บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตแยมใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ผู้วิจัยได้นำแนวคิดและทฤษฎีตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาทำการศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1.1 ทฤษฎีและแนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

2.1.2 ทฤษฎีและแนวคิดการทำสมดุลสายการผลิต (Line Balancing)

2.1.3 ทฤษฎีและแนวคิดของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)

โดยสามารถอธิบายรายละเอียดในแต่ละทฤษฎีได้ดังนี้

2.1.1 ทฤษฎีและแนวคิดซิกซ์ ซิกมา

2.1.1.1 ความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

จุดกำเนิดของซิกซ์ ซิกมา เริ่มขึ้นเมื่อบริษัทโมโตโรล่า (Motorola) ได้พัฒนาและสร้างโครงการเพื่อปรับปรุงคุณภาพสินค้า ภายใต้การนำของ มิเกล เจ แฮรี่ (Mikel J. Harry) ในปี 1988 บริษัทโมโตโรล่า ได้ตีพิมพ์และเปิดเผยวิธีการปรับปรุงคุณภาพของสินค้าวิธีใหม่ที่ชื่อว่า " วิธีซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)" คำว่า ซิกซ์ ซิกมา หรือตัวอักษรกรีกคือ σ ที่มีความหมายนัยทางสถิติคือระดับความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งบริษัทโมโตโรล่าได้ประสบผลสำเร็จซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นตัวเงินอย่างมหาศาลจากการดำเนินงานตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา

ต่อมาบริษัทจีอี (GE) โดย Jack Welch ได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบดั้งเดิมของซิกซ์ ซิกมา ให้เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ให้มากขึ้น โดยปรับแก้รูปแบบซิกซ์ ซิกมา ของโมโตโรล่าให้เป็นลักษณะของ Project Based Approach คือเน้นทำเป็นเรื่องๆในระยะเวลาที่กำหนดไว้ (โดยประมาณ 6 เดือน) นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการบริหารโครงการ และแนวทางในการจูงใจให้ผู้บริหารทุกระดับเล็งเห็นความสำคัญของการดำเนินงาน และยังเพิ่มในส่วนของวิธีการประเมินผลสำเร็จที่สามารถวัดผลออกมาได้ในรูปของการเงินที่ดีขึ้นของบริษัทด้วยรูปแบบใหม่ของซิกซ์ ซิกมา จึงเป็นที่นิยมมากในบริษัททั่วไป โดยในปัจจุบันเทคนิคซิกซ์ ซิกมา ไม่ได้จำกัดการประยุกต์ใช้เฉพาะกับบริษัทใหญ่เท่านั้นแต่ยังนำไปประยุกต์ใช้กับภาคธุรกิจมากมายไม่ว่าจะเป็นวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) องค์กรขนาดใหญ่ กระบวนการผลิต ตลอดจนงานบริการ โดยลักษณะการประยุกต์ใช้แตกต่างกันบ้างตามรูปแบบธุรกิจ

2.1.1.2 **ความหมายของซิกซ์ ซิกมา**

ได้มีหลายๆท่าน ได้กล่าวถึงความหมายของซิกซ์ ซิกมาได้ ดังนี้

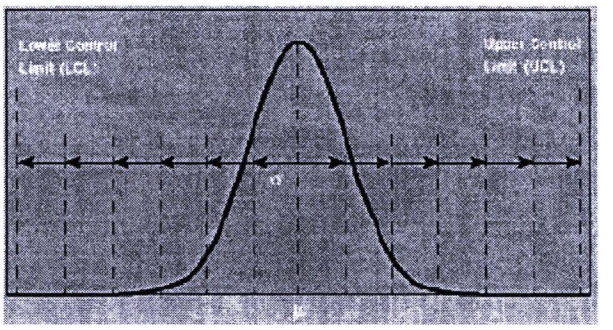
Breyfogle (2001) ได้ให้ความหมายของซิกซ์ ซิกมาไว้ว่า ซิกซ์ ซิกมาคือส่วนผสมอันกลมกลืนระหว่างความฉลาดหลายๆด้านในการบริหารองค์การ โดยการพัฒนากลวิธีทางสถิติเพื่อใช้เป็นอาวุธองค์กร โดยเป้าหมายสูงสุดของซิกซ์ ซิกมานี้ ได้เน้นไปที่การนำเอาซิกซ์ ซิกมามาใช้เป็นกลยุทธ์ของกิจการมากกว่าที่จะเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ซิกซ์ ซิกมา คือวิธีการและการประยุกต์ใช้กลวิธีทางสถิติในองค์กรเพื่อที่จะช่วยให้องค์กรสามารถเพิ่มผลผลิต และทำกำไรได้เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในภาคการผลิตสินค้าและบริการ

Harry และ Schroeder (2000) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพอย่างมากในการบริหาร ซึ่งมีเป้าหมายอยู่ที่ความผิดพลาดหรือของเสียที่น้อยกว่า 4 ใน 1 ล้านครั้งของการทำงาน โดยรวมเอาวิถีทางแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติ ซึ่งประกอบด้วย รูปแบบที่เป็นมาตรฐาน การจัดการที่เหมาะสม และการตอบสนองภารกิจขององค์กร ซึ่งทำให้ลูกค้าและผู้ผลิตได้ผลตอบแทนทั้งสองฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นด้านอรรถประโยชน์ ทรัพยากร และคุณค่าของผลิตภัณฑ์

Evan และ Lindsay (2005) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจเพื่อหาหนทางและกำจัดต้นเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาด ลดรอบเวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต ปรับปรุงผลผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้นสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สินและผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและการบริหาร โดยปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหา DMAIC หรือ ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) ที่ได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงการผลิตไว้มากมาย

Cherry และ Seshadri (2000) อธิบายว่า ซิกซ์ ซิกมา คือวิธีการในการจัดการคุณภาพโดยมีพื้นฐานจากการใช้วิธีการทางสถิติที่เข้มงวด ควบคุมกระบวนการใช้เครื่องมือทางสถิติดั้งเดิมด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติที่เคร่งครัดและวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นระบบ เป้าหมายอยู่ที่รากเหง้าของปัญหาของความแปรปรวน และให้นิยามความหมายของกระบวนการใหม่สำหรับผลในระยะยาว

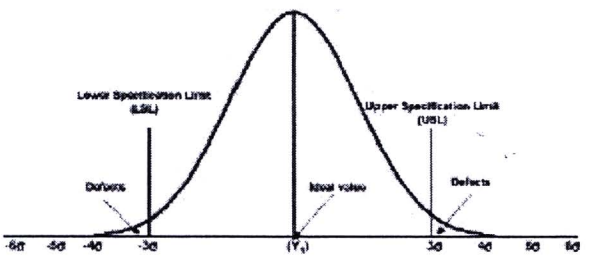
ในความหมายทางสถิติ ระดับของซิกม่าที่สูงขึ้น วัดจากอัตราของเสียที่ลดลงและประสิทธิภาพของกระบวนการที่สูงขึ้น ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ดังรูปที่ 2.1



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 2.1 เส้นโค้งปกติ (Normal Curve)

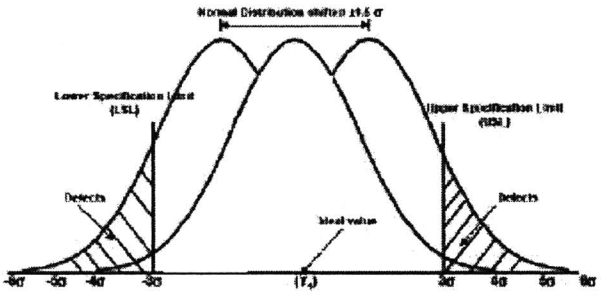
เริ่มต้นในทศวรรษที่ 20 Walter Shawhart แสดง 3 ซิกม่า จากค่าเฉลี่ยไปถึงจุดที่กระบวนการต้องการ และมีหลายๆมาตรฐานการวัด เช่น การลดของเสียให้เป็นศูนย์ (Zero Defect) ที่เป็นวิธีการควบคุมคุณภาพต่อๆมา โดยแสดงการควบคุมของกระบวนการในขอบเขต 3 ซิกม่าใน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การควบคุมกระบวนการภายในขอบเขต 3σ

ระดับของการควบคุมซิกซ์ ซิกมา เกิดจากการดำเนินกระบวนการจนกระทั่งอยู่ในสภาพเสถียร ค่าเฉลี่ยของกระบวนการจะเลื่อน (Shift) ออกไปทั้ง 2 ฝั่งของค่าเฉลี่ยเดิมของกระบวนการ เป็นระยะทาง 1.5σ (Breyfogel, 2001) ดังรูปที่ 2.3

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 22 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน 246151
เลขเรียกหนังสือ



รูปที่ 2.3 การกระจายแบบปกติ และการเคลื่อนตัวออกจากค่าเฉลี่ย 1.5σ

ซิกซ์ ซิกมา ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้โดยใช้ความรู้ทางสถิติ ตั้งประเด็นในเชิงสถิติ และปริมาณของซิกซ์ ซิกมา ในมุมมองทางสถิติ รูปแบบของซิกซ์ ซิกมา ได้ให้คำจำกัดความถึงโอกาสความผิดพลาดที่น้อยกว่า 3.4 หน่วยในล้าน (Defect Per Opportunities, DPMO) หรืออัตราของความสำเร็จเท่ากับ 99.9999966% เป้าหมายของซิกซ์ ซิกมาเป็นระดับคุณภาพที่เข้มงวดมากๆและนำเสนอจุดมุ่งหมายอย่างเปิดเผยภายในองค์กร (Organizations) เทคโนโลยี (Technology) การปฏิบัติการ (Operation) กระบวนการ (Process) และโครงการ (Project) มากมาย

2.1.1.3 **ตัววัดระดับคุณภาพ**

ในการเลือกตัววัดระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของกระบวนการมีอยู่หลายทางเลือก เช่น ผลผลิต(Yield) อัตราส่วนของดีที่ผลิตได้ (Rolled Throughput Yield) ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (C_p, C_{pk}) อัตราส่วนของของเสียที่เกิดขึ้นต่อล้านหน่วย (Part Per Million: PPM) หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากคุณภาพที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ (Cost of Poor Quality) และค่าระดับคุณภาพซิกม่า (Sigma Quality Level) เป็นต้น

ในแนวคิดซิกซ์ ซิกมานี้จะอ้างถึงค่าระดับคุณภาพซิกม่า เพื่อบ่งบอกถึงระดับของคุณภาพของกระบวนการ ซึ่งต่างจากคำว่า ซิกม่า ที่หมายถึงค่าซิกม่า ซึ่งเป็นค่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการกระจายตัวของข้อมูลในทางสถิติ กล่าวคือค่าระดับคุณภาพซิกม่า ยิ่งมีค่าที่มากขึ้นจะบ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนเท่ากับ 0.002 ชิ้นต่อหนึ่งล้านหน่วยผลิตเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง และเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางเท่ากับค่าระดับคุณภาพซิกม่า ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level

Sigma Quality Level	Mean at Center		Mean Shifted 1.5s	
	Percentage	DPPM	Percentage	DPPM
1	68.27	317300	30.23	697700
2	95.45	45500	69.13	308700
3	99.73	2700	93.32	66810
4	99.9937	63	99.379	6210
5	99.999943	0.57	99.9767	233
6	99.9999998	0.002	99.99966	3.4

หรือหากคำนวณเป็นค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการจะได้ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการที่ 6 ซิกม่า มีค่าเท่ากับ C_p = 2.0 และ C_{pk} = 1.5 (คิดค่าเฉลี่ยของข้อมูลเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางของการกระจายเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$)

2.1.1.4 **การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมา**

การดำเนินการตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมาแบ่งออกเป็น 5 ระยะ โดยเป็นไปตามกระบวนการ DMAIC ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดวงจรการบริหารคุณภาพ (PDCA) ของเดมมิง นั่นคือ ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) ซึ่งในแต่ละระยะมีรายละเอียดและเครื่องมือที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ดังต่อไปนี้

a) **ระยะนิยามปัญหา** (Define)

เป็นช่วงที่มีความสำคัญที่สุดในกระบวนการ DMAIC โดยมีการกำหนดความต้องการของลูกค้าและเป้าหมายของกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์/บริการ รวมทั้งการระบุรายละเอียดปัญหาและผลกระทบต่อธุรกิจ ซึ่งระยะนิยามปัญหานี้มีรายละเอียดและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องดังนี้

1) **รายละเอียดเอกสารโครงการ** (Project Charter)

เอกสารโครงการควรประกอบด้วยรายการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- กรณีธุรกิจสำหรับการคัดเลือกโครงการ (Business Case for the Project Selection) โดยระบุถึงลำดับความสำคัญของโครงการ

- ข้อความแสดงถึงปัญหาเบื้องต้น (Preliminary Problem Statement) โดยแสดงความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับเป้าหมายหรือสิ่งที่ลูกค้าคาดหวัง ซึ่งข้อความแสดงถึงปัญหาจะต้องสัมพันธ์กับกรณีธุรกิจ และต้องสามารถวัดผลได้
- กำหนดขอบเขตของโครงการ (Project Scope) ไว้อย่างชัดเจน
- กำหนดเป้าหมายและระยะเวลาตามเป้าหมาย เพื่อใช้ติดตามผลและประเมินความคืบหน้าของโครงการ
- บทบาทและความรับผิดชอบของคณะทำงาน

2) **ปัจจัยหลักทางคุณภาพสำหรับลูกค้า หรือ** Critical to Quality (CTQ)

โดยมุ่งศึกษาความต้องการหรือสิ่งที่ลูกค้าคาดหวัง ดังนั้นงานแรกที่ต้องดำเนินการนั่นคือ การระบุว่าใครคือลูกค้า และปัจจัยที่สามารถตอบสนองให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุดหรือที่เรียกว่า Voice of the Customer (VOC) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือต่างๆที่สำคัญ เช่นการกระจายหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment) หรือ QFD การเทียบเคียง (Benchmarking) การสำรวจ การสัมภาษณ์ และข้อมูลประวัติที่ผ่านมานอกจากนี้ ยังได้มีการใช้แบบจำลองคาโนสำหรับวิเคราะห์ เรียกว่า Kano Analysis ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดผลทางคุณภาพ (Quality Measurement Tool) เพื่อใช้สำหรับจำแนกและจัดลำดับความสำคัญความต้องการของลูกค้าที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า นอกจากนี้ยังใช้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จำแนกส่วนของลูกค้าเพื่อเป็นแนวทางกำหนดปัจจัยที่สามารถตอบสนองให้เกิดความพึงพอใจในแต่ละกลุ่มลูกค้า ตามลำดับความสำคัญ (Segment's Priorities)

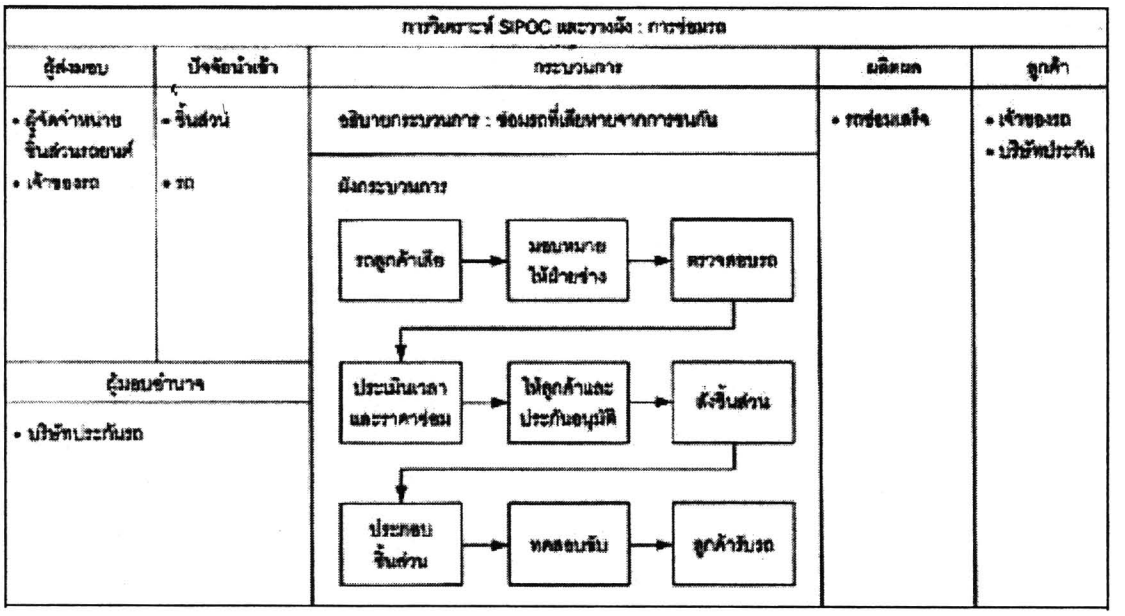
3) **แผนภาพ** SIPOC (SIPOC Diagram)

กระบวนการประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ที่สร้างมูลค่าเพิ่มด้วยการแปรรูปจากปัจจัยนำเข้าเป็นผลิตผลในรูปแบบของสินค้า/บริการและนำมาเขียนเป็นแผนภาพ SIPOC ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง นั่นคือ

- ผู้ส่งมอบ (S: Suppliers) คือ ผู้ทำหน้าที่จัดหาทรัพยากร/วัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการ
- ปัจจัยนำเข้า (I: Inputs) คือ ทรัพยากร/วัตถุดิบ และข้อมูล ที่จำเป็นต่อกระบวนการ
- กระบวนการ (P: Process) คือ ขั้นตอนแปรรูปปัจจัยนำเข้าให้เกิดเป็นผลิตผล
- ผลิตผล (O: Outputs) คือ ผลลัพธ์จากกระบวนการและแสดงในรูปของผลิตภัณฑ์/บริการเพื่อส่งมอบให้ลูกค้า

- ลูกค้า (C: Customer) คือ บุคคล องค์กร หรือกระบวนการถัดไปที่รับปัจจัยที่ออกจากกระบวนการก่อนหน้า

แผนภาพ SIPOC เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับระบุองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับโครงการปรับปรุงก่อนที่จะเริ่มดำเนินการและถูกใช้ในช่วงวัดผล (Measure phase) ต่อไป ซึ่งรายละเอียดแผนภาพ SIPOC จะสามารถช่วยให้มองเห็นภาพของกระบวนการธุรกิจได้ในมุมมองของกระบวนการ และให้ทราบว่าใครคือผู้ส่งมอบปัจจัยนำเข้าสู่กระบวนการ อะไรคือข้อกำหนด/คุณสมบัติ (Specification) สำหรับปัจจัยนำเข้า ใครบ้างคือลูกค้าของกระบวนการ อะไรคือความต้องการของลูกค้า ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แผนภาพ SIPOC สำหรับวิเคราะห์

b) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure phase)

การวัด (Measure) เป็นช่วงที่มีการเก็บข้อมูลเพื่อทำการประเมินและวัดผลของการปฏิบัติงาน ตัวชี้วัดในรูปแบบต่างๆ เช่น อัตราส่วนของดีที่ผลิตได้ (Rolled Throughput Yield) โอกาสเกิดข้อบกพร่องในล้านหน่วย (DPMO) ความสามารถกระบวนการ (Process Capability) เป็นต้น และต้องการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยการทำวิเคราะห์ระบบการวัด (Gauge R&R) จากนั้นศึกษาแหล่งที่มาของสาเหตุของปัญหารวมทั้งมีการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่เป็นไปได้เพื่อเลือกปัญหาที่คาดว่าจะมีผลกระทบรุนแรงมาทำการแก้ไข

1) การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549) ได้ให้ความหมายของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Study) ไว้ว่า การกำหนดตัวพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการแล้วทำการวัดเพื่อการรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงพารามิเตอร์ดังกล่าว และถ้าข้อมูลอยู่ภายใต้การควบคุมก็จะทำการอนุมานทางสถิติสำหรับกระบวนการที่ศึกษาต่อไปและอาจเรียกการศึกษานี้ว่าการกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product Characterization)

ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) หมายถึง การประเมินความผันแปรของกระบวนการ (อาจอยู่ในรูปของฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ระบุทั้งรูปทรง ค่ากลาง และปริมาณการกระจายของการแจกแจง) และวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพิจารณาถึงแหล่งความผันแปรต่างๆเพื่อหาทางลดความผันแปรที่ศึกษาต่อไป

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมีขั้นตอนหลักๆดังนี้

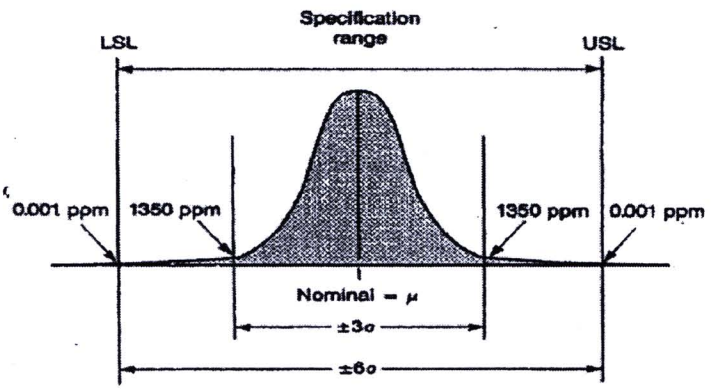
- การทดสอบข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากการทวนสอบแบบ (Design Output) ของผลิตภัณฑ์และทบทวนข้อตกลงกับลูกค้าว่ายอมรับข้อกำหนดเฉพาะดังกล่าวหรือไม่
- การชักสิ่งตัวอย่างจากกระบวนการ ทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาว
- การทวนสอบสภาวะเสถียรภาพของกระบวนการโดยอาศัยแผนภูมิควบคุมเพื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้จากสิ่งตัวอย่างอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติสำหรับกำหนดคุณสมบัติในด้านความสามารถคาดการณ์ได้หรือไม่
- การประเมินค่ามาตรฐานข้อกำหนด (Z-Score)
- การประเมินค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ พร้อมการวิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

ความสามารถกระบวนการระยะสั้น คือ การเอาลักษณะของความผันแปรของกระบวนการอันเนื่องมาจากสาเหตุทางธรรมชาติภายใต้การควบคุม โดยทำการศึกษาในระยะสั้นมาอธิบายความมีประสิทธิภาพของกระบวนการว่ามีความสามารถในการผลิตให้ได้อยู่ในช่วงข้อกำหนดเฉพาะมากน้อยเพียงใด

$$C_p = \frac{\text{ความต้องการของลูกค้า}}{\text{ความสามารถของกระบวนการ}} = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \qquad (2.1)$$

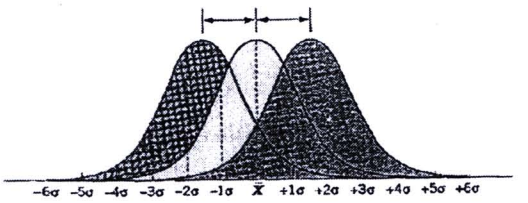
ความสามารถกระบวนการระยะยาว (Long Term Process Capability : C_{pk}) คือ การศึกษาถึงประสิทธิภาพของกระบวนการในระยะยาว เพื่อทำการประเมินล่วงหน้าถึงความสามารถของกระบวนการ และแนวทางในการควบคุมกระบวนการตลอดช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน

$$C_{pk} = \frac{\text{ความต้องการของลูกค้า}}{\text{ความสามารถของกระบวนการ}} = \min\left[\frac{USL-\bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X}-LSL}{3\sigma}\right] \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.5 การแจกแจงปกติเปรียบเทียบระดับมาตรฐาน $\pm 3\sigma$ และ $\pm 6\sigma$

จากสมการที่ 2.2 เมื่อการกระจายของข้อมูลอยู่กึ่งกลางมาตรฐานตามภาพที่ 2.5 ค่า C_{pk} จะเท่ากับ 2 เหมือนกับ C_p ซึ่งหมายถึง โอกาสเกิดของเสียเท่ากับ 0.002 PPM แต่เมื่อมาพิจารณาจากค่าความสามารถของกระบวนการในระยะยาวนั้น จะพบว่าในกระบวนการใดๆ ค่ากลางของข้อมูลมักมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ตั้งไว้ในตอนแรก (Setting Value) โดยมักจะเปลี่ยนแปลงเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$ โดยปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Shifts and Drifts” เมื่อกระบวนการได้มีการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา แล้วจะทำให้มีโอกาสในการเกิดของเสียเท่ากับ 3.4 PPM พบว่า โอกาสในการเกิดของเสียนั้นน้อยมาก ดังภาพที่ 10.6 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าตั้งโดยธรรมชาติ $\pm 1.5\sigma$



Spec Limit	Percent	Defective ppm
±1σ	30.23	667700
±2σ	69.13	308700
±3σ	93.32	66810
±4σ	99.3890	6210
±5σ	99.97670	233
±6σ	99.999660	3.4

รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงค่าตั้งโดยธรรมชาติ $\pm 1.5\sigma$

จ่ากการริเริ่มของบริษัทโมโตโรล่าในการใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมาพัฒนากระบวนการทุกๆด้านของบริษัทโดยการตั้งเป้าหมายที่ $\pm 6\sigma$ นี้ทำให้คุณภาพของกระบวนการผลิตดีขึ้นอย่างมากซึ่งส่งผลให้สามารถลดต้นทุนลงได้จากความสำเร็จทำให้เป้าหมายเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งองค์กรมากมายต่างให้ความสนใจและนำวิธีการซิกซ์ ซิกมามาพัฒนาองค์กรเพื่อสามารถแข่งขันและเป็นผู้นำทางธุรกิจ

2) **ความสามารถของกระบวนการวัด** (Gauge R&R, Repeatability and Reproducibility)

- **ความสำคัญของการวัด** (Measurement)

การวัดเปรียบเสมือนบันไดขั้นแรกที่นำไปสู่การควบคุม และการปรับปรุงคุณภาพต้องอาศัยข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และหาสาเหตุในการแก้ปัญหา

การตัดสินใจต้องอยู่บนพื้นฐานของ ข้อมูลสารสนเทศ (Information) ซึ่งวิเคราะห์ (Analyze) มาจากข้อมูล (Data) เพื่อช่วยในการตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง ต้องอาศัยข้อมูลที่เที่ยงตรง แม่นยำ ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเหล่านี้

a. เครื่องมือวัด
b. วิธีการวัด
c. ผู้วัด

- **การวัด** (Measurement)

a. ความถูกต้อง (Validity)
b. ความละเอียดของเครื่องมือวัด (Resolution)
c. ความเที่ยงตรง (Precision)
d. ความแม่นยำ (Accuracy)

- **ความถูกต้อง** (Validity)

  a. เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนา "ระบบการวัด" (Measurement System)

  b. วิธีการวัดต้องสามารถแสดงจำนวน หรือปริมาณที่สนใจ

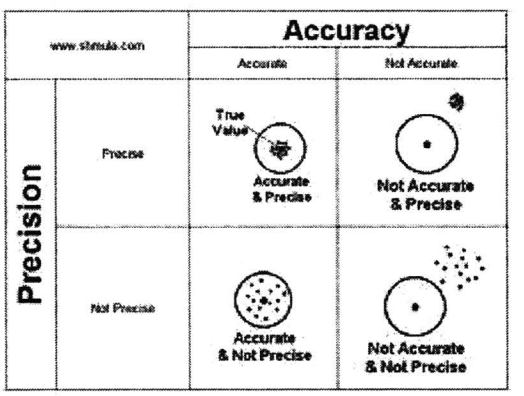
- **ความละเอียดของเครื่องมือวัด** (Resolution)

a. เช่นถ้าต้องการวัดน้ำหนักของชิ้นงาน (Parts) ซึ่งมีความแตกต่างกันในหน่วยของกรัม (171, 175, 173 กรัม) ดังนั้นความละเอียดของเครื่องมือวัดต้องละเอียดสามารถวัดได้มากกว่าหน่วยกรัม แต่ต้องละเอียดถึงทศนิยมของกรัม

b. " A sign of poor resolution" คือวัดตัวอย่างหลายตัวอย่างที่มีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ค่าจากการวัดมีค่าเท่ากัน

- **ความเที่ยงตรง** (Precision)

ควรุมเที่ยงตรง (Precision) เป็นคุณสมบัติของวิธีวัด (Measurement Method) หรือเครื่องมือวัด (Measurement Device) เครื่องมือวัด หรือระบบวัดจะมีความเที่ยงตรงมาก หรือน้อยพิจารณาจากขนาดของความผันแปรที่เกิดขึ้นโดยวัดวัตถุชิ้นเดียวกันหลายครั้ง โดยใช้ผู้วัด วิธีวัด เครื่องมือวัด ชุดเดียวกัน ถ้าค่าจากการวัดวัตถุชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้งได้ค่าใกล้เคียงกัน (โดยไม่สนใจว่าค่านั้นจะเป็นค่าที่ถูกต้องหรือไม่) หรือขนาดของความผันแปรในการวัดซ้ำเกิดขึ้นน้อย แสดงว่าระบบการวัดมีความเที่ยงตรงสูง



รูปที่ 2.7 ภาพเปรียบเทียบความถูกต้องและความแม่นยำ

- **ความแม่นยำ** (Accuracy)

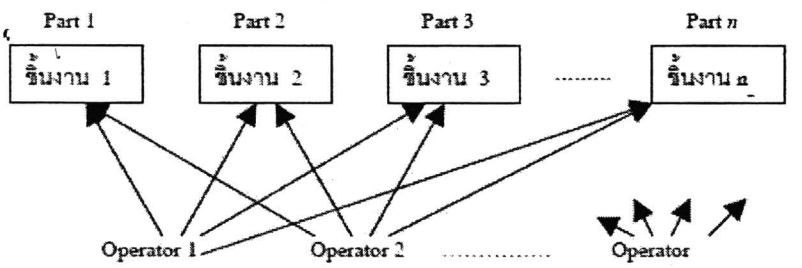
คือความสามารถของระบบวัดที่สามารถวัดได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง หรือค่าจริง หรือในกรณีที่มีการวัดซ้ำ ค่าเฉลี่ยของค่าวัดควรมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้อง

- **การศึกษาระบบการวัด** (Gauge R&R measurement system)

a. การศึกษาระบบการวัด เพื่อศึกษาความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยงตรง (Precision) ของระบบการวัด

b. ให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับสาเหตุของ "ความผิดพลาดจากการวัด" (Measurement Errors) โดยใช้ผู้วัด (Operators) หลายคน แต่ใช้เครื่องมือและระบบการวัดเดียวกัน

c. ผู้วัดแต่ละคนวัดชิ้นงานซ้ำกันทั้งสิ้นจำนวน n_M ครั้งโดยใช้เครื่องมือวัดและวิธีวัดเดียวกันโดยชิ้นงานที่ถูกวัดมีทั้งสิ้นจำนวน n_p ชิ้น และผู้วัดมีจำนวนทั้งสิ้น n_{op} คน



รูปที่ 2.8 การศึกษาระบบการวัด

- **ตัวอย่างการศึกษาความสามารถของการวัด** (Gauge R&R)

a. วัดความหนาของชิ้นงานแผ่นเวเฟอร์

b. จำนวนชิ้นงานมีทั้งสิ้น 10 ชิ้น (n_p = 10 ชิ้น)

c. จำนวนผู้วัด 3 คน (n_{op} = 3 คน)

d. แต่ละชิ้นงานวัดซ้ำจำนวน 2 ครั้ง (n_m = 2 รอบ, Repeat measurements)

ตารางที่ 2.2 (ก) ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการวัดของผู้วัดคนที่ 1

ผู้วัดคนที่ 1 (A)				
ชิ้นงาน #	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	$\overline{X}_{A}$	R_{A}
1	0.062	0.66	0.64	0.04
2	0.99	1.00	0.995	0.01
3	0.82	0.81	0.815	0.01
4	0.85	0.87	0.870	0.04
5	0.59	0.48	0.635	0.11
6	1.02	1.03	1.025	0.01
7	0.97	0.97	0.970	0.00
8	0.85	0.82	0.835	0.03
9	1.04	1.95	1.045	0.01
10	0.84	0.80	0.820	0.04
			$\overline{X}_{A}$ =	$\overline{R}_{A}$ = 0.030

ตารางที่ 2.2 (ข) ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการวัดของผู้วัดคนที่ 2

ผู้วัดคนที่ 2 (B)				
ชิ้นงาน #	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	$\overline{X}_{B}$	R_{B}
1	0.53	0.53	0.53	0.00
2	1.05	0.93	0.990	0.12
3	0.80	0.77	0.785	0.03
4	0.83	0.76	0.795	0.07
5	0.39	0.40	0.395	0.01
6	1.04	1.08	1.060	0.04
7	0.97	0.91	0.940	0.06
8	0.73	0.70	0.715	0.03
9	0.98	0.95	0.965	0.03
10	0.54	0.60	0.570	0.06
			$\overline{X}_{B}$ =	$\overline{R}_{B}$ = 0.045

ตารางที่ 2.2 **(ค)** ตัวอย่างการเก็บข้อมูลการวัดของผู้วัดคนที่ 3

ผู้วัดคนที่ 3 (C)				
ชิ้นงาน #	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	$\bar{X}_C$	R_C
1	0.51	0.55	0.530	0.04
2	1.05	1.02	1.035	0.03
3	0.80	0.77	0.785	0.03
4	0.79	0.81	0.800	0.02
5	0.45	0.490	0.476	0.09
6	1.01	1.05	1.030	0.04
7	0.96	0.96	0.930	0.04
8	0.80	0.81	0.805	0.01
9	1.00	1.00	1.00	0.00
10	0.61	0.700	0.655	0.09
			$\bar{X}_C$ =	$\bar{R}_C$ = 0.030

- **ความสามารถของการวัดซ้ำ** (Gauge Repeatability)

ความสามารถในการวัดซ้ำ โดยใช้ผู้วัดคนเดียวกัน (a fix Operator) ใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน วัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำหลายครั้ง (n_m = 2 รอบ) เปรียบเทียบความสามารถของการวัดซ้ำของผู้วัดแต่ละคน โดยพิจารณาจากขนาดความผันแปร หรือค่าพิสัย

ตารางที่ 2.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบความสามารถในการวัดซ้ำแต่ละคน

สรุปข้อมูลเพื่อศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำของผู้วัดแต่ละคน			
ชิ้นงานชิ้นที่	R_A	R_B	R_C
1	0.04	0.00	0.04
2	0.01	0.12	0.03
3	0.01	0.03	0.03
4	0.04	0.07	0.02
5	0.11	0.01	0.09
6	0.01	0.04	0.04
7	0.00	0.06	0.04
8	0.03	0.03	0.01
9	0.01	0.03	0.00
10	0.04	0.06	0.09
	$\bar{R}_A$ = 0.030	$\bar{R}_B$ = 0.045	$\bar{R}_C$ = 0.030

ศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำโดยรวมของผู้วัด โดยพิจารณาค่าพิสัยรวมระหว่างผู้วัด

$$\sigma_{Repeat} = [\bar{R}/d_2(n_M) \tag{2.3}$$

โดย

$$\bar{R} = \frac{\bar{R}A+\bar{R}B+\bar{R}C}{3} \tag{2.4}$$

ตารางที่ 2.4 สรุปข้อมูลในการวัดซ้ำ

สรุปข้อมูลเพื่อศึกษาความสามารถในการทำซ้ำ				
ชิ้นงาน #	$\overline{X}_{Ai}$	$\overline{X}_{Bi}$	$\overline{X}_{Ci}$	R_{oi}
1	0.64	0.53	0.530	0.110
2	0.995	0.990	1.035	0.045
3	0.815	0.785	0.785	0.030
4	0.870	0.795	0.800	0.075
5	0.635	0.395	0.476	0.140
6	1.025	1.060	1.030	0.035
7	0.970	0.940	0.930	0.040
8	0.835	0.715	0.805	0.120
9	1.045	0.965	1.00	0.080
10	0.820	0.570	0.655	0.250
				$\overline{R}_{op}$ = 0.095

- **ความสามารถในการทำซ้ำ** (Gauge Reproducibility)

ความสามารถของการทำซ้ำโดยใช้ผู้วัดหลายคนเพื่อวัดชิ้นงานเดียวกัน โดยใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน ใช้วิธีเดียวกัน(the variability due to difference operators using gage) วัดความสามารถการทำซ้ำโดยพิจารณาความผันแปร (Variation) ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างผู้วัด (จำนวนผู้วัด n_{op} คน)

$$\sigma^2 Reprod = \sqrt{[\frac{\bar{R}op}{d_2(n_{op})}]^2 . \frac{[\bar{r}/d_2(n_M)]^2}{n_M}} \quad (2.5)$$

โดย

$$\bar{R}op = \frac{Rop1+Rop2+\cdots Rop10}{10} \quad (2.6)$$

- **ความผันแปรรวมจากการวัด** (Total Variation)

คือความผันแปรที่เกิดจากผู้วัดหลายคน วัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้ง

$$\sigma_T{}^2 = \sigma_{Repeat}{}^2 + \sigma_{Reprod}{}^2 \quad (2.7)$$

โดย

$\sigma_{Repeat}{}^2$ คือ ค่าความผันแปรที่เกิดจากการวัดซ้ำ โดยใช้ผู้วัดคนเดียวกันวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันหลายครั้ง

$\sigma_{Reprod}{}^2$ คือ ค่าความผันแปรที่เกิดจากผู้วัดหลายๆคนวัดชิ้นงานเดียวกัน

- **สัดส่วนความผันแปร** (Ratios)

$$\frac{\sigma_{Repeat}{}^2}{\sigma_{Repeat}{}^2+\sigma_{Reprod}{}^2} \tag{2.8}$$

- **สรุป**

การผลิตสินค้าแต่ละชนิดจะต้องผลิตให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า และเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เที่ยงตรงแม่นยำเพื่อเป็นประโยชน์ช่วยให้การตัดสินใจถูกต้องแม่นยำต้องอาศัยเครื่องมือวัด วิธีวัด ผู้วัด ซึ่งเราสามารถวัดความสามารถของการวัดและผู้วัดได้จากค่า $\sigma_{Repeat}{}^2$ และค่า $\sigma_{Reprod}{}^2$ รวมทั้งสามารถหาความผันแปรจากการวัดได้จากค่า $\sigma_T{}^2$

3) **การระดมความคิด** (Brainstroming)

การระดมความคิดเป็นวิธีการรวบรวมความคิดเห็นจากกลุ่มคนให้มากที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น การระดมความคิดเป็นวิธีการประชุมชนิดหนึ่งที่ให้ประสิทธิภาพมากสามารถนำไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ในการเลือกปัญหา หาสาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาหรือหาข้อยุติในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง โดยอาศัยความคิดของกลุ่มบุคคลเป็นเครื่องตัดสิน

หลักของการระดมความคิด มีดังนี้

- หัวข้อที่จะใช้ในการระดมความคิดจะต้องมีความชัดเจน
- ทำให้ผู้ร่วมระดมความคิดได้เสนอแนะมีโดยอิสระทางความคิดไม่ต้องระวังหรือกลัวที่จะถูกวิพากษ์วิจารณ์
- การเสนอแนะควรรวบรัดเพื่อการระดมความคิดที่รวดเร็ว
- เป้าหมายหลักของการระดมความคิดคือปริมาณของข้อเสนอแนะทางความคิด
- มุ่งไปที่การเพิ่มเติมข้อเสนอแนะของบุคคลอื่นรวมทั้งการเสนอแนวคิดใหม่ๆ
- บรรยากาศในการระดมความคิดควรทำให้เกิดการเสนอแนะความคิดที่สร้างสรรค์และสิ่งใหม่ๆ

4) **ผังแสดงเหตุและผล** (Cause and Effect Diagram)

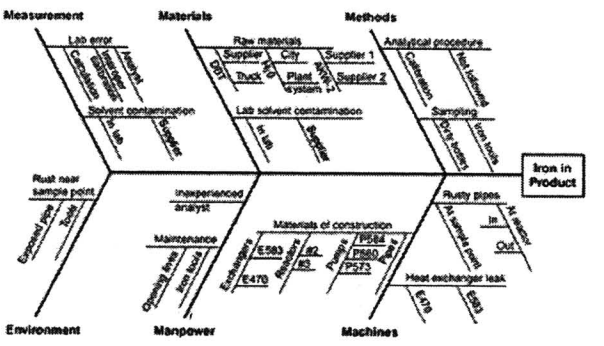
ผังแสดงเหตุและผลเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือแผนภาพโอชิกาว่า (Ishikawa Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และผล (Effect) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุของมัน โดยการดึงเอาสาเหตุที่เป็นไป

ได้ทั้งหมดออกมาเรียบเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ มีประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของเหตุที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ได้นั้นจะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุตามผล สะดวกที่จะนำสาเหตุนั้นๆไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆได้มากมาย ช่วยชี้นำหรือช่วยในการอภิปรายรวบรวมประเด็นในการอภิปรายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ผังก้างปลา จะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลักทั้งหมด 6 กลุ่ม ดังนี้

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)
- สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)
- สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement)
- สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

การใช้แผนภูมิก้างปลาต้องอาศัยการระดมความคิดจากบุคคลหลายๆฝ่าย ถือเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งของการระดมความคิด (Brainstorming) อย่างไรก็ดีตามการระดมความคิดแบบใช้แผนภูมิก้างปลาถึงแม้จะให้ผลดี แต่ก็ทำได้ยากเพราะการเขียนก้างปลาให้ถูกต้องและครอบคลุมสาเหตุของปัญหาให้กว้างขึ้นนั้น จำเป็นต้องอาศัยผู้นำกลุ่มหรือประธานในการระดมความคิดที่ดีมีความสามารถและมีประสบการณ์มาก



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

5) ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษา (KPOVs) กับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่างๆ ที่ได้จากการระดมสมองโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล โดยจะวิเคราะห์ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่างๆที่พิจารณา โดยใช้ความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมทำการระดมสมอง ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล จะต้องทำแผนภูมิพาเรโตเพื่อเรียงปัจจัยตามลำดับ ผลกระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการพิจารณาทำให้สามารถพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในระดับต้นๆ มาทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินแผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะมีการกำหนดคะแนนตามความสำคัญขุองต่อลูกค้าและเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ทางธุรกิจ ตัวเลขที่สูงจะแสดงถึงความสำคัญที่มาก ในแต่ละแถวจะแสดงตัวแปรจากผังกระบวนการหรือสาเหตุจากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ส่วนจุดตัดของแต่ละแถวกับแต่ละคอลัมน์จะใช้สำหรับป้อนค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่ในแถว (นอน) และคอลัมน์ ถ้าหากมีความสัมพันธ์กันมากน้ำหนักในที่นี้ก็จะมีค่าสูงขึ้น จำนวนค่าความสัมพันธ์ที่ป้อนในแต่ละช่องตามแนวนอน เมื่อนำมาคูณกับค่าความสำคัญในแถวบนแล้วรวมกับผลคูณที่ได้ไว้ในช่องขวามือสุดก็จะเป็นการบ่งบอกถึงความรุนแรงของผลกระทบที่จะมีผลต่อผลผลิตค่าที่มีระดับคะแนนอยู่ในระดับสูงสุด จะสามารถอนุโลมได้ว่าเป็นตัวแปรหลักที่จะนำไปสู่กระบวนการผลิต (KPIVs) ซึ่งควรจับตามองและศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น

C) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ระยะนี้เป็นการวิเคราะห์ (Analysis) โดยมุ่งวิเคราะห์จำแนกสาเหตุปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นโดยใช้ข้อมูลที่ได้รับในช่วงก่อน เพื่อใช้ระบุปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังเช่นการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) การวิเคราะห์ความผันแปร (Analysis Of Variance) หรือ ANOVA รวมทั้งแผนภูมิพาเรโต แผนภูมิก้างปลา การใช้คำถาม 5 ครั้ง (5 Whys?) แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment หรือ DOE) ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังนั้นจึงได้นำเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองในระยะนี้

1) การออกแบบทดลองเชิงสถิติ

การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) เป็นกระบวนการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์หลักการทางสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ใดมีผลต่อสิ่งที่ให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที่ออกมาจากระบบ (Output Response) โดยทั่วไปการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ โดยส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการเริ่มจากการรวมกัน ของปัจจัยนำเข้า (Input) อันประกอบด้วย เครื่องจักร คน วิธีการ วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่นๆผ่านเข้าไปยังกระบวนการและปัจจัยป้อนเข้าเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปออกมาเป็นผลลัพธ์ (Output)

<u>การเลือกแบบการทดลอง</u>

- **แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์** (Completely Randomized Design)

เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด เหมาะกับการทดลองที่แยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุความผันแปรผันของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุของปัจจัยอื่นอีก จึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

- **การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์** (Randomized Complete Block Design)

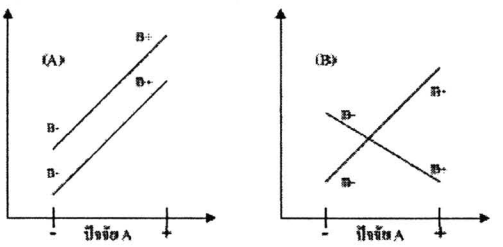
ในบางการทดลองอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้แผนการใช้การทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียวแต่อาจมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วยซึ่งความแปรผันส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลองทำให้ยอดรวมของผลบวกกำลังสองความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์เป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

- **แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล** (Factorial Design)

การทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุกๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีจำนวน 2 ปัจจัยขึ้นไปทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัว จะได้รับการศึกษาไปพร้อมๆกัน

ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้าจะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า “อิทธิพลหลัก

(Main Effect)" ส่วนอิทธิพลร่วม (Interaction) จะหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองในระดับปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่างๆของปัจจัยนำเข้าตัวอื่นๆซึ่งแสดงๆได้โดยพิจารณาจากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (A) และการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (B)

จากรูปที่ 2.10A จะเห็นได้ว่า เส้นของ B- และ B+ จะประมาณได้ว่าขนานกัน ซึ่งลักษณะของกราฟเช่นนี้จะบ่งบอกถึงการไม่มีอันตรกิริยาซึ่งกันและกันของปัจจัยทั้งสอง ในทำนองเดียวกันจากรูปที่ 2.10B จะเห็นได้ว่า เส้นของ B- และ B+ ไม่ขนานกันและสามารถกล่าวได้ว่าปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยากันบ่อยครั้งที่กราฟลักษณะเช่นนี้ไม่ควรนำมาใช้แทนเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพราะว่าการตีความจากกราฟค่อนข้างที่ขึ้นอยู่กับความคิดเห็นส่วนบุคคลซึ่งอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดหรือวิเคราะห์ผิดพลาดได้

d) ระยะการแก้ไขปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

ระยะปรับปรุง (Improve) เป็นระยะที่หาระดับที่เหมาะสม โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) มีรายละเอียดดังนี้

<u>การออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวผลตอบ</u>

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่เราสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และเรามีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้

กราฟฟิตและวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบจะทำได้ง่ายถ้าเราเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งลักษณะของการของการออกแบบที่ต้องพิจารณาบางประการคือ

- ทำให้เกิดการแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลตลอดบริเวณที่ทำการพิจารณา
- ทำให้สามารถตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง และ Lake of Fit ได้
- ทำให้การทดลองสามารถเกิดขึ้นได้ในบล็อก
- ทำให้การออกแบบที่มีอันดับ (Order) สูงขึ้น สามารถสร้างขึ้นได้ตามลำดับ
- ให้ค่าประมาณภายในของความผิดพลาด
- ไม่ต้องมีหลายระดับของตัวแปรอิสระ
- คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

e) **ระยะติดตามควบคุม** (Control Phase)

ระยะควบคุม (Control) เป็นช่วงสุดท้ายของกระบวนการ DMAIC โดยมีการจัดทำมาตรฐานสำหรับปัจจัยนำเข้า กระบวนการ และผลลัพธ์ เพื่อรักษามาตรฐานหลังจากที่ได้ดำเนินโครงการปรับปรุง โดยมีการวางแผนควบคุมกระบวนการ เพื่อมุ่งป้องกันไม่ให้ปัญหาต่างๆเกิดขึ้นซ้ำอีก ดังเช่น การปรับปรุงวิธีการทำงาน จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน และจัดทำแผนการฝึกอบรม กำหนดตัวชี้วัดสำหรับควบคุม การตรวจสอบกระบวนการ การใช้กลไกสำหรับตรวจจับความบกพร่องและการติดตามควบคุมกระบวนการใช้แผนภูมิควบคุมหรือการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control) รวมทั้งการประเมินและสรุปผลการดำเนินโครงการ

2.1.2 ทฤษฎีและแนวคิดการทำสมดุลสายการผลิต

กรณีของการวางผังโรงงานตามชนิดของผลิตภัณฑ์ (Product Layout) ถ้ากระบวนการผลิตนั้นเป็นการประกอบผลิตภัณฑ์จากชิ้นส่วนย่อยๆออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ต้องการ มักจะเรียกว่าสายการประกอบ (Assembly Line) ลักษณะของการจัดสายการประกอบจะทำการแบ่งงานออกเป็นงานย่อย (Element tasks) แต่เนื่องจากเวลาของแต่ละงานย่อยนั้นมีค่าไม่เท่ากัน ถ้าทำการจัดทรัพยากร 1 ชุดต่อ1 งานย่อย อาจจะทำให้สายการผลิตนั้นเกิดเวลาว่าง (Idle Time) โดยไม่จำเป็นได้ ดังนั้นจึงมีเทคนิคในการสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) เกิดขึ้น

การสมดุลสายการผลิตเป็นกระบวนการในการจัดกลุ่มงานย่อยให้เป็นสถานีทำงาน (Work Station) เป้าหมายคือพยายามทำให้เวลาสถานีทำงานนั้นเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด คำนึงถึงข้อจำกัดในด้านของลำดับก่อนหลังของงานย่อย (Precedence) ความแตกต่างของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรในการทำงานย่อยเป็นการทำให้เกิดการเพิ่มอรรถประโยชน์ (Utilization) ของคนหรืออุปกรณ์ ถ้าเวลาของแต่ละสถานีแตกต่างกันมากจะทำให้เกิดปัญหาตามมาหลายประการเกิดการรอหรือเวลาว่าง เกิดสภาวะคอขวด (Bottleneck) ที่เกิดอุปสรรคจากสภาพบริเวณการทำงานไม่ดี ทำให้เกิดอุบัติเหตุเป็นต้น

2.1.2.1 แนวคิดพื้นฐานของการสมดุลสายการผลิต

รอบเวลา คือ เวลารวมของงานย่อยที่มากที่สุดที่จะอนุญาตให้จัดสถานีทำงานได้ ซึ่งจะเป็นสิ่งกำหนดผลผลิต(Output Capacity) ของสายการผลิตนั้น ตัวอย่างเช่น ถ้ารอบเวลาของสายการผลิตคือ 2 นาที หมายความว่าสายการผลิตจะมีผลผลิตออกมาทุกๆ 2 นาที รอบเวลาสั้นที่สุดที่เป็นไปได้ (Minimum Cycle Time) คือ1.0 นาที และรอบเวลามากที่สุดที่เป็นไปได้ (Maximum Cycle Time) คือ 2.5 นาทีทั้ง 2 ค่านี้จะเป็นสิ่งกำหนดผลผลิตของสายการผลิต สามารถหาได้

$$\text{ผลผลิต} = \frac{\text{เวลาในการทำงานต่อวัน (Operationing Time/Day)}}{\text{รอบเวลา (Cycle Time)}} \qquad (2.9)$$

ถ้าทราบถึงผลิตผลที่ต้องการต่อวัน ก็จะสามารถหารอบเวลาเป้าหมายในการจัดสมดุลสายการผลิตได้

$$\text{รอบเวลา} = \frac{\text{เวลาในการทำงานต่อวัน}}{\text{ผลิตผลที่ต้องการต่อวัน}} \qquad (2.10)$$

หลังจากที่ทำการจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้ เทคนิคต่างๆ แล้ว สามารถเลือกคำตอบที่ดีที่สุดได้โดยดูจากค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ของสายการผลิต หรือ เปอร์เซ็นต์ของเวลาว่าง (Percentage of Idle Time or Balance Delay) ดังสมการที่ 2.12 และ 2.13

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลรวมของเวลาย่อยทั้งหมด}}{\text{จำนวนสถานีทำงานจริง} \times \text{รอบเวลาที่ได้จริง}} \times 100 \qquad (2.11)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์เวลาว่าง} = 100\% - \%\text{ประสิทธิภาพ} \qquad (2.12)$$

2.1.3 ทฤษฎีและแนวคิดของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (ไพโรจน์ วิริยจารี, 2515)

สถาบันของนักเทคโนโลยีทางด้านอาหาร (The Institute of Food Technologists' ; IFT) ในหน่วยของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้คำนิยามของคำว่า "ประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation)" ว่า เป็นกฎเกณฑ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัดค่าวิเคราะห์ผลและสรุปผลจากปฏิกิริยาต่างๆต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากความรู้สึกของมนุษย์ในแง่การมองเห็น การได้รับกลิ่น รสชาติ การสัมผัส และการได้ยิน เป็นต้น ผลของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การรับรู้ผลิตภัณฑ์ว่ามีความเป็นเอกภาพและมีความสำคัญต่อการยอมรับของมนุษย์ได้ ปฏิกิริยาของมนุษย์ต่อผลิตภัณฑ์สามารถที่จะอธิบายได้ในลักษณะที่คล้ายกับการวิเคราะห์ทางด้านเคมี กายภาพ และ/หรือทางด้านชีวภาพของผลิตภัณฑ์ (Stone, 1995) และคำนิยามดังกล่าวยังรวมถึงความจำเป็นที่ต้องใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่อการฝึกปฏิบัติเทคนิคการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสด้วย

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมนี้เป็นการใช้การวิเคราะห์ประสาทสัมผัสของคนปาดแยมเพื่อดูความยากง่ายในการปาดโดยจะใช้เครื่องมือในการวัดทดสอบความยากง่ายไม่ได้ เพราะแยมเป็นอาหารที่ให้ผู้บริโภคได้ใช้ความรู้สึกในการปาดไม่ได้ใช้เครื่องมือช่วย โดยจึงได้มีแนวคิดของการทดสอบที่มีลักษณะเป็นปรนัย (Subjective Tests) มาใช้ในการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (Klemmer, 1968) ด้วยเหตุผลที่ว่ามนุษย์โดยธรรมชาติที่แท้จริงแล้วไม่มีความสามารถเท่าเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆในการวัดค่าทางด้านเคมี และกายภาพ เครื่องมือสามารถนำ มาใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นค่าที่น่าเชื่อถือในความถูกต้อง อย่างไรก็ตามในการศึกษาอย่างกว้างขวางทางด้านประสาทสัมผัสและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับผลที่ถูกต้องและเป็นที่น่าเชื่อถือเช่นกัน แม้ว่าจะเป็นค่าที่มาจากการประเมินของมนุษย์ก็ตาม นอกจากนี้ยังมีข้อโต้แย้งที่ว่าเครื่องมืออาจจะไม่ใช่การวัดที่แท้จริงเนื่องจากโดยทั่วไปการวัดจะต้องมีการควบคุมสภาวะของสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในเครื่องมือ ซึ่งอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุผลดังกล่าว การใช้เครื่องมืออาจจะทำให้เกิดการตัดสินใจที่ผิดพลาดของประสิทธิภาพทางเทคนิคการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (Burgard and Kuznicki, 1990) นอกจากนี้ Daget (1977) ได้นำ เอาแนวความคิดของคำว่า Measurement มาใช้แทนคำว่า Evaluation แต่อย่างไรก็ตาม อาจจะใช้คำว่า Sensory Evaluation ตามคำ นิยามของ IFT ที่ได้กำหนดไว้

2.1.3.1 การให้คะแนนการการใช้สเกล

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมนี้ต้องอาศัยความรู้สึกของคนในการปาดแยมโดยจะให้คะแนนเป็นสเกลเพื่อใช้สำหรับการฝึกฝนผู้ทำการทดสอบเพื่อให้ผู้ทำการทดสอบเปรียบเสมือนเครื่องมือวัดเพื่อบอกความแตกต่างของความแข็งของแยมเป็นเชิงสเกลตัวเลข โดยวิธีนี้จะมีประโยชน์อย่างมากในสาขาของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส เพราะว่ามีความง่ายในการประยุกต์ใช้การทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาใช้ทั้งการทดสอบจากผู้ประเมินและการทดสอบจากผู้บริโภค และการประยุกต์นี้จะให้เทอมที่ใช้ที่มีความหมายเหมือนกันกับ ผู้ประเมินทั้งหมด ดังนั้นจึงนับว่ามีประโยชน์ทั้งในการทดสอบความแตกต่างและความชอบ และสามารถวิเคราะห์ระดับการยอมรับในการใช้สเกลแบบ Hedonic Scaling นอกจากนี้ยังพบว่ามีประโยชน์สำหรับการควบคุมคุณภาพ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ การทดสอบการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ การกลั่นกรองผู้ประเมินสำ หรับการทดสอบความแตกต่างโดยการผันแปรระดับความเข้มของสิ่งกระตุ้น และในการวัดประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของผู้ประเมิน

2.1.3.2 เค้าโครงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเนื้อแยมซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อสัมผัส โดยเนื้อสัมผัสของอาหารถูกจำแนกว่าเป็นลักษณะโดยทั่วไปที่สำคัญมากกว่ากลิ่นหอม (Aroma) สีที่ปรากฏและรสชาติ (Flavor) ซึ่งมักจะประกอบกันเป็นลักษณะที่ปรากฏ (Appearance) ความรู้สึกทางปากและคุณสมบัติทางการจัดการของอาหาร (Gatchalian, 1981) บนพื้นฐานของคำนิยามนี้สามารถพิจารณาอย่างมีเหตุมีผลได้ว่าคุณสมบัติของลักษณะเนื้อสัมผัสสมควรที่จะพิจารณาอย่างสำคัญในแง่ส่วนประกอบหนึ่งของอาหาร และต่อมากำหนดเป็นเครื่องมือสำหรับการวัดทางด้านประสาทสัมผัส (Szczesniak, 1972) หลังจากนั้นได้มีการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือที่ใช้วัดลักษณะเนื้อสัมผัสกับการวัดทางประสาทสัมผัสทำให้สามารถสร้างมาตรฐานของสเกลหนึ่งในการกำหนดเป็นพารามิเตอร์ทางกลของลักษณะเนื้อสัมผัส(Szczesniak et al.,1963) การพัฒนาวิธีนี้ก็ใช้พื้นฐานมาจากข้อมูลและตามด้วยเทคนิคเค้าโครงด้านกลิ่นของ ADL Laboratory เช่นกัน แนวความคิดของเค้าโครงด้านลักษณะเนื้อสัมผัสจึงกำเนิดขึ้น

Brandt et al. (1963) ได้จำแนกเค้าโครงด้านลักษณะเนื้อสัมผัสว่าเป็นการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของลักษณะเนื้อสัมผัสที่ซับซ้อนของอาหารในเทอมทางกายภาพ เช่น รูปร่างลักษณะรวมทั้งไขมัน ความชื้นที่เป็นองค์ประกอบของอาหารนั้นๆ ระดับของแต่ละส่วนประกอบที่ปรากฏ และลำดับที่ปรากฏจากการกัดครั้งแรกจนถึงการขบเคี้ยวอย่างสมบูรณ์คำนิยามทำให้เห็นถึงขอบเขตที่กว้างมากที่เกี่ยวข้องในการทดสอบนี้ต่อการทำเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัสการทดสอบนี้ไม่เพียงแต่ต้องทำ ความเข้าใจของเทอมที่ใช้ในการจำแนกลักษณะเนื้อสัมผัส

อย่างชัดเจนแล้ว แต่ต้องทราบความสัมพันธ์ของมันต่อเทอมพรรณนาเฉพาะที่ประยุกต์ใช้กับลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร แม้ว่าการวัดทางกายภาพ และทางเคมีสามารถใช้ประโยชน์ในการอธิบายลักษณะเนื้อสัมผัส แต่อย่างไรก็ตามในที่สุดค่าต่างๆเหล่านั้นก็ถูกนำ มาสัมพันธ์กับลักษณะของอาหารในการขบเคี้ยว ดังนั้นการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสจึงไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงได้ การทดสอบที่ดีเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้การประเมินจากมนุษย์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด การทดสอบนี้อธิบายเกี่ยวเนื่องถึงความจำเป็นสำหรับการต้องฝึกฝนผู้ประเมินได้อย่างพอเพียงที่สามารถจะใช้ในการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหารที่มีความผันแปรต่างๆมากมาย

2.1.3.3 ขั้นตอนการดำเนินการจัดทำ เค้าโครงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส

ในการสร้างเค้าโครงหนึ่งๆ ผู้ประเมินสามารถใช้เป็นเครื่องมือที่น่าเชื่อถือเพื่อวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร ด้วยเหตุผลนี้ผู้ประเมินจะต้องถูกคัดเลือกอย่างระมัดระวังรวมทั้งการฝึกฝนและการคงไว้ซึ่งความชำนาญการในการประเมิน (Civille and Szczesniak, 1973) เงื่อนไขสำหรับเค้าโครงทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสได้แก่ (1) การคัดเลือกผู้ประเมิน (2) การฝึกฝนผู้ประเมิน (3) พัฒนาเทอมของลักษณะเนื้อสัมผัส (4) พัฒนาเทคนิคในการประเมิน (5) ให้ค่าทางปริมาณของการบันทึกลักษณะต่างๆของผลิตภัณฑ์และ (6) รักษาไว้ซึ่งผู้ประเมินเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัส

- **การคัดเลือกผู้ประเมิน**

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยม ก่อนที่จะทำการทดสอบนั้นต้องทำแบบสอบถามเพื่อคัดเลือกคนที่จะมาทดสอบการปาดแยมเพื่อคัดเลือกเฉพาะคนที่นิยมบริโภคแยมจริงๆ ดังนั้นสมาชิกของผู้ประเมินที่ต้องการสำหรับเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัสถูกคาดหวังเพื่อให้มีคุณภาพที่คล้ายกันเช่นเดียวกับผู้ประเมิน ผู้ประเมินสามารถถูกคัดเลือกบนพื้นฐานของความสนใจความเต็มใจการให้เวลาในการทดสอบและความฉลาดในการทดสอบ เพราะการทดสอบนี้จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับรู้สิ่งกระตุ้นระหว่างการขบเคี้ยว ผู้ประเมินควรจะถูกทดสอบสำหรับความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างการผันแปรในลักษณะเนื้อสัมผัสการทดสอบอย่างง่ายเป็นการถามผู้ประเมินในการลำดับ 3 ผลิตภัณฑ์เช่น แครอท ถั่วลิสง และลูกกวาดชนิดแข็งที่จัดการแบบการสุ่มโดยการเพิ่มหรือลดลงในลักษณะความแข็ง แนวโน้มผู้ประเมินควรสามารถที่จะลำดับในรายการดังกล่าวตามลำดับสำหรับเค้าโครงลักษณะเนื้อสัมผัสอาจจะใช้ผู้ประเมินเพียง 6 คนก็น่าจะเพียงพอในการประเมิน (Civille and Szczesnaik, 1973) แม้ว่ามันเป็นการที่ดีที่สุดคือการสลับกันประเมินในเวลาทั้งหมดที่ทดสอบโดยมีข้อแนะนำ ว่าในเบื้องต้นผู้ประเมิน 20-25 คนจะถูกกลั่นกรองและแล้วจำนวนที่ต้องการของผู้ประเมินปกติและสลับกันในการประเมินจากกลุ่มที่คัดเลือกนั้น

- **การฝึกฝนผู้ประเมิน**

การที่จะนำคนมาเป็นเครื่องมือแทนนั้นในการทดสอบประสาทสัมผัสจำเป็นต้องมีการฝึกฝนพนักงานในการทดสอบปาดแยมว่ามีความรู้สึกต่อเนื้อสัมผัสแยมแบบต่างๆได้ใกล้เคียงกันโดยมีขั้นตอนคือ ในลำดับแรกผู้ประเมินที่คัดเลือกมาแล้วควรจะดำเนินการดังนี้ (1) เข้าใจแนวความคิดพื้นฐานของลักษณะเนื้อสัมผัสซึ่งรวมถึงการจำแนกลักษณะเนื้อสัมผัสและการวัดค่าทางประสาทสัมผัส (2) ทราบเกี่ยวกับการทดสอบเพื่อคัดเลือกวัสดุมาตรฐานและ (3) การที่จะใช้สเกลลักษณะเนื้อสัมผัสที่ถูกจำแนกลักษณะดังกล่าวเนื่องจากลักษณะของอาหารโดยเฉพาะลักษณะเนื้อสัมผัสไม่สามารถคาดเดาได้อย่างง่ายโดยการเห็นลักษณะที่ปรากฏแต่จะต้องได้รับการสัมผัสอาจจะด้วยนิ้วมือ หรือทางปากบนพื้นฐานของการรับรู้ดังกล่าว โดยทั่วไปลักษณะเนื้อสัมผัสจะถูกจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มคือ (1) ลักษณะทางกลหรือปฏิกิริยาของอาหารที่มีต่อความรู้สึกของกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และข้อต่อต่างๆ (2) ลักษณะทางรูปร่างหรือลักษณะของอาหารที่สัมพันธ์กับขนาด รูปร่าง ความเป็นเส้นใย ขนาดอนุภาค เป็นต้น ที่ได้รับจากการสัมผัสด้วยนิ้วมือและทางปากได้อย่างถูกต้อง หลังจากกัดหรือระหว่างการขบเคี้ยว และ (3) ลักษณะอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับความชื้นหรือปริมาณไขมันในอาหารและความรู้ในปากที่สัมผัสครั้งแรกหรือหลังจากขบเคี้ยว

บนพื้นฐานการทดสอบเค้าโครงด้านกลิ่น เค้าโครงด้านลักษณะเนื้อสัมผัสใช้การวัดที่เหมือนกันเช่น (1) การบันทึกลักษณะที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสที่ชัดเจน เช่น ลักษณะทางกล ทางรูปร่าง และปริมาณความชื้นและไขมัน (2) ความเข้มหรือระดับของบันทึกลักษณะที่ได้รับ (3) ลำดับลักษณะที่ปรากฏตามแบบแผนของลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นอนก่อนการขบเคี้ยว ระหว่างการกัด ขณะที่เคี้ยว หลังเคี้ยว ก่อนการกลืนและ (4) ขนาดหรือความรู้สึกลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่พิจารณาจากทั้งหมดในข้อ (1)-(3)

การคัดเลือกสเกลมาตรฐานของลักษณะเนื้อสัมผัสเพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างชัดเจนแก่สมาชิกผู้ประเมินเป็นสิ่งที่สำคัญระหว่างการฝึกฝนผู้ประเมิน โดยปกติความเข้าใจเทอมการพรรณนาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสแต่ละลักษณะควรจะถูกศึกษาโดยผู้ประเมินเทียบกับสเกลมาตรฐานที่เป็นไปได้เมื่อสเกลมาตรฐานถูกทำให้เข้าใจอย่างชัดเจนทำให้สามารถนำมาใช้ประยุกต์กับผลิตภัณฑ์อาหารที่ปกติเป็นที่รู้จักของผู้ประเมินการใช้เทอมในสเกลเป็นหลักยึดเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่รู้จักหนึ่งๆจะถูกนำมาใช้ในการประเมินระหว่างผู้ทดสอบชิม

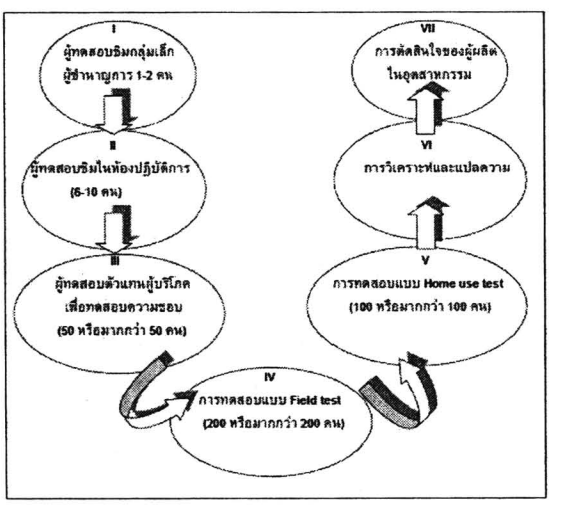
2.1.3.4 การทดสอบความชอบหรือการยอมรับรวมของผู้บริโภค

- **หลักการของการทดสอบผู้บริโภค**

สิ่งสุดท้ายที่ทางอุตสาหกรรมจะต้องคิดพิจารณาคือสินค้าทางอุตสาหกรรมนั้นๆ จะต้องถึงมือผู้บริโภคซึ่งผู้ผลิตที่ฉลาดควรต้องทราบข้อมูลที่มากพอเกี่ยวกับแนวโน้มการบริโภคของผู้บริโภค เช่น ธรรมชาติของผู้บริโภคเป็นเช่นไร ปฏิกิริยาต่อผลิตภัณฑ์เป็นเช่นไร การทดสอบผู้บริโภคในส่วนที่สำคัญต่อผู้ผลิตคืออะไร เป็นต้น

- **ประเภทของการทดสอบผู้บริโภค**

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมจากข้อสังเกตในแผนภาพของกิจกรรมการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในภาพ 2.11 จะอ้างถึงการประเมินจากผู้ชำนาญการกลุ่มเล็กๆ (I) และตามด้วยการใช้ผู้ประเมินระดับห้องปฏิบัติการ (II) และตามด้วยผู้ประเมินที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน (III) โดยปกติมีความเป็นไปได้ที่ จะเป็นคนในบริษัทหรือในอุตสาหกรรมนั้นๆ หรือกลุ่มคนที่รู้จักและเป็นตัวแทนของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายได้ ขั้นที่ IV และ V จะแสดงถึงประเภทของการทดสอบผู้บริโภค 2 ประเภทที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับได้แก่ การทดสอบแบบ Field Test และแบบ Home Use Test และหลังจากนั้นจะนำ ผลมาทำ การวิเคราะห์ (VI) และสุดท้ายใช้ผลการวิเคราะห์เป็นพื้นฐานในการตัดสินใจของผู้ประกอบการ (VII) ทั้งอาจจะใช้เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการผลิตสินค้าในระดับอุตสาหกรรมหรือไม่ก็อาจจะใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงสินค้าต่อไปเพื่อเพิ่มการยอมรับผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น



รูปที่ 2.11 แผนผังการทดสอบการยอมรับและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

- **การทดสอบแบบ** Field Tests

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมนี้จะเป็นการทดสอบแบบประเภท Field Tests โดยจะทำการคัดเลือกผู้บริโภคตามเกณฑ์ที่กำหนดก่อนทำการทดสอบโดยจุดมุ่งหมายเพื่อจะตรวจสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์หรือความชอบในสภาวะจริงของการซื้อ (Caul and Raymond, 1965) โดยพื้นฐานการทดสอบแบบ Field Test อาจจะถูกควบคุมในลักษณะ Central Location test (CLT) หรือไม่ก็อาจจะถูกควบคุมโดยใช้วงล้ออิสระเช่นการสุ่มตัวอย่างของผู้บริโภคในการทดสอบตลาด (Gatchalian, 1981)

วิธีการของการทดสอบแบบ Central Location Field Test สำหรับการยอมรับผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังนี้ (Cross et al., 1978; Czerkaskyj, 1971; Garardot, 1952 และGatchalian, 1981)

ก. ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับจากตัวแทนผู้บริโภคแล้วจะถูกผลิตในปริมาณที่เหมาะสมหรืออาจจะไม่ถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์หรือปิดฉลากแล้วแต่แผนการนำเสนอผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในตลาด

ข. พื้นที่เป้าหมายเฉพาะจะถูกกำหนดเป็นพื้นที่ศูนย์กลาง (Central location) ซึ่งอาจจะเป็นห้องอาหารในโรงเรียน หรือส่วนแสดงด้านนอกของห้องประชุม หรือพื้นที่ที่มีลักษณะทำนองเดียวกันที่ผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายจะถูกเชิญเพื่อใช้สำหรับสุ่มตัวอย่าง ผู้บริโภคถูกกำหนดให้นั่งในพื้นที่เฉพาะที่เตรียมไว้เพื่อการทดสอบผู้บริโภคดังกล่าวจะถูกแยกจากส่วนของผู้บริโภคที่เหลือระหว่างการประเมินจริง (Girardot,1952) พื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบแบบ Central Location Test โดยปกติจะถูกเลือกบนพื้นฐานของสถานที่ที่จำนวนตัวแทนผู้บริโภคขนาดใหญ่สามารถหาได้ เช่น สินค้าสำหรับเด็กนักเรียนใช้การทดสอบในพื้นที่ของห้องอาหารของโรงเรียน เช่น เดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจำหน่ายจะถูกทดสอบที่ห้องประชุม การสัมมนาการพื้นที่ที่มีการประชุมต่างๆ เป็นต้น

ค. ตัวอย่างที่เพียงพอจะถูกให้รหัสโดยการใช้วิธีการสุ่มตัวเลข 3 ตัว และนำ เสนอต่อผู้บริโภคหรือตัวแทนผู้บริโภคการนำเสนอมักจะทำ 2-3 ตัวอย่างในเวลาพร้อมกันขึ้นกับผู้บริโภคหนึ่งสามารถประเมินได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด

ง. ผู้ทดสอบชิมจะถูกแนะนำให้ตอบคำถามในแบบสอบถามอย่างง่ายๆ หรือผู้ทดสอบชิมอาจจะถูกสัมภาษณ์โดยผู้ทดสอบภาคสนาม ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างจะสนับสนุนหลักการที่ว่ายิ่งมีจำนวนของผู้ทดสอบชิมที่คัดเลือกแล้วอย่างสุ่มค่อนข้างมากยิ่งทำให้ผลการทดสอบการยอมรับเป็นที่น่าเชื่อถือมากขึ้นโดยทั่วไปควรจะใช้ผู้บริโภคไม่น้อยกว่า 50 คนในขั้นตอนนี้ (Cross et al., 1978; Gatchalian, 1981)

2.2 งานวิจัยที่ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมหรือลดเวลาสูญเปล่านั้นจะใช้หลักการของซิกซ์ ซิกมาโดยเริ่มแรกของการนำเทคนิคนี้มาใช้นั้นต้องอาศัยการทำงานจากทุกฝ่ายไม่ใช่ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง และต้องให้ความร่วมมือซึ่งกันและกัน โดยได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้คือ **ปรีดา พรมจักร์** (2552) ได้กล่าวว่าแนวคิดเทคนิคซิกซ์ ซิกมาจะทำให้ประสบความสำเร็จนั้นต้องตระหนักถึงลักษณะขององค์กร ไม่ว่าจะเป็นความพร้อมของผู้บริหาร ศักยภาพของพนักงานและกระบวนการการทำซิกซ์ ซิกมาจะสำเร็จหรือไม่ขึ้นอยู่กับการบริหารและดำเนินงานที่ถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพองค์กรโดยควรให้ความสำคัญกับประเด็นต่างๆ เช่น ระดับองค์กร อันได้แก่ ความมุ่งมั่นของผู้บริหาร การวางแผนกระบวนการและมาตรวัดและข้อมูลป้อนกลับ ระดับปฏิบัติงาน

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมได้มีตัวชี้วัดเป็นความสามารถของกระบวนการเป็น C_p และ C_{pk} ก่อนและหลังปรับปรุงอย่างไร เพื่อเป็นตัวบอกความสามารถของความแข็งของแยมว่ามีกระบวนการเป็นอย่างไรเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับเรื่องนี้คือ**บุญเลิศ ประสิทธิ์ศุภโรจน์** (2540) ได้ทำการศึกษากระบวนตัวอย่างที่เกี่ยวข้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของแยมโดยเรื่องที่ศึกษาคือเรื่องการชุบตะกั่วด้วยไฟฟ้าต้องควบคุมความหนาให้อยู่ในช่วง 300-700 ไมโครอินช์ ความสม่ำเสมอของความหนาวัดจากค่าความสามารถของกระบวนการผลิต (C_{pk}) ต้องมีค่ามากกว่า 1.5 จากการศึกษาพบว่า C_{pk} มีค่าประมาณ 0.8-1.2 เนื่องจากค่าเฉลี่ยของความหนามีค่าต่ำ และความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูง จึงทำการวิจัยเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงโดยแบ่งการวิจัยเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ทำการศึกษาความแตกต่างของความหนาเนื่องจากตำแหน่งจุดวัดที่ขาทั้ง 7 ขา เวลาที่ต่างกัน ความแตกต่างระหว่างชิ้นงาน และความแตกต่างภายในชิ้นงาน โดยผลการวัดแสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างของความหนาเนื่องจากตำแหน่งจุดวัดที่ขาทั้ง 7 ขา ระหว่างชิ้นงาน แต่มีความแตกต่างระหว่างของความหนาระหว่างวัน และภายในชิ้นงานโดยเฉพาะความหนาในแนวนอนที่ 1 จะมีค่าความหนาต่ำสุดที่สุด และความหนาจะมากขึ้นตามลำดับจากแนวนอนที่ 2 ถึง 8 ส่วนที่ 2 ศึกษาถึงตัวแปรในการผลิตที่มีผลต่อความหนาและความสม่ำเสมอของความหนาด้วย Process FMEA

งานวิจัยเรื่องปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมนั้นหลังจากที่ทราบความสามารถของกระบวนการก็ต้องนำมาปรับปรุงโดยวิธีคัดเลือกปัจจัยที่ผลมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อทำการแก้ไขต่อไป ซึ่งหลักการที่จะใช้ในงานวิจัยนี้คือหลักของ FMEA โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องคือ งานวิจัย**กิติศักดิ์ อนุรักษ์สกุล** (2545) ที่ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์และลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงร่างยานยนต์โดยใช้เทคนิค FMEA ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางใน

การใช้ในการหาปัจจัยที่ผลต่อคุณภาพความแข็งของแยม โดยงานศึกษาตัวอย่างนี้มีเพื่อมุ่งที่จะทำการวิเคราะห์และลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงร่างรถยนต์ ซึ่งเริ่มจากการศึกษาระบบการผลิตตลอดจนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และรวบรวมเพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์หากระบวนการที่ของเสียเกิด ลักษณะของการเสีย และใช้เทคนิค FMEA ซึ่งสามารถมองของเสียได้หลายมิติช่วยในการวิเคราะห์แก้ไขและยังมีงานวิจัยของ**วิทย์ วรรณจิตร** (2547) ที่มีการวิเคราะห์ FMEA ที่เกี่ยวข้องกันด้วยคือทำการศึกษาปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โดยทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแม่พิมพ์เพื่อหาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อหาข้อบกพร่องโดยใช้ผังก้างปลา ซึ่งได้ทำการประเมินและทำการจัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่อง และนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มาประยุกต์ใช้

งานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการลดเวลาสูญเปล่าของกระบวนการผลิตแยมที่ไม่จำเป็นบางกระบวนการเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต และยังสามารถเพิ่มจำนวนการผลิตมากขึ้นด้วย โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ของ**จิราพิสิฐ ไชยอารีกุล** (2550) ที่ได้ทำการศึกษาเรื่องการลดเวลาสูญเปล่าจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ของเครื่องบรรจุหลอดอัตโนมัติ IWKA รุ่น TFS10 และมุ่งเน้นเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับตั้งเครื่องจักร และการปรับแต่งเครื่องจักร โดยการวิเคราะห์ทำไม-ทำไม โดยผลจากการวิจัยครั้งนี้คือภายหลังการปรับปรุงสามารถลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรลดลงร้อยละ 63.05 ของเวลาก่อนปรับปรุง และลดเวลาปรับแต่งเครื่องจักรเพื่อแก้ไขปัญหาหลอดแตกอ้าจากร้อยละ 20.49 เหลือร้อยละ 5.01 ของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด

การลดเวลาสูญเปล่าของกระบวนการนอกจากจะช่วยลดเวลาที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์แล้ว ยังสามารถลดโอกาสที่สูญเสียค่าจ้างแรงงานเกินจำเป็นด้วย เพราะในกระบวนการผลิตแยมนั้นมีเวลาที่สูญเปล่าที่ทางโรงงานต้องจ่ายค่าจ้างให้กับพนักงานโดยที่พนักงานนั้นไม่ได้ทำงานเลย โดยงานวิจัยของ **จุฑาทิพย์ ซื่อตระกูลพานิชย์** (2552) ได้ทำการวิจัยเพื่อลดต้นทุนกระบวนการประกอบรถยนต์ภายใต้ข้อกำหนด ขนาดพื้นที่และจำนวนพนักงานที่จำกัดและที่สำคัญที่สุด คือ จะต้องไม่มีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง โดยพบว่าเวลาสูญเปล่าเกิดมากในกระบวนการผลิต เช่น การรอคอยอุปกรณ์และชิ้นงาน การทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ หลักการ ECRS โดยใช้หลักการการขจัดออก (Eliminate) การรวมเข้าด้วยกัน (Combine) การปรับเปลี่ยน (Rearrange) การทำให้ง่าย (Simplify) จึงถูกนำมาเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงสายการผลิต โดยสามารถลดจำนวนพนักงานจาก 7 เหลือ 6 คน ลดต้นทุนการประกอบเท่ากับร้อยละ 31.74 และ

สามารถเพิ่มอัตราการผลิตจาก 226 เป็น 283 ชิ้นซึ่งคิดเป็นอัตราการประกอบเพิ่มขึ้นร้อยละ 26 หรือลดต้นทุนต่อปีเท่ากับ 55,456.21 บาท

งานวิจัยเรื่องนี้ยังได้มีการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบแยมเพื่อทำการสำรวจความพึงพอใจของลูกค้าว่าแยมแบบไหนที่ปาดแล้วรู้สึกพอดีไม่ยากหรือง่ายเกินไปเพื่อเอามาเป็นมาตรฐานของความแข็งของแยมโดยมีงานวิจัยของ**จินตนา อุปดิสสกุล และธงชัย สุวรรณสิชณน์, (2551)** ที่สามารถนำมาอ้างอิงในงานวิจัยเรื่องนี้ได้ โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประชากรกว่าครึ่งโลกบริโภคข้าวเป็นอาหาร โดยลักษณะของข้าวหุงสุกที่นิยมบริโภคจะแตกต่างกันไปคุณลักษณะเนื้อสัมผัสมีอิทธิพลต่อการยอมรับในการบริโภคข้าว และมีความสำคัญต่อคุณภาพของข้าวหุงสุกด้วย งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก 6 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) กข15 (RD15)ปทุมธานี1 (PTT1) ชัยนาท1 (CNT1) สุพรรณบุรี1 (SPB1) และพิษณุโลก2 (PNL2) โดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา 11 คุณลักษณะ และจากการวัดด้วยเครื่องมือโดยใช้วิธีวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (TPA) 5 คุณลักษณะ พบว่าตัวอย่างข้าวมีเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) สามารถจัดกลุ่มตัวแปรองค์ประกอบหลัก (PCs) ได้ 2 องค์ประกอบ และอธิบายความแปรปรวนรวมได้ 83% (PC1 58% และ PC2 25%) จากการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆของข้าวด้วยวิธี PCA ร่วมกับการจำแนกกลุ่มตัวอย่างโดยใช้เทคนิค Cluster analysis สามารถแบ่งกลุ่มข้าวได้ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ KDML105, PTT1 และ RD 15 เป็นข้าวที่นุ่มและเหนียว กลุ่มที่ 2 คือ CNT1 และ SPB1 เป็นข้าวที่แข็ง หยาบและต้องใช้แรงในการเคี้ยว สำหรับกลุ่มที่ 3 คือ PNL2 เป็นข้าวต้องใช้แรงในการเคี้ยว

การจัดสมดุลของกระบวนการในกระบวนการผลิตแยมถ้าเกิดความไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการผลิตได้เพราะแต่ละกระบวนการมีอัตราการผลิตที่ไม่เท่ากัน โดยงานวิจัยของ **ณัฐกานต์ วีรานันต์ (2550)** สามารถนำมาเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อลดความล่าช้าในสายการผลิตแยมได้เพราะได้ทำการศึกษาและทำการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง พบว่าปัจจุบันทางโรงงานตัวอย่างประสบกับปัญหาทางด้านการผลิตที่ไม่สามารถผลิตได้ตามแผนที่วางไว้ สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากปัญหาเรื่องการจัดขั้นตอนการทำงานเพราะในขั้นตอนการทำงานไม่มีการศึกษาเวลามาตรฐานที่เหมาะสม ทำการรอคอยงานบริเวณรอยต่อของแผนกไม่เท่ากันจึงเกิดความล่าช้าจนเป็นคอขวด ในการแบ่งแผนกมีการจัดรอบเวลาการผลิตในแต่ละแผนกไม่เท่ากันจึงเกิดงานที่อยู่ในระหว่างการผลิตเกิดขึ้นจำนวนมาก โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาประสิทธิภาพในสายการผลิต โดยศึกษาในขั้นตอนในสายการผลิตตู้แช่ทั้งหมด แล้วนำมาจัดทำเป็นเอกสารประกอบการดำเนินงานและจัดอบรมให้กับพนักงานเพื่อให้พนักงานปฏิบัติตามขั้นตอนที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน จากนั้นทำการศึกษาเวลาการทำงานของพนักงานหลังจากที่มี

การปฏิบัติตามขั้นตอนในเอกสารการปฏิบัติงานแล้วนำเวลาที่ทำการศึกษามาจัดสมดุลสายการผลิต โดยการหารอบเวลาการผลิต จำนวนสถานีงานที่เหมาะสม

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงแผนผังการทำงานใหม่ของกระบวนการผลิตแยมนั้นหลังจากที่ทำการปรับปรุงแล้วก็ต้องมีการจัดทำสมดุลของกระบวนการใหม่ให้เหมาะสมเพราะแผนผังกระบวนการใหม่อาจจะมีความไม่สมดุลในบางกระบวนการได้ โดยได้ใช้งานวิจัยของ**อุกฤษฎ์ อัชชโคสิต** (2539) ในการประยุกต์และอ้างอิงในการทำงานวิจัยชิ้นนี้เพราะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวางแผนการผลิต สำหรับสายงานการผลิตยกทรง โดยการนำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลในสายงานการผลิตจริง และเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตเพื่อให้สายงานการผลิตเกิดเวลาว่างงานน้อยที่สุดและทำให้ผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีงานค้างในสายงานการผลิตอยู่เป็นจำนวนมากเทคนิคที่ใช้ทดลองในการจัดสมดุลสายงานการผลิตนี้ ได้แก่ เทคนิคของ Hoffman, COMSAL, Ranked Positional Weight, และการจัดสมดุลการผลิตที่ใช้ในปัจจุบันซึ่งจัดโดยหัวหน้าทีมที่มีประสบการณ์ในการจัดพนักงานเย็บเข้าทำงานในสถานีงานต่างๆ ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นพบว่าเทคนิคของ Hoffman ให้ผลลัพธ์ที่สายการผลิตมีเวลาว่างงานน้อยที่สุดในบรรดา 4 วิธีดังกล่าวข้างต้น จากการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ปฏิบัติมีผลทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นประมาณ 13% และการเกิดงานค้างในกระบวนการผลิตลดลง 52% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งทำให้โรงงานสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ 756,000 บาทต่อปี

งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยม หลังจากที่ทราบผลความสามารถของกระบวนการว่าค่า C_p และ C_{pk} มีค่าน้อยเกินไป จำเป็นต้องทำการปรับปรุงกระบวนการให้ซึ่งอาจจะต้องมีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าการปรับตั้งปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความแข็งของแยม และทำการแก้ไขปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของแยม ซึ่งงานวิจัยของ**ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา** (2541) นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เพราะได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงดึงระหว่าง Slider และ Flexure ของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปได้จริง ปัจจัยจากการวิเคราะห์แผนภาพแสดงเหตุและผลมี 4 ปัจจัย ได้แก่อัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ และชนิดของน้ำหนักกด จากนั้นทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงดึงและปัจจัยใดบ้างที่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน ผลการทดลอง,แสดงสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้หัวอ่านเขียนมีค่าแรงดึงสูงสุด คือ อัตราส่วนผสม 4:1 อุณหภูมิในการอบ 300 องศาฟาเรนไฮต์ และเวลาที่ใช้ในการอบ 16 นาที เมื่อเปรียบเทียบเชิงสถิติ พบว่าค่าแรงดึงเฉลี่ยที่สภาวะใหม่นี้มีค่าสูงกว่าค่าแรงดึงที่เป็นอยู่ในสภาวะปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญ

การปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมให้ได้ออกมาดีที่สุดนั้น จำเป็นจะต้องศึกษาและหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพความแข็งของแยม และต้องทำการทดลองเพื่อศึกษาว่าแต่ละปัจจัยจะมีอิทธิพลหรือเกี่ยวข้องกันอย่างไรต่อคุณภาพนี้ โดยได้มีงานวิจัย**ของสรียา กสิกพันธุ์** (2543) ที่สามารถนำมาเป็นแนวทางในการทดลองปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมได้ โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิล และหาเงื่อนไขส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง เพื่อเพิ่มมูลค่าของเศษแผ่นพาร์ทิเคิลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ โดยแผ่นพาร์ทิเคิลที่ผลิตได้ต้องมีคุณภาพตรงตามมาตรฐานและเหมาะสมต่อการใช้งาน และงานวิจัยของ**มะลิ แซ่อึ้ง** (2544) ก็ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกันคือทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบดีบุกด้วยไฟฟ้า ได้ระบุปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อความหนาผิวเคลือบโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ทำให้ทราบว่า 6 ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อค่าความหนา ปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย ความเข้มข้นน้ำยาดีบุก Additive อิเล็คโตรไลต์ ความสูงของแผ่นกั้น เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิวและความหนาแน่นกระแส การออกแบบการทดลองวิธีการ Taguchi ได้ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าความหนาผิวเคลือบเฉลี่ย และให้ความแข็งแรงต่อค่าตอบสนองจากการทดลองพบว่าเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้นที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาผิวเคลือบ คือ ความเข้มข้น อิเล็คโตรไลต์เวลาในการเคลือบและความหนาแน่นกระแส ความสูงของแผ่นกั้นที่ 35 มิลลิเมตรให้ความแข็งแรงต่อค่าตอบสนอง การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลได้ถูกนำใช้เพื่อในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมได้ความหนาผิวเคลือบใกล้ค่ากึ่งกลางและมีความผันแปรน้อยที่สุดโดยไม่มีข้อบกพร่องของคุณสมบัติทางกายภาพ