



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวิเคราะห์สาเหตุความเสียหายของเตาเผาโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล

สำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง:

กรณีศึกษา บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด

Root Cause Failure Analysis of Furnace by Using Data Mining

Techniques for Risk-Based Maintenance Planning:

Case Study of Siam Iron and Steel (2001) Co., Ltd.

นางสาวศิริประภา บุญยั้ง

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การวิเคราะห์สาเหตุความเสียหายของเตาเผาโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล สำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง: กรณีศึกษา บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นางสาวศิริประภา บุญยิ่ง
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นายอารีย์ หวังศุภผล และ นายสรศักดิ์ ดวงตา
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อคัดเลือกปัญหาสำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม เพื่อหาความสัมพันธ์ของความเสียหายจากข้อมูลการบำรุงรักษาในอดีต กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยคือความเสียหายของระบบ Refining Combined Burner (RCB) ของเตาเผา ซึ่งใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักข้อมูลในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่า องค์ประกอบความเสียหายของระบบ RCB ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ จากวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (ได้แก่ 1. PLU, OHE, ELU, FTS, Burner Injector, NG Flex Cable, Control Valve, Nose Unit, RCB Housing, และ 2. BRD, FCO, Oxygen Lance Flex Cable, Oxygen Burner Flex Cable, Coke Pipe, Coke Coupling, Coke Injector) และสามารถจัดกลุ่มความเสียหายได้ 5 กลุ่ม จากวิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (ได้แก่ 1. BRD, 2. FCO, FTS, Control Valve, Coke Pipe, Coke Coupling, Coke Injector, 3. OHE, ELU, Nose Unit, RCB Housing, 4. PLU, Burner Injector, NG Flex Cable, และ 5. Oxygen Burner Flex Cable, Oxygen Lance Flex Cable) เมื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของความเสียหายเป็นแผนผัง พบว่า สาเหตุความเสียหายของระบบ RCB มี 6 สาเหตุ ได้แก่ 1. ท่อเติมถ่านโค้กเสียหาย (Coke Pipe Damage), 2. ประกับเพลลาเสียหาย (Coke Coupling Failure), 3. น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงผิดปกติ (Cooling Water Overheating), 4. หัวเผาเกิดการอุดตัน (Burner Injector Clogging), 5. สายแก๊สออกซิเจนบรสิทุธิ์สำหรับกระบวนการเผาเสียหาย (Oxygen Burner Flex Cable Damage), และ 6. วาล์วควบคุมใช้งานไม่ได้ (Control Valve Failure) ซึ่งสาเหตุความเสียหายดังกล่าวคือปัญหาที่ถูกคัดเลือกเพื่อนำไปใช้ในการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง

คำสำคัญ: การทำเหมืองข้อมูล, การวิเคราะห์องค์ประกอบ, การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม

**Co-operative Title:** Root Cause Failure Analysis of Furnace by Using Data Mining Techniques for Risk-Based Maintenance Planning: Case Study of Siam Iron and Steel (2001) Co., Ltd.

**Student Intern Name:** Ms.Siraprapha Boonying

**Faculty:** Engineering

**Department:** Industrial Engineering

**Advisor Name:** Asst.Prof.Dr.Kittiwat Sirikasemsuk

**Mentor Name:** Mr.Aree Wangsupphaphol and  
Mr.Sorasak Duangta

**Company:** Siam Iron and Steel (2001) Co., Ltd.

### Abstract

The objective of the study was to select the problem for risk-based maintenance planning by using data mining techniques which comprised the factor analysis and the cluster analysis to find the relation of failures from historical maintenance data. The sample group in this study was the Refining Combined Burner system (RCB) of furnace by using the data weighting method. The results of this study were that there were two factors from factor analysis (i.e. 1. PLU, OHE, ELU, FTS, burner injector, NG flex cable, control valve, nose unit, RCB housing, and 2. BRD, FCO, oxygen lance flex cable, oxygen burner flex cable, coke pipe, coke coupling, coke injector), and there were five clusters from the cluster analysis (i.e. 1. BRD, 2. FCO, FTS, control valve, coke pipe, coke coupling, coke injector, 3. OHE, ELU, nose unit, RCB housing, 4. PLU, burner injector, NG flex cable, and 5. oxygen burner flex cable, oxygen lance flex cable). When the causal mapping was made, it was found that RCB failures were linked to the six root causes: 1. coke pipe damage, 2. coke coupling failure, 3. cooling water overheating, 4. burner injector clogging, 5. oxygen burner flex cable damage, and 6. control valve failure. The root causes of failure were the problems which were selected to create the risk-based maintenance planning.

**Keywords:** Data mining, factor analysis, cluster analysis

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษา เรื่องการวิเคราะห์สาเหตุความเสียหายของเตาเผา โดยการทำเหมืองข้อมูล สำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง กรณีศึกษา บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งนี้เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ การสนับสนุน การแนะนำ และแรงผลักดันจาก อาจารย์และบุคลากรหลายฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องดังนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด เป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าปฏิบัติงานสหกิจศึกษา รวมทั้งอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ซึ่งคอยให้คำแนะนำ และคำปรึกษาระหว่างการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ตลอดจนสละเวลาเพื่อตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องจนโครงการสหกิจศึกษานี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ นายสรศักดิ์ ดวงตา วิศวกรเครื่องกลประจำกลุ่มซ่อมบำรุงชำนาญการ ส่วนซ่อมบำรุง บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะแนวทาง และเอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ระหว่างการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ทำให้โครงการฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ นายกิตติ คุเจริญศิลป์ ผู้จัดการส่วนผลิตเหล็กแท่ง บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด ที่ให้คำแนะนำและตอบข้อซักถามต่างๆ ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณ นายอารีย์ หวังศุภผล ผู้จัดการกลุ่มซ่อมบำรุงชำนาญการ ส่วนซ่อมบำรุง บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ

และท้ายสุด ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ซึ่งได้มีส่วนช่วยให้โครงการสหกิจศึกษานี้ดำเนินไปจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศิริประภา บุญยิ่ง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย	7
1.6 ระยะเวลาการดำเนินการ	9
1.7 นิยามศัพท์	10
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Quality Control Tools)	11
2.2 การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining)	14
2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis)	16
2.4 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)	21
2.5 การบำรุงรักษา (Maintenance)	26
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 ศึกษาสภาพปัจจุบัน	29
3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา	29
3.2 กระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา	31
3.3 การเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหาย	34
3.4 ระบบ Refining Combined Burner	39
3.5 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	54
4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis)	54
4.2 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)	58
4.3 การเปรียบเทียบความคล้ายและความแตกต่างกันของวิธีการทางสถิติ (Similarity and Dissimilarity in the Statistical Method)	78
4.4 การวาดแผนผังเชิงสาเหตุ (Causal Mapping)	79
4.5 การเลือกประเภทของการบำรุงรักษา (Maintenance Selection Strategy)	81
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุปผลการวิจัย	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก ก กรอบมาตรฐาน ISO 14224	ผก 1
ภาคผนวก ข แผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงของระบบ Refining Combined Burner	ผข 1
ภาคผนวก ค คู่มือการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล	ผค 1

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ดัชนีชี้วัดผลงานภายใต้ความรับผิดชอบของ MEG	2
1.2	ค่าใช้จ่ายต่อหน้าที่เมื่อเกิดความล่าช้าของกลุ่มบริษัททาทา สตีล (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)	2
1.3	ข้อมูลความขัดข้องของส่วนผลิตเหล็กแท่งในระยะเวลา 1 ปี	3
1.4	ระยะเวลาการดำเนินการ	9
1.5	นิยามศัพท์	10
2.1	การแปลความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO)	17
2.2	ขั้นตอนการทำงานของการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่ม	22
2.3	ขั้นตอนการทำงานของการจัดกลุ่มแบบเคมิน	24
2.4	ขั้นตอนการทำงานของการจัดกลุ่มแบบ SOM	26
3.1	ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา	30
3.2	ข้อมูลความขัดข้องที่เกิดขึ้นภายในกลุ่ม EAF	36
3.3	ข้อมูลความขัดข้องที่เกิดขึ้นในกลุ่ม Furnace	38
3.4	ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner	41
3.5	ตัวอย่างการแปลงรูปของข้อมูลตามมาตรฐาน ISO 14224	51
3.6	การแจกแจงความเสียหายตามประเภทของระบบย่อย ส่วนประกอบ และ ตำแหน่งของหัว RCB ตามมาตรฐาน ISO 14224	52
3.7	การแจกแจงความเสียหายตามประเภทของลักษณะความเสียหายและ ตำแหน่งของหัว RCB ตามมาตรฐาน ISO 14224	52
4.1	ผลการวิเคราะห์ค่า Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) และ Bartlett's Test of Sphericity	54
4.2	จำนวนองค์ประกอบ ค่าลักษณะเฉพาะ ค่าร้อยละของความแปรปรวน และค่า ร้อยละของความแปรปรวนสะสมในแต่ละองค์ประกอบของคุณลักษณะความเสียหายและส่วนประกอบที่เสียหายหลังการสกัดองค์ประกอบ	55
4.3	ค่าน้ำหนักองค์ประกอบของความเสียหายของระบบ Refining Combined Burner	56
4.4	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	59
4.5	ค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสองระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร	61

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6	ตัวอย่างการคำนวณค่าผลรวมของค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสอง	63
4.7	ขั้นตอนการรวมกลุ่ม	65
4.8	ผลการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่ม	67
4.9	จุดศูนย์กลางเริ่มต้นของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม	68
4.10	ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม	69
4.11	จุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม เมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง	70
4.12	จุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม เมื่อข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลง	70
4.13	ผลการจัดกลุ่มแบบเคมิน	70
4.14	ตัวแทนเริ่มต้นของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม	71
4.15	ค่าความเป็นสมาชิกระหว่างข้อมูลกับตัวแทนของแต่ละกลุ่ม	72
4.16	ตัวแทนของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม เมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง	73
4.17	ตัวแทนของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม เมื่อครบจำนวนรอบในการวนซ้ำ 1000 รอบ	73
4.18	ผลการจัดกลุ่มแบบฟิชชีมีน	74
4.19	ผลการจัดกลุ่มแบบ SOM	76
4.20	ผลการรวมกลุ่มด้วยวิธี Majority Vote	77
4.21	ผลการรวมกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้แบบกลุ่ม	78
4.22	ความคล้ายและความแตกต่างของการวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม	79
4.23	สรุปการเลือกประเภทของการบำรุงรักษาสำหรับสาเหตุฐานรากที่ระบุได้	82

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	วิธีการดำเนินการวิจัย	8
2.1	ตัวอย่างแผนผังพาเรโต	12
2.2	โครงสร้างของแผนผังก้างปลา	13
2.3	ลักษณะโดยทั่วไปของความสัมพันธ์ร่วมของข้อมูลที่วิเคราะห์โดยแผนภาพการกระจาย	14
2.4	กราฟสกรี (Scree Plot) ของการวิเคราะห์องค์ประกอบ	20
2.5	ตัวอย่างของแผนภูมิต้นไม้จำลอง	21
3.1	กระบวนการผลิตเหล็กแท่งในส่วนผลิตเหล็กแท่ง	32
3.2	กระบวนการผลิตเหล็กรูปพรรณขนาดเล็กในส่วนผลิตเหล็กรีด	33
3.3	กระบวนการผลิตเหล็กหลอดในส่วนผลิตเหล็กรีด	34
3.4	แผนผังพาเรโตแสดงลำดับความสำคัญของระบบที่เกิดความล่าช้าในส่วนผลิตเหล็กแท่ง	38
3.5	ตำแหน่งของ RCB	39
3.6	ส่วนประกอบหลักภายในแผงจุ่ม	40
4.1	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักองค์ประกอบระหว่างองค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2	57
4.2	แผนภูมิต้นไม้จำลอง	66
4.3	การลากเส้นสมมติตัดผ่านแผนภูมิต้นไม้จำลอง	67
4.4	แผนผังเชิงสาเหตุ	80

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ความผันผวนในกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภาพและความน่าเชื่อถือที่ทุกองค์กรต้องเผชิญมักเกิดจากปัญหาเพียงเล็กน้อยที่ถูกมองข้าม นั่นคือปัญหาเครื่องจักรขัดข้อง (Breakdown) เมื่อใดที่เครื่องจักรขัดข้อง การทำงานของเครื่องจักรจะมีประสิทธิภาพต่ำลง ส่งผลให้โอกาสในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามคุณภาพลดลง ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น และอาจทำให้การส่งมอบผลิตภัณฑ์ไม่ทันตามแผนที่กำหนดไว้ ก่อให้เกิดการเสียโอกาสในการค้า และความน่าเชื่อถือขององค์กรที่ลดลง ดังนั้น ส่วนซ่อมบำรุงถือเป็นส่วนสนับสนุนกระบวนการผลิตที่มีบทบาทสำคัญในการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้สามารถทำงานต่อได้เมื่อเกิดอาการขัดข้อง ส่วนซ่อมบำรุงจะทำหน้าที่วิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหาย (Root Cause Failure Analysis) ด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ ได้แก่ แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี 5-whys เพื่อนำสาเหตุฐานรากที่ได้มาทำการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรในลำดับถัดไป ซึ่งการวิเคราะห์สาเหตุฐานรากด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพดังกล่าวจะถูกขับเคลื่อนด้วยความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์ ดังนั้น การสนับสนุนให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือจึงควรมีการใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพร่วมกับวิธีการทางสถิติ เพื่อนำไปสู่การจัดทำการแผนบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด หรือ SISCO เป็นสถานประกอบการที่ประกอบอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กในเครือกลุ่มบริษัท ทาทา สตีล (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) มีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต ได้แก่ เหล็กแท่ง (Billet) เหล็กหลอด (Wire Rod) และเหล็กรูปพรรณขนาดเล็ก (Small Section) มีอาคารและพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตจำแนกออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนผลิตเหล็กแท่ง (Steel Plant) ส่วนผลิตเหล็กรูปพรรณ (Section Mill) ส่วนผลิตเหล็กหลอด (Wire Rod Mill) และส่วนสนับสนุนกระบวนการผลิต (Utility Plant) ได้แก่ ส่วนซ่อมบำรุง ส่วนประกันคุณภาพ ส่วนควบคุมคุณภาพ เป็นต้น การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เข้าไปมีส่วนร่วมในการทำงานของกลุ่มซ่อมบำรุงชำนาญการ (Maintenance Expert Group (MEG)) ส่วนซ่อมบำรุง ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการและประสิทธิภาพของการบำรุงรักษา

ในปัจจุบันบริษัทกำลังประสบปัญหาความล่าช้าของกระบวนการผลิตเนื่องจากเครื่องจักรขัดข้องบ่อย จากการตรวจสอบดัชนีชี้วัดผลงาน (Key Performance Indicator (KPI)) ภายใต้อาชีพรับผิดชอบของ MEG เมื่อสิ้นไตรมาสที่ 1 ของปีงบประมาณ 2020 พบว่า จำนวนครั้งที่เครื่องจักรเกิดความเสียหายซ้ำนั้น ยังมีค่าสูงกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ดัชนีชี้วัดผลงานภายใต้ความรับผิดชอบของ MEG

	KPI	เป้าหมาย	ผลที่ได้
การบำรุงรักษาเชิง แก้ไขปรับปรุง	การวิเคราะห์สาเหตุฐานรากสำหรับความล่าช้าที่รุนแรง	100%	100%
	การขยายผลสำหรับการป้องกันความล่าช้าที่รุนแรง	>90%	91%
การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน	ปรับปรุงคุณภาพพร้อมกับการใช้ SMP	100%	125%
	พัฒนา SMP ของระบบไฮดรอลิก ระบบหล่อลื่น ระบบปั๊ม ระบบคอมเพรสเซอร์ และระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าใหม่	100%	100%
	การตรวจสอบแบบออฟไลน์	2	กำลังดำเนินการ
	จำนวนครั้งที่เกิดความเสียหายซ้ำ *	<20%	37%
	จำนวนอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่สามารถจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง	12	2
การพัฒนาประสิทธิภาพ	การเข้ารับการอบรมในหัวข้อพิเศษ	6	2
	การวิเคราะห์ระบบการวัด	3	กำลังดำเนินการ
โครงการพิเศษ	โครงการร่วมกับมหาวิทยาลัย	2	1

หมายเหตุ เครื่องหมายดอกจัน (\*) หมายถึง ขอบเขตของการศึกษา

เมื่อใดที่เครื่องจักรขัดข้อง ก็จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ซึ่งค่าใช้จ่ายต่ออนาทีเมื่อเกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิต แสดงดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ค่าใช้จ่ายต่ออนาทีเมื่อเกิดความล่าช้าของกลุ่มบริษัททาทา สตีล (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

โรงงาน	ค่าใช้จ่าย (บาทต่ออนาที)			
	Steel Plant	Rebar Mill	Wire Rod Mill	Small Section Mill
NTS	382.0	607.7	649.6	ไม่ได้ผลิต
SCSC	268.0	498.0	ไม่ได้ผลิต	ไม่ได้ผลิต
SISCO *	333.0	ไม่ได้ผลิต	186.0	194.0

หมายเหตุ เครื่องหมายดอกจัน (\*) หมายถึง โรงงานที่ทำการศึกษานในงานวิจัยนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 1.2 พบว่า ค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดความล่าช้าในส่วนผลิตเหล็กแท่งของ SISCO เท่ากับ 333.0 บาทต่อนาที ซึ่งสูงกว่าส่วนอื่นๆ ภายในโรงงาน ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า การมุ่งเน้นไปยังส่วนผลิตเหล็กแท่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายของโรงงานได้รวดเร็วกว่าส่วนอื่น

เมื่อทำการศึกษาข้อมูลความขัดข้องของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในส่วนผลิตเหล็กแท่งย้อนหลังเป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่า ส่วนผลิตเหล็กแท่งเกิดความขัดข้องของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรเป็นจำนวนทั้งหมด 368 ครั้ง หรือคิดเป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้น 9,189 นาที ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลความขัดข้องของส่วนผลิตเหล็กแท่งในระยะเวลา 1 ปี

รหัส	กลุ่มย่อย	จำนวนครั้ง	เวลาล่าช้ารวม (นาที)	ระยะเวลาเฉลี่ย ในการซ่อม (นาทีต่อครั้ง)
11A	Furnace Roof Area	49	2,188	600
11B	Furnace	132	3,252	703
11C	Electrodes Units	18	684	315
11D	Dusts at Furnace Exist	1	28	28
11E	Tapping Units	11	398	184
11F	Ladle Preheating Units	1	10	10
11H	Hydraulic Central Unit	5	70	21
11J	Auxiliary Unit for EAF	5	42	28
11K	Bucket Car Unit	13	145	79
11L	Scrap Bucket	5	24	14
13A	Furnace Roof	11	347	61
13F	Hydraulic Central Unit	1	11	11
14A	Main Incoming	2	25	13
15A	Tundish Units	5	417	320
15E	Apron and Dummy Bar Area	2	105	53
15F	Withdrawal Units	4	100	51
15I	Automatic Cutting Torch Units	1	63	63

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลความขัดข้องของส่วนผลิตเหล็กแท่งในระยะเวลา 1 ปี (ต่อ)

รหัส	กลุ่มย่อย	จำนวนครั้ง	เวลาล่าช้ารวม (นาทีก)	ระยะเวลาเฉลี่ย ในการซ่อม (นาทีกต่อครั้ง)
15J	Transport and Discharge Roller Table	1	25	25
15K	Transfer Car and Cooling Bed Area	2	20	10
15M	Hydraulic Central Unit	1	99	99
18A	Suction Units of Canopy	36	179	21
18B	Dust Hood of Units	1	14	14
18F	Dust Hopper Units	1	16	16
19A	Electric and Automation for Bag House	2	9	5
19B	Electric and Automation for Canopy	2	9	9
51A	Water Supply Zone A	6	40	27
54A	Steel Plant Crane	33	504	284
54C	Scrap Yard 1 Crane	16	326	69
54F	Billet Yard Crane	1	9	9
	รวม	368	9,189	3,142

ในระยะเวลา 1 ปี ส่วนผลิตเหล็กแท่งมีค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดความล่าช้ารวมทั้งสิ้นเป็นเงิน 3,059,937 บาท เกิดจาก 333.0 บาทต่อนาที x 9,189 นาที ซึ่งถือเป็นค่าใช้จ่ายที่ถึงแม้จะไม่ได้มาก แต่ก็ควรจะมีการควบคุมหรือลดค่าใช้จ่ายให้น้อยลงเท่าที่จะทำได้ ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์สาเหตุฐานรากที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยลดโอกาสการเกิดความเสียหายของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรซ้ำ

ที่มาของปัญหาเริ่มมาจากความล่าช้าของกระบวนการผลิตเนื่องจากอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในส่วนผลิตเหล็กแท่งเกิดการขัดข้องบ่อยครั้ง ซึ่งวิธีการแก้ไขในปัจจุบันคือการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง โดยเริ่มจากการกำหนดระบบที่ต้องการจะพิจารณา ระดับความเสี่ยง ตลอดจนศึกษากระบวนการทำงานของระบบนั้น ๆ และทำการประเมินออกมาเป็นค่าระดับความเสี่ยง ซึ่งค่าระดับความเสี่ยงจะถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเมินจากระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (Mean Time Between Failures (MTBF)) และระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เสียหายจนใช้งานได้แต่ละครั้ง (Mean Time To Repair (MTTR)) หากพบว่าค่าระดับความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ระบบนั้น ๆ ก็จะถูกเพิกเฉยต่อการหามาตรการหรือวิธีการป้องกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการคัดเลือกปัญหาสำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงในแต่ละครั้ง ไม่ได้มีสิ่งที่จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าปัญหาที่ถูกคัดเลือกมานั้นคือปัญหาที่ต้องถูกแก้ไขจริง ๆ และเนื่องจากเป็นการพิจารณาเพียงระดับความลึกที่สนใจเท่านั้น ทำให้ความสัมพันธ์ของความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกันทั้งระบบถูกมองข้าม นำไปสู่การแก้ไขปัญหาที่ไม่ตรงจุด

ข้อความแห่งปัญหา (Statement of Problem) คือ การขาดการวิเคราะห์หาสาเหตุความเสียหายที่คำนึงถึงความสัมพันธ์ของทั้งระบบ ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาลูกข่ายหรือเครื่องจักรเสียหายได้อย่างตรงจุด

ดังนั้น โครงการสหกิจศึกษานี้จะมุ่งเน้นการวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหายของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เกิดการขัดข้องบ่อยครั้งภายในส่วนผลิตหลักแห่ง โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม มาช่วยในการจำแนกหรือทำนายกลุ่ม เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ของความเสี่ยงโดยอาศัยข้อมูลการบำรุงรักษาในอดีต จากนั้นระบุสาเหตุฐานรากความเสียหายโดยการวาดแผนผังเชิงสาเหตุและเลือกแผนการบำรุงรักษาที่เป็นไปได้สำหรับสาเหตุฐานรากนั้น เพื่อสนับสนุนการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงของกลุ่มซ่อมบำรุงชำนาญการ (Maintenance Expert Group (MEG)) ส่วนซ่อมบำรุง ซึ่งถือเป็นกิจกรรมหนึ่งในเสาหลักของการบำรุงรักษาวิวัฒนาการแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance) อันก่อให้เกิดเครื่องจักรขัดข้องเป็นศูนย์ (Zero Breakdown) ของเสียเป็นศูนย์ (Zero Defect) และอุบัติเหตุเป็นศูนย์ (Zero Accident) นำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตในที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อค้นหาความสัมพันธ์เชิงลึกของความเสี่ยงของเสียหายของอุปกรณ์หรือเครื่องจักร ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Factor Analysis) และการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)
2. เพื่อคัดเลือกปัญหาหลักสำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง ด้วยวิธีการวาดแผนผังเชิงสาเหตุ (Causal Mapping)

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

#### 1. ประโยชน์ต่อสถานประกอบการ

- สามารถลดจำนวนความเสียหายของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เกิดซ้ำได้
- สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลการบำรุงรักษาในฐานะข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
- เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหายของอุปกรณ์หรือ

เครื่องจักรประเภทอื่นในอนาคต

#### 2. ประโยชน์ต่อผู้วิจัย

- เพิ่มพูนความรู้ทางวิชาการ และประสบการณ์จากการทำงานในสถานประกอบการจริง
- ฝึกทักษะในการแก้ปัญหา

#### 3. ประโยชน์ต่อสถานศึกษา

- เกิดความร่วมมือทางวิชาการและความสัมพันธ์ที่ดีกับสถานประกอบการ
- เป็นแนวทางในการทำโครงการสหกิจศึกษาหรือโครงการงานของนักศึกษาในปีการศึกษาถัดไป

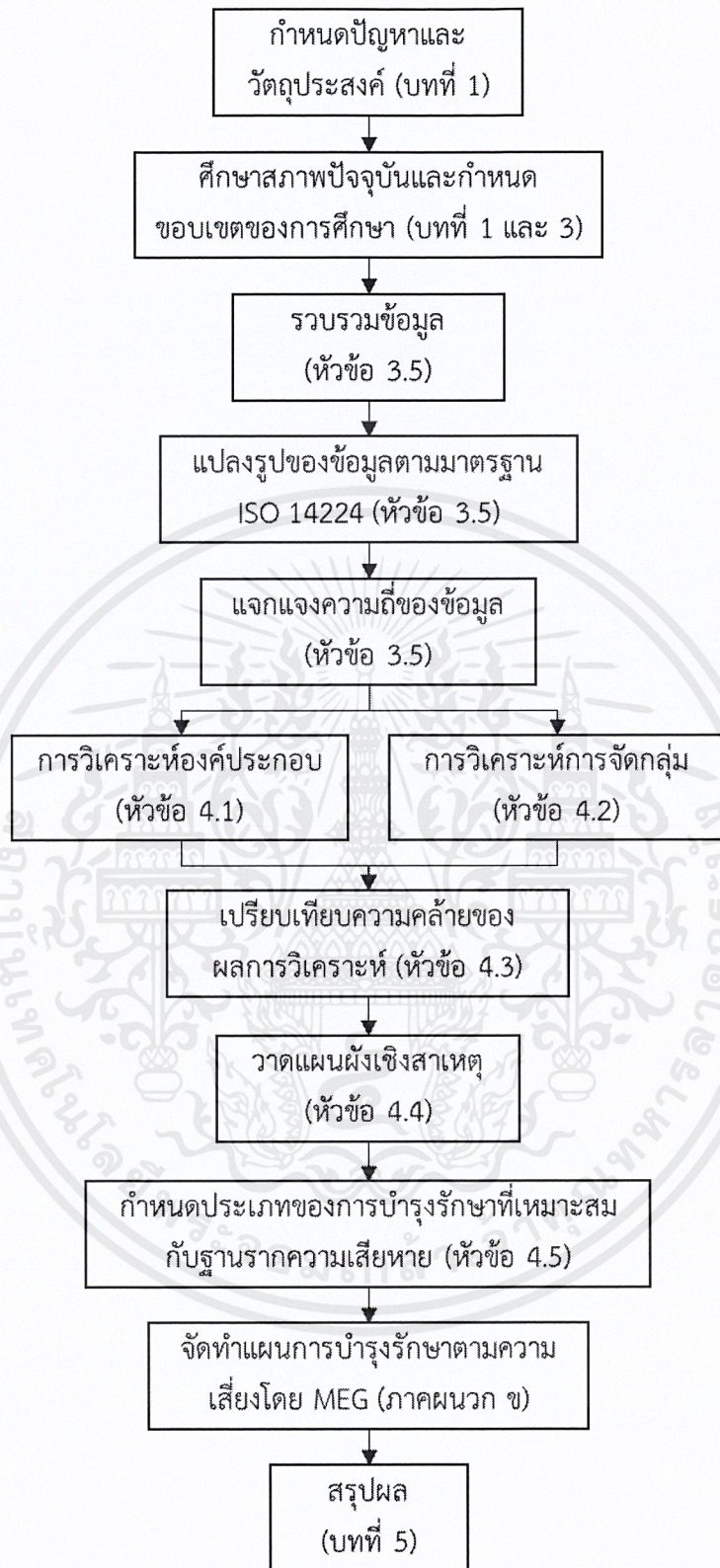
### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ใช้โรงงานผลิตเหล็ก บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด เป็นกรณีศึกษา
2. งานวิจัยนี้ศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหายของระบบ Refining Combined Burner (RCB) ของเตาเผา (Furnace)
3. งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลระดับทุติยภูมิที่เก็บรวบรวมจากฐานข้อมูลของบริษัท โดยเก็บรวบรวมตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน พ.ศ.2561 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ.2562 เป็นระยะเวลา 364 วัน
4. ข้อมูลระดับทุติยภูมิที่เก็บรวบรวมจากฐานข้อมูลจะถูกเปลี่ยนรูปข้อมูลให้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ โดยเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของคำศัพท์และคำจำกัดความตามมาตรฐาน ISO 14224
5. ข้อมูลนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์การจัดกลุ่มจะสนใจเฉพาะจำนวนความถี่ของความเสียหายที่เกิดขึ้น
6. โปรแกรมลิขสิทธิ์ของบริษัทกรณีศึกษาคือ Minitab 16 และโปรแกรมเสรี ได้แก่ KNIME 3.7.1 ซึ่งเป็นโปรแกรมเปิดเผยรหัส และ Tanagra 1.4.50

## 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

การคัดเลือกปัญหาสำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงโดยการใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล ผู้วิจัยได้กำหนดแผนในการดำเนินงานตามรูปที่ 1.1 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน
2. ศึกษาสภาพปัจจุบันของบริษัท และกำหนดขอบเขตของการศึกษา
3. รวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาในอดีตจากฐานข้อมูลของบริษัท
4. แปลงรูปของข้อมูลทำการเก็บรวบรวมให้อยู่ในรูปของคำศัพท์และคำจำกัดความตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 14224
5. แจกแจงความถี่ของข้อมูล เพื่อใช้เป็นข้อมูลขาเข้า (Input) สำหรับการวิเคราะห์
6. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล 2 ประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม
7. เปรียบเทียบความคล้ายของผลการวิเคราะห์
8. ค้นหาสาเหตุฐานรากความเสียหาย โดยการศึกษาการทำงานของระบบและแสดงความสัมพันธ์ของความเสียหายออกมาเป็นแผนผัง
9. กำหนดประเภทของการบำรุงรักษาที่เหมาะสมและเป็นไปได้สำหรับฐานรากความเสียหาย
10. นำสาเหตุฐานรากความเสียหายไปจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง ซึ่งขั้นตอนนี้อยู่ในความรับผิดชอบของ MEG
11. สรุปผลการวิจัย



รูปที่ 1.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

## 1.6 ระยะเวลาการดำเนินการ

การวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหายระยะเวลาการดำเนินการ แสดงดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 ระยะเวลาการดำเนินการ

วิธีการดำเนินการ	บทที่	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา	1																
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2																
3. ศึกษาสภาพปัจจุบัน และ รวบรวมข้อมูลที่จำเป็น	3																
4. วิเคราะห์สาเหตุฐานราก ความเสียหาย และเลือก ประเภทของการบำรุงรักษา	4																
5. สรุปผลการวิจัย	5																

## 1.7 นิยามศัพท์

นิยามคำศัพท์ แสดงดังตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 นิยามศัพท์

คำศัพท์	ชื่อเต็ม	ความหมาย
FY	Fiscal Year	รอบระยะเวลา 1 รอบปีบัญชี
MEG	Maintenance Expert Group	กลุ่มซ่อมบำรุงชำนาญการ
PCA	Principal Component Analysis	การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก
EAF	Electric Arc Furnace	เตาอาร์คไฟฟ้า
FBM	Failure-Based Maintenance	การบำรุงรักษาตามความเสียหาย
DOM	Design-Out Maintenance	การบำรุงรักษาเชิงรุก
CBM	Condition-Based Maintenance	การบำรุงรักษาตามสภาพ
TBM	Time-Based Maintenance	การบำรุงรักษาตามระยะเวลา
BRD	Breakdown	ความเสียหายเนื่องจากการขาดหรือการแตกหัก
PLU	Plugged/Choked	ความเสียหายเนื่องจากการอุดตัน
OHE	Overheating	ความเสียหายเนื่องจากเกิดความร้อนสูง
ELU	External Leakage	ความเสียหายเนื่องจากการรั่วไหลออกมาภายนอก เช่น น้ำหล่อเย็น น้ำมัน เป็นต้น
FCO	Failure to Connect	ความเสียหายเนื่องจากไม่สามารถเชื่อมกับตัวเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์
FTS	Failure to Start on Demand	ความเสียหายเนื่องจากการทำงานไม่ได้ตามที่ต้องการ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงการสหกิจศึกษา เรื่องการวิเคราะห์สาเหตุรากฐานความเสียหายของเตาเผา โดยการ  
ทำเหมืองข้อมูล เพื่อสนับสนุนการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง: กรณีศึกษา บริษัท เหล็กสยาม  
(2001) จำกัด ผู้วิจัยได้กล่าวถึงองค์ความรู้ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่นำมาประยุกต์ใช้ ทำให้  
โครงการสามารถสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยมีหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Quality Control Tools)

2.2 การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining)

2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis)

2.4 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)

2.5 การบำรุงรักษา (Maintenance)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Quality Control Tools)

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพในกระบวนการผลิต  
ซึ่งจะช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การคัดเลือกปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา ตลอดจน  
การวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพที่สำคัญมี 7 ประเภท ดังนี้

1. ใบรายการตรวจสอบ (Check Sheet)

ใบรายการตรวจสอบ เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างง่ายในรูปแบบตาราง ซึ่งภายในตารางจะระบุ  
หัวข้อและช่องว่างสำหรับบันทึกค่าหรือเครื่องหมายต่างๆ เพื่อเก็บจำนวนครั้งที่ได้จากการสังเกต เช่น  
ใบรายการตรวจสอบข้อบกพร่องของสินค้า จะรวบรวมความถี่ของข้อบกพร่องแยกตามลักษณะที่พบในแต่ละ  
วันหรือแต่ละเดือน เป็นต้น

2. กราฟ (Graph)

กราฟ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูลที่เป็นตัวเลขออกมาให้เห็นภาพ ทำให้ผู้อ่านเข้าใจ  
ข้อมูลต่างๆ ได้ดี สะดวกต่อการแปลความหมาย และสามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่า  
การนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น กราฟที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมี 3 ประเภท ดังนี้

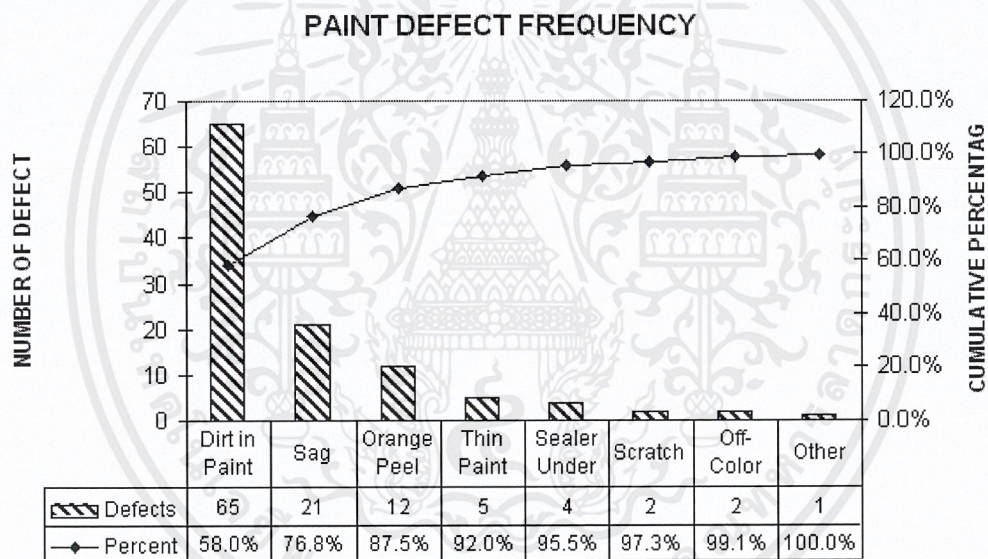
- กราฟเส้น (Line Graph) เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว เช่น ใช้สำหรับ  
สังเกตการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น

- กราฟแท่ง (Bar Graph) เป็นกราฟที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบปริมาณหรือขนาดของข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป ยกเว้นกรณีที่เป็นข้อมูลเกี่ยวกับเวลา

- กราฟวงกลม (Pie Graph) เป็นกราฟที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบจำนวนของชุดข้อมูลย่อยกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดในรูปร้อยละ

### 3. แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนผังพาเรโต เป็นแผนผังที่ใช้สำหรับการตรวจสอบปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในองค์กร โดยการนำเอาปัญหามาแบ่งแยกประเภท แล้วเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย เพื่อแสดงให้เห็นว่าแต่ละปัญหามีอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับปัญหาทั้งหมด ดังรูปที่ 2.1 และใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกปัญหาเร่งด่วนมาทำการแก้ไขตามหลักการ 80-20 ของพาเรโต ที่กล่าวไว้ว่ามีปัญหาเพียงร้อยละ 20 เท่านั้นที่สร้างความเสียหายส่วนใหญ่ให้กับองค์กร (มารวย เพ็งอุดม, 2557)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแผนผังพาเรโต

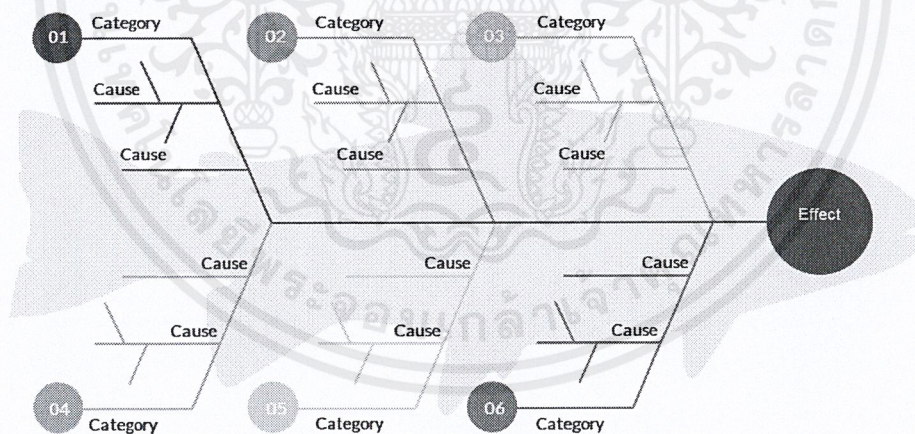
(<https://www.moresteam.com/toolbox/pareto-chart-manufacturing.cfm>)

#### 4. ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรม เป็นกราฟแท่งแบบเฉพาะที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติกับปริมาณของ คุณสมบัตินั้น เพื่อดูการกระจายของข้อมูลว่ามีค่าเกินจากเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ หรือใช้ ตรวจสอบประสิทธิภาพของการปรับปรุง คุณสมบัติจะเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก โดยกำหนดให้แกนตั้ง เป็นตัวเลขแสดงความถี่ และแกนนอนเป็นข้อมูลของคุณสมบัติของสิ่งที่สนใจ แท่งกราฟแต่ละแท่งจะมีความกว้างเท่ากันซึ่งเท่ากับความกว้างของชั้นข้อมูล และความสูงของกราฟแต่ละแท่งนั้นจะสูงเท่ากับ จำนวนความถี่ของแต่ละชั้นข้อมูล (มารุต มูเก็ม, ผู้เรียบเรียง)

#### 5. แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

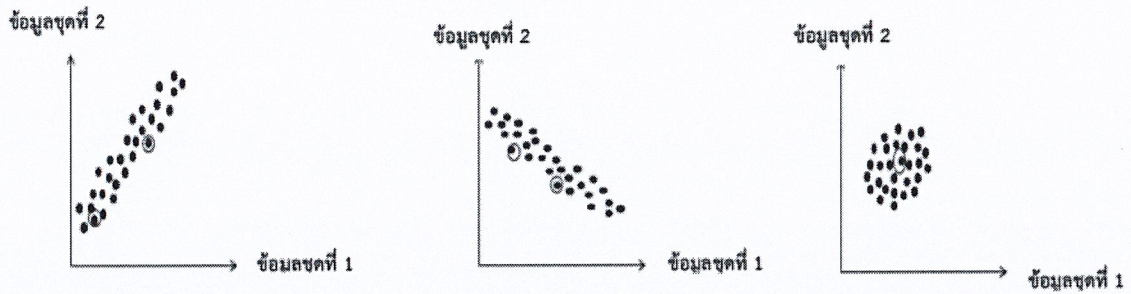
แผนผังแสดงเหตุและผล หรือแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) เป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างปัญหาและสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น โดยทางขวามือของแกนนอนหรือหัวปลา (Fish Head) จะแสดงผลกระทบหรือปัญหาที่เกิดขึ้น (Effect) ส่วนสาเหตุหลักของปัญหาจะแสดงอยู่บนแกนนอนที่มีลักษณะเหมือนก้างปลา (Fish Bone) โดยมีสาเหตุย่อยแตกแขนงออกจากสาเหตุหลักต่อไป ดังรูปที่ 2.2 แผนภูมิ ก้างปลาจะช่วยให้ผู้วิเคราะห์มองเห็นสาเหตุที่แท้จริงและแก้ไขปัญหาก็ได้ถูกต้องตรงจุดมากขึ้น (<http://www.research-system.siam.edu/images/IE/Chanida/1.2557/1/6.pdf>)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของแผนผังก้างปลา

#### 6. แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

แผนภาพการกระจาย เป็นแผนภาพที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด ที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ สามารถวัดเป็นตัวเลขได้ชัดเจน เช่น อุณหภูมิของเตาหลอมกับความแข็งของชิ้นงาน อุณหภูมิกับอัตราการเติบโต เป็นต้น ว่ามีแนวโน้ม (Trend) ไปในทิศทางใด เพื่อที่จะใช้หาหลักความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยทั่วไปลักษณะความสัมพันธ์สามารถจำแนกออกเป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 2.3



(ก) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน (ข) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้าม (ค) ไม่มีความสัมพันธ์  
รูปที่ 2.3 ลักษณะโดยทั่วไปของความสัมพันธ์ร่วมของข้อมูลที่วิเคราะห์โดยแผนภาพการกระจาย  
(เรื่องลักษณะ บุตรเพศ และคณะ)

## 7. แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุม เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อให้ทราบปัญหาและปรับปรุงให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยใช้วิธีการทางสถิติเข้ามาช่วย ซึ่งจะสามารถติดตามกระบวนการในช่วงเวลาต่างๆ และศึกษาแนวโน้ม (Trend) เพื่อทำนายสภาพของการผลิตในอนาคตได้ (ศรีโร จารุภิญโญ, 2540)

## 2.2 การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining)

การทำเหมืองข้อมูล หรือการค้นหาความรู้จากฐานข้อมูล (Knowledge Discovery in Databases) เป็นกระบวนการกลั่นกรองสารสนเทศที่ซ่อนอยู่ในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการทำนายแนวโน้มและพฤติกรรม โดยอาศัยข้อมูลในอดีตเพื่อค้นหารูปแบบความสัมพันธ์ และองค์ความรู้ใหม่จากข้อมูลที่ไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนจากวิธีการประมวลผลข้อมูลแบบพื้นฐาน โดยทั่วไปแล้วการทำเหมืองข้อมูลประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ (ปราณี มณีรัตน์, 2554)

1. การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) เป็นขั้นตอนที่สำคัญและใช้เวลานานที่สุด ถือเป็นหัวใจหลักของการทำเหมืองข้อมูล การเตรียมข้อมูลสามารถจำแนกออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

ก. การเลือกข้อมูล (Data Selection) เป็นขั้นตอนการระบุแหล่งข้อมูลที่จะนำมาทำเหมืองข้อมูล รวมถึงการนำข้อมูลที่ต้องการออกจากฐานข้อมูล เพื่อสร้างกลุ่มข้อมูลสำหรับพิจารณาในเบื้องต้น

ข. การกรองข้อมูล (Data Cleaning) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล โดยการลบหรือลดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ ข้อมูลที่มีสิ่งรบกวน (Noise) หรือข้อมูลที่ไม่สอดคล้องออกจากชุดข้อมูล

ค. การแปลงรูปแบบข้อมูล (Data Transformation) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนรูปข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน และเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ เช่น เปลี่ยนจากข้อมูลตัวอักษรเป็นตัวเลข เป็นต้น

2. การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เป็นขั้นตอนการค้นหาความรู้จากฐานข้อมูลโดยอาศัยวิธีการทางสถิติ วิธีการทางคอมพิวเตอร์ หรือการเรียนรู้ของเครื่อง

3. การประเมินรูปแบบ กฎเกณฑ์ หรือความสัมพันธ์ที่ได้รับ (Pattern Evaluation) เป็นขั้นตอนวิเคราะห์และประเมินผลของรูปแบบ กฎเกณฑ์ หรือความสัมพันธ์ที่ได้รับจากการทำเหมืองข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือตรงวัตถุประสงค์หรือไม่

4. การนำเสนอองค์ความรู้ (Knowledge Representation) เป็นขั้นตอนนำเสนอองค์ความรู้ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานได้

สถิติเป็นสาขาหนึ่งของคณิตศาสตร์ ที่ถูกนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและใช้อธิบายคุณลักษณะของข้อมูล โดยปกติแล้วนิยมนำสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับการทำให้เหมืองข้อมูลจะอาศัยวิธีการทางสถิติ เพื่อใช้ในการค้นหารูปแบบและสร้างตัวแบบ (Model) สำหรับใช้ในการทำนาย โดยวิธีการทางสถิติที่ถูกนำมาใช้ในการทำให้เหมืองข้อมูล มีดังนี้ (พจนานาวาสวัสดิ์, 2547)

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น โดยทั่วไปการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำให้เหมืองข้อมูลจะใช้การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Central Tendency) ในการวัดตำแหน่งกลางของข้อมูล เช่น ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม รวมถึงการวัดการกระจายของข้อมูล (Measurement of Variation) เช่น ความแปรปรวน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น

2. การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามจากตัวแปรอิสระที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยตัวแปรที่นำมาใช้ต้องเป็นตัวเลข การวิเคราะห์ความถดถอยมีตัวแบบ (Model) หลายแบบ เช่น การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน การวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุนาม เป็นต้น

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณกับตัวแปรเชิงกลุ่ม เมื่อกำหนดให้ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ และตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม เพื่อใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามแยกตามตัวแปรอิสระ เช่น การทดสอบความแตกต่างของยอดขายของโทรศัพท์มือถือยี่ห้อต่างๆ ซึ่งในที่นี้ตัวแปรตามคือยอดขาย และตัวแปรอิสระคือยี่ห้อของโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA)

4. การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่ออธิบายข้อมูลให้ง่ายขึ้นด้วยการลดจำนวนตัวแปรให้น้อยลง โดยการรวมกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันให้อยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน ซึ่งความสัมพันธ์นั้นอาจเป็นได้ทั้งทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงข้ามกัน

5. การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มในเรื่องที่ทำการศึกษา โดยทำการแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป เมื่อกำหนดให้ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม และตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ วิธีการนี้จะถูกนำมาใช้เมื่อต้องการทราบว่าตัวแปรอิสระที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามจะสามารถนำมาใช้เป็นตัวแบ่งกลุ่มของตัวแปรตามได้ถูกต้องหรือไม่

6. การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis) เป็นวิธีการจัดสิ่งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันให้อยู่ภายในกลุ่มเดียวกัน โดยลักษณะคล้ายคลึงนี้อาจจะคล้ายคลึงกันในบางลักษณะเท่านั้น ในการจัดกลุ่มผู้วิเคราะห์จะไม่ทราบว่าค่าของข้อมูลหรือค่าสังเกตอยู่กลุ่มใดมาก่อน ซึ่งการจะจัดกลุ่มได้ถูกต้องนั้น จะต้องมีการเก็บรวบรวมตัวแปรที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับเรื่องที่ศึกษาให้ครบถ้วน

7. การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) เป็นวิธีการประมาณหรือการคาดเดาเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลในอดีต เช่น การประมาณความต้องการของสินค้าหรือบริการ ความต้องการด้านแรงงานในอนาคต เป็นต้น

รูปแบบความสัมพันธ์ และองค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากตัวแบบหลายๆ แบบ จะถูกนำมารวมเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบกลุ่ม (Ensemble Learning) ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. Majority Vote เป็นวิธีการทำนายผลสุดท้ายของตัวแบบที่ได้จากการสร้างตัวแบบที่แตกต่างกันด้วยข้อมูลสอน (Training Data) ชุดเดียวกัน

2. Bootstrap Aggregation (Bagging) เป็นวิธีการทำนายผลสุดท้ายของตัวแบบที่ได้จากการสร้างตัวแบบที่เหมือนกันด้วยข้อมูลสอน (Training Data) ที่สุ่มออกเป็นหลายชุด

3. Random Forest เป็นวิธีการทำนายผลสุดท้ายของต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) หลายๆ ต้นที่มีการสุ่มข้อมูลสอน (Training Data) และแอตทริบิวต์ (Attribute) ออกเป็นหลายชุด

### 2.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบ เป็นวิธีการทางสถิติวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์พหุตัวแปร (Multivariate Analysis) มีแนวคิดหลักคือการลดมิติของข้อมูลที่ประกอบด้วยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันจำนวนมาก (Jolliffe, 2002) โดยการรวมกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันมากไว้ในตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่เรียกว่า องค์ประกอบ (Component) ซึ่งความสัมพันธ์นั้นอาจจะอยู่ในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงข้ามกันก็ได้ ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละองค์ประกอบจะไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบมีวิธีการ 4 ขั้นตอน ดังนี้ (พจนานาวาสวัสดิ์, 2547)

1. การคำนวณค่าสหสัมพันธ์ภายในและสร้างเมทริกซ์สหสัมพันธ์

ค่าสหสัมพันธ์ภายใน สามารถคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) ดังสมการที่ (2.5) หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคู่ใดมีค่าใกล้เคียง +1 หรือ -1 แสดงว่าตัวแปรคู่นั้นมีความสัมพันธ์กันมาก ควรจัดอยู่ในองค์ประกอบ (Factor) เดียวกัน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคู่ใดมีค่าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรคู่นั้นไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ควรจัดอยู่คนละองค์ประกอบ (Factor) นอกจากนี้ หากตัวแปรใดที่ไม่มี ความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นหรือมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นที่เหลือน้อยมาก ควรตัดตัวแปรเหล่านั้น ออกจากการวิเคราะห์ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548)

$$r = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $r$  คือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

$N$  คือจำนวนตัวแปร

$\bar{x}$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $x$

$\bar{y}$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $y$

จากนั้นตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยใช้สถิติ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) เพื่อวัดความเหมาะสมของข้อมูล โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแปลความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO)

ค่า KMO	ความหมาย
0.80 ขึ้นไป	เหมาะสมที่จะวิเคราะห์องค์ประกอบมากที่สุด
0.70 – 0.79	เหมาะสมที่จะวิเคราะห์องค์ประกอบมาก
0.60 – 0.69	เหมาะสมที่จะวิเคราะห์องค์ประกอบปานกลาง
0.50 – 0.59	เหมาะสมที่จะวิเคราะห์องค์ประกอบน้อย
น้อยกว่า 0.50	ไม่เหมาะสมที่จะวิเคราะห์องค์ประกอบ

(สุภมาส อังศุโชติ และคณะ, 2552)

นอกจากนี้ ใช้สถิติ Bartlett's Test of Sphericity เพื่อตรวจสอบเมทริกซ์สหสัมพันธ์ของประชากรว่าเป็นเมทริกซ์เอกลักษณะหรือไม่ ถ้าเมทริกซ์สหสัมพันธ์ของประชากรเป็นเมทริกซ์เอกลักษณะหมายความว่า ตัวแปรแต่ละตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน ไม่เหมาะสมที่จะวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังนั้น ค่าสถิติ Bartlett's Test of Sphericity จึงควรมีนัยสำคัญทางสถิติหรือ  $\text{Sig} < 0.05$  กล่าวคือ เมทริกซ์สหสัมพันธ์ไม่เป็นเมทริกซ์เอกลักษณะ

## 2. การสกัดองค์ประกอบ (Factor Extraction)

การสกัดองค์ประกอบ เป็นการค้นหาหรือแยกองค์ประกอบร่วมให้มีจำนวนองค์ประกอบน้อยที่สุดที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สังเกตได้ วิธีการสกัดมีหลายวิธี แต่ละวิธีจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

- Maximum Likelihood เป็นวิธีการสกัดองค์ประกอบโดยการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เมทริกซ์สหสัมพันธ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับเมทริกซ์ที่ได้จากข้อมูล โดยมีเงื่อนไขว่าข้อมูลตัวอย่างนั้นต้องมีการแจกแจงแบบ Multivariate Normal

- Principal Component Analysis (PCA) เป็นวิธีการสกัดองค์ประกอบที่อาศัยหลักความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรที่ใช้เป็นข้อมูลองค์ประกอบ ด้วยการสร้างการรวมกันของตัวแปรเชิงเส้น (Linear Combination) โดยองค์ประกอบที่ 1 คือ Linear Combination แรกที่อธิบายความแปรปรวนได้มากที่สุด และองค์ประกอบที่ 2 คือ Linear Combination ที่อธิบายความแปรปรวนได้รองลงมา องค์ประกอบที่ 2 จะต้องตั้งฉาก (Orthogonal) กับองค์ประกอบที่ 1 กล่าวคือ องค์ประกอบทั้งสองต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2538)

- Principal Axis Factoring เป็นวิธีการสกัดองค์ประกอบร่วมแบบหนึ่งที่ใช้หลักการเดียวกับ Principal Component Analysis แต่มีข้อแตกต่างคือ สมาชิกในแนวทแยงของเมทริกซ์สหสัมพันธ์จะเป็นค่ากำลังสองของสหสัมพันธ์พหุคูณระหว่างตัวแปรแต่ละตัวกับตัวแปรที่เหลือ หรือค่าสหสัมพันธ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวกับตัวแปรที่เหลือที่มีค่าสูงที่สุด (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2538)

- Alpha Factoring เป็นวิธีการสกัดองค์ประกอบที่มุ่งหาความเชื่อมั่นขององค์ประกอบ โดยกำหนดให้ตัวแปรสังเกตเป็นตัวแปรสุ่มจากประชากรของตัวแปร

- Image Factoring เป็นวิธีการสกัดองค์ประกอบที่ใช้เมทริกซ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรที่สร้างขึ้นมาใหม่ โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ผลที่ได้จากการสกัดองค์ประกอบจะช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับจำนวนขององค์ประกอบ โดยพิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) มากกว่า 1 เมื่อสกัดองค์ประกอบได้แล้วจะได้เมทริกซ์องค์ประกอบ ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักขององค์ประกอบ (Factor Loading) แต่ละตัวแปร แสดงให้เห็นการจัด

รวมกลุ่มของตัวแปรขึ้นเป็นองค์ประกอบ ซึ่งยังคงซับซ้อนและแปลความได้ยาก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับให้การจัดรวมกลุ่มดูง่ายขึ้นด้วยการหมุนแกนองค์ประกอบ (Factor Rotation)

### 3. การหมุนแกนองค์ประกอบ (Factor Rotation)

การหมุนแกนองค์ประกอบ มีเป้าหมายเพื่อให้ได้องค์ประกอบที่มีโครงสร้างง่ายและไม่ซับซ้อน ผลจากการหมุนแกนไม่ทำให้ค่าการรวม ( $h^2$ ) ค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) และเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนที่อธิบายได้ด้วยองค์ประกอบ (Percent of Variance) ที่ได้จากการสกัดองค์ประกอบเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading Coefficient) ในเมทริกซ์องค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบเปลี่ยนแปลง การหมุนแกนองค์ประกอบสามารถจำแนกออกเป็น 2 วิธีการ ดังนี้

ก. การหมุนแบบแกนตั้งฉาก (Orthogonal Rotation) เป็นวิธีการหมุนแกนที่จะเป็นผลให้องค์ประกอบที่ได้ไม่สัมพันธ์กัน การหมุนแกนแบบนี้มีวิธีให้เลือกใช้ 3 วิธี ดังนี้ (ส.วาสนา ประवालพฤกษ์, 2535 อ้างถึงใน สายพิน ศรีสวรรณรัตน์, 2540)

- Varimax เป็นการหมุนแกนโดยทำให้ค่าความแปรปรวนของค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่อยู่ภายในองค์ประกอบเดียวกันมีค่ามากที่สุด ผลที่ได้จากการหมุนแกนวิธีนี้คือได้องค์ประกอบที่เป็นองค์ประกอบเฉพาะและมีโครงสร้างค่อนข้างง่าย ทำให้สามารถแปลความหมายขององค์ประกอบได้ง่ายขึ้น

- Equamax เป็นการหมุนแกนโดยทำให้ค่าความแปรปรวนของค่าน้ำหนักองค์ประกอบที่อยู่ในตัวแปรเดียวกันมีค่ามากที่สุด

- Quartimax เป็นการหมุนแกนที่ใช้หลักการระหว่าง Varimax และ Equamax ทำให้มีจำนวนองค์ประกอบน้อยที่สุดในการอธิบายตัวแปรแต่ละตัว

ข. การหมุนแกนแบบมุมแหลม (Oblique Rotation) เป็นวิธีการหมุนแกนที่จะเป็นผลให้องค์ประกอบที่ได้มีความสัมพันธ์กัน การหมุนแกนแบบนี้มีวิธีให้เลือกใช้ 3 วิธี ดังนี้ (ส.วาสนา ประवालพฤกษ์, 2535 อ้างถึงใน สายพิน ศรีสวรรณรัตน์, 2540)

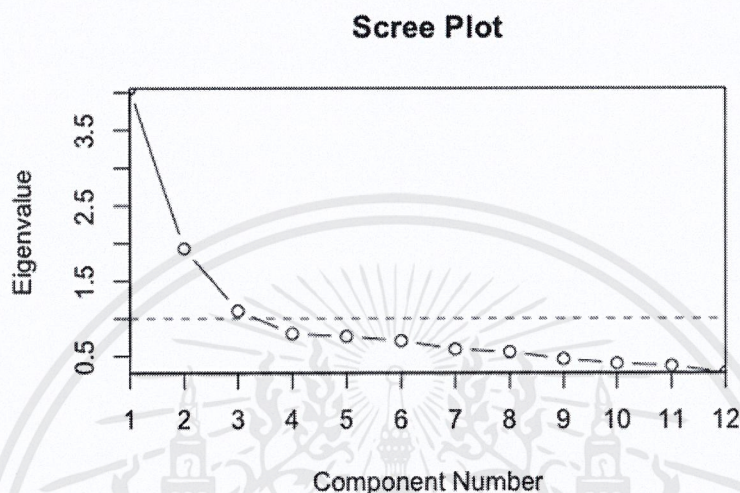
- Quartimin เป็นการหมุนแกนที่มีหลักการเดียวกับ Varimax เพียงแต่ยอมให้องค์ประกอบมีความสัมพันธ์กัน ผลที่ได้จากการหมุนแกนวิธีนี้คือได้องค์ประกอบที่เป็นองค์ประกอบเฉพาะและค่อนข้างทำมุมแหลมต่อกันมากกว่าวิธีอื่น

- Covarimin เป็นการหมุนแกนที่มีหลักการเดียวกับ Varimax เพียงแต่ยอมให้องค์ประกอบมีความสัมพันธ์กัน ผลที่ได้จากการหมุนแกนวิธีนี้คือได้องค์ประกอบที่เป็นองค์ประกอบเฉพาะและค่อนข้างทำมุมกันเป็นมุมแหลมที่มีขนาดเข้าใกล้มุมฉากมากกว่าวิธีอื่น

- Oblimin เป็นการหมุนแกนที่แก้ข้อบกพร่องของวิธี Quartimin และ Covarimin โดยทำให้ค่าความแปรปรวนร่วมกำลังสองของสัมประสิทธิ์ที่เป็นภาพฉายน้ำหนักองค์ประกอบบนแกนอ้างอิงมีค่าน้อยที่สุด

#### 4. การสร้างตัวแปรประกอบจากค่าน้ำหนัก (Loading) และตั้งชื่อองค์ประกอบ

เมื่อได้เมทริกซ์องค์ประกอบจากการหมุนแกนองค์ประกอบแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการสร้างองค์ประกอบโดยอาศัยค่าน้ำหนัก (Loading) ในการตัดสินใจว่าควรมีกี่องค์ประกอบ ให้พิจารณาจากค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalue) และกราฟสกรี้ (Scree Plot) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟสกรี้ (Scree Plot) ของการวิเคราะห์องค์ประกอบ  
([https://www.wikiwand.com/en/Scree\\_plot](https://www.wikiwand.com/en/Scree_plot))

การเลือกค่าน้ำหนัก (Loading) ให้พิจารณาเกณฑ์ที่ค่าน้ำหนักมากกว่า 0.30 ขึ้นไป โดยไม่พิจารณาเครื่องหมายบวกหรือลบ แล้วทำการคัดเลือกตัวแปรที่มีน้ำหนักองค์ประกอบสูงสุดที่อยู่บนองค์ประกอบนั้นเข้าเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบ หากตัวแปรใดมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบใกล้เคียงกัน ให้พิจารณาค่าน้ำหนักองค์ประกอบสูงสุดที่สูงกว่าองค์ประกอบอื่นตั้งแต่ 0.10 ขึ้นไป แต่ถ้าความแตกต่างของน้ำหนักองค์ประกอบไม่ถึง 0.10 จะถือว่าเป็นตัวแปรที่ซับซ้อน ไม่เป็นตัวประกอบขององค์ประกอบได้เลย (อุทุมพร ทองอุไทย, 2532)

หลังจากทำการคัดเลือกตัวแปรเข้ารวมกันอยู่ภายในองค์ประกอบเดียวกันแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการตั้งชื่อให้กับองค์ประกอบ โดยชื่อที่ตั้งจะต้องสั้นและมีความหมายสอดคล้องกับโครงสร้างขององค์ประกอบ

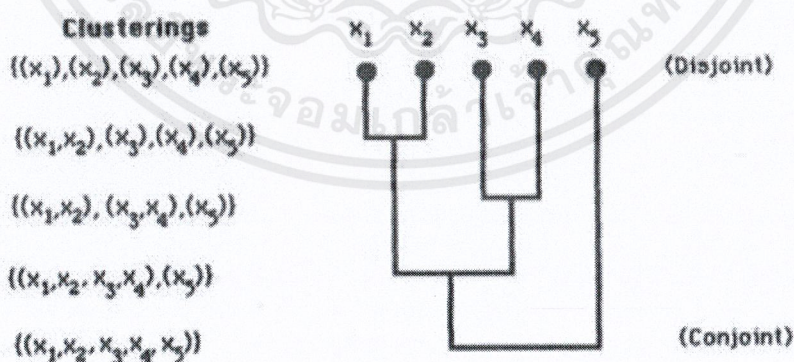
## 2.4 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)

การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำเหมืองข้อมูล มีเป้าหมายเพื่อจำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะถูกเรียกว่า คลัสเตอร์ (Cluster) ข้อมูลที่มีลักษณะเหมือนกันหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด จะถูกจัดให้อยู่กลุ่มเดียวกัน และข้อมูลที่มีลักษณะต่างกันหรือคล้ายคลึงกันน้อยที่สุด จะถูกจัดให้อยู่ต่างกลุ่มกัน วิธีที่ใช้ในการจัดกลุ่มจะอาศัยการวัดความคล้าย (Similarity) โดยคำนวณจากการวัดระยะห่างระหว่างข้อมูล การวัดระยะห่างสามารถวัดได้หลายวิธี เช่น การวัดระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean Distance) การวัดระยะห่างแบบยูคลิดยกกำลังสอง (Square Euclidean Distance) การวัดระยะห่างแบบสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation Distance) เป็นต้น

การวิเคราะห์การจัดกลุ่มมีตัวแบบ (Model) หลายแบบ ซึ่งตัวแบบที่ผู้วิจัยเลือกทำการศึกษา นั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

### 1. การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น (Hierarchical Clustering)

การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น เป็นวิธีการดั้งเดิมที่ถูกใช้อย่างยาวนานสำหรับการจัดกลุ่มข้อมูลที่มีคุณลักษณะซ้อน (Nested) ผลที่ได้จากการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้นจะถูกแสดงเป็นภาพแผนภูมิต้นไม้จำลอง (Dendrogram) ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งแผนภูมิดังกล่าวจะถูกใช้ในการพิจารณาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม โดยมีหลักการคือการตัดผ่านแผนภูมิที่ระดับความคล้ายคลึงกันหรือค่าระยะห่างที่ต้องการ ดังนั้น ที่ระดับความคล้ายคลึงหรือค่าระยะห่างที่ต่างกัน ส่งผลให้จำนวนกลุ่มที่แบ่งได้ต่างกัน



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของแผนภูมิต้นไม้จำลอง

(Jain and Dubes, 1948)

การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเกาะกลุ่ม (Agglomerative)

และการแตกกลุ่ม (Divisive)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การเกาะกลุ่ม (Agglomerative) เป็นการจัดกลุ่มแบบไปข้างหน้า ขั้นตอนการทำงานของ การจัดกลุ่มประเภทนี้แสดงดังตารางที่ 2.2 เริ่มต้นจากการจัดกลุ่มข้อมูลเป็นจำนวน  $n$  กลุ่ม จากข้อมูลทั้งหมด  $n$  ตัว จากนั้นรวมข้อมูลที่มีความคล้ายกันมากที่สุดหรือมีค่าระยะห่างระหว่างกลุ่มน้อยที่สุดไว้ด้วยกัน ภายใต้อัตราวัดความคล้ายระหว่างกลุ่มต่างๆ ทำซ้ำจนกระทั่งข้อมูลทุกตัวรวมกันเป็นกลุ่มเดียว (Maimon and Rokach, 2010)

ข. การแตกกลุ่ม (Divisive) เป็นการจัดกลุ่มแบบย้อนกลับ มีขั้นตอนในการทำงานคล้ายกับวิธีการ เกาะกลุ่ม เพียงแต่จะทำงานในทิศทางตรงกันข้าม โดยเริ่มต้นจากการจัดข้อมูลทั้งหมดเป็นกลุ่มเดียว จากนั้นกระจายกลุ่มที่มีความคล้ายกันน้อยที่สุดหรือมีค่าระยะห่างระหว่างกลุ่มมากที่สุดออกเป็นกลุ่มย่อย ทำซ้ำจนกระทั่งมี  $n$  กลุ่มย่อย ซึ่งแต่ละกลุ่มประกอบด้วยข้อมูลเพียงตัวเดียว (Maimon and Rokach, 2010)

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของ การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่ม

---

Algorithm : Hierarchical Agglomerative Clustering

---

**while** (the number of clusters is more than 1 cluster)

1. Find similarity or dissimilarity of a pair of objects in the dataset.
2. Group the pair of objects from step 1 as the same cluster.

**end while**

3. Determine the position of the hierarchical tree that is suitable for classifying into clusters.
- 

(Rujasiri and Chomtee, 2009 : 380)

การวัดระยะห่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือการวัดระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ซึ่งเป็น การวัดทางระหว่างจุดสองจุด โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

$$d(a, b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2} \quad (2.6)$$

เมื่อ	$a$	คือชุดข้อมูลในกลุ่ม $A$
	$b$	คือชุดข้อมูลในกลุ่ม $B$
	$n$	คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด
	$i$	คือข้อมูลในหน่วยที่ $i$

มาตรวัดความคล้ายระหว่างกลุ่มมีหลายวิธี ดังนี้ (จันทร์จิรา พิลาแดง, 2558)

1. Single Linkage เป็นการรวมกลุ่ม 2 กลุ่ม ที่มีค่าระยะห่างระหว่างกลุ่มน้อยที่สุดเข้าด้วยกัน
2. Complete Linkage เป็นการรวมกลุ่ม 2 กลุ่ม ที่มีค่าระยะห่างระหว่างกลุ่มมากที่สุดเข้าด้วยกัน
3. Average Linkage เป็นการรวมกลุ่มโดยใช้ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 กลุ่ม โดยการหาค่าระยะห่างข้อมูล ทุกคู่ที่อยู่ใน 2 กลุ่ม จากนั้นจะรวมกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดไว้ด้วยกัน ในกรณีที่ภายในกลุ่มมีเพียง 1 ค่า จะให้ค่านั้นเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่ม
4. Ward Linkage เป็นการรวมกลุ่มโดยพิจารณาจากผลรวมของค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสอง (Within-Cluster Sum of squares (WCSS)) ที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการนำไปรวมกับกลุ่มอื่นๆ ซึ่งค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสองสามารถคำนวณได้จากค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสอง ค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสองคำนวณได้จากสมการที่ (2.7)

$$WCSS = \sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left( \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

เมื่อ	$x_{ij}$	คือข้อมูลในหน่วยที่ $i$ ในกลุ่มที่ $j$
	$k$	คือจำนวนกลุ่มทั้งหมด
	$n_i$	คือจำนวนข้อมูลตัวอย่างในกลุ่มที่ $i$

## 2. การจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-Means Clustering)

การจัดกลุ่มแบบเคมีน หรือบางครั้งเรียกว่าการจัดกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น (Non-hierarchical Clustering) เป็นวิธีการจัดกลุ่มแบบแบ่งส่วน (Partitioning) ข้อมูลออกเป็น  $k$  กลุ่มตามที่ต้องการ โดยอาศัยการวัดระยะห่างระหว่างข้อมูลแต่ละตัวกับจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของแต่ละกลุ่ม

ขั้นตอนการทำงานของ การจัดกลุ่มแบบเคมีนแสดงดังตารางที่ 2.3

## ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการทำงานของการจัดกลุ่มแบบเคมีน

Algorithm : K-means Clustering

1. Decide a value of  $k$ .
  2. Randomize  $k$  positions as cluster centroids.
- while (an object in some clusters is changed to other clusters)
- for every object
3. Find the cluster centroid which gives the minimum distance.
  4. Assign that object in step 3 into that cluster.
- end for
- for every cluster
5. Adjust a cluster centroid as the mean of every object in that cluster.
- End for
- end while

(Rujasiri and Chomtee, 2009 : 381)

ประสิทธิภาพของการจัดกลุ่มแบบเคมีนจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการเกาะกลุ่มของข้อมูล หากข้อมูลมีการเกาะกลุ่มกันอย่างหนาแน่น สามารถแบ่งแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน และความหนาแน่นของข้อมูลในแต่ละกลุ่มมีความใกล้เคียงกัน ก็จะส่งผลให้การจัดกลุ่มแบบเคมีนมีประสิทธิภาพสูง

### 3. การจัดกลุ่มแบบฟัซซีซีมีน (Fuzzy C-Means Clustering)

การจัดกลุ่มแบบฟัซซีซีมีน เป็นวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลที่พัฒนามาจากวิธีการดั้งเดิมที่จัดกลุ่มออกเป็นกลุ่มย่อยๆ แบ่งแยกกันอย่างชัดเจน มาเป็นกลุ่มที่มีข้อมูลบางส่วนร่วมกัน (Overlapped) โดยอาศัยทฤษฎีเซตวิภังค์ (Fuzzy Set) ในการวัดระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลในแต่ละกลุ่มผ่านฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ที่มีค่าเป็นจำนวนจริงที่อยู่ในช่วง  $[0,1]$

การจัดกลุ่มแบบฟัซซีซีมีนมีขั้นตอนดังนี้ (กัญฉฐิกา พรพมา, 2556)

1. กำหนดจำนวนกลุ่ม  $c$  ที่ต้องการจะแบ่ง สุ่มตัวแทนของแต่ละกลุ่ม และกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzifier Value,  $m$ )
2. คำนวณค่าความเป็นสมาชิกระหว่างข้อมูลทุกตัวกับตัวแทนของแต่ละกลุ่ม โดยคำนวณจากสมการที่ (2.8) และทำการจัดข้อมูลเข้ากลุ่มโดยพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่มากที่สุด

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (2.8)$$

- เมื่อ  $x_i$  คือตัวแทนของกลุ่มที่  $i$   
 $c_j$  คือข้อมูลในหน่วยที่  $j$   
 $m$  คือค่าระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzifier Value) โดยที่  $m \in (1, \infty)$

3. ปรับค่าตัวแทนของแต่ละกลุ่ม โดยคำนวณจากสมการที่ (2.9)

$$v_j = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{ij})^m x_i}{\sum_{i=1}^n (\mu_{ij})^m}, \forall j = 1, 2, \dots, c \quad (2.9)$$

- เมื่อ  $v_j$  คือตัวแทนของกลุ่มที่  $j$   
 $x_i$  คือข้อมูลในหน่วยที่  $i$   
 $m$  คือค่าระดับความเป็นสมาชิก (Fuzzifier Value) โดยที่  $m \in (1, \infty)$   
 $\mu_{ij}$  คือค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลในหน่วยที่  $j$  ในกลุ่มที่  $i$

4. วนซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนกระทั่งตัวแทนและข้อมูลในกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือครบจำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดไว้

#### 4. การจัดกลุ่มแบบ SOM (Self-Organizing Map)

การจัดกลุ่มแบบ SOM หรือแผนภาพการจัดระเบียบด้วยตัวเองของโคโฮเนน (Kohonen's Self-Organizing Feature Maps) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่เลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ซึ่งคิดค้นโดย Teuvo Kohonen มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยชั้นข้อมูล 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) และชั้นข้อมูลนำออก (Output Layer) ระหว่างชั้นจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) นิยมใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูลหลายมิติให้อยู่ในลักษณะของข้อมูลสองมิติ หรือใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างภาพเสมือนของข้อมูล (Data Visualization)

ขั้นตอนการทำงานของ การจัดกลุ่มแบบ SOM แสดงดังตารางที่ 2.4

## ตารางที่ 2.4 ขั้นตอนการทำงานของการจัดกลุ่มแบบ SOM

Algorithm : SOM Approach

1. Randomly initialize all weights  $w$ .

**while** (all weights are changed or training cycles have not passed)

2. Select input vector  $x$ .

3. Calculate Euclidean distance between input vector  $x_i$  and all weights  $w_j$  in order to find the nearest output node.

4. Update the winner's weights so that it becomes closer to  $x_i$ .

$$w_{j.new} = w_{j.current} + \eta(x_i - w_{j.current}) \quad (2.10)$$

5. Adjust learning rate  $\eta$ .

**end while**

(Rujasiri and Chomtee, 2009 : 382)

## 2.5 การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษา หมายถึง กิจกรรมหรืองานทั้งหมดที่ดำเนินการต่ออุปกรณ์หรือเครื่องจักร เพื่อรักษาสภาพหรือป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหาย โดยให้อุปกรณ์หรือเครื่องจักรอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานได้ตลอดเวลา รวมทั้งช่วยยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้นและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

การบำรุงรักษามีวัตถุประสงค์หลักคือการรักษาสภาพการใช้งานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรนั้นให้สามารถใช้งานได้ใกล้เคียงกับสภาพเดิมมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด กล่าวคือ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Effectiveness) มีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ (Reliability) มีสมรรถนะการทำงานสูง (Performance) และปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน (Safety) (ชัยมงคล ศรีจันทร์, 2553)

ประเภทของการบำรุงรักษา สามารถจำแนกออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. การบำรุงรักษาหลังเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance (BM)) หรือการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข คือการบำรุงรักษาเมื่ออุปกรณ์หรือเครื่องจักรเกิดการชำรุดเสียหายจนทำให้ต้องหยุดทำงานโดยฉุกเฉิน

2. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance (PM)) คือการบำรุงรักษาตามรอบและระยะเวลาการทำงานที่กำหนดไว้ สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- การบำรุงรักษาตามระยะเวลา (Time-Based Maintenance (TBM)) คือการบำรุงรักษาโดยการตรวจสอบและเปลี่ยนชิ้นส่วนตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น การเปลี่ยนซีล (Seal) ของหม้อแปลงทุกๆ ระยะเวลา 3 ปี เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-Based Maintenance (CBM)) คือการบำรุงรักษาตามสภาพเพื่อให้ทราบล่วงหน้าว่าอุปกรณ์หรือเครื่องจักรส่ออาการที่จะเกิดความเสียหายแล้วหรือยัง เช่น การวิเคราะห์สัญญาณสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เป็นต้น

3. การบำรุงรักษาเชิงรุก (Design-Out Maintenance (DOM)) คือการบำรุงรักษาโดยการตัดแปลง แก้ไข หรือปรับปรุงอุปกรณ์หรือเครื่องจักรไว้ล่วงหน้า เพื่อลดโอกาสการชำรุดเสียหาย ทำให้อุปกรณ์หรือเครื่องจักรมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปราณี มณีรัตน์ (2554) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของนักศึกษาในการสร้างระบบบริหารความสัมพันธ์นักศึกษา (Student Relationship Management) จากมหาวิทยาลัยรัฐและเอกชนจำนวน 7 แห่ง โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) ได้แก่ อัลกอริทึม K-means และเทคนิค JRip ผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึม K-means นั้น พบว่า การแบ่งกลุ่มนักศึกษาตามชั้นปีที่ 1, 2, 3 และ 4 ออกเป็นกลุ่มต่างๆ เป็นวิธีที่ช่วยให้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะและความพึงพอใจในด้านต่างๆ ของนักศึกษาแต่ละกลุ่มได้อย่างถูกต้องและชัดเจน โดยชั้นปีที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจรวมในด้านต่างๆ เท่ากับ 3.77, 3.64, 3.67 และ 3.77 ตามลำดับ จากนั้นใช้เทคนิค JRip ในการค้นหากฎความสัมพันธ์ในแต่ละกลุ่มนักศึกษาตามชั้นปีที่ที่สนใจ เพื่อวิเคราะห์รายละเอียดว่ากลุ่มนั้นมีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยใดร่วมกัน เพื่อนำมาปรับปรุงการสร้างความพึงพอใจให้กับนักศึกษาและตรงตามความต้องการของกลุ่มนักศึกษาแต่ละกลุ่มให้มากที่สุด พบว่ากลุ่มนักศึกษาชั้นปีที่ 1 และ 2 มีความต้องการให้อาจารย์มีความรู้และประสบการณ์ตรงตามรายวิชาที่สอน ส่งเสริมให้นักศึกษาคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ กล้าแสดงความคิดเห็น สามารถให้คำปรึกษา มีแหล่งการเรียนรู้ที่เพียงพอต่อความต้องการ และมีพื้นที่ในการทำกิจกรรมต่างๆ อย่างเหมาะสม

พัชณี มีบัว และจิราวัลย์ จิตรถเวช (2558) ได้ทำการศึกษาและจัดกลุ่มลูกค้าของบริษัทโลจิสติกส์ที่ให้บริการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ทางทะเลระหว่างประเทศ โดยทำการเปรียบเทียบเทคนิคการจัดกลุ่ม 4 วิธี ได้แก่ การจัดกลุ่มด้วยวิธีการเชื่อมโยงเฉลี่ย (Average Linkage) วิธีการรวมศูนย์ (Centroid Linkage) วิธีเคมีน (K-means Algorithm) และวิธีแบบก่อดำด้วยตนเองของโคโฮเนน (Kohonen's Self-organizing Maps Neural Networks (SOM))

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดกลุ่ม พบว่า วิธีแบบก่อดำด้วยตนเองของโคโฮเนนแบบ 2x2 มิติ เป็นวิธีที่เหมาะสมในการจัดกลุ่ม เนื่องจากมีค่าดัชนีการเปรียบเทียบต่ำที่สุด ซึ่งแบ่งกลุ่มลูกค้าของบริษัทโลจิสติกส์ที่ให้บริการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ทางทะเลระหว่างประเทศออกเป็น 4 กลุ่ม ตามที่อยู่และลักษณะการประกอบธุรกิจ กล่าวคือ กลุ่มที่ 1 ลูกค้าอยู่ในกลุ่มประเทศตะวันออกกลางและเอเชียตะวันออก จำนวน

9,367 ราย คิดเป็นร้อยละ 30.88 ส่วนใหญ่ประกอบธุรกิจสินค้าอุปโภคและบริโภค คิดเป็นร้อยละ 43.72 ของลูกค้าทั้งหมด กลุ่มที่ 2 ลูกค้าอยู่ในภูมิภาคเอเชียใต้ จำนวน 7,232 ราย คิดเป็นร้อยละ 23.84 ส่วนใหญ่ประกอบธุรกิจประเภทโลจิสติกส์ คิดเป็นร้อยละ 36.38 ของลูกค้าทั้งหมด กลุ่มที่ 3 ลูกค้าอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จำนวน 7,391 ราย ส่วนใหญ่ประกอบธุรกิจประเภทโลจิสติกส์ คิดเป็นร้อยละ 31.90 กลุ่มที่ 4 ลูกค้าอยู่ในภูมิภาคเอเชียเหนือ ประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี จำนวน 4,062 ราย และประเทศฮ่องกงและไต้หวัน จำนวน 2,278 ราย ส่วนใหญ่ประกอบธุรกิจประเภทโลจิสติกส์ คิดเป็นร้อยละ 46.37 ของจำนวนลูกค้าภายในกลุ่ม

Chemweno et al. (2016) ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์สาเหตุรากฐานที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเลือกแผนการบำรุงรักษาของวิศวกรบำรุงรักษาในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โดยได้ทำการศึกษาข้อมูลการบำรุงรักษาของเครื่องจักร 10 เครื่อง ย้อนหลังเป็นระยะเวลา 3 ปี และวิเคราะห์สาเหตุรากฐานด้วยวิธีการสำรวจข้อมูลแบบใหม่ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอน ได้แก่ การรวบรวมข้อมูลและการทำให้เป็นมาตรฐาน (Data Collection and Standardization) กรอบการสำรวจข้อมูลโดยการวิเคราะห์พหุตัวแปรและการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Data Exploration Framework Incorporating Multivariate and Cluster Analysis) การจัดทำแผนผังเชิงสาเหตุ (Causal Mapping) และการเลือกแผนการบำรุงรักษา (Maintenance Strategy Selection)

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์สาเหตุรากฐานด้วยวิธีการสำรวจข้อมูลแบบใหม่ และวิธีการวิเคราะห์สาเหตุรากฐานเชิงคุณภาพ ได้แก่ แผนผังอิชิกาวา และการวิเคราะห์แบบ 5 whys พบว่าการวางแผนบำรุงรักษาที่ได้จากการวิเคราะห์สาเหตุรากฐานเชิงคุณภาพนั้นจะมุ่งเน้นไปยังด้านทั่วไป คือ การฝึกอบรมบุคลากรและการใช้เครื่องมือให้ถูกต้อง ในขณะที่การบำรุงรักษาที่ได้จากการวิเคราะห์สาเหตุรากฐานด้วยวิธีการสำรวจข้อมูลแบบใหม่นั้นจะมุ่งเน้นไปยังการแก้ไขสาเหตุที่เฉพาะมากขึ้น เช่น การออกแบบเส้นทางเดินของเชื้อเพลิงใหม่ในกรณีที่เกิดรอยขีดข่วนที่ท่อเชื้อเพลิง หรือการตรวจจับอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันความร้อนของเครื่องยนต์ เป็นต้น

## บทที่ 3

### ศึกษาสภาพปัจจุบัน

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงสภาพปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา กระบวนการผลิต การวิเคราะห์ความล่าช้าของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต โดยประกอบด้วยหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา
- 3.2 กระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา
- 3.3 การเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหาย
- 3.4 ระบบ Refining Combined Burner
- 3.5 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)


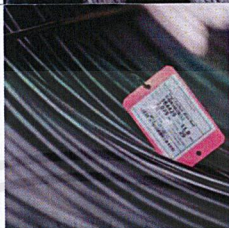
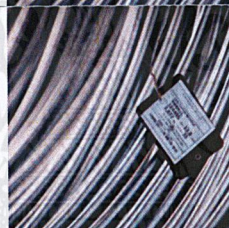
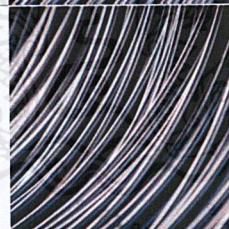
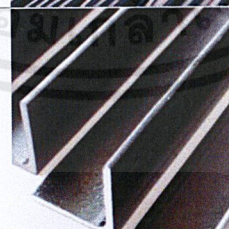

#### 3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด ก่อตั้งเมื่อวันที่ 3 กันยายน 2544 เดิมเป็นหนึ่งในกลุ่มบริษัทปูนซีเมนต์ไทย ตั้งอยู่เลขที่ 49 หมู่ 11 ตำบลบางโขมด อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี ต่อมาในปี พ.ศ. 2545 ได้เกิดการควบรวมกิจการระหว่างบริษัท เอ็น.ที.เอส. สตีลกรุ๊ป จำกัด (มหาชน) (NTS) ซึ่งถือหุ้นโดยกลุ่มหอรุ่งเรือง บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด (SISCO) และบริษัท เหล็กก่อสร้างสยาม จำกัด (SCSC) ซึ่งถือหุ้นโดยบริษัท ซีเมนต์ไทยโฮลดิ้ง จำกัด เข้าด้วยกัน ภายใต้การจดทะเบียนจัดตั้งขึ้นเป็นบริษัทมหาชน จำกัดในชื่อบริษัท มิลเลนเนียม สตีล จำกัด (มหาชน) ก่อนเปลี่ยนชื่อเป็นบริษัท ทาทา สตีล (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ในปี พ.ศ. 2549 เมื่อบริษัท ทาทา สตีล ลิมิเตด ประเทศอินเดีย ได้เข้ามาถือหุ้นใหญ่

บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด หรือ SISCO เป็นสถานประกอบการที่ประกอบอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กขั้นกลาง กล่าวคือ บริษัทจะจัดหาเศษเหล็ก (Scrap) จากแหล่งที่มีคุณภาพเชื่อถือได้ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ มาผลิตเป็นเหล็กแท่ง (Billet) และนำเหล็กแท่งมาผ่านกระบวนการรีดเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ได้แก่ เหล็กหลอด (Wire Rod) และเหล็กรูปพรรณขนาดเหล็ก (Small Section) ดังตารางที่ 3.1

SISCO มีกำลังการผลิตรวม 400,000 ตันต่อปี โดยแบ่งเป็นกำลังการผลิตเหล็กหลอด 300,000 ตันต่อปี และกำลังการผลิตเหล็กรูปพรรณขนาดเหล็ก 100,000 ตันต่อปี

ตารางที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา

ลักษณะผลิตภัณฑ์	รูปผลิตภัณฑ์	ชื่อผลิตภัณฑ์
เหล็กกลวด (Wire Rod)		เหล็กกลวด CO2
เหล็กกลวด (Wire Rod)		เหล็กกลวด CHQ
		เหล็กกลวด Y11
		เหล็กกลวดคาร์บอนต่ำ
		เหล็กกลวดคาร์บอนสูง
เหล็กรูปพรรณขนาดเล็ก (Small Section)		เหล็กฉาก
		เหล็กรงน้ำ

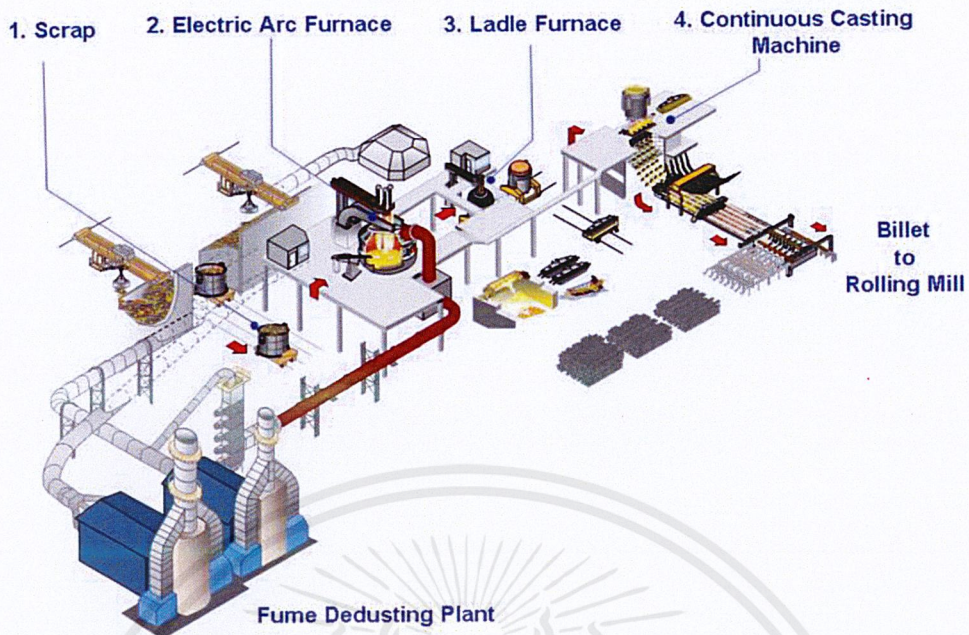
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 กระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา

กระบวนการผลิตของบริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด สามารถจำแนกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนผลิตเหล็กแท่ง (Steel Plant) และส่วนผลิตเหล็กรีด (Rolling Mill)

1. ส่วนผลิตเหล็กแท่ง (Steel Plant) เริ่มจากการนำเศษเหล็ก (Scrap) ป้อนเข้าไปในเตาอาร์คไฟฟ้า (Electric Arc Furnace (EAF)) ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าตะกร้า (Basket) ภายในเตาประกอบด้วยแท่งอิเล็กโทรด (Electrodes) ทำจากแกรไฟต์ที่มีกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงจำนวนสามแท่งที่ถูกสอดลงมาจากด้านบนของเตา แท่งอิเล็กโทรดจะเคลื่อนลงมาจ่อใกล้กับผิวของเศษเหล็ก เมื่อความต่างศักย์ระหว่างแท่งอิเล็กโทรดกับเศษเหล็กเริ่มมีค่าสูงจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำจนเกิดการอาร์ค ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้เศษเหล็กหลอมเหลว เมื่อเศษเหล็กหลอมเหลวกลายเป็นน้ำเหล็กจนเต็มเตา จะมีการพ่นออกซิเจนและแก๊สธรรมชาติเข้าไปในเตาโดยใช้ระบบ Refining Combined Burner (RCB) ทำให้สิ่งเจือปน (Impurities) กลายเป็นฟองตะกรัน (Slag Foaming) ลอยขึ้นมาปกคลุมบนผิวน้ำเหล็ก ซึ่งฟองตะกรันเป็นส่วนที่ต้องแยกออกจากรน้ำเหล็ก ส่งผลให้ได้น้ำเหล็กที่มีบริสุทธิ์สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่เรียกว่า เหล็กแท่ง (Billet) ซึ่งเหล็กแท่งนี้จะถูกนำไปผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ได้แก่ เหล็กหลอด (Wire Rod) และเหล็กรูปพรรณขนาดเล็ก (Small Section)

น้ำเหล็กที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และปรุงแต่งส่วนผสมจนได้คุณภาพตามต้องการแล้วจะถูกถ่ายลงสู่เบ้ารับน้ำเหล็ก (Ladle) อ่างพัก (Tundish) และไหลออกจากอ่างพักเป็นสายอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราคงที่สู่แม่พิมพ์ (Mold) ที่มีระบบหล่อเย็น ตามลำดับ น้ำเหล็กจะค่อยๆ แข็งตัวจากผิวด้านนอกสู่แกนกลางขณะเคลื่อนที่ผ่านแม่พิมพ์ เมื่อออกจากแม่พิมพ์ แท่งเหล็กจะถูกดึงให้เคลื่อนที่ออกมาด้วยลูกรีดและลำเลียงผ่านชุดลูกรีดบังคับที่มีการติดตั้งระบบสเปรย์เพื่อระบายความร้อน และจะถูกลำเลียงต่อไปยังจุดที่มีการติดตั้งเครื่องเลื่อยใบตัด (Abrasive Saw) เพื่อทำการตัดเป็นท่อนตามความยาวที่กำหนดไว้ได้ ออกมาเป็นเหล็กแท่ง (Billet) และลำเลียงเข้าสู่โรงรีดเหล็ก (Rolling Mill) เพื่อทำการผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ดังรูปที่ 3.1 ส่วนเหล็กแท่งที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบจะนำไปเก็บไว้ในลานเก็บเหล็กแท่ง (Billet Yard)

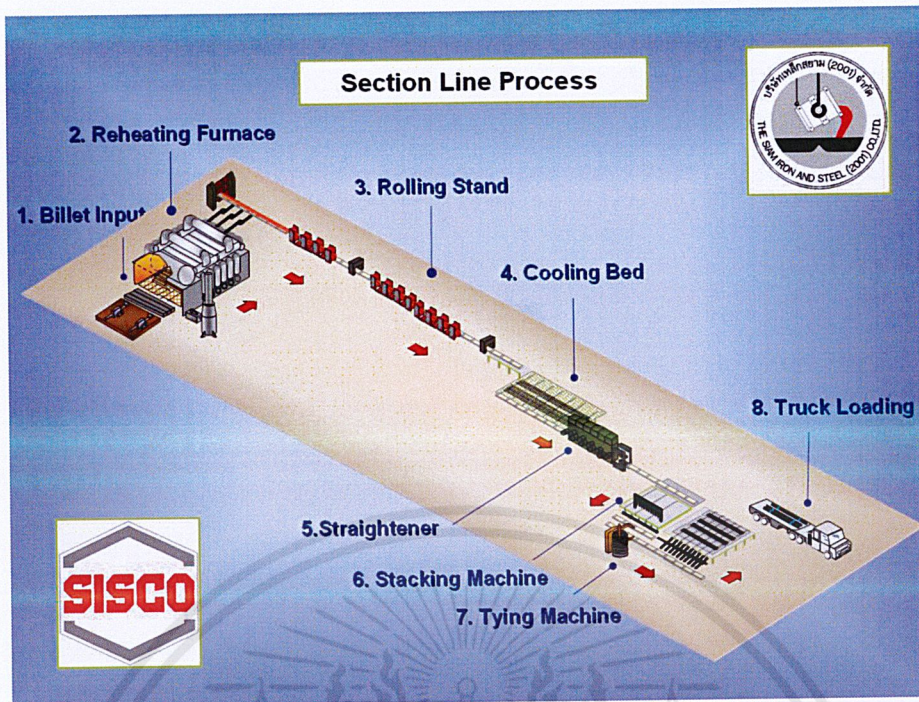


รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตเหล็กแท่งในส่วนผลิตเหล็กแท่ง

2. ส่วนผลิตเหล็กรีด (Rolling Mill) เป็นกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปของบริษัท โดยแบ่งออกเป็น 2 สายการผลิต ดังนี้

ก. สายการผลิต A : ผลิตเหล็กรูปพรรณขนาดเล็ก

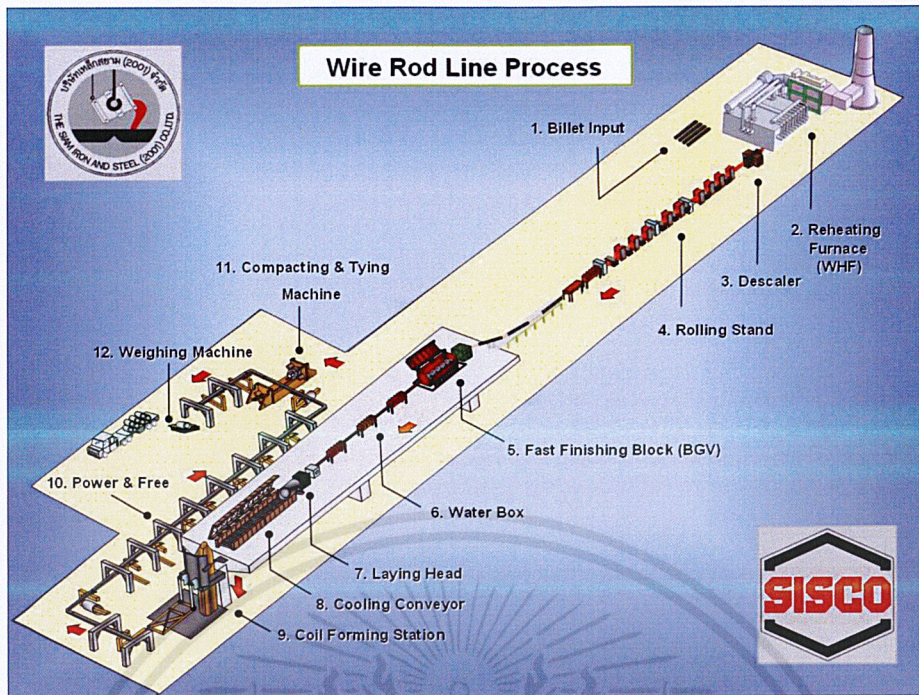
เหล็กแท่งจะถูกนำไปอบให้ร้อนด้วยการอบเหล็กในเตาเผา (Reheating Furnace) เพื่ออุ่นเหล็กให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำการรีดแปรรูปแบบร้อน จากนั้นเหล็กแท่งจะค่อยๆ เคลื่อนตัวออกจากเตาเผาด้วยแรงดันไฮดรอลิกและถูกส่งผ่านไปยังแท่นรีด (Rolling Stand) จำนวน 3 ชุด ได้แก่ แท่นรีดชั้นหยาบ แท่นรีดชั้นกลาง และแท่นรีดชั้นสำเร็จด้วยลูกกลิ้งลำเลียง เพื่อทำการรีดให้ได้ลักษณะหน้าตัดและขนาดตามที่ต้องการ ระหว่างแท่นรีดแต่ละชุดจะมีกรรไกร (Crop Shear) ไว้ตัดหัวเหล็ก เนื่องจากเหล็กที่ผ่านการรีดจะมีผิวสีเทาดำบริเวณหัว เมื่อเหล็กถูกรีดให้มีลักษณะหน้าตัดและขนาดตามที่ต้องการแล้วจะถูกนำไปยังโต๊ะเย็น (Cooling Bed) เพื่อฝังให้เย็นต่อไปในอากาศจนอุณหภูมิเหล็กลดลงเหลือประมาณ 50 ถึง 80 องศาเซลเซียส จากนั้นเหล็กจะถูกลำเลียงไปเข้าเครื่องตัดตรง (Straightener) เครื่องวางซ้อนเหล็ก (Stacking Machine) และเครื่องมัดเหล็ก (Typing Machine) ตามลำดับ ก่อนเก็บเข้าคลังสินค้าเพื่อรอการจำหน่ายหรือส่งให้ลูกค้าในลำดับถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตเหล็กรูปพรรณขนาดเล็กในส่วนผลิตเหล็กรีด

ข. สายการผลิต B : ผลิตเหล็กหลอด

เหล็กแท่งจะถูกนำไปอบให้ร้อนด้วยการอบเหล็กในเตาเผา (Reheating Furnace) เพื่ออุ่นเหล็กให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำการรีดแปรรูปแบบร้อน เหล็กแท่งที่เคลื่อนตัวออกจากเตาเผาจะผ่านการขจัดสนิม (Descaling) ด้วยการพ่นน้ำแรงดันสูงไปที่ผิวเหล็ก ก่อนจะถูกลำเลียงเข้าสู่แท่นรีด (Rolling Stand) จำนวน 3 ชุด เช่นเดียวกับกระบวนการผลิตเหล็กรูปพรรณ เมื่อเหล็กลำเลียงผ่านแท่นรีดชุดสุดท้ายเหล็กจะถูกส่งผ่านไปยังชุดหล่อน้ำเย็น (Water Box) และเครื่อง Laying Head เพื่อม้วนเหล็กให้เป็นขดหลอด (Coil) ขดหลอดจะถูกลำเลียงผ่านสายพานระบายความร้อน (Cooling Conveyor) เพื่อลดอุณหภูมิไม่ให้เกิดความร้อนสะสมเมื่อซ้อนทับกันจนเกิดการหลอมละลายอีกครั้งขณะทิ้งตัวผ่าน Coil Forming Station จากนั้นม้วนเหล็กจะถูกยกโดยตะขอเหล็กรูปตัวซี (C-hook) ส่งผ่านไปยังเครื่องอัด (Compacting Machine) และเครื่องมัดเหล็ก (Tying Machine) ตามลำดับ ม้วนเหล็กหลอดที่ถูกมัดแล้วจะถูกนำไปขึ้นน้ำหนักและเก็บเข้าคลังสินค้าเพื่อรอการจำหน่ายหรือส่งให้ลูกค้าในลำดับถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการผลิตเหล็กกลวดในส่วนผลิตเหล็กรีด

### 3.3 การเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหาย

จากการศึกษากระบวนการที่เกิดขึ้นภายในส่วนผลิตเหล็กแท่ง (Steel Plant) พบว่า กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเหล็กแท่งสามารถจำแนกออกเป็น 9 กลุ่ม ได้แก่ 1. Electric Arc Furnace (EAF) 2. Electric and Automation for EAF 3. Ladle Furnace (LF) 4. Electric and Automation for LF 5. Continuous Casting Machine (CCM) 6. Electric and Automation for CCM 7. Bag House 8. Canopy และ 9. Electric and Automation for Fume Plant และจากการศึกษากระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาในหัวข้อที่ 3.2 สามารถสรุปได้ว่า กลุ่ม EAF ถือเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตทำหน้าที่หลอมเหล็กให้ได้มาซึ่งน้ำเหล็กที่มีความบริสุทธิ์สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ที่เรียกว่า เหล็กแท่ง ซึ่งเหล็กแท่งนี้จะถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อจำหน่ายหรือส่งให้ลูกค้า ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกกลุ่ม EAF ของส่วนผลิตเหล็กแท่งมาทำการวิเคราะห์ความล่าช้าของกลุ่มย่อยในลำดับถัดไป

กลุ่ม EAF หมายถึงระบบ ส่วนประกอบ และพื้นที่บริเวณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการกระบวนการหลอมเหล็ก สามารถจำแนกออกเป็น 17 กลุ่มย่อย ได้แก่ 1. Furnace Roof Area (รหัส A) 2. Furnace (รหัส B) 3. Electrode Units (รหัส C) 4. Ducts at Furnace Exist (รหัส D) 5. Tapping Units (รหัส E) 6. Ladle Preheating Units (รหัส F) 7. Grease Central Unit (รหัส G) 8. Hydraulic Central Unit (รหัส H) 9. Additive Material Handling (รหัส I) 10. Auxiliary Unit for EAF (รหัส J) 11. Bucket Car Unit (รหัส K) 12. Scrap Bucket (รหัส L) 13. Setting Chamber (รหัส M) 14. EAF Blower (รหัส N)

15. Mechanical Indicator (รหัส P) 16. Ladle (รหัส Q) และ 17. Scrap Area (รหัส R) เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลความล่าช้าของแต่ละกลุ่มย่อยย้อนหลังเป็นระยะเวลา 1 ปี และทำการถ่วงน้ำหนักข้อมูลด้วยวิธี Rescaling หรือ Min-Max Normalization เนื่องจากผู้วิจัยและ MEG ได้ให้ความสำคัญกับจำนวนครั้งที่เกิดความล่าช้ามากกว่าระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการซ่อมต่อครั้ง โดยกำหนดให้ค่าน้ำหนักของจำนวนครั้งที่เกิดความล่าช้าและระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการซ่อมต่อครั้งมีค่าเท่ากับร้อยละ 66.67 และ 33.33 ตามลำดับ หรือคิดเป็นอัตราส่วนค่าน้ำหนัก 2 ต่อ 1

การถ่วงน้ำหนักข้อมูลด้วยวิธี Rescaling หรือ Min-Max Normalization สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.2

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \times Weight \quad (3.1)$$

เมื่อ  $x'$  คือข้อมูลที่ถ่วงน้ำหนักแล้ว  
 $x$  คือข้อมูลจำนวนครั้งที่เกิดความล่าช้าหรือระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการซ่อม  
 Weight คือค่าน้ำหนัก

ตัวอย่างเช่น Furnace Roof Area เกิดความขัดข้องจำนวน 49 ครั้ง และมีระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแต่ละครั้งเท่ากับ 600 นาที เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักข้อมูลด้วยอัตราส่วนค่าน้ำหนัก 2 ต่อ 1 แล้ว พบว่าจำนวนครั้งที่เกิดความขัดข้องของ Furnace Roof Area คำนวณได้จาก  $\frac{49-1}{132-1} \times 66.67$  มีค่าเท่ากับ 24.43 ในขณะที่ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแต่ละครั้งของ Furnace Roof Area คำนวณได้จาก  $\frac{600-5}{703-5} \times 33.33$  มีค่าเท่ากับ 28.41 เป็นต้น

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลความขัดข้องที่เกิดขึ้นภายในกลุ่ม EAF

รหัส	กลุ่มย่อย	จำนวนครั้ง	ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อม (นาที่ต่อครั้ง)	ข้อมูลแบบถ่วงน้ำหนัก		
				จำนวนครั้ง	ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อม (นาที่ต่อครั้ง)	รวม
11A	Furnace Roof Area	49	600	24.43	28.41	52.84
11B	Furnace	132	703	66.67	33.33	100.00
11C	Electrodes Units	18	315	8.65	14.80	23.45
11D	Dusts at Furnace Exist	1	28	0.00	1.10	1.10
11E	Tapping Units	11	184	5.09	8.55	13.64
11F	Ladle Preheating Units	1	10	0.00	0.24	0.24
11H	Hydraulic Central Unit	5	21	2.04	0.76	2.80
11J	Auxiliary Unit for EAF	5	28	2.04	1.10	3.13
11K	Bucket Car Unit	13	79	6.11	3.53	9.64
11L	Scrap Bucket	5	14	2.04	0.43	2.47
13A	Furnace Roof	11	61	5.09	2.67	7.76
13F	Hydraulic Central Unit	1	11	0.00	0.29	0.29
14A	Main Incoming	2	13	0.51	0.38	0.89
15A	Tundish Units	5	320	2.04	15.04	17.08
15E	Apron and Dummy Bar Area	2	53	0.51	2.29	2.80
15F	Withdrawal Units	4	51	1.53	2.20	3.72
15I	Automatic Cutting Torch Units	1	63	0.00	2.77	2.77
15J	Transport and Discharge Roller Table	1	25	0.00	0.96	0.96
15K	Transfer Car and Cooling Bed Area	2	10	0.51	0.24	0.75
15M	Hydraulic Central Unit	1	99	0.00	4.49	4.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลความขัดข้องที่เกิดขึ้นภายในกลุ่ม EAF (ต่อ)

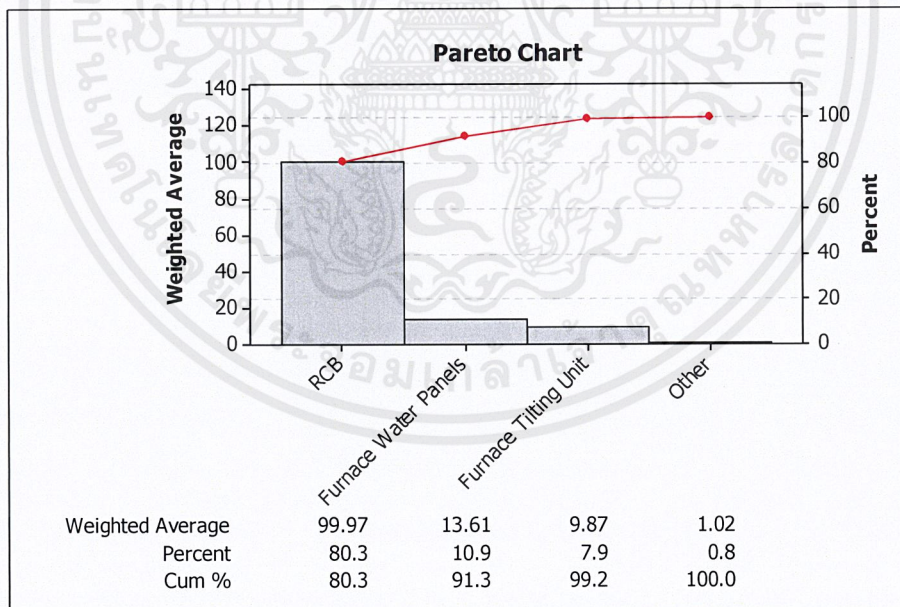
รหัส	กลุ่มย่อย	จำนวนครั้ง	ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อม (นาที่ต่อครั้ง)	ข้อมูลแบบถ่วงน้ำหนัก		
				จำนวนครั้ง	ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อม (นาที่ต่อครั้ง)	รวม
18A	Suction Units of Canopy	36	21	17.81	0.76	18.58
18B	Dust Hood of Units	1	14	0.00	0.43	0.43
18F	Dust Hopper Units	1	16	0.00	0.53	0.53
19A	Electric and Automation for Bag House	2	5	0.51	0.00	0.51
19B	Electric and Automation for Canopy	2	9	0.51	0.19	0.70
51A	Water Supply Zone A	6	27	2.54	1.05	3.60
54A	Steel Plant Crane	33	284	16.29	13.32	29.61
54C	Scrap Yard 1 Crane	16	69	7.63	3.06	10.69
54F	Billet Yard Crane	1	9	0.00	0.19	0.19

จากตารางที่ 3.2 เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักข้อมูล พบว่า กลุ่ม Furnace มีจำนวนครั้งที่เกิดความขัดข้องและระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมสูงที่สุด รองลงมาเป็น Furnace Roof Area และ Electrode Units ตามลำดับ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกกลุ่ม Furnace ของกลุ่ม EAF มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลความล่าช้า เพื่อหาระบบที่ส่งผลให้กระบวนการผลิตของบริษัทภายในส่วนผลิตเหล็กแห่งล่าช้าสูงที่สุดในลำดับถัดไป

กลุ่ม Furnace คือชุดตัวเตา สามารถจำแนกออกเป็น 6 ระบบ ได้แก่ 1. Platform and Shell (รหัส 11B01) 2. Furnace Tilting Unit (รหัส 11B02) 3. Slag Door (รหัส 11B03) 4. Furnace Water Panels (รหัส 11B04) 5. RCB Valve Stand (รหัส 11B05) และ 6. RCB (รหัส 11B06, 11B07, 11B08 และ 11B09) จากการเก็บรวบรวมข้อมูลความขัดข้องของแต่ละระบบย้อนหลังเป็นระยะเวลา 1 ปี และทำการถ่วงน้ำหนักข้อมูล โดยกำหนดให้ค่าน้ำหนักของจำนวนครั้งที่เกิดความขัดข้องและระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมเท่ากับร้อยละ 66.67 และ 33.33 ตามลำดับ จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยแผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของกลุ่มที่เกิดความล่าช้า ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลความขัดข้องที่เกิดขึ้นในกลุ่ม Furnace

รหัส	ระบบ	จำนวนครั้ง	ระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อม (นาท)	ข้อมูลแบบถ่วงน้ำหนัก		
				จำนวนครั้ง	ระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อม (นาท)	รวม
11B01	Platform and Shell	3	115	0	5.44	5.44
11B02	Furnace Tilting Unit	16	111	22.29	5.02	27.30
11B03	Slag Door	3	63	0	0	0
11B04	Furnace Water Panels	10	513	12	47.04	59.04
11B05	RCB Valve Stand	-	-	-	-	-
11B06						
11B07	RCB	100	1766	66.67	33.30	99.97
11B08						
11B09						



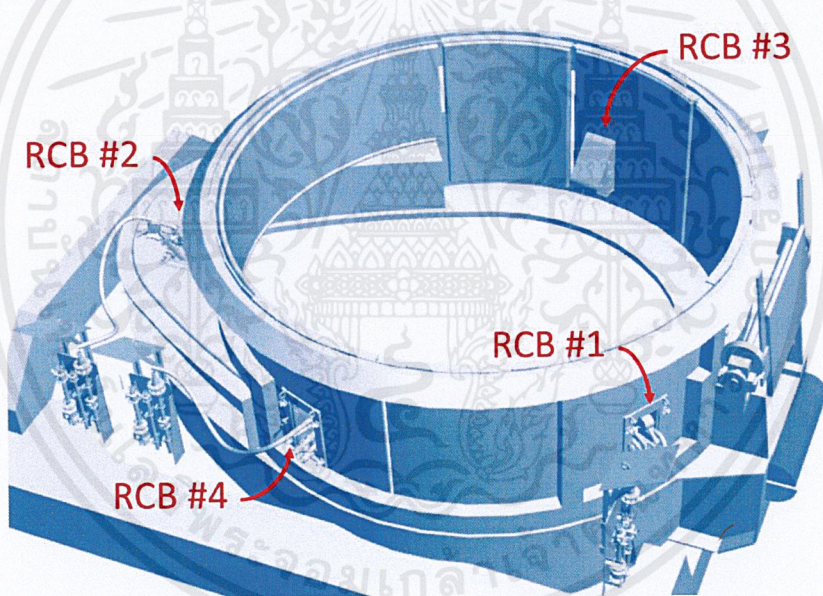
รูปที่ 3.4 แผนผังพาเรโตแสดงลำดับความสำคัญของระบบที่เกิดความล่าช้าในส่วนผลิตเหล็กแท่ง

ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างที่ถูกนำมาวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหายและจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงในครั้งนี้คือระบบ Refining Combined Burner (RCB) ของเตาเผา ซึ่งประกอบด้วยหัว RCB จำนวน 4 หัว ที่มีลักษณะเหมือนกัน

### 3.4 ระบบ Refining Combined Burner

ระบบ Refining Combined Burner (RCB) เป็นระบบที่ได้รับการพัฒนาโดยบริษัทก่อสร้างทางวิศวกรรมที่มีชื่อว่า Primetals Technologies ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเตาอาร์คไฟฟ้า โดยการลดความยุ่งยากในใช้งานของอุปกรณ์ สามารถถอดและประกอบอุปกรณ์ได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือใดๆ

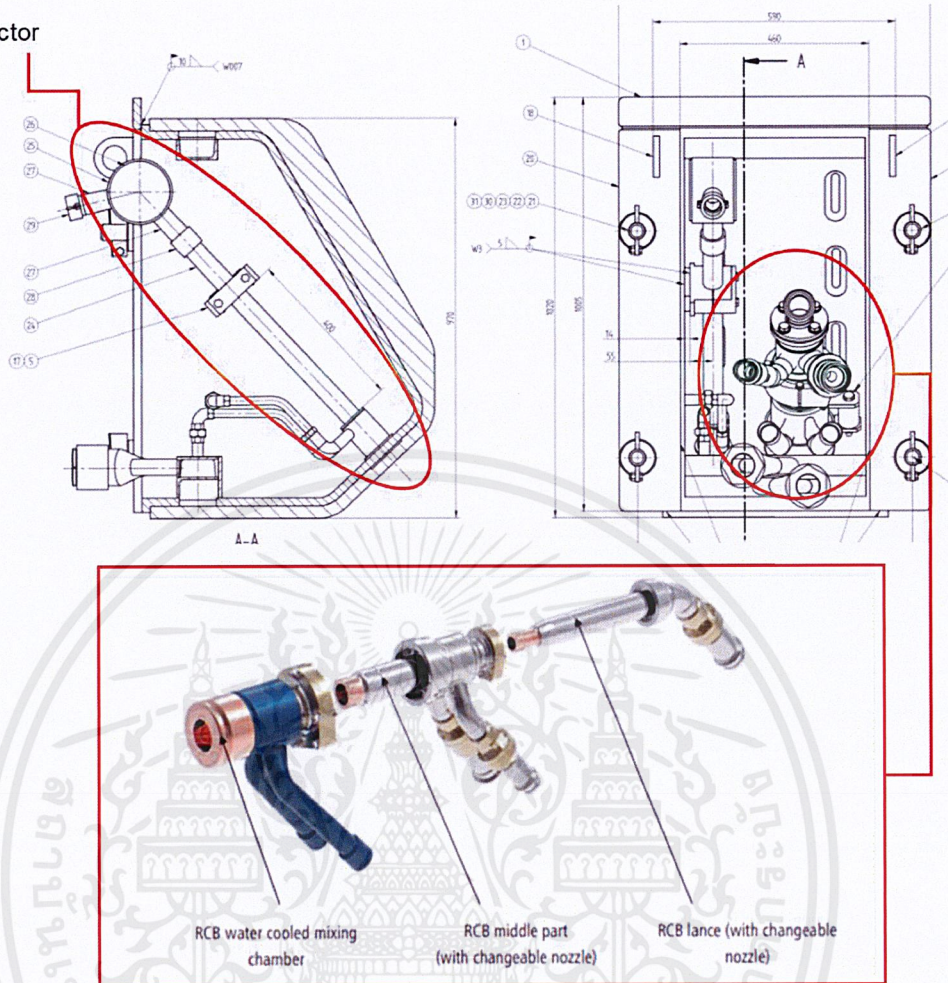
ระบบ RCB ที่ประกอบด้วยหัว RCB จำนวน 4 หัว จะถูกติดตั้งอยู่ภายในแผงจมูก (Nose Panel) บริเวณผนังด้านข้างของเตาอาร์คไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของ RCB

ภายในแผงจมูกจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ Coke Injector, RCB Water-Cooled Mixing Chamber, RCB Middle Part และ RCB Lance ดังแสดงในรูปที่ 3.6

### Coke injector



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบหลักภายในแผงจุมุก

การทำงานของระบบ RCB สามารถจำแนกออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ (Vaillancourt et al, 2018)

1. การใช้ไฟแรงดันต่ำ (Low Fire Mode) เป็นการทำงานในช่วงเริ่มต้นเมื่อมีการให้ความร้อนภายในเตา เพื่อป้องกันการอุดตันของหัวฉีด
2. การเผา (Burner Mode) เป็นการให้ความร้อนแก่เศษเหล็ก เพื่อให้เศษเหล็กหลอมเหลวกลายเป็นน้ำเหล็ก โดยความร้อนจะขึ้นอยู่กับชนิดของเศษเหล็กและปริมาณของเศษเหล็กที่ใช้
3. การพ่น (Lance Mode) เป็นการพ่นหรือฉีดออกซิเจนและแก๊สธรรมชาติแรงดันสูงเข้าไปภายในเตาเพื่อทำให้สิ่งเจือปนกลายเป็นฟองตะกรันลอยขึ้นมาปกคลุมบนผิวน้ำเหล็ก

### 3.5 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ RCB จากฐานข้อมูลของบริษัท โดยทำการเก็บรวบรวมตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน พ.ศ.2561 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ.2562 เป็นระยะเวลา 364 วัน ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ RCB แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
1	11B06	ขณะใส่เหล็กถ้ำ 3 สาย O2 Lance. ขาด ช่างพิตเปลี่ยน O2 เส้นใหม่	CMNE	1/9/2018	06:24 - 06:42	18
2	11B06X01	RCB#1 หัว Burner ถอยหลุดออกจาก Housing ช่วง Refine เปลวไฟอ่อนแรงใช้ O2 Lance ไม่ได้	CMNT	17/9/2018	23:00 - 23:20	20
3	11B09	Temp Nose RCBE#1,E#4 Over	New	22/9/2018	11:23 - 11:24	1
4	11B09	Nose RCB#4 temp 100 เตาใส่ถ้ำ 2 หยดรอ แจ้งช่างพิตรับทราบช่างพิตโบหน้า Nose RCB#4	New	25/9/2018	05:10 - 05:13	3
5	11B07X03	RCB No.2 สาย O2 Lance ขาด เปลี่ยนสาย O2 Lance RCB No.2 ใหม่	CMNE	27/9/2018	01:25 - 01:34	9
6	11B07X06	Coke หัว 2 รั่วบริเวณ Sherlock(ตัวเมีย)	CMNT	27/9/2018	03:45 - 03:50	5
7	11B07X03	RCB No.2 ไฟอ่อนที่จุดต่อข้าง PR10/ เปลี่ยน O-ring สาย RCB No.2 ท่อนล่างข้าง PR10	CMNT	27/9/2018	22:59 - 23:06	7
8	11B07X03	ขณะกำลังเทน้ำเหล็ก H183745 สาย ออกซิเจน RCB #2 ขาด เตาเทน้ำเหล็กเสร็จช่างพิตแก้ไข เปลี่ยนสายออกซิเจน RCB #2 ใหม่	CMNT	29/9/2018	22:33 - 22:45	12

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
9	11B09	หลังเทน้ำเหล็ก H.183872 เสร็จ ตรวจสอบสภาพเตาพบบมีน้ำรั่ว บริเวณ Nose RCB#4 ช่างพิต ตรวจสอบพบบน้ำรั่วที่ Housing RCB#4	CMNE	6/10/2018	02:50 - 03:58	68
10	11B08	RCB3. ใช้งาน Mode Buner& Lance ไม่ได้ >>Temp Nose RCBE#3>55C.	New	7/10/2018	16:43 - 16:50	7
11	11B08	RCB3. ใช้งาน Mode Buner& Lance ไม่ได้ >>Temp Nose RCBE#3>55C.	New	7/10/2018	17:43 - 17:58	15
12	11B06X03	สาย Gas. RCB#1 หลุดออกจาก RCB แก้ไขช่างพิตใส่สาย Gas.	CMNE	8/10/2018	13:28 - 13:41	13
13	11B08	Nose RCB No.3 อุณหภูมิน้ำสูง ช่างพิตเปิดน้ำโบ Nose RCB No.3	New	9/10/2018	00:52 - 00:53	1
14	11B08	Nose RCB No.3 อุณหภูมิน้ำสูง ช่างพิตเปิดน้ำโบ Nose RCB No.3 และรออุณหภูมิน้ำลด	New	9/10/2018	01:43 - 01:49	6
15	11B08	Nose RCB No.3 และ Nose RCB No.4 อุณหภูมิน้ำสูงเตายกแท่ง ถ่านหยุดอาร์ค ช่างพิตเปิดน้ำโบ Nose RCB No.3	New	9/10/2018	17:15 - 17:25	10
16	11B08	Nose RCB No.3 และ Nose RCB No.4 อุณหภูมิน้ำสูงเตายกแท่ง ถ่านหยุดอาร์ค ช่างพิตเปิดน้ำโบ Nose RCB No.3	New	9/10/2018	17:50 - 17:54	4
17	11B09	Nose RCB No.4 อุณหภูมิน้ำสูง (70 C)เตายกแท่งถ่านหยุดอาร์ค ช่างพิตเปิดน้ำโบ Nose RCB No.4	New	11/10/2018	21:52 - 21:57	5
18	11B08	Nose RCB No.3 อุณหภูมิน้ำสูง ช่างพิตเปิดน้ำโบ Nose RCB No.3	CMNE	14/10/2018	06:46 - 06:50	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
19	11B09X01	RCB #4 Housing น้ำรั่ว	CMNE	14/10/2018	11:45 - 12:05	20
20	11B06X06	ท่อ Coke RCB#1 ท่อรั่วบริเวณ เกลียวปลายเชอส์ล็อกก่อนเข้า Nose RCB	CMNT	27/10/2018	21:40 - 22:00	20
21	11B08	Nose RCB#3 temp สูง > 55 องศา แจ้งช่างพิตรับทราบ ช่าง พิต Blow น้ำ Nose RCB#3	CMNE	29/10/2018	13:44 - 13:45	1
22	11B09	RCB No.4ใช้งานไม่ได้ Alarm Flow NG deviation RCB 4/ เปลี่ยนหัว RCB No.4ใหม่.ใช้งาน ได้ปกติ	CMNE	1/11/2018	02:07 - 02:15	8
23	11B07X05	RCB2. เปลวย้อนช่วง Tap *สาย Gas+O2. รั่ว*	CMNE	4/11/2018	23:00 - 23:26	26
24	11B07	RCB No.2 ไฟย้อน กระทุ้งหน้า RCB No.2	CMNE	6/11/2018	16:28 - 16:31	3
25	11B06	RCB #1 เปลวไฟย้อนก๊ีบล็อค RCB หลุดหัวถอย	CMNE	8/11/2018	09:56 - 10:08	12
26	11B06X06	ท่อCoke RCB No.1 รั่ว /เปลี่ยน ท่อCoke RCB No.1ใหม่	CMNT	20/11/2018	06:02 - 06:05	3
27	11B08X03	สาย O2 Lance ขาด & สาย O2 Burner ขาด >> RCB.3 Lance ไม่ได้ * ใช้ RCB1 หัวเดียว	CMNE	24/11/2018	17:26 - 17:33	7
28	11B07	RCB No.2 เปลวออกไม่ดี/เปลี่ยน RCB No.2 ใหม่	CMNE	27/11/2018	17:38 - 17:42	4
29	11B08X06	Coke RCB No.3 ท่อยางข้าง กำแพงรั่ว/ช่างพิตเปลี่ยน ท่อยาง ข้างกำแพง Coke RCB No.3 ใหม่	CMNT	27/11/2018	19:29 - 19:38	9
30	11B08X06	Coke RCB No.3 ตันในระบบ ช่างพิตไล่ลาย coke RCB No.3	CMNT	27/11/2018	20:38 - 20:48	10
31	11B09	Nose No.4 น้ำรั่ว แก๊วเชื่อม Nose และ หยุดใช้งาน RCB No.4	CMNE	2/12/2018	19:36 - 21:35	119

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
32	11B07X03	ขณะกำลังเทน้ำเหล็ก H.185044 สาย O2 Lance RCB#2 ขาด แก๊วข้างพิตเปลี่ยนสาย สาย O2 Lance RCB#2 ใหม่	CMNE	4/12/2018	23:52 - 23:59	7
33	11B07X03	ขณะกำลังเทน้ำเหล็ก H.185044 สาย O2 Lance RCB#2 ขาด แก๊วข้างพิตเปลี่ยนสาย สาย O2 Lance RCB#2 ใหม่	CMNE	5/12/2018	00:00 - 00:13	13
34	11B06	RCB #1 Alarm Show Temp >55 องศา แจ้งช่างพิตรับทราบ แก๊วไครนน้ำ RCB #1	CMNE	8/12/2018	12:11 - 12:14	3
35	11B08	Nose RCB#3 อุณหภูมิ น้ำร้อน มากกว่า 55 องศาเตาใช้ Burner ไม่ได้แจ้งช่างพิตกะไครนน้ำ Nose RCB#3	CMNE	8/12/2018	19:12 - 19:16	4
36	11B08X01	[[/fettling]] หลังจากเทน้ำเหล็ก H185202 เสร็จตรวจเช็คสภาพ เตาพบมีน้ำรั่วบริเวณ RCB#3 ไทรแอง ME รับทราบช่างพิตพบ น้ำรั่วบริเวณ Housing RCB#3 ช่างพิตทำการแก๊วเปลี่ยน Housing RCB#3 ใหม่	CMNE	16/12/2018	02:50 - 04:05	75
37	11B08	ช่างพิตตรวจเช็ค RCB No.3 O2 Lance ค่า Actual เหลือ ประมาณ 3 บาร์.		17/12/2018	22:58 - 23:01	3
38	11B08X01	RCB No.3 หัวละลายและ Housing น้ำรั่ว ช่างพิตเปลี่ยน Housing และRCB No.3ใหม่	CMNE	17/12/2018	23:56 - 00:00	4
39	11B08X01	RCB No.3 หัวละลายและ Housing น้ำรั่ว ช่างพิตเปลี่ยน Housing และRCB No.3 ใหม่	CMNE	18/12/2018	00:00 - 00:54	54
40	11B08X01	หลังเทเหล็กเช็คสภาพเตา พบน้ำ หยอดที่ Housing RCB#3 ช่างพิต เช็คพบน้ำรั่ว Housing	CMNE	12/1/2019	23:56 - 00:00	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
41	11B08X01	หลังเทเหล็กเช็คสภาพเตา พบน้ำ หยดที่ Housing RCB#3 ช่างพีด เช็คพ่น้ำรั่ว Housing	CMNE	13/1/2019	00:00 - 01:18	78
42	11B08	Nose RCB#3 อุณหภูมิ น้ำสูง (100 องศา) ช่างพีดกะเดรนน้ำ Nose แล้วยังไม่หาย แก้ไขทำ Fushing Nose RCB	CMNE	16/1/2019	02:23 - 04:18	115
43	11B09	Nose No.4 น้ำรั่ว/ เปลี่ยน Nose No.4 ใหม่ รั่วจากการ Arc กับ เศษเหล็ก	New	24/1/2019	05:43 - 09:00	197
44	11B09	Nose RCB#4 อุณหภูมิ น้ำสูง ( 70 องศา ) แจ้ง ME เดรนน้ำ Nose RCB#4	Rework	24/1/2019	22:41 - 22:48	7
45	11B06X06	สาย Coke RCB#1 หัวเซอร์ล๊อค ก่อนเข้าตลับหม่อง รั่ว	CMNT	26/1/2019	14:26 - 14:38	12
46	11B06X06	ท่อ Coke. E#1 รั่วบริเวณท่อ Pipe ติดกับ RCB1	CMNT	3/2/2019	02:40 - 02:52	12
47	11B06X06	Coke E#1 . รั่วบริเวณ Sherlock ติดตลับหม่อง *ME. เข้าตรวจเช็ค และเปลี่ยน Sherlock ตัวผู้* แต่ ติดปัญหาถอดไม่ออก และเสีย เวลานาน จึงใส่ตัวเก่าใช้งานก่อน และรอเปลี่ยนตลับหม่องช่วงหลัง Tap	CMNT	3/2/2019	07:39 - 07:46	7
48	11B06X06	ME. เปลี่ยนตลับหม่อง Coke E#1	CMNT	3/2/2019	08:50 - 08:53	3
49	11B08	Nose No.3 อุณหภูมิ สูงกว่า ค่าที่setไว้ทำให้ไม่สามารถใช้ O2 เป่าลด%C ได้	CMNE	4/2/2019	23:04 - 23:23	19
50	11B06X01	Housing RCB1 Arm. High temp * หยุดตรวจเช็คก่อน Arc. ถึง 3	CMNE	9/2/2019	01:20 - 01:24	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
51	11B06X01	Housing RCB No.1 ร้อน(เมื่อเข้ามีการเปลี่ยน Housing RCB No.1 แต่ไม่ได้เปิดวาล์ว น้ำเข้า-ออก) ช่างพิตเปลี่ยน Housing RCB No.1 ใหม่	Rework	9/2/2019	01:46 - 02:49	63
52	11B08X06	Coke RCB No.3 สายรั่ว ขณะเปลี่ยนสายยาง Coke RCB No.3 พบท่อแป๊บ Coke RCB No.3 เกลี่ยขาด	CMNT	9/2/2019	05:21 - 05:38	17
53	11B08X06	ท่อแป๊บ Coke RCB No.3 เกลี่ยขาด/เปลี่ยนท่อแป๊บ Coke RCB No.3 ใหม่	CMNT	9/2/2019	06:35 - 06:55	20
54	11B06X02	RCB no.1 หัวหลุด	CMNE	12/2/2019	08:09 - 08:19	10
55	11B06X06	Coke RCB#1 ยิงไม่ได้รั่วบริเวณฉลือก ช่างพิตแก้ไขเปลี่ยนสาย Coke และตลับยาหม่อง	CMNT	18/2/2019	01:46 - 01:51	5
56	11B06X06	Coke RCB No.1 ยิงไม่ออก/แจ้งช่างพิตแก้ไขกระทุ้งหน้า Coke RCB No.1	CMNT	20/2/2019	00:14 - 00:26	12
57	11B06X06	Coke RCB#1 ยิงไม่ออก พบสาย Coke RCB#1 รั่ว	CMNT	24/2/2019	18:48 - 19:14	26
58	11B08	RCB.3 ใช้งานไม่ได้ >> Valve Gas & Valve O2. ของ Burner ไม่เปิด	Rework	1/3/2019	01:12 - 01:24	12
59	11B06	Coke RCB#1 รั่วบริเวณฉลือก ช่างพิตเปลี่ยน ฉลือก Coke RCB#1	CMNM	2/3/2019	12:28 - 12:33	5
60	11B07	RCB #2 ไฟย้อน O-ring สาย Gas แหวน ช่างพิตเปลี่ยน RCB#2 และ O-ring สาย Gas	CMNT	9/3/2019	09:11 - 09:23	12
61	11B06	ก๊อฟล๊อคหัว RCB.1 หลุด * ME. เปลี่ยนก๊อฟล๊อคใหม่	CMNT	16/3/2019	07:57 - 08:06	9

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
62	11B07	RCB2. เปลวย้อน * ME. ถอด RCB. ออก กระทั่ง Slag และ เปลี่ยน O-ring	CMNT	17/3/2019	07:43 - 07:48	5
63	11B07X03	RCB No.2 สาย O2 Lance ขาด/ เปลี่ยนสาย O2 Lance ใหม่	CMNT	23/3/2019	04:00 - 04:08	8
64	11B06	RCB No.1 ไฟ้อย/แจ้งช่างฟิต แก๊ว	CMNT	23/3/2019	04:59 - 05:03	4
65	11B08X03	สาย O2 Lance RCB#3 ขาด เต่า เป่าลด %C ไม่ลง ความร้อนทรอป ต้องอาร์คเพิ่มความร้อนหลายรอบก่อน Tap	CMNE	24/3/2019	20:18 - 20:32	14
66	11B08X03	สาย O2 Lance RCB#3 ขาด	CMNE	24/3/2019	20:38 - 20:40	2
67	11B06X02	RCB หัว 1 เปลวย้อนออกบริเวณ ข้อต่อ ME. ตรวจสอบ O-ring ขาด	CMNE	12/4/2019	22:21 - 22:27	6
68	11B07X02	RCB #2 ไฟย้อนกับล๊อคแดง ช่างฟิตเปลี่ยน O-ring และกับล๊อค	CMNE	13/4/2019	16:43 - 16:45	2
69	11B06X06	สาย Coke RCB #1 รั่ว ช่างฟิต เปลี่ยนสาย สาย Coke RCB #1 ใหม่	CMNM	14/4/2019	11:58 - 12:02	4
70	11B08X01	RCB #3 Housing น้ำรั่ว ช่างฟิต เปลี่ยน Housing	CMNE	19/4/2019	08:27 - 09:00	33
71	11B08X01	RCB #3 Housing น้ำรั่ว ช่างฟิต เปลี่ยน Housing/เหล็กในเตาไม่ละลาย เนื่องจาก RCB #3 Housing น้ำรั่ว ทำให้ใช้เวลา Arc เหล็กนานและต้อง sinter เต่าหลายครั้ง	CMNE	19/4/2019	22:04 - 23:00	56
72	11B08X01	RCB #3 Housing น้ำรั่ว ช่างฟิต เปลี่ยน Housing/ทำให้เหล็กหน้ารูEBTแข็งเป็นดาน เจาะรูEBT ด้านล่าง1ไม้-ด้านบน3ไม้	CMNE	19/4/2019	23:00 - 23:06	6
73	11B07X02	RCB No.2 ไฟย้อน / ช่างฟิตกะ เปลี่ยน O-ring RCB No.2 ใหม่	CMNE	20/4/2019	00:14 - 00:20	6

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
74	11B06X02	RCB #1 มีเสียงดังบริเวณสาย O2 ช่างฟิตเปลี่ยน O-ring สาย O2	CMNE	25/4/2019	00:01 - 00:11	10
75	11B08X06	สาย Coke E#2 ติดห้อง Setting รั่ว	CMNM	26/4/2019	07:42 - 07:45	3
76	11B06X02	RCB #1 ไฟย้อนและเสียงดัง ช่างฟิตตรวจเช็คพบ RCB ไม่ได้ล็อกกับ Housing. O-ring Housing ละลาย (สาเหตุที่ Delay นานของห้องซ่อมเครื่องกลที่ ห้อง EAF ไม่มี เสียเวลาเดินกลับโรงซ่อม)	CMNE	26/4/2019	22:16 - 22:41	25
77	11B07	RCB No.2 ไฟย้อน ช่างฟิตกระทุ้งหน้า RCB No.2 และเปลี่ยน O-ring เส้นใหญ่1เส้น (ของหมดต้องกลับไปเอา O-ring ใหม่ที่โรงซ่อม)	CMNE	5/5/2019	02:51 - 02:56	5
78	11B09	สาย NG RCB#4 รั่วเปลวไฟย้อน ทำให้สาย O2 ไหม้ขาดทั้ง 2 เส้น ME แก๊ซเปลี่ยนสาย NG และ O2 RCB#4 ใหม่(ME แก๊ซเปลี่ยนสายนานเนื่องจากสาย O2 ที่นำมาเปลี่ยนใส่ไม่ได้ หัวทั้งสองด้าน เล็ก-ใหญ่ไม่เท่ากัน)	CMNT	6/5/2019	00:15 - 00:55	40
79	11B07	RCB2. เปลวย้อน O-ring + เข็มขัดละลาย	CMNE	17/5/2019	23:03 - 23:10	7
80	11B06X03	O2 Lance RCB #1 O-ring ขาด เวลาเข้า Lance High มีเสียงดัง	CMNT	26/5/2019	23:53 - 23:58	5
81	11B08X03	RCB NO.3 สาย O2 Lance ขาด ช่างฟิตเปลี่ยนสาย O2 Lance ใหม่	CMNE	31/5/2019	22:57 - 23:03	6
82	11B06X03	RCB#1 เมื่ออยู่ใน Mode Lance มีเสียงรั่วแรงแจ้งช่างฟิตกะตรวจสอบพบ O-ring ของสาย O2 Lance ไหม้ขาด	New	7/6/2019	00:37 - 00:41	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
83	11B06X06	Coke RCB No.1 รื้อคอสาย /ช่าง พืดเปลี่ยนสาย Coke RCB No.1 ใหม่	Rework	18/6/2019	03:51 - 04:00	9
84	11B06	Nose No.1 น้ำร้อนเกินค่าที่ set ไว้ /ช่างพืดโบน้ำNose No.1 ทิ้ง เตาใหม่	CMNE	22/6/2019	18:26 - 18:30	4
85	11B06X05	RCB #1 เปลวไฟย้อนที่สาย NG แฉ่งช่างพืดตรวจสอบแก้ไขพบ O-ring สาย NG ขาด	New	23/6/2019	11:21 - 11:24	3
86	11B06	Nose No.1 ความร้อนสูงผิดปกติ /แฉ่งช่างพืดเติมน้ำ Nose No.1/ แฉ่งช่างไฟฟ้าเช็ค PT100 เตา ใหม่	CMNT	23/6/2019	21:29 - 21:34	5
87	11B08X06	สาย Coke เข้า Nose RCB#3 รื้อ เวลายัง Coke มีฝุ่นและเม็ด Coke ฟุ้งกระจาย	CMNE	26/6/2019	01:56 - 02:01	5
88	11B09	RCB No.4 ไฟย้อน ช่างพืดเข้า แก้ไข	New	27/6/2019	01:01 - 01:06	5
89	11B06	RCB #1 ไฟย้อนสาย NG ช่างพืด ตรวจเช็คเปลี่ยน O-ring สาย NG RCB #1	New	27/6/2019	02:00 - 02:03	3
90	11B06	RCB #1 เปลวไฟย้อนแทรก ระหว่าง Nose และ Housing	New	28/6/2019	00:21 - 00:29	8
91	11B09	RCB #4 ไฟย้อน ช่างพืดเปลี่ยน O-ring สาย Lance ที่ไม่ได้ใช้งาน	New	30/6/2019	16:05 - 16:15	10
92	11B09	หัว 4 หน้าตัน slag พอกและ O-ring Housing ละลาย ช่างพืด กระทุ้ง RCB #4 และเปลี่ยน O-ring Housing RCB #4	New	30/6/2019	17:01 - 17:22	21
93	11B06	RCB No.1 Pressure Lance Low ค่าไม่ถึง 6.0 bar.ได้แค่ 5.2 bas. /แฉ่งช่างพืดเปลี่ยนหัว RCB ใหม่	CMNE	8/7/2019	02:52 - 03:06	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ Refining Combined Burner (ต่อ)

No.	MC No.	ปัญหา	WATANABE	Date	During Time	Time (min)
94	11B09	RCB #4 เปลวไฟย้อนออกด้านหลัง และมีเสียงรบกวน	CMNE	8/7/2019	23:18 - 23:40	22
95	11B06X06	Coke RCB No.1 ยิงไม่ออก ช่างพิตตรวจเช็คพบท่อสายยาง Coke RCB No.1 หักงออยู่ จัดท่อสายยาง Coke RCB No.1 ใหม่	CMNE	10/7/2019	02:21 - 02:26	5
96	11B06	อุณหภูมิ Nose RCB No.1 สูงเกิน 55 องศา ไม่สามารถใช้ Lance เป่าลด %C ได้ แจ้งช่างพิตเดินน้ำ Nose RCB No.1	CMNE	17/7/2019	04:51 - 04:56	5
97	11B08	Set Up ต่อ ช่างพิตเปลี่ยน Box EBT และเปลี่ยน O-ring สาย Lance RCB#3, ตรวจเช็คสายน้ำ Arm No.2	CMNE	21/7/2019	19:29 - 20:02	33
98	11B06X06	สาย Coke RCB#1 ก่อนเข้า Nose RCB ท่อรั่วฝุ่น Coke ฟุ้งกระจาย	CMNM	27/7/2019	19:05 - 19:18	13
99	11B06X06	Coke RCB#1 ยิงไม่ออก (ออกแล้วหยุด) ตรวจสอบพบสาย Coke พบสายก่อนเข้าตลับยาหม่องยาวทำให้สาบพับ ทำให้ Coke RCB#1 ยิงไม่ออก	Rework	29/7/2019	23:19 - 23:24	5
100	11B07X05	RCB#2 เปลวไฟย้อนสาย NG Flex Cable ขาดเปลวไฟย้อน	-	5/8/2019	22:56 - 23:06	10
101	11B09X05	สาย Oxygen RCB #4 สายขาด เปลวไฟไหม้จารบีด้านในการ์ดของ Ram ทำให้สาย Limit ของ Lock และ Unlock Ram ช็อตสั่ง Lock Ram ไม่ได้	-	6/8/2019	00:02 - 00:47	45

จากตารางที่ 3.4 พบว่า ข้อมูลการบำรุงรักษาส่วนใหญ่อยู่ในรูปของข้อความอิสระ (Free-Text) ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องแปลงรูปของข้อมูลให้อยู่ในรูปที่เป็นมาตรฐานเดียวกันเสียก่อน โดยผู้วิจัยจะทำการแปลงรูปของข้อมูลจากข้อความอิสระให้อยู่ในรูปของคำศัพท์และคำจำกัดความซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 14224 ตัวอย่างการแปลงรูปของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการแปลงรูปของข้อมูลตามมาตรฐาน ISO 14224

Free-text style failure descriptions	ISO 14224 standardization		
	Failure mode	Component	Sub-system
1 ขณะใส่เหล็กถึง 3 สาย O2 Lance. ขาด ข้างพืดเปลี่ยน O2 เส้นใหม่	BRD	Oxygen lance flex cable	Oxygen lance head
2 RCB#1 หัว Burner ถอยหลุดออกจาก Housing ช่วง Refine เปลวไฟย้อนแรงใช้ O2 Lance ไม่ได้	FCO	Burner injector	Burner head
3 Temp Nose RCBE#1,E#4 Over	OHE	Nose unit	Cooling
4 Nose RCB#4 temp 100 เต่าใส่ถึง 2 หยุตรอ แจ้งข้างพืดรับทราบข้างพืดโบน้ำ Nose RCB#4	OHE	Nose unit	Cooling
5 RCB No.2 สาย O2 Lance ขาด เปลี่ยน สาย O2 Lance RCB No.2 ใหม่	BRD	Oxygen lance flex cable	Oxygen lance head
6 Coke หัว 2 รั่วบริเวณ Sherlock(ตัวเมีย)	FCO	Coke coupling	Coke head
7 RCB No.2 ไฟย้อนที่จุดต่อข้าง PR10/ เปลี่ยน O-ring สาย RCB No.2 ท่อนล่าง ข้าง PR10	BRD, PLU	Oxygen lance flex cable	Oxygen lance head
8 ขณะกำลังเทน้ำเหล็ก H183745 สาย ออกซิเจน RCB #2 ขาด เต่าเทน้ำเหล็ก เสร็จข้างพืดแก้ไขเปลี่ยนสายออกซิเจน RCB #2 ใหม่	BRD	Oxygen lance flex cable	Oxygen lance head
9 หลังเทน้ำเหล็ก H.183872 เสร็จตรวจสอบ สภาพเตापบมีน้ำรั่วบริเวณ Nose RCB#4 ข้างพืดตรวจสอบพบน้ำรั่วที่ Housing RCB#4	ELU	Nose unit	Cooling
10 RCB3. ใช้งาน Mode Buner& Lance ไม่ได้ >>Temp Nose RCBE#3>55C.	OHE	Nose unit	Cooling

จากนั้น ข้อมูลที่ถูกแปลงรูปแล้วจะถูกแจกแจงความถี่เพื่อแสดงให้เห็นว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นของระบบ RCB มีอะไรบ้างและซ้ำกันกี่จำนวน โดยข้อมูลได้แบ่งความเสียหายออกเป็น 4 ระบบย่อย 10 ส่วนประกอบ และ 6 คุณลักษณะความเสียหาย แสดงดังตารางที่ 3.6 และ 3.7

ตารางที่ 3.6 การแจกแจงความเสียหายตามประเภทของระบบย่อย ส่วนประกอบ และตำแหน่งของหัว RCB ตามมาตรฐาน ISO 14224

Refining Combined Burner (RCB)		หัว				รวม	
ระบบย่อย	ส่วนประกอบ	1	2	3	4	N	%
Burner head	Burner injector	12	10	1	5	28	26
	NG flex cable	2	3	0	1	6	6
	Oxygen burner flex cable	0	0	1	2	3	3
	Control valves	0	0	2	0	2	2
Oxygen lance head	Oxygen lance flex cable	1	7	4	2	14	13
Coke head	Coke pipe	10	0	5	0	15	14
	Coke coupling	5	1	0	0	6	6
	Coke injector	1	0	1	0	2	2
Cooling	Nose unit	3	0	11	7	21	19
	RCB housing	3	0	8	1	12	11
รวม		37	21	33	18	109	100

ตารางที่ 3.7 การแจกแจงความเสียหายตามประเภทของลักษณะความเสียหายและตำแหน่งของหัว RCB ตามมาตรฐาน ISO 14224

ลักษณะความเสียหาย	หัว				รวม	
	1	2	3	4	N	%
BRD	18	20	22	8	68	50
PLU	10	8	2	5	25	19
OHE	5	0	11	4	20	15
ELU	1	0	8	3	12	9
FCO	7	1	0	0	8	6
FTS	0	0	2	0	2	1
รวม	41	29	45	20	135	100

ตารางที่ 3.6 และ 3.7 จะถูกใช้เป็นข้อมูลเข้า (Input) สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์การจัดกลุ่มในบทที่ 4



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์สาเหตุฐานรากความเสียหายของระบบ Refining Combined Burner (RCB) ในเตาเผา ตามวิธีการดำเนินการวิจัยในบทที่ 1 โดยประกอบด้วยหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังนี้

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis)

4.2 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)

4.3 การเปรียบเทียบความคล้ายและความแตกต่างกันของวิธีการทางสถิติ (Similarity and Dissimilarity in the Statistical Method)

4.4 การวาดแผนผังเชิงสาเหตุ (Causal Mapping)

4.5 การเลือกประเภทของการบำรุงรักษา (Maintenance Selection Strategy)

#### 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของความเสียหายของระบบ RCB ว่ามีทั้งหมดกี่องค์ประกอบ แต่ละองค์ประกอบมีอะไรบ้าง มีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นก่อนการวิเคราะห์องค์ประกอบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์อย่างเพียงพอต่อการวิเคราะห์องค์ประกอบหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าสถิติ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) และ Bartlett's Test of Sphericity ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่า Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) และ Bartlett's Test of Sphericity

ค่าสถิติ	ผล
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO)	0.725
Bartlett's Test of Sphericity	Chi-Square
	28.525
	df
	6
	Sig.
	.000

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าสถิติ Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy (KMO) มีค่าเท่ากับ 0.725 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.50 และเข้าใกล้ค่า 1 แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันในขนาดที่เหมาะสมจะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบได้ และจากค่าสถิติ Bartlett's of Sphericity พบว่า ค่าสถิติไค-สแควร์ (Chi-Square) ที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากับ 28.525 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงให้เห็นว่า เมทริกซ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้น เมทริกซ์สหสัมพันธ์มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ

2. สกัดองค์ประกอบด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) และหมุนแกนองค์ประกอบเพื่อให้ตัวแปรมีลักษณะที่ชัดเจนมากขึ้น โดยทำการหมุนแกนแบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธี Varimax ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 จำนวนองค์ประกอบ ค่าลักษณะเฉพาะ ค่าร้อยละของความแปรปรวน และค่าร้อยละของความแปรปรวนสะสมในแต่ละองค์ประกอบของคุณลักษณะความเสียหายและส่วนประกอบที่เสียหายหลังการสกัดองค์ประกอบ

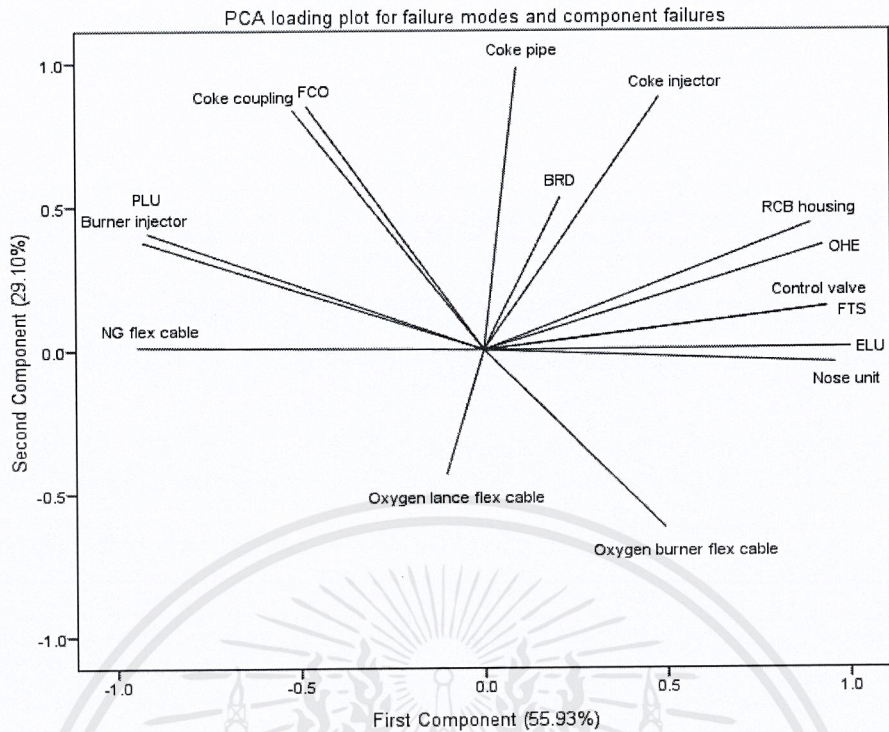
องค์ประกอบ	ค่าลักษณะเฉพาะ	ค่าร้อยละของความแปรปรวน	ค่าร้อยละของความแปรปรวนสะสม
1	8.95	55.93	55.93
2	4.66	29.10	85.03
3	2.40	14.97	100.00

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalues) ซึ่งเป็นผลบวกกำลังสองของน้ำหนักองค์ประกอบของตัวแปรทั้ง 16 ตัวแปร ที่มีค่ามากกว่า 1 พบว่า มีจำนวน 3 องค์ประกอบที่มีค่าลักษณะเฉพาะมากกว่า 1 และเมื่อพิจารณาความเหมาะสมของค่าน้ำหนักขององค์ประกอบที่มากกว่า 0.3 และองค์ประกอบแต่ละตัวต้องมีตัวแปรสังเกตได้ตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไป ทำให้เหลือองค์ประกอบที่ใช้ได้จริงเพียง 2 องค์ประกอบ แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 คำนวณน้ำหนักองค์ประกอบของความเสียหายของระบบ Refining Combined Burner

ความเสียหายของระบบ Refining Combined Burner	องค์ประกอบ (PC)	
	PC1	PC2
BRD	0.208	<b>0.529</b>
PLU	<b>-0.913</b>	0.406
OHE	<b>0.925</b>	0.361
ELU	<b>1.000</b>	0.007
FCO	-0.479	<b>0.847</b>
FTS	<b>0.936</b>	0.148
Burner injector	<b>-0.817</b>	0.376
NG flex cable	<b>-0.943</b>	0.010
Oxygen burner flex cable	0.493	<b>-0.620</b>
Control valve	<b>0.936</b>	0.148
Oxygen lance flex cable	-0.103	<b>-0.433</b>
Coke pipe	0.091	<b>0.980</b>
Coke coupling	-0.517	<b>0.835</b>
Coke injector	0.481	<b>0.877</b>
Nose unit	<b>0.959</b>	-0.047
RCB housing	<b>0.892</b>	0.437
ความแปรปรวนที่ตัวแปรใหม่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	55.93	29.10
ความแปรปรวนทั้งหมดที่ตัวแปรใหม่สามารถอธิบายได้ (ร้อยละ)	85.03	

หมายเหตุ ตัวเลขหนา หมายถึง คำนวณน้ำหนักขององค์ประกอบที่จัดอยู่ในตัวแปรใหม่ใน PC1 และ PC2



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของค่าน้ำหนักองค์ประกอบระหว่างองค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2

ดังนั้น ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบหลังจากการหมุนแกนแบบมุมฉาก (Orthogonal Rotation) ด้วยวิธี Varimax สามารถอธิบายถึงองค์ประกอบของความเสียหายของระบบ Refining Combined Burner (RCB) ได้ทั้งหมด 2 องค์ประกอบ แต่ละองค์ประกอบ ประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ไม่เท่ากัน ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปร 9 ตัวแปร ได้แก่ PLU, OHE, ELU, FTS, burner injector, NG flex cable, control valve, nose unit และ RCB housing

องค์ประกอบที่ 2 ประกอบด้วยตัวแปร 7 ตัวแปร ได้แก่ BRD, FCO, oxygen lance flex cable, oxygen burner flex cable, coke pipe, coke coupling และ coke injector

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในหัวข้อนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มในหัวข้อที่ 4.3

## 4.2 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster Analysis)

การจัดกลุ่มความเสียหายของระบบ RCB ด้วยการจัดกลุ่มด้วยวิธีที่แตกต่างกันทั้ง 4 แบบ ได้แก่ การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น การจัดกลุ่มแบบเคมีน การจัดกลุ่มแบบพีซีซีมีน และการจัดกลุ่มแบบ SOM ว่ามีทั้งหมดกลุ่ม แต่ละกลุ่มมีอะไรบ้าง และผลการจัดกลุ่มสุดท้ายคืออะไร มีขั้นตอนดังนี้

### 1. การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่ม (Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC))

การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่ม จะวัดค่าระยะห่างของข้อมูลจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และใช้เกณฑ์การรวมกลุ่มแบบ Ward Linkage คือจะพิจารณาจากผลรวมของค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสอง (Within-Cluster Sum of squares (WCSS)) โดยจะรวมกลุ่มข้อมูลที่ทำให้ค่าผลรวมของค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสองเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการนำไปรวมกับกลุ่มอื่นๆ ซึ่งค่าค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสองสามารถคำนวณได้จากค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสอง

ข้อดีของการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้นคือไม่ต้องกำหนดจำนวนกลุ่มล่วงหน้า ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงมักจะนิยามหาจำนวนกลุ่มจากการจัดกลุ่มประเภทนี้ก่อน แล้วจึงนำจำนวนกลุ่มที่ได้ไปใช้ในการจัดกลุ่มประเภทอื่นๆ

ขั้นตอนการทำงานของ การจัดกลุ่มประเภทนี้ เริ่มต้นจากการจัดกลุ่มข้อมูลเป็นจำนวน 16 กลุ่ม กล่าวคือ แต่ละกลุ่มมีสมาชิกเพียงแค่ 1 ตัว จากนั้นรวมข้อมูลที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดหรือมีค่าระยะห่างระหว่างกลุ่มน้อยที่สุดไว้ด้วยกัน โดยพิจารณาจากค่าผลรวมของค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ทำซ้ำจนกระทั่งข้อมูลทุกตัวรวมกันเป็นกลุ่มเดียว

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร คำนวณได้จากสมการที่ (2.5) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4 และค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร คำนวณได้จากการยกกำลังสองสมการที่ (2.6) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

BRD	FCO	OHE	PLU	ELU	FIS	Oxygen burner flex cable	NG flex cable
1	0.1592	0.2830	-0.0153	0.2109	0.5361	-0.7279	0.0830
0.1592	1	-0.1089	0.7921	-0.4730	-0.3961	-0.6205	0.3835
0.2830	-0.1089	1	-0.6913	0.9271	0.8799	0.3063	-0.9087
-0.0153	0.7921	-0.6913	1	-0.9098	-0.8095	-0.6714	0.8484
0.2109	-0.4730	0.9271	-0.9098	1	0.9366	0.4891	-0.9431
0.5361	-0.3961	0.8799	-0.8095	0.9366	1	0.1741	-0.7746
-0.7279	-0.6205	0.3063	-0.6714	0.4891	0.1741	1	-0.6742
0.0830	0.3835	-0.9087	0.8484	-0.9431	-0.7746	-0.6742	1
0.0216	0.7576	-0.7234	0.9971	-0.9240	-0.8054	-0.7010	0.8838
0.5361	-0.3961	0.8799	-0.8095	0.9366	1	0.1741	-0.7746
0.4863	-0.5239	-0.3603	-0.1260	-0.1062	0.1260	-0.3290	0.3904
0.3919	0.8273	0.4595	0.3233	0.0978	0.1741	-0.4545	-0.1348
0.1802	0.9983	-0.1540	0.8202	-0.5115	-0.4201	-0.6581	0.4339
0.5571	0.5145	0.7620	-0.0825	0.4867	0.5774	-0.3015	-0.4472
-0.0560	-0.4344	0.9037	-0.8803	0.9587	0.8008	0.6727	-0.9978
0.5121	-0.0835	0.9683	-0.6422	0.8947	0.9366	0.0978	-0.7980

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (ต่อ)

	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing
BRD	0.0216	0.5361	0.4863	0.3919	0.1802	0.5571	-0.0560	0.5121
FCO	0.7576	-0.3961	-0.5239	0.8273	0.9983	0.5145	-0.4344	-0.0835
OHE	-0.7234	0.8799	-0.3603	0.4595	-0.1540	0.7620	0.9037	0.9683
PLU	0.9971	-0.8095	-0.1260	0.3233	0.8202	-0.0825	-0.8803	-0.6422
ELU	-0.9240	0.9366	-0.1062	0.0978	-0.5115	0.4867	0.9587	0.8947
FTS	-0.8054	1	0.1260	0.1741	-0.4201	0.5774	0.8008	0.9366
Oxygen burner flex cable	-0.7010	0.1741	-0.3290	-0.4545	-0.6581	-0.3015	0.6727	0.0978
NG flex cable	0.8838	-0.7746	0.3904	-0.1348	0.4339	-0.4472	-0.9978	-0.7980
Burner injector	1	-0.8054	-0.0507	0.2804	0.7894	-0.1162	-0.9113	-0.6600
Control valve	-0.8054	1	0.1260	0.1741	-0.4201	0.5774	0.8008	0.9366
Oxygen lance flex cable	-0.0507	0.1260	1	-0.5922	-0.4763	-0.4364	-0.3290	-0.1770
Coke pipe	0.2804	0.1741	-0.5922	1	0.8044	0.9045	0.0909	0.4891
Coke coupling	0.7894	-0.4201	-0.4763	0.8044	1	0.4851	-0.4826	-0.1180
Coke injector	-0.1162	0.5774	-0.4364	0.9045	0.4851	1	0.4221	0.8111
Nose unit	-0.9113	0.8008	-0.3290	0.0909	-0.4826	0.4221	1	0.8022
RCB housing	-0.6600	0.9366	-0.1770	0.4891	-0.1180	0.8111	0.8022	1

ตารางที่ 4.5 ค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสองระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละ

	BRD	FCO	OHE	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex cable	NG flex cable
BRD	0	7.4472	6.9187	13.0396	8.7060	6.1529	11.9688	13.3748
FCO	7.4472	0	19.0613	2.5767	23.5668	21.3649	19.5246	5.7686
OHE	6.9187	19.0613	0	30.2205	0.6848	0.6805	6.5227	31.9166
PLU	13.0396	2.5767	30.2205	0	33.8034	31.3930	24.0192	1.0831
ELU	8.7060	23.5668	0.6848	33.8034	0	0.3807	4.8664	34.0004
FTS	6.1529	21.3649	0.6805	31.3930	0.3807	0	6.4147	31.5024
Oxygen burner flex cable	11.9688	19.5246	6.5227	24.0192	4.8664	6.4147	0	22.8471
NG flex cable	13.3748	5.7686	31.9166	1.0831	34.0004	31.5024	22.8471	0
Burner injector	13.0703	2.8759	30.6802	0.0168	34.1438	31.6532	24.2660	0.8597
Control valve	6.1529	21.3649	0.6805	31.3930	0.3807	0	6.4147	31.5024
Oxygen lance flex cable	5.0521	12.1893	14.4594	11.6148	13.4578	11.7172	8.8220	8.1653
Coke pipe	3.4912	2.9546	8.2545	10.3002	12.3078	10.5371	14.1562	14.0837
Coke coupling	7.6860	0.0181	19.9665	2.2205	24.4649	22.1668	20.1439	5.2759
Coke injector	2.8390	8.3352	3.1448	18.0676	6.1632	4.7470	11.3376	21.2994
Nose unit	9.7125	22.8296	0.8541	32.7893	0.2145	1.0468	3.6037	33.2855
RCB housing	5.4480	18.1318	0.1733	29.1355	1.0245	0.5123	7.6972	30.6655

ตารางที่ 4.5 ค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสองระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สถิติสัมพันธ์ของตัวแปร (ต่อ)

	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing
BRD	13.0703	6.1529	5.0521	3.4912	7.6860	2.8390	9.7125	5.4480
FCO	2.8759	21.3649	12.1893	2.9546	0.0181	8.3352	22.8296	18.1318
OHE	30.6802	0.6805	14.4594	8.2545	19.9665	3.1448	0.8541	0.1733
PLU	0.0168	31.3930	11.6148	10.3002	2.2205	18.0676	32.7893	29.1355
ELU	34.1438	0.3807	13.4578	12.3078	24.4649	6.1632	0.2145	1.0245
FTS	31.6532	0	11.7172	10.5371	22.1668	4.7470	1.0468	0.5123
Oxygen burner flex cable	24.2660	6.4147	8.8220	14.1562	20.1439	11.3376	3.6037	7.6972
NG flex cable	0.8597	31.5024	8.1653	14.0837	5.2759	21.2994	33.2855	30.6655
Burner injector	0	31.6532	11.2837	10.7526	2.4935	18.5282	33.1961	29.5311
Control valve	31.6532	0	11.7172	10.5371	22.1668	4.7470	1.0468	0.5123
Oxygen lance flex cable	11.2837	11.7172	0	12.2846	12.1111	12.6418	13.8791	13.4120
Coke pipe	10.7526	10.5371	12.2846	0	3.3621	1.4939	12.1100	7.5222
Coke coupling	2.4935	22.1668	12.1111	3.3621	0	8.9635	23.7522	18.9730
Coke injector	18.5282	4.7470	12.6418	1.4939	8.9635	0	6.4178	2.5377
Nose unit	33.1961	1.0468	13.8791	12.1100	23.7522	6.4178	0	1.5255
RCB housing	29.5311	0.5123	13.4120	7.5222	18.9730	2.5377	1.5255	0

ทำการลดจำนวนกลุ่มจาก 16 กลุ่ม เหลือ 15 กลุ่ม โดยพิจารณาจากค่าผลรวมของค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.7) ดังนั้นกลุ่มที่จัดออกมา จะมี 1 กลุ่ม ที่มีสมาชิก 2 ตัว และที่เหลืออีก 14 กลุ่ม จะมีสมาชิกกลุ่มละ 1 ตัว

ตัวอย่างการคำนวณค่าผลรวมของค่าระยะห่างแบบยุคลิดกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (WCSS) ของการนำ 2 กลุ่มมารวมกัน กรณีการรวมกลุ่ม FCO กับกลุ่มอื่น แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการคำนวณค่าผลรวมของค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสอง

		กลุ่มที่							WCSS
		1	2	3	4	5	6	7	
1	FCO, BRD	OHE	PLU	ELU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	NG flex cable	27.730
2	FCO, OHE	BRD	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	NG flex cable	181.666
3	FCO, PLU	BRD	OHE	ELU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	NG flex cable	3.320
4	FCO, ELU	BRD	OHE	PLU	PLU	FTS	Oxygen burner flex	NG flex cable	277.697
5	FCO, FTS	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	Oxygen burner flex	NG flex cable	228.229
6	FCO, Oxygen burner flex cable	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	NG flex cable	190.605
7	FCO, NG flex cable	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	16.638
8	FCO, Burner injector	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	4.135
9	FCO, Control valve	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	228.229
10	FCO, Oxygen lance flex cable	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	74.290
11	FCO, Coke pipe	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	4.365
12	FCO, Coke coupling	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	0
13	FCO, Coke injector	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	34.738
14	FCO, Nose unit	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	260.595
15	FCO, RCB housing	BRD	OHE	PLU	PLU	ELU	FTS	Oxygen burner flex	164.381

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการคำนวณค่าผลรวมของค่าระยะห่างภายในกลุ่มกำลังสอง (ต่อ)

		กลุ่มที่										WCSS
		8	9	10	11	12	13	14	15			
1	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	27.730		
2	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	181.666		
3	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	3.320		
4	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	277.697		
5	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	228.229		
6	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	190.605		
7	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	16.638		
8	NG flex cable	Control valve	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	4.135		
9	NG flex cable	Burner injector	Oxygen lance	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	228.229		
10	NG flex cable	Burner injector	Control valve	Coke pipe	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	74.290		
11	NG flex cable	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Oxygen lance	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	RCB housing	4.365		
12	NG flex cable	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Oxygen lance	Coke pipe	Coke injector	Nose unit	RCB housing	0		
13	NG flex cable	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Oxygen lance	Coke pipe	Coke injector	Nose unit	RCB housing	34.738		
14	NG flex cable	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Oxygen lance	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	RCB housing	260.595		
15	NG flex cable	Burner injector	Control valve	Oxygen lance	Oxygen lance	Coke pipe	Coke coupling	Coke injector	Nose unit	164.381		

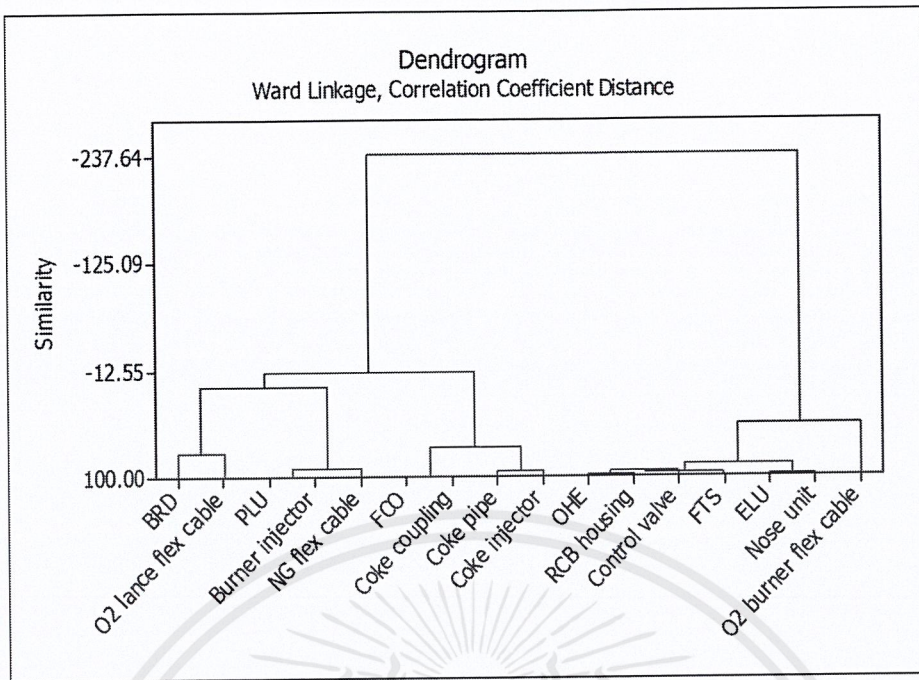
จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่า WCSS ของการรวมกลุ่ม FCO กับกลุ่มอื่น พบว่า ค่า WCSS ในรูปแบบที่ 12 มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้น จึงสามารถรวมกลุ่ม FCO กับ Coke coupling ให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ จากนั้นทำการคำนวณค่า WCSS ในกรณีที่เหลือ และพิจารณาค่าต่ำที่สุดเพื่อทำการรวมกลุ่ม ซึ่งค่าต่ำที่สุดสามารถมีได้มากกว่า 1 รูปแบบ

ทำการลดจำนวนกลุ่มจาก 15 กลุ่ม ให้เหลือ 14 กลุ่ม คำนวณค่า WCSS ของทุกกรณีและรวมกลุ่มที่มีค่า WCSS ต่ำที่สุดเข้าด้วยกัน ทำวนซ้ำจนกระทั่งข้อมูลทุกตัวรวมกันเป็นกลุ่มเดียว ขั้นตอนการรวมกลุ่มสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ขั้นตอนการรวมกลุ่ม

Step	No. of clusters	Similarity level	Distance level	Cluster joined		New cluster	No. of obs. in new cluster
1	15	99.913	0.00173	2	13	2	2
2	14	99.857	0.00285	4	9	4	2
3	13	98.415	0.03170	3	16	3	2
4	12	97.933	0.04133	5	15	5	2
5	11	95.227	0.09547	12	14	12	2
6	10	94.411	0.11179	3	10	3	3
7	9	97.205	0.05589	3	6	3	4
8	8	91.119	0.17761	4	8	4	3
9	7	88.073	0.23853	3	5	3	6
10	6	74.313	0.51374	1	11	1	2
11	5	68.213	0.63575	2	12	2	4
12	4	45.054	1.09892	3	7	3	7
13	3	5.080	1.89839	1	4	1	5
14	2	-10.260	2.20519	1	2	1	9
15	1	-237.641	6.75281	1	3	1	16

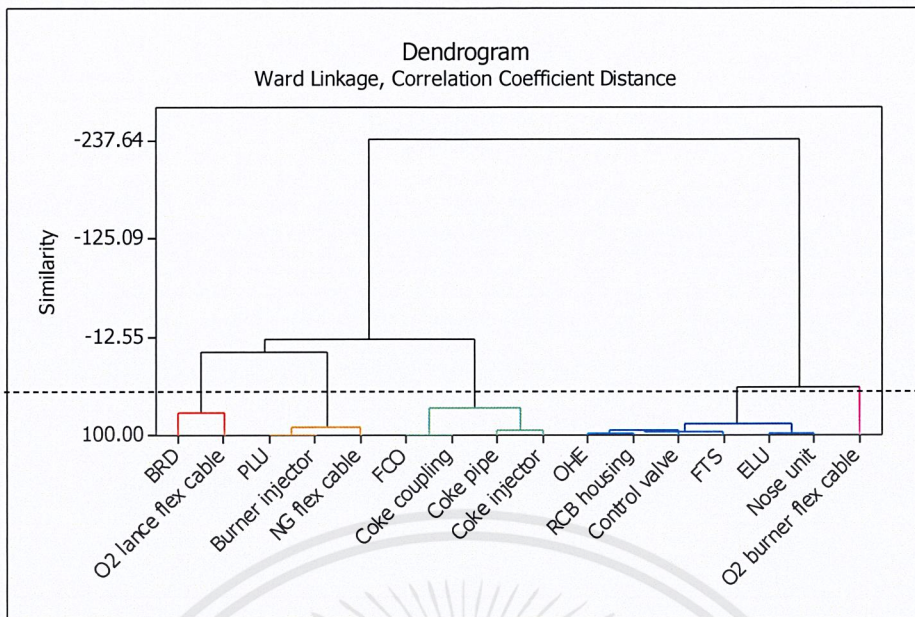
จากตารางที่ 4.7 สามารถแสดงเป็นภาพแผนภูมิต้นไม้จำลอง (Dendrogram) ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภูมิต้นไม้จำลอง

จากรูปที่ 4.2 แผนภูมิต้นไม้จำลองเป็นแผนภูมิแสดงผลสรุปของการจัดกลุ่ม โดยแกนแนวนอนเป็นความเสียหายของระบบ RCB ประกอบด้วยลักษณะความเสียหายและส่วนประกอบที่เกิดความเสียหาย ส่วนแกนแนวตั้งเป็นความคล้ายคลึงกัน (Similarity) ระหว่างแต่ละกลุ่มเมื่อถูกนำมาจัดรวมกัน

ผลของการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่มนั้น ไม่ได้ให้ค่าสถิติหรือผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อให้ตัดสินใจหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสม ผู้วิจัยจะต้องพิจารณาความเหมาะสมเอง โดยการลากเส้นสมมติตัดผ่านแผนภูมิต้นไม้จำลองที่ระดับความคล้ายคลึงกันที่ต้องการ เช่น เมื่อลากเส้นสมมติตัดผ่านแผนภูมิต้นไม้จำลองที่ระดับความคล้ายคลึงกันที่ -125.09 พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มตัวแปรได้ 2 กลุ่ม เป็นต้น



รูปที่ 4.3 การลากเส้นสมมติตัดผ่านแผนภูมิต้นไม้จำลอง

จากรูปที่ 4.3 ผู้วิจัยได้ทำการลากเส้นสมมติตัดผ่านแผนภูมิต้นไม้จำลองที่ระดับความคล้ายคลึงกันที่ 50 พบว่า สามารถแบ่งกลุ่มตัวแปรออกเป็น 5 กลุ่ม ตามสีที่ปรากฏ โดยตัวแปรที่จัดได้ในแต่ละกลุ่มสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่ม

กลุ่ม	สมาชิก
1	BRD, oxygen lance flex cable
2	PLU, NG flex cable, burner injector
3	OHE, ELU, FTS, control valve, nose unit, RCB housing
4	FCO, coke pipe, coke coupling, coke injector
5	Oxygen burner flex cable

ดังนั้น จำนวนกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่มประเภทนี้ จะถูกใช้เป็นข้อมูลเข้า (Input) สำหรับการจัดกลุ่มแบบที่เหลือ ได้แก่ การจัดกลุ่มแบบเคมีน การจัดกลุ่มแบบฟัชซีซิมีน และการจัดกลุ่มแบบ SOM

## 2. การจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-Means Clustering )

การจัดกลุ่มแบบเคมีน จะวัดค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลแต่ละตัวกับจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของแต่ละกลุ่ม โดยข้อมูลจะถูกจัดเข้ากลุ่มที่มีค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่น้อยที่สุด

สำหรับการจัดกลุ่มประเภทนี้จะต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการจะแบ่งเสียก่อน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้จำนวนกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่ม คือ 5 กลุ่ม มาเป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ให้กับการจัดกลุ่มประเภทนี้

การจัดกลุ่มแบบเคมีน เมื่อต้องการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่ม มีขั้นตอนดังนี้

1. สุ่มจุดศูนย์กลางมา 5 จุด เพื่อใช้เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม โดยผู้วิจัยจัดให้กลุ่มที่ 1 คือจุดศูนย์กลางระหว่าง BRD และ PLU กลุ่มที่ 2 คือจุดศูนย์กลางระหว่าง OHE และ ELU กลุ่มที่ 3 คือจุดศูนย์กลางระหว่าง FCO และ FTS กลุ่มที่ 4 คือจุดศูนย์กลางระหว่าง Coke pipe และ Coke coupling และกลุ่มที่ 5 คือจุดศูนย์กลางระหว่าง Nose unit และ RCB housing จุดศูนย์กลางเริ่มต้นของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 จุดศูนย์กลางเริ่มต้นของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

กลุ่ม	จุดศูนย์กลาง			
	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_4$
1	$(18+10)/2 = 14$	$(20+8)/2 = 14$	$(22+2)/2 = 12$	$(8+5)/2 = 6.5$
2	$(5+1)/2 = 3$	$(0+0)/2 = 0$	$(11+8)/2 = 9.5$	$(4+3)/2 = 3.5$
3	$(7+0)/2 = 3.5$	$(1+0)/2 = 0.5$	$(0+2)/2 = 1$	$(0+0)/2 = 0$
4	$(10+5)/2 = 7.5$	$(0+1)/2 = 0.5$	$(5+0)/2 = 2.5$	$(0+0)/2 = 0$
5	$(3+3)/2 = 3$	$(0+0)/2 = 0$	$(11+8)/2 = 9.5$	$(7+1)/2 = 4$

2. คำนวณค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลทุกตัวกับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มด้วยการวัดระยะห่างแบบยุคลิด ดังสมการที่ (2.6) และทำการจัดข้อมูลเข้ากลุ่มโดยพิจารณาจากค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่น้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม

คุณลักษณะความเสียหาย และส่วนประกอบที่เสียหาย	ค่าระยะห่าง					กลุ่ม
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	กลุ่ม 5	
BRD	<b>12.42</b>	28.31	33.10	30.57	28.24	1
PLU	12.42	13.10	11.16	<b>9.37</b>	13.05	4
OHE	16.86	2.55	10.88	9.73	<b>2.5</b>	5
ELU	19.83	<b>2.55</b>	8.03	9.04	2.69	2
FCO	20.11	10.93	3.67	<b>2.60</b>	11.10	4
FTS	23.11	8.80	<b>3.67</b>	7.53	9.01	3
Burner injector	11.97	15.98	13.69	<b>11.73</b>	15.94	4
NG flex cable	20.96	10.32	<b>3.24</b>	6.61	10.45	3
Oxygen burner flex cable	23.09	9.14	<b>4.06</b>	7.92	9.23	3
Control valve	23.11	8.80	<b>3.67</b>	7.53	9.01	3
Oxygen lance flex cable	17.38	9.25	<b>7.84</b>	9.53	9.34	3
Coke pipe	17.41	9.03	7.65	<b>3.57</b>	9.23	4
Coke coupling	20.89	10.37	<b>1.87</b>	3.57	10.55	3
Coke injector	22.98	9.41	<b>2.55</b>	6.69	9.60	3
Nose unit	17.84	3.81	12.23	11.91	<b>3.35</b>	5
RCB housing	19.06	<b>2.92</b>	7.11	7.19	3.35	2

หมายเหตุ ตัวเลขหนา หมายถึง ค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลและจุดศูนย์กลางที่น้อยที่สุด

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าค่าระยะห่างระหว่าง BRD กับจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่ 1 มีค่าน้อยกว่าค่าระยะห่างระหว่าง BRD กับจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่เหลือ ดังนั้น BRD จึงควรจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ในทำนองเดียวกัน ค่าระยะห่างระหว่าง PLU กับจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่ 4 มีค่าน้อยกว่าค่าระยะห่างระหว่าง PLU กับจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่เหลือ ดังนั้น PLU จึงควรจัดอยู่ในกลุ่มที่ 4 เป็นต้น

3. ทำการปรับจุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่มใหม่ โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลภายในกลุ่ม ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 จุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม เมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง

กลุ่ม	จุดศูนย์กลาง			
	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_4$
1	18	20	22	8
2	2	0	8	2
3	1.29	1.57	1.43	0.71
4	9.75	4.75	2	2.5
5	4	0	11	5.5

4. คำนวณค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลทุกตัวกับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มที่ปรับใหม่ วนซ้ำจนกระทั่งจุดศูนย์กลางและข้อมูลในกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลง ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 จุดศูนย์กลางของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม เมื่อข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลง

กลุ่ม	จุดศูนย์กลาง			
	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_4$
1	18	20	22	8
2	11	9	1.5	5
3	4	0	11	5.5
4	3.57	0.71	1.43	0.41
5	1.25	1.75	5.25	2

ดังนั้น ตัวแปรที่จัดได้ในแต่ละกลุ่มโดยการจัดกลุ่มแบบเคมิน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการจัดกลุ่มแบบเคมิน

กลุ่ม	สมาชิก
1	BRD
2	PLU, burner injector
3	OHE, nose unit
4	FCO, FTS, NG flex cable, control valve, coke pipe, coke coupling, coke injector
5	ELU, oxygen burner flex cable, oxygen lance flex cable, RCB housing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การจัดกลุ่มแบบฟuzzyซีมีน (Fuzzy C-Means Clustering)

การจัดกลุ่มแบบฟuzzyซีมีน จะวัดระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลในแต่ละกลุ่มผ่านฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งข้อมูลมีโอกาสถูกจัดเข้ากลุ่มได้มากกว่า 1 กลุ่ม โดยการจัดข้อมูลเข้ากลุ่มจะพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกกับตัวแทนของกลุ่ม หากข้อมูลมีค่าความเป็นสมาชิกกับตัวแทนของกลุ่มใดมากที่สุด ข้อมูลจะถูกจัดเข้ากลุ่มนั้นเป็นกลุ่มหลัก และจะถือเป็นสมาชิกเสริมกับตัวแทนของกลุ่มที่เหลือ

สำหรับการจัดกลุ่มประเภทนี้จะต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการจะแบ่งเช่นเดียวกับการจัดกลุ่มแบบเคมีน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้จำนวนกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น ประเภทการเกาะกลุ่ม คือ 5 กลุ่ม มาเป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ให้กับการจัดกลุ่มประเภทนี้ จากนั้นกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลและจำนวนรอบในการวนซ้ำ โดยผู้วิจัยได้กำหนดระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลเท่ากับ 5 และจำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 1,000 รอบ

การจัดกลุ่มแบบฟuzzyซีมีน เมื่อต้องการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่ม มีขั้นตอนดังนี้

1. สุ่มตัวแทนของข้อมูลมา 5 จุด เพื่อใช้เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่ม ดังแสดงใน

ตารางที่ 4.14 ตัวแทนเริ่มต้นของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

กลุ่ม	ตัวแทน			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
1	10	5.5	2	1.3
2	1.7	2.5	5	4
3	1	8	1.25	3
4	0	6.3	10	2
5	12	1	7.2	0

2. คำนวณค่าความเป็นสมาชิกระหว่างข้อมูลทุกตัวกับตัวแทนของแต่ละกลุ่ม โดยคำนวณจากสมการที่ (2.8) ตัวอย่างเช่น ค่าความเป็นสมาชิกระหว่าง BRD กับตัวแทนของกลุ่มที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.203 โดยคำนวณได้จาก

$$U_{1, BRD} = \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{719.14}}{\sqrt{719.14}}\right)^{0.5} + \left(\frac{\sqrt{719.14}}{\sqrt{876.94}}\right)^{0.5} + \left(\frac{\sqrt{719.14}}{\sqrt{888.56}}\right)^{0.5} + \left(\frac{\sqrt{719.14}}{\sqrt{691.69}}\right)^{0.5} + \left(\frac{\sqrt{719.14}}{\sqrt{680.04}}\right)^{0.5}} = 0.203$$

จากนั้นทำการจัดข้อมูลเข้ากลุ่มโดยพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกระหว่างข้อมูลกับตัวแทนของกลุ่มที่มากที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าความเป็นสมาชิกระหว่างข้อมูลกับตัวแทนของแต่ละกลุ่ม

คุณลักษณะความเสียหาย และส่วนประกอบที่เสียหาย	ค่าความเป็นสมาชิก					กลุ่ม
	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3	กลุ่ม 4	กลุ่ม 5	
BRD	0.203	0.193	0.193	0.205	<b>0.206</b>	5
PLU	<b>0.279</b>	0.182	0.194	0.162	0.184	1
OHE	0.179	<b>0.230</b>	0.170	0.214	0.207	2
ELU	0.161	<b>0.279</b>	0.175	0.217	0.167	2
FCO	<b>0.244</b>	0.204	0.190	0.162	0.200	1
FTS	0.180	<b>0.253</b>	0.208	0.190	0.169	2
Burner injector	<b>0.265</b>	0.181	0.196	0.169	0.191	1
NG flex cable	0.193	0.234	<b>0.239</b>	0.173	0.160	3
Oxygen burner flex cable	0.179	<b>0.261</b>	0.213	0.183	0.164	2
Control valve	0.180	<b>0.253</b>	0.208	0.190	0.169	2
Oxygen lance flex cable	0.162	0.220	<b>0.282</b>	0.200	0.137	3
Coke pipe	0.215	0.176	0.151	0.151	<b>0.307</b>	5
Coke coupling	<b>0.223</b>	0.219	0.202	0.168	0.188	1
Coke injector	0.188	<b>0.246</b>	0.210	0.183	0.172	2
Nose unit	0.174	<b>0.241</b>	0.177	0.221	0.187	2
RCB housing	0.174	<b>0.253</b>	0.173	0.211	0.189	2

หมายเหตุ ตัวเลขหนา หมายถึง ค่าความเป็นสมาชิกระหว่างข้อมูลและตัวแทนกลุ่มที่มากที่สุด

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าค่าความเป็นสมาชิกระหว่าง BRD กับตัวแทนของกลุ่มที่ 5 มีค่ามากกว่าค่าความเป็นสมาชิกระหว่าง BRD กับตัวแทนของกลุ่มที่เหลือ ดังนั้น BRD จึงควรจัดอยู่ในกลุ่มที่ 5 ในทำนองเดียวกัน ค่าความเป็นสมาชิกระหว่าง PLU กับตัวแทนของกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าความเป็นสมาชิกระหว่าง PLU กับตัวแทนของกลุ่มที่เหลือ ดังนั้น PLU จึงควรจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 เป็นต้น

3. ปรับค่าตัวแทนของข้อมูลในแต่ละกลุ่มใหม่ โดยคำนวณจากสมการที่ (2.9) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตัวแทนของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม เมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง

กลุ่ม	ตัวแทน			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
1	7.861	5.209	3.156	2.989
2	2.582	1.372	4.745	2.008
3	3.300	4.092	3.591	1.997
4	4.275	2.973	6.998	3.029
5	8.001	2.218	5.720	1.636

4. คำนวณค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลทุกตัวกับตัวแทนของแต่ละกลุ่มที่ปรับใหม่ จนครบ 1,000 รอบตามที่กำหนด ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ตัวแทนของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม เมื่อครบจำนวนรอบในการวนซ้ำ 1000 รอบ

กลุ่ม	ตัวแทน			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
1	0.034	0.019	1.993	0.025
2	4.990	0.034	10.980	4.013
3	4.280	2.683	7.659	2.770
4	5.052	1.063	0.099	0.049
5	10.030	8.035	2.018	4.994

ดังนั้น ตัวแปรที่จัดได้ในแต่ละกลุ่มโดยการจัดกลุ่มแบบฟัชซีซิมิน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ผลการจัดกลุ่มแบบฟuzzyซึมีน

กลุ่ม	สมาชิกหลัก	สมาชิกเสริม
1	FTS, oxygen burner flex cable, control valve, coke injector	NG flex cable (0.250), oxygen lance flex cable (0.211), ELU (0.201), RCB housing (0.191), BRD (0.183), FCO (0.181), coke pipe (0.181)
2	OHE, nose unit	ELU (0.232), RCB housing (0.230), BRD (0.208), coke pipe (0.197)
3	ELU, oxygen lance flex cable, RCB housing	Nose unit (0.228), coke pipe (0.215), BRD (0.207)
4	FCO, NG flex cable, coke pipe, coke coupling	Coke injector (0.215), oxygen burner flex cable (0.210), oxygen lance flex cable (0.200), BRD (0.187)
5	BRD, PLU, burner injector	Coke pipe (0.186), oxygen lance flex cable (0.186)

หมายเหตุ สมาชิกในกลุ่มขึ้นอยู่กับค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 5 และจำนวนรอบในการวนซ้ำเท่ากับ 1,000 รอบ

#### 4. การจัดกลุ่มแบบ SOM (Self-Organizing Maps)

การจัดกลุ่มแบบ SOM เป็นการหาค่าน้ำหนักของข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดตามจำนวนกลุ่มที่ต้องการ โดยการทำซ้ำ ในที่นี้กำหนดให้จำนวนกลุ่มที่ต้องการเท่ากับ 5 กลุ่ม

การจัดกลุ่มแบบ SOM เมื่อต้องการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่ม มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดให้ค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.74 และทำการลดค่าอัตราการเรียนรู้ลงในทุกๆ รอบ รอบละ  $\frac{1}{2}$  ของค่าอัตราการเรียนรู้เดิม

2. สุ่มค่าน้ำหนักเริ่มต้น (W) ให้กับข้อมูล ได้เมทริกซ์ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} & w_{15} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} & w_{25} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} & w_{35} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} & w_{45} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 & 35 & 27 & 12 & 16 \\ 30 & 42 & 10 & 7 & 11 \\ 25 & 3 & 16 & 31 & 25 \\ 9 & 22 & 34 & 12 & 23 \end{bmatrix}$$

ค่าน้ำหนักที่สุ่มมาได้ สามารถเขียนในรูปเวกเตอร์ W1, W2, W3, W4 และ W5 ได้ดังนี้

$$W1 = (w11, w21, w31, w41) = (10, 30, 25, 9)$$

$$W2 = (w12, w22, w32, w42) = (35, 42, 3, 22)$$

$$W3 = (w13, w23, w33, w43) = (27, 10, 16, 34)$$

$$W4 = (w14, w24, w34, w44) = (12, 7, 31, 12)$$

$$W5 = (w15, w25, w35, w45) = (16, 11, 25, 23)$$

3. คำนวณค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับค่าน้ำหนักของข้อมูลที่สุ่ม โดยคำนวณจากสมการที่ (2.6) ตัวอย่างเช่น ค่าระยะห่างระหว่าง BRD กับค่าน้ำหนัก W1, W2, W3, W4 และ W5 คำนวณได้ค่าดังต่อไปนี้

$$D(W1, BRD) = \sqrt{(10 - 18)^2 + (30 - 22)^2 + (25 - 20)^2 + (9 - 8)^2} = 12.41$$

$$D(W2, BRD) = \sqrt{(35 - 18)^2 + (42 - 22)^2 + (3 - 20)^2 + (22 - 8)^2} = 34.26$$

$$D(W3, BRD) = \sqrt{(27 - 18)^2 + (10 - 22)^2 + (16 - 20)^2 + (34 - 8)^2} = 30.28$$

$$D(W4, BRD) = \sqrt{(12 - 18)^2 + (7 - 22)^2 + (31 - 20)^2 + (12 - 8)^2} = 19.95$$

$$D(W5, BRD) = \sqrt{(16 - 18)^2 + (11 - 22)^2 + (25 - 20)^2 + (23 - 8)^2} = 19.36$$

เมื่อได้ค่าระยะห่างระหว่าง BRD และค่าน้ำหนักที่สุ่มแล้ว ให้เลือกค่าระยะห่างที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อทำการปรับค่าใหม่ตามสมการที่ (2.10) ในที่นี้ค่าระยะห่างระหว่าง BRD และ W1 มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้น ค่าน้ำหนักที่ปรับใหม่คำนวณค่าได้ดังต่อไปนี้

$$w11 = 10 + 0.74(18 - 10) = 15.92$$

$$w21 = 30 + 0.74(22 - 30) = 24.08$$

$$w31 = 25 + 0.74(20 - 35) = 13.9$$

$$w41 = 9 + 0.74(8 - 9) = 8.26$$

สามารถเขียนค่าน้ำหนักที่ปรับใหม่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} w11 & w12 & w13 & w14 & w15 \\ w21 & w22 & w23 & w24 & w25 \\ w31 & w32 & w33 & w34 & w35 \\ w41 & w42 & w43 & w44 & w45 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15.92 & 35 & 27 & 12 & 16 \\ 24.08 & 42 & 10 & 7 & 11 \\ 13.9 & 3 & 16 & 31 & 25 \\ 8.26 & 22 & 34 & 12 & 23 \end{bmatrix}$$

4. คำนวณค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลที่เหลือกับค่าน้ำหนัก W1, W2, W3, W4 และ W5 ด้วยวิธีเดียวกันกับ BRD โดยทำการลดค่าอัตราการเรียนรู้ลงในทุกๆ รอบ รอบละ ½ ของค่าอัตราการเรียนรู้เดิม ตัวอย่างเช่น ค่าระยะห่างระหว่าง PLU กับค่าน้ำหนัก W1, W2, W3, W4 และ W5 คำนวณได้ค่าดังต่อไปนี้

$$D(W1, PLU) = \sqrt{(15.92 - 10)^2 + (24.08 - 8)^2 + (13.9 - 2)^2 + (8.26 - 5)^2} = 21.12$$

$$D(W2, PLU) = \sqrt{(35 - 10)^2 + (42 - 8)^2 + (3 - 2)^2 + (22 - 5)^2} = 45.51$$

$$D(W3, PLU) = \sqrt{(27 - 10)^2 + (10 - 8)^2 + (16 - 2)^2 + (34 - 5)^2} = 36.47$$

$$D(W4, PLU) = \sqrt{(12 - 10)^2 + (7 - 8)^2 + (31 - 2)^2 + (12 - 5)^2} = 29.92$$

$$D(W5, PLU) = \sqrt{(16 - 10)^2 + (11 - 8)^2 + (25 - 2)^2 + (23 - 5)^2} = 29.97$$

เมื่อได้ค่าระยะห่างระหว่าง BRD และค่าน้ำหนักที่สุ่มแล้ว ให้เลือกค่าระยะห่างที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อทำการปรับค่าใหม่ตามสมการที่ (2.10) ในที่นี้ค่าระยะห่างระหว่าง PLU และ W1 มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้น ค่าน้ำหนักที่ปรับใหม่คำนวณค่าได้ดังต่อไปนี้

$$w11 = 15.92 + 0.37(10 - 15.92) = 13.73$$

$$w21 = 24.08 + 0.37(8 - 24.08) = 18.13$$

$$w31 = 13.9 + 0.37(2 - 13.9) = 9.50$$

$$w41 = 8.26 + 0.37(5 - 8.26) = 6.83$$

สามารถเขียนค่าน้ำหนักที่ปรับใหม่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} w11 & w12 & w13 & w14 & w15 \\ w21 & w22 & w23 & w24 & w25 \\ w31 & w32 & w33 & w34 & w35 \\ w41 & w42 & w43 & w44 & w45 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 13.73 & 35 & 27 & 12 & 16 \\ 18.13 & 42 & 10 & 7 & 11 \\ 9.50 & 3 & 16 & 31 & 25 \\ 6.83 & 22 & 34 & 12 & 23 \end{bmatrix}$$

5. คำนวณซ้ำจนกระทั่งค่าน้ำหนักไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นหาค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับค่าน้ำหนัก โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.6) และทำการจัดข้อมูลเข้ากลุ่มโดยพิจารณาจากค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลกับค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุด ผลการจัดกลุ่มแบบ SOM สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการจัดกลุ่มแบบ SOM

กลุ่ม	สมาชิก
1	BRD
2	PLU, burner injector
3	OHE, ELU, nose unit
4	FCO, coke pipe, coke coupling
5	FTS, oxygen burner flex cable, NG flex cable, control valve, oxygen lance flex cable, coke injector

หมายเหตุ สมาชิกในกลุ่มขึ้นอยู่กับค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) เท่ากับ 0.74

## 5. การเรียนรู้แบบกลุ่ม (Ensemble Learning)

การเรียนรู้แบบกลุ่ม คือการทำนายผลสุดท้ายของการวิเคราะห์การจัดกลุ่มจากตัวแบบที่แตกต่างกันด้วยวิธีการต่างๆ ผู้วิจัยจะนำผลการจัดกลุ่มที่ได้จากการสร้างตัวแบบทั้ง 4 แบบ มารวมกันด้วยวิธี Majority Vote กล่าวคือ ผู้วิจัยจะพิจารณาผลการจัดกลุ่มครั้งสุดท้ายจากผลที่มีการซ้ำกันมากที่สุด ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการรวมกลุ่มด้วยวิธี Majority Vote

ความเสียหายของระบบ	ผลการจัดกลุ่ม				ผลสุดท้าย
	Refining Combined Burner (RCB)	HAC	K-means	Fuzzy c-means	
BRD		1	1	5	1
PLU		4	4	5	4
OHE		3	3	2	3
ELU		3	5	3	3
FCO		2	2	4	5
FTS		3	2	1	4
Burner injector		4	4	1	2
NG flex cable		4	4	4	4
Oxygen burner flex cable		5	5	5	4
Control valve		3	2	1	4
Oxygen lance flex cable		1	5	3	4
Coke pipe		2	2	4	5
Coke coupling		2	2	4	5
Coke injector		2	2	1	4
Nose unit		3	3	2	3
RCB housing		3	5	3	3

หมายเหตุ เครื่องหมายดอกจัน (\*) หมายถึง ผลสุดท้ายที่ต้องมีการพิจารณาองค์ประกอบอื่นร่วมด้วย เนื่องจากตัวแบบทั้ง 4 แบบ ไม่มีผลการจัดกลุ่มที่ซ้ำกัน

จากตารางที่ 4.20 พบว่า FTS, control valve และ Oxygen lance flex cable มีผลการจัดกลุ่มจากตัวแบบทั้ง 4 แบบ ที่ไม่ซ้ำกัน ซึ่งทำให้ไม่สามารถทำนายผลสุดท้ายด้วยวิธี Majority Vote ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจะพิจารณาผลสุดท้ายด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรนั้นๆ มีความสัมพันธ์กับกลุ่มตัวแปรไหนมากที่สุด ตัวอย่างเช่น Oxygen lance flex cable มีผลการจัดกลุ่มคือ 1, 3, 4 และ 5 หมายความว่า Oxygen lance flex cable มีโอกาสที่จะอยู่ในกลุ่มดังกล่าวเท่าๆ กัน เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์กับกลุ่มตัวแปร พบว่า Oxygen lance flex cable มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยกับกลุ่มที่ 1, 3 และ 4 เท่ากับ 0.4863, -0.2431 และ 0.0712 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่า Oxygen lance flex cable มีความสัมพันธ์กันน้อยกับกลุ่มตัวแปรที่ 1, 3 และ 4 จึงสรุปได้ว่า Oxygen lance flex cable ควรถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มที่ 5 เป็นต้น

ตัวแปรที่จัดได้ในแต่ละกลุ่ม สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลการรวมกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้แบบกลุ่ม

กลุ่ม	สมาชิก
1	BRD
2	FCO, FTS, control valve, coke pipe, coke coupling, coke injector
3	OHE, ELU, nose unit, RCB housing
4	PLU, burner injector, NG flex cable
5	Oxygen burner flex cable, oxygen lance flex cable

ผลการรวมกลุ่มจะถูกนำไปเปรียบเทียบความคล้ายและความแตกต่างกันกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในหัวข้อที่ 4.3

#### 4.3 การเปรียบเทียบความคล้ายและความแตกต่างกันของวิธีการทางสถิติ (Similarity and Dissimilarity in the Statistical Method)

ในหัวข้อนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบความคล้ายและความแตกต่างของวิธีการทางสถิติที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบ และการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม ผู้วิจัยจะพิจารณาความคล้ายและความแตกต่างของวิธีการทางสถิติ โดยการตรวจสอบว่าตัวแปรภายในกลุ่มที่ได้จากตารางที่ 4.21 นั้น อยู่ในองค์ประกอบเดียวกันหรือไม่ ตัวอย่างเช่น กลุ่มที่ 3 มีสมาชิกประกอบด้วย OHE, ELU, Nose Unit และ RCB Housing เมื่อตรวจสอบองค์ประกอบและค่าน้ำหนักจากตารางที่ 4.3 พบว่า OHE, ELU, Nose Unit และ RCB Housing ถูกจัดอยู่ในองค์ประกอบที่ 1 และมีค่าน้ำหนักขององค์ประกอบเท่ากับ 0.925, 1.000, 0.959 และ 0.892 ตามลำดับ ดังนั้น ตัวแปรทั้ง 4 จึงมีความคล้ายกัน ในขณะที่กลุ่มที่ 2 มีสมาชิกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วย FCO, FTS, Control Valve, Coke Pipe, Coke Coupling และ Coke Injector เมื่อตรวจสอบองค์ประกอบและค่าน้ำหนักจากตารางที่ 4.3 พบว่า FCO, Coke Pipe, Coke Coupling และ Coke Injector ถูกจัดอยู่ในองค์ประกอบที่ 2 และมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.847, 0.980, 0.835 และ 0.877 ตามลำดับ ส่วน FTS และ Control Valve ถูกจัดให้อยู่ในองค์ประกอบที่ 1 และมีค่าน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.936 และ 0.936 ตามลำดับ ดังนั้น กลุ่มตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม จึงมีความแตกต่างกัน เป็นต้น

ผลการเปรียบเทียบความคล้ายและความแตกต่างกันของวิธีการทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ความคล้ายและความแตกต่างของการวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม

กลุ่ม	ความคล้าย	ความแตกต่าง
1	BRD	
2	FCO, coke pipe, coke coupling, coke injector	FTS, control valve
3	OHE, ELU, nose unit, RCB housing	
4	PLU, burner injector, NG flex cable	
5	Oxygen burner flex cable, oxygen lance flex cable	

จะเห็นได้ว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์การจัดกลุ่มจะไม่ได้คำนึงถึงกระบวนการทำงานของระบบ RCB ดังนั้น ในหัวข้อนี้จึงเป็นเพียงการเปรียบเทียบความคล้ายและความแตกต่างกันในเชิงของความสัมพันธ์ทางสถิติเท่านั้น ซึ่งตารางที่ 4.22 จะถูกเป็นตารางอ้างอิงสำหรับการวาดแผนผังเชิงสาเหตุในหัวข้อที่ 4.4

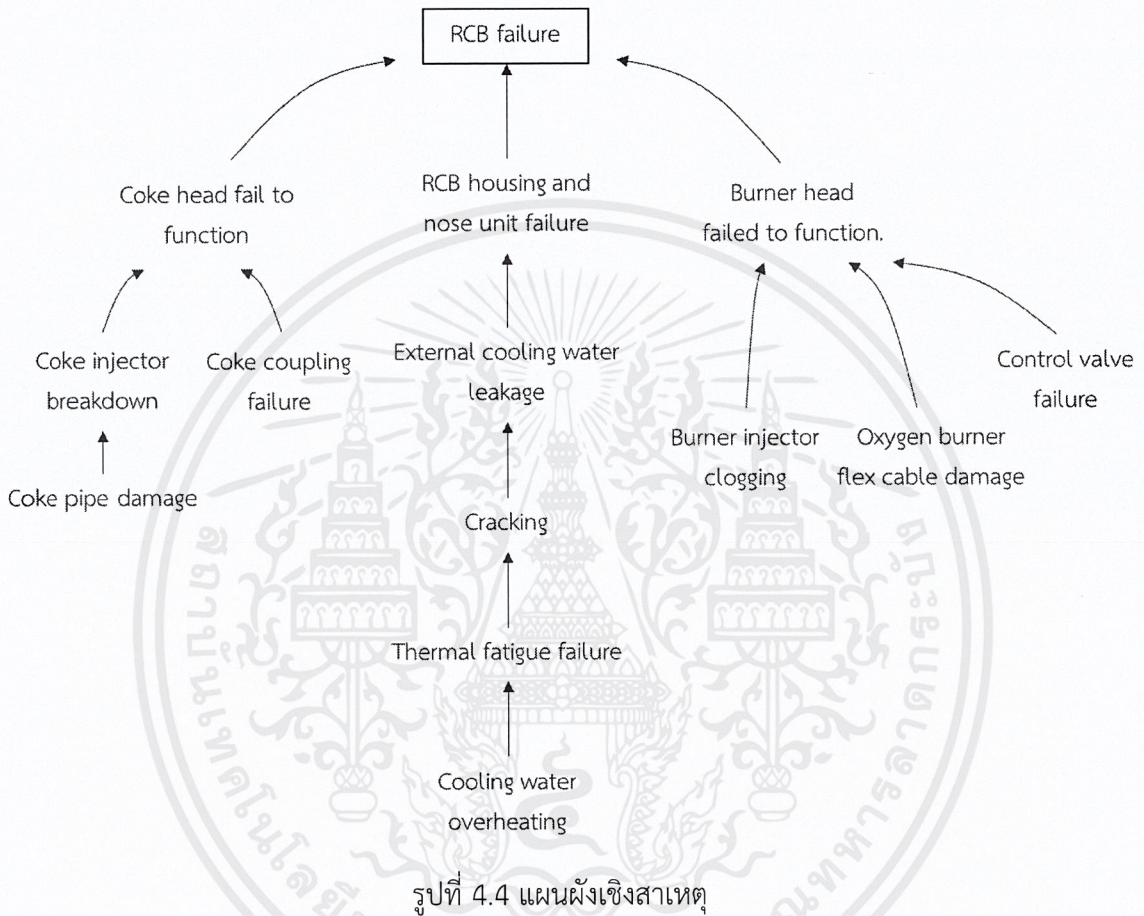
#### 4.4 การวาดแผนผังเชิงสาเหตุ (Causal Mapping)

ในหัวข้อนี้ จะเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุฐานรากความเสียหายของระบบ RCB โดยการสร้างแผนผังเชิงสาเหตุ เพื่อแสดงความเป็นเหตุและผลของความเสียหายที่เชื่อมโยงกันออกมาเป็นรูปภาพ โดยจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ทางสถิติของข้อมูลและการทำงานของระบบ RCB

จากตารางที่ 4.22 พบว่า ความสัมพันธ์ของความเสียหายของระบบ RCB เชื่อมโยงกันกับระบบย่อย 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ Coke Head (กลุ่มที่ 2), ระบบ Cooling (กลุ่มที่ 3) และระบบ Burner Head (กลุ่มที่ 4) ดังนั้น แผนผังเชิงสาเหตุจึงมีเส้นหลักเพียง 3 เส้น ที่จะถูกเชื่อมโยงเข้ากับความเสียหายของระบบ RCB โดยมีข้อจำกัดในการสร้างแผนผังเชิงสาเหตุคือ ตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันแต่มีความแตกต่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันในทางสถิติ จะไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือไม่สามารถอยู่ภายในเส้นเดียวกันได้ เช่น เส้นใดที่มีตัวแปร FCO, Coke Pipe, Coke Coupling และ Coke Injector จะต้องไม่มีตัวแปร FTS และ Control Valve อยู่ร่วมด้วย เป็นต้น

แผนผังเชิงสาเหตุ แสดงดังรูปที่ 4.4



ดังนั้น สาเหตุความเสียหายของระบบ RCB ที่ระบุได้จากการสร้างแผนผังเชิงสาเหตุมี 6 สาเหตุ ดังนี้

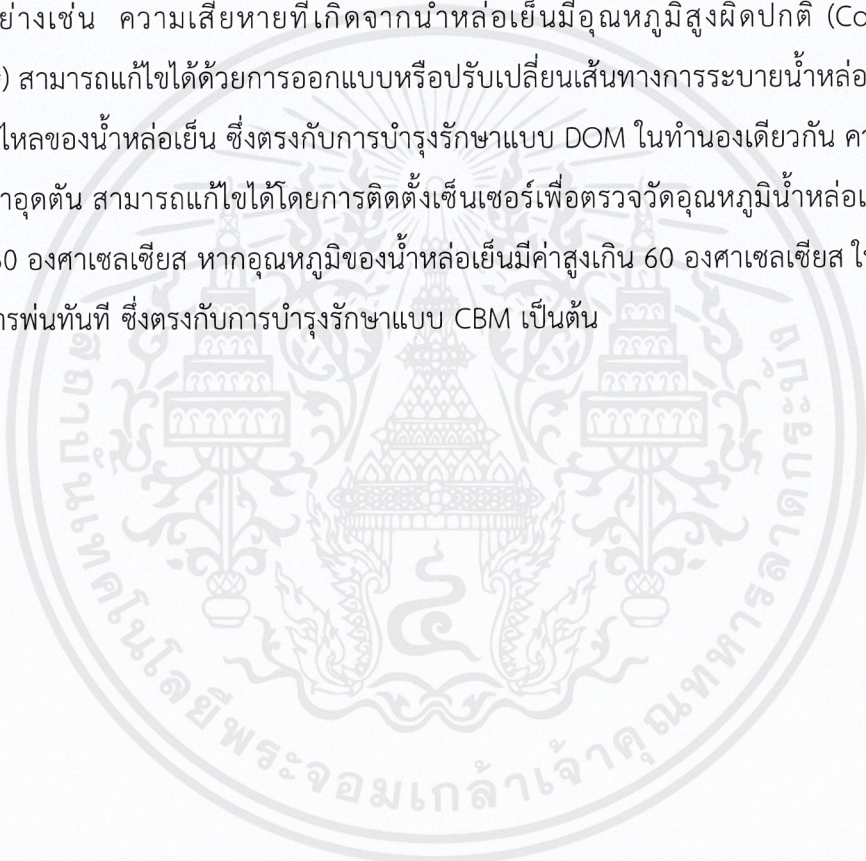
1. ท่อเติมถ่านโค้กเสียหาย (Coke Pipe Damage)
2. ประกับเพลลาเสียหาย (Coke Coupling Failure)
3. น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงผิดปกติ (Cooling Water Overheating)
4. หัวเผาเกิดการอุดตัน (Burner Injector Clogging)
5. สายเติมแก๊สออกซิเจนบริสุทธ์สำหรับกระบวนการเผาเสียหาย (Oxygen Burner Flex Cable Damage)
6. วาล์วควบคุมใช้งานไม่ได้ (Control Valve Failure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การเลือกประเภทของการบำรุงรักษา (Maintenance Selection Strategy)

ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะเลือกประเภทของการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับสาเหตุฐานรากที่ระบุได้จากการวางแผนผังเชิงสาเหตุตามคำแนะนำของวิศวกรซ่อมบำรุง โดยพิจารณาจากประเภทของการบำรุงรักษา 4 ประเภท ได้แก่ การบำรุงรักษาหลังเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance (BM)) การบำรุงรักษาเชิงรุก (Design-Out Maintenance (DOM)) การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-Based Maintenance (CBM)) และการบำรุงรักษาตามระยะเวลา (Time-Based Maintenance (TBM)) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.23

ตัวอย่างเช่น ความเสียหายที่เกิดจากน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงผิดปกติ (Cooling Water Overheating) สามารถแก้ไขได้ด้วยการออกแบบหรือปรับเปลี่ยนเส้นทางการระบายน้ำหล่อเย็นใหม่ เพื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ซึ่งตรงกับการบำรุงรักษาแบบ DOM ในทำนองเดียวกัน ความเสียหายที่เกิดจากหัวเผาจุดตัน สามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของหัวฉีดไม่ให้สูงเกิน 60 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีค่าสูงเกิน 60 องศาเซลเซียส ให้ผู้ปฏิบัติงานยุติกระบวนการพ่นทันที ซึ่งตรงกับการบำรุงรักษาแบบ CBM เป็นต้น



ตารางที่ 4.23 สรุปการเลือกประเภทของการบำรุงรักษาสำหรับสาเหตุฐานรากที่ระบุได้

ประเภทของการบำรุงรักษาที่ถูกลเลือก	ประเภทของการบำรุงรักษา				สาเหตุความเสียหาย
	BM	DOM	CBM	TBM	
BM, DOM, CBM และ TBM	✓	✓	✓	✓	1. Coke pipe damage
BM, DOM, CBM และ TBM	✓	✓	✓	✓	2. Coke coupling failure
BM และ TBM	✓	✗	✗	✓	3. Cooling water overheating
BM และ TBM	✓	✗	✗	✓	4. Burner injector clogging
BM, DOM, CBM และ TBM	✓	✓	✓	✓	5. Control valve failure
BM, DOM, CBM และ TBM	✓	✓	✓	✓	6. Oxygen burner flex cable damage

หมายเหตุ BM คือการบำรุงรักษาหลังเหตุขัดข้อง, DOM คือการบำรุงรักษาเชิงรุก, CBM คือการบำรุงรักษาตามสภาพ และ TBM คือการบำรุงรักษาตามระยะเวลา

สาเหตุฐานรากทั้ง 6 สาเหตุที่ระบุได้จากการประยุกต์ใช้การทำเหมืองข้อมูลในครั้งนี้ จะถูกนำไปหามาตรการหรือวิธีการป้องกันโดยการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง (Risk-Based Maintenance (RBM)) ซึ่งดำเนินการโดยกลุ่ม MEG ของส่วนซ่อมบำรุง โดยจะทำการเลือกประเภทของการบำรุงรักษาที่สามารถลดหรือควบคุมความเสี่ยงของสาเหตุฐานรากให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความเสียหายนั้น ผลการจัดทำแผน RBM แสดงดังภาคผนวก ข

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

โครงการสหกิจศึกษา เรื่องการวิเคราะห์สาเหตุรากฐานความเสียหายของเตาเผาโดยการทำเหมืองข้อมูล เพื่อสนับสนุนการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง กรณีศึกษา บริษัท เหล็กสยาม (2001) จำกัด มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการคัดเลือกปัญหาสำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง โดยใช้ประโยชน์จากข้อมูลการบำรุงรักษาในฐานข้อมูล เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ของความเสียหายที่ส่งผลให้อุปกรณ์หรือเครื่องจักรเกิดการขัดข้อง โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของโครงการสหกิจศึกษา และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงภายใต้ความรับผิดชอบของ MEG จะคำนึงถึงปัจจัย 3 อย่าง ได้แก่ ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ความพร้อมใช้งาน (Availability) และความสามารถในการบำรุงรักษา (Maintainability) ทำให้การคัดเลือกปัญหาที่ใช้สำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงในปัจจุบันนั้นพิจารณาจากค่าระดับความเสี่ยงของระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (Mean Time Between Failures (MTBF)) และระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เสียหายจนใช้งานได้แต่ละครั้ง (Mean Time To Repair (MTTR)) ซึ่งจากดัชนีชี้วัดผลงานในตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ว่าวิธีการจะสามารถใช้งานได้ แต่ก็ไม่สามารถลดการเกิดความเสียหายซ้ำของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยวิธีการทางสถิติต่างๆ มาคัดเลือกปัญหา เพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพของการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง

งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกปัญหาโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบและการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบที่เกิดความเสียหายและลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้คือระบบ Refining Combined Burner (RCB) ที่อยู่ในเตาเผาของส่วนผลิตเหล็กแท่ง ผลการวิจัยพบว่า ความเสียหายของระบบ RCB มีความเกี่ยวข้องกับระบบย่อย 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ Coke Head, Cooling และ Burner Head จากการศึกษาการทำงานของระบบโดยการสอบถามวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ และเชื่อมโยงความสัมพันธ์ดังกล่าวออกมาเป็นแผนผัง พบว่าสาเหตุรากฐานความเสียหายของระบบ RCB ที่ส่งผลให้เตาเผาเกิดความเสียหายนั้นมีทั้งหมด 6 สาเหตุ ได้แก่ ท่อเติมถ่านโค้กเสียหาย (Coke Pipe Damage) ประกับเพลลาเสียหาย (Coke Coupling Failure) น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงผิดปกติ (Cooling Water Overheating) หัวเผาเกิดการอุดตัน (Burner Injector

Clogging) สายเติมแก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์สำหรับกระบวนการเผาเสียหาย (Oxygen Burner Flex Cable Damage) และวาล์วควบคุมใช้งานไม่ได้ (Control Valve Failure) จากนั้นผู้วิจัยได้เลือกประเภทของการบำรุงรักษาที่มีความเหมาะสมและเป็นไปได้สำหรับสาเหตุฐานรากความเสียหายดังกล่าว ภายใต้คำแนะนำของวิศวกรซ่อมบำรุง ซึ่งสาเหตุฐานรากก็คือปัญหาที่จะถูกนำไปใช้ในการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง สาเหตุฐานรากใดที่มีความเสี่ยงอยู่ในระดับที่มากเกินไปจนการยอมรับ จะถูกหามาตรการหรือวิธีการป้องกันใหม่ภายใต้แผนการบำรุงรักษาที่สามารถลดหรือควบคุมสาเหตุฐานรากนั้นให้อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้และมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม

จากตารางที่ ข จะพบว่า บางมาตรการหรือบางวิธีการป้องกันที่ถูกรื้อฟื้นขึ้นมาแล้ว ไม่สามารถลดหรือควบคุมสาเหตุฐานรากให้อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ ดังนั้น วิธีการนี้จึงแสดงให้เห็นปัญหาดังกล่าว ทำให้วิศวกรผู้เกี่ยวข้องสามารถหามาตรการหรือวิธีการป้องกันใหม่ ๆ ที่ครอบคลุมมากกว่าเดิม

ดังนั้น สามารถกล่าวสรุปโดยรวมได้ว่า การคัดเลือกปัญหาสำหรับการจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิตินั้น สามารถช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินงานได้ เนื่องจากผู้วิจัยมุ่งเน้นในการหาความสัมพันธ์ของความเสียหายของทั้งระบบ ทำให้สาเหตุความเสียหายบางสาเหตุไม่ถูกมองข้ามเมื่อเทียบกับวิธีการเดิม ส่งผลให้มาตรการหรือวิธีการป้องกันมีความครอบคลุมทั้งระบบมากยิ่งขึ้น อันส่งผลให้การจัดทำแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงมีประสิทธิภาพ ซึ่งแผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงที่จัดทำขึ้นโดยการคัดเลือกปัญหาด้วยวิธีการนี้จะถูกนำไปใช้ในการบำรุงรักษาระบบ RCB และมีการติดตามผลในลำดับถัดไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยพบว่าขั้นตอนที่มีความสำคัญและใช้เวลานานที่สุดคือขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ ดังนั้น การจัดเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาในฐานะข้อมูลของบริษัทควรมีการบันทึกรายละเอียดของความเสียหายเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งจะช่วยลดความผิดพลาดและระยะเวลาในการเตรียมข้อมูล นอกจากนี้ผู้วิเคราะห์ควรพิจารณาถึงความเหมาะสมของขนาดของข้อมูลและตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

- จิรวรรณ ไพบูลย์วรชาติ. 2556. การเปรียบเทียบวิธีการจัดกลุ่มสำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติแบบผสม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีระดา ภิญโญ. 2561. เทคนิคการแปลผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสำหรับงานวิจัย. วารสารปัญญาภิวัฒน์ ปีที่ 10 ฉบับพิเศษ ประจำเดือนกรกฎาคม.
- ปราณี มณีรัตน์. 2554. การสร้างโมเดลการจัดการระบบนักศึกษาสัมพันธ์โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล. รายงานการวิจัย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- พจนา แวงสวัสดิ์. 2547. วิธีการทางสถิติสำหรับการทำเหมืองข้อมูล. วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 : 64-77.
- พัชณี มีบัว และจิรวลัย จิตรถเวช. 2558. การจัดกลุ่มลูกค้าของบริษัทโลจิสติกส์ที่ให้บริการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ทางทะเลระหว่างประเทศ. วารสารวิทยาศาสตร์ มช. ปีที่ 43 ฉบับที่ 2 : 297-308.
- มารวย เพ็งอุดม. 2557. การลดปริมาณการสูญเสียจากกระบวนการผลิต กรณีศึกษา บริษัทเอเชียติค อุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด. รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม.
- มารุต มุกี๋ม, ผู้เรียบเรียง. ฮิสโตแกรม (Histogram). [ออนไลน์]. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 17 ธันวาคม 2562, จาก <http://www.mim.psu.ac.th/index.php/2-uncategorised/93-histogram>
- เรื่องลักษณะ บุตรเพชร, จุฑาวรรณ อันสุวรรณ และธิดาเดียว มยุรสวรรค์. เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด. วิเคราะห์ผังก้างปลา (Fishbone diagram). (2561). [ออนไลน์]. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 17 ธันวาคม 2562, จาก <http://www.research-system.siam.edu/images/IE/Chanida/1.2557/1/6.pdf>
- สายพิน ศรีสุวรรณรัตน์. 2540. การวิเคราะห์องค์ประกอบบุคลิกภาพนักวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในจังหวัดปทุมธานี. ปริญญาโท วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สุภมาส อังศุโชติ, สมถวิล วิจิตรวรรณ และรัชนีกุล ภิญโญภาณุวัฒน์. 2552. สถิติการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ : เทคนิคการใช้โปรแกรม LISREL. กรุงเทพฯ : มิสชั่น มีเดีย.
- อุทุมพร ทองอุไทย. 2532. วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- British Standards Institution. 2016. Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries - Collection and Exchange of Reliability and Maintenance Data for Equipment (ISO 14224:2016). English Version.
- Chemweno, P., Morag, I., Sheikhalishahi, M., Pintelon, L., Muchiri, P., and Wakiru, J., 2016. Development of a Novel Methodology for Root Cause Analysis and Selection of Maintenance Strategy for a Thermal Power Plant: A Data Exploration Approach. Journal of Engineering Failure Analysis 66 : 19-34.
- Jain, A.K., and Dubes, R.C., 1948. Algorithms for Clustering Data. Prentice-Hall.
- Jolliffe, I.T., 2002. Principal Component Analysis. Second Edition. Springer.
- Maimon, O., and Rokach, L., 2010. Data Mining and Knowledge Discovery Handbook. Second Edition. New York : Springer.
- Pareto Chart (Manufacturing Example). [ออนไลน์]. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 17 ธันวาคม 2562, จาก <https://www.moresteam.com/toolbox/pareto-chart-manufacturing.cfm>
- Rujasiri, P., and Chomtee, B., 2009. Comparison of Clustering Techniques for Cluster Analysis. Journal of Kasetsart (Natural Science) 43 : 378-388.
- Scree Plot. [ออนไลน์]. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 7 ตุลาคม 2562, จาก [https://www.wikiwand.com/en/Scree\\_plot](https://www.wikiwand.com/en/Scree_plot)
- Vaillancourt, D., Beile, H., and Buttler, J., 2018. Improving Furnace Performance. Journal of Steel Times International Vol.42 No.6 : 39-44.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
กรอบมาตรฐาน ISO 14224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก คำศัพท์และคำจำกัดความที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 14224

Failure mode	Failure mode description	Examples
AIR	Abnormal instrument reading	False alarm, faulty instrument indication
BRD	Breakdown	Breakdown, serious damage (seizure, breakage)
CLW	Control-line-to-well communication	Loss of hydraulic control fluids into the well bore
CSF	Control/signal failure	No, or faulty monitoring or regulation, failure to transmit or receive command or data, failure to actuate function
DOP	Delayed operation	Delayed response to commands
ELF	External leakage - fuel	External leakage of supplied fuel/gas
ELP	External leakage - process medium	Oil, gas, condensate, water
ELU	External leakage - utility medium	Lubricant, cooling water, barrier oil
ERO	Erratic output	Oscillating, hunting, instability
FCO	Failure to connect	Failure to connect connector
FCU	Failure to cut	Shear cut valve unable to cut equipment
FOF	Faulty output frequency	Wrong/oscillating frequency
FOV	Faulty output voltage	Wrong/unstable output voltage
FRO	Failure to rotate	Failure to rotate
FTC	Failure to close on demand	Valve(s) fail to close on demand
FTD	Failure to disconnect	Failure to disconnect connector
FTF	Failure to function on demand	Failure to respond on signal/activation
FTI	Failure to function as intended	General operation failure
FTL	Failure to lock/unlock	Doesn't lock or unlock when demanded
FTO	Failure to open on demand	Valve(s) fail to open on demand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก คำศัพท์และคำจำกัดความที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 14224 (ต่อ)


Failure mode	Failure mode description	Examples
FTR	Failure to regulate	Fails to control the load, poor response to feedback
FTS	Failure to start on demand	Doesn't start on demand
FWR	Failure while running	Unable to run equipment or tools
HIO	High output	Overspeed/output above acceptance
HTF	Heating failure	Loss of ability to provide heating
IHT	Insufficient heat transfer	Cooling/heating below acceptance
ILP	Internal leakage - process medium	Leakage process medium contaminating utility medium, Leakage internally of process fluids
ILU	Internal leakage - utility medium	Leakage internally of utility fluids, Loss of lubrication
INL	Internal leakage	Leakage internally of process or utility fluids
LBP	Low oil supply pressure	Low oil supply pressure
LCP	Leakage in closed position	Leak through valve in closed position
LOA	Load drop	Load drop
LOB	Loss of buoyancy	Loss of buoyancy in idle position
LOO	Low output	Performance below specifications
MOF	Mooring failure	Mooring failure
NOI	Noise	Abnormal or excessive noise
NOO	No output	No output
OHE	Overheating	Excessive temperature e.g. machine parts, exhaust, cooling water, etc.
OTH	Other	Failure modes not covered above
PCL	Premature closure	Spurious closure of valve without command
PDE	Parameter deviation	Monitored parameter exceeding limits, e.g. high/low alarm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก คำศัพท์และคำจำกัดความที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 14224 (ต่อ)

Failure mode	Failure mode description	Examples
PLU	Plugged/choked	Flow restriction due to contamination, objects, wax, etc.
POD	Loss of functions on both pods	Both pods are not functioning as desired
POW	Insufficient power	Lack of or too low power supply
PTF	Power/signal transmission failure	Power/signal transmission failure
SBU	Sludge build-up	Sludge build-up
SER	Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt
SET	Failure to set/retrieve	Failed set/retrieve operations
SHH	Spurious high alarm level	e.g. 60 % of Lower Explosive Limit (LEL)
SLL	Spurious low alarm level	e.g. 20 % of Lower Explosive Limit (LEL)
SLP	Slippage	Wire slippage
SPO	Spurious operation	Unexpected operation
STD	Structural deficiency	Material damages (cracks, wear, fracture, corrosion)
STP	Failure to stop on demand	Failure to stop on demand
UNK	Unknown	Too little information to define a failure mode
UST	Spurious stop	Unexpected shutdown

(British Standards Institution, 2016)



ภาคผนวก ข  
แผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงของระบบ Refining Combined Burner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข แผนการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงของระบบ Refining Combined Burner

Risk Based Maintenance Work Sheet									
Sub System/System : Equipment :		Steel plant Electric arc furnace		Document No. : Hazard No. :		1/09/2018 - 3/1/08/2019			
Component :		RCB (Refined Combined Burner)		Date :					
Component Function :		Preheating of scrap, melting of scrap, refining the liquid steel, foaming slag technology.		Rev. :					
Failure Mode & Cause	Failure Effect	Sec/Saf /Env/Serv /Prod/Non	Hidden	Current Failure Risk Control Measure			New Failure Risk Control Measure		
				Maintenance Activities	Interval	Level	Maintenance Activities	Interval	Level
Oxygen burner damage & 1. Fire back from O-ring of burner head was worn. 2. The clamp locking burner was loosened.	Failed to function 92 mins of 3 times.	Prod	Yes	1. Check the fuel pipe and gas pipe of RCB by PM-team. (PM.no 410-0076) 2. Check the clamp locking RCB by PM-team (PM.no 410-0076)	30 days 30 days	Medium MTTR = 30.7 min/times. Intolerable	1. Overhaul the burner head. 2. Check the clamp locking RCB by PM-team (PM.no 410-0076). (TBM)	7 days 30 days	Occasional (Failure rate < 1 times/yr.) Medium MTTR < 120 min/times. Undesirable
Burner injector clogging & 1. Fire back from obstruction of hard scrap.	Failed to function 270 mins of 25 times.	Prod	Yes	1. Check the wear of the burner and check the cooling water leakage. (PM.no 410-0076)	30 days	Low MTTR = 10.8 min/times. Intolerable	2. Install the sensor to check the cooling water temperature of burner injector, when found the water temperature more than 60 C. Operator should stop the lance process. (CBM)	-	Probable (Failure rate < 12 times/yr.) Low MTTR < 20 min/times. Undesirable
Cooling water overheating & 1. Low water flow 2. Electrical arc from long scrap.	Failed to function 283 mins of 20 times.	Prod	No			Low MTTR = 14.15 min/times Intolerable	1. Reroute water cooling line of RCB to increase water flow. (DOM) 2. Operator should strict to use scrap under nominal standard. (Scrap must not longer 80 cm.)	-	Probable (Failure rate < 12 times/yr.) Low MTTR < 20 min/times Undesirable
Coke pipe damage & 1. Coke pipe can't replace in time because no complete set of coke pipe in store.	Failed to function 148 mins of 15 times.	Prod	Yes	1. Check the leakage and damage of coke pipe. (PM.no 410-0076)	30 days	Low MTTR = 9.87 min/times Intolerable	1. Set max-min of coke pipe complete set in store.	-	Probable (Failure rate < 12 times/yr.) Low MTTR < 20 min/times Undesirable
Coke coupling failure	Failed to function 45 mins of 6 times.	Prod	Yes			Low MTTR = 7.5 min/times Undesirable	- Risk is acceptable. - Failure-based maintenance (FBM) is optional. Or run to fail.		Probable (Failure rate < 12 times/yr.) Low MTTR < 20 min/times Undesirable
Control valve failure	Failed to function 12 mins. of 2 times.	Prod	Yes			Low MTTR = 6 min/times Undesirable	- Risk is acceptable. - Failure-based maintenance (FBM) is optional. Or run to fail.		Probable (Failure rate < 12 times/yr.) Low MTTR < 20 min/times Undesirable



ภาคผนวก ค

คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล

<b>คู่มือ</b>	<b>การวิเคราะห์ข้อมูล</b>	<b>ด้วยโปรแกรม</b>	<b>KNIME</b> Open for Innovation	<b>น.ส.ศิริประภา บุญชิง</b>
<b>สารบัญ</b>				
บทที่ 1 แนะนำโปรแกรมเบื้องต้น.....	1			
- โปรแกรม Minitab.....	1			
- โปรแกรม KNIME.....	7			
- โปรแกรม Tnagra.....	11			
บทที่ 2 การวิเคราะห์องค์ประกอบ.....	12			
บทที่ 3 การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม.....	16			
- การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น.....	16			
- การจัดกลุ่มแบบเคมี.....	19			
- การจัดกลุ่มแบบพีซีเอ็ม.....	21			
- การจัดกลุ่มแบบ SOM.....	28			

# บทที่ 1

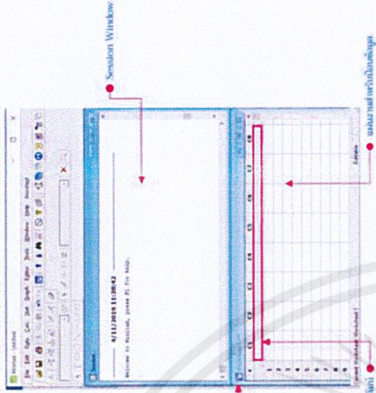
## แนะนำโปรแกรมเบื้องต้น

### โปรแกรม Minitab

Minitab เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกต้องเหมาะสมสำหรับการคำนวณทางสถิติ โดยเฉพาะ และเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมทั่วโลก มีประโยชน์หลายประการ อาทิเช่น การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่างๆ การทดสอบสมมติฐาน การสร้างเครื่องมือคุณภาพ สักควบคุมกระบวนการ การประเมินผลความสามารถของกระบวนการ การออกแบบการทดลอง เป็นต้น โปรแกรม Minitab แต่จะรุ่นจะมีความแตกต่างกันบ้างทั้งที่ซับซ้อนและง่าย ซึ่งในคู่มือเล่มนี้จะใช้ Minitab 16.2.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อเปิดโปรแกรม Minitab ขึ้นมา หน้าจอโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 1.1 โดยในส่วนของโปรแกรมจะสามารถแบ่งองค์ประกอบหลักออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. หน้าต่าง (Session Window) เป็นส่วนที่แสดงรายละเอียดการประมวลผลของโปรแกรมในรูปของตัวอักษร รวมทั้งสามารถพิมพ์คำสั่งเชิงการคำนวณโปรแกรมแทนการใช้เมนูก็ได้
2. หน้างาน (Worksheet) เป็นส่วนที่รับข้อมูลสำหรับการคำนวณ ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกับ Sheet ของโปรแกรม Microsoft Excel โดยส่วนยอดของลิ้นจะสามารถตั้งชื่อแต่ละคอลัมน์ได้ และไม่ว่าจะไม่เรียงลำดับ (Project) สามารถมีได้หลายหน้าต่าง
3. กราฟ (Graph) เป็นส่วนที่แสดงกราฟที่ได้จากการคำนวณ โดยจะแสดงผลเมื่อมีผลการคำนวณที่ เป็นกราฟ



รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของโปรแกรม Minitab

จุดเด่นของโปรแกรม Minitab คือมีการใช้งานที่ง่าย เนื่องจากมีการออกแบบเมนูให้คล้ายกับโปรแกรม Microsoft Office และมีการกำหนดชอร์ตคัต (Shortcut) ซึ่งสามารถทำได้จากเมนูของโปรแกรม

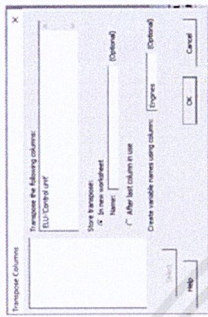
คำสั่งที่ใช้ของการทำงานในโปรแกรม Minitab คือข้อมูล ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถป้อนจากแป้นพิมพ์ได้โดยตรงหรือนำเข้าข้อมูลจากฐานข้อมูลอื่นเช่น Microsoft Excel, Microsoft Access หรือ Text เป็นต้น การนำข้อมูลจากฐานข้อมูลอื่นเข้าโปรแกรม Minitab มีขั้นตอนดังนี้

1. คลิกเมนู File > Open Worksheet... จะปรากฏหน้าต่าง Open Worksheet ดังรูปที่ 1.2 และ

1.3

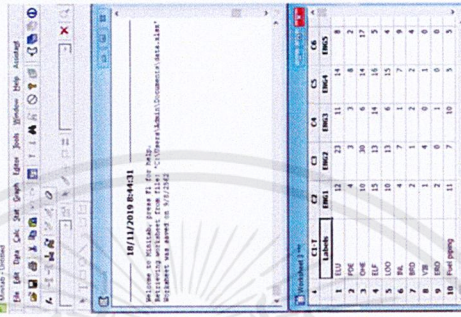


รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)

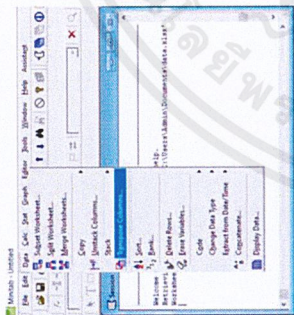


รูปที่ 1.8 ตัวอย่างการเลือกคอลัมน์ที่ต้องการหมุน

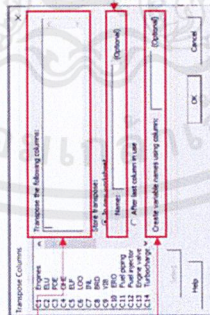
3. ข้อมูลที่หมุนจะถูกเก็บไว้ที่แผ่นงานใหม่ ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกหมุนแล้ว



รูปที่ 1.6 ส่วนหนึ่งของเมนู Transpose Columns



รูปที่ 1.7 หน้าทางเมนู Transpose Columns

2. เลือกคอลัมน์ที่ต้องการหมุน และคอลัมน์ที่จะใช้เก็บชื่อตัวแปรจากกล่องข้อความด้านซ้าย ดังรูปที่

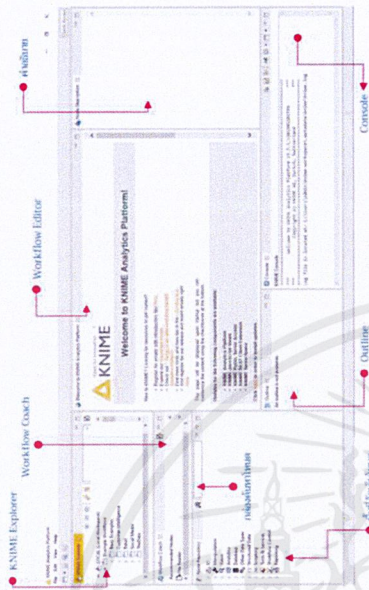
1.8 จากนั้นคลิกปุ่ม OK เพื่อทำการหมุนข้อมูล

**ใ้บ้สูบสูบ KNIME**

Konstanz Information Miner หรือ KNIME เป็นแพลตฟอร์ม (Platform) การวิเคราะห์ข้อมูลที่เปิดให้ใช้งานฟรี มีลักษณะการทำงานโดยอิงหลักของในการสื่อความหมายระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ในคู่มือเล่มนี้จะใช้ KNIME 3.7.1 ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่ <https://www.knime.com/downloads>

สามารถแบ่งองค์ประกอบหลักออกเป็น 7 ส่วน ได้แก่

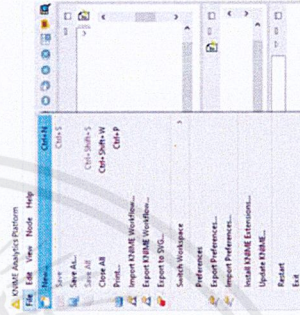
1. **KNIME Explorer** เป็นส่วนที่แสดงภาพรวมของกระแสนงานที่มีอยู่และตัวอย่างของมุมมองกระแสนงานภายในโปรแกรม
2. **Workflow Coach** แสดงรายการโหนดที่แนะนำตามกระแสนงานที่สร้าง โดยชุมชนของผู้ใช้โปรแกรม ซึ่งส่วนนี้จะไม่สามารถทำงานได้หากผู้ใช้ไม่อนุญาตให้โปรแกรมรวบรวมสถิติการใช้งาน
3. **Node Repository** เป็นส่วนที่แสดงโหนดทั้งหมดที่มีอยู่ในโปรแกรม โดยมีการจัดโหนดเป็นหมวดหมู่อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถใช้กล่องค้นหาด้านขวาเพื่อค้นหาโหนดที่ต้องการใช้งานได้
4. **Workflow Editor** เป็นส่วนที่แสดงพื้นที่สำหรับแก้ไขกระแสนงานที่ป้ดอยู่
5. **Description** เป็นส่วนที่แสดงคำอธิบายของกระแสนงานที่ใช้งานอยู่ ณ ปัจจุบัน หรือโหนดที่เลือก
6. **Outline** เป็นส่วนที่แสดงภาพรวมของกระแสนงาน ณ ปัจจุบัน 7. **Console** เป็นส่วนที่แสดงข้อความที่ระบุถึงสิ่งที่เกิดขึ้นภายใต้กระแสนงาน



รูปที่ 1.10 องค์ประกอบของโปรแกรม KNIME

การใช้งานโปรแกรม KNIME จะต้องมีการสร้างโปรเจกต์กระแสนงาน เพื่อเป็นการเรียกใช้งานส่วน Workflow Editor โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. คลิกเมนู **File > New...** จะปรากฏหน้าต่าง New ดังรูปที่ 1.11 และ 1.12

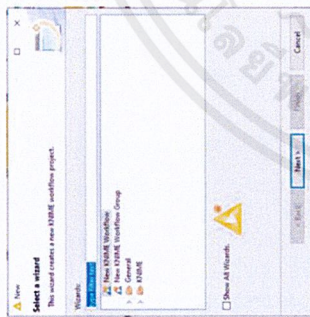


รูปที่ 1.11 ตำแหน่งเมนู New

## รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)

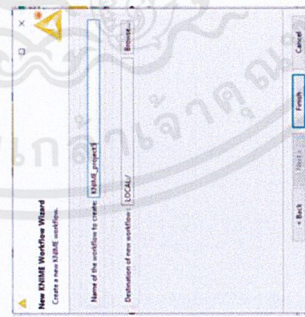


รูปที่ 1.14 Workflow Editor ของกระแสน้ำที่สร้าง



รูปที่ 1.12 หน้าต่างเมนู New

2. เลือก New KNIME Workflow แล้วคลิกปุ่ม Next > จะปรากฏหน้าต่าง New KNIME Workflow Wizard ดังรูปที่ 1.13 จากนั้นตั้งชื่อให้กับกระแสน้ำ



รูปที่ 1.13 ตัวอย่างการตั้งชื่อให้กับกระแสน้ำ

3. คลิกปุ่ม Finish เพื่อเป็นการสร้างกระแสน้ำ จะปรากฏส่วน Workflow Editor ที่ใช้ในการวาดคำสั่งการทำงานขึ้นมา ดังรูปที่ 1.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

## การวิเคราะห์องค์ประกอบ

**การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis)** เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อ อธิบายข้อมูลที่เข้ากันด้วย การลดขนาด จำนวน หรือมีข้อมูลให้อย่างน้อยลง โดยการสร้างตัวแปร ขึ้นมาใหม่ เรียกว่า องค์ประกอบ เพื่อใช้เป็นตัวแทนของข้อมูล โดยอาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้น ระหว่างตัวแปร ดังนั้น ผลที่ได้จากการ วิเคราะห์องค์ประกอบก็จะแสดงความสัมพันธ์กับในเชิงตัวเลข ของตัวแปร

ขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้  
 การวิเคราะห์องค์ประกอบนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16.2.1 ในการวิเคราะห์ โดยมี  
 1. ข้อมูลที่จะทำการวิเคราะห์เป็นแผ่นงาน หรือเปิดแผ่นงานที่มีบันทึกจากโปรแกรมอื่นโดยคลิก  
 ที่เมนู **File > Open Worksheet...** ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีลักษณะดังรูปที่ 2.1

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
	Eng 1	Eng 2	Eng 3	Eng 4	Eng 5	Eng 6	Eng 7	Eng 8	Eng 9	Eng 10	Eng 11	Eng 12
1	12	23	11	14	8	15	11	20	33	17		
2	4	3	3	6	2	4	3	5	51	44		
3	10	39	6	14	17	7	11	13	7	9		
4	15	13	14	15	5	11	4	9	12	15		
5	4	7	1	7	9	2	6	7	9	0		
6	2	1	2	2	4	0	7	1	0	0		
7	1	4	0	1	0	2	0	0	0	0		
8	2	0	1	0	0	0	0	5	0	0		
9	11	7	10	5	5	4	3	5	13	12		

รูปที่ 2.1 ลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

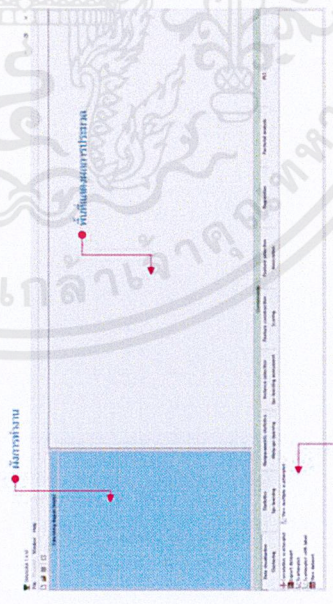
2. คลิกเมนู **Stat > Multivariate > Factor Analysis...** จะปรากฏหน้าต่าง Factor Analysis ดังรูป  
 ที่ 2.2 และ 2.3

### โปรแกรม Tanagra

Tanagra เป็นชุดซอฟต์แวร์การเรียนรู้ของเครื่องที่พัฒนาโดย Ricco Rakotomalala ประกอบด้วย เครื่องมือที่สนับสนุนการทำเหมืองข้อมูลหลายอย่าง เช่น หัตถภาพ สถิติเชิงพรรณนา การเลือกตัวอักษร การเลือกฟีเจอร์ การวิเคราะห์องค์ประกอบ การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม เป็นต้น ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดและดูโปรแกรมการทำงานในรูปแบบที่มองเห็นได้ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ในคู่มือเล่มนี้จะใช้ Tanagra 1.4.50 ในการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/tanagra/en/tanagra.html>

จะสามารถแบ่งองค์ประกอบที่ได้ออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. **Data Mining Diagram** เป็นส่วนที่แสดงพื้นที่สำหรับวาดผังการไหลในรูปแบบของ Treewiew
2. **Result** เป็นส่วนที่แสดงผลการประมวลผลในรูปแบบของ HTML ทำให้ง่ายต่อการส่งผลไปยังโปรแกรม อื่น เช่น Microsoft Excel เป็นต้น
3. **Component** เป็นส่วนที่แสดงตัวดำเนินการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น



รูปที่ 1.15 องค์ประกอบของโปรแกรม Tanagra

รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)

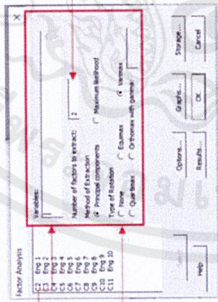


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเมนู Factor Analysis

เลือกตัวแปรที่จะ  
นำมาวิเคราะห์

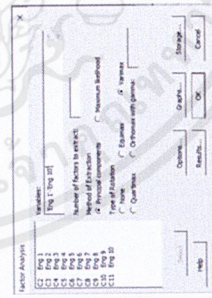
เลือกจำนวน  
องค์ประกอบ

กำหนดจำนวน  
องค์ประกอบ



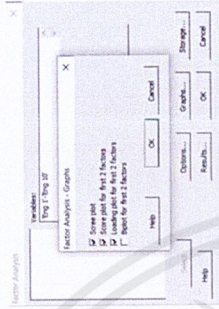
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเมนู Factor Analysis

3. กำหนดเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์ ได้แก่ ตัวแปรและวิธีการหมุน ดังรูปที่ 2.4



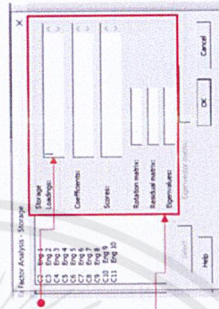
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบ

4. คลิกปุ่ม **Graphs...** จะปรากฏหน้าต่าง Factor Analysis - Graphs คลิกในช่องว่างให้เป็น เครื่องหมายถูก (✓) หน้า **Score plot for first 2 components** และ **Loading plot for first 2 component** ดังรูปที่ 2.5 จากนั้นคลิกปุ่ม **OK** เพื่อออกจากหน้าต่าง **Graphs**



รูปที่ 2.5 หน้าต่างเมนู Factor Analysis - Graphs

5. คลิกปุ่ม **Storage...** จะปรากฏหน้าต่าง Factor Analysis - Storage ดังรูปที่ 2.6 เลือกคอลัมน์ที่ ต้องการจัดเก็บข้อมูลการประมวลผล เช่น จัดเก็บคะแนนองค์ประกอบไว้ที่คอลัมน์ C30-C39 จัดเก็บค่า ลักษณะเฉพาะไว้ที่คอลัมน์ C28 เป็นต้น จากนั้นคลิก **OK** เพื่อออกจากหน้าต่าง **Storage**



รูปที่ 2.6 หน้าต่างเมนู Factor Analysis - Storage

เลือกคอลัมน์ที่จะใช้เก็บค่า  
สำหรับค่า

เลือกคอลัมน์ที่จะใช้เก็บค่า  
ค่าลักษณะเฉพาะ

# บทที่ 3

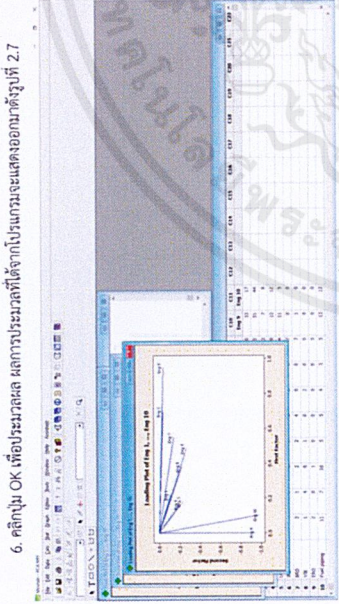
## การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม

การวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Cluster analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลออกเป็น กลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันจะถูกจัดให้อยู่กลุ่มเดียวกัน โดยลักษณะคล้ายคลึงนี้อาจจะ คล้ายคลึงกันในบางลักษณะเท่านั้น ในการจัดกลุ่มวิเคราะห์จะไม่ทราบวาทะของข้อมูลหรือค่าสังเกต อยู่กลุ่มใดมาก่อน ซึ่งการจะจัดกลุ่มได้ถูกต้องนั้น จะต้องมีการเก็บรวบรวมตัวแปรที่มีความสำคัญและ เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ศึกษาให้ครบถ้วน

### 3.1 การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น

การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้นจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16.2.1 ในการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

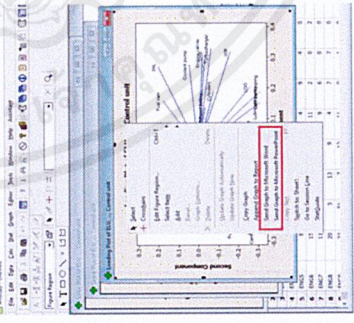
1. ป้อนข้อมูลที่จะทำการวิเคราะห์ลงในแผ่นงาน หรือเปิดแผ่นงานที่บันทึกจากโปรแกรมอื่นโดยคลิกที่เมนู File > Open Worksheet... ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีลักษณะตรงข้ามกันกับการวิเคราะห์องค์ประกอบ กล่าวคือ ต้องทำการหมุนข้อมูลก่อน
2. คลิกเมนู Stat > Multivariate > Cluster variables... จะปรากฏหน้าต่าง Cluster variables ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 2.7 ผลการประมวลที่ได้จากโปรแกรม

รูปที่ 2.7 ผลการประมวลที่ได้จากโปรแกรม

นอกจากนี้ หากต้องการกราฟที่ได้จากการประมวลผลไปยังโปรแกรม Microsoft Word หรือ Microsoft PowerPoint สามารถทำได้โดยการคลิกขวาบริเวณกราฟที่ต้องการ จากนั้นเลือก Send Graph to Microsoft Word หรือ Send Graph to Microsoft PowerPoint ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตำแหน่งของเมนูที่ส่งกราฟไปยังโปรแกรมอื่น

รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)

รูปที่ 3.1 ตำแหน่งของเมนู Cluster Variables

เลือกตัวแปรที่จะใช้ในการวิเคราะห์

เลือกวิธีการวิเคราะห์

เลือกวิธีการวัดระยะห่าง

กำหนดจำนวนคลัสเตอร์ที่ต้องการจะจัด

กำหนดจำนวนตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์

กำหนดวิธีที่จะใช้ในการจัดกลุ่ม มาตรฐานความคล้ายระหว่างกลุ่ม วิธีการวัดระยะห่าง และระดับความคล้ายคลึงที่ต้องการจะจัดกลุ่ม จากนั้นคลิกเลือก Show dendrogram ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.2 หน้าตั้งเมนู Cluster Variables

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการกำหนดขั้นตอนสำหรับการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น

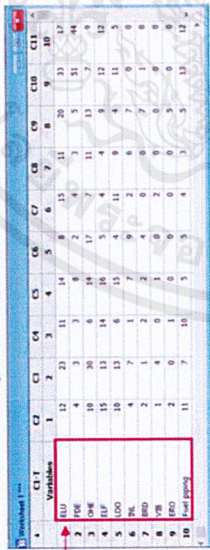
4. คลิกปุ่ม OK เพื่อประมวลผล ผลการประมวลผลที่ได้จากโปรแกรมจะแสดงออกมาดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 หน้าจอโปรแกรมเมื่อประมวลผล

รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)

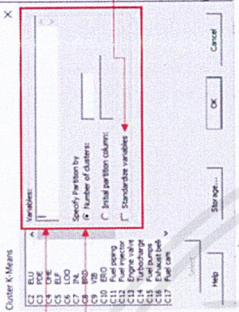
**3.2 การจัดกลุ่มแบบเจมีน**  
 การจัดกลุ่มแบบเจมีนจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 16.2.1 ในการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. ป้อนข้อมูลที่จะทำการวิเคราะห์ลงในแผ่นงาน หรือเปิดแผ่นงานที่มีบันทึกจากโปรแกรมอื่นโดยคลิกที่เมนู File > Open Worksheet... ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการจัดกลุ่มแบบเจมีน

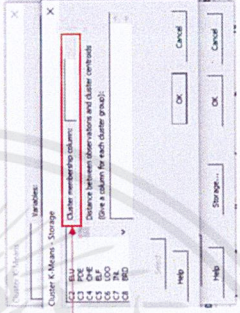
2. คลิกเมนู Stat > Multivariate > Cluster K-Means... จะปรากฏหน้าต่าง Cluster K-Means ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.7 หน้าต่างเมนู Cluster K-Means

เลือกตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์  
 กำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการจะแบ่ง  
 กำหนดจำนวนตัวแปรที่จะใช้ในการจัดกลุ่ม

2. เลือกตัวแปรที่ต้องการจัดกลุ่มจากกล่องข้อความด้านซ้าย โดยตัวแปรต้องเรียงอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน เช่น ถ้าจะหาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบที่มีความเสียหาย เป็นต้น จากนั้นกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการจะแบ่ง ซึ่งในที่นี้กำหนดให้จำนวนกลุ่มที่ต้องการจะแบ่งมีค่าเท่ากับจำนวนกลุ่มที่ได้จากการจัดกลุ่มแบบเจมีน คลิกเลือก Standardize variables เพื่อแปลงข้อมูลให้เป็นค่ามาตรฐาน
3. คลิกปุ่ม Storage... เพื่อเลือกคอลัมน์ที่จะใช้จัดเก็บผลการจัดกลุ่ม ดังรูปที่ 3.8 โดยมีคอลัมน์ที่ต้องการจัดเก็บลงในกล่องข้อความหลัง Cluster membership column เช่น C5 C7 เป็นต้น จากนั้นคลิกปุ่ม OK เพื่อออกจากหน้าต่าง Storage



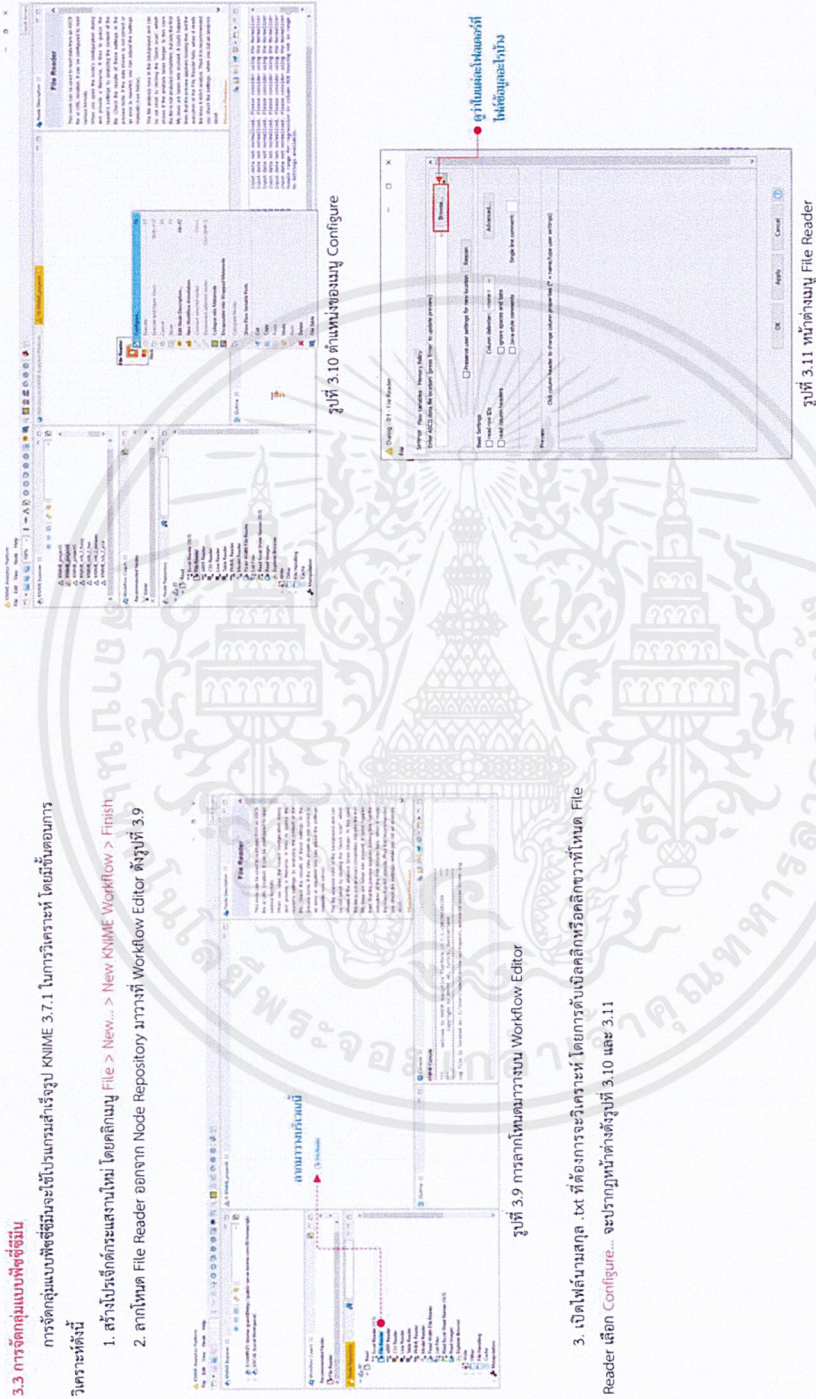
รูปที่ 3.8 หน้าต่างเมนู Cluster K-Means - Storage

เลือกคอลัมน์ที่จะเก็บ  
 จัดเก็บผลการจัดกลุ่ม

4. คลิกปุ่ม OK เพื่อประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ฝค 12  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)



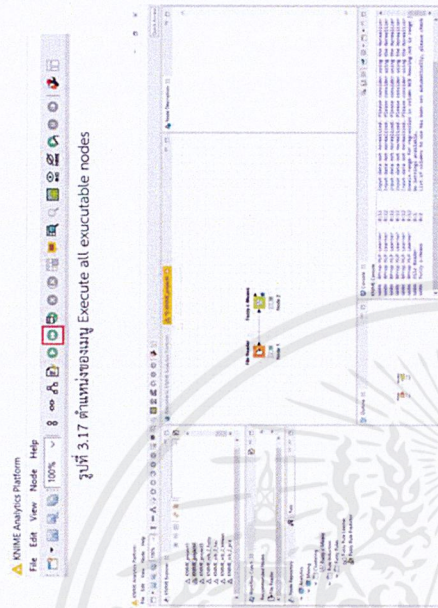
**3.3 การจัดกลุ่มแบบพีชคณิต**  
 การจัดกลุ่มแบบพีชคณิตจะใช้โปรแกรมสร้างรูป KNIME 3.7.1 ในการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. สร้างโหนดวิเคราะห์แสงใหม่ โดยคลิกเมนู File > New... > New KNIME Workflow > Finish
2. ลากโหนด File Reader ออกจาก Node Repository มารวมที่ Workflow Editor ดังรูปที่ 3.9

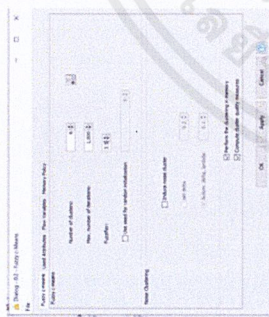
3. เปิดไฟล์นามสกุล .txt ที่ต้องการจะวิเคราะห์ โดยการดับเบิลคลิกหรือคลิกขวาที่โหนด File Reader แล้วคลิก Configure... จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.10 และ 3.11



รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)

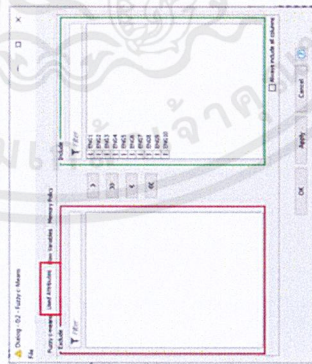


รูปที่ 3.17 ตำแหน่งของเมนู Execute all executable nodes



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการกำหนดคุณสมบัติการจับกลุ่มแบบฟัซซี

8. กดแถบ Used Attributes เพื่อเลือกตัวแปรที่จะใช้ในการจัดกลุ่ม ดังรูปที่ 3.16 จากนั้นคลิกปุ่ม Apply และ OK ตามลำดับ



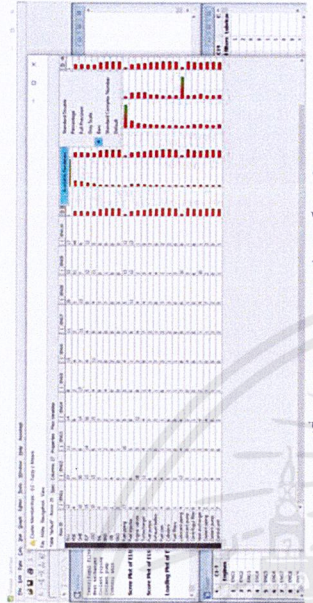
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างการเลือกตัวแปรที่จะใช้ในการจัด

9. คลิกปุ่ม Execute all executable nodes บริเวณแถบเมนูด้านบนของโปรแกรม หรือกด Shift+F7 ให้สถานะของโหนดเปลี่ยนเป็นสีเขียว ดังรูปที่ 3.17 และ 3.18

รูปที่ 3.18 สถานะของโหนดเมื่อ Execute

10. คลิกขวาที่โหนด Fuzzy c-Means เลือก Cluster Memberships เพื่อดูผลการจัดกลุ่ม ดังรูปที่ 3.19 และ 3.20

รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)



รูปที่ 3.21 รูปแบบของการแสดงค่าความเป็นสมาชิก

**การจัดกลุ่มแบบ SOM**

การจัดกลุ่มแบบ SOM จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Tanagra 1.4.50 ในการวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

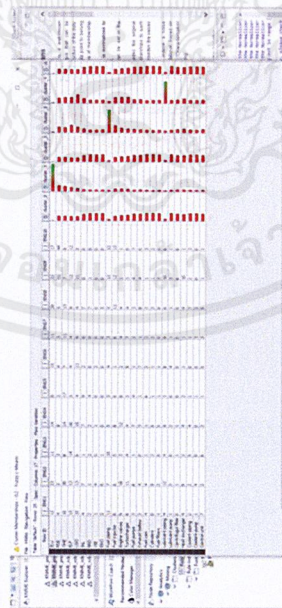
1. สร้าง Diagram ใหม่ โดยคลิกที่เมนู File > New... จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.22 และ 3.23



รูปที่ 3.22 หน้าจอของเมนู New



รูปที่ 3.19 หน้าจอของเมนู Cluster Memberships



รูปที่ 3.20 ผลการจัดกลุ่มแบบฟัซซีมีน

ผลการจัดกลุ่มจะแสดงค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละกลุ่มเป็นรูปกราฟแท่ง หากต้องการเปรียบเทียบการทำได้โดยคลิกที่แถบเลือก Available Renderers > และเลือกรูปแบบของการแสดงค่าความเป็นสมาชิกที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.21

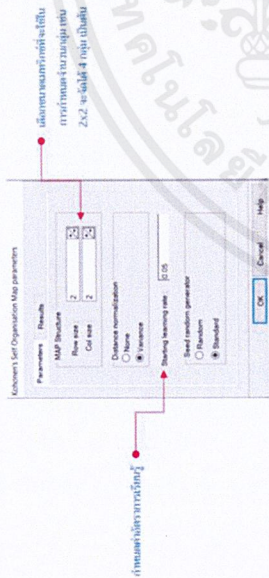


รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)



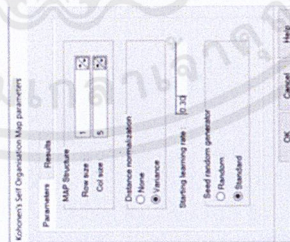
รูปที่ 3.39 ตำแหน่งของเครื่องมือ View dataset

8. ดับเบิลคลิกที่ View dataset จะปรากฏผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.37 หน้าต่างเมนู Kohonen's Self Organisation Map parameters

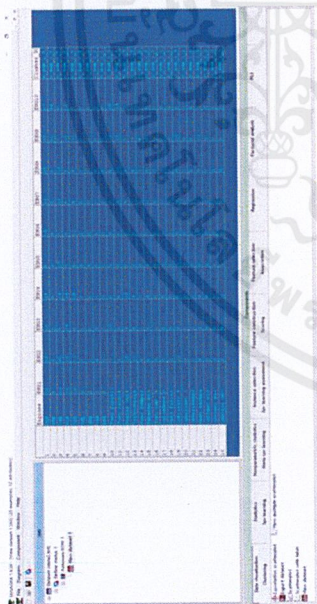
6. กำหนดขนาดเมทริกซ์และค่าอัตราการเรียนรู้ โดยค่าอัตราการเรียนรู้จะส่งต่อการทำงานของตัวแบบ ดังรูปที่ 3.38 จากนั้นคลิกปุ่ม OK



รูปที่ 3.38 ตัวอย่างการกำหนดคุณสมบัติสำหรับการจัดกลุ่ม

7. คลิกแถบ Data visualization ลาก View dataset มาใส่ใน Kohonen-SOM เพื่อดูผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.39

รูปที่ ค คู่มือการใช้งานโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ)



รูปที่ 3.41 ผลการจัดรูปแบบ SOM