บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ

2.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นขั้นตอนแรกของวิธีทางสถิติ วัถุประสงค์ก็คือ

1) เพื่อติดตามดูผลการดำเนินการผลิต

2) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง

3) เพื่อตรวจสอบ

2.1.2 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

แผ่นตรวจสอบสร้างขึ้นเพื่อให้ผู้บันทึกสามารถลงข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและถูกต้อง และสามารถนำไปใช้ได้ง่าย โดยหน้าที่ของใบตรวจสอบมีดังนี้

1) ตรวจสอบการผลิต

2) ตรวจสอบข้อบกพร่อง

3) ตรวจสอบสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง

4) ตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่อง

5) ตรวจสอบความเรียบร้อย

6) ตรวจสอบอื่น ๆ

2.1.3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโตเป็นแผนภูมิที่แสดงสาเหตุของข้อบกพร่องตามลำดับกับความสำคัญ และจะแสดงเส้นสะสมไว้ด้วย โดยใช้กราฟแท่งของข้อมูลชนิดต่าง ๆ ที่มาเรียงกันโดยใช้กราฟแท่งของข้อมูลที่มีค่าสูงสุดอยู่ทางซ้ายและเรียงลำดับมาทางขวามือตามค่าที่ลดลง เพื่อใช้เปรียบเทียบลำดับความสำคัญหรือปริมาณของปัญหาระหว่างข้อมูลชนิดต่าง ๆ ประโยชน์ของแผนภูมิพาเรโต ทำให้ทราบปัญหาที่ควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขเป็นอันดับต้น ๆ

2.1.4 ผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram)

ไดอะแกรมเหตุและผลจะแสดงถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (CAUSE) ที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงกับผลที่เกิดขึ้น (Effect) โดยจะแสดงผลของปัญหาที่ปลายแผนภูมิ และแสดงถึงสาเหตุของปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการระดมความคิดออกเป็นแขนงเป็นเหมือนก้างปลา ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย คน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการทำงาน สภาพแวดล้อม จากสาเหตุ หลักจะแตกแขนงไปเป็นสาเหตุย่อยเพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุได้ง่ายขึ้นเพื่อหาทางแก้ไขต่อไป

2.1.5 กราฟ (Graph)

กราฟช่วยนำเสนอข้อมูลให้เข้าใจข้อมูลได้ดี เช่น กราฟแท่งฮีสโตแกรมซึ่งกำหนดการเก็บข้อมูลเป็นช่วง กราฟวงกลมแผนภูมิกระจาย ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรหนึ่งคู่

2.1.6 ฮีสโตแกรม (Histograms)

แผนภูมิแท่งแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลโดยมีความสูงของแต่ละแท่งแทนขนาดของความถี่ของคะแนนแต่ละชั้นและความกว้างของแต่ละแท่ง แทนระยะขอบเขตของชั้นทั้งสอง ซึ่งความกว้างของแท่งจะเท่ากับความกว้างของชั้น

2.2 **ความหมายของ** FMEA

เทคนิคหรือกระบวนการที่เป็นระบบที่สร้างขึ้น เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมในด้านการออกแบบหรือกระบวนการผลิต โดยการชี้บ่งถึงปัญหา หรือข้อบกพร่องใด ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในกิจกรรมนั้นโดยพิจารณาถึง คุณลักษณะพิเศษระดับความรุนแรง ผลกระทบที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งระบุถึงวิธีการป้องกันปัญหาดังกล่าวและตรวจสอบประสิทธิผลของการป้องกัน FMEA แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

2.2.1 Design FMEA

กิจกรรมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการออกแบบเพื่อพิจารณาคุณสมบัติของสินค้าตรงตามข้อกำหนดของลูกค้าและสามารถผลิตได้ตามเป้าหมาย ค่าใช้จ่าย และบรรลุผลิตภาพตามที่ต้องการ ดังนั้น Design FMEA จึงมีความสัมพันธ์กับข้อกำหนดของลูกค้า โดยพิจารณาถึง

- เมื่อใดที่สินค้าจะเกิดการผิดพลาดไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า
- ผลกระทบของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น

2.2.2 Process FMEA

กิจกรรมที่สร้างขึ้นเพื่อพิจารณากระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนตลอดจรการควบคุมกระบวนการเพื่อสร้างความมั่นใจว่าสินค้าที่ผลิตอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของสินค้า ดังนั้น Process FMEA จึงมีความสัมพันธ์กันระหว่าง ขั้นตอนในแต่ละกระบวนการและปัจจัยนำออกที่เราไม่ยอมรับของกระบวนการนั้น ๆ โดยพิจารณาถึงสาเหตุของการไม่ยอมรับ และการดำเนินการควบคุมหรือป้องกันสิ่งที่เกิดขึ้นดังกล่าว

จุดมุ่งหมายของกิจกรรม FMEA

- หยิบยกและพิจารณาปัญหา ที่เกิดขึ้นรวมทั้งสาเหตุที่เกี่ยวข้องในการผลิตสินค้า
- หาแนวทางในการขจัดหรือลดค่าความน่าจะเป็น หรือโอกาสที่จะเกิดปัญหาให้น้อยลง
- เป็นการบันทึกเอกสารในระบบการผลิตซึ่งเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

กิจกรรม FMEA เป็นกิจกรรมแบบกลุ่ม ซึ่งควรประกอบด้วยผู้ที่มีความรู้ความสารถในด้านต่าง ๆ เข้ามาประกอบกันเพื่อหาแนวทางป้องกันข้อบกพร่องอันเกิดขึ้นได้ในอนาค กลุ่มกิจกรรม FMEA อาจประกอบด้วย Design Engineer, Process Engineer, Test Engineer, Production, Maintenance, Quality Assurance และ/หรือ Operators ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหาที่หยิบยกมาดำเนินกิจกรรม การดำเนินกิจกรรม FMEA ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการดำเนินกิจกรรม ซึ่งเป็นเทคนิคของการป้อกัน หรือ สัญญาณเตือนภัยล่วงหน้าอย่างไรก็ตาม แม้ว่าปัญหาบางอย่างจะเกิดขึ้นและใน Process ก็ควรที่จะได้รับการพิจารณา และบันทึกลงในแบบฟอร์ม FMEA ด้วยเพื่อเป็นการเตือนความทรงจำและเก็บบันทึกประวัติการดำเนินแก้ไขปัญหาที่ผ่านมา ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต การดำเนินกิจกรรม FMEA ควรมีการทบทวนและปรับปรุงเอกสาร ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิต ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการนำเครื่องจักรใหม่ ๆ เข้ามาใช้การเปลี่ยนแปลงสภาพการทำงาน หรือขั้นตอนการทำงาน เป็นต้น เพื่อให้เป็นเอกสารอ้างอิงและมีการเผยแพร่ให้ผู้เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานต่อไป

ค่าความเสี่ยง (Risk priority Number)

ดัชนีที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง ถึงถ้ามีค่าสูงแสดงว่ายิ่งมีระดับความรุนแรงมากเราควรให้ความสำคัญในการแก้ไขสิ่งนั้นเป็นอย่างแรก ๆ แต่ในบางกรณีถึงแม้ว่าค่า RPN มีค่าต่ำ แต่ระดับความรุนแรงของปัญหานั้นค่อนข้างมาก โอกาสเกิดสูงหรือการตรวจจับทำได้ยาก ในกรณีรี้เราก็ควรให้ความสำคัญ เช่นกัน โดยค่า RPN ได้ จากการนำค่าความรุนแรงคูณด้วยความถี่ในการเกิดคูณด้วยการตรวจพบ (Severity X Occurrence X Detection) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีค่าตั้งแต่ 1-1000

การประยุกต์ใช้ FMEA

- Process ใช้วิเคราะห์กระบวนการผลิตและประกอบ
- Design วิเคราะห์สินค้าก่อนการผลิต
- Equipment วิเคราะห์การออกแบบเครื่องจักร, อุปกรณ์ก่อนทำการจัดซื้อ
- Service วิเคราะห์กระบวนการให้บริการ ก่อนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า

<u>ขั้นตอนการทำ FMEA</u>

1. กำหนดลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์
2. ศึกษาลำดับขั้นตอนของกระบวนการหรือการออกแบบ
3. อธิบายลักษณะของงานหรือหน้าที่ของแต่ละขั้นตอน
4. ทบทวนหน้าที่หลักของแต่ละขั้นตอน
5. ระบุข้อผิดพลาดที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมด
6. ระบุผลกระทบจากแต่ละข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น
7. ระบุสาเหตุของแต่ละข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมด
8. ระบุการควบคุมในปัจจุบัน
9. ให้คะแนนระดับความรุนแรง, ความถี่ในการเกิด และความสามารถในการตรวจจับ
10. คำนวณค่า RPN พร้อมทั้งกำหนดค่า RPN ที่ต้องแก้ไข
11. ระบุวิธีการแก้ไขปรับปรุง โดยระบุผู้รับผิดชอบพร้อมทั้งวันกำหนดเสร็จ
12. ทบทวนค่า RPN เมื่อเสร็จสิ้นการดำเนินการแล้ว

<u>ประโยชน์ของ FMEA อาจกล่าวได้ดังนี้</u>

- เป็นการประกันว่าได้มีการพิจารณาปัญหาและข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นการดำเนินงาน
- เป็นการแยกแยะและลำดับความสำคัญของข้อผิดพลาดรวมทั้งผลกระทบที่เกี่ยวข้อง
- เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขล่วงหน้าเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาขึ้น
- เป็นการเก็บหลักฐานเชิงประวัติศาสตร์ สำหรับอ้างอิงในอนาคตเมื่อมีความต้องการที่จะปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตหรือผลิตภัณฑ์
- สร้างความมั่นใจให้ทีมงานที่มีส่วนร่วมในการหาวิธี ป้องกันปัญหาและของเสียต่าง ๆ
- เป็นระบบป้องกันที่สร้างขึ้นเพื่อการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า
- เป็นการเสนอผลงานที่มีระบบระเบียบและขั้นตอนที่ดีให้ฝ่ายบริหารไดรับทราบและพิจารณาแนวทางในการดำเนินการต่อไป
- นำปัญหาข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องหรือเกิดขึ้นในอดีตมาเป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตหรือออกแบบ
- ใช้แสดงสาเหตุหรือกลไกของปัญหา, ข้อบกพร่อง, ที่มีโอกาสเกิดขึ้น
- พัฒนาคุณภาพ, ความปลอดภัย, กระบวนการ
- ลดเวลาในการพัฒนาสินค้า, ค่าใช้จ่าย

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) สำหรับ PFMEA

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า หรือในการผลิต/ประกอบของลูกค้า กรณีที่เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้เลือกใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบที่มีต่อลูกค้า)	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า หรือในการผลิต / ประกอบของลูกค้า กรณีที่เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้เลือกใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบที่มีต่อการผลิต / ประกอบ)	ระดับ
อันตรายร้ายแรงโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	อันดับความรุนแรงสูงมาก เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย, การทำงานของยานยนต์ และหรือไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐโดยไม่มีการเตือน	หรือ อาจส่งผลอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน (เครื่องจักร, การประกอบการ) โดยไม่มีการเตือน	10
อันตรายร้ายแรงแต่มีการเตือนล่วงหน้า	อันดับความรุนแรงสูงมาก เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในการทำงานของยานยนต์ และ / หรือไม่สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐโดยมีการเตือน	หรือ อาจส่งผลอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน (เครื่องจักร, การประกอบการ) โดยมีการเตือน	9
สูงมาก	ความบกพร่องซึ่งทำให้ยานยนต์ / ประกอบไม่สามารถใช้งานได้ (สูญเสียความสามารถในการทำงานตามจุดประสงค์พื้นฐาน)	หรือ ผลิตภัณฑ์ต้องถูกจำกัดทิ้ง (100%) หรือยานยนต์ / ส่วนประกอบ ต้องถูกซ่อมในหน่วยงานซ่อมด้วยเวลาเกิน 1 ชั่วโมง	8
สูง	ความบกพร่องซึ่งทำให้ยานยนต์ / ส่วนประกอบมีสมรรถนะการทำงานที่ลดลง แต่ยังใช้งานได้ ทำให้ลูกค้าไม่พอใจอย่างมาก	หรือ อาจต้องมีการคัดแยกผลิตภัณฑ์ และบางส่วนต้องถูกกำจัดทิ้ง (น้อยกว่า 100%) หรือยานยนต์ / ส่วนประกอบต้องถูกซ่อมในหน่วยงานซ่อม ด้วยเวลาระหว่างครึ่งถึง 1 ชั่วโมง	7
ปานกลาง	ความบกพร่องซึ่งทำให้ยานยนต์ / ส่วนประกอบทำงานได้ แต่ส่วนประกอบที่เกี่ยวกับความสะดวกสบายไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	หรือ ส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 100%) อาจต้องถูกกำจัดทิ้ง โดยไม่ต้องคัดแยก หรือ ยานยนต์ / ส่วนประกอบต้องถูกซ่อมในหน่วยงานซ่อมด้วยเวลาไม่เกินครึ่งชั่วโมง	6

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) สำหรับ PFMEA (ต่อ)

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า หรือในการผลิต/ประกอบของลูกค้า กรณีที่เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้เลือกใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบที่มีต่อลูกค้า)	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า หรือในการผลิต / ประกอบของลูกค้า กรณีที่เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้เลือกใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบที่มีต่อการผลิต / ประกอบ)	ระดับ
ต่ำ	ความบกพร่องซึ่งทำให้ยานยนต์ / ส่วนประกอบทำงานได้ แต่ส่วนประกอบที่เกี่ยวกับความสะดวกสบายมีสมรรถนะการทำงานที่ลดลง แต่ใช้งานได้	หรือ ผลิตภัณฑ์ (100%) อาจถูกแก้ไขหรือยานยนต์ / ส่วนประกอบถูกซ่อมนอกสายการผลิตโดยไม่ต้องส่งไปยังหน่วยงานซ่อม	5
ต่ำมาก	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องกับความพอดี การตกแต่ง เสียงสั่นดัง ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สังเกตได้	หรือ ผลิตภัณฑ์อาจถูกคัดแยก และบางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกแก้ไขโดยไม่ต้องกำจัดทิ้ง	4
เล็กน้อย	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องกับความพอดี การตกแต่ง เสียงสั่นดัง ลูกค้าส่วนหนึ่ง (มากกว่า 50%) สังเกตได้	หรือ ผลิตภัณฑ์อาจถูกคัดแยกและบางส่วน (น้อยกว่า 100%)ถูกแก้ไขโดยไม่ต้องกำจัดทิ้งโดยการแก้ไขกระทำในสายการผลิตแต่นอกหน่วยผลิต	3
เล็กน้อยมาก	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้องกับความพอดี การตกแต่ง เสียงสั่นดัง ลูกค้าส่วนน้อย (น้อยกว่า 25%) สังเกตได้	หรือ ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกแก้ไขโดยไม่มีการกำจัดทิ้ง โดยการแก้ไขกระทำในสายการผลิตและในหน่วยผลิต	2
ไม่มีเลย	ไม่มีผลใด ๆ	หรือ เกิดความไม่สะดวกต่อกระบวนการ, ผู้ปฏิบัติงาน หรือไม่มีผลกระทบ	1

หมายเหตุ: ที่มาจากคู่มือการทำงาน การวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลการกระทบด้านกระบวนการของโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (0) สำหรับ PFMEA

ความน่าจะเป็นในการเกิดความล้มเหลว	อัตราความล้มเหลวที่น่าจะเกิดขึ้น	PPK	ระดับ
สูงมาก : เกิดความล้มเหลวบ่อยมาก	≥700 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	<0.55	10
	350 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥0.55	9
สูง : เกิดความล้มเหลวถี่	160 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥0.78	8
	80 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥0.86	7
ปานกลาง : เกิดความล้มเหลวเป็นครั้งคราว	40 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥0.94	6
	20 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥1.00	5
	10 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥1.10	4
ต่ำ : เกิดความล้มเหลวน้อยครั้ง	5 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥1.20	3
	1 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥1.30	2
แทบไม่เกิด : ความล้มเหลวไม่น่าจะเกิดขึ้นได้	≤1 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	≥1.67	1

หมายเหตุ: ที่มาจากคู่มือการทำงาน การวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลการกระทบด้านกระบวนการของโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ PFMEA

การตรวจพบ	เกณฑ์	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	ระดับ
		A	B	C		
แทบเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจพบได้			X	ไม่สามารถตรวจพบหรือไม่มีการตรวจ	10
เป็นไปได้ยากมาก	เป็นไปได้ยากมากที่การควบคุมจะตรวจพบ			X	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบทางอ้อม หรือการสุ่มตรวจสอบเท่านั้น	9
เป็นไปได้ยาก	เป็นไปได้ยากที่การควบคุมจะตรวจพบ			X	การควบคุมมีเพียงการตรวยสอบด้วยสายตาเท่านั้น	8
ต่ำมาก	เป็นไปได้ยากที่การควบคุมจะตรวจพบ			X	การควบคุมมีการตรวจสอบด้วยสายตา 2 ครั้งเท่านั้น	7
ต่ำ	การควบคุมอาจตรวจพบได้		X	X	การควบคุมมีการใช้ผังควบคุม เช่น SPC (การควบคุมกระบวนการด้วยกลวิธีทางสถิติ)	6
ปานกลาง	การควบคุมอาจตรวจพบได้		X		มีการใช้เกจต่าง ๆ ตรวจสอบหลังจากชิ้นงานออกจากหน่วยผลิต หรือมีการใช้ Go/No Go เกจตรวจสอบ 100% สำหรับ ชิ้นงานที่ออกจากหน่วยผลิต	5
ปานกลางถึงค่อนข้างสูง	การควบคุมมีโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	X	X		ตรวจพบข้อบกพร่องในกระบวนการย่อยต่าง ๆ ได้ หรือใช้เกจตรวจสอบการตั้งเครื่องและชิ้นงานแรก (สำหรับการตั้งเครื่องเท่านั้น)	4
สูง	การควบคุมมีโอกาสสูงที่จะตรวจพบ	X	X		ตรวจพบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติงานหรือตรวจพบในกระบวนการย่อยต่าง ๆ ได้โดยมีการกรองเพื่อยอมรับในหลาย ๆ ระดับ : การจัดหา, คัดเลือก, ติดตั้ง ทวนสอบ โดยไม่มีการยอมรับชิ้นงานบกพร่อง	3
สูงมาก	การควบคุมมีโอกาสค่อนข้างแน่นอนที่จะตรวจพบ	X	X		ตรวจพบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติ (มีการใช้เกจอัตโนมัติร่วมกับการหยุดอัตโนมัติ) ไม่สามารพที่จะส่งต่อชิ้นงานเสียได้	2
สูงมาก	การควบคุมแน่นอนที่จะตรวจพบ	X			ไม่สามารถเกิดชิ้นงานที่บกพร่องได้ เนื่องจากมีการป้องกันความผิดพลาดโดยกระบวนการและการออกแบบผลิตภัณฑ์	1

หมายเหตุ: ที่มาจากคู่มือการทำงาน การวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลการกระทบด้านกระบวนการของโรงงานตัวอย่าง

ชนิดของการตรวจสอบ

A = ตัวป้องกันความผิดพลาด (Error proofed)

B = ใช้เครื่องมือตรวจสอบ (Gauging)

C = การตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน (Manual inspection)

2.3 การหล่อโลหะ

กระบวนการงานหล่อในกรรมวิธีการผลิตใหม่ ๆ ได้พัฒนาขึ้นมามากมายหลายอย่าง ทั้งนี้เนื่องมาจากความจำเป็นที่จะต้องพยายามลดต้นทุนการผลิตชิ้นงานหล่อให้มากที่สุด และนอกจากจะคำนึงถึงต้นทุนแล้วยังต้องรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยชิ้นงานหล่อจะต้องมีขนาดประณีตใกล้ขนาดที่ต้องการจริง และมีมวลแน่นตลอดชิ้นงานนั้น ๆ

อย่างไรก็ตาม นอกจากกวรหล่อที่ได้จากแม่แบบหล่อที่ทำด้วยทรายซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องของความละเอียดของชิ้นงานหล่อและคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ และแบบหล่อทรายยังใช้ได้เพียงครั้งเดียวเพราะต้องถูกทำลายเมื่อเอาชิ้นงานหล่อออก จึงทำให้เกิดต้นทุนที่สูงถ้าจะผลิตชิ้นงานหล่อที่มีคุณภาพและความต้องการในการผลิตจำนวนมากเป็นแบบปริมาณมวล (mass production) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการหล่อวิธีพิเศษขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น

การหล่อโลหะแบบอัด

กระบวนการหล่อโลหะแบบอัดนี้จะใช้การหลอมโลหะหล่อเป็นน้ำโลหะก่อน ต่อจากนั้นอัดน้ำโลหะด้วยความดันสูงระหว่าง 200-30,000 นิวตันต่อตารางเซ็นติเมตร เข้าไปในแบบที่เป็นโลหะ ในแบบที่ใช้หล่อจะเป็นแบบที่ทำด้วยโลหะหรือแบบหล่อถาวร ซึ่งแบบอาจมีสองส่วนหรือมากกว่าสองส่วนประกอบกันก็ได้ วัสดุที่ใช้ทำแบบหล่อจะนิยมใช้เหล็กกล้าเนียวที่สามารถคงทนความร้นได้ดี การหล่อโลหะแบบอัดนี้เหมาะใช้กับหล่อชิ้นงานด้วยโลหะผสม อะลูมิเนียมประสม สังกะสีประสม ทองแดงประสม และแมกนีเซียมประสม ซึ่งชิ้นงานที่ได้จากงานหล่อบางชนิดสามารถทนแรงกดถึง 20,000 กิโลนิวตัน

กระบวนการหล่อโลหะสามารถแบ่งได้ 2 วิธีคือ วิธีอัดหล่อโดยตรงจากเบ้าหลอมโลหะหรือเรียกว่า วิธีหล่ออัดแบบช่องอัดร้อน (hot chamber die casting) และวิธีหล่ออัดแบบช่องอัดเย็น (cold chamber die casting)

การหล่อแบบช่องอัดร้อน (Hot Chamber Die Casting)

วิธีหล่อแบบนี้จะใช้หล่อโลหะประเภทโลหะผสมของสังกะสี ดีบุก และตะกั่ว เนื่องจากโลหะพวกนี้มีจุดหลอมเหลวต่ำ จะเห็นว่าเตาหลอมโลหะจะเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องหล่ออัดชนิดนี้ โดยช่องอัดร้อนจะส่งน้ำโลหะที่หลอมได้ที่ จากนั้นให้ใช้ลมอัดหรือลูกสูบอัดน้ำโลหะให้วิ่งผ่านหัวอัด (Port) เข้าสู่แบบหล่อ (mold cavity) จนเต็มแล้ว ขั้นตอนต่อไปลูกสูบจะเลื่อนกลับและเปิดช่องให้น้ำโลหะไหลเข้าในช่องอัดร้อนอีกครั้ง ส่วนชิ้นงานที่แข็งตัวหรือเย็นลง เครื่องจะเปิดแม่พิมพ์ออกซึ่งทำงานโดยระบบไฮดรอลิก สลักกระแทก (ejector pins) จะดันชิ้นงานสำเร็จให้หลุดออก ชิ้นงานหล่อที่ได้จากกรรมวิธีนี้จะมีความละเอียด โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ ±0.03 ถึง ±0.25 มิลลิเมตร และยังหล่อชิ้นงานที่มีขนาดบางถึง 0.25 มิลลิเมตร ตัวอย่างชิ้นงานได้แก่ พวกบูชแบบต่างๆ สกรู ก้ามเบรกของรถจักรยานยนต์ เป็นต้น

การหล่อแบบช่องอัดเย็น (Cold Chamber Die Casting)

กรรมวิธีการหล่อแบบช่องอัดเย็นจะใช้สำหรับการหล่อโลหะทองเหลืองประสมและอะลูมิเนียมประสมซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าโลหะที่ใช้หล่อแบบช่องอัดร้อน ฉะนั้นจะใช้ความดันสูงในการอัดน้ำโลหะประมาณ 5,600-22,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (39-150 เมกะปาสกาล) จะทำงานโดยระบบไฮดรอลิก เป็นเครื่องจักรอัตโนมัติ วิธีการทำงานจะเทน้ำโลหะลงในช่องอัดเย็นจากนั้นลูกสูบ (Plunger) จะอัดน้ำเข้าสู่โลหะแบบหล่อ (mold cavity) เมื่อน้ำโลหะเต็มในแบบหล่อแล้ว ระบบของเครื่องจะเปิดวาล์วให้น้ำหล่อเย็นไหลเวียนภายในแบบหล่อเป็นการหล่อเย็น จากนั้นโลหะแข็งตัว แบบหล่อจะถูกเปิดออกสลักกระแทก (ejector pins) จะกระทุ้งชิ้นงานออกจากแบบให้หลุดออกมา

2.4 **เหล็กหล่อ** (Cast Iron)

เหล็กหล่อเป็นโลหะผสมของเหล็ก คาร์บอน ซิลิคอน และธาตุอื่นๆ ซึ่งมีจำนวนน้อยมาก ถ้าเหล็กหล่อมีส่วนผสมของคาร์บอนสูง จะทำให้เกิดความเปราะได้ง่ายมาก เหล็กหล่อมีช่วงคุณสมบัติที่กว้างมากจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุต่างๆ ที่ผสมอยู่ ซึ่งธาตุเหล็กที่ผสมอยู่ในเหล็กหล่อได้แก่ เหล็ก คาร์บอน ซิลิคอน แมงกานีส ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เป็นต้น
ชนิดของเหล็กหล่อที่นิยมใช้กันทั่วไปในงานหล่อโลหะมีดังนี้

2.4.1 เหล็กสีเทา (Gray Iron)

เหล็กหล่อสีเทาเป็นชื่อเรียกทางการค้า มีรอยสีเทาซึ่งเป็นรอยเส้นของแกรไฟต์ เหล็กหล่อชนิดนี้ตบแต่งด้วยเครื่องมือกลได้ง่ายรับแรงอัดได้มากและมีความเข็งแรงทางด้านแรงดึงอยู่ในช่วง140-415เมกะปาสกาล (Mpa) แต่จะมีความเหนียวต่ำ โดยมีเปอร์เซ็นต์ของธาตุผสมดังนี้

คาร์บอน	3.00-3.50%
ซิลิคอน	1.00-2.75%
แมงกานีส	0.40-1.00%
ฟอสฟอรัส	0.15-1.00%
กำมะถัน	0.02-0.15%
เหล็ก	ส่วนที่เหลือ

2.4.2 เหล็กหล่อสีขาว (White Iron)

โลหะชนิดนี้จะแสดงส่วนที่มีสีขาว เนื่องจากคาร์บอนอยู่ในรูปคาร์ไบต์ (Fe_3C) ซึ่งรู้จักกันในชื่อซีเมนไทต์ (cementile) เป็นส่วนประกอบที่แข็งที่สุดของเหล็ก ดังนั้นเครื่องมือกลปกติจะใช้ไม่ได้ แต่ต้องใช้การเจียระไนแทน

เหล็กหล่อสีขาวผลิตจากการการหล่อในแบบโลหะเพื่อต้องการผิวหน้าที่แข็งแรง ต้านทานการสึกหรอผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกรรมวิธีนี้ เช่น ล้อรถไฟ ลูกกลมแบริ่ง และแผ่นรองบด (Jaw crusher) เป็นต้น เหล็กหล่อสีขาวมีส่วนประกอบตามมาตรฐาน ASTM A 47-33, เกรด 35018 ดังนี้

คาร์บอน	1.75-2.30%
ซิลิคอน	0.85-1.20%
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.4 %
ฟอสฟอรัส	น้อยกว่า 0.2%
กำมะถัน	น้อยกว่า 0.12%
เหล็ก	ส่วนที่เหลือ

2.4.3 เหล็กหล่อลาย (Mottled Cast Iron)

เหล็กหล่อลายเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งกลางระหว่างเหล็กหล่อสีเทาและสีขาว ซึ่งตั้งชื่อขึ้นตามลักษณะของรอยที่ปรากฏขึ้นจากการหล่อซึ่งผิวด้านหน้าตัดได้รับการชิล (chilled)

2.4.4 เหล็กหล่อมัลลีเอเบิล (Malleable Cast Iron)

เหล็กหล่อมัลลีเอเบิลเป็นเหล็กหล่อที่ทำขึ้นต่อจากกระบวนการผลิตเหล็กหล่อสีขาว โดยนำไปอบอ่อนให้ความร้อนกระจายสม่ำเสมอเป็นเวลา 3 – 4 วัน ที่อุณหภูมิ 1,500 – 1,850° F โดยคาร์ไบต์จะเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นเม็ดกลม สามารถต้านทานแรงดึงถึง 55,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราส่วนการยืดตัว 18 % มีความต้านทานต่อแรงกระแทกได้ดี สามารถตบแต่งชิ้นงานได้ง่าย มักจะนำไปใช้ในการทำรางรถไฟ ท่อน้ำ และเครื่องมือทางการเกษตร

2.4.5 เหล็กหล่อเหนียว (Ductile Iron)

เหล็กหล่อเหนียวเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงและความเหนียวสูง คาร์บอนในเหล็กประเภทนี้อยู่ในรูปแกรไฟต์เม็ดกลมซึ่งเกิดขึ้นโดยการเติมสารประกอบของแมกนีเซียม แมกนีเซียมนิกเกิล หรือโลหะผสมของซิลิคอน – ทองแดง – แมกนีเซียม (magnesium-copper-ferrosilicon) เพื่อทำให้เนื้อเหล็กเป็นสีเทา เหล็กชนิดนี้ปกติจะใช้หล่อชิ้นงานแล้วอบอ่อนให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ แต่เวลาอบจะสั้นกว่าเหล็กมัลลีเอเบิล ตัวอย่างชิ้นงาน เช่น เพลาข้อเหวี่ยง และชิ้นส่วนต่าง ๆ ในเครื่องจักร

2.5 งานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1) วชิราภรณ์ เศรษฐนันท์, (2542) ได้ศึกษาเรื่องการลดชิ้นส่วนของเสียในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ กล่าวถึงการศึกษาและรวบรวมข้อมูลการสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตลอดจนวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการพร้อมทั้งหาสาเหตุของการสูญเสียและหาแนวทางหรือวิธีการในการก้ไขสาเหตุของการสูญเสีย โดยการ Training, 5 ส, PM, Supplier Control, WI,. Quality Control Process ในการพัฒนาการประสานงานในองค์กรให้มีประสิทธิภาพ เพราะการสื่อสารและการประสานงานเป็นขั้นตอนแรกที่จะนำไปสู่การจัดการต่าง ๆ

2) ธนะศักดิ์ ทุเรียน, (2543) ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพกรณีศึกษา งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพโดยใช้โรงงานผลิตชิ้นส่วนยางเป็นกรณีศึกษา โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาระบบการควบคุมคุณภาพ เพื่อนำไปสู่การประกันว่าชิ้นานหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ผ่านการผลิตใน แต่ละขั้นตอนจนถึงลูกค้า ว่าจะมีคุณภาพที่ดีขึ้น งานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

1. การจัดตั้งระบบควบคุมคุณภาพ
2. วิเคราะห์ผล
3. การดำเนินการแก้ไข และป้องกันด้วยเครื่องมือทางด้าน QC ได้แก่ QC 7 TOOLS, การวิเคราะห์ความล้มเหลว (FAILURE MODE AND EFFEC ANALYSIS; FMEA)
4. การประเมินผลหลังการแก้ไข / ปรับปรุง
5. การจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน

ผลการวิจัย พบว่าสามารถลดเปอร์เซ็นต์ของเสียในระหว่างกระบวน การผลิต และคำร้องเรียนจากลูกค้าที่เกิด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดซึ่งสูงมาก

3) อรรถพล ฤทธิภักดี, (2544) ได้ศึกษาเรื่องการปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ให้เหมาะสม ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้ทำให้เปอร์เซนต์ของเสียในกระบวนการผลิตลดลง ข้อร้องเรียนจาลูกค้าลดลง พร้อมกับมีวิธีการและมาตรฐานในการทำงานเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำ โดยใช้เทคนิคแผนผังกางปลา (Cause and Effect Diagram) เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้ทั้งหมด และเทคนิค Seven new QC tools บางเครื่องมือ เช่น แผนภาพความสัมพันธ์ (Relation Diagram) มาทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการค้นหา

ความสัมพันธ์ของปัญหา และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิต (PFMEA) เพื่อแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการผลิต

4) เฉลิมพล ลีลาผาติกุล, (2540) ได้ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์และควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบทางคุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของยางรถยนต์โดยใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) มาใช้วิเคราะห์และควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตยางรถยนต์ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตและค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องทุกขั้นตอนการผลิต โดยอาศัยแผนภาพแสดงเหตุและผล แผนภาพความสัมพันธ์และแผนภาพต้นไม้ เป็นเครื่องมือช่วยในการค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องเหล่านั้น จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญการผลิตนั้นมาวิเคราะห์เพื่อประเมินค่าความรุนแรงของข้อบกพร่อง การเกิดข้อบกพร่อง และการควบคุมกระบวนการเพื่อคำนวณหาค่าดัชนี (Risk Priority Number หรือ RPN) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความเสี่ยงที่เกิดข้อบกพร่องโดยค่า RPN ยิ่งมากจะหมายถึงมีความเสี่ยงที่เกิดข้อบกพร่องสูง โดยภายหลังจากการดำเนินงาน ทำให้จำนวนของยางเสียลดลง

5) นิพนธ์ ชวนะปราณี, (2543) ได้ศึกษาเรื่องการประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA และ FTA ในงานการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้า งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อกำหนดและควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการออกแบบและการผลิตสายไฟฟ้าประเภททนไฟ โดยการประยุกต์ใช้ FTA และ FMEA ในการออกแบบและกระบวนการผลิตเป็นเครื่องมือคุณภาพหลัก จากการดำเนินงานพบว่า ข้อบกพร่องต่างๆของทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกัน โดยจำนวนข้อบกพร่องที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FMEA มีจำนวนมากกว่าและครอบคลุมทุกหัวข้อของผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTA ในการปรับปรุงแก้ไขและควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการออกแบบและการผลิตนั้น จึงอ้างอิงผลจาก FMEA เป็นหลัก ผลที่ได้จากการดำเนินงานคือ ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

6) โฆษิต สุขก้องวารี, (2541) ได้ศึกษาเรื่องอิทธิพลของอุณหภูมิต่อโฟลว์ไลน์และโคลด์ชัตในกระบวนการฉีดอะลูมิเนียมแบบไดแคสติง งานวิจัยนี้เป็นการหาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อโฟลว์ไลน์และโคลด์ชัตในกระบวนการฉีดอะลูมิเนียมแบบไดแคสติง จากการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าน่าจะมีผลต่ออุณหภูมิของแม่พิมพ์ซึ่งมีผลต่อการเกิดโฟลว์ไลน์และโคลด์ชัต มาทำการออกแบบการทดลอง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวได้แก่ อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ และเวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์ ซึ่งเมื่อได้ทำการ

ทดลองแบบฟิกซ์เอฟเฟก (Fixed Effects Model) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อโฟลว์ไลน์และโคลด์ชัต คืออัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นแม่พิมพ์ เวลาการพ่นน้ำหล่อลื่นหน้าแม่พิมพ์และอิทธิพลร่วมของปัจจัยหลักทั้งสอง

7) สุชาติ ชีวสาธน์, (2539) ได้ศึกษาเรื่องผลกระทบของปัจจัยการควบคุมที่มีต่อสมบัติของอะลูมิเนียมในกระบวนการฉีดแบบไดแคสติง งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปัจจัยการควบคุมในการผลิตที่สำคัญที่มีต่อคุณสมบัติของชิ้นงานอะลูมิเนียมในขบวนการผลิตแบบไดแคสติง ได้แก่ ระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงของการเคลื่อนที่ช้า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่ช้า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบในช่วงการเคลื่อนที่เร็ว ความดันในการอัดชิ้นงานในช่วงการแข็งตัว เวลาในการปล่อยให้ชิ้นงานแข็งตัวในแม่พิมพ์ รวมถึงการปรับอัตราการหล่อเย็นของน้ำหล่อเย็นในแม่พิมพ์ โดยมุ่งเน้นผลทางด้านคุณภาพที่สอดคล้องในเรื่องของโครงสร้างทางจุลภาคและทางกล