บทที่ 4

ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาของการปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว

การจัดตารางการผลิต (พิภพ ลลิตาภรณ์, 2541) เป็นการจัดเตรียมตารางเวลาการทำงานให้กับทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจจะเป็นคนงาน เครื่องจักร อุปกรณ์ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ทำให้ต้องมีการจัดลำดับงานที่จะเข้าเครื่องจักรก่อนหลัง โดยวัตถุประสงค์ของการจัดลำดับงานก็จะแตกต่างกันไปตามแต่ความต้องการของผู้จัดตารางการผลิต เช่น การลดเวลาว่างของการทำงาน (Minimize Idle Time) การลดเวลาเฉลี่ยของงานที่อยู่ในระบบ (Minimize Mean Flow Time) ลดเวลาในการส่งงานไม่ทันกำหนดโดยเฉลี่ย (Minimize Mean Tardiness) ลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร (Minimize Setup Time) ฯลฯ

สำหรับการจัดตารางการผลิตเพื่อลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร จะสามารถทำได้ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตที่ใช้เครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ซึ่งสามารถใช้ทฤษฎีของ Traveling Salesman Problem (TSP) มาประยุกต์ใช้เพื่อสามารถจัดตารางการผลิตให้มีเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดได้ ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะกล่าววิธีการต่างๆในการหาจัดตารางการผลิตโดยใช้ Heuristic ที่ประยุกต์จาก TSP หนึ่งในวิธีการเหล่านี้คือวิธี Closet Unvisited City (CUC) ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมในงานวิจัยนี้

4.1 ทฤษฎี Traveling Salesman Problem

Traveling salesman problem (TSP) (Baker, 1974) เป็นแนวความคิดที่จะหาระยะทางในการเดินทางของพนักงานขายของ ซึ่งเริ่มต้นจากเมืองๆหนึ่ง แล้วเดินทางไปยังเมืองต่างๆ โดยเมืองต่างๆนี้จะไปได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นก่อนจะกลับมายังเมืองเริ่มต้น ซึ่งหากสามารถรู้ระยะทางที่สั้นที่สุดก็สามารถที่จะเดินทางโดยใช้เวลาที่สั้นที่สุด

ปัญหา TSP สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน เช่น คณิตศาสตร์ การดำเนินงานวิจัย (Operation Research) ฟิสิกส์ ชีววิทยา หรือแม้กระทั่งปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) (Reinelt, 1995) ปัญหา TSP จะจัดอยู่ในปัญหาที่มีลักษณะเป็นปัญหา NP-Hard แบบ Combinatorial Optimization (Boh, 1996) หมายถึงปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนานและเวลาในการหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียลเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสามารถหาคำตอบสำหรับปัญหาในลักษณะได้หลายคำตอบ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก) โดยปกติปัญหา NP-Hard แบบ Combinatorial Optimization สามารถมีคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งสิ้น $n!$ (n Factorial) คำตอบ เมื่อ n เท่ากับจำนวนของสิ่งที่จะนำมาเรียงลำดับ ในกรณีของปัญหา TSP จะสามารถมีคำตอบที่เป็นไปได้เท่ากับ $(n-1)!$ (n เท่ากับจำนวนของเมืองต่างๆ) เนื่องจากในปัญหา TSP นั้นจะต้องมีการวนกลับมายังจุดเดิมทำให้มีลักษณะของการจัดลำดับแบบวงกลม (Cycle) ซึ่งหากมีจำนวนเมืองที่มากจะทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนาน ปัญหา TSP สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Symmetric TSP (STSP) คือ ปัญหา TSP ที่มีระยะทางระหว่างเมืองไปกลับจะเท่ากัน ($A \rightarrow B = B \rightarrow A$) ปัญหาประเภทนี้ได้แก่ Print Circuit Board, Cutting Tool, Vehicle Routing ฯลฯ
2. Asymmetric TSP (ATSP) คือ ปัญหา TSP ที่มีระยะทางระหว่างเมืองไปกลับไม่เท่ากัน ($A \rightarrow B \neq B \rightarrow A$) ปัญหาประเภทนี้ได้แก่ Setup Dependence Time

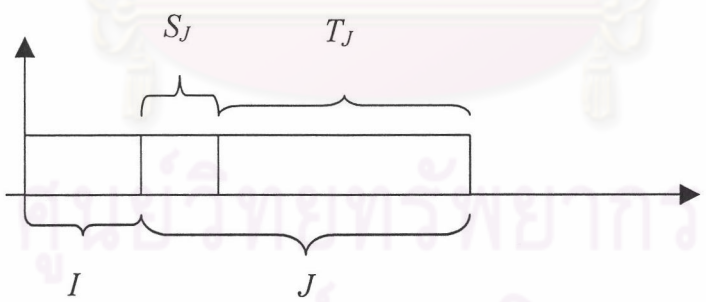
ในปัญหาของการจัดตารางการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้านั้น จะเป็นปัญหาแบบ ATSP โดยลักษณะของเมืองในปัญหาของ TSP จะเทียบได้กับจำนวนของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่จะนำมาจัดตารางการผลิต และระยะทางระหว่างเมืองก็จะเทียบได้กับระยะเวลาในการปรับตั้งระหว่างผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า ในส่วนของวิธีการค้นหาคำตอบของปัญหาประเภทนี้จะมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ คือ วิธี A Dynamic Programming Solution, A Branch and Bound Solution และ A Closet Unvisited City ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป พร้อมทั้งอธิบายขั้นตอนและวิธีคิดเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการจัดตารางการผลิต

4.2 การจัดตารางการผลิตที่มีเวลาของการปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว

โดยทั่วไปแล้วการจัดตารางการผลิตสามารถจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรตั้งแต่ 1 เครื่องขึ้นไป ซึ่งการจัดตารางการผลิตแบบใดนั้นก็จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการจากการจัดตารางการผลิตด้วย แต่การจัดตารางการผลิตที่มีเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า มักจะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาในการปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้ามักจะมีขั้นตอนในการผลิตเพียงขั้นตอนเดียว และเวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะใช้เวลาพอๆกัน เช่น การย้อมสีผ้า การผลิตสีทาบ้าน การผลิตน้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ จึงใช้การจัดตารางการผลิตเพื่อลดปัญหาการรอการผลิตจากการปรับตั้งเครื่อง

4.2.1 การจัดตารางการผลิตที่มีเวลาของการปรับตั้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มากกว่า 1 ผลิตภัณฑ์ บนเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน นอกเหนือจากเวลาในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดแล้ว สิ่งที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการจัดตารางการผลิตด้วย คือ เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร



***รูปที่ 4.1** เวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ บนเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน*

เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร คือ เวลาที่ใช้ในการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง ทำความสะอาดเครื่องจักร รวมถึงเวลาในการเดินเครื่องจักรเพื่อเตรียมความพร้อมและเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์แล้วเกิดของเสียอันเนื่องมาจากเครื่องจักรยังไม่พร้อมทำงาน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.1 สมมติว่ามีผลิตภัณฑ์ 2 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตภัณฑ์ I และ J เมื่อผลิตผลิตภัณฑ์ I

เสร็จเรียบร้อยแล้วจึงจะเริ่มผลิตผลิตภัณฑ์ J ในการผลิตผลิตภัณฑ์ J นี้เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร (S_J) และเวลาในการผลิต (T_J) ผลิตภัณฑ์ J เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ J ไม่ได้ผลิตต่อจากผลิตภัณฑ์ I เพราะเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่อยู่ก่อนหน้าด้วย

การปรับตั้งเครื่องจักรที่ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าโดยทั่วไปมักพบอยู่ในอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ประเภทเดียวแต่มีส่วนประกอบทางเคมีที่ต่างกัน เช่น สีทาบ้าน ผงซักฟอก น้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ การใช้เครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบทางเคมีที่ต่างกัน จำเป็นต้องมีการทำความสะอาดเครื่องจักรก่อนที่จะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ถัดไป เพื่อให้แน่ใจว่าส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า จะไม่ไปผสมกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตถัดไป ซึ่งอาจจะทำให้คุณสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตถัดไป และมีการเปลี่ยนแปลงจากส่วนประกอบทางเคมีที่ตกค้าง ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดเครื่องจักรในแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมักจะพบในผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้สีที่แตกต่างกันในผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกัน สูตรผลิตภัณฑ์ของผงซักฟอก การผสมสารเคมีในน้ำมันเชื้อเพลิง ฯลฯ โดยปัญหาหลักในการจัดตารางการผลิตของผลิตภัณฑ์เหล่านี้คือ ปัญหาของเวลาในการปรับตั้งเครื่อง เนื่องจากการปรับตั้งในส่วนของการทำความสะอาดจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า ส่วนเวลาในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดนั้นจะใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากจะทำการลดเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด จึงจำเป็นที่จะต้องลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อให้เครื่องจักรพร้อมในการทำงานเร็วขึ้น

การหาเวลาในการปรับตั้งเครื่องรวมของการจัดตารางการผลิตสามารถหาได้จากสมการที่ 4.1

$$X_i = \sum_{j=1}^{m-1} T(C_{(j)}, C_{(j+1)}) + T(C_{(m)}, C_{(1)}) \qquad (4.1)$$

เมื่อ X_i คือ เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรรวมจากการจัดตารางการผลิต

i คือ ลำดับที่ของคำตอบที่ได้จากการจัดตารางการผลิต (i=1,2,3,...)

m คือ จำนวนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ทำการจัดตารางการผลิต

j คือ ลำดับของผลิตภัณฑ์ในการจัดตารางการผลิต (j=1,2,3,...,m)

T คือ เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของแต่ละผลิตภัณฑ์

C คือ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตารางการผลิต C ตัวที่อยู่ข้างหน้าคือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จแล้ว ส่วน C ตัวที่อยู่ข้างหลังคือผลิตภัณฑ์ที่เริ่มทำการผลิต

ตัวอย่างเช่น ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง 4 ชนิด คือ Racing, Premium, Regular และ Leadfree มีเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 *แสดงเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า*

ผลิตภัณฑ์	Racing	Premium	Regular	Leadfree
Racing	-	30	50	90
Premium	40	-	20	80
Regular	30	30	-	60
Leadfree	20	15	10	-

หมายเหตุ เวลาในการปรับตั้งมีหน่วยเป็นนาที

ในตารางที่ 4.1 จะแสดงเฉพาะเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร ที่ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า เนื่องจากเวลาในการผลิตเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากัน จึงไม่นำมาพิจารณา นอกจากนี้การจัดตารางการผลิตยังเป็นแบบ Cyclic คือ เมื่อผลิตเชื้อเพลิงชนิดสุดท้ายเสร็จก็จะกลับมาผลิตเชื้อเพลิงชนิดแรกใหม่และทำการผลิตตามลำดับไปอย่างนี้เรื่อยๆ เนื่องจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรจะเกิดขึ้นระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในแนวตั้งของตารางที่ 4.1 จะเป็นการผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จ ส่วนในแนวนอนจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตถัดไป ตัวเลขในตารางจึงเป็นเวลาในการปรับตั้งระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ เช่น เมื่อผลิต Premium เสร็จแล้วจะผลิต Racing ต่อไป เวลาในการปรับตั้งระหว่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะเท่ากับ 40 ส่วนตัวเลขที่อยู่ในแนวของเส้นทแยงมุมจากซ้ายไปขวา (-) จะไม่มี เนื่องจากเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน จึงไม่จำเป็นต้องมีเวลาในการปรับตั้ง

จากปัญหาตัวอย่างดังกล่าวจะได้ลำดับในการจัดตารางการผลิตทั้งหมด 6 แบบ ที่มีเชื้อพลิง 4 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ

1-2-3-4-1	ใช้เวลาทั้งสิ้น	30+20+60+20 = 130
1-2-4-3-1	ใช้เวลาทั้งสิ้น	30+80+10+30 = 150
1-3-2-4-1	ใช้เวลาทั้งสิ้น	50+30+80+20 = 180
1-3-4-2-1	ใช้เวลาทั้งสิ้น	50+60+15+40 = 165
1-4-2-3-1	ใช้เวลาทั้งสิ้น	90+15+20+30 = 155
1-4-3-2-1	ใช้เวลาทั้งสิ้น	90+10+30+40 = 170

หมายเหตุ ตัวเลข 1 2 3 และ 4 จะแทนผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิดคือ Racing, Premium, Regular และ Leadfree ตามลำดับ

ลำดับในการจัดตารางผลิตที่ดีที่สุดในที่นี้คือ 1-2-3-4-1 เพราะใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดเท่ากับ 130 ซึ่งการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าบนเครื่องจักรเครื่องเดียวนั้น จะมีลักษณะเหมือนกับปัญหา TSP ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดหัวข้อ 4.1

อย่างไรก็ดีการที่จะได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะเห็นได้ว่า ต้องทำการหาลำดับในการจัดตารางการผลิตทั้งหมดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะเท่ากับ (4-1)! หรือ 6 แบบ หากจำนวน ผลิตภัณฑ์มีมากขึ้นเรื่อยๆ การหาคำตอบที่ดีที่สุดก็จะทำได้ยากขึ้น

นอกเหนือจากวิธีการข้างต้นในการหาคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว ยังมีวิธีการ Heuristic อื่นๆ ที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้ระยะเวลาในการหาน้อยลงได้

4.2.2 วิธี Heuristic ที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าบนเครื่องจักรเครื่องเดียว

วิธี Heuristic เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่คิดค้นขึ้นจากความชำนาญในการค้นหาคำตอบของผู้มีประสบการณ์ ซึ่งสามารถนำมาเขียนเป็นวิธีการต่างๆได้หลายแบบ วิธี Heuristic ที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าบนเครื่องจักรเครื่องเดียวสามารถหาคำตอบได้ 3 วิธีคือ วิธี A Dynamic Programming Solution, A Branch and Bound Solution และ A Closet Unvisited City (Baker, 1974)

4.2.2.1 A Dynamic Programming Solution

วิธี A Dynamic Programming Solution (DPS) เป็นวิธีการในการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่สามารถใช้แทบทุกปัญหาในการจัดตารางการผลิต ไม่จำเป็นจะต้องเฉพาะเจาะจงว่าต้องเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าหรือปัญหาการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น ซึ่งวิธีการในการคำนวณก็จะแตกต่างกันไปตามแต่วัตถุประสงค์และข้อจำกัดของปัญหานั้นๆ โดยคำตอบที่ได้จากวิธีการนี้ จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้

การใช้วิธี DPS ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าบนเครื่องจักรเครื่องเดียวจะมีลักษณะที่แตกต่างจากการแก้ปัญหาอื่นๆคือคำตอบที่ได้จากวิธีการนี้จะมีการเรียงลำดับกันแบบ Cyclic ที่มีการวนกลับมาทำการผลิตที่ผลิตภัณฑ์เริ่มต้น ขั้นตอนในการหาคำตอบของวิธีการนี้จะแบ่งออกเป็น n ขั้นตอน ตามจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น n ผลิตภัณฑ์ ดังนี้

1. ในขั้นตอนแรกให้กำหนดผลิตภัณฑ์เริ่มต้นในการผลิต (i_0) ซึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์ใดก็ได้ โดยจะแทนด้วย ϕ แล้วคำนวณเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรจากเวลาการปรับตั้งของ ϕ ทุกค่าที่เป็นไปได้
2. ขั้นตอนที่ 2 จะนำลำดับที่ได้จากขั้นตอนแรกมาใส่ใน { } แล้วคำนวณเวลาในการปรับตั้งจากเวลาการปรับตั้งของ { } ทุกค่าที่เป็นไปได้
3. ขั้นตอนต่อไปจะนำลำดับที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วมาใส่ใน { } แต่ลำดับภายใน { } จะสามารถสลับตำแหน่งกันได้ แล้วคำนวณเวลาในการปรับตั้งจากเวลาการปรับตั้งของ { } ทุกค่าที่เป็นไปได้ จากนั้นเลือกค่าที่น้อยที่สุดจากลำดับต่างๆไว้
4. ทำตามข้อ 3 ไปเรื่อยๆจนกระทั่ง เหลือการเรียงลำดับเพียงแบบเดียว แล้วคำนวณหาเวลาการปรับตั้งจากเวลาการปรับตั้งของ { } ทุกค่าที่เป็นไปได้ จากนั้นเลือกค่าที่น้อยที่สุดไว้
5. เลือกลำดับที่ทำให้เกิดเวลาการปรับตั้งที่น้อยที่สุด โดยดูลำดับย้อนกลับไปทีละขั้นตอน จนครบทุกลำดับในการจัดตารางการผลิต

จากตัวอย่างของปัญหาในตอนต้น จะสามารถที่จะใช้วิธี DPS หาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 *แสดงวิธีการหาคำตอบของปัญหาตัวอย่างโดยวิธี DPS*

Let $i_0 = 1$

STAGE 1

$f(2, \phi) = 40$

$f(3, \phi) = 30$

$f(4, \phi) = 20$

STAGE 2

$f(2, \{3\}) = 20 + 30 = 50$

$f(3, \{2\}) = 30 + 40 = 70$

$f(4, \{2\}) = 15 + 40 = 55$

$f(2, \{4\}) = 80 + 20 = 100$

$f(3, \{4\}) = 60 + 20 = 80$

$f(4, \{3\}) = 10 + 30 = 40$

STAGE 3

$f(2, \{3,4\}) = \min [20 + 80, 80 + 40] = 100$

$f(3, \{2,4\}) = \min [30 + 100, 60 + 55] = 115$

$f(4, \{2,3\}) = \min [15 + 50, 10 + 70] = 65$

STAGE 4

$f(1, \{2,3,4\}) = \min [30 + 100, 50 + 115, 90 + 65] = 130$

จากตารางที่ 4.2 ขั้นตอนในการหาคำตอบของปัญหาตัวอย่างด้วยวิธีการนี้จะมีทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ 4 ผลิตภัณฑ์

1. ขั้นตอนแรก (STAGE 1) จะทำการกำหนดผลิตภัณฑ์เริ่มต้น ในที่นี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ 1 (Racing) เป็นผลิตภัณฑ์เริ่มต้น ซึ่งจะแทนด้วยแทนด้วย ϕ จากนั้นคำนวณหาเวลาในการปรับตั้งของทุก ϕ ที่เป็นไปได้ จากปัญหาตัวอย่างจะได้ 3 ค่า คือ $(2, \phi)$ $(3, \phi)$ และ $(4, \phi)$ ซึ่งเวลาในการปรับตั้งของ ϕ จะเท่ากับ 40 30 และ 20 ตามลำดับ
2. ขั้นตอนที่ 2 (STAGE) จะนำลำดับจากขั้นตอนแรกคือ $(2, \phi)$ $(3, \phi)$ และ $(4, \phi)$ มาเขียนอยู่ในรูปของ { } จะได้ {2} {3} และ {4} ตามลำดับ โดยค่า ϕ

จะละไว้ในฐานที่เข้าใจ จากนั้นหาเวลาในการปรับตั้งของลำดับใน { } ที่เป็นไปได้ แล้วคำนวณค่าเวลาการปรับตั้ง ซึ่งจะได้ลำดับที่เป็นไปได้ 6 แบบ คือ (2,{3}) (2,{4}) (3,{2}) (3,{4}) (4,{2}) และ (4,{3}) โดยเวลาในการปรับตั้งที่ได้คือ 50 100 70 80 55 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งได้มาจากเวลาจากการปรับตั้งของผลิตภัณฑ์ระหว่าง ( ) รวมกับเวลาจากการปรับตั้งของผลิตภัณฑ์ภายใน { } เช่น (2,{3}) มีเวลาการปรับตั้งเท่ากับ (2,3) (จากตารางที่ 4.1) รวมกับ (3, ϕ) (จากขั้นตอนที่ 1) จะเท่ากับ 20 + 30 = 50

3. ขั้นตอนที่ 3 (STAGE3) จะนำลำดับที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วมาใส่ใน { } ซึ่งภายใน { } นี้สามารถสลับตำแหน่งกันได้ จากนั้นจะหาเวลาในการปรับตั้งของลำดับใน { } ที่เป็นไปได้ แล้วคำนวณค่าเวลาการปรับตั้ง ซึ่งจะได้ลำดับที่เป็นไปได้ 3 แบบ คือ (2,{3,4}) (3,{2,4}) และ (4,{2,3}) แล้วเลือกเวลาการปรับตั้งที่น้อยที่สุด โดยเวลาในการปรับตั้งที่ได้คือ 100 115 และ 65 ตามลำดับ ซึ่งได้มาจากเวลาจากการปรับตั้งของผลิตภัณฑ์ระหว่าง ( ) รวมกับเวลาจากการปรับตั้งของผลิตภัณฑ์ภายใน { } ตัวอย่างเช่น (2,{3,4}) มีเวลาการปรับตั้งเท่ากับ (2,3) (จากตารางที่ 4.1) รวมกับ (3,{4}) (จากขั้นตอนที่ 2) จะเท่ากับ 20 + 80 = 100 และ (2,4) (จากตารางที่ 4.1) รวมกับ (4,{3}) (จากขั้นตอนที่ 2) จะเท่ากับ 80 + 40 = 120 จากนั้นจึงเลือกค่าที่น้อยที่สุดคือ 100
4. ขั้นตอนที่ 4 (STAGE4) เช่นเดียวกันขั้นตอนที่ 3 จะนำลำดับที่ได้จากขั้นตอนที่แล้วมาใส่ใน { } ซึ่งภายใน { } นี้สามารถสลับตำแหน่งกันได้ จากนั้นจะหาเวลาในการปรับตั้งของลำดับใน { } ที่เป็นไปได้ แล้วคำนวณค่าเวลาการปรับตั้ง ซึ่งจะได้ลำดับที่เป็นไปได้เพียงแบบเดียวคือ (1,{2,3,4}) แล้วเลือกเวลาการปรับตั้งที่น้อยที่สุด โดยเวลาในการปรับตั้งที่ได้คือ 130 ซึ่งได้มาจากเวลาจากการปรับตั้งของผลิตภัณฑ์ระหว่าง ( ) รวมกับเวลาจากการปรับตั้งของผลิตภัณฑ์ภายใน { } ตัวอย่างเช่น (1,{2,3,4}) มีเวลาการปรับตั้งเท่ากับ (1,2) (จากตารางที่ 4.1) รวมกับ (2,{3,4}) (จากขั้นตอนที่ 3) จะเท่ากับ 30 + 100 = 130 (1,3) (จากตารางที่ 4.1) รวมกับ (3,{2,4}) (จากขั้นตอนที่ 3) จะเท่ากับ 50 + 115 = 165 และ (1,4) (จากตารางที่ 4.1) รวมกับ (4,{2,3}) (จากขั้นตอนที่ 3) จะเท่ากับ 90 + 65 = 155 แล้วจึงเลือกค่าที่น้อยที่สุดคือ 130 เมื่อถึงขั้นตอนสุดท้าย เราจะได้ว่าเวลาในการปรับตั้งที่น้อยที่คือ 130 จากนั้นเราจึงหาลำดับที่ทำให้เกิดเวลาในการปรับตั้งน้อยที่สุด โดยดูย้อนขึ้นไปทีละขั้นตอน คือ จากขั้นตอน

สุดท้ายเวลาปรับตั้งที่น้อยที่สุดเกิดจาก (1,2) รวมกับ (2,{3,4}) ดังนั้น ลำดับของผลิตภัณฑ์เริ่มต้นคือ 1 จากนั้นดูย้อนไปที่ขั้นตอนที่ 3 เวลาปรับตั้งที่น้อยที่สุดเกิดจาก (2,3) รวมกับ (3,{4}) ลำดับของผลิตภัณฑ์ถัดไปคือ 2 จากนั้นดูย้อนไปที่ขั้นตอนที่ 2 เวลาปรับตั้งที่น้อยที่สุดเกิดจาก (3,4) รวมกับ {4} ลำดับของผลิตภัณฑ์ถัดไปคือ 3 จากนั้นดูย้อนไปที่ขั้นตอนแรกจะพบว่า เวลาปรับตั้งที่น้อยที่สุดคือ (4, ϕ) ลำดับของผลิตภัณฑ์ถัดไปคือ 4 แล้ววนกลับมาทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ ϕ ซึ่งก็คือผลิตภัณฑ์ที่ 1 ต่อไป ดังนั้นลำดับของเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรที่น้อยที่สุดคือ 1-2-3-4-1 โดยมีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดเท่ากับ 130 นาที

จากวิธี A Dynamic Programming Solution สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยไม่จำเป็นต้องหาลำดับที่เป็นไปได้ทั้งหมดก่อน แต่หากจำนวนของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จำนวนขั้นตอนในการหาคำตอบก็จะเพิ่มขึ้น แล้วลำดับต่างๆที่หาในแต่ละขั้นตอนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้การหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะทำได้ยากและใช้เวลาที่นาน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ถือว่าเป็นวิธีที่ดีในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าบนเครื่องจักรเครื่องเดียว

4.2.2.2 A Branch and Bound Solution

วิธี A Branch and Bound Solution (BB) เป็นวิธีการหาคำตอบที่สามารถหาคำตอบได้จากปัญหาหลายๆแบบโดยไม่เฉพาะเจาะจงว่าต้องเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาการปรับตั้งขึ้นกับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า หรือปัญหาที่ต้องเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวเช่นเดียวกันกับวิธี DSP และวิธีการนี้ก็จะทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้

วิธี BB สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาการปรับตั้งขึ้นกับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าโดยให้วัตถุประสงค์ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Lower Bound) คือ เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรที่น้อยที่สุด ขั้นตอนในการหาคำตอบด้วยวิธี BB มีด้วยการ 3 ขั้นตอนคือ

1. Reduction เป็นการลบตัวเลขในแต่ละแถวของเมตริกซ์เริ่มต้น (Original Metrix) ด้วยตัวเลขที่น้อยที่สุดของแต่ละแถว (Row) เมื่อลบกันแล้วหาก

สดมภ์ (Column) ใดไม่มีเลข 0 ภายในสดมภ์ ให้นำตัวเลขที่น้อยที่สุดภายในสดมภ์นั้นๆมาลบออกจากตัวเลขทุกตัวภายในสดมภ์นั้นๆ จากนั้นนำตัวเลขที่ใช้ลบทั้งในแถวและสดมภ์มารวมกันจะได้ค่าของวัตถุประสงค์ (Lower Bound) เริ่มต้น (ซึ่งค่าวัตถุประสงค์นี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนกิ่งที่แตกออกไป) เมื่อเสร็จจากขั้นตอนนี้จะได้ Reduce Metrix

2. Branching คือการแตกกิ่งออกมาตามลักษณะของวิธีการ BB เพื่อหาคำตอบที่ให้ค่า Lower Bound ที่น้อยที่สุด การแตกกิ่งนี้จะพิจารณาจากประจุของตำแหน่งที่มีเลข 0 ค่าประจุนี้จะได้มาจาก ค่าที่น้อยที่สุดของตัวเลขในแถวและสดมภ์ที่มีเลข 0 แต่ละตัวอยู่มารวมกัน เลข 0 ที่มีประจุมากที่สุดจะได้รับการแตกกิ่ง โดยการแตกกิ่งที่ว่านี้จะได้ลำดับของการจัดตารางที่ตำแหน่งที่ได้รับเลือกกับได้ลำดับของการจัดตารางที่ตำแหน่งอื่นที่ไม่ใช่ตำแหน่งที่ได้รับเลือก จากนั้นทำการกำจัด (Prohibit) ทางเลือกของลำดับที่เป็นไปไม่ได้ออกจากลำดับของการแตกกิ่ง
3. Bounding ทำการหาค่าของค่าวัตถุประสงค์ โดยลบตัวเลขในแต่ละแถวของเมตริกซ์เริ่มต้น ด้วยตัวเลขที่น้อยที่สุดของแต่ละแถว เมื่อลบกันแล้วหากสดมภ์ใดไม่มีเลข 0 ภายในสดมภ์ ให้นำตัวเลขที่น้อยที่สุดภายในสดมภ์นั้นๆมาลบออกจากตัวเลขทุกตัวภายในสดมภ์นั้นๆ จากนั้นนำตัวเลขที่ใช้ลบทั้งในแถวและสดมภ์มารวมกันเช่นเดียวกับขั้นตอนของ Reduction แต่ค่าของวัตถุประสงค์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะนำไปรวมกับค่าวัตถุประสงค์เริ่มต้น ในขั้นตอนของ Reduction จะได้ค่าของ Lower Bound ของลำดับในการจัดตารางการผลิต ซึ่งเมื่อทำขั้นตอนนี้เสร็จก็จะกลับมาทำขั้นตอนของ Branching และ Reduction ใหม่ จนกระทั่งหาลำดับของการจัดตารางการผลิตครบทุกผลิตภัณฑ์

จากตัวอย่างของปัญหาในตอนต้น สามารถที่จะใช้วิธี BB ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดตามตารางที่ 4.3-4.14 และรูปที่ 4.2

จากตารางที่ 4.3 จะได้เมตริกซ์เริ่มต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ 1 2 3 และ 4 จะแทน Racing, Premium, Regular และ Leadfree ตามลำดับ จากนั้นจะเริ่มทำขั้นตอนแรกของ วิธี BB ในการหาคำตอบคือ ขั้นตอน Reduction ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 *เมตริกซ์เริ่มต้น (Original Metrix)*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4
1	-	30	50	90
2	40	-	20	80
3	30	30	-	60
4	20	15	10	-

ตารางที่ 4.4 *การหาค่าที่ต่ำที่สุดในแต่ละแถวจาก Original Metrix*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	
1	-	30	50	90	30
2	40	-	20	80	20
3	30	30	-	60	30
4	20	15	10	-	10

จากตารางที่ 4.4 จะได้ค่าต่ำสุดของในแต่ละแถวเท่ากับ 30 20 30 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งจะนำค่าที่ต่ำที่สุดไปลบออกจากค่าทุกค่าในแถวนั้นๆ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 *การนำค่าต่ำสุดของแต่ละแถวลบออกจากตัวเลขภายในแถว*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	
1	-	0	20	60	30
2	20	-	0	60	20
3	0	0	-	30	30
4	10	5	0	-	10

จากตารางที่ 4.5 เมื่อทำการสังเกตจะเห็นว่าในสดมภ์สุดท้าย จะไม่มีตัวเลข 0 อยู่ เพราะฉะนั้นในเฉพาะสดมภ์สุดท้าย จึงต้องลบด้วยค่าต่ำสุดภายในสดมภ์คือ 30 ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 *การนำค่าต่ำสุดของสดมภ์ที่ไม่มีเลข 0 ลบออกจากสดมภ์นั้น ๆ*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	
1	-	0	20	30	30
2	20	-	0	30	20
3	0	0	-	0	30
4	10	5	0	-	10
				30	

จากตารางที่ 4.5 จะได้แถวทุกแถวและสดมภ์ทุกสดมภ์ที่มีเลข 0 ซึ่งจะนำค่าที่ได้จากค่าต่ำสุดของแถวและสดมภ์ที่ได้ลบออกไปมารวมกันเป็นค่าวัตถุประสงค์เริ่มต้น (Lower Bound) ได้ Lower Bound เท่ากับ 120 ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 *การหาค่า Lower Bound ของ Original Metrix*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	
1	-	0	20	30	30
2	20	-	0	30	20
3	0	0	-	0	30
4	10	5	0	-	10
				30	**120**

จากตารางที่ 4.7 จะได้ค่าของ Lower Bound เริ่มต้นเท่ากับ 120 จากนั้นจึงทำการหาประจุเพื่อจะทำการแตกกิ่งต่อไป ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 *การหาประจุของ Reduce Metrix*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	
1	-	0^{20}	20	30	30
2	20	-	0^{20}	30	20
3	0^{10}	0^{0}	-	0^{30}	30
4	10	5	0^{5}	-	10
				30	**120**

จากตารางที่ 4.8 จะได้ค่าประจุของตัวเลข 0 แต่ละตัวที่ตำแหน่ง (1,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,4) และ (4,3) โดยได้จากการรวมกันของตัวเลขที่น้อยที่สุดในแถวและสดมภ์ที่มีเลข 0 นั้นๆอยู่ เท่ากับ 20 20 10 0 30 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งจะได้ว่าตำแหน่งที่ (3,4) จะมีประจุมากที่สุด และจะได้ลำดับของการจัดตารางคือ 34 หรือลำดับของผลิตภัณฑ์ 3 → 4 (ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 3 เสร็จก่อนแล้วจึงผลิตภัณฑ์ที่ 4) และ $\overline{34}$ หรือ ลำดับของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่ 3 → 4 ดังรูปที่ 4.2

เมื่อเลือกลำดับจากประจุของ 0 ที่มากที่สุดแล้ว (ให้ 0^* เป็น 0 ที่ถูกเลือก) จะทำการกำจัดลำดับที่เป็นไปไม่ได้ ในกรณีที่เลือกลำดับที่ค่า 0^* จากตารางที่ 4.9ก (3,4) จะทำการกำจัดทางเลือกของการจัดลำดับที่เป็นไปไม่ได้โดยใช้ - แทนการกำจัดลำดับซึ่งได้แก่ (3,1) (3,2) (1,4) และ (2,4) เนื่องจากต้องผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 3 เรียบร้อยแล้วจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 4 จึงไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 2 ต่อจากผลิตภัณฑ์ที่ 3 และไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 4 ต่อจากผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 2 ได้ และ (4,3) เนื่องจากยังทำการผลิตไม่ครบทุกผลิตภัณฑ์ จึงไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 3 ต่อจากผลิตภัณฑ์ที่ 4 ได้

ตารางที่ 4.9 *การกำจัดทางเลือกที่เป็นไปไม่ได้จากการแตกกิ่ง*

ก) การแตกกิ่ง34

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4
1	-	0	20	-
2	20	-	0	-
3	-	-	-	0^*
4	10	5	-	-

ข) การแตกกิ่ง $\overline{34}$

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4
1	-	0	20	30
2	20	-	0	30
3	0	0	-	-
4	10	5	0	-

ส่วนในกรณีของการจัดลำดับที่ไม่เลือกลำดับที่ค่า 0^{*} จากตารางที่ 4.9ข (3,4) จะทำการกำจัดทางเลือกของการจัดลำดับที่เป็นไปไม่ได้โดยใช้ - แทนการกำจัดลำดับเช่นกัน ได้แก่ (3,4) เนื่องจากไม่ผลิตภัณฑ์ที่ 4 ต่อจากผลิตภัณฑ์ที่ 3 จากนั้นจึงทำการ Bounding เพื่อหาค่า Lower Bound จากตารางที่ 4.9ก และ 4.9ข ได้ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 *การหา Lower Bound จากตารางที่ 4.9ก*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	
1	-	0	20	-	
2	15	-	0	-	
3	-	-	-	0^{*}	
4	0	0	-	-	5
	5				**10**

ตารางที่ 4.11 *การหา Lower Bound จากตารางที่ 4.9ข*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	
1	-	0	20	0	
2	20	-	0	0	
3	0	0	-	-	
4	10	5	0	-	
			30		**30**

จากขั้นตอนของ Bounding จะทำคล้ายๆกับ Reduction ในการคำนวณค่า Lower Bound แต่ค่า Lower Bound ที่ได้จาก Bounding นี้จะต้องนำไปรวมกับค่า Lower Bound ในตอนต้น โดยในการทำ Bounding จากตารางที่ 4.10 จะได้ค่า Lower Bound เท่ากับ 130 (120 + 10) และ จากตารางที่ 4.11 จะได้ค่า Lower Bound เท่ากับ 150 (120 + 30) ซึ่งจากตารางที่ 4.10 จะหาสามารถค่าประจุของเลข 0 ได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 *การหาประจุจากตารางที่ 4.10*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4
1	-	0^{20}	20	-
2	15	-	0^{35}	-
3	-	-	-	0^{*}
4	0	0^{5}	-	-

จากตารางที่ 4.12 จะได้ค่าประจุของตัวเลข 0 แต่ละตัวที่ตำแหน่ง (1,2) (2,3) และ (4,2) เท่ากับ 20 35 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งในตำแหน่งที่ (2,3) จะมีประจุมากที่สุด จะได้ลำดับของการจัดตารางคือ 23 และ $\overline{23}$ ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.13 *การกำจัดทางเลือกที่เป็นไปไม่ได้จากการแตกกิ่ง*

ก) *การแตกกิ่ง23*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4
1	-	0	-	-
2	-	-	0^{*}	-
3	-	-	-	0^{*}
4	0	-	-	-

ข) *การแตกกิ่ง* $\overline{23}$

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4
1	-	0	20	-
2	15	-	-	-
3	-	-	-	0^{*}
4	0	0	-	-

ในกรณีที่เลือกลำดับที่ค่า 0^{*} จากตารางที่ 4.13ก (2,3) จะทำการกำจัดทางเลือกของการจัดลำดับที่เป็นไปไม่ได้ ซึ่งได้แก่ (2,1) และ (1,3) เนื่องจากได้เลือกลำดับ

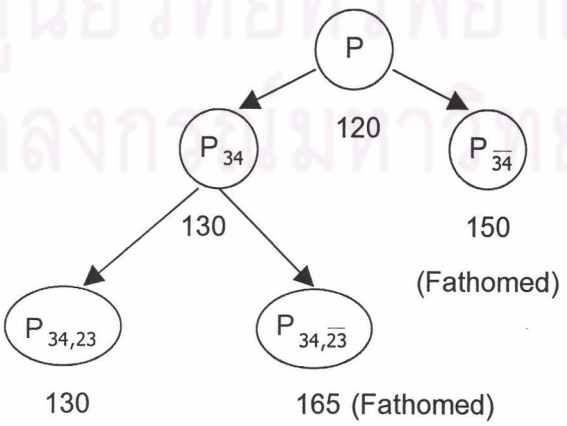
ให้ผลิตภัณฑ์ที่ 3 ผลิตต่อจากผลิตภัณฑ์ที่ 2 เท่านั้น และ (4,2) เนื่องจากยังทำการผลิตไม่ครบทุกผลิตภัณฑ์ จึงยังไม่สามารถย้อนมาผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 2 ต่อจากผลิตภัณฑ์ที่ 4 ได้ และด้วยเหตุนี้เอง ลำดับของการจัดตารางการผลิตจะเป็น 2 → 3 → 4 ซึ่งจะเหลือเพียงผลิตภัณฑ์เดียวที่ยังไม่ได้จัดตารางการผลิตคือ ผลิตภัณฑ์ที่ 1 ดังนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ 1 ไปผลิตต่อจากผลิตภัณฑ์ที่ 4 จะได้การจัดตารางการผลิตคือ 1-2-3-4-1 ซึ่งมีเวลาการปรับตั้งเท่ากับ 130 นาที ส่วนในกรณีของการจัดลำดับโดยไม่เลือกลำดับที่ค่า 0^* ในตารางที่ 4.13ข (2,3) จะทำการกำจัดทางเลือกของการจัดลำดับที่เป็นไปไม่ได้ (2,3) เนื่องจากพิจารณาไม่ให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 3 ต่อจากผลิตภัณฑ์ที่ 2

จากตารางที่ 4.13ข จะนำไปทำ Bounding เพื่อหาค่าของ Lower Bound ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 *การหา Lower Bound จากตารางที่ 4.13ข*

ผลิตภัณฑ์	1	2	3	4	
1	-	0	0	-	
2	0	-	-	-	15
3	-	-	-	0^*	
4	0	0	-	-	
			20		**35**

จากตารางที่ 4.14 จะได้ค่าของ Lower Bound เท่ากับ 165 (130 + 35) ซึ่งก็คือ ลำดับของการจัดตารางการผลิตจะเป็น 2-1-3-4-2



รูปที่ 4.2 *การหาคำตอบของปัญหาตัวอย่างโดยวิธี BB*

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าจากการทำ BB ค่าของ Lower Bound เมื่อเกิดการแตกกิ่ง (Branching) จะเพิ่มขึ้น และจะมีค่าไม่น้อยกว่าค่าของ Lower Bound เดิม ดังนั้นการจัดตารางการผลิตที่มีลำดับ $\overline{(34)}$ และ $(34,\overline{23})$ จึงไม่ได้รับการพิจารณาในการแตกกิ่งต่อไป (Fathomed) ซึ่งจากตารางที่ 4.3-4.14 และ รูปที่ 4.2 จะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาตัวอย่างนี้ได้ คือ มีการจัดตารางการผลิตคือ 1-2-3-4-1 และมีเวลาการปรับตั้งที่น้อยที่สุดคือ 130 นาที

คำตอบที่ได้จากวิธีการ A Branch and Bound Solution จะให้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า บนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว แต่อย่างไรก็ดีจะเห็นได้ว่าการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั้น จะทำให้ยุ่งยากและเสียเวลามากเช่นเดียวกับวิธี A Dynamic Programming Solution

4.2.2.3 A Closet Unvisited City

วิธี A Closet Unvisited City (CUC) เป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า บนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวที่ดีง่าย และไม่ซับซ้อน เมื่อเทียบกับวิธีการ 2 วิธีก่อนหน้านี้ แต่ไม่สามารถรับรองได้ว่าจะหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหานั้นๆได้ อย่างไรก็ดี วิธีนี้ก็เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถหาคำตอบได้รวดเร็วในกรณีที่ไม่จำเป็นต้องการคำตอบที่ดีที่สุด

วิธี CUC อาศัยหลักการของการเดินทางในทฤษฎี Traveling Salesman Problem เพื่อไปยังเมืองต่างๆโดยใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุด เมืองต่างๆนี้เปรียบเสมือนกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด และระยะทางก็เปรียบได้กับเวลาในการปรับตั้งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเช่นเดียวกัน ซึ่งวิธีนี้มีหลักการคือ ให้กำหนดเมือง (ผลิตภัณฑ์) ใดก็ได้ ให้เป็นจุดเริ่มต้น จากนั้นให้หาว่าเมืองถัดไปที่ยังไม่ได้ไปและมีระยะทาง (เวลาการปรับตั้ง) น้อยที่สุดคือเมืองใด จากนั้นจึงเลือกไปที่เมืองนั้น แล้วทำการพิจารณาอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งวนกลับมายังเมืองตั้งต้น

จากตัวอย่างของปัญหาในตอนต้น จะสามารถที่จะใช้วิธี CUC หาคำตอบที่ดีที่สุดได้คือ

สมมติว่าทำการสุ่มให้ ผลิตภัณฑ์ที่ 2 เป็นจุดเริ่มต้น จะได้ว่าผลิตภัณฑ์ต่อไปที่ใช้เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์ที่ 3 ลำดับในการผลิตก็จะเป็น 2 → 3 (ทำการผลผลิตภัณฑ์ที่ 2 ก่อนแล้วจึงผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 3)

ผลิตภัณฑ์ต่อไปที่ใช้เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดที่ยังไม่ได้จัดตารางการผลิต คือ ผลิตภัณฑ์ที่ 1 ลำดับในการผลิตก็จะเป็น 2 → 3 → 1

ผลิตภัณฑ์ต่อไปที่ใช้เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดที่ยังไม่ได้จัดตารางการผลิตคือ ผลิตภัณฑ์ที่ 4 ลำดับในการผลิตก็จะเป็น 2 → 3 → 1 → 4

ผลิตภัณฑ์ต่อไปที่ใช้เวลาเฉลี่ยในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดคือ ผลิตภัณฑ์ที่ 2 (เมื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดสุดท้ายเสร็จจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์เริ่มต้นใหม่) จะได้ลำดับการจัดตารางการผลิตคือ 2 → 3 → 1 → 4 หรือ 2-3-1-4-2

เมื่อทำการคำนวณหาค่าเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรรวมจากสมการที่ 4.1 จะได้เวลาการปรับตั้งเท่ากับ 20++30+90+15 = 155 นาที

คำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีการนี้คือเวลาการปรับตั้งเท่ากับ 155 นาที และมีการจัดตารางการผลิตคือ 2-3-1-4-2 จะเห็นได้ว่า คำตอบที่ได้จะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีในการหาคำตอบ 2 วิธีที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น จึงเป็นข้อเสียของวิธี CUC นี้

อย่างไรก็ดีวิธี A Closet Unvisited City ก็ยังถือได้ว่าเป็นวิธีที่ง่ายและไม่เสียเวลาในการค้นหาคำตอบมากนัก และสามารถเข้าใจได้ง่ายไม่ซับซ้อน เมื่อใช้ในการค้นหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ถึงแม้ว่าผลของคำตอบที่ได้อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหานั้นๆก็ตาม

4.2.3 ข้อดี-เสียของการจัดตารางการผลิตโดยใช้วิธี Heuristic แบบต่าง ๆ

ในการใช้วิธี Heuristic เพื่อมาทำการจัดตารางการผลิตที่มีเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไปในแต่ละวิธี ซึ่งวิธีการจัด

ตารางการผลิตที่มีเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า โดยวิธี Heuristic ทั้ง 3 วิธี ที่ได้กล่าวข้างต้นจะมีข้อดีและข้อเสียสรุปได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 *สรุปข้อดี-เสียของ Heuristic ต่างๆ*

วิธี Heuristic	ข้อดี	ข้อเสีย
1. DPS	- คำตอบที่ได้จากวิธี DPS จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเสมอ	- ในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ จะทำให้ยุ่งยากและเสียเวลาในการหาคำตอบ
2. BB	- คำตอบที่ได้จากวิธี BB จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเสมอ	- ในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ จะทำให้ยุ่งยากและเสียเวลาในการหาคำตอบ
3. CUC	- คำตอบที่ได้จากวิธี CUC ไม่จำเป็นที่ต้องได้คำตอบที่ดีที่สุดเสมอไป	- ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่สั้น แม้ในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าในกรณีของปัญหาขนาดเล็กวิธี DPS และ BB จะสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธี CUC เนื่องจากคำตอบที่ได้จาก 2 วิธีการดังกล่าวจะได้คำตอบที่ดีที่สุดเสมอ อย่างไรก็ดี ในปัญหาขนาดใหญ่ วิธี CUC จะสามารถหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าวิธี DPS และ BB เนื่องจากมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากแล้วซับซ้อน และยังได้คำตอบที่ดี ซึ่งหากนำคำตอบที่ได้จากวิธี CUC ไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด พบว่าวิธี CUC สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดจากปัญหาตัวอย่าง โดยคำตอบที่ดีที่สุดจะมีค่าเวลาในการปรับตั้งน้อยกว่าคำตอบที่ได้จากวิธี CUC 16.1 เปอร์เซ็นต์

จากวิธีการ Heuristic แบบต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าวิธี CUC เป็นวิธี Heuristic ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำคำตอบในการจัดตารางการผลิตโดยวิธี CUC ไปเปรียบเทียบกับการหาคำตอบในการจัดตารางการผลิตจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม เพื่อดูประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึม

4.3 สรุปท้ายบท

ปัญหาของการจัดตารางการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้านั้น มีลักษณะเช่นเดียวกับปัญหาแบบ Asymmetric TSP ซึ่งเป็นปัญหาในลักษณะของ NP-Hard แบบ Combinatorial Optimization คือ ปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนานและเวลาในการหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียลเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสามารถหาคำตอบสำหรับปัญหาในลักษณะได้หลายคำตอบ วิธีการค้นหาคำตอบของปัญหาของการจัดตารางการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าก็จะมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น วิธี A Dynamic Programming Solution, A Branch and Bound Solution และ A Closet Unvisited City ในแต่ละวิธีนี้จะมีเพียงวิธี A Closet Unvisited City เพียงวิธีเดียวเท่านั้นที่ไม่สามารถรับรองได้ว่าจะสามารถหาคำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาของการจัดตารางการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้านี้ได้

อย่างไรก็ดีวิธี A Closet Unvisited City ก็ยังมีผู้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถคิดได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และสามารถใช้ได้ดีในงานบางประเภทไม่จำเป็นที่จะต้องหาคำตอบที่ดีที่สุด เพียงต้องการคำตอบที่ดีแต่ใช้เวลาในการหาคำตอบที่น้อย ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้จะมีลักษณะคล้ายกับวิธีการหาคำตอบแบบ Genetic Algorithms ดังนั้นจึงนำวิธี A Closet Unvisited City มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบกับวิธี Genetic Algorithms ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของการเปรียบเทียบคำตอบในบทที่ 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย