

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

การทำวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิต I.C. (Integrated Circuit) แผงวงจรรวมที่ผ่านการชุบผิวแบบ PPF (Pre-Plate Frame) นี้ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลงานวิจัย ทฤษฎี และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีภาวะล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบ Failure Mode and Effects Analysis

หลักการ FMEA ได้ถูกพัฒนาโดยหน่วยงานอากาศยานทางทหารของอเมริกา (ได้แก่ กองทัพอากาศ กองทัพเรือ องค์การ NASA) ตั้งแต่ทศวรรษที่ 60 จากนั้นได้มีการประยุกต์ใช้กับ บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ชั้นนำของโลก ได้แก่ Ford GM และ Chrysler หรือที่รู้จักกันว่า BIG TREE โดยเป็นข้อกำหนดที่สำคัญของระบบมาตรฐาน QS-9000 และในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาเป็น TS-16949 ใช้กับบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบต่างและบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือ I.C

FMEA จะมุ่งเน้นให้เห็นถึงคุณลักษณะของความเสียหายหรือสาเหตุที่จะนำไปสู่ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น (Potential Failure Mode) อันเนื่องมาจาก การออกแบบ การผลิต หรือ การบริการ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลกระทบของความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Effect Analysis) และสุดท้ายก็เพื่อการนำไปสู่การหาวิธีป้องกันการเกิดความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Problems Prevention)

FMEA แบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. Design FMEA (DFMEA) คือการปรับปรุงออกแบบโดยวิธีการ FMEA
2. Process FMEA (PFMEA) คือการปรับปรุงการผลิตโดยวิธีการ FMEA
3. Service FMEA (SFMEA) คือการปรับปรุงการบริการโดยวิธีการ FMEA

1) คำจำกัดความ

1. ความเสียหาย (Failure) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถใช้งานได้ตามหน้าที่ที่กำหนดไว้

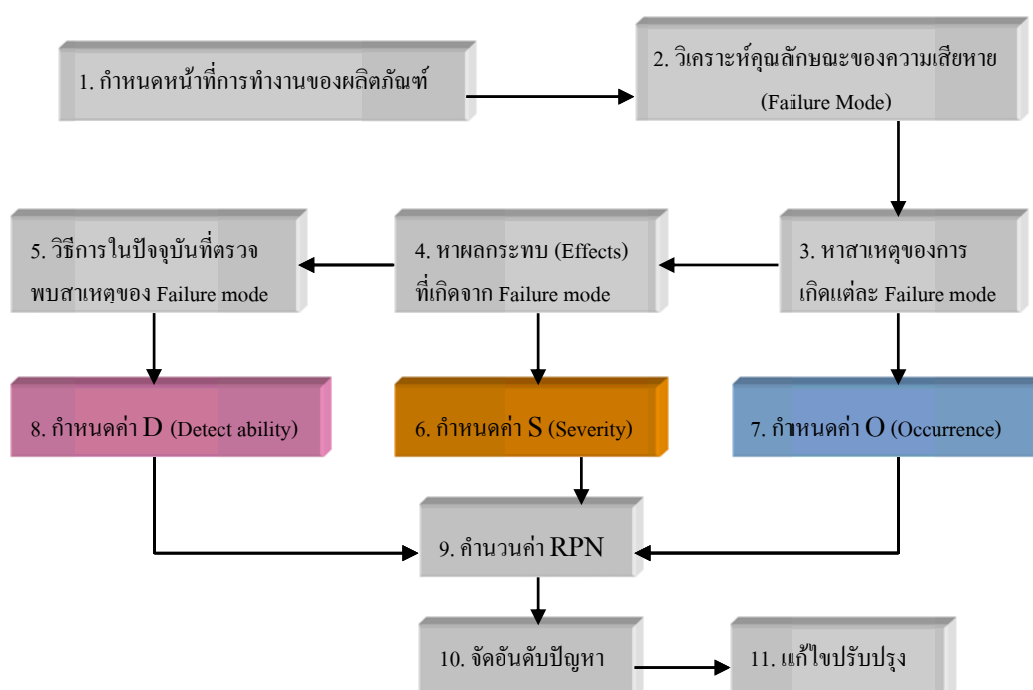
2. คุณลักษณะของความเสียหาย (Failure Mode) หมายถึง สภาวะการณ์ หรืออาการที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายที่ตามมา (Failure) ซึ่งอาการผิดปกติส่วนใหญ่แล้วจะเป็นคุณลักษณะ

ทางกายภาพ (Physical characteristics) ได้แก่ การแตกร้าว ความร้อน กลิ่นไหม้ การบิดเบี้ยว การร้าว สีเพี้ยน รอยร้าว เป็นต้น และสังเกตได้โดยการใช้ประสาทสัมผัส เช่น สายตา (ร้าว สีเพี้ยน รอยร้าว) หู (การสั่น) การสัมผัส (ความร้อน) และการได้กลิ่นผิดปกติ (กลิ่นไหม้) ถ้าอาการเหล่านี้ (Symptom) ไม่ได้รับการแก้ไขจะส่งผลกระทบไปยังชิ้นส่วน หรือ ระบบอื่นๆ และทำให้เกิดการขัดข้อง หรือ เสียหายได้ในที่สุด

3. ผลกระทบจากความเสียหาย (Effect) หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นจากความเสียหาย และส่งผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต และการบริการในที่สุด โดยส่วนใหญ่จะยึดจากผลกระทบที่เกิดกับลูกค้าเป็นหลัก ซึ่งอาจจะหมายถึงหน่วยงานที่รับผิดชอบถัดไป เช่น ฝ่ายผลิต ฝ่ายประกอบ หรือบริการ

4. การวิเคราะห์ (Analysis) หมายถึง การวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเพื่อหาทางป้องกันการเกิดความเสียหายขึ้นในอนาคต

2) ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพโดยหลักการ FMEA แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการใช้หลักการ FMEA

- 3) กำหนดผังการดำเนินงาน (Process Flow) เช่น การออกแบบ การผลิต
- 4) กำหนดหน้าที่หลักของผลิตภัณฑ์
- 5) วิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหาย (Failure Mode) ที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์

- 6) หาสาเหตุของการเกิดคุณลักษณะความเสียหาย (Cause of Failure Mode)
- 7) พิจารณาว่าลูกค่าจะรู้ได้อย่างไรถ้าเกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ (Effect)
- 8) กำหนดระดับของความรุนแรงของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ($S = \text{Severity}$) แสดงในตารางที่ 2.1 เป็นเกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) สำหรับ Process FMEA

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S) สำหรับ Process FMEA

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดการระดับนี้จะใช้เมื่อ แนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิด ข้อบกพร่องต่อลูกค้าสุดท้าย/หรือใน การผลิต/ประกอบ ลูกค้ายุติท้ายควร จะถูกพิจารณาก่อนเสมอกรณีที่เกิด เหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้ เลือกใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบต่อลูกค้า)	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบการ จัดการระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความ ล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า สุดท้าย/หรือในการผลิต/ประกอบ ลูกค้ายุติ ท้ายควรจะถูกพิจารณาก่อนเสมอกรณี ที่เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้เลือกใช้ ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบต่อ การผลิต/ประกอบ)	ระดับ
อันตราย ร้ายแรงโดย ไม่มีการเตือน ล่วงหน้า	อันดับความรุนแรงสูงมาก เมื่อ แนวโน้มความล้มเหลวส่งผล กระทบต่อความปลอดภัย, การ ทำงานของยานยนต์ และ/หรือไม่ สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐ โดยไม่มีการเตือน	หรืออาจส่งผลอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน (เครื่องจักร, การประกอบ) โดยไม่มีการ เตือน	10
อันตราย ร้ายแรงโดย มีการเตือน ล่วงหน้า	อันดับความรุนแรงสูงมาก เมื่อ แนวโน้มความล้มเหลวส่งผล กระทบต่อความปลอดภัย, การ ทำงานของยานยนต์ และ/หรือไม่ สอดคล้องกับกฎระเบียบของรัฐ โดยมีการเตือน	หรืออาจส่งผลอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน (เครื่องจักร, การประกอบ) โดยมีการ เตือน	9
สูงมาก	ความบกพร่องซึ่งทำให้ยานยนต์/ ส่วนประกอบไม่สามารถใช้งานได้ (สูญเสียความสามารถในการทำงาน ตามจุดประสงค์พื้นฐาน)	หรือผลิตภัณฑ์ต้องถูกจำกัดทั้ง (100%) หรือยานยนต์/ส่วนประกอบ ต้องถูกซ่อม ในหน่วยงานซ่อมด้วยระยะเวลาเกิน 1 ชั่วโมง	8

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดการระดับนี้จะใช้เมื่อ แนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิด ข้อบกพร่องต่อลูกค้าสุดท้าย/หรือใน การผลิต/ประกอบ ลูกค้านี้สุดท้ายควร จะถูกพิจารณาประเมินกรณีที่เกิด เหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้เลือก ใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบต่อลูกค้า)	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบการ จัดการระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความ ล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า สุดท้าย/หรือในการผลิต/ประกอบ ลูกค้านี้ สุดท้ายควรจะถูกพิจารณาประเมินกรณี ที่เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้เลือกใช้ ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบต่อ การผลิต/ประกอบ)	ระดับ
สูง	ความบกพร่องซึ่งทำให้ยานยนต์/ ส่วนประกอบมีสมรรถนะการ ทำงานที่ลดลงแต่ยังใช้งานได้ ทำให้ลูกค้าไม่พอใจอย่างมาก	หรืออาจต้องมีการคัดแยกผลิตภัณฑ์และ บางส่วนต้องถูกกำจัดทิ้ง (น้อยกว่า 100%) หรือยานยนต์/ส่วนประกอบต้องถูกซ่อม ในหน่วยงานซ่อม ด้วยระยะเวลาระหว่าง ครึ่งถึง 1 ชั่วโมง	7
ปานกลาง	ความบกพร่องซึ่งยานยนต์/ ส่วนประกอบได้แต่ส่วนประกอบ ที่เกี่ยวกับความสะดักสบายไม่ สามารถใช้งานได้ทำให้ลูกค้าไม่ พอใจ	หรือส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 100%) อาจต้องถูกกำจัดทิ้ง โดยไม่ต้อง คัดแยก หรือยานยนต์/ส่วนประกอบต้อง ถูกซ่อมในหน่วยงานซ่อม ด้วยระยะเวลา ไม่เกินครึ่งชั่วโมง	6
ต่ำ	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้อง ในด้านพอดี้, การตกแต่ง, เสียงสั่นดัง ลูกค้า	หรือผลิตภัณฑ์ (100%) อาจถูกแก้ไข, หรือยานยนต์/ส่วนประกอบ ต้องถูกซ่อม นอกสายการผลิตโดยไม่ต้องส่งไปยัง หน่วยงานซ่อม	5
ต่ำมาก	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้อง ในด้านพอดี้, การตกแต่ง, เสียงสั่น ดังลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สังเกตได้	หรือผลิตภัณฑ์อาจถูกคัดแยก และ บางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกแก้ไขโดย ไม่มีการกำจัดทิ้ง, โดยการแก้ไขกระทำ ในสายการผลิตแต่ไม่ออกหน่วยผลิต	4

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบ การจัดการระดับนี้จะใช้เมื่อ แนวโน้มความล้มเหลวที่ทำให้เกิด ข้อบกพร่องต่อลูกค้าสุดท้าย/หรือใน การผลิต/ประกอบ ลูกค้านี้สุดท้ายควร จะถูกพิจารณาก่อนเสมอกรณีที่เกิด เหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้ เลือกใช้ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบต่อลูกค้า)	เกณฑ์ : ความรุนแรงของผลกระทบการ จัดการระดับนี้จะใช้เมื่อแนวโน้มความ ล้มเหลวที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่อลูกค้า สุดท้าย/หรือในการผลิต/ประกอบ ลูกค้า สุดท้ายควรจะถูกพิจารณาก่อนเสมอกรณีที่ เกิดเหตุการณ์ได้ทั้ง 2 ลักษณะให้เลือกใช้ ค่าความรุนแรงที่มากกว่า (ผลกระทบต่อ การผลิต/ประกอบ)	ระดับ
เล็กน้อย	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้อง ในด้านพอดี, การตกแต่, เสี่ยงสั้นดัง ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 50%) สังเกตได้	หรือผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกแก้ไขโดยไม่มีการกำจัดทิ้ง, โดยการ แก้ไขการกระทำสายการผลิตแต่นอก หน่วยผลิต	3
เล็กน้อยมาก	ส่วนประกอบมีความไม่สอดคล้อง ในด้านพอดี, การตกแต่, เสี่ยงสั้นดัง ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 25%) สังเกตได้	หรือผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกแก้ไขโดยไม่มีการกำจัดทิ้ง, โดยการ แก้ไขการกระทำสายการผลิตแต่นอก หน่วยผลิต	2
ไม่มีเลย	ไม่มีผลใดๆ	หรือ เกิดความไม่สะดวกต่อกระบวนการ, ผู้ปฏิบัติงาน หรือ ไม่มีผลกระทบ	1

ที่มา: © Robere & Associates (Thailand) Ltd. Version 2.01; สมภพ ตลับแก้ว (2551)

9) พิจารณาถึงความถี่ของสาเหตุของการเกิดคุณลักษณะความเสียหาย (O = Occurrence of Cause of Failure Mode) ในตารางที่ 2.2 แสดงเกณฑ์การประเมินความถี่ (O) สำหรับ Process FMEA

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (O) สำหรับ Process FMEA

ความน่าจะเป็นในการเกิดความล้มเหลว	อัตราความล้มเหลวที่คาดว่าจะเกิดขึ้น	ระดับ
สูงมาก : เกิดความล้มเหลวบ่อยมาก	≥ 100 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	10
	50 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	9
สูง : เกิดความล้มเหลวถี่	20 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	8
	10 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	7
ปานกลาง : เกิดความล้มเหลวเป็นครั้งคราว	5 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	6
	2 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	5
	1 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	4
ต่ำ : เกิดความล้มเหลวน้อยครั้ง	0.5 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	3
	0.1 ครั้ง ต่อ 1,000 ชิ้น	2

ที่มา: © Robere & Associates (Thailand) Ltd. Version 2.01; สมภพ ตลับแก้ว (2551)

10) พิจารณาวิธีการปัจจุบันที่ทำการตรวจสอบการเกิดคุณลักษณะความเสียหาย (D = Detect ability of Cause of Failure Mode) ในตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ Process FMEA

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมินความเป็นไปได้ในการตรวจพบ (D) สำหรับ Process FMEA

การตรวจสอบ	เกณฑ์	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรวจพบ	ระดับ
		A	B	C		
แทบเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจพบได้			×	ไม่สามารถตรวจพบหรือไม่มีการตรวจ	10
เป็นไปได้ยากมาก	เป็นไปได้ยากที่จะควบคุมจะตรวจพบ			×	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบทางอ้อม หรือการสุ่มตรวจสอบเท่านั้น	9

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

การตรวจสอบ	เกณฑ์	ประเภทของการตรวจสอบ			การควบคุมที่ใช้เพื่อให้ตรงพบ	ระดับ
		A	B	C		
เป็นไปได้ยาก	เป็นไปได้ยากที่จะควบคุมจะตรงพบ			×	การควบคุมมีเพียงการตรวจสอบด้วยสายตาเท่านั้น	8
ต่ำมาก	เป็นไปได้ยากที่การควบคุมจะตรงพบ			×	การควบคุมมีการตรวจสอบด้วยสายตา 2 ครั้งเท่านั้น	7
ต่ำ	การควบคุมอาจตรงพบได้		×	×	การควบคุมมีการใช้ผังควบคุม เช่น SPC (การควบคุมกระบวนการด้วยกลวิธีทางสถิติ)	6
ปานกลาง	การควบคุมอาจตรงพบได้		×		มีการใช้เกณฑ์ต่างๆ ตรวจสอบหลังจากชิ้นงานออกจากหน่วยผลิต หรือมีการใช้ GO/No Go เกณฑ์ตรวจสอบ 100% สำหรับชิ้นงานที่ออกจากหน่วยผลิต	5
ปานกลางถึงค่อนข้างสูง	การควบคุมมีโอกาสสูงที่จะตรงพบ	×	×		ตรวจพบข้อบกพร่องในกระบวนการย่อยต่างๆ ได้หรือเกณฑ์ตรวจสอบการตั้งเครื่องและชิ้นงานแรก (สำหรับการตั้งเครื่องเท่านั้น)	4
สูง	การควบคุมมีโอกาสสูงที่จะตรงพบ	×	×		ตรวจพบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติงานหรือตรวจพบในหลายๆ ระดับ : การจัดการ , คัดเลือก, ติดตั้ง , ทวนสอบ โดยไม่มีการยอมรับชิ้นงานบกพร่อง	3
สูงมาก	การควบคุมมีโอกาสค่อนข้างแน่นอนที่จะตรงพบ	×	×		ตรวจพบข้อบกพร่องในจุดปฏิบัติงาน (มีการใช้แกจอัตโนมัติร่วมกับการหยุดอัตโนมัติ) สามารถที่จะส่งต่อชิ้นเสียได้	2
สูงมาก	การควบคุมแน่นอนที่จะตรงพบ	×			ไม่สามารถเกิดขึ้นงานที่บกพร่องได้เนื่องจากมีการป้องกันความผิดพลาดโดยกระบวนการและการออกแบบ	1

ชนิดของการตรวจสอบ

A = ตัวป้องกันความผิดพลาด

B = ใช้เครื่องมือตรวจสอบ

C = การตรวจสอบโดยผู้ปฏิบัติงาน

ที่มา: © Robere & Associates (Thailand) Ltd. Version 2.01; สมภพ ตลับแก้ว (2551)

11) คำนวณค่า Risk Priority Number (RPN) = S x O x D แบบฟอร์มการคำนวณอยู่ในตารางที่ 2.4 ค่า RPN นี้ต้องไม่เกิน 125 ถ้าคำนวณออกมาแล้วเกิน 125 ขึ้นไปจะต้องทำตามข้อเสนอแนะ (Recommend action) ทั้งหมด และถ้าค่านี้ต่ำกว่า 125 ก็จะทำหรือไม่ทำตามข้อเสนอแนะก็ได้แล้วแต่ข้อกำหนดของโรงงาน

ตารางที่ 2.4 แบบฟอร์มสำหรับ Process FMEA

Process Function Require	Potential Failure Mode	Potential Effect (S) of Failure	S E V	C l a s s	Potential Cause (S) Mechanism (S) of Failure	O c c u r	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Detection	D e t e c t	R. P. N.	Recommended Action (S)	Responsibility & Target Completions Date	Action Results				
													Action Taken	S E V	O c c u r	D e t e c t	R. P. N.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)

ความหมายของแต่ละช่องในฟอร์ม Process FMEA ตารางที่ 2.4

- 1) กระบวนการ/หน้าที่
- 2) ข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้น
- 3) ผลกระทบของข้อบกพร่อง
- 4) ระดับความรุนแรง (S = Severity)
- 5) การจัดลำดับความสำคัญ
- 6) สาเหตุของข้อบกพร่อง
- 7) ความถี่ในการเกิด (O = Occurrence of Cause of Failure Mode)
- 8) การป้องกันในปัจจุบัน
- 9) การตรวจจับในปัจจุบัน
- 10) ความสามารถในการตรวจจับ (D = Detect ability of Cause of Failure Mode)

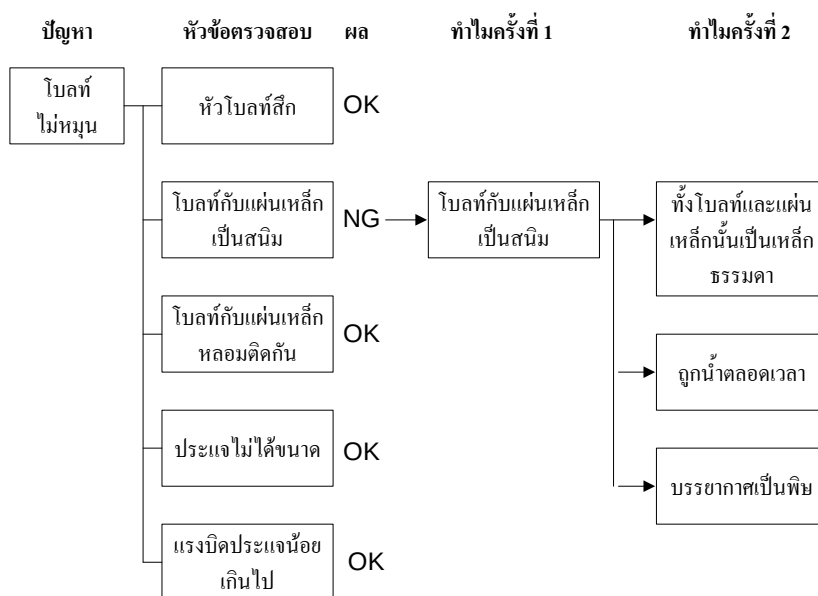
จากภาพที่ 2.2 เมื่อเรามีปัญหาอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น เราจะมาคิดกันว่าอะไรเป็นปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้มันเกิดโดยการตั้งคำถามว่า “ทำไม” โดยตั้งคำถามไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ปัจจัยที่เป็นต้นตอของปัญหาในช่องสุดท้าย ปัจจัยที่อยู่หลังสุด จะต้องเป็นปัจจัยที่สามารถพลิกกลับกลายเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพ (เป็นมาตรการป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นซ้ำอีก)

2.1.2.1 สะสางปัญหาให้ชัดเจนยึดกุมข้อเท็จจริงให้มั่นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ปัญหา ด้วย Why-Why Analysis จะต้องไปตรวจสอบสถานที่จริง และคุณภาพของจริง อันเป็นที่มาของปัญหาเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องชัดเจน ถ้าไม่สะสางให้ดี จะทำให้การวิเคราะห์กินวงกว้างเกินไป และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากเกินไป ถึงแม้ได้ผลการวิเคราะห์ออกมาก็ตาม มาตรการที่ตามมาจะมีมากกว่าที่จะนำมาปฏิบัติได้

2.1.2.2 ทำความเข้าใจในโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนที่เป็นปัญหาจะต้องทำการแจกแจงส่วนงานที่เป็นปัญหา ให้ออกมาเป็นไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วน แสดงความสัมพันธ์ของหน้าที่ แสดงค่าที่ควรจะเป็นของชิ้นส่วนนั้นๆ กับสภาพที่ใช้งานจริง หรือกล่าวได้ว่าเป็นการเปรียบเทียบ basic condition กับ working condition ฯลฯ ในกรณีของงานทั่วๆ ไป ให้เขียนภาพขั้นตอนหรือการไหลของงาน และทำความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ของงานนั้นๆ

2.1.2.3 การมองปัญหาของ Why-Why Analysis

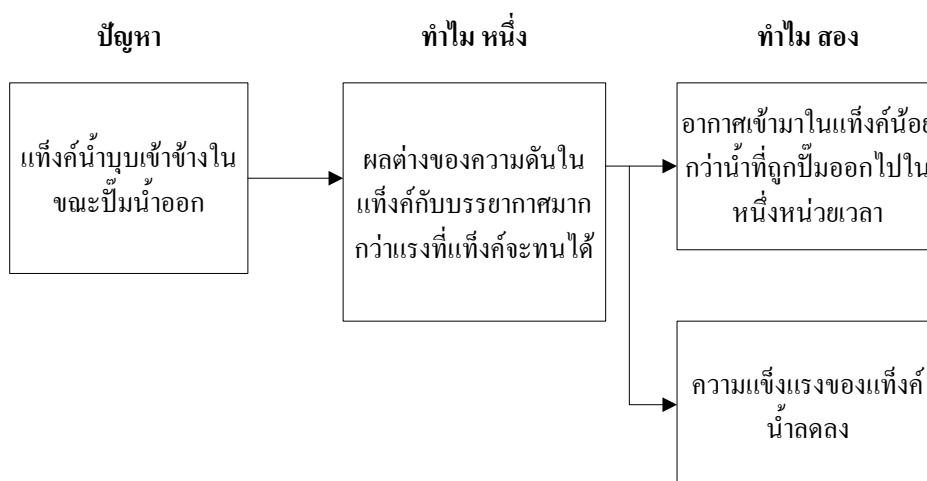
1) การมองจากสภาพที่ควรจะเป็นแนวทางแรกนั้นเป็นการค้นหาสาเหตุโดยการนึกภาพขึ้นมาในหัวว่าการจะทำให้ได้นั้น จะต้องมีการมีรูปแบบ ลักษณะ และเงื่อนไขอย่างไร การมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็นคือ การเปรียบเทียบวิธีการของตนเองกับสิ่งที่เป็มาตรฐานหรือเป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป “การมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็น” เป็นการกำหนดแนวทางในการค้นหาสาเหตุของปัญหาโดยการเปรียบเทียบปัญหาที่เกิดขึ้นกับสภาพที่ควรจะเป็น หลังจากกำหนดแนวทางได้แล้วก็จะตั้งคำถามว่า “ทำไม” ไปเรื่อยๆ แสดงดังตัวอย่างในภาพที่ 2.3 เพื่อค้นหาปัจจัยหรือสาเหตุออกมา



ภาพที่ 2.3 ฟังตัวอย่างการตั้งคำถามทำไมโบลท์ไม่หมุน

ที่มา: บัญญัติ นิยมวาส (2512) และ Moody International (Thailand) Co., Ltd. (2550)

2.1.2.4 การมองจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎีแสดงดังภาพที่ 2.4 เป็นการมองปัญหาจากการทำความเข้าใจกับหลักเกณฑ์หรือจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องจักรนั้นๆ



ภาพที่ 2.4 ปัญหาแท็งก์น้ำบุบเข้าข้างในขณะปั้มน้ำออก

ที่มา: บัญญัติ นิยมวาส (2512) และ Moody International (Thailand) Co., Ltd. (2550)

2.1.2.5 การมองปัญหาทั้งสองแบบมีข้อแตกต่างหรือข้อควรระมัดระวังดังนี้

- 1) ในกรณีที่ปัญหาหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเข้าใจได้ไม่ยากนัก หรือมีต้นเหตุของปัญหาเพียงหนึ่งสาเหตุ ควรใช้วิธีการมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็น
- 2) ในกรณีที่ปัญหาหรือปรากฏการณ์ที่สนใจ เกี่ยวข้องกับกลไกที่ค่อนข้างเข้าใจยาก หรือมีต้นเหตุของปัญหาหลายสาเหตุ ควรเลือกใช้วิธีการมองปัญหาจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี หากมีความเข้าใจมากพอแล้วอาจจะใช้ทั้งสองวิธีพร้อมๆ กันก็ได้

2.1.2.6 ข้อควรระวังในการทำ Why-Why Analysis

- 1) ข้อความที่ใช้เขียนตรงช่อง “ปัญหา” และช่อง “ทำไม” ต้องให้สั้นและกระชับ
- 2) หลังจากที่ทำ Why-Why Analysis แล้ว จะต้องยืนยันความถูกต้องตามหลักตรรกวิทยา โดยอ่านย้อนจาก “ทำไม” ช่องสุดท้ายกลับมายังช่อง “ปัญหา”
- 3) ให้ถามว่า “ทำไม” ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบปัจจัยหรือสาเหตุที่สามารถเชื่อมโยงไปสู่การวางมาตรการป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำอีก

2.1.2.7 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขด้วย Why-Why Analysis

- 1) กำหนดหัวข้อเรื่องที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไข
- 2) สำนวนความจริงของสภาพที่เป็นอยู่ของปัญหา ทั้งในด้านสถิติ และการไปสำรวจพื้นที่จริง ที่เกิดปัญหา
- 3) ตั้งเป้าหมายที่จะลดปัญหาที่เกิดขึ้นให้กลายเป็นศูนย์
- 4) กำหนดแผนของกิจกรรม
 1. สำนวนความจริง
 2. วิเคราะห์ด้วย Why-Why
 3. เสนอแนวทางแก้ไข
 4. ทำการแก้ไขตามแนวทางที่ได้เสนอไว้
 5. ตรวจสอบผลลัพธ์ พร้อมเขียน OPL หากจำเป็น

2.1.3 ใช้ทฤษฎีแผนผังก้างปลาหรือเรียกเป็นทางการว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) เราอาจคุ้นเคยกับแผนผังสาเหตุและผล ในชื่อของ "ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)" เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง หรือหลายๆ คนอาจรู้จักในชื่อของแผนผังอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) ซึ่ง

ได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดย ศาสตราจารย์คาโอริ อิชิกาวา แห่งมหาวิทยาลัย โตเกียว

2.1.3.1 เมื่อไรจึงจะใช้แผนผังก้างปลา

- 1) เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา
- 2) เมื่อต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจ หรือทำความเข้าใจกับกระบวนการอื่นๆ เพราะว่าโดยส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตนเท่านั้น แต่เมื่อมีการทำผังก้างปลาแล้ว จะทำให้เราสามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้น
- 3) เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางในการระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกๆ คนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

2.1.3.2 วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลาลงสำคัญในการสร้างแผนผังคือ ต้องทำเป็นทีม เป็นกลุ่ม โดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
- 2) กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ
- 3) ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
- 4) หาสาเหตุหลักของปัญหา
- 5) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
- 6) ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

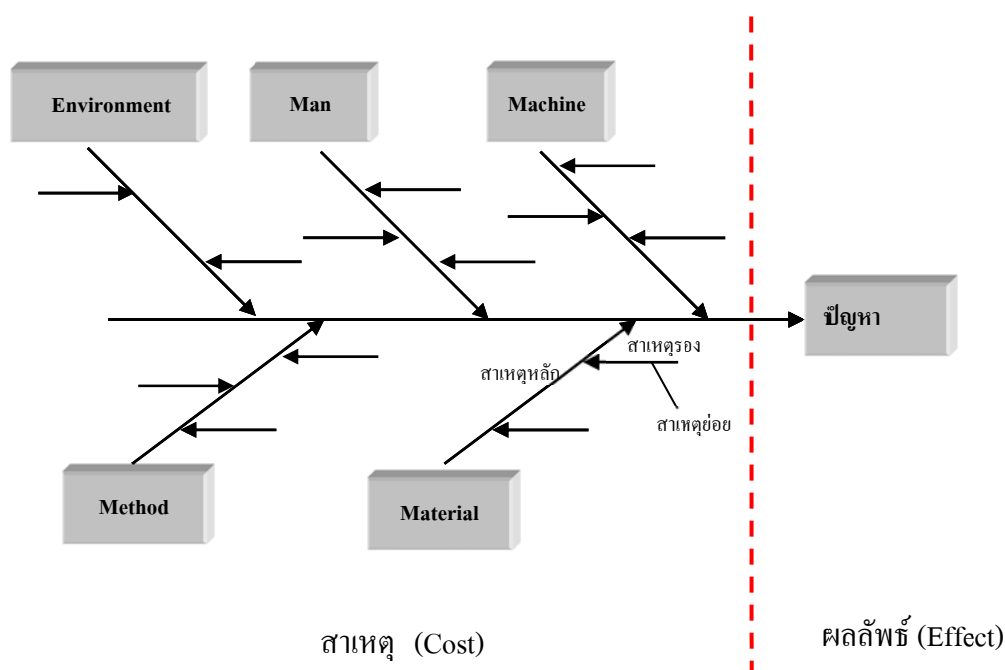
2.1.3.3 การกำหนดปัจจัยบนก้างปลาเราสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยอะไรก็ได้ แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่เรากำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้เราแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผลแสดงดังภาพที่ 2.5 โดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E นี้มาจาก

- 1) M-Man คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร
- 2) M - Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
- 3) M - Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
- 4) M - Method กระบวนการทำงาน
- 5) E - Environment อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการ – ทำงาน

แต่ไม่ได้หมายความว่า การกำหนดก้างปลาจะต้องใช้ 4M 1E เสมอไป เพราะหากเราไม่ได้อยู่ในกระบวนการผลิตแล้ว ปัจจัยนำเข้า (input) ในกระบวนการก็จะเปลี่ยนไป เช่น ปัจจัยการนำเข้าเป็น 4P ได้แก่ Place Procedure People และ Policy หรือเป็น 4S Surrounding Supplier System

และ Skill ก็ได้ นอกจากนั้น หากกลุ่มที่ใช้ก้างปลามีประสิทธิภาพในปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่แล้วก็สามารถที่จะกำหนดกลุ่ม ปัจจัยใหม่ให้เหมาะสมกับปัญหาดังแต่แรกเลยก็ได้เช่นกัน

2.1.3.4 การกำหนดหัวข้อปัญหาที่ห้วปลาการกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจน และมีความเป็นไปได้แสดงดังภาพที่ 2.5 ซึ่งหากเรากำหนดประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกแล้ว จะทำให้เราใช้เวลามากในการค้นหา สาเหตุ และจะใช้เวลานานในการทำผังก้างปลาการกำหนดปัญหาที่ห้วปลา เช่น อัตราของเสีย อัตราชั่วโมงการทำงานของคนที่ไม่มีประสิทธิภาพ อัตราการเกิดอุบัติเหตุ หรืออัตราต้นทุนต่อสินค้าหนึ่งชิ้น เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ควรกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบเทคนิคการระดมความคิดเพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียดสวยงาม คือ การถาม ทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้าง



ภาพที่ 2.5 ผังก้างปลาหรือผังกเหตุและผล

2.1.3.5 ผังก้างปลาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา
- 2) ส่วนสาเหตุ (Causes) จะสามารถแยกย่อยออกได้อีกเป็น
 1. ปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)
 2. สาเหตุหลัก
 3. สาเหตุย่อย

ซึ่งสาเหตุของปัญหา จะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรอง และก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก เป็นต้น

หลักการเบื้องต้นของแผนภูมิก้างปลา (fishbone diagram) คือการใส่ชื่อของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ ลงทางด้านขวาสุดหรือซ้ายสุดของแผนภูมิ โดยมีเส้นหลักตามแนวนอนของกระดูกสันหลัง จากนั้นใส่ชื่อของปัญหาย่อย ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาหลัก 3-6 หัวข้อ โดยลากเป็นเส้นก้างปลา (sub-bone) ทำมุมเฉียงจากเส้นหลัก เส้นก้างปลาแต่ละเส้นให้ใส่ชื่อของสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้นมา ระดับของปัญหาสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก ถ้าปัญหานั้นยังมีสาเหตุที่เป็นองค์ประกอบย่อยลงไปอีก โดยทั่วไปมักจะมีการแบ่งระดับของสาเหตุย่อยลงไปมากที่สุด 4-5 ระดับ เมื่อมีข้อมูลในแผนภูมิที่สมบูรณ์แล้ว จะทำให้มองเห็นภาพขององค์ประกอบทั้งหมด ที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

2.1.3.6 ข้อดี

1) ไม่ต้องเสียเวลาแยกความคิดต่างๆ ที่กระจัดกระจายของแต่ละสมาชิก แผนภูมิก้างปลาจะช่วยรวบรวมความคิดของสมาชิกในทีม

2) ทำให้ทราบสาเหตุหลักๆ และสาเหตุย่อยๆ ของปัญหา ทำให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งทำให้เราสามารถแก้ปัญหาได้ถูกวิธี

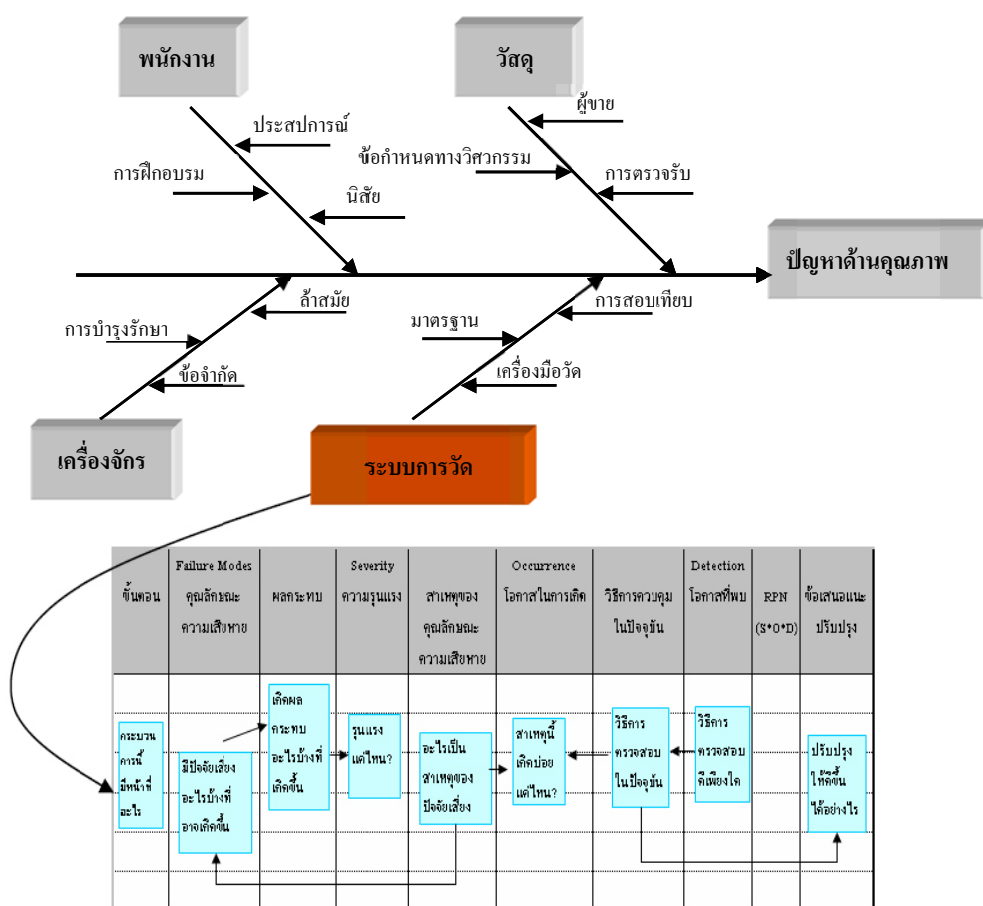
2.1.3.7 ข้อเสีย

1) ความคิดไม่อิสระเนื่องจากมีแผนภูมิก้างปลาเป็นตัวกำหนดซึ่งความคิดของสมาชิกในทีมจะมารวมอยู่ที่แผนภูมิก้างปลา

2) ต้องอาศัยผู้ที่มีความสามารถสูง จึงจะสามารถใช้แผนภูมิก้างปลาในการระดมความคิด

2.1.4 ทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลากับ FMEA

การวิเคราะห์ปัญหาในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยใช้แผนภูมิแสดงสาเหตุและผล (แผนภูมิก้างปลา) จะมีการกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ (Possible Cause) ไว้เพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการแก้ปัญหา เพื่อนำไปสู่การเริ่มต้นการแก้ไขรากของปัญหาด้วยวิธี FMEA แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิแกนต์และ FMEA

ที่มา: สัมภาษณ์ (2551)

2.1.5 ทฤษฎีการควบคุมการผลิตโดยข้อมูลทางสถิติ SPC (Statistical Process Control)

2.1.5.1 ความหมาย:

- 1) S: Statistical โดยอาศัยตัวเลขหรือข้อมูล
- 2) P: Process กระบวนการผลิต
- 3) C: Control เพื่อที่จะให้กระบวนการผลิตเป็นไปตามความต้องการ Statistical

Process Control: การควบคุมกระบวนการโดยสถิติคือการผสมผสานการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ เพื่อผลลัพธ์ในการคงสภาพของกระบวนการและลดความแปรปรวนในการผลิต

2.1.5.2 วัตถุประสงค์สำคัญของ SPC

- 1) ฝึติดิตตามดูความเป็นไปของกระบวนการผลิต
- 2) เพื่อควบคุมการผลิตให้เป็นไปตามความต้องการ

3) ช่วยสะท้อนถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เพื่อนำไปสู่การหาสาเหตุและการแก้ปัญหา

2.1.5.3 ประโยชน์ในการทำ SPC

1) ทำให้การผลิตทันต่อเหตุการณ์
2) รู้ถึงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) โดยใช้ค่า Cp หรือ Cpk เป็นตัวแสดงถึงความสามารถของกระบวนการ

3) ช่วยเพิ่มผลผลิตหรือเป็นการลดของเสีย

4) ช่วยป้องกันปัญหาด้านคุณภาพ

5) ใช้ข้อมูลเพื่อการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิต

2.1.5.4 การแบ่งข้อมูลตามคุณลักษณะของคุณภาพ มี 2 ชนิด

1) เชิงผันแปร (Variable Data) หมายถึงข้อมูลที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดเช่น น้ำหนัก ขนาดผลจากการตรวจวัดอยู่ในรูปจำนวนจริงได้ทุกค่าอย่างต่อเนื่องตัวอย่างเช่น การวัด Saw curve width Wire loop height Die shear strength, Bond pull test Lead co planarity เป็นต้น

2) เชิงคุณภาพ (Attribute Data) หมายถึงข้อมูลที่ได้จากการตรวจนับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน ผลการวัดอยู่ในรูปจำนวนเต็มหรือ เป็นการแบ่งประเภทเช่น ใช้ระบุว่าเป็นผลิตภัณฑ์ว่า ดี หรือ เสีย หรือนับจำนวนของเสียเช่นจำนวน Reject ยอมรับ/ไม่ยอมรับ ผ่าน/ไม่ผ่าน ค่าสัดส่วน เปอร์เซนต์ PPM เป็นต้น

2.1.5.5 ค่าสถิติที่ใช้แสดงลักษณะข้อมูลที่ได้จากการวัด

จากสูตร

$$\text{ค่าเฉลี่ย (X)} = \frac{\text{ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด}}{\text{จำนวนข้อมูล}} \quad [1]$$

$$\text{ค่าพิสัย (R)} = \text{ค่าสูงสุด} - \text{ค่าต่ำสุด} \quad [2]$$

2.1.5.6 ค่าสถิติที่ใช้แสดงลักษณะข้อมูลที่ได้จากการนับ

จากสูตร

$$\text{ค่าสัดส่วนของเสีย (P)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่เสีย}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad [3]$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนของเสีย} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่เสีย} \times 100}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad [4]$$

$$\text{PPM ของของเสีย} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่เสีย} \times 1,000,000}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad [5]$$

2.1.5.7 สาเหตุของความแปรปรวนในคุณภาพ

- 1) ความแตกต่างกันของเครื่องจักร
- 2) ความแตกต่างกันของวัสดุที่ใช้
- 3) ความแตกต่างกันของคน
- 4) ความแตกต่างกันในวิธีการทำงาน

2.1.5.8 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นเครื่องมือทางสถิติอย่างหนึ่งส่วนใหญ่นำมาใช้สำหรับศึกษาและควบคุมกระบวนการผลิตที่ทำซ้ำๆ กัน Dr.Walter A. She what เป็นผู้คิดค้นขึ้นมา 1924 เขาได้แนะนำว่าแผนการควบคุมสามารถสนองหน้าที่พื้นฐานได้ 3 ประการคือ

- 1) กำหนดเป้าหมายหรือมาตรฐานในการดำเนินงานได้ชัดเจน
- 2) ช่วยในการดำเนินงานบรรลุเป้าหมาย
- 3) ใช้ในการปรับปรุงเป้าหมาย

2.1.5.9 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิกราฟเส้น เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตโดยประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้นคือ

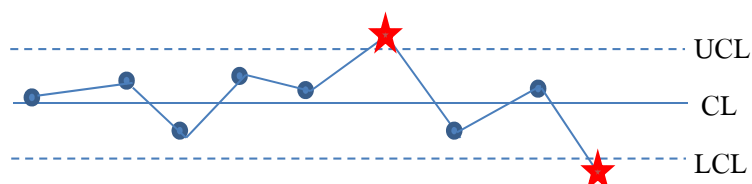
- 1) UCL: Upper Control Limit (เส้นควบคุมด้านบน)
- 2) CL: Control Limit (เส้นกลางหรือเส้นควบคุม)
- 3) LCL: Lower Control Limit (เส้นควบคุมด้านล่าง)



ภาพที่ 2.7 แสดงเส้นควบคุมต่างๆ

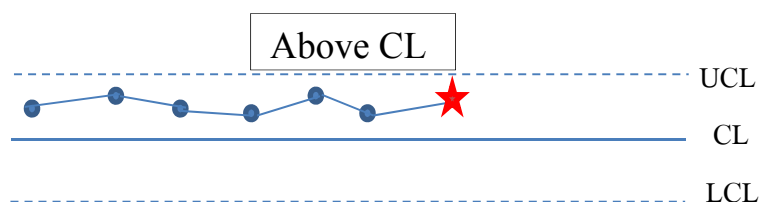
2.1.5.10 การพิจารณาว่ากราฟผิดปกติหรือไม่พิจารณาจาก

- 1) มีจุดใดจุดหนึ่งออกนอกเขตควบคุม (Out of control)

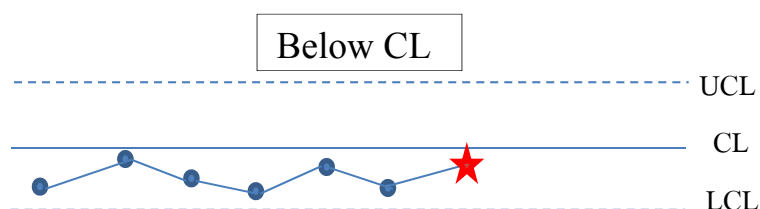


ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงจุดที่ออกนอกเส้นควบคุม

- 2) มี 7 จุดติดต่อกันวิ่งอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกลาง (Run)

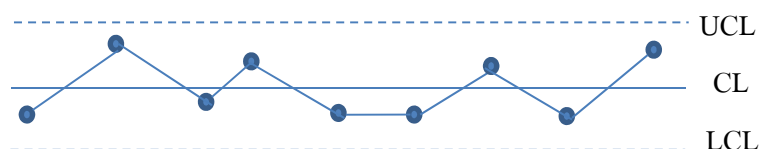


ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงจุดที่อยู่บนเส้นควบคุม



ภาพที่ 2.10 กราฟแสดงจุดที่อยู่ใต้เส้นควบคุม

- 3) กราฟที่ปกติ



ภาพที่ 2.11 กราฟแสดงจุดที่วิ่งแบบปกติ

2.1.5.11 กระบวนการที่อยู่นอกการควบคุม (Out of Control)

1) ปัจจัยพื้นฐานในการผลิต

1. Man พนักงาน ทักษะและวิธีการทำงาน
2. Machine เครื่องจักรและอุปกรณ์
3. Material วัสดุ หรือวัตถุดิบ
4. Measurement การตรวจวัด

2.1.5.12 สภาพแวดล้อมของกระบวนการผลิต

2.1.5.13 การคำนวณ และ Plot ค่าในแผนภูมิควบคุม

2.1.5.14 การพิจารณาแก้ปัญหา Out of control

2.1.5.15 การสอบกลับ (Traceability)

2.1.5.16 การตรวจสอบบันทึก สัมภาษณ์ สังเกต

2.1.5.17 การแก้ปัญหอย่างเป็นระบบ

2.1.5.18 การใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ประการ

2.1.5.19 Sense & Experience

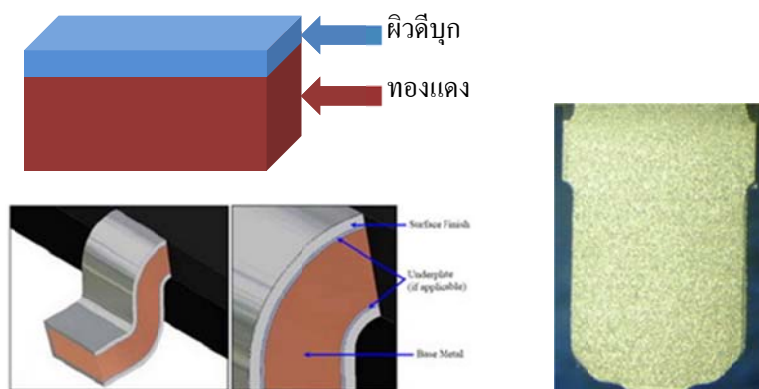
2.1.5.20 Fortune

ที่มา: SPC Reference Manual, Second Edition July 2005, Copyright © 2005

2.2 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 เทคโนโลยีการชุบแผงวงจรด้วย ดีบุก (Pure Tin Plate) และ การชุบผิวแผงวงจรด้วย นิกเกิล พาราเดียม ทอง (Ni Pd Au) โดยจะมีวัสดุหลักเป็นทองแดง

2.2.1.1 การชุบผิวแผงวงจรด้วยดีบุก (Pure Tin Plate) นั้นจะทำการชุบด้วยวิธี Electro Plating ลักษณะผิวที่ผ่านการชุบแผงวงจรด้วยดีบุกแสดงดังภาพที่ 2.12 และความหนาของดีบุกบนแผงวงจร (Lead Frame) ประมาณ 300-800 μ "



ภาพที่ 2.12 แสดงชั้นของดีบุกและลักษณะผิวบนแผงวงจร (Lead frame Copper)

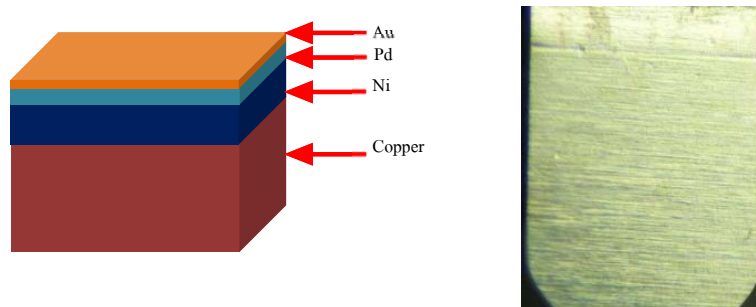
ที่มา: Lentus Technology (Thai) VG-PQC-001 (2008)

2.2.2 เทคโนโลยีการชุบแผงวงจรด้วย นิกเกิล พาราเดียม และทอง (Ni Pd Au) หรือเรียกว่า PPF Lead Frame แสดงดังภาพที่ 2.13 จะมีวัสดุหลักที่เป็นทองแดงที่ผ่านการชุบ 3 ชั้นด้วย นิกเกิล พาราเดียม และทอง โดยที่รวมความหนาทั้งหมดไม่เกิน 70 ไมโครอินช โดยมีความหนาแต่ละชั้นดังนี้

นิกเกิล (Ni) ความหนา 20 – 60 ไมโครอินช

พาราเดียม (Pd) ความหนา 0.3 – 2.4 ไมโครอินช

ทอง (Au) ความหนา 0.12 – 0.4 ไมโครอินช



ภาพที่ 2.13 แสดงชั้นและลักษณะผิวของ PPF (Pre-Plated Lead frame)

ที่มา: SAMSUNG TECHWIN Co., Ltd. (2007). Ultra-Thin u-PPF Technology Application

โดยสรุป PPF (Pre-Plate Frame) หรือ Lead Frame ที่ผ่านการชุบด้วย Ni Pd Au จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า Lead Frame ที่ผ่านการชุบด้วยดีบุกหลายเท่าตัวคือ 300-800 ไมโครอินช กับ 70 ไมโครอินช

2.2.3 เทคโนโลยีของการเคลือบผิวแม่พิมพ์แบบ DF Coating (Diamond Film Coating)

1) DF Coating จะมีความแข็งแรงทนทานและมีโครงสร้างเหมือน คริสตัลจึงเรียกอีกอย่างว่า Diamond-Like Carbon/DLC จะมีโครงสร้างทางกายภาพที่ไม่แน่นอนผิวจะมีความราบเรียบมากแต่ DLC Coating จะเคลือบผิวแค่ชั้นเดียวและจะเกิดปัญหาของการยึดติดกับวัสดุแม่พิมพ์ทำให้อายุการใช้งานสั้นกว่า จึงได้มีการพัฒนาการเคลือบผิวด้วยการเคลือบผิวมาเป็น DFC (Diamond Film Coating).แสดงดังภาพที่ 2.14 โดยฟิล์มชนิดนี้ก็คือฟิล์ม DLC ชนิดหนึ่งในเนื้อฟิล์มจะมีชั้นของทังสเตนคาร์ไบด์ (WC) แทรกอยู่ในชั้นของฟิล์ม DLC ด้วย



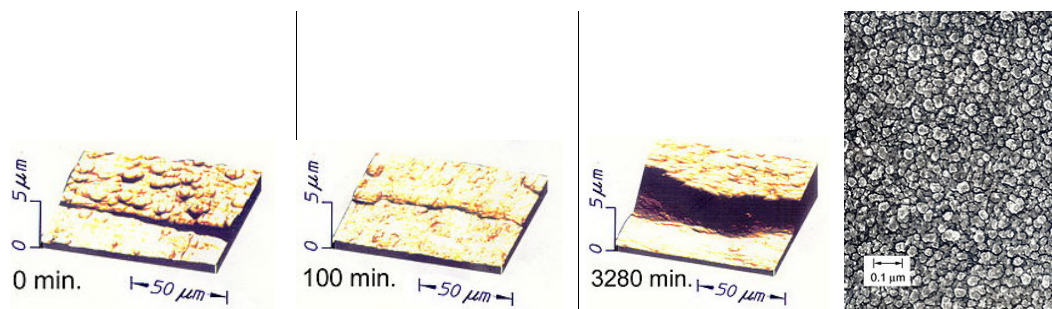
ภาพที่ 2.14 แสดงการเคลือบผิวด้วย DF Coating

ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/Diamond-like_carbon

2) การเคลือบผิวด้วยฟิล์มทังสเตนคาร์ไบด์/คาร์บอน (Diamond Film Coating) จะทำการเคลือบผิวทั้งหมด 3 ชั้นด้วย (Ti-Si-DLC) โทเทเนียม ซิลิคอน Carbide รวมความหนาประมาณ $1.3 \sim 1.5 \mu\text{m}$ แสดงดังภาพที่ 2.15 โดยแต่ละชั้นมีความหนาดังนี้

DLC Coating thickness: $1.0 \sim 1.1 \mu\text{m}$

Under Coating (Ti + Si): $0.3 \sim 0.4 \mu\text{m}$



ภาพที่ 2.15 แสดงความหนาและขนาด (Grain Size) ของผิว DF Coating

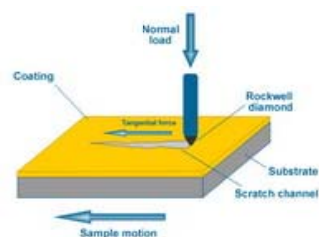
ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/Diamond-like_carbon

3) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผิวเคลือบจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบขึ้น จากเดิมจะใช้วิธี PVD (Physical Vapor Deposition) การทำปฏิกิริยาให้เกิดเป็นไอมาเกาะที่ตัวชิ้นงาน หรือแม่พิมพ์ และได้พัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบมาเป็น PACVD (Plasma-Assisted Chemical Vapor) การใช้ความร้อนช่วยเร่งปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการยึดเกาะได้ดีขึ้น

4) เครื่องมือหรือแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปงานเป็นเหล็กกล้าเกรด SKD-11 ที่ผ่านการชุบแข็งจะมีความแข็งอยู่ที่ 58-62 HRC และ AF-1 ที่มีความแข็งอยู่ที่ 90-92 HRC สำหรับการปรับสภาพและเคลือบผิวด้วยฟิล์มทังสเตนคาร์ไบด์/คาร์บอน (WC/C-PVD) ด้วยกระบวนการ PACVD (Plasma-Assisted Chemical Vapor) ด้วยเงื่อนไขทางเทคนิคของผู้ผลิตก่อนการเคลือบผิวแม่พิมพ์ ต้องผ่านการขัดละเอียด (Lapping) โดยมีค่าความหยาบเฉลี่ย Ra ประมาณ 0.02 ไมโครเมตร

5) คุณสมบัติของแม่พิมพ์ที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย DF Coating ที่เพิ่มประสิทธิภาพของแม่พิมพ์คือ ความแข็ง คุณสมบัติการยึดติด และความบางของผิวที่เคลือบที่มีผลการทดลองจากห้องทดลอง

ในภาพที่ 2.16 เป็นเครื่องมือในห้องทดลองชื่อว่า Laboratoires Suisse de Recherche Horlogères (LSRH) Neuchâtel ประเทศเยอรมันได้ใช้เครื่องมือทำการทดลองคือ Scratch Test Unit จะใช้หัว Diamond Rockwell C 120° ทรงกลมขนาด 200 ไมโครอินช

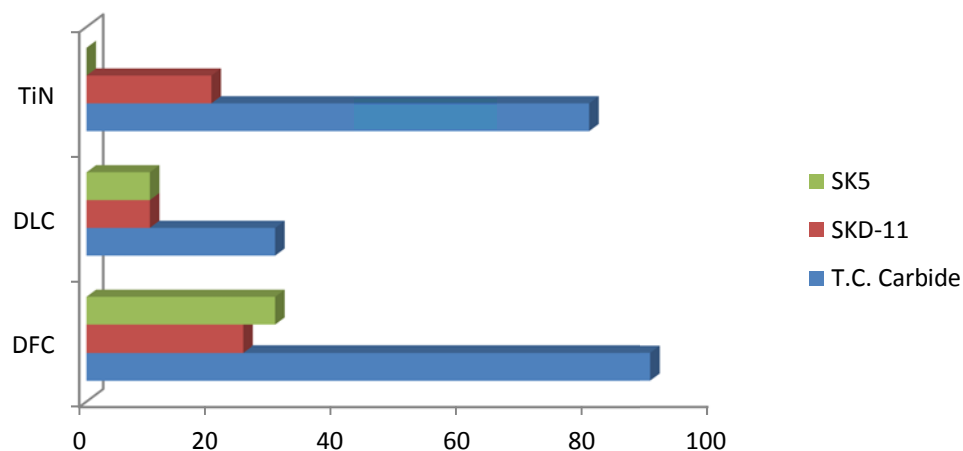


ที่มา: MICRO-TECH OVERSEAS LTD. (μ TECH) < PATENT > DF Coating (2539); Integrated Semiconductor Infra Technology ISIT (2003)

6) จากการทดสอบจะได้ความแตกต่างของคุณสมบัติของการยึดติด ระหว่าง DLC/DF Coating/Ti ไทเทเนียม เมื่อความหนาของผิวที่เคลือบเท่ากันประมาณ 1~ 2 ไมโครอินช หัว Test Rockwell จะลากผ่านชิ้นงานที่เคลือบขณะที่ลากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มน้ำหนัก (Load) และลากไปจนกระทั่งผิวที่เคลือบหลุด ปริ หรือถลอก ออกจากชิ้นงานเรียกว่า Critical Loading และเป็นค่าความสามารถในการยึดติด (Adhesive Strength).แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลการทดสอบความสามารถของการยึดติด (Adhesive Strength)

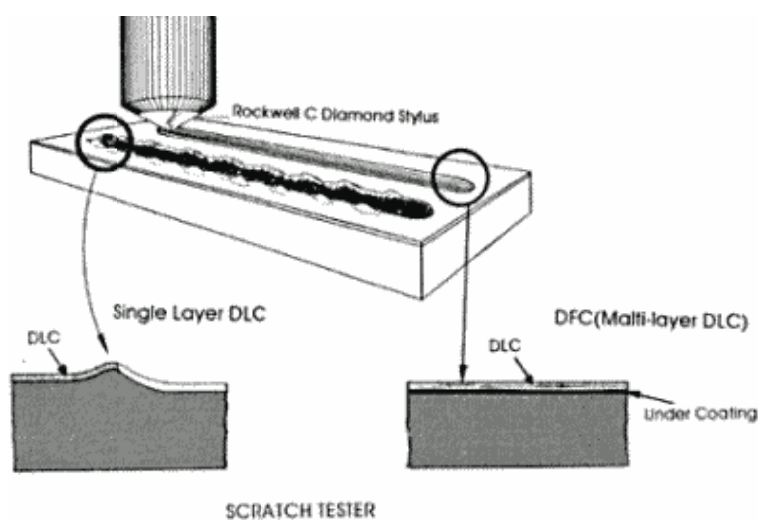
Material	Critical load with Coating Process (N)		
	DFC	DLC	TiN
T.C. Carbide	85-100	30	80
SKD-11	25	10	20
SK5	30	10	N/A



ภาพที่ 2.17 กราฟผลการทดสอบ Critical Loading ของผิว DF Coating

ที่มา: Integrated Semiconductor Infra Technology ISIT (2003)

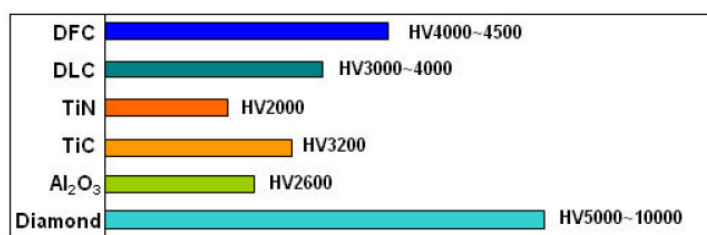
7) จากภาพที่ 2.17 กราฟแสดงว่าการเคลือบผิวด้วย DFC จะสามารถรับแรงกระทำได้มากที่สุดและภาพที่ 2.18 แสดงลักษณะของผิวเคลือบหลังการทดสอบ ผิวของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบด้วย DF Coating จะเกิดความเสียหายน้อยกว่า DLC



ภาพที่ 2.18 เปรียบเทียบความเสียหายของผิว DF Coating กับ DLC

ที่มา: MICRO-TECH OVERSEAS LTD. (μTECH) < PATENT > DF Coating (2539);

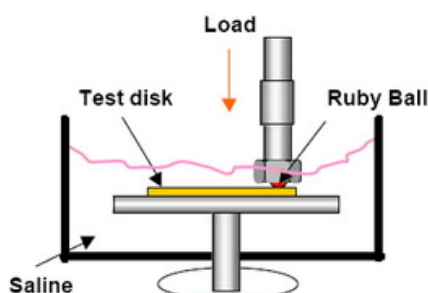
8) จากการทดสอบในห้องทดลองความแข็งของผิวเคลือบแบบ DF Coating จะอยู่ที่ HV4000~HV5000 จึงได้การเปรียบเทียบความแข็งกับวัสดุอื่น เช่น Aluminum oxide nitride เพชร (Diamond) และเปรียบเทียบกับเคลือบแบบ TiN, TiC หรือ Al₂O₃ แสดงดังภาพที่ 2.19 ผลที่ได้วัสดุที่มีความแข็งมากที่สุดคือเพชร (Diamond) ซึ่งมีความแข็งอยู่ที่ HV5000 – 10000 รองลงมาคือ DF Coating.



ภาพที่ 2.19 กราฟเปรียบเทียบความแข็งของ DF Coating กับเพชร และอื่นๆ

ที่มา: MICRO-TECH OVERSEAS LTD. (μTECH) < PATENT > DF Coating (2539);
Integrated Semiconductor Infra Technology ISIT (2003)

9) จากห้องทดลองความเสียดทาน Coefficient of sliding friction ของผิวที่เคลือบด้วย Sphere-on-disc tester จากตารางที่ 2.6 สรุปได้ว่า DF Coating มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานน้อยที่สุด



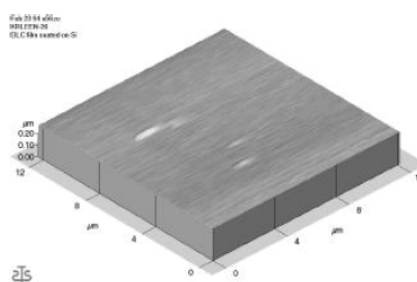
ภาพที่ 2.20 เครื่องทดสอบแรงเสียดทาน

ตารางที่ 2.6 ผลการทดสอบแรงเสียดทานของผิว (Coefficient of sliding friction)

ผิวเคลือบ	ความเร็วของ จานหมุน (mm./sec)	ระยะที่จาน หมุนได้ (M)	Coefficient of sliding friction
DF Coating	10	10	0.2
TiN (ไทเทเนียม)	10	10	0.7
CrN (โครเมียมไนไตรด์)	10	10	0.4
Carbide	10	10	0.65

ที่มา: MICRO-TECH OVERSEAS LTD. (μTECH) < PATENT > DF Coating (2539);
Integrated Semiconductor Infra Technology ISIT (2003)

10) จากการทดลองความเรียบผิวของ DF Coating ด้วยเครื่อง Atomic Force Microscope แสดงดังภาพที่ 2.21 ค่าความเรียบเป็น R_a มีหน่วยเป็น Angstroms (Å) และค่าที่วัดได้จาก DF Coating = 7.5 (Å)



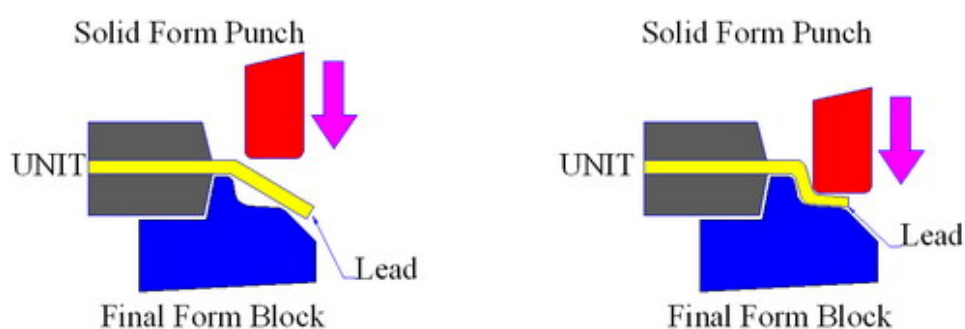
AFM Image of DFC coating

ภาพที่ 2.21 ความเรียบของผิวที่ถ่ายจาก Atomic Force Microscope

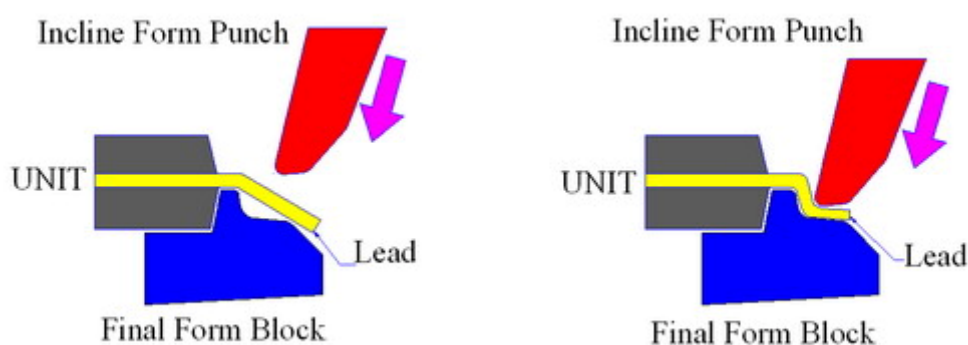
ที่มา: MICRO-TECH OVERSEAS LTD. (μTECH) < PATENT > DF Coating (2539);
Integrated Semiconductor Infra Technology ISIT (2003)

2.2.4 เทคโนโลยีการขึ้นรูปงานแบบเอียงเข้ามุม Incline form

การขึ้นรูปแบบกดลงแนวตั้ง (Solid Form) แสดงในภาพที่ 2.22 เป็นวิธีการขึ้นรูปโดยใช้ Solid Form Punch กดงานลงบนแม่พิมพ์ Final Form Block ในแนวตั้งทำให้แรงเสียดทานบนผิวมากและพื้นที่สัมผัสมาก แต่การขึ้นรูปงานแบบเอียงเข้ามุม (Incline Form) ที่มีการสัมผัสกับงานน้อยกว่าแสดงในภาพที่ 2.23 เป็นการเปรียบเทียบการขึ้นรูปงานทั้งสองแบบ



ภาพที่ 2.22 การขึ้นรูปแบบ Solid form



ภาพที่ 2.23 การขึ้นรูปแบบ Incline form

ที่มา: ASM Pacific Technology Ltd © (2011)

2.2.4.1 แรงที่จะทำให้งานโค้งขึ้นรูปจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุทองแดง

(Moment of bending is depend on the Material properly)

จากสูตร

$$M = n(UTS) \frac{[bT^2]}{4} \quad [6]$$

n = Correction coefficient hardening of material (Copper: $n = 1.6 - 1.8$)

UTS = Ultimate tensile strength of the material.

b = Width of beam (length of bending)

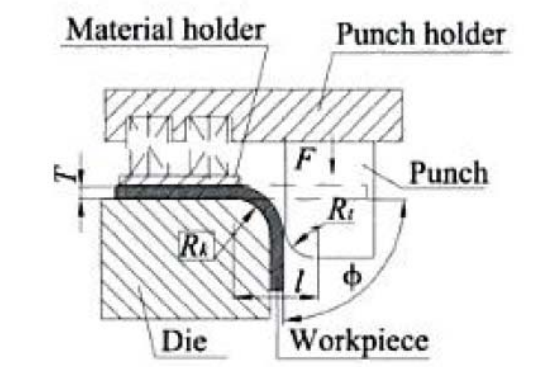
T = Material thickness

ที่มา: ASM Pacific Technology Ltd © (2011)

2.2.4.2 แรงที่กดลงบนงานขณะขึ้นรูปงานที่ขึ้นอยู่กับ มุมของงานและความเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างจุดหมุนกับ forming punch จากสูตรที่ [7] และภาพที่ 2.24 แสดงค่าและระยะต่างๆ

จากสูตร

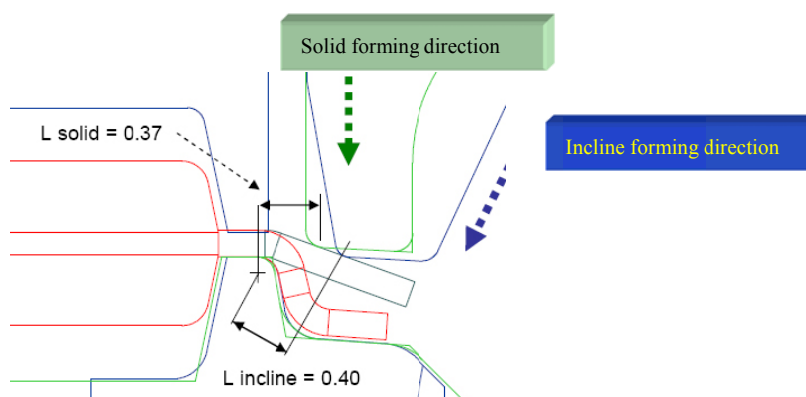
$$F = \frac{M}{l} (1 + \sin\phi) \quad [7]$$



ภาพที่ 2.24 สูตรของแรงกดและตำแหน่งต่างๆ ของการขึ้นรูปงาน

ที่มา: ASM Pacific Technology Ltd © (2011)

การเปรียบเทียบแรงของวิธีกดลงแนวดิ่ง (Solid Form) แทนด้วยสี่เหลี่ยม กับวิธีเอียงเข้ามุม (Incline Form) แทนด้วยสี่เหลี่ยมดังภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.25 แสดงระยะ L ของ Solid form และ Incline Form

ที่มา: ASM Pacific Technology Ltd © (2011)

แทนค่าต่างๆ ลงในสูตรที่ [7] หาค่า F (Bending Force)

$$\begin{aligned}
 F_{\text{Solid}} &= M \times (1 + \sin\theta) / L \\
 &= M \times (1 + \sin\theta) / 0.37 \\
 &= 2.703 [M \times (1 + \sin\theta)] \\
 F_{\text{Incline}} &= M \times (1 + \sin\theta) / L \\
 &= M \times (1 + \sin\theta) / 0.40 \\
 &= 2.5 [M \times (1 + \sin\theta)]
 \end{aligned}$$

ที่มา: ASM Pacific Technology Ltd © (2011)

จากการแทนค่าลงในสูตรที่ [7] สรุปได้ว่าแรงกด bending force (F) ของ Incline Form จะน้อยกว่า Solid Form 8 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นการขึ้นรูปงานแบบเอียงเข้ามุมจะมีโอกาสทำให้งานเป็นรอยขีด (Scratch) น้อยกว่า

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุพัฒน เกษราพงศ์ (2550) ได้ดำเนินการพัฒนาคุณภาพของการผลิตถุงเท้านักเรียน ยี่ห้อ XYZ มีของเสียเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต 5.26 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคนิค FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) มาช่วยวิเคราะห์เพื่อประเมินความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Severity: S) การเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence: C) และ การควบคุมกระบวนการ (Detection: D)

พบว่าสามารถลดปัญหาของเสียจากค่ายาขาดในกระบวนการกรอค่ายาซึ่งเป็นปัญหาหลัก จากการประเมินค่า RPN ก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 400 เมื่อทำการปรับปรุงโดยแก้สาเหตุของปัญหายาขาดทำให้ค่า RPN ลดลงเป็น 280

เกษมสันต์ สาลีโกชน (2548) ทำการวิเคราะห์ปัญหาของเสียของชิ้นส่วนเบาะยานยนต์ที่ขึ้นรูปจากแม่พิมพ์ และทำการควบคุม กระบวนการผลิตเพื่อลดและป้องกันการเกิดซ้ำของปัญหา และได้้นำเครื่องมือด้านการควบคุมคุณภาพ (QC Tool) ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลแล้วดำเนินการแก้ไขปัญหตามกระบวนการของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพของกระบวนการ (Process Failure Mode and Effect Analysis: PFMEA) โดยพิจารณาจากค่า RPN (Risk Priority Number) ว่าค่า RPN ของปัญหาใดมีค่าสูงกว่าจะถูกนำมาแก้ปัญหา ก่อนหลังจากการแก้ปัญหาแล้วสามารถลดชิ้นส่วนเบาะยานยนต์ที่เสียลงได้ จำแนกเป็นแต่ละกระบวนการได้ดังนี้ กระบวนการเตรียมแม่พิมพ์การผลิตปริมาณของเสียลดลงจาก 245.39 PPM เหลือ 1.29 PPM กระบวนการตั้งสภาวะเครื่องจักร จาก 720.3 PPM เหลือ 47.83 PPM, กระบวนการผสมน้ำยาที่หัวฉีดจาก 734.19 PPM ลดลงเหลือ 19.39 PPM, กระบวนการฉีดน้ำยาลดจาก 74.74 PPM จนไม่มีของเสียเลย, กระบวนการซ่อมแต่งชิ้นงานลดลงจาก 219.60 เหลือ 11.63 PPM

วิทย์ วรรณวิจิต (2547) ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มาประยุกต์ใช้ ทั้งนี้ได้คำนวณค่าความเสี่ยงขึ้น (RPN) เพื่อนำมาจัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องในการแก้ไข พบว่า จำนวนการผลิตแม่พิมพ์ล่าช้า มีค่าลดลงจาก 12.50 เปอร์เซนต์ในหนึ่งเดือนลดลง จนเหลือ 0 เปอร์เซนต์ จำนวนชิ้นส่วนประกอบแม่พิมพ์เสียในกระบวนการผลิตมีสัดส่วนลดลงจาก 7.69 เปอร์เซนต์ ลดลงเหลือ เปอร์เซนต์ ในหนึ่งเดือนและภายในสองเดือนเหลือ 0.78 เปอร์เซนต์ และ 1.02 เปอร์เซนต์ตามลำดับ จำนวนการซ่อมแซมแม่พิมพ์ระหว่างใช้งาน มีจำนวนลดลงเหลือ 2 ถึง 4 ครั้งในแต่ละเดือนและค่าความเสี่ยงขึ้นนำหลักการแก้ไขปรับปรุง พบว่ามีค่าลดลงโดยเฉลี่ย 55.19 เปอร์เซนต์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเสี่ยงขึ้นนำก่อนปรับปรุง ดังนั้นหลักการปรับปรุงกระบวนการผลิตดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นผลดีต่อองค์กรและสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นต่อไปได้อีก

สุชาติ แซ่แต้ (2548) ได้ทำการการปรับปรุงกระบวนการผลิตของกล่องกระดาษลูกฟูกเพื่อปรับปรุงแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกให้ดีขึ้นและลดการสูญเสียแรงเสียดทานให้น้อยที่สุด ได้มีการนำหลักการทางสถิติ Statistical Process Control และการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสียเกิดขึ้น 889×10^3 DPPM (Defect Part per Million) และมีความสามารถของกระบวนการการผลิต (Cpk) เป็น (-0.51)

ผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีปริมาณของเสียเกิดขึ้น เพียง 11.20 DPPM และความสามารถของกระบวนการ (Cpk) มีค่าเท่ากับ 1.34

สุพิเชษฐ์ สุจารีรัตน์ (2546) ทำการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซึ่งได้แบ่งเป็นสองหมวด คือ 1 รูปธรรมซึ่งหมายถึงผลิตภัณฑ์สระว่ายน้ำและ 2 นามธรรมซึ่งหมายถึงการบริการลูกค้า ใช้แบบสอบถามและอ้างอิงฐานข้อมูลเก่า หลังจากนั้นก็ใช้หลักการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์มาช่วยในการวิเคราะห์หารากของปัญหาเพื่อที่จะได้แก้ไขและป้องกันไม่ให้เกิดอีกในอนาคต อาทิ เช่นทฤษฎี 80:20 ของ Pareto ที่มาช่วยในการตัดสินใจว่าปัญหาใดที่ควรได้รับการแก้ไขก่อนซึ่งผู้วิจัยได้เลือกมา 3 ปัญหา นอกเหนือจากนี้ยังมีการใช้แผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship diagram) แผนภูมิแสดงเหตุและผล ฟังก้างปลา (Cause and Effect /Fishbone diagram) แผนภูมิต้นไม้ในการตัดสินใจ (Decision Tree diagram) และการวิเคราะห์แบบตั้งคำถามทำไม ทำไม หลังจากปัญหาได้รับการปรับปรุงคำร้องเรียนจากลูกค้าในช่วงเวลา 2 เดือน คือ เดือนตุลาคมและพฤศจิกายนที่ทำการทดลองลดลง คำร้องของลูกค้าต่อปัญหาที่เกี่ยวกับน้ำในสระบุนและไม้ไผ่ จากจำนวนร้องเรียนรวมของเดือน 6 กับ เดือน 7 และ 5 ครั้งในปี พ.ศ. 2544 ถึง 2546 ตามลำดับ ลดลงเป็นไม่มีคำร้องเรียน เช่นเดียวกับปัญหาเครื่องปั้มน้ำเสียจากจำนวนร้องเรียนรวมของทั้งเดือน 4 กับเดือน 5 และ 6 ครั้งในปี พ.ศ. 2544 ถึง 2546 ลดลงจนไม่มีคำร้องเรียน

อนิรุท พัฒนธีระ (2545) ทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการหยุดสายการประกอบรถยนต์กระบะ และลดอัตราเฉลี่ยร้อยละของการหยุดของสายการประกอบต่อปีลงเพื่อเพิ่มผลการผลิต จากการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการหยุดของสายการประกอบมาจากชิ้นส่วนประกอบที่ไม่ได้คุณภาพ และลักษณะวิธีการทำงานของพนักงานที่บกพร่อง มาตรการที่ใช้ในการปรับปรุงสายการผลิต โดยลดการหยุดของสายการประกอบ ได้แก่ การจัดทำเอกสารทางเทคนิคเพื่อใช้เป็นเอกสารในการตรวจสอบชิ้นงาน การใช้ why-why analysis เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา และเทคนิค poka yoke เพื่อลดความผิดพลาดในการทำงานของพนักงาน และ การใช้เทคนิค kaizen เพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อมในสายการประกอบ หลังจากที่ได้นำมามาตรการต่างๆ มาประยุกต์ใช้ ทำให้สามารถลดเวลาการหยุดของสายการประกอบลงได้ จากมีอัตราเฉลี่ยร้อยละของการหยุดสายการประกอบก่อนการปรับปรุงเท่ากับ ร้อยละ 3.08 ซึ่งทางบริษัทอนุญาตให้มีการหยุดสายการประกอบได้เท่ากับร้อยละ 2.5 เท่านั้น หลังจากการปรับปรุง ทำให้ผลการผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 74 คันต่อเดือนและมีอัตราเฉลี่ยร้อยละของการหยุดสายการประกอบลดลง คือ ลดลงมาถึง ร้อยละ 1.83

สุภาวดี บุญชนะวิวัฒน์ (2541) ได้จัดสร้างระบบแผนคุณภาพล่วงหน้า (Advanced Product Quality Planning) สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์อะลูมิเนียม และจัดทำแผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิต โดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและ

ผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis; FMEA) รวมทั้งแผนภาพแสดงเหตุและผล แผนภาพต้นไม้ และแผนภาพความสัมพันธ์เป็นเครื่องมือช่วยในการค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ลักษณะบกพร่อง จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินค่าความรุนแรงของลักษณะบกพร่อง โอกาส การเกิดข้อบกพร่อง และโอกาสการตรวจพบข้อบกพร่องจากการควบคุมกระบวนการ เพื่อทำการ คำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงขึ้น (Risk Priority Number หรือ RPN) พบว่าของเสียในกระบวนการ ผลิตลดลงจาก 8.420 เปอร์เซนต์เหลือ 5.594 เปอร์เซนต์ สำหรับปัญหาของเสียที่ถูกคัดส่งคืนลดลง จาก 6.913 เปอร์เซนต์ เหลือ 4.351 เปอร์เซนต์และมีแนวโน้มในการลดลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับค่า คะแนน RPN ที่ได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินใหม่สำหรับกระบวนการผลิตกรณีที่ได้มีการนำ ปฏิบัติการเสนอแนะไปใช้ได้จริงทั้งหมด พบว่า RPN ลดลง 40-90 เปอร์เซนต์ จากค่า RPN ของ กระบวนการผลิต เดิมก่อนการปรับปรุง