# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการ

การจำลองแบบปัญหา (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ ที่ได้รับความสนใจและตื่นตัวในการนำมาใช้แก้ปัญหาในสาขาอาชีพต่างๆ อย่างแพร่หลายในปัจจุบันนั้น เป็นผลเนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

"การจำลองแบบปัญหา คือ กระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้แผนต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้"

กระบวนการของการจำลองแบบปัญหานั้นแบ่งเป็นสองส่วนคือ การสร้างแบบจำลอง และการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า กลไกของวิธีการของการจำลองแบบปัญหาขึ้นอยู่กับแบบจำลองและการใช้แบบจำลอง แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหานี้อาจเป็นหุ่น เป็นระบบ หรือเป็นแนวความคิดลักษณะหนึ่งลักษณะใดโดยไม่จำเป็นต้องเหมือน (Identical) กับระบบงานจริง แต่ต้องสามารถช่วยให้เข้าใจในระบบงานจริง เพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริง

## 2.1 ระบบงาน

โดยที่กลไกสำคัญอันหนึ่งในการจำลองแบบปัญหาอยู่ที่แบบจำลอง การที่จะสามารถสร้างแบบจำลองที่นำไปใช้ในการจำลองแบบปัญหาได้ ผู้สร้างต้องมีความเข้าใจในระบบงานจริงเป็นอย่างดี ความรู้ความเข้าใจในระบบงานจริงเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างและใช้งานแบบจำลอง ผู้ที่ไม่มีความเข้าใจในระบบงานจริงจะไม่สามารถสร้างแบบจำลองซึ่งใช้แทนระบบงานนั้นๆ ได้ ระบบงาน หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบ (Elements) ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ความหมายของระบบงานบอกเฉพาะลักษณะว่าระบบงานมีลักษณะอย่างไรโดยไม่ได้บอกรูปร่างหน้าตาที่แน่ชัด ดังนั้นเมื่อเวลาที่จะทำการศึกษาระบบงานใดระบบงานหนึ่ง จึงจำเป็นที่จะต้องบอกรูปร่างหน้าตาที่ชัดเจนของระบบงานที่กำลังศึกษา การบอกรูปร่างหน้าตาที่แจ้งชัดของระบบงานมักจะบอกโดยการกำหนดขอบเขตของระบบงาน (System Boundaries) ซึ่งก็คือ การกำหนดองค์ประกอบของระบบ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ และการกำหนดองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอก

ระบบแต่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ องค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอกระบบนี้ เรียกโดยรวมว่า สิ่งแวดล้อมระบบงาน (System Environment) องค์ประกอบต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกระบบงาน จะมีลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) ที่ทำให้เกิดกิจกรรม (Activeties) และกิจกรรมเหล่านั้นภายใต้เงื่อนไขบางประการจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบงาน (System Status) ดังนั้น นอกจากการกำหนดขอบเขตของระบบงานแล้วยังต้องกำหนดลักษณะเฉพาะตัวขององค์ประกอบ กิจกรรมที่จะเกิดขึ้นจากองค์ประกอบเหล่านี้ และการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบงาน อันเนื่องมาจากกิจกรรมขององค์ประกอบดังตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** แสดงองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัว และกิจกรรมของระบบการกำหนดงานผลิต (Production Scheduling System)

| องค์ประกอบ | ลักษณะเฉพาะตัว | กิจกรรม |
|---|---|---|
| คนงาน | ความชำนาญ เงินเดือน ความสามารถในการผลิต ชื่อหรือหมายเลข ฯลฯ | ทำงาน หยุดงาน |
| วัตถุดิบ | ชนิด คุณภาพ ราคา จำนวนที่มีอยู่ ฯลฯ | การถูกเปลี่ยนรูป |
| เครื่องจักร | ประเภท ขีดความสามารถในการผลิต หมายเลข สภาพเครื่อง ฯลฯ | ทำงาน หยุดงาน |
| ใบสั่งผลิต | ปริมาณที่ต้องผลิต ความสำคัญก่อนหลัง กำหนดส่งงาน สถานะภาพ ฯลฯ | อยู่ระหว่างการผลิต |

## 2.2 ประเภทของระบบงาน

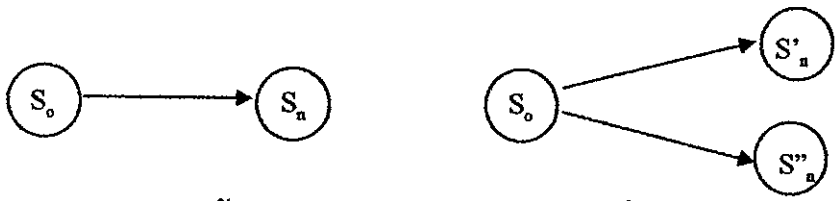
การจำแนกประเภทของระบบงานอาจจำแนกได้หลายแบบแล้วแต่การนำไปใช้งานใน การจำลองแบบปัญหา การจำแนกระบบงานเพื่อความสะดวกในการใช้งานนั้นมักจะจำแนก โดยอาศัยลักษณะการเปลี่ยนสถานภาพของระบบเป็น 4 ประเภทดังนี้

### 2.2.1 ระบบต่อเนื่องหรือระบบเป็นช่วง (Continuous versus Discrete Systems)

โดยพิจารณาจากพฤติกรรมในการเปลี่ยนสภานะภาพของระบบเทียบกับ เวลา ถ้าการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเป็นการเปลี่ยนไปตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ระบบงานนั้นก็จะเป็นระบบต่อเนื่อง แต่ถ้าการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเกิดขึ้นที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งไม่ต่อเนื่อง ระบบงานนั้นก็เป็นระบบเป็นช่วง

**2.2.2 ระบบตายตัวหรือระบบไม่แน่นอน (Deterministic versus Stochastic Systems)**

ระบบตายตัว หมายถึง ระบบซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานภาพที่ระดับใหม่สามารถบอกได้จากสถานภาพและกิจกรรมของระบบที่ระดับก่อน ส่วนระบบไม่แน่นอน หมายถึง ระบบซึ่งการเปลี่ยนสถานภาพเป็นแบบสุ่มและในบางกรณีก็สามารถหาค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของการเปลี่ยนสถานภาพ ถ้าให้ $S_i$ หมายถึงสถานภาพของระบบ รูปที่ 1 แสดงความแตกต่างระหว่างระบบตายตัวและระบบที่ไม่แน่นอน




**รูปที่ 2.1** แสดงความแตกต่างระหว่างระบบตายตัวและระบบที่ไม่แน่นอน

## 2.3 แบบจำลอง

แบบจำลอง หมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่งแบบจำลองอาจนำไปใช้งานในหลายลักษณะดังนี้

**2.3.1 เป็นเครื่องช่วยคิด (An aid to thought)** เช่น แบบจำลองโครงข่าย (Network Model) ช่วยทำให้ผู้สร้างแบบจำลองได้มองเห็นว่าจะมีกิจกรรมอะไรที่ต้องทำบ้างและทำกิจกรรมอะไรก่อนอะไรหลัง

**2.3.2 เป็นเครื่องสื่อความหมาย (An aid to communication)** แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบงานและช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรม ปัญหา และการแก้ปัญหาของระบบงาน

**2.3.3 เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม (Purposes of training and instruction)** เช่น แบบจำลองเครื่องควบคุมการบิน จะช่วยให้นักบินทำความเข้าใจและความคุ้นเคยกับระบบการควบคุมเครื่องบินจริงก่อนขึ้นฝึกบินจริง

**2.3.4 เป็นเครื่องมือสำหรับการทำนาย (A tool for prediction)** จากการที่แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบงาน ก็จะช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองสามารถคาดคะเนหรือทำนายได้ว่าเมื่อมีเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบของระบบเกิดขึ้น จะมีผลอะไรเกิดขึ้นกับระบบ

**2.3.5 เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง (An aid to experimentation)** โดยที่แบบจำลองเป็นสิ่งซึ่งสร้างขึ้นแทนระบบงานจริง ในกรณีที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่างๆ กับระบบงานจริงแต่ทำไม่ได้ ก็จะนำเอาเงื่อนไขนั้นๆ มาทดลองกับแบบจำลองเพื่อดูว่าจะให้ผลอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรจะนำเงื่อนไขนั้นๆ ไปใช้กับระบบงานจริงหรือไม่

## 2.4 ประเภทของแบบจำลองในการจำลองแบบปัญหา (Classification of Simulation Models)

ประเภทของแบบจำลองในการจำลองแบบปัญหา นอกจากจะสามารถจำแนกได้ตามประเภทของระบบงานงานที่มันเป็นตัวแทนอยู่แล้ว ยังมีลักษณะพิเศษเฉพาะตัวของแบบจำลองซึ่งทำให้มันสามารถจำแนกประเภทออกไปตามคุณลักษณะพิเศษดังนี้

**2.4.1 แบบจำลองทางกายภาพ (Physical or Iconic Models)** เป็นแบบจำลองที่มีรูปร่างหน้าตาเหมือนระบบงานจริง อาจมีขนาดเท่ากับของจริงหรือมีขนาดที่เล็กกว่าหรือใหญ่กว่า (Scaled Models) อาจเป็นแบบจำลองของระบบงานจริงในมิติใดมิติหนึ่ง (Dimension) หรือทั้งสามมิติ ตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องยนต์ต้นแบบ (Prototype) ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อทดสอบสมรรถนะก่อนการผลิตจริง แบบจำลองของส่วนควบคุมการบินของเครื่องบิน เครื่องบินขนาดจำลองที่ใช้ทดสอบในอุโมงค์ลม แบบจำลองผังโรงงาน รูปแสดงการเกาะเกี่ยวของอะตอม ฯลฯ

**2.4.2 แบบจำลองอนาลอก (Analog Models)** เป็นแบบจำลองที่มีพฤติกรรมเหมือนระบบงานจริงตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้ได้แก่ อนาลอกคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งใช้การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าซึ่งแสดงบนแผงควบคุมบอกให้รู้ถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุในระบบงานจริง การใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ที่วัดค่าได้ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการผลิตกับจำนวนสินค้าที่ผลิต ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ขนาดความยาวของเส้นกราฟแสดงค่าของเงินหรือจำนวนสินค้า การใช้แผนภูมิการจัดองค์กร (Organization Charts) เป็นแบบจำลองที่ใช้สี่เหลี่ยมรูปกล่องและเส้นแสดงความสัมพันธ์และหน้าที่รับผิดชอบของบุคคลากรในระดับต่างๆ การใช้แผนภูมิการไหลของวัตถุดิบผ่านขบวนการผลิต ฯลฯ

**2.4.3 เกมการบริหาร (Management Games)** เป็นแบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Models) ในกิจการต่างๆ เช่น ธุรกิจ สงคราม การลงทุน ฯลฯ เป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงผลถ้ามีการตัดสินใจแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ

**2.4.4 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Models)** เป็นแบบจำลองที่อยู่ในรูปของคอมพิวเตอร์โปรแกรม ซึ่งก่อนที่จะมาเป็นคอมพิวเตอร์โปรแกรม แบบจำลองอาจอยู่ในรูปของแบบจำลองประเภทหนึ่งประเภทใดที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด

**2.4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models)** เป็นแบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบในระบบงานจริง เช่น ใช้ X แทนค่าใช้จ่ายในการผลิต Y แทนจำนวนสินค้าที่ผลิต

## 2.5 โครงสร้างของแบบจำลอง (Structure of Simulation Model)

ในระบบงานจริงที่มีความยุ่งยากซับซ้อน แบบจำลองของระบบงานอาจใช้แบบจำลองหลายประเภทร่วมกัน ในการทำการศึกษาจะต้องมีขอบเขตจำกัดอีกทั้งต้องมีวัตถุประสงค์ของศึกษา เมื่อรวมเข้ากับรูปแบบของความสัมพันธ์ข้างต้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของแบบจำลองนั้นควรประกอบไปด้วย

**2.5.1 องค์ประกอบ (Components)** ในทุกระบบงานจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ในแบบจำลองที่ใช้แทนระบบงานก็จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบงาน

**2.5.2 ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables and Parameters)** พารามิเตอร์ คือค่าคงที่ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนดให้ อาจเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเองเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าของพารามิเตอร์นั้น หรือเป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล ส่วนตัวแปรนั้นเป็นค่าที่ผันแปร มีค่าได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน จำแนกได้เป็นสองประเภทคือ ตัวแปรจากภายนอก (Exogeneous Variables) หรือตัวแปรนำเข้า (Input Variables) หมายถึง ตัวแปรจากภายนอกระบบซึ่งเข้ามามีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ หรือเป็นตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกระบบ และตัวแปรภายใน (Endogeneous Variables) หมายถึง ตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ ตัวแปรภายในอาจอยู่ในลักษณะตัวแปรสถานภาพ (Status Variables) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้บอกสภาพหรือเงื่อนไขของระบบ หรืออยู่ในลักษณะของตัวแปรนำออก (Output Variables) ซึ่งก็คือผลที่ได้จากการใช้งานระบบ ในทางสถิติ ตัวแปรจากภายนอกคือตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรภายในคือตัวแปรตาม (Dependent Variables)

**2.5.3 ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships)** คือ ฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับพารามิเตอร์ ฟังก์ชันความสัมพันธ์นี้อาจจะอยู่ในลักษณะแน่นอนตายตัว (Deterministic) ซึ่งเป็นลักษณะที่เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าจะสามารถหาได้ว่าผลลัพธ์จะเป็นเท่าไหร่แน่นอน และอาจอยู่ในลักษณะไม่แน่นอน (Stochastic) ซึ่งเมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าให้กับฟังก์ชันไม่แน่

ว่าจะได้ผลลัพธ์ออกมาเท่าไหร่ ลักษณะของฟังก์ชันความสัมพันธ์มักจะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น Y = 4 + 0.7X ซึ่งฟังก์ชันความสัมพันธ์เหล่านี้อาจหามาได้จากสมมติฐานหรือประเมินจากข้อมูลร่วมกับวิธีทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์

**2.5.4 ขอบข่ายจำกัด (Constraints)** คือ ข้อจำกัดของค่าของตัวแปรต่างๆ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนด เช่น ข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่ของระบบ ข้อจำกัดของปริมาณที่ผลิตได้ หรือเป็นข้อจำกัดของระบบงานจริงโดยธรรมชาติ เช่น เราไม่อาจจำหน่ายสินค้าได้มากกว่าปริมาณที่ผลิตได้ ของไหลไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ

**2.5.5 ฟังก์ชันเป้าหมาย (Criterion Function)** หมายถึง ข้อความ (Statement) ที่บอกเป้าหมาย (Goals) หรือวัตถุประสงค์ (Objectives) ของระบบงาน และวิธีประเมินผลตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ของระบบงานอาจแบ่งได้เป็นสองประเภท คือ การคงสภาพของระบบงาน (Retentive) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ระบบสามารถคงสภาพการใช้ทรัพยากร เช่น เวลา พลังงาน ความชำนาญ ฯลฯ หรือคงสถานภาพของระบบ เช่น ความสะดวกสบาย ความปลอดภัย ฯลฯ และวัตถุประสงค์ประเภทการแสวงหา (Acquisitive) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ระบบสามารถเพิ่มทรัพยากรต่างๆ เช่น กำไร ลูกค้า ฯลฯ หรือเปลี่ยนสถานะภาพของระบบ เช่น ได้ส่วนแบ่งของตลาดเพิ่มขึ้น

## 2.6 กระบวนการจำลองแบบปัญหา

การออกแบบและสร้างแบบจำลองในการจำลองแบบปัญหา ไม่มีทฤษฎี หลักเกณฑ์ หรือสูตรที่แน่นอนตายตัว การออกแบบจำเป็นต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในโครงสร้างของระบบงานจริงและปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างถ่องแท้ นอกจากนั้นยังต้องอาศัยศิลปะในการแปลงลักษณะของโครงสร้างของระบบงานให้อยู่ในลักษณะแบบจำลองที่จะสามารถนำไปใช้ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบงานจริง นักจำลองแบบปัญหามักจะมีศิลปะเฉพาะตัวซึ่งได้จากประสบการณ์ในการใช้งานการจำลองแบบปัญหา ปัญหาในการออกแบบและสร้างแบบจำลอง เพื่อเป็นการช่วยจัดลำดับความคิดและการทำความเข้าใจกับระบบงานจริง และเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการสร้างแบบจำลองอย่างเป็นระเบียบระบบ ได้มีผู้เสนอแนะขั้นตอนต่างๆ ที่อาจใช้ช่วยเป็นแนวทางสำหรับการสร้างแบบจำลอง ดังได้กล่าวถึงโดยสังเขปมาแล้ว ขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวถึงนั้นประกอบไปด้วย

- ❖ การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน
- ❖ การสร้างแบบจำลอง
- ❖ การจัดเตรียมข้อมูล
- ❖ การแปรรูปแบบจำลอง

- ❖ การทดสอบความถูกต้อง
- ❖ การออกแบบการทดลอง
- ❖ การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง
- ❖ การดำเนินการทดลอง
- ❖ การตีความผลการทดลอง
- ❖ การนำไปใช้งาน
- ❖ การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน

แม้ว่าการจำลองแบบปัญหาไม่จำเป็นต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาเสมอไป แต่การใช้การจำลองแบบปัญหาในปัจจุบันมักใช้กับปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนจึงต้องอาศัยคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณหาข้อมูลต่างๆที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์หาวิธีการแก้ปัญหาขั้นตอนต่างๆ ต่อไปนี้เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินการจำลองแบบปัญหาที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

**2.6.1 การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน (Problem Formulation and System Definition)** ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการจำลองแบบปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆ และวิธีการวัดผลของระบบงาน

**2.6.2 การสร้างแบบจำลอง (Model Formulation)** จากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษาเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

**2.6.3 การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation)** วิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองและจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

**2.6.4 การแปรรูปแบบจำลอง (Model Translation)** แปลงแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

**2.6.5 การทดสอบความถูกต้อง (Validation)** เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

**2.6.6 การออกแบบการทดลอง (Strategic Planning)** เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

**2.6.7 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical Planning)** เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองเป็นแต่เพียงการบอกเงื่อนไขของการทดลอง ส่วนขั้นตอนนี้เป็นการบอกว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวกี่ครั้งจึงจะได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม กล่าวคือได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้ในราคาที่เหมาะสม

**2.6.8 การดำเนินการทดลอง (Experimentation)** เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการและความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง

**2.6.9 การตีความผลการทดลอง (Interpretation)** จากผลการทดลอง ตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร

**2.6.10 การนำไปใช้งาน (Implementation)** จากผลการทดลอง เลือกวิธีการที่จะแก้ปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบงานจริง

**2.6.11 การจัดเป็นเอกสารการใช้งาน (Documentation)** เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงดัดแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ ฯลฯ

ขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่ **2.6.1** ถึง **2.6.9** นั้น ไม่จำเป็นที่จะต้องทำตามลำดับ เพราะในระหว่างการดำเนินการสร้างแบบจำลองนั้นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองบ่อยๆ จึงอาจมีการย้อนกลับไปทำขั้นตอนแรกๆ ใหม่ และส่วนใหญ่ การตั้งปัญหา การให้คำจำกัดความของระบบงาน การสร้างแบบจำลอง และการจัดเตรียมข้อมูล มักจะกระทำไปพร้อมๆ กัน ดังนั้นขั้นตอนต่างๆ ที่กล่าวถึงจึงเป็นเสมือนแนวทางสำหรับตรวจสอบว่าได้มีการกระทำตามขั้นตอนที่จำเป็นหรือไม่ มากกว่าจะเป็นกฎข้อบังคับที่ต้องกระทำโดยลำดับ

## 2.7 ข้อดีและข้อเสียของการใช้การจำลองแบบปัญหา

การจำลองแบบปัญหานั้นเป็นเครื่องมือซึ่งใช้บอกผลต่างๆ อันจะเกิดจากระบบงานภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ผลที่จะได้จากการจำลองแบบปัญหานั้นอาจนำไปใช้งานได้โดยตรงหรืออาจจะต้องนำไปวิเคราะห์ต่อ การจำลองแบบปัญหานั้นเป็นวิธีการหนึ่งในหลายๆ วิธีที่อาจใช้ช่วยแก้ปัญหาในการดำเนินงานของระบบงานได้ ดังนั้นเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นจึงต้องวิเคราะห์ปัญหานั้นๆ เสียก่อนว่าควรจะใช้เครื่องมือใดเข้าไปช่วยแก้ปัญหาเมื่อเป็นดังนี้จึงเป็นความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงข้อดีและ

ข้อเสียของเครื่องมือเพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าเครื่องมือนั้นๆ เหมาะสมเพียงใดในการนำไปใช้แก้ปัญหาอาจสรุปได้ดังนี้

**2.7.1** เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงอาจก่อให้เกิดความขัดข้องในการดำเนินงานตามปกติ

**2.7.2** เพราะว่าในการทดลองกับระบบงานจริงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลของสมรรถนะของคนอาจได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความสามารถในการปรับสมรรถนะของตนเอง จึงทำให้ได้ข้อมูลที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง

**2.7.3** เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงนั้นเป็นการยากที่จะควบคุมเงื่อนไขต่างๆ ของการทดลองให้คงที่ ทำให้ผลการทดลองที่ได้แต่ละครั้งของการทดลองอาจไม่ใช่ผลที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขกลุ่มเดียวกัน

**2.7.4** เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงอาจต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมา จึงจะได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

**2.7.5** เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริง อาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะทดลองกับเงื่อนไขทุกรูปแบบที่ต้องการ จากอุปสรรคที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองกับระบบงานจริงได้ จึงคิดที่จะใช้การจำลองแบบปัญหาในการช่วยแก้ไขปัญหา โดยสรุปเราควรจะพิจารณาใช้การจำลองแบบปัญหาเมื่อเงื่อนไขข้อหนึ่งข้อใดต่อไปนี้เกิดขึ้น

**2.7.6** กรณีที่ไม่มีวิธีการแก้ปัญหา โดยวิธีทางคณิตศาสตร์

**2.7.7** กรณีที่มีวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ แต่การคำนวณและขั้นตอนในการวิเคราะห์ยุ่งยากทำให้เสียเวลาและแรงงานมาก และการจำลองแบบปัญหาเป็นวิธีแก้ปัญหาที่ง่ายกว่า

**2.7.8** กรณีที่มีวิธีการแก้ปัญหา โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ยุ่งยากมาก แต่เกินกว่าขีดความสามารถของบุคคลากรที่มีอยู่ และค่าใช้จ่ายในการใช้การจำลองแบบปัญหาถูกกว่าการจ้างผู้เชี่ยวชาญในวิธีการทางคณิตศาสตร์นั้นมาแก้ปัญหา

**2.7.9** กรณีที่มีความจำเป็นในการสร้างสถานการณ์ในอดีตขึ้นเพื่อศึกษาหรือประเมินค่าพารามิเตอร์

**2.7.10** กรณีที่การจำลองแบบปัญหาเป็นวิธีเดียวที่จะสามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากไม่อาจทำการทดลองและวัดผลในสภาพจริง

**2.7.11** กรณีที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของระบบงานในช่วงระยะเวลาการใช้งานระบบนานๆ เช่น การศึกษาปัญหา เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ

ประโยชน์ที่สำคัญประการหนึ่งของการจำลองแบบปัญหาก็คือ เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการศึกษาและฝึกอบรมเกี่ยวกับระบบงาน เพราะผู้ทำการทดลองจะสามารถ

ทราบความเป็นไปและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในระบบงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมและองค์ประกอบต่างๆ ของระบบงาน ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบงาน รวมทั้งผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการนำเอาวิธีการใหม่เข้าไปใช้ในการดำเนินงานของระบบงาน ทำให้การวางแผนการดำเนินงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การจะนำเอาเครื่องมือใดไปใช้ควรต้องทราบถึงข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือนั้นๆ ดังนั้นจึงควรที่จะทราบว่าเพราะเหตุใดจึงไม่ควรใช้การจำลองแบบปัญหา

**2.7.12** การที่จะได้มาซึ่งแบบจำลองที่ดีนั้น ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก รวมทั้งต้องอาศัยความสามารถอย่างสูงของผู้ออกแบบจำลอง

**2.7.13** แบบจำลองที่ได้ในบางครั้งดูเหมือนว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบงานจริงได้ แต่ในความเป็นจริงแบบจำลองนั้นอาจไม่ใช่ตัวแทนของระบบงานนั้นๆ และการที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองนั้นใช้ได้หรือไม่ก็ไม่ใช้เรื่องง่าย

**2.7.14** ข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลองไม่มีความแม่นยำ และไม่สามารถวัดขนาดของความไม่แม่นยำได้แม้จะทำการวัดความไวของข้อมูลเหล่านั้น ก็ไม่สามารถทำให้ข้อเสียข้อนี้หายไปได้

**2.7.15** เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบปัญหานั้น โดยปกติจะเป็นตัวเลข ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาว่าผู้สร้างแบบจำลองอาจให้ความสำคัญกับตัวเลขเหล่านั้นมากเกินไปและพยายามที่จะทดสอบความถูกต้องของตัวเลขแทนที่จะทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ทำให้แบบจำลองที่ได้อาจไม่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

## 2.8 การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์

การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นการศึกษาปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลองซึ่งอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบบจำลองก่อนที่จะมาอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้อาจอยู่ในรูปของแบบจำลองประเภทหนึ่ง โดยที่การจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์นี้เป็นที่นิยมใช้ที่สุดของการใช้การจำลองแบบปัญหา เพราะสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานได้มากมายหลายประเภท ปัจจุบันเป็นเทคนิคที่ได้รับการนำเอาไปใช้อย่างกว้างขวาง ในสหรัฐอเมริกาจัดการจำลองแบบปัญหา เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการนำไปใช้มากที่สุดและได้นำไปใช้ในงานต่างๆ มากกว่า 70 สาขาอาชีพ และเมื่อมีผู้กล่าวถึงการจำลองแบบปัญหาทุกคนก็มักจะนึกถึงเข้าใจว่าเป็นการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์เสมอ ดังนั้นหลักการและวิธีการต่างๆ ที่จะกล่าวถึงในบทต่อๆ ไปจึงเป็นหลักการและวิธีการที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ หลักการที่ใช้กับการจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์จะเป็นหลักการแบบเดียวกับที่ใช้กับการ

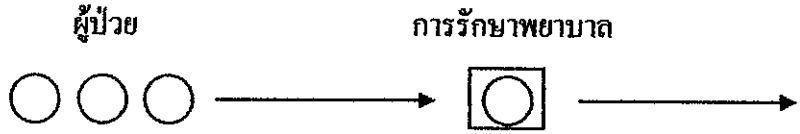
จำลองแบบปัญหาอื่นๆ ความจำเป็นที่จะสร้างเป็นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับความยุ่งยากในการคำนวณของปัญหานั้นๆ

โดยที่การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์จะต้องมีการคำนวณ มีข้อมูลทั้งที่เป็นข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์จากแบบจำลอง และโดยปกติข้อมูลต่างๆ ในระบบงานจะเป็นข้อมูลซึ่งมีความผันแปรไม่แน่นอนและมีการแปรเปลี่ยนตามเวลา ดังนั้นการจัดเตรียมและการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ รวมทั้งขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้กับการจำลองแบบปัญหานี้จึงต้องอาศัยวิธีการต่างๆ ทางสถิติเข้าช่วย โดยที่จะไม่กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติที่เกี่ยวข้อง เพราะผู้อ่านควรจะมีพื้นความรู้อยู่แล้วหรือหาอ่านได้จากหนังสือสถิติทั่วไป ในบทถัดไปจะกล่าวถึงวิธีการทางสถิติที่จำเป็นต่อการใช้ในการจำลองแบบปัญหา

## 2.9 ตัวอย่างการจำลองแบบปัญหา

เพื่อช่วยในการทำความเข้าใจในวิธีการจำลองแบบปัญหา จึงได้เสนอตัวอย่างง่ายๆ ของการใช้การจำลองแบบปัญหากับปัญหาแถวคอยที่มีผู้ให้บริการ 1 คน

สมมติว่าปัญหานี้เป็นปัญหาของสถานพยาบาลซึ่งมีแพทย์ 1 คน สามารถรองรับผู้ป่วยเท่าไหร่ก็ได้ลักษณะของปัญหาดังกล่าวถ้าเขียนเป็นแบบจำลองโดยใช้สี่เหลี่ยม วงกลมและเส้นได้ดังรูปที่ 2.2




**รูปที่ 2.2** แบบจำลองแถวคอย

การทำงานของระบบงานจะเริ่มด้วยผู้ป่วยเข้ามาที่สถานพยาบาล ถ้าแพทย์หรือพยาบาลว่างก็จะเข้ามารับบริการ ถ้าไม่ว่างก็จะเข้าคิวรอ เมื่อรับบริการเสร็จก็จะออกจากสถานพยาบาลไป เมื่อมีผู้ป่วยคนใหม่เข้ามาก็จะปฏิบัติตนเหมือนกัน ระบบจะดำเนินงานเช่นนี้ตั้งแต่เริ่มเปิดจนถึงเวลาปิดสถานพยาบาล

สมมติว่า การเข้ามาในสถานพยาบาลของผู้ป่วยมีลักษณะสม่ำเสมอ มีระยะเวลาห่างระหว่างผู้ป่วยแต่ละคนมีค่าอยู่ระหว่าง 10 – 20 นาที ระยะเวลาของการใช้บริการของผู้ป่วยแต่ละคนจะมีลักษณะสม่ำเสมอมีค่าอยู่ระหว่าง 10 – 15 นาที

เราอาจเปลี่ยนรูปแบบจำลองแบบอนาลอกดังรูปที่ 2.2 ไปอยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้คำนวณหาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ระบบได้ดังนี้

โดยอาศัยการตัดกระดาษ 11 ใบ ในกระดาษ แต่ละใบเขียนเลข 10 ถึง 20 สำหรับใช้เป็นค่าของระยะเวลาห่างระหว่างผู้ป่วยแต่ละคนที่เข้ามาในสถานพยาบาลและตัดกระดาษอีกชุดหนึ่ง 6 ใบ เขียนเลข 10 – 15 สำหรับใช้เป็นค่าของเวลาที่ผู้ป่วยแต่ละคนใช้ในการรักษาพยาบาล การจำลองแบบปัญหาก็จะเริ่มด้วย เราจับกระดาษสลากสำหรับการเข้ามาที่สถานพยาบาลสมมติว่าได้ 12 แปลว่าผู้ป่วยคนนั้นเข้ามาหลังคนก่อนเป็นเวลา 12 นาที ถ้าเป็นผู้ป่วยคนแรกหมายความว่าผู้ป่วยคนนั้นเข้ามาหลังการเปิดสถานพยาบาล 12 นาที หลังจากนั้นจับสลากชุดที่ 2 สมมติว่าได้ 15 แปลว่าผู้ป่วยคนนั้นจะใช้เวลาในการรักษาพยาบาล 15 นาที จากนั้นเราก็จะตรวจสอบดูว่าตอนที่ผู้ป่วยเข้ามานั้นเป็นเวลาเท่าไหร่ (เวลาสมมติของระบบ) แพทย์ว่างหรือไม่ ถ้าไม่ว่าง เมื่อไหร่จะว่าง ซึ่งการตรวจสอบนี้สามารถกระทำได้โดยการตั้งนาฬิกาจำลอง (Simulated Clock) สำหรับการตรวจนับเวลาของกิจกรรมแต่ละขั้นตอนของผู้ป่วย จากเวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ก็จะทราบว่าเวลาที่ผู้ป่วยที่รอแพทย์และเวลาที่แพทย์ว่างเป็นเท่าไหร่รวมทั้งอาจจะหาข้อมูลอื่นๆที่ต้องการได้

จากการจำลองแบบปัญหาของผู้ป่วยที่เข้ามาในสถานพยาบาล 20 คน เราอาจจะได้แบบจำลองการทำงานของสถานพยาบาลดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

การจำลองแบบปัญหาของสถานพยาบาล

| ผู้ป่วยคนที่ | เวลาที่เข้าหลังคนก่อน (นาที) | เวลาที่ต้องใช้บริการ (นาที) | นาฬิกาแสดงเวลามาถึงสถานพยาบาล | นาฬิกาแสดงเวลาเข้ารับบริการ | นาฬิกาแสดงเวลาออกจากสถานพยาบาล | ผู้ป่วยคอย (นาที) | แพทย์ว่าง (นาที) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 | 15 | 8.12 | 8.12 | 8.27 | - | 12 |
| 2 | 10 | 12 | 8.22 | 8.27 | 8.39 | 5 | - |
| 3 | 14 | 10 | 8.36 | 8.39 | 8.49 | 3 | - |
| 4 | 18 | 14 | 8.54 | 8.54 | 9.08 | - | 5 |
| 5 | 10 | 15 | 9.04 | 9.08 | 9.23 | 4 | |
| 6 | 16 | 12 | 9.20 | 9.20 | 9.32 | 3 | - |
| 7 | 13 | 15 | 9.33 | 9.33 | 9.48 | - | - |
| 8 | 12 | 12 | 9.45 | 9.48 | 10.00 | 3 | 1 |
| 9 | 20 | 13 | 10.05 | 10.05 | 10.18 | - | - |
| 10 | 15 | 11 | 10.20 | 10.20 | 10.31 | - | 5 |
| 11 | 17 | 14 | 10.37 | 10.37 | 10.51 | - | 2 |
| 12 | 19 | 10 | 10.56 | 10.56 | 11.06 | - | 6 |
| 13 | 12 | 13 | 11.08 | 11.08 | 11.21 | - | 5 |
| 14 | 13 | 12 | 11.23 | 11.23 | 11.35 | - | 2 |
| 15 | 18 | 10 | 11.41 | 11.41 | 11.51 | - | 2 |
| 16 | 16 | 11 | 11.57 | 11.57 | 12.08 | - | 6 |
| 17 | 10 | 15 | 12.07 | 12.07 | 12.23 | 1 | 6 |
| 18 | 11 | 14 | 12.18 | 12.18 | 12.37 | 5 | - |
| 19 | 11 | 12 | 12.29 | 12.29 | 12.41 | 8 | - |
| 20 | 17 | 10 | 12.46 | 12.46 | 13.56 | - | - |
| | | | | | รวม | 32 | 5 |
| | | | | | | | 56 |

จากการจำลองแบบปัญหาแสดงว่าผู้ป่วย 20 คนมีเวลาคอย 32 นาที เฉลี่ยเวลาที่ต้องคอยแพทย์คนละ 1.6 นาที จากเวลาที่เปิดสถานพยาบาลจนได้ผู้ป่วย 20 คนใช้เวลา 356 นาที แพทย์มีเวลาว่าง 56 นาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการใช้งานแพทย์ 1 – (56/356) x 100 = 84.3 %

## 2.10 การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน

ความสำเร็จในการตั้งปัญหา เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการออกแบบและสร้างแบบจำลอง เพราะคำตอบที่ถูกสำหรับปัญหาที่ผิดย่อมไม่มีประโยชน์ จึงเป็นธรรมดาที่ในระหว่างการออกแบบและสร้างแบบจำลอง เราอาจจะต้องกลับไปตั้งปัญหาใหม่แทนปัญหาเดิมซึ่งอาจไม่ใช่ปัญหา

ขั้นตอนแรกในการตั้งปัญหาก็คือ การระบุหรือกำหนดวัตถุประสงค์ (Purposes) ของการศึกษาหรือสิ่งที่ผู้วิเคราะห์ต้องการจะบรรลุ โดยที่ระบบงานจริงนั้นเราอาจจะสร้างแบบจำลองได้หลายแบบ แล้วแต่วัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองนั้น ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาระบบการรักษาพยาบาล ถ้าวัตถุประสงค์ของการศึกษาเป็นไป เพื่อวัดผลการให้บริการ องค์ประกอบในแบบจำลองก็จะมีเฉพาะองค์ประกอบที่จะให้ข้อมูลของการให้บริการ เช่น ระยะเวลาการเข้ามาในสถานพยาบาลของผู้ป่วย เวลาที่แพทย์ใช้ในการบริการ เป็นต้น แต่ถ้าวัตถุประสงค์ของการศึกษาเป็นไป เพื่อการใช้พื้นที่ประกอบการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด องค์ประกอบในแบบจำลองก็จะประกอบด้วย ขนาดของพื้นที่ ขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ ขนาดของพื้นที่ที่พอเหมาะสำหรับการทำงานของแพทย์ เป็นต้น จึงเห็นได้ว่า วัตถุประสงค์ของการศึกษาจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง เพราะนอกจากจะเป็นเครื่องชี้บอกความต้องการของการจำลองแบบปัญหาแล้ว ยังเป็นเครื่องชี้บอกผู้สร้างแบบจำลองว่าจะต้องมีองค์ประกอบสำคัญๆ อะไรอยู่บ้าง

การบอกวัตถุประสงค์ของการศึกษามักจะมาจากฝ่ายบริหารหลังจากที่เห็นว่าการทำงานบางอย่างของระบบไม่ได้ระดับที่น่าพอใจ วัตถุประสงค์เหล่านั้นมักจะอยู่ในลักษณะที่เป็นคำพูด เช่น ต้องการลดต้นทุนการผลิต ต้องการเพิ่มยอดขาย ฯลฯ โดยความเห็นของผู้ที่เป็นผู้บอกความต้องการเหล่านี้ วัตถุประสงค์ที่กล่าวมาแล้วก็น่าจะชัดเจนดีอยู่แล้ว แต่เมื่อจะนำเอาวัตถุประสงค์เหล่านั้นไปใช้งานก็ยังจะมีปัญหา เช่น การที่จะลดต้นทุนการผลิตนั้น จะลดตรงไหน ลดอย่างไร แล้วจะใช้อะไรเป็นเครื่องชี้บ่งว่าลดได้จริงหรือไม่ ฯลฯ และโดยเฉพาะ เมื่อจะต้องมีการคำนวณ ก็จะต้องแปลความหมายของวัตถุประสงค์นั้นให้อยู่ในรูปของสมการหรือฟังก์ชันต่างๆ ทางคณิตศาสตร์ที่จะสามารถนำไปใช้คำนวณวิเคราะห์ได้ ถ้าเราสามารถเขียนวัตถุประสงค์ออกมาเป็นฟังก์ชันหรือสมการทางคณิตศาสตร์ได้ เราจะเรียกฟังก์ชันนั้นว่า ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) หรือสมการเป้าหมาย

โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ที่ได้จากฝ่ายบริหารมักจะเป็นวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้แก้ไขอาการบางอย่างอันไม่พึงปรารถนาของธุรกิจนั้นๆ หน้าที่ของผู้ศึกษาก็จะต้องวิเคราะห์อาการเหล่านั้นว่าเกิดขึ้นเพราะเหตุใด การด้อยประสิทธิภาพของสายการผลิตอาจเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ความด้อยประสิทธิภาพของเครื่องจักร ของคน หรือคุณภาพของวัตถุดิบ ผู้ศึกษาก็จะต้องวิเคราะห์ให้ออกว่าปัญหานั้นเนื่องมาจากอะไร เมื่อได้ปัญหา เราก็จะได้ทั้งวัตถุประสงค์ ก็คือความต้องการในการแก้ปัญหาอะไร เมื่อได้ปัญหา เราก็จะได้ทั้งวัตถุประสงค์ ก็คือความต้องการในการแก้ปัญหานั้น และได้มาซึ่งรูปร่างหน้าตาของปัญหาซึ่งก็คือ ลักษณะของระบบงานที่ต้องการทำการศึกษา

การวิเคราะห์อาการอันไม่พึงปรารถนาของระบบงาน ก็คือการวิเคราะห์ระบบงานโดยเฉพาะในส่วนที่ก่อให้เกิดอาการดังกล่าว แต่ไม่ได้หมายความว่าระบบงานที่เราจะต้องทำการศึกษานั้นทำเฉพาะส่วนที่มีอาการ เพราะอาการอันไม่พึงปรารถนาซึ่ง เกิดขึ้นที่ระบบงานตรงนั้นอาจเนื่องมาจากระบบงานส่วนอื่นๆ แต่เพื่อเป็นจุดเริ่มต้น เรามักจะต้องเริ่มการศึกษาระบบงานตรงจุดที่สำแดงอาการก่อน แล้วจึงไล่ไปหาส่วนที่ทำให้เกิดอาการ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การออกแบบและสร้างแบบจำลองนั้นเป็นศิลป์เฉพาะตัวอย่างไรก็ตาม มีวิธีการที่สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์ระบบงาน วิธีการเหล่านี้ได้แก่ การศึกษาข้อมูลของระบบงาน การศึกษาการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบของระบบงาน และการศึกษาหน้าที่และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบงาน

**2.10.1 การศึกษาข้อมูลของระบบงาน**

ส่วนหนึ่งของการทำความเข้าใจกับระบบงานและปัญหาที่เกิดขึ้นได้มาจากการศึกษาข้อมูลของระบบงานซึ่งมักจะอยู่ในรูปของเอกสารต่างๆ ในกรณีที่ข้อมูลที่ต้องการไม่ปรากฏอยู่ในเอกสาร เราก็จะทำการวัดผล สัมภาษณ์หรือสังเกตการณ์ แหล่งข้อมูลของระบบงาน

**2.10.1.1 เอกสารด้านบัญชี** ได้แก่ ค่าใช้จ่ายฝ่ายบริหาร ภาษี ค่าสาธารณูปโภค ค่าขนส่ง กำไร

**2.10.1.2 เอกสารด้านวิศวกรรม** ได้แก่ ข้อกำหนดทางวิศวกรรม (Engineering Specifications) ของวัตถุดิบ สินค้า ชิ้นส่วน เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ประสิทธิภาพ และสมรรถนะของอุปกรณ์การผลิต

**2.10.1.3 เอกสารด้านการขาย** ได้แก่ ปริมาณและยอดราคาขาย แนวโน้มการขาย ค่าการสูญเสียการขาย

**2.10.1.4 เอกสารด้านการจัดซื้อ** ได้แก่ ราคาพัสดุ ช่วงเวลานำในการส่งพัสดุ (Lead Time) การลดราคาตามปริมาณการซื้อ

**2.10.1.5 เอกสารด้านพัสดุ** ได้แก่ ปริมาณพัสดุคงคลัง ปริมาณพัสดุระหว่างการผลิต ปริมาณสินค้าสำเร็จรูป ความถี่ของการร้างพัสดุ ปริมาณการร้างพัสดุ

**2.10.1.6 เอกสารด้านการควบคุมการผลิต** ได้แก่ สถานะภาพด้านการกำหนดการผลิต เวลาสำหรับการปรับแต่งเครื่อง และจัดเตรียมอุปกรณ์การผลิต วิธีการและขั้นตอนการผลิต การจัดสมดุลในสายการผลิต การจัดงานให้เครื่องจักร การตัดสินลำดับก่อนหลัง

**2.10.1.7 เอกสารด้านการควบคุมคุณภาพ** ได้แก่ สมรรถนะของเครื่องจักร ปริมาณพัสดุทิ้ง พัสดุบกพร่อง แผนการตรวจรับสินค้า วิธีการควบคุมคุณภาพในการผลิต ผลกระทบด้านคุณภาพจากอายุการใช้งานของเครื่องจักร

**2.10.1.8 เอกสารด้านการซ่อมบำรุง** ได้แก่ ความเชื่อถือได้ (Reliability) ขององค์ประกอบต่างๆ ของระบบ ระยะเวลาเครื่องจักรเสีย อัตราความบกพร่องของเครื่องจักร ลักษณะการกระจายของเวลาที่ใช้ซ่อม และเวลาที่เครื่องจักรต้องรอการซ่อม

**2.10.1.9 เอกสารด้านการศึกษาการทำงาน** ได้แก่ ลักษณะการกระจายของเวลาที่ใช้ผลิต เวลามาตรฐานของการผลิต

**2.10.1.10 เอกสารด้านการเบิกจ่ายอะไหล่และเครื่องมือ** ได้แก่ ความถี่ในการเบิก ลักษณะการกระจายของเวลาที่ต้องรออะไหล่ ความถี่ของการแตกหัก เสียหายของเครื่องจักร ลักษณะการกระจายของอายุการใช้งานของอะไหล่

**2.10.1.11 เอกสารด้านบุคคล** ได้แก่ เงินเดือน การขาดงาน ประวัติการรักษาพยาบาล การจำแนกทักษะการลาออกและการรับคนงานใหม่

นอกจากเอกสารที่กล่าวมาแล้วซึ่งเป็นเอกสารภายในของธุรกิจและอุตสาหกรรม บางครั้งเราอาจจะต้องการข้อมูลจากภายนอกมาประกอบการศึกษา ข้อมูลเหล่านี้อาจได้มาจาก เอกสารหรือการสอบถามจากบริษัทประกันภัยของบริษัท บริษัทที่จำหน่ายสินค้าให้บริษัท ลูกค้าของบริษัท บริษัทที่ทำการวิจัยด้านการตลาด หน่วยงานของรัฐ ข้อมูลด้านมาตรฐานต่างๆ มหาวิทยาลัย วารสาร และหนังสือ ฯลฯ

นอกจากแหล่งข้อมูลที่กล่าวมาแล้ว ในกรณีที่ต้องการข้อมูลเพิ่มเติม เราอาจต้องทำการประมาณค่าข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการ ซึ่งอาจได้มาจากการวัดผล การสังเกตการณ์ และการสัมภาษณ์บุคลากรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และถ้ายังไม่เป็นที่พอใจ เราอาจจะต้องร่วมลงมือกระทำกิจกรรมนั้นๆ

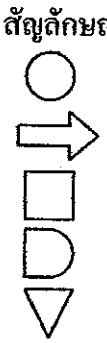
ข้อมูลต่างๆ ได้มาทั้งจากเอกสารหรือการสังเกตการณ์และการสัมภาษณ์ ไม่จำเป็นที่จะต้องถูกต้องเสมอไป ดังนั้นผู้ศึกษาควรที่จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต่างๆ ที่ได้รับมา

เมื่อเกิดความไม่แน่ใจก็ควรจะได้ทำการวัดผลด้วยตนเอง ในการศึกษาระบบงานนั้นเมื่อเกิดความไม่แน่ใจในสิ่งใดควรทำการศึกษาวิเคราะห์ ไม่ควรเดาหรืออนุมานเอา ไม่ควรอาศัยความชำนาญจากอดีตมาตัดสินมากจนเกินไป และไม่ควรคาดการณ์ไว้ก่อนล่วงหน้า

**2.10.2 การศึกษาการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบของระบบงาน**

การศึกษาการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบของระบบงาน เป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งนิยมใช้ในการวิเคราะห์ระบบงาน องค์ประกอบที่เคลื่อนที่ในระบบ อาจเป็น คน วัตถุดิบ พัสดุ เอกสาร ข้อมูล ฯลฯ การติดตามการเคลื่อนที่องค์ประกอบเหล่านี้ จะช่วยให้เข้าใจถึงระบบงานและปัญหาของระบบ วิธีการที่ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบที่นิยมใช้ในงานด้านวิศวกรรม ได้แก่ การใช้แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process Chart) แผนภูมิการเคลื่อนที่ (Flow Diagram) และแผนภูมิกิจกรรม (Activity Chart)

แผนภูมิกระบวนการผลิต เป็นวิธีการในการบันทึกขั้นตอนการทำงานของระบบงานโดยอาศัยศึกษาจากการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบ อาทิ คน วัตถุดิบ ฯลฯ การบันทึกการทำงานอาศัยสัญลักษณ์ 5 อย่าง ดังนี้



| สัญลักษณ์ | ใช้งาน |
|---|---|
| | การปฏิบัติงาน (Operation) |
| | การย้ายที่ (Transportation) |
| | การตรวจสอบ (Inspection) |
| | การล่าช้า (Delay) |
| | การเก็บรักษา (Storage) |

**รูปที่ 2.3** แสดงสัญลักษณ์ของแผนภูมิกระบวนการผลิต

**2.10.3 การศึกษาหน้าที่และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบงาน**

ในระบบงานที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน การใช้การศึกษาการเคลื่อนที่ขององค์ประกอบอาจไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดสำหรับการศึกษา และโดยเฉพาะในระบบงานที่ไม่มีองค์ประกอบที่ทำการเคลื่อนที่หรือมีแต่ไม่ชัดเจนหรือมีการเคลื่อนที่เฉพาะในบางจุดไม่เคลื่อนที่ตลอดทั้งระบบงานในกรณีเช่นนี้ เรามักจะหันมาใช้วิธีการศึกษาหน้าที่และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบงาน

ป RT
85
.5
ว252ก
2546

4740383
20 ก.ค. 2547

แทน เครื่องมือที่ใช้ในกรณีนี้ มักจะเป็นการใช้เส้นและรูปต่างๆ ในการบันทึกหน้าที่และหอสมุด
ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบ หลังจากที่ได้ศึกษาระบบงานโดยวิธีการต่างๆ แล้ว เราควรจะได้มา
ซึ่งปัญหาวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหา และคำจำกัดความของระบบงานที่จะทำการศึกษาตาม
วัตถุประสงค์

## 2.11 การศึกษาเวลา (Time Study)

### 2.11.1 นิยาม

การศึกษา (Time Study) คือการหาเวลามาตรฐานในการทำงานของคนงาน ซึ่งได้รับการฝึกงานนั้นมาดีแล้ว ทำงานนั้นในอัตราปรกติ (Normal pace) ด้วยวิธีการที่กำหนดให้ (specified method)

จากคำนิยามข้างต้นจะเห็นว่าการศึกษาเวลาแตกต่างจากการศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion Study) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการศึกษาวิธีการทำงานและการออกแบบวิธีที่ปรับปรุงแล้ว การศึกษาเวลา (Time Study) เกี่ยวกับการวัดผลงานซึ่งผลที่ได้ก็จะมีหน่วยเป็นนาทีหรือวินาทีที่คนงานหนึ่ง ๆ สามารถทำงานนั้นๆ ได้ตามวิธีการที่ได้กำหนดให้ เวลาที่ได้นี้ก็คือ เวลามาตรฐานหรือ Time Standard นั่นเองอาจอธิบายความหมายของเวลามาตรฐานของงานโดยแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์กับผลผลิตได้ดังนี้

$$\text{Expected Output (Pieces)} = \frac{\text{Total Time spent On Operation}}{\text{Standard Time per Pieces}}$$

สมการข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่าเวลามาตรฐานของชิ้นงานควรรวมเอาเวลาเผื่อต่าง ๆ สำหรับการทำงาน เช่น การล่าช้า การพักเหนื่อย เข้าเป็นส่วนหนึ่งของเวลาที่ใช้ในการผลิต เวลามาตรฐานจะช่วยให้เราสามารถคำนวณผลผลิตมาตรฐานของงาน เมื่อคนงานทำงานด้วยประสิทธิภาพ 100% ดังนั้นถ้าอัตราผลผลิตของคนงานต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้อาจคำนวณค่า ประสิทธิภาพในการทำงานได้จากสูตร

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Actual Output}}{\text{Standard Output}}$$

ซึ่งเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงความมีประสิทธิภาพของการทำงานภายในโรงงานว่าได้เปลี่ยนแปลงไปในทางบวกหรือลบ

**2.11.2 ประเภทของการศึกษาเวลา** การศึกษาเวลามีอยู่ 4 กลุ่ม คือ

ก. Direct time study คือการศึกษาเวลาโดยการใช้ เครื่องมือจับเวลาโดยตรงจากการทำงานของคนงานอาจมีการใช้กล้องถ่ายภาพยนตร์ช่วย

ข. Predetermined motion-time systems คือการหาเวลาโดยใช้ตารางการคำนวณมาตรฐานต่าง ตามวิธีที่มีผู้คิดค้นขึ้น

ค. Work sampling คือการศึกษาเวลาโดยอาศัยหลักการสุ่มตัวอย่างเชิงสถิติใน การหาสัดส่วนของการทำงาน และเวลามาตรฐาน

ง. Standard time data and formulary คือการศึกษาเวลาโดยอาศัยข้อมูลจากอดีต และสูตรบางสูตรช่วยในการคำนวณหาเวลา

**2.11.3 ประโยชน์ของการศึกษาเวลา**

แม้ว่าการศึกษาเวลาจะมีประโยชน์โดยตรงในการหาเวลามาตรฐานเพื่อนำมาใช้ในแผน การให้รางวัลแก่คนงานก็ตาม แต่ประโยชน์อื่น ๆ ซึ่งอาจได้จากการศึกษาก็มีอีกมากมาย เช่น

- Labor Cost Control ใช้หาเวลาทำงานของคนงานในงานชิ้นหนึ่งๆ เพื่อเปรียบเทียบกับต้นทุน และค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

- Budgeting ใช้ในการประเมินอัตราค่าใช้จ่าย (Overhead rate) ของชิ้นงานหรือสินค้าที่ผลิตโดยใช้สูตร

$$\text{Overhead Rate} = \frac{\text{Estimated Overhead Cost}}{\text{Standard Labor Cost for the Estimated Volume}}$$

- Cost Estimation ใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายของงานหรือสินค้าที่อาจจะผลิตในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลจากการศึกษาเวลาในอดีต เพื่อใช้ในการกำหนดราคาสินค้า

- Manpower Planning ใช้ในการช่วยตัดสินใจว่าแต่ละหน่วยงานต่างๆ ต้องการกำลังคนในการทำงานเท่าใด

- Training ใช้เป็นมาตรฐานในการจัดฝึกคนงานใหม่และเป็นมาตราเปรียบเทียบระดับประสิทธิภาพการทำงาน

- Production Line Balancing ใช้ช่วยในการกระจาย load การทำงานให้สม่ำเสมอกัน นั่นคือ คนงานทุกคนควรมีเวลาทำงานและพักผ่อนเท่ากัน ไม่ใช่คิดจากจำนวนงาน

- Incentive Scheme Based on Output ใช้ในการตั้งผลงานมาตรฐาน เพื่อเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบผลงานของคนแต่ละคน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการให้รางวัล หรือโบนัสที่ยุติธรรม

- Evaluation of Alternative Methods ใช้เปรียบเทียบเพื่อหาวิธีการทำงานที่ดีกว่าโดยหาเวลาของวิธีต่างๆ ซึ่งยังช่วยในการหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าได้อีกด้วย

- Production Scheduling เวลามาตรฐานช่วยในการกำหนดเวลาของการผลิตได้อย่างแน่นอน ทำให้การตั้งเป้าหมายการผลิตเป็นไปตามต้องการและช่วยในการคำนวณหาวิถีวิกฤตในเรื่องของ Critical path analysis.

- Plant Layout ช่วยในการประมาณพื้นที่ที่จะใช้ในการทำงานชิ้นหนึ่งๆ ว่าถ้าต้องการผลผลิตเท่านี้ต่อวันต้องทำงานใช้คนงานจำนวนเท่าใด เครื่องจักรและเส้นทางของการเคลื่อนของ production line.

- Maximum Plant Capacity ช่วยในการคำนวณหาระดับกำลังการผลิตสูงสุดของโรงงาน เพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตและขยายกำลังการผลิตในอนาคต

**2.11.4 การศึกษาเวลาโดยตรง (Direct Time Study)**

**2.11.4.1 เครื่องมือ**

การศึกษาเวลาโดยตรงเป็นวิธีการศึกษาเวลาที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยอาศัยการจับเวลาด้วยมือบันทึกเวลา และแผงบันทึกข้อมูล และอาจมีกล้องถ่ายภาพยนตร์ด้วยในบางกรณีเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาจึงควรมีดังนี้

1. เครื่องมือบันทึกเวลา ส่วนใหญ่มักใช้เป็นนาฬิกาจับเวลา มีทั้งแบบเข็ม และแบบตัวเลขสเกลบอกเวลาอาจแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

ก. ชนิดที่เข็มยาวหมุนได้ 1 รอบต่อ 1 นาที และแบ่งช่องออกเป็น 60 ช่อง 1 ช่อง = 1 /60 หรือ = 1 วินาที

ข. ชนิดที่เข็มยาวหมุนได้ 1 รอบต่อ 1 นาที แต่แบ่งช่องออกเป็น 100 ช่อง ดังนั้น1 ช่อง = 1 /100 นาที หรือ = 0.01 นาที

ค. ชนิดที่เข็มยาวหมุนได้ 1 รอบ ต่อ 1/100 ชั่วโมง แบ่งช่องเป็น 100 ช่อง ดังนั้น 1 ช่อง = 1/1000 ชั่วโมง หรือ = 0.001 นาที

2. แผ่นสำหรับใช้รองเวลาบันทึกข้อมูล

3. แบบฟอร์มในการบันทึกข้อมูล (Time Study Observation Sheets) อาจแยกแบบฟอร์มสำหรับบันทึกรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

ก. แบบฟอร์มสำหรับบันทึกรายละเอียดในการปฏิบัติงาน

ข. แบบฟอร์มสำหรับใช้บันทึกเวลา

ค. แบบฟอร์มสรุปการศึกษา

4. กล้องถ่ายภาพยนตร์ในกรณีที่ต้องอาศัยการถ่ายภาพยนตร์ช่วยในการบันทึกรายละเอียดของการทำงาน

5. เครื่องวัดรอบ (Tachometer) ในกรณีที่มีการจับเวลาของการทำงานของเครื่องจักร จำเป็นต้องมีเครื่องมือวัดรอบได้ตรวจสอบความเร็วของเครื่องจักร

**2.11.4.2 ขั้นตอนของการศึกษา**

อาจสรุปคร่าวๆ ได้ดังนี้

1. ทำความเข้าใจกับคนงานและหัวหน้าคนงาน และศึกษาพร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดของงานที่ต้องการ

2. แบ่งการปฏิบัติงานออกเป็นงานย่อย (Elements) และเขียนบรรยายงานย่อยไว้ให้ละเอียด

3. สังเกต และบันทึกเวลาการทำงานของคนงาน

4. คำนวณหาจำนวนเที่ยวที่เหมาะสมในการจับเวลา

5. ให้อัตราความเร็วแก่การทำงานของคนงาน

6. ตรวจดูว่าได้จับเวลาตามจำนวนรอบที่ต้องการแล้ว

7. คำนวณหาเวลาเผื่อ (Allowanccs)

8. คำนวณหาเวลามาตรฐานของงาน (Standard Time)

**2.11.4.2.1 ทำความเข้าใจเกี่ยวกับคนงานและหัวหน้าคนงาน**

การศึกษาเวลาโดยอาศัยการจับเวลามักมีผลโดยตรงต่อคนงานทางด้านจิตใจ ทำให้เวลาที่ได้เร็วไป หรือช้าไปเสมอ ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจ และอธิบายให้คนงานทราบถึงเหตุผลของการจับเวลาว่าต้องการศึกษาดูเวลาเฉลี่ยของการทำงานไม่ใช่จับความเร็วของการทำงานของเขา หัวหน้าคนงานจะช่วยได้มากในการอธิบายให้คนงานเข้าใจ และดูว่างานที่ทำนั้นถูกต้องตามวิธีและความเร็วตามที่ต้องการหรือไม่ก่อนทำการศึกษาเวลา ต้องมั่นใจว่างานนั้นพร้อมที่จะถูกศึกษา นั่นคือ

ก. วิธีใช้อยู่เป็นวิธีที่ดีที่สุด

ข. การวางเครื่องมือเครื่องจักรอยู่ในลักษณะที่เหมาะสม

ค. วัตถุที่ใช้ทำงานเป็นไปตามคุณลักษณะที่ต้องการ

ง. สภาพการทำงานดีและไม่มีปัญหาของความปลอดภัย

จ. คุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตเป็นไปตามที่ต้องการ

ฉ. ความเร็วของเครื่องจักรเป็นไปตามที่ตั้งไว้

ช. คนงานามีความชำนาญ หรือประสบการณ์พอสมควร

**2.11.4.2.2 การสังเกตและการบันทึกเวลา**

นาฬิกาที่ใช้จับเวลาควรเป็นแบบทศนิยมของนาทีหรือชั่วโมง นั่นคือ 1 รอบ แบ่งเป็น100 ช่อง ดังนั้น 1 ช่อง = 0.01 นาที หรือ 0.0001 ชม. และ 1 รอบ = 1 นาที หรือ 0.01 ชม. เพื่อความสะดวกในการคำนวณการจับเวลาอาจกระทำได้ 2 วิธี ดังนี้

ก. การบันทึกเวลาแบบต่อเนื่อง (Continuous timing) คือการจับเวลาแบบติดต่อกันโดยไม่หยุด นั่นคือ เริ่มจับเวลาตั้งแต่ 0 เมื่อเริ่มงานย่อยงานแรก และเวลาของงานย่อยต่อๆ ไปก็ดูจากเข็มนาฬิกาจนจบวัฏจักร เวลาของงานย่อยที่แท้จริงจะได้จากเวลาเริ่มต้นของงานย่อยถัดไปลบออกด้วยเวลาเริ่มต้นของมัน

ข. การบันทึกเวลาแบบย้อนกลับ (Repetitive timing หรือ Snapback timing) คือการจับเวลาของแต่ละงานย่อย โดยเริ่มต้นที่ 0 ดังนั้นเวลาที่อ่านได้ก็จะเป็นเวลาจริงของแต่ละงานย่อย โดยไปได้ และไม่ต้องเสียเวลามาคำนวณเวลาจริงของแต่ละงานย่อย

ยังมีวิธี Accumulating timing ซึ่งคล้ายกับวิธีที่ 2 เพียงแต่ใช้นาฬิกา 2 หรือ 3 เรือนช่วยโดยทั้ง 2 เรือน นี้มีกลไกที่เชื่อมโยงถึงกันในลักษณะที่ ถ้าเรือนที่ 1 เริ่มเดินอีกเรือนจะหยุด ถ้าเรือนที่ 2 เริ่มเรือนที่ 1 จะหยุด ดังนั้นทำให้เราอ่านเวลาของงานย่อยแต่ละอันได้โดยไม่ต้องเสียเวลาในการกดนาฬิกาให้กลับไปที่ 0 ใหม่ และเมื่อบันทึกเวลาเสร็จแล้วจึงกดให้เข็มกลับไปที่ 0

**ข้อสังเกต** การบันทึกเวลาที่ต้องควรบันทึกเหตุการณ์ทุกอย่างที่เกิดขึ้น เช่น ในการห่อ Hamburger ต้องมีการทำความสะอาดโต๊ะทุกๆ 30 นาที ต้องเดินไปหยิบกระดาษห่อใหม่ทุก 1ชม. เป็นต้น

**2.11.5 การหาค่าอัตราความเร็ว (Determining the Rating Factor)**

**2.11.5.1 การหาค่าเวลาตัวแทน**

เมื่อเราได้ทาการศึกษาขั้นตอนของการทำงาน และได้ทำการจับเวลาครบจำนวนรอบตามที่ต้องการแล้ว ขั้นต่อไปก็คือการเลือกค่าเวลาตัวแทน (Reprehensive time or Selected time) ของงานย่อยต่างๆ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ จากการจับเวลาหลายๆ รอบ จะเห็นว่าเวลาจริงของแต่ละงานย่อยนั้น บางครั้งก็แตกต่างกันมาก เราต้องตัดสินใจเลือกค่าเวลาตัวแทนเพียงค่าเดียว อาจใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้คือ

1. ใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย (Average) ซึ่งก็คือเอาเวลาจริงทั้งหมดรวมกันแล้วหารด้วยจำนวนรอบ

2. ใช้วิธีหาค่าฐานนิยม (Modal method) คือใช้ค่าของตัวที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดเป็นค่าเวลาตัวแทน

ตัวอย่าง ข้อมูลจากการจับเวลาของงานย่อยงานหนึ่งเป็นดังนี้

12, 13, 12, 12, 11, 12, 12, 14, 12, 13

วิธีเฉลี่ย

$$\text{selected time} = \frac{12+13+12+12+11+12+12+14+12+13}{10}$$

$$= 12.2$$

วิธีฐานนิยม

selected time = 12

หลังจากได้ค่าเวลาตัวแทนของแต่ละงานย่อยแล้ว ขั้นต่อไปก็คือ การกำหนดค่า Rating factor หรืออัตราความเร็วของการทำงานให้กับคนงานที่ทำงานนั้น

**2.11.5.2 นิยาม**

การประเมินอัตราความเร็ว (Rating) คือขบวนการซึ่งผู้ทำการศึกษาเวลาใช้เปรียบเทียบ การทำงานของคนงาน ซึ่งกำลังถูกศึกษาอยู่กับระดับการทำงานปกติ ในความรู้สึกของผู้ทำการศึกษานั้น จากคำจำกัดความข้างต้นนี้ จะเห็นว่าการให้ค่าอัตราความเร็วของคนงานแบ่งออก เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การตั้งระดับความเร็วปกติงาน

2. การลงความเห็นว่า การทำงานของคนงานภายใต้การศึกษานั้นแตกต่างจากระดับความเร็งปกติเท่าใด

ความเร็วปกติ (Normal Pace) คือ อัตราการทำงานของคนงานเฉลี่ยซึ่งทำงานภายใต้การแนะนำที่ถูกต้อง และปราศจากแรงกระตุ้นจากเงินรางวัล อัตราความเร็วนี้สามารถคงอยู่วันแล้ววันเล่าโดยไม่ก่อให้เกิดความเครียดทางร่างกายหรือจิตใจ หรือต้องอาศัยความพยายามจนเกินไป

## 2.12 การสร้างแบบจำลอง

จากการศึกษาระบบงาน นอกจากจะได้ปัญหาและวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาแล้ว อาจจะได้มาซึ่งแบบจำลองของระบบงานที่สามารถนำไปใช้งานได้เลย แต่ถ้าแบบจำลองที่ได้ยุ่งยากเกินกว่าที่จะนำไปใช้งาน ก็จำเป็นต้องปรับแต่งให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้งานได้

ความเหมือนระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริงมีสองประเภทคือ "Isomorphic" และ "Homomorphic" ความเหมือนในลักษณะ Isomorphic คือแบบจำลองเหมือนกับระบบงานจริงทุกประการ การที่แบบจำลองจะมีลักษณะที่เหมือนกับระบบงานจริงทุกประการนั้น มีเงื่อนไข

2 ประการ คือ ทุกๆ องค์ประกอบของระบบงานจริงจะต้องมีองค์ประกอบที่เหมือนกันในแบบจำลอง และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบงานจริงจะต้องมีองค์ประกอบที่เหมือนกันในแบบจำลอง และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในแบบจำลองต้องเหมือนกับความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบงานจริง ส่วนลักษณะ Homomorphic ในการจำลองแบบปัญหาโดยอาศัยความเหมือนประเภท Homomorphic นั้น เราจะทำการแบ่งระบบงานออกเป็นระบบย่อยๆ แล้วทำการศึกษาระบบย่อยเหล่านั้นก่อนโดยถือว่าแต่ละระบบย่อยเป็นอิสระแก่กัน เช่น ถ้าต้องการจะศึกษารถยนต์ ก็จะทำการแยกศึกษาเป็น ตัวถัง เครื่องยนต์ ระบบส่งกำลัง ฯลฯ เมื่อได้คำตอบของแต่ละระบบย่อยที่ต้องการแล้ว จึงนำเอาระบบย่อยมาต่อเข้าด้วยกัน เพื่อศึกษาระบบใหญ่อีกที การศึกษาระบบงานทั้งระบบย่อยและระบบใหญ่ ก็อาศัยเครื่องมือดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.10

นอกจากการช่วยให้การสร้างแบบจำลองง่ายขึ้นโดยการแบ่งระบบงานออกเป็นระบบงานย่อยแล้วการสร้างแบบจำลองนั้นเรามักจะเริ่มต้นจากแบบจำลองง่ายๆ ซึ่งอาจเป็นแบบจำลองของเฉพาะบางส่วนของระบบ จากนั้นก็จะเพิ่มเติมองค์ประกอบต่างๆ ที่จำเป็นที่จะทำให้แบบจำลองสามารถประพฤติตนได้เหมือนกับระบบงานตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ นอกจากนั้นยังมีวิธีการที่จะช่วยให้ได้แบบจำลองซึ่งอาจใช้เป็นแบบจำลองเริ่มต้นสำหรับการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมต่อไป คือ

2.12.1 เปลี่ยนตัวแปรให้เป็นค่าคงที่

2.12.2 ลดหรือรวมตัวแปร

2.12.3 สมมติความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

2.12.4 ใส่สมมติฐานหรือข้อจำกัด

2.12.5 เขียนขอบเขตของระบบงานให้เด่นชัด

หลังจากที่ได้แบบจำลองเริ่มต้นแล้ว ก็จะทำการทดสอบการทำงานและผลที่ได้จากแบบจำลองว่าใกล้เคียงกับระบบงานจริงหรือไม่ ถ้าไม่ควรจะเพิ่มเติมองค์ประกอบอะไรเข้าไปหรือลดความจำกัดและสมมติฐาน หรือเปลี่ยนแปลงลักษณะของตัวแปรหรือความสัมพันธ์ต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาพจริงของระบบงานเมื่อมีการเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในแบบจำลอง เราก็จะได้แบบจำลองใหม่ซึ่งจะต้องนำไปทำการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบงานจริง แล้วก็นำกลับมาเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ จนได้แบบจำลองที่แน่ใจว่าทำงานได้เหมือนกับระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง

อีกวิธีหนึ่งซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองก็คือ การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาว่ามีองค์ประกอบอะไรบ้างในระบบงานจริงที่มีผลต่อวัตถุประสงค์ หลังจากที่ได้รายชื่อขององค์ประกอบเหล่านั้น เราก็จะมาพิจารณาว่าควรจะมีองค์ประกอบอะไรบ้างอยู่ในแบบจำลอง

เช่นเดียวกับวิธีการข้างต้น การสร้างแบบจำลองไม่จำเป็นต้องทำครั้งเดียว เราอาจต้องมีการใส่องค์ประกอบเพิ่มเติมหรือนำองค์ประกอบออกจากแบบจำลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองก็จะต้องทำการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบงานจริงจนกว่าจะได้ผลที่น่าพอใจ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การสร้างแบบจำลองนั้นเป็นศิลปะเฉพาะตัว และไม่มีสูตรสำเร็จที่จะใช้ความถูกต้องของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับความเข้าใจในระบบงานที่ทำการศึกษาและความสามารถในการถ่ายทอดระบบงานมาเป็นแบบจำลอง หลังจากที่ได้แบบจำลองแล้วปัญหาที่ยังจะตามมาเมื่อจะต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณ ก็คือ การที่จะต้องแปลงแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งจะต้องสามารถใช้ค่าเชิงปริมาณแทนพฤติกรรมขององค์ประกอบเพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ที่ต้องการ ดังนั้นองค์ประกอบและความสัมพันธ์ภายในแบบจำลองจะต้องอยู่ในรูปของตัวแปร พารามิเตอร์และฟังก์ชัน ความถูกต้องของการใช้ค่าเชิงปริมาณขึ้นอยู่กับความเข้าใจในการทำงานขององค์ประกอบ ความเชื่อถือได้ของข้อมูล และวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

## 2.13 การจัดเตรียมข้อมูล

นอกจากการใช้ข้อมูลสำหรับการศึกษาระบบงานดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.10 ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบงานยังจำเป็นสำหรับ

- การประมาณค่าคงที่และพารามิเตอร์
- การหาค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่างๆ และ
- การใช้ในการทดสอบความถูกต้องของผลที่ได้จากการจำลองแบบปัญหา

ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหานั้นมาจากแหล่งข้อมูลสองแหล่ง คือแหล่งข้อมูลภายในระบบ และแหล่งข้อมูลภายนอกระบบ (ดูหัวข้อ 2.10) ข้อมูลต่างๆ ที่ได้มา ไม่ว่าจะจากเอกสาร จากการทดลอง หรือการเก็บข้อมูลด้วยวิธีใด เมื่อจะนำไปใช้ก็จำเป็นต้องจัดเตรียมให้อยู่ในรูปที่จะนำไปใช้งานได้

โดยที่องค์ประกอบและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่จะนำไปใช้คำนวณได้นั้น จะต้องอยู่ในรูปเชิงปริมาณซึ่งค่าเชิงปริมาณนี้ได้มาจากข้อมูล การจัดเตรียมข้อมูลเชิงปริมาณนี้อาศัยเทคนิคทางสถิติในหัวข้อที่ 2.15 ในการจำลองแบบปัญหาบางครั้งอาจจะจำเป็นต้องใช้ค่าเชิงปริมาณบางตัวซึ่งไม่มีข้อมูลในอดีตให้ใช้ในการวิเคราะห์ การหาค่าเชิงปริมาณดังกล่าวอาจกระทำได้โดยการขอความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในหลายๆ กรณีจะเป็นการดีกว่าถ้าสามารถขอตัวเลขจากผู้เชี่ยวชาญหลาย ๆ คนแทนที่จะเป็นคนเดียว และถ้าสามารถได้ผู้เชี่ยวชาญเหล่านั้นเป็นคณะที่ปรึกษา เราก็อาจใช้วิธีเดลฟาย (Delphi Procedure) สำหรับการหาค่าเชิงปริมาณ โดยหลักการของเดลฟาย เราจะทำ

หน้าที่ถามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนเป็นการส่วนตัวว่า ค่าเชิงปริมาณที่ต้องการนั้นควรเป็นเท่าไหร่ แล้วนำค่าเหล่านั้นมาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก สมมติว่าเรามีผู้เชียวชาญ 12 คน ในการวิเคราะห์หาค่า N เราจะแบ่งค่าที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 12 คนที่เรียงลำดับแล้วออกเป็นสี่ส่วน โดยการหาค่า Quartiles, Q1, M และ Q2

จากนั้นก็จะนำเอาค่า Q1, M และ Q2 กลับไปถามผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนเพื่อให้ประมาณค่า N ใหม่ ถ้าผู้เชี่ยวชาญให้ตัวเลขใหม่หรือยังคงยืนยันตัวเลขเดิม ก็ให้ถามความเห็นว่าทำไม เพื่อไว้เป็นเหตุผลประกอบการตัดสินใจภายหลัง เมื่อได้ตัวเลขจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 12 คนใหม่ ซึ่งโดยปกติควรจะได้ช่วงของตัวเลขที่แคบลง ก็จะนำกลับไปหา Quartiles ใหม่ ถ้ายังได้ช่วงของตัวเลขไม่เป็นที่น่าพอใจ ก็ดำเนินการแบบเดิมจนได้ช่วงของตัวเลขที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือผู้เชี่ยวชาญเกือบทุกคนยังยืนยันค่าเดิม ถ้าช่วงของตัวเลขยังไม่อาจนำไปใช้งานได้ กล่าวคือยังคงกว้างเกินไป ให้อาศัยเหตุผลของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนช่วยในการตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ค่าช่วงใดเป็นค่าโดยประมาณของค่าเชิงปริมาณที่ต้องการ นอกจากการใช้ Quartiles ในการปรับแต่งค่าโดยประมาณแล้ว เราอาจใช้ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการปรับแต่งค่าโดยประมาณ โดยการสมมติว่าลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นตัวเลข N เป็นแบบนอร์มอล วิธีการปรับแต่ง จะคล้ายๆ กับการใช้ Quartiles กล่าวคือในแต่ละรอบของการถามความเห็นผู้เชี่ยวชาญ เราจะคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วนำค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกลับไปถาม ผู้เชี่ยวชาญเพื่อพิจารณาปรับแต่งคำตอบ ถ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่เปลี่ยนแปลงคำตอบก็ให้ถามความเห็นไว้เพื่อประกอบการตัดสินใจ

## 2.14 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นกระบวนการในการสร้างความมั่นใจให้กับผู้สร้างและผู้ใช้แบบจำลอง ว่าผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นควรจะเป็นผลที่ถูกต้องนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง การทดสอบความถูกต้องนั้นไม่มี "วิธีการทดสอบ" ที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองนั้นเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องของระบบงานหรือไม่ ความถูกต้องของแบบจำลองในที่นี้คือความมั่นใจว่ามันเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องใช้งานได้ ความมั่นใจดังกล่าวจะได้มาก็โดยความเข้าใจในระบบงาน ความละเอียดถี่ถ้วนในการตรวจสอบความเหมาะสมขององค์ประกอบ พฤติกรรมต่างๆ ขององค์ประกอบและค่าเชิงปริมาณที่ใช้แทนองค์ประกอบ และ

ความสัมพันธ์ต่างๆ การทดสอบพฤติกรรมที่ได้มาจากแบบจำลองเทียบกับพฤติกรรมขององค์ประกอบของระบบงานจริง ฯลฯ

กรรมวิธีที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้กันอยู่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

**2.14.1 การพิสูจน์ยืนยัน (Verification)** เป็นการทำให้แน่ใจว่าแบบจำลองมีพฤติกรรมอย่างที่ผู้สร้างต้องการให้เป็น วิธีการที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่

**1. การถามความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Face Validity)** เป็นการถามความเห็นจากผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญจากการใช้งานองค์ประกอบต่างๆ ในระบบงานและการใช้ระบบงานว่าองค์ประกอบและระบบงานนั้นๆ มีพฤติกรรมอย่างไรภายใต้เงื่อนไขต่างๆ และการที่องค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองมีพฤติกรรมต่างๆ ควรจะเป็นพฤติกรรมที่สอดคล้องกับพฤติกรรมขององค์ประกอบและระบบงานจริงหรือไม่

**2. การทดสอบความถูกต้องของกลไกภายในแบบจำลอง (Internal Validity)** เป็นการทดสอบองค์ประกอบในแบบจำลองหรือแบบจำลอง โดยการใส่เงื่อนไข เช่น ให้ค่าตัวแปรเข้า (Input Variables) เป็นค่าคงที่ แล้วดูว่าผลที่ได้จากองค์ประกอบหรือแบบจำลองหลายๆ ครั้งมีความแปรปรวนมากน้อยแค่ไหนถ้ามีความแปรปรวนมาก องค์ประกอบในแบบจำลองหรือแบบจำลองนั้นก็ไม่ควรจะถูกต้องและควรจะต้องมีการแก้ไข

**3. การทดสอบความถูกต้องของตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables-Parameters Validity)** เป็นการทดสอบความไว (Sensitivity Testing) ของการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรและพารามิเตอร์ว่ามีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากองค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองอย่างไร ถ้าผลที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไวต่อค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ใด ก็เป็นเครื่องแสดงบอกให้เรารู้ว่าจะต้องระมัดระวังให้มากต่อการประมาณค่าตัวแปร และพารามิเตอร์เหล่านั้น นอกจากนั้นแล้วการทดสอบความไวนี้ยังช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองได้เห็นว่าองค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองประพฤติตนอย่างที่ควรจะเป็นหรือไม่ เพราะถ้าเราทราบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร และพารามิเตอร์จะทำให้ผลที่ได้จากระบบงานจริงนั้นเปลี่ยนไปแต่ถ้าจากการทดลองกับแบบจำลองแล้วได้ผลเป็นอย่างอื่น แบบจำลองนั้นก็ไม่ควรจะถูกต้องและควรจะต้องมีการแก้ไข

**4. การทดสอบความถูกต้องของสมมติฐาน (Hypothesis Validity)** เป็นการทดสอบความถูกต้องทางสถิติว่าผลที่ได้จาก องค์ประกอบในแบบจำลองกับผลที่ได้จากองค์ประกอบของระบบงานจริงนั้นเหมือนกันโดยอาจใช้เงื่อนไขต่างๆ ที่มีปรากฏจากข้อมูลในอดีต ใส่ให้กับองค์ประกอบในแบบจำลอง แล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลที่ได้จากอดีตว่าสามารถยอมรับว่าเหมือนกันโดยมีระดับนัยสำคัญที่ยอมรับได้

**2.14.2 การทดสอบความถูกต้อง (Validation)** เป็นการทดสอบความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของแบบจำลองกับพฤติกรรมของระบบงานจริง ทั้งนี้โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลในอดีตของระบบงานจริงที่เงื่อนไขของการใช้ระบบงานที่เหมือนกัน ได้แก่

1. การทดสอบสมมติฐาน ในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับของระบบงานจริง

2. การทดสอบสมมติฐานของลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นของข้อมูลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับของระบบงานจริง

- การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ของระบบงานจริง
- การพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและพารามิเตอร์ในแบบจำลองเปรียบเทียบกับระบบงานจริง

**2.14.2.3 การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis)** เป็นการทดลองใช้แบบจำลองในการพยากรณ์พฤติกรรมต่างๆ ของระบบงานเปรียบเทียบกับพฤติกรรมจริงของระบบงานการวิเคราะห์อาศัยเทคนิคทางสถิติ

จากขั้นตอนต่างๆ ตามกรรมวิธีที่กล่าวมานี้ ควรจะช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองมีความมั่นใจในแบบจำลองที่สร้างขึ้นว่า น่าจะใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้โดยสรุป การสร้างความมั่นใจในความถูกต้องของแบบจำลองอาจได้มาจาก

- การใช้วิจารณญาณ และตรรกวิทยา
- การใช้ความรู้ความเข้าใจในระบบงาน
- การทำการทดสอบโดยเทคนิคทางสถิติในส่วนของข้อมูลเชิงปริมาณ
- การให้ความสนใจ ไตร่ตรอง ตรวจสอบรายละเอียดต่างๆ ในการสร้างแบบจำลอง
- การตรวจสอบดูว่าแบบจำลองประพฤติตนได้อย่างที่อยากให้เป็น
- การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรและพารามิเตอร์
- เปรียบเทียบข้อมูลเข้าและข้อมูลออก (Input-Output) ระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริง
- การทดสอบการใช้งานจริงของแบบจำลอง

## 2.15 สถิตินอนพาราเมตริก

ในการวิจัยทั่วๆ ไป ตามปกติผู้วิจัยจะไม่สามารถศึกษาประชากรทั้งหมดได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง สิ้นเปลืองเวลา แรงงานและความยุ่งยากในการเก็บรวบรวมข้อมูล จึงได้เลือกสุ่มประชากรมาเป็นกลุ่มตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นตัวแทนของประชากร ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรหรือไม่นั้น ย่อมขึ้นอยู่กับเทคนิคการสุ่ม ผลที่ได้จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างสามารถอ้างอิงไปยังพารามิเตอร์ (Parameter) ได้ (พารามิเตอร์ หมายถึง ลักษณะเฉพาะของประชากรที่เราศึกษา เช่น ค่าเฉลี่ยประชากร หรือความแปรปรวน เป็นต้น) แต่การอ้างอิงนั้นจะกล่าวอย่างเลื่อนลอยมิได้ จำต้องทำการทดสอบสมมติฐาน (Testing Hypothesis) ที่เกี่ยวกับพารามิเตอร์ก่อน โดยใช้สถิติพาราเมตริก (Parametric Statistics) เช่น ใช้ t-test (เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองกลุ่ม) หรือ F-test (เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่มากกว่าสองกลุ่มขึ้นไป) เป็นต้น แต่การทดสอบโดยใช้สถิติพาราเมตริกมีข้อตกลง (Assumption) เกี่ยวกับลักษณะของประชากรมากมาย เช่น ถ้าจะทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มโดยใช้ t-test กลุ่มตัวอย่างเหล่านี้จะต้อง

- มาจากประชากรที่มีการแจกแจงเป็นโค้งปกติ (Normal Distribution)
- เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาโดยการสุ่ม (Random)
- ข้อมูลจะต้องอยู่ในมาตราอันตรภาค (Interval Scale) หรืออัตราส่วน (Ratio Scale)

ถ้าจะทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างมากกว่าสองกลุ่มโดยใช้ F-test ก็มีข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

2.15.1 ข้อมูลที่จะวิเคราะห์ความแปรปรวน (F-test) จะต้องอยู่ในมาตราอันตรภาคและเป็นข้อมูลแบบคะแนนค่าต่อเนื่อง หรือมาตราอัตราส่วน

2.15.2 กลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มจะต้องถูกเลือกมาโดยการสุ่มจากประชากรที่มีการกระจายเป็นปกติ

2.15.3 กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มเป็นอิสระจากกัน (Independent Samples) และทุกกลุ่มมีลักษณะเป็นเอกพันธ์ (Homogeneous Groups)

2.15.4 กลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มต้องได้มาจากประชากรที่มีความแปรปรวนเท่ากัน

จะเห็นได้ว่าการทดสอบพาราเมตริกโดยใช้สถิติดังกล่าว ย่อมทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์และแปรผลได้ หากข้อมูลนั้นไม่เป็นไปตามข้อตกลงที่กำหนดไว้ เพื่อแก้ปัญหานี้จึงมีผู้คิดการทดสอบแบบนอนพาราเมตริก (Nonparametric Test) ขึ้น ซึ่งใช้สถิติที่มีข้อตกลงเบื้องต้นน้อยกว่า แต่ใช้ได้กว้างกว่าแบบพาราเมตริก เช่น การกระจายของข้อมูลไม่ต้องมีลักษณะเป็นโค้งปกติ

และการทดสอบก็ใช้สามารถใช้ได้กับข้อมูลที่อยู่ในมาตรการวัดตั้งแต่มาตรฐานนามบัญญัติ (Nominal Scale)

แม้ว่าสถิตินอนพาราเมตริกจะใช้ได้ง่ายกว่าพาราเมตริกก็ตาม แต่อำนาจ (Power) ในการวิเคราะห์และแปลผลจะลดลง ในกรณีที่ข้อมูลเป็นไปตามลักษณะของการทดสอบแบบพาราเมตริก นั่นคือถ้าลักษณะของข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงของการทดสอบแบบพาราเมตริกแล้วก็ควรใช้การทดสอบแบบพาราเมตริกจะเหมาะสมกว่า

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงควรเลือกใช้สถิติในการทดสอบให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล เพื่อให้การวิเคราะห์และแปลผลมีโอกาสถูกต้องมากที่สุด

โดยทั่วๆ ไป ถ้าทราบหรือแน่ใจว่าการแจกแจงของประชากรเป็นปกติเราจะใช้สถิติพาราเมตริก แต่ถ้าการแจกแจงไม่เป็นปกติคือมีการเบ้ (Skewness) อย่างเห็นได้ชัดเราจะใช้สถิตินอนพาราเมตริกในการทดสอบ

## 2.16 ความหมายของคำบางคำที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบนอนพาราเมตริก

ในทางสถิติมีคำอยู่หลายคำที่เรามักจะพูดอยู่เสมอ คำเหล่านี้มีความหมายเฉพาะตัว ดังนั้นในการศึกษาสถิตินอนพาราเมตริกจึงจำเป็นต้องทราบความหมาย และขอบเขตของคำเหล่านี้บ้างตามสมควร

2.16.1 ประชากร (Population) หมายถึง ทุกๆ หน่วยของสิ่งที่เราศึกษา ซึ่งอาจเป็นวัตถุ สิ่งของ บุคคล หรือปรากฏการณ์ต่างๆ ประชากรแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. ประชากรที่นับได้ (Finite Population) หมายถึง ประชากรที่มีจำนวนจำกัดมีขนาดพอที่จะนับจำนวนที่แน่นอนได้ เช่น จำนวนบริษัท ห้างร้านในประเทศไทย จำนวนนิสิตในมหาวิทยาลัยแห่งใดแห่งหนึ่ง เป็นต้น

ข. ประชากรที่มีจำนวนอนันต์ (Infinite Population) หมายถึง ประชากรที่มีจำนวนไม่มีที่สิ้นสุดหรือมีขนาดใหญ่จนไม่สามารถนับจำนวนที่แน่นอนได้ เช่น จำนวนเส้นผมบนศีรษะ จำนวนเชื้อโรคในอากาศ จำนวนเม็ดทรายในกระสอบ เป็นต้น

2.16.2 กลุ่มตัวอย่าง (Sample) หมายถึง บางหน่วยของสิ่งที่ต้องการศึกษา ซึ่งถูกเลือกให้เป็นตัวแทนของประชากร และกลุ่มตัวอย่างเป็นตัวแทนของประชากรได้ดีเพียงใดขึ้นอยู่กับวิธีการสุ่มตัวอย่าง

2.16.3 ค่าพารามิเตอร์ (Parameter) หมายถึง ค่าทางสถิติที่คำนวณได้จากประชากร เช่น ค่าเฉลี่ย ($\mu$) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\sigma$) ค่าความแปรปรวน ($\sigma^2$) เป็นต้น

2.16.4 ค่าสถิติ (Statistic) หมายถึง ค่าทางสถิติต่างๆ ที่คำนวณได้จากกลุ่มตัวอย่าง เช่น ค่าเฉลี่ย ( $\overline{X}$ ) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ค่าความแปรปรวน ($S^2$) เป็นต้น

2.16.5 ตัวแปร (Variable) หมายถึง สัญลักษณ์ที่ประกอบไปด้วยค่าเปลี่ยนแปลง (Vitiate) ซึ่งเป็นปริมาณหรือคุณภาพ ตัวแปรที่ประกอบด้วยค่าเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณ เช่น คะแนนจากการสอบความสูง น้ำหนัก อายุ ความเร็ว เป็นต้น ส่วนตัวแปรที่ประกอบด้วยค่าเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพ เช่น เพศ ศาสนา สถานภาพการสมรส ความเชื่อ อาชีพ เป็นต้น

ในทางการวิจัยหรือทางสถิติมักนิยมใช้สัญลักษณ์ X, Y, Z แทนตัวแปร และให้

$X_1, X_2, X_3$. .....แทนค่าเปลี่ยนแปลงของตัวแปร X

$Y_1, Y_2, Y_3$ ..... แทนค่าเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y

$Z_1, Z_2, Z_3$ ..... แทนค่าเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Z

ตัวอย่างเช่น ให้ X แทนอาชีพ (อาชีพเป็นตัวแปร)

อาจประกอบด้วยค่าเปลี่ยนแปลง : $X_1$ = รับราชการ

$X_2$ = ค้าขาย

$X_3$ = ค้าขาย

$X_4$ = ค้าขาย

$X_5$ = ค้าขาย

จาตัวอย่างสามารถเขียนในรูปสัญลักษณ์ได้ดังนี้

$X : X_1\ X_2\ X_3\ X_4\ X_5$

2.16.6 ข้อมูล (Datum) หรือข้อมูลดิบ (Raw Datum) หมายถึง ข้อเท็จจริงซึ่งได้มาจากหน่วยตัวอย่าง

2.16.7 ข้อมูลสถิต (Statistical Data) หมายถึง ข้อเท็จจริงต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลหลายค่า และรวบรวมมาเพื่อจุดประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง

2.16.8 ชนิดของข้อมูล ข้อมูลอาจจำแนกได้หลายประเภท ทั้งนี้แล้วแต่จะยึดอะไรเป็นเกณฑ์ เช่น

2.16.8.1 ชนิดของข้อมูลที่จำแนกตามแหล่งที่เกิดข้อมูล จำแนกได้ 2 ประเภท คือ

ก. ข้อมูลที่เกิดจากแหล่งปฐมภูมิ (Primary Source) ซึ่งเรียกว่า ข้อมูลปฐม (Primary Data) ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากแหล่งต้นตอโดยตรง เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนคน เพศ อายุ รายได้ อาชีพ เป็นต้น

ข. ข้อมูลที่เกิดจากแหล่งทุติยภูมิ (Secondary Source) ซึ่งเรียกว่า ข้อมูลทุติยภูมิ (Sccondary Data) ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากแหล่งที่เป็นที่รวบรวมข้อมูลไว้ แต่ไม่ใช่แหล่งที่เกิดของข้อมูลโดยตรง เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับคนเกิด คนตาย คนย้าย ที่ได้จากสำนักงานเทศบาล เป็นต้น

2.16.8.2 ชนิดของข้อมูลที่จำแนกตามลักษณะของข้อมูล คือ

ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data) ได้แก่ ข้อมูลที่แสดงลักษณะของข้อมูลหรือข้อเท็จจริงเกี่ยวกับหน่วยตัวอย่างเป็นคุณสมบัติไม่อาจวัดเป็นตัวเลขได้ เช่น เพศ สีของผม ชนิดของสัตว์ เป็นต้น

## 2.17 การตรวจสอบลักษณะการกระจายของข้อมูล

ในการวิจัยโดยทั่วไป ผู้วิจัยมักจะใช้สถิติอนุมาน (Statistical Inference) เป็นหลักในการวิเคราะห์ข้อมูลและหาข้อสรุปที่มีความถูกต้องในระดับที่เป็นที่ยอมรับเชิงสถิติ โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 5 ประเภท คือ

2.17.1 เพื่อทราบถึงลักษณะอย่างรวมๆ ของเรื่องราวที่ศึกษาวิจัย

2.17.2 เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ที่สนใจและเป็นประเด็นสำคัญของการวิจัย

2.17.3 เพื่อทดสอบหรือเปรียบเทียบคุณลักษณะบางประการของประชากรกลุ่มที่กำลังศึกษา

2.17.4 เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มแห่งการเปลี่ยนแปลงของลักษณะประชากร ตลอดถึงการพยากรณ์ลักษณะนั้นๆ ในอนาคตด้วย

2.17.5 เพื่อการศึกษาอื่นๆ เช่น การจัดแบ่งกลุ่ม หรือการสรรหาลักษณะเด่นที่มีบทบาทสำคัญ ตัวแปรเป้าหมาย เป็นต้น

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยต่างๆ เป็นที่สงสัยกันว่า คำตอบหรือข้อมูลที่ได้ขั้นสุดท้ายนั้นมีความเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด ในทำนองเดียวกันกับคำถามเกี่ยวกับขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่นำมาเป็นตัวแทนของประชากรว่ามีขนาดเท่าใดจึงจะเพียงพอจะยอมรับหรือใช้ได้ตามทฤษฎี คำตอบในเรื่องนี้ไม่มีแน่นอนตายตัว เพราะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น วิธีการใช้แบบแผนตัวอย่างหรือแบบแผนการทดลอง เทคนิคการจัดข้อมูลและที่สำคัญที่สุดก็คือการกระจายของข้อมูล เพราะสถิติที่ใช้วัดความถูกต้องของข้อสรุปเชิงสถิติ คือ ความน่าจะเป็น (Probability) ซึ่งเป็นค่าที่ผูกพันเชิงทฤษฎีกับการกระจายของข้อมูลหรือประชากร ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบลักษณะการกระจายของข้อมูลก่อนด้วยเหตุผล คือ

- เพื่อจะได้จัดหาหรือเลือกหารูปแบบของวิธีการวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม

- เพื่อการทดสอบเชิงสถิติ (Statistical Hypothesis Testing) ได้อย่างถูกต้องตามข้อสมมติของทฤษฎีการแจกแจงปกติ สถิติที่จัดว่าเป็นที่รู้จักและนิยมใช้อย่างแพร่หลาย คือ Z-tcst t-tcst F-test และ $\chi^2$ ซึ่งต่างก็มีทฤษฎีการแจกแจงปกติที่สนับสนุนอยู่ทั้งสิ้น
- เพื่อให้ผลสรุปของการวิจัย ซึ่งเป็นคำตอบสุดท้ายของกระบวนการวิเคราะห์มีความถูกต้อง เชื่อถือได้ ภายใต้การสนับสนุนของทฤษฎี

ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีความเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลว่ามีคุณสมบัติครบถ้วนตามข้อตกลงของสถิตินั้นหรือไม่ การใช้สถิติอนุมาน ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้กันมากในงานวิจัยทุกแขนงวิชา มักมีข้อตกลงที่สำคัญข้อหนึ่งก็คือลักษณะการกระจายของข้อมูลต้องเป็นแบบปกติ ถ้าข้อมูลมีลักษณะการกระจายที่ไม่เป็นไปตามข้อความที่ตกลงนี้ หากนำสถิติอนุมานมาวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ย่อมบิดเบือนไปจากความเป็นจริงได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้เราจึงจำเป็นที่จะต้องทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่า ข้อมูลที่มีอยู่นั้นมีการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ เพื่อจะได้เลือกใช้สถิติในการทดสอบให้เหมาะสมต่อไป

วิธีการทดสอบที่จะแสดงว่า ข้อมูลที่มาจากกลุ่มประชากรมีการกระจายเป็นปกติหรือไม่นั้นมีอยู่หลายวิธี ในที่นี้จะขอกล่าวเพียง 2 วิธี คือ

**วิธีที่ 1** Kolmogorov-Smirnov Test วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลที่มีจำนวน (ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง) ไม่มากนัก มีวิธีการทดสอบดังนี้

1) คำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และความแปรปรวน ($S^2$) ของข้อมูลชุดนั้น

2) คำนวณหาค่าคะแนนมาตรฐาน (Z) สำหรับข้อมูลดิบ (X) แต่ละตัวโดยใช้สูตร

$$Z = \frac{X - \overline{X}}{S}$$

3) เรียงลำดับค่าของคะแนนมาตรฐาน ($Z_j$) จากน้อยไปหามากแล้วหาค่าความน่าจะเป็นสะสมสำหรับทุกๆ ค่าของ $Z_j$ จากตารางพื้นที่ใต้โค้งปกติ (ตาราง 1 ภาคผนวก) เรียกค่านั้นๆ ว่า $Fo(X_j)$

4) หาค่าสูงสุดของ $j/n - Fo(X_j) = D_n$ (n = ขนาดของตัวอย่าง) ถ้าค่า $D_n$ สูงกว่าค่าวิกฤติที่แสดงไว้ในตาราง Kolmogorov-Smirnov จะสรุปว่าข้อมูลชุดนี้ไม่มีคุณสมบัติของการแจกแจงเป็นโค้งปกติ ณ ระดับนัยสำคัญ P ในตารางที่ 2.3

**ตารางที่ 2.3** แสดงค่าวิกฤตของ Kolmogorov-Smirnov[2]

| N – 2 | P = 0.10 | P = 0.05 | P = 0.01 |
|---|---|---|---|
| 6 | 0.46799 | 0.51926 | 0.61661 |
| 7 | 0.43607 | 0.48342 | 0.57581 |
| 8 | 0.40962 | 0.45427 | 0.54179 |
| 9 | 0.38746 | 0.43001 | 0.51332 |
| 10 | 0.36866 | 0.40925 | 0.48893 |
| 11 | 0.35242 | 0.39122 | 0.46770 |
| 12 | 0.33815 | 0.37543 | 0.44905 |
| 13 | 0.32549 | 0.36143 | 0.43247 |
| 14 | 0.31417 | 0.34890 | 0.41762 |
| 15 | 0.30397 | 0.33760 | 0.40420 |
| 16 | 0.29472 | 0.32733 | 0.39201 |
| 17 | 0.28627 | 0.31796 | 0.38086 |
| 18 | 0.27851 | 0.30936 | 0.37062 |
| 19 | 0.27136 | 0.31043 | 0.36117 |
| 20 | 0.26473 | 0.29408 | 0.35241 |
| 22 | 0.25283 | 0.28084 | 0.33666 |
| 24 | 0.24242 | 0.26931 | 0.32286 |
| 26 | .23320 | 0.25907 | 0.31064 |
| 28 | 0.22497 | 0.24993 | 0.29971 |
| 30 | 0.27156 | 0.24170 | 0.28987 |
| 32 | 0.21084 | 0.23424 | 0.28094 |
| 34 | 0.20472 | 0.22743 | 0.27279 |
| 36 | 0.19910 | 0.22119 | 0.26532 |
| 38 | 0.19392 | 0.21544 | 0.25843 |
| 40 | 0.18913 | 0.21012 | 0.25205 |

**ตัวอย่าง** ข้อมูลชุดหนึ่ง คือ 3.2, 1.7, 1.9, 4.2, 5.3, 0.7, 1.1 และ 8.0 จะสรุปได้หรือไม่ว่าข้อมูลชุดนี้มาจากประชากรที่มีการแจกแจงเป็นปกติ

**วิธีทำ** ทำตามวิธีการที่กล่าวมาแล้ว คือ

1) คำนวณหาค่า $\bar{X}$ และ $S^2$ ได้ดังนี้

$$\bar{X} = 3.2625$$

$$S^2 = 6.1455$$

$$S = 2.4790$$

2) และ 3) คำนวณหาคะแนนมาตรฐานแล้วเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก หาค่า Fo(X), J/n และ j/n – Fo(X) ได้ดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** แสดงค่า Fo(X), J/n และ j/n – Fo(X)

| X | Z | Fo(X) | J/n | J/n-Fo(X) |
|---|---|---|---|---|
| 0.7 | -1.034 | 0.1506 | 0.125 | 0.0256 |
| 1.1 | -0.872 | 0.1916 | 0.250 | 0.584 |
| 1.7 | -0.630 | 0.2643 | 0.375 | 0.1107 |
| 1.9 | -0.550 | 0.2912 | 0.500 | 0.2088 |
| 3.2 | -0.025 | 0.4900 | 0.625 | 0.1350 |
| 4.2 | 0.379 | 0.6479 | 0.750 | 0.1021 |
| 5.3 | 0.822 | 0.7945 | 0.875 | 0.0805 |
| 8.0 | 1.911 | 0.9720 | 1.000 | 0.0280 |

4) จากการพิจารณาค่าของ j/n – Fo(X) จะเห็นว่าค่าสูงสุดของ j/n – Fo(X) มีค่าเป็น 0.2088 เมื่อใช้ระดับนัยสำคัญ p = .05 ที่ Degrees of freedom (df) = n – 2 จะได้ค่า D*= 0.51926 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.2088 จึงสรุปว่าข้อมูลนี้มาจากประชากรที่มีการแจกแจงเป็นปกติ

**วิธีที่ 2** Chi-Square Goodness of Fit Test วิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนมาก (กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Test for Normality โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1) คำนวณหาค่า และ $S^2$ ของข้อมูล

2) คำนวณหาค่า $A_1$, $A_2$, $A_3$, $A_4$, $A_6$, $A_7$, $A_8$ และ $A_9$ โดยหาจาก

$$A_1 = \bar{X} - 1.2817\,S$$

$$A_2 = \bar{X} - 0.8418\,S$$

$A_3$ = $\bar{X}$ - 0.5244 S

$A_4$ = $\bar{X}$ - 0.2533 S

$A_6$ = $\bar{X}$ - 0.2533 S

$A_7$ = $\bar{X}$ - 0.5244 S

$A_8$ = $\bar{X}$ - 0.8418 S

$A_9$ = $\bar{X}$ - 1.2817 S

3) นับว่ามีข้อมูลดิบ (X) จำนวนเท่าใดที่มีค่าในช่วงต่างๆ ของ $A_1$ ถึง $A_9$ และ 0 เป็นขอบเขตหาค่า $O_1$ ถึง $O_{10}$ ดังนี้

$O_1$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าน้อยกว่า $A_1$

$O_2$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง $A_1$ กับ $A_2$

$O_3$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง $A_2$ กับ $A_3$

$O_4$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง $A_3$ กับ $A_4$

$O_5$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง $A_4$ กับ O

$O_6$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง O กับ $A_6$

$O_7$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง $A_6$ กับ $A_7$

$O_8$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง $A_7$ กับ $A_8$

$O_9$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง $A_8$ กับ $A_9$

$O_{10}$ คือ จำนวนข้อมูลดิบที่มีค่าระหว่าง $A_9$ ขึ้นไป

4) คำนวณหาค่า Q โดยใช้สูตร

$$Q = \frac{1}{n}(O_1^2 + O_2^2 + \ldots + O_{10}^2)$$

5) หาค่า $\chi^2$ โดยใช้สูตร

$$\chi^2 = 10Q - n \text{ (เมื่อ n แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด)}$$

ณ ระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้ที่ df = 8 สรุปได้ว่า ข้อมูลชุดนี้ไม่ได้มาจากประชากรที่มีการแจกแจงเป็นปกติ

ตัวอย่าง ข้อมูลชุดหนึ่งมี n = 150, $\overline{X}$ = 37, $S^+$ = 22.39 จะสรุปได้หรือไม่ว่าข้อมูลชุดนี้มาจากประชากรที่มีการแจกแจงเป็นปกติ

วิธีทำ ทำตามวิธีการที่กล่าวมาแล้ว คือ

1) โจทย์กำหนดค่า $n = 150, \overline{X} = 37, S^+ = 22.39$

ดังนั้น $S = 4.73$

2) คำนวณหาค่า $A_1, A_2, A_3, A_4, A_6, A_7, A_8$ และ $A_9$ โดยหาจาก

$A_1 = \overline{X} - 1.2817\,S = 30.94$

$A_2 = \overline{X} - 0.8418\,S = 33.02$

$A_3 = \overline{X} - 0.5244\,S = 34.52$

$A_4 = \overline{X} - 0.2533\,S = 35.80$

$A_6 = \overline{X} - 0.2533\,S = 38.20$

$A_7 = \overline{X} - 0.5244\,S = 39.48$

$A_8 = \overline{X} - 0.8418\,S = 40.98$

$A_9 = \overline{X} - 1.2817\,S = 43.06$

3) จากกลุ่มตัวอย่าง นับค่า O1 ถึง O10 ได้เป็น 7, 22, 10, 33, 5, 9, 6, 23, 12 และ 23 ตามลำดับ

4) คำนวณหาค่า Q $\left[Q = \frac{1}{n}\left(O_1^2 + O_2^2 + \ldots + O_{10}^2\right)\right]$

$\therefore\ Q = \frac{1}{150}\left(4^2 + 22^2 + \ldots + 23^2\right)$

$= 20.44$

5) คำนวณหาค่า $\chi^2$ $(\chi = 10Q - n)$

$\therefore\ \chi^2 = 10(20.44) - 150$

$= 54.4$

ระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ df = 8 มีค่า 15.51 ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากข้อมูล สรุปว่า ข้อมูลชุดนี้มาจากประชากรที่ไม่มีการแจกแจงเป็นปกติ