงต่างๆ อันเป็นความรู้ทางวิชาการจนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาสดำเนินการวิจัยและเพื่อนๆร่วมงานที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ร่วมชั้นเรียนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆด้วยดีตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณิศึกษา.....	2
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	10
1.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis (MSA)).....	19
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	29
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	30
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	30
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	30
1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	31
1.9 แผนการวิจัย.....	37
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
2.1 เทคนิคคุณภาพ.....	39
2.2 เทคนิคการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น.....	48
2.3 การออกแบบการทดลองแบบไซนิน.....	52
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	61
บทที่ 3 ระยะเวลาการกำหนดปัญหา.....	74

3.1 ทีมงานสำหรับปรับปรุงคุณภาพ.....	74
3.2 กระบวนการผลิตเหล็กหล่อเหนียวในโรงงานกรณีศึกษา.....	76
3.3 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน .....	86
3.5 สรุปผลระยะการกำหนดปัญหา.....	101
บทที่ 4 ระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา.....	102
4.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากแผนผังก้างปลา.....	102
4.2 การพิจารณาคัดเลือกสาเหตุหลักของปัญหา.....	110
4.3 สรุปผลระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา .....	116
บทที่ 5 ระยะการหาวิธีการแก้ไขปัญหา .....	118
5.1 วิธีการเปรียบเทียบสิ่งที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด.....	118
5.2 การหาแนวทางแก้ไขปัญหาคงความขัดแย้งทางเทคนิค .....	123
5.3 การพิจารณาเลือกวิธีแก้ไขปัญหา.....	133
5.4 การออกแบบการทดลอง.....	137
5.5 ผลการทดลอง .....	141
5.6 สรุประยะการหาวิธีการแก้ไขปัญหา.....	146
บทที่ 6 ระยะการนำวิธีการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ.....	147
6.1 วางแผนการดำเนินการแก้ไขปัญหา .....	147
6.2 ดำเนินการแก้ไขปัญหา.....	148
6.3 กำหนดมาตรฐานและสอนงานพนักงาน.....	151
6.4 ประเมินผลการแก้ไขปัญหา.....	152
6.5 สรุปผลระยะการนำวิธีการแก้ปัญหามาปฏิบัติ .....	157
บทที่ 7 ระยะติดตามควบคุมและประเมินผล .....	158
7.1 ปัจจัยที่ต้องทำการควบคุม .....	158

7.2 การทำ Pre Control .....	163
7.3 ประเมินผลหลังการปรับปรุง.....	165
7.4 สรุปผลติดตามควบคุมและประเมินผล.....	168
บทที่ 8 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	169
8.1 สรุปผลการวิจัย .....	169
8.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	174
8.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัย .....	174
8.4 ข้อเสนอแนะ .....	175
รายการอ้างอิง.....	176
ภาคผนวก .....	179
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	188



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	ชื่อรุ่นผลิตภัณฑ์หลักของระบบงานเบรก .....	3
ตารางที่ 1.3	ขนาดสิ่งตัวอย่างที่แนะนำสำหรับข้อมูลนับ .....	21
ตารางที่ 1.4	ลักษณะรูปแบบของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์กับการตรวจสอบ .....	22
ตารางที่ 1.5	ผลการประเมินศักยภาพของระบบการวัด .....	25
ตารางที่ 1.6	ผลการตรวจสอบการแยกของเสีย (NG) กับของดี (G) ที่เหมือนและไม่เหมือนกัน .....	26
ตารางที่ 1.7	เกณฑ์การตัดสินใจดัชนีแสดงประสิทธิภาพ (Automotive Industry Action Group (AIAG) 2002) .....	29
ตารางที่ 1.8	สรุปเปรียบเทียบค่าที่ได้กับเกณฑ์ดัชนีประสิทธิภาพระบบการวัด .....	29
ตารางที่ 1.9	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	33
ตารางที่ 1.10	แผนการวิจัย .....	37
ตารางที่ 2.1	คะแนนเกณฑ์การเปรียบเทียบ .....	48
ตารางที่ 2.2	การใช้งานของ TRIZ .....	51
ตารางที่ 2.3	ขั้นตอนและวัตถุประสงค์กับเครื่องมือ ไซนิน (Q-BASE Engineering Sdn bhd 2015) .....	54
ตารางที่ 2.4	ทบทวนวรรณกรรมวิทยานิพนธ์ .....	62
ตารางที่ 2.5	เปรียบเทียบการใช้เทคนิคออกแบบการทดลองแบบ Shainin และ Tagushi .....	71
ตารางที่ 3.1	ทีมงานปรับปรุงคุณภาพ .....	75
ตารางที่ 3.2	แสดงกลุ่ม โมเดล และชื่อผลิตภัณฑ์ .....	87
ตารางที่ 3.3	การคำนวณค่าความสูญเสีย .....	88
ตารางที่ 3.4	สรุปผลวิเคราะห์ความผันแปรของปัญหาขนาดผิวดรูป .....	96

ตารางที่ 3.5 ผลวิเคราะห์ข้อบกพร่องทรายเป็นด้วย Scanning Electron Microscope .....	97
ตารางที่ 3.6 สรุปผลวิเคราะห์ความผันแปรของปัญหาทรายเป็น.....	101
ตารางที่ 4.1 ผลการคัดกรองหาสาเหตุของปัญหาขนาดผิวดรูป.....	111
ตารางที่ 4.2 ผลการคัดกรองหาสาเหตุของปัญหาทรายเป็น.....	114
ตารางที่ 5.1 ลำดับการออกแบบการทดลอง .....	119
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองปัญหาขนาดผิวดรูป .....	120
ตารางที่ 5.3 ลำดับการออกแบบการทดลอง .....	121
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองปัญหาทรายเป็น.....	122
ตารางที่ 5.5 แนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ TRIZ.....	124
ตารางที่ 5.6 แนวคิดเพิ่มจุดกดแบบทรายแบบเฉพาะจุด .....	125
ตารางที่ 5.7 แนวคิดการเพิ่มปริมาณทราย.....	126
ตารางที่ 5.8 การเพิ่มจำนวนครั้งในการกดแบบ .....	127
ตารางที่ 5.9 แสดงแนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ TRIZ .....	128
ตารางที่ 5.10 ลักษณะของการเกิดปัญหาทรายเป็น.....	129
ตารางที่ 5.11 แนวคิดการปรับความเร็วในการปิดแบบลง .....	131
ตารางที่ 5.12 แนวคิดการทำ Guide pin-bush ให้ยาวขึ้น.....	132
ตารางที่ 5.13 แนวคิดการเพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์.....	133
ตารางที่ 5.14 การกำหนด Rating Scale 1-5 .....	134
ตารางที่ 5.15การคัดกรองแนวคิดแก้ไขปัญหาขนาดผิวดรูป.....	135
ตารางที่ 5.16 การคัดกรองแนวคิดแก้ไขปัญหาทรายเป็น .....	136
ตารางที่ 5.17 การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับปัญหาขนาดผิวดรูป .....	137
ตารางที่ 5.18 แผนการออกแบบการทดลองปัญหาขนาดผิวดรูป.....	138
ตารางที่ 5.19 การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับปัญหาทรายเป็น .....	139

ตารางที่ 5.20 แผนการออกแบการทดลองปัญหาทรายตก .....	140
ตารางที่ 5.21 ผลการทดลองสำหรับปัญหาขนาดผิครูป .....	141
ตารางที่ 5.22 ค่าเฉลี่ยของเสียประเภทขนาดผิครูป .....	142
ตารางที่ 5.23 ผลการทดลองปัญหาทรายตก.....	144
ตารางที่ 5.24 ค่าเฉลี่ยของของเสียประเภททรายตก .....	145
ตารางที่ 6.1 แผนการดำเนินการแก้ไขปัญหา .....	147
ตารางที่ 6.2 สภาพก่อนและหลังการเพิ่มกระบอกกดแบบทราย.....	149
ตารางที่ 6.3 สภาพก่อนและหลังการเพิ่มกระบอกกดแบบทราย.....	151
ตารางที่ 6.4 ของเสียประเภทขนาดผิครูปก่อนและหลังการปรับปรุง .....	152
ตารางที่ 6.5 ของเสียประเภททรายตกก่อนและหลังการปรับปรุง.....	154
ตารางที่ 7.1 การควบคุมปัจจัยของปัญหาขนาดผิครูป .....	158
ตารางที่ 7.2 การควบคุมปัจจัยของปัญหาทรายตก .....	159
ตารางที่ 7.3 ขอบเขตค่าควบคุม .....	163
ตารางที่ 7.4 ของเสียประเภทขนาดผิครูปในช่วงปี พ.ศ. 2558.....	166
ตารางที่ 7.5 ของเสียประเภททรายตกในช่วงปี พ.ศ. 2558.....	167
ตารางที่ 8.1 สรุปผลการใช้เครื่องมือการแก้ไขปัญหา.....	172



## สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แผนภูมิปริมาณการจำหน่ายรถยนต์ในประเทศไทยช่วงปี 2548-2557 .....	2
รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบของระบบเบรกรถยนต์.....	3
รูปที่ 1.3 ชิ้นงานเหล็กหล่อกลุ่มระบบเบรก .....	6
รูปที่ 1.4 ชิ้นงานเหล็กหล่อกลุ่มเครื่องยนต์.....	6
รูปที่ 1.5 ชิ้นงานเหล็กหล่อกลุ่มตัวเครื่อง.....	6
รูปที่ 1.6 ชิ้นงานเหล็กหล่อกลุ่มช่วงล่าง.....	7
รูปที่ 1.7 แผนผังกระบวนการผลิตเหล็กหล่อ.....	8
รูปที่ 1.8 ปริมาณของเสียของผลิตภัณฑ์ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2557 .....	11
รูปที่ 1.9 พารेटอของเสียแบ่งตามรุ่นของผลิตภัณฑ์ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2557 .....	12
รูปที่ 1.10 กราฟแสดงค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในปี 2558 .....	13
รูปที่ 1.11 ค่าคาดการณ์ความสูญเสียแบ่งตามรุ่นผลิตภัณฑ์ในปี 2558 .....	14
รูปที่ 1.12 พารेटอของเสียรุ่น Cy/D/B 110 ในช่วงเดือน ก.ค. – ธ.ค. 2557 .....	14
รูปที่ 1.13 ของเสียตามประเภทของรุ่น Cy/D/B 110 ในช่วงเดือน ก.ค.-ธ.ค. 2557 .....	15
รูปที่ 1.14 ลักษณะของเสียประเภทขนาดผิดรูป.....	16
รูปที่ 1.15 ลักษณะของเสียประเภททรยศ.....	17
รูปที่ 1.16 โมเดลการตัดสินใจเลือกเครื่องมือคุณภาพแบบ Problem solving.....	36
รูปที่ 2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย .....	38
รูปที่ 2.2 แผนภูมิเหตุและผล.....	42
รูปที่ 2.3 การสร้างแผนภูมิเหตุและผลขั้นที่ 2.....	42
รูปที่ 2.4 การสร้างแผนภูมิเหตุและผลขั้นที่ 3.....	43

รูปที่ 2.5 การสร้างแผนภูมิเหตุและผลขั้นที่ 4.....	43
รูปที่ 2.6 แผนภูมิงานบัคกรีไม่ดี .....	44
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างรูปแบบตาราง Weight sum method.....	47
รูปที่ 2.8 รูปแบบการแก้ปัญหาทั่วไป .....	49
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนระบบไชนินสำหรับการปรับปรุงคุณภาพ .....	53
รูปที่ 2.10 ตัวอย่าง Isoplot ของการวัดผล.....	56
รูปที่ 2.11 แผนภูมิหลายตัวแปร .....	57
รูปที่ 2.12 ผลของการแลกเปลี่ยนส่วนประกอบ.....	58
รูปที่ 2.13 การจับคู่ Defect บน Box plot.....	59
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการทำ Pre- Control .....	60
รูปที่ 2.15 จำนวน(เปอร์เซ็นต์) ผู้ตอบคำถามการใช้งานของ TRIZ.....	67
รูปที่ 2.16 ความถี่ของการใช้งานเครื่องมือ TRIZ (ผลการสำรวจ).....	68
รูปที่ 3.1 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการหลอมเหล็ก .....	77
รูปที่ 3.2 เตาหลอมเหล็ก .....	78
รูปที่ 3.3 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการขึ้นแบบทราย .....	79
รูปที่ 3.4 เครื่องขึ้นแบบทราย .....	79
รูปที่ 3.5 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการเทน้ำเหล็กลงแบบทราย .....	81
รูปที่ 3.6การเทน้ำเหล็กลงแบบทราย.....	81
รูปที่ 3.7 ชิ้นงานหลังรี้ออกจากแบบทราย.....	82
รูปที่ 3.8การเตรียมชิ้นงานขัดแฉวนบนพวง.....	83
รูปที่ 3.9 การเจียรแต่งชิ้นงาน .....	83
รูปที่ 3.10 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการจัดส่งสินค้าถึงลูกค้า.....	85
รูปที่ 3.11พาร โดของเสียแบ่งตามรุ่นของผลิตภัณฑ์ เดือนพ.ค.-ธ.ค. 2557.....	86

รูปที่ 3.12 ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าต่อรุ่นในปี 2558 .....	87
รูปที่ 3.13 ค่าคาดการณ์ความสูญเสียแบ่งตามรุ่นผลิตภัณฑ์ในปี 2558 .....	89
รูปที่ 3.14 พารेटโตของเสียรุ่น Cy/D/B 110 ในช่วงเดือน ก.ค. – ธ.ค. 2557 .....	90
รูปที่ 3.15 ข้อบกพร่องประเภทชิ้นงานผิดรูป .....	91
รูปที่ 3.16 แผนภาพความสนใจ (Concentration chart) .....	91
รูปที่ 3.17 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องขนาดผิดรูปแบบ Lot to lot .....	92
รูปที่ 3.18 หมายเลข Cavity no. บนแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B110 .....	93
รูปที่ 3.19 แผนภาพความสนใจของเสียขนาดผิดรูปแบบชิ้นต่อชิ้น .....	93
รูปที่ 3.20 แผนภาพความสนใจของเสียขนาดผิดรูปแบบจุดต่อจุด .....	94
รูปที่ 3.21 แสดงการแบ่งพื้นที่บนแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B110 .....	95
รูปที่ 3.22 แผนภาพความสนใจของเสียขนาดผิดรูปแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ .....	95
รูปที่ 3.23 ข้อบกพร่องประเภททรายตก .....	96
รูปที่ 3.24 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องทรายตกแบบ Lot to lot .....	98
รูปที่ 3.25 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องทรายตกแบบ Piece to piece .....	99
รูปที่ 3.26 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องทรายตกแบบ Point to point .....	99
รูปที่ 3.27 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องทรายตกแบบ Area to area .....	100
รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาข้อบกพร่องประเภทขนาดผิดรูป .....	103
รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาข้อบกพร่องประเภททรายตก .....	107
รูปที่ 4.3 พารेटโตสาเหตุข้อบกพร่องขนาดผิดรูป .....	112
รูปที่ 4.4 พารेटโตสาเหตุของข้อบกพร่องขนาดผิดรูป .....	113
รูปที่ 4.5 พารेटโตสาเหตุของข้อบกพร่องทรายตก .....	115
รูปที่ 4.6 พารेटโตสาเหตุของข้อบกพร่องทรายตก .....	116
รูปที่ 5.1 แผนภูมิผลการสลับ BOB กับ WOW ของข้อบกพร่องขนาดผิดรูป .....	120

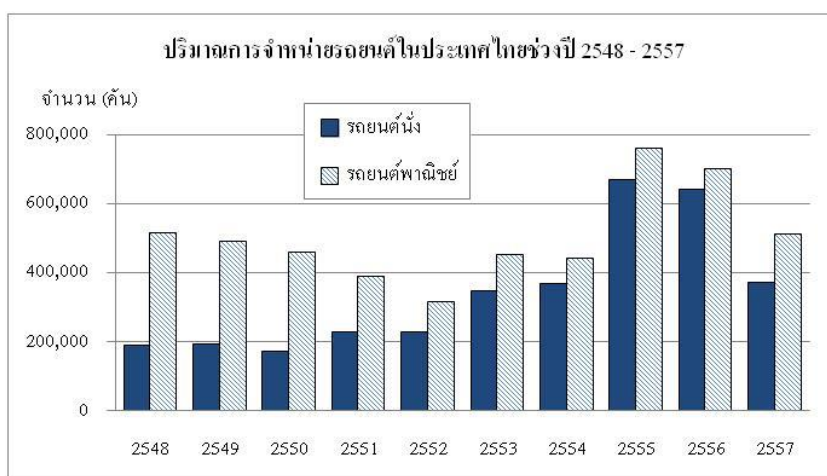
รูปที่ 5.2 แผนภูมิผลการสลับ BOB กับ WOW ของข้อบกพร่องทรายตก .....	123
รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดง Pressure-Dept-Dimension NG .....	143
รูปที่ 5.4 แผนภูมิแสดง Plate-Clearance-Defect ทรายตก.....	146
รูปที่ 6.1 Interval Plot ก่อนและหลังการปรับปรุงของปัญหาขนาดผิวดรูป.....	154
รูปที่ 6.2 Interval Plot ก่อนและหลังการปรับปรุงของปัญหาทรายตก .....	157
รูปที่ 7.1 การไหลของกระบวนการแก้ไขความลึกของกระบอกกดแบบ.....	160
รูปที่ 7.2 การไหลของกระบวนการแก้ไขปัญหาแรงกดแบบ.....	161
รูปที่ 7.3 การไหลของกระบวนการแก้ไขปัญหาความหนาแผ่นปะแม่พิมพ์.....	162
รูปที่ 7.4 การแบ่งเขตสีกับค่าควบคุม .....	163
รูปที่ 7.5 ตัวอย่าง Pre Control ของปัญหาข้อบกพร่องขนาดผิวดรูป .....	164
รูปที่ 7.6 ตัวอย่าง Pre Control ของปัญหาข้อบกพร่องทรายตก.....	164
รูปที่ 7.7 ของเสียประเภทขนาดผิวดรูปในช่วงปี พ.ศ. 2558 .....	165
รูปที่ 7.8 ของเสียประเภททรายตกในช่วงปี พ.ศ. 2558 .....	167

## บทที่ 1

### บทนำ

อุตสาหกรรมยานยนต์จัดเป็นอุตสาหกรรมในระดับต้นที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งในด้านเศรษฐกิจการจ้างงาน การพัฒนาด้านเทคโนโลยียานยนต์ตลอดจนการพัฒนาอุตสาหกรรมอื่น ๆ รวมไปถึงธุรกิจที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยเป็นอย่างมาก โดยประเทศไทยมีนโยบายในการพัฒนาอุตสาหกรรมนี้มาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2504 จากในอดีตที่ต้องการพัฒนาส่งเสริมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยในช่วงเริ่มต้นเพื่อลดการนำเข้าของรถยนต์จนกระทั่งปี 2520-2540 เริ่มมีการส่งเสริมการลงทุนสร้างมูลค่าเพิ่มในประเทศและพัฒนาความสามารถในการผลิตเพื่อส่งออก โดยประเทศไทยเริ่มมีนโยบายเปิดเสรีทางการค้าและเข้าเป็นสมาชิกองค์การการค้าโลก (World Trade Organization - WTO) และร่วมลงนามข้อตกลงเขตการค้าเสรีอาเซียน (ASEAN Free Trade Area AFTA) จนถึงปัจจุบัน ไทยได้เข้าสู่ยุคการค้าเสรีอย่างเต็มตัว (สถาบันยานยนต์ 2555)

การเติบโตของธุรกิจทางด้านยานยนต์ในประเทศไทยเมื่อศึกษาจากข้อมูลยอดขายจำหน่ายรถยนต์นั่งและรถยนต์พาณิชย์พบว่าประเภทรถยนต์นั่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปี 2548 – 2556 และลดลงในปี 2557 ส่วนรถยนต์พาณิชย์มีแนวโน้มลดลงในช่วงปี 2548 – 2552 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปี 2553 – 2556 และลดลงอีกครั้งในปี 2557 (ธนาคารแห่งประเทศไทย 2558) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่นภาวะเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศไทยที่ตกต่ำและนโยบายกระตุ้นการซื้อรถยนต์ เป็นต้น

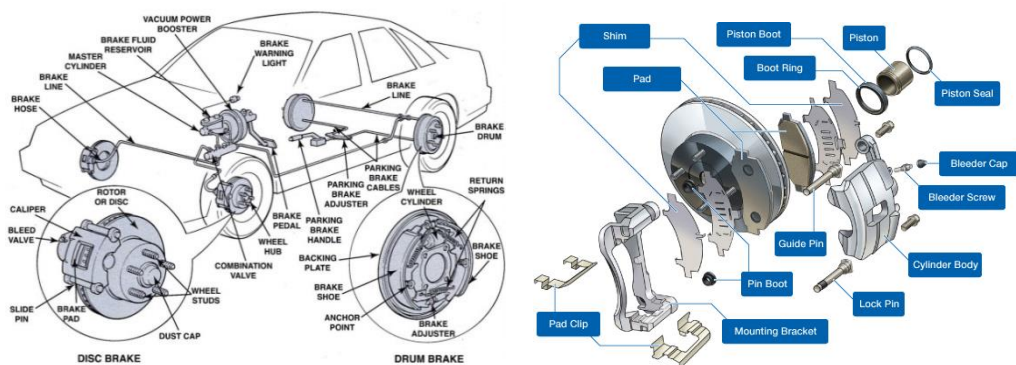


รูปที่ 1.1 แผนภูมิปริมาณการจำหน่ายรถยนต์ในประเทศไทยช่วงปี 2548-2557

สำหรับบริษัทรับจ้างผลิตสินค้าให้กับเจ้าของยี่ห้อสินค้าหรือ OEM (Original Equipment Manufacturing) มีการแข่งขันเพื่อการค้าได้มาของส่วนแบ่งทางการตลาดจึงต้องมีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพต้องเป็นไปตามความต้องการของลูกค้ารวมถึงต้องมีต้นทุนการผลิตต่ำและการส่งมอบได้ทันเวลารวมถึงการสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าในระยะยาวอีกด้วย


### 1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษานี้ประกอบธุรกิจเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนสำหรับนำไปประกอบรถยนต์ รถแทรกเตอร์เพื่อการเกษตรและรถบรรทุก ผลิตภัณฑ์ที่ขายให้กับลูกค้าอยู่ในรูปของชิ้นงานเหล็กหล่อ (As cast) และชิ้นงานหล่อที่ผ่านการกลึง (As machine) ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปยังกลุ่มที่เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่อยู่ระหว่างการพัฒนาคุณภาพก่อนที่จะผลิตในปริมาณมาก (Mass production) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่อยู่ในระบบงานเบรครถยนต์ อยู่บริเวณล้อหน้ารถยนต์ดังรูปที่ 1.2 มีชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กหล่อคือ Disc Brake, Mounting bucket และ Cylinder body ซึ่งในบริษัทกรณีศึกษามีผลิตภัณฑ์จำนวน 9 รุ่น เป็นเหล็กหล่อประเภทเหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) มีลักษณะรูปร่างดังตารางที่







รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบของระบบเบรกรถยนต์

ตารางที่ 1.1 ชื่อรุ่นผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อระบบจานเบรก


ชื่อผลิตภัณฑ์ / รุ่น	ชื่อย่อ	ภาพประกอบ
Cylinder Disc Brake Fr / 110	Cy/D/B110	
Cylinder Disc Brake LH / 6030	Cy/D/B 6030 LH	

ตารางที่ 1.1 ชื่อรุ่นผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อระบบงานเบรก (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์ / รุ่น	ชื่อย่อ	ภาพประกอบ
Cylinder Disc Brake RH / 6030	Cy/D/B 6030 RH	 <p>A cast iron cylinder disc brake component, right-hand (RH) version, model 6030. The part is stamped with 'CNR' and '60-30'.</p>
Cylinder Disc Brake LH / 6028	Cy/D/B 6028 LH	 <p>A cast iron cylinder disc brake component, left-hand (LH) version, model 6028. The part is stamped with 'NNL' and '60-28'.</p>
Cylinder Disc Brake RH / 6028	Cy/D/B 6028 RH	 <p>A cast iron cylinder disc brake component, right-hand (RH) version, model 6028. The part is stamped with 'CNR' and '60-28'.</p>
Mounting Disc Brake LH / 660	M/D/B 660 LH	 <p>A cast iron mounting disc brake component, left-hand (LH) version, model 660. The part is stamped with '48', 'KA', '28V', and '13'.</p>



ตารางที่ 1.1 ชื่อรุ่นผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อระบบจานเบรก (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์ / รุ่น	ชื่อย่อ	ภาพประกอบ
Mounting Disc Brake RH / 660	M/D/B 660 RH	
Mounting Disc Brake LH / 670	M/D/B 670 LH	
Mounting Disc Brake RH / 670	M/D/B 670 RH	

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งตามกลุ่มการใช้งานได้ดังนี้

1. ชิ้นส่วนระบบเบรก ได้แก่ Disc Brake, Cylinder Disc Brake, Drum Brake เป็นต้น



รูปที่ 1.3 ชิ้นงานเหล็กหล่อกลุ่มระบบเบรก

2. ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ได้แก่ Exhaust Manifold, Fly Wheel, Pressure Plate เป็นต้น



รูปที่ 1.4 ชิ้นงานเหล็กหล่อกลุ่มเครื่องยนต์

3. ชิ้นส่วนตัวเครื่องยนต์ ได้แก่ Case transmission, Case Mid, Case Clutch Hosing, เป็นต้น



รูปที่ 1.5 ชิ้นงานเหล็กหล่อกลุ่มตัวเครื่อง

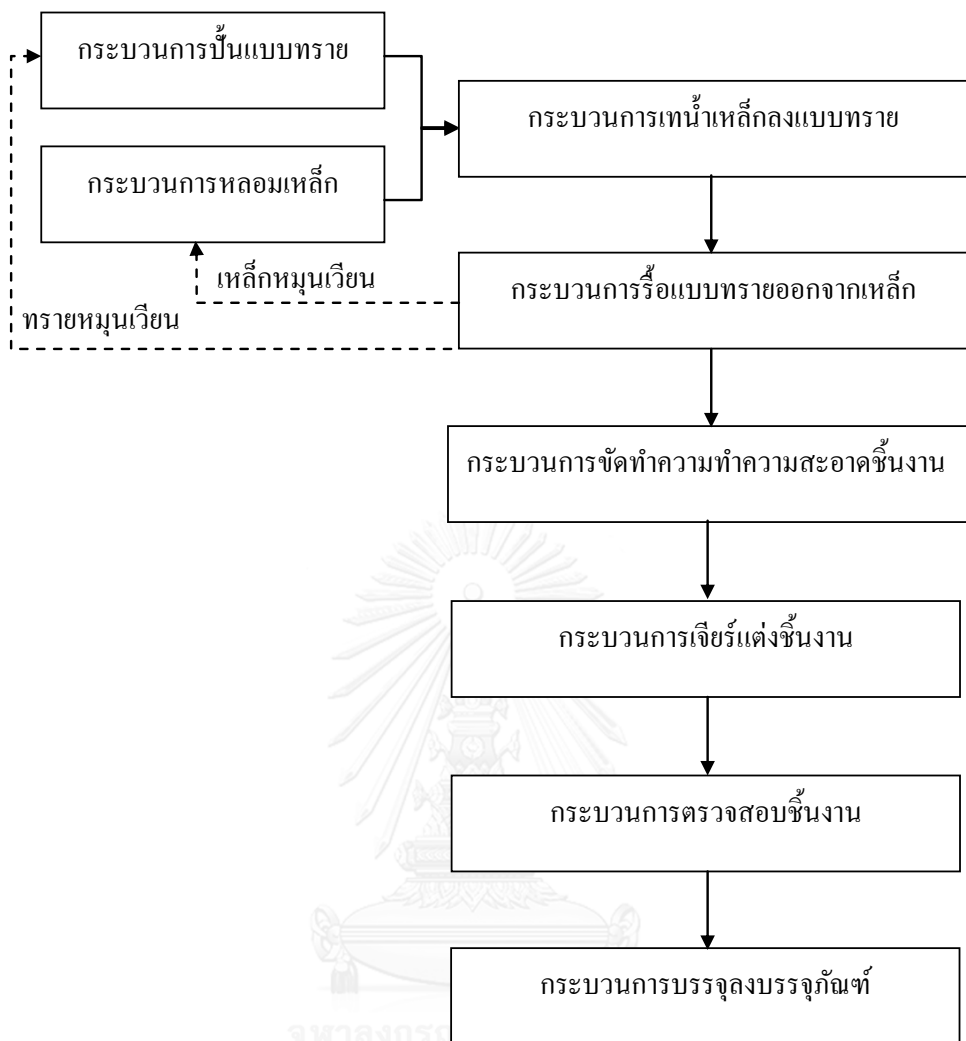
4. ชิ้นส่วนช่วงล่าง ได้แก่ Carrier differential, Cradle, Hub เป็นต้น



รูปที่ 1.6 ชิ้นงานเหล็กหล่อกลุ่มช่วงล่าง

### 1.1.1 กระบวนการผลิตเหล็กหล่อของโรงงานกรณีศึกษา

กระบวนการผลิตเหล็กหล่อประเภทเหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) เริ่มจากการนำวัตถุดิบหลักคือ เศษเหล็ก (Steel scrap) และเหล็กหมุนเวียน (Return scrap) นำมาหลอมด้วยเตาหลอมไฟฟ้า ทำการเตรียมแบบทรายเพื่อใช้กดกับแม่พิมพ์ให้เป็นรูปร่างเป็นผลิตภัณฑ์ ทำการเทน้ำเหล็กลงแบบทรายเพื่อให้ได้เหล็กหล่อที่มีรูปร่างตามแม่แบบ หลังจากนั้นรีดแบบทรายออกจากเหล็ก ทรายและเหล็กที่ถูกแยกออกนั้นจะสามารถหมุนเวียนนำมาใช้ใหม่ได้ ในส่วนของชิ้นงานจะถูกแยกมาทำความสะอาดด้วยการขัด มีการเจียรแต่งชิ้นงานเพื่อลบความคมและครีบก้นเหล็กที่ไม่พึงประสงค์ การตรวจสอบชิ้นงานเป็นขั้นสุดท้ายก่อนจะบรรจุชิ้นงานลงในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีรายละเอียดการไหลของกระบวนการผลิตดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 แผนผังกระบวนการผลิตเหล็กหล่อ

ก. กระบวนการหลอมเหล็ก โดยวัตถุดิบได้แก่ เศษเหล็ก (Steel scrap) เหล็กหมุนเวียน (Return scrap) และขี้กิ้ง (Machine chip) นำมาหลอมจนกลายเป็นน้ำเหล็กด้วยเตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และปรับปรุงธาตุผสมเช่น ซิลิกอน (Silicon) กำมะถัน (Sulphur) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ทองแดง (Copper) เป็นต้น

ข. กระบวนการปั่นแบบทราย มีการเตรียมทรายที่มีส่วนผสมได้แก่ ทรายซิลิกา ดินเหนียว ผงกราฟไฟต์และน้ำผสมกันจนมีความเหนียวพอที่จะคงรูปร่างอยู่ได้นามากดลงบนแม่พิมพ์ด้วยแรงทางกลจะได้แบบทรายที่มีรูปร่างตามแม่พิมพ์

ค. กระบวนการเหน้าเหล็กลงแบบทราย ภายหลังจากการเตรียมเหล็กและแบบทราย เรียบร้อยแล้ว จึงทำการเหน้าเหล็กลงในแบบทรายให้เต็ม จากนั้นทิ้งไว้ให้น้ำเหล็กเย็นตัวจน กลายเป็นของแข็งภายในแบบทราย

ง. กระบวนการรื้อแบบทรายออกจากเหล็กภายหลังจากน้ำเหล็กเย็นตัวกลายเป็นของแข็ง แล้วจึงรื้อส่วนที่เป็นเหล็กแยกออกจากแบบทราย ส่วนที่เป็นเหล็กจะถูกแยกออกเป็นส่วนที่เป็น ชิ้นงานและส่วนที่เป็นทางวิ่งน้ำโลหะที่สามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้ ส่วนแบบทรายที่ถูกรื้อ ออกก็สามารถนำมาใช้ใหม่ได้

จ. กระบวนการขัดทำความสะอาดชิ้นงานหรือ Shot preening โดยใช้เม็ดเหล็กกลม ขนาดเล็ก ผ่านเครื่องยิงเม็ดเหล็ก ยังเข้าไปที่ชิ้นงานที่ติดกับทรายเพื่อให้ชิ้นงานเหล็กหล่อมีผิวเรียบ สะอาด

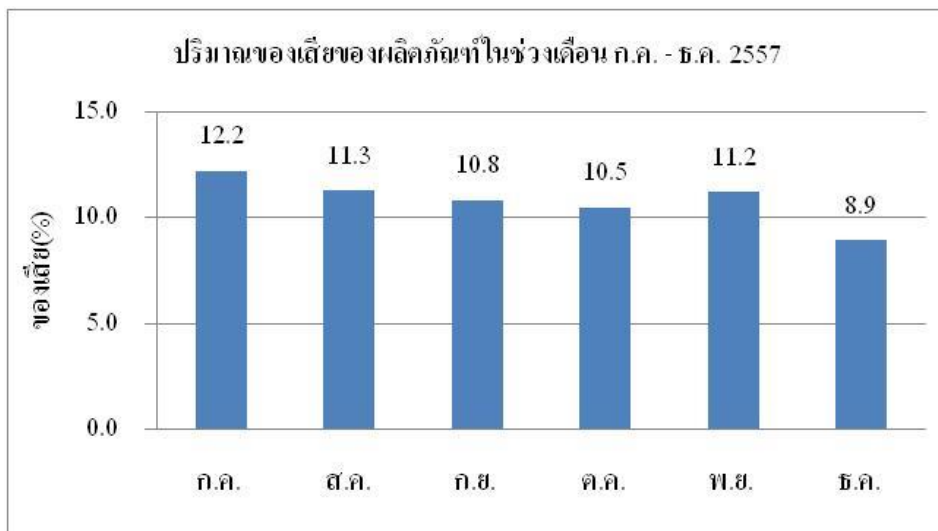
ฉ. กระบวนการเจียรแต่งชิ้นงาน ชิ้นงานเหล็กหล่อจะมีครีบเกิดขึ้น จึงต้องมีกระบวนการ เจียรเพื่อลบครีบที่เป็นส่วนเกินของชิ้นงานออกไป

ช. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน เป็นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพตามเงื่อนไขที่ตกลง กันกับลูกค้า เช่นการตรวจสอบสมบัติทางกล (Mechanical properties) ขนาด (Dimension) และ ข้อบกพร่อง (Defect) เป็นต้น

ซ. กระบวนการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนส่งถึงลูกค้า เพื่อให้สะดวกกับ การขนส่ง การนำไปใช้งานง่ายต่อการตรวจนับและป้องกันการเสียหายของชิ้นงาน

## 1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทรับจ้างผลิตชิ้นส่วนเหล็กหล่อประเภทรถยนต์ให้กับลูกค้าหลากหลาย ซึ่งในส่วนหลักจะผลิตให้ผู้นำชิ้นส่วน ไปกลึง (Machining) และประกอบ (Assembly) เป็นรถยนต์ออกสู่ท้องตลาดเพื่อจำหน่ายให้กับลูกค้าที่เป็นผู้ใช้รถยนต์ต่อไป ดังนั้นปริมาณการจำหน่ายรถยนต์จึงนับเป็นความแปรปรวนหลักต่อบริษัทที่ได้ทำการศึกษา ในส่วนตัวแปรหลักที่อาจส่งผลต่อปริมาณรถยนต์นั้นขึ้นกับหลายปัจจัยเช่น ผลกระทบจากนโยบายรถยนต์คันแรกของรัฐบาลซึ่งทำให้ยอดจำหน่ายรถยนต์ในช่วงปี 2555-2556 มีปริมาณที่สูงขึ้น ต่อมาในปี 2557 ภาวะเศรษฐกิจในประเทศไทยมีการชะลอตัว ทำให้ยอดจำหน่ายรถยนต์ลดลงต่ำ (ธนาคารแห่งประเทศไทย 2558) ดังนั้นบริษัทรับจ้างผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จึงต้องมีการปรับตัวอยู่เสมอเพื่อรองรับปริมาณการผลิตที่มีปริมาณมากและรับมือกับสถานการณ์ยอดการผลิตที่ลดลงเพื่อให้ธุรกิจอยู่รอดได้ นอกจากนี้ยังต้องทำการแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่น ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งยอดขายและความเชื่อมั่นในระยะยาว โดยส่วนสำคัญที่สุดในการแข่งขันของตลาดรถยนต์คือ “คุณภาพ” นอกจากบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จะต้องควบคุมคุณภาพสินค้าให้อยู่ในข้อกำหนดของลูกค้าแล้วยังต้องมีความสามารถในการพัฒนาผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ ๆ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า เพื่อให้ได้รถยนต์รุ่นใหม่ที่มีสมรรถนะ มีความปลอดภัย ภาพลักษณ์ที่ดูสวยงามมากขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จึงต้องมีความทุ่มเท ใฝ่ใจและมีความเข้มงวดมากขึ้น จากสถานการณ์ดังกล่าวจึงนำไปสู่การศึกษาวิจัยด้านปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่กำลังจะออกสู่ตลาด จากข้อมูลในการผลิตของผลิตภัณฑ์ใหม่ในช่วงปลายปี 2557 ที่ผ่านมา ดังแสดงในรูปที่ 1.8

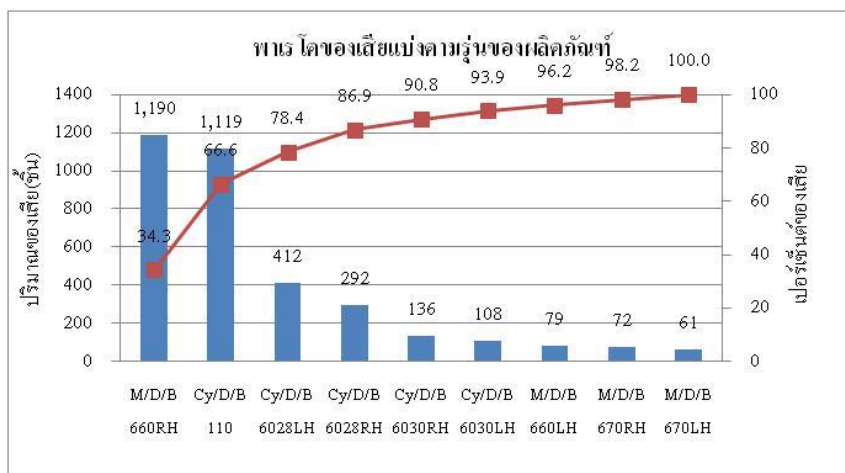


รูปที่ 1.8 ปริมาณของเสียของผลิตภัณฑ์ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2557

ปริมาณสัดส่วนของเสียเป็นข้อมูลนับที่ระบุว่าเป็นของดี (Good-G) และของเสีย (No good-NG) โดยเปอร์เซ็นต์ของเสียคำนวณจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของเสีย} = \frac{\text{จำนวนของเสียทั้งหมด}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ผลิต}} \times 100\%$$

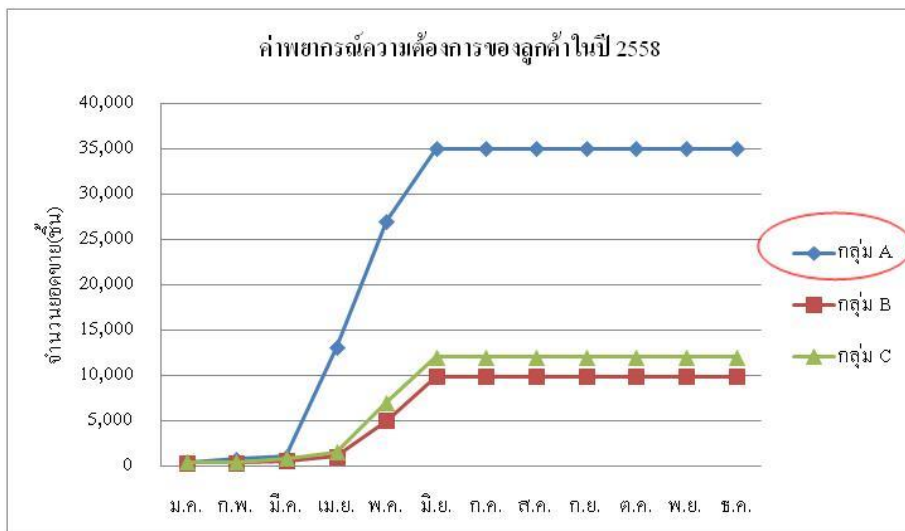
เมื่อพิจารณาแยกประเภทของเสียของผลิตภัณฑ์ตามรุ่น ในช่วงปลายปี 2557 มีทั้งหมด 9 รุ่นพบว่า รุ่นที่มีของเสียมากที่สุดคือรุ่น M/D/B 660RH จำนวน 1,190 ชิ้น คิดเป็น 34.3% ของจำนวนของเสียทั้งหมดและรองลงมาเป็นรุ่น Cy/D/B 110 จำนวน 1,119 ชิ้น คิดเป็น 32.3% ของจำนวนของเสียทั้งหมดและผลิตภัณฑ์รุ่นอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 พาร โดของเสียแบ่งตามรุ่นของผลิตภัณฑ์ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2557

การพยากรณ์ปริมาณการสั่งซื้อจากลูกค้าพบว่าผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นนั้นมีปริมาณการสั่งซื้อจากลูกค้าไม่เท่ากัน จากการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 9 รุ่นพบว่า ผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B 110 (กำหนดเป็นกลุ่มA) มีปริมาณการสั่งซื้อมากที่สุดคือจำนวน 400, 700, 1000, 13,000, 27,000 ชิ้นต่อเดือน ในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม 2558 ตามลำดับ เมื่อเข้าสู่ช่วง Mass Production ในช่วงมิถุนายนถึงธันวาคม 2558 จะมีความต้องการถึง 35,000 ชิ้นต่อเดือน และรองลงมาคือรุ่น M/D/B 660LH, M/D/B 660RH, Cy/D/B 6028LH, Cy/D/B 6028RH (กำหนดเป็นกลุ่มB) จำนวน 300, 300, 500, 1,000, 5,000 ชิ้นต่อเดือนในช่วง เดือนมกราคมถึงพฤษภาคม 2558 ตามลำดับ เมื่อเข้าสู่ช่วง Mass Production ในช่วงมิถุนายนถึงธันวาคม 2558 จะมีความต้องการถึง 9,8000 ชิ้นต่อเดือนในแต่ละรุ่น ในส่วนของรุ่น M/D/B 670LH, M/D/B 670RH, Cy/D/B 6030LH, Cy/D/B 6030RH (กำหนดเป็นกลุ่มC) มีปริมาณการสั่งซื้อรองลงมาจากสองรุ่นแรกคือจำนวน 400, 400, 800, 1,500, 7,000 ชิ้นต่อเดือนตามลำดับในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม 2558 และเข้าสู่ช่วง Mass Production ในช่วงมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2558 มีความต้องการ 12,000 ชิ้นต่อเดือนในแต่ละรุ่นดังแสดงในรูปที่ 1.10





รูปที่ 1.10 กราฟแสดงค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในปี 2558

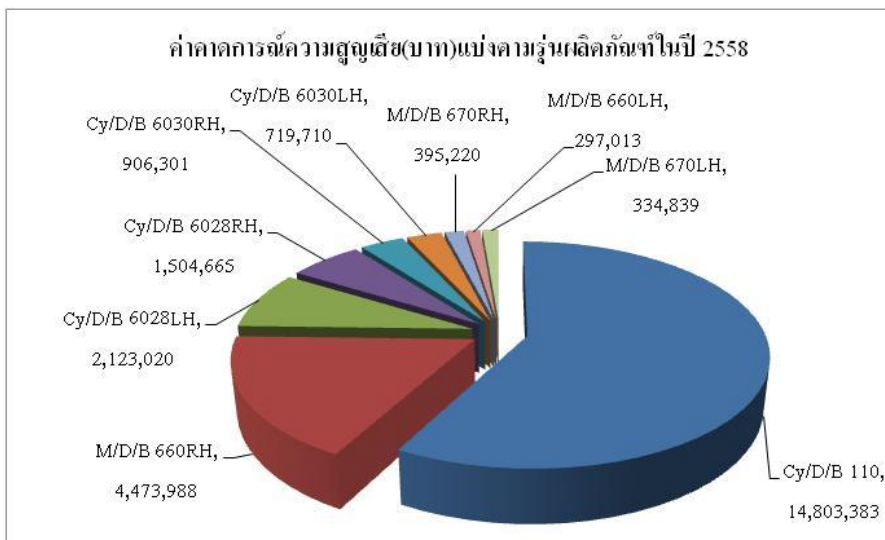
เห็นได้ว่าปริมาณความต้องการของลูกค้าในช่วงที่ทำตัวอย่าง (Sample state) มีปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณในคอน Mass production ดังนั้นหากปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นยังไม่ได้ถูกแก้ไขให้เสร็จสิ้นก่อนที่จะมีปริมาณการผลิตจำนวนมากแล้วอาจก่อให้เกิดความสูญเสียเป็นอย่างมาก นอกจากจะเกิดความสูญเสียจากชิ้นงานที่ไม่สามารถส่งมอบถึงลูกค้าได้แล้วยังส่งผลต่อกำลังการผลิตที่จะต้องผลิตชดเชยเพื่อทดแทนของเสียที่อาจจะเกิดขึ้น โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการประมาณการความสูญเสียเป็นจำนวนเงินพบว่าในช่วงปี 2558 ผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B 110 มีปริมาณความสูญเสียมากที่สุด คิดเป็น 14,803,383 บาทต่อปี และรองลงมาเป็นรุ่น M/D/B 660RH คิดเป็น 4,473,988 บาทต่อปีและผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นรองลงมามีแสดงในรูปที่ 1.11

โดยปริมาณความสูญเสียคำนวณจาก

$$\text{มูลค่าความสูญเสีย(บาท/ปี)} = \text{ต้นทุนต่อหน่วย(บาท/ชิ้น)} \times \text{จำนวนของเสีย(ชิ้น/ปี)}$$

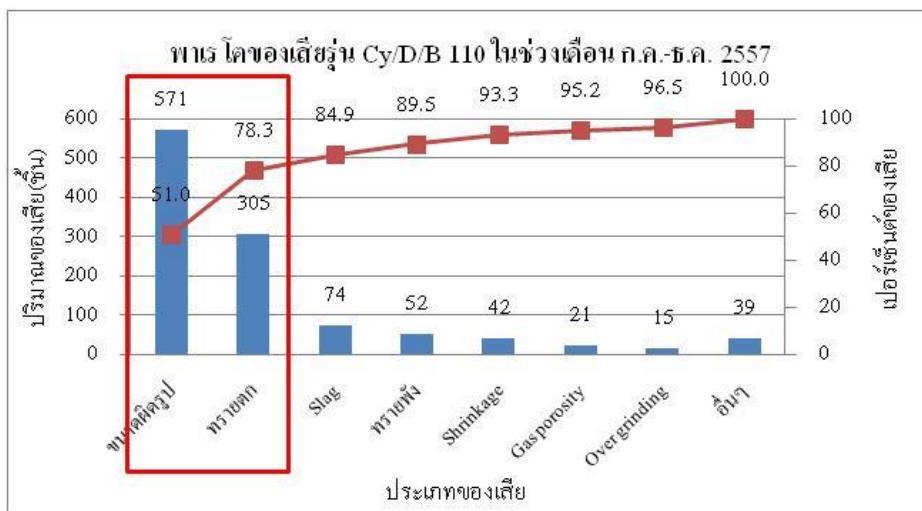
โดยที่

$$\text{ต้นทุนต่อหน่วย} = \text{ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง} + \text{ต้นทุนแรงงานทางตรง} + \text{ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต}$$



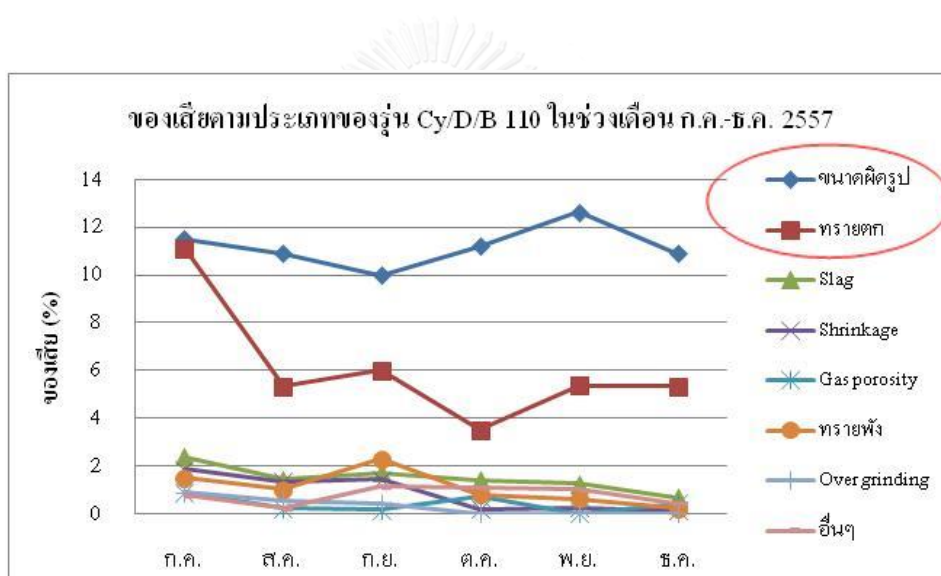
รูปที่ 1.11 ค่าคาดการณ์ความสูญเสียแบ่งตามรุ่นผลิตภัณฑ์ในปี 2558

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B 110 มาศึกษาวิจัย เพราะเป็นผลิตภัณฑ์รุ่นที่มีของเสียเกิดที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตมีปริมาณมากที่สุด และส่งผลกระทบต่อความสูญเสียเป็นเงินจำนวนมากที่สุดด้วย ในเบื้องต้นได้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2557 พบว่าของเสียประเภทขนาดผิครูปมีจำนวน 571 ชิ้น ของเสียประเภททรายตก จำนวน 305 ชิ้น ของเสียประเภท Slag จำนวน 74 ชิ้นและประเภทอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 พาเรโตของเสียรุ่น Cy/D/B 110 ในช่วงเดือน ก.ค. – ธ.ค. 2557

ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยเลือกที่จะนำเอาผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B 110 มาศึกษาวิจัยโดย มุ่งเน้นไปในทางการลดของเสียที่เกิดขึ้น โดยเลือกประเภทขนาดผิครูปและทรายตก ซึ่งปัญหาทั้ง 2 ประเภทมีปริมาณของเสียรวม 78% ของของเสียทั้งหมด โดยอ้างอิงตามหลัก 80 : 20 ของพาเรโตคือ ลำดับการแก้ปัญหาที่มีปริมาณมากก่อน และเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าปัญหาทั้งสองยังคงเป็นปัญหา แบบเรื้อรังจึงได้แสดงข้อมูลตามช่วงเวลาตั้งแต่เดือน ก.ค ถึง ธ.ค. 2557 ตามรูปที่ 1.13 ซึ่งจะเห็นว่า ปัญหาประเภทขนาดผิครูปและทรายตก มีปริมาณสูงกว่าของเสียประเภทอื่นๆอย่างต่อเนื่อง และ ยังไม่มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างชัดเจน



รูปที่ 1.13 ของเสียตามประเภทของรุ่น Cy/D/B 110 ในช่วงเดือน ก.ค.-ธ.ค. 2557

### ของเสียประเภทขนาดผิครูป

ของเสียประเภทขนาดผิครูปมีลักษณะที่วัดด้วยข้อมูลนับ โดยใช้กับพารามิเตอร์เชิงผันแปร ที่มีสเปกที่ถูกกำหนดโดยลูกค้า แล้วนำมาวัดด้วยอุปกรณ์ Master Gage เพื่อให้ได้ข้อมูลว่า ผ่าน (G-good) หรือไม่ผ่าน (NG- no good) โดยการตรวจสอบขนาดชิ้นงานทุกชิ้น (100%) ก่อนนำส่งถึงลูกค้า จุดที่ต้องวัดชิ้นงานทุกชิ้นนั้นเป็นจุดที่มีความสำคัญในการแปรรูปในกระบวนการถัดไปคือ ลูกค้าจะต้องนำไปผ่านกระบวนการกลึงไส (Machining) แล้วนำไปประกอบ (Assembly) กับ

ชิ้นส่วนอื่น ปัญหาที่พบมีลักษณะความสูงของระดับพื้นผิวชิ้นงานมีระดับไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 1.14 ซึ่งอาจจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งาน ดังนั้นจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพทางด้านการควบคุมขนาด ให้มีถูกต้องตามข้อกำหนดของลูกค้า



รูปที่ 1.14 ลักษณะของเสียประเภทขนาดผิดรูป

#### ของเสียประเภททรายตก

ของเสียประเภททรายตกมีลักษณะที่วัดด้วยข้อมูลนับ โดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อค้นหาข้อบกพร่อง โดยที่ขนาดของข้อบกพร่องกำหนดขึ้นโดยลูกค้า โดยลักษณะของข้อบกพร่องมีรอยลึกแห้วหายออกไปจากผิวชิ้นงานปกติ ลักษณะพื้นผิวมีความหยาบและสามารถมองเห็นเม็ดทรายได้ดังรูปที่ 1.15 การมีข้อบกพร่องประเภททรายตกนี้มีผลกระทบต่อรูปร่างชิ้นงานที่ผิดไปจากแบบกำหนด (Drawing) ไม่สามารถนำไปสู่กระบวนการถัดไปได้ เนื่องจากทรายที่ปนเปื้อนไปนั้นอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกลึงไสลดลง



รูปที่ 1.15 ลักษณะของเสียประเภททรายตก

### งานวิจัยเกี่ยวกับการแก้ปัญหาขนาดผิวดูและ ทรายตกในการผลิตเหล็กหล่อ

(Khalil-Allafi and Amin-Ahmadi 2011) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการหดตัวของเหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) โดยศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัยคือ ความแข็งแบบทราย (Mold hardness) และอิทธิพลของธาตุผสมซิลิกอน (Silicon) ได้กำหนดระดับของปัจจัยที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความแข็งแบบทรายที่ 0.41, 0.48, 0.55, 0.62 MPa และปริมาณซิลิกอน 2.0, 2.5, 3.0% แล้วทำการหล่อชิ้นงานตัวอย่างเพื่อศึกษาพฤติกรรมการหดตัวของชิ้นงาน จากผลของความแข็งแบบทรายที่แตกต่างกันพบว่า

- เมื่อความแข็งแบบทรายเพิ่มขึ้นแล้วความหนาแน่นของเหล็กหล่อเพิ่มมากขึ้น
- เมื่อความแข็งแบบทรายเพิ่มขึ้นแล้วความยาวของชิ้นงานลดลง
- เมื่อความแข็งแบบทรายเพิ่มขึ้นแล้วความสูงของชิ้นงานลดลง

และอิทธิพลของธาตุผสมซิลิกอนสามารถสรุปได้ว่าเมื่อปริมาณซิลิกอนสูงขึ้นและความแข็งแบบทรายต่ำแล้วขนาดของชิ้นงานทดลองมีการหดตัวมากขึ้น อย่างไรก็ตามหากความแข็งแบบทรายมีค่าสูงแล้วก็สามารถชดเชยการหดตัวจากปริมาณซิลิกอนได้

(Vedel-Smith, Rasmussen et al. 2015) ได้ศึกษาการหล่อชิ้นงานจาน (Disc) ด้วยวัสดุประเภทเหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) โดยกำหนดปัจจัยที่ศึกษาเป็นตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของ

ระบบป้อนเดมน์น้ำเหล็ก (Feeder) และปริมาณธาตุผสมธาตุซิลิกอน แล้วนำชิ้นงานมาวัดแบบความละเอียดสูงถึง  $0.1 \mu\text{m}$  ด้วยเครื่องมือวัดชนิด Coordination measuring machine (CMM) เพื่อศึกษาหาขนาด รูปร่างที่เปลี่ยนแปลง พบว่าผลจากการเพิ่มปริมาณธาตุผสมซิลิกอนนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาด รูปร่าง และผลจากการออกแบบระบบป้อนเดมน์น้ำโลหะโดยให้มีตำแหน่งของตัวป้อนเดมน์ที่แตกต่างกันคือตำแหน่งบนและกลางชิ้นงาน ตำแหน่งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างชิ้นงานจาน (Disc) เพื่อให้ได้รูปร่างชิ้นงานตามที่ต้องการอย่างดีที่สุด ทำโดยการตัดแปลงตัวแม่พิมพ์เพื่อชดเชยการหดตัวในตำแหน่งที่ต้องการ

(Elmqvist 2012) ได้ศึกษาการแก้ปัญหาของเสียจากการผลิตเหล็กหล่อโดยใช้แบบทราย เริ่มจากการระบุประเภท โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด (Scanning electron microscope (SEM)) เพื่อแยกประเภทของปัญหาโดยใช้รูปภาพเป็นตัวนำเสนอ และได้ศึกษาลักษณะของสาเหตุที่เป็นไปได้ที่อาจจะทำให้เกิดของเสียด้วยแบบจำลองกระบวนการผลิต ของเสียประเภททรายปนเปื้อน (Sand inclusion) มีสาเหตุหรือแนวทางแก้ไขดังนี้

- a) ทรายถูกพัดพามาจากน้ำเหล็กที่ไหลอย่างรุนแรง ควรหลีกเลี่ยงการนำเหล็กด้วยอัตราเร็วสูง
- b) ไม่ได้ทำการเป่าทำความสะอาดแบบทรายก่อนเทน้ำเหล็กลงในแบบทราย
- c) การอัดตัวของแบบทรายไม่สม่ำเสมอ (ununiformed) จุดที่แรงอัดตัวต่ำอาจเป็นจุดอ่อนได้
- d) บริเวณซอกมุมเป็นจุดที่ทำการอัดแบบทรายได้ไม่สมบูรณ์ อาจเป็นจุดอ่อนทำให้เกิดทรายปนเปื้อนได้
- e) เกิดทรายครูด (Sand crush) จากการประกบแบบทรายระหว่างแบบทราย 2 ฟัง อาจเกิดความเหลื่อมกัน หรือช่องว่างระหว่างโพรงแบบ (Cavity) น้อยเกินไป

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดได้ดังนี้

- 1) ความแข็งของแบบทราย

2) ปริมาณธาตุผสมซิลิกอน

3) การปรับขนาดของแม่พิมพ์

และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อของเสียประเภททรายตกได้ดังนี้

1) อัตราเร็วในการเทน้ำเหล็กลงสู่แบบทราย

2) การอัดตัวที่ไม่แข็งแรงของแบบทราย

3) ช่องว่างระหว่างโพรงแบบ (Cavity)

ดังนั้นในการหาแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับทั้ง 2 ปัญหานี้จำเป็นต้องใช้การออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบไชนิน (Shainin DOE) ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมกับลักษณะของกระบวนการผลิตที่มีความแปรปรวนของกระบวนการสูง ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้ทางสถิติมาก เพราะระบบไชนินเป็นการใช้สถิติอย่างง่ายในการดำเนินการและการแก้ปัญหาทางด้านเทคนิคต่างๆ ตามที่ได้สรุปตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องแล้ว เบื้องต้นได้ประเมินว่าอาจเกิดความขัดแย้งทางเทคนิค กล่าวคือหากมีการแก้ปัญหาหนึ่งแล้ว อาจส่งผลกระทบต่อให้คุณสมบัติอื่นลดลงได้ เช่นการเพิ่มความแข็งแรงของแบบทราย อาจส่งผลต่อการ โกงตัวของแม่พิมพ์เมื่อได้รับแรงมากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเครื่องมือที่ช่วยในการหาแนวคิดหารแก้ปัญหาที่มีความคัดแย้งทางเทคนิค ด้วยเครื่องมือเทคนิคการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) ซึ่งเป็นการนำความรู้ในการแก้ไขปัญหามานวัตกรรมอื่นๆ มาเป็นแนวทางในการสร้างแนวคิดใหม่ๆ ในการแก้ปัญหา

### 1.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis (MSA))

การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงผันแปร (Variable) ที่มีลักษณะความผันแปรของข้อมูล ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุของความผันแปรได้ค่อนข้างง่าย แต่ข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก และวัดด้วยเครื่องมือที่มีราคาสูง ทำให้ต้นทุนในการตรวจสอบค่อนข้างสูง ดังนั้นในหลายกิจการอาจมีการวัดด้วยข้อมูลแบบนับซึ่งอาจเกิดการตรวจสอบด้วยตัวแปรแอตทริบิวต์

(Attribute) ที่ใช้กับพารามิเตอร์เชิงผันแปรที่มีการตัดสินใจด้วยข้อกำหนดหรือสเปก เพื่อให้ได้ข้อมูลว่า ผ่าน (G-good) หรือไม่ผ่าน (NG- no good) (Windsor 2003)

ในการศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลนับนี้ (Automotive Industry Action Group (AIAG) 2002) ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ประเภทคือ การศึกษาแบบระยะสั้น (Attribute gage R&R study) และการศึกษาแบบระยะยาว (Attribute gage study หรือ analytic study) โดยการศึกษาระยะสั้นจะมีความเหมาะสมกับพารามิเตอร์แบบแอดทริบิวต์ หรือแบบผันแปรที่กำหนดให้เป็นข้อมูลแบบนับ สำหรับการศึกษาระยะยาว จะใช้กรณีที่พารามิเตอร์เป็นแบบผันแปร และมีการประเมินผลการวัดเป็นที่ยอมรับ (accept) หรือไม่รับ (reject) เพื่อพิจารณาถึงความเที่ยง (precision) ของระบบวัดในรูปปริพิตทะบิลิตี้ และความแม่นยำในรูปของค่าไบอัส สำหรับในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการศึกษาแบบระยะสั้นเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานผู้ประเมิน ทำให้สามารถประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความสามารถในการตรวจสอบของพนักงานได้ ซึ่งจะมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2553)

1. กำหนดบุคลากรที่มีความชำนาญในการวัดค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็น “คณะผู้ชำนาญการ (expert committee)” โดยบุคลากรที่ได้รับการคัดเลือกนี้ต้องเป็นบุคคลที่มีความสามารถในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และถูกสั่งให้การยอมรับผลการตรวจสอบดังกล่าว

2. ให้คณะผู้เชี่ยวชาญกำหนดชิ้นงานที่มีคุณภาพตามที่กำหนดให้เป็น “ล็อตมาตรฐาน (standard lot)” เพื่อใช้เป็นชิ้นงานมาตรฐานในการประเมินความสามารถของระบบการตรวจสอบ โดย (Faaser and Brettner 1992) ได้แนะนำให้นำล็อตมาตรฐานประกอบไปด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดีจำนวน 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด อีกจำนวน 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมดเป็นสิ่งตัวอย่างที่ไม่ดี และที่เหลืออีก 1 ใน 3 เป็นสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพก้ำกึ่งหรือมาร์จินอล (marginal) ซึ่งควรประกอบไปด้วยดีแบบก้ำกึ่ง (marginal conformity) และไม่ดีแบบก้ำกึ่ง (marginal nonconformity) อย่างละครึ่งๆ

3. กำหนดตัวพนักงานวัดที่มีความต้องการประเมินผลในการวัด หรือถ้าต้องการวิเคราะห์ระบบการวัด ให้สุ่มพนักงานตรวจสอบมา 2-4 คน โดยพนักงานดังกล่าวต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่



ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีพร้อมผ่านการประเมินผลความสามารถมาแล้ว

4. กำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่างและจำนวนครั้งการทดสอบซ้ำ โดยจำนวนดังกล่าวขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบ ซึ่ง (Faaser and Brettner 1992) ได้แนะนำดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ขนาดสิ่งตัวอย่างที่แนะนำสำหรับข้อมูลนับ




จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำที่สุด	จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

5. ให้ผู้มพนักงานตรวจสอบชิ้นมาคนหนึ่งแล้วให้ทำการตรวจสอบสิ่งตัวอย่างงานแบบสุ่มเพื่อการประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่าง โดยอาจแบ่งออกเป็น 2 พวกคือดี (Good-G) / เสีย (No good-NG) หรือแบ่งออกมากกว่า 2 ประเภทก็ได้ พร้อมกับบันทึกผลในตารางทดสอบ




6. ผู้มพนักงานมาอีก แล้วดำเนินการทดลองเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 5 และทำไปเรื่อยๆจนครบการประเมินผลพนักงานทุกคนตามที่มีการออกแบบไว้

7. ทำการประเมินผล ซึ่งอาจเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ความเห็นพ้องกันระหว่างพนักงานแต่ละคู่ รวมถึงการประเมินถึงประสิทธิผลในการวัดของพนักงานวัดด้วยระบบที่ศึกษา

ตารางที่ 1.3 ลักษณะรูปแบบของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์กับการตรวจสอบ

ลำดับ	ชนิดข้อบกพร่อง	ภาพประกอบ	เครื่องมือตรวจสอบ/ ลักษณะข้อบกพร่อง	ข้อกำหนด
1	ขนาดผิดรูป / Dimension NG (no good)		Master gage check, Filler gage  ชิ้นงานมีขนาดเล็ก, ใหญ่, เสียรูป	สเปก $\pm 1.0$ มม.
2	ทรายตก/ Sand inclusion		สายตา, ไม้บรรทัด  ชิ้นงานแห้วหาย พื้นผิวหยาบเป็นรอย เม็ดทราย	ขนาดความกว้าง ไม่เกิน 5.0 มม. ลึกไม่เกิน 2.0 มม.
3	ตะกรัน / Slag		สายตา, ไม้บรรทัด  ชิ้นงานมีแผลเป็นรอย ลึกกระจายตัว ก้น หลุมเป็นสีขาว	ขนาดความกว้าง ไม่เกิน 5.0 มม. ลึกไม่เกิน 2.0 มม.

ตารางที่ 1.3 ลักษณะรูปแบบของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์กับการตรวจสอบ (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดข้อบกพร่อง	ภาพประกอบ	เครื่องมือตรวจสอบ/ ลักษณะข้อบกพร่อง	ข้อกำหนด
4	โพรงยุบ / Shrinkage		สายตา, ไม้บรรทัด  ชิ้นงานเป็นโพรง ขนาดใหญ่รูเล็ก	ขนาดความ กว้างไม่เกิน 5.0 มม. ลึกไม่เกิน 2.0 มม.
5	ฟองแก๊ส / Gas porosity		สายตา, ไม้บรรทัด  ชิ้นงานเป็นหลุม กลม ก้นหลุมเป็นผิว มันวาว	ขนาดความ กว้างไม่เกิน 5.0 มม. ลึกไม่เกิน 2.0 มม.
6	ทรายพัง / Sand broken		สายตา, ไม้บรรทัด  ชิ้นงานเป็นเนื้อออก ยื่นออก ผิวหยาบ รอยทรายพัง	ขนาดความ กว้างไม่เกิน 5.0 มม. ยื่นไม่เกิน 2.0 มม.

ตารางที่ 1.3 ลักษณะรูปแบบของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์กับการตรวจสอบ (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดข้อบกพร่อง	ภาพประกอบ	เครื่องมือตรวจสอบ/ลักษณะข้อบกพร่อง	ข้อกำหนด
7	เจียร์เกิน / Over grinding		สายตา, ไม้บรรทัด  ชิ้นงานเป็นรอยเจียร์กว้างและลึก	ขนาดความกว้างไม่เกิน 5.0 มม. ลึกไม่เกิน 2.0 มม.





### การวิเคราะห์พนักงานวัดแต่ละคน

จากตารางที่ 1.4 สามารถวิเคราะห์ถึงการตรวจสอบที่ได้ผลเหมือนกัน (ใช้แทนด้วย Y-Yes) และการตรวจสอบที่ได้ผลไม่เหมือนกัน (ใช้แทนด้วย N-No) ได้ผลดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 ผลการตรวจสอบการแยกของเสีย (NG) กับของดี (G) ที่เหมือนและไม่เหมือนกัน

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
คนที่ 1	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
คนที่ 2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
คนที่ 3	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

ในการวิเคราะห์พนักงานแต่ละคนนี้ จะพิจารณาถึงค่าความสามารถในการวัดซ้ำ (% repeatability) ของพนักงานแต่ละคน ซึ่งอาจจะเรียกว่า % คะแนนพนักงานวัดแต่ละคน (% appraiser score) โดย

$$\% \text{ รัฟิหะบิลิตีของพนักงานแต่ละคน} = \% \text{ คะแนนของพนักงานวัดแต่ละคน (\% appraiser score)}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน (m)}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ (N)}}$$

$$\% \text{ รัฟิหะบิลิตีพนักงานวัดคนที่ 1} = 20/20 \times 100\% = 100.0\%$$

$$\% \text{ รัฟิหะบิลิตีพนักงานวัดคนที่ 2} = 19/20 \times 100\% = 95.0\%$$

$$\% \text{ รัฟิหะบิลิตีพนักงานวัดคนที่ 3} = 19/20 \times 100\% = 95.0\%$$

### การวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบการวัด

ความมีประสิทธิภาพ (effectiveness) ของระบบการวัด ทำการศึกษาจากความพ้องกันระหว่างพนักงานแต่ละคนเทียบกับมาตรฐาน ด้วยการประเมินผลคะแนนของค่าแอดทริบิวต์ (% attribute score) ที่หมายถึงความไม่ไว้อัสของการตรวจสอบโดย

$$\begin{aligned} \% \text{ คะแนนของค่าแอดทริบิวต์} &= \% \text{ attribute score} \\ &= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ผลเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \end{aligned}$$

$$\% \text{ คะแนนของค่าแอดทริบิวต์พนักงานวัดคนที่ 1} = 20/20 \times 100\% = 100.0 \%$$

$$\% \text{ คะแนนของค่าแอดทริบิวต์พนักงานวัดคนที่ 2} = 19/20 \times 100\% = 95.0 \%$$

$$\% \text{ คะแนนของค่าแอดทริบิวต์พนักงานวัดคนที่ 3} = 19/20 \times 100\% = 95.0 \%$$

นอกจากนี้แล้วยังวิเคราะห์ได้ถึงความสามารถของพนักงานแต่ละคน โดยพิจารณาถึงความมีประสิทธิภาพของพนักงานแต่ละคน (operator effectiveness index ( $O_E$ )) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (false alarm index ( $I_{FA}$ )) และดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (index of a miss ( $I_{MISS}$ )) โดยมีการคำนวณดังนี้

ความมีประสิทธิภาพของพนักงาน (operator effectiveness index:  $O_E$ )

$$O_E = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง}}{\text{โอกาส (opportunity) ทั้งหมดของงานตัดสินใจ}}$$

ความมีประสิทธิภาพของพนักงานวัดคนที่ 1 =  $60/60 \times 100\% = 100.0\%$

ความมีประสิทธิภาพของพนักงานวัดคนที่ 2 =  $59/60 \times 100\% = 98.3\%$

ความมีประสิทธิภาพของพนักงานวัดคนที่ 3 =  $59/60 \times 100\% = 98.3\%$

ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (false alarm index:  $I_{FA}$ )

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาส (opportunity) ทั้งหมดที่จะปฏิเสธอย่างผิดพลาด}}$$

ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดของพนักงานวัดคนที่ 1 =  $0/60 \times 100\% = 0.0\%$

ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดของพนักงานวัดคนที่ 2 =  $1/60 \times 100\% = 1.7\%$

ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาดของพนักงานวัดคนที่ 3 =  $1/60 \times 100\% = 1.7\%$

ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (index of a miss:  $I_{MISS}$ )

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาส (opportunity) ทั้งหมดที่จะยอมรับอย่างผิดพลาด}}$$

ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาดของพนักงานวัดคนที่ 1 =  $0/60 \times 100\% = 0.0\%$

ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาดของพนักงานวัดคนที่ 2 =  $0/60 \times 100\% = 0.0\%$

ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาดของพนักงานวัดคนที่ 3 =  $0/60 \times 100\% = 0.0\%$



ตารางที่ 1.6 เกณฑ์การตัดสินใจดัชนีแสดงประสิทธิผล (Automotive Industry Action Group (AIAG) 2002)

การตัดสินใจกับระบบการวัด	$O_E$	$I_{FA}$	$I_{MISS}$
ยอมรับพนักงานทดสอบได้	$\geq 90\%$	$\leq 5\%$	$\leq 2\%$
การยอมรับแบบกำกวม (อาจจำเป็นต้องการปรับปรุง)	$\geq 80\%$	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$
ไม่สามารถให้การยอมรับได้ (ต้องการการปรับปรุง)	$< 80\%$	$> 10\%$	$> 5\%$

ตารางที่ 1.7 สรุปเปรียบเทียบค่าที่ได้กับเกณฑ์ดัชนีประสิทธิผลระบบการวัด

ดัชนีการวัด	เกณฑ์	ค่าที่ได้			ผลลัพธ์
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
% appraiser score	$\geq 90\%$	100.0%	95.0%	95.0%	ผ่านเกณฑ์การประเมิน
% attribute score	$\geq 80\%$	100.0%	95.0%	95.0%	ผ่านเกณฑ์การประเมิน
operator effectiveness index: $O_E$	$\geq 90\%$	100.0%	98.3%	98.3%	ผ่านเกณฑ์การประเมิน
false alarm index: $I_{FA}$	$< 5\%$	0.0%	1.7%	1.7%	ผ่านเกณฑ์การประเมิน
index of a miss: $I_{MISS}$	$< 2\%$	0.0%	0.0%	0.0%	ผ่านเกณฑ์การประเมิน

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดของเสียผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B 110 ประเภทขนาดผิกรูปร่างและประเภททรายตกของเหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

### 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทำการศึกษาเพื่อลดของเสียผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อเหนียว (Ductile cast iron) ชื่อรุ่น Cylinder Disc Brake 110 (Cy/D/B 110) ประเภทของเสียขนาดผิกรูปร่างและประเภททรายเป็นในโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น
- 2) ใช้ดัชนีชี้วัดปริมาณของเสียในหน่วยเปอร์เซ็นต์ ข้อมูลเป็นแบบจำนวนนับ
- 3) ทำการวิเคราะห์และหาแนวทางลดของเสียโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาในเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) และเลือกแนวทางแก้ไขโดยใช้เครื่องมือ Weight Sum Method (WSM)
- 4) ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบโชไนน์ (Shainin DOE) ในการหาวิธีการแก้ไขปัญหา
- 5) ใช้เครื่องมือคุณภาพในการวิเคราะห์ปัญหาได้แก่ กราฟ แผนผังพาเรโต การระดมสมอง แผนภูมิควบคุม

### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัยคือแนวทางการลดของเสียในกระบวนการผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์ซึ่งได้ผ่านการทดลองแล้วว่าสามารถลดของเสียประเภทขนาดผิกรูปร่างและทรายเป็นได้

### 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทได้แก่ ประโยชน์ที่มีต่องานศึกษาวิจัย และประโยชน์ที่มีต่อโรงงานกรณีศึกษาดังนี้

1. ประโยชน์ที่มีต่องานศึกษาวิจัย
  - เป็นแนวทางการในการลดของเสียที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตในลักษณะที่ใกล้เคียงที่นำไปประยุกต์ใช้ได้

- เป็นการทดลองใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบไชนิน (Shainin DOE) มาใช้กับการแก้ปัญหาลดของเสียให้กับผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์
  - เป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจในการศึกษาเพิ่มเติมกับงานอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน
2. ประโยชน์ที่มีต่อโรงงานกรณีศึกษา
- สามารถนำเครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบไชนิน (Shainin DOE) มาใช้วิเคราะห์เพื่อนำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาลดของเสียในกระบวนการผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์
  - เสนอเป็นแนวทางและรูปแบบการลดของเสียในกระบวนการผลิตให้กับบริษัทที่เลือกเป็นกรณีศึกษา

### 1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการทำวิจัยแบ่งเป็น 5 เฟส ได้แก่

#### เฟสที่ 1: กำหนดปัญหา

1. ศึกษากระบวนการผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา
2. ศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา
3. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวทางในการศึกษา
4. กำหนดหัวข้อ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ตัวชี้วัด และแผนการดำเนินงาน

## เฟสที่ 2: หาสาเหตุหลักของปัญหา

5. จัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหาคูณภาพจำนวน 8 คนซึ่งประกอบไปด้วย

ลำดับที่	ตำแหน่งหน้าที่	วุฒิการศึกษา	อายุงาน(ปี)
1)	ผู้จัดการส่วนเตรียมการผลิต	ปริญญาตรี	18
2)	วิศวกรเตรียมการผลิต	ปริญญาตรี	3
3)	วิศวกรออกแบบงานหล่อโลหะ	ปริญญาตรี	4
4)	วิศวกรฝ่ายผลิต	ปริญญาตรี	5
5)	วิศวกรคุณภาพ	ปริญญาตรี	5
6)	ช่างเทคนิค	ปวส.	13
7)	วิศวกรพัฒนาผลิตภัณฑ์ (ผู้วิจัย)	ปริญญาตรี	5
8)	ที่ปรึกษาเทคนิคงานหล่อ(บุคคลภายนอก)	ปริญญาตรี	16

6. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา

7. สรุปสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหา

## เฟสที่ 3: หาวิธีการแก้ปัญหา

8. ระดมสมองหาวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)

9. คัดกรองและเลือกแนวคิดที่จะใช้แก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ Weight Sum Method (WSM)

10. ออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาโดยใช้เทคนิค Shainin DOE

#### เฟสที่4: นำการแก้ไขปัญหามาปฏิบัติ

11. วางแผนปรับปรุงการแก้ไขปัญหากำหนดมาตรฐานในการทำงานและสอนงาน
12. ดำเนินการแก้ไขตามที่วางแผนไว้

#### เฟสที่5: ติดตามควบคุมและประเมินผล

13. ติดตามผลการแก้ไขปัญหาวัดผลเปรียบเทียบตัวชี้วัดก่อนและหลังการปรับปรุง
14. วิเคราะห์ ประเมินผล สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ
15. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จากขั้นตอนการทำวิจัยดังกล่าวนำมาเขียนแจกแจงเป็นตารางเพื่อแสดงให้เห็นเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนดังตารางที่ 1.8 ดังนี้

ตารางที่ 1.8 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	เครื่องมือ / เทคนิคที่ใช้
<b>เฟสที่ 1: กำหนดปัญหา</b> 1.ศึกษากระบวนการผลิตเหล็กหล่อชิ้นส่วนยานยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา 2. ศึกษาสภาพปัญหา ในปัจจุบัน ของโรงงานกรณีศึกษา 3. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวทางในการศึกษา 4. กำหนดหัวข้อ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษ ตัวชี้วัด และแผนการดำเนินงาน	กราฟ / แผนผังพาเรโต / การระดมสมอง

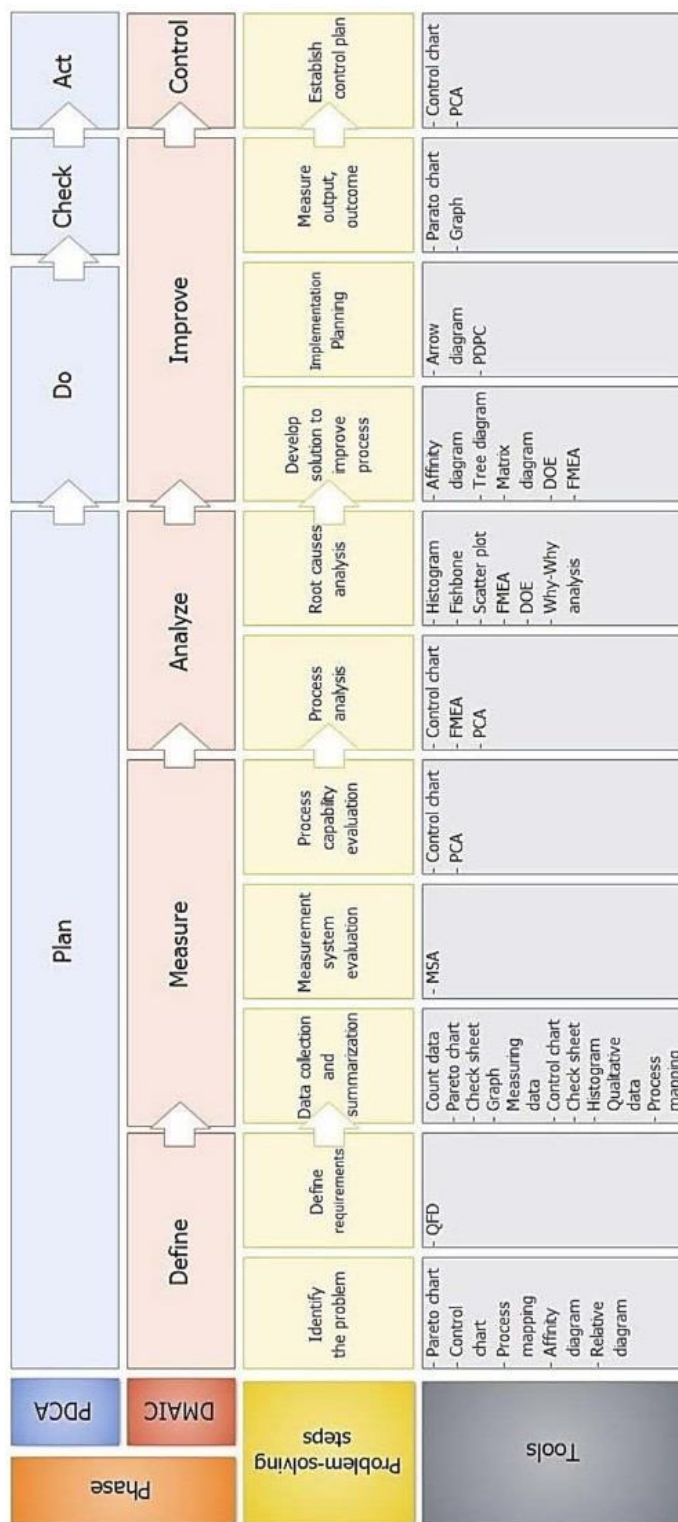
ตารางที่ 1.9 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	เครื่องมือ / เทคนิคที่ใช้
<p><b>เฟสที่ 2 : หาสาเหตุหลักของปัญหา</b></p> <p>5. จัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหาคุณภาพ</p> <p>6. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา</p> <p>7. สรุปสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหา</p>	<p>การระดมสมอง / แผนผังก้างปลา / Why-Why analysis</p>
<p><b>เฟสที่ 3 : หาวิธีการแก้ปัญหา</b></p> <p>8. ระดมสมองหาวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น(TRIZ)</p> <p>9. คัดกรองและเลือกแนวคิดที่จะใช้แก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ Weight Sum Method (WSM)</p> <p>10. ออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาโดยใช้เทคนิค Shainin DOE</p>	<p>การระดมสมอง / เทคนิคการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)</p> <p>Weight Sum Method (WSM) / การระดมสมอง</p> <p>Shainin DOE</p>
<p><b>เฟสที่ 4 : นำการแก้ไขปัญหามาปฏิบัติ</b></p> <p>11. วางแผนปรับปรุงการแก้ไขปัญหากำหนดมาตรฐานในการทำงานและสอนงาน</p> <p>12. ดำเนินการแก้ไขตามที่วางแผนไว้</p>	<p>การระดมสมอง</p>

ตารางที่ 1.9 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	เครื่องมือ / เทคนิคที่ใช้
<p><b>เฟสที่ 5 : ติดตามควบคุมและประเมินผล</b></p> <p>13. ติดตามผลการแก้ไขปัญหาวัตถุประสงค์เปรียบเทียบกับตัวชี้วัดก่อนและหลังการปรับปรุง</p> <p>14. วิเคราะห์ ประเมินผล สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ</p> <p>15. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์</p>	<p>แผนภูมิควบคุม / กราฟ</p>

ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการเลือกเครื่องมือคุณภาพจาก Matrix Evaluation (ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย 2555) เพื่อทำให้เกิดความง่ายต่อการตัดสินใจเลือกเครื่องมือคุณภาพ โมเดลการตัดสินใจเลือกเครื่องมือคุณภาพมีลักษณะดังรูปที่ 1.16 ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นเฟสตามขั้นตอนของ PDCA และ DMAIC อธิบายบายขั้นตอนการแก้ไขปัญหาและการเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอน



รูปที่ 1.16 โมเดลการตัดสินใจเลือกเครื่องมือคุณภาพแบบ Problem solving

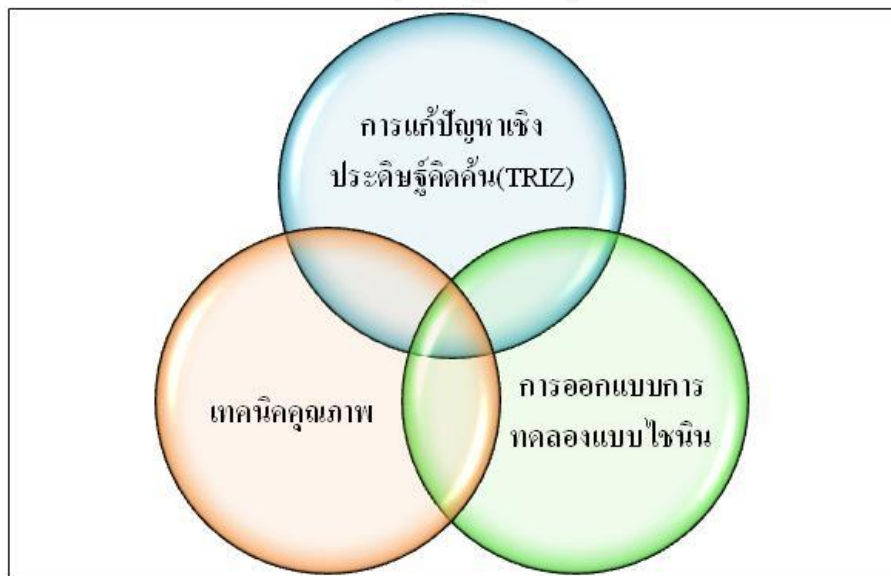




## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้หลักการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) และการออกแบบการทดลองแบบไซนินเพื่อลดปัญหาของเสียรุ่น Cy/D/B 110 ประเภทขนาดผิวดรูป และทรายตกในโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้รวบรวมการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทฤษฎีประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือเทคนิคคุณภาพซึ่งประกอบไปด้วย แผนภาพพาเรโต การระดมสมอง แผนภูมิเหตุและผล วิธีการรมน้ำหนัก ส่วนที่ 2 คือ เทคนิคการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) และส่วนที่ 3 คือ การออกแบบการทดลองแบบไซนิน ซึ่งทั้ง 3 ส่วนถือว่าเป็นวิธีการทางสถิติเพื่อหาปัจจัยของกระบวนการผลิต สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะมุ่งเน้นไปในการหาแนวทางลดของเสียในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

## 2.1 เทคนิคคุณภาพ

### 2.1.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagrams)

ความเป็นมาของแผนภูมิพาเรโต (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2539) โดยวิลเฟรโด พาเรโต (Vilfredo Pareto) เป็นวิศวกรและนักสังคมวิทยา (Engineer & Sociologist) ชาวอิตาลี ซึ่งมีชีวิตอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 1849-1923 ได้ทำการศึกษาคนที่มียศบรรดาศักดิ์ได้ต่าง ๆ แล้วได้นำเสนอผลของการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล และได้กลายมาเป็นเครื่องมือทางการบริหารจัดการจัดการที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในฐานะที่เป็นวิธีการแก้ไขปัญหามากมายด้วยการศึกษาวิเคราะห์น้อยที่สุด

แผนภูมิพาเรโต เป็นการนำหลักการทั่วไปมาใช้ หลักการนี้คือ "ของดีมีน้อย" (Vital few and trivial many) คำว่า ของดีมีน้อย" ในที่นี้อาจเป็นของไม่ดีก็ได้ หมายความว่า สาเหตุสำคัญของปัญหามักจะมีเพียงไม่กี่อย่าง นั่นคือ สาเหตุส่วนน้อยทำให้เกิดปัญหาส่วนใหญ่ ซึ่งอาจถือเป็นหลักการว่า "ประมาณร้อยละ 80 ของปัญหา เกิดจากสาเหตุเพียงไม่กี่ประการเท่านั้น"

แผนภูมิพาเรโต เป็นการรวมกราฟพื้นฐาน 2 ชนิด มาไว้ด้วยกันคือ กราฟคอลัมน์และกราฟเส้นแต่คอลัมน์กราฟต้องมีลักษณะพิเศษ โดยการจัดการลำดับความสูงของแต่ละแท่งให้เรียงแถวลดหลั่นกันลงมาจกซ้ายมาขวา แกนนอนใช้เป็นฐานสำหรับคอลัมน์ต่าง ๆ แต่ละคอลัมน์เป็นตัวแทนของประเภทรายการข้อมูลที่กำลังพิจารณา ความสูงของคอลัมน์แต่ละแท่งแสดงสัดส่วนของ "ขนาด" หรือ "ค่าใช้จ่าย" หรือ "ประชากร" ของรายการแต่ละประเภท ส่วนแผนภูมิพาเรโตที่เป็นกราฟเส้นมีไว้เพื่อแสดงค่าสะสมของความสูงของคอลัมน์ต่าง ๆ เรียงจากซ้ายมาขวา ปัจจุบันได้มีการนำแผนภูมิพาเรโตมาใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น

1. เปรียบเทียบความถี่ของอาชญากรรมรุนแรงรูปแบบต่าง ๆ
2. สาธิตการใช้เวลาปฏิบัติภารกิจด้านต่าง ๆ ของพนักงาน
3. จัดรูปข้อมูลเกี่ยวกับชิ้นส่วนที่เสียตามประเภทของข้อบกพร่อง
4. ระบุสาเหตุสำคัญของการเกิดของเสีย
5. การประเมินเปรียบเทียบปัญหา ก่อนและหลังการใช้ ฯลฯ

### วิธีการสร้างแผนภูมิพารेटอ

1) ตัดสินใจเลือกเกณฑ์ในการแยกประเภทข้อมูล เช่น แยกตามกะหรือผลัดตามชนิด ของของเสียตามวิธีการปฏิบัติงาน หรือตามประเภทของอุปกรณ์ เป็นต้น

2) เลือกช่วงเวลาที่จะทำการศึกษา ลงมือสร้างรายการตรวจสอบ (Check sheet) สำหรับการรวบรวมข้อมูลในช่วงเวลานั้น โดยออกแบบรายการให้มีที่สำหรับบันทึกข้อมูลได้ทุกประเภท แล้วทำการรวบรวมข้อมูล พยายามแปลงปริมาณต่าง ๆ ให้เป็นจำนวนเงิน ถ้าพอทำได้ ค่าทั้งสองอาจเป็นสัดส่วนกันโดยตรงแต่ก็ไม่เสมอไป

3) นำข้อมูลที่ได้จากรายการตรวจสอบ มานับข้อมูลรวมตลอดช่วงเวลา แล้วบันทึกยอดของข้อมูลแต่ละประเภท ถ้ามีจำนวนประเภทมากกว่า 5 หรือ 10 ประเภท ควรพิจารณารวมกลุ่มประเภทของข้อมูลที่มียอดต่ำ ๆ แล้วเรียกเสียใหม่ว่า "อื่น ๆ"

4) เขียนแกนแนวนอนและแนวตั้งของแผนภูมิพารेटอลงบนกระดาษกราฟหรือกระดาษธรรมดาแล้วแบ่งแกนแนวนอนออกเป็นส่วนเท่า ๆ กัน ให้มีจำนวนช่วงเท่ากับจำนวนประเภทข้อมูลแบ่งแกนแนวตั้งเป็นสเกลให้ค่าสูงสุดบนแกนนี้เท่ากับยอดรวมของค่าข้อมูลทุกประเภท

5) เขียนคอลัมน์จากรายการสรุปข้อมูล เรียงแถวจากยอดข้อมูลที่มีค่าสูงสุดลงมาหาค่าต่ำสุดจากซ้ายมาขวา ถ้ามีประเภท "อื่น ๆ" ให้เป็นคอลัมน์สุดท้ายทางด้านขวาสุด

6) เขียนกราฟเส้นแสดงค่าสะสม เริ่มต้นด้วยการเขียนเส้นทแยงคอลัมน์แรกจากมุมล่างซ้ายไปสู่มุมบนขวา จากนั้นลากเส้นตรงทแยงไปทางขวาให้มีระยะแนวนอนเท่ากับความกว้างของคอลัมน์หนึ่งแท่งและมีระยะแนวตั้งเท่ากับความสูงของคอลัมน์ที่สอง ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งกราฟเส้นนี้สัมผัสมุมขวาบนสุดของแผนภูมิพารेटอ ซึ่งจะเป็นตำแหน่ง 100% ของแกนแนวตั้งอีกแกนหนึ่งที่กำกับด้านขวาของแผนภูมิ

7) เขียนแกนแนวตั้งด้านขวาของแผนภูมิ แล้วจัดทำสเกลจาก 0 ถึง 100% โดยให้ความสูงของแกนนี้ เสมอกับความสูงของแกนแนวตั้งด้านซ้าย

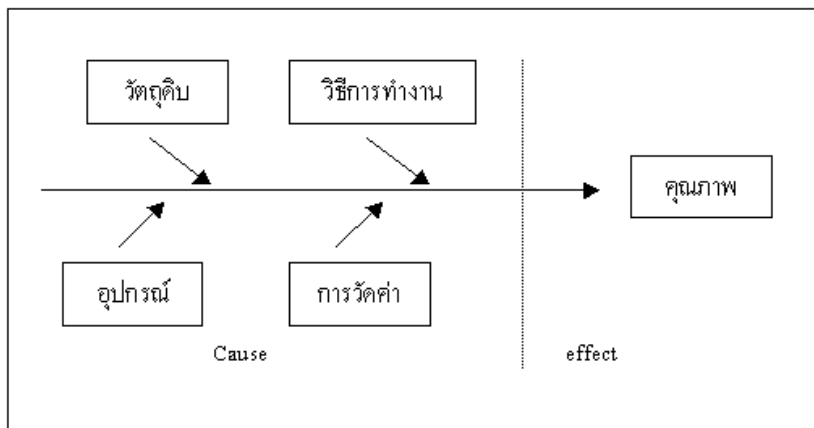
8) เพิ่มเติมข้อมูลบนแผนภูมิ แสดงว่า ใครเป็นผู้รวบรวมข้อมูล ในช่วงเวลาใดจากที่ไหน และเพิ่มเติมข้อความที่จำเป็นในการอ้างอิงข้อมูล ควรมีแสดงวัน เดือน ปี ที่จัดทำแผนภูมิพาเรโตนี้ พร้อมทั้งให้ชื่อบุคคลหรือกลุ่มที่รับผิดชอบในการจัดทำ

### 2.1.2 แผนภูมิเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภูมิเหตุและผล (เกษม พิพัฒน์บุญญานุกูล 2541) หรือเรียกย่อว่า C-E Diagram และบางครั้งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "แผนภูมิอิชิกาวา" (Ishikawa Diagram) ทั้งนี้เป็นการให้เกียรติแก่ผู้พัฒนาแผนภูมินี้ขึ้นเป็นคนแรก เมื่อตอนต้นทศวรรษ ค.ศ. 1950-1959 (พ.ศ. 2493-2502) ผู้ประดิษฐ์แผนภูมินี้มีชื่อเต็มว่าศาสตราจารย์เคโอรุ อิชิกาวา (Professor Karu Ishikawa) แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว (The University of Tokyo) โดยนำแผนภูมินี้มาใช้เป็นครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1953 (พ.ศ. 2496) ในงานเหล็กของโรงงานฟูไตไซ (The Fulsai iron work) เนื่องจากแผนภูมินี้เมื่อสร้างเสร็จแล้วมีรูปร่างคล้ายปลา จึงมีผู้นิยมเรียกว่า "ผังก้างปลา" (Fishbone Diagram)

ปัญหาพื้นฐานในการควบคุมคุณภาพคือ การที่คุณลักษณะที่แสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นไปตามหลักธรรมชาติที่ว่า ไม่มีของสองสิ่งที่จะมีคุณลักษณะเหมือนกันทุกประการ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็เช่นเดียวกัน คุณลักษณะต่าง ๆ เช่น สี ขนาด น้ำหนัก เป็นต้น

สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ นั้น จะมีสาเหตุต่าง ๆ มากมาย ผังก้างปลาจะช่วยให้สามารถค้นหาและเรียงลำดับสาเหตุต่าง ๆ และแสดงถึงความเกี่ยวข้องของสาเหตุต่าง ๆ และผลที่เกิดขึ้นได้ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพนั้น 50 เปอร์เซ็นต์เกิดเนื่องมาจาก 1. วัตถุดิบ 2. เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ 3. วิธีการทำงาน แผนภูมิเหตุและผลหรืออิชิกาวาไดอะแกรมจะแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ซึ่งทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงกับผลที่เกิด (effect) ที่แสดงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.2 แผนภูมิเหตุและผล

ขั้นตอนในการเขียนแผนภูมิเหตุและผล

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีมากมายจนแทบจะนับไม่ถ้วนแผนภูมิเหตุและผลแสดงถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุต่าง ๆ ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างนี้เขียนขึ้นจากบทความของ อาศิระ คาโต แห่งโรงงานทากา บริษัท ฮิตาชิ จำกัด เรื่องการลดข้อบกพร่องในการบัดกรีในงานประกอบเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งตีพิมพ์ในวารสาร Factory Management

ขั้นแรกตัดสินใจว่าอะไรคือสิ่งที่เป็นลักษณะที่ทำให้สินค้าคุณภาพไม่ดี ในกรณีเราพบว่าของที่บกพร่องเราต้องการสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องนี้

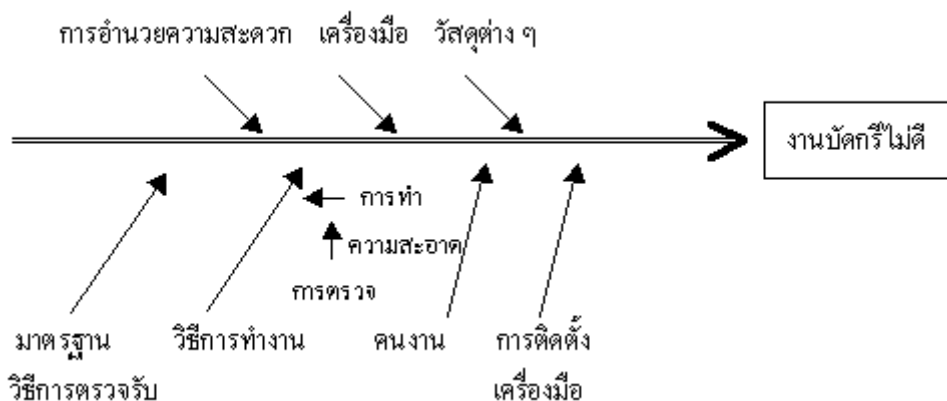
ขั้นที่สอง เขียนข้อบกพร่องนี้ลงทางขวามือ แล้วเขียนลูกศรใหญ่ ๆ จากซ้ายไปขวา ดังรูปที่

2.3



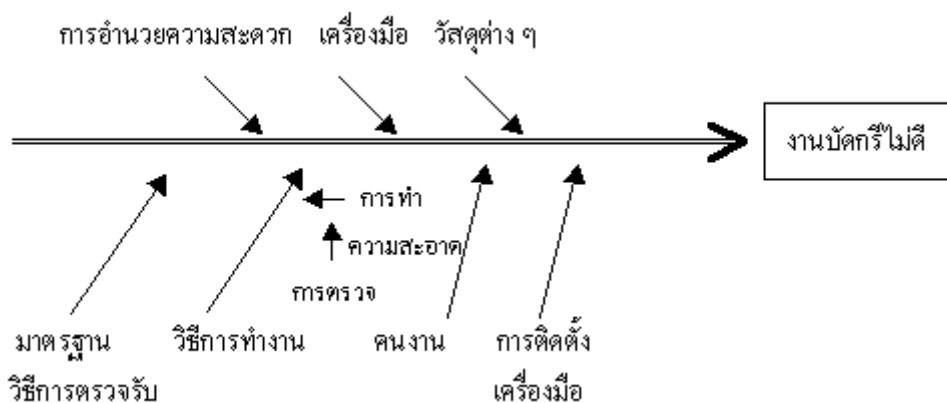
รูปที่ 2.3 การสร้างแผนภูมิเหตุและผลขั้นที่ 2

ขั้นที่สาม เขียนต้นเหตุใหญ่ ๆ ที่สำคัญอันจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดข้อบกพร่องนั้นขึ้นได้ ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2.4 การสร้างแผนภูมิเหตุและผลขั้นที่ 3

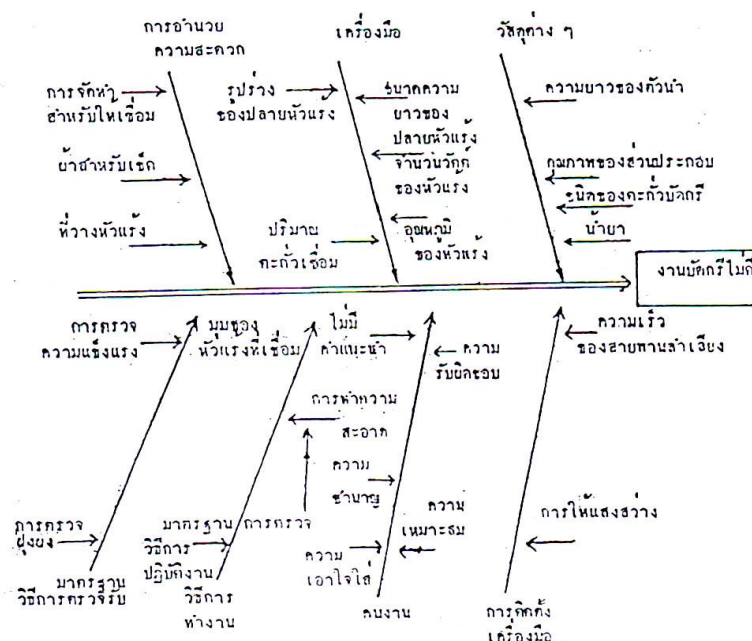
ขั้นที่สี่ จากแต่ละสาขาของลูกศรนี้เขียนองค์ประกอบโดยละเอียดที่ทำให้เกิดสาเหตุนั้นๆ ลงไปซึ่งจะเป็นรูปร่างแตกออกเป็นสาขาย่อย ๆ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การสร้างแผนภูมิเหตุและผลขั้นที่ 4

แผนภูมิเป็นรูปร่างขึ้นมาทีละชั้น โดยการตั้งคำถามถึงสาเหตุที่ทำให้คุณภาพของสินค้าไม่ดี คำตอบจะเป็นแต่ละสาขาย่อย ๆ ของแผนภูมินั้นเอง เช่น เราเริ่มจากหาสาเหตุว่า

- 1) ทำไมสินค้าคุณภาพไม่ดี? เพราะว่างานบัดกรีไม่ดี
- 2) ทำไมบัดกรีไม่ดี เพราะสาเหตุหนึ่งคือ วิธีการทำงานแต่ละครั้งไม่เหมือนกันทุกครั้งไป
- 3) ทำไมวิธีการทำงานแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน เพราะสาเหตุหนึ่งคือ การทำความสะอาดบริเวณที่บัดกรีไม่เหมือนกันทุกครั้งไป
- 4) ทำไมการทำความสะอาดแต่ละครั้งไม่เหมือนกันมีข้อบกพร่อง ก็เนื่องจากทำความสะอาดแล้วตรวจสอบไม่ดี ด้วยวิธีการนี้แผนภูมิจะเป็นรูปร่างขึ้นมาทีละน้อย จนครบถ้วน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนภูมิจานบัดกรีไม่ดี



### 2.1.3 เทคนิคการระดมสมอง (Brain storming)

การระดมสมอง (ประสิทธิ์ เจียวศรี 2550) ถือเป็นเทคนิคที่ใช้กับกลุ่ม (Group Technique) ไม่ใช่ใช้กับคนเพียงคนเดียว ในทางการบริหารมักใช้เป็นเครื่องมือในการแสวงหาทางเลือกในการตัดสินใจและใช้ในการวางแผน Brain Storming เป็นคำที่คนไทยค่อนข้างคุ้นเคยและเป็นที่ยอมรับกันมากในทุกวงการ มีผู้บัญญัติเป็นภาษาไทยไว้ ที่พบมากมี 2 คำ คือ การระดมสมอง กับ การระดมความคิด ปัจจุบันพบว่าการพยายามใช้คำว่า การระดมความรู้และประสบการณ์ โดยทั่วไปแล้วการระดมสมองหมายถึงการแสวงหาความคิดต่อเรื่องใดเรื่องหนึ่งให้ได้มากที่สุดภายในเวลาที่กำหนด ดังนั้นการให้คิดโดยไม่กำหนดเวลาที่จำกัดแน่นอนก็ไม่เรียกว่าการระดมสมอง การระดมสมองจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อใช้กับกลุ่มที่ไม่รู้จักกัน ไม่เกรงใจกันหรือสนิทสนมกันมากเกินไป และจำนวนสมาชิกที่ร่วมระดมสมองถ้าจะให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดควรอยู่ระหว่าง 4 ถึง 9 คน

สำหรับนักวิชาการที่เป็นผู้ให้กำเนิดของเทคนิคนี้ยังมีความเห็นที่แตกต่างกันอยู่ โดย มิซุโน (Mizuno) ไม่ได้บอกว่าใครเป็นผู้คิดแต่ระบุว่าได้มีการใช้เทคนิคระดมสมองในญี่ปุ่นตั้งแต่ปี 2952 ในขณะที่ ฟอริซิท (Donelson Forsyth) กลับระบุชัดเจนว่าเทคนิคการระดมสมองเกิดจากแนวคิดของ ออสบอร์น (Alex F. Osborne) ซึ่งเป็นผู้บริหารบริษัทโฆษณาแห่งหนึ่งตั้งแต่ปี 1957 ได้กำหนดจุดเน้นของการระดมสมองไว้ 4 ประการ ได้แก่

1. เน้นให้มีการแสดงความคิดออกมา (Expressiveness) สมาชิกทุกคนต้องมีเสรีภาพอย่างสมบูรณ์ในการที่จะแสดงความคิดเห็นใด ๆ ออกมาจากจิตใจ โดยไม่ต้องคำนึงว่าจะจะเป็นความคิดที่แปลกประหลาด กว้างขวาง ล้ำสมัย หรือเพื่อฝันเพียงใด
2. เน้นการไม่ประเมินความคิดในขณะที่กำลังระดมสมอง (Non – evaluative) ความคิดที่สมาชิกแสดงออกต้องไม่ถูกประเมินไม่ว่ากรณีใด ๆ เพราะถือว่า ทุกความคิดมีความสำคัญ ห้ามวิพากษ์วิจารณ์ความคิดผู้อื่น การแสดงความคิดเห็นหักล้าง หรือครอบงำผู้อื่นจะทำลายพลังความคิดสร้างสรรค์ของกลุ่ม ซึ่งส่งผลทำให้การระดมสมองครั้งนั้นเปล่าประโยชน์
3. เน้นปริมาณของความคิด (Quantity) เป้าหมายของการระดมสมองคือต้องการให้ได้ความคิดในปริมาณมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ แม้ความคิดที่ไม่มีทางเป็นจริงก็ตาม เพราะอาจใช้

ประโยชน์ได้ในแง่การเสริมแรง หรือการเป็นพื้นฐานให้ความคิดอื่นที่ใหม่และมีคุณค่า ยิ่งมีความคิดใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากเพียงใดก็ยิ่งมีโอกาสค้นพบวิธีการแก้ปัญหาที่ดี

4. เน้นการสร้างความคิด (Building) การระดมสมองเกิดขึ้นในกลุ่ม ดังนั้น สมาชิกสามารถสร้างความคิดขึ้นเองโดยเชื่อมโยงความคิดของเพื่อนในกลุ่ม โดยใช้ความคิดของผู้อื่นเป็นฐานแล้วขยายความเพิ่มเติมเพื่อเป็นความคิดใหม่ของตนเอง

การดำเนินการระดมสมองนั้น จะต้องเตรียมการ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นกำหนดเป้าหมาย ต้องกำหนดให้กระชับ เฉพาะเจาะจง และชัดเจนที่สุดว่าจะระดมสมองเรื่องอะไร เพื่ออะไรและต้องทำให้สมาชิกเข้าใจ และเห็นด้วยกับเป้าหมายนั้น

2. ขั้นกำหนดกลุ่ม จะมีจำนวนเท่าไร ใครบ้าง ใครจะทำหน้าที่เขียนความคิดของสมาชิก และสถานที่ที่จะนำแผ่นกระดาษความคิดไปติดต้องให้มองเห็น ได้ชัดเจน และในบางครั้งผู้นำกลุ่มต้องเด็ดขาดหากมีสมาชิกบางคนเริ่มครอบงำหรือข่มผู้อื่น

3. ขั้นกำหนดเวลา ต้องแน่ชัดและเหมาะสม จะเริ่มและจะต้องยุติเมื่อใดการมีเวลาจำกัดจะสร้างความกดดันให้สมองเร่งทำงานอย่างเต็มที่ สมองซีกขวาจะคิดส่วนสมองซีกซ้ายจะประเมินความคิดของตนเองว่าเหมาะสมหรือไม่ แล้วรีบแสดงออกมาโดยเร็ว (Costin 1996)

#### 2.1.4 วิธีการรมน้ำหนัก (Weight sum method)

เป็นการให้คะแนนแนวความคิดโดยใช้วิธีการให้น้ำหนักความสำคัญเป็นเปอร์เซ็นต์ตามคุณสมบัติแต่ละประการ มีการกำหนดคะแนน (Rating) 1 ถึง 5 โดยเรียงจากน้อยสุดไปมากที่สุด ซึ่งระดับคะแนนที่ประเมินก็จะมี การเปรียบเทียบกับแนวความคิดที่อ้างอิง จากนั้นทำการคูณกับค่าเปอร์เซ็นต์คะแนนแล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ใส่ลงในช่อง Weight score แล้วนำคะแนน Weight score มารวมกันเพื่อเลือกแนวคิดที่ดีที่สุดจากการจัดอันดับ (ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย 2555)

สูตรการคำนวณสำหรับสร้างตาราง Weight sum method

$$T_{j(t)} = \sum_{i=1}^n W_i S_{j,i}^t$$

$T_{j(t)}$  = ผลรวมคะแนนแนวคิด  $t$  ในเกณฑ์พิจารณา  $j$


$W_i$  = น้ำหนักความสำคัญภายใต้เงื่อนไขพิจารณาย่อย  $i$

$S_{j,i}^t$  = คะแนนของแนวคิด  $t$  ภายใต้เงื่อนไขพิจารณาย่อย  $i$

$n$  = จำนวนเกณฑ์พิจารณาย่อยของหลักเกณฑ์  $j$

$V_j$  = ความสำคัญของเกณฑ์พิจารณา

$m$  = จำนวนหลักเกณฑ์พิจารณา



Criteria (j)	Sub-criteria (i)	Weight		Rating score for Alternatives				
		level 1 (V <sub>j</sub> )	level 2 (W <sub>i</sub> )	A1	A2	A3	A4	A <sub>t</sub>
1	1							
	2							
2	1	V <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>	→		S <sub>2,1</sub> <sup>t</sup>		
	2		W <sub>2</sub>					
	3		W <sub>3</sub>			S <sub>j,i</sub> <sup>t</sup>		
...	1							
	2							

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างรูปแบบตาราง Weight sum method

การให้คะแนนในช่วง 1 ถึง 5

ตารางที่ 2.1 คะแนนเกณฑ์การเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพ	คะแนน
แย่กว่าที่อ้างอิงมาก	1
แย่กว่าที่อ้างอิง	2
เหมือนที่อ้างอิง	3
ดีกว่าที่อ้างอิง	4
ดีกว่าที่อ้างอิงมาก	5

## 2.2 เทคนิคการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น

TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) หรือ “ทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น” เป็นทฤษฎีจัดการทางด้านความคิดที่กำลังเป็นที่สนใจอย่างมากในปัจจุบัน คิดค้นขึ้นโดย Genrich Saulovich. Altshuller (1926 – 1998) วิศวกรชาวรัสเซีย เป็นหลักการในการคิดค้นและออกแบบประดิษฐกรรมสำหรับแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่พบในทางอุตสาหกรรม ให้มีฟังก์ชันการใช้งานสูงสุด หรือเพิ่มความเป็นอุดมคติ (Ideality) และลดทรัพยากรที่ต้องใช้ (Resources) ซึ่งจะมีข้อจำกัดของความขัดแย้งกัน (Contradiction) ของตัวแปรต่าง ๆ กล่าวคือ ของสิ่งหนึ่งนั้น เมื่อเราพยายามที่จะเพิ่มคุณสมบัติหนึ่ง ก็มักมีผลในทางตรงกันข้ามกับอีกคุณสมบัติ (ณัฐวีร์ พงศ์อาจารย์ 2558)

การแก้ปัญหาได้ทำจากการรวบรวมสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ มากกว่า 200,000 ฉบับรวมมาทำเป็นฐานข้อมูล จนถึงปัจจุบัน มีสิทธิบัตรจากทั่วโลกที่ถูกนำมาวิเคราะห์แล้ว กว่า 1,500,000 ฉบับ โดยจากทั้งหมด มีเพียง 40,000 ชิ้นเท่านั้น ที่สามารถเรียกได้ว่าเป็นการแก้ปัญหาแบบ Inventive Problem Solution หรือ การสร้างประดิษฐกรรมใหม่อย่างแท้จริง นอกนั้นเป็นเพียงแค่การปรับปรุงของเก่าให้ใช้งานดีขึ้นเท่านั้น ซึ่งเขาจึงได้นำปัญหาต่าง ๆ มาจัดหมวดหมู่ที่เป็น

กลาง ไม่เฉพาะเจาะจงตามสายงาน โดยกำหนดเงื่อนไขของการแก้ปัญหาแบบ Inventive Problem Solution ไว้ดังนี้ (Altshuller, Shulyak et al. 1997)

1. จะต้องมีกระบวนการคิดที่เป็นขั้นเป็นตอน (Systematic) หรือ Step-by-Step
2. สามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในวงกว้างกับเรื่องอื่น ๆ ได้
3. สามารถทำซ้ำได้ มีความเที่ยงตรง และไม่เกิดจากผลทางด้านจิตวิทยา
4. สามารถเข้าถึงองค์ความรู้ และต่อ ยอดทางความคิดสร้างสรรค์ ได้สร้างความคุ้นเคยให้กับนักประดิษฐ์ ในการหาวิธีการแก้ปัญหาต่อ ๆ ไป



รูปที่ 2.8 รูปแบบการแก้ปัญหาทั่วไป

Altshuller พบว่า ในทุกอุตสาหกรรมต่างก็เจอปัญหาในรูปแบบที่คล้าย ๆ กัน และถูกแก้ซ้ำแล้วซ้ำอีกด้วยหลักการเดียวกัน ซึ่งสามารถจะจำแนกแนวทางการแก้ปัญหาทั้งหมดออกได้เป็น 40 หลักการพื้นฐาน (Fundamental inventive principles) กับ 39 ตัวแปร (Parameter) ที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งจะช่วยให้นักประดิษฐ์สามารถประหยัดเวลาในการหาแนวทางการแก้ปัญหาที่เคยมีผู้คิดค้นสำเร็จมาก่อนแล้ว (ณัฐวีร์ พงศ์อาจารย์, 2558)

### ระดับชั้นของการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรม

ขั้นที่ 1 งานออกแบบทั่วไป (Routine Design) แก้ปัญหาเฉพาะหน้าโดยใช้วิธีการที่คุ้นเคย หรือจากประสบการณ์ ความชำนาญเฉพาะทางในสาขานั้น ๆ ซึ่งในระดับนี้ยังไม่เรียกว่าเป็นการสร้างประดิษฐ์กรรมใหม่

ขั้นที่ 2 ปรับปรุงส่วนปลีกย่อยของระบบเดิม (Minor improvements to an existing system) โดยใช้วิธีที่ใช้ทั่วไป ในอุตสาหกรรมชนิดนั้น ๆ และการ optimization ปัจจัยด้านต่าง ๆ

ขั้นที่ 3 ปรับปรุงโครงสร้างหลัก (Fundamental improvement to an existing system) เป็นการแก้ปัญหาที่จะต้องอาศัยความรู้จากภาคอุตสาหกรรมอื่น ๆ มาช่วยด้วย

ขั้นที่ 4 สร้างผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ (New generation product หรือ new concept) โดยที่ยังคงความสามารถในการทำฟังก์ชันหลักต่าง ๆ ได้เหมือนกับ generation เดิม หรือเป็นการสร้างเทคโนโลยีใหม่ เพื่อมาแทนที่เทคโนโลยีเดิม

ขั้นที่ 5 คิดค้นนวัตกรรมใหม่ (Scientific discovery new phenomena หรือ pioneer invention) สำหรับความต้องการของระบบใหม่ที่ไม่เคยมีมาก่อน

หลักการของ TRIZ จะเน้นไปในการแก้ปัญหาในลำดับขั้นที่ 2 3 และ 4 เป็นหลัก ซึ่ง Altshuller กล่าวไว้ว่า 90% ของปัญหาในทางเทคนิคทั้งหลายที่พบ ที่จริงแล้วก็คือปัญหาเดิม ๆ ที่เคยมีผู้แก้ไขสำเร็จแล้ว ณ ที่ใดที่หนึ่งมาก่อนแล้ว ถ้าหากเราสามารถที่จะดำเนินตามลำดับขั้นของการแก้ปัญหา จากการใช้ประสบการณ์ ความถนัดเฉพาะทางของตน ไปจนถึงความรู้จากแหล่งภายนอก ก็จะพบว่า การแก้ปัญหาส่วนใหญ่สามารถนำมาปรับใช้จากความรู้ที่มีอยู่ภายในองค์กร ภายในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน และแม้แต่จากกลุ่มอุตสาหกรรมชนิดอื่นได้เช่นกัน

ตารางที่ 2.2 การใช้งานของ TRIZ

Level	Degree of inventiveness	% ของแนวทาง		จำนวนของแนวทาง แก้ปัญหาที่ต้อง พิจารณาโดยประมาณ
		แก้ปัญหา (Solution) ที่พบ	แหล่งความรู้	
1	แก้ปัญหของ product	32%	Personal knowledge	10
2	ปรับปรุงส่วนปลีกย่อย	45%	Knowledge within company	100
3	ปรับปรุงส่วนหลัก	18%	Knowledge within the industry	1000
4	เทคโนโลยีใหม่	4%	Knowledge outside the industry	100,000
5	นวัตกรรมใหม่	1%	All that is knowable	1,000,000

### กฎแห่งอุดมคติ (Law of ideality)

กฎแห่งอุดมคติกล่าวเอาไว้ว่า ทุก ๆ ระบบ (Technical System) จะต้องมีการปรับปรุงตัวเอง ตลอดช่วงอายุการใช้งาน เพื่อให้เข้าสู่ความเป็นอุดมคติ (Ideality) คือ มีความเที่ยงตรงมากขึ้น (more reliable) ใช้งานได้ง่ายขึ้น (simpler) ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (more effective) รวมไปถึงการลดต้นทุน ลดพลังงาน ลดทรัพยากรที่ใช้ ลดพื้นที่ ฯลฯ เมื่อระบบเข้าสู่ความเป็นอุดมคติที่สุด สิ่งที่จะเกิดขึ้นก็คือ กลไก (Mechanism) จะหมดไป ในขณะที่ฟังก์ชันการทำงานยังคงมีอยู่ หรือเพิ่มขึ้น

### ความขัดแย้ง (Contradiction)

หมายถึงคุณสมบัติ หรือตัวแปร เช่น น้ำหนัก อุณหภูมิ สี ความเร็ว ความแข็งแรง ฯลฯ ของระบบหนึ่ง ๆ ที่เมื่อเราพยายามที่จะเพิ่มคุณสมบัติหนึ่ง ก็มักมีผลในทางตรงกันข้ามกับอีกคุณสมบัติหนึ่ง เช่น ถ้าต้องการของที่เบา ก็ต้องเสียความแข็งแรงลงไป ต้องการจะเพิ่มความเร็วของเครื่องบิน โดยการเพิ่มขนาดของเครื่องยนต์ แต่ก็จะทำให้ปีกเครื่องบินต้องรับน้ำหนักมากเกินไป หรือ

เครื่องประดาน้ำ ที่จะต้องมีความแข็งแรง ไม่แตกง่ายใต้น้ำลึก แต่จะต้องนุ่มสำหรับนักประดาน้ำ เป็นต้น

ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาโดย TRIZ มี 3 ขั้นตอนดังนี้

1) ค้นหาปัญหาที่มีอยู่

2) มองปัญหาในรูปแบบของ physical contradiction คือ กำหนดตัวแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ในทิศตรงกันข้ามกัน โดยอาศัย 39 ตัวแปรของ Altshuller (The Altshuller's 39 Engineering Parameters)

3) ค้นหาการแก้ปัญหา โดยอาศัย 40 หลักการพื้นฐานในการประดิษฐ์คิดค้น (40 Fundamental inventive principles)

### 2.3 การออกแบบการทดลองแบบไชนิน

ระบบไชนิน (Shainin System) เป็นระบบหรือเทคนิคการแก้ปัญหาคคุณภาพถูกพัฒนาขึ้น โดย Dorian Shainin (1914 – 2000) ชาวสหรัฐอเมริกา ระบบไชนิน ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมภาคการผลิต ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ และวิศวกรรมคุณภาพ Dorian Shainin เรียกรงานสถิติวิศวกรรมนี้ มีชื่อว่า Red X ซึ่งในช่วงนั้นเขาได้เป็นที่ปรึกษาให้กับบริษัทต่างๆ มากกว่า 800 บริษัทอีกด้วย (Stefan and MacKay 2008)

ทฤษฎีพื้นฐานของระบบไชนินระบุว่าในปัญหาใด ๆ นั้นเกิดขึ้นจากสาเหตุความแปรปรวนของกระบวนการ โดยใช้หลักการพาเรโตระบุสาเหตุของปัญหา การใช้คำศัพท์เฉพาะในระบบไชนิน ดังนี้

-Red X หมายถึง สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหา

-Pink X หมายถึง สาเหตุรองที่ทำให้เกิดปัญหา

-Pale Pink X หมายถึง สาเหตุอันดับ 3 ที่ทำให้เกิดปัญหา

-Green Y หมายถึง ปัญหาที่พบ

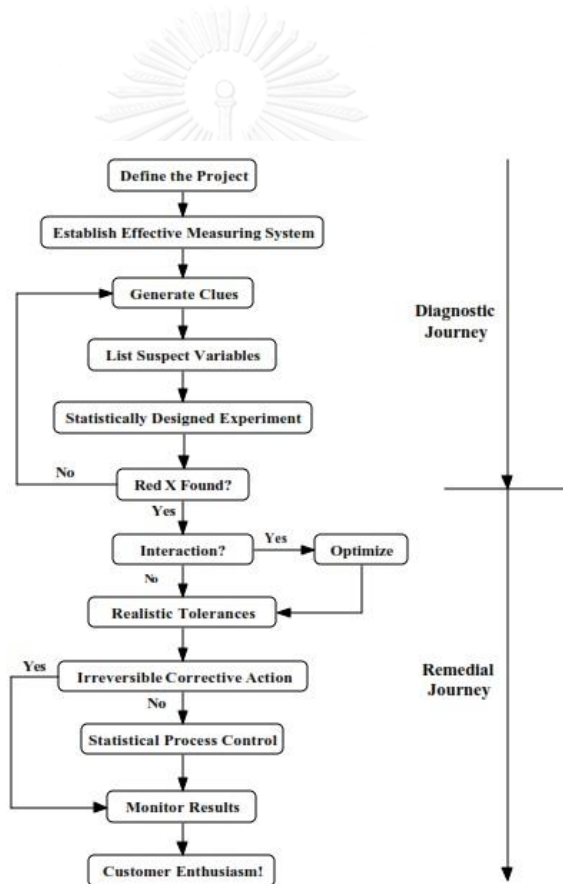


-Best of Best (BOB) หมายถึงจุดหรือเงื่อนไขของปัจจัยป้อนเข้าที่ทำให้ปัญหาที่พบ (Green Y) ดีที่สุด

-Worst of Worst (WOW) หมายถึง จุดหรือเงื่อนไขของปัจจัยป้อนเข้าที่ทำให้ปัญหาที่พบ (Green Y) แย่ที่สุด

### ขั้นตอนของระบบไซนิน

หลักการพื้นฐานของระบบไซนินมีขั้นตอนวิธีการดังแสดงในรูปที่ 2.9 และรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน วัตถุประสงค์ และเครื่องมือที่ใช้แสดงดังตารางที่ 2.3 (Shainin 1992)



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนระบบไซนินสำหรับการปรับปรุงคุณภาพ

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนและวัตถุประสงค์กับเครื่องมือ ไลน์นิน (Q-BASE Engineering Sdn bhd 2015)

ขั้นตอน	วัตถุประสงค์	เครื่องมือ
1. กำหนดปัญหา (Green Y)	เพื่อเลือกปัญหาที่จะแก้ไข(Green Y) ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณของปัญหาเพื่อตั้งเป้าหมายการลดปัญหาที่ชัดเจน	
2. แสดงปริมาณและสร้างระบบวัดปัญหา (Quantify and measurement the Green Y)	เพื่อระบุปัญหาที่แน่นอน ปรับปรุงความละเอียดการวัดปัญหา	Scatter plot Likert Scale
3. ปัญหาในอดีต (Problem history)	เพื่อเข้าใจปัญหาในอดีต	Pareto
4. สร้างร่องรอยปัญหา (Generate Clue)	เพื่อระบุสาเหตุของปัญหาและความแปรปรวน เพื่อระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	Multi-vari, Concentration chart Component search Pared comparison Product/ Process search
5. การออกแบบการทดลอง (Formal design experiment)	เพื่อระบุกระบวนการ ปัจจัย ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหา เพื่อระบุส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	Variable search DOE B vs. C

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนและวัตถุประสงค์กับเครื่องมือไชนิน (ต่อ)

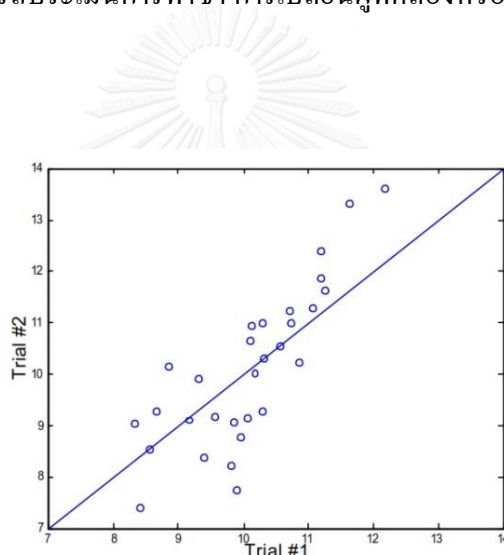
ขั้นตอน	วัตถุประสงค์	เครื่องมือ
6. ทดสอบปัญหาเพื่อให้มั่นใจได้ว่าเป็นการปรับปรุงถาวร (Turn problem on and off-ensuring permanence improvement)	เพื่อตรวจสอบส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	B vs. C
7. กำหนดค่าที่เป็นจริงและค่าเผื่อ (Establish realistic specification and tolerances)	เพื่อกำหนดค่าเฉพาะที่ดีที่สุดของ Red X	Scatter plot Response surface (RSM)
8. ทำให้กระบวนการปรับปรุงคงที่(Hold the process improve gain)	เพื่อรักษาผลการปรับปรุงให้ดีที่สุดตามที่กำหนด	Positrol
9. ทำให้ผลลัพธ์คงที่ (Hold the gain with SPC)	จัดการปรับปรุง/ตรวจสอบกระบวนการ การจัดการกระบวนการรายวัน	Pre-control

### เครื่องมือที่ใช้กับระบบไชนิน

ในส่วนนี้จะอธิบายและวิจารณ์การเลือกเครื่องมือที่น่าสนใจและเกี่ยวข้องกับระบบ Shainin ได้แก่ Isoplot, Multi vari Chart, Component search, Variable search เปรียบเทียบกลุ่ม B กับ C และ Pre-control (Stefan and MacKay 2008) โดยมีรายละเอียดของแต่ละเครื่องมือดังนี้

## Isoplot

Isoplot ใช้เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของกระบวนการและวัดความแปรปรวนของระบบ โดยทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่างแล้วทำการวัด 2 ครั้ง การทำ Isoplot เริ่มโดยการทำ Scatter plot ของ 2 ชุดข้อมูลที่วัดผลในหน่วยเดียวกัน การวัดผลในแนวแกนนอนเป็นค่าความแปรปรวนของกระบวนการที่ถูกอ่านค่าในครั้งที่ 1 และแนวแกนตั้งคือค่าความแปรปรวนของกระบวนการที่ถูกอ่านค่าในครั้งที่ 2 จากนั้นลากเส้นตรงทำมุม 45 องศา ผลวัดความแปรปรวนใดอยู่ใกล้เส้นตรงแสดงว่ามีความแปรปรวนน้อย ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.10 แสดงความแปรปรวนที่มีขนาดใหญ่ วิธีการนี้สามารถประเมินการทำซ้ำ การเปลี่ยนผู้ทดลองหรือเครื่องมือวัด เป็นต้น

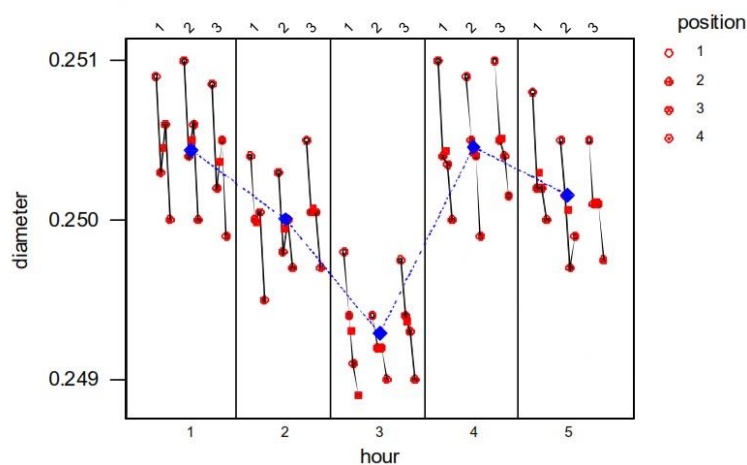


รูปที่ 2.10 ตัวอย่าง Isoplot ของการวัดผล

## แผนภูมิหลายตัวแปร (Multi-Vari Chart)

แผนภูมิหลายตัวแปร (Multi-Vari Chart) ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกระบวนการ เป็นเครื่องมือที่ดีในการหาสาเหตุของปัญหาที่เด่นชัด (Red X) ดังรูปที่ 2.11 เป็นตัวอย่างแสดง Multi-Vari chart ใช้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานเพลลาที่ผ่านการกระบวนการผลิตในแต่ละชั่วโมง โดยทำการวัด 4 ตำแหน่งที่แตกต่างกัน ใช้วิธีการสุ่มวัดชิ้นงานเพลลาชั่วโมงละ 3 ชิ้น พบว่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นประกอบไปด้วยความแปรปรวนภายในแต่ละชั่วโมง จากกราฟเห็นได้ว่ามีค่าความแตกต่างกันน้อย และความแปรปรวนที่ขึ้นกับเวลาต่อเวลา (ชั่วโมงต่อชั่วโมง) มี

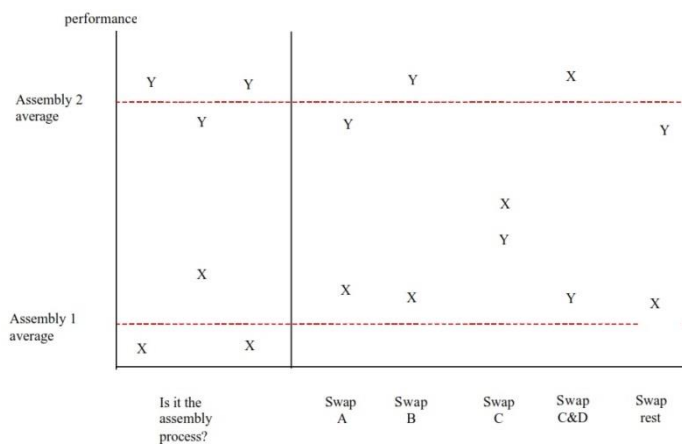
การเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ข้อสรุปนี้อาจจะผิดพลาดหากไม่ดูแบบแยกช่วงเวลา ลักษณะของแผนภูมิใช้แสดงภาพออกเป็นกลุ่ม อย่างไรก็ตามเมื่อกลุ่มข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ก็ยังเป็นประโยชน์มากสำหรับการพล็อตโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของส่วนประกอบในแต่ละกลุ่มได้อีกด้วย



รูปที่ 2.11 แผนภูมิหลายตัวแปร

สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางที่ขึ้นกับ ตำแหน่ง ลำดับขึ้น และชั่วโมงค้นหาส่วนประกอบและค้นหาตัวแปร(Component search and Variable search) ค้นหาส่วนประกอบ (Component search) ใช้เพื่อเปรียบเทียบกลุ่มความแปรปรวนโดยการประกอบสองส่วนคือ BOB กับ WOW เพื่อทดสอบหาปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยการดึงส่วนประกอบออกและนำไปประกอบเข้าใหม่ แลกเปลี่ยนกันระหว่าง BOB กับ WOW ขั้นตอนในการทำการค้นหาส่วนประกอบมี 4 ขั้นตอน คือ 1) Confirmation 2) Elimination 3) Capping และ 4) Analysis เพื่อเรียงส่วนประกอบที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหา จากตัวอย่างกำหนดให้ผลลัพธ์ของการหาส่วนประกอบมี 4 ส่วนประกอบ ดังรูปที่ 2.12 ในกราฟ X คือผลการประกอบที่ 1 และ Y คือ ผลการประกอบที่ 2 ทั้งสองส่วนเป็นผลลัพธ์การพล็อต 2 จุดด้านซ้ายมือถูกเลือกการประกอบออกและไม่ประกอบคืนหน่วยละ 2 ครั้ง การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยของแต่ละ BOB และ WOW ผลนี้แสดงให้เห็นว่าสาเหตุที่มีนัยสำคัญอยู่ในส่วนประกอบและไม่ได้อยู่ในการประกอบ ในเส้นประคือค่าเฉลี่ยของ 3 กลุ่มแรก

และต่อไปคือตัวอย่างการแยกส่วนประกอบระหว่าง 2 การประกอบใน 1 ครั้ง และจับคู่ สาเหตุที่เห็นได้ชัดเจนคือการปฏิสัมพันธ์(Interaction) ระหว่างส่วนประกอบ C กับ D



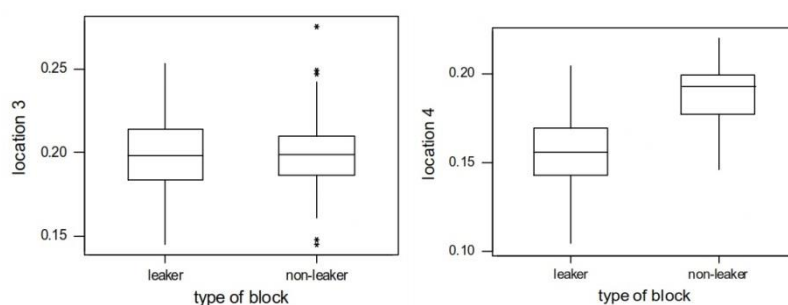
รูปที่ 2.12 ผลของการแลกเปลี่ยนส่วนประกอบ

การทำ Variable search มีลำดับขั้นตอนเหมือนกับการทำ Component search เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา ในการทำ Variable search จะต้องระบุลำดับข้อสงสัยตามความสำคัญและประมาณระดับของปัจจัยบนพื้นฐานการผลิตเดิมแบบปกติ ต่อไปทำการทดลองในสองระดับโดยมีระดับสูงและระดับต่ำ ถ้าผลที่ได้มีค่าผลลัพธ์ (Green Y) ต่างกันแสดงว่า สามารถหาสาเหตุของปัญหาได้ อย่างไรก็ตาม การระบุการระบุระดับของปัจจัยที่จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันนี้อาจเป็นเรื่องยาก อาจต้องใช้ความทุ่มเท พยายามลองผิดลองถูก

**Group Comparison (Paired Comparison)**

ถ้าปัญหาถูกระบุโดยผลลัพธ์เช่น มี Defect หรือไม่ สามารถใช้ Group comparison ทำการทดลองเพื่อระบุปัญหา ถ้าข้อบกพร่องเป็นสิ่งที่หายากซึ่งจะต้องทำการศึกษาควบคุม สามารถใช้การเปรียบเทียบแบบกลุ่มโดยเลือกกลุ่มจำนวน 2, 3 หรือมากกว่าที่มีผลลัพธ์ต่อเนื่องที่แตกต่างกัน รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูล จากการเปรียบเทียบข้อมูล 2 กลุ่ม ทำให้ช่วยค้นหาสาเหตุของตัวอย่างปัญหาการรั่วที่ผนังตัวเครื่องยนต์ โดยการวัดผลไม่ได้วัดขนาดของรอยรั่ว แต่ผู้

เก็บข้อมูลทำการเก็บข้อมูลที่มีการรั่วจำนวน 50 ข้อมูลและวัดความหนา (หน่วยนิ้ว) จำนวน 6 ตำแหน่งที่ผนัง แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการทำ Box Plot ของผนังในแต่ละตำแหน่ง สำหรับผลที่รั่วและไม่รั่ว ดังรูปขวามือแสดงค่ากลางความหนาที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่าง 2 ตำแหน่งที่รั่วและไม่รั่วในตำแหน่งที่ 4 และรูปซ้ายมือค่ากลางความหนามีความแตกต่างกันเล็กน้อยสามารถสรุปได้ว่า ที่ตำแหน่งที่ 4 มีผลเด่นชัดที่เกิดปัญหาผนังรั่ว



รูปที่ 2.13 การจับคู่ Defect บน Box plot

### การเปรียบเทียบกลุ่ม B vs C

เป็นการทดลองอย่างง่ายโดยเปรียบเทียบการกระทำหรือกระบวนการเพื่อตรวจสอบผลให้แน่ชัดและรับรองผลการแก้ไข ตัวอย่างการใช้งานเช่น มีเป้าหมายในการปรับกระบวนการหรือลดอัตราของเสียโดยใช้สัญลักษณ์ “B” มาจาก Better คือ ดีกว่า และ “C” มาจาก Current คือสภาพปัจจุบัน การใช้งาน B vs C เรียกการทดลองว่า Six pack test โดยมี 3 ผลลัพธ์ ภายใต้ Treatment “B” และอีก 3 ผลลัพธ์ ภายใต้ Treatment “C” ถูกเลือกระดับปัจจัยให้มีความแตกต่างกัน เพื่อให้เห็นสาเหตุของปัญหาได้อย่างชัดเจน การเลือกระดับของ “C” แนะนำเป็นค่าที่ใช้ในการผลิตในปัจจุบัน ลำดับของทดลองทั้ง 6 ครั้งเป็นแบบสุ่มเพื่อพิสูจน์ปัญหาที่พบในผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงแล้วว่า ดีกว่าเดิมจริงหรือไม่ เพื่อตัดสินใจว่าผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใดดีกว่ากันในด้านคุณภาพ

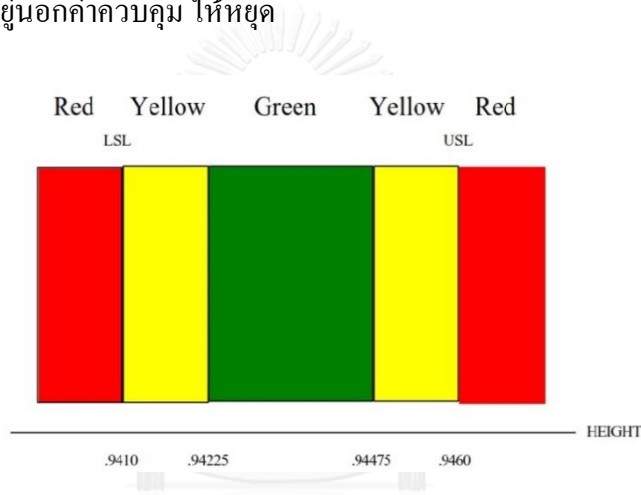
## Pre-Control

ใช้ Pre-Control เพื่อควบคุมสาเหตุของปัญหา (Red X) ถ้า Red X นั้นไม่สามารถควบคุมให้ย้อนกลับได้ การดำเนินการทำได้โดยสุ่มตัวอย่าง 1 หรือ 2 ชิ้นส่วน และทำการวัดเพื่อทำนายผลการผลิต ช่วงในการควบคุมถูกแบ่งออกจากรูปที่ 2.14 โดยแต่ละช่วงมีความหมายดังนี้

สีเขียว คือ ค่ากลาง ให้ดำเนินการต่อไป

สีเหลือง คือ ค่าเตือนเมื่อออกนอก 1 ใน 4 ของค่าควบคุม

สีแดง คือ อยู่นอกค่าควบคุม ให้หยุด



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการทำ Pre- Control

CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ขั้นตอนการทำ Pre-Control

1) ทำการปรับตั้งค่าการผลิตที่มีผลลัพธ์ที่ดี แล้วผลิตงานต่อเนื่องจำนวน 5 ชิ้น เพื่อกำหนดเป็นแถบสีเขียว

2) สุ่มและวัด 2 ชิ้นติดต่อกัน โดยกำหนดเป็น

a. ถ้าครั้งแรกอยู่ในแถบเขียวให้ผลิตต่อ

b. ถ้าครั้งแรกสีเหลืองให้ตรวจสอบชิ้นที่สองหากเป็นสีเหลืองหรือแดงให้หยุดเพื่อปรับตั้ง

ค่า



c. ถ้าครั้งแรกแดง ให้หยุดและปรับตั้งค่า

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัย (วิทยานิพนธ์) เกี่ยวกับการใช้เทคนิคทางคุณภาพเพื่อแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.4



ตารางที่ 2.4 ทบทวนวรรณกรรมวิทยานิพนธ์

ผู้แต่ง/ปี พ.ศ.	ปัญหา/ประเภท อุตสาหกรรม	วิธีการดำเนินการ/เทคนิคที่ใช้/ผลการศึกษาวิจัย
(จุฑาทิพย์ ทะ ประสพ 2551)	ของเสียในกระบวนการ ผลิตสูง 25-45% ใน โรงงานบรรจุภัณฑ์ พลาสติก	แบ่งออกเป็น 5 ระยะ ได้แก่ 1) การกำหนดปัญหา ใช้ กราฟแสดงข้อมูล แผนภาพพารेटโต 2) หาสาเหตุหลัก ของปัญหาโดยใช้การระดมสมอง 3) หาวิธีการแก้ไข ปัญหาโดยใช้การระดมสมอง ฟังก้างปลา การ ออกแบบการทดลอง $2^k$ factorial และสร้างระเบียบ วิธีการทำงาน 4) นำวิธีการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ 5) ประเมินผล พบว่าของเสียประเภทเบียร์ลดลง 14.94 % ของเสียโดยรวมลดลง 12.71% และเวลาในการ พิมพ์งานรุ่น A018 ลดลง 8.87 นาทีต่อม้วน
(อภิญา ตาก สกุล 2552)	ความสูญเสียเปล่าใน กระบวนการติดตั้งก๊าซ รถยนต์ในบริษัทติดตั้ง ก๊าซรถยนต์	ใช้เครื่องมือลิน ซิก ซิกมา เพื่อการวิเคราะห์สภาพ ปัญหาที่เกิดขึ้น ระบุสาเหตุของปัญหาโดยใช้ เครื่องมือการระดมสมอง หาแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยใช้หลัก ECRS ในการวิเคราะห์หาวิธีการแก้ไข ปัญหา แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขและควบคุม กระบวนการภายหลังการแก้ไขปัญหา พบว่าสามารถ ลดความสูญเสียเปล่าลงได้ 2.7% ของเวลาทำงาน ความ สูญเสียเปล่าที่เกิดจากการแก้ไขงาน ในส่วนที่มีความถี่ และผลกระทบด้านความปลอดภัย 0.08 จุดต่อคัน ต้นทุนความล้มเหลวภายนอกลดลงจากเดิม 837 บาท ต่อคันเป็น 126 บาทต่อคัน ความล้มเหลวภายในลดลง จากเดิม 402 บาทต่อคันเป็น 16 บาทต่อคัน

ตารางที่ 2.4 ทบทวนวรรณกรรมวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ผู้แต่ง/ปี พ.ศ.	ปัญหา/ประเภท อุตสาหกรรม	วิธีการดำเนินการ/เทคนิคที่ใช้/ผลการศึกษาวิจัย
(กมลรัตน์ ศรี สังข์สุข 2552)	ปัญหาความสูญเสียเปล่าที่ เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ในโรงงานผลิตชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์	แบ่งออกเป็น 5 ระยะ ได้แก่ 1) การกำหนดปัญหา 2) วัดผลสาเหตุของปัญหา 3) วิเคราะห์สภาพ ปัญหา 4) หาวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้หลักการ ECRS 5) ระยะเวลาควบคุมการผลิต ใช้เครื่องมือ แผนภูมิการไหลของกระบวนการ กราฟ พารेटโต การระดมสมอง แผนผังสายธารคุณค่า DOE และ การวางแผนควบคุม ผลจากการปรับปรุงพบว่า ต้นทุนต่อหน่วยการผลิตลดลงจาก 48.25 บาทเป็น 42.54 บาท คิดเป็น 11.83% และผลผลิตเพิ่มขึ้น จาก 3,700 ชิ้นเป็น 4,090 ชิ้น คิดเป็น 9.54%
(ศศิวิมล วิชิช ชานนท์ 2553)	ปัญหาข้อบกพร่องใน กระบวนการผลิตผนัง คอนกรีตสำเร็จรูป ใน โรงงานผลิตคอนกรีต สำเร็จรูป	แบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) กำหนด ปัญหา 2) วัดสัดส่วนของข้อบกพร่อง 3) วิเคราะห์ หาสาเหตุ 4) แก้ไขปรับปรุงปัญหา 5) ระยะเวลา ควบคุมปัญหา โดยใช้เครื่องมือผังก้าไหลของ กระบวนการ แผนภาพพารेटโต แผนภาพแสดง สาเหตุและผล แผนผังต้นไม้ แผนภูมิควบคุมและ ประเมินผล ภายหลังจากปรับปรุงพบว่าสัดส่วน ชิ้นงานของเสียลดลงจาก 48.16 เป็น 28.87 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.4 ทบทวนวรรณกรรมวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ผู้แต่ง/ปี พ.ศ.	ปัญหา/ประเภท อุตสาหกรรม	วิธีการดำเนินการ/เทคนิคที่ใช้/ผลการศึกษาวิจัย
(สุตันตรา แซ่ จิ๋ว 2554)	ปัญหาข้อร้องเรียนจากลูกค้า และข้อบกพร่องประเภท รอยขีดข่วน ใน โรงงานผลิต แผงวงจรไฟฟ้ารวม	แบ่งออกเป็น 5 เฟส 1) ใช้กราฟพาเรโตเลือกปัญหา ที่จะปรับปรุง 2) หาสาเหตุหลักของปัญหาโดยใช้ ผังก้างปลาและFMEA 3) หาวิธีแก้ปัญหโดยใช้ เทคนิค TRIZ ร่วมกับ Pugh method 4) นำการ แก้ไขไปปฏิบัติ 5) ประเมินผลโดยใช้กราฟพาเรโต พบว่าปัญหา รอยขีดข่วนลดลง 88% และไม่พบข้อ ร้องเรียนประเภทรอยขีดข่วนอีก
(ปิติวัฒน์ อุดม ลักษณ์ 2554)	ปัญหาฝุ่นปนเปื้อนบน กระจกวัตถุคิบใน โรงงานผลิตกระจกชั้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์	ใช้วงจรเดิมมีงมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา ใช้ กราฟพาเรโตบ่งชี้ปัญหาแล้วนำตัวอย่างของเสียมา วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ใช้ผังก้างปลาเพื่อหาสาเหตุปัจจัยที่ทำให้เกิด ปัญหา แล้วออกแบบการทดลองแบบ 2 Level full factorial แล้วนำปัจจัยที่เหมาะสมมาใช้ในการ ผลิตเพื่อลดปัญหาของเสีย ผลจากการลดของเสีย พบว่าของเสียประเภทฝุ่นปนเปื้อนบนกระจก วัตถุคิบลดลงเหลือ 10.95%ของผลผลิต หรือลดลง 51.75% เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 2.4 ทบทวนวรรณกรรมวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ผู้แต่ง/ปี พ.ศ.	ปัญหา/ประเภท อุตสาหกรรม	วิธีการดำเนินการ/เทคนิคที่ใช้/ผลการศึกษาวิจัย
(สุริยะศักดิ์ ถาวรวัฒน์ เจริญ 2555)	ปัญหาด้านทุนคุณภาพใน โรงงานแปรรูปแผ่นโลหะ	บ่งชี้ปัญหาและพิจารณาประเด็นปรับปรุงโดยใช้ Check sheet กราฟพาวเวอ โด แผนภาพก้างปลา Why- Why analysis เพื่อหาสาเหตุและแนวทางแก้ไข ปัญหา ใช้แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบต้นทุนก่อนและ หลังปรับปรุง โดยเปลี่ยนวิธีการทำงานใหม่ ผลของ ต้นทุนคุณภาพหลังปรับปรุงพบว่า ต้นทุนคุณภาพ โดยรวมมีค่าจากเดิม 156,088 บาทต่อเดือน มีค่า ลดลงเหลือ 68,111 บาทต่อเดือน สามารถลด ค่าใช้จ่ายได้ 87,975 บาทต่อเดือน
(ศิริไพสิน วัง ภูงา 2555)	ปัญหาลวดเชื่อมไม่ติดบน แผงวงจรรวมใน โรงงานผลิตเซมิคอนดัก เตอร์	แบ่งขั้นตอนออกเป็น 5 เฟส 1) กำหนดปัญหา 2) หา สาเหตุหลักของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลา 3) หา วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้การออกแบบการทดลอง 4) นำการแก้ไขปัญหามาปฏิบัติจริง 5) ประเมินผล พบว่าปัญหาของเสียประเภทลวดเชื่อมไม่ติดบน แผงวงจรรวมลดลงจาก 9.40% เป็น 2.16% คิดเป็น เปอร์เซ็นต์ที่ลดลง 7.26% ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้ ถึง 4.6 ล้านบาทต่อปี

ตารางที่ 2.4 ทบทวนวรรณกรรมวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ผู้แต่ง/ปี พ.ศ.	ปัญหา/ประเภท อุตสาหกรรม	วิธีการดำเนินการ/เทคนิคที่ใช้/ผลการศึกษาวิจัย
(วรัญญา ศิริระวานิช 2555)	ปัญหาของเสียประเภท เข้้มและแตกด้านข้าง ใน โรงงานผลิตโถสุขภัณฑ์	ทำการศึกษาโดยประยุกต์ใช้Shaimin DOE โดยเริ่ม ทำการศึกษาวิจัยจากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์โดย ใช้ Muti varri chart จากนั้นใช้แผนภาพความสนใจ (Concentration chart) เพื่อหาดำแหน่งและความถี่ จากนั้นค้นหาสาเหตุหลักของปัญหาเรียกว่า Red X และทดสอบว่า Red X เป็นสาเหตุที่แท้จริงหรือไม่ โดยการทดสอบใช้หลัก B vs C ทดสอบเปรียบเทียบ หลังและก่อนการปรับปรุง ที่ความเชื่อมั่น 95% พบว่าของเสียประเภทเข้้มลดลงจาก 14.01 ไปเป็น 2.15% และของเสียประเภทแตกด้านข้าง ลดลงจาก 4.57 ไปเป็น 0.95%

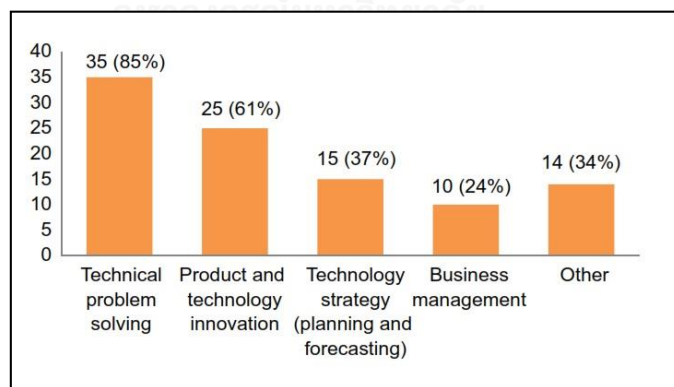
จากการศึกษางานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรมการผลิตพบว่าผู้วิจัยส่วนมากใช้วิธีการดำเนินการแบบ DMAIC ของ Six – Sigma เป็นขั้นตอนในการดำเนินงาน และได้นำเครื่องมือคุณภาพเข้ามาช่วยในการแก้ไขปัญหาของแต่ละงานวิจัยแตกต่างกันออกไปขึ้นกับความเหมาะสมของลักษณะงานในแต่ละอุตสาหกรรม ดังนั้นในการศึกษาวิจัยงานวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องนี้ ผู้วิจัยได้นำเอาแนวทางขั้นตอนการดำเนินงานมาใช้คือขั้นตอน DMAIC เพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหา ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรมการผลิต

การแก้ไขปัญหาด้วยขั้นตอน DMAIC ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตนั้น ผู้วิจัยมีความเห็นว่าเป็นขั้นตอนการดำเนินงานที่กระชับดี แต่ยังคงขาดเครื่องมือที่เป็นตัวช่วยในการแก้ไขปัญหาโดยเฉพาะเช่น การแก้ไขปัญหาบางอย่างแล้วส่งผลขัดแย้งทางเทคนิค ทำให้ส่งผลต่อ

ด้านคุณภาพ การออกแบบการทดลองแบบ Six – Sigma ถือว่าเป็นการใช้สถิติที่มีความยุ่งยาก มีความเหมาะสมกับผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการออกแบบการทดลองแบบไชนินซึ่ง ถือว่าเป็นการใช้สถิติอย่างง่าย ซึ่งมีความเหมาะสมกับสภาพโรงงานกรณีศึกษาที่มีผู้ปฏิบัติงาน เกี่ยวข้องกับคุณภาพประกอบด้วยผู้ปฏิบัติงานระดับลีดเดอร์จำนวน 6 คน วุฒิการศึกษาระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ผู้ปฏิบัติงานระดับโฟร์แมนจำนวน 6 คน วุฒิการศึกษาระดับ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) และผู้ปฏิบัติงานระดับวิศวกรจำนวน 3 คน วุฒิการศึกษา ระดับปริญญาตรี ซึ่งจะกล่าวถึงงานวิจัยการใช้ระบบไชนินในหัวข้อถัดไป

#### 2.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ)

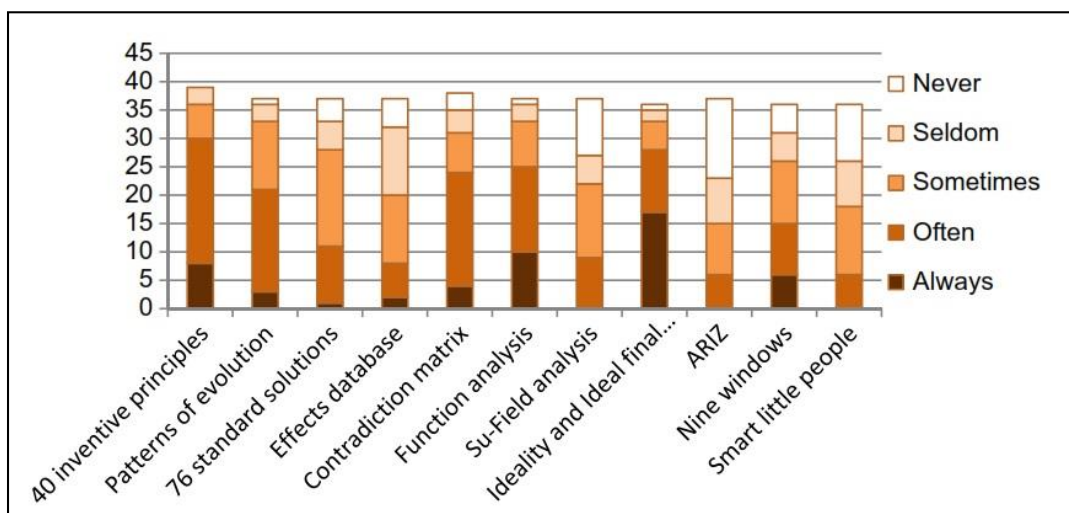
(Ilevbare, Probert et al. 2013) ได้รวบรวมประโยชน์และการใช้งานของ TRIZ จากผู้สนใจ โดยทำการสำรวจออนไลน์ ผู้ร่วมให้ข้อมูลเป็นบุคคลที่ศึกษางาน TRIZ ผู้ใช้งานและผู้เชี่ยวชาญใน อุตสาหกรรม จำนวน 40 คน ผู้ตอบคำถามส่วนมากใช้งาน TRIZ เพื่อการแก้ปัญหาและด้าน นวัตกรรมเป็นหลัก และใช้งานด้านกลยุทธ์และการจัดการธุรกิจเป็นจำนวนน้อยลงตามลำดับแสดง จำนวนดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 จำนวน (เปอร์เซ็นต์) ผู้ตอบคำถามการใช้งานของ TRIZ

จากผลสำรวจการใช้เครื่องมือว่าผู้ตอบคำถามทุกคนใช้เครื่องมือ 40 หลักการประดิษฐ์ คิดค้น โดยมีผู้ใช้งานบ่อยถึง 30 คนจากทั้งหมด 40 คน เครื่องมืออื่นๆถูกใช้เป็นจำนวนลดลงมา

ได้แก่ Ideality/IFR, Contradiction matrix, pattern of technical evaluation, function analysis และ su-field analysis ตามลำดับ และอื่นๆ แสดงตามรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ความถี่ของการใช้งานเครื่องมือ TRIZ (ผลการสำรวจ)

ผู้ตอบคำถามระบุถึงประโยชน์จากการใช้งาน TRIZ มากกว่า 100 ข้อ สามารถจัดกลุ่มได้ดังนี้

1. Approach to problem ใช้งานเพื่อการแก้ไขปัญหา การระดมสมอง และการหาวิธีการแก้ไขปัญหา ซึ่งผ่านการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีการที่ดี
2. Idea generation ใช้เสนอแนวทางและวิธีการ เพื่อสร้างแนวคิดคุณภาพ
3. Innovation and new solution ใช้เพื่อพัฒนานวัตกรรม
4. Speed ความรวดเร็วในการแก้ปัญหาและโฟกัสได้รวดเร็ว

(Vinodh, Kamala et al. 2014) ศึกษาการประยุกต์ใช้ QFD, TRIZ และ AHP ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยมีขั้นตอนการวิจัยได้แก่ 1) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ QFD, TRIZ และ AHP สำหรับการออกแบบ 2) บ่งชี้และเลือกส่วนประกอบที่จะทำการศึกษา 3) ระบุความต้องการของ



ลูกค้าและระบุแนวทางการออกแบบโดยใช้ QFD 4) แก้ปัญหาเชิงเทคนิคโดยใช้หลักการของ TRIZ 5) ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบ 6) เลือกการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ AHP จากการทำ QFD พบว่าสิ่งที่ต้องปรับปรุงได้แก่ 1) ปรับปรุงความแข็งแรง 2) ปรับปรุงกระบวนการผลิต 3) ปรับปรุงของเสีย 4) ปรับปรุงน้ำหนัก และ 5) ปรับปรุงแรง โดยใช้แนวทางการแก้ไขปัญหาจากเมทริก TRIZ แล้วทำการออกแบบแนวคิดมาทั้งหมด 5 แนวคิด จากนั้นใช้เครื่องมือ AHP ให้คะแนนตามประโยชน์ที่จะได้รับในการใช้งานมากที่สุด

(Kim, Kim et al. 2009) ใช้เครื่องมือ TRIZ ในการปรับปรุงระบบความปลอดภัยในโรงงานเคมี โดยใช้เมทริก TRIZ 39 พารามิเตอร์ เป็นศึกษาเป็นแนวทางในการหาทางแก้ไขปัญหามีการปรับปรุงขั้นตอนเป็น 4 ขั้นตอนคือ 1) การวิเคราะห์และกำหนดสิ่งที่ต้องการปรับปรุง 2) เลือกหมวดหมู่ในเมทริก TRIZ 3) กำหนดข้อขัดแย้งและจุดด้อยที่จะปรับปรุง 4) ใช้ TRIZ 40 หลักการช่วยแก้ความขัดแย้งโดยหาหลักการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดไปใช้ ผู้วิจัยนำไปใช้กับกรณีศึกษาการปรับปรุง Jacketed motor ตามขั้นตอนที่กล่าวมา มีผลสรุปแต่ละขั้นตอนคือ 1) สิ่งที่จะต้องปรับปรุงในกระบวนการคือ การควบคุมอุณหภูมิ 2) เลือกอุณหภูมิกับหมวดหมู่ Process upset ตามตารางเมทริก TRIZ 3) สรุปพารามิเตอร์ข้อขัดแย้งทางวิศวกรรมสิ่งที่ต้องปรับปรุงคือ อุณหภูมิตามข้อที่ 3, 27, 35 และ 31 สรุปการปรับปรุงใช้หลักการที่ 3 (Local quality) และ 35 (Parameter change) ได้เลือกมาศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงและได้ออกแบบทำ Cooling jacket เพื่อแก้ปัญหา

(Padmanabhan 2013) ศึกษาการเพิ่มความเร็วลมและกำลังส่งออกของใบพัดปั่นไฟขนาดเล็กในเขตเมือง โดยใช้เครื่องมือ TRIZ ในการแก้ไขปัญห แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) กำหนดปัญหา 2) วิเคราะห์ปัญหา 3) ออกแบบแนวคิดใหม่ 4) ออกแบบโครงสร้างการแก้ไขปัญหา 5) ดำเนินการแก้ไข จากการวิเคราะห์ปัญหาด้านเทคนิคพบว่าสิ่งที่ส่งผลต่อความเร็วในการหมุนของใบพัดคือความเร็วลม จากนั้นค้นหาการแก้ไขปัญหโดยใช้หลักการของ TRIZ ข้อที่ 15 และ 17 ความขัดแย้งทางเทคนิคคือ น้ำหนักใบพัดจะต้องลดลงซึ่งจะทำให้กำลังส่งออกลดลง จากนั้นใช้คอมพิวเตอร์ช่วยการออกแบบทางวิศวกรรมและจำลองการไหลของอากาศ พบว่ามุมของหลังคาที่ส่งลมไปหาใบพัดมีผลต่อกำลังส่งออก และได้กำหนดออกแบบการทดลองปรับมุมหลังคาและวัด

ความเร็วลม พบว่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 22 เมตรต่อวินาที และทำให้กำลังส่งออกจากใบพัดปั่นไฟขนาดเล็กเพิ่มขึ้นด้วย

(Di Gironimo, Carfora et al. 2013) ได้ศึกษาวิจัยโดยมุ่งเน้นการใช้งาน TRIZ เพื่อช่วยสร้างแนวคิดในการแก้ปัญหาคัดแย้งในการออกแบบและจุดอ่อนทางเทคนิค โดยใช้ซอฟต์แวร์ CATIA5 ช่วยในการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินแนวคิด จากนั้นทำการเลือกแนวคิดโดยใช้ AHP ช่วยในการตัดสินใจ แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอนคือ 1) กำหนดปัญหาและสิ่งที่ต้องปรับปรุง 2) ใช้เมทริกความขัดแย้ง 39 ข้อ 3) ระบุแนวทางการแก้ไขปัญหา 4) หาหลักการร่วมแก้ไขปัญหาคัดแย้ง 5) พัฒนาวิธีการแก้ปัญหโดยใช้หลักการ TRIZ เป็นแนวทางในการออกแบบแนวคิดใหม่โดยเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วนประกอบโดยยึดทิศทาง การออกแบบตามข้อเสนอของ TRIZ ได้แก่ 1) Local quality 2) Anti-weight 3) Preliminary action 4) The other way around จากนั้นระดมสมองเพื่อเลือกแนวทางได้ข้อสรุปของการออกแบบคือ 1) สับเปลี่ยนที่ 2) ชิ้นส่วนสามารถเคลื่อนไหวได้ 3) กระบวนการหรือวัตถุต้องถูกกลับด้าน จากนั้นจึงใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบทางวิศวกรรม และใช้ AHP เป็นเครื่องมือช่วยเลือกแนวคิด แนวคิดที่ 1 ถูกเลือกจากทั้งหมด 2 แนวคิด จากการลงคะแนนความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ และได้นำแนวคิดไปพัฒนาใช้จริงในขั้นตอนถัดไป

จากการศึกษาการใช้เครื่องมือ TRIZ ทั้งการพัฒนานวัตกรรมและการแก้ไขปัญหาที่มีความขัดแย้งทางเทคนิคโดยใช้เมทริก 39 พารามิเตอร์ ซึ่ง TRIZ ได้นำแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ได้จากการรวบรวมงานวิจัยอย่างมากมานำมาเป็นมาตรฐานสำหรับหาแนวทางแก้ไขปัญหา (Standard solution) และนำแนวทางที่ได้มาคัดกรองด้วยแนวคิดเพื่อเลือกแนวคิดที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาต่อ ซึ่งพิสูจน์แล้วว่าการใช้เครื่องมือ TRIZ สามารถแก้ไขปัญหาได้จริง ผู้วิจัยจึงนำเทคนิคการแก้ปัญหามีความขัดแย้งทางเทคนิคมาใช้ในงานวิจัยเพื่อเป็นกรอบความคิดในการสร้างแนวคิดใหม่ ที่อ้างอิงจากฐานความรู้ในอุตสาหกรรมอื่นที่มีความหลากหลายและเปิดกว้างแนวคิดในการแก้ไขปัญหาคุณภาพอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการระดมสมองเพื่อให้หาแนวทางการแก้ไขปัญหาไปในทิศทางเดียวกัน

## 2.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคไชนิน

(Thomas and Antony 2005) เปรียบเทียบการใช้เทคนิคออกแบบการทดลองแบบ Shainin และ Tagushi

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบการใช้เทคนิคออกแบบการทดลองแบบ Shainin และ Tagushi

Characteristic	Taguchi	Shainin
Validity (on main effects)	Poor	High
Validity (on interactions)	High	Poor
Complexity	High	Low
Implementation	Difficult	Easy
Cost of experimentation	Low	High
Flexibility	Low	High

สรุปข้อดีของการใช้เทคนิค Shainin และ Tagushi ดังนี้

- 1) เทคนิค Shainin ใช้ตัดสินใจทางวิศวกรรมและใช้สถิติอย่างง่าย
- 2) การใช้ Shainin ในอุตสาหกรรมมีประโยชน์มาก คนทำงานสามารถเข้าใจได้ง่าย
- 3) เทคนิค Taguchi มีความแม่นยำสูงสามารถบอกผล Main Effect และ Interaction เหมาะกับงานที่มีความซับซ้อน

(Saikaew, Chanapal et al. 2014) ศึกษาการใช้เทคนิค Shainin ในงานม้วนโลหะเพื่อปรับปรุงความเรียบของผิวโลหะ การปรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อลดความหยาบผิวโลหะหลังการกลึง โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Shainin ศึกษาทั้งหมด 5 ปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อความเรียบผิวโลหะ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ Multiple compare ได้นำมาใช้เพื่อประมาณเงื่อนไขของแต่ละปัจจัยเพื่อเหมาะสมกับกระบวนการผลิต พบว่าผลของค่ามุมมีกึ่งนั้นมีผลต่อความเรียบผิวโลหะ จึงทำการปรับไปที่ค่าเหมาะสมที่สุดคือมุม 120 องศา เพื่อลดความหยาบผิวโลหะ

(Desai and Jugulkar 2014) ศึกษากระบวนการที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตการประกอบเครื่องยนต์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสีย สามารถแบ่งการดำเนินการออกเป็น 4 เฟส ได้แก่ 1) การกำหนดปัญหา ใช้พาเรโตช่วยในการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญของปัญหา 2) การวัดและวิเคราะห์ปัญหา ใช้เครื่องมือ ได้แก่ Source of variation/ DOE/ Product process search/Trend analysis และ Compare 3) การปรับปรุง เป็นการสรุปผลการออกแบบการทดลองแล้วนำไปปฏิบัติจริงโดยเขียนเป็นมาตรฐานการทำงาน 4) การควบคุม โดยการควบคุมเครื่องจักรให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ตั้งค่าไว้ซึ่งง่ายต่อการติดตามปัญหา

(Nagaraja, Varadarajan et al. 2014) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้เทคนิค Shainin การดำเนินการแบ่งเป็น 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1) Focus 2) Approach 3) Converge 4) Test 5) Understand 6) Apply 7) Leverage ผลการดำเนินงานการโฟกัสของเสียที่เกิด 2% ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วน Camshafts บริเวณตำแหน่งที่เรียกว่า Key way เป็นร่องที่ถูกวัดด้วยเครื่องมือ Go และ No Go เพื่อแยกของเสียโดยระบุปัญหาเป็นคือ Key way width (Green Y) และระบุสาเหตุของปัญหา Root cause (Red X) จากนั้นเสนอใช้เครื่องมือทางสถิติระบุลักษณะที่แย่มาก WOW (Worst of worst) และลักษณะที่ดี BOB (Best of best) จากนั้น Converge Red X เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา Green Y ใช้แผนภาพต้นไม้เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา Red X หรือ Root cause, Pink X (ความสำคัญอันดับที่ 2) และ Pale Pink X (ความสำคัญอันดับที่ 3) นำมาศึกษาโดยการออกแบบการทดลองแบบ Full factorial แล้วทำการทดลองตามที่วางแผนไว้โดยใช้ใบมีดขนาด 3 และ 4 มิลลิเมตรในการทดลอง จากนั้นเปรียบเทียบผลการปรับปรุงที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าภายหลังการปรับปรุงมีปริมาณของเสียลดลงเป็น 0 %

จากการศึกษาการใช้เทคนิคไซนิน พบว่าจุดเด่นในการใช้งานคือเทคนิคในการใช้สถิติอย่างง่ายในการตัดสินใจทางวิศวกรรม มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้แก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรมการผลิตที่มีผู้ปฏิบัติงานที่ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ทางสถิติขั้นสูง การนำระบบไซนินไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตมีขั้นตอนการดำเนินงานแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแต่ละงานวิจัยจะประยุกต์ใช้ขั้นตอนให้มีความเหมาะสมกับลักษณะงานเช่น การใช้ขั้นตอนอ้างอิงตาม DMAIC และนำเครื่องมือระบบไซนินมาใช้ในการแก้ปัญหา พบว่าภายหลังการปรับปรุงมีผลทางคุณภาพดีขึ้นเมื่อ

เทียบกับก่อนการปรับปรุง ในโรงงานกรณีศึกษานี้มีผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับคุณภาพประกอบด้วย ผู้ปฏิบัติงานระดับลิคเตอร์จำนวน 6 คน วุฒิการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) ผู้ปฏิบัติงานระดับไฟร์แมนจำนวน 6 คน วุฒิการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) และผู้ปฏิบัติงานระดับวิศวกรจำนวน 3 คน วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเอาวิธีการไซนินมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมุ่งเน้นในการใช้เครื่องมือทางสถิติอย่างง่ายของระบบไซนินมาใช้ในงานวิจัยเพื่อแก้ไขและควบคุมปัญหา



## บทที่ 3

### ระยะการกำหนดปัญหา

ในระยะการกำหนดปัญหานี้จะได้กล่าวถึงการรวบรวมทีมงานปรับปรุงคุณภาพเพื่อระดมสมองในการแก้ไขปัญหา การศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อให้เข้าใจลักษณะทางกายภาพของกระบวนการผลิตหลักหล่อขึ้นส่วนยานยนต์ การศึกษาแนวทางในการคัดเลือกปัญหาที่จะนำมาทำการวิจัยรวมถึงการวิเคราะห์การกำหนดปัญหาด้วยเครื่องมือแผนภาพความสนใจ (Concentration chart) เพื่อระบุร่องรอยตำแหน่งการเกิดปัญหาที่แท้จริง

#### 3.1 ทีมงานสำหรับปรับปรุงคุณภาพ

ในการจัดตั้งทีมงานสำหรับแก้ไขปัญหาคูณภาพในโรงงานกรณีศึกษา ได้รวบรวมผู้มีความรู้จากแต่ละแผนกงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับคุณภาพสินค้า เพื่อทำการระดมสมองวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพได้อย่างถูกต้อง โดยในทีมงานวิจัยครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ทีมงานปรับปรุงคุณภาพ

ลำดับที่	ตำแหน่งหน้าที่	วุฒิการศึกษา	อายุงาน(ปี)
1)	ผู้จัดการส่วนเตรียมการผลิต	ปริญญาตรี	18
2)	วิศวกรเตรียมการผลิต	ปริญญาตรี	3
3)	วิศวกรออกแบบงานหล่อโลหะ	ปริญญาตรี	4
4)	วิศวกรฝ่ายผลิต	ปริญญาตรี	5
5)	วิศวกรคุณภาพ	ปริญญาตรี	5
6)	ช่างเทคนิค	ปวส.	13
7)	วิศวกรพัฒนาผลิตภัณฑ์ (ผู้วิจัย)	ปริญญาตรี	5
8)	ที่ปรึกษาเทคนิคงานหล่อ(บุคคลภายนอก)	ปริญญาตรี	16

เมื่อได้จัดตั้งทีมงานสำหรับแก้ไขปัญหาก็ได้มีการจัดประชุมเพื่อทำการระดมสมองในการค้นหาสาเหตุหลักของปัญหา การหาแนวทางการแก้ไขปัญหา และการสรุปผลการแก้ไขปัญหา

### 3.2 กระบวนการผลิตเหล็กหล่อเหนียวในโรงงานการศึกษา

เพื่อให้มีความเข้าใจในกระบวนการผลิตของโรงงานการศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิต ในโรงงานศึกษานั้นทำหน้าที่เป็นผู้รับจ้างผลิตเพื่อส่งสินค้าในลักษณะที่เป็นชิ้นเหล็กหล่อ (As Cast) ให้กับโรงงานกลึงไส (Machining) และโรงงานประกอบ (Assembly) ในงานวิจัยนี้จะได้กล่าวถึงกระบวนการหล่อเหล็กหล่อเหนียว (Ductile iron) ซึ่งมีกระบวนการหลักสามารถแบ่งได้เป็น กระบวนการหลอมเหล็ก กระบวนการปั้นแบบทราย กระบวนการเทน้ำเหล็กลงแบบทราย กระบวนการรื้อแบบทรายออกจากเหล็ก กระบวนการจัดทำ ความทำความสะอาดชิ้นงาน กระบวนการเจียรแต่งชิ้นงาน กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน และ กระบวนการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1 กระบวนการหลอมเหล็ก

กระบวนการหลอมเหล็กเป็นขั้นตอนสำคัญอย่างหนึ่งเพื่อให้ได้น้ำเหล็กที่มีคุณภาพตามต้องการ มีการควบคุมค่าเคมี และอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก ในกระบวนการหลอมเหล็กประกอบไปด้วยรายละเอียดขั้นตอนต่างๆดังนี้

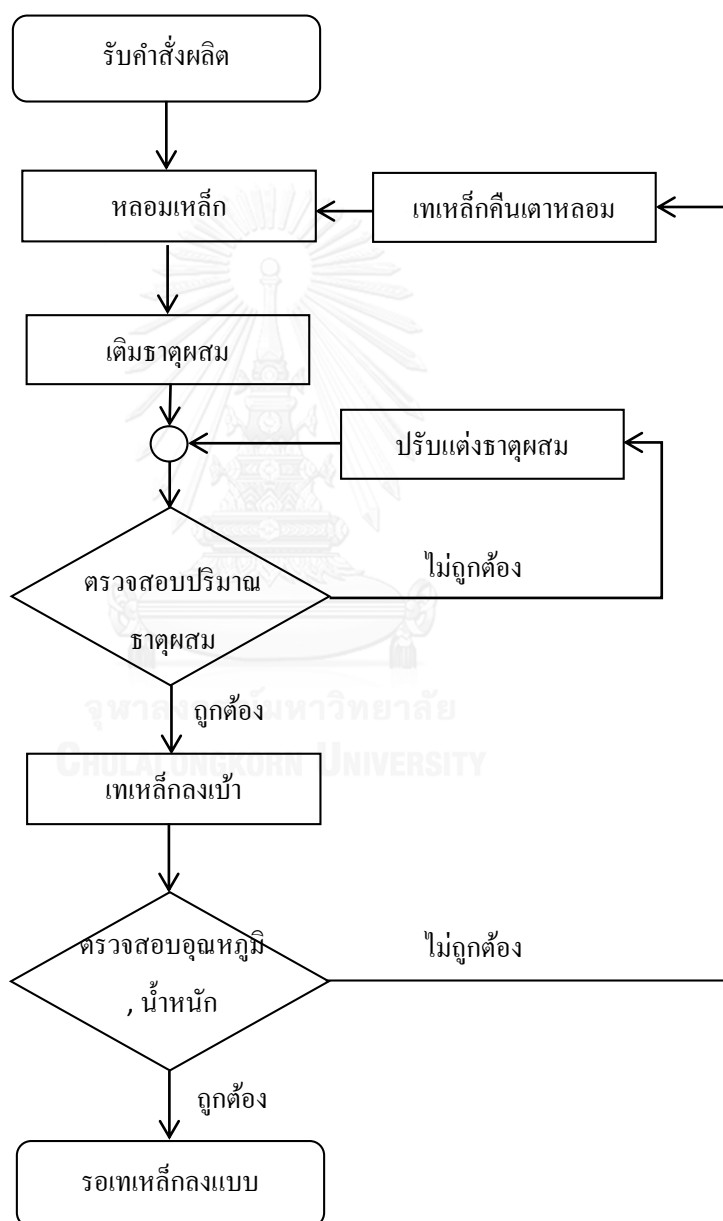
- 1) รับคำสั่งผลิต โดยคำสั่งที่ได้จะระบุชื่อรุ่นของผลิตภัณฑ์ ชนิดของวัตถุดิบ และ ปริมาณการผลิต
- 2) หลอมเหล็ก วัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ เศษเหล็กหมุนเวียน (Return scrap) เศษเหล็กแผ่น (Steel scrap) และขี้กิ้ง (Machine chip)
- 3) เติมธาตุผสม ได้แก่ คาร์บอน ซิลิกอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส เป็นต้น ในผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นอาจมีค่าเคมีที่ควบคุมแตกต่างกัน
- 4) ตรวจสอบปริมาณธาตุผสม ภายหลังจากหลอมเหล็กที่เป็นของแข็งจนกลายเป็นของเหลวแล้วทำการสุ่มตรวจสอบค่าเคมีโดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)
- 5) เทเหล็กลงเบ้า หลังจากได้ส่วนผสมทางเคมีตามที่ต้องการแล้วทำการเทน้ำเหล็กจากเตาหลอม (Melting furnace) ลงสู่เบ้า (Ladle)



6) ตรวจสอบอุณหภูมิ และน้ำหนักของน้ำเหล็กในเบ้า

7) รอทเหล็กลงในแบบในกระบวนการถัดไป

สำหรับแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการหลอมเหล็กดังรูปที่ 3.1 และรูปของเตาหลอมเหล็กแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการหลอมเหล็ก



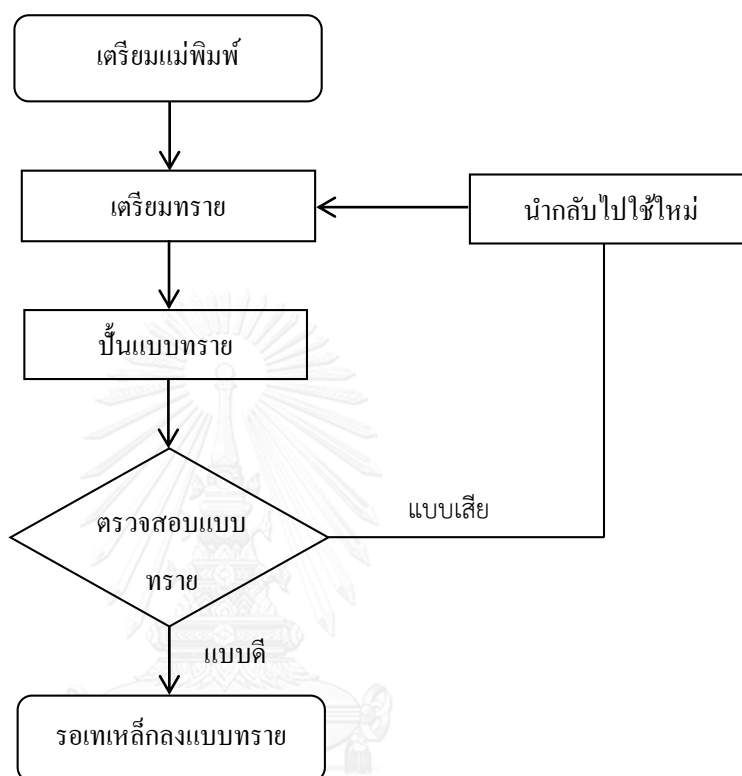
รูปที่ .3.2 เตาหลอมเหล็ก

### 3.2.2 กระบวนการปั้นแบบทราย

กระบวนการปั้นแบบทรายเป็นการนำแม่พิมพ์มากดขึ้นรูปกับวัสดุประเภททรายซิลิกา เพื่อให้ได้รูปร่างของแบบทรายที่มีรูปลักษณะตามแบบของชิ้นงานที่เป็น โฟงแบบ Negative มีขั้นตอนต่างๆดังนี้

- 1) เตรียมแม่พิมพ์ ตรวจสอบแม่พิมพ์ให้ตรงตามรุ่นที่ใช้ผลิตและความสมบูรณ์ของแม่พิมพ์ก่อนใช้งาน
- 2) เตรียมทราย ทำการผสมทรายเข้ากับส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ ดินเหนียวเบนโทไนท์ (Bentonite) ผงคาร์บอน และน้ำ เพื่อให้ทรายสามารถปั้นขึ้นเป็นรูปทรงได้
- 3) ปั้นแบบทราย นำทรายลงสู่แม่พิมพ์แล้วกดด้วยแรงเพื่อให้ได้โพรงที่เป็นรูปชิ้นงานแบบ Negative
- 4) ตรวจสอบแบบทราย เพื่อให้แน่ใจว่ามีรูปร่างสมบูรณ์ไม่แตก พัง
- 5) รอทเหล็กลงแบบทราย

สำหรับแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการหลอมเหล็กดังรูปที่ 3.3 และรูปของเครื่องปั้นแบบทรายแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ .3.3 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการปั้นแบบทราย



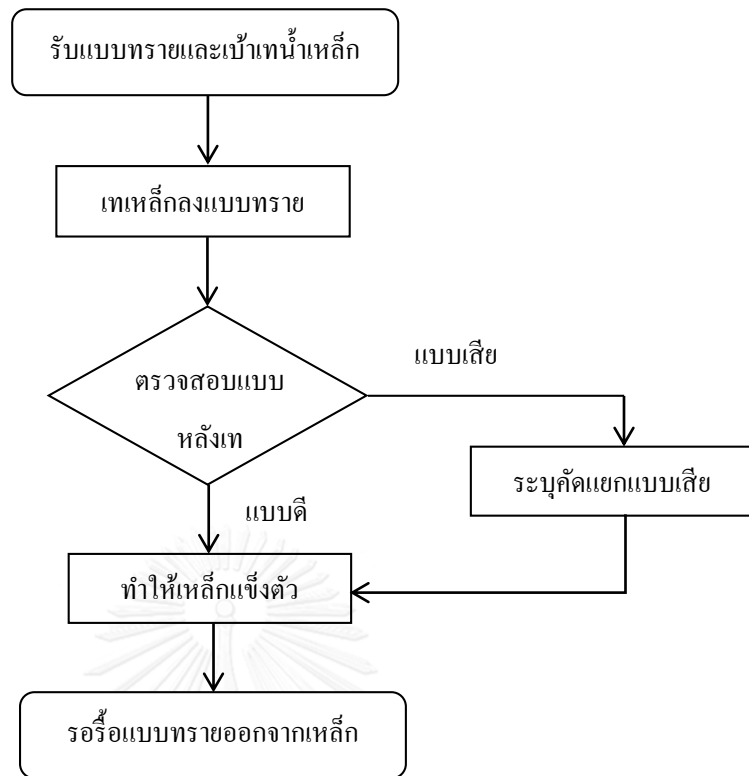
รูปที่ 3.4 เครื่องปั้นแบบทราย

### 3.2.4 กระบวนการเทน้ำเหล็กลงแบบทราย

ขั้นตอนการเทน้ำเหล็กลงแบบทรายนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลา หากปล่อยไว้นานเกินไปอาจทำให้น้ำเหล็กแข็งตัวไม่สามารถเทลงแบบได้ และหากรอนานจนเกินไปก็อาจทำให้ธาตุผสมบางชนิดเสื่อมสภาพลงได้ สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการเทเหล็กควรมีความเหมาะสมกันระหว่างเวลากับน้ำหนักเทหรืออัตราเร็วในการเท ในโรงงานกรณีศึกษาได้มีการใช้เทคโนโลยีเครื่องเทเหล็กด้วยระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมเวลาและน้ำหนัก ขั้นตอนการเทเหล็กมีดังนี้

- 1) รับแบบทราย และเป่าเทน้ำเหล็ก
- 2) เทเหล็กลงแบบทราย โดยใช้เครื่องที่เป็นระบบอัตโนมัติช่วยในการควบคุมอัตราเร็วในการเท ในขั้นตอนนี้จะถูกควบคุมเวลา
- 3) ตรวจสอบแบบหลังการเท เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีการรั่วของแบบทราย
- 4) ทำให้เหล็กแข็งตัว โดยใช้ระบบลมหมุนเวียนช่วยให้เหล็กแข็งตัวได้รวดเร็วขึ้น
- 5) รื้อหรือแบบทรายออกจากเหล็ก

สำหรับแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการเทน้ำเหล็กลงแบบทรายเป็นดังรูปที่ 3.5 และรูปการเทเหล็กลงแบบทรายเป็นดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการเทน้ำเหล็กลงแบบทราย



รูปที่ 3.6 การเทน้ำเหล็กลงแบบทราย

### 3.2.4 กระบวนการรื้อแบบทรายออกจากเหล็ก

กระบวนการรื้อแบบทรายออกจากเหล็กนี้ไม่มีความซับซ้อนมาก หลังจากที่เหล็กเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งอย่างสมบูรณ์แล้วจะถูกรื้อแบบเพื่อแยกชิ้นส่วนเหล็กออกจากแบบทราย เพื่อนำไปสู่กระบวนการถัดไป ลักษณะของเหล็กที่พึงถูกรื้อออกจากแบบทรายจะมีทรายคำติดอยู่ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานหลังรื้อออกจากแบบทราย

### 3.2.5 กระบวนการขัดทำความสะอาดชิ้นงาน

เนื่องจากชิ้นงานที่ได้ภายหลังจากการรื้อแบบทรายออกแล้วนั้นยังมีเศษทรายติดอยู่กับชิ้นงาน จึงต้องทำความสะอาดผิวโดยใช้เม็ดเหล็กขนาดเล็กผ่านเครื่องยิงทำความสะอาดผิวให้ปราศจากทรายและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ทำให้ได้ผิวเหล็กหล่อที่เงาและสะอาด การเตรียมชิ้นงานขัดจะแวนบนพวงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การเตรียมชิ้นงานขัดแฉวนบนพวง

### 3.2.6 กระบวนการเจียรแต่งชิ้นงาน

กระบวนการเจียรแต่งเป็นการใช้หินเจียรที่เป็นเครื่องหมุน และนำชิ้นงานเข้าเจียรเพื่อลบคมและครีบน้ำมัน มีลักษณะการทำงานดังภาพที่ 3.9 ภายหลังจากเจียรแล้วทำการตรวจสอบด้วยสายตาว่ามีความเรียบร้อยดีหรือไม่ แล้วส่งต่อไปยังกระบวนการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์



รูปที่ 3.9 การเจียรแต่งชิ้นงาน

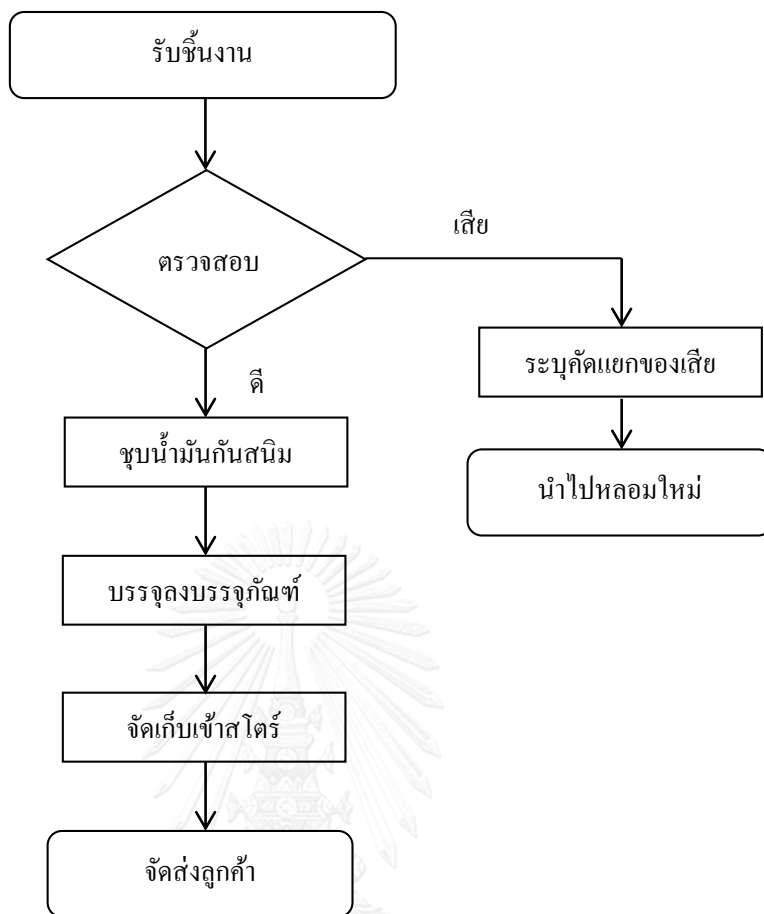
### 3.2.7 กระบวนการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์

ในกระบวนการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ มีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

- 1) รับชิ้นงานจากกระบวนการเจียรแต่ง
- 2) ตรวจสอบข้อบกพร่องภายนอกด้วยสายตา และตรวจสอบขนาดของชิ้นงานด้วย Go-Nogo Gauge
- 3) ชุบน้ำมันกันสนิม เพื่อป้องกันการเกิดสนิมเหล็ก
- 4) บรรจุลงบรรจุภัณฑ์ ทำการเรียงชิ้นงานในทิศทางและจำนวนตามมาตรฐานที่กำหนดไว้
- 5) จัดเก็บเข้าสโตร์ เพื่อรอส่งสินค้า
- 6) จัดส่งสินค้าถึงลูกค้า

สำหรับแผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ดังรูปที่ 3.10



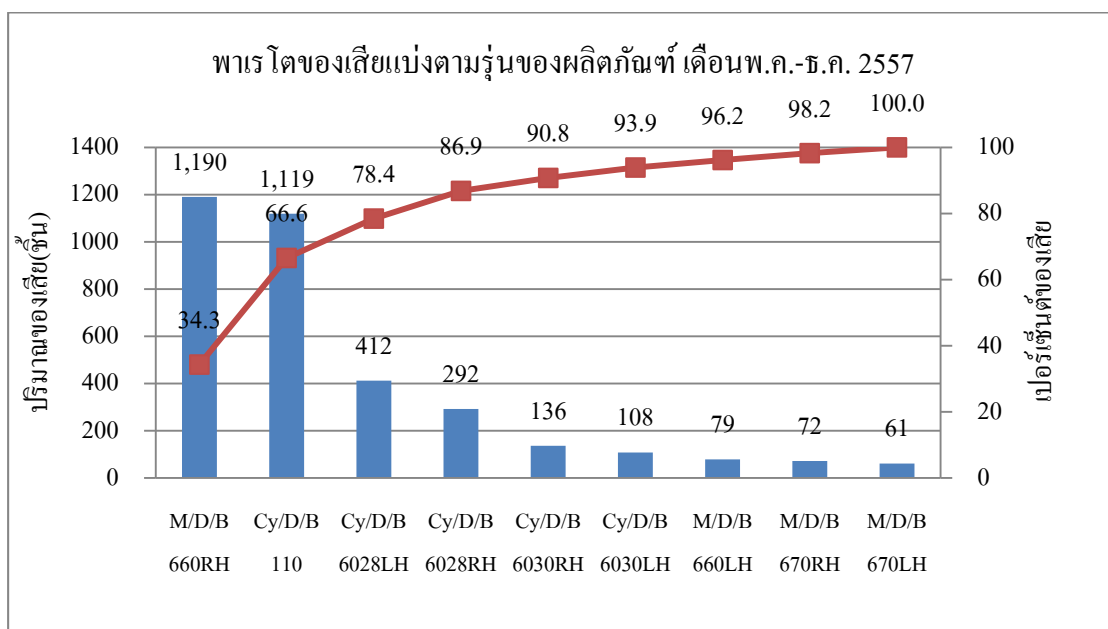


รูปที่ 3.10 แผนภูมิกระบวนการไหลของกระบวนการจัดส่งสินค้าถึงลูกค้า

### 3.3 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน

#### 3.3.1 การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะปรับปรุงคุณภาพ

พิจารณาแยกประเภทของเสียของผลิตภัณฑ์ตามรุ่น ในช่วงปลายปี 2557 มีทั้งหมด 9 รุ่น พบว่า รุ่นที่มีของเสียมากที่สุดคือรุ่น M/D/B 660RH จำนวน 1,190 ชิ้น คิดเป็น 34.3% ของจำนวนของเสียทั้งหมดและรองลงมาเป็นรุ่น Cy/D/B 110 จำนวน 1,119 ชิ้น คิดเป็น 32.3% ของจำนวนของเสียทั้งหมดและผลิตภัณฑ์รุ่นอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



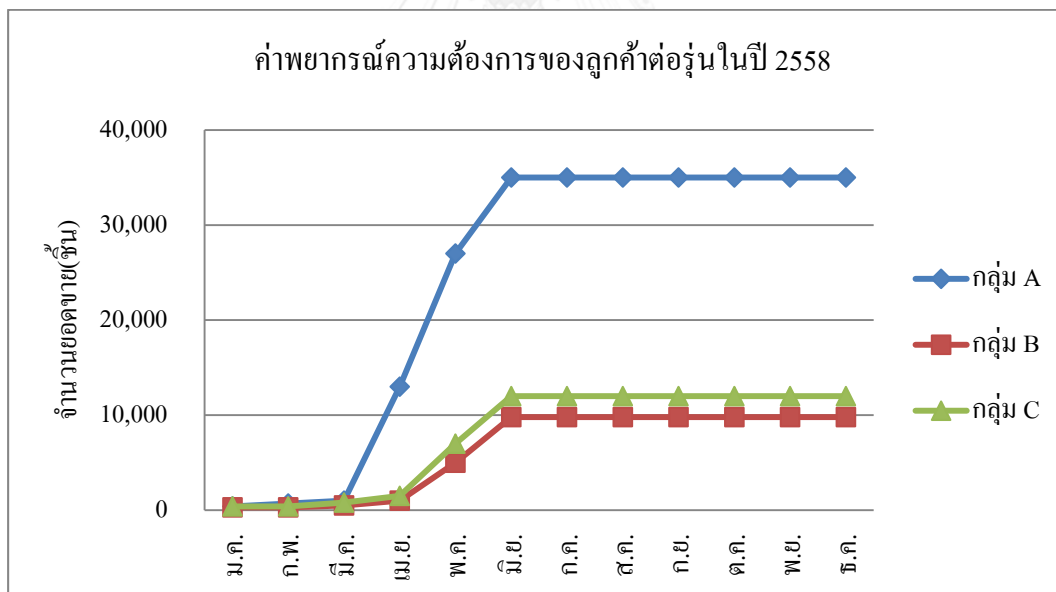
รูปที่ 3.11 พารेटโตของเสียแบ่งตามรุ่นของผลิตภัณฑ์ เดือนพ.ค.-ธ.ค. 2557

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่จะเลือกมาทำการวิจัยนั้นยังอยู่ในช่วงของการพัฒนาคุณภาพ ยังไม่ได้้นำสินค้าออกสู่ตลาด ซึ่งมีการผลิตในปริมาณน้อย จากนั้นจึงได้เก็บข้อมูลการพยากรณ์ ปริมาณความต้องการของลูกค้า พบว่าสามารถแบ่งผลิตภัณฑ์ทั้ง 9 รุ่น ออกเป็น 3 กลุ่มดังตารางที่ 3.2 ซึ่งถูกแบ่งตามโมเดลทั้ง 3 โมเดล โคนในโมเดลเดียวกันจะมีการตั้งชื่อในแต่ละรุ่นจำนวนเท่าๆกัน ดังนั้นจึงแสดงค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าออกเป็น 3 กลุ่ม ดังรูปที่ 3.12 พบว่า ในช่วงเดือน ม.ค. – มิ.ค. เป็นช่วงพัฒนาผลิตภัณฑ์ มียอดสั่งซื้อปริมาณน้อย ในช่วงเดือน เม.ย.-

พ.ค. เป็นช่วงที่มีการเพิ่มความต้องการขึ้นอย่างรวดเร็ว และในช่วง มิ.ย. – ธ.ค. มีความต้องการสูงและคงที่ ซึ่งเป็นช่วงของการผลิตเต็มจำนวน (Mass production) ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ความสำคัญกับกลุ่มที่มียอดขายมากที่สุดคือกลุ่ม A ซึ่งคิดเป็น 29% ของยอดขายทั้งหมด 9 รุ่น

ตารางที่ 3.2 แสดงกลุ่ม โมเดล และชื่อผลิตภัณฑ์

กลุ่ม	โมเดล	ชื่อผลิตภัณฑ์
A	S13W	Cy/D/B110
B	PE 15 inch	M/D/B 660LH, M/D/B 660RH, Cy/D/B 6028LH, Cy/D/B 6028RH
C	PE16 inch	M/D/B 670LH, M/D/B 670RH, Cy/D/B 6030LH, Cy/D/B 6030RH



รูปที่ 3.12 ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าต่อรุ่นในปี 2558

ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือความสูญเสีย (Loss) ที่เป็นต้นทุนในการผลิต เนื่องจากผลิตภัณฑ์ในแต่ละรุ่นนั้นมีต้นทุนการผลิตไม่เท่ากัน ดังนั้นการจัดลำดับการแก้ไขปัญหาจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบด้านความสูญเสียที่จะกระทบต่อต้นทุนด้วย

โดยปริมาณความสูญเสียคำนวณจาก

$$\text{มูลค่าความสูญเสีย(บาท/ปี)} = \text{ต้นทุนต่อหน่วย(บาท/ชิ้น)} \times \text{จำนวนของเสีย(ชิ้น/ปี)}$$

โดยที่

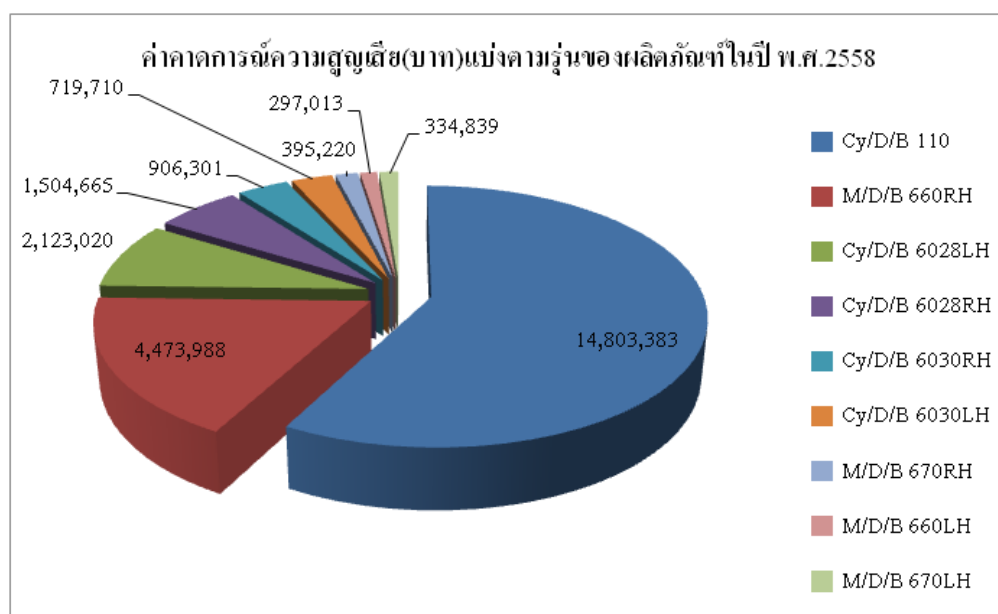
$$\text{ต้นทุนต่อหน่วย} = \text{ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง} + \text{ต้นทุนแรงงานทางตรง} + \text{ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต}$$

จากนั้นแสดงการคำนวณความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นดังตารางที่ 3.3 ซึ่งแสดงรายละเอียดต้นทุนผลิตภัณฑ์ ต้นทุนต่อหน่วย ปริมาณของเสีย ค่าพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า และผลการคำนวณความสูญเสียดังนี้

ตารางที่ 3.3 การคำนวณค่าความสูญเสีย

รุ่นผลิตภัณฑ์	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ชิ้น)	ของเสีย(%)	ค่าพยากรณ์(ชิ้น/ ปี)	ค่าคาดการณ์ ความสูญเสีย (บาท/ปี)
Cy/D/B 110	235	21.94	287100	14,803,383
M/D/B 660RH	178	33.20	75700	4,473,988
Cy/D/B 6028LH	223	12.58	75700	2,123,020
Cy/D/B 6028RH	223	8.91	75700	1,504,665
Cy/D/B 6030RH	232	4.15	94100	906,301
Cy/D/B 6030LH	232	3.30	94100	719,710
M/D/B 670RH	196	2.14	94100	395,220
M/D/B 660LH	178	2.20	75700	297,013
M/D/B 670LH	196	1.82	94100	334,839

จากค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการของลูกค้าในช่วงปี 2558 นำมาคำนวณพยากรณ์ความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นหากไม่มีการแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น พบว่าผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B 110 มีปริมาณความสูญเสียมากที่สุด คิดเป็น 14,803,383 บาทต่อปี คิดเป็น 57.9% ของทั้งหมด และรองลงมาเป็นรุ่น M/D/B 660RH คิดเป็น 4,473,988 บาทต่อปี คิดเป็น 17.5% ของทั้งหมด และผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นรองลงมาดังแสดงในรูปที่ 3.13



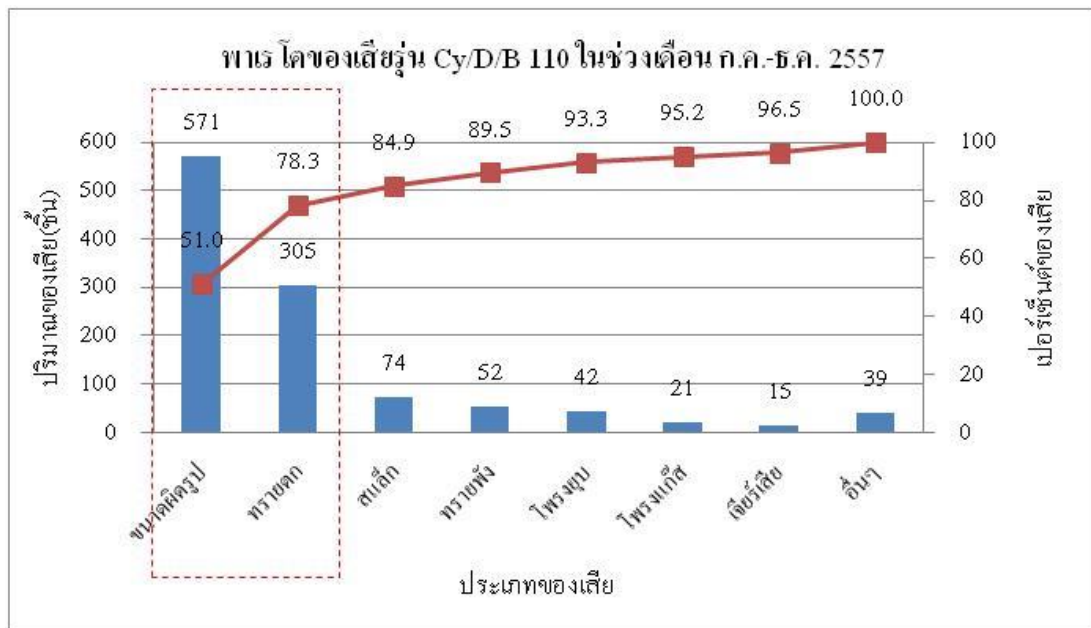
รูปที่ 3.13 ค่าคาดการณ์ความสูญเสียแบ่งตามรุ่นผลิตภัณฑ์ในปี 2558

จากแผนภูมิค่าคาดการณ์ความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นพบว่า ผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B110 อาจมีมูลค่าการสูญเสียเงินถึง 14,803,383บาท ในหนึ่งปี หากไม่มีการลดของเสียที่อาจจะเกิดขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B 110 มาศึกษาวิจัย เพราะเป็นผลิตภัณฑ์รุ่นที่มีของเสียเกิดขึ้นแล้วส่งผลกระทบต่อความสูญเสียเป็นเงินจำนวนมากที่สุด

### 3.3.2 การคัดเลือกประเภทของข้อบกพร่องที่จะปรับปรุงคุณภาพ

ทำการสำรวจของเสียตามประเภทของผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B110 ในช่วงปลายปี 2558 แสดงดังรูปที่ 3.14 พบว่าสามารถแบ่งของเสียตามประเภทได้แก่ ของเสียประเภทชิ้นงานขนาดผิด

รูปคิดเป็น 51.0% และของเสียประเภททรายตกคิดเป็น 27.3% ทั้งสองประเภทรวมกัน 78.3% ถือเป็นปัญหาหลักที่ต้องการแก้ไข ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะทำวิจัยเพื่อทำการลดของเสียที่เกิดขึ้นโดยเลือกประเภทขนาดผิวดรูปและประเภททรายตก



รูปที่ 3.14 พาร โดของเสียรุ่น Cy/D/B 110 ในช่วงเดือน ก.ค. – ธ.ค. 2557

### 3.4 การศึกษาลักษณะของข้อบกพร่องที่จะนำมาปรับปรุงคุณภาพ

#### 3.4.1 ลักษณะของข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูป

ข้อบกพร่องประเภทชิ้นงานผิวดรูปมีลักษณะที่สังเกตได้ดังรูปที่ 3.15 คือ ภายหลังการประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่นแล้วไม่เป็นระนาบเดียวกัน หรือในกระบวนการหล่อเหล็กสามารถตรวจสอบได้โดยผ่านเครื่องมือวัดแบบ Go-No Go Gauge



รูปที่ 3.15 ข้อบกพร่องประเภทชิ้นงานผิดรูป

เพื่อให้ทราบข้อมูลและรายละเอียดมากขึ้น จึงทำการออกแบบ Check Sheet เพื่อเก็บข้อมูลวันที่ผลิต (Lot), หมายเลขแม่พิมพ์ (Cavity no.), ชนิดของ Defect และ ตำแหน่งของ Defect ดังรูปที่ 3.16 เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์หาความผันแปรโดยใช้เครื่องมือแผนภาพความสนใจ (Concentration chart)

**Defect check sheet For Cy/D/B110**

Record date:.....

Record Name:.....

Front view

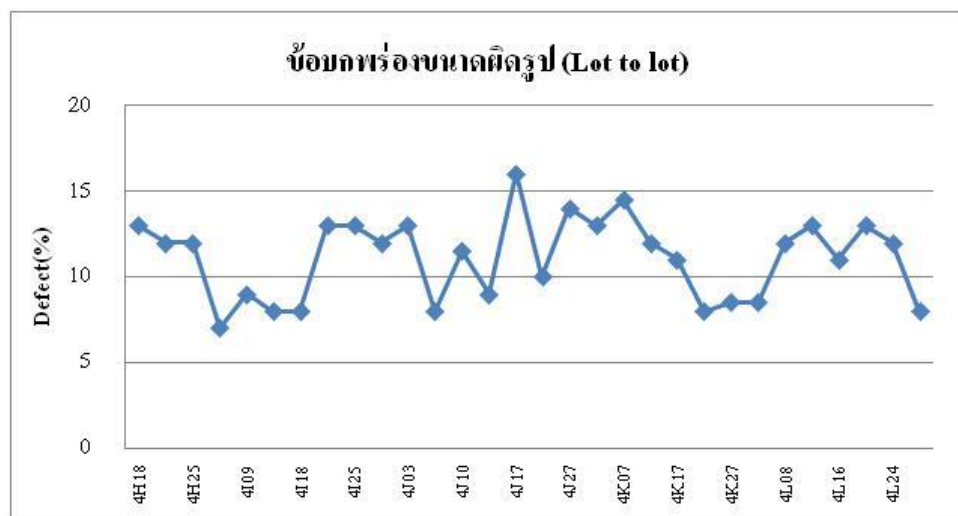
Top view

No.	Lot	Cavity No.	ชนิดDefect	ตำแหน่งDefect												
				F1	F2	F3	F4	F5	F6	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
1																
2																
3																
4																
5																

รูปที่ 3.16 แผนภาพความสนใจ (Concentration chart)

### การวิเคราะห์ความผันแปร

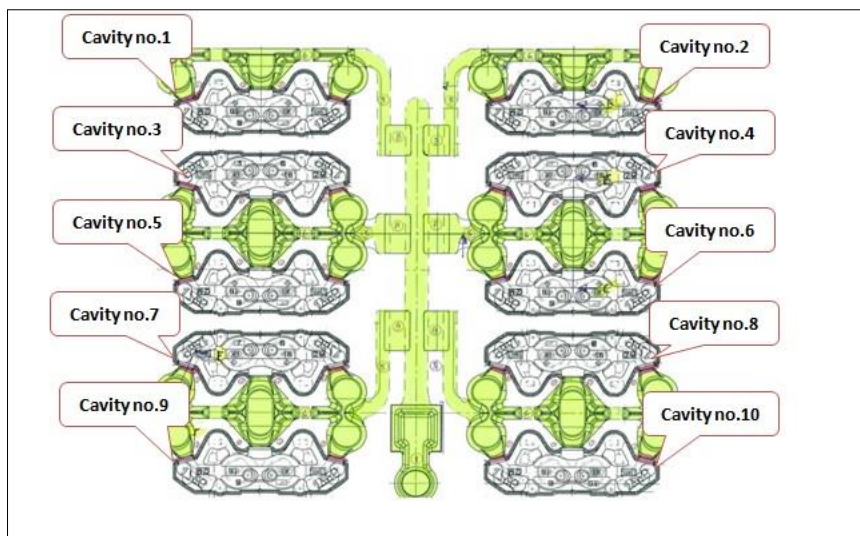
1) วันต่อวัน ( Lot to lot) เพื่อตรวจสอบว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นในแต่ละวันแตกต่างกันหรือไม่ โดยเลือกจากการผลิตอย่างต่อเนื่อง 30 ล็อต จากรูปที่ 3.17 ภาพแผนภูมิแสดงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าในแต่ละวันที่ผลิตนั้นไม่มีความแตกต่างกัน



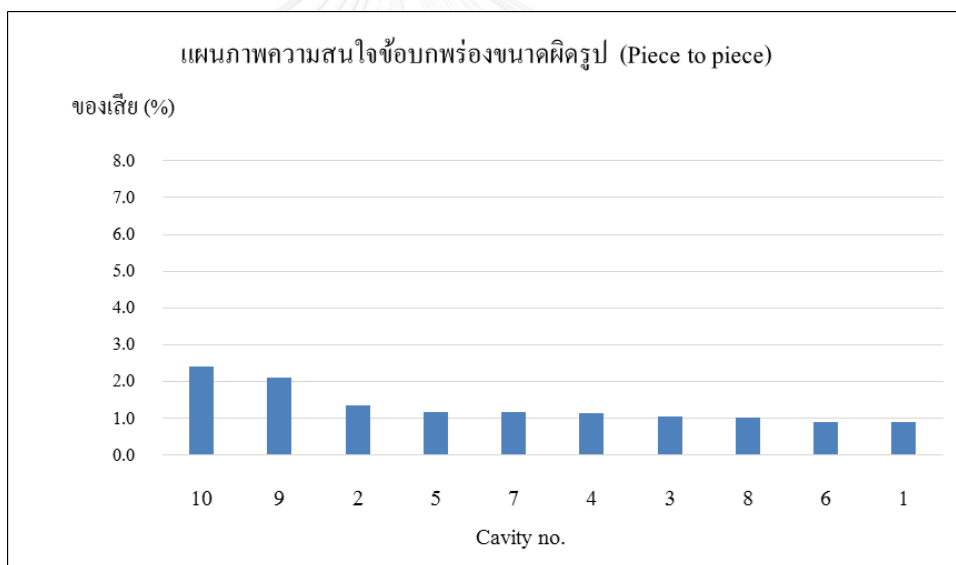
รูปที่ 3.17 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องขนาดผิกรูปร่างแบบ Lot to lot

2) ชิ้นต่อชิ้น (Piece to piece) เพื่อตรวจสอบว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นในแม่พิมพ์แต่ละหมายเลขแตกต่างกันหรือไม่ โดยที่ในแม่พิมพ์นั้นสามารถผลิตชิ้นงานได้จำนวน 10 ชิ้น เรียกแต่ละหมายเลขว่า Cavity no. หมายเลข 1 ถึง 10 มีตำแหน่งการวางบนแม่พิมพ์ดังรูปที่ 3.18





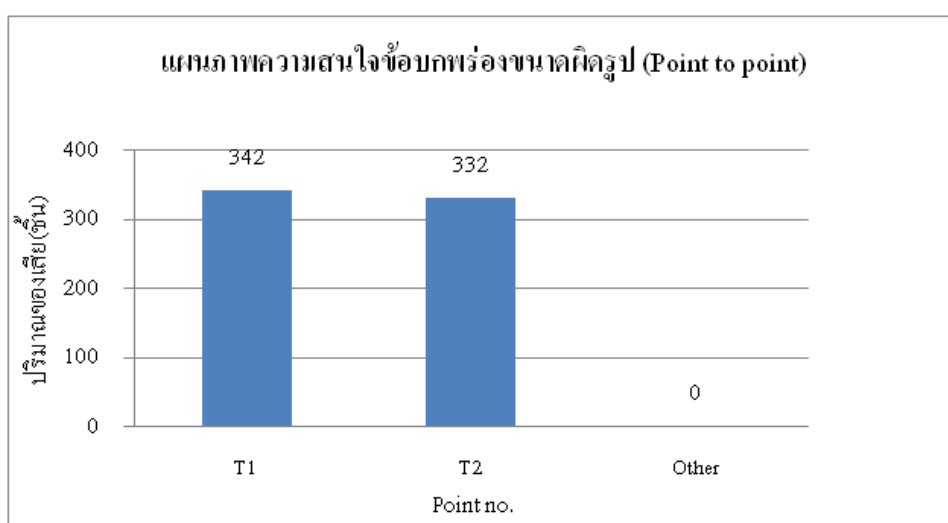
รูปที่ 3.18 หมายเลข Cavity no. บนแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B110



รูปที่ 3.19 แผนภาพความสนใจของเสียขนาดผิวดรูปแบบชิ้นต่อชิ้น

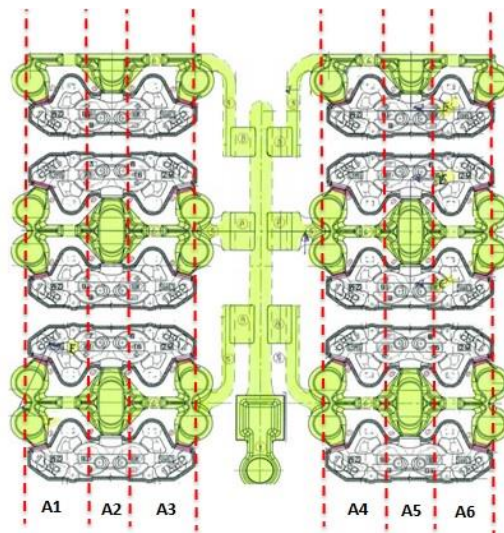
จากรูปที่ 3.19 แสดงพาเรโตของข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูป แสดงลำดับการเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องกับหมายเลขบนแม่พิมพ์ (Cavity no.) พบว่ามีของเสียเกิดขึ้นในทุกหมายเลขและมีค่าใกล้เคียงกัน จึงถือได้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละหมายเลขนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

3) จุดต่อจุด (Point to point) เพื่อตรวจสอบว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นในตำแหน่งบนชิ้นงานแตกต่างกันหรือไม่ จากตำแหน่งที่กำหนดไว้ใน Check Sheet ได้แบ่งออกเป็น 12 จุดคือ F1ถึงF6 และ T1ถึงT6 พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในตำแหน่ง T1 คิดเป็น 50.7% และตำแหน่ง T3 คิดเป็น 49.3% ในขณะที่ไม่เกิดข้อบกพร่องขึ้นกับอีก 10 จุดอื่นๆเลย แสดงดังรูปที่ 3.20 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดนั้นมีความแตกต่างกัน

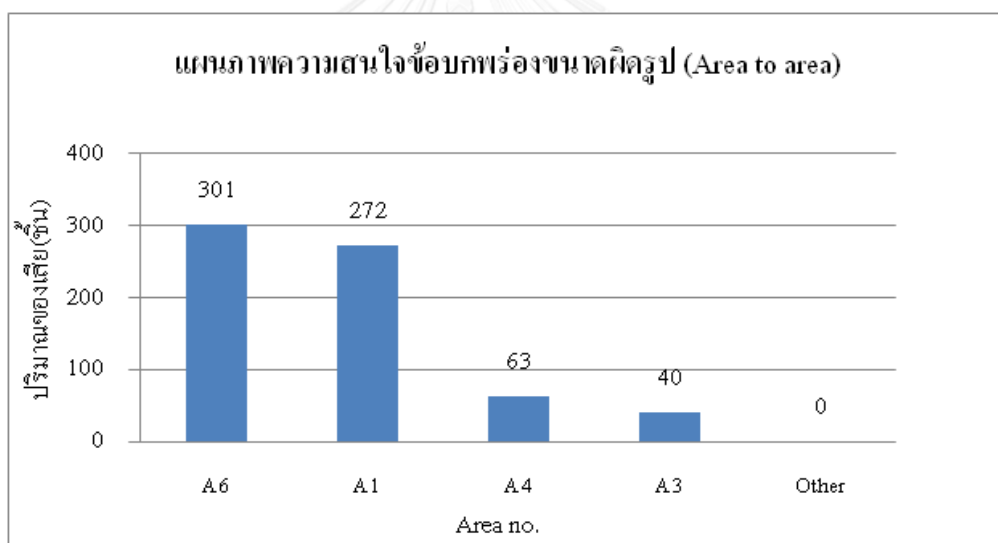


รูปที่ 3.20 แผนภาพความสนใจของเสียขนาดผิวดรูปแบบจุดต่อจุด

4) พื้นที่ต่อพื้นที่ (Area to area) เพื่อตรวจสอบว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นในตำแหน่งบนแม่พิมพ์แตกต่างกันหรือไม่ จากรูป 3.21 ได้กำหนดพื้นที่บนแม่พิมพ์ออกเป็น 6 ส่วนเพื่อศึกษาลักษณะของของเสียที่เกิดขึ้น จากภาพ 3.22 แผนภาพพารโดแสดงปริมาณข้อบกพร่องกับพื้นที่ต่างๆ พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่ A6 คิดเป็น 44.5% พื้นที่ A1 คิดเป็น 40.3% พื้นที่ A4 คิดเป็น 9.3% พื้นที่ A3 คิดเป็น 5.9% และในพื้นที่อื่นๆอีก 2 พื้นที่ ไม่พบของเสียเกิดขึ้น จึงสรุปได้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่นั้นมีความแตกต่างกัน



รูปที่ 3.21 แสดงการแบ่งพื้นที่บนแม่พิมพ์ผลิตภัณฑ์รุ่น Cy/D/B110



รูปที่ 3.22 แผนภาพความสนใจของเสียขนาดผิวดูรูปแบบพื้นที่ต่อพื้นที่

จากการวิเคราะห์ความผันแปร โดยใช้แผนภาพความสนใจ สามารถสรุปความผันแปรทั้งหมดดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สรุปผลวิเคราะห์ความผันแปรของปัญหาขนาดผิวดรูป

ความผันแปร	ผลการวิเคราะห์
วันต่อวัน ( Lot to lot)	ไม่มีความแตกต่าง
ชิ้นต่อชิ้น (Piece to piece)	ไม่มีความแตกต่าง
จุดต่อจุด (Point to point)	มีความแตกต่าง
พื้นที่ต่อพื้นที่ (Area to area)	มีความแตกต่าง

#### 3.4.2 ลักษณะของข้อบกพร่องประเภททรายตก

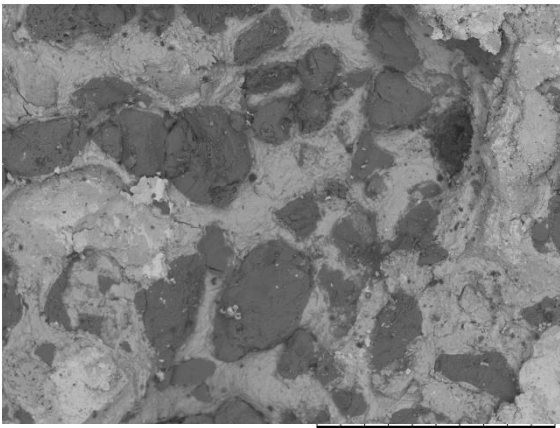
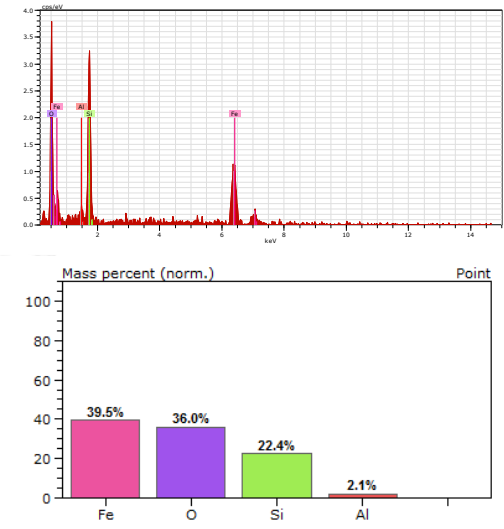
ข้อบกพร่องประเภททรายตกแสดงดังรูปที่ 3.23 มีลักษณะขาดหายไปของชิ้นงาน ชิ้นงานไม่ถูกเติมเต็ม แต่ถูกแทรกที่ด้วยเม็ดทราย ทำให้ชิ้นงานไม่ได้รูปร่างตามที่ต้องการ ไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานเพราะอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อเม็ดมีดกลึงในกระบวนการกลึงไสหรืออาจทำให้เกิดความเสียหายจากการรับแรงได้



รูปที่ 3.23 ข้อบกพร่องประเภททรายตก

เพื่อให้มั่นใจว่าข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเป็นเม็ดทรายจริงหรือไม่ จึงนำชิ้นส่วนของเสียนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายและคุณสมบัติทางเคมี มีผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.5 ดังนี้

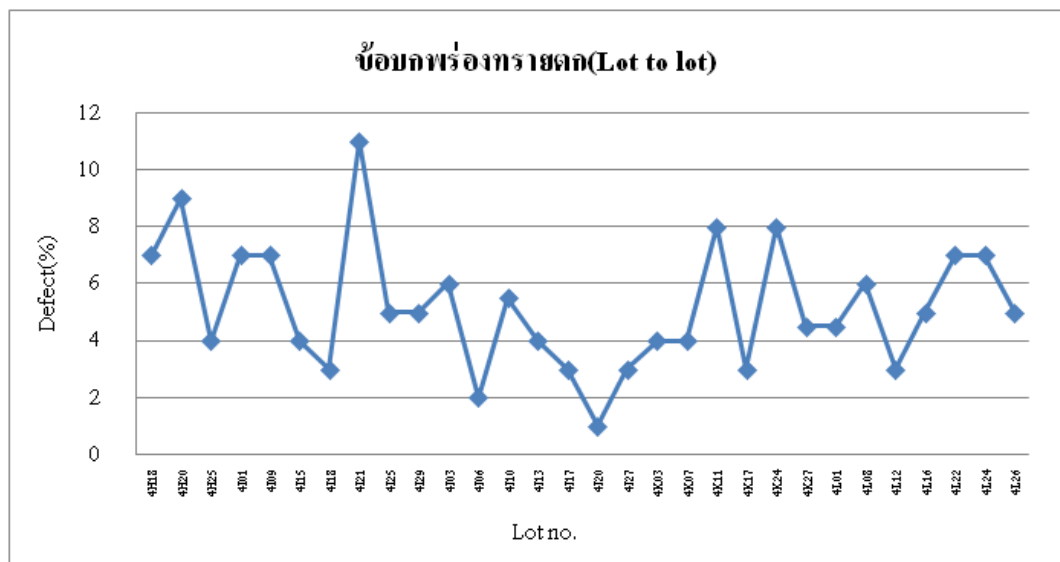
ตารางที่ 3.5 ผลวิเคราะห์ข้อบกพร่องทรายตกด้วย Scanning Electron Microscope

ภาพถ่าย	ผลวิเคราะห์ทางเคมี										
	 <p>Mass percent (norm.)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Mass percent (norm.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fe</td> <td>39.5%</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>36.0%</td> </tr> <tr> <td>Si</td> <td>22.4%</td> </tr> <tr> <td>Al</td> <td>2.1%</td> </tr> </tbody> </table>	Element	Mass percent (norm.)	Fe	39.5%	O	36.0%	Si	22.4%	Al	2.1%
Element	Mass percent (norm.)										
Fe	39.5%										
O	36.0%										
Si	22.4%										
Al	2.1%										

จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเศษที่ปนเปื้อนในเนื้อเหล็กมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนสีเข้มกว่าเนื้อเหล็ก แยกตัวจากเนื้อเหล็กไม่หลอมรวมกัน และเมื่อวิเคราะห์ค่าเคมีพบว่า มีธาตุเหล็ก (Fe) 39.5% ออกซิเจน (O) 36.0% ซิลิกอน (Si) 22.4% และอะลูมิเนียม (Al) 2.1% ซึ่งตรงกับธาตุประกอบของทรายคือสารประกอบซิลิกอนออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสิ่งปนเปื้อนที่พบในเนื้อเหล็กคือทราย

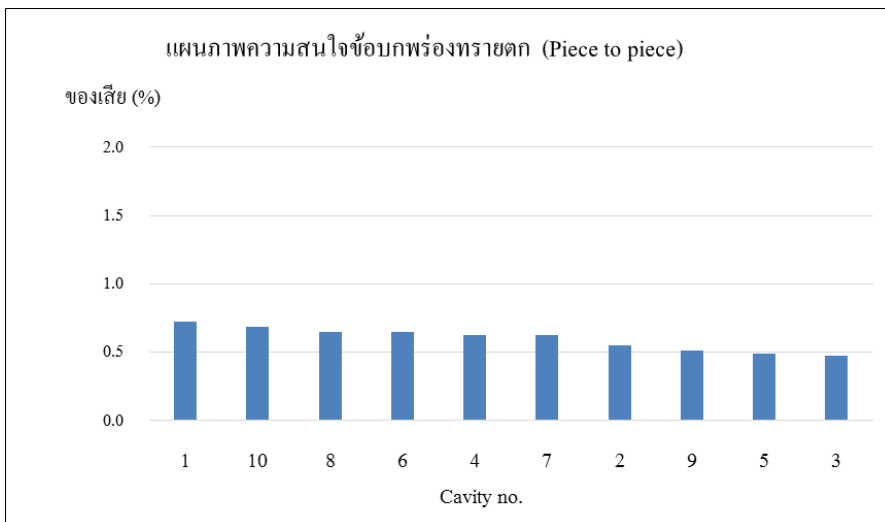
### การวิเคราะห์ความผันแปร

1) วันต่อวัน (Lot to lot) เพื่อตรวจสอบว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นในแต่ละวันแตกต่างกันหรือไม่ จากรูป 3.24 แสดงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันที่มีการผลิตเป็นจำนวน 30 วันต่อเนื่อง พบว่าในแต่ละวันนั้นมีของเสียเกิดขึ้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและไม่มีแนวโน้มที่เห็นได้อย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันการผลิตไม่มีความแตกต่างกัน



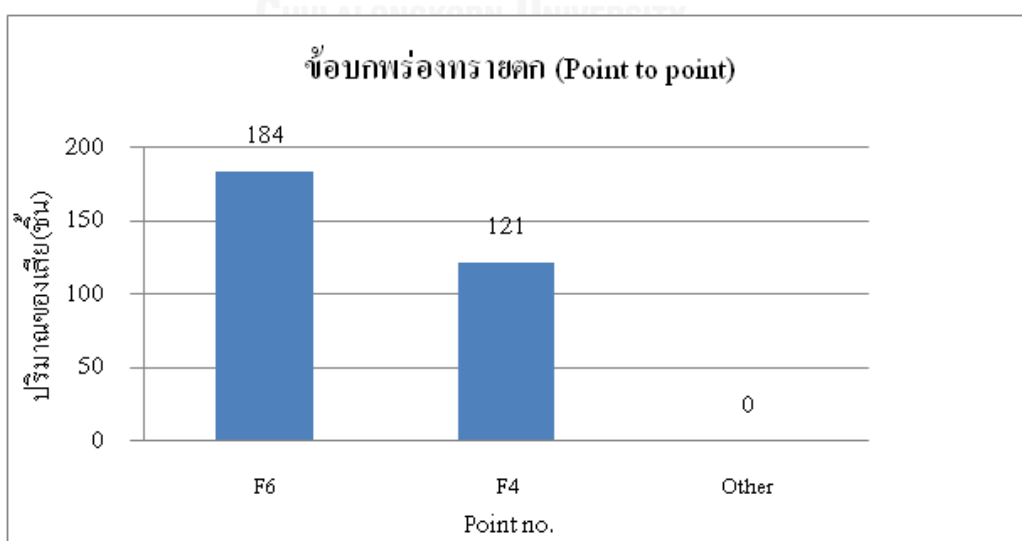
รูปที่ 3.24 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องทรายตกแบบ Lot to lot

2) ชิ้นต่อชิ้น (Piece to piece) เพื่อตรวจสอบว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นบนแม่พิมพ์แต่ละหมายเลขแตกต่างกันหรือไม่ จากรูป 3.25 แสดงข้อมูลปริมาณของเสียแบ่งตามจุดที่เกิดตามตำแหน่งบนแม่พิมพ์หมายเลข 1 ถึง 10 พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในทุกๆหมายเลขมีค่าใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละหมายเลขแม่พิมพ์นั้น ไม่มีความแตกต่างกัน



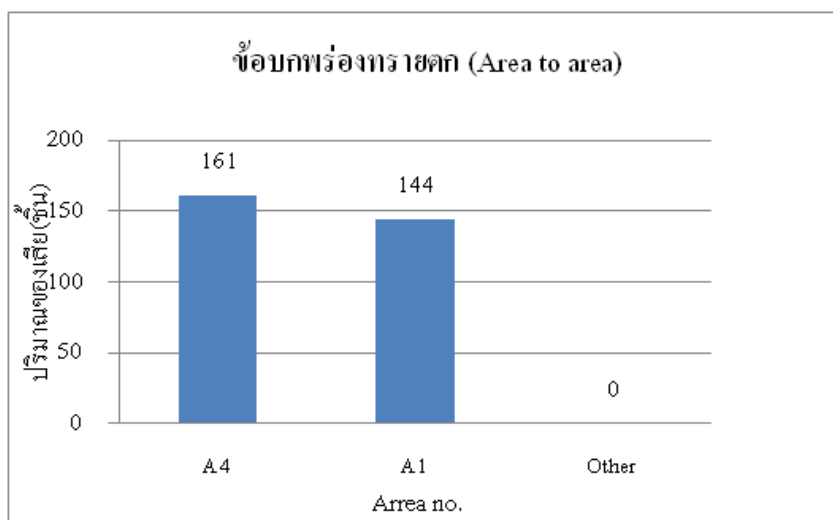
รูปที่ 3.25 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องทรายตกแบบ Piece to piece

3) จุดต่อจุด (Point to point) เพื่อตรวจสอบว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นในตำแหน่งบนชิ้นงานแตกต่างกันหรือไม่ จากตำแหน่งที่กำหนดไว้ใน Check Sheet ได้แบ่งออกเป็น 12 จุดคือ F1 ถึง F6 และ T1 ถึง T6 จากรูป 3.26 แสดงข้อมูลข้อบกพร่องกับตำแหน่งบนชิ้นงาน พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในตำแหน่ง F6 คิดเป็น 60.3% และตำแหน่ง F4 คิดเป็น 39.7% และไม่พบของเสียในตำแหน่งอื่นๆ อีก 10 ตำแหน่ง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดนั้นมีความแตกต่างกัน



รูปที่ 3.26 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องทรายตกแบบ Point to point

4) พื้นที่ต่อพื้นที่ (Area to area) เพื่อตรวจสอบว่าข้อบกพร่องนั้นเกิดขึ้นในตำแหน่งบนแม่พิมพ์แตกต่างกันหรือไม่ จากรูป 3.27 แสดงข้อมูลของเสียกับพื้นที่บนแม่พิมพ์ พบว่าพื้นที่ A4 มีของเสียคิดเป็น 52.8% และพื้นที่ A1 มีของเสียคิดเป็น 47.2% และไม่พบของเสียในพื้นที่อื่นอีก 4 พื้นที่ จึงสรุปได้ว่า ของเสียเกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน



รูปที่ 3.27 แผนภาพแสดงข้อบกพร่องทรายนกแบบ Area to area

จากการวิเคราะห์ความผันแปรโดยใช้แผนภาพความสนใจ สามารถสรุปความผันแปรทั้งหมดดังตารางที่ 3.6



ตารางที่ 3.6 สรุปผลวิเคราะห์ความผันแปรของปัญหาทรายตก

ความผันแปร	ผลการวิเคราะห์
วันต่อวัน ( Lot to lot)	ไม่มีความแตกต่าง
ชิ้นต่อชิ้น (Piece to piece)	ไม่มีความแตกต่าง
จุดต่อจุด (Point to point)	มีความแตกต่าง
พื้นที่ต่อพื้นที่ (Area to area)	มีความแตกต่าง

### 3.5 สรุปผลระยะการกำหนดปัญหา

ข้อบกพร่องประเภทขนาดผิดรูป สามารถสรุปการกำหนดปัญหาได้คือ พบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบจุดต่อจุด (Point to point) ของเสี้ยนที่เกิดขึ้นในตำแหน่ง F6 คิดเป็น 60.3% และตำแหน่ง F4 คิดเป็น 39.7% และพบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ (Area to area) พบว่าพื้นที่ A4 มีของเสี้ยนคิดเป็น 52.8% และพื้นที่ A1 มีของเสี้ยนคิดเป็น 47.2%

ข้อบกพร่องประเภททรายตก สามารถสรุปการกำหนดปัญหาได้คือ ผลจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเศษที่ปนเปื้อนในเนื้อเหล็กมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนสีเข้มกว่าเนื้อเหล็ก แยกตัวจากเนื้อเหล็กไม่หลอมรวมกัน และเมื่อวิเคราะห์ค่าเคมีพบว่า มีธาตุเหล็ก(Fe) 39.5% ออกซิเจน(O) 36.0% ซิลิกอน(Si) 22.4% และอะลูมิเนียม(Al) 2.1% ซึ่งตรงกับธาตุประกอบของทรายคือสารประกอบซิลิกอนออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสิ่งปนเปื้อนที่พบในเนื้อเหล็กคือทราย พบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบจุดต่อจุด(Point to point) ของเสี้ยนที่เกิดขึ้นในตำแหน่ง F6 คิดเป็น 60.3% และตำแหน่ง F4 คิดเป็น 39.7% % และพบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ (Area to area) พบว่าพื้นที่ A4 มีของเสี้ยนคิดเป็น 52.8% และพื้นที่ A1 มีของเสี้ยนคิดเป็น 47.2%

## บทที่ 4

### ระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา

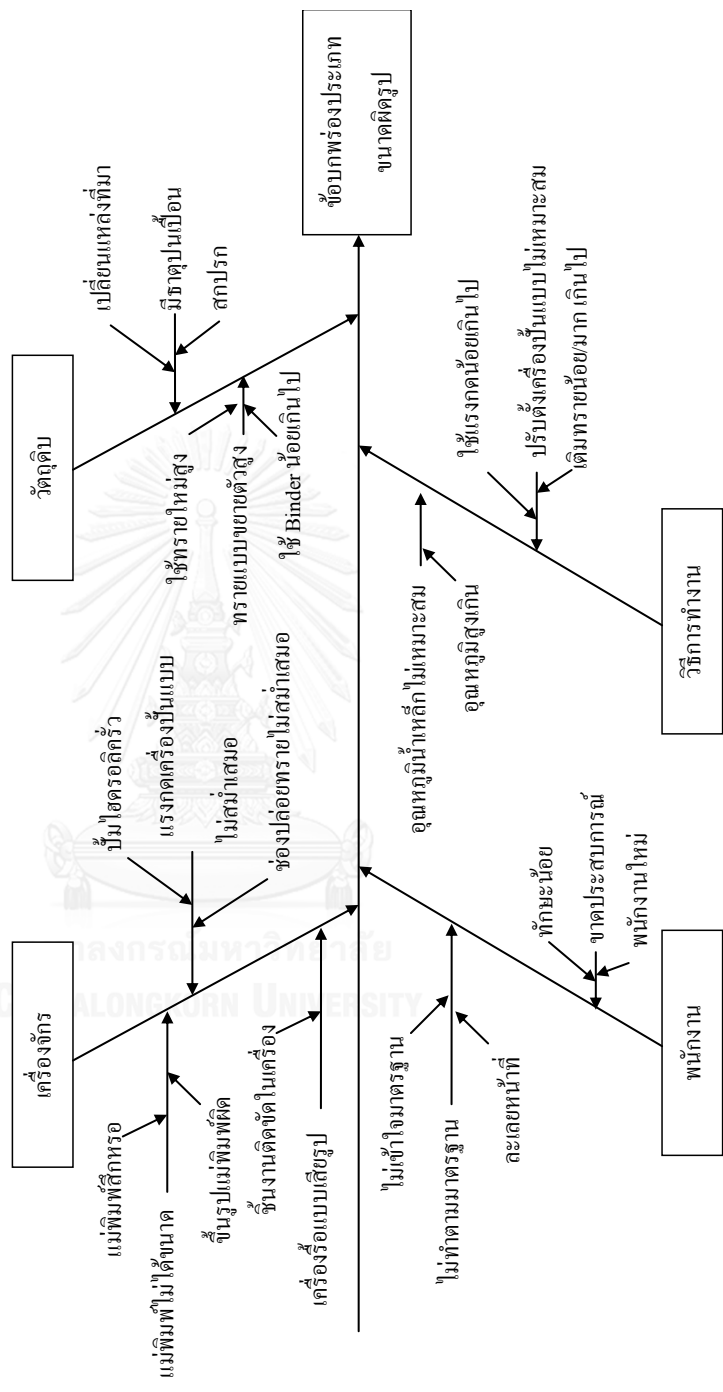
ในระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหานี้ ได้นำเครื่องมือการระดมสมองมาใช้เพื่อระดมสมองกับทีมงานปรับปรุงคุณภาพในการระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา และใช้เครื่องมือผังก้างปลา ในการรวบรวมสาเหตุที่อาจทำให้เกิดปัญหาทั้งหมด เมื่อได้สาเหตุทั้งหมดแล้วจึงนำมาลงคะแนนโดยทีมงานทั้งหมดว่าปัญหาใดมีอิทธิพลกับการเกิดของเสียมากที่สุด โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการระบุสาเหตุเป็นข้อมูลสนับสนุนในการเลือกหาสาเหตุที่แท้จริง เพื่อนำสาเหตุดังกล่าวไปปรับปรุงแก้ไขปัญหาในขั้นตอนต่อไป

#### 4.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากแผนผังก้างปลา

การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้ผังก้างปลาโดยการระดมสมองของทีมงานปรับปรุงคุณภาพที่จัดตั้งขึ้น เพื่อระบุสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจทำให้เกิดปัญหา โดยแบ่งการทำผังก้างปลาออกเป็นสองฝั่งตามจำนวนปัญหาคือ ปัญหาประเภทขนาดผิวดรูปและปัญหาประเภททรายนตก ซึ่งได้ผลการระดมสมองดังนี้

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ผังก้างปลาจากปัญหาขนาดผิวดรูป

การวิเคราะห์ผังก้างปลาจากปัญหาขนาดผิวดรูปแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาข้อบกพร่องประเภทขนาดผิดปกติ

## รายละเอียดของสาเหตุที่ระบุในผังก้างปลาที่มีดังนี้

### 1) ปัญหาในกลุ่มวัตถุดิบ

- แบบทรายขยายตัวสูง
  - ใช้ทรายใหม่สูง เนื่องจากคุณสมบัติของทรายใหม่ที่ไม่เคยผ่านความร้อนสูงมาก่อนจะมีอัตราการขยายตัวสูงกว่าทรายเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในขณะที่ทรายในระบบหมุนเวียนมีน้อย อาจมีการเติมทรายใหม่เข้าไปในจำนวนมาก
  - ใช้Binder น้อยเกินไป เนื่องจากBinder จะเป็นตัวรองรับการขยายตัวของเม็ดทราย หากใช้น้อยเกินไปก็อาจทำให้อัตราการขยายตัวของแบบทรายมีโอกาสขยายตัวได้สูงขึ้น
- มีธาตุนปนเปื้อน
  - วัตถุดิบเปลี่ยนแหล่งที่มา เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆที่ปนมากับวัตถุดิบอาจส่งผลต่ออัตราการหดและขยายตัวของเหล็กได้ การเปลี่ยนแหล่งที่มาจึงอาจทำให้การควบคุมคุณภาพได้ลดลง
  - วัตถุดิบสกปรก การเก็บรักษาวัตถุดิบที่ไม่ดี การบ่งชี้วัตถุดิบไม่ชัดเจนอาจทำให้เกิดการปะปนกันกันของวัตถุดิบ

### 2) ปัญหาในกลุ่มเครื่องจักร อุปกรณ์

- แม่พิมพ์ไม่ได้ขนาด
  - แม่พิมพ์สึกหรอ เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน ขาดการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง ชั้นเคลือบผิวเกิดการกร่อน สึกหรอ
  - ขึ้นรูปแม่พิมพ์ผิด เกิดจากความผิดพลาดของการเขียนโปรแกรมขึ้นรูปแม่พิมพ์ หรือประกอบแม่พิมพ์ผิด
- เครื่องรีอแบบเสียรูป
  - ชิ้นงานติดขัดในเครื่องรีอแบบทำให้ชิ้นงานบิดเบี้ยว เสียรูป เนื่องจากได้รับแรงกระทำขณะชิ้นงานยังมีความร้อนสูง
- เครื่องกดแบบทราย

- ปุ่มไฮดรอลิกเครื่องปั้นแบบร้ว ทำให้ขีดความสามารถในการกดแบบทรายลดลง แรงกระทำต่อแบบทรายลดลง มีผลต่อความแข็งแรงแบบทราย ซึ่งทำให้ชิ้นงานบวมได้
- ช่องปล่อยทรายเครื่องปั้นแบบไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเปิดช่องให้ทรายไหลได้ไม่สะดวก หรือเกิดการอุดตันของช่องปล่อยทรายลงแบบ ทำให้ทรายไหลได้ไม่สม่ำเสมอ

### 3) ปัญหาในกลุ่มพนักงาน

- ไม่ทำตามมาตรฐาน
  - พนักงานไม่เข้าใจมาตรฐาน เนื่องจากขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน หรือเกิดการเข้าใจผิด ตีความผิดในมาตรฐานการทำงาน
  - พนักงานละเลยหน้าที่ เนื่องจากการประพฤตินี้ไม่เหมาะสมในการทำงาน ความไม่พร้อมทางร่างกาย จิตใจของพนักงาน
- ขาดประสบการณ์
  - พนักงานทักษะน้อย ไม่เคยปฏิบัติงานมาก่อน ขาดความชำนาญ ได้รับการฝึกอบรมไม่เพียงพอ
  - พนักงานใหม่ขาดประสบการณ์การทำงาน ดิ้นเดิน ประหม่า ปรับตัวกับสภาพแวดล้อมของโรงงานยังไม่ได้

### 4) ปัญหาในกลุ่มวิธีการทำงาน

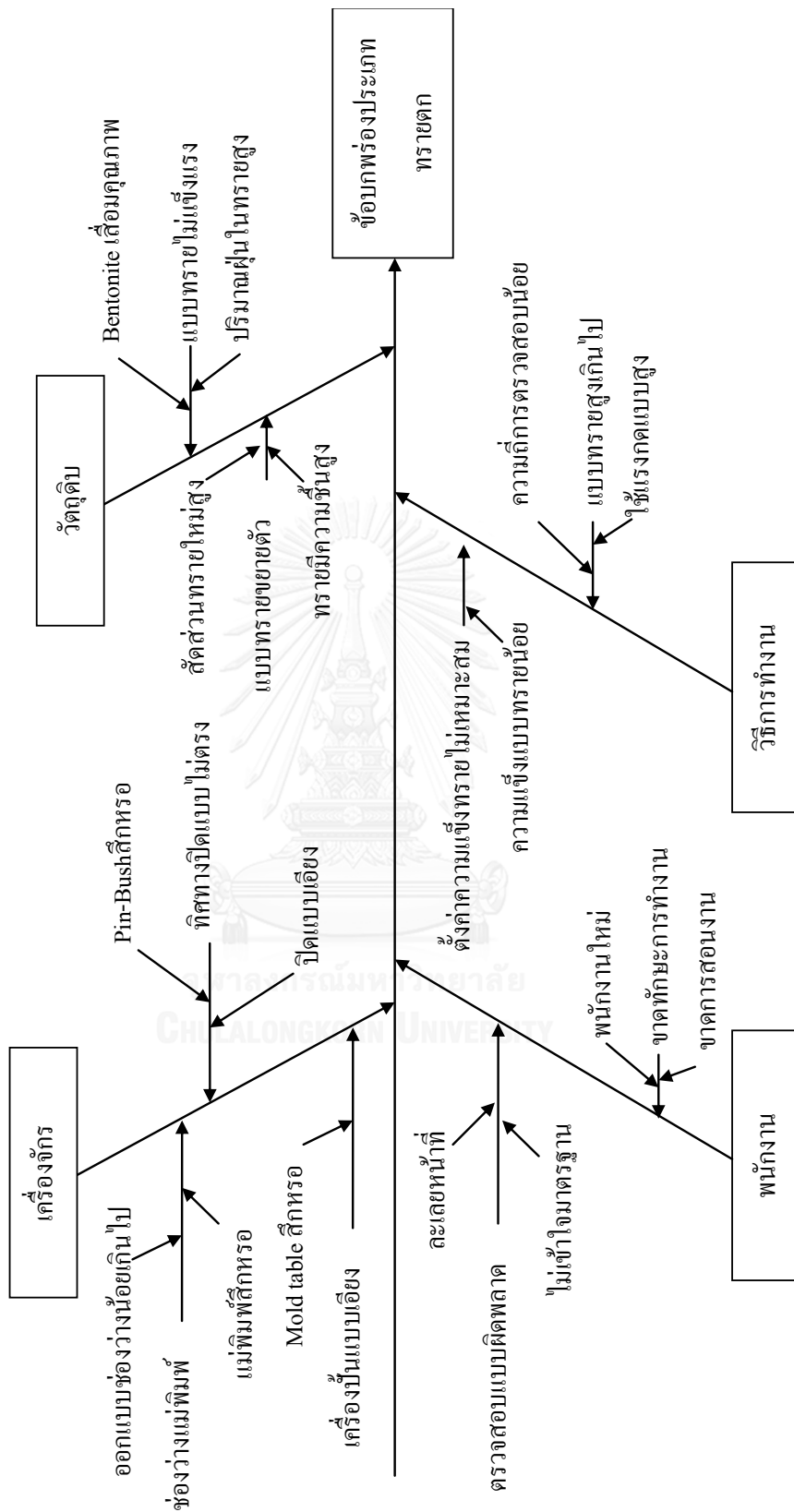
- อุณหภูมิน้ำเหล็กไม่เหมาะสม
  - กำหนดอุณหภูมิน้ำเหล็กสูงเกินไป เนื่องจากกำหนดค่าเผื่อของอุณหภูมิน้ำเหล็กไว้สูงเกินไป การใช้เหล็กที่อุณหภูมิสูงมากๆ ทำให้ชิ้นงานเกิดการขยายตัวได้มากขึ้น
- ปรับตั้งเครื่องปั้นแบบไม่เหมาะสม
  - ใช้แรงกดแบบน้อยเกินไป เนื่องจากการกำหนดแรงกดแบบที่ไม่เหมาะสม การใช้แรงกดน้อยเกินไปทำให้แบบทรายขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูง

- เติมทรายน้อยเกินไป เนื่องจากกำหนดน้ำหนักรายไม่เหมาะสม การเติมทรายในกระบวนการผลิตแต่ละรุ่นอาจใช้ทรายไม่เท่ากัน เพราะปริมาณทรายส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของแบบทราย

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ฟังก์ชันปลาจากปัญหาทรายตก

การวิเคราะห์ฟังก์ชันปลาจากปัญหาทรายตกแสดงดังรูปที่ 4.2





รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาข้อบกพร่องประเภททรายตก

## รายละเอียดของสาเหตุที่ระบุในผังก้างปลาที่มีดังนี้

### 1) ปัญหาในกลุ่มวัตถุดิบ

- แบบทรายขยายตัว
  - สัดส่วนทรายใหม่สูง เนื่องจากคุณสมบัติของทรายใหม่ที่ไม่เคยผ่านความร้อนสูงมาก่อนจะมีอัตราการขยายตัวสูงกว่าทรายเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในขณะที่ทรายในระบบหมุนเวียนมีน้อย อาจมีการเติมทรายใหม่เข้าไปในจำนวนมาก
  - ทรายมีความชื้นสูง เนื่องจากการเติมน้ำในการผสมทรายในปริมาณที่สูงมาก ทำให้ความแข็งของแบบทรายลดลง ง่ายต่อการเกิดแบบทรายพัง
- แบบทรายไม่แข็งแรง
  - Bentonite เสื่อมคุณภาพ เนื่องจากคุณภาพของดินเหนียว (Bentonite) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (Binder) ให้แบบทรายมีความแข็งแรง หาก Bentonite คุณภาพต่ำก็ทำให้แบบทรายเกิดความเสียหายได้ง่าย
  - ปริมาณฝุ่นในทรายสูง เนื่องจากการกำจัดฝุ่นออกจากระบบทรายได้ไม่ดีพอ ทำให้ทรายมีฝุ่นเป็นจำนวนมาก ทำให้การจับตัวเป็นรูปทรงของเม็ดทรายลดลง

### 2) ปัญหาในกลุ่มเครื่องจักร อุปกรณ์

- ช่องว่างแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม
  - ออกแบบช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไป เนื่องจากค่าเผื่อในการออกแบบแม่พิมพ์ไม่เหมาะสมความสามารถในการผลิต การออกแบบช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไปทำให้เกิดปัญหาที่กระบวนการหลังปิดแบบแล้วเกิดทรายพัง
  - แม่พิมพ์สึกหรอ เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน ขาดการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง ชั้นเคลือบผิวเกิดการกร่อน สึกหรอ
- เครื่องปั้นแบบเอียง



- Mold table เครื่องปั้นแบบเอียง เนื่องจากการ Setup เครื่องจักรไม่ได้ตามมาตรฐาน หรือเครื่องจักรมีการเสื่อมสภาพ สึกหรือ ทำให้ความแม่นยำในการควบคุมระดับลดลง
- Pin-Bush สึกหรือ เนื่องจากสภาพการใช้งานท่ามกลางความร้อนสูง การเสียดสีกันของ Pin-Bush ที่เคลื่อนที่เข้าหากันในกระบวนการปิดแบบ
- ปิดแบบเอียง เนื่องจากการ Setup เครื่องจักรไม่ได้ตามมาตรฐาน หรือเครื่องจักรมีการเสื่อมสภาพ สึกหรือ ทำให้ความแม่นยำในการควบคุมระดับลดลง

### 3) ปัญหาในกลุ่มพนักงาน

- พนักงานตรวจสอบผิดพลาด
  - พนักงานไม่เข้าใจมาตรฐาน เนื่องจากขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน หรือเกิดการเข้าใจผิด ตีความผิดในมาตรฐานการทำงาน
  - พนักงานละเลยหน้าที่ เนื่องจากการประพฤติน่าไม่เหมาะสมในการทำงาน ความไม่พร้อมทางร่างกาย จิตใจของพนักงาน
- ขาดประสบการณ์
  - ขาดการสอนงาน ได้รับการฝึกอบรมงานไม่เพียงพอ
  - พนักงานใหม่ขาดประสบการณ์การทำงาน ดิ้นเด่น ประหม่า ปรับตัวกับสภาพแวดล้อมของโรงงานยังไม่ได้

### 4) ปัญหาในกลุ่มวิธีการทำงาน

- ตั้งค่าความแข็งแรงทรายไม่เหมาะสม
  - ค่าความแข็งแรงแบบทรายน้อย เนื่องจากการตั้งค่าสำหรับการผลิตในแต่ละรุ่น อาจมีความแตกต่างกัน
- แบบทรายสูงเกินไป
  - ความถี่ในการตรวจสอบน้อย เนื่องจากเกิดความไม่สม่ำเสมอของความสูงแบบทราย การสุ่มตรวจสอบอาจจะมีค่าถี่ไม่พอที่จะสามารถตรวจหาแบบที่เสีย

- ใช้แรงกดแบบน้อย เนื่องจากการกำหนดแรงกดแบบที่ไม่เหมาะสม การใช้แรงกดน้อยเกินไปทำให้แบบทรายมีความแข็งแรงต่ำ เสียรูปได้ง่าย

#### 4.2 การพิจารณาคัดเลือกสาเหตุหลักของปัญหา

หลังจากการระดมสมองหาสาเหตุของปัญหาออกมาเป็นผังก้างปลาแล้ว พบว่ามีสาเหตุที่อาจเป็นไปได้จำนวนมาก ในขั้นตอนนี้จะทำการคัดเลือกสาเหตุที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหามากที่สุด โดยให้ทีมงานปรับปรุงคุณภาพที่จัดตั้งขึ้นนั้นลงความเห็นโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการกำหนดปัญหามาเป็นข้อมูลสนับสนุนการคัดเลือกสาเหตุของปัญหา โดยมีเกณฑ์การลงคะแนนในแบบสอบถามดังนี้

เกณฑ์การให้คะแนนการมีส่วนในการเกิดปัญหา

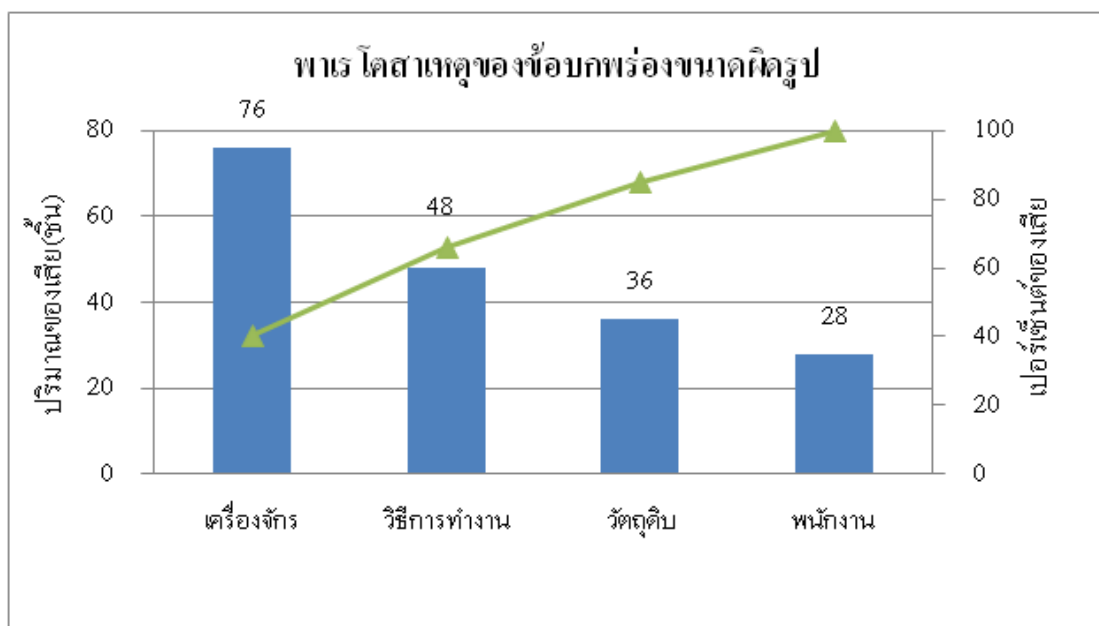
- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 0 | ไม่เกี่ยวข้อง                |
| 1 | อาจมีส่วนเกี่ยวข้อง          |
| 2 | มีผลแต่น้อย                  |
| 3 | มีผลระดับปานกลาง             |
| 4 | มีผลมาก                      |
| 5 | เชื่อว่าเป็นสาเหตุหลักแน่นอน |

ผลของแบบสำรวจการหาสาเหตุของปัญหาขนาดผิกรุปแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการคัดกรองหาสาเหตุของปัญหาขนาดผิดปกติ

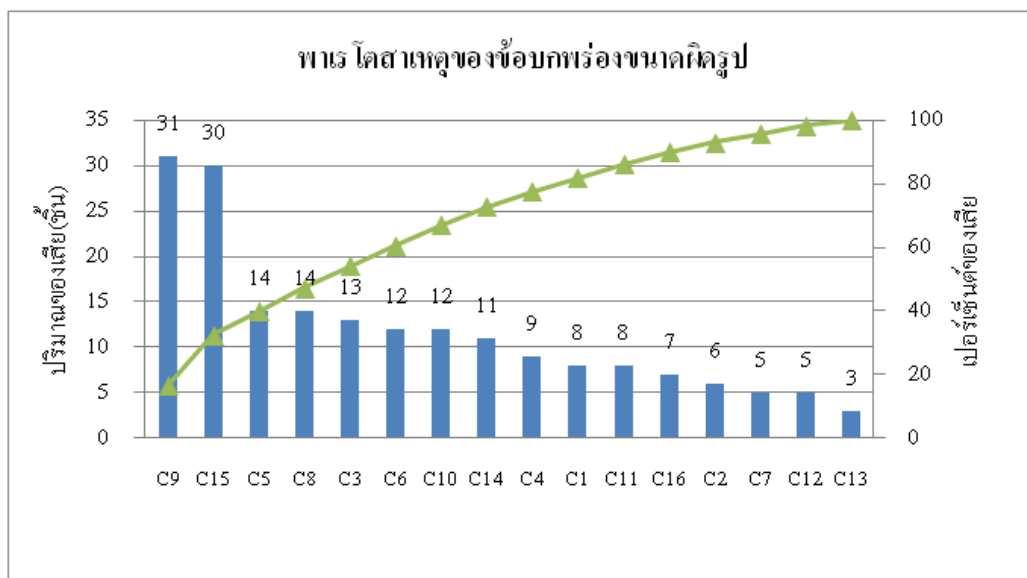
แหล่งที่มา	ลำดับที่	รหัส	สาเหตุของปัญหา Dimension NG	คะแนน											รวม	รวมจากแหล่งที่มา	
				ผู้จัดการส่วนเตรียมการผลิต	วิศวกรเตรียมการผลิต	วิศวกรออกแบบงานหล่อโลหะ	วิศวกรฝ่ายผลิต	วิศวกรคุณภาพ	ช่างเทคนิค	วิศวกรพัฒนาผลิตภัณฑ์ (ผู้วิจัย)	ที่ปรึกษาเทคนิคงานหล่อ (บุคคลภายนอก)	รวม					
วัตถุดิบ	1	C1	ใช้ทรายใหม่สูง	1	0	1	2	0	1	1	2	0	1	1	2	8	
	2	C2	ใช้ Binder หรือเกินไป	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	2	6	
	3	C3	วัตถุดิบเปียกแฉะเกินไป	1	1	1	3	0	2	2	0	2	2	3	13		36
	4	C4	วัตถุดิบสกปรก	0	0	1	0	3	1	2	2	0	2	2	9		
	5	C5	แม่พิมพ์ลึกรหรือ	2	2	2	2	3	3	0	2	1	1	1	14		
	6	C6	ขึ้นรูปแม่พิมพ์ผิด	1	1	4	0	1	1	1	2	2	2	2	12		
เครื่องจักร	7	C7	ขึ้นงานติดขัดในเครื่องรีดแบบ	1	0	1	0	0	2	3	0	2	0	1	5		76
	8	C8	มีไฮดรอลิกเครื่องรีดแบบรั่ว	2	2	2	0	2	3	2	1	1	1	14			
	9	C9	ช่องปล่อยทรายเครื่องรีดแบบไม่สม่ำเสมอ	4	3	4	5	4	3	4	4	4	4	31			
	10	C10	พนักงานไม่เข้าใจมาตรฐาน	1	0	0	1	1	4	3	2	2	2	12			
	11	C11	พนักงานละเลยหน้าที่	1	0	0	1	0	1	2	3	8	8	28			
	12	C12	พนักงานทักษะน้อย	2	0	0	1	0	1	1	5	5	3	11			
	13	C13	พนักงานใหม่ขาดประสบการณ์	1	0	0	1	0	1	0	1	0	3	11			
	14	C14	กำหนดอุณหภูมิไม่เสถียรเกินไป	3	0	0	1	2	1	2	2	2	2	11			
	15	C15	ใช้แรงกดแบบน้อยเกินไป	4	3	5	4	2	4	4	4	4	4	30		48	
16	C16	เติมทรายน้อยเกินไป	2	0	2	0	0	0	0	1	2	7					

จากผลการลงความเห็นจากทีมงานปรับปรุงคุณภาพพบว่ากลุ่มที่ของสาเหตุที่มาจกเครื่องจักรคิดเป็น 40.4% วิธีการทำงานคิดเป็น 25.5% วัสดุคิดเป็น 19.1% และพนักงานคิดเป็น 14.9% ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 พาริโตสาเหตุข้อบกพร่องขนาดผิครูป

ในส่วนที่เป็นสาเหตุหลักมาจาก รหัส C9 ช่องปล่อยทรายเครื่องปั้นไม้ส่ม่าเสมอ คิดเป็น 16.5% และรหัส C15 ใช้แรงกดแบบทรายน้อยเกินไปคิดเป็น 16.0% และสาเหตุอื่นลดลงตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยที่สาเหตุ C9และ C15 มีปริมาณสูงใกล้เคียงกัน และสาเหตุอื่นๆลดลงกว่าครึ่งหนึ่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสาเหตุ C9 และ C15 นำไปออกแบบการทดลองในขั้นต่อไปเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา



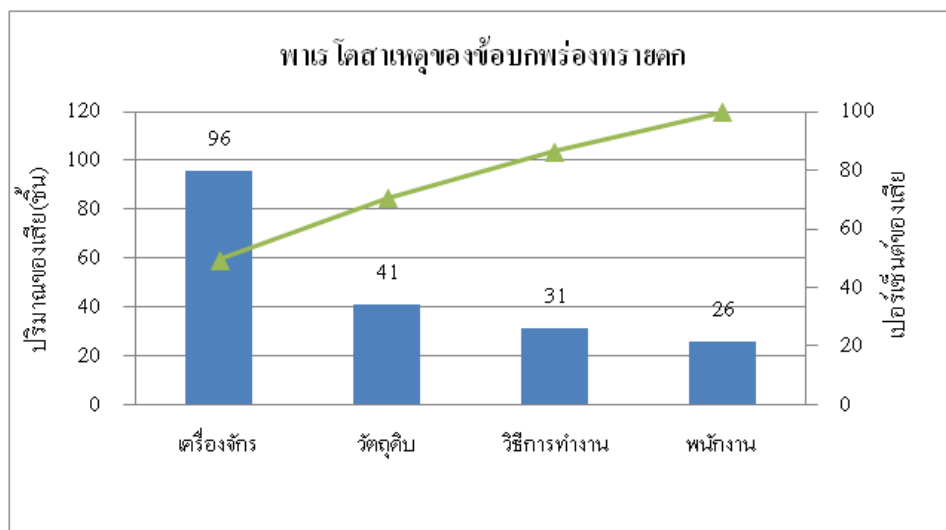
รูปที่ 4.4 พาเรโตสาเหตุของข้อบกพร่องขนาดเม็ดรูป



ตารางที่ 4.2 ผลการคัดกรองหาสาเหตุของปัญหาทรายตก

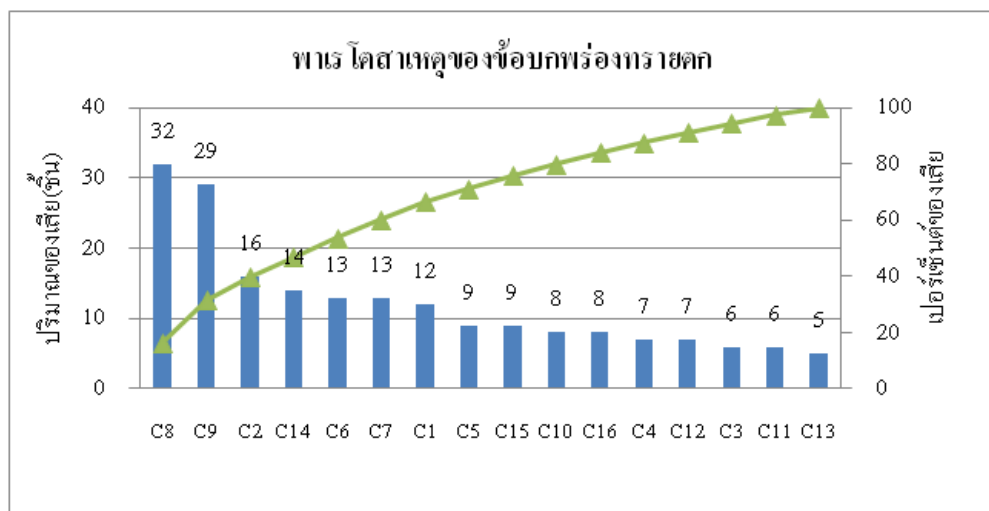
แหล่งที่มา	ลำดับที่	รหัส	ผู้ดำเนินการส่วน	คะแนน										รวม	รวมจากแหล่งที่มา
				ผู้ดำเนินการเตรียมการผลิต	วิศวกรเตรียมการผลิต	วิศวกรออกแบบงานหล่อโลหะ	วิศวกรฝ่ายผลิต	วิศวกรคุณภาพ	ช่างเทคนิค	วิศวกรพัฒนาผลิตภัณฑ์ (ผู้วิจัย)	ที่ปรึกษาเทคนิคงานหล่อ (บุคคลภายนอก)	รวม			
วัตถุดิบ	1	C1	สัดส่วนทรายใหม่สูง	0	1	2	3	0	2	2	2	2	2	12	
	2	C2	ทรายมีความชื้นสูง	2	1	3	3	0	2	3	2	3	2	16	41
	3	C3	Beantomeเสื่อมคุณภาพ	0	0	0	3	0	3	0	2	1	0	6	
	4	C4	ปริมาณฝุ่นในทรายสูง	1	0	0	0	1	2	3	0	7	0	7	
	5	C5	ออกแบบช่องว่างแม่พิมพ์น้อยเกินไป	2	0	1	0	2	2	0	2	0	2	9	
	6	C6	แม่พิมพ์สึกหรอ	2	2	2	1	2	2	0	2	2	2	13	
เครื่องจักร	7	C7	Mold table เครื่องปั้นแม่แบบแข็ง	3	0	2	2	1	0	3	2	13	96		
	8	C8	Pan-Bush ลีทหรือ	4	3	5	5	4	4	4	4	3	32		
	9	C9	ปิดแม่แบบแข็ง	5	3	3	3	4	5	4	2	29			
	10	C10	พนักงานดูแลรถยนต์	0	1	1	1	3	0	0	2	8			
	11	C11	พนักงานไม่เข้าใจมาตรฐาน	0	0	0	1	0	2	2	1	6	26		
พนักงาน	12	C12	พนักงานใหม่	1	1	0	0	0	1	2	2	7			
	13	C13	พนักงานขาดการสื่อสาร	1	1	0	0	1	0	1	1	5			
	14	C14	ค่าความแข็งแรงทรายไม่เหมาะสม	3	0	3	1	2	2	2	1	14			
วิธีการทำงาน	15	C15	ความถี่ในการตรวจสอบน้อย	0	0	2	2	1	2	2	2	0	9	31	
	16	C16	ไม่เรียงคานเบรค	0	0	1	3	2	0	0	2	8			

จากผลการลงความเห็นจากทีมงานปรับปรุงคุณภาพพบว่ากลุ่มที่ของสาเหตุที่มาจากเครื่องจักรคิดเป็น 49.5% วัสดุคิดเป็น 21.1% วิธีการทำงานคิดเป็น 16.0% และพนักงานคิดเป็น 13.4% ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 พาเรโตสาเหตุของข้อบกพร่องทรายนก

ในส่วนที่เป็นสาเหตุหลักมาจาก รหัสC8 Pin-Bushสึกหรอ คิดเป็น 16.5% และรหัสC9 ปิดแบบเอียงคิดเป็น 14.9% และสาเหตุของปัญหาอื่น ๆ ลดลงตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยที่สาเหตุ C8 และ C9 มีปริมาณสูงใกล้เคียงกัน และสาเหตุอื่น ๆ ลดลงกว่าครึ่งหนึ่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสาเหตุ C8 และ C9 นำไปออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไปเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา



รูปที่ 4.6 พาเรโตสาเหตุของข้อบกพร่องทรายนค

#### 4.3 สรุปผลระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา

จากการศึกษาหาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาได้นำข้อมูลจากการกำหนดปัญหา การระบุความแตกต่างของความผันแปรที่ทำให้เกิดของเสียในรูปแบบที่มีความแตกต่างกัน นำมาวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ว่าปัจจัยใดเป็นสาเหตุหลักในการเกิดปัญหา โดยการลงความเห็นของทีมงานที่จัดตั้งขึ้น

ลักษณะข้อบกพร่องประเภทขนาดผิดรูป พบว่ากลุ่มที่ของสาเหตุที่มาจากเครื่องจักรคิดเป็น 40.4% วิธีการทำงานคิดเป็น 25.5% วัตถุดิบคิดเป็น 19.1% และพนักงานคิดเป็น 14.9% ในส่วนที่เป็นสาเหตุหลักมาจาก รหัส C9 ช่องปล่อยทรายเครื่องปั้นไม่สม่ำเสมอ คิดเป็น 16.5% และรหัส C15 ใช้แรงกดแบบทรายน้อยเกินไปคิดเป็น 16.0% และสาเหตุอื่นลดลงตามลำดับ โดยที่สาเหตุ C9 และ C15 มีปริมาณสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสาเหตุ C9 และ C15 นำไปออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไปเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา

ลักษณะข้อบกพร่องประเภททรายนค พบว่ากลุ่มที่ของสาเหตุที่มาจากเครื่องจักรคิดเป็น 49.5% วัตถุดิบคิดเป็น 21.1% วิธีการทำงานคิดเป็น 16.0% และพนักงานคิดเป็น 13.4% ในส่วนที่เป็นสาเหตุหลักมาจาก รหัส C8 Pin-Bush ลึกหรือ คิดเป็น 16.5% และรหัส C9 ปิดแบบเอียงคิดเป็น 14.9% และสาเหตุของปัญหาอื่นลดลงตามลำดับ โดยที่สาเหตุ C8 และ C9 มีปริมาณสูงใกล้เคียง



กัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสาเหตุ C8 และ C9 นำไปออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไปเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา



## บทที่ 5

### ระยะการหาวิธีการแก้ไข้ปัญหา

เมื่อได้ข้อสรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาจากการระดมสมองของทีมงานแล้ว ต่อไปเป็นขั้นตอนการหาวิธีการแก้ไข้ปัญหา โดยจะทำการพิสูจน์สาเหตุที่แท้จริงและแนวทางการแก้ไข้ปัญหา โดยใช้เครื่องมือ Pair Comparison ออกแบบการทดลองแบบไชนินเปรียบเทียบสิ่งที่ดีที่สุด (Best of best (BOB)) กับสิ่งที่แย่ที่สุด (Worst of worst (WOW)) เพื่อระบุลักษณะทางเทคนิคที่ต้องการปรับปรุง เมื่อได้ลักษณะทางเทคนิคที่ต้องปรับปรุงและข้อขัดแย้งทางเทคนิคแล้วจะแก้ไข้ปัญหาด้วยเครื่องมือแก้ไข้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) และคัดกรองแนวคิดด้วยตารางถ่วงน้ำหนัก (Weight Sum Method) และนำมาออกแบบการทดลองอีกครั้งเพื่อหาระดับของปัจจัยที่ดีที่สุด

#### 5.1 วิธีการเปรียบเทียบสิ่งที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด

##### 5.1.1 ปัญหาขนาดจิ๋วรูป

จากแผนภาพความสนใจและการลงความเห็นของทีมงานปรับปรุงคุณภาพได้สรุปปัจจัยที่อาจทำให้เกิดปัญหาประเภทขนาดจิ๋วรูป คือ แรงกดแบบทราย และช่องปล่อยทราย จึงนำมาออกแบบการทดลองแบบไชนินเปรียบเทียบ โดยการสลับตำแหน่งสิ่งที่ดีที่สุด (BOB) กับสิ่งที่แย่ที่สุด (WOW) ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ลำดับการออกแบบการทดลอง

การทดลองที่	แรงกดแบบทราย	ช่องปล่อยทราย
1	BOB	BOB
2	BOB	WOW
3	WOW	BOB
4	WOW	WOW

โดยที่การกำหนดค่าเป็นไปดังนี้

- แรงกดแบบที่ดีที่สุด (BOB) คือ ใช้แรงกด 21 MPa เนื่องจากเครื่องจักรในโรงงานกรณีศึกษามีขีดจำกัดในการสร้างแรงกดได้สูงสุดโดยการปรับโหมด High ซึ่งมีค่าสูงสุด 21 MPa
- แรงกดแบบที่แย่ที่สุด (WOW) คือ ใช้แรงกด 12 MPa เนื่องจากเครื่องจักรในโรงงานกรณีศึกษามีข้อจำกัดในการสร้างแรงกดน้อยที่สุดในการปฏิบัติการโดยการปรับโหมด Low ซึ่งมีค่าต่ำสุด 12 MPa
- ช่องปล่อยทรายที่ดีที่สุด (BOB) คือ เปิดช่องปล่อยทราย 100% ซึ่งกำหนดจากสภาพการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องจักร กล่าวคือการเปิดช่องทรายโดยไม่มีสิ่งกีดขวางหรือเกิดการอุดตัน โดยในการดำเนินการทดลองจะทำการทำความสะอาดและตรวจสอบช่องปล่อยทรายด้วยสายดาก่อนทำการทดลองในแต่ละครั้ง
- ช่องปล่อยทรายที่แย่ที่สุด (WOW) คือ เปิดช่องปล่อยทราย 70% การกำหนดค่าดังกล่าวเกิดจากข้อมูลในการทำการผลิตจริงนั้นมีโอกาสที่ช่องปล่อยทรายมีการอุดตันได้อันเนื่องจากการขาดการทำความสะอาดเครื่องจักรเป็นเวลานานจึงทำให้เกิดการอุดตันของช่องปล่อยทราย ซึ่งกรณีที่มีค่าการเปิดช่องทรายต่ำสุดคือ 70%

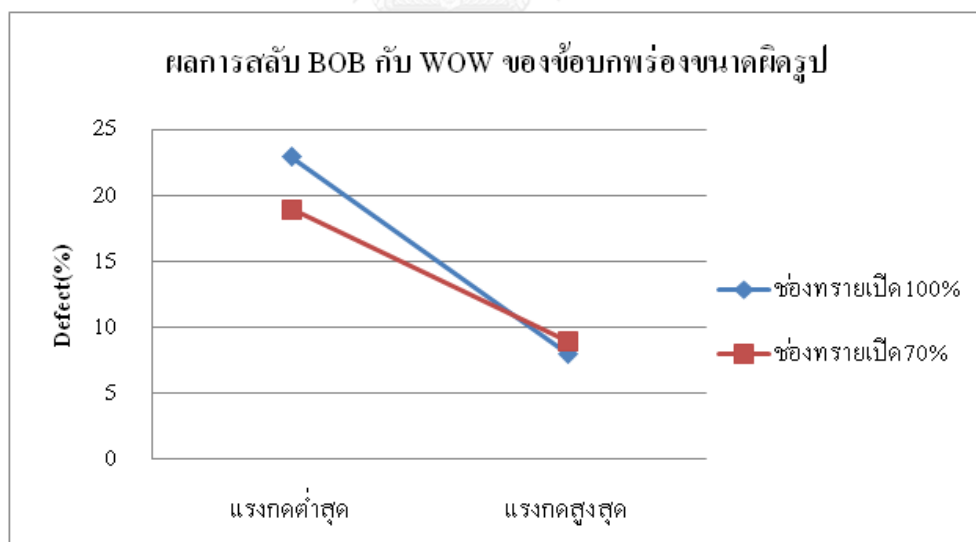
ตัวแปรตาม (Response) คือ สัดส่วนของเสียประเภทขนาดผิครูปมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โดยในการทดลอง 1 ครั้ง ได้ชิ้นงานรวม 100 ชิ้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองปัญหาขนาดผิดรูป

	ช่องปล่อยทรายเปิด100%	ช่องปล่อยทรายเปิด 70%
แรงกดสูงสุด	23	19
แรงกดต่ำสุด	8	9

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ แสดงดังรูปที่ 5.1 การสลับสิ่งที่ดีที่สุด (BOB) กับแย่ที่สุด (WOW) กับปัจจัยแรงกดแบบและช่องทราย พบว่าเมื่อใช้แรงกดแบบแย่ที่สุด (WOW) กับช่องทรายเปิดแบบดีที่สุด (BOB) มีอัตราของเสียเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้แรงกดแบบดีที่สุด (BOB) กับช่องทรายเปิดแบบแย่ที่สุด (WOW) มีอัตราของเสียลดลง แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทขนาดผิดรูปคือ แรงกดแบบ



รูปที่ 5.1 แผนภูมิผลการสลับ BOB กับ WOW ของข้อบกพร่องขนาดผิดรูป

### 5.1.2 ปัญหาทรายนอก

จากแผนภาพความสนใจและการลงความเห็นของทีมงานปรับปรุงคุณภาพได้สรุปปัจจัยที่อาจทำให้เกิดปัญหาประเภททรายนอกคือ มุมการปิดแบบ และช่องว่าง Pin-Bush นำมาออกแบบการทดลองแบบไซนินเปรียบเทียบโดยการสลับตำแหน่งสิ่งที่ดีที่สุด (BOB) กับสิ่งที่แย่ที่สุด (WOW) มีลำดับการทดลองดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ลำดับการออกแบบการทดลอง

การทดลองที่	มุมการปิดแบบ	ช่องว่าง Pin-Bush
1	BOB	BOB
2	BOB	WOW
3	WOW	BOB
4	WOW	WOW

โดยที่การกำหนดค่าเป็นไปดังนี้

- มุมการปิดแบบที่ดีที่สุด (BOB) คือปรับระดับมุมการปิดแบบเป็น 0.0 องศาบนแนวราบ เนื่องจากมุมการปิดแบบที่ดีที่สุดเกิดจากการที่แบบฝาบนและฝาล่างมีความขนานกัน เพื่อให้แบบทรายของทั้งสองฝาแนบกันอย่างสนิท ดังนั้นมุมการปิดแบบที่ดีที่สุดจึงเป็น 0.0 องศา
- มุมการปิดแบบที่แย่ที่สุด (WOW) คือปรับระดับมุมการปิดแบบเป็น 5.0 องศาบนแนวราบ เนื่องจากการใช้งานเครื่องจักรเป็นเวลานานทำให้เครื่องจักรเกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีค่ามากที่สุด 5 องศา
- ช่องว่าง Pin-Bush ที่ดีที่สุด (BOB) คือ ระยะ 0.2 mm. โดยใช้ Pin-Bush ใหม่ที่ไม่มีการสึกหรอ ซึ่งมีระยะช่องว่างมีค่าเท่ากับ 0.2 mm. เป็นค่าที่ดีที่สุด

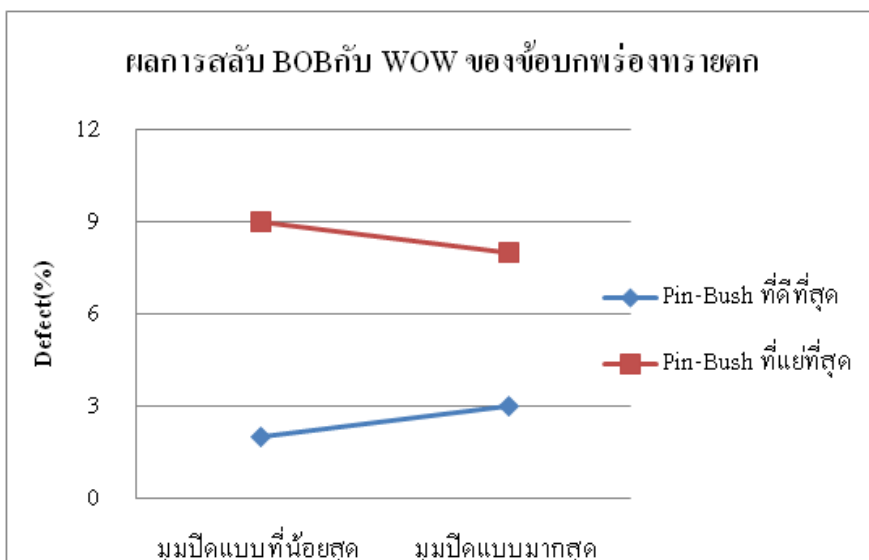
- ช่องว่าง Pin-Bush ที่แคบที่สุด (WOW) คือ ระยะ 1.4 mm. โดยใช้ Pin-Bush เก่าที่มีการสึกหรอมากที่สุดเกินค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.4 mm.

ตัวแปรตาม (Response) คือจำนวนของเสียประเภททรายตก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยในการทดลอง 1 ครั้ง ได้ชิ้นงานรวม 100 ชิ้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองปัญหาทรายตก

	ช่องว่าง Pin-Bush ที่ดีที่สุด (BOB)	ช่องว่าง Pin-Bush ที่แคบที่สุด (WOW)
มุมการปิดแบบที่ดีที่สุด (BOB)	2	9
มุมการปิดแบบที่แคบที่สุด (WOW)	3	8

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาพลอตกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ แสดงดังรูปที่ 5.2 แสดงการสลับสิ่งที่ดีที่สุด (BOB) กับแคบที่สุด (WOW) กับปัจจัยมุมปิดแบบและช่องว่าง Pin-Bush พบว่าเมื่อใช้มุมปิดแบบแคบที่สุด (WOW) กับช่องว่าง Pin-Bush ดีที่สุด (BOB) มีอัตราของเสียลดลง และเมื่อใช้มุมปิดแบบดีที่สุด (BOB) กับช่องว่าง Pin-Bush แบบแคบที่สุด (WOW) มีอัตราของเสียเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภททรายตกคือ ช่องว่าง Pin-Bush



รูปที่ 5.2 แผนภูมิผลการสลับ BOB กับ WOW ของข้อบกพร่องทรายตก

## 5.2 การหาแนวทางแก้ไขปัญหาคัดความขัดแย้งทางเทคนิค

เมื่อได้ปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหาแล้ว ทำการหาแนวทางแก้ไขปัญหามีข้อขัดแย้งทางเทคนิค กล่าวคือเมื่อแก้ปัญหาหนึ่งให้ดีขึ้นแล้วมีผลกระทบต่อสิ่งอื่นในทางที่แย่ง ดังนั้นจึงใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างสรรค์แนวคิดในการแก้ไขปัญหาลได้อย่างเหมาะสม

### 5.2.1 ใช้ TRIZ แก้ไขปัญหาคัดความขัดแย้ง

ลำดับการแก้ปัญหาคัดความขัดแย้งของ TRIZ ดังนี้

- 1.) วิเคราะห์ระบบทางเทคนิคของปัญหาที่ต้องแก้ไขคือแรงกดแบบทรายซึ่งตรงกับปัญหาทางเทคนิค 39 ข้อของ TRIZ คือ ข้อที่ 11 Pressure แรงดัน
- 2.) ระบุข้อขัดแย้งทางเทคนิคของการแก้ไขการเพิ่มแรงกดคือ ซีดความสามารถของเครื่องจักรไม่สามารถสร้างแรงดันได้เกินค่าที่ดีที่สุด (BOB) แล้ว ตรงกับข้อขัดแย้ง 39 ข้อของ TRIZ คือ ข้อที่ 32 Manufacturability ความสามารถในการผลิตมีขีดจำกัด

- 3.) แก้ไขข้อขัดแย้งทางเทคนิค โดยใช้ข้อเสนอแนะจากตารางTRIZ ได้แนะนำข้อ #1, #35 และ #16 ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ TRIZ

ลักษณะที่ต้องปรับปรุง	ความขัดแย้งทางเทคนิค	วิธีแก้ปัญหา จากตาราง TRIZ	แนวคิด
เพิ่มแรงกดแบบ No.11 Pressure	ความสามารถในการเพิ่มแรงกดมีข้อจำกัด (No.32 Manufacturability)	#1 การแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ (Segmentation) #35 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติ (Transformation properties) #16 กระทำเพียงบางส่วนหรือกระทำให้มากเกินไป (Partial or Excessive Action)	1 เพิ่มจุดกดแบบทรายแบบเฉพาะจุด 2 การเพิ่มปริมาณทราย 3 เพิ่มจำนวนครั้งในการกดแบบทราย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากนั้นนำข้อเสนอแนะมาระดมสมองกับทีมงานเพื่อออกแบบแนวทางแก้ไขปัญหา โดยกรอบในการออกแบบแนวคิดการแก้ไขปัญหาก็ใช้ข้อเสนอวิธีการแก้ปัญหาจากตาราง TRIZ ดังนี้  
แนวคิดที่ 1 จากTRIZ No#1 การแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ (Segmentation) เพิ่มจุดกดแบบทรายแบบเฉพาะจุด อธิบายดังตารางที่ 5.6

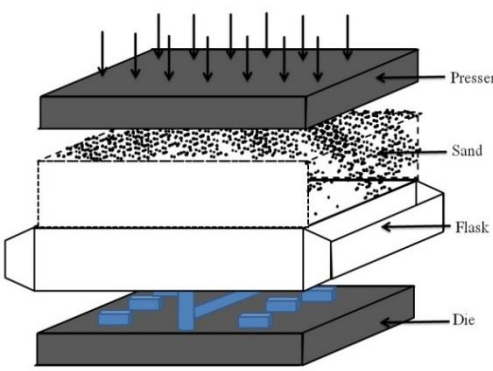
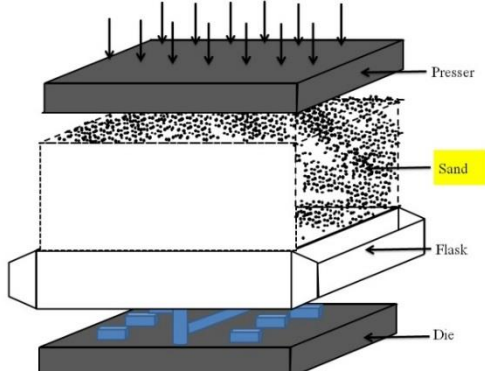


ตารางที่ 5.6 แนวคิดเพิ่มจุดกดแบบทรายแบบเฉพาะจุด

สภาพปัจจุบัน	แนวคิดการปรับปรุงที่ 1
<div data-bbox="309 546 778 875" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="284 1016 400 1055">คำอธิบาย</p> <p data-bbox="284 1106 820 1413">กระบวนการขึ้นแบบโดยมีแม่พิมพ์(Die) เป็นรูปร่างแม่แบบอยู่ตำแหน่งล่างสุด ถูกกดอัดด้วยทรายผ่านเครื่องกดแบบไฮดรอลิก แล้วถอดแม่พิมพ์ออก ทำให้ได้รูปร่างแบบ (Mold) ที่ต้องการบรรจุอยู่ในหีบแบบ (Flask)</p>	<div data-bbox="863 562 1353 920" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="847 1016 963 1055">คำอธิบาย</p> <p data-bbox="847 1106 1369 1742">Segmentation โดยการเพิ่มกระบอกกด (Pressing cylinder) ที่เครื่องกดแบบ เพื่อลดปริมาตรของทรายแบบเฉพาะจุดเพื่อให้การกระจายตัวของทรายดีขึ้น เนื่องจากการกดแบบเดิมนั้นเป็นแผ่นเรียบ หากการกระจายตัวของทรายไม่มีความสม่ำเสมอ จะทำให้ได้หน้าแบบทรายมีความแข็งแรงไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นการเพิ่มกระบอกกดแบบทรายเฉพาะจุด จะทำให้สามารถเลือกพื้นที่เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแบบทรายได้</p>

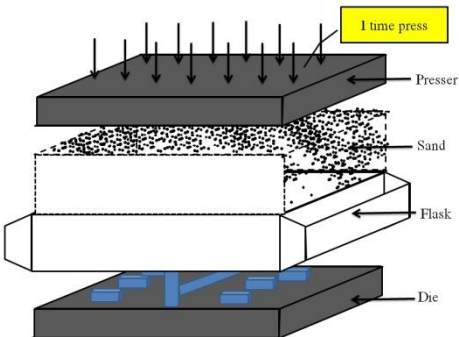
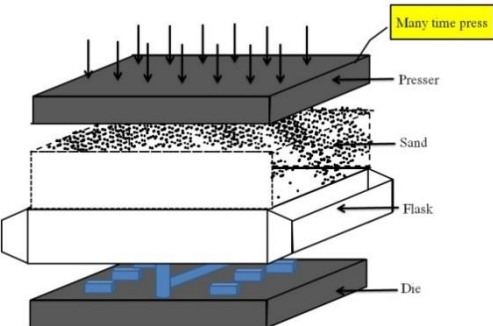
แนวคิดที่ 2 จาก TRIZ No#35 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ โดยการเพิ่มปริมาณทราย อธิบายดัง ตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แนวคิดการการเพิ่มปริมาณทราย

สภาพปัจจุบัน	แนวคิดการปรับปรุงที่ 2
 <p>The diagram shows a cross-section of a sand casting mold. At the top, a grey rectangular block labeled 'Presser' has several vertical arrows pointing downwards, indicating pressure being applied. Below it is a layer of grey granules labeled 'Sand'. This is contained within a white rectangular 'Flask'. At the bottom of the flask is a grey rectangular 'Die' with blue markings on its top surface.</p> <p>คำอธิบาย</p> <p>ในกระบวนการปั้นแบบมีการเติมทรายที่ค่ามาตรฐาน 450kg ต่อ 1 แบบ โดยที่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตทุกรุ่นมีค่าเท่ากัน</p>	 <p>This diagram is identical to the one on the left, but the 'Sand' layer is significantly thicker. The 'Sand' label is highlighted in yellow. The 'Presser', 'Flask', and 'Die' components are the same as in the current process.</p> <p>คำอธิบาย</p> <p>การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยการเพิ่มปริมาณของทรายที่ปั้นในแต่ละแบบให้มากขึ้น โดยต้องมีการปรับขนาดของถังใส่ทรายให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อปริมาณทรายมากขึ้นแล้วจะทำให้ได้ความหนาแน่นของแบบทรายเพิ่มมากขึ้น</p> <p>ด้วย</p>

แนวคิดที่ 3 จาก TRIZ No.16 กระทำเพียงบางส่วนหรือกระทำให้มากเกินไป โดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการกดแบบ อธิบายดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 การเพิ่มจำนวนครั้งในการกดแบบ

สภาพปัจจุบัน	แนวคิดการปรับปรุงที่ 3
 <p data-bbox="288 1234 400 1267">คำอธิบาย</p> <p data-bbox="288 1323 783 1429">โดยปกติมีการกดแบบเพียงแต่ 1 ครั้งต่อการขึ้นแบบ 1 แบบ</p>	 <p data-bbox="839 1234 951 1267">คำอธิบาย</p> <p data-bbox="839 1323 1358 1496">การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการกดแบบเพื่อให้เกิดการกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอและได้รับแรงกระทำมากขึ้น</p>

### 5.2.1 ใช้ TRIZ แก้ไขปัญหาทรายตก

ลำดับการแก้ปัญหาของ TRIZ

- 1.) วิเคราะห์ระบบทางเทคนิคของปัญหาที่ต้องแก้ไขคือช่องว่างของ Pin-Bush ซึ่งเกิดจากการสึกหรอของวัสดุที่มีการเคลื่อนที่เสียดสีกัน ซึ่งตรงกับปัญหาทางเทคนิค 39

ชื่อของ TRIZ คือ ข้อที่15 Durability of moving object ความทนทานของวัตถุเคลื่อนที่

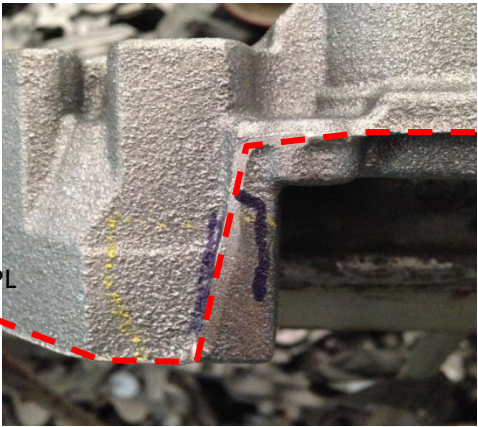
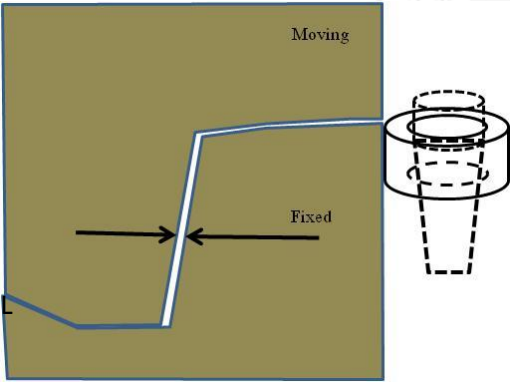
- 2.) ระบุข้อขัดแย้งทางเทคนิคของการแก้ไขการเพิ่มความทนทานของวัสดุคือ โดยธรรมชาติของวัตถุที่เสียดสีกันด้วยแรงกระทำสูงและในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนสูง ซึ่งตรงกับข้อขัดแย้ง39ข้อของTRIZ คือ ข้อที่ 35Adaptability ความสามารถในการปรับตัวได้
- 3.) แก้ไขข้อขัดแย้งทางเทคนิค โดยใช้ข้อเสนอแนะจากตารางTRIZ ได้แนะนำข้อ #15, #35 และ #13 ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงแนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้เครื่องมือ TRIZ

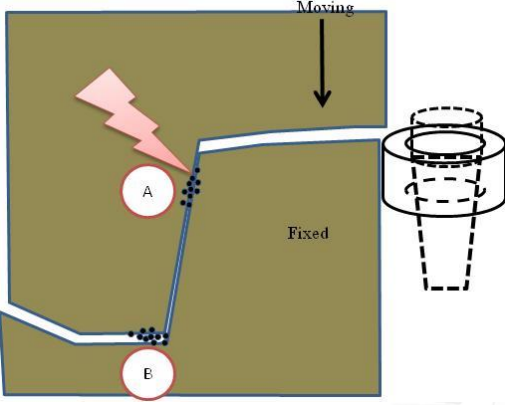
ลักษณะที่ต้องปรับปรุง	ความขัดแย้งทางเทคนิค	วิธีแก้ปัญหา จากตาราง TRIZ	แนวคิด
ความทนทานของวัตถุ ซึ่งเคลื่อนที่ No.15 Durability of moving object	ความสามารถในการ ปรับตัวได้ No.35 Adaptability	#15 ความเป็นพลวัต Dynamicity #35 การเปลี่ยนแปลง ลักษณะสมบัติ Transformation of properties #13 กลับทิศทาง-กลับ หัวกลับหาง Do it in reverse	1 ปรับความเร็วใน การปิดแบบลง 2 ทำ Guide pin- bush ให้ยาวขึ้น 3 เพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์

ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ตามรูปรายละเอียดดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ลักษณะของการเกิดปัญหาทรายตก

รูปภาพประกอบ	คำอธิบาย
	<p>ชิ้นงานถูกสร้างขึ้นด้วยการปั้นแบบให้เป็นโพรง (Cavity) แล้วถูกเติมเต็มด้วยน้ำเหล็ก เกิดเส้นรอยแบ่งระหว่างการประกบปิดแบบฝานบน (Cope) กับฝาล่าง (Drag) เรียกว่า Parting line (ตามรูปเส้นประ PL)</p>
	<p>ลักษณะภายหลังการปิดแบบที่ดีคือก่อนทรายแบบทั้งด้านบนและล่างแนบสนิทกันในแนวราบและมีช่องว่างเล็กน้อยในแนวตั้งตามลูกศรในภาพ ระยะของช่องว่างที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นกับความเที่ยงตรงของ Pin-Bush</p>

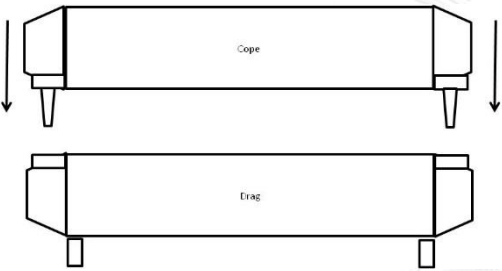
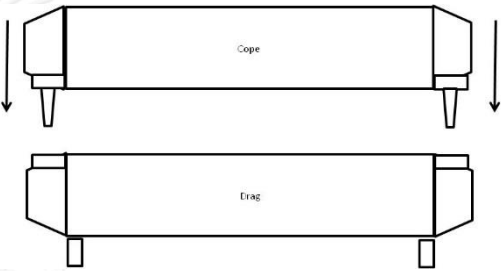
ตารางที่ 5.10 ลักษณะของการเกิดปัญหาทรยศ (ต่อ)

รูปภาพประกอบ	คำอธิบาย
	<p>หาก Pin-Bush มีความเที่ยงตรงคลาดเคลื่อน ทำให้แบบทรายเกิดช่องว่างมากเกินไปหรือเกิดการเสียดสีกันทำให้ทรายหลุดร่อนไปปะปนกับน้ำเหล็ก เกิดเป็นทรายปนเปื้อนในเหล็ก</p>

จากนั้นนำข้อเสนอแนะมาระดมสมองกับทีมงานเพื่อออกแบบแนวทางแก้ไขปัญหา โดยกรอบในการออกแบบแนวคิดการแก้ไขปัญหาก็จะใช้ข้อเสนอวิธีการแก้ปัญหาจากตาราง TRIZ ดังนี้

แนวคิดที่ 1 จาก TRIZ No#15 ความเป็นพลวัตร โดยการปรับความเร็วในการปิดแบบลง (Dynamicity) อธิบายดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 แนวคิดการปรับความเร็วในการปิดแบบลง

สภาพปัจจุบัน	แนวคิดการปรับปรุงที่ 1
<p style="text-align: center;">Moving high speed</p> 	<p style="text-align: center;">Moving low speed</p> 
<p>คำอธิบาย</p> <p>ในกระบวนการปิดแบบฝาบน (Cope) ลงมาประกบกับฝาล่าง (Drag) ด้วยความเร็วสูง</p>	<p>คำอธิบาย</p> <p>ปรับความเร็วในการปิดแบบลดลงด้วยการควบคุมระบบอัตโนมัติที่สามารถตั้งค่าได้ เพื่อลดแรงกระแทกแบบทราซที่สัมผัสกัน ซึ่งทำให้ทราซหลุดร่อนลงในโพรงแบบน้อยลง</p>

แนวคิดที่ 2 จาก TRIZ No35 การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติ โดยการทำให้ยาวขึ้น (Transformation of properties) อธิบายดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 แนวคิดการทำ Guide pin-bush ให้ยาวขึ้น

สภาพปัจจุบัน	แนวคิดการปรับปรุงที่ 2
<div data-bbox="347 779 746 1254" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="284 1384 399 1422">คำอธิบาย</p> <p data-bbox="284 1473 782 1653">ในกระบวนการปิดแบบฝาบน (Cope) ลงมาประกบกับฝาล่าง (Drag) ใช้ระบบการล็อกตำแหน่งด้วย pin-bush</p>	<div data-bbox="885 779 1284 1254" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="821 1384 936 1422">คำอธิบาย</p> <p data-bbox="821 1473 1340 1720">เพิ่มระยะการนำทางในการสวม Pin-Bush . ให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้แบบฝาบน และฝาล่างมีทิศทางไม่เหลื่อมกัน ซึ่งมีผลให้แบบทรายทั้งสองฝาไม่เสียดสีกัน</p>



แนวคิดที่ 3 จาก TRIZ No.13 กลับทิศทาง-กลับหัวกลับหาง โดยการเพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์ (Do it in reverse) อธิบายดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 แนวคิดการเพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์

สภาพปัจจุบัน	แนวคิดการปรับปรุงที่ 3
<div data-bbox="357 779 740 1146" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="284 1285 400 1319">คำอธิบาย</p> <p data-bbox="284 1373 810 1480">ออกแบบแม่พิมพ์โดยเพื่อระยะ Clearance ของฝานกับฝาล่างเป็นระยะ 0.3mm.</p>	<div data-bbox="906 779 1289 1146" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="834 1285 951 1319">คำอธิบาย</p> <p data-bbox="834 1373 1342 1547">เพิ่มช่องว่างของแบบทรายโดยการทำตรงกันข้าม คือการเพิ่มแผ่นโลหะที่แม่พิมพ์เพื่อชดเชยช่องว่างระหว่างฝานกับฝาล่าง</p>

### 5.3 การพิจารณาเลือกวิธีแก้ไข้ปัญหา

ใช้เครื่องมือ Weight Sum Method ในการเลือกแนวคิดที่จะนำไปแก้ไข้ปัญหา โดยกำหนดเงื่อนไขในการคัดเลือกแนวคิดและให้น้ำหนักแต่ละเงื่อนไขตามความสำคัญ จากนั้นทำการลงคะแนนโดยทีมงานคุณภาพ โดยกำหนดช่วงคะแนน 1 ถึง 5 สามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 การกำหนด Rating Scale 1-5

คำอธิบาย	Rating
แย่กว่าเดิมมาก	1
แย่กว่าเดิม	2
เท่าเดิม	3
ดีกว่าเดิม	4
ดีกว่าเดิมมาก	5

### 5.3.1 การใช้ Weight Sum Method ในการเลือกแนวคิดแก้ปัญหาขนาดผิตรงรูป

จากการระดมสมองสร้างแนวคิดในการแก้ไขปัญหาจากTRIZแล้ว นำแนวคิดมาคัดกรองโดยใช้เครื่องมือ Weight Sum Method โดยกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณา และลงคะแนนจากทีมงานปรับปรุงคุณภาพ ดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 การคัดกรองแนวคิดแก้ไขปัญหขนาดจิ๋วรูป

		แนวคิด					
		แนวคิดที่ 1		แนวคิดที่ 2		แนวคิดที่ 3	
เกณฑ์การเลือก	น้ำหนัก	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	30%	2	0.60	2	0.60	1	0.30
ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อื่น	15%	3	0.45	2	0.30	3	0.45
ประสิทธิภาพการใช้งาน	15%	5	0.75	4	0.60	4	0.60
การดูแลรักษา	15%	3	0.45	3	0.45	3	0.45
ความสะดวกในการใช้งาน	15%	4	0.60	2	0.30	4	0.60
ความเป็นไปได้	10%	5	0.50	3	0.30	4	0.40
รวมคะแนน	100%	3.35		2.55		2.80	
ผลการจัดลำดับ		1		3		2	
พัฒนาต่อหรือไม่		พัฒนาต่อ		ไม่		ไม่	

จากผลการลงคะแนนเลือกแนวคิด พบว่าแนวคิดที่มีคะแนนสูงสุด คือ Idea #1 เพิ่มจุดกดแบบทราย แบบเฉพาะจุด (Segmentation) ซึ่งจะได้้นำแนวคิดนี้ไปปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

### 5.3.1 การใช้ Weight Sum Method ในการเลือกแนวคิดแก้ปัญหา ทรายตก

จากการระดมสมองสร้างแนวคิดในการแก้ไขปัญหาจากTRIZแล้ว นำแนวคิดมาคัดกรองโดยใช้เครื่องมือ Weight Sum Method โดยกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณา และลงคะแนนจากทีมงานปรับปรุงคุณภาพ ดังตาราง 5.16

ตารางที่ 5.16 การคัดกรองแนวคิดแก้ไขปัญหาทรายตก

		แนวคิด					
		แนวคิดที่ 1		แนวคิดที่ 2		แนวคิดที่ 3	
เกณฑ์การเลือก	น้ำหนัก	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน	ระดับ	คะแนน
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง	15%	3	0.45	1	0.15	2	0.30
ผลกระทบกับผลิตภัณฑ์อื่น	15%	3	0.45	4	0.60	3	0.45
ประสิทธิภาพการใช้งาน	30%	4	1.20	5	1.50	5	1.50
การดูแลรักษา	15%	3	0.45	1	0.15	3	0.45
ความสะดวกในการใช้งาน	15%	3	0.45	3	0.45	3	0.45
ความเป็นไปได้	10%	4	0.40	3	0.30	4	0.40
คะแนนรวม	100%	3.40		3.15		3.55	
ผลการจัดลำดับ		2		3		1	
พัฒนาต่อหรือไม่		ไม่		ไม่		พัฒนาต่อ	

จากผลการลงคะแนนเลือกแนวคิด พบว่าแนวคิดที่มีคะแนนสูงสุด คือ แนวคิดที่ 3 การเพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์ (Do it in reverse) ซึ่งจะได้นำแนวคิดนี้ไปปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

## 5.4 การออกแบบการทดลอง

หลังจากที่ได้แนวคิดในการแก้ไขปัญหมาแล้ว ต่อไปเป็นการนำแนวคิดที่ผ่านการคัดเลือกมา ออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปัญหาขนาดผิวดรูปได้เลือกใช้ แนวคิดการแก้ปัญหาคือ การเพิ่มระบบอกกคแบบทรายแบบเฉพาะจุด และสำหรับปัญหาทรายตก ได้เลือกใช้แนวคิดการแก้ปัญหาโดยการเพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์

### 5.4.1 การออกแบบการทดลองปัญหาขนาดผิวดรูป

การกำหนดระดับของปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้

แรงกดแบบทราย กำหนดจาก ชิดความสามารถของเครื่องจักร

ความลึกของกระบอก กำหนดจาก การไม่มีกระบอกจนถึงความลึกสูงสุดที่ทำได้

ตัวแปรตอบสนอง (Response variable) สัดส่วนของเสียประเภทขนาดผิวดรูป คิด เป็นเปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแต่ละครั้งจะได้ชิ้นงาน 100ชิ้น

ทำการกำหนดระดับปัจจัยเป็น 3 ระดับเพื่อให้เห็นแนวโน้มที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนดังตารางที่

5.17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5.17 การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับปัญหาขนาดผิวดรูป

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			หน่วย
P	แรงกดแบบทราย	12	17	21	MPa
D	ความลึกกระบอก	0	8	15	mm.

ลำดับการทดลองแบบสุ่ม ทำการลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม MINITAB16 และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลอง  $3^2 \times 2 = 18$  ครั้ง ในการทดลองแต่ละครั้งจะได้ชิ้นงาน 100ชิ้น แผนและลำดับการทดลอง ดังตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 แผนการออกแบบการทดลองปัญหาขนาดผิวดรูป

StdOrder	RunOrder	Pressure(MPa)	Dept(cm)
11	1	12	8
2	2	12	8
1	3	12	0
10	4	12	0
7	5	21	0
17	6	21	8
4	7	17	0
18	8	21	15
8	9	21	8
16	10	21	0
12	11	12	15
3	12	12	15
6	13	17	15
5	14	17	8
9	15	21	15
14	16	17	8
13	17	17	0
15	18	17	15

#### 5.4.1 การออกแบบการทดลองปัญหาทรยศ

การกำหนดระดับของปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้

- ความหนาของแผ่นโลหะ (Plate thickness) กำหนดจาก ความเหมาะสมในการออกแบบงานหล่อ
- ช่องว่าง pin-bush กำหนดจาก สภาวะที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดที่เกิดขึ้นจริง

ตัวแปรตอบสนอง (Response variable) สัดส่วนของเสียประเภททรยศ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในการทดลองแต่ละครั้งจะได้ชิ้นงาน 100ชิ้น กำหนดเป็น 3 ระดับเพื่อให้เห็นแนวโน้มที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนดังตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับปัญหาทรยศ

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			หน่วย
T	ความหนาของแผ่นโลหะ	0.0	0.5	1.0	mm.
C	ช่องว่าง pin-bush	0.2	0.7	1.4	mm.

ลำดับการทดลองแบบสุ่ม ทำการลำดับการทดลองโดยใช้โปรแกรม MINITAB16 และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมการทดลอง  $3^2 \times 2 = 18$  ครั้ง ในการทดลองแต่ละครั้งจะได้ชิ้นงาน 100ชิ้น แผนและลำดับการทดลอง ดังตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 แผนการออกแบบการทดลองปัญหาทรายตก

StdOrder	RunOrder	Plate thickness(mm)	Clearance pin-bush(mm)
9	1	1.0	1.4
15	2	0.5	1.4
3	3	0.0	1.4
6	4	0.5	1.4
18	5	1.0	1.4
7	6	1.0	0.2
17	7	1.0	0.7
16	8	1.0	0.2
2	9	0.0	0.7
8	10	1.0	0.7
13	11	0.5	0.2
4	12	0.5	0.2
1	13	0.0	0.2
14	14	0.5	0.7
10	15	0.0	0.2
5	16	0.5	0.7
11	17	0.0	0.7
12	18	0.0	1.4



## 5.5 ผลการทดลอง

ภายหลังจากการออกแบบการทดลองได้ทำการทดลองตามแผนที่กำหนดไว้ได้ผลการทดลองดังนี้

### 5.5.1 ผลการทดลองปัญหาขนาดผิวดรูป

ผลการทดลองสำหรับปัญหาขนาดผิวดรูปแสดงดังตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 ผลการทดลองสำหรับปัญหาขนาดผิวดรูป

StdOrder	RunOrder	Pressure(MPa)	Dept(cm)	Defectives (pieces)
11	1	12	8	11
2	2	12	8	14
1	3	12	0	25
10	4	12	0	18
7	5	21	0	5
17	6	21	8	4
4	7	17	0	13
18	8	21	15	1
8	9	21	8	0
16	10	21	0	10
12	11	12	15	4
3	12	12	15	0
6	13	17	15	1

ตารางที่ 5.21 ผลการทดลองสำหรับปัญหาขนาดผิวดรูป (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	Pressure(MPa)	Dept(cm)	Defectives (pieces)
5	14	17	8	4
9	15	21	15	0
14	16	17	8	7
13	17	17	0	8
15	18	17	15	0

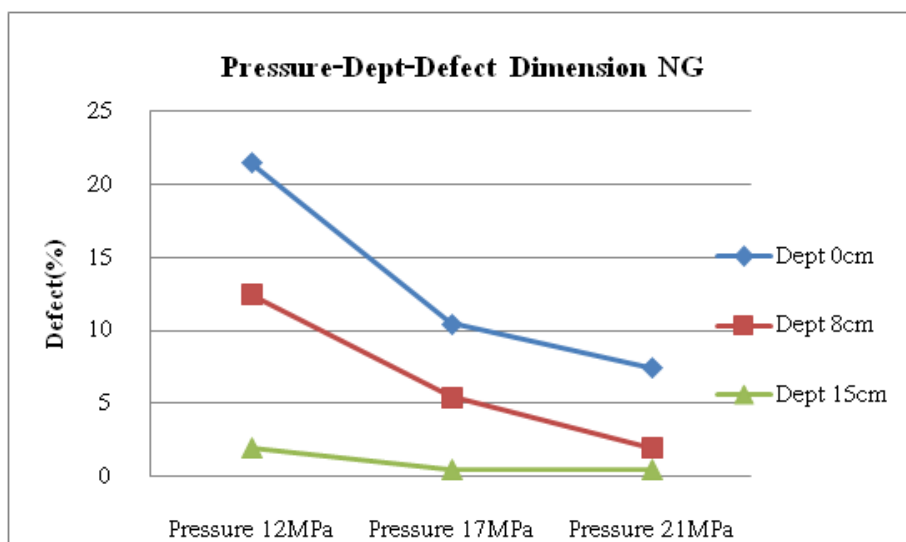
นำผลการทดลองหาค่าเฉลี่ยของ Defect แล้วสรุปลงในตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 ค่าเฉลี่ยของเสียประเภทขนาดผิวดรูป

	Pressure(MPa)	Dept(cm)	
		0	8
12	21.5	12.5	2
17	10.5	5.5	0.5
21	7.5	2	0.5

จากผลการทดลองพบว่านำมาพลอตกราฟดังรูปที่ 5.3 พบว่า ที่แรงกดมากที่สุด 21 MPa กับระยะกดลึกลึกน้อยที่สุด 0 cm ข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูปมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการสลัดที่กับระยะความลึกอื่นๆ และที่แรงกดน้อยที่สุด 12 MPa กับระยะกดลึกลึกมากที่สุด 15 cm พบว่าข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูป มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการสลัดที่กับระยะความลึกอื่นๆ

ระดับที่ดีที่สุดคือการใช้กระบอกกดลึก 15 cm กับใช้แรงกดแบบ 21 MPa จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทขนาดผิดรูป คือแรงกดแบบทรายและระยะความลึกของกระบอกกดทราย



รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดง Pressure-Dept-Dimension NG

### 5.5.1 ผลการทดลองปัญหาทรายตก

ภายหลังจากการออกแบบการทดลองได้ทำการทดลองตามแผนที่กำหนดไว้ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 ผลการทดลองปัญหาทรายตก

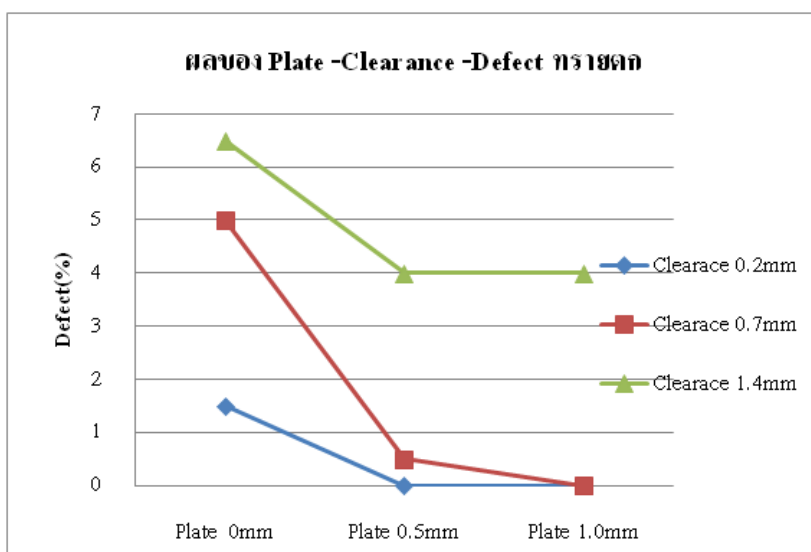
StdOrder	RunOrder	Plate thickness(mm)	Clearance pin-bush(mm)	Defectives (pieces)
9	1	1.0	1.4	3
15	2	0.5	1.4	3
3	3	0.0	1.4	8
6	4	0.5	1.4	5
18	5	1.0	1.4	1
7	6	1.0	0.2	0
17	7	1.0	0.7	0
16	8	1.0	0.2	0
2	9	0.0	0.7	6
8	10	1.0	0.7	0
13	11	0.5	0.2	0
4	12	0.5	0.2	0
1	13	0.0	0.2	1
14	14	0.5	0.7	0
10	15	0.0	0.2	2
5	16	0.5	0.7	1
11	17	0.0	0.7	4
12	18	0.0	1.4	5

นำผลการทดลองหาค่าเฉลี่ยของของเสียแล้วสรุปลงในตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 ค่าเฉลี่ยของของเสียประเภททรายตก

Plate thickness(mm)	Clearance pin-bush(mm)		
	0.2	0.7	1.4
0	1.5	5	6.5
0.5	0	0.5	4
1.0	0	0	4

จากผลการทดลองพบว่า ที่ Plate thickness มากที่สุด 1.0mm กับระยะ Clearance pin-bush มากที่สุด 1.4mm พบว่าข้อบกพร่องประเภททรายตกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการสลัดที่กับระยะ Clearance pin-bush อื่นๆ และที่ Plate thickness น้อยที่สุด 0mm กับระยะ Clearance pin-bush น้อยที่สุด 0.2mm พบว่าข้อบกพร่องประเภททรายตก มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการสลัดที่กับระยะ Clearance pin-bush อื่นๆ จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภททรายตก คือ Plate thickness และระยะ Clearance pin-bush



### รูปที่ 5.4 แผนภูมิแสดง Plate-Clearance-Defect ทราซตก

#### 5.6 สรุปกระบวนการหาวิธีการแก้ไขปัญหา

ในกระบวนการหาวิธีการแก้ไขปัญหานำสาเหตุที่ได้จากการระบุปัญหามาทำการเปรียบเทียบ (Pair comparison) สิ่งที่ดีที่สุด (BOB) และแย่ที่สุด (WOW) พบว่าสาเหตุของปัญหาขนาดผิครูป คือแรงกดแบบ และสาเหตุของปัญหาทราซตกคือ ช่องว่าง Pin-Bush เมื่อได้สาเหตุหลักของปัญหาแล้ว ทำการหาแนวทางแก้ไขปัญหามีข้อขัดแย้งทางเทคนิค โดยใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) หลังจากสร้างแนวคิดในการแก้ปัญหาลงแล้ว นำมาคัดกรองแนวความคิดด้วยเครื่องมือตารางถ่วงน้ำหนัก (Weight sum method) แล้วนำมาออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด พบว่าการแก้ไขปัญหขนาดผิครูปเลือกใช้แนวคิดที่ 1 เพิ่มจุดกดแบบทราซแบบเฉพาะจุด ค่าระดับปัจจัยที่ดีที่สุดคือแรงกดมากที่สุด 21MPa และระยะกดลึกมากที่สุด 15cm และการแก้ปัญหาทราซตกเลือกใช้แนวคิดที่ 3 การเพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์ ค่าระดับปัจจัยที่ดีที่สุดคือ Plate thickness มากที่สุด 1.0mm และ Clearance pin-bush น้อยที่สุด 0.2 mm.

## บทที่ 6

### ระยะการนำวิธีการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ

ในขั้นตอนการนำวิธีการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติจะได้นำข้อสรุปที่ได้จากการหาวิธีแก้ไขปัญหามาปฏิบัติจริงและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาพก่อนการแก้ไขและหลังแก้ไขโดยใช้เครื่องมือ Better vs Current (B vs C)

#### 6.1 วางแผนการดำเนินการแก้ไขปัญหา

แผนการดำเนินการแก้ไขปัญหาแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แผนการดำเนินการแก้ไขปัญหา

ลำดับ	กิจกรรม	ผู้รับผิดชอบ	กำหนดเสร็จ
1	ดำเนินการแก้ไขปัญหา	แผนกวิศวกรรม	14 ส.ค.2558
2	การฝึกอบรมพนักงาน	หัวหน้าแผนกผลิต	21 ส.ค. 2558
3	ประเมินผลการแก้ไขปัญหา	ทีมงาน	28 ส.ค. 2558
4	สรุปผลการนำวิธีการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ	ทีมงาน	31 ส.ค. 2558

## 6.2 ดำเนินการแก้ไขปัญหา

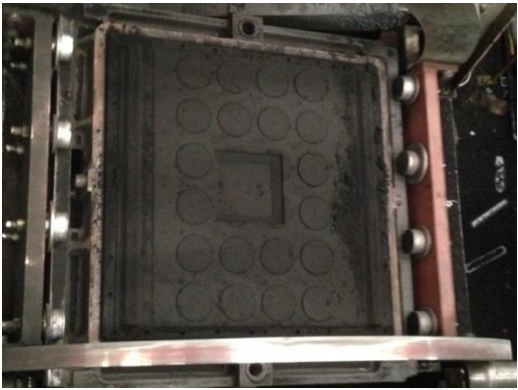
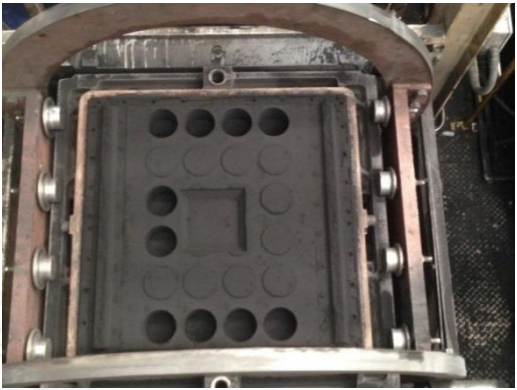
### 6.2.1 ดำเนินการแก้ไขปัญหาขนาดผิดรูป

เนื่องจากสาเหตุหลักของปัญหามาจากแรงกดแบบ แนวทางในการแก้ไขปัญหาคือการติดตั้งเพิ่มกระบอกแบบเฉพาะจุดเพื่อเพิ่มแรงกดแบบทรายในตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีแนวทางการปรับปรุงดังนี้

- 1) กำหนดรายละเอียดการแก้ไขทางวิศวกรรม เพื่อทำการติดตั้งกระบอกไฮดรอลิกที่เครื่องปั้นแบบทราย รายละเอียดการติดตั้งถูกกำหนดจากข้อสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหา
- 2) วางแผนเข้าติดตั้งเครื่องจักร เนื่องจากการปรับปรุงครั้งนี้จะเกิดการรบกวนการผลิต จึงต้องมีการวางแผนกำหนดเวลาทำงานเป็นในช่วงวันหยุดที่ไม่มีการผลิต เพื่อให้ผู้ติดตั้งเครื่องจักรสามารถทำงานได้สะดวกและไม่รบกวนการผลิต
- 3) ติดตั้งกระบอกไฮดรอลิก ทำการติดตั้งกระบอกไฮดรอลิกให้เป็นไปตามข้อกำหนดทางวิศวกรรม
- 4) เชื่อมต่อคำสั่งควบคุม โดยการทำงานของเครื่องจักรจะถูกควบคุมผ่านแผงควบคุมหลักกึ่งอัตโนมัติ จึงมีการเชื่อมต่อโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานดังกล่าว
- 5) ทดสอบการใช้งาน หลังจากการติดตั้งกระบอกไฮดรอลิกเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำการทดสอบการทำงานของเครื่องจักร เพื่อเชื่อมั่นใจว่าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตำแหน่งที่เพิ่มกระบอกกดแสดงตารางที่ 6.2



ตารางที่ 6.2 สภาพก่อนและหลังการเพิ่มกระบอกกดแบบทราย



ก่อนการแก้ไข	หลังการแก้ไข
	
<p>คำอธิบาย</p> <p>กดแบบทรายด้วยแผ่นเรียบเป็นระนาบเดียวกัน</p>	<p>คำอธิบาย</p> <p>เพิ่มกระบอกกดแบบทรายแบบจุดที่สามารถกำหนดจุดกดตามตำแหน่งที่ต้องการได้</p>

### 6.2.2 ดำเนินการแก้ไขปัญหารายตก

จากข้อสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหาค้อบกพร่องประเภทรายตก การเพิ่มช่องว่างบนแม่พิมพ์ มีแนวทางการแก้ไขดังนี้

- 1) กำหนดการแก้ไขทางวิศวกรรม โดยระบุข้อกำหนดที่ได้จากผลสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหา
- 2) ดำเนินการแก้ไข โดยนำแม่พิมพ์มาติดด้วยแผ่นทองเหลืองตามขนาดและตำแหน่งที่กำหนดไว้
- 3) ตรวจสอบการแก้ไข โดยการตรวจสอบด้วยตา และการวัดระยะการแก้ไขต่างๆว่า เป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่
- 4) ทดสอบการใช้งาน ภายหลังจากแก้ไขตัวแม่พิมพ์แล้ว ทำการทดสอบนำแม่พิมพ์มาใช้งานเพื่อให้มั่นใจว่าใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 6.3 สภาพก่อนและหลังการเพิ่มกระบอกกดแบบทราย

ก่อนการแก้ไข	หลังการแก้ไข
	
<p>คำอธิบาย</p> <p>ออกแบบแม่พิมพ์โดยเผื่อระยะ Clearance ของฝานกับฝาล่างเป็นระยะ 0.3mm</p>	<p>คำอธิบาย</p> <p>เพิ่มช่องว่างของแบบทรายโดยการทำตรงกันข้าม คือการเพิ่มแผ่นโลหะที่แม่พิมพ์ เพื่อชดเชยช่องว่างระหว่างฝานกับฝาล่าง</p>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 6.3 กำหนดมาตรฐานและสอนงานพนักงาน

ภายหลังจากการปรับปรุงทางวิศวกรรมแล้ว การนำข้อกำหนดต่างๆมาใช้งานจริงนั้นต้องถูกกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงานอย่างชัดเจนเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องทุกคนเข้าใจและปฏิบัติไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อได้ข้อกำหนดที่ชัดเจนแล้วจึงทำการอบรมสอนงานให้แก่พนักงานผู้ปฏิบัติงานจริง พร้อมทั้งเฝ้าติดตามผลการทำงานอย่างต่อเนื่องอีกด้วย

#### 6.4 ประเมินผลการแก้ไข้ปัญหา

เมื่อได้ทำการแก้ไข้ปัญหาแล้ว ในขั้นตอนการประเมินผลนี้จะใช้เทคนิคการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการแก้ไข้ โดยใช้ข้อมูลอย่างละ 30 ลี้อตการผลิตต่อเนื่อง ได้ผลดังนี้

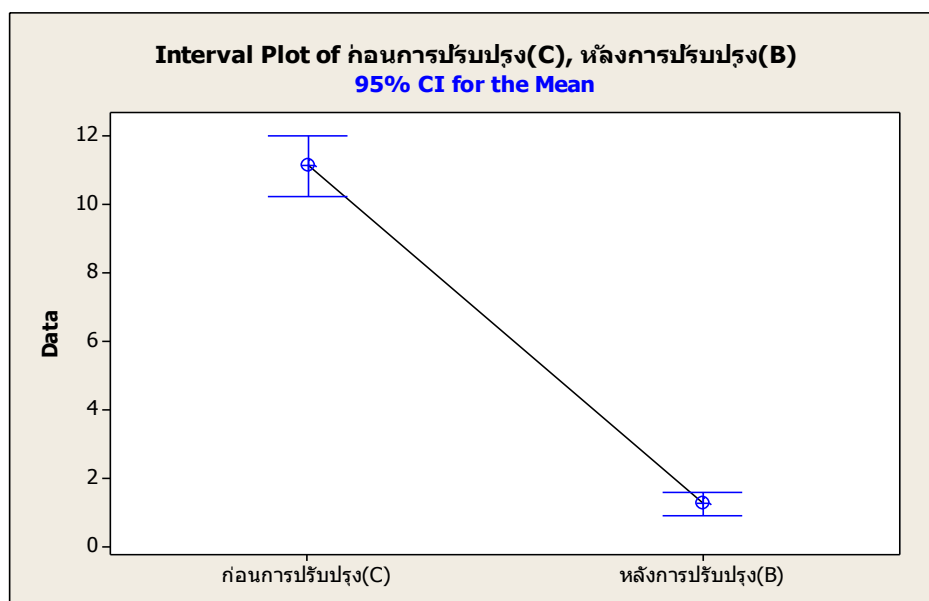
ตารางที่ 6.4 ของเสี่ยประเภทขนาดผิครูปก่อนและหลังการปรับปรุง

เปอร์เซ็นต์ของเสี่ย	
ก่อนการปรับปรุง(C)	หลังการปรับปรุง(B)
13	1
12	0
12	2
7	1
9	1
8	1
8	2
13	2
13	0
12	0
13	0
8	1
12	0
9	0
16	0
10	0

ตารางที่ 6.4 ของเสียประเภทขนาดผิดรูปก่อนและหลังการปรับปรุง (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ของเสีย	
ก่อนการปรับปรุง(C)	หลังการปรับปรุง(B)
14	0
13	1
15	0
12	0
11	1
8	1
8.5	0
8.5	0
12	0
13	0
11	0
13	0
12	0
8	0

จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB16 ด้วยการพล็อตกราฟ Interval plot ที่ความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยสองด้าน พบว่าผลหลังการปรับปรุง (Better (B)) มีปริมาณข้อบกพร่องลดลงเมื่อเทียบกับผลก่อนการปรับปรุง (Current (C)) ที่ความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 Interval Plot ก่อนและหลังการปรับปรุงของปัญหาขนาดผิวดรูป

### ปัญหาทรายตก

ตารางที่ 6.5 ของเสียประเภททรายตกก่อนและหลังการปรับปรุง

เปอร์เซ็นต์ของเสีย	
ก่อนการปรับปรุง(C)	หลังการปรับปรุง(B)
7	0
9	0
4	0
7	1
7	0
4	0

ตารางที่ 6.5 ของเสียประเภททรายตกก่อนและหลังการปรับปรุง (ต่อ)

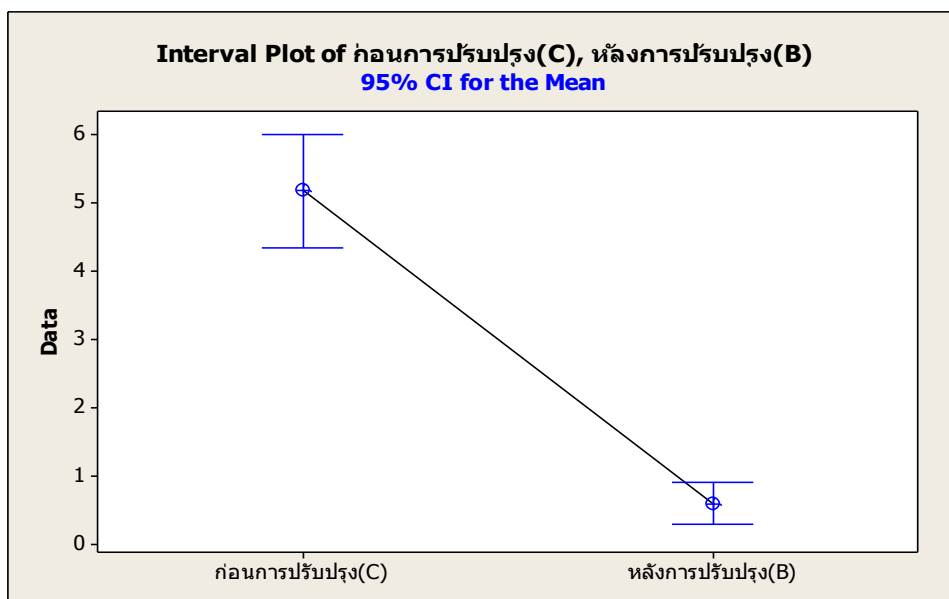
เปอร์เซ็นต์ของเสีย	
ก่อนการปรับปรุง(C)	หลังการปรับปรุง(B)
3	0
11	0
5	1
5	0
6	2
2	0
5.5	0
4	0
3	1
1	1
3	1
4	0
4	0
8	1
3	0
8	1
4.5	0

ตารางที่ 6.5 ของเสียประเภททรยศก่อนและหลังการปรับปรุง (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ของเสีย	
ก่อนการปรับปรุง(C)	หลังการปรับปรุง(B)
4.5	2
6	1
3	2
5	0
7	0
7	3
5	1

จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB16 ด้วยการพลอตกราฟ Interval plot ที่ความเชื่อมั่น 95% ของค่าเฉลี่ยสองด้าน พบว่าผลหลังการปรับปรุง (B) มีปริมาณข้อบกพร่องลดลงเมื่อเทียบกับผลก่อนการปรับปรุง (C) ที่ความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในรูปที่ 6.2





รูปที่ 6.2 Interval Plot ก่อนและหลังการปรับปรุงของปัญหาทรายตก

### 6.5 สรุปผลระยะการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ

ในขั้นตอนการนำวิธีแก้ปัญหาไปปฏิบัติ ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวทางวิศวกรรมที่ได้จากแนวคิดของ TRIZ แล้วทำการอบรมพนักงานและผลิตจริงเพื่อให้มั่นใจว่าผลจากการปรับปรุงนั้นดีกว่าเดิมหรือไม่ โดยใช้เครื่องมือการเปรียบเทียบ B vs C ใช้ข้อมูลก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุงอย่างละ 30 ล็อตเพื่อเปรียบเทียบ พบว่าผลของการแก้ปัญหาข้อบกพร่องประเภท ขนาดผิดรูป และทรายตกมีผลไปในทิศทางเดียวกันคือภายหลังการปรับปรุงมีปริมาณของเสียลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงที่ความเชื่อมั่น 95%

## บทที่ 7

### ระยะติดตามควบคุมและประเมินผล

ภายหลังจากการนำวิธีการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติแล้ว ในระยะนี้เป็นการติดตามควบคุมและประเมินผล โดยจะได้ระบุถึงปัจจัยที่จะต้องทำการควบคุมในการผลิต ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาเมื่อค่าไม่เป็นไปตามกำหนด การทำ Pre Control ควบคุมติดตามปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น และทำการสรุปผลการปรับปรุงครั้งนี้

#### 7.1 ปัจจัยที่ต้องทำการควบคุม

จากแนวทางการแก้ไขปัญหาของ TRIZ และการออกแบบการทดลองสามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่อง โดยแยกตามปัญหา ในขั้นตอนนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการควบคุม การตรวจสอบ ปัจจัยดังกล่าว มีรายละเอียดดังตารางที่ 7.1 และ 7.2 ดังนี้

ตารางที่ 7.1 การควบคุมปัจจัยของปัญหามหาขนาดผิครูป

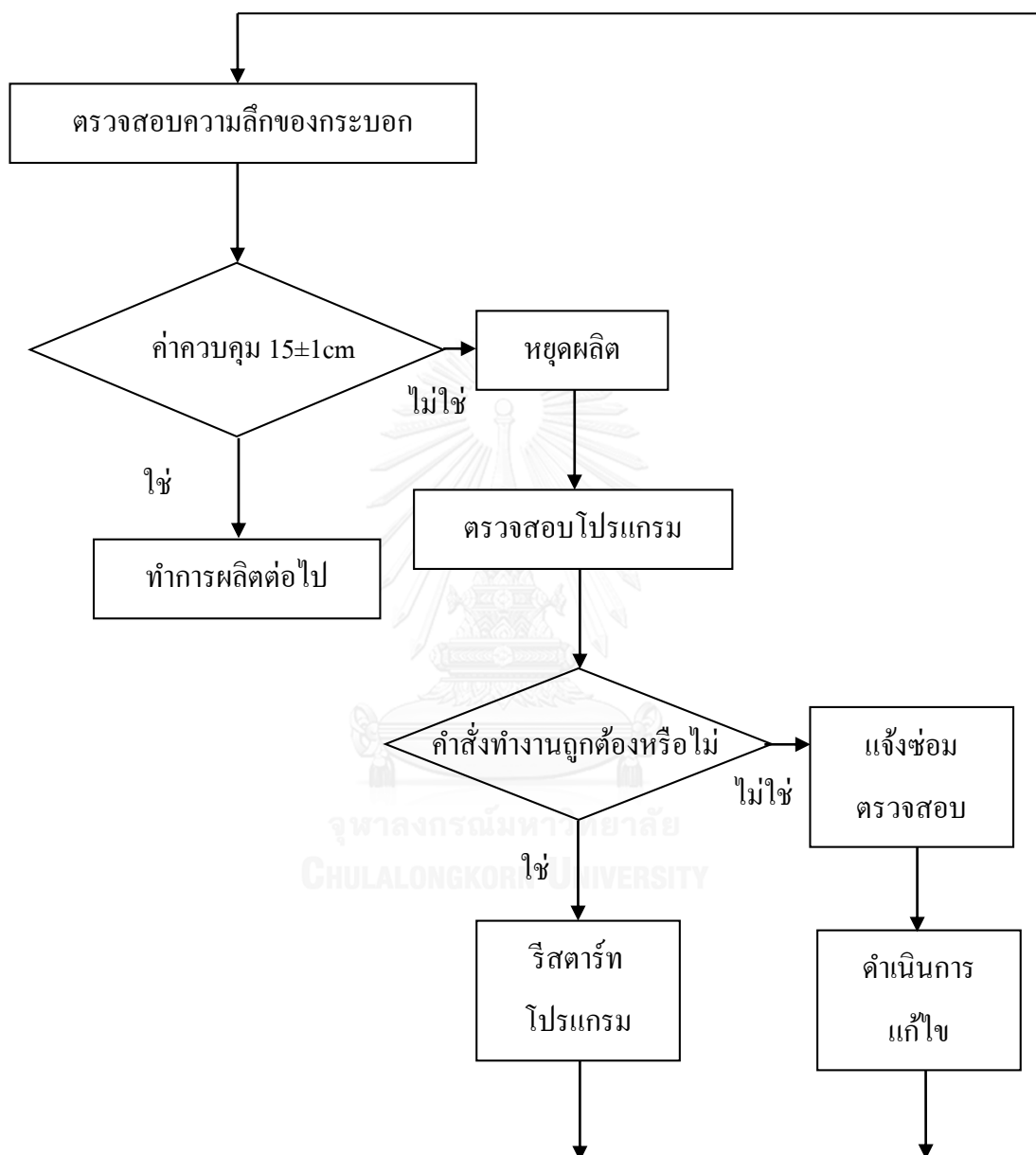
ปัจจัยที่ต้องควบคุม	ค่าควบคุม	ความถี่ในการวัด	วิธีการวัด	ตำแหน่งการวัด	ผู้รับผิดชอบ
ความถี่ของกระบอกกดแบบ	$15 \pm 1$ cm	1 ครั้งต่อวัน ก่อนเริ่มการผลิต	ไม้บรรทัด	ภายในหัวเครื่องปั้นแบบ	Foreman
แรงกดแบบ	$\geq 21$ MPa	ทุกแบบ	Pressure gauge(Auto checked)	ปั๊มไฮดรอลิก	วิศวกรฝ่ายผลิต

ตารางที่ 7.2 การควบคุมปัจจัยของปัญหาทรายนก

ปัจจัยที่ต้องควบคุม	ค่าควบคุม	ความถี่ในการวัด	วิธีการวัด	ตำแหน่งการวัด	ผู้รับผิดชอบ
ความหนาแผ่นปะแม่พิมพ์	$1.0 \pm 0.2$ mm	1 ครั้งต่อวัน ก่อนเริ่มการผลิต	Vernier caliper	แม่พิมพ์	พนักงานเตรียมแม่พิมพ์
แรงกดแบบ	$\geq 21$ MPa	ทุกแบบ	Pressure gauge(Auto checked)	ปั๊มไฮดรอลิก	วิศวกรฝ่ายผลิต

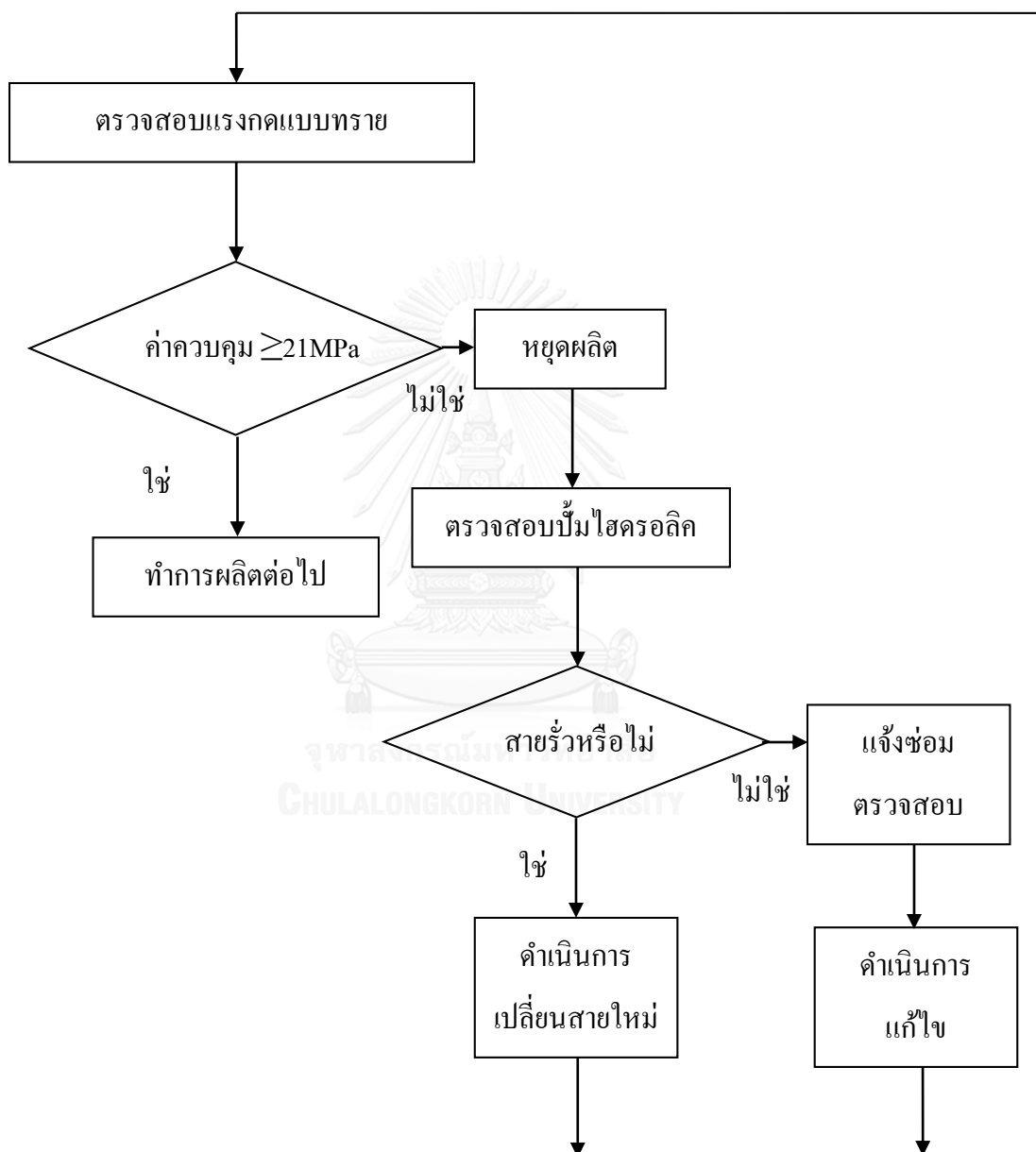
การปฏิบัติเมื่อปัจจัยที่ควบคุมไม่เป็นไปตามกำหนดมีแนวทางในการปฏิบัติดังนี้

กรณีการควบคุมความถี่ของกระบอกกดแบบไม่เป็นไปตามกำหนด ซึ่งเป็นสาเหตุของ  
ปัญหาขนาดผิดรูป มีขั้นตอนการดำเนินการดังรูปที่ 7.1



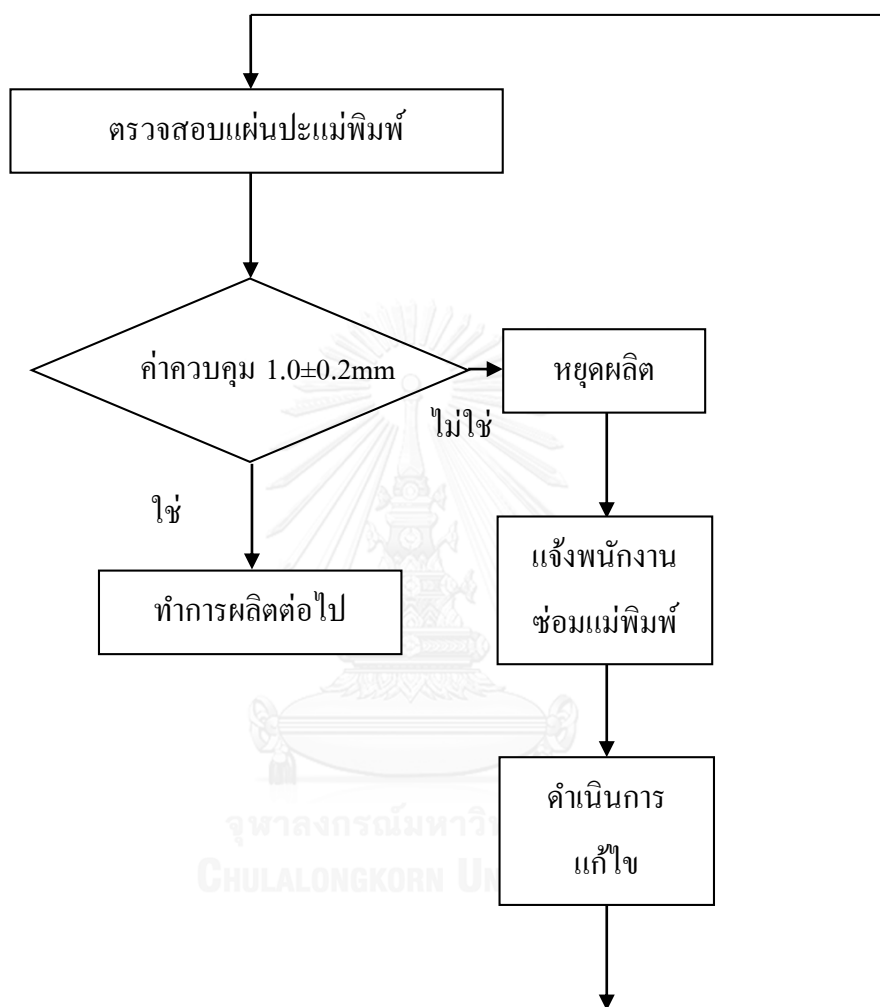
รูปที่ 7.1 การไหลของกระบวนการแก้ไขความถี่ของกระบอกกดแบบ

กรณีการควบคุมเมื่อแรงกดแบบไม่เป็นไปตามกำหนด ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาขนาดผิดรูป และทรายนก มีขั้นตอนการดำเนินการดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 การไหลของกระบวนการแก้ไขปัญหาแรงกดแบบ

กรณีการควบคุมความหนาแผ่นปะแม่พิมพ์ไม่เป็นไปตามกำหนด ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหา  
ทรยศก มีขั้นตอนการดำเนินการดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 การไหลของกระบวนการแก้ไขปัญหาค่าความหนาแผ่นปะแม่พิมพ์

## 7.2 การทำ Pre Control

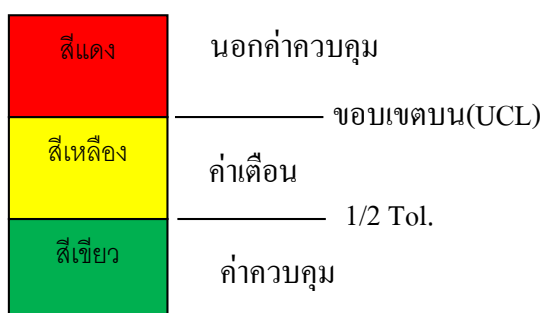
เป็นการติดตามปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น หากมีความผิดปกติจะได้มีการกลับไปตรวจสอบกระบวนการผลิตได้อย่างทันทั่วทั้งที่ เนื่องจากการควบคุมสัดส่วนข้อบกพร่องเป็นการควบคุมด้านเดียว (One side tolerance) จึงสามารถแบ่งช่วงการควบคุมเป็นดังนี้

- ค่าควบคุม สัญลักณ์ สีเขียว คือค่าเฉลี่ยข้อบกพร่อง
- ค่าเตือน สัญลักณ์ สีเหลือง คือ อยู่ภายใน 2 เท่าของค่าควบคุม
- นอกค่าควบคุม สัญลักณ์ สีแดง คือ อยู่เกิน 2 เท่าของค่าควบคุม

สัดส่วนข้อบกพร่องที่นำมาใช้ในการทำ Pre control แสดงดังตารางที่ 7.3 โดยขอบเขตบนมีค่าเป็นสองเท่าของค่าเฉลี่ย และการแบ่งเขตสีแสดงดังรูปที่ 7.4

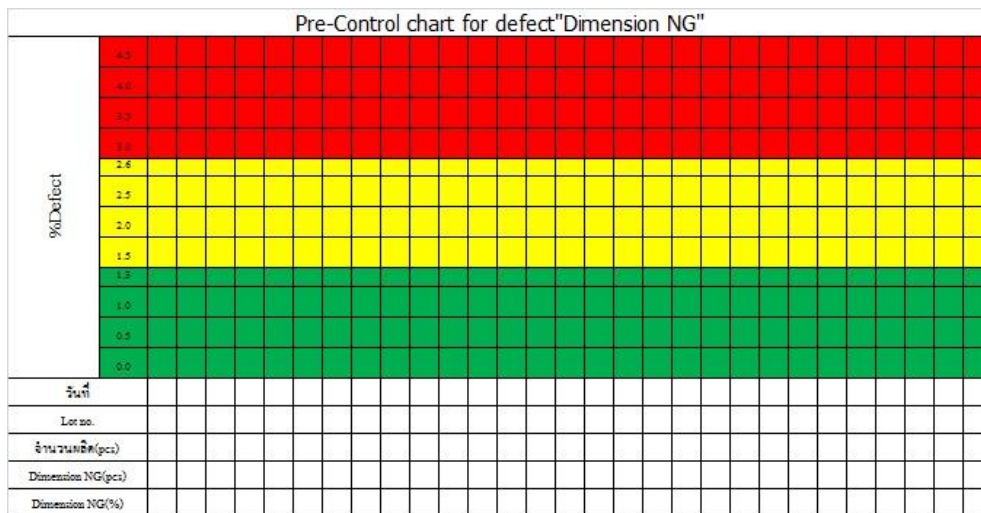
ตารางที่ 7.3 ขอบเขตค่าควบคุม

ประเภทข้อบกพร่อง	สัดส่วนข้อบกพร่องเฉลี่ย	ขอบเขตบน
ขนาดผิดรูป	1.3%	2.6%
ทรายนก	0.6%	1.2%



รูปที่ 7.4 การแบ่งเขตสีกับค่าควบคุม

ตัวอย่าง Pre Control ของปัญหาข้อบกพร่องขนาดผิดรูปแสดงดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 ตัวอย่าง Pre Control ของปัญหาข้อบกพร่องขนาดผิดรูป

ตัวอย่าง Pre Control ของปัญหาข้อบกพร่องทรายตกแสดงดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 ตัวอย่าง Pre Control ของปัญหาข้อบกพร่องทรายตก



## เกณฑ์การตัดสินใจ

- ถ้าล้อยอดแรกอยู่ในแถบเขียวให้ผลิตต่อ
- ถ้าล้อยอดแรกสีเหลืองให้ตรวจสอบล้อยอดที่สองหากเป็นสีเหลืองหรือแดงให้หยุดเพื่อปรับตั้ง

ค่า

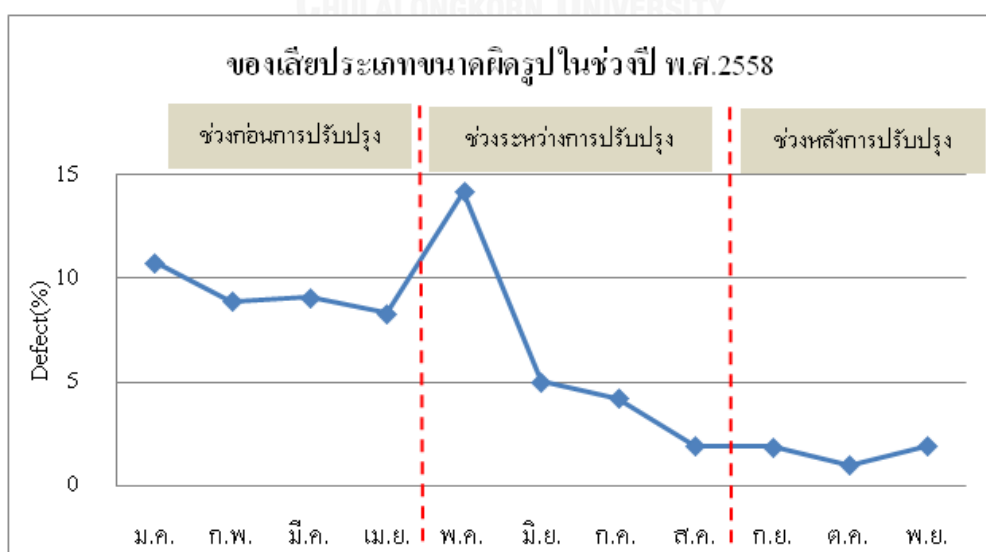
- ถ้าล้อยอดแรกสีแดง ให้หยุดและปรับตั้งค่า

## 7.3 ประเมินผลหลังการปรับปรุง

ภายหลังการปรับปรุง มีผลดังนี้

### 7.3.1 ปัญหาข้อบกพร่องขนาดผิครูป

จากการควบคุมและติดตามผลหลังการแก้ไขเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง 9.11% ระหว่างการปรับปรุง 3.53% และหลังการปรับปรุง 1.58% แสดงดังรูปที่ 7.6 และตารางที่ 7.4



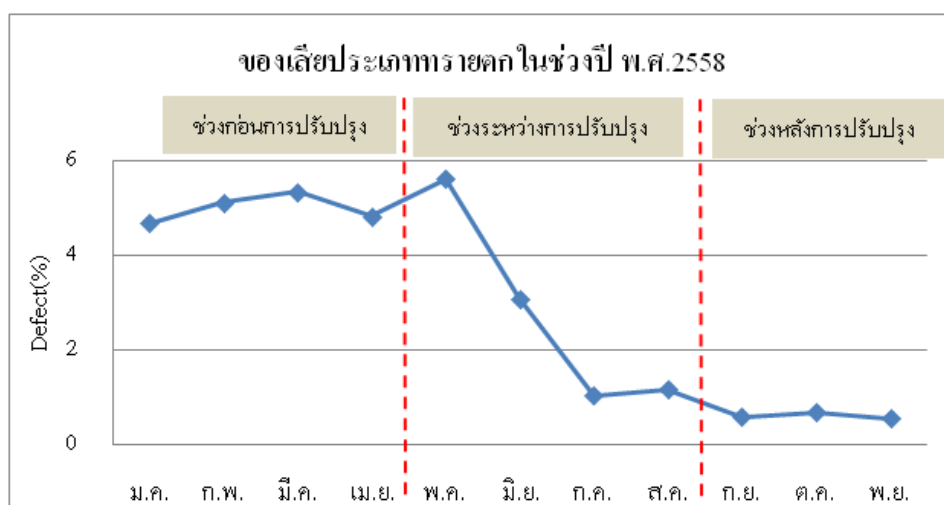
รูปที่ 7.7 ของเสียประเภทขนาดผิครูปในช่วงปี พ.ศ. 2558

ตารางที่ 7.4 ของเสียประเภทขนาดผิครูปในช่วงปี พ.ศ. 2558

ช่วงแก้ไข	ก่อนแก้ไข				ระหว่างแก้ไข				หลังแก้ไข		
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
เดือน/ พ.ศ.2558											
จำนวนผลิต	900	1000	900	1600	2300	5200	12800	25700	26200	25900	24500
จำนวนของ เสีย	97	89	82	133	327	261	540	494	489	253	466
%ของเสีย	10.78	8.90	9.11	8.31	14.22	5.02	4.22	1.92	1.87	0.98	1.90
% ตามช่วง	9.11				3.53				1.58		

### 7.3.2 ปัญหาข้อบกพร่องทรายนตก

จากการควบคุมและติดตามผลหลังการแก้ไขเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง 4.95% ระหว่างการปรับปรุง 1.56% และหลังการปรับปรุง 0.60% แสดงดังรูปที่ 7.7 และตารางที่ 7.5



รูปที่ 7.8 ของเสียประเภททรายนอกในช่วงปี พ.ศ. 2558

ตารางที่ 7.5 ของเสียประเภททรายนอกในช่วงปี พ.ศ. 2558

ช่วงแก้ไข	ก่อนแก้ไข				ระหว่างแก้ไข				หลังแก้ไข		
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
เดือน/ พ.ศ.2558											
จำนวนผลิต	900	1000	900	1600	2300	5200	12800	25700	26200	25900	24500
จำนวนของ เสีย	42	51	48	77	129	160	131	298	153	176	134
%ของเสีย	4.67	5.1	5.33	4.81	5.61	3.08	1.02	1.16	0.58	0.68	0.55
% ตามช่วง	4.95				1.56				0.60		

#### 7.4 สรุปผลติดตามควบคุมและประเมินผล

จากผลการควบคุมและติดตามผลหลังการแก้ไขปัญหาเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้เครื่องมือการควบคุม Pre control chart พบว่าปัญหาขนาดผิครูปมีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง 9.11% ระหว่างการปรับปรุง 3.53% และหลังการปรับปรุง 1.58% ลดลง 7.53% เมื่อเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง ในส่วนของปัญหาทรายตกพบว่ามีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง 4.95% ระหว่างการปรับปรุง 1.56% และหลังการปรับปรุง 0.60% ลดลง 4.35% เมื่อเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง



## บทที่ 8

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 8.1 สรุปผลการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนได้แก่ การกำหนดปัญหา การหาสาเหตุหลักของปัญหา การหาวิธีการแก้ไขปัญหา การนำการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ และการติดตามควบคุมผล ซึ่งสามารถสรุปผลในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

##### 1) สรุปผลระยะการกำหนดปัญหา

ทำการสำรวจปัญหาด้วยเครื่องมือแผนภูมิพาเรโตเพื่อลำดับความสำคัญของปัญหาพบว่ามี 2 ปัญหาหลักที่ต้องทำการแก้ไขคือ ปัญหาขนาดผิครูปและปัญหาทรายตก ของผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อรุ่น Cy/D/B110 จากนั้นทำการระบุร่องรอยด้วยแผนภาพความสัมพันธ์โดยแบ่งตามประเภทของเสียได้ผลดังนี้

พบว่าข้อบกพร่องประเภทขนาดผิครูปสามารถสรุปการกำหนดปัญหาได้คือ พบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบจุดต่อจุดของเสียที่เกิดขึ้นในตำแหน่ง F6 คิดเป็น 60.3% และตำแหน่ง F4 คิดเป็น 39.7% และพบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ พบว่าพื้นที่ A4 มีของเสียคิดเป็น 52.8% และพื้นที่ A1 มีของเสียคิดเป็น 47.2%

ข้อบกพร่องประเภททรายตก สามารถสรุปการกำหนดปัญหาได้คือ ผลจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเศษที่ปนเปื้อนในเนื้อเหล็กมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนสีเข้มกว่าเนื้อเหล็ก แยกตัวจากเนื้อเหล็กไม่หลอมรวมกัน และเมื่อวิเคราะห์ค่าเคมีพบว่ามีธาตุเหล็ก (Fe) 39.5% ออกซิเจน (O) 36.0% ซิลิกอน (Si) 22.4% และอะลูมิเนียม (Al) 2.1% ซึ่งตรงกับธาตุประกอบของทรายคือสารประกอบซิลิกอนออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสิ่งปนเปื้อนที่พบในเนื้อเหล็กคือทราย ผลจากการวิเคราะห์ความผันแปรพบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบจุดต่อจุด

ของเสียที่เกิดขึ้นในตำแหน่ง F6 คิดเป็น 60.3% และตำแหน่ง F4 คิดเป็น 39.7% % และพบความแตกต่างของตำแหน่งการเกิดปัญหาแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ พบว่าพื้นที่ A4 มีของเสียคิดเป็น 52.8% และพื้นที่ A1 มีของเสียคิดเป็น 47.2%

## 2) สรุปผลระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา

จากการศึกษาหาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาได้นำข้อมูลจากการกำหนดปัญหา การระบุความแตกต่างของความผันแปรที่ทำให้เกิดของเสียในรูปแบบที่มีความแตกต่างกันนำมาวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ว่าปัจจัยใดเป็นสาเหตุหลักในการเกิดปัญหา โดยการลงความเห็นของทีมงานที่จัดตั้งขึ้นได้ผลดังนี้

ลักษณะข้อบกพร่องประเภทขนาดผิดรูป พบว่ากลุ่มที่ของสาเหตุที่มาจากเครื่องจักรคิดเป็น 40.4% วิธีการทำงานคิดเป็น 25.5% วัตถุดิบคิดเป็น 19.1% และพนักงานคิดเป็น 14.9% ในส่วนที่เป็นสาเหตุหลักมาจาก รหัส C9 ช่องปล่อยทรายเครื่องปั่นไม่สม่ำเสมอคิดเป็น 16.5% และรหัส C15 ใช้แรงกดแบบทรายน้อยเกินไปคิดเป็น 16.0% และสาเหตุอื่นลดลงตามลำดับ โดยที่สาเหตุ C9 และ C15 มีปริมาณสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสาเหตุ C9 และ C15 นำไปออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไปเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา

ลักษณะข้อบกพร่องประเภททรายตก พบว่ากลุ่มที่ของสาเหตุที่มาจากเครื่องจักรคิดเป็น 49.5% วัตถุดิบคิดเป็น 21.1% วิธีการทำงานคิดเป็น 16.0% และพนักงานคิดเป็น 13.4% ในส่วนที่เป็นสาเหตุหลักมาจาก รหัส C8 Pin-Bush สึกหรือ คิดเป็น 16.5% และรหัส C9 ปิดแบบเอียงคิดเป็น 14.9% และสาเหตุของปัญหาอื่น ๆ ลดลงตามลำดับ โดยที่สาเหตุ C8 และ C9 มีปริมาณสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสาเหตุ C8 และ C9 นำไปออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไปเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา

## 3) สรุประยะการหาวิธีการแก้ไขปัญหา

ในระยะการหาวิธีการแก้ไขปัญหานำสาเหตุที่ได้จากการระบุปัญหามาทำการเปรียบเทียบ (Pair comparison) สิ่งที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดพบว่าสาเหตุของปัญหามาขนาดผิดรูป คือแรง

กดแบบ และสาเหตุของปัญหาทรายเป็นคือ ช่องว่าง Pin-Bush เมื่อได้สาเหตุหลักของปัญหาแล้ว ทำการหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่มีข้อขัดแย้งทางเทคนิคโดยใช้เครื่องมือการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์ คิดค้นหลังจากสร้างแนวคิดในการแก้ปัญหาแล้ว นำมาคัดกรองแนวความคิดด้วยเครื่องมือตาราง ถ่วงน้ำหนักแล้วนำมาออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด พบว่าการแก้ไข ปัญหาขนาดผิวดรูป เลือกใช้แนวคิดที่ 1 เพิ่มจุดกดแบบทราย แบบเฉพาะจุด ค่าระดับปัจจัยที่ดีที่สุดคือแรงกดมากที่สุด 21MPa และระยะกดลึกมากที่สุด 15cm และการแก้ปัญหาทรายเป็นเลือกใช้ แนวคิดที่ 3 การเพิ่ม Clearance ที่แม่พิมพ์ ค่าระดับปัจจัยที่ดีที่สุดคือ Plate thickness มากที่สุด 1.0mm และ Clearance pin-bush น้อยที่สุด 0.2mm

#### 4) สรุปผลระยะการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ

ในขั้นตอนการนำวิธีแก้ปัญหาไปปฏิบัติ ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาด้านทางวิศวกรรมที่ได้ จากแนวคิดของ TRIZ แล้วทำการอบรมพนักงานและผลิตจริงเพื่อให้มั่นใจว่าผลจากการปรับปรุง นั้นดีกว่าเดิมหรือไม่ โดยใช้เครื่องมือการเปรียบเทียบ B vs C ใช้ข้อมูลก่อนการปรับปรุงและหลัง ปรับปรุงอย่างละ 30 ล็อตเพื่อเปรียบเทียบ พบว่าผลของการแก้ปัญหาข้อบกพร่องประเภท ขนาดผิวด รูป และทรายเป็นผลไปในทิศทางเดียวกันคือภายหลังการปรับปรุงมีปริมาณของเสียลดลงเมื่อเทียบ กับก่อนการปรับปรุงที่ความเชื่อมั่น 95%

#### 5) สรุปผลติดตามควบคุมและประเมินผล

จากผลการควบคุมและติดตามผลหลังการแก้ไขปัญหาคือเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยใช้ เครื่องมือการควบคุม Pre control chart พบว่าปัญหาขนาดผิวดรูป มีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการ ปรับปรุง 9.11% ระหว่างการปรับปรุง 3.53% และหลังการปรับปรุง 1.58% ลดลง 7.53% เมื่อเทียบ ก่อนและหลังการปรับปรุง ในส่วนของปัญหาทรายเป็นพบว่ามีปริมาณข้อบกพร่องก่อนการปรับปรุง 4.95% ระหว่างการปรับปรุง 1.56% และหลังการปรับปรุง 0.60% ลดลง 4.35% เมื่อเทียบก่อนและ หลังการปรับปรุง

นอกจากนี้สามารถสรุปผลตามเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ ความเหมาะสม ผลที่ได้รับ และ การนำไปใช้ในโรงงานกรณีศึกษา ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 สรุปผลการใช้เครื่องมือการแก้ไขปัญหา

เครื่องมือ/ เทคนิคที่ใช้	ความเหมาะสม	ผลที่ได้รับ	การนำไปใช้ใน โรงงานกรณีศึกษา
กราฟ	มีความเหมาะสม	แนวโน้มข้อมูล การ เปรียบเทียบข้อมูล	สามารถนำไปใช้ได้
พารेटโต	มีความเหมาะสม	ลำดับความสำคัญของข้อมูล	สามารถนำไปใช้ได้
การระดมสมอง	มีความเหมาะสม	แนวความคิดจากหลายฝ่าย หลากหลายมุมมอง การทำงาน เป็นทีม	สามารถนำไปใช้ได้
แผนผังก้างปลา	มีความเหมาะสม	ระบุสาเหตุทั้งหมดที่อาจเป็น สาเหตุหลักของปัญหา แยก สาเหตุออกเป็นกลุ่มตาม ลักษณะ	สามารถนำไปใช้ได้
การแก้ปัญหา เชิงประดิษฐ์ คิดค้น	มีความเหมาะสม	แก้ไขปัญหาที่มีความขัดแย้ง ทางเทคนิคด้วยข้อเสนอจาก TRIZ เป็นแนวทางในการ สร้างสรรค์แนวทางการ แก้ปัญหา	สามารถนำไปใช้ได้
ตารางถ่วง น้ำหนัก	มีความเหมาะสม	คัดกรองแนวคิดที่มีความ เหมาะสมมากที่สุด เพื่อใช้ใน การแก้ไขปัญหา	สามารถนำไปใช้ได้
การออกแบบ การทดลองไซ นิน	มีความเหมาะสม	ใช้สถิติอย่างง่ายในการ เปรียบเทียบเพื่อค้นหาสาเหตุที่ แท้จริงของปัญหา	สามารถนำไปใช้ได้
แผนภูมิควบคุม	มีความเหมาะสม	ติดตามและควบคุมปริมาณ ของเสียที่เกิดขึ้นภายหลังการ แก้ไข	สามารถนำไปใช้ได้



ตารางที่ 8.1 สรุปผลการใช้เครื่องมือการแก้ไขปัญหา (ต่อ)

เครื่องมือ/เทคนิค ที่ใช้	ความเหมาะสม	ผลที่ได้รับ	การนำไปใช้ในโรงงาน กรณีศึกษา
แผนภาพความ สนใจ	มีความเหมาะสม	ระบุร่องรอยการเกิดข้อบกพร่อง ใช้วิเคราะห์ความผันแปรของ ตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่อง สามารถนำข้อมูลที่ได้สนับสนุน การหาสาเหตุที่แท้จริงได้	สามารถนำไปใช้ได้
การเปรียบเทียบ กลุ่ม B vs C	มีความเหมาะสม	เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการ แก้ไข	สามารถนำไปใช้ได้
Pre-control chart	มีความเหมาะสม	ติดตามและควบคุมข้อบกพร่องที่ เกิดขึ้นหลังการแก้ไข หากมี ข้อบกพร่องเกิดขึ้นเกินค่ากำหนด จะได้มีการแก้ไขทันที	สามารถนำไปใช้ได้

## 8.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

ข้อจำกัดของงานวิจัยมีดังนี้

- 1) เก็บข้อมูลตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลตามลักษณะ (Attribute data) ซึ่งต้องมีการเก็บข้อมูลในปริมาณมากๆ เมื่อเทียบกับการเก็บข้อมูลแบบแปรผัน (Variable data)
- 2) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษากับผลิตภัณฑ์เหล็กหล่อรุ่น Cy/D/B110 ของโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น

## 8.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัย

ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัยมีดังนี้

- 1) การระดมสมองเพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่จำเป็นต้องการผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์เฉพาะทาง การแก้ไขปัญหาทางด้านเทคนิคจึงเป็นสิ่งที่ยากสำหรับงานวิจัยนี้
- 2) การออกแบบแนวคิดอย่างสร้างสรรค์นั้นไม่มีข้อจำกัด การที่จะได้แนวคิดที่ดีที่สุดนั้นขึ้นกับการสร้างสรรค์ของทีมงานคุณภาพด้วย
- 3) เนื่องจากการทำงานเป็นทีมต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายๆฝ่าย ในบางครั้งมีอุปสรรคในเรื่องของการนัดหมายที่มีเวลาว่างไม่ตรงกัน
- 4) ภายหลังจากเปลี่ยนแปลงแก้ไขปัญหาแล้ว มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงานใหม่พบปัญหาพนักงานละเลยการทำงาน ต้องถูกควบคุมดูแลด้วยหัวหน้างานอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือแนวทางที่กำหนดไว้ต้องดำเนินไปได้ด้วยความรับผิดชอบของพนักงาน
- 5) การดำเนินงานวิจัยล่าช้ากว่าแผนที่กำหนดไว้เนื่องจากความยากในการจัดทำทดลอง ซึ่งต้องใช้ทรัพยากรกำลังคนและเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด

#### 8.4 ข้อเสนอแนะ

- 1) การใช้ระบบไชนินเป็นใช้สถิติเชิงเปรียบเทียบเท่านั้น ดังนั้นควรระวังเรื่องการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ หากต้องการผลที่มีความซับซ้อนหรือผลของปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ควรเลือกใช้ตามลักษณะที่เหมาะสม
- 2) การใช้ผังก้างปลาเป็นการระบุสาเหตุทั้งหมดที่อาจเป็นไปเป็นไปได้ ก่อนทำการคัดกรองสาเหตุของปัญหาควรมีการเก็บข้อมูลแล้ววิเคราะห์ความผันแปร เพื่อให้สามารถระบุสาเหตุของปัญหาได้อย่างถูกต้อง
- 3) การใช้เครื่องมือแก้ไขปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (TRIZ) ต้องอาศัยจินตนาการในการออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหา ในส่วนนี้ต้องอาศัยบุคลากรที่มีความคิดสร้างสรรค์และมีความรู้เป็นอย่างดี เพื่อให้ได้แนวคิดที่ดีที่สุด
- 4) ควรเน้นการแก้ไขปัญหที่สาเหตุที่แท้จริง เพราะ โรงงานกรณีศึกษาใช้เครื่องจักรชุดเดียวผลิตชิ้นงานหลายๆรุ่น หากสาเหตุที่แท้จริงเกิดขึ้นที่เครื่องจักรแล้ว อาจส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์หลายๆรุ่น
- 5) ให้โรงงานกรณีศึกษาตระหนักถึงปัญหาคุณภาพ และจัดตั้งทีมงานแก้ไขปัญหขึ้น โดยใช้บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับปัญหาคุณภาพทั้งหมดมาร่วมสร้างทีมขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหากับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆที่ยังมีปัญหาเรื้อรังอยู่ด้วย

## รายการอ้างอิง

- Altshuller, G., L. Shulyak and L. Lerner (1997). "40 Principles TRIZ Keys to Technical Innovation." Technical Innovation Center.
- Automotive Industry Action Group (AIAG) (2002). Measurement System Analysis (MSA). Michican.
- Costin, H. (1996). Management development and training : a TQM approach. London, The Dryden Press.
- Desai, A. K. and L. M. Jugulkar (2014). "Process optimization by using Shainin Six Sigma tools and techniques – A case study in manufacturing industry." International journal of mechanical and production engineering 2(4): 58-63.
- Di Gironimo, G., D. Carfora, G. Esposito, C. Labate, R. Mozzillo, F. Renno, A. Lanzotti and M. Siuko (2013). "Improving concept design of divertor support system for FAST tokamak using TRIZ theory and AHP approach." Fusion Engineering and Design 88(11): 3014-3020.
- Elmqvist, L. (2012). Defect formation in cast iron. Finland, School of Engineering Jonkoping University.
- Faaser, N. and D. Brettner (1992). Process improvement in the electronics industries. New York, John Wiley & Sons Inc.
- Ilevbare, I. M., D. Probert and R. Phaal (2013). "A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice." Technovation 33(2-3): 30-37.
- Khalil-Allafi, J. and B. Amin-Ahmadi (2011). "Effect of Mold Hardness on Microstructure and Contraction Porosity in Ductile Cast Iron." Journal of Iron and Steel Research, International 18(4): 44-67.
- Kim, J., J. Kim, Y. Lee, W. Lim and I. Moon (2009). "Application of TRIZ creativity intensification approach to chemical process safety." Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22(6): 1039-1043.
- Nagaraja, R. K. M., D. Y. S. Varadarajan and R. Prasad (2014). "Quality improvement during Camshaft keyway tightening using Shainin approach." International journal of scientific and research publications 4(7): 1-5.

- Padmanabhan, K. K. (2013). "Study on increasing wind power in buildings using TRIZ Tool in urban areas." Energy and Buildings 61: 344-348.
- Q-BASE Engineering Sdn bhd (2015). Shainin's Methods Practical Design of Experiment
- Saikaew, C., C. Chanapal and T. Phrachai (2014). "Application of Shainin Design of Experiment Method on Metal Turning Operation." Advanced Materials Research 1016: 49-53.
- Shainin, P. D. (1992). "Managing SPC, A Critical Quality System Element." Annual Quality Congress Proceedings 46: 251-257.
- Stefan, H. S. and R. J. MacKay (2008). "An overview of the Shainin System for quality improvement." Journal of quality engineering.
- Thomas, A. J. and J. Antony (2005). "A comparative analysis of the Taguchi and Shainin DOE techniques in an aerospace environment." International Journal of Productivity and Performance Management 54(8): 658-678.
- Vedel-Smith, N. K., J. Rasmussen and N. S. Tiedje (2015). "Thermal distortion of disc-shaped ductile iron castings in vertically parted moulds." Journal of Materials Processing Technology 217: 262-271.
- Vinodh, S., V. Kamala and K. Jayakrishna (2014). "Integration of ECQFD, TRIZ, and AHP for innovative and sustainable product development." Applied Mathematical Modelling 38(11-12): 2758-2770.
- Winsdor, S. E. (2003). Attribute Gage R&R. . Six-Sigma Forum Magazine ASQ. 2: 23-28.
- กมลรัตน์ ศรีสังข์สุข (2552). การลดความสูญเสียเปล่าโดยสิ้นเชิง ชิก ชิกมาในกระบวนการผลิตสายเคเบิลขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2539). การศึกษาการทำงาน. กรุงเทพมหานคร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2553). การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab 15. กรุงเทพมหานคร, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล (2541). การควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์ประกอบแม่ไตร.
- จุฑาทิพย์ ทะประสพ (2551). การลดของเสียในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย (2555). ตำราประกอบการสอนรายวิชาการบริหารจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม. สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ณัฐวีร์ พงศ์อาจารย์ (2558). การคิดค้นและแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์กรรมด้วย TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving). สถาบันการศึกษา : Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย (2558). ดัชนีการอุปโภคบริโภคภาคเอกชนและองค์ประกอบที่ปรับฤดูกาล.
- ประสิทธิ์ เขียวศรี (2550). เทคนิคการระดมสมอง, สถาบันพัฒนาผู้บริหารการศึกษา.
- ปิติวัฒน์ อุดมลักษณ์ (2554). การลดของเสียที่มีฝุ่นปนเปื้อนในกระบวนการผลิตกระจกวัตุดิบในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. ปรินญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรัญญา ตรีณะวานิช (2555). การประยุกต์ใช้ระบบโซเนนในการลดของเสียประเภทฐู่มเติมแต่งด้านข้างและตกปริมาณบ่อเก็บของเสียในการผลิตโอสกษภัณฑ์. ปรินญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิวิมล วิชิขานนท์ (2553). การลดข้อบกพร่องในการผลิตแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป. ปรินญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริไพลิน วังภูงา (2555). การลดและควบคุมของเสียของการเชื่อมลวดไม่ติดบนแผงวงจรรวมในกระบวนการเชื่อมลวดทองคำของโรงงานผลิตเซมิคอนดักเตอร์. ปรินญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันยานยนต์ (2555). แผนแม่บทอุตสาหกรรมยานยนต์ ปีพ.ศ. 2555 – 2559, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สุตันตรา แซ่จิ้ว (2554). การลดของเสียประเภทรอยขีดข่วนในกระบวนการผลิตแผงวงจรไฟฟ้ารวม. ปรินญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุริยาศักดิ์ ถาวรวัฒนเจริญ (2555). การลดต้นทุนคุณภาพของกระบวนการเขียนและตัดเลเซอร์สำหรับโรงงานแปรรูปแผ่นโลหะ. ปรินญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิญญา ตากสกุล (2552). การลดความสูญเสียของกระบวนการติดตั้งระบบก้ำชรถยนต์ตามหลักสึน ซึกซึก-มา. ปรินญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาคผนวก

คุณสมบัติ 39 อย่าง, หลักการ 40 ข้อในการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น และตารางเมทริกซ์  
ความขัดแย้งของคุณสมบัติ 39 อย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## คุณสมบัติ 39 อย่าง

- |                                   |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1.Weight of moving object         | 21.Power                            |
| 2.Weight of binding object        | 22.Waste of energy                  |
| 3.Length of moving object         | 23.Waste of substance               |
| 4.Length of binding object        | 24.Loss of information              |
| 5.Area of moving object           | 25.Waste of time                    |
| 6.Area of binding object          | 26.Amount of substance              |
| 7.Volume of moving object         | 27.Reliability                      |
| 8.Volume of binding object        | 28.Accuracy of measurement          |
| 9.Speed                           | 29.Accuracy of manufacturing        |
| 10.Force                          | 30.Harmful factors acting on object |
| 11.Tension, pressure              | 31.Harmful side effects             |
| 12.Shape                          | 32.Manufacturability                |
| 13.Stability of object            | 33.Convenience of use               |
| 14.Strength                       | 34.Repairability                    |
| 15.Durability of moving object    | 35.Adaptability                     |
| 16.Durability of binding object   | 16.Durability of binding object     |
| 17.Temperature                    | 37.Complexity of control            |
| 18.Brightness                     | 38.Level of automation              |
| 19.Energy spent by moving object  | 39.Productivity                     |
| 20.Energy spent by binding object |                                     |



40 หลักการพื้นฐานของการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (40 Fundamental inventive principles)

1. Segmentation เช่น เฟอร์นิเจอร์แยกประกอบ รั้วบ้านที่สามารถประกอบเพิ่มความยาวได้ไม่จำกัด
2. Extraction เช่น การไล่นกออกจากสนามบิน ด้วยการเปิดเทปเสียงที่ทำให้มันตกใจ
3. Local Quality เช่น ดินสอที่มียางลบในแท่งเดียวกัน
4. Asymmetry เช่น ให้นำข้างด้านนอกทนต่อการเสียดสีได้มากกว่าด้านใน
5. Combining เช่น เครื่องจุดที่พ่นไอน้ำออกมามากฝุ่น และทำให้พื้นนุ่มลงในเวลาเดียวกัน
6. Universality เช่น โศฟาที่แปลงให้เป็นเตียงนอนได้
7. Nesting เช่น แก้วพลาสติกที่สามารถจับซ้อนกันได้เวลาไม่ใช้งาน ดินสอกดที่เก็บไส้สำรองได้
8. Counterweight เช่น ชดเชยน้ำหนักเรือด้วย Hydrofoil
9. Prior counter-action เช่น คอนกรีตเสริมเหล็ก ท่อที่เสริมด้วยท่อโลหะหลาย ๆ ท่อพันรอบเป็นเกลียว
10. Prior action เช่น มีดพกที่ประกอบไปด้วยเครื่องมือหลายอย่าง ซึ้นไหนไม่ใช้ก็เก็บได้
11. Cushion in advance เช่น สินค้าในร้านที่ติดแม่เหล็กส่งสัญญาณกันการขโมย
12. Equipotentiality เช่น ทำถังน้ำมันเครื่องรถแข่งให้สามารถเปลี่ยนถ่ายน้ำมันที่สนามได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องยก
13. Inversion เช่น การทำความสะอาดโดยใช้ vibration แทนการใช้สารขัดสี
14. Spheroidality เช่น การทำประปองน้ำอัดลมให้เป็นทรงกระบอก เพื่อให้เกิดส่วนโค้งที่รับแรงได้ดีกว่า
15. Dynamicity เช่น ไฟฉายที่มีคอที่สามารถตัดได้ตามต้องการ
16. Partial or overdone action เช่น การทาสีภายในถังน้ำมัน โดยใช้วิธีการหมุนถังให้สีทาได้ทั่ว
17. Moving to a new dimension (1D ->2D ->3D) เช่น บ้านประหยัดพลังงานที่ติดกระจกโค้งไว้ทางทิศเหนือของบ้าน เพื่อสะท้อนแสงอาทิตย์ให้บ้านสว่างได้ทุกจุดทั้งวัน
18. Mechanical vibration เช่น ใช้ vibration ช่วยในการหล่อ ให้โลหะไหลได้ดีขึ้น
19. Periodic action เช่น ไฟฉุกเฉินจะทำให้กระพริบเป็นจังหวะ ทำให้สังเกตเห็นได้ง่ายกว่าไฟที่ไม่กระพริบ
20. Continuity of a useful action เช่น การเจาะโดยใช้ใบมีดที่ทำงานได้ทั้งทิศทางไป และกลับ
21. Rushing through เช่น การตัดผนังพลาสติกแบบไม่ให้เกิดการเปลี่ยนรูป โดยใช้ความเร็วสูง

22. Convert harm into benefit เช่น การ Heat treatment เหล็กด้วยไฟฟ้าความถี่สูง จะทำให้โลหะร้อนเฉพาะผิวหน้าเท่านั้น ดังนั้นนำวิธีนี้มาใช้กับงาน Surface Heat treatment แทน
23. Feedback เช่น pump จะทำงานเฉพาะเมื่อมีระดับน้ำต่ำเกินกำหนด ควบคุมจากแรงดันน้ำในถัง
24. Mediator เช่น ลดการสูญเสียพลังงานจากการผ่านกระแสไฟในโลหะเหลว โดยการใส่ electrode และตัวกลางที่เป็นโลหะเหลวที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า
25. Self-service เช่น ป้องกันการสึกหรอในเครื่อง feeder สารขจัดถู โดยการใส่วัสดุที่เป็นสารขจัดถู เช่นกันที่ผิวนอก
26. Copying เช่น วัดความสูงของวัตถุ โดยการวัดระยะที่เงาของมันเอง
27. Inexpensive, short-lived object for expensive, durable one เช่น ฝ้ายอ้อมใช้แล้วทิ้ง
28. Replacement of a mechanical system เช่น การเพิ่มแรงยึดระหว่างโลหะ กับวัสดุเคลือบที่เป็น thermoplastic โดยการสร้างสนามแม่เหล็ก
29. Pneumatic or hydraulic construction เช่น การขนพัสดุที่แตกง่าย โดยการใส่ถุงลมกันกระแทก
30. Flexible membranes or thin film เช่น ป้องกันการเสียน้ำที่ใบพืช โดยการเคลือบสาร polyethylene ซึ่งมีคุณสมบัติในการถ่ายเทออกซิเจนได้ดี
31. Use of porous material เช่น ใช้วัสดุประเภทฟองน้ำดูดซับสารหล่อเย็นไม่ให้ไหลเข้าเครื่องยนต์ ขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน สารหล่อเย็นก็จะระเหย และทำหน้าที่ในการลดอุณหภูมิ
32. Changing the color เช่น ทำให้ผ้าพันแผลโปร่งใส เพื่อสามารถเห็นบาดแผลได้ โดยไม่ต้องแกะ
33. Homogeneity เช่น การใช้วัสดุพื้นผิวของ feeder เป็นชนิดเดียวกับวัตถุดิบ ในกรณีของสารกัดกร่อน
34. Rejecting and regenerating parts เช่น กระจกอากาศที่ถูกปล่อยทิ้งเป็นส่วน ๆ หลังจากที่ใช้ส่วนนั้นใช้งานเสร็จ
35. Transformation of the physical and chemical states of an object เช่น ในอุปกรณ์ที่เปราะ แตกง่าย วัสดุที่ใช้จะต้องทำจากวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ดี
36. Phase transformation เช่น การป้องกันการขยายตัวของท่อที่มีลักษณะเป็น โค้ง โดยการใช้ น้ำที่แข็งจนเป็นน้ำแข็ง
37. Thermal expansion เช่น บานประหยัดพลังงานที่เปิดปิดหน้าต่าง ตามอุณหภูมิ ด้วยวัสดุโลหะ 2 ชนิดที่มีคุณสมบัติการขยายตัวตามความร้อนที่ไม่เท่ากัน
38. Use strong oxidizers เช่น การเติม oxygen เพิ่มให้กับคอปเพิลิง เพื่อทำให้เกิดความร้อนมากกว่า การใช้อากาศปกติ

39. Inert environment เช่น การใช้แก๊สเฉื่อยในการดับไฟใน warehouse

40. Composite materials เช่น ปีกเครื่องบินที่ทำจากพลาสติกและ carbon fiber เพื่อให้ความแข็งแรงสูง แต่เบา



ตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งของคุณสมบัติ 39 อย่าง

CHARACTERISTICS		CHARACTERISTIC THAT IS GETTING WORSE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CHARACTERISTICS TO BE IMPROVED	Weight of a mobile object	1		15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37
	Weight of a stationary object	2			10, 1, 29, 35			35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2	8, 10, 19, 35
	Length of a mobile object	3	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8, 17, 10, 4
	Length of a stationary object	4		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14	28, 10
	Area of a mobile object	5	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34, 19, 30, 35, 2
	Area of a stationary object	6		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39					1, 18, 35, 36
	Volume of a mobile object	7	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17				15, 35, 36, 37
	Volume of a stationary object	8		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14					2, 18, 37
	Speed	9	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34		13, 28, 15, 19
	Force	10	6, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 38	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 26, 15, 12
	Tension/Pressure	11	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36, 35, 21
	Shape	12	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18, 35, 10, 37, 40
	Stability of Compression	13	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18, 10, 35, 21, 16
	Strength	14	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14, 10, 18, 3, 14
	Time of action of a moving object	15	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 35, 5, 19, 2, 16
	Time of action of a stationary object	16		6, 27, 19, 16		1, 40, 35				35, 34, 38	
	Temperature	17	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30, 35, 10, 3, 21
	Brightness	18	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 19, 26, 19, 6
	Energy spent by a moving object	19	12, 18, 28, 31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 35, 16, 26, 21, 2
	Energy spent by a stationary object	20		19, 9, 6, 27							36, 37
	Power	21	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2, 26, 2, 36, 35
	Loss of energy	22	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	16, 35, 38, 36, 38
	Loss of a substance	23	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38, 14, 15, 18, 40
	Loss of information	24	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32
	Loss of time	25	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18	10, 37, 36, 5
	Amount of substance	26	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18		15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29		35, 29, 34, 28, 35, 14, 5
	Reliability	27	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 1, 25	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28, 8, 28, 10, 3
	Accuracy of measurement	28	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 5	26, 28, 32, 3	32, 13, 6		28, 13, 32, 24, 32, 2
	Accuracy of manufacturing	29	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 28, 2	25, 10, 35	10, 28, 32, 28, 19, 34, 36
	Harmful factors acting on an object from outside	30	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28, 13, 35, 39, 18
	Harmful factors developed by an object	31	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22		17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23, 35, 28, 1, 40
	Manufacturability	32	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1, 35, 12
	Convenience of use	33	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12		1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34, 28, 13, 35
	Reparability	34	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9, 1, 11, 10
	Adaptability	35	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29		35, 10, 14, 15, 17, 20
	Complexity of a device	36	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	34, 10, 28, 26, 16
	Complexity of control	37	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35, 36, 28, 40, 19
	Level of automation	38	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		35, 13, 16		28, 10, 2, 35
	Capacity/Productivity	39	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2	28, 15, 10, 36

## ตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งของคุณสมบัติ 39 อย่าง (ต่อ)

CHARACTERISTICS		CHARACTERISTIC THAT IS GETTING WORSE									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Weight of a mobile object	1			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37
Weight of a stationary object	2				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35
Length of a mobile object	3	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4
Length of a stationary object	4		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14		28, 10
Area of a mobile object	5	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2
Area of a stationary object	6		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39						1, 18, 35, 36
Volume of a mobile object	7	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17				29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37
Volume of a stationary object	8		35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14						2, 18, 37
Speed	9	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34			13, 28, 15, 19
Force	10	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 16, 37	13, 28, 15, 12	
Tension/Pressure	11	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21
Shape	12	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40
Stability of Compression	13	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16

CHARACTERISTIC THAT IS GETTING WORSE														
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35		6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31		12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	1
13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27		2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35		18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	2
1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19		10, 15, 19	32	8, 35, 24		1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	3
1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26		1, 40, 35	3, 35, 38, 18	3, 25			12, 18	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	4
10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 19, 39	3, 15, 40, 14	6, 3		2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32		19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	5
10, 15, 36, 37		2, 38	40		2, 10, 19, 30	35, 39, 38				17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	6
6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4		34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35		35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	7
24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15		35, 34, 38	35, 6, 4				30, 6		10, 39, 35, 34		8
6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5		28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38		19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26	9
18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2		35, 10, 21		19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5		10
	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27		35, 39, 19, 2		14, 24, 10, 37		10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37		11
34, 15, 10, 14		33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5		12
2, 35, 40	22, 1, 18, 4		17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		13
10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35		27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		14
19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10			19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18		19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	15
		39, 3, 35, 23				19, 18, 36, 40				16		27, 16, 18, 38	10	16
35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40		32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		17
	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19		32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	18
23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18		19, 24, 3, 14	2, 15, 19			6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		19
		27, 4, 29, 18	35				19, 2, 35, 32					28, 27, 18, 31		20
22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37			10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	21
		14, 2, 39, 6	26			19, 38, 7	1, 13, 32, 15			3, 38		35, 27, 2, 37	19, 10	22
3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31			23
				10	10		19			10, 19	19, 10			24
37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 16	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	25

## ตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งของคุณสมบัติ 39 อย่าง (ต่อ)

CHARACTERISTICS		CHARACTERISTIC THAT IS GETTING WORSE										
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
CHARACTERISTICS TO BE IMPROVED	Weight of a mobile object	1	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11
	Weight of a stationary object	2	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11
	Length of a mobile object	3	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4, 7	1, 28, 10
	Length of a stationary object	4	30, 29, 14		15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25	3
	Area of a mobile object	5	26, 1	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 16, 4	15, 13, 10, 1
	Area of a stationary object	6	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16
	Volume of a mobile object	7	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10
	Volume of a stationary object	8	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35		1
	Speed	9		10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27
	Force	10	10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 38, 24	15, 37, 16, 1	1, 28, 5, 25	15, 1, 11
	Tension/Pressure	11	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2
	Shape	12	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1
	Stability of Compression	13	35, 27	15, 32, 35		-13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16
	Strength	14	29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 28, 2	27, 11, 3
	Time of action of a moving object	15	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 18	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27
	Time of action of a stationary object	16	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1
	Temperature	17	35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16
	Brightness	18	19, 1, 26, 17	1, 19		11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16
	Energy spent by a moving object	19	35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28
	Energy spent by a stationary object	20		3, 35, 31	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4		
	Power	21	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34
	Loss of energy	22	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22		35, 32, 1	2, 19
	Loss of a substance	23	15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 40	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27
	Loss of information	24	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23			22, 10, 1	10, 21, 22	32	27, 22	
	Loss of time	25		35, 38, 18, 16	10, 30, 18, 16	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 16	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10
	Amount of substance	26	35, 38, 18, 16		18, 3, 28, 40	13, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25
	Reliability	27	10, 30, 4	21, 28, 40, 3		32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26		27, 17, 40	1, 11
	Accuracy of measurement	28	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23			28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11
	Accuracy of manufacturing	29	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1			26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26		1, 32, 35, 23	25, 10
	Harmful factors acting on an object from outside	30	35, 10, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18			24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2
	Harmful factors developed by an object	31	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26					
	Manufacturability	32	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24		1, 35, 12, 18		24, 2			2, 5, 13, 16	35, 1, 25, 11, 9
	Convenience of use	33	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39		2, 5, 12		12, 26, 1, 32
	Repairability	34	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16		1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15	
	Adaptability	35	35, 28	3, 35, 15	25, 13, 5, 24	35, 5, 1, 10		35, 11, 32, 31		1, 13, 31	15, 34, 1, 16, 7	1, 16, 7, 4
	Complexity of a device	36	6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13
	Complexity of control	37	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28		22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26
	Level of automation	38	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13
	Capacity/Productivity	39		35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 35

## ตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งของคุณสมบัติ 39 อย่าง (ต่อ)

CHARACTERISTIC THAT IS GETTING WORSE					
35	36	37	38	39	
29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37	1
19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35	2
14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29	3
1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26	4
15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2	5
15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7	6
15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34	7
	1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2	8
15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18		9
15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37	10
35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37	11
1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10	12
35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3	13
15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14	14
1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19	15
2		25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38	16
2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35	17
15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16	18
15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35	19
		19, 35, 16, 23		1, 6	20
19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34	21
	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35	22
15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23	23
		35, 33	35	13, 23, 15	24
35, 20	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 25, 35, 30		25
15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27	26
13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38	27
13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32	28
	26, 2, 18		26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39	29
35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24	30
	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39	31
2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28	32
15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28	33
7, 1, 4, 16	35, 1, 25, 13, 11		34, 35, 7, 13	1, 32, 10	34
	15, 29, 27, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37	35
29, 15, 28, 37		15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28	36
1, 15	15, 10, 37, 28		34, 21	35, 18	37
27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25		5, 12, 35, 26	38
1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26		39

PRINCIPLES	
1	Segmentation
2	Extraction
3	Local Quality
4	Asymmetry
5	Consolidation
6	Universality
7	Nesting (Matrioshka)
8	Counterweight
9	Prior Counteraction
10	Prior Action
11	Cushion in Advance
12	Equipotentiality
13	Do It in Reverse
14	Spheroidality
15	Dynamicity
16	Partial or Excessive Action
17	Transition Into a New Dimension
18	Mechanical Vibration
19	Periodic Action
20	Continuity of Useful Action
21	Rushing Through
22	Convert Harm into Benefit
23	Feedback
24	Mediator
25	Self Service
26	Copying
27	Dispose
28	Replacement of Mechanical System
29	Pneumatic or Hydraulic Construction
30	Flexible Films of Thin Membranes
31	Porous Materials
32	Changing the Color
33	Homogeneity
34	Rejecting and Regenerating Parts
35	Transformation Properties
36	Phase Transition
37	Thermal Expansion
38	Accelerated Oxidation
39	Inert Environment
40	Composite Materials

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีระพงษ์ สำราญ เกิดวันที่ 24 มกราคม 2530 ที่จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนวังน้ำเย็นวิทยาคม จังหวัดสระแก้ว สำเร็จการศึกษาใน หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2552 ภายหลังจากสำเร็จ การศึกษาแล้วได้เข้าทำงานที่บริษัท ไอชินทากาโอเคเอเซีย จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรพัฒนา ผลิตภัณฑ์และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคต้น ปีการศึกษา 2556

