บทที่ 5
การสร้างแบบจำลองปัญหา

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการดำเนินการทดสอบกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่สร้างขึ้นกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานภายใต้สภาวะต่างๆ โดยเนื้อหาในส่วนแรกจะเป็นการบรรยายถึงวิธีการสร้างตัวแทนของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นและวิธีการวิเคราะห์ตัวแทนของระบบเหล่านั้น จากนั้นจะกล่าวถึงการจำลองแบบปัญหาซึ่งเป็นวิธีดำเนินการทดลองในงานวิจัยนี้ โดยจะได้กล่าวถึงขั้นตอนการจำลองแบบอย่างละเอียด

5.1 วิธีการสร้างตัวแทนของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

การวิเคราะห์ปัญหาในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นสามารถกระทำได้โดยการสร้างตัวแทนของระบบที่ต้องการศึกษา ซึ่งตัวแทนของระบบต้องสามารถแสดงคุณสมบัติของระบบด้วยระดับขั้นความละเอียดตามที่ต้องการ ตัวแทนของระบบนี้อาจอยู่ในรูปกายภาพหรือนามธรรมก็ได้ สำหรับตัวแทนของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นแบบกายภาพเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการสอนหรือการอบรม ในขณะที่ตัวแทนระบบแบบนามธรรมจะเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการแก้ไขปัญหาในงานออกแบบ การนำไปใช้ และการปฏิบัติงานของระบบ เป็นต้น

วิธีการในการสร้างตัวแทนระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (FMS modelling approaches) นั้นอาจแยกออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ดังต่อไปนี้ (Kochikar และ Narendran, 1994)

5.1.1 Programming approaches ด้วยวิธีการนี้ คุณสมบัติของส่วนประกอบของระบบ (เช่น เครื่องจักร ชิ้นงาน ระบบขนส่ง และ แถวคอย เป็นต้น) จะถูกแสดงด้วยปริมาณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาจอยู่ในรูปพารามิเตอร์หรือตัวแปรทางคณิตศาสตร์ และปริมาณเหล่านี้จะถูกประกอบกันขึ้นเป็นโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Mathematical program, MP) เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์บางอย่าง เช่น เพื่อให้ได้ผลผลิตมากที่สุด หรือ เพื่อให้มีต้นทุนน้อยที่สุด เป็นต้น

5.1.2 State-transition approaches วิธีการนี้จะสร้างตัวแทนระบบโดยการกำหนดเหตุการณ์ต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นในการปฏิบัติงานของระบบและกำหนดความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสภาวะของระบบจากเหตุการณ์หนึ่งไปสู่อีกเหตุการณ์หนึ่ง จากนั้นตัวแทนของระบบจะถูกสร้างโดย กระบวนการมาคอฟหรือกระบวนการกึ่งมาคอฟ (Markov or semi-Makov stochastic process)

5.1.3 Approaches based on entity-resource relationships วิธีการนี้จะสร้างตัวแทนของส่วนประกอบของระบบตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบนั้น ตัว

แทนของชิ้นงานจะถูกสร้างขึ้นโดยคำนึงถึงกระบวนการที่วัตถุดิบต้องการในการแปรรูปวัตถุดิบนั้นให้เป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์แบบ ปฏิสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาระหว่างชิ้นงานกับส่วนประกอบของระบบจะถูกสร้างขึ้นให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในระบบ ตัวอย่างของวิธีการสร้างตัวแทนของระบบในกลุ่มนี้คือ

5.1.3.2 Queuing networks วิธีการสร้างตัวแทนของระบบแบบนี้จะพิจารณาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเป็นเครือข่ายของส่วนประกอบของระบบ (เครื่องจักร อุปกรณ์ในการขนถ่าย ฯลฯ) โดยที่ Queuing networks จะสร้างตัวแทนของระบบในสภาวะที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว นอกจากนี้ Queuing networks ยังสามารถสร้างสร้างสถานการณ์ในการผลิต เช่น เครื่องจักรเสีย และกฎการจัดความสำคัญให้แก่งานในแถวคอยได้อีกด้วย

5.1.3.2 Petri nets วิธีนี้สร้างตัวแทนของระบบโดยการกำหนดสถานะของทรัพยากรของระบบและชิ้นงานเป็นสถานที่ (Places) ในขณะที่กิจกรรมหรือเหตุการณ์ในระบบเป็นการส่งผ่าน (Transition) โดยการส่งผ่านจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเงื่อนไขการส่งผ่านของทรัพยากรของระบบที่เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านนั้นมีความพร้อมสมบูรณ์

5.2 การวิเคราะห์ตัวแทนของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

เมื่อได้ตัวแทนของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นแล้ว จะต้องมีการวิเคราะห์ตัวแทนของระบบนั้นเพื่อที่จะให้ได้ผลที่สามารถนำไปใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด วิธีการในการวิเคราะห์ (FMS analysis approaches) ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ (Kochikar และ Narendran, 1994) ได้แก่

5.2.1 Structural analysis approaches วิธีการนี้ไม่ได้สร้างตัวแทนของระบบในด้านพฤติกรรมของระบบโดยตรงแต่จะวิเคราะห์ตัวแทนของระบบที่มีโดยวิธีการเช่น Linear algebra Matrix analysis และ Queuing theory จากนั้นจะให้หลักเหตุผลทั่วไป ซึ่งอาจเกี่ยวกับความจริงในการปฏิบัติงานของระบบเพื่อสรุปเกี่ยวกับคุณสมบัติของระบบ ตัวอย่างของวิธีการในกลุ่มนี้คือ Optimization Transition probability analysis Mean value analysis และ Invariant analysis เป็นต้น

5.2.2 Dynamic analysis approaches วิธีการนี้จะทำการวิเคราะห์ตัวแทนระบบจากพฤติกรรมจริงๆที่ตัวแทนของระบบแสดงออกมา ซึ่งสำหรับตัวแทนของระบบประเภทนี้จะค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการในการแสดงเฉพาะส่วนของ

สถานะของระบบที่กำลังสนใจ ตัวอย่างของวิธีการที่จัดอยู่ในการวิเคราะห์แบบนี้ คือ Simulation และ Projection-based state space analysis

5.3 การจำลองแบบปัญหา

ในงานวิจัยนี้ต้องการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยสร้างตัวแทนหรือแบบจำลองทางด้านพฤติกรรมของระบบโดยตรง โดยใช้ตัวแทนของระบบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานกับทรัพยากรของระบบ หรือ Approaches based on entity-resource relationships ซึ่งการสร้างแบบจำลองของระบบนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SIMAN และการวิเคราะห์แบบจำลองจะกระทำโดยวิธีการจำลองแบบปัญหา (Simulation) ซึ่งจะได้กล่าวถึงอย่างละเอียดต่อไปนี้

การจำลองแบบปัญหาคือกระบวนการในการออกแบบตัวแทนหรือแบบจำลองของระบบจริงและดำเนินการทดลองกับระบบนั้นโดยมีจุดประสงค์ในการศึกษาและทำความเข้าใจกับพฤติกรรมของระบบหรือประเมินค่ากลยุทธ์ที่จะใช้ในการปฏิบัติงานของระบบจริง (Pegden, Shannon และ Sadowski, 1995) ดังนั้นการจำลองแบบปัญหาในที่นี้จึงหมายความรวมตั้งแต่การสร้างแบบจำลองปัญหาตลอดจนการดำเนินการทดลองเพื่อศึกษาแบบจำลองนั้น

ขั้นตอนของการจำลองแบบปัญหา สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

5.3.1 การกำหนดปัญหา

การกำหนดปัญหาคือการกำหนดวัตถุประสงค์ในการศึกษาทดลอง วัตถุประสงค์ในการศึกษาทดลองมีผลต่อขั้นตอนที่เหลือของการจำลองแบบปัญหา เช่น การสร้างแบบจำลอง การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง การออกแบบการทดลอง เป็นต้น ดังนั้นการรวบรวมและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวกับปัญหาและระบบที่จะทำการศึกษาจึงเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาทดลอง

ในงานวิจัยนี้วัตถุประสงค์ในการใช้การวิเคราะห์ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยการจำลองแบบปัญหาคือ ต้องการศึกษาพฤติกรรมของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP และกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่สร้างขึ้นจาก FuzzyAHP อันได้แก่ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ เปรียบเทียบกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่นๆอันได้แก่ NINQ WINQ SPT และ RAN ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ

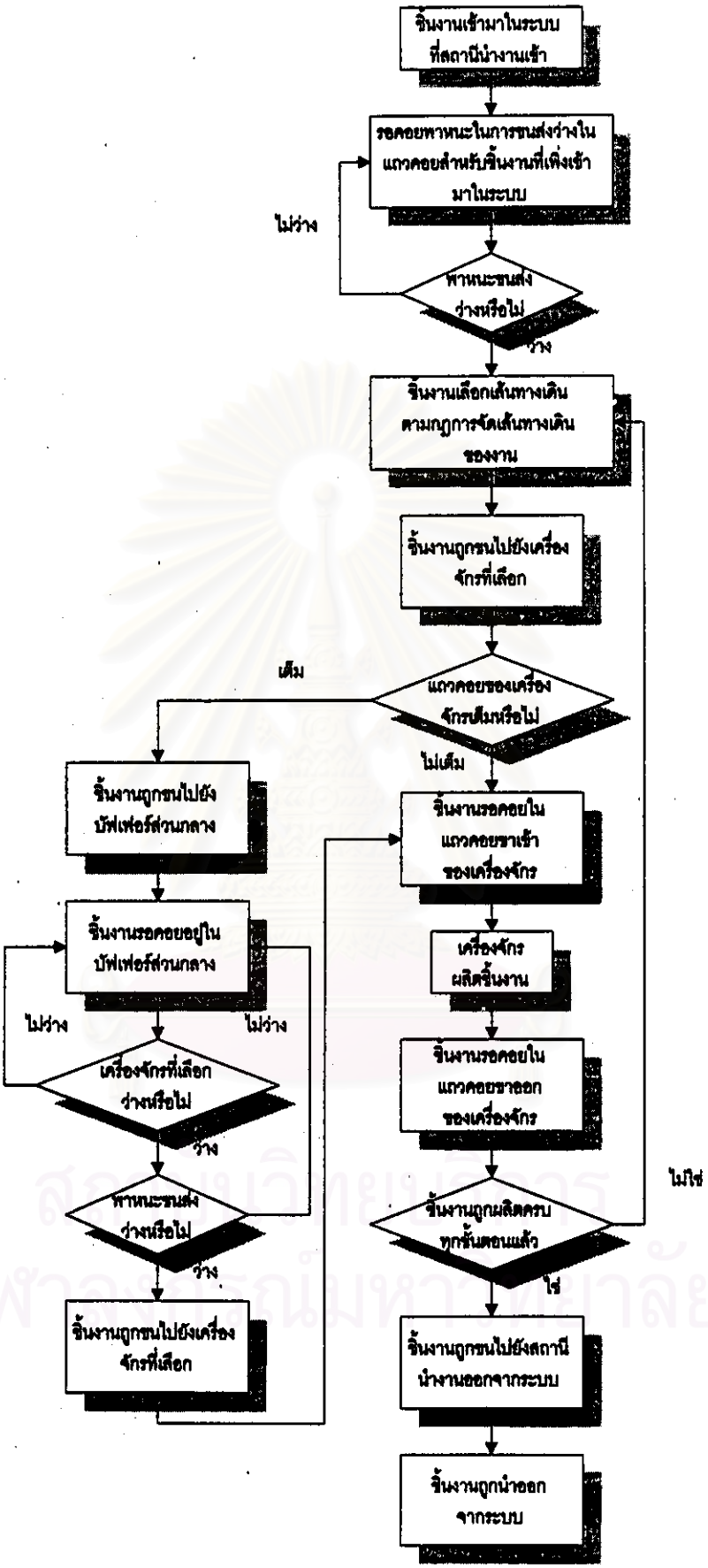
5.3.2 การกำหนดระบบงานที่ใช้ในการศึกษา

การกำหนดปัญหาหรือวัตถุประสงค์ในการศึกษาทดลองจะทำให้สามารถกำหนดระบบงานที่ใช้ในการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเป็นระบบที่ซับซ้อนและมีองค์ประกอบหลายองค์ประกอบ การกำหนดวัตถุประสงค์ในการศึกษาทดลองทำให้สามารถพิจารณาว่าองค์ประกอบใดของระบบมีผลต่อสิ่งที่ต้องการศึกษา และองค์ประกอบใดที่ไม่มีผลต่อสิ่งที่ศึกษาเลย ซึ่งองค์ประกอบแบบนี้สามารถตัดออกไปได้ และมีผลทำให้การสร้างแบบจำลองปัญหาง่ายขึ้นแต่ไม่กระทบต่อสิ่งที่ต้องการศึกษา

จากการศึกษาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นสามารถเขียนหน้าที่และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบงานในลักษณะการเคลื่อนที่ของชิ้นงานผ่านกระบวนการต่างๆในระบบ ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิขั้นตอนการทำงานดังในรูป 5.1

ตามรูปที่ 5.1 ชิ้นงานจะไหลเข้าสู่ระบบ ชิ้นงานที่ไหลเข้าสู่ระบบจะมีการจัดจำนวนขั้นตอนการทำงาน เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต เครื่องจักรที่สามารถทำขั้นตอนการทำงานของชิ้นงานแต่ละขั้นได้ ตลอดจนกำหนดส่งไว้แล้ว โดยที่ชนิดของชิ้นงานที่เข้าสู่ระบบจะแตกต่างกัน กล่าวคือชิ้นงานมีจำนวนขั้นตอนการทำงาน เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต เครื่องจักรที่สามารถทำขั้นตอนการทำงานของชิ้นงานแต่ละขั้นได้ ตลอดจนกำหนดส่งที่แตกต่างกัน เมื่อชิ้นงานเข้าสู่ระบบแล้ว ชิ้นงานจะรอพาหนะขนส่งอยู่ที่แถวคอยสำหรับชิ้นงานที่เพิ่งเข้ามาในระบบ เมื่อพาหนะขนส่งว่างแล้ว พาหนะขนส่งจะมารับชิ้นงานและทันทีที่พาหนะขนส่งมารับชิ้นงาน ชิ้นงานจะเลือกเส้นทางเดินของงานตามกฎการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบ โดยที่เมื่อชิ้นงานเลือกเครื่องจักรใดแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้นอีก

พาหนะขนส่งจะนำชิ้นงานไปยังแถวคอยขาเข้าของเครื่องจักรที่เลือกไว้จากกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน โดยที่กฎการจัดตารางงาน (Scheduling rule) ของชิ้นงานในแถวคอยเป็นแบบ First-come First-serve และไม่อนุญาตให้มีการเร่งงาน เมื่อชิ้นงานเข้าสู่เครื่องจักรตามกฎการจัดตารางงานดังกล่าวแล้ว หากในขณะที่ชิ้นงานถูกผลิตอยู่แล้วเครื่องจักรเสีย ชิ้นงานจะค้างอยู่บนเครื่องจักรเมื่อเครื่องจักรถูกซ่อมแล้ว ชิ้นงานจะถูกผลิตต่อไปด้วยเวลาในการผลิตที่เหลือ เมื่อชิ้นงานเสร็จสิ้นขั้นตอนการผลิตนั้นแล้ว ชิ้นงานจะออกมารอคอยพาหนะว่างที่แถวคอยขาออกของเครื่องจักร ชิ้นงานจะผ่านขั้นตอนซ้ำๆกับเช่นนี้จนจบกระบวนการผลิต เมื่อชิ้นงานเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตแล้ว ชิ้นงานจะถูกนำไปที่สถานีนำงานออกจากระบบและออกจากระบบไป ในขณะที่ชิ้นงานถูกขนส่งไปยังแถวคอยขาเข้าของเครื่องจักรหากแถวคอยขาเข้าของเครื่องจักรเต็ม ชิ้นงานนั้นจะถูกขนส่งไปยังบัฟเฟอร์ส่วนกลางของระบบเพื่อรอคอยให้แถวคอยของเครื่องจักรนั้นว่างจึงรอคอยพาหนะให้มารับชิ้นงานนั้นกลับไปส่งที่เครื่องจักรเดิม



รูปที่ 5.1 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานในส่วนของชิ้นงาน

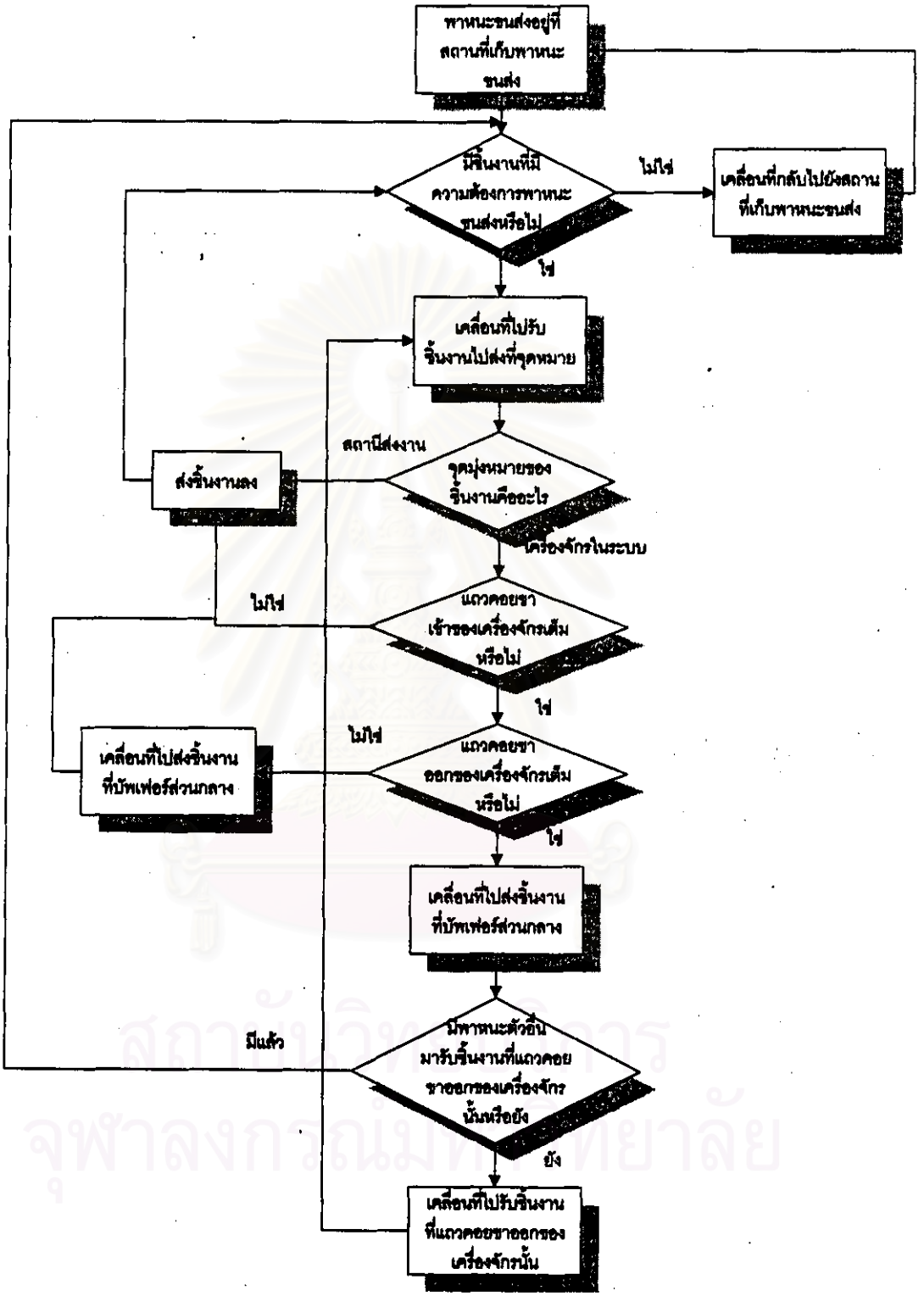
นอกจากระบบจะประกอบไปด้วยส่วนที่ควบคุมขั้นตอนการทำงานของชิ้นงานแล้ว ระบบยังประกอบไปด้วยส่วนที่ควบคุมการทำงานของพาหนะขนส่งดังสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานของพาหนะขนส่งได้ในรูปที่ 5.2

จากรูปที่ 5.2 เมื่อไม่มีความต้องการใช้พาหนะขนส่งจากชิ้นงานในระบบ พาหนะขนส่งจะถูกเก็บไว้ที่สถานที่เก็บพาหนะขนส่ง เมื่อมีความต้องการใช้พาหนะขนส่ง พาหนะขนส่งจะเคลื่อนที่ไปยังจุดที่มีความต้องการแล้วนำชิ้นงานไปส่งยังจุดหมาย ซึ่งหากจุดหมายนั้นเป็นสถานีนำงานออกเมื่อส่งชิ้นงานแล้วพาหนะขนส่งจะตรวจสอบว่ามีชิ้นงานใดที่ต้องการใช้พาหนะขนส่งอีกหรือไม่ หากไม่มีพาหนะขนส่งก็จะเคลื่อนที่ไปที่สถานีเก็บพาหนะขนส่ง ในกรณีที่จุดหมายปลายทางคือเครื่องจักร พาหนะขนส่งจะตรวจสอบแถวคอยขาเข้าและขาออกของเครื่องจักรว่าเต็มหรือไม่ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้คือ

- แถวคอยขาเข้าไม่เต็ม แถวคอยขาออกเต็มหรือไม่เต็ม กรณีนี้พาหนะขนส่งจะปล่อยชิ้นงานลงแล้วไปรับชิ้นงานอื่นหรือกลับไปที่สถานีเก็บพานหะ
- แถวคอยขาเข้าเต็ม แถวคอยขาออกไม่เต็ม กรณีนี้เรียกว่า Blocking ในกรณีนี้พาหนะขนส่งจะต้องนำชิ้นงานไปส่งที่บัฟเฟอร์ส่วนกลางแล้วไปรับชิ้นงานอื่นหรือกลับไปที่สถานีเก็บพานหะ
- แถวคอยขาเข้าเต็ม แถวคอยขาออกเต็ม กรณีนี้เรียกว่า Locking กรณีเช่นนี้จะทำให้การใช้สอยของเครื่องจักรเครื่องนั้นลดลงเนื่องจากเมื่อแถวคอยขาออกเต็ม เครื่องจักรจะไม่สามารถปล่อยชิ้นงานที่ทำเสร็จแล้วได้ ดังนั้นชิ้นงานชิ้นใหม่ก็ไม่สามารถเข้าทำที่เครื่องจักรนั้นได้ ทำให้เครื่องจักรไม่ได้ทำงานทั้งที่เครื่องจักรไม่เสีย พาหนะขนส่งจะต้องนำชิ้นงานที่ขนมาไปส่งที่บัฟเฟอร์ส่วนกลางก่อน ในกรณีของ Locking หากไม่มีการแก้ไขจะทำให้ชิ้นงานชิ้นใหม่ไม่สามารถเข้ามาที่เครื่องจักรนั้นได้เลยประสิทธิภาพของระบบจึงลดลงเนื่องจากทำให้ชิ้นงานต้องเสียเวลาในการถูกขนไปรอคอยที่บัฟเฟอร์ส่วนกลาง ยิ่งเกิด Locking นานเท่าใด ก็ยิ่งทำให้มีจำนวนชิ้นงานต้องถูกขนไปที่บัฟเฟอร์ส่วนกลางมากขึ้น ดังนั้นหลังจากที่พาหนะนำชิ้นงานไปส่งที่บัฟเฟอร์ส่วนกลางแล้วจะต้องเพิ่มขั้นตอนในการแก้สถานการณ์ Locking นี้ กล่าวคือพาหนะขนส่งจะตรวจสอบว่ามีพาหนะตัวอื่นมารับชิ้นงานที่แถวคอยขาออกของเครื่องจักรนั้นหรือยัง ถ้ายังพาหนะตัวนั้นจะต้องกลับมารับชิ้นงานที่อยู่ที่แถวคอยขาออกไปยังจุดหมาย

สำหรับความสำคัญของโหลดงานขนส่งที่เกิดขึ้นในระบบสามารถเรียงลำดับได้ดังต่อไปนี้คือ 1) ชิ้นงานที่อยู่ในแถวคอยของเครื่องจักรที่เกิด Locking 2) ชิ้นงานในบัฟเฟอร์ส่วนกลางเมื่อเครื่องจักรที่ชิ้นงานนั้นเลือกไว้ว่าง 3) ชิ้นงานในแถวคอยส่วนอื่น การเคลื่อนที่ของ

พาหนะขนส่งผ่านเส้นทางเดินของพาหนะ (Guided-path) แต่ละส่วน กำหนดให้เป็นไปแบบทิศทางเดียว



รูปที่ 5.2 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานในส่วนของพาหนะขนส่ง

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าไม่มีการพิจารณาเรื่องการเสียของพาหนะขนส่ง เนื่องจากกำหนดให้พาหนะขนส่งมีการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันเป็นอย่างดีและแหล่งพลังงานสำหรับพาหนะขนส่งมีเพียงพอที่จะขับเคลื่อนพาหนะขนส่งได้ตลอด

เมื่อทราบถึงองค์ประกอบของระบบที่มีผลต่อสิ่งที่จะศึกษาแล้ว ก็สามารถสร้างระบบงาน ซึ่งหมายถึงกลุ่มขององค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กัน ในการกำหนดระบบงานที่แน่นอนนั้นจะต้องมีการกำหนดขอบเขตของระบบงานซึ่งขอบเขตของระบบงานนี้จะแบ่งองค์ประกอบของระบบที่มีผลต่อสิ่งที่จะศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือองค์ประกอบภายในและองค์ประกอบภายนอก (หรือ สิ่งแวดล้อมของระบบ) องค์ประกอบต่างๆทั้งภายในและภายนอกจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) ซึ่งทำให้เกิดกิจกรรม (Activities) และภายใต้เงื่อนไขบางประการกิจกรรมนั้นก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของระบบ (ศิริจันทร์, 2537)

ตารางที่ 5.1 คุณลักษณะเฉพาะตัวและกิจกรรมขององค์ประกอบภายใน

องค์ประกอบ	ลักษณะเฉพาะตัวที่เกี่ยวกับปัญหาที่สนใจ	กิจกรรม
เครื่องจักร	เปอร์เซ็นต์การใช้สอย เวลาหลังการซ่อมครั้งสุดท้าย เวลาในการผลิต	ทำงาน ว่างงาน เสีย
แถวคอยของเครื่องจักร	จำนวนชิ้นงานในแถวคอย ปริมาณงานในแถวคอย ความจุของแถวคอย	มีที่ว่างในแถวคอย เต็ม
แถวคอยเพื่อคอยการขนส่งสำหรับชิ้นงานที่เพิ่งเข้ามาในระบบ	ความจุของแถวคอย จำนวนชิ้นงานในแถวคอย	มีชิ้นงานในแถวคอย ไม่มีชิ้นงานในแถวคอย
บัฟเฟอร์ส่วนกลาง	ความจุของบัฟเฟอร์ จำนวนชิ้นงานในบัฟเฟอร์	มีชิ้นงานในบัฟเฟอร์ ไม่มีชิ้นงานในบัฟเฟอร์
พาหนะขนส่ง	จำนวน ความเร็ว ความจุ	ทำงาน ว่าง
เส้นทางเดินของพาหนะ	ระยะทาง ทิศทางที่พาหนะเคลื่อนที่บนเส้นทาง	เป็นเส้นทางเดินของพาหนะ
สถานที่เก็บพาหนะขนส่ง	ความจุ	มีพาหนะถูกเก็บอยู่ ว่าง
ชิ้นงาน	จำนวนขั้นตอนการปฏิบัติงาน เครื่องจักรที่สามารถผลิตชิ้นงานได้ในแต่ละขั้นตอน กำหนดส่ง เวลาที่คาดว่าจะเหลือเมื่อชิ้นงานเสร็จ จำนวนขั้นตอนการทำงานที่เหลือ เครื่องจักรที่ถูกมอบหมายให้ทำการผลิตในแต่ละขั้นตอน Flow time Tardiness Lateness กำหนดส่ง	อยู่ระหว่างการผลิต

สำหรับองค์ประกอบภายนอกของระบบงานคือ ความซับซ้อนของระบบ โหลดงานในระบบ วิธีกำหนดกำหนดส่ง กฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่ใช้ และกฎการให้ความสำคัญกับชิ้นงานในแถวคอย

5.3.3 การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองคือการเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

แบบจำลองของระบบมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ระบบด้วยการจำลองแบบปัญหามาก เนื่องจากเป็นตัวแทนของสิ่งที่ต้องการศึกษาแต่ไม่สามารถทำการศึกษาทดลองจากระบบจริงได้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากระบบนั้นไม่มีอยู่จริงหรือมีอุปสรรคในการศึกษาด้วยระบบจริง เช่น อุปสรรคเรื่องค่าใช้จ่าย เป็นต้น

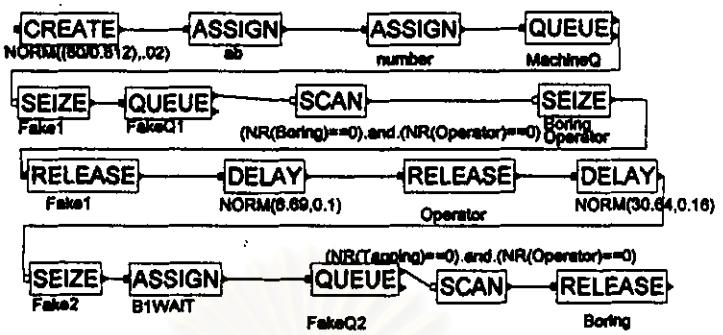
จากการศึกษาขั้นตอนการทำงานทั้งในส่วนของชิ้นงานและพาหนะขนส่ง (รูป 5.1 และ 5.2) สามารถเขียนแบบจำลองทางด้านพฤติกรรมของระบบโดยตรงได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป SIMAN

การสร้างแบบจำลองด้วย SIMAN จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

5.3.3.1 ส่วนของแบบจำลอง (Model)

ในส่วนของแบบจำลองนี้จะแสดงกระบวนการหรือพฤติกรรมของระบบที่ต้องการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากโปรแกรม SIMAN เป็นโปรแกรมที่เอื้ออำนวยต่อวิธีการสร้างแบบจำลองแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานและทรัพยากรของระบบ (Approaches based on entity-resource relationships) ดังนั้นการแสดงกระบวนการหรือพฤติกรรมของระบบดังกล่าวจะอยู่ในรูปที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านกระบวนการต่างๆในระบบ ซึ่งกระบวนการในระบบจะเขียนอยู่ในรูป "Block " เมื่อนำ block หลาย block มาต่อกันในรูปแบบที่เรียงตามลำดับที่ชิ้นงานผ่านก็จะได้กระบวนการทั้งหมดของระบบซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆในระบบ

ตัวอย่างของการเขียนโปรแกรมในส่วนของแบบจำลองสามารถแสดงได้ด้วย Block diagram ดังในรูปที่ 5.3

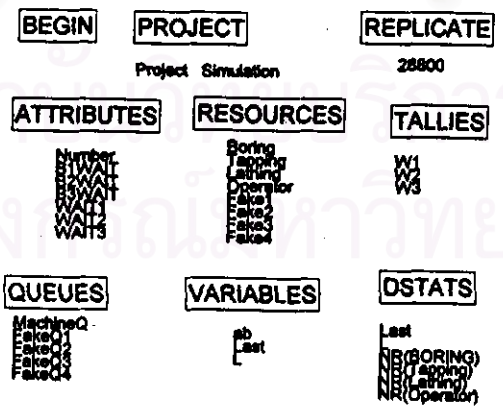


รูปที่ 5.3 Block diagram **ในส่วนของแบบจำลองในโปรแกรม** SIMAN

5.3.3.2 **ส่วนของการทดลอง** (Experiment)

ส่วนของการทดลองจะเป็นส่วนที่กำหนดสภาวะในการทดลอง เช่น การกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรในส่วนของแบบจำลอง และ ระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง เป็นต้น แม้ว่าจะทำการทดลองแบบจำลองเดียวกัน แต่ถ้าสภาวะในการทดลองเปลี่ยนไปผลการทดลองที่ได้ก็จะต่างกัน

โปรแกรม SIMAN **จะแสดงส่วนของการทดลองอยู่ในรูป** Element **ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างได้ดังในรูปที่** 5.4



รูปที่ 5.4 Element **ในส่วนของการทดลองในโปรแกรม** SIMAN

โปรแกรม SIMAN ยังสามารถแสดงส่วนของแบบจำลองและการทดลองในรูปแบบไฟล์ตัวหนังสือ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบดังในรูปที่ 5.5

สำหรับตัวอย่างไฟล์ตัวหนังสือของแบบจำลองที่เขียนขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังในภาคผนวก ฉ

```
0$          CREATE,     1,ToteReq1+0.00002:Inter:MARK(TimeIn);
Q1          QUEUE,      StationQ1:DETACH;
Step1       SEIZE,      1:Station1,1;
1$          DELAY:      Norm(3,1);
2$          RELEASE:    Station1,1;
Q2          QUEUE,      StationQ2:DETACH;
3$          SEIZE,      1:Station2,1;
6$          TALLY:      FlowTime,Int(TimeIn),1;
7$          DISPOSE;

ATTRIBUTES:  1,TimeIn;
VARIABLES:   1,Batch1,3:
             2,Batch2,3:
QUEUES:      1,StationQ1,FirstInFirstOut:
             2,ToteQ1,FirstInFirstOut:
RESOURCES:   1,Station1,Capacity(1,):
             2,Station2,Capacity(1,);
TALLIES:     1,FlowTime;
DSTATS:      1,NQ(ToteQ1):
             2,NQ(ToteQ2);
REPLICATE,   1,0.0,480,Yes,Yes,0.0;
```

รูปที่ 5.5 ตัวอย่างไฟล์ตัวหนังสือ

5.3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Verifiation)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคือการตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถทำงานได้ตามแบบที่ต้องการหรือไม่ โปรแกรม SIMAN มีส่วนที่สามารถช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้ โดยการดำเนินการทดลองภายใต้ตัวเลือก COMMAND เพื่อให้สามารถติดตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในขณะทำการทดลอง

คำสั่งของตัวเลือก COMMAND ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองมีหลายคำสั่ง โดยที่คำสั่งหลักๆ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

5.3.4.1 **คำสั่ง STEP** เป็นคำสั่งที่ทำให้ส่วนที่ควบคุมการทดลอง (Run controller) ทำการทดลองเพิ่มเป็นจำนวนขั้นที่สั่ง ซึ่งโดยมากจำนวนขั้นที่เป็นมาตรฐานคือ 1 ขั้น ขั้นที่ผ่านไปแต่ละขั้นคือการเปลี่ยนแปลงเหตุการณ์ในแบบจำลองซึ่งก็คือการที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่าน blockใดๆ 1 ครั้งนั่นเอง การแสดงผลของคำสั่งนี้จะเป็นการแสดง block ที่ชิ้นงานผ่านและเวลาที่ชิ้นงานผ่าน block นั้น ตัวอย่างของคำสั่งนี้สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.6 ซึ่งแสดงคำสั่ง STEP 3 ครั้ง ครั้งละ 1 ขั้น

```
SIMAN Run Controller.
0.0>st
                1$      CREATE,         10,0.1:,1;
0.0>st
                2$      ASSIGN:         OptNum=Disc(0.5,2,1,3):
                                        M=Enter:
                                        1stLp=1:
                                        B=B+1:MARK(Timein);
0.0>st
                3$      WHILE:          1stLp<=OptNum;
```

รูปที่ 5.6 ตัวอย่างผลของ คำสั่ง STEP

5.3.4.2 **คำสั่ง SHOW และ VIEW** เป็นคำสั่งที่ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถดูผลของคุณลักษณะของชิ้นงาน และตัวแปรของระบบได้ ตามลำดับ เมื่อใช้คำสั่ง SHOW ตามด้วยชื่อคุณลักษณะของชิ้นงานหรือใช้คำสั่ง VIEW ตามด้วยชื่อตัวแปร ตัวควบคุมการทดลองก็จะแสดงค่าที่ต้องการให้ทราบ รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างผลของคำสั่ง SHOW และ VIEW โดยที่คุณลักษณะของชิ้นงานชื่อ "M" มีค่าเท่ากับ 1 และตัวแปรของระบบชื่อ "B" มีค่าเท่ากับ 3

```
3.0> Show M
        M = 1
3.0> View B
        B = 3
```

รูปที่ 5.7 ตัวอย่างผลของคำสั่ง SHOW และ VIEW

5.3.4.3 **คำสั่ง** SET WATCH **และ** SET BREAK ในบางกรณีที่ผู้ตรวจสอบโปรแกรมต้องการตรวจสอบค่าต่างๆเมื่อ คุณลักษณะของชิ้นงานหรือตัวแปรระบบเป็นค่าหนึ่งๆ สามารถทำได้โดยการ SET WATCH ค่าของคุณลักษณะของชิ้นงานหรือตัวแปรระบบนั้น หรือหากผู้ตรวจสอบโปรแกรมต้องการการตรวจสอบค่าต่างๆที่ block ใด block หนึ่งของโปรแกรมก็สามารถทำได้โดย SET BREAK ที่ชื่อ block นั้น เมื่อได้รับคำสั่งทั้งสองนี้ตัวควบคุมการทดลองจะดำเนินการทดลองไปเรื่อยๆและจะหยุดเพื่อให้ผู้ใช้ได้ตรวจสอบค่าต่างๆเมื่อค่าของคุณลักษณะของชิ้นงานหรือตัวแปรนั้นเป็นจริง หรือเมื่อมีชิ้นงานใดๆผ่าน block ที่กำหนดไว้ ตัวอย่างผลของคำสั่ง SET WATCH สามารถแสดงได้ในรูปที่ 5.8 โดยที่สภาวะของตัวแปร Nq(1) เท่ากับ 3 เป็นจุดที่ผู้ใช้ต้องการให้ตัวควบคุมการทดลองหยุดการทดลองเพื่อจะตรวจสอบค่าต่างๆ

```
15365.8>set watch nq(1)==3
Set Watch Expression:
Expr# Stop Entity Value      Expression
1   Y     FALSE      NQ(1)==3

15365.8>go
*** NQ
 Changed value at time 15465.8
 Old value = FALSE     New value = TRUE
```

รูปที่ 5.8 ตัวอย่างผลคำสั่ง SET WATCH

5.3.4.4 คำสั่ง SET TRACE คำสั่งนี้เป็นคำสั่งที่สั่งให้ตัวควบคุมการทดลองตรวจสอบชิ้นงานชิ้นใดชิ้นหนึ่งนับตั้งแต่จุดที่เริ่มสั่งจนกระทั่งชิ้นงานออกจากระบบ ซึ่งแตกต่างกับคำสั่ง STEP ตรงที่คำสั่ง STEP จะแสดงชื่อ Block ที่ชิ้นงานทุกตัวที่กำลังทำงานผ่าน ในขณะที่คำสั่ง SET TRACE จะสนใจเฉพาะชิ้นงานตัวที่สั่งเท่านั้น ตัวอย่างของคำสั่ง SET TRACE สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.9 ในรูปที่ 5.9 ชิ้นงานหมายเลข 2 ถูก SET TRACE

```
7.37541>set trace entity
*** Trace set on entity 2
7.37541>go
Time: 7.37541  Entity: 2
 281 2$            STATION
                       Entity 2 entered station DEPT3
 282 AlmostFin     BRANCH
                       Selecting at most 1 of 2 branches
                       IF: Entity 2 sent to A1
 283 A1            ASSIGN
                       SETINDEX set to 3.0
 284 11$           BRANCH
                       Selecting at most 1 of 2 branches
                       IF: Entity 2 sent to Z1
 289 SendBack       MOVE
                       ASAGV(2) move to station STAGING
                       ASAGV(2) to arrive at time 7.47113 at block SENDBACK
Time: 7.47113  Entity: 2
 290 FreeAGV2       FREE
                       ASAGV(2) freed
                       ASAGV number available increased to 1
                      Entity transferred to block DISP
 98 Disp           DISPOSE
                          Disposed entity 2
```

รูปที่ 5.9 ตัวอย่างผลคำสั่ง SET TRACE

5.3.5 การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Validation)

การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองคือการตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นสามารถเป็นตัวแทนของระบบจริงได้หรือไม่ การตรวจสอบความสมเหตุสมผลนี้อาจทำได้โดยเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการจำลองแบบปัญหากับผลการทดลองที่ได้จากระบบจริง แต่อย่างไรก็แบบจำลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ไม่มีอยู่จริง ดังนั้นการทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีความสมเหตุสมผลที่สามารถทำได้คือการสร้างแบบจำลองที่มีขั้นตอนตลอดจนส่วนประกอบของระบบที่เหมือนกับระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นจริงๆที่ปรากฏอยู่ในหนังสืออ้างอิงต่างๆ นอกจากนี้พารามิเตอร์ต่างๆในการปฏิบัติงานก็ได้มาจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆที่น่าเชื่อถือ

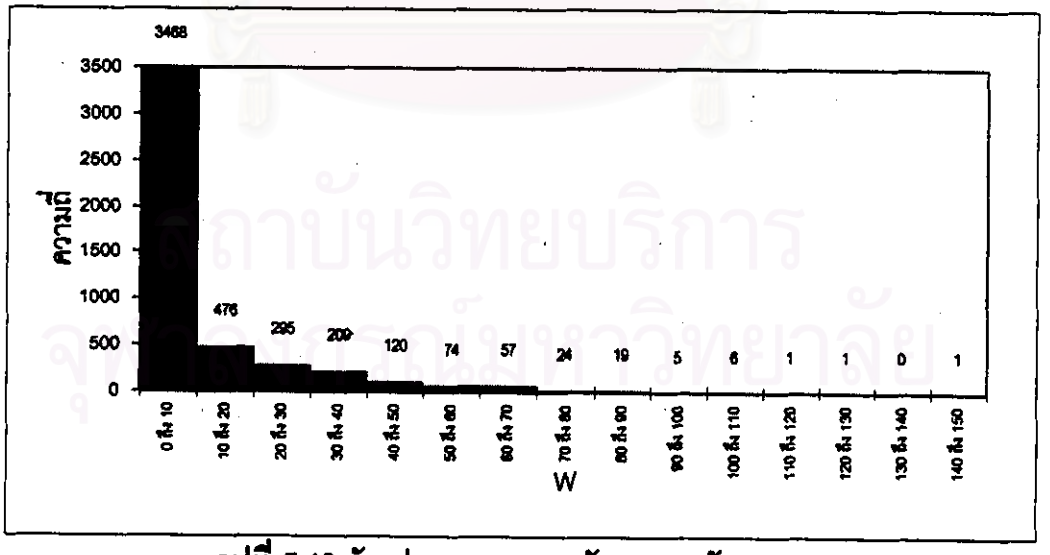
การกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจะถูกกล่าวถึงอย่างละเอียดในบทที่ 6

นอกจากนี้การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง อาจสามารถทำได้โดยการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของค่าต่างๆ เช่น การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของรูปแบบการกระจายตัวของคุณลักษณะ เป็นต้น

ตัวอย่างของการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของรูปแบบการกระจายตัวของคุณลักษณะสามารถยกตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

5.3.5.1 การกระจายตัวของคุณลักษณะ W

การกระจายตัวของคุณลักษณะ W จะอยู่ในรูปแบบดังในรูปที่ 5.10 เสมอ ไม่ว่าจะพิจารณาที่สภาวะของระบบใดหรือสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานใด จากรูปที่ 5.10 จะเห็นว่าคุณลักษณะของ W มีการกระจายตัวที่มีความถี่มากในช่วงต้น และจะเบาบางลงในช่วงท้าย



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างการกระจายตัวของคุณลักษณะ W

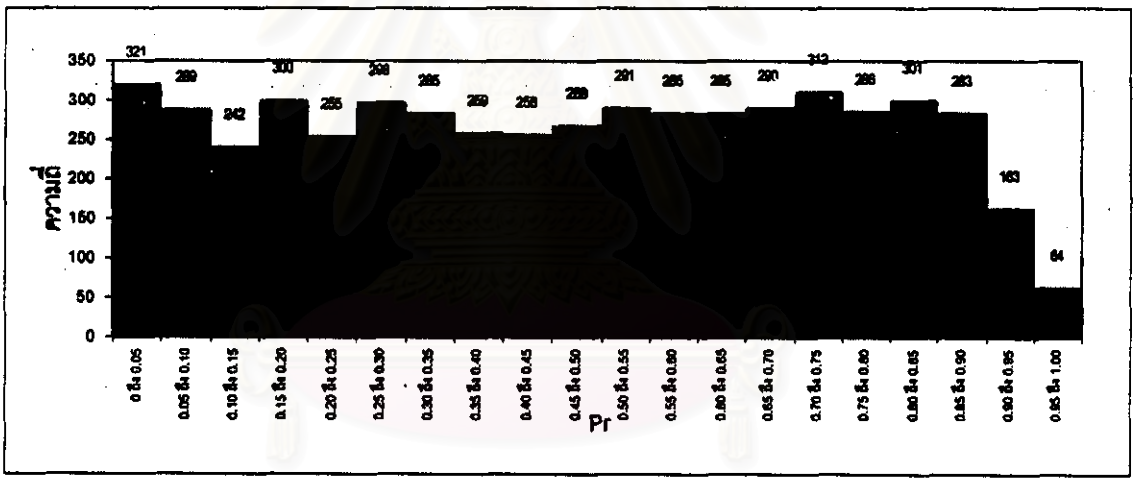
การกระจายตัวเช่นนี้มีความสมเหตุสมผล เนื่องจากในการออกแบบการทดลอง (ดูรายละเอียดในบทที่ 6) จะเห็นว่า

- ปริมาณงานในแถวคอยของเครื่องจักรถูกจำกัดด้วยความจุของแถวคอย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5
- นี้เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของชิ้นงานมีการกระจายตัวแบบเอกซ์โปเนลเชียลที่มีค่าเฉลี่ย 10 หน่วยเวลา ซึ่งรูปแบบการกระจายตัวแบบนี้จะให้ความถี่มากในช่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนน้อย

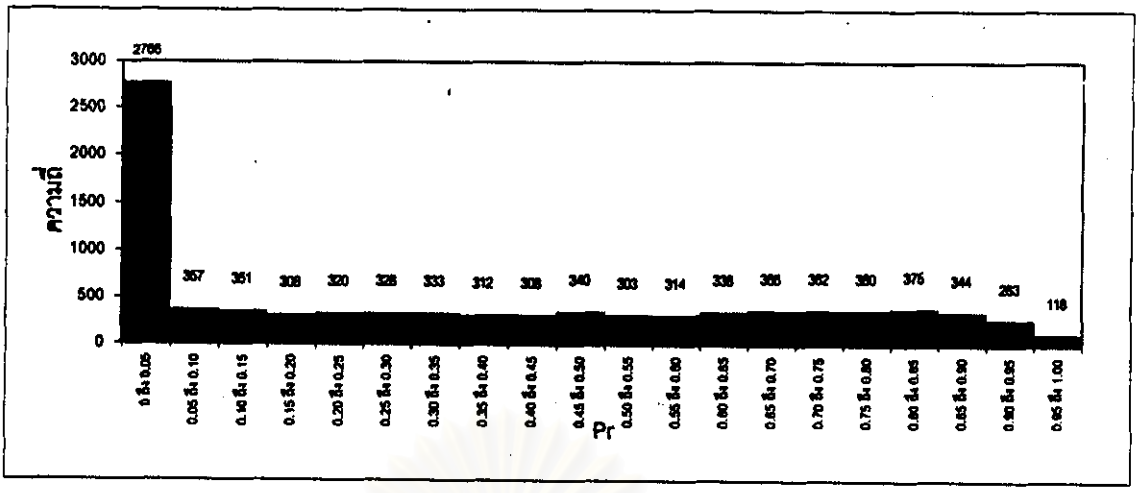
จากเหตุผลที่กล่าวไปทำให้สามารถสรุปได้ว่าปริมาณงานรวมในแถวคอยจึงควรมีความถี่มากในช่วงปริมาณงานน้อยซึ่งเป็นไปตามที่ได้จากการทดลอง

5.3.5.2 การกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr

คุณลักษณะ Pr มีการกระจายตัว 2 แบบตามรูปที่ 5.11 และ 5.12



รูปที่ 5.11 การกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr รูปแบบที่ 1



รูปที่ 5.12 การกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr รูปแบบที่ 2

การกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr รูปแบบที่ 1 จะพบในการเก็บข้อมูลคุณลักษณะ Pr สำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าการกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr มีค่ามากในช่วงแรก แต่อย่างไรก็ตามความถี่ของคุณลักษณะ Pr จะน้อยลงไม่มากนักจนค่อนข้างสม่ำเสมอและจะน้อยลงอย่างเห็นได้ชัดเฉพาะในช่วงท้ายเท่านั้น

คุณลักษณะ Pr เป็นค่าประมาณที่ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของเวลาระหว่างเครื่องจักรเสีย ดังในสมการที่ 3.12) ในงานวิจัยนี้กำหนดให้เวลาระหว่างเครื่องจักรเสียมีการกระจายตัวแบบเอกซ์โปเนลเชียล ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 570 หน่วยเวลา ดังนั้นโอกาสที่เครื่องจักรจะเสียภายในเวลา t คือ

$$F(t) = \int_0^t (1/\beta)\, e^{(-t/\beta)} = (-e^{(-t/570)}) + 1 \qquad 5.1)$$

โดยที่ β คือค่าเฉลี่ย ในที่นี้ β คือ 570

โอกาสที่เครื่องจักรจะเสียหลังจากเวลา t คือ Pr

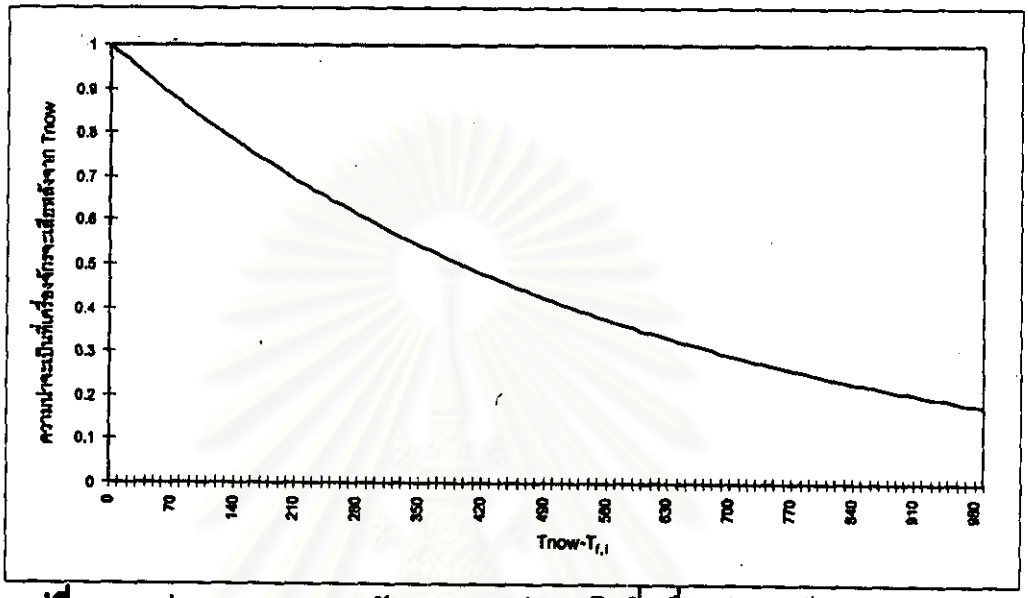
$$Pr = 1 - F(t) = 1 - [(-e^{(-t/570)}) + 1] = e^{(-t/570)} \qquad 5.2)$$

สมการ 5.2) แสดงให้เห็นว่า หากเวลาที่คาดว่าชิ้นงานจะเข้าผลิตที่เครื่องจักร ห่างจากเวลาที่เครื่องจักรนั้นเสียครั้งสุดท้ายมาก ชิ้นงานนั้นจะมีโอกาสที่จะเข้าทำที่เครื่องจักรนั้นก่อนเครื่องจักรเสียน้อย

อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวของ Pr จะขึ้นกับว่า ณ.จุดที่ตัดสินใจ (tnow) อยู่ห่างจากเวลาในการเสียครั้งสุดท้ายเท่าใด หาก tnow อยู่ห่างจากเวลาในการเสียครั้งสุดท้ายน้อยก็มีโอกาส

ที่จะคำนวณได้ Pr ซึ่งมีค่ามาก ในทางกลับกันหาก tnow อยู่ห่างจากเวลาในการเสียครั้งสุดท้ายมากก็มีโอกาสที่จะคำนวณได้ Pr ซึ่งมีค่าน้อย แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นกับค่า W ของเครื่องจักรด้วย

โอกาสที่จะพบ tnow ซึ่งเครื่องจักรยังไม่เสียคือการแทนค่า t ในสมการ 5.2) ด้วย Tnow-$T_{f,i}$ ซึ่งจะได้รูปแบบการกระจายตัวดังในรูป 5.13



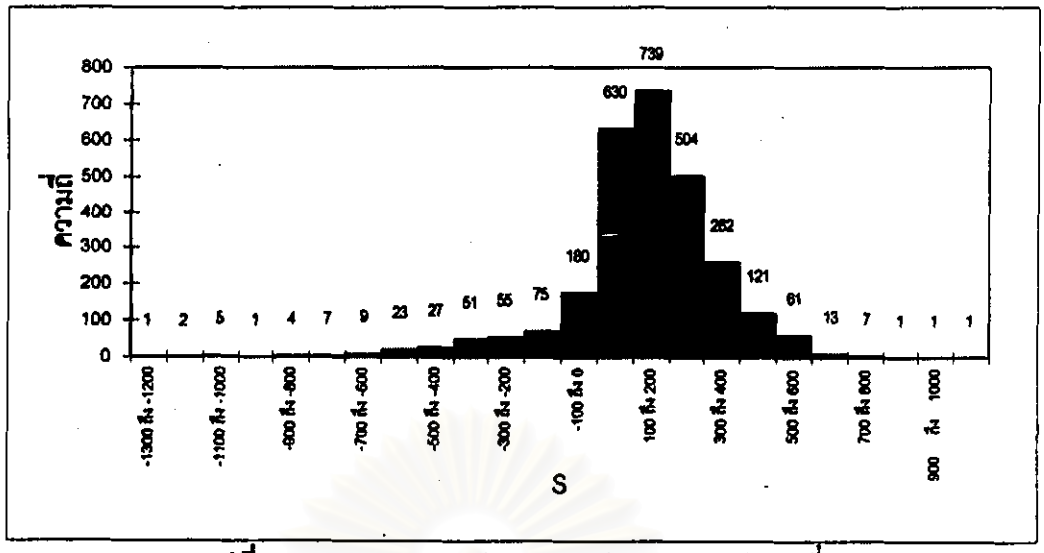
รูปที่ 5.13 รูปแบบการกระจายตัวของความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะเสียหลังเวลา Tnow

จากรูปที่ 5.13 สามารถสรุปได้ว่าความถี่ของ Pr ในช่วงที่มากควรจะมีแนวโน้มที่น้อย ในขณะที่ความถี่ในช่วง Pr น้อยควรจะมีแนวโน้มที่มาก ซึ่งตามรูปที่ 5.11 ก็จะเห็นว่าเป็นไปตามนั้น แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการพิจารณาผลของ W ซึ่งอาจทำให้รูปแบบการกระจายเปลี่ยนไปดังจะเห็นได้ตากรูปแบบการกระจายช่วงกลางของคุณลักษณะ Pr ในรูปที่ 5.11 ค่อนข้างสม่ำเสมอ

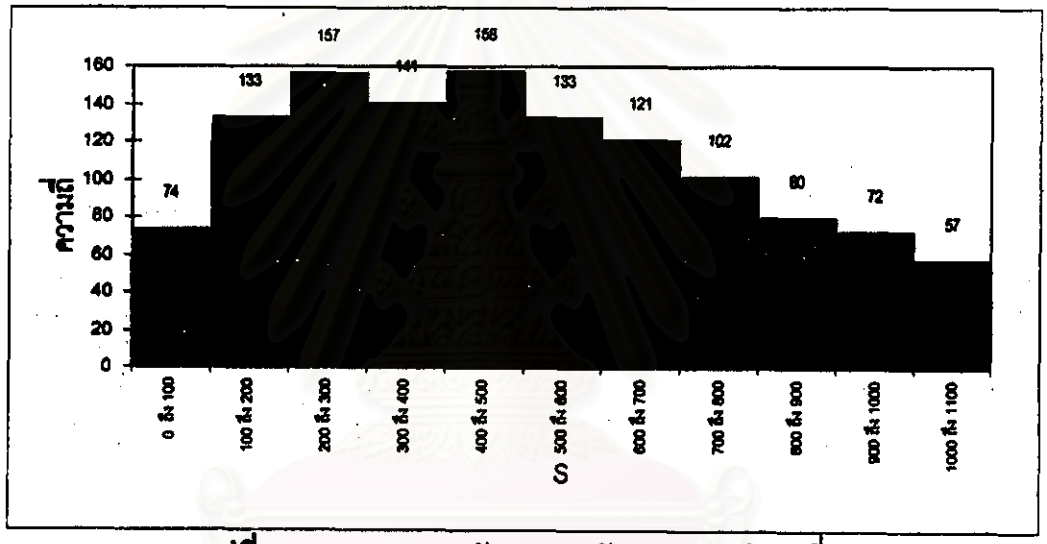
สำหรับรูปแบบการกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr ในรูปแบบที่ 2 (รูปที่ 5.12) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลคุณลักษณะ Pr ของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP ซึ่งจะไม่มีการตัดเครื่องจักรเสียออก ดังนั้นข้อมูลคุณลักษณะ Pr ที่มีค่าเป็น 0 ก็จะมีจำนวนมาก ทำให้ความถี่ในช่วงแรกมาก การกระจายตัวของข้อมูลคุณลักษณะ Pr ช่วงอื่นๆก็สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันกับการกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr รูปแบบที่ 1

5.3.5.3 การกระจายตัวของคุณลักษณะ S

การกระจายตัวของคุณลักษณะ S มี 2 รูปแบบตามในรูป 5.14 และ 5.15



รูปที่ 5.14 การกระจายตัวของคุณลักษณะ S รูปแบบที่ 1



รูปที่ 5.15 การกระจายตัวของคุณลักษณะ S รูปแบบที่ 2

เนื่องจากคุณลักษณะ S เป็นไปตามสมการที่ 3.13)

S = กำหนดส่ง - เวลาปัจจุบัน - ผลรวมของเวลาสำหรับขั้นตอนการทำงานที่เหลือ

เนื่องจากในการออกแบบการทดลองได้กำหนดกำหนดส่งเป็นจำนวน k เท่าของเวลารวมที่ใช้ในการผลิตแต่ละขั้นตอนการทำงาน ค่า k ที่กำหนดทำให้อัตราส่วนของชิ้นงานล่าช้าอยู่ในระดับหนึ่ง ดังนั้นรูปแบบการกระจายข้อมูลของคุณลักษณะ S จึงมีส่วนที่เป็นลบน้อยกว่าส่วนที่เป็นบวก ดังในรูปที่ 5.14 เนื่องจากจำนวนชิ้นงานที่ล่าช้าถูกจำกัดไว้ด้วยค่า k แต่ในขณะเดียวกันค่า k ก็จะเป็นตัวจำกัดไม่ให้ชิ้นงานมีกำหนดส่งมากกว่าที่จำเป็น ดังนั้นตามรูปที่ 5.14 ช่วงคุณลักษณะ S ที่มากจึงมีการกระจายข้อมูลน้อย คุณลักษณะ S ของข้อมูลส่วนมากจึงมีความหนาแน่นช่วงที่เป็นบวกแต่มีค่าไม่มากนัก ซึ่งถือว่าสมเหตุสมผล

สำหรับการกระจายตัวของ S รูปแบบที่ 2 ดังในรูปที่ 5.15 ใช้สำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ ซึ่งมีการคิดเฉพาะ S ซึ่งเป็นบวกเท่านั้น จะเห็นว่ารูปแบบการประจายเหมือนเดิมแต่ไม่มีช่วงที่เป็นลบเท่านั้น

5.3.6 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองจะทำให้สามารถเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการได้ ตามวัตถุประสงค์การทดลองคือต้องการศึกษาผลของการใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่สภาวะความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ ที่มีต่อพฤติกรรมของระบบ ดังนั้นจะเห็นว่าปัจจัยหลักคือ

5.3.6.1 ความซับซ้อนของระบบ มี 2 ระดับคือ ความซับซ้อนของระบบต่ำและความซับซ้อนของระบบสูง

5.3.6.2 โหลดงานในระบบ มี 2 ระดับคือ โหลดงานในระบบน้อย และโหลดงานในระบบมาก

5.3.6.3 กฎการจัดเส้นทางในระบบ มี 7 ระดับคือ กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ FuzzyAHP-NF FuzzyAHP WINQ NINQ SPT และ RAN

การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบผลของปัจจัยหลักทั้งสามนี้คือ การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design) ดังสามารถแสดงได้ในรูปที่ 5.16 สำหรับการออกแบบการทดลองในลักษณะนี้ นอกจากจะสามารถอธิบายผลของปัจจัยหลักที่มีต่อพฤติกรรมของระบบแล้ว ยังสามารถอธิบายผลของปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างปัจจัยหลักที่อาจส่งผลต่อพฤติกรรมของระบบอีกด้วย

รายละเอียดของปัจจัยหลักทั้งสามจะได้กล่าวถึงโดยละเอียดในบทที่ 6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

		ความพร้อมของระบบต่ำ						ความพร้อมของระบบสูง						
		FuzzyAHP-WIN	FuzzyAHP-N	FuzzyAHP	WINQ	NINQ	SPT	RAN	FuzzyAHP-WIN	FuzzyAHP-NP	FuzzyAHP	WINQ	NINQ	SPT	RAN
โหลดงานในระบบน้อย	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
โหลดงานในระบบมาก	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

รูปที่ 5.16 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลในการทดสอบกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ

หมายเหตุ: 1, 2, ..., 10 คือครั้งที่ของการทำซ้ำ

5.3.7 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical planning)

การวางแผนการใช้งานแบบจำลองเป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลที่เพียงพอ (Pegden และคณะ, 1995) ในขั้นตอนนี้จะต้องมีการกำหนดว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆของการทดลองกี่ครั้งจึงจะสามารถสรุปผลที่ระดับความเชื่อมั่นตามที่กำหนดได้

เนื่องจากระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ศึกษาถูกกำหนดให้ปฏิบัติงานตลอด 24 ชั่วโมง ระบบแบบนี้ไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดได้ (Non-terminating system) ดังนั้นจึงต้องมีการดำเนินการเพื่อให้ได้จำนวนตัวอย่างที่เพียงพอสำหรับการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างจำนวนตัวอย่างที่เพียงพอสำหรับระบบที่ไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดได้คือ

5.3.7.1 การกำหนดช่วงเวลาไม่คงตัว (Transient phase)

สำหรับระบบแบบที่ไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดได้ เมื่อระบบเริ่มทำงานเป็นครั้งแรก องค์ประกอบที่ใช้ในการผลิตเช่น เครื่องจักร แถวคอย และ พาหนะขนส่ง เป็นต้น จะเริ่มได้รับโหลดงาน แต่ในการปฏิบัติงานช่วงแรกระบบยังมีประสิทธิภาพดีเนื่องจากองค์ประกอบในการผลิตเหล่านี้ยังไม่มีความหนาแน่นของชิ้นงานมากนัก แต่อย่างไรก็ตามระบบมีแนวโน้มจะเริ่มหนาแน่นขึ้น โดยอาจสังเกตจากตัววัดประสิทธิภาพของระบบ เช่น เปอร์เซ็นต์การใช้สอยของเครื่องจักรจะเพิ่มขึ้น เป็นต้น การสรุปผลลัพธ์จากการปฏิบัติ

งานในระบบช่วงนี้จะทำให้ได้ผลสรุปที่ผิดพลาด เนื่องจากค่าที่ได้ดีเกินความเป็นจริง เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว ตัววัดประสิทธิภาพของระบบก็จะไม่มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง การสรุปผลการทดลองจากค่าในช่วงนี้จะให้ผลที่เป็นตัวแทนของพฤติกรรมของระบบในระยะยาวดังนั้นการสรุปผลจึงมีความถูกต้องมากขึ้น ดังนั้นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงคือการตัดข้อมูลที่ได้จากช่วงเวลาแรกซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ไม่คงตัวออกจากการทดลองเพื่อให้เหลือข้อมูลที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว

วิธีการที่ใช้ในการตัดข้อมูลในช่วงเวลาไม่คงตัวออกจากข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ผลคือใช้วิธีสังเกตจุดที่ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวจากกราฟแสดงผลของการทดลอง (Simulation response) กับเวลา ในระบบที่มีความผันผวนของผลการทดลองมากจะทำให้การสังเกตจุดที่ระบบเปลี่ยนสู่สภาวะคงตัวได้ยาก ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่ช่วยปรับผลการทดลองให้มีความผันผวนน้อยลงคือ การทำ Moving average กับผลการทดลอง เมื่อข้อมูลชุดเดิมผ่านการทำ Moving average แล้วจะได้ข้อมูลชุดใหม่ที่มีความผันผวนน้อยกว่าเดิม

โปรแกรม SIMAN มีส่วนของตัววิเคราะห์ผลการทดลอง (Output analyzer) ที่ช่วยในการทำ Moving average ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง นอกจาก Moving average แล้ว ตัววิเคราะห์ผลการทดลองยังมีการเฉลี่ยรูปแบบอื่นๆให้เลือก เช่น Cumulative average เป็นต้น ในงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้การเฉลี่ยแบบ Cumulative average ซึ่งข้อมูลชุดใหม่ตัวที่ n เกิดจากการการหาค่าเฉลี่ยทางเลขคณิตของข้อมูลชุดเก่าตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึง n เนื่องจากข้อมูลชุดใหม่ถูกคิดมาจากข้อมูลชุดเดิมทั้งหมด ดังนั้นการเฉลี่ยแบบนี้จึงตรวจจับว่า ณ. เวลาหนึ่งยังมีผลของช่วงเวลาที่ไม่คงตัวอยู่หรือไม่ได้ดีที่สุดแม้ว่าจุดที่สิ้นสุดช่วงเวลาไม่คงตัวที่ได้จากการเฉลี่ยแบบนี้จะเกินจุดสิ้นสุดช่วงเวลาไม่คงตัวที่แท้จริงไปบ้าง

5.3.7.2 **การแบ่งข้อมูลออกเป็นจำนวนการทำซ้ำ (Replication)ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล**

สมมติฐานของการทดสอบทางสถิติส่วนใหญ่คือ ในแต่ละการทำซ้ำของการทดลองจะต้องบรรจุไปด้วยข้อมูลที่มีความคงตัว ไม่ขึ้นต่อกัน และมีการกระจายแบบปกติ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วระบบที่ไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดได้ไม่ได้ให้ข้อมูลที่มีลักษณะดังกล่าว เนื่องจากในระบบที่มีความหนาแน่นในระบบ ชิ้นงานที่ออกจากระบบในลำดับที่ใกล้กันมีแนวโน้มว่าจะขึ้นแก่กัน เช่นถ้าชิ้นงานชิ้นหนึ่งอยู่ในระบบนาน ชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่งก็มีแนวโน้มว่าจะอยู่ในระบบนานเช่นเดียว

กัน ดังนั้นจะต้องมีการดำเนินการเพื่อแบ่งข้อมูลชุดเดิมออกเป็นข้อมูลชุดใหม่หลายชุดที่มีลักษณะที่สามารถประมาณได้ว่ามีลักษณะตรงกับในสมมติฐาน

ตามลักษณะสมมติฐานยิ่งแบ่งตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยจำนวนข้อมูลที่มาก ก็ยิ่งดีต่อสมมติฐานในเรื่องความไม่ขึ้นต่อกันและการกระจายแบบปกติ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลก็ไม่ควรจะมากจนเกินไปที่จะทำให้เสียเวลาในการทดลอง ดังนั้นจาก Rule of thump พบว่าจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมควรจะมีค่าประมาณ 10 เท่าของจำนวนช่วงห่างของข้อมูลที่มากที่สุดที่ทำให้สหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างข้อมูลน้อยสามารถตัดทิ้งได้ (Pegden และคณะ, 1995)

ตัววิเคราะห์ผลการทดลองของ SIMAN สามารถเขียนกราฟแสดงสหสัมพันธ์ของชิ้นงานโดยสามารถเลือกช่วงห่างของชิ้นงานชิ้นแรกและชิ้นสุดท้ายได้

จากที่กล่าวไปแล้วว่าสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างจำนวนตัวอย่างที่เพียงพอสำหรับระบบที่ไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดได้คือ การกำหนดช่วงเวลาไม่คงตัวและการแบ่งข้อมูลออกเป็นจำนวนการทำซ้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ดังนั้นก่อนที่จะมีการทดลองจริงๆ (Production run) จะต้องมีการทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot run) เพื่อที่จะใช้หากำหนดช่วงเวลาไม่คงตัวและเวลาที่ใช้ในแต่ละการทำซ้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองหาช่วงเวลาไม่คงตัวและเวลาที่ใช้ในแต่ละการทำซ้ำที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานต่างๆ โดยทำการทดลอง (การทดลองที่ 5.1) เมื่อยังไม่มีการใช้กฎการจัดเส้นทางของงานใดเลย (หรือเรียกว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบสุ่ม) เนื่องจากไม่น่าจะมีกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบใดที่ให้ความไม่คงตัวของข้อมูลและความหนาแน่นของชิ้นงานมากเท่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบนี้ ดังนั้นเวลาในช่วงไม่คงตัวและเวลาในแต่ละการทำซ้ำที่ใช้กับกฎการจัดเส้นทางเดินแบบสุ่มที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานต่างๆ จึงเพียงพอสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่นๆ ด้วย แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองจริงสำหรับแต่ละกฎการจัดเส้นทางเดินของงานจะได้มีการทดลองตรวจสอบช่วงเวลาไม่คงตัวและเวลาที่ใช้ในแต่ละการทำซ้ำก่อนแต่ไม่ได้แสดงไว้ ณ ที่นี้

การทดลองที่ 5.1
การหาเวลาในช่วงไม่คงตัวและเวลาในแต่ละการทำซ้ำที่ใช้กับกฎการจัดเส้นทางเดินแบบสุ่มที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานต่างๆ

วัตถุประสงค์ เพื่อเวลาในช่วงไม่คงตัวและเวลาในแต่ละการทำซ้ำที่ใช้กับกฎการจัดเส้นทางเดินแบบสุ่มที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานต่างๆเพื่อใช้สำหรับการทำการทดลองจริงของแต่ละกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานต่างๆ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการทดลองแบบจำลองปัญหาที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานในระบบโดยใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบสุ่มเป็นระยะเวลาหนึ่ง ในขณะทำการทดลองให้เก็บผลของเวลาที่ชิ้นงานใช้ในระบบของแต่ละชิ้นงานที่ออกจากระบบ
2. นำข้อมูลทั้งหมดมาทำ Cumulative average เพื่อหาช่วงเวลาไม่คงตัว
3. นำข้อมูลทั้งหมดมาหาช่วงห่างที่มากที่สุดที่ทำให้ผลของสหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลน้อยมากจนตัดทิ้งได้โดยการสร้างกราฟ Correlogram
4. จากช่วงห่างที่มากที่สุดที่ได้จากข้อ 3 คำนวณจำนวนข้อมูลที่เพียงพอสำหรับแต่ละการทำซ้ำ โดยการนำช่วงห่างที่ได้นั้นคูณ 10
5. เมื่อได้จำนวนข้อมูลที่เพียงพอแล้ว เทียบเป็นเวลาที่ใช้ในแต่ละการทำซ้ำแล้วบวกเวลาเผื่อให้แน่ใจว่าระยะเวลาของการทำซ้ำดังกล่าวครอบคลุมจำนวนข้อมูลที่เพียงพอในแต่ละการทำซ้ำ

ผลการทดลอง

กราฟการทำ Cumulative average และ Correlogram ของข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบจำลองปัญหาที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานในระบบต่างๆโดยใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบสุ่มสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 5.17 ถึง 5.24 และจากรูปดังกล่าวสามารถแสดงผลระยะเวลาไม่คงตัวและระยะเวลาที่ต้องใช้ในแต่ละการทำซ้ำที่จะนำไปใช้กับการทดลองจริงได้ดังในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลระยะเวลาไม่คงตัวและระยะเวลาที่ต้องใช้ในแต่ละการทำซ้ำที่จะนำไปใช้กับการทดลองจริงที่สภาวะความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ

	ความซับซ้อนในระบบต่ำ-โหลดงานในระบบน้อย	ความซับซ้อนในระบบต่ำ-โหลดงานในระบบมาก	ความซับซ้อนในระบบสูง-โหลดงานในระบบน้อย	ความซับซ้อนในระบบสูง-โหลดงานในระบบมาก
เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น	40,000	40,000	60,000	60,000
จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ได้ในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง	2072	2611	3272	5166
ช่วงเวลาไม่คงตัว	10,000	20,000	20,000	20,000
ช่วงห่างของข้อมูลที่มากที่สุดที่เริ่มทำให้สหสัมพันธ์น้อยมากจนตัดทิ้งได้	30	50	80	110
จำนวนข้อมูลที่เพียงพอในการทำซ้ำ 1 ครั้ง	300	500	800	1,100
ระยะเวลาในการทำซ้ำ 1 ครั้ง	5,798	7660	14,667	12,776
ช่วงเวลาไม่คงตัว*	30,000	30,000	40,000	40,000
ระยะเวลาในการทำซ้ำ 1 ครั้ง *	10,000	10,000	15,000	15,000

หมายเหตุ * คือเวลาที่ได้บวกเวลาเผื่อแล้วและใช้สำหรับการทดลองจริง

5.3.8 การดำเนินการทดลอง

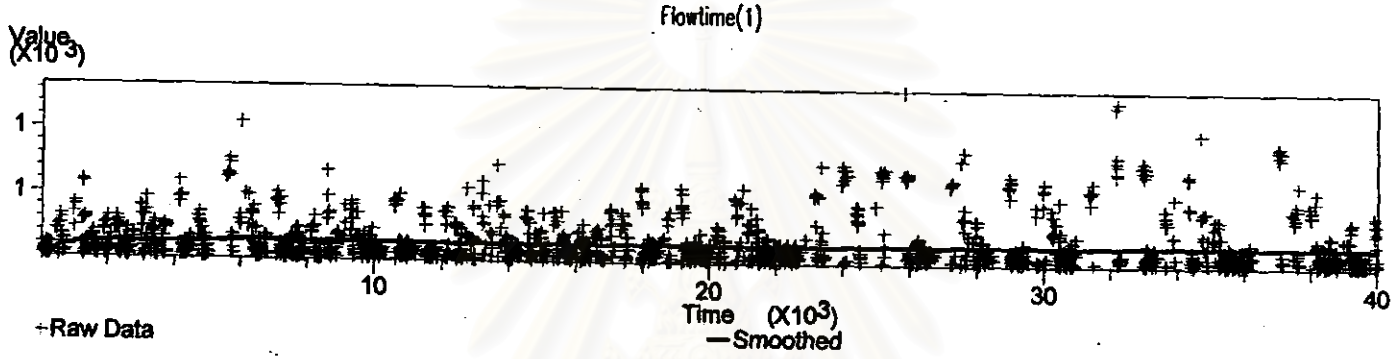
การดำเนินการทดลองคือทดลองแบบจำลองปัญหาพร้อมทั้งเก็บผลของการทดลองด้วยเงื่อนไขการทดลองตลอดจนระยะเวลาตามที่ได้กำหนดไว้สำหรับแต่ละการทดลองจริง

5.3.9 การตีความผลการทดลอง

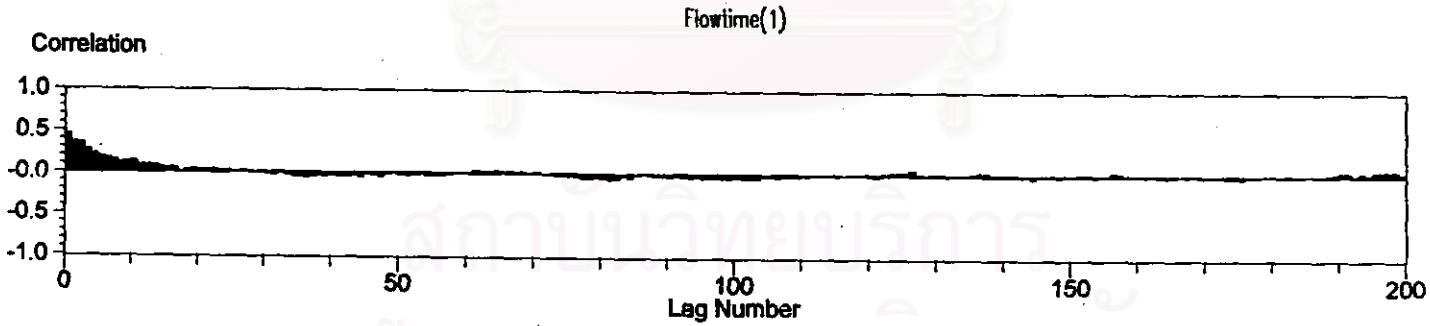
จากผลการทดลองที่ได้ วิเคราะห์ผลออกมาในรูปแบบที่ได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ สำหรับขั้นตอนนี้จะแสดงอย่างละเอียดในบทที่ 7

5.3.10 การจัดทำเอกสารการใช้งาน

ขั้นตอนนี้คือการบันทึกผลขั้นตอนการทดลองด้วยแบบจำลองปัญหาและผลการทดลอง

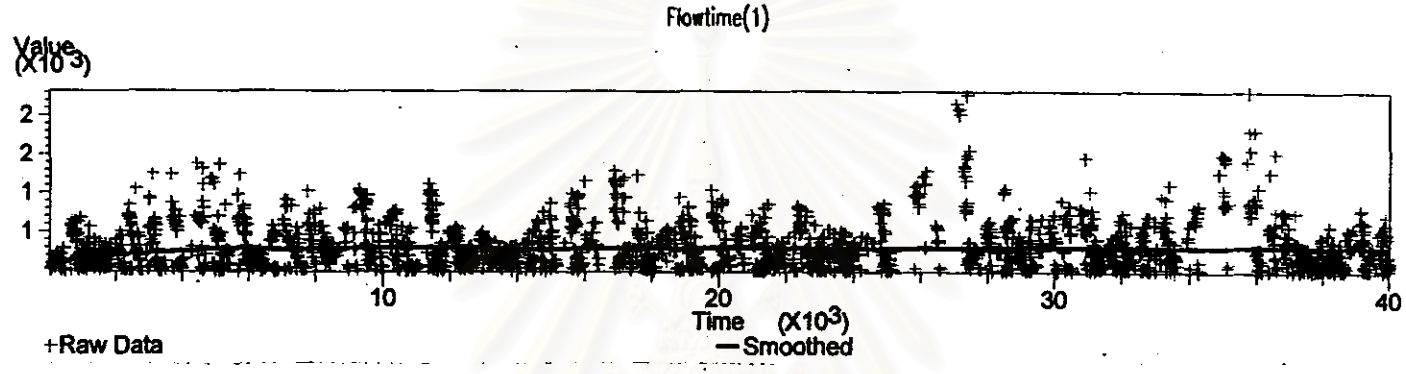


รูปที่ 5.17 แสดงการทำ Cumulative average สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย

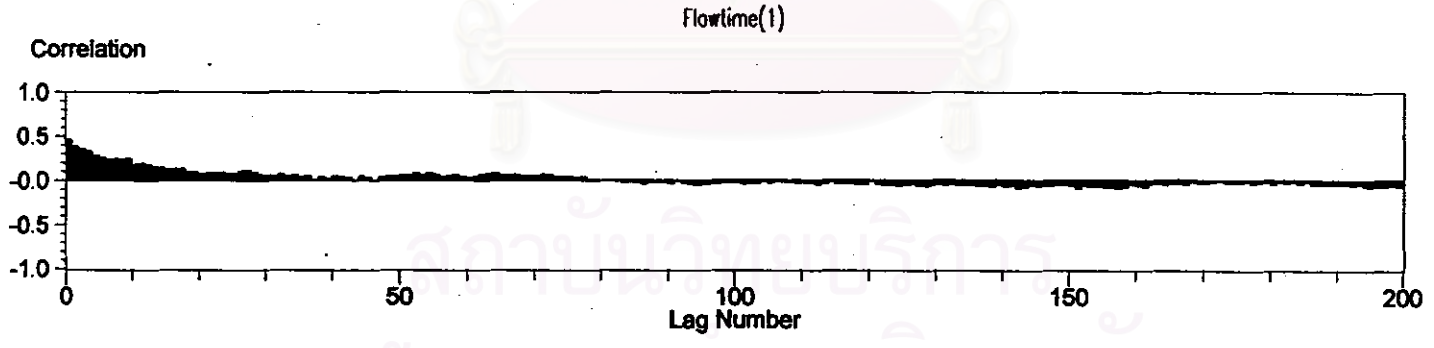


รูปที่ 5.18 Correlogram สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

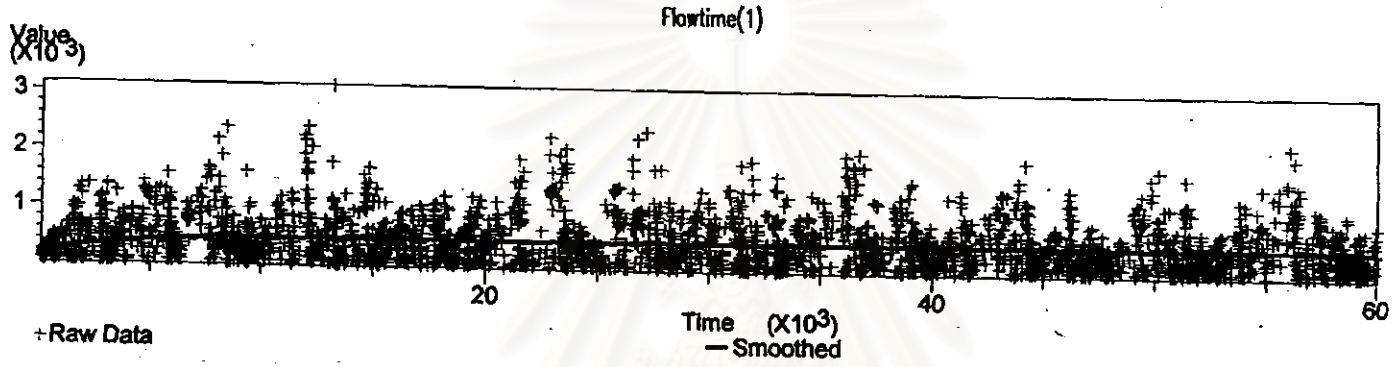


รูปที่ 5.19 แสดงการทำ Cumulative average สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก

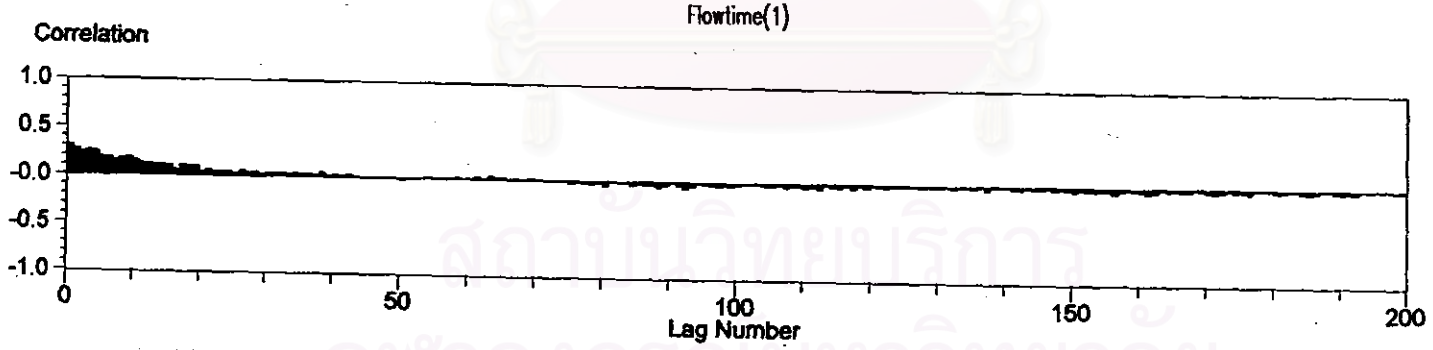


รูปที่ 5.20 Correlogram สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

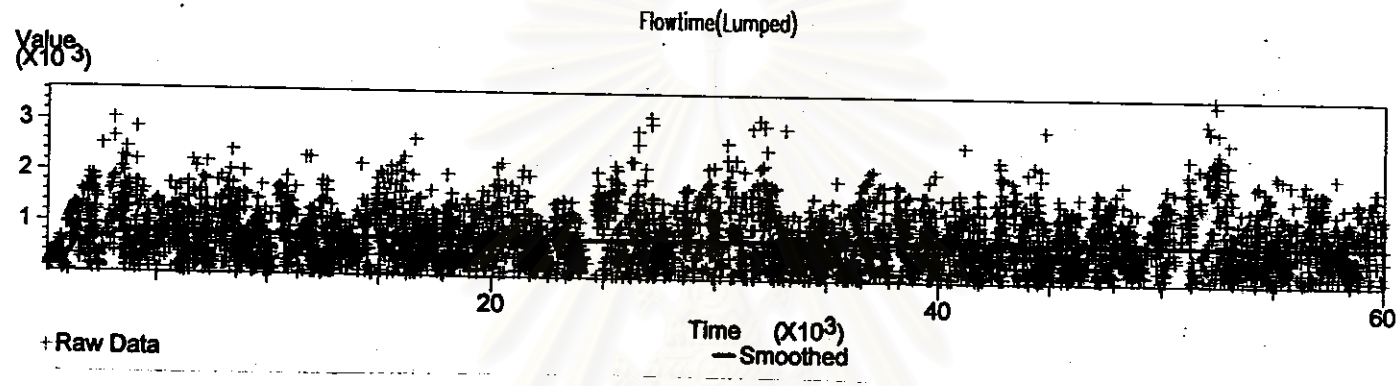


รูปที่ 5.21 แสดงการทำ Cumulative average สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย

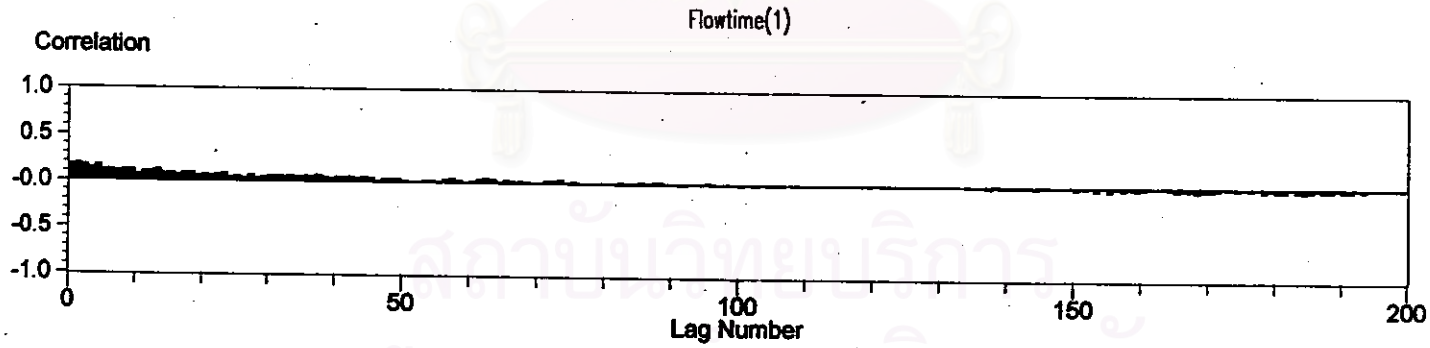


รูปที่ 5.22 Correlogram สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.23 แสดงการทำ Cumulative average สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก



รูปที่ 5.24 Correlogram สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 สรุป

งานวิจัยนี้ได้สร้างตัวแทนของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นโดยการคำนึงถึงความสัมพันธ์ของชิ้นงานและทรัพยากรของระบบที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนการผลิตของชิ้นงาน (Approaches based on entity-resource relationships) โดยในการศึกษาวิเคราะห์ตัวแทนที่สร้างขึ้นนั้นใช้วิธีการจำลองแบบปัญหา โดยในการจำลองแบบปัญหานั้นมีวัตถุประสงค์คือเพื่อศึกษาพฤติกรรมของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ FuzzyAHP-NF FuzzyAHP WINQ NINQ SPT และ RAN ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ

ในการกำหนดระบบงานที่ใช้ในการศึกษาจะต้องมีการสร้างแผนภูมิขั้นตอนการทำงาน ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้แผนภูมิขั้นตอนการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของพาหนะขนส่งและส่วนของชิ้นงาน จากแผนภูมิขั้นตอนการทำงานทำให้ได้ระบบงานที่จะศึกษาอันประกอบไปด้วยเครื่องจักร แถวคอยของเครื่องจักร แถวคอยเพื่อคอยการขนส่งสำหรับชิ้นงานที่เพิ่งเข้ามาในระบบบัฟเฟอร์ส่วนกลาง พาหนะขนส่ง เส้นทางเดินของพาหนะ สถานที่เก็บพาหนะขนส่งและชิ้นงาน

โปรแกรมสำเร็จรูป SIMAN ได้ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างตัวแทนของระบบ โดยโปรแกรมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของแบบจำลอง ซึ่งมีหน้าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานและทรัพยากรของระบบ และส่วนของการทดลอง ซึ่งมีหน้าที่กำหนดพารามิเตอร์ในการทดลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่าแบบจำลองนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมต่างๆของระบบแบบที่ต้องการหรือไม่สามารถทำได้โดยการใช้คำสั่งซึ่งมีอยู่ในโปรแกรมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องขณะดำเนินการทดลอง

การสร้างแบบจำลองที่มีความสมเหตุสมผลสามารถเป็นตัวแทนของระบบจริงได้นั้นสามารถกระทำโดยการศึกษาขั้นตอนการทำงานและค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นตามหนังสือและงานวิจัยที่ได้รับการยอมรับ

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการจำลองแบบปัญหาคือเพื่อศึกษาพฤติกรรมของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ FuzzyAHP-NF FuzzyAHP WINQ NINQ SPT และ RAN ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียลเพื่อให้สามารถแสดงผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบ โหลดงานในระบบและกฎการจัดเส้นทางเดินของงานรวมถึงปัจจัยร่วมของปัจจัยดังกล่าวที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบด้านต่างๆ ได้

เนื่องจากระบบผลิตแบบยืดหยุ่นเป็นระบบที่ไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดได้ ดังนั้นการวางแผนใช้งานแบบจำลองจึงมีความสำคัญต่อการหาช่วงเวลาที่ไม่คงตัวเพื่อที่จะตัดช่วงที่ไม่คงตัวนั้นออกไปให้ได้ข้อมูลที่ไม่ลำเอียงและสามารถเป็นตัวแทนของระบบในระยะยาวได้ นอกจากนี้การวางแผนการใช้งานแบบจำลองยังทำให้ได้จำนวนข้อมูลที่เพียงพอและตรงตามข้อกำหนดเรื่อง

ความเป็นอิสระและการกระจายตัวแบบปกติของการทดลองแบบแฟคทอเรียลอีกด้วย จากการวางแผนการใช้งานแบบจำลองสามารถสรุปว่า

- สำหรับสภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ โหลดงานในระบบน้อยและมาก ในการดำเนินการทดลองจะมีการตัดช่วงเวลาไม่คงตัวออก 30,000 นาที และทำการทดลอง 10 การทำซ้ำ โดยที่เวลาในแต่ละการทำซ้ำเท่ากับ 10,000 นาที
- สำหรับสภาวะความซับซ้อนในระบบสูง โหลดงานในระบบน้อยและมาก ในการดำเนินการทดลองจะมีการตัดช่วงเวลาไม่คงตัวออก 40,000 นาที และทำการทดลอง 10 การทำซ้ำ โดยที่เวลาในแต่ละการทำซ้ำเท่ากับ 15,000 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย