บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง (Shuffled Frog Leaping Algorithms: SFL) ในการจัดตารางการผลิตได้มีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง มีเนื้อหาประกอบด้วย

1. ปัญหาการจัดตารางการผลิต
2. ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดตารางการผลิต

1. ความหมายและความสำคัญของปัญหาการจัดตารางการผลิต

การจัดตาราง (Scheduling) คือ การดำเนินงานเป็นกระบวนการตัดสินใจรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมการผลิต การจัดตารางอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้นำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตได้ การจัดตารางการผลิต เป็นการจัดสรรทรัพยากร (Resource) ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับงาน (Task) จำนวนหนึ่งภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดให้เพื่อที่จะให้องค์กรสามารถบรรลุถึงเป้าหมาย (Goal) หรือวัตถุประสงค์ (Objective) สูงสุดที่องค์กรกำหนดเอาไว้ ที่เวลานั้นได้ และผลลัพธ์การจัดตาราง คือ ตารางหรือกำหนดการ (Schedule)
(สุปราณี แก้วปรารถนา และ อรรถสิทธิ์ สุรฤกษ์, 2549)

การจัดตารางการผลิต หมายถึง การจัดสรรทรัพยากรการผลิต เช่น คนงาน วัตถุดิบ เครื่องจักร อุปกรณ์ เป็นต้น ให้แก่ชิ้นงานเพื่อทำการผลิตสินค้าตามที่ได้กำหนดไว้ การจัดตารางการผลิตที่ดีย่อมจะเป็นการใช้ทรัพยากรการผลิตอย่างเต็มประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ออกมาตรงตามความต้องการ (วิทยา เจียมธีระนาถ, ม.ป.ป.)

การจัดตารางการผลิตที่ดี จะทำให้ทราบถึงเวลาเริ่มต้น และเวลาสิ้นสุดของการผลิต นอกจากนั้นตารางการผลิตยังเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยในการควบคุมการผลิตให้เป็นไปตามที่กำหนด การจัดตารางการผลิตไว้ล่วงหน้าสามารถบ่งบอกได้ว่า ณ คาบเวลาใดเวลาหนึ่งนั้น ทรัพยากรการผลิตจำเป็นต้องใช้มีอะไร จำนวนเท่าไหร่ หากเกิดเหตุอันไม่อาจจัดหาทรัพยากรเหล่านั้นมาได้เพียงพอตามเวลาที่กำหนด ผู้ผลิตย่อมมีความจำเป็นที่จะต้องตัดสินใจเลือกผลิต

สินค้าผลิตภัณฑ์เพียงบางรายการเท่าที่จะสอดคล้องกับทรัพยากรที่มีอยู่ในขณะนั้น ซึ่งระบบการผลิตแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ ระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง กับ ระบบการผลิตแบบตามสั่ง

1.1 การจัดตารางการผลิตให้ระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง

ในการผลิตสินค้าในสายการผลิตที่มีเพียงสินค้ารายการเดียวนั้นก็คงไม่มี ปัญหาอะไรมากนัก ทั้งนี้เพราะสินค้าในระบบการผลิตแบบต่อเนื่องจะต้องไหลผ่านสถานีงานต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนดไว้จนถึงสถานีงานสุดท้ายจึงสำเร็จเป็นสินค้าออกมา แต่ใน ความเป็นจริงนั้น โรงงานอาจจะทำการผลิตสินค้าหลายชนิดซึ่งทำให้การจัดลำดับในการผลิตก่อนหรือหลังนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การจัดตารางการผลิตให้แก่สายการผลิตที่ต้องผลิตสินค้าหลายรายการนั้นอาจจะใช้หลักว่า "สินค้าใดหมดก่อนก็ผลิตสินค้านั้นก่อน" มาเป็นหลักในการจัดลำดับการผลิตก็ได้ การใช้หลักแบบนี้เรียกทั่วไปว่า การใช้ "เวลาที่สินค้าจะหมด" มาจัดลำดับการผลิต (วิทยา เจียมธีระนาถ, ม.ป.ป.)

1.2 การจัดตารางการผลิตให้ระบบการผลิตแบบตามสั่ง

ระบบการผลิตแบบตามสั่งนั้น ชิ้นงานที่จะดำเนินการผลิตนั้นมาถึงศูนย์การทำงานอย่างไม่สม่ำเสมอและไม่เป็นไปตามลำดับขั้นตอน เพราะฉะนั้น บางครั้งอาจจะมีบางศูนย์การทำงานอาจมีชิ้นงานมาให้ผลิตมาก บางศูนย์การทำงานอาจมีชิ้นงานมาให้ผลิตน้อย ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง ขึ้นอยู่กับคำสั่งของลูกค้าว่าจะเป็นอย่างไร ทำให้แต่ละศูนย์การทำงานมีความคับคั่งของชิ้นงานที่รอรับการปฏิบัติอยู่ไม่เท่ากัน การจัดตารางการผลิตให้ระบบการผลิตแบบตามสั่งนั้นจึงมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นโดยจะมีอยู่ด้วยกันสองขั้นตอน ได้แก่ การจัดภาระกรรม (Loading) กับการจ่ายงาน (Dispatching) ให้แก่ศูนย์การทำงาน (วิทยา เจียมธีระนาถ, ม.ป.ป.)

2. เทคนิคการจัดตารางการผลิต

มีการแบ่งเทคนิคการจัดตารางการผลิต ออกเป็น 2 แบบ คือ การจัดตารางแบบข้างหน้า (Forward scheduling) และ การจัดตารางแบบถอยหลัง (Backward scheduling) ทั้งนี้ก็เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรม มีการวางแผนการผลิตที่ดี ลดเวลานำหรือระยะเวลารอคอยในกระบวนการผลิต (Zero lead time) ขจัดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิต (Zero failures) ขจัดความสูญเปล่าในการผลิต ไม่ว่าจะเป็น การผลิตมากเกินไป (Overproduction), การรอคอย (Waiting), การขนส่ง (Transportation), กระบวนการผลิตที่ขาดประสิทธิภาพ (Processing Itself), การมีวัสดุหรือสินค้าคงคลัง (Stocks), การเคลื่อนไหว (Motion), การผลิตของเสีย (Making Defect) ซึ่งมีชื่อเรียกระบบนี้ว่า ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time Production Systems: JIT)

2.1 **การจัดตารางแบบไปข้างหน้า** (Forward Scheduling)

เริ่มต้นเมื่อทราบถึงความต้องการเกี่ยวกับงาน ซึ่งจะทำตามคำสั่งซื้อของลูกค้า มีการเริ่มทำงานทันทีเมื่อเครื่องจักรดำเนินการไปจนผลิตเสร็จ โดยไม่พิจารณาวันที่ส่งมอบงานให้กับลูกค้า การจัดตารางที่ใช้เทคนิคแบบไปข้างหน้านี้ถึงแม้ว่าจะไม่ละเมิดข้อจำกัดด้านการผลิต แต่ก็อาจจะทำให้เกิดการส่งมอบงานล่าช้าได้ และนอกจากนั้นแล้วยังอาจจะทำให้เกิดชิ้นงานระหว่างทำขึ้นเป็นจำนวนมากในระบบอีกด้วย ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาช่วงก่อนการส่งมอบ

2.2 **การจัดแบบถอยหลัง** (Backward Scheduling)

เริ่มต้นจากเวลาส่งมอบ ซึ่งจะจัดตารางให้ขั้นตอนงานสุดท้ายก่อน ส่วนขั้นตอนอื่น ๆ ก็ให้มีการจัดตารางตามลำดับย้อนกลับ ทั้งนี้เพื่อจะได้ผลิตงานให้เสร็จพอดีกับวันส่งมอบมากที่สุด เพื่อต้นทุนที่เกิดจากงานเสร็จก่อนหรืองานล่าช้าต่ำที่สุด ซึ่งการจัดตารางแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากทั้งโรงงานอุตสาหกรรมและงานที่เกี่ยวกับการบริการ (ปารเมศ ชุติมา, 2546) การจัดตารางที่ใช้เทคนิคแบบถอยหลังนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ทำให้งานเกิดความล่าช้าก็ตาม แต่อาจจะไม่สามารถหาตารางที่เป็นจริงได้ เนื่องจากตารางดังกล่าวมีการละเมิดข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตขึ้น

3. **การประเมินค่าการจัดตารางการผลิต**

ในงานวิจัยนี้ มีการใช้สมการคณิตศาสตร์ในการคำนวณการจัดตารางการผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐานหรือให้ตรงตามวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ 1 (Pongcharoen, et al., 2008)

สมการวัตถุประสงค์

$$\text{Total penalty cost} = \sum_{j=1}^{C}\sum_{k=1}^{P} Pe(E_{jk}) + \sum_{k=1}^{P} Pe(E_k) + \sum_{k=1}^{P} Pt(T_k) \qquad (1)$$

เมื่อ

C = จำนวนชิ้นส่วน (Components) ทั้งหมด

P = จำนวนผลิตภัณฑ์ (Products) ทั้งหมด

O = จำนวนงาน (Operation) ทั้งหมด

M = จำนวนเครื่องจักร (Machines) ทั้งหมด

ลำดับ (Indices):

i = ลำดับของงานที่ i^{th} (i = 1, ..., O)

j = ลำดับของชิ้นส่วนที่ j^{th} (j = 1, ..., C)

k = ลำดับของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (k = 1, ..., P)

m = ลำดับของเครื่องจักรที่ m^{th} (m = 1, ..., M)

ตัวแปร (Variables):

E_k = เวลาที่เสร็จก่อนกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

E_{jk} = เวลาที่เสร็จก่อนกำหนดของชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

T_k = เวลาที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

Parameters:

R_m = เวลาที่พร้อมทำงานของเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

C_k = เวลาที่เสร็จสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

D_k = กำหนดส่งมอบของผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

C_{jk} = เวลาที่เสร็จสมบูรณ์ของชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

D_{jk} = กำหนดส่งมอบของชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} (นาที)

SU_{ijkm} = เวลาที่ติดตั้งของงานที่ i^{th} บนชิ้นส่วนที่ j^{th} สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

ST_{ijkm} = เวลาเริ่มต้นของงานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

PT_{ijkm} = เวลาในการดำเนินของงานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

FT_{ijkm} = เวลาที่หยุดการทำงานของงานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

TT_{ijkm} = เวลาในการเคลื่อนย้ายของงานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ k^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th} (นาที)

$X_{ijkabcm}$ = 1 ถ้า งานที่ i^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ j^{th} ในผลิตภัณฑ์ k^{th} มาก่อนงานที่ a^{th} สำหรับชิ้นส่วนที่ b^{th} ในผลิตภัณฑ์ที่ c^{th} บนเครื่องจักรที่ m^{th}; และถ้าไม่ใช่ให้เป็น 0

Pe = ค่าปรับของการทำงานเสร็จก่อนเวลา (หน่วยที่ใช้ในปัจจุบันทั่วไป: วัน)

Pt = ค่าปรับของการทำงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนด (หน่วยที่ใช้ในปัจจุบันทั่วไป: วัน)

S(x) = กลุ่มของชิ้นส่วนย่อยสำหรับผลิตภัณฑ์ย่อย x

Sh = กะการทำงาน (นาที)

- 8 ชั่วโมง กรณี 1 กะต่อวัน
- 16 ชั่วโมง กรณี 2 กะต่อวัน
- 24 ชั่วโมง กรณี 3 กะต่อวัน

สมการเงื่อนไข (Constrains)

$$ST_{ijkm} \geq R_m \qquad \forall i,j,k,m \qquad (2)$$

$$FT_{ijkm} = ST_{ijkm} + SU_{ijkm} + TT_{ijkm} \qquad \forall i,j,k,m \qquad (3)$$

$$C_{jk} \geq FT_{ijkm} \qquad \forall i,j,k,m \qquad (4)$$

$E_{jk} = (D_{jk} - C_{jk})/Sh$ (เมื่อ $D_{jk} > C_{jk}$ มิฉะนั้นจะเป็น 0) $\forall j,k$ (5)

$E_k = (D_k - C_k)/Sh$ (เมื่อ $D_k > C_k$ มิฉะนั้นจะเป็น 0) $\forall k$ (6)

$T_k = (C_k - D_k)/Sh$ (เมื่อ $C_k > D_k$ มิฉะนั้นจะเป็น 0) $\forall k$ (7)

$$ST_{ixkm} - ST_{ijkm} \geq SU_{ijkm} + PT_{ijkm} + TT_{ijkm} \qquad \forall i,k,m,i \in S(x) \qquad (8)$$

$$ST_{gikm} - ST_{ijkm} \geq SU_{ijkm} + PT_{ijkm} + TT_{ijkm} \qquad \forall j,k,m,g = i+1 \qquad (9)$$

$$X_{ijkabcm} + X_{abcijkm} = 1 \qquad \forall a,b,c,i,j,k,m \qquad (10)$$

$$X_{ijkabcm} \in (0,1) \qquad \forall a,b,c,i,j,k,m \qquad (11)$$

$$E_{jk}, E_k, T_k \geq 0 \qquad \forall j,k \qquad (12)$$

$$ST_{ijkm}, R_m \geq 0 \qquad \forall i,j,k,m \qquad (13)$$

$$FT_{ijkm}, ST_{ijkm}, SU_{ijkm}, PT_{ijkm}, TT_{ijkm} \geq 0 \qquad \forall i,j,k,m \qquad (14)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายของงานวิจัยเพื่อหาผลรวมของค่าปรับจากการทำงานซึ่งมี 3 ส่วน คือ ค่าปรับจากการทำงานเสร็จก่อนกำหนดของชิ้นส่วน, ค่าปรับจากการทำงานเสร็จก่อนกำหนดของผลิตภัณฑ์ และ ค่าปรับจากการทำงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์

สมการที่ (2) เวลาที่จะเริ่มต้นงานใดงานหนึ่งได้นั้น ก็ต่อเมื่อเครื่องจักรพร้อมทำงาน

สมการที่ (3) เวลาหยุดการทำงานของแต่ละงาน ในแต่ละครั้งนั้นได้มาจาก เวลาการเริ่มต้น, เวลาการติดตั้ง, เวลาที่ดำเนินการผลิตบนเครื่อง และเวลาในการเคลื่อนย้าย

สมการที่ (4) ชิ้นส่วนไม่สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ หากงานของชิ้นส่วนนั้นไม่เสร็จสมบูรณ์ก่อน

สมการที่ (5) เป็นการคำนวณค่าของเวลาการทำงานที่เสร็จก่อนกำหนดของชิ้นส่วน

สมการที่ (6) เป็นการคำนวณค่าของเวลาการทำงานที่เสร็จก่อนกำหนดของผลิตภัณฑ์

สมการที่ (7) เป็นการคำนวณค่าของเวลาการทำงานที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์

สมการที่ (8) ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ไม่สามารถเริ่มต้นการทำงานได้ จนกระทั่งชิ้นส่วนที่ต้องการหยุดการทำงาน

สมการที่ (9) สามารถทำงานในระดับที่สูงขึ้นไปได้ เมื่อชิ้นส่วนนั้นเป็นไปตามที่ต้องการ

สมการที่ (10) เครื่องจักรสามารถทำงานได้เพียงหนึ่งงานเท่านั้น

สมการที่ (11) กำหนดตัวแปรในการตัดสินใจ

สมการที่ (12) กำหนดให้เวลาเสร็จงานก่อนกำหนดของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ และเวลาเสร็จงานล่าช้ากว่ากำหนดของผลิตภัณฑ์มากกว่าหรือเท่ากับ 0

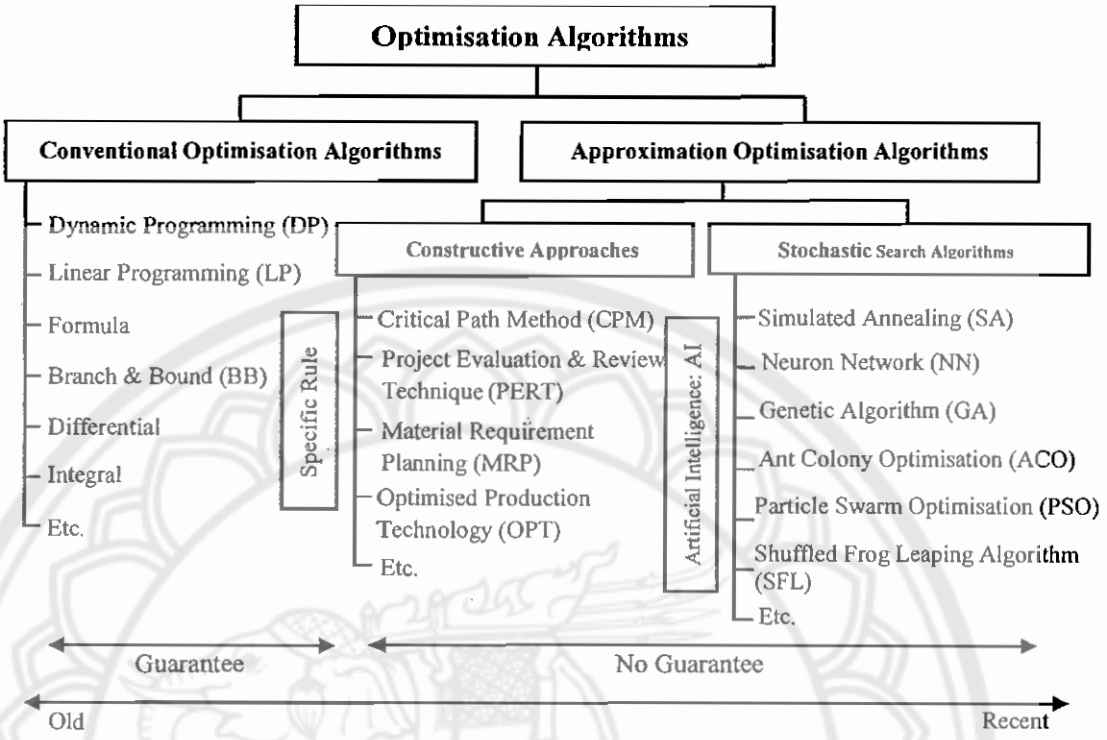
สมการที่ (13) กำหนดให้เวลาที่เริ่มต้นและเวลาที่พร้อมทำงานสำหรับเครื่องจักรของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ มากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการที่ (14) กำหนดให้เวลาหยุดการทำงาน, เวลาเริ่มต้นการทำงาน, เวลาติดตั้ง, เวลาในกระบวนผลิต และ เวลาในการเคลื่อนย้ายของชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์มากกว่าหรือเท่ากับ 0

4. **ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุด** (Optimisation Algorithms)

อัลกอริทึม (Algorithms) ซึ่งเป็นคำที่มาจากชื่อนักคณิตศาสตร์ชาวเปอร์เซีย หมายถึง ลำดับของขั้นตอนเชิงคำนวณซึ่งแปลงตัวอย่างข้อมูลขาเข้าของปัญหาไปเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ (สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล, 2544)

ขั้นดอนวิธีหาค่าหาค่าเหมาะที่สุดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ขั้นดอนวิธีหาค่าเหมาะสม ที่สุดแบบมีระเบียบแบบแผน (Conventional Optimisation Algorithms) และ ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบกะประมาณ (Approximation Optimisation Algorithms) (Pongcharoen, 2001) ซึ่งดูได้จากภาพ 2



ภาพ 2 แสดงระดับขั้นของ Optimisation Algorithms

ที่มา: Pongcharoen, 2004

โดย วิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีระเบียบแบบแผนมักจะอยู่บนพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น หรือ วิธีแตกกิ่งและขอบเขต ส่วนวิธีหาค่าเหมาะที่สุดแบบกะประมาณจะอยู่บนพื้นฐานของวิธีการคอนสตรัคทีฟและการค้นหาโดยกระบวนการเฟ้นสุ่มทางสถิติ ซึ่งจะไม่รับประกันว่าผลเฉลยที่ได้เป็นค่าเหมาะที่สุด วิธีนี้มักจะเกี่ยวพันกับกฎเฉพาะเจาะจงที่ใช้ในการสร้างผลเฉลยจนกระทั่งผลเฉลย นั้นสมบูรณ์ เช่น วิธีหาเส้นทางวิกฤต โดยลักษณะการทำงานของขั้นตอนวิธีนี้ คือ ใช้กลยุทธ์การค้นหาและพยายามหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุด (Burke and Petrovic, 2002) กระบวนการทำงานจะวนซ้ำ แล้วจะหยุดทำงานเมื่อถึงเงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ เช่น วิธีแอนท์คอลโลนีออฟติไมเซชัน (Ant Colony Optimisation: ACO), พาร์ติเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation: PSO) จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GA), วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Approaches) และ

เทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง (Shuffled Frog Leaping Algorithm: SFL) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีความแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 **ขั้นตอนวิธีแอนท์คอลโลนีออฟติไมเซชัน** (Ant Colony Optimisation: ACO)

ACO เป็นขั้นตอนวิธีการที่ลอกเลียนแบบ พฤติกรรมการหาอาหารของมด โดย Deneubourg, et al. (1990) ได้กล่าวไว้ว่ามดจะค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างแหล่งอาหารกับรังของมัน โดยการปล่อย Pheromone ไว้ที่พื้นตามทางเดินระหว่างแหล่งอาหารและรัง เมื่อตัดสินใจเลือกทางเดิน ก็จะเลือกเส้นทางที่มี Pheromone หนาแน่นมากกว่า

ตัวอย่างของงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ ACO เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต (Chainual, 2008) งานวิจัยที่มีการนำ ACO มาใช้แก้ปัญหาอื่นๆ เช่น ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอน (Stutzle and Hoos, 2000) อีกทั้ง Socha, et al. (2003) ก็ได้นำเสนอ construction graph และรูปแบบ pheromone ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา และ ใช้ Ant Colony System (ACS) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ปรับปรุงจาก ACO ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยเปรียบเทียบการทำงานกับขั้นตอนวิธีที่มีการเลียนแบบธรรมชาติอื่นๆ (Dorigo and Gambardella, 1997)

4.2 **ขั้นตอนวิธีพาร์ติเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน** (Particle Swam Optimisation: PSO)

คนแรกที่ได้อธิบาย PSO ไว้คือ (Kennedy and Eberhart, 1995) โดยกล่าวไว้ว่า PSO เป็นอัลกอริธึมที่เลียนแบบพฤติกรรมทางสังคมไม่ว่าจะเป็น ฝูงปลา, ฝูงนก ที่จะบินเหนือแหล่งอาหารกระบวนการเรียนรู้ทำให้เกิดความฉลาดได้ ด้วยความเชื่อและความคิดที่เกิดจากการสังเกตความเปลี่ยนแปลงจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ และทฤษฎีการเคลื่อนที่

ขั้นตอนการทำงานของ พาร์ติเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน (Particle Swam Optimisation: PSO) มีดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นในแต่ละพาร์ติเคิลโดยการสุ่ม
2. ประเมินค่าความเหมาะสมของแต่พาร์ติเคิล
3. เปรียบเทียบค่าคำตอบที่เหมาะสมจากที่ได้กับค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากประสบการณ์ที่ผ่านมาของแต่ละ พาร์ติเคิล
4. ปรับปรุงอัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ในรอบการทำงานของแต่ละพาร์ติเคิล

5. ปรับปรุงตำแหน่งในรอบการทำงานของแต่ละพาร์ติเคิล

6. ทำการวนซ้ำจนกระทั่งพบค่าที่เหมาะสมที่สุด หรือเมื่อมีจำนวนรอบของการทำซ้ำสูงสุดก็จะจบการทำงาน

ตัวอย่างของงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ PSO เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต (ชญานิษฐ์ กวศิริกรณ์, 2549) PSO ยังสามารถใช้แก้ปัญหาอื่นๆ ได้อีก เช่น แก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร (ณัฏฐพงศ์ คำขาด, 2550)

4.3 ขั้นตอนวิธีเจนิติก (Genetic Algorithms: GA)

กลไกการทำงานของ GA มีพื้นฐานอยู่บนการอุปมาอุปไมยของวิวัฒนาการทางชีววิทยาซึ่งความเหมาะสมของแต่ละบุคคลจะกำหนดความสามารถที่จะอยู่รอดและมีการขยายเผ่าพันธุ์ครั้งใหม่ (Gen and Cheng, 1997) โดยมีการทำงานดังนี้

1. ขั้นตอนการกำหนดรูปแบบโครโมโซม (Chromosome representation)
2. ขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้น (Population initialization)
3. ขั้นตอนการปฏิบัติการของขั้นตอนวิธีเจนิติก (Genetic operations)
4. ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness evaluation)
5. ขั้นตอนการคัดเลือกโครโมโซม (Chromosome selection)
6. ขั้นตอนตรวจสอบเงื่อนไขหยุดการทำงาน (Terminate)

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเจนิติก Pongcharoen, et al. (2002) ได้ศึกษาและนำ GA มาใช้แก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตสินค้าขนาดใหญ่มีโครงสร้างซับซ้อนและใช้เครื่องจักรหลายเครื่อง โดยทดสอบกับปัญหาที่แตกต่างกัน จากนั้น Khadwilard (2007) นำ GA มาช่วยแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต เช่นกัน ยังมีนักวิจัยนำ GA มาช่วยแก้ปัญหาอื่นๆอีกมากมาย เช่น ช่วยแก้ปัญหาฟังก์ชันคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลเฉลยเหมาะที่สุด (Global optimum) (Pongcharoen and Promtet, 2004), ช่วยแก้ปัญหาการจัดตารางสอน (Erben and Keppler, 1995, Gyori, et al., 2001, Gambhava and Sanghai, 2003, wang, 2003)

4.4 วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Approaches)

วิธีการไฮบริดมีการจำแนกออกเป็น 3 แบบ (Blum and Roli, 2003)

1. การไฮบริดในรูปแบบของแลกเปลี่ยนส่วนประกอบระหว่างขั้นตอนวิธีแบบ Meta – heuristic หรือการรวมเอาส่วนประกอบของขั้นตอนวิธีแบบหนึ่งเข้าไปเป็นส่วนในการ

ทำงานของขั้นตอนวิธีแบบอื่น ๆ แนวทางในการไฮบริดรูปแบบนี้ เช่น การใช้ SA, local search ในขั้นตอนการทำงานของ ACO (Ant Colony Optimisation) หรือ GA

2. การไฮบริดในรูปแบบการทำงานร่วมกันของขั้นตอนวิธีต่างๆ แล้วมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร (Information) กัน ซึ่งเป็นการทำงานในรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกันหรือทำงานในแบบขนาน (Parallel) โดยอาจจะใช้ขั้นตอนวิธีแตกต่างกันแล้วแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารกัน หรือใช้ขั้นตอนวิธีแบบเดียวกันแต่ทำงานโดยกำหนดค่าพารามิเตอร์แตกต่างกัน

3. การไฮบริดในรูปแบบของการรวมขั้นตอนวิธีแบบกะประมาณ (Approximate Method) กับแบบมีระเบียบแบบแผน (Conventional Method) เช่น การใช้ขั้นตอนวิธีแบบมีระเบียบแบบแผนในการสร้างส่วนหนึ่งของผลเฉลย จากนั้นใช้ Metaheuristic ในการทำให้ได้ผลเฉลยที่สมบูรณ์

4.5 **ขั้นตอนเทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง** (Shuffled Frog Leaping Algorithm: SFL)

เป็นทฤษฎีที่ลอกเลียนแบบพฤติกรรมทางธรรมชาติในการค้นหาอาหารของกบ ซึ่งเป็นทฤษฎีที่มีการรวมส่วนดีของพื้นฐานวิธีเจนิติก (Genetic Algorithms: GA), วิธีมีมีติก (Memetic Algorithms: MA) และพื้นฐานพฤติกรรมสัตว์สังคมของวิธีพาร์ติเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน (Particle Swam Optimisation: PSO) โดยชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง (SFL) มีกระบวนการการทำงานตามขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ขั้นตอนการสร้างประชากรเริ่มต้น (Population Initialization)

การทำงานของ เทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง (SFL) กระบวนการทำงานเริ่มต้นด้วยการสร้างประชากรเริ่มต้นของกบ (Frog) โดยการสุ่มค่ากบ ให้กบแต่ละตัวแทนผลลัพธ์ (Solution) ที่เป็นไปได้ 1 ค่า ซึ่งจำนวนกบจะถูกสุ่มสร้างขึ้นตามจำนวนของประชากร (Population Size) ที่กำหนดไว้ การเปลี่ยนแปลงค่าของหมายเลขในการสุ่ม (Random Seed) จะเป็นตัวหนึ่งที่มีอิทธิพลในการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น

2. ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

จะเป็นขั้นตอนการถอดรหัสเพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันเป้าหมายหรือฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหาที่ได้กำหนดไว้ เมื่อได้ทำการประเมินค่าความเหมาะสมหรือ ค่าความแข็งแรง (Fitness) ของกบทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการเรียงลำดับกบตามค่าความเหมาะสม จากมากไปน้อย

3. ขั้นตอนแบ่งกลุ่มมีมีเพล็ก (Memeplexs)

เป็นขั้นตอนการเริ่มต้นสร้างรุ่นของกบหลังจากเรียงลำดับกบตามค่าความเหมาะสมเรียบร้อยแล้ว ทำการแบ่งกบออกเป็น m กลุ่มย่อยๆ ซึ่งเราจะเรียกกลุ่มของการแบ่งกบนี้ว่ามีมีเพล็ก (Memeplex) โดยในหนึ่งมีมีเพล็กจะประกอบไปด้วยกบจำนวน n ตัว นั่นหมายความว่าประชากรทั้งหมด (P) มีจำนวนเท่ากับผลคูณของ m และ n คือ $P = m \times n$ ซึ่งในการแบ่งกลุ่มมีมีเพล็กนั้นมีวิธีการแบ่งคือ นำกบตัวที่ 1 ที่ผ่านการเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยตามค่าความเหมาะสมแล้วนั้น ทำการจัดให้อยู่ในมีมีเพล็กที่ 1 กบตัวที่ 2 ทำการจัดให้อยู่ในมีมีเพล็กที่ 2 กบตัวที่ m ทำการจัดให้อยู่ในมีมีเพล็กที่ m (m คือ มีมีเพล็กสุดท้าย) และกบตัวที่ m+1 ทำการจัดวนให้กลับไปที่มีมีเพล็กที่ 1 ใหม่ ทำวนไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนกบทั้งหมด ตัวอย่างเช่น มีกบจำนวน 12 ตัว และต้องการแบ่งกลุ่มมีมีเพล็ก จำนวน 3 มีมีเพล็ก การนำกบเข้าสู่มีมีเพล็ก ดูได้ดังภาพ 3

Memeplex 1	Memeplex 2	Memeplex 3

ภาพ 3 แสดงวิธีการแบ่งกลุ่มมีมีเพล็ก

4. ขั้นตอนการปรับปรุง (Improvement)

สำหรับในแต่ละมีมีเพล็ก จะต้องหาว่ากบตัวใดมีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด ซึ่งจะแทนให้เป็น X_b แล้วหาว่ากบตัวใดที่มีค่าความเหมาะสมแย่ที่สุด จะให้แทนเป็น X_w และสำหรับกบที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทุกมีมีเพล็ก จะแทนให้เป็น X_g จากนั้นในแต่ละมีมีเพล็กจะทำการปรับปรุงกบตัวที่มีค่าความเหมาะสมแย่ที่สุดเพียงตัวเดียวให้มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นตามสมการที่ 15 และ 16 (Elbeltagi, et al., 2005) นั่นหมายความว่าค่าของคำตอบผลลัพธ์จะต้องดีขึ้น

$$\text{Change in frog position } (D_i) = rand() \times (X_b - X_w) \quad (15)$$

$$\text{New Position } X_w = \text{Current Position } X_w + D_i; D_{\max} \geq D_i \geq -D_{\max} \quad (16)$$

สมการที่ (15) แสดงถึงระยะห่างของกบตัวที่แย่จากเป้าหมาย

สมการที่ (16) แสดงถึงจุดหรือตำแหน่งที่กบจะต้องไปเพื่อให้ถึงเป้าหมาย

ค่า Rand () ได้จากการสุ่มตัวเลขในช่วง 0 – 1 ในความพยายามปรับปรุงค่าความเหมาะสมให้กับกบตัวที่แย่ที่สุดนั้นจะมีการกำหนดค่าการทำซ้ำในการปรับปรุง (Iteration Number) ไว้ด้วย ซึ่งเมื่อทำซ้ำจนครบค่าการทำซ้ำแล้วค่าความเหมาะสมที่ได้ดีขึ้น สามารถนำกบตัวนั้นไปใช้ได้เลย แต่ถ้าค่าความเหมาะสมยังไม่ดีขึ้นหรือไม่เท่า เมื่อเทียบกับค่าความเหมาะสมของกบตัวที่ดีที่สุด X_g แล้ว ดังนั้นกบตัวที่แย่ที่สุดตัวนั้นจะถูกคัดออกแล้วทำการสุ่มสร้างขึ้นมาใหม่เหมือนกับการสร้างประชากรเริ่มต้น ดังภาพ 4 ซึ่งเป็นการแสดงถึง pseudo ของเทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง (SFL)

ในขั้นตอนการปรับปรุง ผู้วิจัยได้เลือกเทคนิคสำหรับใช้ในการปรับปรุง 2 วิธี คือ

4.1. Swap Operator (SO)

เป็นการหาคำตอบโดยการสลับตำแหน่งของคู่อันดับ เช่นคำตอบที่ได้จากรอบที่ผ่านมาคือ S = { a, c, e, b, d } และการเปลี่ยนตำแหน่งของคู่อันดับ คือ SO1(1,3) ={ a, c, e, b d } + (1,3) = { a, b, e, c, d } (Wang et al., 2003)

4.2. Adjustment Operator (AO)

วิธีการนี้จะคล้ายๆ กับวิธีของการ Swap Operator (SO) แต่จะแตกต่างกันที่ตำแหน่งของการสลับคู่ คือ AO จะหาค่ามาแทรกไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ แล้วผลักค่าที่อยู่ตั้งแต่ตำแหน่งที่แทรก ให้ขยับถอยออกไป หากคำตอบที่ค้นพบในรอบที่ผ่านมา คือ S = { a, e, c, b, d } ผลจากการสลับตำแหน่งจะเท่ากับ S' = S+AO1(d,1) = { a, e, c, b, d } + (d,1) = { a, d, e, c, b }

5. ขั้นตอนการตรวจเงื่อนไขหยุดการทำงาน (Termination)

กำหนดให้ เทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงหยุดการทำงานเมื่อ เทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงมีการทำงานวนซ้ำจนกระทั่งพบค่าที่เหมาะสมที่สุด ก็จะจบการทำงาน

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคชัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง เช่นงานวิจัยที่กล่าวสรุปทฤษฎี 5 วิธีการ Comparison among five evolutionary-based optimisation algorithms (Elbeltagi, et al., 2005) **หรืองานวิจัยที่ได้นำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการวางเครือข่าย**

ของท่อในการส่งน้ำเพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการวางท่อที่มีขนาดแตกต่างกัน (Shie-Yui Liong and Md. Atiquzzaman, 2004), นำเทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงมาช่วยแก้ปัญหา Clustering โดยในการทดลองได้นำผลการทดลองจากเทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ ACO, GA, TS และ SA ซึ่งผลที่ได้คือ เทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงได้ค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด (Amiri, et al.,2007), ประพล อิทธิพงษ์ (2551) ได้นำเทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิง ให้ทำงานร่วมกับ GA เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีเจนิติกและขั้นตอนวิธีมีมีติกในการแก้ปัญหาการหาค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของฟังก์ชันคณิตศาสตร์ และ ประยุกต์ใช้เทคนิคซัฟเฟิลฟร็อกลีปปิงแก้ปัญหา A mixed model assembly line sequencing problem (Rahimi-vahed, and Mirazmei, 2007)

```
Begin;
    Generate random population of P solutions (frogs);
    For each individual i∈P: calculate fitness (i);
  Sort the population P in descending order of their fitness;
  Divide P into m memeplexes;
  For each memeplex;
        Determine the best and worst frogs;
        Improve the worst frog position using Eqs. (15) or (16)
        Repeat for a specific number of iterations;
    Combine the evolved memeplexes;
    Sort the population P in descending order of their fitness;
  Check if termination=true;
End;
```

ภาพ 4 แสดง Pseudo Code ของ SFL

การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เพื่อให้การทดลองงานวิจัยมีประสิทธิภาพ ควรต้องนำหลักทฤษฎีทางสถิติมาช่วยในการวางแผนการทดลอง (Montgomery, 1997) ซึ่งในหัวข้อนี้ได้แบ่งรายละเอียดของเนื้อหาเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ

1. การออกแบบการทดลอง (Design of the experiment)
2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical analysis of the data)

1. **การออกแบบการทดลอง** (Design of the experiment)

หมายถึง กระบวนการวางแผนล่วงหน้าเกี่ยวกับการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมสามารถนำไปวิเคราะห์ โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้หาข้อสรุปผลได้ถูกต้องตรงกับจุดมุ่งหมายในการทดลอง หลักการทั่วไปของการวางแผนและดำเนินการทดลอง (Montgomery, 1997) กลยุทธ์ที่นิยมนำมาใช้มีหลายแบบที่ผู้วิจัยนำมาทดลองใช้ เพื่อวางแผนออกแบบการทดลอง ดังนั้นผู้วิจัยจะกล่าวถึงกลยุทธ์ที่ได้ศึกษา คือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เพราะการทดลองการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

1.1 **การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล** คือ เป็นแบบการทดลองซึ่งมีตัวแปรหลายตัว แต่ละตัวที่ศึกษายังแยกออกเป็นระดับต่างๆกัน วิธีการนี้ทำให้ได้ศึกษาตัวแปรหลายตัวในการทดลองเดียวกัน และยังสามารถทำการศึกษาและทดสอบปฏิกิริยาโต้ตอบ (Interaction) ซึ่งเป็นการทดลองที่สมบูรณ์ โดยที่แต่ละการทดลองหรือแต่ละการทำซ้ำ จะพิจารณาผลที่เกิดจากการรวมกัน ทุกระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ (Montgomery, 1997) เนื่องจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลมีหลายรูปดังนั้น งานวิจัยนี้จึงกล่าวถึงเฉพาะที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

1.1.1 **การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ** (3^k fractional factorial designs)

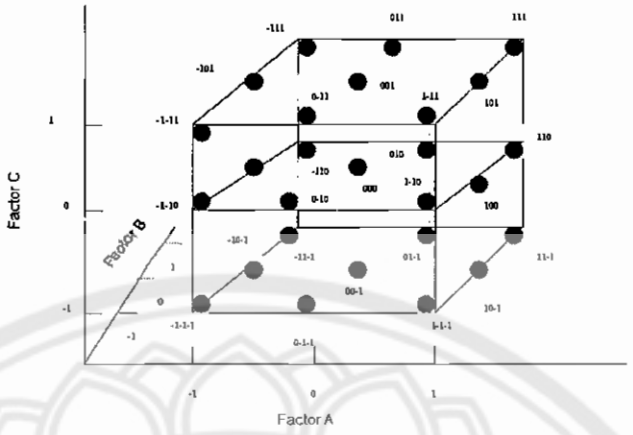
หมายถึง ในกรณีที่ เมื่อ k คือ จำนวนปัจจัย และ 3 คือ จำนวนระดับของปัจจัย ซึ่งระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ กลาง และสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะใช้เป็นตัวเลข -1 (ต่ำ), 0 (กลาง) และ 1 (สูง) ในการทดลองทำซ้ำ 1 ครั้ง ที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยข้อมูล $3 \times 3 \times 3 \times \ldots \times 3 = 3^k$ ข้อมูล การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^k จะแทนด้วยตัวเลข k ตัว โดยที่ตัวเลขตัวแรกแทนระดับของปัจจัย A, ตัวเลขตัวสองแทนระดับของปัจจัย B, ..., และตัวเลขตัวที่ k แทนระดับของปัจจัย k (Montgomery, 1997) ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ จะคล้ายๆ กับการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

ตัวอย่างการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ในกรณีที่มีปัจจัยที่จะทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ A และ B โดยปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งทั้งหมดจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล โดยแต่ละเรพลิเคต (Replicate) ของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด ab การทดลอง โดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยและมีการทำซ้ำทั้งหมด n ครั้ง เมื่อ y_{ijk} คือ ผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากระดับที่ I ของปัจจัย A (เมื่อ i = 1, 2, ..., a) และระดับที่ j ของปัจจัย B (เมื่อ j = 1, 2, ..., a) สำหรับเรพลิเคตที่ k (เมื่อ k = 1, 2, ..., n) (Montgomery, 1997; ปารเมศ ชุติมา, 2545) ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงรูปแบบข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเมื่อมี 2 ปัจจัย

		Factor B			
		1	2	...	b
Factor A	1	$y_{111}, y_{112}, \ldots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \ldots, y_{12n}$	...	$y_{1b1}, y_{1b2}, \ldots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \ldots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \ldots, y_{22n}$	...	$y_{2b1}, y_{2b2}, \ldots, y_{2bn}$
	:	:	:	:	:
	a	$y_{a11}, y_{a12}, \ldots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \ldots, y_{a2n}$	...	$y_{ab1}, y_{ab2}, \ldots, y_{abn}$

ส่วนการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับจะคล้ายการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับแต่จะแตกต่างที่โครงสร้างทางเรขาคณิต ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบ 3^3 ตัวเลข -1-1-1 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยซึ่งทั้ง A, B และ C อยู่ที่ระดับต่ำ, -101 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยที่ A อยู่ที่ระดับต่ำ, B อยู่ที่ระดับปานกลาง และ C อยู่ที่ระดับสูง ดังภาพ 5 โครงสร้างทางเรขาคณิตของการออกแบบ 3^3 (ปารเมศ ชุติมา, 2545)



ภาพ 5 โครงสร้างทางเรขาคณิตของการออกแบบ 3^3

ที่มา: ปารเมศ ชุติมา, 2545, หน้า 358

ข้อมูลจากตารางที่ 1 อาจจะเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear statistical model) ได้ดังนี้คือ

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad (20)$$

เมื่อ i = 1,2,...,a

j = 1,2,...,b

k = 1,2,...,n

โดยที่

y_{ijk} หมายถึง ผลตอบสนองที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ I และ ปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j สำหรับเรพลิเคตที่ k

μ หมายถึง ค่าเฉลี่ยทั้งหมด (Overall mean)

τ_i หมายถึง ผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ i ของแถว (Row) ของปัจจัย A

β_j หมายถึง ผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ j คอลัมน์ Column ของปัจจัยB

$(\tau\beta)_{ij}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง τ_i และ β_j

ε_{ijk} หมายถึง ความเคลื่อนหรือองค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เมื่อการทดลองมีจำนวนการทำซ้ำ n ครั้ง ดังนั้นจำนวนค่าของผลตอบสนองที่สังเกตได้จะมีจำนวนทั้งหมด abn จำนวน (Montgomery, 1997)

ถ้าเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear statistical model)ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + y_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau y)_{ik} + (\beta y)_{jk} + (\tau\beta y)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (21)$$

เมื่อ i = 1,2,...,a

j = 1,2,...,b

k = 1,2,...,c

l = 1,2,...,n

โดยที่

y_{ijkl} หมายถึง ผลตอบสนองที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ i , ปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j และ ปัจจัย C อยู่ที่ระดับ k สำหรับเรพลิเคตที่ l

μ หมายถึง ค่าเฉลี่ยทั้งหมด (Overall mean)

τ_i หมายถึง ผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ i ของแถว (Row) ของปัจจัย A

β_j หมายถึง ผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ j คอลัมน์ Columnของปัจจัย B

y_k หมายถึง ผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดจากระดับที่ k คอลัมน์ Columnของปัจจัย C

$(\tau\beta)_{ij}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง τ_i และ β_j

$(\tau y)_{ik}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง τ_i และ y_k

$(\beta y)_{jk}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง β_j และ y_k

$(\tau\beta y)_{ijk}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง τ_i , β_j และ y_k

ε_{ijkl} หมายถึง ความเคลื่อนหรือองค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เมื่อการทดลองมีจำนวนการทำซ้ำ n ครั้ง ดังนั้นจำนวนค่าของผลตอบสนองที่สังเกตได้จะมีจำนวนทั้งหมด abcn จำนวน (Montgomery, 1997)

2. **การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ** (Statistical analysis of the data)

ในการทดลองนี้วิธีที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบสมมติฐานดังกล่าว คือ การวิเคราะห์ ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) (Montgomery, 1997)

2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

คือ เป็นการแบ่งความแปรปรวน หรือความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกัน เช่น ข้อมูลที่มีการจำแนกทางเดียวจะแบ่งความผันแปรทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความผันแปรระหว่างกลุ่มหรือประชากร (Among Groups Variation) กับ

ความผันแปรภายในกลุ่มหรือประชากรเดียวกัน (Within Groups Variation) **ถ้าความผันแปรระหว่างประชากรมีค่ามาก เมื่อเทียบกับความผันแปรภายในประชากรเดียวกัน แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยประชากรอย่างน้อยหนึ่งประชากรที่แตกต่างจากประชากรอื่น ๆ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะแสดงในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งเรียกย่อ ๆ ว่า ตาราง** ANOVA (Analysis of Variance table)

โดยตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นประกอบไปด้วย แหล่งความแปรปรวน, ผลรวมของกำลังสองของค่าเบี่ยงเบน (SS), การหาค่าเฉลี่ยของแต่พจน์ในสมการ (DF), ค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนกำลังสอง (MS) และ ค่าสถิติที่ใช้พิจารณาใน F-distribution (F) ดังตาราง 2 ซึ่งเป็นตารางแสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ และ ตาราง 3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

ตาราง 2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปรแบบ Fixed effects model

Source of Variation	Sum of Square	DF	Mean Square	F
ปัจจัย A	$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_i^2 - \frac{y^2}{abn}$	a - 1	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
ปัจจัย B	$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{a} y_i^2 - \frac{y^2}{abn}$	b - 1	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
AB	$SS_{AB} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2 - \frac{y^2}{abn} - SS_A - SS_B$	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$	ab(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
ผลรวม	$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{abn}$	abn-1		

กรณี การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ดังตาราง 3 มีลักษณะคล้ายกับกรณีการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับต่างกันเพียง จะมีการเพิ่มปัจจัย y_k เข้ามาและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยมีมากขึ้น

ตาราง 3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3 ตัวแปรแบบ Fixed effects model

Source of Variation	Sum of Square	DF	Mean Square	F
ปัจจัย A	$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_i^2 - \frac{y^2}{abn}$	a - 1	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
ปัจจัย B	$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{a} y_j^2 - \frac{y^2}{abn}$	b - 1	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
ปัจจัย C	$SSc = \frac{1}{abn}\sum_{k=1}^{a} y_k^2 - \frac{y^2}{abn}$	c-1	$MS_C = \frac{SS_C}{c-1}$	$\frac{MS_c}{MS_E}$
AB	$SS_{AB} = \frac{1}{cn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2 - \frac{y^2}{abcn} - SS_A - SS_B$	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	$SS_{AC} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} y_{ik}^2 - \frac{y^2}{abcn} - SS_A - SS_C$	(a-1)(c-1)	$MS_{AC} = \frac{SS_{AC}}{(a-1)(c-1)}$	$\frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	$SS_{BC} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{jk}^2 - \frac{y^2}{abcn} - SS_B - SS_C$	(b-1)(c-1)	$MS_{BC} = \frac{SS_{BC}}{(b-1)(c-1)}$	$\frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	$SS_{ABC} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C$	(a-1)(b-1)(c-1)	$MS_{ABC} = \frac{SS_{ABC}}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$\frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$	abc(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{abc(n-1)}$	
ผลรวม	$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{abcn}$	abcn-1		

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานตามแบบจำลองสมการ (21) ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนคือ ε_{ijk} ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนหรือองค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่มจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระ ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวน σ^2 มีค่าคงตัวไม่ทราบค่า ถ้าสมมติฐานเหล่านี้เป็นจริง กระบวนการวิเคราะห์ความ

ปฏิบัติการที่จะเชื่อถือผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ ต้องตรวจสอบความถูกต้องของสมติฐานนี้ว่าเป็นจริง ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการตรวจสอบสมมติฐานเบื้องต้นโดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) และ ควรทำทุกครั้งในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้าหากจำลองถูกต้อง ส่วนตกค้างจะต้องไม่มีรูปแบบ (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

การตรวจสอบสมมติฐานความเป็นปกติสามารถทำได้โดยการทำกราฟกำหนดความน่าจะเป็นปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) ถ้าการแจกแจงของความผิดพลาดเป็นแบบปกติ รูปกราฟที่พล็อตได้จะเป็นเส้นตรง ทำการตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวน σ^2 มีค่าคงตัว โดยการสร้างกราฟส่วนตกค่างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of Residuals Versus Fitted Values) ถ้าหากแบบจำลองถูกต้องและสมมติฐานมีความเหมาะสมแล้วกราฟที่ได้ไม่ควรจะมีรูปร่างเฉพาะ ทำการตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวน σ^2 มีค่าคงตัว โดยใช้กราฟฮิสโตแกรม (Histogram) ถ้าหากแบบจำลองถูกต้องและสมมติฐานมีความเหมาะสมแล้วกราฟฮิสโตแกรมจะเป็นรูประฆังคว่ำ สุดท้ายเป็นส่วนการตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระสามารถทำได้โดยการกำหนดส่วนที่ตกค้างตามลำดับเวลาที่เก็บข้อมูล (Plot of Residuals Versus the Order of the Data) ถ้ามีแนวโน้มว่าพบค่าผลของส่วนตกค้างที่เป็นค่าบวกและลบ หรือส่วนตกค้างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล ดังนั้นแสดงว่าสมมติฐานของความเป็นอิสระถูกละเมิด จากสมการ (21) ถ้าหากแบบจำลองตามสมการ (21) เป็นแบบจำลองที่เหมาะสม และพจน์ของความผิดพลาด ε_{ijk} มีการกระจายตัวแบบปกติและเป็นอิสระ วิธีการทดสอบจะอาศัยตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

2.2 **การทดสอบความแตกต่างของประชากรสองกลุ่ม** (Two – Groups Differential Test)

เป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก (n<30) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบต้องเป็นข้อมูลที่ได้จากมาตรวัดอันตรภาค (Interval scale) หรือมาตรอัตราส่วน (Ratio scale) และใช้ได้ทั้งกลุ่มตัวอย่างเดียวและสองกลุ่มตัวอย่าง สำหรับประชากรสองกลุ่ม เพื่อต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันจริงหรือไม่ การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มมีข้อตกลง ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาจากการสุ่ม และเป็นอิสระจากกัน
2. ไม่ทราบค่าความแปรปรวน (σ_1^2, σ_2^2)
3. ขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 30
4. การแจกแจงประชากรเป็นโค้งปกติ

ป
TS
155.63
ส834ก
2552

สำนักหอสมุด

16 ก.ค. 2552

เ.45591101

การตั้งสมมติฐาน

การตั้งสมมติฐานอาจอยู่ในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง คือ

กรณีทดสอบแบบข้างเดียว

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 \leq 0$

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 > 0$ หรือ

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 \geq 0$

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 < 0$ หรือ

กรณีทดสอบแบบสองข้าง

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

ตัวสถิติสำหรับการทดสอบ ได้แก่ ตัวสถิติ t ซึ่งเป็นสมการที่ใช้เมื่อไม่ทราบความแปรปรวน (σ_1^2, σ_2^2) แต่ทราบว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ และการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละประชากรเป็นอิสระกัน ดังสมการ (22)

$$t_0 = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{s_p\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \qquad (22)$$

เมื่อ

$\overline{X}_1$ แทน ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจากประชากรกลุ่มที่ 1

$\overline{X}_2$ แทน ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจากประชากรกลุ่มที่ 2

n_1 แทน จำนวนตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรกลุ่มที่ 1

n_2 แทน จำนวนตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรกลุ่มที่ 2

มีองศาอิสระ (df) = n-1

ตัวสถิติสำหรับการทดสอบ ได้แก่ ตัวสถิติ t ซึ่งเป็นสมการที่ใช้เมื่อไม่ทราบความแปรปรวน (σ_1^2, σ_2^2) แต่ทราบว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ และการสุ่มตัวอย่างจากแต่ละประชากรเป็นอิสระกันดังสมการ (23)

$$t_0 = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \qquad (23)$$

เมื่อ

$\bar{X}_1$ แทน ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจากประชากรกลุ่มที่ 1

$\bar{X}_2$ แทน ค่าเฉลี่ยตัวอย่างจากประชากรกลุ่มที่ 2

S_1^2 แทน ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่างกลุ่มที่ 1

S_2^2 แทน ค่าความแปรปรวนจากตัวอย่างกลุ่มที่ 2

n_1 แทน จำนวนตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรกลุ่มที่ 1

n_2 แทน จำนวนตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรกลุ่มที่ 2

มีองศาอิสระ (df) = n-1

ขอบเขตที่จะปฏิเสธสมมติฐาน

1. ถ้าสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$, $H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ แสดงว่าเป็นการทดสอบสองทาง และปฏิเสธสมมติฐาน H_0

ถ้า $t > t_{\alpha/2(n-1)}$ หรือ $t < t_{\alpha/2(n-1)}$ หรือ $|t| > t_{\alpha/2(n-1)}$

2. ถ้าสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ $H_0 : \mu_1 - \mu_2 \leq 0$, $H_1 : \mu_1 - \mu_2 > 0$ แสดงว่าเป็นการทดสอบทางเดียวข้างขวา และจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

ถ้า $t > t_{\alpha/2(n-1)}$

3. ถ้าสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ $H_0 : \mu_1 - \mu_2 \geq 0$, $H_1 : \mu_1 - \mu_2 < 0$ แสดงว่าเป็นการทดสอบทางเดียวข้างซ้าย และจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

ถ้า $t < -t_{\alpha/2(n-1)}$