บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

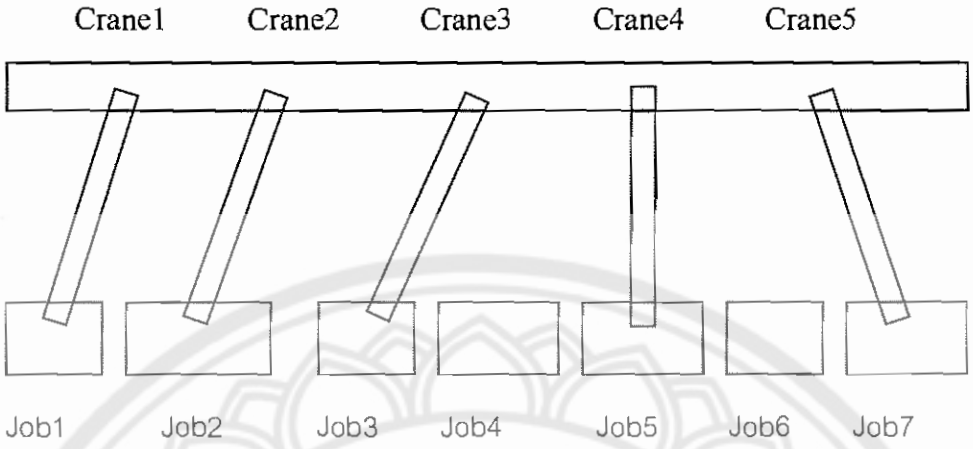
ในปัจจุบันท่าเรือหลายๆแห่ง ต้องการระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การท่าเรือแห่งประเทศสิงคโปร์ (The Port of Singapore Authority- PSA) ซึ่งเป็นหนึ่งในท่าเรือที่มีการทำงานที่ยุ่งที่สุดในโลก โดย PSA มี Containers ที่ต้องจัดการถึง 17.04 ล้าน TEU (Twenty foot equivalent unit) ซึ่งคิดเป็น 9 % ของ Containers ทั้งหมดทั่วโลก ขณะนี้ PSA ต้องการที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการจัดการกับ Containers เหล่านี้ แต่ก็มีปัญหาเนื่องจากขนาดของท่าเรือที่มีอย่างจำกัด และมีเครื่องมือไม่พอ

การจัดลำดับการทำงานของเครนและพนักงาน จึงมีความสำคัญมากในการจัดการท่าเรือ ซึ่งเครน (Crane) ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างทะเลกับพื้นดิน จากการวิจัยพบว่า เครนเป็นคอขวด (Bottleneck) ของกระบวนการปฏิบัติการในท่าเรือ ในขณะเดียวกัน Koh และคณะ (1994) ซึ่งปัญหาในการตัดสินใจส่วนมาก PSA ใช้ประสบการณ์ และการจำลองสถานการณ์ (Simulation) แม้ว่าการจำลองสถานการณ์ จะเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง แต่วิธีการเชิงวิเคราะห์ (Analytical Method) ซึ่งใช้คณิตศาสตร์เข้ามาช่วยนั้น ก็จะเพิ่มความสามารถ ในการตัดสินใจได้ดีขึ้น

ระบบการทำงานของท่าเรือนั้น ค่อนข้างจะแตกต่างจากระบบในอุตสาหกรรมอื่น ดังนั้นจึงไม่ค่อยมีแบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้นมากนัก เมื่อเร็วๆนี้ Lim และคณะ (2003) ได้ศึกษาการจัดลำดับการทำงานของเครน โดยมีข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ ซึ่งข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่น่าสนใจ คือ ข้อจำกัดการข้ามกันของเครน (Non –Crossing Constraint) กล่าวคือ แขนของเครนไม่สามารถข้ามกันได้ ในเวลาหนึ่งๆ ในงานวิจัยนี้ เราจะศึกษาข้อจำกัดนี้

2.1 ข้อจำกัดในการทำงานของเครน

เนื่องจากในการขนย้ายวัสดุในปัจจุบันนั้น เราได้อาศัยเครนเป็นเครื่องมือช่วยในการทำงานดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ถึงแม้ว่าเครนจะช่วยในการทำงานได้เป็นอย่างมากแต่ด้วยปริมาณงาน ข้อจำกัดในการทำงานของเครนทำให้เครนทำงานไม่เต็มความสามารถ ซึ่งข้อจำกัดในการทำงานของเครนมีดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงข้อจำกัดและการทำงานของเครน

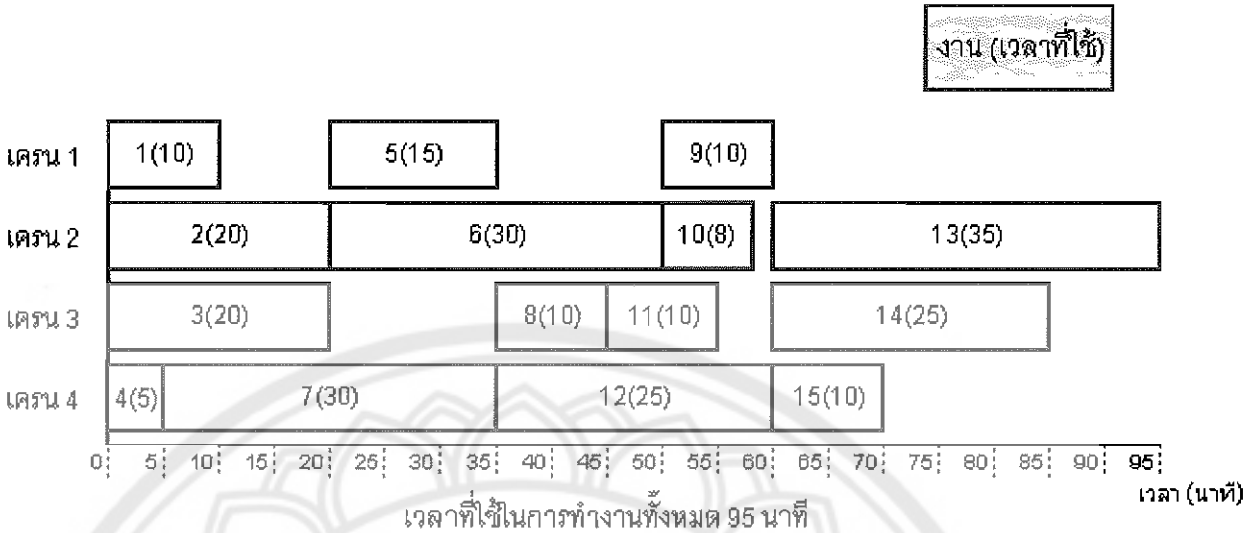
- งานแต่ละงานมีเวลาในการทำงานไม่เท่ากัน แต่เครนมีอัตราการทำงานคงที่

- เครนแต่ละตัวต้องทำงานชิ้นนั้น ๆ ให้เสร็จก่อน ไม่สามารถย้ายไปทำงานชิ้นอื่นได้ ถ้ายังทำไม่เสร็จ

- เครนไม่สามารถข้ามกันได้ คือเครนสองตัวจะไม่สามารถทำงานสองงานพร้อมกันได้ ถ้าเกิดการข้ามกันของเครน คือเครนจะถูกจัดเรียงตำแหน่งเรียงกัน 1,2,3,... จากซ้ายไปขวา และงานชิ้นที่ 1,2,3,... จะเข้ามาด้านขวา ถ้าสมมุติให้มีเครน 5 ตัว เครนตัวที่ 1,2,3,4 และ 5 จะทำงานชิ้นที่ 1,2,3,5 และ 7 ตามลำดับที่เราได้จัดเรียงการทำงานของเครนไว้แล้ว ถ้าเครนตัวที่ 1 ทำงานเสร็จจะต้องไปทำงานชิ้นที่ 4 ต่อ เครนตัวที่ 3 จะต้องไปทำงานชิ้นที่ 6 ต่อ เมื่อเครนตัวที่ 1 ใช้เวลาในการทำงานชิ้นที่ 1 เสร็จแล้วแต่เครนตัวที่ 2 ยังทำงานชิ้นที่ 2 ไม่เสร็จ เครนตัวที่ 1 จะไม่สามารถข้ามไปทำงานชิ้นที่ 4 ต่อไปได้ ต้องรอให้เครนตัวที่ 2 และ3 ทำงานเสร็จก่อน และเครนตัวที่ 3 ก็ไม่สามารถไปทำงานชิ้นที่ 6 ต่อไปได้เพราะเครนตัวที่ 4 ยังทำงานชิ้นที่ 5 ยังไม่เสร็จ เครนตัวที่ 3 ต้องรอให้เครนตัวที่ 4 ทำงานชิ้นที่ 5 ให้เสร็จก่อนเช่นกัน ดังนั้นเมื่อเครนตัวที่ 2 และตัวที่ 4 ทำงานเสร็จเครนตัวที่ 1 และ 4 ก็จะสามารถทำงานชิ้นต่อไปได้

2.1.1 ลักษณะการทำงานของเครน

ถ้าปัญหาของเราคือมีงาน 15 ชิ้น และมีเครนทำงาน 4 ตัว โดยแต่ละงานใช้เวลาในการทำไม่เท่ากัน สมมติว่าการจัดลำดับของเครนนั้น สามารถเขียนคำตอบออกมา เป็นแผนภูมิ Gantt chart ได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงการจัดลำดับการทำงานของเครนใน 1 คำตอบ

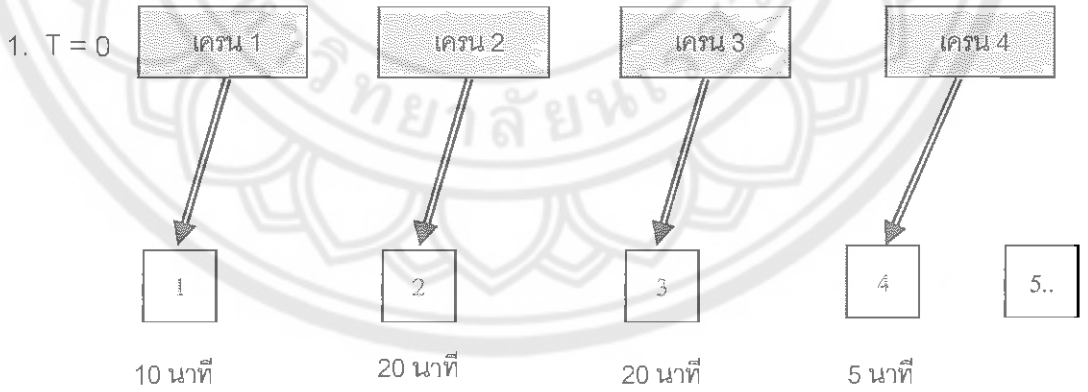
จากแผนภูมิดังกล่าวเราสามารถอธิบายการทำงานของเครนได้ดังนี้

โดยกำหนดให้ ตัวเลข (เฉพาะที่งานเท่านั้น)

ตัวเลขสีแดง หมายถึง งานที่กำลังถูกทำอยู่ หรือทำเสร็จแล้ว

ตัวเลขสีดำ หมายถึง งานที่ยังไม่ได้ทำ

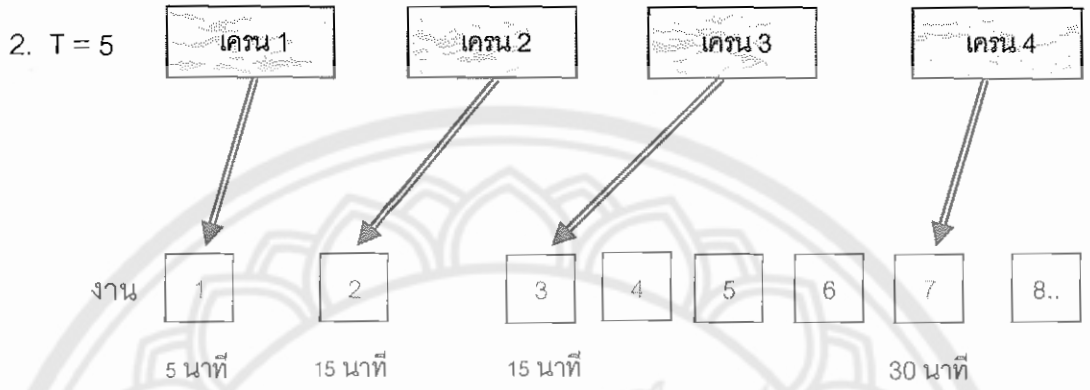
T หมายถึง เวลา (นาที)



รูปที่ 2.3 การทำงานของเครนที่ T=0 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

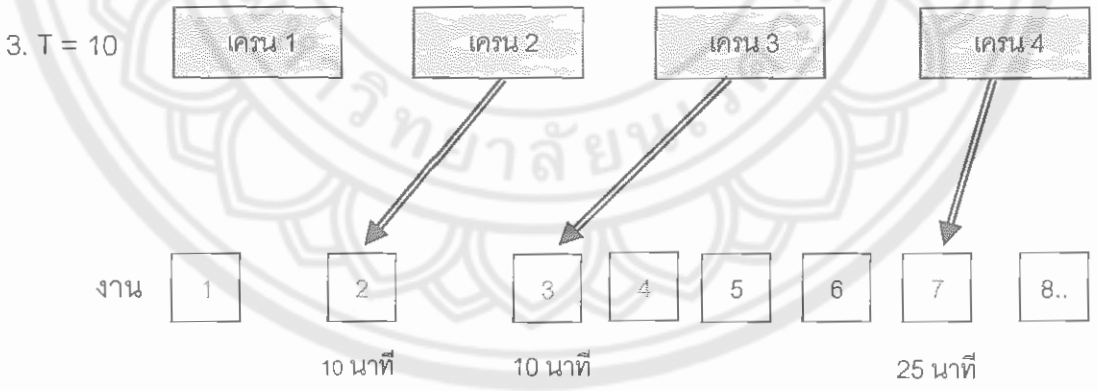
ที่เวลา T=0 กำหนดให้เครนตัวที่ 1 ทำงานชิ้นที่ 1 ,เครนตัวที่ 2 ทำงานชิ้นที่ 2, เครนตัวที่ 3 ทำงานชิ้นที่ 3 และเครนตัวที่ 4 ทำงานชิ้นที่ 4 ซึ่งเครนตัวที่ 1 จะใช้เวลาในการทำงาน 10 เครน

ตัวที่ 2 ใช้เวลาในการทำงาน 20 นาที เครนตัวที่ 3 ใช้เวลาในการทำงาน 20 นาที และเครนตัวที่ 4 จะใช้เวลาในการทำงาน 5 นาที



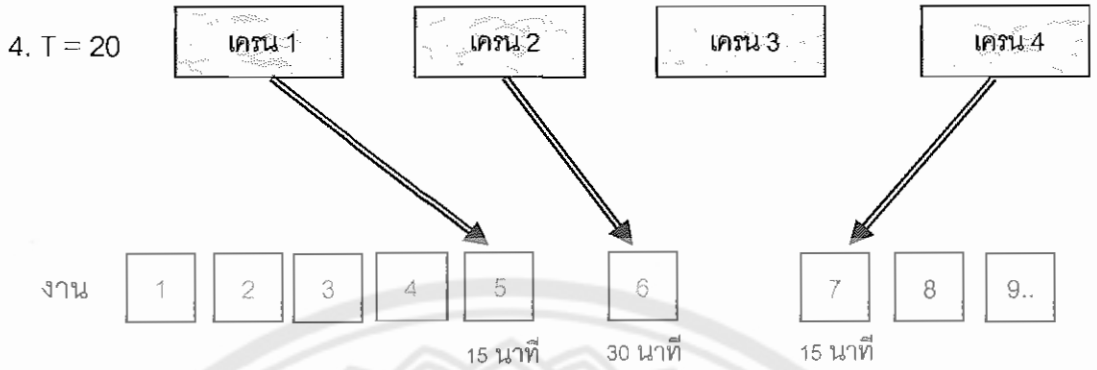
รูปที่ 2.4 การทำงานของเครนที่ T=5 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 5 เครนตัวที่ 4 ทำงานชิ้นที่ 4 เสร็จก่อน สามารถไปทำงานชิ้นที่ 7 ต่อได้เลย โดยใช้เวลาทำงาน 30 นาที ในขณะที่เครนตัวที่ 1, 2 และ 3 ทำงานยังไม่เสร็จ โดยเครนตัวที่ 1 เหลือเวลาทำงาน 5 นาที เครนตัวที่ 2 และ 3 เหลือเวลาทำงานตัวละ 15 นาที



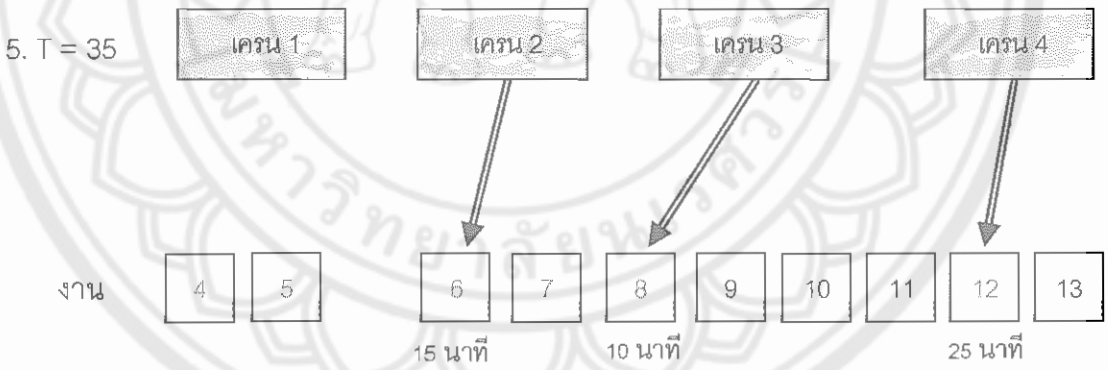
รูปที่ 2.5 การทำงานของเครนที่ T=10 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 10 เครนตัวที่ 1 ทำงานชิ้นที่ 1 เสร็จแล้ว แต่ไม่สามารถทำงานชิ้นที่ 5 ต่อได้ เนื่องจากเครนตัวที่ 2 และ 3 ยังทำงานไม่เสร็จ ดังนั้นเครนตัวที่ 1 จะต้องรอให้เครนตัวที่ 2 และ 3 ทำงานเสร็จก่อน เพราะด้วยเงื่อนไขที่เครนไม่สามารถข้ามกันได้ โดยเครนตัวที่ 2 เหลือเวลาทำงาน 10 นาที และเครนตัวที่ 3 เหลือเวลาทำงาน 10 นาที



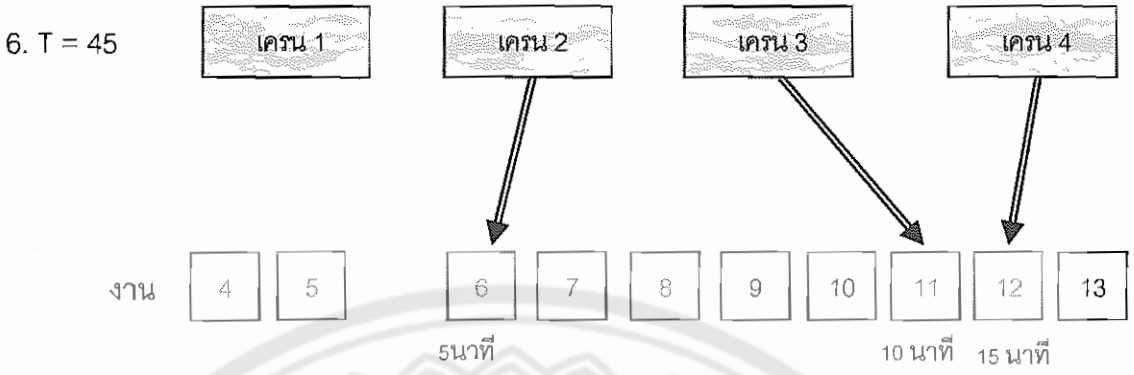
รูปที่ 2.6 การทำงานของเครนที่ T=20 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 20 เครนตัวที่ 2 ทำงานชิ้นที่ 2 เสร็จ และสามารถไปทำงานชิ้นที่ 6 ต่อไปได้เลย โดยมีเวลาในการทำงาน 30 นาที ส่วนเครนตัวที่ 3 ทำงานชิ้นที่ 3 เสร็จเช่นกัน แต่ไม่สามารถทำงานชิ้นที่ 8 ได้ โดยจะต้องรอให้เครนตัวที่ 4 ทำงานชิ้นที่ 7 เสร็จก่อนซึ่งเหลือเวลาการทำงาน 15 นาที และเครนตัวที่ 1 สามารถทำงานชิ้นที่ 5 ได้ โดยมีเวลาในการทำงาน 15 นาที



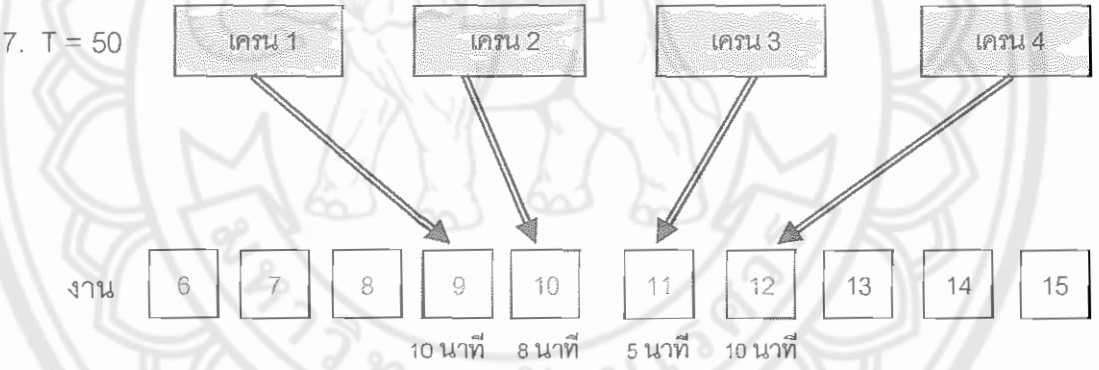
รูปที่ 2.7 การทำงานของเครนที่ T=35 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 35 เครนตัวที่ 1 ทำงานชิ้นที่ 5 เสร็จ แต่ไม่สามารถทำงานชิ้นที่ 9 ต่อได้ เนื่องจากเครนตัวที่ 2 ทำงานชิ้นที่ 6 ไม่เสร็จ ซึ่งเหลือเวลาในการทำงานอีก 15 นาที เครนตัวที่ 4 ทำงานชิ้นที่ 7 เสร็จ และสามารถทำงานชิ้นที่ 12 ต่อได้เลย และเครนตัวที่ 3 สามารถทำงานชิ้นที่ 8 ได้ โดยใช้เวลาการทำงาน 10 นาที



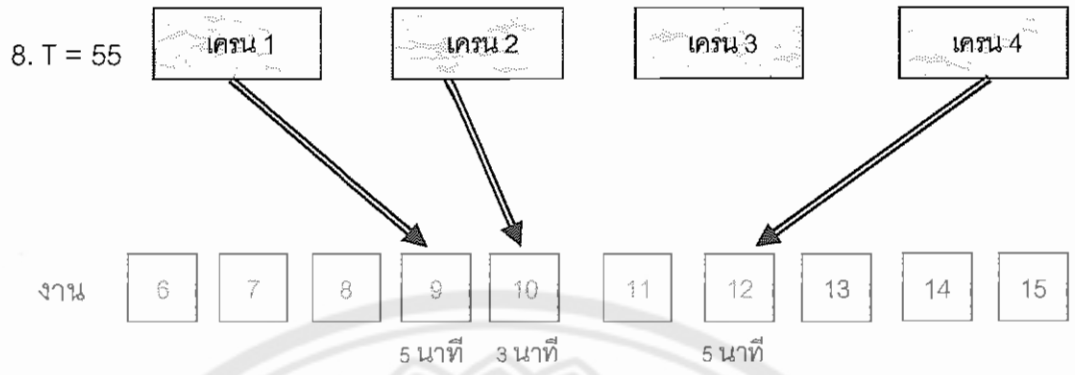
รูปที่ 2.8 การทำงานของเครนที่ T=45 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 45 เครนตัวที่ 3 ทำงานชิ้นที่ 8 เสร็จ สามารถไปทำงานชิ้นที่ 11 ต่อได้เลย โดยมีเวลาการทำงาน 10 นาที ส่วนเครนตัวที่ 2 ยังทำงานชิ้นที่ 6 ไม่เสร็จ ซึ่งเหลือเวลาการทำงาน 5 นาที และเครนตัวที่ 4 ยังทำงานชิ้นที่ 12 ไม่เสร็จเช่นกัน ซึ่งเหลือเวลาการทำงาน 15 นาที



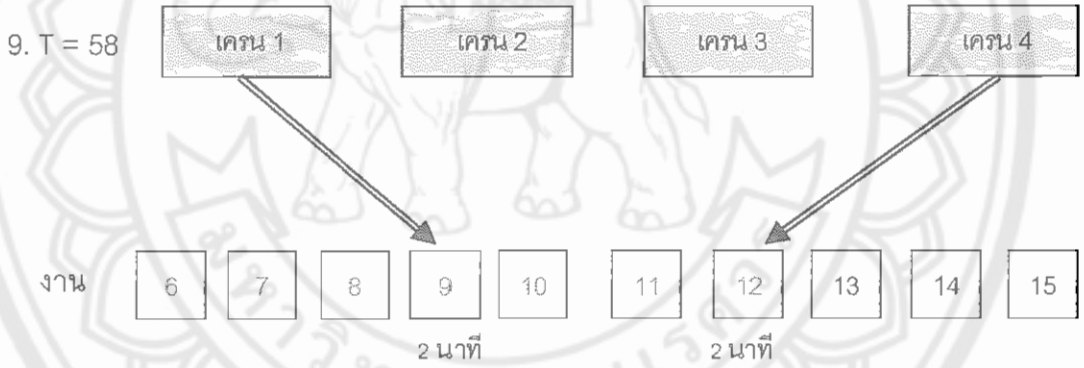
รูปที่ 2.9 การทำงานของเครนที่ T= 50 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 50 เครนตัวที่ 2 ทำงานชิ้นที่ 6 เสร็จ สามารถไปทำงานชิ้นที่ 10 ต่อได้เลย โดยมีเวลาในการทำงาน 8 นาที และเครนตัวที่ 1 เริ่มทำงานชิ้นที่ 9 ได้ โดยมีเวลาในการทำงาน 10 นาที ส่วนเครนตัวที่ 3 ยังคงเหลือเวลาในการทำงาน 5 นาที และเครนตัวที่ 4 ยังคงเหลือเวลาในการทำงาน 10 นาที



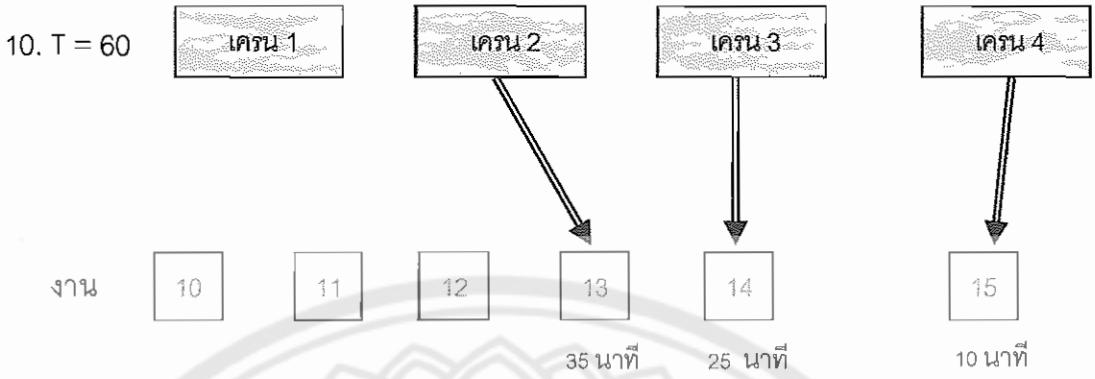
รูปที่ 2.10 การทำงานของเครนที่ T= 55 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 55 เครนตัวที่ 3 ทำงานชิ้นที่ 11 เสร็จ แต่ไม่สามารถไปทำงานชิ้นที่ 14 ต่อได้ เพราะเครนตัวที่ 4 ยังทำงานชิ้นที่ 12 ไม่เสร็จและยังคงเหลือเวลาในการทำงานอีก 5 นาที



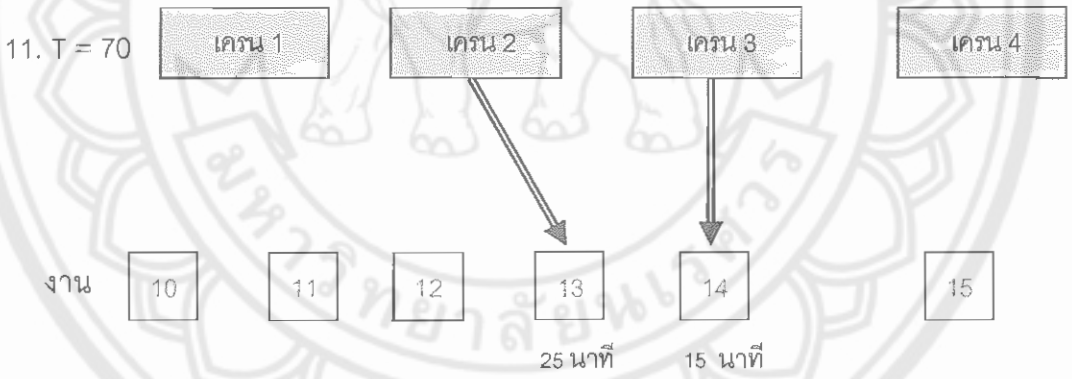
รูปที่ 2.11 การทำงานของเครนที่ T= 58 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 58 เครนตัวที่ 2 ทำงานชิ้นที่ 10 เสร็จ แต่ไม่สามารถไปทำงานชิ้นที่ 13 ต่อได้ เพราะเครนตัวที่ 4 ยังทำงานชิ้นที่ 12 ไม่เสร็จและยังคงเหลือเวลาในการทำงานอีก 2 นาที



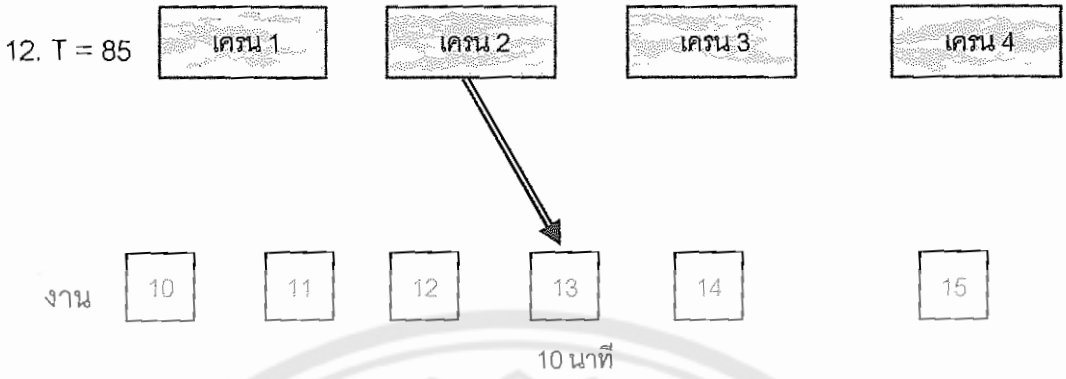
รูปที่ 2.12 การทำงานของเครนที่ T= 60 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 60 เครนตัวที่ 1 ทำงานชิ้นที่ 9 เสร็จก็หยุดทำงาน ในขณะที่เครนตัวที่ 4 เมื่อทำงานชิ้นที่ 12 เสร็จแล้ว สามารถทำงานชิ้นที่ 15 ได้เลย ส่วนเครนตัวที่ 2 และ 3 จะทำงานชิ้นที่ 13 และ 14 ได้ตามลำดับ



รูปที่ 2.13 การทำงานของเครนที่ T= 70 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 70 เครนตัวที่ 4 ทำงานชิ้นที่ 15 เสร็จแล้วก็หยุดทำงาน แต่เครนตัวที่ 2 และ 3 ยังทำงานไม่เสร็จ ยังคงเหลือเวลาในการทำงาน 25 และ 15 นาที ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 การทำงานของเครนที่ T= 85 ณ ตำแหน่งงานต่างๆ

ที่เวลา T = 85 เครนตัวที่ 3 ทำงานชิ้นที่ 14 เสร็จแล้วก็หยุดทำงาน และเมื่อเครนตัวที่ 2 ทำงานชิ้นที่ 13 เสร็จ จะเป็นเวลาเสร็จสิ้นของงานทั้งหมดที่ T= 95 นาที

จากลักษณะการทำงานของเครนที่แสดงให้ดูเป็นตัวอย่างนั้น จะเห็นได้ว่า การจัดลำดับการทำงานของเครนแต่ละตัวจะมีผลต่อเวลาในการทำงานเป็นอย่างมาก

2.1.2 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดลำดับการทำงานของเครน

ลักษณะการทำงานของเครนจะมีการทำงานตามเงื่อนไขที่กล่าวมา โดยสามารถแสดงการทำงานของเครนในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีเป้าหมายเพื่อหาเวลาที่ทุกงานเสร็จเร็วที่สุด (Makespan) แบบจำลองนี้ถูกพัฒนา โดย Zhu และ Lim (2005) โดยมีพารามิเตอร์และตัวแปรในการตัดสินใจ ที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์

m = จำนวนเครน

n = จำนวนงาน

p_i = เวลาที่ใช้ในการทำงาน i $(1 \leq i \leq n)$

ตัวแปรในการตัดสินใจ

C_i = เวลาที่งาน i ทำงานเสร็จ $(1 \leq i \leq n)$ จะมีค่าเป็นจำนวนเต็ม

C_{max}= เวลาที่เครนทุกตัวทำงานเสร็จ จะมีค่าเป็นจำนวนเต็ม

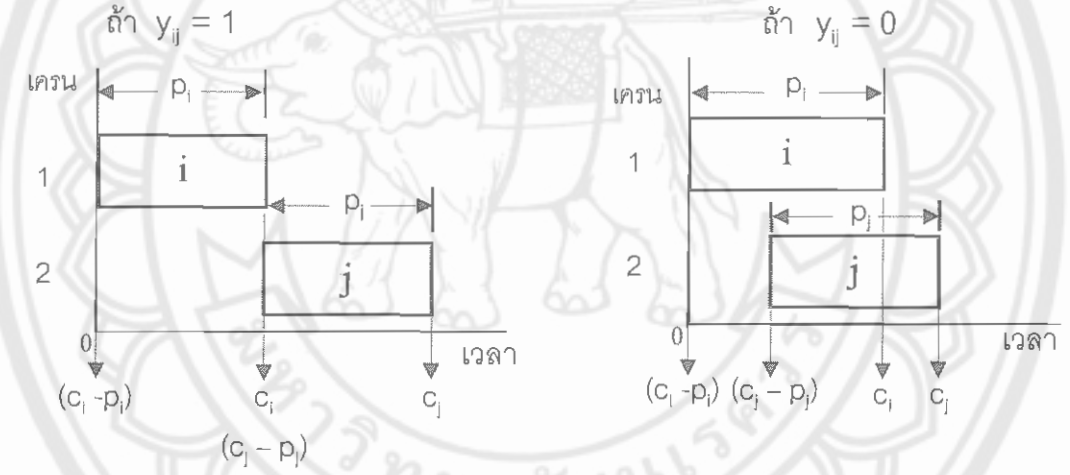
$$Z_{ijkl} = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อเครน k ไม่ได้ทำงาน i หรือ เครน l ไม่ได้ทำงาน j} \\ 1 & \text{เมื่อเครน k ทำงาน i และ เครน l ทำงาน} \end{cases}$$

$$X_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่องาน } i \text{ ถูกทำโดยเครน } k \\ 0 & \text{เมื่องาน } i \text{ ไม่ได้ถูกทำโดยเครน } k \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อ งาน } i \text{ ถูกทำเสร็จ ก่อนที่งาน } j \text{ จะเริ่มทำงาน} \\ 0 & \text{เมื่อ งาน } i \text{ ทำงานเสร็จช้ากว่างาน } j \text{ จะเริ่มทำงาน} \end{cases}$$

โดยที่ $c_i \leq (c_j - p_j)$, $\forall 1 \leq i \leq n$

กรณีของค่า y_{ij} สามารถแสดงได้ ดังนี้



รูปที่ 2.15 แสดงการเปรียบเทียบในกรณีที่ $y_{ij} = 1$ และ $y_{ij} = 0$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สามารถเขียนได้ดังนี้ (เมื่อ M เป็นค่าคงที่ ที่มีค่ามาก)

$$\text{Minimize} \quad C_{\max}$$

Subject to

$$C_{max} \geq 1, \quad \forall 1 \leq i \leq n \tag{1}$$

$$c_i - p_i \geq 0, \quad \forall 1 \leq i \leq n \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^{m} x_{ik} = 1, \quad \forall 1 \leq I \leq n \tag{3}$$

$$Z_{ijkl} \leq X_{ik}, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m \tag{4}$$

$$Z_{ijkl} \leq X_{jl}, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m \tag{5}$$

$$X_{ik} + X_{jl} - 1 \leq Z_{ijkl}, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m \tag{6}$$

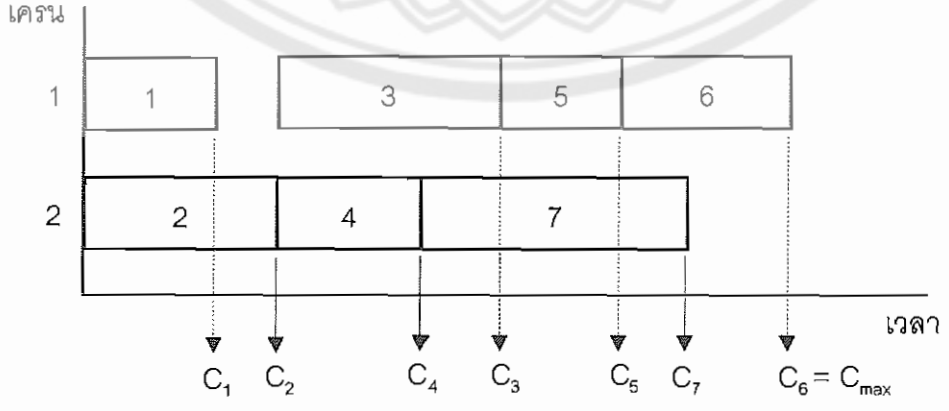
$$c_i - (c_j - p_j) + y_{ij} M \geq 0, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n \tag{7}$$

$$c_i - (c_j - p_j) - (1 - y_{ij}) M \leq 0, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n \tag{8}$$

$$y_{ij} + y_{ji} \geq Z_{ijkk}, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, i \neq j, \quad \forall 1 \leq k \leq m \tag{9}$$

$$y_{ij} + y_{ji} \geq Z_{ijkl}, \quad \forall 1 \leq l < j \leq n, \quad \forall 1 \leq l < k \leq m \tag{10}$$

จากอสมการ (1) $C_{max} \geq c_i, \quad \forall 1 \leq i \leq n$ (i=1,2,...,n)

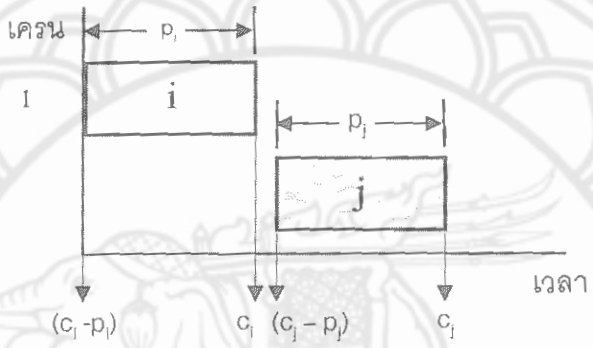


รูปที่ 2.16 แสดงเวลาในการทำงานที่เสร็จสิ้นสมบูรณ์ของแต่ละงาน

เป็นการระบุว่า เวลาในการทำงานที่เสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว (C_{max}) จะต้องมากกว่า หรือเท่ากับเวลาในการทำงานแต่ละงาน (C_i) จากรูปจะแสดงให้เห็นว่า C_{max} จะมีค่ามากกว่า $C_1, C_2, ..., C_5$ และมีค่าเท่ากับ C_6

จากอสมการ (2) เป็นข้อจำกัดที่ระบุว่า

$$c_i - p_i \geq 0 , \quad \forall 1 \leq i \leq n \quad (i=1,2,...,n)$$



รูปที่ 2.17 แสดงเวลาเริ่มต้นในการทำงานของงาน i และงาน j

จากรูปแสดงให้เห็นว่า เวลาเริ่มต้นในการทำงานนั้น จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0

จากสมการ (3) ระบุไว้ว่า

$$\sum_{k=1}^{m} x_{ik} = 1 , \quad \forall 1 \leq i \leq n$$

คือ งานหนึ่งงานสามารถถูกทำโดยเครนได้แค่ 1 ตัว

เช่น ถ้าเรามีเครน 3 ตัว และพิจารณางานที่ 1 จะได้สมการว่า

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} = 1$$

นั้นหมายความว่า X_{11}, X_{12} และ X_{13} จะมีเพียงตัวเดียวที่มีค่าเท่ากับ 1

จากอสมการ (4) ระบุไว้ว่า

$$Z_{ijkl} \leq X_{ik}, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m$$

$$Z_{ijkl} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่องาน i ถูกทำโดยเครน k และงาน j ถูกทำโดยเครน l} \\ 0 & \text{เมื่องาน i ถูกทำโดยเครน k แต่งาน j ไม่ทำโดยเครน l หรือ} \\ & \text{เมื่องาน i ไม่ทำโดยเครน k แต่งาน j ถูกทำโดยเครน l หรือไม่ทั้งคู่} \end{cases}$$

ถ้า $X_{ik} = 0$ คือ งาน i ไม่ถูกทำโดยเครน k

จากอสมการนั้นหมายความว่า Z_{ijkl} ต้องมีค่าเท่ากับ 0 ด้วย

ถ้า $X_{ik} = 1$ คือ งาน i ถูกทำโดยเครน k

จากอสมการนั้นหมายความว่า Z_{ijkl} จะมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 ก็ได้

ดังนั้น ถ้าให้งาน i ถูกทำโดยเครน k แล้ว งาน j จะถูกทำโดยเครน l หรือไม่ก็ได้ และ ถ้าให้งาน i ไม่ถูกทำโดยเครน k แล้ว งาน j ถูกทำโดยเครน l หรือไม่ก็ได้

จากอสมการ (5) ระบุไว้ว่า $Z_{ijkl} \leq X_{jl}, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m$

$$Z_{ijkl} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่องาน j ถูกทำโดยเครน l แต่งาน i ถูกทำโดยเครน k} \\ 0 & \text{เมื่องาน j ถูกทำโดยเครน l แต่งาน i ไม่ถูกทำโดยเครน k หรือ} \\ & \text{เมื่องาน j ไม่ถูกทำโดยเครน i แต่งาน i ถูกทำโดยเครน k หรือไม่ทั้งคู่} \end{cases}$$

ถ้า $X_{jl} = 0$ คือ งาน j ไม่ถูกทำโดยเครน l

จากอสมการนั้นหมายความว่า Z_{ijkl} ต้องมีค่าเท่ากับ 0 ด้วย

ถ้า $X_{jl} = 1$ คือ งาน j ถูกทำโดยเครน l

จากอสมการนั้นหมายความว่า Z_{ijkl} จะมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 ก็ได้

ดังนั้น ถ้าให้งาน j ถูกทำโดยเครน l แล้ว งาน i จะถูกทำโดยเครน k หรือไม่ก็ได้ และ ถ้าให้งาน j ไม่ถูกทำโดยเครน l แล้ว งาน i ถูกทำโดยเครน k หรือไม่ก็ได้

จากอสมการ (6) ระบุไว้ว่า

$$X_{ik} + X_{jl} - 1 \leq Z_{ijkl}, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n, \quad \forall 1 \leq k, l \leq m$$

ถ้า $Z_{ijkl} = 0$ จะได้ว่า $X_{ik} + X_{jl} - 1 \leq 0$

ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ 3 กรณี

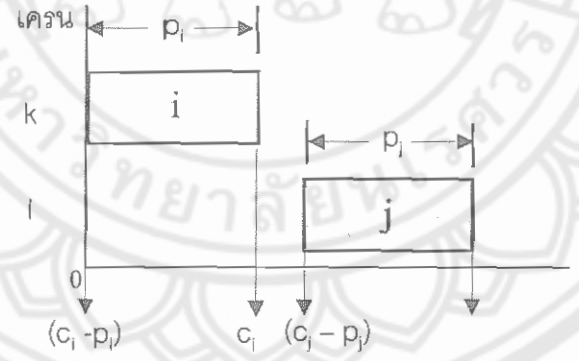
1. $X_{ik} = 1$, $X_{jl} = 0$ คืองาน i จะถูกทำโดยเครน k แต่ j ไม่ถูกทำโดยเครน l
2. $X_{ik} = 0$, $X_{jl} = 1$ คืองาน j ถูกทำโดยเครน l แต่ i ไม่ถูกทำโดยเครน k
3. $X_{ik} = 0$, $X_{jl} = 0$ คืองาน i ไม่ถูกทำโดยเครน k และงาน j ไม่ถูกทำโดยเครน l

จากสมการ (7),(8) ที่ระบุไว้ว่า

$$c_i - (c_j - p_j) + y_{ij} M \geq 0, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n$$

$$c_i - (c_j - p_j) - (1 - y_{ij}) M \leq 0, \quad \forall 1 \leq i, j \leq n$$

จากอสมการทั้งคู่เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ของค่า y_{ij} กับเวลาที่เริ่มต้น และเสร็จสิ้นของงาน i กับ j

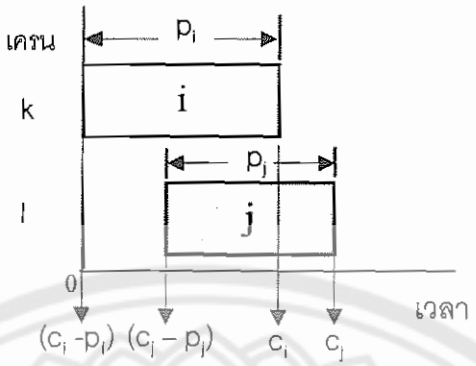


รูปที่ 2.18 แสดงเวลาที่เริ่มต้น และเสร็จสิ้นของงาน i กับ j กรณีที่ $y_{ij} = 1$

เมื่อ $y_{ij} = 1$ จะได้ $c_i - (c_j - p_j) \geq 0$ คือ งาน i เสร็จก่อนที่ j จะเริ่มทำงาน

จะได้ $c_i - (c_j - p_j) + M \geq 0$

$c_i - (c_j - p_j) - 0 \leq 0$



รูปที่ 2.19 แสดงเวลาที่เริ่มต้น และเสร็จสิ้นของงาน i กับ j กรณีที่ $y_{ij} = 0$

เมื่อ $y_{ij} = 0$ จะได้ $c_i > (c_j - p_j)$ คืองาน j ถูกทำงานก่อนที่ i จะทำงานเสร็จ

จะได้ $c_i - (c_j - p_j) + 0 \geq 0$

$c_i - (c_j - p_j) - M \leq 0$

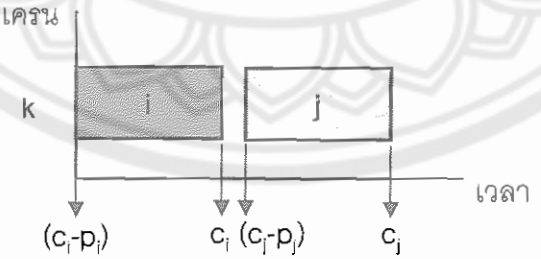
จากอสมการ (9) ระบุไว้ว่า

$y_{ij} + y_{ji} \geq Z_{ijkk'}$ $\forall 1 \leq i, j \leq n, i \neq j, \quad \forall 1 \leq k \leq m$

เมื่อ Z_{ijkk} คือ เครน k สามารถทำงาน i และงาน j ได้

สามารถแบ่งได้ 4 กรณี ซึ่ง แสดงได้ดังนี้

1. $y_{ij} = 1, \ y_{ji} = 0$

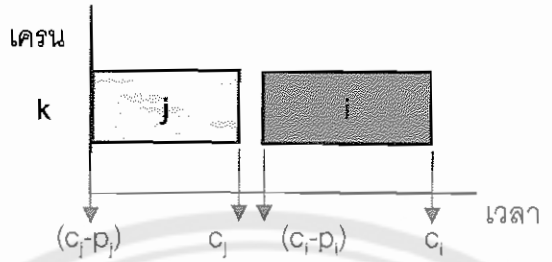


รูปที่ 2.20 แสดงการทำงานของเครน k เมื่อ $y_{ij} = 1, y_{ji} = 0$

จากรูปแสดงได้ว่า $y_{ij} = 1$ คือ งาน i เสร็จก่อนที่งาน j จะเริ่ม

$y_{ji} = 0$ คือ เริ่มทำงาน j หลังจากที่ ทำงาน i เสร็จแล้ว

2. $y_{ji} = 1,\ y_{ij} = 0$

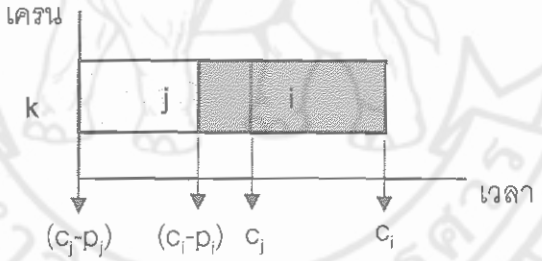


รูปที่ 2.21 แสดงการทำงานของเครน k เมื่อ $y_{ji} = 1,\ y_{ij} = 0$

จากรูปแสดงได้ว่า $y_{ji} = 1$ คืองาน j เสร็จก่อนที่งาน I จะเริ่มทำ

$y_{ij} = 0$ คืองาน i เริ่มทำหลังจากที่ทำงาน j เสร็จแล้ว

3. $y_{ji} = 0,\ y_{ij} = 0$

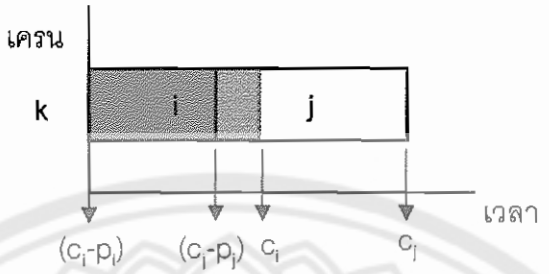


รูปที่ 2.22 แสดงการทำงานของเครน เมื่อ $y_{ji} = 0,\ y_{ij} = 0$

จากรูปแสดงได้ว่า $y_{ji} = 0$ คือ งาน j ยังไม่เสร็จ ขณะที่งาน i เริ่มทำงานแล้ว

$y_{ij} = 0$ คือ งาน i เริ่มทำตอนที่ งาน j ยังทำงานไม่เสร็จ

4. $y_{ij} = 0, y_{ji} = 0$



รูปที่ 2.23 แสดงการทำงานของเครน เมื่อ $y_{ij} = 0, y_{ji} = 0$

จากรูปแสดงได้ว่า $y_{ij} = 0$ คือ งาน i ยังทำงานไม่เสร็จ ขณะที่งาน j เริ่มทำงานแล้ว

$y_{ji} = 0$ คือ งาน j เริ่มทำงานแล้ว ขณะที่งาน i ยังทำงานไม่เสร็จ

จากอสมการ $y_{ij} + y_{ji} \geq Z_{ijkk}$

ถ้า $y_{ij} = 1, y_{ji} = 0$ จะได้ $Z_{ijkk} \leq 1+0 = 1$

ถ้า $y_{ij} = 0, y_{ji} = 1$ จะได้ $Z_{ijkk} \leq 1+0 = 1$

จาก 2 กรณีนี้ แสดงว่า งาน i กับ j สามารถถูกทำโดยเครน k ได้

ถ้า $y_{ij} = 0, y_{ji} = 0$ จะได้ $Z_{ijkk} \leq 0+0 = 0$

แสดงว่า งาน i กับ j ไม่สามารถถูกทำโดยเครน k ได้

จากสมการที่ (10) ที่ระบุไว้ว่า

$y_{ij} + y_{ji} \geq Z_{ijkl}, \quad \forall 1 \leq l < j \leq n, \quad \forall 1 \leq l < k \leq m$

พิจารณา y_{ij} และ y_{ji} เช่นกันกับสมการ (9) แต่เครน k ทำงาน i ,เครน l ทำงาน j

ถ้า $y_{ij} = 1, y_{ji} = 0$ จะได้ $Z_{ijkl} \leq 1 + 0 = 1$

แสดงว่า งาน i ถูกทำโดยเครน k โดยเสร็จก่อนที่งาน j จะเริ่ม

ถ้า $y_{ij} = 0, y_{ji} = 1$ จะได้ $Z_{ijkl} \leq 0 + 1 = 1$

แสดงว่า งาน j ถูกทำโดยเครน l โดยเสร็จก่อนที่งาน i จะเริ่ม

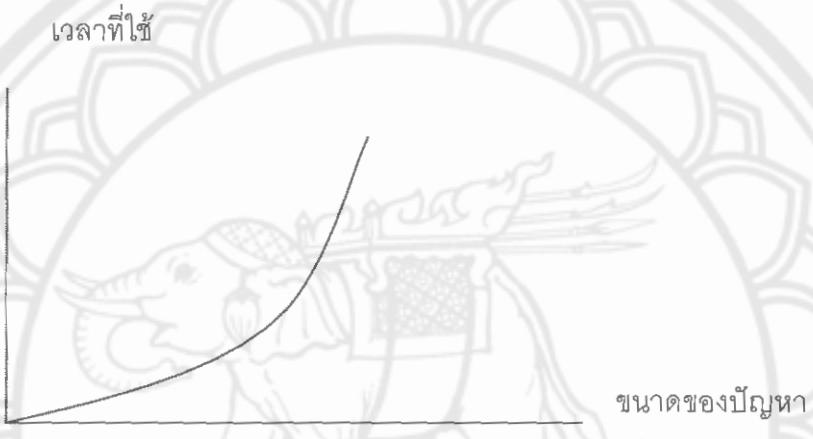
ถ้า $y_{ij} = 0, y_{ji} = 0$ จะได้ $Z_{ijkl} \leq 0 + 0 = 0$

แสดงว่า งาน i ถูกทำโดยเครน k แต่ยังไม่เสร็จ ในขณะที่เครน l เริ่มทำงาน j แล้ว

2.2 การแก้ปัญหาโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing)

การแก้ปัญหา เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เป็นปัญหาที่ได้รับการศึกษามานานแล้ว และได้มีการพิสูจน์แล้วว่า ปัญหาของปัญหานั้นเป็นปัญหาแบบ NP-hard

ปัญหาแบบ NP-hard หมายถึง เมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น (เช่นตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากขึ้น) เวลาที่จะใช้ในการแก้ปัญหา เพื่อให้ได้คำตอบ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) นั้นจะเพิ่มขึ้น มากยิ่งขึ้น แบบ Exponential



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะของปัญหาแบบ NP-hard

แต่ก็มีนักวิชาการ ได้คิดวิธีการแก้ปัญหาที่ให้คำตอบ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียง หรือเท่ากับค่าคำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการแก้ปัญหานาน วิธีการเหล่านี้ เรียกว่า " ฮิวริสติกส์ (Heuristics) "

ในการแก้ปัญหา การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เราจะแบ่งประเภทของวิธีการแก้ปัญหาออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ได้แก่

1. วิธีการแก้ปัญหาที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด วิธีการเหล่านี้จะให้คำตอบที่ดีที่สุด แต่เมื่อนำไปใช้แก้ปัญหา ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง มักจะใช้เวลาในการแก้ปัญหานานมาก ตัวอย่างเช่น Branch and bound

2. วิธีการแก้ปัญหาที่จะให้คำตอบที่ดี หรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด (Heuristic) โดยจะใช้เวลาในการหาคำตอบน้อย ตัวอย่างเช่นที่จะศึกษาคือ Simulated Annealing (SA) ที่เป็นวิธีการหาคำตอบวิธีหนึ่งดังนี้

SA เป็นวิธีการหาคำตอบ แบบ Heuristic ที่สามารถหาคำตอบที่ใกล้เคียง ร่วมกับคำตอบที่ดีที่สุด คำตอบที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่า หรือคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) โดยใช้เวลาในการคำนวณไม่มากเกินไป

หลักการมาจากการอบอ่อน (Annealing) เพื่อลดระดับพลังงานให้อยู่ในสถานะที่เสถียร โดยเริ่มจากการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงมาก จากนั้นก็ค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จนโครงสร้างของชิ้นงานจับตัวกันแน่นอีกครั้ง โดยเวลาที่ใช้สำหรับแต่ละอุณหภูมิของการอบอ่อนนั้น ต้องมีมากพอที่ทำให้ระบบเข้าสู่สถานะเสถียร หากการอบอ่อนไม่ได้เป็นไปด้วยอุณหภูมิ และระยะเวลาที่กำหนด ก็จะทำให้เกิดการแปรปรวนของการจับตัวกันของโครงสร้างชิ้นงาน ทำให้ได้ชิ้นงานที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ได้

ฉะนั้น จะพบว่ามีส่วนสำคัญที่คล้ายกันระหว่างปัญหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Problem) และกระบวนการทำ annealing นั้น คือ ผลของคำตอบที่ตรงกันกับความต้องการให้เกิดการจัดเรียงโมเลกุลที่แข็งแรง

หลักการต่อมา คือ โอกาสในการยอมรับกับคำตอบที่ได้ หาได้จากการพิจารณาการจัดเรียงโมเลกุลของชิ้นงาน เราจะเปลี่ยนแปลงโดยสุ่มให้มีการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ และหาปริมาณพลังงานที่ลดลง คือ

กำหนดให้

E_1 = พลังงานที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงโมเลกุลครั้งแรก

E_{new} = พลังงานที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงโมเลกุลใหม่

E_{best} = พลังงานที่เกิดจากการสุ่มให้มีการจัดเรียงโมเลกุลที่ดีที่สุด ณ ขณะนั้น

T = อุณหภูมิ

T_{END} = ระดับอุณหภูมิที่กำหนด

K = ค่าคงที่ ของโบลต์ซมันน์ (Boltzmann)

R = จำนวนการค้นหาคำตอบในแต่ละระดับค่าอุณหภูมิ

R_{count} = ค่าจำนวนการค้นหา ที่เหลืออยู่ในระดับอุณหภูมิ

d = อัตราการเย็นตัว

ขั้นตอนของ SA

1. กำหนดค่าอุณหภูมิ T
2. กำหนด $R_{count} = R$
3. กำหนดค่า E_1 จากการสุ่มแล้วกำหนดเป็นค่าคำตอบที่ให้ค่าต่ำที่สุด E_{best}
4. ค้นหาคำตอบใหม่ E_{new} โดยการทำ Neighborhood Search
5. ถ้า $E_{new} \leq E_{best}$ ให้ E_{new} แทนค่า E_{best}

   ถ้า $E_{new} > E_{best}$ แล้ว

สุ่มค่า U^{*} จาก U [0,1] ถ้า $U^{*} \leq P = e^{-(\Delta E)/kT}$

แล้วให้ E_{new} แทนค่า E_{best} ไว้ตามเดิม

6. ให้ $R_{count} = R_{count} - 1$

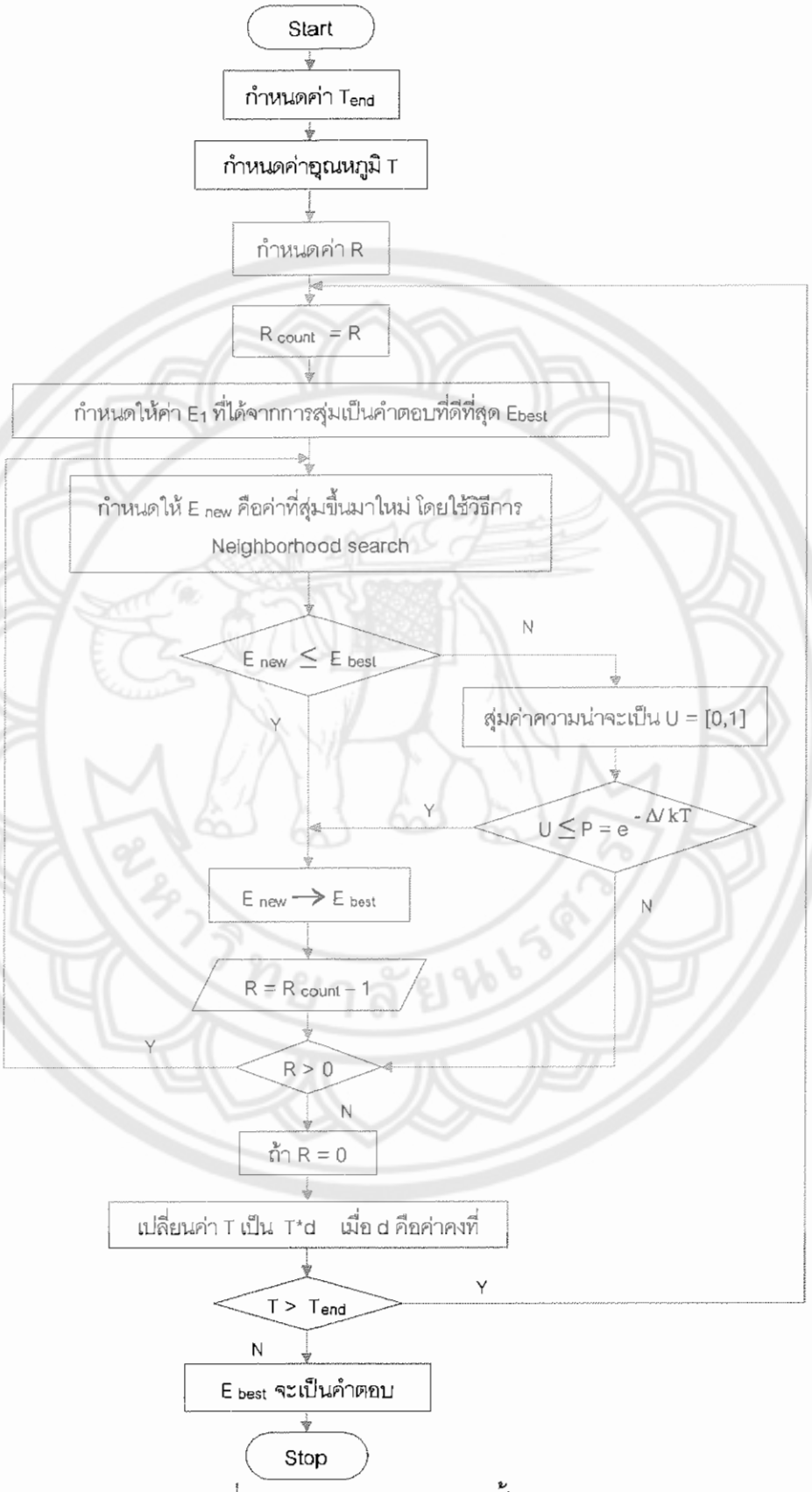
7. ถ้า $R > 0$ ให้กลับไปทำขั้นที่ 3 ถ้า $R=0$ ทำขั้นที่ 8

8. เปลี่ยนอุณหภูมิ โดยให้ $T = T^{*}d$

ถ้า $T > T_{end}$ ตั้งค่า $R_{count} = R$ แล้วย้อนกลับไปทำขั้นที่ 3

ถ้าไม่เช่นนั้น E_{best} เป็นคำตอบ

สามารถแสดงเป็น Flow Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 2.25 Flow chart แสดงขั้นตอน SA

25
1.ล1ล5239 ค.2
22 ก.ค. 2551
สำนักหอสมุด

2.3 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของ Visual Basic for Application

การทำงานในปัจจุบัน ต้องการความสะดวกและรวดเร็วในการตัดสินใจ รวมทั้งเวลาในการแก้ไขปัญหา ซึ่งในการจัดลำดับการทำงานของเครน โดยใช้หลักการของการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) นี้ จะมีลักษณะการวนซ้ำ ที่มีจำนวนรอบที่ทำซ้ำสูงมาก ทำให้เหมาะสมที่จะใช้คอมพิวเตอร์ มาช่วยในการสร้างกระบวนการทำงานของการอบอ่อนจำลอง ภาษาในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่เลือกใช้คือ Visual Basic for Application ซึ่งเป็นภาษาที่เป็นมาตรฐาน ในโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งโดยปกติจะมีการใช้ในการประยุกต์ใช้ในการคำนวณได้อย่างหลากหลาย และมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

2.3.1 หลักการของ Visual Basic จากผู้ผลิตและพัฒนา Microsoft

ในการเขียนโปรแกรมโดยทั่วไปจะต้องวางแผน หรือกำหนดการทำงานของโปรแกรมให้แน่นอน เริ่มตั้งแต่ต้นจนจบโปรแกรม ในบางกรณีโปรแกรมจะมีการทำงานข้ามไปยังโปรแกรมย่อย จึงทำให้การเขียนโปรแกรมมักจะมีข้อผิดพลาดเสมอ ที่เรียกว่า บั๊ก จนกล่าวทั่วได้ว่า "ไม่มีโปรแกรมใดที่สมบูรณ์ที่สุด" แต่การเขียนโปรแกรมของ Visual Basic ใช้ภาพและการมองเห็นช่วยทำให้ใช้งานมีข้อผิดพลาดลดลง โดย Visual Basic จะเก็บออบเจกต์ต่างๆ ไว้ใน ฟอร์ม (Form) โดยออปเจกต์เหล่านั้น จะถูกกำหนดให้ทำงานตามเหตุการณ์ หรือ อีเวนต์ (Event) ที่กำหนด ซึ่งอาจจะเป็นการคลิก, ดับเบิลคลิก เป็นต้น เหตุการณ์อื่นที่ไม่ได้ระบุไว้จะไม่มี จะไม่มีผลกับออปเจกต์นั้น ลักษณะโปรแกรมนี้ เรียกว่า Event-Driven ซึ่ง Visual Basic กำหนดส่วนหัวและส่วนหางไว้เรียบร้อยแล้ว ทำให้การเขียนโปรแกรมง่ายขึ้น

ภาษาเบสิก มีจุดเด่นคือผู้ที่ไม่มีพื้นฐานเรื่องการเขียนโปรแกรมเลย ก็สามารถเรียนรู้และนำไปใช้งานได้อย่างง่ายดาย และรวดเร็ว โดยผู้ใช้งานสามารถใช้ภาษา Visual Basic เพื่อปรับปรุงการทำงานของโปรแกรมให้ตรงตามความต้องการ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น โปรแกรม word, Excel หรือ PowerPoint ได้เตรียมภาษาVBA มาให้ผู้ใช้ ซึ่งการเขียนนั้นจะเหมือนกับภาษา Visual Basic ทุกประการ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้กับแผ่นชีตคำนวณใน Excel หรือทำงานเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมก็ได้ เช่น เชื่อมต่อกับ Excel, PowerPoint และ Word ให้ทำงานร่วมกันอย่างมีอัตโนมัติ

Visual Basic เป็นภาษาที่เหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ในการเขียนโปรแกรมนั้น เนื่องมาจาก Visual Basic มีข้อดีหลายประการ กล่าวคือ

1. ง่ายต่อการเรียนรู้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ทั้งในเรื่องไวยากรณ์ของภาษาเองและเครื่องมือการใช้งาน ดังชื่อที่บอกอยู่แล้วว่า basic ซึ่งเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น

2. ความนิยมของตัวภาษา โดยอาจกล่าวได้ว่าภาษา Basic นั้นเป็นภาษาที่มีคนเรียนรู้และใช้งานมากที่สุดในประวัติศาสตร์ของคอมพิวเตอร์

3. การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพ ในด้านของภาษาและความเร็วของการประมวลผล และในเรื่องของความสามารถใหม่ ๆ เช่น การติดต่อกับระบบฐานข้อมูล การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

4. ผู้พัฒนาสำคัญของ Visual Basic คือบริษัทไมโครซอฟท์ซึ่งจัดว่าเป็นยักษ์ใหญ่ ของวงการคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน เราจึงสามารถมั่นใจได้ว่า Visual Basic จะยังมีการพัฒนาปรับปรุงและคงอยู่ไปอีกนาน

5. Visual Basic ทำงานบนวินโดว์ สามารถทำงานหลายอย่างได้ในเวลาเดียวกัน (Multitasking)

6. ภาษาเบสิกสามารถนำไปประยุกต์ ใช้งานกับโปรแกรมไมโครซอฟท์ ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะ Microsoft Excel ซึ่งเป็นที่แพร่หลายมาก จึงได้ประยุกต์ใช้งาน เพื่อประสิทธิภาพของ Microsoft Excel