

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลีนและซิกซ์ซิกมา

ลีน ซิกซ์ซิกมา เป็นกลยุทธ์ทางธุรกิจและเป็นวิธีการที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเพื่อเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า (Ronald, 2010)

ลีน คือหลักการที่เป็นระบบช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนและช่วยทำให้การไหลของกระบวนการดีขึ้นโดยระบุและขจัดแหล่งของความสูญเปล่าในกระบวนการ ซึ่งความสูญเปล่าเป็นสาเหตุของการไหลของกระบวนการที่ไม่สะดวกและติดขัด

ซิกซ์ซิกมา คือหลักการที่เป็นระบบที่ค้นหาปัจจัยสำคัญที่ขับเคลื่อนประสิทธิภาพของกระบวนการและกำหนดปัจจัยที่สำคัญให้อยู่ในระดับที่ดีที่สุดและรักษาระดับที่ดีที่สุดไว้ตลอดไป

ลักษณะทั่วไป ลีนจะมองว่าอะไรที่ไม่ควรจะทำและมีเป้าหมายที่จะกำจัดมัน ส่วนซิกซ์ซิกมา จะมองว่าอะไรที่ควรจะทำและมีเป้าหมายที่จะทำให้ถูกต้องตั้งแต่ครั้งแรก และทุกเวลาสำหรับตลอดเวลา

ลีน ซิกซ์ซิกมา เป็นการเชื่อมความสัมพันธ์ของเครื่องมือต่างๆไว้ด้วยกันโดยไม่ได้ใช้เครื่องมือชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว โดยมีจุดเด่นในเรื่องการใช้เครื่องมือต่างๆซึ่งความสามารถในเข้าใจถึงทฤษฎีของแต่ละเครื่องมือจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ ดังตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงการประยุกต์ใช้ลีน ซิกซ์ซิกมาเข้าด้วยกันโดยสถาบัน Sigma Breakthrough Technologies, Inv. (SBTI) (Wedgwood, 2006) ซึ่งเป็นสถาบันที่มีความเชี่ยวชาญให้การให้บริการความรู้ทางด้านการพัฒนาลีนและซิกซ์ซิกมาของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยจะยึดหลักการของ DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) ตามหลักการของซิกซ์ซิกมา รวมเครื่องมือของลีนและเครื่องมือทางสถิติของซิกซ์ซิกมาเข้าไว้ด้วยกัน



ตารางที่ 2.1 Integrated Lean Sigma Roadmap in Sigma Breakthrough Technologies, Inc. (SBTI)

	Steps	Tools	Outputs
Define	Initiate the project	1.Project Charter 2.Meeting Effectiveness	1. Project charter 2. Project Team formed 3. Clear customer requirements
	Define the Process	1.SIPOC Map 2.Value Stream Map	
	Determine Customer Requirements	1.Brandstorming 2.Affinity Diagramming 3.Murphy 's Analysis 4.Interviews 5. Customer Requirements Trees	
	Define Key Process Output Variables	1. Project Charter 2. KPOVs	
Measure	Understand the Process	1.SIPOC/VSM 2.Input/Output Analysis 3.C&E Matrix 4.Detailed Process Maps	1. Current State Process Maps 2. Identified and Measured Xs (KPIVs) 3. Measurement system verified 4. Current capability of Ys (KPOVs)
	Evaluate Risks on Process Inputs	1. FMEA	
	Develop and Evaluate Measurement Systems	1. Data Collection Plans 2. Data Integrity Audits 3. Continuous MSA (Gage R&R) 4. Attribute MSA (Kappa Studies)	
	Measure Current Performance	Process Capability	
Analyze	Analyze Data to Prioritize Key Input Variables	1. Basic Statistics 2. Basic Graphs 3. Statistical Process Control 4. T-Test 5. ANOVA 6. Non-parametric 7.Chi-Square 8. Regression 9. Multi-vari Studies	1. Root causes of defects identified and reduced to vital few 2. Prioritized list of potential key inputs 3. Waste identified
	Identify Waste	1. Spaghetti Diagrams 2. VA/NVA Analysis 3. Takt time 4. 5S	
Improve	Verify Critical Inputs	1. Design of Experiments	1. Finalized List of KPIVs 2. Action plan for improvement 3. Future state process maps FMEA , control plans 4. New process design / Documentation 5. Pilot study plan
	Design Improvements	1. Kanban / Pull 2. Mistake Proofing 3. Quick Changeover 4.Workplace Organization 5. Process Mapping 6. Process Documentation	
	Pilot New Process	1. Training Plans 2. SPC 3. FMEA 4. Control Plans	
Control	Finalize the Control System	1. Control Plans 2. Process Documentation 3. Training Plans 4. Communication Plans 5. Statistical Process Control 6. Documentation	1. Control system in place 2. Improvements validated long term 3. Continuous improvement opportunities identified 4. New process handed off 5. Team recognition
	Verify Long-Term Capability	1. Statistical Process Control 2. Process Capability	

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
 ทัยสมตงานวิจัย
 วันที่..... 22 ส.ป. ๕๖๖๖.....
 เลขทะเบียน..... 246157.....
 เลขเรียกหนังสือ.....

2.2 ระบบการผลิตแบบลีน

“Lean (ลีน)” (Hines และ Taylor, 2000) แปลว่าผอมหรือบาง ในที่นี้มีความหมายในแง่บวก ถ้าเปรียบกับคนก็หมายถึงคนที่มีร่างกายสมส่วนปราศจากชั้นไขมัน แข็งแรง ว่องไว กระฉับกระเฉง ดังนั้น แนวคิดลีนจึงเป็นแนวคิดที่นำเอาเครื่องมือ วิธีการหรือกิจกรรมต่างๆ มาประยุกต์ใช้ เพื่อมุ่งหวังในการขจัดความสูญเปล่าในกระบวนการและสร้างคุณค่าที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าแก่สินค้าหรือบริการ

ลีน คือ หลักการที่เป็นระบบช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนและช่วยทำให้การไหลของกระบวนการดีขึ้นโดยระบุและขจัดแหล่งของความสูญเปล่าในกระบวนการ ซึ่งความสูญเปล่าเป็นสาเหตุของการไหลของกระบวนการที่ไม่สะดวกและติดขัด

2.2.1 มุมมองของลีน (Lean Perspective)

หลักการหนึ่งของแนวคิดลีน (Hines และ Taylor, 2000) คือ การระบุคุณค่าและกำหนดสายธารคุณค่า โดยมุมมองของลีนคือ การพิจารณากิจกรรมที่เกิดขึ้นในสายการผลิต ทำให้สามารถแบ่งเป็นลักษณะของกิจกรรมที่เกิดขึ้นในการผลิตออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. กิจกรรมที่ทำให้เกิดคุณค่า (Value Add Activity: VA) คือ กิจกรรมที่ทำการเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์หรือบริการในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ส่วนมากหากวิเคราะห์กิจกรรมทั้งหมดจะมีกิจกรรมที่มีคุณค่านี้คิดเป็น 5-10% ของกิจกรรมทั้งหมด (วิโรจน์ ลักษณะอดิศร, 2552)
2. กิจกรรมที่ไม่ทำให้เกิดคุณค่า (Non Value Added Activity: NVA) คือ กิจกรรมที่ไม่ทำให้เกิดคุณค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์หรือบริการ และเป็นกิจกรรมที่ไม่มีความจำเป็นต่อกระบวนการ ซึ่งนับเป็นเป้าหมายต้นๆ ที่ควรที่จะดำเนินการแก้ไขปรับปรุง มักจะเป็นเวลาที่ต้องเสียไปกับการรอคอย การดำเนินการต่างๆ กับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ เช่น การตรวจสอบซ้ำ การซ่อมแซมแก้ไข โดยกิจกรรมนี้คิดเป็น 30-40% ของกิจกรรมทั้งหมด (วิโรจน์ ลักษณะอดิศร, 2552)
3. กิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าแต่มีความจำเป็น (Necessary Non Value Added Activity: NVA-N) คือ กิจกรรมที่ไม่ทำให้เกิดคุณค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์หรือบริการ แต่เป็นกิจกรรมที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการ เช่น การเตรียมวัตถุดิบหรือวัสดุอุปกรณ์ การติดตั้งอุปกรณ์ กิจกรรมนี้สามารถปรับให้มีสัดส่วนน้อยลงได้ โดยปกติกิจกรรมนี้คิดเป็น 50-60% ของกิจกรรมทั้งหมด (วิโรจน์ ลักษณะอดิศร, 2552)

2.2.2 ผังกระบวนการระดับสูง (SIPOC)

ผังกระบวนการระดับสูง คือ ผังแสดงกระบวนการว่าโรงงานสนองความต้องการของลูกค้าให้พึงพอใจได้อย่างไร เพื่อบ่งชี้องค์ประกอบพื้นฐานของกระบวนการที่จะต้องศึกษา (วิทยา สุนทรพิฑิต ดำรง, 2553) ซึ่งประกอบด้วยดังต่อไปนี้

1. ผู้จัดส่งวัตถุดิบ (Suppliers) คือ บุคคลหรือกลุ่มคนที่จัดหาสิ่งที้นำมาดำเนินการในกระบวนการ (ข้อมูล แบบฟอร์ม วัสดุ)
2. อินพุต (Input) คือ ข้อมูลหรือวัสดุที่ถูกจัดหามา
3. กระบวนการ (Process) คือ ขั้นตอนที่ใช้ทำงาน
4. เอาท์พุต (Output) คือ ผลิตภัณฑ์ บริการ หรือข้อมูลที่ถูกส่งไปให้กับลูกค้า
5. ลูกค้า (Customers) คือ ขั้นตอนไปในกระบวนการ หรือ ลูกค้ารายสุดท้าย (ภายนอก)

2.2.3 การปรับปรุงพื้นที่ทำงานด้วยกิจกรรม 5 ส

กิจกรรม 5ส (เกียรติขจร โฆมานะสิน, 2550) ได้รับการออกแบบมาเพื่อจัดการให้สถานที่ทำงาน เป็นระบบพื้นฐานที่ต้องทำก่อนที่จะนำวิธีการปรับปรุงอื่นๆ มาใช้ ประกอบด้วยกิจกรรม 5 อย่างดังนี้

1. สะสาง (Seiri, Sort) คือ การแยกแยะสิ่งของที่จำเป็นออกจากสิ่งของที่ไม่จำเป็น และขจัดสิ่งของที่ไม่จำเป็นออกไป ผลลัพธ์ที่ได้คือ ลดการหยิบสิ่งของที่ไม่ถูกต้องไปใช้งาน และ เพิ่มความคุ้มค่าในการใช้พื้นที่ทำงาน และ ลดต้นทุนการจัดเก็บ
2. สะดวก (Seiton, Set In Order) คือ การจัดวางหรือจัดเก็บสิ่งของต่างๆ ในสถานที่ทำงานอย่างเป็นระบบเพื่อความสะดวกและปลอดภัย และคงไว้ซึ่งคุณภาพ ประสิทธิภาพการทำงาน ผลลัพธ์ที่ได้คือ เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น ลดการเสียเวลาในการค้นหาสิ่งของ ลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น เป็นต้น
3. สะอาด (Seiso, Shine) คือ การทำความสะอาด (ปัด กวาด เช็ด ถู) และ ตรวจสอบเครื่องจักร อุปกรณ์ รวมทั้งบริเวณสถานที่ทำงาน ผลลัพธ์ที่ได้คือ เพิ่มความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน เพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงรักษาเครื่องจักร เพิ่มความรู้ ความชำนาญเกี่ยวกับเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์
4. สุขลักษณะ (Seiketsu, Standardize) คือ การรักษามาตรฐานในการปฏิบัติ 3ส ที่ดีไว้และปรับปรุงเพื่อยกระดับมาตรฐานให้สูงขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้คือ เพิ่มอายุการใช้

งานของเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ เพิ่มขวัญกำลังใจของพนักงาน ทำให้มองเห็นปัญหา เพื่อแก้ไขปรับปรุงได้อย่างทันที่

5. สร้างนิสัย (Shitsuke, Sustain) คือ การปฏิบัติตามระเบียบ กฎเกณฑ์ของหน่วยงานอย่างสม่ำเสมอ จนกลายเป็นการกระทำที่เกิดขึ้นเองโดยอัตโนมัติหรือโดยธรรมชาติ ผลลัพธ์ที่ได้คือ พนักงานมีทัศนคติที่ดีในการปรับปรุงงาน ปฏิบัติตามมาตรฐาน 5ส อย่างเต็มใจ และยินดีให้ความร่วมมือ สร้างวัฒนธรรมองค์กรในด้านความมีระเบียบวินัย

2.2.4 การปรับปรุงการวางผังพื้นที่ทำงาน (Plant Layout)

การจัดการสถานที่ทำงาน คือ การปรับปรุงการวางผังพื้นที่ทำงาน เพื่อใช้พื้นที่ทำงานอย่างคุ้มค่า ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และการสื่อสารของพนักงาน อีกทั้งเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นของกระบวนการผลิต และการพัฒนาคุณภาพสินค้า เนื่องจากการลดความสูญเสีย โดยเฉพาะการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ ชิ้นงาน หรือ สินค้าต่างๆ ซึ่งไม่จำเป็นภายในกระบวนการวางผังพื้นที่ทำงานโดยทั่วไปจำเป็น การวางผังตามกระบวนการ การวางผังตามผลิตภัณฑ์ หรือการวางผังแบบอยู่กับที่ การปรับปรุงการวางผังพื้นที่ทำงานตามแนวทางของลีน มีหลักพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. Cross Traffic คือ หลีกเลี่ยงการจัดเส้นทางเคลื่อนที่ของชิ้นงานที่ตัดกัน เนื่องจากก่อให้เกิดความสับสนของชิ้นงานในแต่ละกระบวนการผลิต อาจนำมาซึ่งความสูญเสียจากการผลิตของเสีย และการติดขัดในระหว่างเคลื่อนย้าย
2. Backtracking คือ การจัดให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามลำดับของกระบวนการผลิตจนกระทั่งจัดส่งสินค้าให้แก่ลูกค้า ไม่เคลื่อนที่กลับไปที่เดิม เพื่อป้องกันความสูญเสียจากการขนส่งที่ไม่จำเป็น
3. Shortest Distance Travel คือ การลดระยะทางการเคลื่อนที่ให้สั้นที่สุด กระบวนการผลิตรูปตัวยูเป็นการวางผังเครื่องจักรที่ทำให้พนักงานมีระยะทางการเคลื่อนที่สั้นลง โดยจัดเรียงเครื่องจักรตามลำดับของกระบวนการเป็นรูปคล้ายตัวยู จัดวางวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปไว้ใกล้กัน แล้วให้พนักงานทำงานตามลำดับจนครบทุกกระบวนการ เมื่อครบรอบก็จะเริ่มทำงานซ้ำแบบเดิมอีกครั้ง ซึ่งจะช่วยลดการเดินทางของพนักงานลง และพนักงานยังช่วยเหลืองานกันได้ง่ายอีกด้วย
4. Integration คือ การจัดทรัพยากรผลิตให้อยู่ร่วมกัน เพื่อเพิ่มความสามารถในการตอบสนองการทำงาน

5. Flexibility คือ การปรับเปลี่ยนสิ่งต่างๆ ได้ง่าย โดยมีต้นทุนการปรับเปลี่ยนต่ำที่สุด และ ดิตซ์ดน้อยที่สุด

2.2.5 ความสูญเปล่า 7 ประการ

Muda คือ ภาษาญี่ปุ่น หมายถึงความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ Taiichi Ohno ได้จำแนกความสูญเปล่าที่พบได้ทั่วไปในการผลิตทางกายภาพออกเป็น 7 ประเภท (Hines และ Taylor, 2000) คือ

1. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการผลิตมากเกินไป (Over Production) คือ การผลิตสินค้าที่มากเกินไปจนพอดี อันจะทำให้เกิดความสูญเปล่าในการใช้ทรัพยากรมากเกินไป และยังก่อให้เกิดต้นทุนการเก็บรักษาและการขนย้ายที่มากเกินไป
2. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย (Idle Time/Delay) คือ ระยะเวลาที่เสียไปเพราะการรอคอย ซึ่งอาจเกิดจากการที่พนักงานยืนเฝ้าเครื่องจักรอัตโนมัติ การยืนรอเพื่อดำเนินงานขั้นตอนต่อไป รอเครื่องมือ รอวัตถุดิบ เป็นต้น
3. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่งที่ไม่จำเป็น (Transportation) คือ การขนส่งข้อมูล ข่าวสาร หรือสินค้าที่มากเกินไป เช่น การเคลื่อนย้ายชิ้นงานระหว่างทำเป็นระยะทางไกลๆ การขนย้ายอย่างไม่มีประสิทธิภาพ การเคลื่อนย้ายวัตถุดิบชิ้นส่วนสินค้าสำเร็จรูป งานระหว่างทำไปเก็บหรือนำออกจากคลังสินค้าหรือในระหว่างกระบวนการผลิต เป็นต้น
4. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Motion) คือ การเคลื่อนไหวที่ไม่เหมาะสม โดยอาจเกิดจากการจัดสภาพที่ทำงานไม่เหมาะสม ไม่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์ ทำให้พนักงานเกิดการเคลื่อนไหวที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ในระหว่างปฏิบัติงาน เช่น การเอื้อม การมองหา การเดิน เป็นต้น
5. ความสูญเปล่าที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่ขาดประสิทธิผล (Non-Effective Process) คือ การดำเนินขั้นตอนการผลิตที่ไม่เหมาะสม อันจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น เกิดความบกพร่องจากการผลิต ซึ่งจะก่อให้เกิดความสูญเปล่าขึ้น
6. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการผลิตของเสียและการแก้ไขงานเสีย (Defects And Reworks) คือ การผลิตชิ้นส่วนที่มีความบกพร่องหรือการแก้ไขข้อบกพร่องการซ่อมแซม การผลิตใหม่เพื่อทดแทนชิ้นส่วนที่เสียหาย การตรวจสอบ ซึ่งทำให้เกิดความสูญเปล่าในกระบวนการทั้งด้านต้นทุนและเวลา

7. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการเก็บพัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Stock) คือ การจัดเก็บวัสดุดิบ งานระหว่างทำ หรือสินค้าสำเร็จรูปที่มากเกินไปโดยจะส่งผลให้ระยะเวลานำมากขึ้น สินค้าตกทุน ต้นทุนการจัดเก็บที่สูงขึ้น ความล่าช้า นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ในทางอ้อมอีกด้วย เช่น ความไม่สมดุลของสายการผลิต ข้อบกพร่องของชิ้นส่วนต่างๆ พื้นที่ใช้สอยลดลง เป็นต้น

2.2.6 แนวคิดของระบบการผลิตแบบลีน

หลักการเบื้องต้นของแนวคิดลีนแบ่งออกเป็น 5 ข้อด้วยกัน (นิพนธ์ บัวแก้ว, 2547) คือ การระบุคุณค่า ระบุสายธารคุณค่า การสร้างการไหล การใช้ระบบดึงและการมุ่งสู่ความสมบูรณ์แบบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การระบุคุณค่า (Value) ช่วงการระบุคุณค่านับเป็นช่วงที่สำคัญมาก โดยจะทำการระบุคุณค่าหรือลักษณะของสินค้าหรือบริการที่ลูกค้าต้องการ ไม่ควรกำหนดคุณค่าจากมุมมองของบริษัท องค์กรหรือโรงงานเอง เพื่อให้สามารถดำเนินการตอบสนองได้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าอย่างแท้จริง
2. การระบุสายธารคุณค่า (Value Stream) เป็นขั้นตอนในการสร้างสายธารคุณค่าหรือการระบุขั้นตอนการดำเนินงานทุกขั้นตอน ตั้งแต่ การออกแบบ การสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า การวางแผน การผลิตสินค้า การจัดจำหน่าย รวมถึงการจัดส่งสินค้าหรือบริการให้กับลูกค้า เพื่อนำสายธารคุณค่ามาวิเคราะห์หากิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าหรือบริการ
3. การสร้างการไหล (Flow) เมื่อดำเนินการระบุคุณค่า ระบุสายธารคุณค่าและขจัดความสูญเปล่าตามหลักการลีนแล้ว ก็จะมีการไหลของกิจกรรมต่างๆ ที่เพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าและบริการไปอย่างต่อเนื่อง โดยปราศจากของเสีย การอ้อม การย้อนกลับและการรอคอย
4. การใช้ระบบดึง (Pull) นั้น จะมุ่งเน้นเพื่อตอบสนองเฉพาะสิ่งที่ลูกค้าต้องการเท่านั้น กล่าวคือ ทำเฉพาะสิ่งที่ลูกค้าต้องการ ตามปริมาณที่ต้องการ ภายในเวลาที่ต้องการ ระบบดึงจึงจะช่วยลดความสูญเปล่าในการผลิตหรือการจัดเก็บสินค้าคงคลังที่เกินความต้องการ
5. การมุ่งสู่ความสมบูรณ์แบบ (Perfection) นับเป็นเป้าหมายของการดำเนินโครงการลีน โดยจะทำการสร้างคุณค่า กำจัดความสูญเปล่า ค้นหาส่วนเกินที่ถูกซ่อนไว้และทำการกำจัดออกไปอย่างต่อเนื่อง

2.2.7 แผนภาพสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM)

แผนภาพสายธารคุณค่า (เกียรติขจร โสมมานะสิน, 2550) หมายถึง แผนภาพแสดงกิจกรรมทั้งหมดที่ธุรกิจดำเนินการส่งมอบคุณค่าในตัวสินค้าจากองค์กรไปยังลูกค้า เริ่มจากการรับวัตถุดิบ นำมาแปรรูป จนกระทั่งส่งมอบสินค้าที่มีคุณภาพให้แก่ลูกค้า โดยแสดงข้อมูลของกระบวนการต่างๆ เส้นทางเคลื่อนที่ของงาน และระบบเอกสารภายในกระบวนการ โดยแบ่งตามลักษณะการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. แผนภาพสายธารคุณค่าแสดงสถานะในปัจจุบัน (The Current State VSM หรือ Current VSM)
2. แผนภาพสายธารคุณค่าแสดงสถานะในอนาคต (The Future State VSM หรือ Future VSM)

โดยปกติลูกค้าจะเป็นผู้กำหนดสายธารคุณค่าให้ แต่หากลูกค้ามิได้กำหนดสายธารคุณค่าให้ การเลือกสายธารคุณค่า (วิทยา, ยุกา และ สุนทร, 2550) มี 2 วิธีการที่น่าเชื่อเพื่อช่วยในตัดสินใจว่า สายธารคุณค่าสายใดที่จะเป็นเป้าหมายเพื่อการปรับปรุง มีดังนี้

1. การวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ (Product Quantity Analysis: PQ Analysis) หมายถึงการวิเคราะห์ถึงชิ้นส่วนใดที่ใช้มากพอที่จะเป็นทางเลือกที่ชัดเจนโดยการแสดงออกในรูปของแผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตที่สูงกว่า ควรจะเป็นเป้าหมายสำหรับการปรับปรุงเป็นอันดับแรก
2. การวิเคราะห์เส้นทางของผลิตภัณฑ์ (Product Routing Analysis) ใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัดจากการวิเคราะห์แบบ PQ แล้ว ให้ใช้วิธีการวิเคราะห์เส้นทางของผลิตภัณฑ์แทน

2.2.8 การผลิตแบบไหลต่อเนื่องทีละชิ้น (One Piece Flow)

การผลิตแบบไหลต่อเนื่องทีละชิ้น (One Piece Flow) (โกศล ดีศีลธรรม, 2547) หรือการผลิตแบบไหลอย่างต่อเนื่อง (Continuous Flow manufacturing) เป็นเทคนิคที่มุ่งหมายให้เกิดการไหลของชิ้นงานระหว่างกระบวนการเป็นไปอย่างต่อเนื่องไม่ติดขัด (Interruptions) และลดเวลาในแถวคอย (Queue Times) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการเพิ่มผลิตภาพ ดังเช่น ลดความผิดพลาดการทำงานจากแรงงานหรือเครื่องจักร การไหลอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้เกิดผลิตผลที่มีคุณภาพและสร้างผลกำไรให้กับองค์กร โดยไม่จำเป็นต้องลงทุนเพิ่มในทรัพยากรการผลิต การลดช่วงระยะเวลานำการผลิตให้สั้นลง ลดระดับของงานระหว่างกระบวนการและสินค้าคงคลัง

2.2.9 การควบคุมการผลิตแบบลีน

เป้าหมายสำคัญของการควบคุมการผลิตแบบลีน (เกียรติขจร โสมานะสิน, 2550) คือ การรักษาสภาพการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) คือ การทำผลิตเฉพาะสินค้าหรือชิ้นส่วนที่ลูกค้าต้องการ ภายในเวลาที่ลูกค้าต้องการ และปริมาณที่ลูกค้าต้องการ ทำให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลง และจัดการแก้ไขได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยแนวคิดและวิธีการดังต่อไปนี้

1. กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continue Flow Processing) หรือ การผลิตทีละชิ้น คือ แนวคิดในการผลิตและเคลื่อนย้ายงานที่ต่อเนื่อง โดยไม่มีการหยุด การรอ หรือ การสะสมของงานระหว่างทำ ทำให้ระยะเวลานำในการผลิตสั้นลง ต่างจากการผลิตแบบเดิม ดังนี้
 - 1) กระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง คือ เมื่อพนักงานที่รับผิดชอบกระบวนการ A ทำงานเสร็จที่ชิ้นแล้ววางลงภาชนะที่จัดเตรียมไว้ เมื่อชิ้นงานเต็มภาชนะก็จะส่งต่อไปยังกระบวนการ B และ C ซึ่งผลิตเป็นรุ่นจำนวนมาก และใช้ระยะเวลานำในการผลิตยาวนาน
 - 2) กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง คือ เมื่อพนักงานที่รับผิดชอบกระบวนการ A ทำงานเสร็จ ก็จะส่งชิ้นงานต่อไปยังกระบวนการ B และ C ซึ่งอยู่ถัดไปทันที ไม่ต้องรอให้ครบจำนวน และไม่ต้องนำไปใส่รวมในภาชนะ การผลิตแบบนี้เรียกว่า การผลิตแบบไหลต่อเนื่องทีละชิ้น (One Piece Flow) เป็นแนวทางที่จะช่วยลดปริมาณพัสดุดคงคลัง ซึ่งเป็นสิ่งที่ปิดบังปัญหาภายในกระบวนการผลิตทำให้ปรับปรุงการทำงานได้ยาก การทำให้กระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่องมีแนวทางการปฏิบัติดังนี้
 - ก. จัดเรียงเครื่องจักรตามลำดับของกระบวนการผลิตและจัดสายการผลิตให้มีระยะทางการเคลื่อนที่น้อยที่สุด
 - ข. ใช้เครื่องจักรเฉพาะงานที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาณความต้องการของลูกค้าเพื่อให้การจัดรูปแบบสายการผลิตได้ง่าย
 - ค. ผลิตแบบไหลต่อเนื่องทีละชิ้น หรือลดจำนวนชิ้นงานที่ส่งมอบระหว่างกระบวนการในแต่ละครั้งให้น้อยที่สุด
 - ง. ดำเนินการผลิตให้ตรงเวลาตามการเรียกร้องของลูกค้าหรือกระบวนการถัดไป
 - จ. พัฒนาพนักงานให้สามารถทำงานได้หลายหน้าที่ เพื่อให้ควบคุมการผลิตได้หลายขั้นตอน

- ฉ. ดำเนินการควบคุมการผลิตหลายขั้นตอนโดยกำหนดจำนวนพนักงานให้เหมาะสม
 - ช. จัดให้พนักงานยืนทำงานแทนการนั่งทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน
2. การกำหนดจังหวะการผลิต (Takt Time) คือ ค่าอัตราความต้องการสินค้าของลูกค้า จะนำไปใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงานเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าหรือกำหนดอัตราการผลิตให้เท่ากับอัตราการขาย โดยมีการคำนวณค่า Takt Time ดังสมการที่ (2.1)

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{เวลาทำงานทั้งหมด} - \text{เวลาหยุดตามแผน}}{\text{จำนวนสินค้าที่ลูกค้าต้องการ}} \quad (2.1)$$

1) การควบคุมการผลิตโดยใช้ Takt Time

การรักษาอัตราการผลิตของทุกระบวนการให้เท่ากับ Takt Time ตลอดเวลา แต่ถ้าปริมาณความต้องการสินค้ามีการเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก ก็อาจจะปรับเพิ่มลดเวลาในการทำงานเพื่อชดเชยส่วนต่าง อย่างไรก็ตาม เมื่อกระบวนการผลิตมีปัญหา ทำให้ไม่สามารถผลิตได้ตามปกติ เช่น เครื่องจักรเสีย วัสดุดิบขาดช่วง ฯลฯ การใช้ค่า Takt Time ที่ได้จากการคำนวณไปใช้วางแผนและควบคุมการผลิตอาจมีความเสี่ยงต่อการผลิตสินค้าไม่ทัน ในทางปฏิบัติสามารถแก้ไขได้โดยการกำหนดค่า Operation Takt Time ซึ่งรวดเร็วกว่า แทนการใช้ Takt Time ควรที่จะเผื่อความไม่แน่นอนเอาไว้ 5% หมายถึงจะกำหนดให้ผลิตเร็วกว่าความต้องการจริงเล็กน้อยเพื่อชดเชยปัญหาต่างๆ ในกระบวนการ โดยพยายามกำจัดความไม่แน่นอนในกระบวนการเพื่อเปลี่ยนไปใช้ Takt Time จากการคำนวณ จึงจะเป็นการตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างแท้จริง

2) การจัดสมดุลการผลิตด้วย Takt Time

การจัดสมดุลการผลิตของระบบสลับ โดยพยายามจัดให้อัตราการผลิตตลอดทั้งกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าเท่ากับ Takt Time ซึ่งโดยปกติอัตราการผลิตของแต่ละกระบวนการจะพิจารณาในรูปแบบของ Cycle Time (รอบเวลาในการทำงาน) หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าหรือชิ้นงาน 1 ชิ้น

ทั้งนี้การพิจารณาสภาพสมดุลการผลิตของกระบวนการสามารถแบ่งออกเป็นกรณีต่างๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การพิจารณาสภาพสมดุลการผลิตของกระบวนการ

กรณีที่	สภาพของกระบวนการผลิต	ความหมาย	ผลลัพธ์
1	Cycle time > Takt Time	ผลิตสินค้าไม่ทันความต้องการของลูกค้า หรือ กระบวนการถัดไป	ไม่เกิดสมดุลการผลิต
2	Cycle time < Takt Time	มีกำลังการผลิตส่วนเกิน อาจจะมีการผลิตมากกว่าความต้องการ	
3	Cycle time > หรือ < Takt Time (ไม่แน่นอน)	มีปัญหาภายในกระบวนการผลิต ทำให้การผลิตทำได้ไม่สม่ำเสมอ	
4	Cycle Time ของทุกกระบวนการ = Takt Time	มีกำลังการผลิตพอเพียงกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งตรงตามเป้าหมายของระบบสิ้น	เกิดสมดุลการผลิต

กำลังการผลิตของกระบวนการทั้งหมดนั้นจะขึ้นอยู่กับกระบวนการที่มี Cycle Time ยาวนานที่สุด หรือ ที่เรียกว่า จุดคอขวด (Bottle Neck) ดังนั้น การวางแผนการผลิตจะคำนึงถึง Cycle Time ณ จุดคอขวด โดยเปรียบเทียบกับ Takt Time ว่ามีกำลังการผลิตเพียงพอกับความต้องการของลูกค้าหรือไม่

การลดความสูญเสียจากการที่มีกำลังผลิตที่ไม่เหมาะสมกับความต้องการสินค้าสามารถทำได้ โดยการปรับจำนวนพนักงานตามความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้มีการกระจายภาระงานที่เหมาะสม ดังสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$\text{จำนวนพนักงานที่เหมาะสม} = \frac{\text{เวลารวมในการทำงานเพื่อให้ชิ้นงาน 1 ชิ้น โดยพนักงาน 1 คน}}{\text{Takt Time}} \quad (2.2)$$

$$= \frac{\text{Cycle Time รวมทั้งหมดของพนักงาน}}{\text{Takt Time}} \quad (2.3)$$

2.2.10 การฝึกอบรมพนักงานข้ามสายงาน (Cross Trained Workforce)

การที่จะทำให้กระบวนการมีความยืดหยุ่นสูงสุดได้นั้น จำเป็นต้องมีการฝึกอบรมข้ามสายงาน (Cross Training) ให้กับพนักงานทุกคน และสำหรับการที่จะประยุกต์ใช้ระบบผลิตแบบดึงให้ เป็นผลสำเร็จได้นั้น ก็จำเป็นต้องจัดโปรแกรมการฝึกอบรมที่จะทำให้พนักงานสามารถเรียนรู้ เพื่อปฏิบัติหน้าที่ได้หลากหลายด้าน อาจเป็นการฝึกอบรมในขณะปฏิบัติงาน (On The Job Training) ก็ได้ และยังทำให้พนักงานแต่ละคนมีคุณค่ามากยิ่งขึ้นต่อทีมงานและต่อบริษัทด้วย นอกจากนี้ยัง

เป็นจุดกำเนิดหนึ่งของความภาคภูมิใจของพนักงาน ซึ่งหลายบริษัทจะมีการทำแผนภาพแสดงระดับทักษะของพนักงานไว้ให้ดูด้วย (วิทยา และ ยุพา, 2549)

2.2.11 งานที่เป็นมาตรฐาน (Standard Work)

งานที่เป็นมาตรฐาน คือ ชุดขั้นตอนการทำงานที่ทุกคนเห็นพ้องต้องกันแล้วว่าเป็นวิธีการและลำดับการทำงานที่ดีที่สุดและเชื่อถือได้มากที่สุดสำหรับกระบวนการแต่ละกระบวนการและสำหรับพนักงานแต่ละคน (พรเทพ และ ยุพา, 2550) ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นมากที่สุดในการทำงานร่วมกันของแรงงานคน วัสดุและเครื่องจักร นั่นคือ การสร้างรากฐานของการพัฒนารายวัน โดยการสร้างกระบวนการซ้ำๆ โดยให้คำจำกัดความของขั้นตอน เวลาและการจัดระเบียบแบบแผนของการปฏิบัติงาน เพื่อได้ผลตามที่ต้องการในราคาที่ต่ำและรับประกันในคุณภาพที่สูง ประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำงานมาตรฐาน คือ สร้างผังโรงงานที่มีพื้นที่ที่ไร้ประโยชน์น้อยที่สุด จำแนกความต้องการของงานในกระบวนการ (Work In Process: WIP) ที่น้อยที่สุดได้ เข้าใจเวลานำ (Lead Time) ที่มีผลกระทบต่อ WIP สามารถคำนวณความต้องการของพนักงานที่ต้องการต่อความต้องการที่หลากหลาย (Green, 2002) ทำให้สามารถดำเนินการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่กำหนดในด้านคุณภาพ ต้นทุน กำหนดส่งมอบ และความปลอดภัยตามที่ลูกค้าต้องการ (เกียรติขจร โสมมานะสิน, 2550) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำขั้นตอนวิธีการทำงาน และระยะเวลาในการทำงานที่ได้จากการตกลงร่วมกับพนักงานมาเขียนสรุป โดยอาจจะใช้สัญลักษณ์ต่างๆ มาแสดงให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้น
2. กำหนดรอบเวลามาตรฐาน (Takt Time) นำไปจัดสมดุลการผลิต และใช้ควบคุมความเร็วในการปฏิบัติงานของพนักงาน
3. ทดลองปฏิบัติพิจารณา และระบุสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาต่างๆ ที่พบเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุง
4. ดำเนินการปรับปรุงเพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้มาตรฐานที่กำหนด กำหนดมาตรฐานที่ประกอบด้วยวิธีการทำงาน และระยะเวลาในการทำงานอีกครั้ง และ ปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

2.3 การจำลองแบบปัญหา (Simulation)

การจำลองแบบปัญหา (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ ซึ่งมีผู้ให้คำจำกัดความของการจำลองแบบปัญหายู่มากมาย แต่คำจำกัดความที่ยอมรับว่าครอบคลุมความหมายของการจำลองแบบปัญหาได้เหมาะสมที่สุดก็คือ คำจำกัดความ

ที่ให้โดย Shannon (1975) ที่ว่า “การจำลองแบบปัญหา คือ กระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองโดยใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่างๆในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้” (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2537)

ดังนั้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการออกแบบแบบจำลองนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ การสร้างแบบจำลอง และการนำแบบจำลองมาใช้งานวิเคราะห์ แบบจำลองที่ดีนั้นจะต้องสามารถช่วยให้เข้าใจระบบงานจริง เพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อปรับปรุงการดำเนินงานของระบบจริงได้

การจำลองแบบปัญหาคอมพิวเตอร์นั้นเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานมากมายหลายประเภท ซึ่งถึงแม้การจำลองแบบปัญหานั้นจะมีประโยชน์อย่างมากแต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ นั่นคือ แบบจำลองปัญหาที่สร้างขึ้นนั้นไม่สามารถที่จะสร้างให้กับระบบจริงทุกประการได้ ซึ่งจะมีรายละเอียดบางอย่างของระบบถูกตัดออกไปบ้าง แต่ระบบจริงกับระบบจำลองนั้นจะมีความเหมือนกันทางด้านสถิติซึ่งจะสามารถยอมรับรายละเอียดที่ตัดออกไปได้ ดังนั้น การจำลองแบบปัญหาจึงมีไว้เพื่อศึกษาระบบ ไม่ใช่เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบ เพราะสิ่งที่ต้องยอมรับคือการจำลองปัญหาเป็นการเก็บข้อมูลในอดีต ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหา จะมีความคลาดเคลื่อนหรือแตกต่างกันได้จากระบบงานจริง ผู้ที่วิเคราะห์ระบบจะต้องมีความเข้าใจในข้อจำกัดและสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อระบบเป็นอย่างดี จึงจะสามารถวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหาได้อย่างใกล้เคียงกับระบบงานจริง

แบบจำลอง (Simulation Model) หมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือ แนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่งโดยโครงสร้างของแบบจำลองควรประกอบด้วย องค์ประกอบ (Component) ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables and Parameters) ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships) ขอบข่ายจำกัด (Constraints) ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) กระบวนการในการจำลองแบบปัญหา ประกอบด้วย

1. การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน ซึ่งเป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆ และวิธีการวัดผลของระบบงาน
2. การสร้างแบบจำลองจากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษา
3. การจัดเตรียมข้อมูลและวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองแล้วจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้
4. การแปรรูปแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5. การทดสอบความถูกต้อง เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้มั่นใจได้ว่าแบบจำลองนั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงได้ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา
6. การออกแบบการทดลอง เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ
7. การวางแผนการใช้งานแบบจำลองเป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลที่เพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองนั้น เป็นเพียงแค่การบอกเงื่อนไขไปดังกล่าวก็ครั้ง เพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม หรือได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้
8. การดำเนินการทดลอง เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการ และความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง
9. การตีความผลการทดลอง โดยตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร
10. การนำไปใช้งาน เป็นการเลือกวิธีการที่จะแก้ปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบจริง
11. การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างแบบจำลอง วิธีการใช้งาน และผลที่ได้จากการใช้งานเพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ

โปรแกรมอารีนา (รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ, 2551) เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลอง และดำเนินการทดลองไปกับตัวแบบจำลอง โดยตัวแบบจำลองจะถูกทำการทดลองความคิดในคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบ และนำไปสู่แนวทางในการวิเคราะห์ปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ยังสามารถสร้างภาพเคลื่อนไหว เสมือนจริงของระบบไว้บนจอคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย โดยตัวอย่างของการประยุกต์ใช้การจำลองแบบปัญหาในงานด้านต่างๆ ดังนี้

1. การจำลองระบบปัญหาด้านการจราจร เช่น จำลองรอบสัญญาณการปล่อยไฟจราจร
2. การจำลองระบบโครงข่ายการขนส่ง เช่น จำลองเส้นทางการลำเลียงสินค้า

3. การจำลองระบบงานด้านอุตสาหกรรม เช่น จำลองระบบสินค้าคงคลัง จำลองระบบการผลิต
4. การจำลองระบบงานด้านบริการ เช่น จำลองระบบโรงพยาบาล จำลองระบบธนาคาร

2.4 การทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypotheses)

การสรุปเกี่ยวกับลักษณะที่สำคัญของประชากร (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2547) โดยใช้ข้อมูลหรือสารสนเทศจากตัวอย่างอาจทำได้โดยการประมาณค่า และการทดสอบสมมติฐาน โดยการทดสอบสมมติฐานแตกต่างจากการประมาณค่า คือ การทดสอบสมมติฐานนอกจากจะอ้างอิงถึงประชากรได้แล้วยังสามารถทดสอบได้ว่าค่าพารามิเตอร์ของประชากรมีค่าหรือเป็นตามที่คาดไว้หรือไม่ เช่น ต้องการทดสอบว่าคนกรุงเทพฯ มีรายได้เฉลี่ยอย่างน้อย 5,000 บาทต่อเดือนหรือไม่ หรือสามารถทดสอบความเชื่อของผู้จัดการที่ว่า มีผู้ใช้สินค้าของเขามากกว่าคู่แข่งเกิน 20% ดังนั้น การสรุปลักษณะต่างๆของประชากรเพื่อใช้ช่วยในการตัดสินใจจึงมักจะใช้การทดสอบสมมติฐาน ในขณะที่การประมาณค่าอาจจะสรุปได้เพียงว่า ค่าพารามิเตอร์อยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่งที่ระดับความเชื่อมั่นหนึ่งๆเท่านั้น

2.4.1 ความหมายของสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐานคือ ความเชื่อของบุคคลใดบุคคลหนึ่งหรือของกลุ่มบุคคลใดๆ หรืออาจกล่าวได้ว่า สมมติฐานเป็นสิ่งที่บุคคลหรือองค์กรคาดว่าจะเกิดขึ้น ความเชื่อหรือสิ่งที่คาดนั้นจะเป็นจริงหรือไม่ก็ได้ เช่น ผู้จัดการโรงงานเงาะกระป๋องเชื่อว่าน้ำหนักเฉลี่ยของเงาะกระป๋องจะหนักอย่างน้อย 200 กรัม เป็นต้น ดังนั้น การทดสอบความเชื่อหรือสิ่งที่คาดไว้เรียกว่า การทดสอบสมมติฐาน ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความรู้ทางสถิติเข้ามาช่วยเพื่อทดสอบความเชื่อว่าจะถูกต้องหรือไม่

2.4.2 การตั้งสมมติฐานทางสถิติ

ในการทดสอบสมมติฐาน (Lind and others, 2007) โดยใช้ข้อมูลจากตัวอย่างเพื่อสรุปว่าสมมติฐานหรือสิ่งที่คาดไว้จริงหรือไม่นั้น สิ่งที่สำคัญที่สุด คือการตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ ซึ่งจะต้องประกอบด้วยสมมติฐาน 2 ชนิดทุกครั้งของการทดสอบคือ

- 1) สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_0
- 2) สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_a หรือ H_1

โดยสมมติฐาน H_0 และ H_1 จะอยู่ในทิศทางที่ตรงข้ามกันเสมอ

2.4.3 หลักเกณฑ์ในการตั้งสมมติฐาน

การพิจารณาว่าควรจะนำความเชื่อหรือสิ่งที่คาดไว้ไว้ในสมมติฐาน H_0 หรือ H_1 นั้น สรุปได้ดังนี้คือ ถ้าสิ่งที่คาดไว้มีเครื่องหมายเท่ากับ (=) อยู่ด้วยให้ไว้ใน H_0 ซึ่งจะมีผลทำให้สมมติฐาน H_1 จะอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับ H_0 เสมอ แต่ถ้าสิ่งที่คาดไว้ไม่มีเครื่องหมายเท่ากับ (คือมีเครื่องหมาย > หรือ < หรือ \neq) ให้ไว้ใน H_1 และใน H_0 อยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับ H_1 เหตุผลที่นำสิ่งที่คาดไว้ใน H_0 เมื่อสิ่งที่คาดนั้นมีเครื่องหมายเท่ากับอยู่ด้วย เนื่องจากจะมีการนำค่าที่เท่ากับค่านั้นไปคำนวณหาค่าสถิติทดสอบเพื่อสรุปผลว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 ในทางปฏิบัติจะพบว่าส่วนใหญ่สิ่งที่คาดไว้หรือสิ่งที่เชื่อมักจะไม่นวมเครื่องหมายเท่ากับ จึงมักนำความเชื่อหรือสิ่งที่คาดไว้ไว้ใน H_1

2.4.4 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติมักจะมี ความผิดพลาดอยู่เสมอ คำว่าความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในที่นี้ หมายถึง ความผิดพลาดเนื่องจากการใช้ข้อมูลตัวอย่างมาสรุปผลการทดสอบเพื่ออ้างอิงถึงประชากร ซึ่งอาจทำให้ผลสรุปของการทดลองคือไม่ยอมรับสมมติฐาน H_0 ทั้งที่ในประชากร H_0 เป็นจริง หรือผลการทดสอบทำให้สรุปได้ว่ายอมรับ H_0 จริงแต่ในความเป็นจริงแล้วสมมติฐาน H_0 ไม่จริง ความผิดพลาดแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากการปฏิเสธ H_0 หรือไม่ยอมรับ H_0 เมื่อ H_0 เป็นจริง และมักจะเรียกความผิดพลาดชนิดนี้ว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) และใช้สัญลักษณ์ α

โดยที่ $\alpha = P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ โดยที่ } H_0 \text{ เป็นจริง}) = P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \mid H_0 \text{ เป็นจริง})$

2) ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากการยอมรับ H_0 โดยที่ H_0 ไม่เป็นจริง และใช้สัญลักษณ์ β แทนความผิดพลาดประเภทนี้

โดยที่ $\beta = P(\text{ยอมรับ } H_0 \text{ โดยที่ } H_0 \text{ ไม่เป็นจริง}) = P(\text{ยอมรับ } H_0 \mid H_0 \text{ ไม่เป็นจริง})$

ในการทดสอบสมมติฐานแต่ละครั้ง ผู้ทดสอบย่อมต้องการที่จะให้มีความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภท (α และ β) น้อยที่สุด แต่ถ้าลด α จะทำให้ β เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกัน ถ้าลด β จะทำให้ α เพิ่มขึ้น การที่จะลดค่าทั้ง α และ β จะต้องเพิ่มขนาดตัวอย่าง โดยทั่วไปผู้ทดสอบควรลด β ให้มีค่าน้อยที่สุด เท่าที่จะทำได้ ซึ่งมีผลทำให้ α เพิ่มขึ้น ดังนั้น ผู้ทดสอบจะกำหนดค่า α (ระดับนัยสำคัญ) หรือกำหนดระดับความเชื่อมั่น $1-\alpha$ โดยที่ $1-\alpha$ คือโอกาสที่จะยอมรับ H_0 โดยที่ H_0 เป็นจริง

2.4.5 ประเภทของการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) การทดสอบแบบด้านเดียว (One-Sided Test)

การพิจารณาว่าการทดสอบสมมติฐานแบบใดจึงจะเรียกว่าการทดสอบแบบด้านเดียว ให้พิจารณาจากสมมติฐานแย้ง H_1 ถ้าใน H_1 มีเครื่องหมายมากกว่าหรือน้อยกว่าจะเรียกว่า การทดสอบแบบด้านเดียว

เขตปฏิเสธของการทดสอบแบบด้านเดียว

แบบที่ 1: การทดสอบด้านขวา (A Right-Tailed Test)

สมมติฐาน

$$H_0: \mu \leq \mu_0$$

$$H_1: \mu > \mu_0$$

โดยที่ μ_0 เป็นค่าคงที่ที่เราคาดหวัง และ μ เป็นค่าเฉลี่ยประชากรที่เราไม่ทราบค่าและให้ $\mu_1 > \mu_0$

สถิติทดสอบ

$$\bar{x} \text{ โดยที่ } \bar{x} \sim \text{normal}(\mu, \sigma^2/\sqrt{n})$$

ในทางปฏิบัติจะต้องเปลี่ยนสถิติทดสอบ \bar{x} ให้เป็น Z ดังสมการที่ (2.4)

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (2.4)$$

โดยที่

\bar{x} = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร

μ_0 = ค่าเฉลี่ยของประชากร

σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

n = ขนาดตัวอย่าง

ถ้า $\bar{x} \leq \mu_0$ จะยอมรับว่า H_0 จริง หรือถ้า \bar{x} มีค่ามากกว่า μ_0 ไม่มากนัก จะยังคงสามารถยอมรับ H_0 ได้เช่น ถ้า $\bar{x} \leq U$ จะยอมรับว่า H_0 จริง ค่า U ควรจะเป็นเท่าใด และจะเรียก U ว่าค่าวิกฤต (Critical Value) โดยการคำนวณหาค่า U จะพิจารณาจากค่า α และ β ถ้า α มีค่าน้อย (β มาก) จะทำให้ค่า U มาก ในทางตรงกันข้าม ถ้า α มีค่ามาก (β น้อย) จะทำให้ U มีค่าน้อย ในทางปฏิบัติ จะต้องกำหนดค่า α ไว้ล่วงหน้าก่อนทำการทดสอบ จึงทำให้สามารถหาค่า U



ได้ด้วยสมการที่ (2.5)

$$U = \mu_0 + Z_{1-\alpha} \sigma / \sqrt{n} \quad (2.5)$$

เขตปฏิเสธสมมติฐาน ($H_0: \mu \leq \mu_0$)

จะปฏิเสธ $H_0: \mu \leq \mu_0$ ถ้า $\bar{x} > U$ หรือ $\bar{x} > \mu_0 + Z_{1-\alpha} \sigma / \sqrt{n}$ หรือ $Z > Z_{1-\alpha}$

แบบที่ 2: การทดสอบด้านซ้าย (A Left-Tailed Test)

สมมติฐาน

$$H_0: \mu \geq \mu_0$$

$$H_1: \mu < \mu_0$$

สถิติทดสอบ

\bar{x} โดยที่ $\bar{x} \sim \text{normal}(\mu, \sigma^2/\sqrt{n})$

ถ้า $\bar{x} \geq \mu_0$ จะยอมรับว่า H_0 จริง หรือ ถ้า \bar{x} น้อยกว่า μ_0 ไม่มากนักจะยังคงยอมรับ H_0 ดังนั้นจึงกำหนดให้ L เท่ากับค่าต่ำที่สุดที่จะยอมรับว่า H_0 จริง นั่นคือ ถ้า $\bar{x} < L$ จะปฏิเสธ H_0 โดยเรียก L ว่าค่าวิกฤต ซึ่งจะสามารถหา L ได้จากสมการที่ (2.6)

$$L = \mu_0 - Z_{1-\alpha} \sigma / \sqrt{n} \quad (2.6)$$

เขตปฏิเสธสมมติฐาน ($H_0: \mu \geq \mu_0$)

จะปฏิเสธ $H_0: \mu \geq \mu_0$ ถ้า $\bar{x} < L$ หรือ $\bar{x} < \mu_0 - Z_{1-\alpha} \sigma / \sqrt{n}$ หรือ $Z < -Z_{1-\alpha}$

2) การทดสอบแบบสองด้าน (Two-Sided Test)

ถ้าในสมมติฐานแย้ง H_1 มีเครื่องหมายไม่เท่ากับ (\neq) จะเรียกว่าเป็นการทดสอบแบบสองด้าน เช่น $H_1: \mu \neq \mu_0$ หมายความว่า μ อาจจะน้อยกว่าหรือมากกว่า μ_0 ก็ได้

สมมติฐาน

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

เขตปฏิเสธของการทดสอบแบบสองด้าน

จะยอมรับว่า H_0 จริง ถ้า \bar{x} มีค่าใกล้เคียงกับค่า μ_0 นั่นคือ จะยอมรับ H_0 ถ้า $L < \bar{x} < U$ โดยที่ค่า L และ U จะขึ้นอยู่กับระดับนัยสำคัญ α คือ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $\bar{x} > U$

หรือ $\bar{x} < U$ โดยค่า U และค่า L สามารถหาได้จากสมการที่ (2.7) และ (2.8) ตามลำดับ

$$U = \mu_0 + Z_{1-\alpha/2} \sigma / \sqrt{n} \quad (2.7)$$

$$L = \mu_0 - Z_{1-\alpha/2} \sigma / \sqrt{n} \quad (2.8)$$

เขตปฏิเสธสมมติฐาน ($H_0: \mu = \mu_0$)

จะปฏิเสธ $H_0: \mu = \mu_0$ ถ้า $\bar{x} < \mu_0 - Z_{1-\alpha/2} \sigma / \sqrt{n}$ หรือ $\bar{x} > \mu_0 + Z_{1-\alpha/2} \sigma / \sqrt{n}$

($\bar{x} < L$ หรือ $\bar{x} > U$) หรือ จะปฏิเสธ $H_0: \mu = \mu_0$ ถ้า $Z < -Z_{1-\alpha/2}$ หรือ $Z > Z_{1-\alpha/2}$

นั่นคือ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$

2.4.6 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน (มัลลิกา บุนนาค, 2548) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) กำหนดสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ (H_0) และ สมมติฐานแย้ง (H_1) ให้เหมาะสมกับค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการจะทดสอบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ครบถ้วนและสมบูรณ์ โดยทั่วไปจะกำหนดสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ (H_0) ว่าไม่มีความแตกต่าง และภายใต้ข้อสมมติที่ว่า ค่าที่กำหนดในสมมติฐานเพื่อการทดสอบ (H_0) ถูกต้อง จึงนำค่านี้ไปคำนวณค่าตัวสถิติสำหรับการทดสอบ ดังนั้นค่าที่กำหนดในสมมติฐานเพื่อการทดสอบ (H_0) จะต้องมีเครื่องหมายเท่ากับ (=) อยู่ด้วยเสมอ ส่วนใหญ่ที่จะทดสอบสมมติฐานเกี่ยวข้องกับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 ค่าคือ ค่าเฉลี่ย ค่าสัดส่วน และค่าความแปรปรวน สำหรับประชากรเดียว ถ้าเป็นสองประชากร ก็จะสนใจทดสอบเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์

2) กำหนดระดับนัยสำคัญหรือค่าวิกฤตในรูปของค่า α คือ ความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธสมมติฐานที่เป็นจริง ซึ่งเป็นความผิดพลาดชนิดที่ 1 (Type I error) ค่า α ที่นิยมใช้กันคือ 0.01, 0.02, 0.05 และ 0.1 ไม่ควรกำหนดให้ค่า α มีค่าเกิน 1.0 เพราะจะทำให้ผลที่ได้มีความเชื่อถือน้อย

3) เลือกตัวสถิติสำหรับการทดสอบให้เหมาะสมกับค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการทดสอบ โดยขึ้นอยู่กับว่าจะทดสอบเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ค่าใด และมีข้อจำกัดอย่างไร จากหลักการทางสถิติ ถ้าทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยเมื่อทราบค่าแปรปรวนให้ใช้สถิติทดสอบคือ Z แต่ไม่ทราบค่าแปรปรวนและตัวอย่างขนาดเล็ก ให้สถิติทดสอบคือ t เป็นต้น

4) สร้างขอบเขตในการปฏิเสธสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ (H_0)

5) คำนวณค่าตัวเลขสถิติ โดยแทนค่าข้อมูลที่รวบรวมได้จากตัวอย่างลงในสูตรคำนวณตัวสถิติสำหรับการทดสอบที่เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 3

6) สรุปผลการทดสอบ โดยเปรียบเทียบค่าสถิติที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 5 กับค่าวิกฤติที่สร้างขอบเขตไว้ในขั้นตอนที่ 4 ถ้าค่าตัวสถิติที่คำนวณได้ตกอยู่ในขอบเขตที่ปฏิเสธสมมติฐาน ก็ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 (เท่ากับยอมรับ H_1) และ ถ้าค่าตัวสถิติตกอยู่นอกขอบเขตที่จะปฏิเสธสมมติฐาน ก็ จะยอมรับ H_0 (เท่ากับปฏิเสธ H_1)

2.4.7 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างค่าเฉลี่ยของสองประชากร (Two Sample Tests of Hypothesis)

เป็นการทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2550) ของลักษณะที่สนใจของ 2 ประชากรว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้ข้อมูลตัวอย่าง 2 ชุด สุ่มมาจากประชากรทั้งสองอย่างเป็นอิสระกัน ถ้าให้ n_1 และ n_2 เป็นขนาดตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยที่ n_1 และ n_2 จะมีขนาดเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาด n_1 จากประชากรที่ 1 และสุ่มตัวอย่างขนาด n_2 จากประชากรที่ 2 อย่างเป็นอิสระกันแล้ว จะนำข้อมูลจากหน่วยตัวอย่างมาทดสอบสมมติที่ตั้งไว้ เช่น ต้องการเปรียบเทียบยอดขายเฉลี่ยต่อปีของกาแพยี่ห้อ A และยี่ห้อ B ว่าเท่ากันหรือไม่ หรือในบางกรณีต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของประชากรหนึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยของอีกประชากรหนึ่งอย่างน้อย $(\mu_1 - \mu_2) d_0$ หน่วย เช่น ผลผลิตข้าวโดยเฉลี่ยของจังหวัดสุพรรณบุรีมากกว่าของจังหวัดอยุธยาอย่างน้อย 10 ถึงต่อไร่ โดยสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงดังตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์ในการทดสอบสมมติฐานของประชากร

ประชากรที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าแปรปรวน
1	μ_1	σ_1^2
2	μ_2	σ_2^2

ตารางที่ 2.4 แสดงสัญลักษณ์ในการทดสอบสมมติฐานของตัวอย่างที่สุ่มจากประชากร

ตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรที่	ขนาดตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ค่าแปรปรวน
1	n_1	\bar{x}_1	S_1^2
2	n_2	\bar{x}_2	S_2^2

ในการทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร พิจารณาได้ 2 แบบคือ

1) การทดสอบแบบข้างเดียว

$$\begin{array}{ll} \text{ก) } H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0 & \text{หรือ ข) } H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0 \\ H_1: \mu_1 - \mu_2 > d_0 & H_1: \mu_1 - \mu_2 < d_0 \end{array}$$

โดยที่ d_0 เป็นค่าคงที่อาจจะมีค่าเป็นบวก, ลบ หรือ เป็นศูนย์ก็ได้
ถ้า $d_0 = 0$ จะทำให้การทดสอบสมมติฐานแบบข้างเดียว มีลักษณะดังนี้

$$\begin{array}{ll} \text{ก) } H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 & \text{หรือ } H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0 & H_1: \mu_1 > \mu_2 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{ข) } H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 & \text{หรือ } H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0 & H_1: \mu_1 < \mu_2 \end{array}$$

2. การทดสอบแบบสองข้าง

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

ถ้า $d_0 = 0$ จะทำให้การทดสอบสมมติฐานแบบสองข้าง มีลักษณะดังนี้

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

การทดสอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้นข้างต้นทั้งแบบข้างเดียวและสองข้างนั้น จะสัมพันธ์อย่างแต่ละชุดจากแต่ละประชากรอย่างเป็นอิสระต่อกัน จะคำนวณหาค่าเฉลี่ย \bar{x}_1 และ \bar{x}_2 ตามลำดับ และจะพิจารณาได้เป็น 3 กรณีคือ

1. ประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติและทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 ภายใต้สมมติฐาน $H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0$ ดังนั้น สถิติทดสอบดังสมการที่ (2.9) และ ส่วนเขตปฏิเสธ H_0 ดังแสดงได้ในตารางที่ 2.5

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (2.9)$$

โดยที่

\bar{x}_1 = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1

\bar{x}_2 = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2

σ_1^2 = ค่าแปรปรวนของประชากรที่ 1

σ_2^2 = ค่าแปรปรวนของประชากรที่ 2

n_1 = ขนาดของตัวอย่างที่ 1

n_2 = ขนาดของตัวอย่างที่ 2

d_0 = ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสอง

ตารางที่ 2.5 แสดงส่วนเขตปฏิเสธ H_0 ในกรณีประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติและทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2

สมมติฐานแย้ง	เขตปฏิเสธ H_0
1. $H_1: \mu_1 - \mu_2 > d_0$	$Z > Z_{1-\alpha}$
2. $H_1: \mu_1 - \mu_2 < d_0$	$Z < -Z_{1-\alpha}$
3. $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$	$ Z > Z_{1-\alpha/2}$

โดย ค่า d_0 เป็นค่าคงที่ที่อาจมีค่าเป็นศูนย์ หรือ มีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้

2. ประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบใดก็ได้ และขนาดตัวอย่าง n_1 และ n_2 มีขนาดใหญ่ ($n_1 \geq 30, n_2 \geq 30$)

กรณีที่ประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบใดๆ เช่น ประชากรที่หนึ่งอาจมีการแจกแจงแบบปกติ แต่ประชากรที่สองมีการแจกแจงแบบอื่นๆ ที่ไม่ใช่แบบปกติ การสุ่มตัวอย่างจากแต่ละประชากรเป็นอิสระกัน โดยที่ $n_1 \geq 30$ และ $n_2 \geq 30$ แล้ว จากทฤษฎีลิมิตส่วนกลางจะได้ \bar{x}_1 และ \bar{x}_2 ต่างมีการแจกแจงโดยประมาณแบบปกติ ซึ่งทำให้ $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ มีการแจกแจงแบบปกติที่

มีค่าเฉลี่ย $\mu_1 - \mu_2$ และค่าแปรปรวน $\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}$ ดังนั้น สถิติทดสอบ คือ Z โดยแยกเป็น 2 กรณี ดังนี้

1) ทราบค่าแปรปรวนประชากร σ_1^2 และ σ_2^2

ใช้สถิติทดสอบ Z และเขตปฏิเสธเช่นเดียวกับกรณีประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติและทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 ดังสมการที่ 2.9 และ ตารางที่ 2.5

2) ไม่ทราบค่าแปรปรวนประชากร σ_1^2 และ σ_2^2

เมื่อไม่ทราบค่าแปรปรวน σ_1^2 และ σ_2^2 จะประมาณค่า σ^2 ด้วย S^2 และประมาณค่า σ_1^2 ด้วย S_1^2 ทำให้สถิติทดสอบ Z ได้ดังสมการที่ (2.10) และเขตปฏิเสธจะเหมือนกับกรณีประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติและทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 ดังตารางที่ 2.5

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (2.10)$$

โดยที่

\bar{x}_1 = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1

\bar{x}_2 = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2

S_1^2 = ค่าแปรปรวนของตัวอย่างที่ 1

S_2^2 = ค่าแปรปรวนของตัวอย่างที่ 2

n_1 = ขนาดของตัวอย่างที่ 1

n_2 = ขนาดของตัวอย่างที่ 2

d_0 = ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสอง



3. ประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติ ขนาดตัวอย่างเล็กและไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 จะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

1) ไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 ทราบเพียงแต่ว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

เมื่อไม่ทราบว่า σ_1^2 และ σ_2^2 มีค่าเท่าใด แต่ทราบว่ามีความเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) นั่นคือ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_p^2$ จึงประมาณ σ_p^2 ด้วย S_p^2 (ค่าแปรปรวนร่วมของตัวอย่าง) มีสมการดังต่อไปนี้

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{\sum (X_{1i} - \bar{X}_1)^2 + \sum (X_{2i} - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

และ $\frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$ จะมีการแจกแจงแบบ t ที่องศาอิสระ $n_1 + n_2 - 2$

ดังนั้น ภายใต้สมมติฐาน $H_0: \mu_1 - \mu_2 = d_0$ จะได้สถิติทดสอบดังสมการที่ (2.11) และมีเขตการปฏิเสธ H_0 ได้ดังตารางที่ 2.6

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (2.11)$$

โดยที่

- \bar{x}_1 = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1
- \bar{x}_2 = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2
- S_p^2 = ค่าแปรปรวนร่วมของตัวอย่าง
- n_1 = ขนาดของตัวอย่างที่ 1
- n_2 = ขนาดของตัวอย่างที่ 2
- d_0 = ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสอง

ตารางที่ 2.6 เขตการปฏิเสธ H_0 ในกรณีที่ประชากรทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติ ขนาดตัวอย่างเล็กและไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2

สมมติฐานแย้ง	เขตปฏิเสธ H_0
1. $H_1: \mu_1 - \mu_2 > d_0$	$t > t_{1,\alpha;n_1+n_2-2}$
2. $H_1: \mu_1 - \mu_2 < d_0$	$t < -t_{1,\alpha;n_1+n_2-2}$
3. $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$	$ t > t_{1,\alpha/2;n_1+n_2-2}$

2) ไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 แต่ทราบว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

เมื่อไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 ทราบเพียงแต่ว่าไม่เท่ากัน ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) จึงต้องประมาณค่า σ_1^2 ด้วย S_1^2 และประมาณค่า σ_2^2 ด้วย S_2^2

$$\frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad \text{จะมีการแจกแจงแบบ } t \text{ ที่องศาอิสระ } v$$

โดยที่ค่า v คำนวณจาก
$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} - \frac{S_2^2}{n_2}\right)}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}}$$

ดังนั้น จะได้สถิติทดสอบดังสมการที่ (2.12) และ เขตของการปฏิเสธ H_0 ได้ดังตารางที่ 2.7

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad \text{ที่องศาอิสระ } v \quad (2.12)$$

โดยที่

\bar{x}_1 = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1

\bar{x}_2 = ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 2

S_1^2 = ค่าแปรปรวนของตัวอย่างที่ 1

S_2^2 = ค่าแปรปรวนของตัวอย่างที่ 2

n_1 = ขนาดของตัวอย่างที่ 1

n_2 = ขนาดของตัวอย่างที่ 2

d_0 = ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสอง

ตารางที่ 2.7 เขตของการปฏิเสธ H_0 ในกรณีไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 แต่ทราบว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

สมมติฐานแย้ง	เขตปฏิเสธ H_0
1. $H_1: \mu_1 - \mu_2 > d_0$	$t > t_{1-\alpha;v}$
2. $H_1: \mu_1 - \mu_2 < d_0$	$t < -t_{1-\alpha;v}$
3. $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$	$ t > t_{1-\alpha/2;v}$

2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)

2.5.1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของโครงการโดยทั่วไป (จันทนา จันทโร, 2550) ค่าใช้จ่ายในการทำโครงการมักจะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่อไปนี้

1. ค่าวิจัยและพัฒนา (R&D Cost)

โครงการบางประเภทต้องอาศัยการวิจัยขั้นต้นก่อนจึงจะเริ่มทำโครงการนั้นๆ ได้ ค่าใช้จ่ายประเภทนี้มักจะรู้จักกันในนามของค่าใช้จ่ายจม หรือ ค่าใช้จ่ายในอดีต (Sunk Cost) ค่าใช้จ่ายประเภทนี้มักจะไม่นำมาพิจารณาในการคิดหาผลประโยชน์หรือค่าใช้จ่าย เพราะถือว่าการจ่ายเงินประเภทนี้ไม่มีผลต่อการตัดสินใจทำโครงการ ถ้าผลการวิเคราะห์เป็นที่พอใจ โครงการก็อาจดำเนินต่อไป หรือผลของการวิเคราะห์ไม่เป็นที่พอใจ ค่าใช้จ่ายจำนวนนั้นก็สูญเสียไป

2. ค่าลงทุน (Investment Cost)

ค่าลงทุน เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้เกิดความพร้อมที่จะดำเนินการผลิตได้ (แต่ยังไม่ผลิต) ค่าใช้จ่ายเหล่านี้ประกอบด้วยค่าที่ดิน ค่าอาคาร และสิ่งก่อสร้างอื่นๆ รั้ว ถนน ท่อระบายน้ำ เครื่องใช้ในสำนักงาน เครื่องจักรและการติดตั้ง ค่าวัสดุอุปกรณ์ ค่าติดตั้งประปา ติดตั้งโทรศัพท์ ติดตั้งไฟฟ้า (ไม่รวมค่าน้ำ ค่าโทรศัพท์ และค่าไฟฟ้า) ค่าช่างผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้งและทดสอบเครื่องจักร ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายในการจัดหาสูตรที่จะใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ (Technical Know How) ค่ายานพาหนะ ค่าติดตั้งระบบความปลอดภัย ฯลฯ ค่าใช้จ่ายเหล่านี้มักเกิดในระยะต้นของโครงการ ถ้าเป็นโครงการขนาดเล็กอาจจะเกิดเฉพาะปีแรกของโครงการ แต่ถ้าเป็นโครงการขนาดใหญ่อาจจะเกิดระยะ 1 ปี ถึง 5 ปี ของการทำโครงการ แต่บางครั้งค่าใช้จ่ายประเภทนี้อาจจะเกิดในระหว่างทำโครงการได้ เช่น การสร้างเขื่อนนั้นถือว่าอายุของโครงการคืออายุของเขื่อน แต่ก่อนที่เขื่อนจะหมดอายุ อาจมีเครื่องจักร วัสดุอุปกรณ์หลายประเภทหมดอายุลง จำเป็นต้องซื้อใหม่ ค่าใช้จ่ายเหล่านี้ก็อาจเกิดในระหว่างการทำโครงการได้

3. ค่าดำเนินการ (Operating Cost)

ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้จ่ายไปเพื่อดำเนินการผลิตหรือบริการ เริ่มตั้งแต่การออกแบบ การผลิต การตรวจสอบ การจัดเก็บ การขนส่ง พร้อมทั้งจะส่งมอบให้กับลูกค้า มักจะประกอบด้วยค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าเบี่ยงเลี้ยง ค่าล่วงเวลา ค่าเดินทาง ค่าที่พัก ค่าเลี้ยงรับรอง ดอกเบี้ย ค่าภาษี ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าโทรศัพท์ ค่าอุปกรณ์สำนักงาน ค่าถ่ายเอกสาร ค่าน้ำมัน ค่าเชื้อเพลิง หรือ ค่าพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักร ค่าขนส่ง การบรรจุหีบห่อ ค่าโฆษณาประชาสัมพันธ์ ค่าเก็บรักษา ค่านายหน้า ค่าเช่า ค่าประกันต่างๆ ค่าฝึกอบรม ค่าอะไหล่ ค่าที่ปรึกษา ฯลฯ

4. ค่าบำรุงรักษา (Maintenance Cost)

การของบประมาณในเมืองไทย ทั้งผู้ขอและผู้อนุมัติมักจะลืมรายการที่สำคัญ คือ ค่าบำรุงรักษา ค่าชิ้นส่วนและอะไหล่ต่างๆ ของเครื่องจักร จึงทำให้อายุการใช้งานของอาคาร สิ่งก่อสร้าง เครื่องจักร และอุปกรณ์ หรือค่าลงทุนมีอายุการใช้งานสั้นกว่าปกติ บางโครงการเงินลงทุนต่ำแต่เงินค่าบำรุงรักษาสูง เช่น การขุดคลองส่งน้ำอาจลงทุนไม่สูงมากนัก แต่ค่าบำรุงรักษาไม่ให้ดินตามชายฝั่งพังทลาย และการบำรุงรักษาไม่ให้คลองตื้นเขินทำได้ยาก ดังนั้น ในการทำโครงการทุกครั้งจะต้องรวมค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเข้าไว้ด้วย ซึ่งพบว่าประหยัดกว่าการที่จะอนุมัติให้เฉพาะโครงการที่มีค่าลงทุนต่ำเพียงอย่างเดียว

5. ค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost)

ค่าเสียโอกาส หมายถึง การสูญเสียโอกาสจากการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อโครงการใดโครงการหนึ่ง ทรัพยากรนั้นจะสูญเสียหายหรือหมดไป ไม่สามารถนำทรัพยากรนั้นมาใช้เพื่อการอย่างอื่นได้ เช่น ใช้ 3 ชั่วโมง บรรยาย ณ แห่งหนึ่งจะสูญเสียโอกาส ใช้ 3 ชั่วโมงนั้นเพื่อการทำงานอื่น

2.5.2 การวิเคราะห์ผลประโยชน์ตอบแทน

การวิเคราะห์ผลประโยชน์ตอบแทน (Benefit) ในการหาผลประโยชน์ตอบแทนนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการขาดตกบกพร่อง หรือละเลยผลประโยชน์ตอบแทนบางอย่าง เพื่อง่ายต่อการเข้าใจและง่ายต่อการดำเนินการ การพิจารณาผลประโยชน์ตอบแทนจะได้แบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1. **ผลประโยชน์ตอบแทนทางตรง (Direct Benefit)** คือ ผลประโยชน์ตอบแทนที่เกิดจากโครงการโดยตรง ซึ่งตรงตามเป้าหมายเบื้องต้นของการมีโครงการ

2. **ผลประโยชน์ตอบแทนทางอ้อม (Indirect Benefit)** คือ ผลประโยชน์ตอบแทนที่เกิดจากผลกระทบในขั้นตอนต่อไปของโครงการ หรือผลที่ได้รับอื่นๆ ที่เกี่ยวเนื่องจากการมีโครงการ

ไม่ว่าจะเป็นผลประโยชน์ทางตรงหรือทางอ้อม จะนำเฉพาะผลประโยชน์สุทธิ (Net Benefit) ไปใช้เท่านั้น ตามปกติผลประโยชน์ตอบแทนอาจปรากฏออกมาอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น การเพิ่มคุณภาพของสินค้า การเพิ่มจำนวนงาน การยืดอายุของผลผลิต การเปลี่ยนรูปผลิตภัณฑ์ การลดต้นทุนการผลิต การลดต้นทุนการขนส่ง หรือลดอุบัติเหตุ

ในการศึกษาด้านการเงิน จะศึกษาว่าโครงการลงทุนมีความเหมาะสมด้านการเงินอย่างไร โดยพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุนว่าเป็นอย่างไร ผลการดำเนินงานสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาที่ปี ฯลฯ ซึ่งโดยทั่วไป จะมีการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน 3 ประการด้วยกัน (Blank และ Tarquin, 2004) คือ

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ ได้จากการนำค่ากระแสเงินสดสุทธิของแต่ละปี (ตลอดอายุโครงการ) มาเทียบให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยใช้อัตราผลตอบแทนที่กำหนดขึ้น กระแสเงินสดสุทธิที่จะนำมาเทียบเป็นมูลค่าปัจจุบันจะคำนวณตั้งแต่ปีที่คาดว่าจะเริ่มดำเนินการ โดยสามารถคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ได้ดังสมการที่ (2.13) และ (2.14) ดังนี้

$$NPV = \sum_{k=0}^N A_k (1+i)^{-k} \quad (2.13)$$

หรือ

$$NPV = A_0(1+i)^0 + A_1(1+i)^{-1} + A_2(1+i)^{-2} + \dots + A_N(1+i)^{-N} \quad (2.14)$$

โดยที่

NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ
A_k	=	กระแสเงินสดสุทธิของโครงการ ในปีที่ k
i	=	อัตราผลตอบแทน
N	=	อายุของโครงการ

ผลอัตราผลตอบแทนต่ำสุดควรมีค่าเท่ากับดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาว หรือเท่ากับดอกเบี้ยที่ได้จากการให้กู้ยืม แต่เนื่องจากดอกเบี้ยจำนวนนี้ไม่คงที่ ดังนั้นผลอัตราผลตอบแทนต่ำสุดจึงเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงโอกาสของการลงทุน นั่นคือ ความสามารถที่เงินลงทุนในโครงการจะคืนทุนมาให้ผู้ลงทุนได้ เมื่อเทียบกับการนำเงินไปลงทุนในแหล่งต่างๆกัน หรือกล่าวได้ว่าผลอัตราผลตอบแทนต่ำสุดควรมีค่าน้อยที่สุดมากกว่าผลอัตราดอกเบี้ยที่ผู้ลงทุนคิดว่าถ้าได้ดอกเบี้ยเท่าจำนวนนี้ก็ไม่มีความเสี่ยงที่จะลงทุนในโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจในกรณีที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 0 หรือมากกว่า จะรับโครงการลงทุนนั้นกล่าวคือจะรับโครงการลงทุนที่มีมูลค่าปัจจุบันของเงินสหรับเท่ากับหรือมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบ แสดงว่าโครงการนั้นไม่คุ้มกับการลงทุน ทั้งนี้ผลอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ใช้ต้องเป็นผลอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้

2. อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) เป็นอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย หรือ อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) เป็นอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของรายรับจากโครงการเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของการลงทุน ดังนั้น มูลค่าปัจจุบันสุทธิจึงเท่ากับศูนย์

ขั้นตอนของการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) เหมือนกับการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เราใช้สมการในการคำนวณเหมือนเดิม แต่เราจะต้องหาอัตราส่วนลดที่ทำให้ NPV เป็นศูนย์ แทนการกำหนดอัตราส่วนลด ดังสมการที่ (2.15) ซึ่งอัตราส่วนลดตัวนี้เรียกว่า IRR และจะเป็นตัวเลขที่บอกผลกำไรของโครงการ

$$NPV = \sum_{k=0}^N A_k (1+i^*)^{-k} = 0 \quad (2.15)$$

โดยที่ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (ในกรณีการหา IRR จะกำหนด NPV ให้เป็นศูนย์)

A_k = กระแสเงินสดสุทธิของโครงการ ในปีที่ k

i^* = อัตราผลตอบแทน (IRR)

N = อายุของโครงการ

เกณฑ์การตัดสินใจ จากอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คำนวณได้ ให้นำไปเปรียบเทียบกับอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ธุรกิจจะยอมรับการลงทุนได้ หรือ อัตราดอกเบี้ยของสถาบันการเงิน ถ้าอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่คำนวณได้สูงกว่า ถือเป็นโครงการที่คุ้มค่าต่อการลงทุน เช่น ควรจะสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของบริษัทเงินทุน หรือสถาบันการเงินต่างๆ หรือสูงกว่า หรือเท่ากับอัตราผลตอบแทนการลงทุนตามที่กฎหมายกำหนดไว้

3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน คือ จำนวนปีในการดำเนินงาน ซึ่งทำให้มูลค่าปัจจุบันของการลงทุนสะสมเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนเงินสดสุทธิสะสม หรือ อาจกล่าวได้ว่า ระยะเวลาคืนทุน คือ จำนวนปีในการดำเนินการซึ่งทำให้ผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกันแล้ว มีค่าเท่ากับจำนวนเงินลงทุน

ในกรณีที่ไม่มีกระแสเงินสด การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอาจแบ่งเป็น 2 กรณีด้วยกันคือกรณีที่กระแสเงินสดสุทธิเท่ากันทุกงวดตลอดโครงการ จะมีวิธีคำนวณดังสมการ (2.16) และกรณีที่กระแสเงินสดรับแต่ละงวดไม่เท่ากัน จะมีการคำนวณดังสมการ (2.17)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลตอบแทนจากการลงทุน}} \quad (2.16)$$

กรณีที่กระแสเงินสดรับแต่ละงวดไม่เท่ากัน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนปีก่อนคืนทุน} + \frac{\text{กระแสเงินสดที่เหลือ}}{\text{กระแสเงินสดทั้งปี}} \quad (2.17)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลีน ชิกซ์ ชิกมา (Lean Six Sigma)

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า Andrew และคณะ (Andrew and others, 2009) ได้นำลีน ชิกซ์ชิกมาไปใช้ในการพัฒนาและประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตที่มีขนาดเล็กหรือ Small and Medium Enterprises (SMEs) โดยทำการประยุกต์ใช้กับโรงงานผลิตเก้าอี้สำหรับรถยนต์และยานอวกาศ ซึ่งพบปัญหาโพลีเมอร์สำหรับทำเบาะที่นั่งไม่ได้มาตรฐานจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการแก้ไขตามหลักการชิกซ์ชิกมา หรือ DMAIC และประยุกต์ใช้เครื่องมือของลีนในการลดกระบวนการหรือกิจกรรมที่สูญเปล่า ส่วน Garcia-Porres และคณะ (Garcia-Porres and others, 2008) ได้นำลีน ชิกซ์ชิกมาไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการของแผนกขายรังสีของสถาบันวิจัยโรคระบบทางเดินหายใจโดยลดการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value-Added Work) ในกระบวนการ ทำให้เวลาในรอคอยลดลงและเพิ่มความพึงพอใจให้กับผู้ป่วย Gang และคณะ (Gang and others, 2010) ได้นำลีน ชิกซ์ชิกมาไปใช้ในกระบวนการผลิตคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยใช้ชิกซ์ชิกมาในการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง และ นำการผลิตแบบลีนไปใช้ลดกระบวนการที่สูญเปล่าและให้ตอบสนองตรงกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งลีน ชิกซ์ชิกมา ทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะเพิ่มขึ้นตามเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้ และ William และคณะ (William and others, 2002) ได้แสดงวิธีการประยุกต์ใช้สายธารแห่งคุณค่า (Value Stream Mapping: VSM) กับโรงงานกรณีศึกษา โดยแสดงวิธีการใช้ VSM และนำเสนอข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาในการตัดสินใจที่จะทดแทนเครื่องมือในกระบวนการที่ใช้การผลิตแบบลีน

ในการนำลีน ชิกซ์ชิกมา มาใช้ในอุตสาหกรรมไทย พบว่ามีงานวิจัยมากมาย เช่น นกอดล เฟื่องเด่นขจร (2547) ได้นำเสนอการปรับปรุงความพร้อมในการตอบสนองในอุตสาหกรรมบริการทันตกรรมโดยหาแนวทางการเพื่อลดเวลาที่ผู้ป่วยต้องใช้ในการรับบริการ และเพิ่มความพร้อมในการให้บริการข้อมูล โดยใช้แนวคิดและขั้นตอนของ ลีน ชิกซ์ชิกมา ในการหาสาเหตุหลักที่เกิดจากการจัดสรรจำนวนทันตแพทย์ในแต่ละประเภทไม่สอดคล้องกับกับจำนวนผู้ป่วยที่ต้องการเข้ารับ

การรักษา ก่อให้เกิดแฉกค้อยสะสมเป็นจำนวนมาก หลังจากการปรับปรุงสามารถกำจัดแฉกค้อยสะสมของทุกประเภทการรักษาได้ภายใน 3.7 เดือน พิมพ์ชนก ไพศาลภาณุมาศ (2550) นำเสนอวิธีการในการลดระยะเวลาในการผลิตเลนส์แว่นตา โดยใช้ระบบบริหารการผลิตแบบลีน ได้แก่ การจัดการผลิตแบบดึง การควบคุมด้วยสายตา การฝึกอบรมพนักงานข้ามสายงาน การจัดการกับคอขวดของกระบวนการ เช่น การปรับปรุงผังการผลิต การรวมและเปลี่ยนแปลงลำดับสถานีงาน ซึ่งทำให้มีระบบการไหลของงานที่รวดเร็ว ทำให้มีผลิตภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้น จำนวนงานระหว่างทำลดลง ส่งผลให้ระยะเวลาในการผลิตเลนส์แว่นตาลดลง และมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการส่งสินค้าให้ลูกค้าทันกับระยะเวลาเป้าหมายเพิ่มขึ้น ณัฐญศยา สิทธิโชคโรดม (2552) นำเสนอการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปโดยใช้แนวคิดลีน ชิกซีชิกมา หรือ DMAIC และนำโปรแกรมอารีนาไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูปในส่วนกระบวนการตกแต่งสำเร็จรูปโดยการจำลองเหตุการณ์หลังปรับปรุง ทำให้ปริมาณงานระหว่างทำที่ค้างในกระบวนการ และเวลารอคอยระหว่างกระบวนการย่อยลดลง

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า จีรียุทธา ลากจิต (2552) นำเสนอการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนทางการเงินจากการลงทุนของภาคเอกชนในโครงการห้องชุด(อพาร์ทเมนท์) ให้เช่าบนที่ดินราชพัสดุ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมในการลงทุนผลตอบแทนจากการลงทุนด้วยการวิเคราะห์กระแสเงินสด (Cash Flow) โดยทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการลงทุนด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (IRR) และ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) จากผลการวิเคราะห์ให้ทราบได้โครงการให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ จารุวรรณ เจษเกษกิจ (2547) นำเสนอการศึกษาความเป็นได้และความคุ้มค่าในการลงทุนทั้งทางเศรษฐศาสตร์และทางบริหารในการประกอบอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเซรามิกสีในประเทศไทย โดยทำการวิจัยเชิงการวิเคราะห์ จากข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลและข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสัมภาษณ์ภาคอุตสาหกรรมจำนวนหนึ่ง และ ข้อมูลการทำงานวิจัยจริง เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ทั้งทางบริหารและทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ อัตราผลตอบแทนของโครงการ อัตราผลตอบแทนของค่าใช้จ่าย จุดคุ้มทุน ระยะเวลาคืนทุน การประหยัดในการขนาดการผลิต ความคุ้มค่าในการใช้ต้นทุนทรัพยากรในประเทศ ความเป็นไปได้ด้านต่างๆ ที่จำเป็น และผลกระทบของภาคอุตสาหกรรมจากแรงกดดัน 5 ประการ ทำให้ทราบว่าโครงการนี้มีความเป็นไปได้หรือไม่ จะสามารถคุ้มทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าไร

ธนະกิติ บำรุงเชาร์เกษม (2552) นำเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนของการเป็นศูนย์จำหน่ายและให้บริการผลิตภัณฑ์และให้บริการผลิตภัณฑ์บิมสามสูบในเขตอำเภอเมืองสมุทรสาคร โดยใช้แนวคิดทฤษฎีการศึกษาความเป็นไปได้ประกอบด้วย 4 ด้าน คือ ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการจัดการ และ ด้านการเงินโดยเฉพาะด้านการเงินเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุน เครื่องมือทางการเงินคือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ระดับต้นทุนของเงินทุนเฉลี่ย (WACC) ค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาในการคืนทุน

