บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การเริ่มทำงานวิจัย การค้นคว้าวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการทำวิจัย เพื่อที่จะได้ทราบถึงการศึกษาในอดีต และเป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อไป ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึง วิธีการจัดตาราง การจำลองแบบปัญหา และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทบาทและผลกระทบของการจัดตาราง

การจัดตาราง (Scheduling) เป็นกระบวนการตัดสินใจอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อทั้งอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมบริการ โดยที่ผลลัพธ์ของกระบวนการตัดสินใจในที่นี้ก็คือ ตารางหรือกำหนดการ (Schedule) สำหรับกิจกรรมต่างๆ การดำเนินงานเป็นจำนวนมากในองค์กรได้นำเอาทฤษฎีการจัดตารางเข้ามาประยุกต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้สูงขึ้น เช่น การผลิต การจัดซื้อ การขนส่ง การกระจายสินค้า การประมวลข่าวสาร และการสื่อสาร เป็นต้น

"การจัดตาราง" หมายถึง การจัดสรรทรัพยากร (Resource) ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับภารกิจ (Task) จำนวนหนึ่งภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อที่จะทำให้องค์กรสามารถบรรลุถึงเป้าหมาย (Goal) หรือวัตถุประสงค์ (Objective) สูงสุดที่องค์กรกำหนดเอาไว้ที่เวลานั้นได้ คำว่า "ทรัพยากร" อาจจะหมายถึงเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน ลานบินของสนามบิน คนงานในสถานที่ก่อสร้าง หรือหน่วยประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ในขณะที่ "งาน (Job)" อาจจะประกอบด้วยภารกิจพื้นฐาน ที่มีความสัมพันธ์กันในด้านของลำดับก่อนหลังเป็นจำนวนมาก ซึ่งในบางครั้งเราจะเรียกภารกิจเหล่านี้ว่า "การดำเนินการ (Operation)" โดยที่ตัวอย่างของการดำเนินการอาจจะหมายถึง การปฏิบัติงานในโรงงาน การนำเครื่องบินขึ้นหรือลงจอดบนลานบิน ขั้นตอนของกิจกรรมต่างๆ ในโครงการก่อสร้าง หรือการทำงานตามขั้นตอนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

ทฤษฎีการจัดตารางเกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการหาเทคนิคที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดตาราง ซึ่งจะต้องอาศัยความรู้ทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติร่วมกัน แล้วใช้การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นเครื่องมือช่วย โดยแนวทางนี้จะแปลงโครงสร้างของปัญหาการจัดตารางไปสู่รูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม กระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับการแปลงเป้าหมายและความมีอยู่อย่างจำกัดของทรัพยากรในด้านต่างๆ ที่

เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ ไปสู่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) และข้อจำกัด (Constraint) ต่างๆ ซึ่งจะเขียนขึ้นมาอย่างชัดเจนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์

ในทางทฤษฎีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการจัดตารางควรจะประกอบด้วยค่าใช่จ่าย (Cost) ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะได้รับผลกระทบโดยตรงจากการตัดสินใจจัดตารางในครั้งนี้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วค่าใช้จ่ายดังกล่าวอาจจะวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ยากมาก ดังนั้นแทนที่จะแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในรูปของค่าใช้จ่าย เราจะใช้เป้าหมาย 3 รูปแบบหลักในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางแทน นั่นคือ ประสิทธิภาพในการใช้สอยทรัพยากร (Resource Utilization) ความรวดเร็วในการสนองตอบต่ออุปสงค์ และการส่งมอบที่ตรงเวลา นอกจากนั้นแล้วเรายังอาจจะใช้ตัววัดสมรรถนะของระบบตัวอื่นๆ แทนตัววัดที่เกิดจากค่าใช้จ่ายของระบบได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น เวลาเดินเท้าเปล่า (Idle Time) ของเครื่องจักร เวลารอคอยของงาน หรือเวลาสาย (Lateness) ของงาน เป็นต้น ข้อจำกัด 2 ประเภทที่พบเสมอในปัญหาการจัดตาราง คือ

1. ข้อจำกัดด้านทรัพยากร (Resource Constrain) : เกี่ยวข้องกับการที่ทรัพยากรมีความสามารถในการทำงานอย่างจำกัดที่ขณะใดขณะหนึ่ง เช่น เครื่องจักรเครื่องหนึ่งสามารถทำงานได้กับชิ้นงานเพียงชิ้นเดียวเท่านั้นที่เวลาใดเวลาหนึ่ง
2. ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี (Technological Constraint) : เกี่ยวข้องกับความจำกัดในด้านลำดับก่อนหลังของการทำงาน (Precedence Constraint) เช่น การทำงานแรกบนชิ้นงานชิ้นหนึ่งจะต้องถูกทำให้เสร็จก่อนที่จะเริ่มต้นทำงานที่ 2 บนชิ้นงานเดียวกันนั้นได้

ดังนั้นตารางที่เป็นไปได้จริง ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาการจัดตาราง จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของข้อจำกัดทั้งสองที่กล่าวมาเพื่อทำให้สามารถตอบ 2 คำถามหลักที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางได้กล่าวคือ เราจะใช้ทรัพยากรตัวไหนจากทรัพยากรหลายตัวที่มีอยู่และพร้อมใช้งานเพื่อทำงานที่กำหนดให้? เราจะลงมือทำงานแต่ละงานเมื่อใด? ดังนั้นปัญหาการจัดตารางจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากร
2. การตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดลำดับงาน

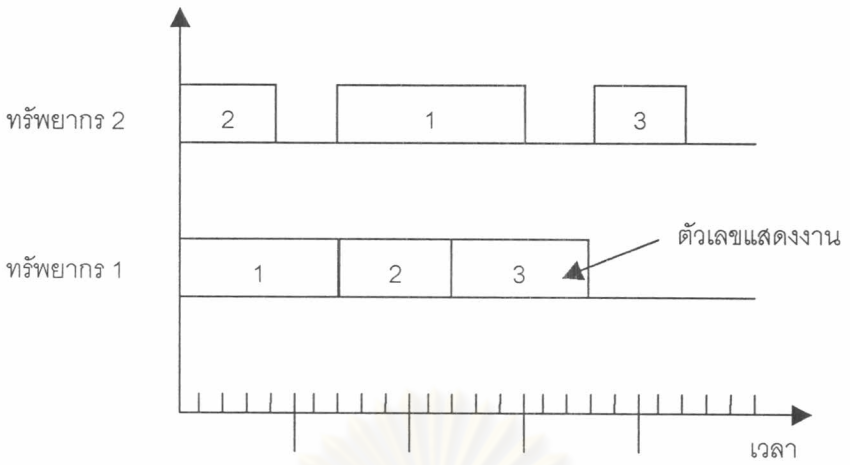
ในทางปฏิบัติพบว่า บางครั้งปัญหาการจัดตาราง อาจจะเกี่ยวกับการตัดสินใจเพียงประเภทเดียวก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของระบบและปัญหาที่กำลังพิจารณาอยู่ เช่น ในการทำงานอย่างหนึ่งในโรงงาน พบว่ามีเครื่องจักรที่สามารถทำงานนี้ได้เพียงเครื่องจักรเดียวเท่านั้น

ดังนั้นการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรจึงไม่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่สามารถเลือกทำงานนี้บนเครื่องจักรอื่นได้ จะมีก็แต่การตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดลำดับงานที่เหมาะสมเพื่อป้อนให้เครื่องจักรเครื่องนี้เท่านั้น หรือในทางตรงกันข้าม การทำงานอีกประเภทหนึ่งสามารถที่จะทำได้บนเครื่องจักรหลายเครื่อง แต่เมื่อได้จัดสรรงานและป้อนงานเหล่านี้ให้กับเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งแล้ว การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของงานที่อยู่ในแถวคอยหน้าเครื่องจักรจะก่อให้เกิดความยุ่งยากในการทำงานอย่างมาก ดังนั้นการตัดสินใจในกรณีเช่นนี้ก็จะจำกัดอยู่เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากรเท่านั้น

ทฤษฎีการจัดตารางได้เสนอแนะเทคนิคเป็นจำนวนมาก ที่มีประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาการจัดตาราง เช่น เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimization) คอมพิวเตอร์ซิมมิวเลชัน (Simulation) การวิเคราะห์โครงข่าย (Network) และฮิวริสติก (Heuristic) เป็นต้น การเลือกเทคนิคที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา ธรรมชาติของแบบจำลอง และฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ในบางกรณีผู้จัดตารางอาจพบว่า มีเทคนิคหลายอย่างที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่กำลังสนใจอยู่ได้ ซึ่งผู้จัดตารางจะต้องอาศัยทั้งความรู้และประสบการณ์ในการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมมาใช้ เพื่อให้ได้มาซึ่งตารางที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดีที่สุด และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด ดังนั้นทฤษฎีการจัดตารางนอกจากจะเกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการเลือกเทคนิคในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมอีกด้วย

2.2 แผนภูมิแกนต์

แผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ถูกพัฒนาขึ้นประมาณปี ค.ศ. 1917 โดย Henry L. Gantt ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้บุกเบิกทางด้านวิทยาการจัดการ แผนภูมิแกนต์เป็นหนึ่งในเครื่องมือช่วยทางกราฟิกที่เก่าแก่ที่สุดใช้งานง่ายที่สุด แพร่หลายที่สุด และมีประโยชน์ที่สุด ในการที่จะทำให้ผู้ตัดสินใจเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับลำดับของงาน และสถานะของการดำเนินงาน นอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในตารางอีกด้วย รูปแบบพื้นฐานของแผนภูมิแกนต์อาจจะแสดงในลักษณะของกราฟที่จะแสดงให้เห็นถึงการจัดสรรทรัพยากรภายใต้เวลาที่กำหนดไว้ โดยมีทรัพยากรอยู่ในแกนตั้ง ส่วนเวลาจะแสดงอยู่ในแกนนอนของแผนภูมิแกนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

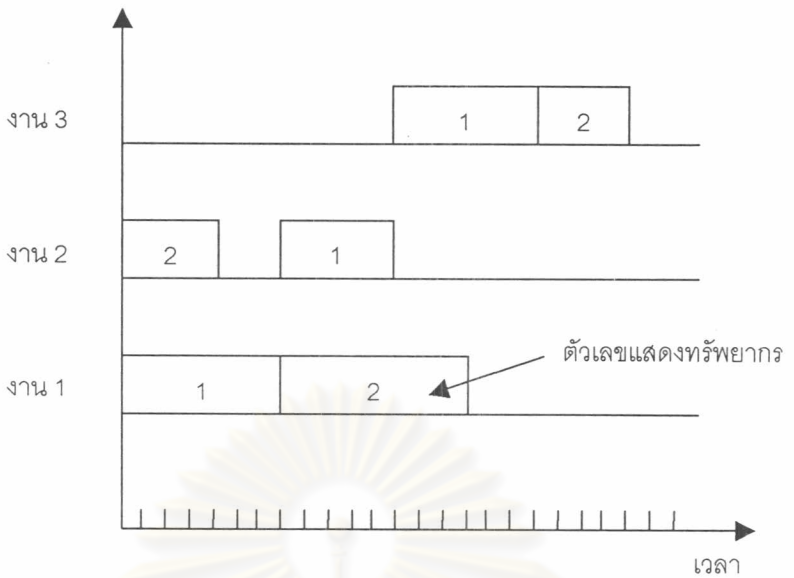


รูปที่ 2.1 แผนภูมิแกนต์แสดงตารางสำหรับ 2 ทรัพยากร 3 งาน โดยที่ทรัพยากรอยู่ในแกนตั้ง

แผนภูมิแกนต์จะทำให้เราทราบถึงความสัมพันธ์ของการดำเนินการต่างๆ ของงานจำนวนหนึ่งที่กำหนดให้ ซึ่งการดำเนินงานเหล่านี้จะถูกแสดงออกมาในรูปแบบทางกราฟิก การพิจารณาแผนภูมิแกนต์ จะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปเกี่ยวกับพฤติกรรมของตารางที่กำลังพิจารณาอยู่ได้ ในขณะที่การสลับตำแหน่งขององค์ประกอบด้านกราฟิก (ในที่นี้หมายถึงการดำเนินการต่างๆ ของงานแต่ละงาน เช่น การสลับลำดับของการดำเนินการของงานหนึ่งไปไว้ก่อนหน้าการดำเนินของอีกงานหนึ่ง) จะทำให้เราทราบถึงข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างตารางอื่นๆ ที่อาจจะเป็นทางเลือกในการตัดสินใจได้

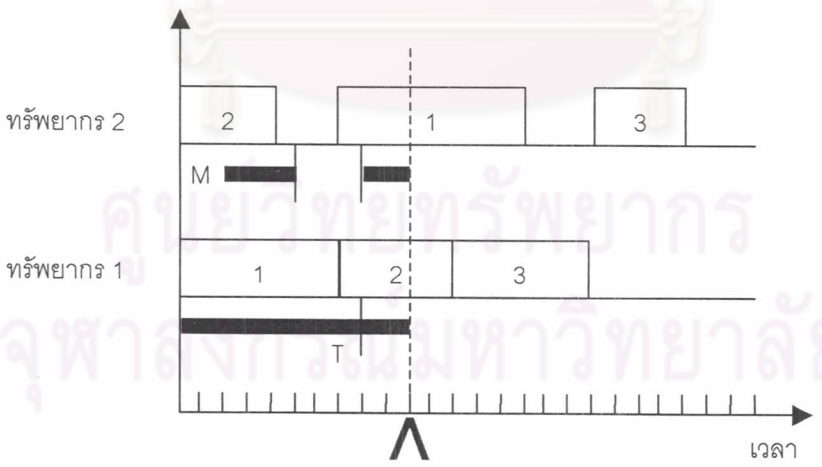
แผนภูมิแกนต์อาจจะแสดงในลักษณะของกราฟ ที่จะแสดงให้เห็นถึงการจัดสรรงานภายใต้เวลาที่กำหนดให้ก็ได้ ซึ่งในที่นี้จะแสดงงานอยู่ในแกนตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 แผนภูมิแกนต์แสดงตารางสำหรับ 2 ทรัพยากร 3 งาน โดยที่งานอยู่ในแกนตั้ง

แผนภูมิแกนต์อาจจะใช้ในการแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างตารางที่วางแผนเอาไว้กับความก้าวหน้าจริงของงานที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนั้นเราอาจจะเพิ่มสัญลักษณ์แบบต่างๆ เข้าไปในแผนภูมิแกนต์เพื่อระบุให้เห็นถึงกิจกรรมที่สำคัญต่างๆ ที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภูมิแกนต์ที่เพิ่มสัญลักษณ์ต่างๆ เข้าไปเพื่อระบุถึงกิจกรรมที่สำคัญที่เกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างของสัญลักษณ์ที่อาจจะนำมาใช้แสดงสถานะต่างๆ ได้ เช่น

	แสดงการเริ่มต้นและสิ้นสุดของการดำเนินงาน
▬	แสดงความก้างหน้าของการดำเนินงาน
Λ	แสดงเวลาปัจจุบัน
M	แสดงความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบ
R	แสดงความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการซ่อมแซม
T	แสดงความล่าช้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องมือ
A	แสดงการขาดงานของคนงาน
P	แสดงการบำรุงรักษาที่ได้วางแผนไว้

นอกจากนั้นแล้ว ยังได้มีการนำเอาหมุดสี เชือกสี เทปสี หรือวัสดุอื่นๆ อีกมากมายเข้ามาใช้ในแผนภูมิแกนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการสื่อสารให้เห็นถึงสถานะปัจจุบันของการดำเนินงาน ทรัพยากรและงาน ซึ่งการแสดงเช่นนี้ทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพในเรื่องเกี่ยวกับ การติดตามงาน การเร่งรัดงาน (Expediting) การจัดลำดับงาน การเปลี่ยนแปลงลำดับงานใหม่ การจัดสรรทรัพยากรทั้งที่กำลังเดินเปล่าหรือที่เป็นคอขวด เป็นต้น แต่อย่าลืมว่าการสร้างแผนภูมิแกนต์ที่เป็นไปได้จริง จะต้องไม่ขัดกับข้อจำกัดเกี่ยวกับทรัพยากรและเทคโนโลยีดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.3 การจัดตารางในองค์กร

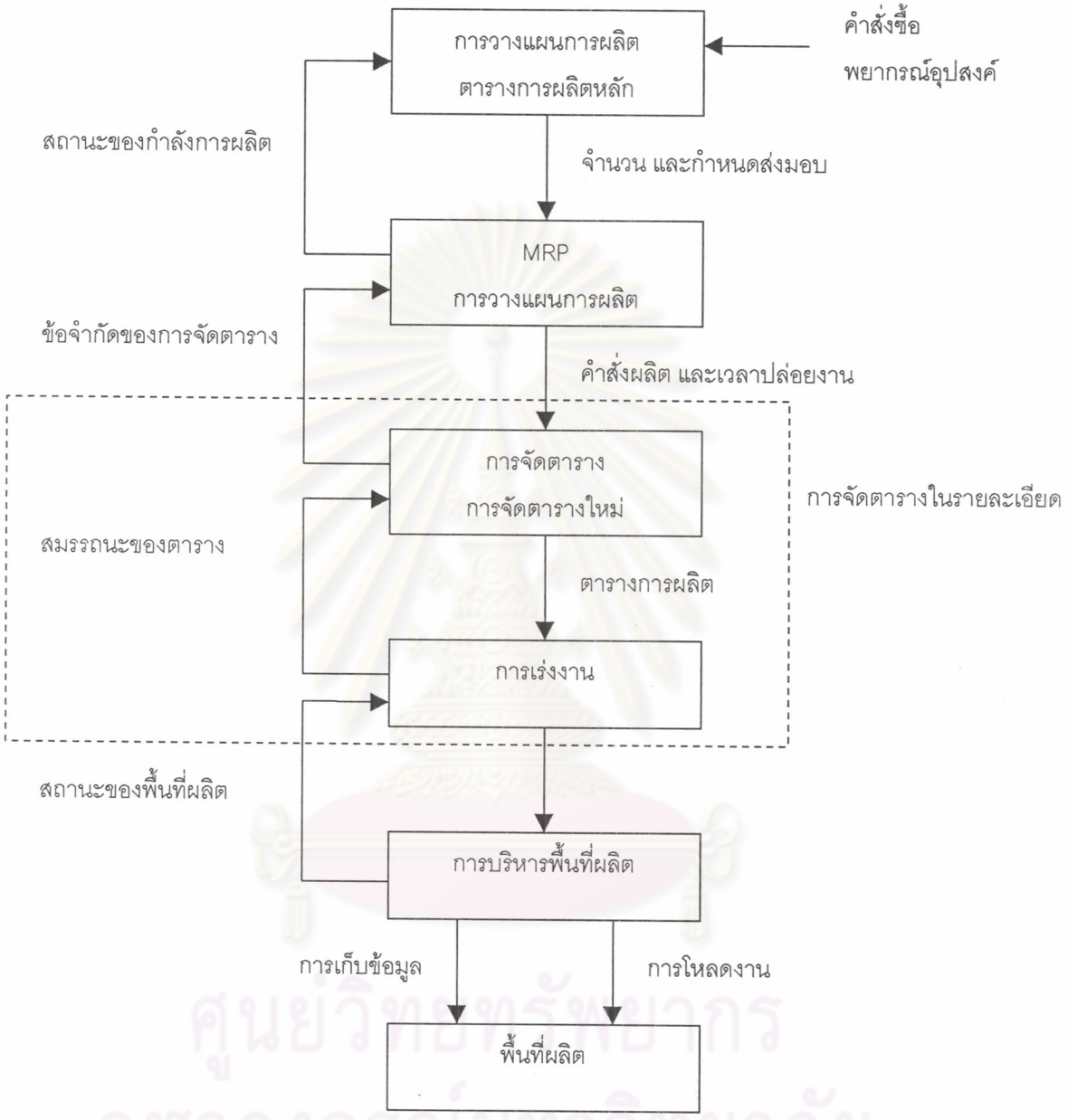
ในทางปฏิบัติการจัดตารางสำหรับระบบผลิตหรือองค์กรที่ให้บริการนั้น ผู้จัดตารางจะต้องมีปฏิสัมพันธ์กับหน่วยงานอื่นอีกเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ได้มาซึ่งตารางที่มีประสิทธิภาพและมีความเป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ ลักษณะของปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นกับโครงสร้างของระบบที่กำลังศึกษาอยู่ ยกตัวอย่างในโรงงาน ปฏิสัมพันธ์อาจจะเกิดขึ้นจากการประชุมวางแผนการผลิตระหว่างแผนกต่างๆ เช่น แผนกวางแผนการผลิต แผนกผลิต และแผนกการตลาด เป็นต้น ซึ่งผลลัพธ์ของการประชุม (ตารางการผลิต) อาจจะถูกบันทึกอยู่ในรายงานการประชุม หรืออาจจะเกิดขึ้นจากการประชุมบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ก็ได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจจะอยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลของตารางการผลิตสำหรับรอบการผลิตถัดไป

ในอุตสาหกรรมการผลิต คำสั่งซื้อจากลูกค้าจะถูกแปรความหมายให้เป็นงานและเวลาส่งมอบของงานนั้น งานเหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการต่างๆ บนเครื่องจักรตามลำดับที่กำหนดไว้ ใน

ทางปฏิบัติเป็นไปได้ว่า การดำเนินงานของงานบางอย่างอาจจะถูกหน่วงให้ช้าลงได้ เนื่องจากในขณะนั้นเครื่องจักรที่ต้องการใช้งานกำลังทำงานอื่นอยู่ และการแทรกงาน (Preemption) อาจจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีงานที่มีความสำคัญสูงกว่าเข้ามา เนื่องจากนี้แล้วยังอาจจะมีเหตุการณ์อื่นที่ไม่คาดคิดเกิดขึ้นในพื้นที่ผลิต (Shop Floor) ได้เช่นกัน เช่น เครื่องจักรเสีย คนงานป่วยกะทันหัน เป็นต้น สิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนี้มีผลอย่างมากต่อการจัดตาราง ดังนั้นเราจะต้องนำเอาสิ่งเหล่านี้เข้ามาพิจารณาในขณะจัดตารางด้วย การจัดทำตารางการดำเนินการอย่างละเอียดจะมีส่วนช่วยอย่างมากต่อการรักษาและควบคุมประสิทธิภาพของการทำงานเอาไว้

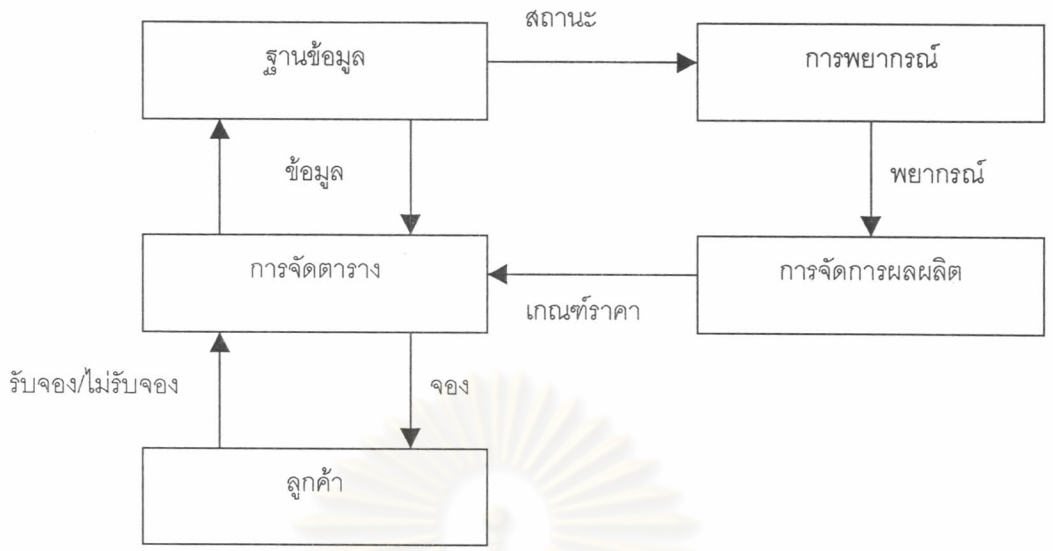
กระบวนการจัดตาราง นอกจากจะได้รับผลกระทบจากการทำงานในพื้นที่การผลิตแล้วยังได้รับอิทธพลจากแผนกวางแผนการผลิต ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการวางแผนการผลิตระยะยาวและระยะกลางให้กับทั้งองค์กร บ่อยครั้งที่พบว่า การตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตซึ่งเกิดขึ้นที่ระดับสูงกว่าอาจจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการจัดตารางก็ได้ รูปที่ 2.4 แสดงการไหลของสารสนเทศในระบบการผลิต ระบบวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning, MRP) เป็นระบบการวางแผนการผลิตที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม หลังจากวางแผนการผลิตเสร็จเรียบร้อยแล้ว วัตถุดิบและทรัพยากรทั้งหมดจะต้องมีพร้อมใช้งานตามวันเวลาที่ระบุไว้ เวลาพร้อมสำหรับงานทั้งหมดจะหาได้จากการพิจารณาระบบการวางแผนการผลิตและการจัดตาราง ร่วมกันกับระบบ MRP

ในอุตสาหกรรมการบริการ ปัญหาเกี่ยวกับการจัดตารางสำหรับองค์กรลักษณะนี้มีได้หลากหลายตัวอย่างเช่น การจองทรัพยากร เช่น รถยนต์ ห้องประชุม เป็นต้น หรือการจัดตารางกำลังพล เช่น การจัดสรรกะการทำงาน เป็นต้น ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่ใช้ในการจัดตารางสำหรับการบริการจะแตกต่างกับที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมการผลิตอย่างสิ้นเชิง แต่อย่างไรก็ตามการจัดตารางในสภาวะแวดล้อมทั้งสอง จะต้องมีการประสานและสอดคล้องกับองค์ประกอบของการตัดสินใจอย่างอื่น โดยผ่านทางระบบสารสนเทศขององค์กร หัวใจของระบบสารสนเทศที่จะเข้ามาช่วยในการจัดตารางก็คือ ระบบฐานข้อมูล ซึ่งจะมีสารสนเทศเกี่ยวกับสภาพพร้อมใช้งานของทรัพยากร กระบวนการผลิต วัตถุดิบที่ใช้ และรายละเอียดเกี่ยวกับลูกค้าที่สำคัญ ระบบจัดตารางจะต้องมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับโมดูลการพยากรณ์และโมดูลการจัดการผลผลิต รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของสารสนเทศในองค์กรที่ให้การบริการรถยนต์เช่า จะเห็นว่าในการจัดตารางในองค์กรประเภทนี้จะไม่มีส่วนของระบบ MRP เข้ามาเกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.4 การไหลของสารสนเทศในระบบผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 การไหลของสารสนเทศในระบบการบริการ

2.4 การจัดเรียงเครื่องจักร

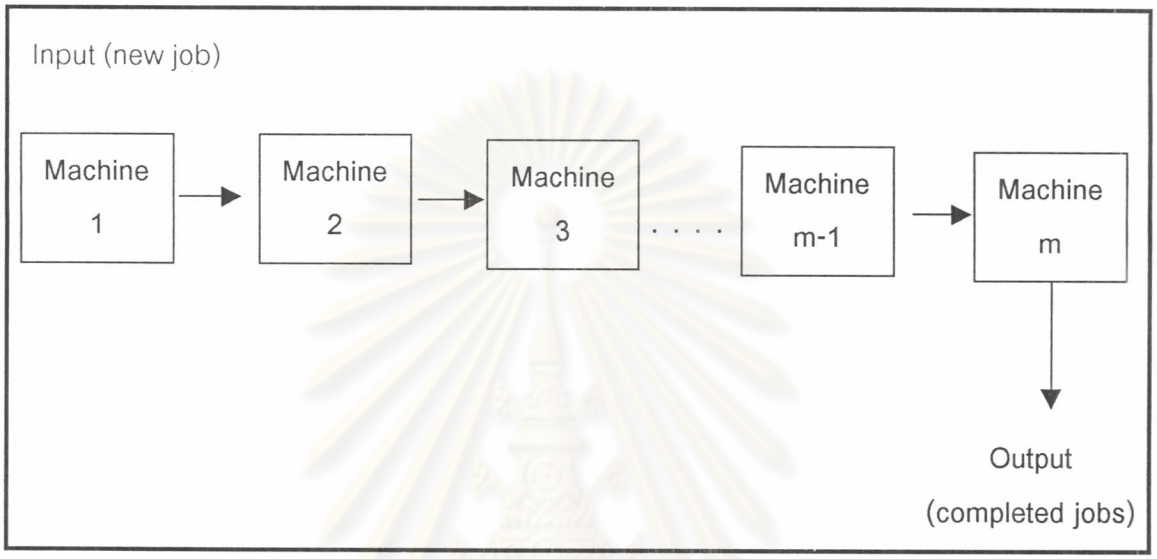
รูปแบบที่สำคัญของการจัดเรียงเครื่องจักรมีอยู่หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับการทำงานและปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ขององค์กร ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

- เครื่องจักรเดี่ยว (Single Machine) : ระบบนี้ประกอบไปด้วยเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดในรูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรที่เป็นไปได้ทั้งหมด นอกจากนั้นแล้วระบบนี้ ยังอาจจะเป็นรูปแบบในกรณีพิเศษของการจัดเรียงเครื่องจักรแบบซับซ้อนก็ได้ เช่น ในระบบการผลิตที่มีหลายเครื่องจักร และมีเครื่องจักรอยู่หนึ่งเครื่องที่เป็นคอขวดของระบบ ดังนั้นการจัดลำดับของงาน บนเครื่องจักรที่อยู่ทั้งต้นน้ำและปลายน้ำของกระบวนการ จะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อได้จัดตารางให้กับเครื่องจักรที่เป็นคอขวดเสร็จเรียบร้อยแล้ว แนวทางนี้เป็นการลดรูปของปัญหาเริ่มต้นดั้งเดิมที่ซับซ้อน ให้ไปอยู่ในรูปของปัญหาการจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยวที่ง่ายกว่า นอกจากนี้แบบจำลองสำหรับเครื่องจักรเดี่ยวยังสามารถนำไปใช้ในแก้ปัญหาแบบแยกส่วน (Decompose) ได้ ซึ่งในกรณีเช่นนี้ ปัญหาการจัดตารางของระบบผลิตที่ซับซ้อนจะถูกแยกออกเป็นปัญหาการจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยวย่อยๆ จำนวนหนึ่ง
- เครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน (Identical Machines in Parallel) : ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่องที่เหมือนกัน ซึ่งมีการทำงานแบบขนานกัน ระบบผลิตจำนวนมากมีการทำงานแบบนี้ ตัวอย่างเช่น ในโรงงานแห่งหนึ่งมีสายการผลิตที่ประกอบด้วยหลายสถานีงาน ซึ่งแต่ละสถานีงานอาจจะประกอบด้วยเครื่องจักรขนานกันอยู่จำนวนหลายเครื่อง เมื่องาน j มาถึงยัง

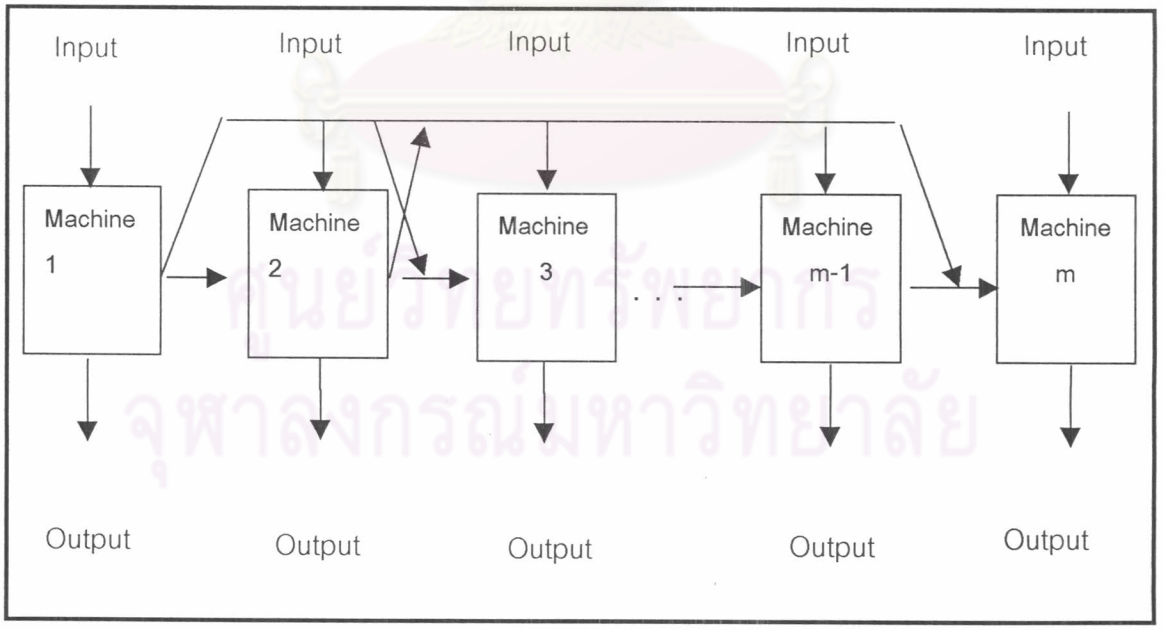
แต่ละสถานีงานที่มีเครื่องจักรขนานอยู่นั้น งาน j สามารถที่จะเลือกทำได้บนเครื่องจักรเครื่องใดก็ได้ใน m เครื่องเหล่านี้หรืออาจจะทำได้บนเครื่องจักรเครื่องใดก็ได้ที่อยู่ในเซตย่อยของ m เครื่องที่กำหนดให้ ซึ่งเขียนแทนด้วย Mj นอกเหนือจากในระบบผลิตแล้ว ระบบเช่นนี้ยังมีปรากฏในระบบบริการอีกด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การฝากถอนเงินกับธนาคารที่มีแคชเชียร์คอยให้บริการเป็นแบบเครื่องจักรขนาน หรือการต่อแถวเพื่อคอยรอรับบัตรคิวตรวจโรคที่แผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาล เป็นต้น แบบจำลองสำหรับเครื่องจักรขนานนี้สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นรูปแบบทั่วไปของกรณีเครื่องจักรเดี่ยว ดังนั้นถ้าสถานีงานหนึ่งใดเป็นคอขวดของระบบการจัดตารางให้กับสถานีงานนั้นก็จะเป็นตัวกำหนดสมรรถภาพของระบบโดยรวม

- เครื่องจักรขนานที่อัตราการผลิตต่างกัน (Parallel Machines with Different Speed) : ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่องที่มีการทำงานแบบขนานกัน แต่ทว่าเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีความเร็วในการทำงานต่างกัน ความเร็วเครื่องจักร i แสดงด้วย V_i และเวลา P_{ij} คือเวลาที่งาน j ใช้บนเครื่องจักร i ซึ่งมีค่าเท่ากับ pv_i ให้สังเกตว่าการทำงานในสภาวะเช่นนี้ความเร็วของเครื่องจักรไม่ได้ขึ้นกับงานที่ทำ กรณีเครื่องจักรขนานแต่ไม่เหมือนกันอาจจะเกิดขึ้นจากการที่เครื่องจักรบางเครื่องมีอายุเก่ากว่าเครื่องอื่น จึงทำให้ต้องทำงานที่ความเร็วต่ำกว่าเครื่องอื่น นอกจากนั้นถ้าเครื่องจักรมีความเร็วเท่ากันหมด ($v_i = 1$) สภาพการทำงานเช่นนี้ก็จะกลายเป็นการทำงานแบบเครื่องจักรขนานที่เหมือนกันดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้
- เครื่องจักรขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน (Unrelated Machines in Parallel) : ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่องที่มีการทำงานแบบขนานกัน แต่ทว่าเครื่องจักร i สามารถทำงาน j ได้ด้วยความเร็ว เมื่อ v_{ij} และ p_{ij} คือเวลาที่งาน j ใช้บนเครื่องจักร i มีค่าเท่ากับ p/v_{ij} ให้สังเกตว่า การทำงานในสภาวะเช่นนี้ความเร็วของเครื่องจักรจะขึ้นกับงานที่ทำด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าให้เครื่องจักรในที่นี้หมายถึงคน อาจจะเป็นไปได้ว่า เวลาในการทำแต่ละงานจะขึ้นอยู่กับคนที่ได้รับมอบหมายให้ทำงานชิ้นงานนั้นด้วย เพราะว่าแต่ละคนอาจจะเก่งหรือมีความชำนาญในการทำงานบางประเภทที่ไม่เหมือนกันก็ได้ นอกจากนั้นแล้วกรณีเช่นนี้จะกลายเป็นกรณีของเครื่องจักรขนานที่อัตราการผลิตต่างกันก็ต่อเมื่อ $v_{ij} = v_i$ สำหรับทุกค่าของ i และ j
- การผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop) : ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่อง งานทั้งหมดจะมีเส้นทางงานเป็นรูปแบบเดียวกัน การดำเนินงานทั้งหมดที่อยู่ในลำดับเดียวกันจะต้องถูกดำเนินการโดยเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน นั่นคือ ในแต่ละงาน การดำเนินงานที่ 1 จะต้องทำบนเครื่องจักรเครื่องที่ 1 การดำเนินงานที่ 2 จะต้องทำบนเครื่องจักรเครื่องที่ 2 และเป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งถึงเครื่องจักรเครื่องสุดท้าย ดังนั้นหลังจากที่งานเสร็จสิ้นการดำเนินงานบนเครื่องจักรเครื่องใดๆ ก็ตาม งานนั้นก็จะต้องไปรอที่แถวคอยของเครื่องจักรที่อยู่ในลำดับถัดไป ส่วนมากแล้ว การเรียงลำดับของงานบนแถวคอยของเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่อยู่ในระบบนี้ จะเป็น

แบบ "เข้าก่อนออกก่อน (First In First Out, FIFO)" ระบบผลิตเช่นนี้พบมากในสายงานประกอบและสายงานผลิตอีกเป็นจำนวนมาก ถ้างานทุกงานต้องทำบนทุกเครื่องจักร จะเรียกว่า Pure Flow Shop ดังรูปที่ 2.6 และถ้างานบางงานอาจไม่ทำบนทุกเครื่องจักร อาจเข้าออกที่เครื่องใดก็ได้ เพียงแต่การไหลของงานไปในทิศทางเดียวกันจะเรียกว่า General Flow Shop ดังรูปที่ 2.7



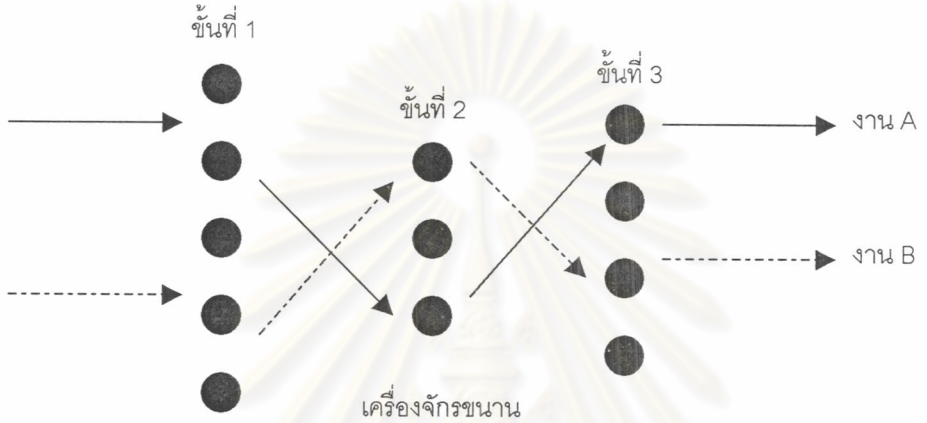
รูปที่ 2.6 Pure Flow Shop



รูปที่ 2.7 General Flow Shop

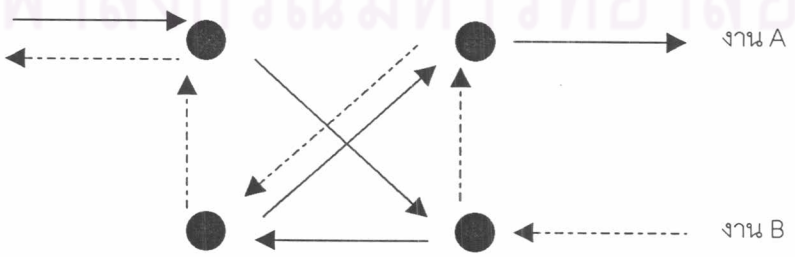
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น (Flexible Flow Shop) : ระบบนี้เป็นรูปแบบทั่วไปของระบบผลิตแบบไหลเลื่อนและระบบเครื่องจักรขนาน ในระบบนี้จะประกอบด้วย c ขั้นตอนการดำเนินงานที่เรียงลำดับกันอยู่ ในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานจะมีเครื่องจักรขนานที่เหมือนกันอยู่เป็นจำนวนหนึ่งงานแต่ละงานจะต้องผ่านการดำเนินงานในที่ขั้นที่ 1 ขั้นที่ 2 เรื่อยไปจนกระทั่งถึงขั้นสุดท้าย ในแต่ละขั้นของการดำเนินงาน งานจะสามารถเลือกทำการดำเนินงานที่กำหนดไว้ได้บนเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งที่ขนานกันอยู่ (ดูรูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 การไหลของงานในระบบผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น

- การผลิตแบบตามงาน (Job Shop) : ระบบนี้ประกอบด้วย m เครื่องจักร แต่ละงานจะมีเส้นทางงานเฉพาะของตนเองที่กำหนดให้ แบบจำลองที่ง่ายที่สุดของระบบการผลิตแบบตามงานคือ การที่แต่ละงานสามารถที่จะทำการดำเนินงานบนเครื่องจักรใดๆ ก็ตามที่อยู่บนเส้นทางงานของตนได้เพียงแค่หนึ่งครั้งเท่านั้น (ดูรูปที่ 2.9) สำหรับแบบจำลองที่ซับซ้อนขึ้นอาจเป็นไปได้ว่า งานอาจจะกลับมาทำซ้ำที่เครื่องจักรเดิมได้อีกหลายครั้งบนเส้นทางงานที่กำหนดให้ และเรียกการทำงานแบบนี้ว่า “การเวียนซ้ำ (Recirculation)”



รูปที่ 2.9 ระบบผลิตแบบตามสั่ง

- การผลิตแบบตามสั่งยืดหยุ่น (Flexible Job Shop) : ระบบผลิตนี้เป็นรูปแบบทั่วไปของระบบผลิตแบบตามงานและระบบเครื่องจักรขนาน ระบบนี้จะประกอบด้วย c สถานีงาน ในแต่ละสถานีงานจะมีเครื่องจักรขนานที่เหมือนกันอยู่เป็นจำนวนหนึ่ง แต่ละงานจะมีเส้นทางงานเฉพาะของตนเอง และสามารถเลือกทำการดำเนินงานที่กำหนดให้บนเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งที่ขนานกันอยู่ และอยู่ในสถานีงานเดียวกันได้ ถ้าพิจารณาในด้านของความซับซ้อนของแบบจำลองแล้วจะพบว่า แบบจำลองของระบบผลิตแบบตามงานซึ่งยอมให้มีการทำงานแบบเวียนซ้ำจะเป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากที่สุด ซึ่งระบบนี้จะพบมากในอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ
- การผลิตแบบเปิด (Open Shop) : ระบบนี้ประกอบด้วย m เครื่องจักร แต่ละงานจะต้องมีการดำเนินงานแบบเวียนซ้ำบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ซึ่งเวลาในการดำเนินงานนี้อาจจะเท่ากับศูนย์ก็ได้ ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับเส้นทางงานของแต่ละงาน ดังนั้นผู้จัดตารางจะเป็นผู้กำหนดเส้นทางงานให้กับแต่ละงาน และงานที่ต่างกันอาจจะมีเส้นทางงานที่ต่างกันได้

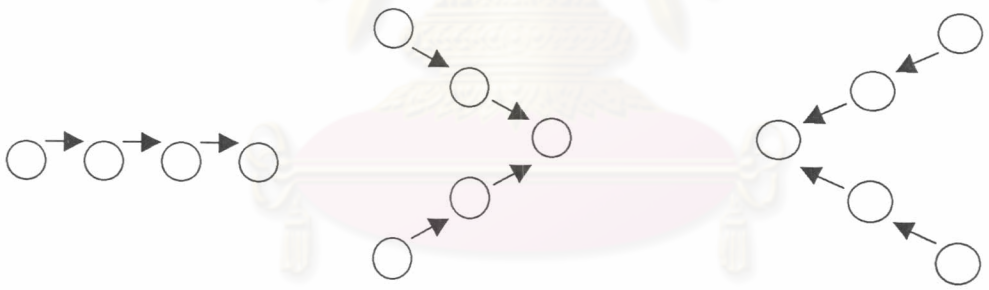
2.5 ลักษณะสมบัติและข้อจำกัดของกระบวนการ

ระบบผลิตอาจจะมีลักษณะสมบัติเฉพาะตัว และข้อจำกัดที่ไม่เหมือนกับระบบอื่นบางประการได้ เราสามารถนำเอาลักษณะสมบัติและข้อจำกัดที่บ่งบอกถึงความแตกต่างของระบบเหล่านี้มาพิจารณา เพื่อใช้เป็นสมมติฐานในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการจัดตารางต่อไปได้ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

- เวลาตั้งเครื่องขึ้นก่อนลำดับก่อนหน้า (Sequence-Dependent Setup Time) : ตามปกติแล้วเราจะต้องทำการปรับตั้งหรือทำความสะอาดเครื่องจักรในขณะเปลี่ยนงาน กระบวนการเช่นนี้เรียกว่า "การปรับตั้งเครื่องจักร (Setup)" ถ้าระยะเวลาในการปรับตั้งเครื่องขึ้นกับงานที่เพิ่งทำเสร็จและงานที่กำลังจะเริ่มทำแล้ว การปรับตั้งเครื่องจักรเช่นนี้จะเป็นการปรับตั้งแบบที่ขึ้นกับลำดับของงานก่อนหน้า (Sequence Dependent) ตัวอย่างที่พบมากในอุตสาหกรรมก็คือ งานทำสี ซึ่งจะต้องมีการปรับตั้งเครื่องทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนงานเนื่องจากจะต้องทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นสี เวลาในการทำความสะอาดนี้จะขึ้นกับสีที่เพิ่งพ่นเสร็จกับสีที่กำลังจะพ่นต่อไป ในทางปฏิบัติพบว่าเราจะเรียงงานพ่นสีจากสีที่อ่อนกว่าไปสู่สีที่แก่กว่าขึ้นไปเรื่อยๆ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์นั่นเอง นอกจากนั้นยังพบว่า การปรับตั้งเครื่องอาจจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในรูปแบบของค่าแรงและของเสียขึ้นได้ ยกตัวอย่างในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เครื่องจักรจะผลิตกระดาษตามสี เกรด

และ น้ำหนัก ตามที่กำหนดเอาไว้ เมื่อเครื่องจักรเปลี่ยนการผลิตจากกระดาษชนิดหนึ่งไปสู่อีกชนิดหนึ่ง จะทำให้กระดาษที่ผลิตขึ้นในระหว่างช่วงเปลี่ยนผลิตภัณฑ์นั้นเสียไป ซึ่งเสมือนว่าเครื่องจักรไม่มีผลผลิตอะไรเลยในระหว่างการปรับตั้งเครื่อง และถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเปล่า ในทางตรงกันข้ามถ้าเวลาในการปรับตั้งเครื่องน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาในการดำเนินงาน (ประมาณเท่ากับ 0) หรือไม่ขึ้นกับงานที่ทำก่อนหน้าแล้ว เราจะเรียกกระบวนการนี้ว่าการปรับตั้งเครื่องที่ไม่ขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า (Sequence Independent) และในกรณีเช่นนี้ เวลาปรับตั้งจะถูกนำไปรวมไว้กับเวลาในการดำเนินงาน

- ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraint) : ในปัญหาการจัดตาราง ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลังจะหมายถึง การที่การดำเนินงานหนึ่งจะเริ่มต้นได้ก็ต่อเมื่อเซตของการดำเนินงานจำนวนหนึ่งที่อยู่ก่อนหน้าได้ทำเสร็จสิ้นแล้วเท่านั้น ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากข้อจำกัดในด้านเทคโนโลยีหรือความเป็นไปได้ของกระบวนการผลิตที่ใช้ก็ได้ ข้อจำกัดชนิดนี้มีได้หลายรูปแบบ ถ้าแต่ละการดำเนินงานมีเพียงหนึ่งการดำเนินงานก่อนหน้าและหนึ่งการดำเนินงานตามหลัง เรียกว่า "ลูกโซ่ (Chain)" ถ้าแต่ละการดำเนินงานมีเพียง 1 การดำเนินงานตามหลัง เรียกว่า "ต้นไม้แบบลู่เข้า (In-Tree)" ถ้าแต่ละการดำเนินงานมีเพียง 1 การดำเนินงานก่อนหน้า เรียกว่า "ต้นไม้แบบบานออก (Out-Tree)" ดูรูปที่ 2.10



(a) ลูกโซ่ (b) ต้นไม้แบบลู่เข้า (c) ต้นไม้แบบบานออก

รูปที่ 2.10 ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง

- ข้อจำกัดด้านเส้นทางงาน (Routing Constraint) : ข้อจำกัดด้านเส้นทางงานจะเป็นตัวระบุถึงเส้นทางที่ใช้ในการดำเนินงานต่างๆ ของแต่ละงานในขณะที่งานนั้นอยู่ในระบบ ในแต่ละงานอาจจะประกอบด้วยหลายการดำเนินงานด้วยกัน ซึ่งในแต่ละการดำเนินงานอาจจะทำได้บนเครื่องจักรที่เฉพาะเจาะจงเครื่องใดเครื่องหนึ่งเท่านั้น หรืออาจจะมีสิทธิที่จะเลือกทำได้บนเซตของเครื่องจักรที่กำหนดให้ก็ได้ ข้อมูลนี้นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการดำเนินงาน

ต่างๆ ของงานแล้ว ยังแสดงให้ทราบด้วยว่าแต่ละงานต้องใช้หรือข้ามผ่าน (Bypass) เครื่องจักรใดบ้างที่อยู่ในระบบ

- ข้อจำกัดด้านเครื่องจักรที่เลือกได้ (Machine-Eligibility Constraint) : ในระบบผลิตที่มีเครื่องจักรขนานแต่ไม่เหมือนกันอยู่ ข้อจำกัดนี้จะบอกให้ทราบว่า เราอาจจะเลือกทำการดำเนินงานหนึ่งได้บนเซตของเครื่องจักร (M_j) ที่กำหนดให้เท่านั้นจากจำนวนของเครื่องจักรที่ขนานกันอยู่ทั้งหมด (m) ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากถ้าเราเลือกทำการดำเนินงานต่างๆ บนเครื่องจักรที่มีอัตราการผลิตที่สูงกว่า แต่การเลือกเช่นนี้อาจจะทำให้เกิดภาระงานที่อาจจะมากเกินไปบนเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงได้
- ข้อจำกัดด้านเครื่องมือและทรัพยากร (Tooling and Resource Constraint) : ปกติแล้วการทำงานชนิดหนึ่งบนเครื่องจักรจะต้องจะต้องมีการนำเอาเครื่องมือบางอย่างเข้าใช้งานร่วมด้วย ซึ่งเครื่องมือที่นำมาใช้นี้อาจจะมีได้หลายชนิด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานประเภทงานนั้น เครื่องบางประเภทอาจจะมีข้อจำกัดในด้านความพร้อมใช้งาน (Availability) ด้วย เมื่อเครื่องจักรต้องการใช้เครื่องมือชนิดเดียวซึ่งมีอยู่ทั้งหมด R ตัว เราจะเรียกเครื่องมือชนิดนี้ว่า "ทรัพยากร (Resource)" ยกตัวอย่างเช่น ในโรงงานแห่งหนึ่งมีคนงานจำนวน R คนที่ได้รับการฝึกอบรมให้สามารถใช้งานเครื่องซีเอ็นซีเครื่องหนึ่งได้ ดังนั้นถ้ามีงานเข้ามาที่เครื่องซีเอ็นเอ็นเครื่องนี้ งานจะต้องคอยอยู่ที่เครื่องซีเอ็นเอ็นจนกระทั่งมีคนงานหนึ่งคนจาก R คนว่างจากงานอื่น ดังนั้นการจัดตารางในที่นี้จะต้องคำนึงถึงความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรและเครื่องมือ (ทรัพยากร) ด้วย
- ข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ (Material-Handling Constraint) : ในระบบผลิตสมัยใหม่ส่วนมากจะใช้อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุบางชนิด ในการขนถ่ายชิ้นงานจากสถานีงานแห่งหนึ่งไปสู่อีกแห่งหนึ่งถ้าหากว่าอุปกรณ์ขนถ่ายที่ใช้เป็นแบบอัตโนมัติ จะทำให้เราสามารถหาเวลาในการดำเนินงานขนถ่ายวัสดุที่แน่นอนได้ เราพบว่าระบบขนถ่ายวัสดุจะมีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับกระบวนการผลิต ดังนั้นการออกแบบให้กระบวนการผลิตมีการทำงานที่ประสานกับระบบขนถ่ายวัสดุ จะทำให้ระบบการผลิตโดยรวมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนั้นแล้วระบบขนถ่ายวัสดุอาจจะเป็นตัวกำหนดจำนวนของช่องว่างที่พร้อมใช้งานในบัฟเฟอร์ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดข้อจำกัดในเรื่องจำนวนของงานระหว่างทำ (WIP) ที่สามารถมีอยู่ในระบบได้อีกด้วย
- ข้อจำกัดด้านพื้นที่จัดเก็บและเวลารอคอย (Storage Space and Waiting Time Constraint) : ระบบผลิตส่วนมาก จะมีจำนวนของพื้นที่จัดเก็บที่พร้อมใช้งานสำหรับการจัดเก็บ WIP รวมทั้งสินค้าสำเร็จรูปที่ค่อนข้างจำกัด ข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่จัดเก็บนี้จะมีความสำคัญอย่างมากในกรณีที่โรงงานผลิตชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ และยังอาจจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตบนของจำนวนและเวลาคอยของงานที่จะไหลเวียนอยู่ในระบบได้อีกด้วย

- ข้อจำกัดด้านการจัดตารางกำลังพล (Personnel Scheduling Constraint) : มีข้อจำกัดมากมายในการจัดตารางกำลังพลและการกำหนดกะให้กับพนักงาน ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบที่ว่าพนักงานคนหนึ่งจะต้องทำงานติดกันเป็นระยะเวลาหนึ่ง (5 วัน) แล้วถึงจะได้หยุดพักผ่อน (2 วัน) เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วยังมีอีกหลายวิธีที่จะกำหนดกะและหมุนเวียนกะของการทำงานให้กับพนักงานแต่ละคน เช่น ในโรงพยาบาลแห่งหนึ่งอาจจะกำหนดว่า พยาบาลหนึ่งคนจะต้องอยู่เวรดึกอย่างน้อย 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นต้น
- การผลิตสู่สต็อกและการผลิตตามคำสั่งซื้อ (Make-to-Stock and Make-to-Order) : โรงงานแห่งหนึ่งอาจจะเลือกใช้นโยบายการผลิตแบบผลิตสู่สต็อก เนื่องจากความต้องการของผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่และผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของการเสื่อมหรือแฟชั่น ชิ้นงานที่มีการผลิตสู่สต็อกนี้จะมีกำหนดส่งมอบแบบหลวมๆ การตัดสินใจจะเกี่ยวข้องกับขนาดรุ่น (Lot Size) ที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องมีการถ่วงดุลระหว่างค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องและค่าใช้จ่ายในการถือครองพัสดุคงคลังเอาไว้ ในทางตรงกันข้าม ถ้าจำนวนและกำหนดส่งมอบถูกกำหนดโดยลูกค้าแล้ว การผลิตแบบนี้จะกลายเป็นการผลิตตามคำสั่งซื้อ ซึ่งโดยมากแล้วสินค้าประเภทนี้จะเป็นสินค้าแฟชั่นและมีความต้องการที่ไม่แน่นอน การตัดสินใจในกรณีนี้จะเกี่ยวข้องกับการกำหนดตารางการผลิตที่ดีที่สุด เพื่อที่จะทำให้สามารถส่งมอบสินค้าได้ตามกำหนดที่สัญญาไว้กับลูกค้า
- การแทรกงาน (Preemption) : ในขณะที่กำลังทำงานอย่างหนึ่งอยู่แล้วมีเหตุการณ์บางอย่างเกิดขึ้น ทำให้เราต้องหยุดงานที่กำลังทำอยู่เพื่อไปทำงานใหม่แทน เช่น มีงานด่วนที่มีความสำคัญมากกว่าเข้ามาที่เครื่องจักร เป็นต้น เราเรียกงานที่ถูกเอาออกจากเครื่องจักรนี้ว่า “งานที่ถูกแทรก (Preempted Job)” การแทรกงานมีได้ 2 รูปแบบหลักคือ “การแทรกงานแบบต่องานที่ค้างได้ (Preempt Resume)” จะเกิดขึ้นเมื่อการดำเนินงานต่างๆ ที่ได้ทำไปแล้วกับงานที่ถูกแทรกไม่สูญเสียไปเมื่อนำงานชิ้นนั้นกลับมาทำใหม่บนเครื่องจักรเครื่องเดิมหรือเครื่องจักรใหม่ที่ขนานกันอยู่ นั่นคือเราจะสามารถทำงานต่อจากที่เราได้ทำค้างเอาไว้ก่อนที่จะถูกแทรกงานได้เลย ยกตัวอย่างเช่น ทำการบ้านอยู่แล้วเพื่อนชวนไปดูหนังหลังจากดูหนังเสร็จก็สามารถทำการบ้านที่เหลือค้างไว้ก่อนหน้านี้ต่อได้เลย เป็นต้น รูปแบบที่สองคือ “การแทรกงานแบบเริ่มต้นใหม่หมด (Preempt Repeat)” จะเกิดขึ้นในกรณีที่เราต้องเริ่มต้นทำงานที่ถูกแทรกนั้นใหม่ทั้งหมดทุกครั้งที่มีการแทรกงานเกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะงานที่ได้ทำมาก่อนหน้าที่จะถูกแทรกนี้จะสูญหายไปทั้งหมด จะยกตัวอย่างเช่น การฟอร์แมตฮาร์ดดิสก์แล้วเกิดไฟฟ้าดับขึ้น ทำให้เราต้องเริ่มต้นการฟอร์แมตใหม่อีกครั้ง เป็นต้น
- การแยกงาน (Job Splitting) : การแยกงานจะเกิดขึ้นในกรณีที่งานๆ หนึ่งซึ่งประกอบด้วยหลายรุ่นหรือหลายชิ้นงาน ถูกแยกไปทำบนเครื่องจักรหลายเครื่องพร้อมกัน การแยกงานนี้มี

ส่วนคล้ายคลึงกันกับการแทรกงาน แต่ทว่าการแยกงานจะมีความเป็นทั่วไปมากกว่า เพราะว่างานๆ หนึ่งสามารถถูกแบ่งได้หลายงานย่อย ซึ่งสามารถที่จะถูกดำเนินการได้บนเครื่องจักรหลายขนานหลายเครื่องที่เวลาเดียวกัน

- การผลิตซ้อนขั้นตอน (Lap Phasing) : การผลิตซ้อนขั้นตอนเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการแยกงานซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีงาน 1 รุ่นที่ถูกดำเนินการอยู่ในระบบผลิตแบบไหลเลื่อน ซึ่งลำดับที่ของเครื่องจักรที่แต่ละชิ้นงานจะต้องผ่านการเรียงจากน้อยไปหามาก หลังจากที่งานชิ้นหนึ่งในรุ่นนี้ถูกทำเสร็จที่ขั้นตอนหนึ่งแล้ว งานชิ้นนี้ก็สามารถที่จะถูกส่งไปเพื่อเริ่มงานที่ขั้นตอนถัดไปได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องรอให้งานทั้งรุ่นทำเสร็จเรียบร้อยก่อน
- การเสีย (Breakdown) : เครื่องจักรเสีย หมายถึง สภาวะที่เครื่องจักรไม่พร้อมใช้งาน เวลาที่ใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองการเสียของเครื่องจักรอาจจะเป็นแบบคงที่ (เช่น การบำรุงรักษาเครื่องจักรตามเวลาที่ได้กำหนดไว้ในแผน) หรือแบบสุ่ม (เช่น การเสียของเครื่องจักรอย่างกระทันหัน หรือไฟฟ้าดับ) ก็ได้ ในกรณีเครื่องจักรขนาน จำนวนของเครื่องจักรที่พร้อมใช้งานขณะใดขณะหนึ่งจะเป็นฟังก์ชันของเวลา
- การสลับตำแหน่ง (Permutation) : ข้อจำกัดนี้อาจจะเกิดขึ้นกับระบบผลิตแบบไหลเลื่อน ซึ่งแถวคอยที่อยู่หน้าเครื่องจักรจะมีการจัดลำดับแบบเข้าก่อนออกก่อน (FIFO) หมายความว่าลำดับหรือการสลับตำแหน่ง (Permutation) ของงานในแถวคอยของเครื่องจักรเครื่องแรกจะเป็นตัวกำหนดลำดับของงานในแถวคอยของเครื่องจักรเครื่องอื่นๆ ที่อยู่ถัดไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เครื่องจักรเครื่องอื่นๆ ในระบบจะมีลำดับของงานบนแถวคอยเหมือนกับเครื่องจักรเครื่องแรกทุกประการ
- การบล็อก (Blocking) : การบล็อกเป็นปรากฏการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบผลิตแบบไหลเลื่อนหรือระบบผลิตแบบตามงานที่มีบัฟเฟอร์ หรือที่ว่างในแถวคอยเป็นจำนวนจำกัดระหว่างเครื่องจักร 2 เครื่องที่ต้องส่งชิ้นงานให้กัน สถานการณ์ที่ทำให้เกิดการบล็อกก็คือ ที่ขณะใดขณะหนึ่งบัฟเฟอร์ของของเครื่องจักรที่เป็นผู้รับชิ้นงานเกิดเต็มขึ้น อาจจะสืบเนื่องมาจากอัตราการผลิตที่ช้ากว่าหรือเครื่องจักรเสียก็ได้ จึงทำให้เครื่องจักรที่เป็นผู้ส่งชิ้นงานไม่สามารถที่จะถ่ายชิ้นงานที่เพิ่งทำเสร็จให้ได้ ชิ้นงานที่เพิ่งทำเสร็จนี้ก็จะต้องค้างอยู่ในเครื่องที่อยู่ต้นน้ำ ทำให้เครื่องจักรที่อยู่ต้นน้ำไม่สามารถทำงานอื่นต่อไปได้ ในบางครั้งเราเรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า "การบังคับให้เสีย (Forced Down)" ได้เช่นกัน ในกรณีเช่นนี้ถึงแม้ว่าเครื่องจักรอยู่ในสถานะพร้อมใช้งานก็ตาม แต่ทว่าไม่สามารถทำงานใหม่ตามที่ต้องการได้ จึงเสมือนกับว่าเป็นการบังคับให้เครื่องจักรหยุดทำงานนั่นเอง การบล็อกนี้จะเกิดขึ้นมากกับสายการผลิตที่มีบัฟเฟอร์ จำนวนน้อยหรือเท่ากับศูนย์ และ มีการทำงานที่ขาดความสอดคล้องกัน (Synchronize)

- การไม่คอย (No Wait) : ปรากฏการณ์ไม่คอยนี้อาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ซึ่งงานไม่สามารถที่จะหยุดคอยระหว่างเครื่องจักรได้ เพราะอาจจะทำให้คุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตมานั้นไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือเกิดการชำรุดขึ้นได้ ดังนั้นเราอาจจะต้องหน่วงเวลาเริ่มต้นของงานที่เครื่องจักรแรก เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่างานสามารถไหลผ่านสายการผลิตทั้งสายได้โดยไม่มีการหยุดคอยที่เครื่องจักรเครื่องใดเลย ตัวอย่างเช่น เราจะไม่ยอมให้แผ่นเหล็กในโรงรีดเหล็กหยุดคอยที่เครื่องจักรใดๆ ระหว่างการรีดร้อน เพราะว่าจะทำให้แผ่นเหล็กเกิดการเย็นตัวลงได้
- การเวียนซ้ำ (Recirculation) : การเวียนซ้ำอาจจะเกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบตามสั่งหรือระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ซึ่งงานอาจจะเวียนกลับมาทำซ้ำบนเครื่องจักรหรือสถานีงานแห่งหนึ่งเกินกว่าหนึ่งครั้งขึ้นไป

2.6 วัตถุประสงค์และตัววัดสมรรถนะ

เราสามารถประเมินประสิทธิภาพของตารางที่จัดขึ้น ได้โดยพิจารณาจากผลรวมของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานทั้งหมด ซึ่งผลรวมนี้จะเป็นข้อมูลแบบมิติเดียว เรียกว่า "ตัววัดสมรรถภาพ (Measure of Performance)" ส่วนคำว่า "วัตถุประสงค์ (Objective)" ของการจัดตารางจะหมายถึง เป้าหมายของตัววัดสมรรถภาพที่ผู้จัดตารางต้องการที่จะให้เกิดขึ้น เช่น การหาค่าที่มากที่สุด (Maximize) หรือการหาค่าที่น้อยที่สุด (Minimize) ของตัววัดสมรรถภาพนั่นเอง มีวัตถุประสงค์เป็นจำนวนมากที่มีความสำคัญต่อการจัดตาราง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

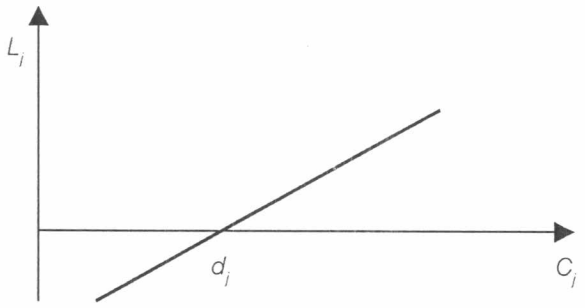
- วัตถุประสงค์ด้านปริมาณการผลิต (Throughput Related Objective) : บริษัทจำนวนมากให้ความสำคัญกับปริมาณผลผลิตเป็นอย่างมาก และผู้บริหารของบริษัทส่วนมากจะวัดว่าบริษัทมีผลการดำเนินงานในด้านนี้ดีมากน้อยเพียงใด ปริมาณผลผลิตในที่นี้อาจจะเทียบเท่าได้กับอัตราการผลิตซึ่งโดยมากจะวัดได้จากเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของกระบวนการ (เครื่องจักรที่มีความสามารถในการทำงานต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอุปสงค์ที่ต้องการ) ดังนั้นการทำให้เกิดปริมาณผลผลิตมากที่สุด (Maximize Throughput) จะหมายถึงการทำให้เครื่องจักรที่เป็นคอขวดของกระบวนการมีปริมาณของผลผลิตมากที่สุดนั่นเอง วัตถุประสงค์เช่นนี้สามารถทำให้เกิดขึ้นได้หลายวิธีด้วยกัน ประการแรก ผู้จัดตารางต้องพยายามให้แน่ใจว่าเครื่องจักรที่เป็นคอขวดนี้ไม่มีการเดินเปล่า ซึ่งทำได้โดยการป้อนงานให้กับแถวคอยของเครื่องจักรนี้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีงานอยู่ในแถวคอยหน้าเครื่องจักรนี้เสมอ ประการที่สอง ถ้าเครื่องจักรที่เป็นคอขวดมีการทำงานแบบเวลาปรับตั้งเครื่องขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้าแล้ว ผู้

จัดตารางจะต้องจัดลำดับของงานให้ผลรวมของเวลาปรับตั้งเครื่องทั้งหมดที่ค่าน้อยที่สุด ตัวอย่างของวัตถุประสงค์ด้านปริมาณผลผลิตที่สำคัญคือ

- เวลาไหลของงาน (Flow Time) : เวลาไหลของงานจะหมายถึงระยะเวลาทั้งหมดที่งานอยู่ในระบบ เขียนแทนด้วย $F_j = C_j - r_j$ เวลาไหลของงานนี้จะเป็นตัววัดความสามารถในการตอบสนองต่อแต่ละอุปสงค์ (Demand) ของระบบ นอกจากนั้นยังสะท้อนให้เห็นถึงเวลาที่แต่ละงานต้องคอยในระบบ ตั้งแต่งานนั้นเข้ามาสู่ระบบจนกระทั่งออกจากระบบอีกด้วย การทำให้ค่าเวลาไหลเฉลี่ยของงาน (Average Mean Flow Time) มีค่าน้อยที่สุดจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการทำให้ค่าผลรวมของเวลาเสร็จ (Sum of Completion Time) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} C_j$ และ วัตถุประสงค์ที่กล่าวมานี้ ยังสมมูลกับการทำให้จำนวนเฉลี่ยของงานในระบบมีค่าน้อยที่สุดด้วย
- เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) : เวลาปิดงานจะมีความสำคัญเมื่องานที่นำมาจัดตารางมีจำนวนจำกัด เขียนแทนด้วย $C_{max} = max\ (C_1, C_2, ..., C_n)$ ซึ่งหมายความถึงเวลาที่ระบบทำงานชิ้นสุดท้ายเสร็จสิ้น เวลาปิดงานมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิด กับวัตถุประสงค์ด้านปริมาณผลผลิต นั่นคือ การจัดตารางเพื่อทำให้เวลาปิดงานของระบบมีค่าน้อยที่สุดจะส่งผลให้เกิดการทำงานก่อให้เกิดปริมาณผลผลิตมากที่สุดด้วย นอกจากนั้นแล้วยังทำให้เกิดการใช้งานเครื่องจักรอย่างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของระบบ

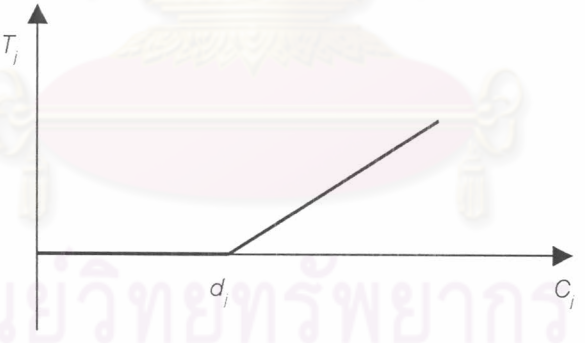
- วัตถุประสงค์ด้านกำหนดส่งมอบ (Due-Date Related Objectives) : มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญเป็นจำนวนมากที่มีความเกี่ยวข้องกับกำหนดส่งมอบ กล่าวคือ

- เวลาสาย (Lateness) : เวลาสายของงานเขียนแทนด้วย $L_j = C_j - d_j$ ถ้างานใดมีค่า L_j เป็นบวก หมายความว่างานนั้นสาย แต้ถ้างานใดมีค่าเป็น L_j เป็นลบ แสดงว่างานนั้นทำเสร็จก่อนกำหนด และถ้างานใดมีค่า L_j เท่ากับ 0 หมายความว่า งานนั้นทำเสร็จตามกำหนดส่งมอบพอดี รูปที่ 2.11 แสดงฟังก์ชันค่าปรับ (Penalty Cost) ของเวลาสาย



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันค่าปรับของเวลาสาย

- เวลาสายสูงสุด (Maximum Lateness) : เวลาสายสูงสุดเขียนแทนด้วย $L_{max} = max (L_1, L_2,.....,L_n)$ การทำให้เวลาสายสูงสุดมีค่าน้อยที่สุด $(min\ L_{max})$ จะหมายถึงการทำให้เวลาสายของงานที่แย่ที่สุด (สายมากที่สุด) ในระบบมีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง
- เวลาล่าช้า (Tardiness) : เวลาล่าช้าของงานเขียนแทนด้วย $T_j = max (C_j - d_j, 0) = max (L_j, 0)$ (ดูรูป 2.12 แสดงฟังก์ชันค่าปรับของเวลาล่าช้า) ข้อแตกต่างระหว่างเวลาล่าช้ากับเวลาสายก็คือ เวลาล่าช้าจะไม่เคยเป็นลบ อย่างน้อยที่สุดจะมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีนี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือผลรวมของเวลาล่าช้าทั้งหมด ซึ่งเขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} T_j$



รูปที่ 2.12 ฟังก์ชันค่าปรับของเวลาล่าช้า

- เวลาล่าช้าทั้งหมดที่ถ่วงน้ำหนัก (Total Weighted Tardiness) : สมมติว่าแต่ละงานมีความสำคัญต่างกันในด้านของความล่าช้าที่เกิดขึ้น นั่นคือเราจะให้น้ำหนักมากกับงานที่มีความสำคัญมาก เช่น เราจะให้น้ำหนักมากกับงานที่สั่งซื้อโดยลูกค้าประจำ ลูกค้าที่มีจำนวนการสั่งซื้อเป็นจำนวนมาก หรือลูกค้าที่มีการสั่งซื้อเป็นมูลค่ามาก เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่จะนำมาใช้ก็คือ เวลาล่าช้าทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} w_j T_j$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- จำนวนงานล่าช้า (Number of Tardy Jobs) : ในบางครั้งเราอาจจะต้องการวัดจำนวนของงานที่ล่าช้ามากกว่าระยะเวลาของงานที่ล่าช้า ซึ่งเขียนแทนด้วย $U_j = 1$ เมื่อ $C_j > d_j$ และ $U_j = 0$ ในกรณีนอกเหนือจากนั้น ในกรณีนี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่จะนำมาใช้ก็คือจำนวนของงานล่าช้าซึ่งเขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} U_j$
- จำนวนงานล่าช้าที่ถูกถ่วงน้ำหนัก (Weighted Number of Tardy Jobs) : ในกรณีที่การล่าช้าของงานแต่ละงานมีความสำคัญไม่เท่ากัน เราอาจจะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือจำนวนงานที่ล่าช้าทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} w_j U_j$ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการวัดค่าสมรรถนะของการดำเนินงานตัวนี้จะทำได้ง่ายมาก

2.7 สมมติฐานสำหรับแบบจำลองเครื่องจักรเดี่ยว

ปัญหาการจัดลำดับแบบบริสุทธิ์ (Pure Sequencing Problem) เป็นปัญหาการจัดตารางประเภทหนึ่ง ซึ่งการเรียงลำดับของงานจะเป็นการตัดสินใจเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่ใช้ในการกำหนดตาราง ปัญหาการจัดลำดับที่ง่ายที่สุดก็คือ ปัญหาการจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยว (Single Machine) ถึงแม้ว่าปัญหานี้จะเป็นปัญหาที่ค่อนข้างง่ายในการพิจารณา แต่ทว่าปัญหาพื้นฐานอย่างเช่นกรณีเครื่องจักรเดี่ยวนี้มีความสำคัญอย่างมากในทางปฏิบัติเช่นกัน กล่าวคือ

a. ปัญหาเครื่องจักรเดี่ยวมีประโยชน์อย่างมากต่อกระบวนการเรียนรู้ และเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาปัญหาการจัดตารางที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในอนาคต กล่าวคือ เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้สำหรับเครื่องจักรเดี่ยวนี้ เป็นแบบจำลองที่ค่อนข้างง่าย ทำให้เราสามารถเรียนรู้ ถึงกลไกในการหาคำตอบ โดยวิธีการที่หลากหลายได้กับหลายตัววัดสมรรถนะ ดังนั้นแบบจำลองสำหรับเครื่องจักรเดี่ยวจึงเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับการจัดตาราง ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการจัดตาราง และเป็นพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับระบบที่ซับซ้อนขึ้นในอนาคต

b. ในทางปฏิบัติ ปัญหาการจัดตารางสำหรับระบบที่ซับซ้อน อาจจะถูกแยกย่อยออกเป็นปัญหาเครื่องจักรเดี่ยวหลายปัญหาที่เป็นอิสระต่อกัน และเมื่อแก้ปัญหาย่อยเหล่านี้ทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำคำตอบที่ได้ทั้งหมดมาประกอบรวมเข้าด้วยกัน เพื่อจะทำให้ทราบถึงคำตอบของระบบใหญ่ ตัวอย่างเช่น ในระบบผลิตที่ซับซ้อนแห่งหนึ่งที่มีเครื่องจักรที่เป็นคอขวดอยู่เครื่องหนึ่ง การวิเคราะห์เครื่องจักรเดี่ยวเครื่องนี้อาจจะทำให้เราทราบถึงคุณสมบัติต่างๆ ของระบบที่ต้องการก็ได้นอกจากนั้นแล้วการจัดตารางเครื่องจักรอื่นในระบบก็จะขึ้นกับเครื่องจักรคอขวดนี้อีกด้วย

ปัญหาเครื่องจักรเดี่ยวแบบพื้นฐานจะมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. เซตของงาน n งาน ที่แต่ละงานมี 1 การดำเนินงาน ซึ่งพร้อมให้เครื่องจักรดำเนินการได้ที่เวลา $t = 0$ หรือเวลาเริ่มต้นของการจัดตารางนั่นเอง ($r_j = 0$ สำหรับทุกงาน)
2. เวลาปรับตั้งเครื่องจะไม่ขึ้นกับลำดับของงานที่ทำก่อนหน้า และเวลาปรับตั้งเครื่องนี้จะถูกรวมอยู่กับเวลาปฏิบัติงาน (Processing Time) เรียบร้อยแล้ว
3. คุณสมบัติต่างๆ ของงานทราบอยู่ล่วงหน้าแล้ว
4. เครื่องจักรมีความพร้อมใช้งานตลอดเวลา (ไม่มีเครื่องจักรเสียในขณะปฏิบัติงาน) และไม่ยอมให้มีการเดินเท้าเปล่าเมื่อมีงานมาคอยอยู่
5. เมื่อมีการปฏิบัติงานเริ่มขึ้นบนชิ้นงานใดๆ จะไม่ยอมให้มีการแทรกงานเกิดขึ้น

ภายใต้เงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า การเรียงลำดับของ n งานจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสลับตำแหน่งของงานที่อยู่ตำแหน่งที่ 1, 2, ..., n ดังนั้นจำนวนทั้งหมดของคำตอบที่เป็นไปได้ สำหรับปัญหาการจัดตารางเครื่องจักรเดี่ยวแบบพื้นฐานก็คือ $n!$ ซึ่งก็คือจำนวนของการสลับตำแหน่งของ n งานที่แตกต่างกันทั้งหมดนั่นเอง และเมื่อใดก็ตามที่เราสามารถจัดตารางได้โดยการสลับตำแหน่งของตัวเลขจำนวนเต็มเช่นนี้ เราจะเรียกตารางแบบนี้ว่า "ตารางที่เกิดจากการสลับตำแหน่ง (Permutation Schedule)" ตัวอย่างเช่น มีงาน $n = 3$ งาน ที่ต้องนำมาจัดตาราง จำนวนของตารางที่สามารถสร้างขึ้นได้ทั้งหมดเท่ากับ $3! = 6$ ซึ่งหมายถึงงานที่ถูกเรียงลำดับ 1,2,3; 1,3,2; 2,1,3; 2,3,1; 3,1,2 และ 3,2,1 เป็นต้น

ทฤษฎีที่ 2.1: (Baker)

สำหรับปัญหาเครื่องจักรเดี่ยวแบบพื้นฐาน การจัดตารางโดยปราศจากการแทรกเวลาเดินเปล่าให้กับเครื่องจักรจะเป็นเซตเด่น

ทฤษฎีที่ 2.2: (Baker)

สำหรับปัญหาเครื่องจักรเดี่ยวแบบพื้นฐาน การจัดตารางโดยปราศจากการแทรกงานจะเป็นเซตเด่น

ผลของทฤษฎีที่ 2.1 และ 2.2 ก็คือ สมมติฐานข้อที่ 4 (การเดินเครื่องเปล่า) และ 5 (การแทรกงาน) เป็นเงื่อนไขที่ไม่จำเป็นสำหรับกรณีเครื่องจักรเดี่ยว

2.8 เวลาไหลเฉลี่ยของงานและพัสดุคงคลังเฉลี่ย

ถ้าค่าใช้จ่ายที่ใช้เป็นวัตถุประสงค์ของการจัดตารางเกี่ยวข้องกับการให้บริการลูกค้า ซึ่งแสดงในรูปของเวลาที่ลูกค้าใช้อยู่ในระบบแล้ว เราอาจจะใช้ "ความรวดเร็วในการหมุนรอบ (Rapid Turnaround)" เป็นวัตถุประสงค์ของการจัดตารางในที่นี้ แต่ถ้าค่าใช้จ่ายที่กำลังพิจารณาอยู่มีความเกี่ยวข้องกับเงินลงทุนในทรัพยากรของระบบ ซึ่งแสดงในรูปของพัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการแล้ววัตถุประสงค์ของการจัดตารางในสถานการณ์เช่นนี้ น่าจะเกี่ยวข้องกับการรักษาให้ระดับพัสดุคงคลังมีค่าต่ำ ในความเป็นจริงแล้ววัตถุประสงค์ทั้งสองที่กล่าวมานี้มีความสัมพันธ์กันโดยตรง ซึ่งความสัมพันธ์นี้สามารถแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีของแบบจำลองเครื่องจักรเดี่ยว

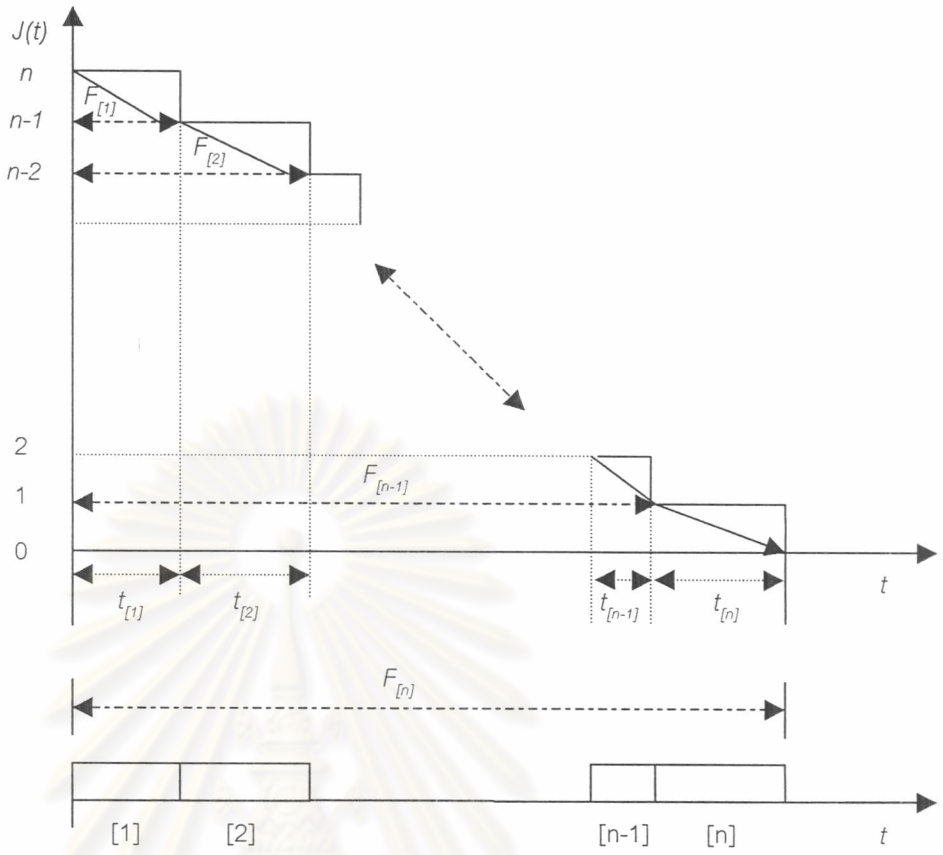
ขอนิยามคำว่า "เวลาไหลของงาน (Flow Time)" หมายถึง เวลาที่งานอยู่ในระบบ ดังนั้น การที่จะทำให้เกิดการหมุนอย่างรวดเร็วของงานขึ้น จะถูกแปรออกมาเป็นวัตถุประสงค์ของการจัดตารางคือ การทำให้เวลาไหลเฉลี่ยของงานมีค่าต่ำที่สุด (Minimize Mean Flow Time) ในทำนองเดียวกัน วัตถุประสงค์ที่เกี่ยวกับการรักษาให้ระดับพัสดุคงคลังต่ำนั้น สามารถแปรความหมายได้เป็น การทำให้จำนวนของงานเฉลี่ยในระบบมีค่าต่ำที่สุด (Minimize Mean Number of Jobs in the System)

กำหนดให้ $J(t)$ คือ จำนวนของงานที่อยู่ในระบบที่เวลา t และให้ $\bar{J}$ คือจำนวนเฉลี่ยของงานที่อยู่ในระบบระหว่างช่วงเวลา $[a,b]$ โดยที่

$$\bar{J} = \frac{1}{b-a} \int_a^b J(t)\, dt$$

นั่นคือ $\bar{J}$ จะเป็นการเฉลี่ยของฟังก์ชั่น $J(t)$ ในช่วงเวลาที่กำหนดให้ ฟังก์ชัน $J(t)$ สามารถแสดงได้ด้วยกราฟดังรูปที่ 2.13

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 ฟังก์ชัน J(t)

ในการอธิบายเกี่ยวกับการจัดตารางโดยการสลับตำแหน่งของงานดังเช่นในกรณีนี้ จะขอใช้เครื่องหมาย "[ ]" ในการแสดงตำแหน่งการจัดเรียงของงานที่อยู่ในตาราง ตัวอย่างเช่น [3] = 5 หมายความว่า งานที่อยู่ในตำแหน่งที่ 3 ของตารางจะหมายถึงงานที่ 5 นั่นเอง

จากรูปที่ 2.13 พบว่า ที่เวลา $t = 0$ จะมี n งานที่พร้อมรอการดำเนินงานอยู่ในระบบ ดังนั้น $J(0) = n$ ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ กับค่าของ $J(t)$ จนกระทั่งงานในตำแหน่งที่ 1 เสร็จ ซึ่งจะเกิดขึ้นที่เวลา $F_{[1]} = t_{[1]}$ หลังจากนั้นค่าของ $J(t)$ ก็จะลดลงมาเหลือเท่ากับ n - 1 และ ค่าของ $J(t)$ ค่าใหม่นี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆจนกระทั่งงานที่ 2 เสร็จซึ่งจะเกิดขึ้นที่เวลา $F_{[2]} = t_{[1} + t_{[2]}$ เป็นเช่นนี้เรื่อยไป เราจะพบว่า $J(t)$ จะลดลงเป็นฟังก์ชันขั้นบันได (ขั้นละ 1 หน่วยของจำนวนงาน) ภายใต้ช่วง [0, $t_{[1]} + t_{[2]}+...+ t_{[n]}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เราจะพบว่า F_{max} มีค่าเท่ากับ $t_{[1]} + t_{[2]} +...+ t_{[n]}$ และไม่ขึ้นกับลำดับการเรียงของงานที่อยู่ในตาราง ดังนั้นสำหรับในช่วง [0,F_{max}] เมื่อพิจารณาในแนวแกนตั้งของกราฟจะพบว่า

$$\bar{J} = \frac{1}{F_{max}} \{ nt_{[1]} + (n - 1) t_{[2]} + \ldots + 2t_{[n-1]} + t_{[n]} \}$$

ซึ่งผลรวมในวงเล็บมีค่าเท่ากับพื้นที่ A ที่อยู่ใต้ฟังก์ชัน $J(t)$ ดังนั้นจะได้ว่า $\bar{J} = A / F_{max}$ แต่เราทราบว่า

$$\bar{F} = \frac{1}{n} (F_{[1]} + F_{[2]} + \ldots + F_{[n]})$$

และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.13 ในแนวนอนแล้วจะพบว่า ผลรวมในวงเล็บจะมีค่าเท่ากับ A เช่นกัน ดังนั้น $\bar{F} = A / n$ และเมื่อจัดความสัมพันธ์ของทั้งสองสมการที่กล่าวมานี้เสียใหม่ จะได้ว่า

$$A = \bar{F}n = \bar{J}F_{max}$$

เมื่อ n และ F_{max} เป็นค่าคงที่ด้วยกันทั้งคู่ ดังนั้น $\bar{J}$ ก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $\bar{F}$ ซึ่งหมายความว่าการเรียงลำดับของงานใดๆ ก็ตามที่ทำให้ค่า $\bar{F}$ มีค่าน้อยที่สุด ก็จะทำให้ $\bar{J}$ มีค่าน้อยที่สุดตามมาด้วย

การเรียงลำดับของงานเปรียบเสมือนการสร้างเส้นทางเดินบนกราฟ $J(t)$ จากจุด $(0,n)$ ไปยังจุด $(F_{max}, 0)$ เส้นทางนี้จะประกอบด้วย n เวคเตอร์ ที่แต่ละเส้นมีความชัน $-1/t_j$ จากความสัมพันธ์ของ $\bar{F} = A / n$ ถ้าต้องการที่จะทำให้ $\bar{F}$ มีค่าน้อยที่สุด วิธีการก็คือ เราจะต้องพยายามทำให้พื้นที่ A มีค่าน้อยที่สุดก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการวางงานที่มีความชันมากที่สุดไว้ในตำแหน่งแรกก่อน แล้วค่อยตามด้วยงานที่มีความชันน้อยกว่าในตำแหน่งถัดออกมาเรื่อยๆ การเรียงลำดับแบบนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ เราเรียงงานไว้ในแต่ละตำแหน่งโดยไม่ทำให้เวลาปฏิบัติงานของงานที่ตามมามีค่าลดลง แต่อาจจะเพิ่มขึ้นหรือเท่าเดิมได้ การจัดลำดับของงานในลักษณะนี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อว่า "การจัดลำดับแบบเวลาปฏิบัติงานน้อยที่สุด" 0(Shortest Processing Time, SPT) ซึ่งในหนังสือบางเล่มอาจจะเรียกว่า "การจัดลำดับแบบเวลาดำเนินการน้อยที่สุด" (Shortest Operation Time, SOT) ก็ได้

ทฤษฎีที่ 2.3: (Baker)

เวลาไหลเฉลี่ยของงาน $(\bar{F})$ จะมีค่าน้อยที่สุดโดยการจัดลำดับแบบ SPT ซึ่งทำได้โดยการเรียงลำดับของงานให้มี $t_{[1]} \leq t_{[2]} \leq \ldots \leq t_{[n]}$

- การจัดลำดับแบบ SPT จะทำให้ $\bar{J}$ และ $\bar{F}$ มีค่าน้อยที่สุด โดยพิจารณาจากเงื่อนไขของความสัมพันธ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

- ถ้ากำหนดให้เวลาคอย (Waiting Time) ของงาน j คือเวลาที่งาน j ใช้ในระบบก่อนที่จะเริ่มการปฏิบัติงาน ดังนั้นเราจะสามารถพิสูจน์ได้ว่า การจัดลำดับแบบ SPT จะทำให้เวลาคอยมีค่าน้อยที่สุด
- การจัดลำดับแบบ SPT จะทำให้เวลาคอยมากที่สุด (Maximum Waiting Time) มีค่าน้อยที่สุด
- ถึงแม้ว่าการจัดลำดับแบบ SPT จะไม่ได้ใช้ข้อมูลที่เกี่ยวกับเวลาส่งมอบของงานเลย แต่ทว่าการจัดลำดับแบบนี้ จะช่วยทำให้วัตถุประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบบางชนิดมีค่าดีที่สุดได้อีกด้วย

นอกจากนี้ ยังมีทฤษฎีที่สำคัญบางประการเกี่ยวกับกฎ SPT และ EDD ซึ่งเป็นกฎการจัดลำดับที่มีความสำคัญอย่างมากในทางปฏิบัติ

ทฤษฎีที่ 2.9: (Baker)

ถ้าการจัดลำดับแบบ EDD ทำให้เกิดเวลาล่าช้าไม่เกิน 1 งานแล้ว ตารางที่ได้จากการจัดลำดับนี้จะมี $\overline{T}$ ต่ำที่สุด

ทฤษฎีที่ 2.10: (Baker)

ถ้าทุกงานมีเวลาส่งมอบเท่ากันแล้วการจัดลำดับแบบ SPT จะทำให้เวลาล่าช้าเฉลี่ย ($\overline{T}$) ต่ำที่สุด

ทฤษฎีที่ 2.11: (Baker)

ถ้าไม่สามารถจัดลำดับของงานให้มีงานใดงานหนึ่งเพียง 1 งานเสร็จทันตามกำหนดส่งมอบได้เลยแล้ว การจัดลำดับแบบ SPT จะทำให้ $\overline{T}$ ต่ำที่สุด

ทฤษฎีที่ 2.12: (Baker)

ถ้าใช้กฎ SPT จัดลำดับงานแล้วทำให้งานทั้งหมดเกิดการล่าช้า ในกรณีนี้จะทำให้ $\overline{T}$ ต่ำที่สุด

2.9 แบบจำลองเครื่องจักรขนาน

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า กระบวนการในการจัดตารางนั้นประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การจัดสรรทรัพยากร (Resource Allocation) และการลำดับงาน (Sequencing) เนื่องจากก่อนหน้านี้แบบจำลองที่กล่าวถึงคือ แบบจำลองเครื่องจักรเดี่ยว ซึ่งจะมีทรัพยากรที่ใช้งานอยู่ในระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพียงตัวเดียวเท่านั้น ดังนั้นการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรงานให้กับเครื่องจักรจึงไม่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่มีทรัพยากรตัวอื่นให้เลือก และการจัดลำดับงานจึงเป็นการตัดสินใจเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะทำให้สมรรถนะของการจัดตารางดีขึ้นได้ แต่ทว่าเริ่มจากบทนี้เป็นต้นไป จำนวนของทรัพยากรซึ่งนำมาพิจารณาจะเพิ่มมากขึ้น (มีมากกว่า 1 ตัว) ดังนั้นแบบจำลองที่จะนำมาใช้จึงต้องเป็นแบบจำลองเชิงหลายเครื่องจักร (Multiple Machine Model) ซึ่งการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรงานให้กับทรัพยากรที่มีอยู่ก็จะเพิ่มความสำคัญมากขึ้น และทำให้เราต้องใช้ขั้นตอนหลักทั้งสองในการจัดตารางเข้ามาช่วยทำให้สมรรถนะของตารางดีขึ้น

สำหรับเครื่องจักรขนานที่เหมือนกันและงานเป็นอิสระนั้น ในการจัดตารางให้กับ ระบบใดๆ ก็ตามถ้าระบบนั้นมีเครื่องจักรที่ขนานกันอยู่ โครงสร้างของการจัดวางเครื่องจักรในลักษณะนี้ (อาจจะวางในทางกายภาพหรือในทางตรรกะก็ได้) อาจนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการจัดตารางได้ ปัญหาพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้ในการแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้เครื่องจักรขนานก็คือ ปัญหาการจัดตารางให้กับเครื่องจักรขนานที่เหมือนกันหลายเครื่อง โดยที่แต่ละงานซึ่งจะนำมาโหลดเข้าเครื่องจักรขนานเหล่านี้จะมีเพียงแค่ 1 การดำเนินงาน (Operation) เท่านั้น

สมมติว่า มีงานที่มีเพียง 1 การดำเนินงานอยู่ในระบบอยู่เป็นจำนวน n งาน และงานทุกงานมีความพร้อมทำที่เวลา $t = 0$ กำหนดให้ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักรขนานที่พร้อมทำงานและเหมือนกันทุกประการอยู่เป็นจำนวน m เครื่อง และที่เวลาใดเวลาหนึ่งแต่ละเครื่องสามารถทำงานได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ถึงตอนนี้จะขอแสดงให้เห็นว่า การตัดสินใจที่ใช้ในจัดตารางให้กับระบบซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรขนานที่มีโครงสร้างดังกล่าวจะมีผลอย่างไรบ้างต่อตัววัดสมรรถนะพื้นฐาน

2.10 เวลาไหลของงาน

เราพบว่า การขยายผลที่เกิดขึ้นในกรณีเครื่องจักรเดี่ยวให้ใช้ได้กับเครื่องจักรขนาน ในกรณีที่ตัววัดสมรรถนะคือเวลาไหลของงานนั้น จะเป็นเรื่องง่ายในกรณีของ $\overline{F}$ แต่จะมีความซับซ้อนอย่างมากในกรณีของ $\overline{F}_w$ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงกรณีของ $\overline{F}$ เท่านั้น

ในกรณีที่ เราต้องการที่จะหาค่าของ $\overline{F}$ ที่มีค่าน้อยที่สุด กำหนดให้

$t_{i[j]}$ = เวลาปฏิบัติงานของงาน ที่ j ในลำดับงานบนเครื่องจักรเครื่องที่ i

$F_{i[j]}$ = เวลาไหลของงานที่ j ในลำดับงานบนเครื่องจักรเครื่องที่ i

N_i = จำนวนของงานที่ทำบนเครื่องจักรเครื่องที่ i

ซึ่งมีฟังก์ชั่นเป้าหมาย คือ

$$\overline{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n_j} F_{i[j]} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n_j} (n_i - j + 1)\, t_{i[j]}$$

ขั้นตอน การจัดสรรงานแบบทีละงาน (One-Job-at-a-Time)

ขั้นที่ 1 สร้างลำดับงานตามกฎ SPT

ขั้นที่ 2 ให้โหลดงานลงบนเครื่องจักรที่มีภาระงานในขณะนั้นน้อยที่สุด (ถ้ามากกว่า 1 เครื่อง ให้โหลดงานลงบนเครื่องใดก็ได้) ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งงานทั้งหมดถูกโหลดหมด

ตัวอย่างการ ใช้วิธีการจัดสรรงานแบบทีละงาน

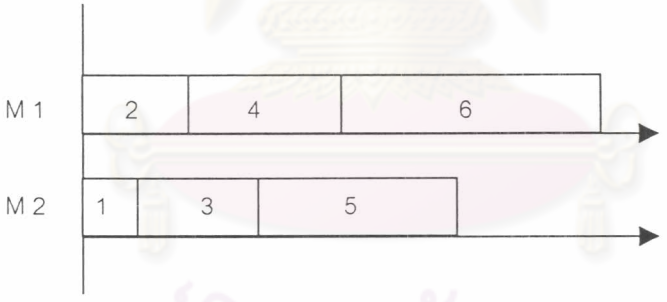
จงจัดตารางงานต่อไปนี้ลงบนเครื่องจักร 2 เครื่องเพื่อทำให้ได้เวลาไหลเฉลี่ยของงานต่ำที่สุด

งาน j	1	2	3	4	5	6
t_j	1	2	3	4	5	6

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 ใช้กฎ SPT เรียงลำดับงานได้ดังนี้คือ 1-2-3-4-5-6

ขั้นที่ 2 หลังจากนั้นโหลดงานทีละงานลงบนเครื่องที่มีภาระงานน้อยที่สุด ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ตารางที่เกิดจากการจัดสรรงาน 6 งานบน 2 เครื่องจักร แบบทีละงาน

จะเห็นได้ว่า การจัดสรรงานตามขั้นตอนนี้ จะได้คำตอบที่ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียวเท่านั้น นอกเสียจากว่า ในขณะโหลดงานมีเครื่องจักรหลายเครื่องที่มีภาระเท่ากัน ซึ่งในกรณีเช่นนี้อาจจะทำให้เกิดคำตอบที่ดีที่สุดได้หลายคำตอบ

ข้อดีของการจัดสรรงานแบบทีละงานก็คือ

1 ขั้นตอนวิธีนี้ใช้กลไกของการจ่ายงาน (Dispatching) ดังนั้นการตัดสินใจจะเกิดขึ้นเมื่อต้องการเท่านั้น (เช่น เครื่องจักรเริ่มเดินเปล่า)

2 ขั้นตอนวิธีนี้สามารถนำไปขยายผลให้ใช้กับปัญหาที่การเข้ามาของงาน มีเป็นระยะๆ หรือเป็นแบบสุ่มก็ได้

2.11 การจำลองแบบปัญหา (Simulation)

Prisker (1984) ได้อธิบายไว้ว่า เป็นวิธีการทดลองหาคำตอบโดยพิจารณาถึงผลลัพธ์ที่ได้ ถ้าหากคำตอบนั้นยังไม่เป็นที่น่าพอใจก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยลดความเสี่ยง ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ซึ่งขั้นตอนของการจำลองแบบปัญหามีดังต่อไปนี้

1. การตั้งปัญหา, การให้คำจำกัดความและการกำหนดวัตถุประสงค์ของการจำลองแบบปัญหา จะเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของการจำลองแบบปัญหามิเช่นนั้นจะทำให้เกิดความสูญเปล่าของเวลา และค่าใช้จ่ายในการจำลองแบบปัญหาและผลที่ได้จากแบบจำลองก็จะไม่สามารถใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

2. การกำหนดระบบงานที่ใช้ในการศึกษา เป็นการกำหนดระบบแบบจำลองที่อาศัยความสัมพันธ์ของตัวแปรนำเข้าและตัวแปรนำออก โดยที่ตัวแปรนำเข้าประกอบด้วยตัวแปรในการตัดสินใจ (เช่น จำนวนเครื่องจักรในปัญหาการกำหนดการผลิต) ตัวแปรนำออก (เช่นเวลาว่างของเครื่องจักร) ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (เช่น เวลาให้บริการ) และขอบเขตหรือข้อจำกัดต่างๆ (เช่น วิธีการทำงานที่เครื่องจักรหนึ่ง ณ เวลาหนึ่ง) ซึ่งแบบจำลองที่ดีควรพิจารณาให้ครอบคลุมถึงส่วนที่เป็นสาระสำคัญของระบบ เพื่อจะได้ผลลัพธ์หรือข้อสนเทศตรงกับความต้องการของผู้ตัดสินใจ

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล แบ่งได้ 3 วิธีคือ

   1.) โดยการประมาณค่าพารามิเตอร์นำเข้า สำหรับกรณีที่พารามิเตอร์เหล่านี้จะมีค่าคงที่ในระหว่างการจำลองแบบปัญหา

   2.) โดยการประมาณค่าการกระจายทางสถิติเพื่อกำหนดค่าตัวแปรสุ่มในแบบจำลอง เช่นการเก็บข้อมูลที่ได้จากการสังเกตในอดีตแล้วนำมาสร้างการแจกแจงความถี่หรือฮีสโตแกรม เป็นต้น

   3.) โดยการเก็บรวบรวมผลลัพธ์ต่างๆที่ได้จากระบบจริง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในด้านการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบกับระบบจริง

4. การพัฒนาโปรแกรมและการทวนสอบความถูกต้อง การพัฒนาแบบจำลองปัญหาอาจพัฒนาเป็นโปรแกรมภาษาทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนา เช่น ภาษาฟอร์แทรน ภาษาปาสคาล หรือภาษาซี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีภาษาคอมพิวเตอร์กึ่งสำเร็จรูปชนิดพิเศษที่ให้ความสะดวกรวดเร็วต่อการจำลองปัญหา เช่น ARENA (SIMAN), SLAM, SIMSCRIPT หรือ GPSS เป็นต้น หลังจากพัฒนาโปรแกรมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการตรวจสอบ และแก้ไขโปรแกรมให้ทำงานได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของแบบจำลองปัญหาด้วย

5. การตรวจสอบความถูกต้องและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง เป็นการพิจารณาทบทวนรูปแบบจำลองปัญหาให้เหมาะสมและสามารถที่จะใช้เป็นตัวแทนที่ดีของระบบจริงได้ ทั้งนี้รวมถึงการพิจารณาความสมเหตุสมผลของการกำหนดตัวพารามิเตอร์ตัวแปรสุ่มของการกระจายทางสถิติ และการเก็บรวบรวมข้อมูลจะต้องเป็นข้อมูลที่สะท้อนความถูกต้องของระบบได้

6. การออกแบบการทดลองและการใช้งานการจำลองแบบปัญหา ในการใช้งานแบบจำลองปัญหาจะมีการทดลองหลายๆครั้ง เพื่อให้มีการเลือกใช้ตัวแปรในการตัดสินใจชุดต่างๆ การทดลองแต่ละครั้งจะให้ผลลัพธ์ที่จะนำไปใช้เปรียบเทียบทางเลือกต่างๆนั้น โดยแต่ละผลลัพธ์จะเกิดจากการเฉลี่ยผลลัพธ์อันเนื่องมาจากการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆของตัวแปรสุ่ม สิ่งที่จะต้องระมัดระวังในการประเมินผลการเปรียบเทียบทางเลือก คือการหาค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์จากการใช้งานการจำลองแบบปัญหาแต่ละครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์โดยตัวมันเองเป็นค่าสุ่ม ดังนั้นต้องให้ความสำคัญต่อการออกแบบทางเลือกและควรจะเป็นวิธีที่เป็นระบบ การออกแบบทางเลือก โดยวิธีการออกแบบการทดลองเป็นวิธีที่เป็นระบบวิธีหนึ่ง เช่น การออกแบบโดย Factorial ซึ่งสามารถใช้การวิเคราะห์ทางสถิติประเมินผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่มีต่อระบบได้ และสามารถพิจารณาได้ว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยที่สำคัญของระบบ นอกจากนั้นการกำหนดระยะเวลาและจำนวนครั้งของการจำลองแต่ละทางเลือก จะต้องพิจารณาความพร้อมของเงินทุน และระดับความถูกต้องที่ต้องการ

7. การวิเคราะห์และประเมินผล ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองควรใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อก่อให้เกิดความเข้าใจทางการทำงานของระบบได้อย่างถูกต้องและสามารถ

ประเมินผลนโยบายทางเลือกต่างๆ นอกจากนี้การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) เพื่อก่อให้เกิดความมั่นใจในผลลัพธ์ที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

BAKER AND DZIFLINSKI (1960) แบบจำลองของการผลิตจริงบางครั้งมีเครื่องจักร 100 หรือ 1000 เครื่อง แต่จำนวนเครื่องจักรไม่มีอิทธิพลกับตัววัดผลของกฎต่าง ๆ

CONWAY (1965a) ศึกษาแบบจำลอง Job Shop อย่างง่าย อัตราการเข้ามาเป็นแบบ Exponential และการกระจายของเวลาดำเนินงานเป็นแบบ Exponential แต่ละงานจะเข้าสู่ทุก ๆ เครื่องจักรอย่างสุ่ม ในการศึกษามี 9 เครื่องจักร และมีประมาณ 9000 งาน ทำการจำลองแบบปัญหามากกว่า 30 กฎ ได้พบว่า SPT (Shortest Processing Time) ได้ผลดีสำหรับเวลาที่งานอยู่ในระบบ (Flow Time) แต่การผสมกฎ SPT กับกฎ LWKR และ SPT กับ AWINQ โดยมีการใช้น้ำหนักระหว่างกฎ SPT กับกฎอื่นที่จะได้ผลดีขึ้น แต่ไม่ได้รับประกันว่าน้ำหนักที่ได้จะถูกต้องกับปัญหาอื่น ๆ

CONWAY (1965a) กฎ SPT สามารถลด Mean Flow Time ได้ แต่จะทำให้งานบางงานคอยอยู่ในระบบนานมาก Conway ศึกษา TSPT (Truncated SPT) คล้าย SPT ธรรมดาแต่ถ้าในกรณีที่เวลาคอยของงานใดเกินค่า W การจัดเรียงงานนั้นจะเปลี่ยนมาเป็น FCFS และนอกจากนั้นยังศึกษา RSPT (Relief SPT) คือถ้ามีจำนวนแถวคอยเกินค่า J การจัดเรียงงานนั้นจะเปลี่ยนเป็น FCFS แทนผลที่ได้ทำให้กฎทั้งสองนี้ สามารถช่วยลด Flow Time ที่ยาวเกินไปของงานได้

CONWAY (1965b) ได้ทำการเปรียบเทียบกฎต่าง ๆ โดยการใช้การจำลองแบบปัญหา ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับ Mean Tardiness (ทดลองที่ Utilization = 80 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งได้ผลว่า S/OPN (Slack per operation) ได้ความแปรปรวนและเปอร์เซ็นต์ Tardiness ที่ต่ำ เมื่อ Due Date ถูกกำหนดโดยวิธี TWK

CONWAY (1965b) อธิบายวิธีของการกำหนด Due Date ดังนี้

1. Exogenously Determined

- Constant กำหนดให้มีค่าคงที่ตลอด (CON)
- Random ผู้ซื้อเป็นคนกำหนด (RAN)

2. Internally Determined

- ขึ้นอยู่กับปริมาณงานทั้งหมด (TWK)
- ขึ้นอยู่กับจำนวนขั้นตอนการทำงาน (NOP)

ซึ่ง Conway ศึกษาตัววัดผลของกฎต่าง ๆ เทียบกับ Mean Lateness และ Number of tardy job ซึ่ง SPT มีความอ่อนไหวต่อวิธีการกำหนด Due Date น้อยที่สุด แต่ถ้า Due Date ถูกกำหนดโดย TWK จะได้ผลดีสำหรับกฎต่าง ๆ จึงถือว่าวิธีการกำหนดแบบ TWK เป็นวิธีการที่ดีในการกำหนด Due Date

CARROLL (1965) ศึกษาทดลองสร้างกฎซึ่งเรียกว่า Convert ซึ่งมีพื้นฐานบน ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาคอยในการทำงาน: Projected Delay Cost (Cj) และ Operation Processing time (Ti) ซึ่งทดลองที่ Utilization = 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกฎ CONVERT มีประสิทธิภาพดีมาก

ELVERS (1973) ทดลองตัววัดผลของกฎ 10 กฎ ในการกำหนด Due Date แบบ TWK (กำหนด Due Date เป็น 3,4,5,6 และ 7 เท่าของ Total Job Processing Time) แสดงว่า SPT ดูเหมือนจะดีที่สุด เมื่อ Due Date ถูกกำหนดน้อยกว่า 7 เท่าของ Total Job Processing Time

AHMED (1993) เป็นการศึกษาใช้ Dispatching Rules ต่าง ๆ กับกรณีศึกษาที่เป็นการผลิตแบบงานชิ้น (Job Shop) โดยใช้การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์ ได้ผลว่า SPT ดีกับตัววัดผลประเภทเวลา แต่ไม่ดีสำหรับตัววัดผลที่ต้องเปรียบเทียบ Due Date แต่กฎ S/OPN จะเด่นในแง่ตัววัดผลประเภท Due Date และพบว่า ไม่มี Priority Rule ใดที่จะดีที่สุดสำหรับทุกสภาพแวดล้อม และความต้องการ

BALDWIN et al. (2000) ได้ทำการสำรวจโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมซิมูเลชั่นในยุโรปซึ่งจะพบว่าโปรแกรมในการทำซิมูเลชั่นที่เป็นที่ต้องการของผู้ทำงานด้านแบบจำลองปัญหาจะต้องการโปรแกรมที่สามารถที่จะเห็นผลของแบบจำลองและมีเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้โปรแกรมซิมูเลชั่นยังอยู่ในวงจำกัดคือจะอยู่ในแวดวงการศึกษายังไม่ได้นำไปประยุกต์ใช้ กับระบบการผลิตจริงมากนัก แต่ก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงที่ผ่านมา ทั้งนี้เนื่องมาจากมีผู้พัฒนาโปรแกรมในการเขียนแบบจำลองมากขึ้นแม้ว่าจะมีราคาค่อนข้างสูงและต้องอาศัยระยะเวลาในการศึกษาโปรแกรมเฉพาะเหล่านี้ แต่แบบจำลองสามารถที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบการผลิตทั้งในรัฐวิสาหกิจขนาดย่อมและในองค์กรขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบที่มีปัญหาที่ซับซ้อนมากๆได้เป็นอย่างดี

ยอดชาย ฐิตวรรณโณเนตร์ (2537) เป็นการศึกษาระบบการจัดตารางการผลิตประเภทการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยอาศัยการจำลองแบบปัญหา โดยใช้กฎลำดับความสำคัญ (Priority Rule) ในการจัดลำดับก่อนหลัง โดยพัฒนาโปรแกรมขึ้นมา ซึ่งตั้งชื่อว่า "SIMSHOP" ซึ่งสามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวได้

นภิสพร คืนตัก (2534) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างตารางการผลิตที่เหมาะสมในโรงงานอาหารสัตว์ โดยการจำลองแบบปัญหาเพื่อลดเวลาสูญเสียเนื่องจากการคอย ซึ่งแบบจำลองที่ได้ เมื่อนำไปใช้งานสามารถลดเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิต ลดความต้องการด้านทักษะของผู้ควบคุมการผลิต

กิจจา ตั้งกิตติวงศ์พร (2535) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับระบบการจัดการลำดับงานในการผลิต สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานโลหะแผ่น โดยวัตถุประสงค์ เพื่อจัดทำระบบฐานข้อมูลภายในโรงงาน และ จัดทำระบบการจัดลำดับงานการผลิตชิ้นส่วน สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานโลหะให้ผลมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบนี้สามารถช่วยลดความต้องการทักษะ ในการจัดลำดับงานของหัวหน้างาน ลดระยะเวลาในการวางแผนการผลิต ได้แผนการผลิต และการจัดลำดับที่สอดคล้องถูกต้องกับนโยบายการบริหาร

ศารทูล (2538) ได้นำเอาเทคนิคจำลองแบบปัญหามาใช้ในกิจกรรมที่เกี่ยวกับงานบริการด้านการสื่อสารซึ่งก็คืองานด้านโทรศัพท์นั่นเอง โดยได้ทำการจำลองแบบปัญหาในการวิเคราะห์หาอัตรากำลังคนที่เหมาะสมในการแก้เบอร์โทรศัพท์เสียตอนนอกขององค์การโทรศัพท์ ซึ่งผลจากแบบจำลองจะสรุปได้ว่า แบบจำลองปัญหาจะเป็นวิธีที่นำมาช่วยในการพิจารณาการจัดอัตรากองงานได้เป็นอย่างดี แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องขึ้นกับการคาดคะเนปริมาณการเพิ่มขึ้นของเบอร์โทรศัพท์ที่ให้บริการด้วย ซึ่งก็คือความถูกต้องของข้อมูลนั่นเอง

รจนาฎ ไกรปัญญาพงศ์ (2541) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ใช้ AGV โดยใช้การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม SIMAN โดยการพิจารณา จำนวน AGV กฎการรับงาน กฎการจัดลำดับ กฎการส่งงาน ขนาดของแถวที่คอยผลการทดลองได้ว่า ปัจจัยทุกปัจจัยมีผลกระทบต่อตัววัดผล ยกเว้น ปัจจัยด้านกฎการรับงานไม่มีผลกระทบต่อตัววัดผล ด้านจำนวนชิ้นงานในบัฟเฟอร์ส่วนกลาง และกฎที่ดีที่สุด สำหรับตัววัดผลทุกด้านคือ FSNS/FCFS/ND

2.13 สรุป

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ จะศึกษาเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิต การจำลองแบบปัญหา โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตที่ทำการศึกษามีดังนี้ คือ วิธีการจัดตารางการผลิตวิธีต่างๆ เช่น A Branch and Bound, Heuristics, Mathematical Approach, Artificial Intelligence เป็นต้น การจัดเรียงเครื่องจักร เช่น เครื่องจักรเดี่ยว เครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน เครื่องจักรขนานที่อัตราการผลิตต่างกัน การผลิตแบบไหลเลื่อน(อันเป็นลักษณะการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา) การผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น การผลิตแบบตามงาน การผลิตแบบตามสั่งยืดหยุ่น การผลิตแบบเปิด เป็นต้น ตลอดจนลักษณะสมบัติและข้อจำกัดที่บ่งบอกถึงความแตกต่างของระบบ เช่น เวลาตั้งเครื่องขึ้นกับลำดับก่อนหน้า ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง ข้อจำกัดด้านเส้นทางงาน ข้อจำกัดด้านเครื่องจักรที่เลือกได้ ข้อจำกัดด้านเครื่องมือและทรัพยากร ข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ ข้อจำกัดด้านพื้นที่จัดเก็บและเวลารอคอย ข้อจำกัดด้านการจัดตารางกำลังพล การผลิตสู่สต๊อกและการผลิตตามคำสั่งซื้อ การแทรกงาน การแยกงาน การผลิตซ้อนขั้นตอน การเสีย การสลับตำแหน่ง การบล็อก การไม่คอย การเวียนซ้ำ เป็นต้น และยังได้ศึกษาถึงวัตถุประสงค์ของการจัดตาราง เช่น วัตถุประสงค์ด้านปริมาณการผลิต วัตถุประสงค์ด้านกำหนดส่งมอบ เป็นต้น

ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการจำลองแบบปัญหา ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ ขั้นตอนของการจำลองแบบปัญหา โดยมีขั้นตอนดังนี้ การตั้งปัญหา การกำหนดระบบงานที่ใช้ในการศึกษา การเก็บรวบรวมข้อมูล การพัฒนาโปรแกรมและการทวนสอบความถูกต้อง การตรวจสอบความถูกต้องและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง การออกแบบการทดลองและการใช้งานการจำลองแบบปัญหา การวิเคราะห์และประเมินผล อีกทั้งยังได้ศึกษาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองแบบปัญหาต่างๆ ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย