บทที่ 2
หลักการเบื้องต้น

2.1 ความนำ

การจำลองแบบปัญหา (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ มาแต่โบราณกาลแล้ว แต่ได้รับความสนใจและตื่นตัวในการนำมาใช้แก้ปัญหาในสาขาอาชีพต่างๆ อย่างแพร่หลายในปัจจุบันนั้น เป็นผลเนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ในระยะแรกๆ มีผู้ที่ให้คำจำกัดความของการจำลองแบบปัญหาตามความเห็นและวิธีการนำไปใช้ประโยชน์ แต่คำจำกัดความที่เป็นที่ยอมรับว่าสามารถครอบคลุมความหมายของการจำลองแบบปัญหาได้เหมาะสมที่สุดก็คือคำจำกัดความที่ให้โดย Shannon(1) ซึ่งให้คำจำกัดความว่า "การจำลองแบบปัญหาคือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้นโยบาย (Strategies) ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้"

จากคำจำกัดความดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กระบวนการของการจำลองแบบปัญหานั้นแบ่ง เป็นสองส่วนคือ การสร้างแบบจำลองส่วนหนึ่งและการนำเอาแบบจำลองนั้นไปใช้งานเชิงวิเคราะห์อีกส่วนหนึ่ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า กลไกของวิธีการของการจำลองแบบปัญหาขึ้นอยู่กับแบบจำลองและการใช้แบบจำลอง แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแบบปัญหานี้อาจเป็น หุ่น เป็นระบบ หรือเป็นแนวความคิด ลักษณะหนึ่งลักษณะใดโดยไม่จำเป็นต้องเหมือน (Identical) กับระบบงานจริง แต่ต้องสามารถช่วยให้เข้าใจในระบบงานจริงเพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริง

ในการจำลองแบบปัญหาสามารถแยกประเภทแบบจำลองได้หลายแบบ (D.C. Pegden and Teams. 1995) สำหรับแบบจำลองที่ใช้แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบสามารถแยกออกเป็นประเภทต่างๆ คือ

1. Discrete model : เป็นการเปลี่ยนสภาวะของระบบที่จุดหนึ่งๆของเวลา
2. Continuous model : มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบอย่างต่อเนื่อง
3. Combined model : เป็นทั้งแบบ discrete และ continuous

สำหรับแบบจำลองที่ใช้แสดงถึงระบบที่มีผลจากการสุ่ม (Random variation) หรือสิ่งที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ จะเป็นแบบจำลองในลักษณะนี้ได้ดังต่อไปนี้

1. Deterministic model เป็นแบบจำลองที่ไม่พิจารณาการเกิดเหตุการณ์แบบสุ่ม

2. Stochastic model เป็นแบบจำลองที่พิจารณาผลจากการเกิดเหตุการณ์แบบสุ่มหรือ Probabilistic

2.2 คำจำกัดความในการสร้าง Simulation Model มีดังนี้

1. Entities คือ

เป็นสิ่งแรกที่ต้องทำในการสร้าง Model ขึ้นมา Entities เป็นตัวบอกถึงการมีอยู่ การเคลื่อนที่มีผลกระทบต่อการวัดประสิทธิภาพของ Out put ที่ออกมาซึ่งสามารถกำหนดให้ Entities เป็นไปในรูปแบบที่ต้องการให้เหมือนกันในระบบจริงที่ต้องการศึกษา ซึ่งใน 1 Model สามารถมี Entities ได้หลายตัว และ Entities ทุกตัวล้วนมีความสัมพันธ์กัน เช่น การศึกษาระบบที่มีคน เวลา และการรอซึ่งกำหนดใน Entities คือ คน 1 คน เป็นคนที่เข้ามาในระบบ เมื่อคนในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เวลาที่ใช้ในระบบ

2. Attributes คือ

เป็นการอ้างเหตุผลให้ Entities เป็นการกำหนดชื่อ จำนวนให้แก่ Entities ตามความเหมาะสมเพื่อการเรียกใช้ Entities ที่กำหนดได้ถูกต้อง ซึ่งสามารถกำหนดคุณลักษณะให้กับ Entities ให้แตกต่างกัน และใน Arena 5.0 นี้ กำหนด Attributes ไว้ โดยอัตโนมัติแล้วโดยสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไข กำหนดให้เป็นในแบบที่ต้องการได้

3. Variables คือ

เป็นตัวแปรต่างๆ ในการกำหนดค่าตัวแปรลงใน Model ยิ่งมี Entities มากเท่าไรยิ่งมีตัวแปรในระบบมากเท่านั้น แต่ตัวแปรต่างๆต้องมีควาแตกต่างกัน และไม่ซ้ำแบบกัน (Unique)

4. Resources คือ

เป็นการกำหนดทรัพยากรต่างๆ ให้แก่ระบบที่ต้องการศึกษาไม่ว่าจะเป็นคน เครื่องจักร เอกสาร เป็นต้น ในกระบวนการสามารถกำหนดให้ Entities สามารถใช้งานร่วมกับทรัพยากรที่กำหนดขึ้นมาในระบบได้

5. Queues คือ

แถวคอยจะเกิดขึ้นเมื่อ Entities ต่างๆ ใช้ทรัพยากรอยู่ทำให้ Entities ต่อๆ มาไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้จึงต้องมีพื้นที่สำหรับการรอคอย

6. Statistical Accumulators คือ

เป็นการคำนวณสถิติสะสม ไม่ว่าจะเป็นระบบจริงหรือแบบจำลองระบบ จะต้องมีการเกิดการสะสมเกิดขึ้น ในระหว่างที่มีแถวคอย ในกระบวนการไม่ว่าจะเป็น เวลาในกระบวนการสะสม เวลาคอยสะสม จำนวนคอยสะสม เป็นต้น

7. Events คือ

เหตุการณ์ต่างๆ สามารถกำหนดได้เมื่อมีการประมวลผล จะเห็นได้ว่าการกำหนดเหตุการณ์เป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่

8. Simulation Clock คือ

เป็นเวลาจำลองที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองที่สร้างขึ้น เป็นเวลาเสมือนกันเวลาจากระบบจริงแต่สามารถประมวลแบบจำลองได้ในเวลาไม่นาน คือ เร็วกว่าระบบจริง

9. Module คือ

เป็นเสมือนกับโปรแกรมย่อยๆ เพื่อช่วยให้มีความสะดวกในการเขียนโปรแกรม ซึ่งในแต่ละโปรแกรมย่อยๆ ก็จะมีคำสั่งของการเขียนโปรแกรมหลายๆ คำสั่งรวมอยู่ โดยจะเขียนเพื่อใช้งานในลักษณะใดลักษณะหนึ่งตามแต่ระบบงานนั้น

10. RUN คือ

เป็นการสั่งให้โปรแกรมทำการ Simulate เพื่อให้โปรแกรมทำการคำนวณหาค่าต่างๆ

2.3 ระบบงาน

โดยที่กลไกสำคัญอันหนึ่งในการจำลองแบบปัญหาอยู่ที่แบบจำลอง การที่จะสามารถสร้างแบบจำลองที่นำไปใช้ในการจำลองแบบปัญหาได้ ผู้สร้างต้องมีความเข้าใจในระบบงานจริงเป็นอย่างดีความรู้ความเข้าใจในระบบงานจริงเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างและใช้งานแบบจำลอง ผู้ที่ไม่มีความเข้าใจในระบบงานจริงจะไม่สามารถสร้างแบบจำลองซึ่งใช้แทนระบบงานนั้นๆ ได้

ระบบงาน หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบ (Elements) ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ความหมายของระบบงานบอก เฉพาะลักษณะว่าระบบงานมีลักษณะอย่างไรโดยไม่ได้บอกรูปร่างหน้าตาที่แน่ชัด ดังนั้นเมื่อเวลาที่จะทำการศึกษาระบบงานใดระบบงานหนึ่ง จึงจำเป็นที่จะต้องบอกรูปร่างหน้าตาที่ชัดเจนของระบบงานที่กำลังศึกษา การบอกรูปร่างหน้าตาที่แจ้งชัดของระบบงานมักจะบอกโดยการกำหนดขอบเขตของระบบงาน (System Boundaries) ซึ่งก็คือ การกำหนดองค์ประกอบของระบบ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ และการกำหนดองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอกระบบแต่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ องค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่นอกระบบนี้ เรียกโดยรวมว่า สิ่งแวดล้อม

ระบบงาน (System Environment) องค์ประกอบต่างๆ ทั้งภายในและภายนอกระบบงานจะมีลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) ที่ทำให้เกิดกิจกรรม (Activities) และกิจกรรมเหล่านั้นภายใต้เงื่อนไขบางประการจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบงาน (System Status) ดังนั้นนอกจากการกำหนดขอบเขตของระบบงานแล้วยังต้องกำหนดลักษณะเฉพาะตัวขององค์ประกอบ กิจกรรมที่จะเกิดขึ้นจากองค์ประกอบเหล่านี้ และการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบงานอันเนื่องมาจากกิจกรรมขององค์ประกอบ

2.3.1 ประเภทของระบบงาน

การจำแนกประเภทของระบบงานอาจจำแนกได้หลายแบบแล้วแต่การนำไปใช้งาน ในการจำลองแบบปัญหา การจำแนกระบบงานเพื่อความสะดวกในการใช้งานนั้นมักจะจำแนกโดยอาศัยลักษณะการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. ระบบต่อเนื่องหรือระบบเป็นช่วง (Continuous versus Discrete Systems)

โดยพิจารณาจากพฤติกรรมในการเปลี่ยนสภานะภาพของระบบเทียบกับ เวลา ถ้าการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเป็นการเปลี่ยนไปตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ระบบงานนั้นก็จะเป็นระบบต่อเนื่อง แต่ถ้าการเปลี่ยนสถานะภาพของระบบเกิดขึ้นที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งไม่ต่อเนื่อง ระบบงานนั้นก็เป็นระบบเป็นช่วง

2. ระบบตายตัวหรือระบบไม่แน่นอน (Deterministic versus Stochastic Systems)

ระบบตายตัว หมายถึง ระบบซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพที่ระดับใหม่สามารถบอกได้จากสถานะภาพและกิจกรรมของระบบที่ระดับก่อน ส่วนระบบไม่แน่นอน หมายถึง ระบบซึ่งการเปลี่ยนสถานะภาพเป็นแบบสุ่มและในบางกรณีก็สามารถหาค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของการเปลี่ยนสถานะภาพ

2.4 แบบจำลอง (MODEL)

แบบจำลอง หมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง แบบจำลองอาจนำไปใช้งานในหลายลักษณะดังนี้

1. เป็นเครื่องช่วยคิด (An aid to thought) เช่น แบบจำลองโครงข่าย (Network Model) ช่วยทำให้ผู้สร้างแบบจำลองได้มองเห็นว่าจะมีกิจกรรมที่ต้องทำอะไรบ้างและทำอะไรก่อนอะไรหลัง

2. เป็นเครื่องสื่อความหมาย (An aid to communication) แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบงานและช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรม ปัญหา และการแก้ปัญหาของระบบงาน

3. เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม (Purposes of training and instruction) เช่น แบบจำลองเครื่องควบคุมการบิน จะช่วยให้นักบินทำความเข้าใจและความคุ้นเคยกับระบบการควบคุมเครื่องบินจริงก่อนขึ้นฝึกบินจริง

4. เครื่องมือสำหรับการทำนาย (A tool prediction) จากการที่แบบจำลองจะช่วยให้เข้าใจ ของระบบงาน ก็จะช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองสามารถคาดคะเน หรือ ทำนายได้ว่า เมื่อมีเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบของระบบเกิดขึ้น จะมีผล อะไรเกิดขึ้นกับระบบ

5. เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง (An aid to experimentation) โดยที่แบบจำลองเป็นสิ่งซึ่งสร้างขึ้นแทนระบบงานจริง ในกรณีที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่างๆ กับระบบงานจริงแต่ทำไม่ได้ ก็จะนำเอาเงื่อนไขนั้นๆ มาทดลองกับแบบจำลองเพื่อดูว่าจะให้ผลอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรจะนำเงื่อนไขนั้นๆ ไปใช้กับระบบงานจริงหรือไม่

2.4.1 กระบวนการจำลองแบบปัญหา

แม้ว่าการจำลองแบบปัญหาไม่จำเป็นต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาเสมอไป แต่การใช้การจำลองแบบปัญหาในปัจจุบันมักใช้กับปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนจึงต้องอาศัยคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยคำนวณหาข้อมูลต่างๆที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์หาวิธีการแก้ปัญหา ขั้นตอนต่างๆ ต่อไปนี้เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการดำเนินการจำลองแบบปัญหาที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

1. การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน (Problem Formulation and System Definition) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการจำลองแบบปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆ และวิธีการวัดผลของระบบงาน

2. การสร้างแบบจำลอง (Model Formulation) จากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษาเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

3. การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation) วิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับ แบบจำลองและจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

4. การแปรรูปแบบจำลอง (Model Translation) แปลงแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5. การทดสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงตาม วัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

6. การออกแบบการทดลอง (Strategic Planning) เป็นการออกแบบการทดลองที่ ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

7. การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical Planning) เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผล

การวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองเป็นแต่เพียงการบอกเงื่อนไขของการทดลอง ส่วนขั้นตอนนี้เป็นการบอกว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวกี่ครั้งจึงจะได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม กล่าวคือได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้ในราคาที่เหมาะสม

8. การดำเนินการทดลอง (Experimentation) เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆ ที่ต้องการและความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง

9. การตีความผลการทดลอง (Interpretation) จากผลการทดลอง ตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร

10. การจัดเป็นเอกสารการใช้งาน (Documentation) เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงดัดแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ ฯลฯ

2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้การจำลองแบบปัญหา

การจำลองแบบปัญหานั้นเป็นเครื่องมือซึ่งใช้บอกผลต่างๆ อันจะเกิดจากระบบงานภายใต้เงื่อนไขต่างๆผลที่จะได้จากการจำลองแบบปัญหานั้นอาจนำไปใช้งานได้โดยตรงหรืออาจจะต้องนำไปวิเคราะห์ต่อ การจำลองแบบปัญหานั้นเป็นวิธีการหนึ่งในหลายๆ วิธีที่อาจใช้ช่วยแก้ปัญหาในการดำเนินงานของระบบงานได้ ดังนั้นเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นจึงต้องวิเคราะห์ปัญหานั้นๆ เสียก่อนว่าควรจะใช้เครื่องมือใดเข้าไปช่วยแก้ปัญหาเมื่อเป็นดังนี้จึงเป็นความจำเป็นที่จะต้องทราบถึงข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือเพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าเครื่อมือนั้นๆ เหมาะสมเพียงใดในการนำไปใช้แก้ปัญหาโดยที่แบบจำลองนั้นเป็นตัวแทนของระบบงานจริง ในเมื่อมีระบบงานจริงอยู่แล้ว ทำไมจึงต้องสร้างแบบจำลองขึ้นใช้ทดลองแทน ทำไมจึงไม่ทดลองกับระบบงานจริง คำตอบอาจสรุปได้ดังนี้

1. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงอาจก่อให้เกิดความขัดข้องในการ ดำเนินงานตามปกติ

2. เพราะว่าในการทดลองกับระบบงานจริงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลของ สมรรถนะของคนอาจได้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความสามารถในการปรับสมรรถนะของตนเอง จึงทำให้ได้ข้อมูลที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง

3. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงนั้นเป็นการยากที่จะควบคุมเงื่อนไขต่างๆ ของการทดลองให้คงที่ ทำให้ผลการทดลองที่ได้แต่ละครั้งของการทดลองอาจไม่ใช่ผลที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขกลุ่มเดียวกัน

4. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริงอาจต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมากจึงจะได้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

5. เพราะว่าการทดลองกับระบบงานจริง อาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะทดลองกับ เงื่อนไขทุกรูปแบบที่ต้องการจากอุปสรรคที่เกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองกับระบบงานจริงได้ จึงคิดที่จะใช้การจำลองแบบปัญหาในการช่วยแก้ไขปัญหา โดยสรุปเราควรจะพิจารณาใช้การจำลองแบบปัญหาเมื่อเงื่อนไขข้อหนึ่งข้อใดต่อไปนี้เกิดขึ้น

- กรณีที่ไม่มีวิธีการแก้ปัญหา โดยวิธีทางคณิตศาสตร์
- กรณีที่มีวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ แต่การคำนวณและขั้นตอนในการวิเคราะห์ยุ่งยากทำให้เสียเวลาและแรงงานมาก และการจำลองแบบปัญหาเป็นวิธีแก้ปัญหาที่ง่ายกว่า
- กรณีที่มีวิธีการแก้ปัญหา โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ยุ่งยากมาก แต่เกินกว่าขีดความสามารถของบุคลากรที่มีอยู่ และค่าใช้จ่ายในการใช้การจำลองแบบปัญหาถูกกว่าการจ้างผู้เชี่ยวชาญในวิธีการทางคณิตศาสตร์นั้นมาแก้ปัญหา
- กรณีที่มีความจำเป็นในการสร้างสถานการณ์ในอดีตขึ้นเพื่อศึกษาหรือประเมิน ค่าพารามิเตอร์
- กรณีที่การจำลองแบบปัญหาเป็นวิธีเดียวที่จะสามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากไม่อาจทำการทดลองและวัดผลในสภาพจริง
- กรณีที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของระบบงานในช่วงระยะเวลาการใช้งานระบบนานๆ เช่น การศึกษาปัญหา เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ

ประโยชน์ที่สำคัญประการหนึ่งของการจำลองแบบปัญหาก็คือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการศึกษาและฝึกอบรมเกี่ยวกับระบบงานเพราะผู้ทำการทดลองจะสามารถทราบความเป็นไปและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในระบบงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมและองค์ประกอบต่างๆ ของระบบงาน ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบงาน รวมทั้งผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการนำเอาวิธีการใหม่เข้าไปใช้ในการดำเนินงานของระบบงาน ทำให้การวางแผนการดำเนินงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการจะนำเอาเครื่องมือใดไปใช้ควรต้องทราบถึงข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือ นั้นๆ ดังนั้นจึงควรที่จะทราบว่าเพราะเหตุใดจึงไม่ควรใช้การจำลองแบบปัญหา สรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

1. การที่จะได้มาซึ่งแบบจำลองที่ดีนั้น ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก รวมทั้งต้องอาศัยความสามารถอย่างสูงของผู้ออกแบบจำลอง

2. แบบจำลองที่ได้ในบางครั้งดูเหมือนว่าสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบงานจริงได้แต่ในความเป็นจริงแบบจำลองนั้นอาจไม่ใช่ตัวแทนของระบบงานนั้นๆ และการที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองนั้นใช้ได้หรือไม่ก็ไม่ใช้เรื่องง่าย

3. ข้อมูลที่ได้จากการใช้แบบจำลองไม่มีความแม่นยำ และไม่สามารถวัดขนาดของความ ไม่แม่นยำได้แม้จะทำการวัดความไวของข้อมูลเหล่านั้น ก็ไม่สามารถทำให้ข้อเสียข้อนี้หายไปได้

4. เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการจำลองแบบปัญหานั้น โดยปกติจะเป็นตัวเลข ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาว่าผู้สร้างแบบจำลองอาจให้ความสำคัญกับตัวเลขเหล่านั้นมากเกินไปและพยายามที่จะทดสอบความถูกต้องของตัวเลขแทนที่จะทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ทำให้แบบจำลองที่ได้อาจไม่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

2.4.3 การสร้างแบบจำลอง

จากการศึกษาระบบงาน นอกจากจะได้ปัญหาและวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาแล้ว อาจจะได้มาซึ่งแบบจำลองของระบบงานที่สามารถนำไปใช้งานได้เลย แต่ถ้าแบบจำลองที่ได้ยุ่งยากเกินกว่าที่จะนำไปใช้งาน ก็จำเป็นต้องปรับแต่งให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้งานได้

ความเหมือนระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริงมีสองประเภทคือ "Isomorphic" และ "Homomorphic" ความเหมือนในลักษณะ Isomorphic คือแบบจำลองเหมือนกับระบบงานจริงทุกประการการที่แบบจำลองจะมีลักษณะที่เหมือนกับระบบงานจริงทุกประการนั้น มีเงื่อนไข 2 ประการ คือ ทุกๆ องค์ประกอบของระบบงานจริงจะต้องมีองค์ประกอบที่เหมือนกันในแบบจำลอง และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบงานจริงจะต้องมีองค์ประกอบที่เหมือนกันในแบบจำลอง และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในแบบจำลองต้องเหมือนกับความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในระบบงานจริง ส่วนลักษณะ Homomorphic ในการจำลองแบบปัญหาโดยอาศัยความเหมือนประเภท Homomorphic นั้น เราจะทำการแบ่งระบบงานออกเป็นระบบย่อยๆ แล้วทำการศึกษาระบบย่อยเหล่านั้นก่อนโดยถือว่าแต่ละระบบย่อยเป็นอิสระแก่กัน

นอกจากการช่วยให้การสร้างแบบจำลองง่ายขึ้นโดยการแบ่งระบบงานออกเป็นระบบงานย่อยแล้วการสร้างแบบจำลองนั้นเรามักจะเริ่มต้นจากแบบจำลองง่ายๆ ซึ่งอาจเป็นแบบจำลองของเฉพาะบางส่วนของระบบ จากนั้นก็จะเพิ่มเติมองค์ประกอบต่างๆ ที่จำเป็นที่จะทำให้แบบจำลองสามารถประพฤติตนได้เหมือนกับระบบงานตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ นอกจากนั้นยังมีวิธีการที่จะช่วยให้ได้แบบจำลองซึ่งอาจใช้เป็นแบบจำลองเริ่มต้นสำหรับการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมต่อไป คือ

1. เปลี่ยนตัวแปรให้เป็นค่าคงที่
2. ลดหรือรวมตัวแปร
3. สมมติความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

4. ใส่สมติฐานหรือข้อจำกัด

5. เขียนขอบเขตของระบบงานให้เด่นชัดหลังจากที่ได้แบบจำลองเริ่มต้นแล้ว

ก็จะทำการทดสอบการทำงานและผลที่ได้จากแบบจำลองว่าใกล้เคียงกับระบบงานจริงหรือไม่ ถ้าไม่ควรจะเพิ่มเติมองค์ประกอบอะไรเข้าไปหรือลดความจำกัดและสมมติฐาน หรือเปลี่ยนแปลงลักษณะของตัวแปรหรือความสัมพันธ์ต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาพจริงของระบบงานเมื่อมีการเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในแบบจำลอง เราก็จะได้แบบจำลองใหม่ซึ่งจะต้องนำไปทำการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบงานจริง แล้วก็นำกลับมาเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ จนได้แบบจำลองที่แน่ใจว่าทำงานได้เหมือนกับระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง

อีกวิธีหนึ่งซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองก็คือ การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาว่ามีองค์ประกอบอะไรบ้างในระบบงานจริงที่มีผลต่อวัตถุประสงค์ หลังจากที่ได้รายชื่อขององค์ประกอบเหล่านั้น เราก็จะมาพิจารณาว่าควรจะมีองค์ประกอบอะไรบ้างอยู่ในแบบจำลอง เช่นเดียวกับวิธีการข้างต้น การสร้างแบบจำลองไม่จำเป็นต้องทำครั้งเดียว เราอาจต้องมีการใส่องค์ประกอบเพิ่มเติมหรือนำองค์ประกอบออกจากแบบจำลอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองก็จะต้องทำการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบงานจริงจนกว่าจะได้ผลที่น่าพอใจ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การสร้างแบบจำลองนั้นเป็นศิลปะเฉพาะตัว และไม่มีสูตรสำเร็จที่จะใช้ความถูกต้องของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับความเข้าใจในระบบงานที่ทำการศึกษาและความสามารถในการถ่ายทอดระบบงานมาเป็นแบบจำลอง หลังจากที่ได้แบบจำลองแล้วปัญหาที่ยังจะตามมาเมื่อจะต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณ ก็คือ การที่จะต้องแปลงแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งจะต้องสามารถใช้ค่าเชิงปริมาณแทนพฤติกรรมขององค์ประกอบเพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ที่ต้องการ ดังนั้นองค์ประกอบและความสัมพันธ์ภายในแบบจำลองจะต้องอยู่ในรูปของตัวแปร พารามิเตอร์และฟังชัน ความถูกต้องของการใช้ค่าเชิงปริมาณขึ้นอยู่กับความเข้าใจในการทำงานขององค์ประกอบ ความเชื่อถือได้ของข้อมูล และวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.4.4 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นกระบวนการในการสร้างความมั่นใจให้กับผู้สร้างและผู้ใช้แบบจำลอง ว่าผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นควรจะเป็นผลที่ถูกต้องนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง การทดสอบความถูกต้องนั้นไม่มี "วิธีการทดสอบ" ที่จะบอกได้ว่าแบบจำลองนั้นเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องของระบบงานหรือไม่ ความถูกต้องของแบบจำลองในที่นี้คือความมั่นใจว่ามันเป็นแบบจำลองที่ถูกต้องใช้งานได้ ความมั่นใจดังกล่าวจะได้มาก็โดยความเข้าใจในระบบงาน ความละเอียดถี่ถ้วนในการตรวจสอบความเหมาะสมขององค์ประกอบ พฤติกรรมต่างๆ ของ

องค์ประกอบและค่าเชิงปริมาณที่ใช้แทนองค์ประกอบ และความสัมพันธ์ต่างๆ การทดสอบพฤติกรรมที่ได้มาจากแบบจำลองเทียบกับพฤติกรรมขององค์ประกอบของระบบงานจริง ฯลฯ

กรรมวิธีที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ใช้กันอยู่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. การพิสูจน์ยืนยัน (Verification) เป็นการทำให้แน่ใจว่าแบบจำลองมีพฤติกรรมอย่างที่ผู้สร้างต้องการ ให้มันเป็น วิธีการที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่

การถามความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Face Validity) เป็นการถามความเห็นจากผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญจากการใช้งานองค์ประกอบต่างๆ ในระบบงานและการใช้ระบบงาน ว่าองค์ประกอบและระบบงานนั้นๆ มีพฤติกรรมอย่างไรภายใต้เงื่อนไขต่างๆ และการที่องค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองมีพฤติกรรมต่างๆ ควรจะเป็นพฤติกรรมที่สอดคล้องกับพฤติกรรมขององค์ประกอบและระบบงานจริงหรือไม่

การทดสอบความถูกต้องของกลไกภายในแบบจำลอง (Internal Validity) เป็นการทดสอบองค์ประกอบในแบบจำลองหรือแบบจำลอง โดยการใส่เงื่อนไข เช่น ให้ค่าตัวแปรเข้า (Input Variables) เป็นค่าคงที่ แล้วดูว่าผลที่ได้จากองค์ประกอบหรือแบบจำลองหลายๆ ครั้งมีความแปรปรวนมากน้อยแค่ไหน ถ้ามีความแปรปรวนมาก องค์ประกอบในแบบจำลองหรือแบบจำลองนั้นก็ไม่ควรจะถูกต้องและควรจะต้องมีการแก้ไข

การทดสอบความถูกต้องของตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables-Parameters Validity) เป็นการทดสอบความไว (Sensitivity Testing) ของการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรและพารามิเตอร์ว่ามีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากองค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองอย่างไร ถ้าผลที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไวต่อค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ใด ก็เป็นเครื่องแสดงบอกให้เรารู้ว่าจะต้องระมัดระวังให้มากต่อการประมาณค่าตัวแปรและพารามิเตอร์เหล่านั้น นอกจากนั้นแล้ว การทดสอบความไวนี้ยังช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองได้เห็นว่าองค์ประกอบในแบบจำลองและแบบจำลองประพฤติตนอย่างที่ควรจะเป็นหรือไม่ เพราะถ้าเราทราบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร และพารามิเตอร์จะทำให้ผลที่ได้จากระบบงานจริงนั้นเปลี่ยนไปแต่ถ้าจากการทดลองกับแบบจำลองแล้วได้ผลเป็นอย่างอื่น แบบจำลองนั้นก็ไม่ควรจะถูกต้องและควรจะต้องมีการแก้ไข

การทดสอบความถูกต้องของสมมติฐาน (Hypothesis Validity) เป็นการทดสอบความถูกต้องทางสถิติว่าผลที่ได้จากองค์ประกอบในแบบจำลองกับผลที่ได้จากองค์ประกอบของระบบงานจริงนั้นเหมือนกันโดยอาจใช้เงื่อนไขต่างๆ ที่มีปรากฏจากข้อมูลในอดีต ใส่ให้กับองค์ประกอบในแบบจำลองแล้วเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลที่ได้จากอดีตว่าสามารถยอมรับว่าเหมือนกันโดยมีระดับนัยสำคัญที่ยอมรับได้

2. การทดสอบความถูกต้อง (Validation) เป็นการทดสอบความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของแบบจำลองกับพฤติกรรมของระบบงานจริง ทั้งนี้โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลในอดีตของระบบงานจริงที่เงื่อนไขของการใช้ระบบงานที่เหมือนกัน การวิเคราะห์กระทำโดยอาศัยเทคนิคทางสถิติ ได้แก่

2..1 การทดสอบสมมติฐานในการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองกับของระบบงานจริง

2.2 การทดสอบสมมติฐานของลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นของข้อมูลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับของระบบงานจริง

2.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ของระบบงานจริง

2.4 การพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและพารามิเตอร์ในแบบจำลองเปรียบเทียบกับระบบงานจริง

3. การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis) เป็นการทดลองใช้แบบจำลองในการพยากรณ์พฤติกรรมต่างๆ ของระบบงานเปรียบเทียบกับพฤติกรรมจริงของระบบงานการวิเคราะห์อาศัยเทคนิคทางสถิติ จากขั้นตอนต่างๆ ตามกรรมวิธีที่กล่าวมานี้ ควรจะช่วยให้ผู้สร้างแบบจำลองมีความมั่นใจในแบบจำลองที่สร้างขึ้นว่า น่าจะใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

โดยสรุป การสร้างความมั่นใจในความถูกต้องของแบบจำลองอาจได้มาจาก

1. การใช้วิจารณญาณและตรรกวิทยา
2. การใช้ความรู้ความเข้าใจในระบบงาน
3. การทำการทดสอบ โดยเทคนิคทางสถิติในส่วนของข้อมูลเชิงปริมาณ
4. การให้ความสนใจ ไตร่ตรอง ตรวจสอบรายละเอียดต่างๆ ในการสร้างแบบจำลอง
5. การตรวจสอบดูว่าแบบจำลองประพฤติตนได้อย่างที่เราอยากให้มันเป็น
6. การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรและพารามิเตอร์
7. เปรียบเทียบข้อมูลเข้าและข้อมูลออก (Input-Output) ระหว่างแบบจำลองกับ
8. ระบบงานจริง การทดสอบการใช้งานจริงของแบบจำลอง

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่องสามารถแบ่งออกได้คือ 8 แบบ

1. การแจกแจงยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) คือการแจกแจงของตัวแปรสุ่มซึ่งค่าแต่ละค่าของตัวแปรสุ่มมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเท่า ๆ กัน

2. การแจกแจงแบร์นูลล์ (Bernoulli Distribution) เป็นการทดลองทางสถิติหลายแบบที่มีลักษณะเป็นการกระทำ 1 ครั้งมีผลอย่างใดอย่างหนึ่งใน 2 แบบ

3. การแจกแจงแบบทวินาม (Binomial Distribution) พิจารณาการทดลองที่ประกอบด้วยการกระทำซ้ำ ๆ กัน โดยผลของการกระทำแต่ละครั้งเป็นอิสระต่อกัน

4. การแจกแจงเรขาคณิต (Geometric Distribution) พิจารณาการทดลองที่มีคุณสมบัติคล้ายกับการทดลองทวินาม แต่ต่างกันที่การทดลองนี้ประกอบไปด้วยการกระทำซ้ำ ๆ กันไปเรื่อย ๆ จนพบความสำเร็จเป็นครั้งแรก

5. การแจกแจงทวินามลบ (Negative Binomial Distribution) พิจารณาการทดลองที่มีคุณสมบัติคล้ายกับการทดลองทวินาม แต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ว่า การกระทำได้ปฏิบัติซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งจำนวนครั้งของความสำเร็จครบตามที่ได้ตั้งใจไว้

6. การแจกแจงพหุนาม (Multinomial Distribution) ถ้าการกระทำแต่ละครั้งมีผลจำแนกได้มากกว่า 2 อย่าง เช่น ดึงไพ่ทีละใบจากไพ่สำหรับหนึ่ง โดยคืนกลับที่เดิมก่อนที่จะดึงใบต่อไป

7. การแจกแจงไฮเพอร์จีออเมตริก (Hypergeometric Distribution) การแจกแจงทวินามหรือการแจกแจงพหุนาม ไม่อาจนำมาใช้หาความน่าจะเป็นของการที่จะได้ไพ่สีแดง 2 ใบ สีดำ 3 ใบ ในการดึงไพ่ 5 ใบ จากไพ่สำหรับหนึ่ง ถ้าดึงไพ่แต่ละใบแล้วมิได้คนทีก่อนจะดึงไพ่ใบต่อไป

8. การแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution) การทดลองที่มีค่าของของตัวแปรสุ่ม ซึ่งแสดงจำนวนครั้งของความสำเร็จในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนดให้หรือภายในอาณาบริเวณหนึ่งโดยเฉพาะ

การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องสามารถแบ่งออกได้คือ 8 แบบ

1. การแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่ส่วนมากจะมีค่าใกล้เคียงค่าเฉลี่ยของตัวแปรเหล่านั้น จะมีค่าของตัวแปรที่มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยอย่างมากเป็นส่วนน้อย

2. การแจกแจงยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง มีค่าน่าจะเป็นเท่าๆ กัน

3. การใช้การแจกแจงปกติหาค่าโดยประมาณของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงทวินาม

4. การแจกแจงแกมมา (Gamma Distribution)

5. การแจกแจงเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Distribution)

6. การแจกแจงไคสแควร์ (Chai-square Distribution)

7. การแจกแจงที (t-Distribution)

8. การแจกแจงเอฟ (F-Distribution)

วิธีการหาการการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบต่างๆ สามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้จากหนังสือสถิติ เนื่องจากวิธีการหาการการแจกแจงความน่าจะเป็น มีขั้นตอนการหามากจึงไม่สามารถที่จะอธิบายได้ทั้งหมดในงานวิจัยเล่มนี้

2.6 สัญญาณไฟจราจร

สัญญาณไฟจราจร มีไว้เพื่อควบคุมการจราจรให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด และช่วยเตือนหรือบังคับให้ผู้ใช้ยวดยานปฏิบัติตามกฎจราจร ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่เป็นไปอย่างมีระเบียบและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปแล้ว สัญญาณไฟที่ใช้จะมี 3 สี คือ

สีแดง	หมายถึง	การบังคับให้ผู้ขับขี่หยุดยานพาหนะ
สีเหลือง	หมายถึง	การเตือนให้ผู้ขับขี่เตรียมหยุดยานพาหนะ
สีเขียว	หมายถึง	การอนุญาตให้ผู้ขับขี่นำยานพาหนะผ่านไปได้

สัญญาณไฟจราจรสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ลักษณะด้วยกัน คือ

1. สัญญาณควบคุมการจราจร (Traffic Control Signal)

สัญญาณควบคุมการจราจร คือ สัญญาณไฟที่ใช้ควบคุมการจราจร ตามบริเวณทางแยกต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1.1 สัญญาณไฟที่มีระยะเวลาใน 1 รอบ (Cycle Length) คงที่ (Fixed Time Signal) คือระบบสัญญาณไฟที่ได้กำหนดให้ระยะเวลาในหนึ่งรอบมีค่าคงที่ ไม่ว่าปริมาณการ จราจรจะแปรเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม สัญญาณไฟประเภทนี้จะเหมาะกับแยกที่มีปริมาณการจราจร หนาแน่นทุกทิศทาง

1.2 สัญญาณไฟที่เปลี่ยนไปตามปริมาณการจราจร (Actuated Signal) คือระบบสัญญาณไฟที่ระยะเวลาของสัญญาณไฟเขียวจะเปลี่ยนไปตามปริมาณการจราจร สัญญาณไฟประเภท นี้จะ เหมาะกับทางแยกที่มีปริมาณการจราจรในทางเอกสูงกว่าปริมาณการจราจรในทางโทมากๆ

2. สัญญาณไฟสำหรับคนข้าม (Pedestrial Signal) คือระบบสัญญาณไฟที่จัดไว้เพื่อควบคุมยานพาหนะและคนข้ามถนน เพื่อป้องกันอันตรายและลดอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นกับคนเดินถนน

3. สัญญาณไฟสำหรับกรณีพิเศษ (Special Traffic Signal) คือระบบสัญญาณไฟที่จัดไว้สำหรับการควบคุมการจราจรในกรณีพิเศษต่างๆ เช่น สัญญาณไฟกระพริบ สัญญาณไฟควบคุมช่องทางวิ่ง สัญญาณไฟสำหรับรถไฟตัดผ่าน

ในการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรนั้นมีผลดีและผลเสียดังนี้

- ผลดี

1. ให้โอกาสกับรถจากทางโทสามารถแล่นตัดผ่านหรือเข้าสู่ทางเอกได้อย่างปลอดภัย

2. จัดการจราจรบริเวณทางแยกให้มีระเบียบ

3. ลดการเกิดอุบัติเหตุจากการประสานงานของรถ

4. สร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ขับขี่ยานพาหนะในขณะที่ขับผ่านทางแยก

- ผลเสีย

1. เพิ่มความล่าช้าให้กับผู้ขับขี่ยวดยานในชั่วโมงไม่เร่งด่วน เนื่องจากผู้ขับขี่ยวดยานต้องมาจอดรอสัญญาณไปแดง

2 . เพิ่มอุบัติเหตุ การชนท้าย

2.7 เครื่องควบคุมการจราจรและระบบ (Traffic control devices and systems)

เพื่อที่จะให้ความปลอดภัยและสะดวกสบายกับการเคลื่อนที่หรือกระแสการจราจร จำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในถนน สิ่งอำนวยความสะดวกคือ เครื่องควบคุมการจราจรซึ่งหมายความรวมถึงป้ายต่างๆ ที่ติดตั้งในถนนหรือที่สาธารณะในอันที่บังคับ เครื่องควบคุมการจราจรต้องสมเหตุสมผลและเหมาะกับความต้องการทางด้านการจราจร ณ จุดที่ต้องการใช้ เครื่องควบคุมจราจรติดตั้งในจุดที่ไม่มีเหตุผลพอเพียงจะทำให้ผู้ขับขี่ยวดยานไม่สนใจ และขาดความเชื่อถือในเครื่องหมายจราจร เครื่องควบคุมการจราจรจะต้องติดตั้งและทำงานอย่างสม่ำเสมอในลักษณะที่แน่นอน ในลักษณะนี้ผู้ขับขี่ยวดยานก็จะคาดการณ์ตอบสนองต่อเครื่องหมายในพื้นฐานเดียวกันกับที่ปรากฏต่อยวดยานในสถานะก่อนๆ

2.7.1 การควบคุมสัญญาณไฟบนถนนสายหลัก

ตามถนนสายหลักเราต้องการจะจัดทำสัญญาณไฟให้เป็นระบบ โดยความสัมพันธ์ของทุกสัญญาณไฟในถนนเราสามารถจะทำให้การเคลื่อนที่ของยวดยานได้ดำเนินต่อไปอย่างไม่สดุด โดยผ่านทุกๆ แยกได้ไฟเขียว

วิธีการพื้นฐานสำหรับการควบคุมสัญญาณไฟถนนให้พิจารณาว่ายวดยานที่วิ่งในถนนหลักจะถูกปล่อยออกเป็นกลุ่มก้อนจากสัญญาณหนึ่งต่อจากนั้นก็เดินทางเป็นกลุ่มไปสู่สัญญาณไฟต่อไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์ของเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของไฟเขียว ณ จุดตัดหรือทางแยกอันหนึ่งกับเวลาเริ่มต้นของไฟเขียวแยกต่อไป ดังนั้นกลุ่มของยวดยานก็จะได้ไฟเขียวขณะเข้าสู่ทางแยก หากเป็นดังนี้แล้วก็จะทำให้การไหลของยวดยานในถนนสายหลักเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการลดความล่าช้าในแถวคอย