บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายถึงระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งลักษณะการจัดวางเครื่องจักร และปัญหาต่างๆในการจัดวางเครื่องจักรของระบบการผลิต รวมไปถึงการอธิบายแนวความคิดของเทคโนโลยีกลุ่ม และระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ โดยการเปรียบเทียบกับระบบการผลิตตามกระบวนการต่างๆให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสีย

2.1 รูปแบบลักษณะของการจัดวางผังโรงงานและการจัดวางเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

ระบบกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมีการจัดรูปแบบที่หลากหลายแตกต่างกันไป มักจะขึ้นอยู่กับปัจจัยของแต่ละอุตสาหกรรมนั้นๆว่า ต้องการระบบการผลิตลักษณะแบบไหนสินค้าที่ผลิตนั้นเหมาะกับระบบแบบใด รวมไปถึงความเหมาะสมของปริมาณการผลิต ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และเวลาที่ใช้ไปในกระบวนการผลิต โดยลักษณะของการจัดวางระบบการผลิตนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ลักษณะคือ

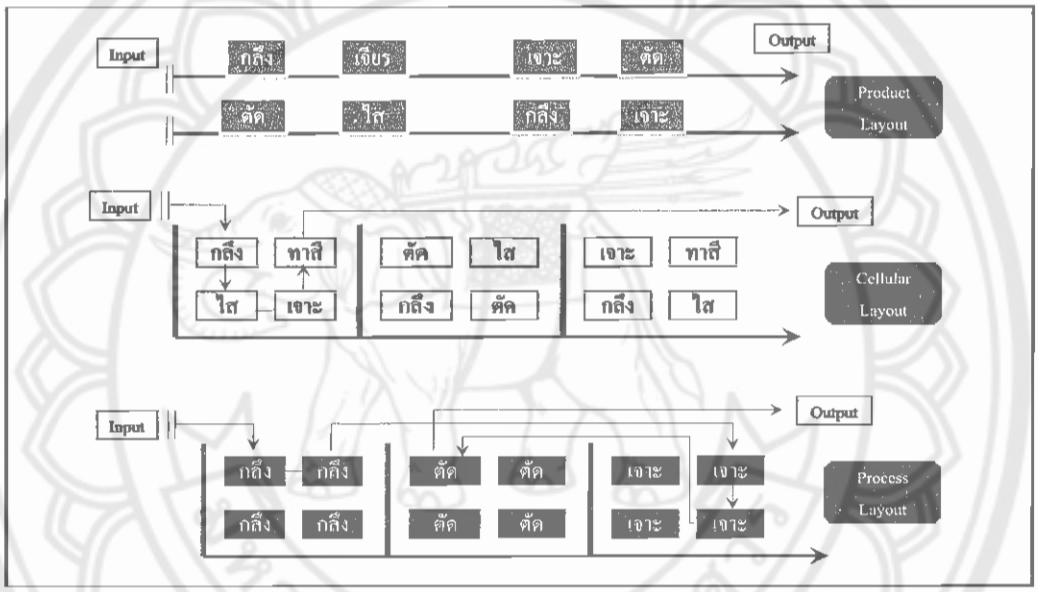
2.1.1 การผลิตแบบอยู่กับที่ (Fixed Position Layout) เป็นกระบวนการผลิตที่มีการวางแผนงานให้วัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์นั้นอยู่กับที่ ระบบนี้จะใช้กับการผลิตที่มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยการทำงานนั้นจะเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงไปตามการผลิต

2.1.2 การผลิตแบบตามผลิตภัณฑ์ (Product Layout) เป็นกระบวนการผลิตที่มีการทำงานอย่างมีลำดับขั้นตอน ลักษณะของงานจะเคลื่อนที่ไปตามกระบวนการ มีการจัดลำดับของเครื่องจักรในการทำงาน ระบบนี้จะใช้ในการผลิตที่เน้นจำนวนของปริมาณ โดยการผลิตจะผลิตออกมามาก มีอัตราการผลิตสูง เครื่องจักรจะไม่ค่อยมีความซับซ้อน ส่วนมากจะมีความสามารถในการผลิตที่ไม่หลากหลาย หรืออาจใช้ในการผลิตเพียงรูปแบบเดียวเป็นสายการผลิต

2.1.3 การผลิตตามขั้นตอน (Process Layout) เป็นการจัดระบบการผลิตในกลุ่มเดียวกัน คือ จัดให้มีการจัดเรียงของเครื่องจักรประเภทเดียวกันให้อยู่ในพื้นที่การทำงานเดียวกัน ปริมาณการผลิตจะเป็นการผลิตแบบปานกลาง และมีความหลากหลายในผลิตภัณฑ์

2.1.4 การผลิตแบบเซลล์ (Group Layout) เป็นกระบวนการผลิตที่นำข้อดีในระบบการผลิตแบบ Product Layout และ Process Layout มารวมกัน เพื่อสร้างประสิทธิภาพในการผลิตให้ดีขึ้น แต่ในการผลิตในระบบนี้จะต้องคำนึงถึงความหลากหลายของผลิตภัณฑ์

2.1.5 การผลิตแบบตามหน้าที่ (Job Shop or Functional Layout) เป็นการผลิตแบบตามความต้องการของลูกค้า จะเป็นการผลิตที่มีเครื่องจักรมีความหลากหลายทางความสามารถของเครื่องจักร ผู้ใช้เครื่องจักรจะต้องมีทักษะความสามารถที่ดีในการทำงาน เพราะจะเน้นฝีมือในการผลิตสินค้าเป็นสำคัญ การผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์จะผลิตออกมาไม่มาก

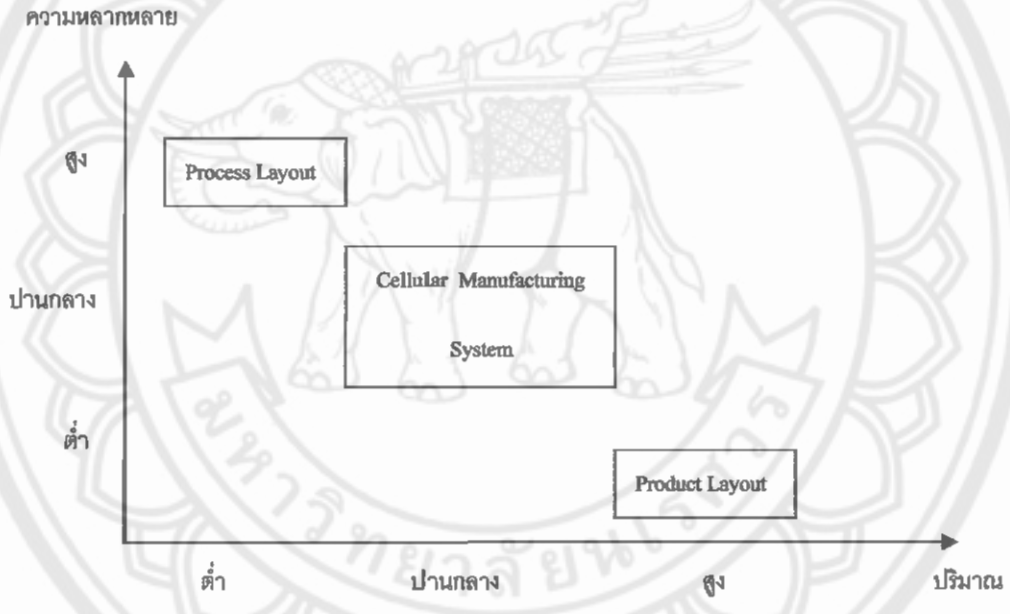


รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของผลิตภัณฑ์ของการวางผังโรงงานแต่ละประเภท

(**ที่มา** : Ham et al, 1985)

จากรูปที่ 2.1 จะแสดงถึงการไหลของผลิตภัณฑ์ของผังการผลิตอยู่สามกระบวนการ ซึ่งสามกระบวนการนี้ จะมีการผลิตที่เป็นเส้นทางของกระบวนการ แต่ในการผลิตแบบอยู่กับที่ (Fixed Position Layout) และการผลิตแบบตามหน้าที่ (Job Shop or Functional Layout) จะไม่มีการวางผังการผลิตที่มีเส้นทาง ดังนั้นในการเปรียบเทียบให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของกระบวนการผลิตจึงแสดงในสามกระบวนการดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นว่า การไหลตามกระบวนการของผังแบบตามขั้นตอน (Process Layout) มีการไหลของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นระเบียบ เส้นทางการไหลซับซ้อน ทำให้การวางแผนการควบคุมในกระบวนการผลิตทำได้ยาก และในกระบวนการผลิตที่เป็นแบบ การผลิตตามผลิตภัณฑ์ (Product Layout) จะมีเส้นทางการผลิตที่เป็นเส้นตรง

เมื่อเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งในกระบวนการผลิตนี้เสีย กระบวนการผลิตก็จะหยุด และไม่สามารถทำการผลิตต่อไปได้ เนื่องจากไม่มีเครื่องจักรที่มาทดแทนได้ ซึ่งจะแตกต่างกันกับการวางผังกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ การวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์ จะมีเส้นทางการผลิตที่เป็นระเบียบ เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์น้อย ซึ่งจะขจัดเส้นทางการผลิตที่ซับซ้อนกันลงไปได้ มาก ในการวางผังแบบเซลลูลาร์นี้ จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในการวางผังการผลิต แบบตามผลิตภัณฑ์ และแบบผลิตตามขั้นตอนได้ เพราะการวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์นี้ ได้นำเอาข้อดีของทั้งสองกระบวนการ ทั้งการวางผังการผลิตแบบตามผลิตภัณฑ์ และแบบผลิตตามขั้นตอนมาผสมผสานเข้าด้วยกัน ซึ่งระบบการวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์จึงได้เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย และปริมาณที่พอเหมาะ ไม่มากและไม่น้อยเกินไป



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของความหลากหลายและปริมาณของผลิตภัณฑ์
(**ที่มา** : อาจารย์ศิษฎา สิมารักษ์, 2548)

จากรูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ใน**การวางผังการผลิตแบบตามขั้นตอน** (Process Layout) **การวางผังแบบการผลิตตามผลิตภัณฑ์** (Product Layout) **และการวางผังการผลิตแบบเซลลูลาร์** (Cellular Manufacturing) **ซึ่งการวางผังการผลิตแบบตามขั้นตอน ระบบการผลิตจะมีปริมาณการผลิตที่ต่ำแต่จะมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่สูง ส่วนในการวางผังการผลิตแบบตามผลิตภัณฑ์ ระบบการผลิตจะมีปริมาณการผลิตที่สูงแต่จะมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำ และในการวางผังการผลิตแบบ**

เซลลูลาร์ กระบวนการผลิตทั้งปริมาณ และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วงปานกลาง เนื่องจากได้นำเอาข้อดีของทั้งสองกระบวนการข้างต้นมาผสมผสานไว้ด้วยกัน

2.2 ปัญหาการสร้างเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นของกระบวนการผลิต

ในการจัดลำดับการทำงานภายในเซลล์ที่มีความยืดหยุ่นจะต้องอาศัยทฤษฎีของ Cellular Manufacturing ในการทำงาน ซึ่งการทำงานนี้จะมีปัญหา คือ ยังไม่สามารถรู้ลำดับขั้นตอนของการทำงานที่ใช้เวลาภายในเซลล์ที่น้อยที่สุด และมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี จึงจะต้องทำการเพิ่มทางเลือกของการทำงานภายในเซลล์ เพื่อที่จะหาวิธีที่ดีที่สุดในการทำงานมาใช้กับระบบของ Cellular Manufacturing ที่มีความยืดหยุ่นทางการผลิตโดยวิธีอบอ่อนจำลอง

นอกจากปัญหาที่เกิดจากการทับซ้อนของเส้นทางการเคลื่อนที่ และการสูญเสียเวลาในการทำงานแล้ว อีกปัญหาหนึ่งก็คือ การสุ่มในการหาคำตอบโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง เพื่อการหาคำตอบและลำดับขั้นตอนภายในเซลล์ที่ดีที่สุด

2.3 เทคโนโลยีกลุ่ม (Group Technology : GT) และระบบการผลิตแบบเซลล์ (Cellular Manufacturing System : CMS)

เทคโนโลยีกลุ่มคือแนวคิดที่รวมเอาชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความใกล้เคียงกันทางลักษณะหรือคุณสมบัตินำมาไว้ด้วยกัน เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นครอบครัว (Part Family) โดยเชื่อว่ากลุ่มของชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความคล้ายคลึงกันนี้ จะมีการจัดการและแก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกันด้วย เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและกระบวนการมีประสิทธิภาพในการผลิตสูงสุด

Cellular Manufacturing System จัดอยู่ในรูปแบบการวางผังแบบผสม และเป็นการประยุกต์วิธีของ Group Technology (GT) คือ การนำเอาแนวคิดในการจัดการผลิตที่มีคุณสมบัติ และลักษณะที่มีความคล้ายคลึงกัน นำมารวมใช้ด้วยกัน ง่ายต่อการหาข้อมูลและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นการลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิต นำมาใช้ในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม จะมีการจัดกลุ่มตามแผนกหรือเครื่องจักรที่มีลักษณะคล้ายกัน จะเรียกกลุ่มนี้ว่า **เซลล์ ภายในหนึ่งเซลล์นั้นจะประกอบไปด้วยเครื่องจักรหลายๆเครื่อง แต่จะมีหน้าที่ในการผลิตหรือการประกอบชิ้นส่วนที่มีความคล้ายคลึงกัน**

ความคล้ายคลึงกันของชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์สามารถแยกได้ 2 ลักษณะคือ

1. **ความคล้ายคลึงกันทางด้านขนาดและรูปร่าง**
2. **ความคล้ายคลึงกันทางด้านกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์**

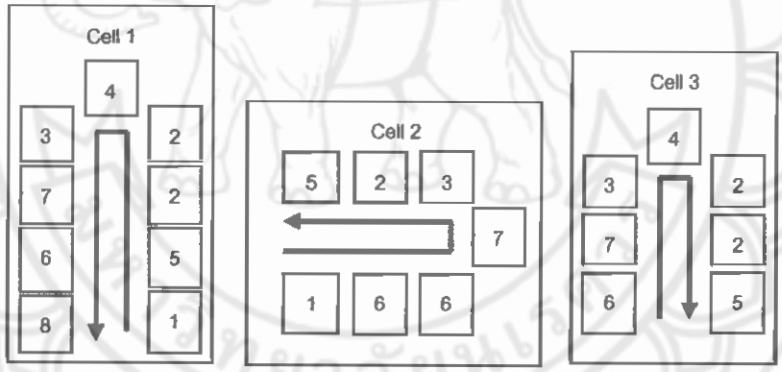
โดยวัตถุประสงค์ของการผลิตแบบเซลลูลาร์นี้ คือ ลดปริมาณการเคลื่อนย้ายระหว่างการผลิต ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ลดการเคลื่อนที่ภายในเซลล์ และลดการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์

ก. การเคลื่อนที่ภายในเซลล์

คือการเคลื่อนที่ของวัสดุผ่านสถานีงานแต่ละสถานีงานที่อยู่ภายในเซลล์ ซึ่งปกติภายในเซลล์จะมีสถานีงาน 5 – 15 สถานี และมีพนักงานทำงาน 3 – 13 คน

ข. การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์

คือการเคลื่อนที่ของวัสดุภายในขั้นตอนการผลิต เคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ซึ่งถ้าเกิดการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์มีบ่อย จะก่อให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการผลิต คือ ถ้าเกิดการทับกันหรือการติดกันของเส้นทางของการเคลื่อนที่ จะเกิดการรองาน ส่งผลทำให้การผลิตมีความล่าช้าขึ้น เนื่องจากระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มมากขึ้น

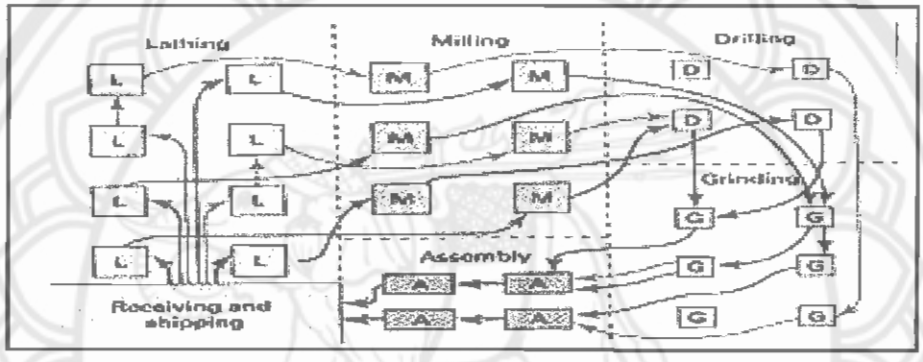


รูปที่ 2.3 ระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

(**ที่มา** : www-iwse.eng.ohio-state.edu)

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นถึงการจัดวางเครื่องจักรที่เป็นเซลล์ ในการผลิตชิ้นส่วน หรือ**ผลิตภัณฑ์ใดๆ ที่คล้ายคลึงกัน ทำให้การวางเครื่องจักรมีระยะที่ใกล้กันมากขึ้น ส่งผลให้สามารถลดระยะการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ในการผลิตแต่ละประเภทได้ จึงทำให้ช่วยในการลดเวลาการทำงานในระหว่างงาน รวมไปถึงการลดเวลาในขั้นตอนการปฏิบัติงาน และยังช่วงลดปริมาณงานที่อยู่ในระหว่างการทำงานของแต่ละส่วนของการประกอบผลิตภัณฑ์ การทำงานที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันอย่างต่อเนื่อง จะทำให้สามารถควบคุมกระบวนการได้ง่ายขึ้น ระบบการ**

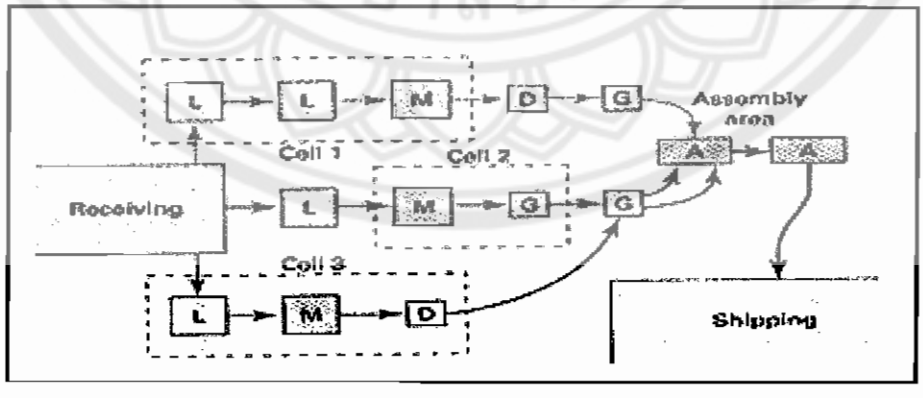
ผลิตแบบเซลลูลาร์สามารถลดขั้นตอนของกนะบวนการและระยะเวลาได้ดี จึงทำให้กระบวนการที่ยุ่งยากและวุ่นวายจะถูกจัดระบบให้ทำงานได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการมีส่วนร่วมของผู้ปฏิบัติงาน ทำให้เกิดความเข้าใจร่วมกันในการทำงานและประสานงานด้วยกัน มีการทำงานเป็นทีม จึงทำให้องค์กรเกิดการพัฒนา และความสำเร็จ แต่กระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ก็ยังมีข้อเสียอยู่คือ มีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งระบบ ไม่มีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตและการเปลี่ยนแปลงความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่เกิดการเสียของเครื่องจักรหรือว่าการขาดงานของพนักงานก็จะทำให้ไม่สามารถปฏิบัติงานได้เช่นกัน



L=lathed (เครื่องกลึง) M=Mill (เครื่องกัด) G=Grinder (เครื่องเจียร) D=Drill (เครื่องเจาะ)

รูปที่ 2.4 การวางผังโรงงานก่อนการประยุกต์ CMS

(**ที่มา** : www.surin.ru.ac.th/download/การวางผังการดำเนินงาน.ppt)



L=lathed (เครื่องกลึง) M=Mill (เครื่องกัด) G=Grinder (เครื่องเจียร) D=Drill (เครื่องเจาะ)

รูปที่ 2.5 ภาพการวางผังโรงงานหลังการประยุกต์ CMS

(**ที่มา** : www.surin.ru.ac.th/download/การวางผังการดำเนินงาน.ppt)

จากรูปที่ 2.4 และ 2.5 เมื่อนำทั้งสองรูปแบบมาเปรียบเทียบกันจะสังเกตได้ว่าในรูปที่ 2.5 จะมีการจักวางของระบบการทำงานของเครื่องจักรที่ดีขึ้น เป็นระเบียบมากกว่าการวางผังโรงงานก่อนประยุกต์ CMS ไม่เกิดลักษณะของเส้นทางที่ซับซ้อนกัน ไม่มีการตัดกันของระบบการทำงานนอกจากนี้ก็ยังสามารถทำให้เวลาในการทำงานลดลงอีกด้วย

2.4 ขั้นตอนของกระบวนการ

1. จัดรวบรวมข้อมูลของเครื่องจักรหรือรูปแบบของผลิตภัณฑ์
2. ทำการแบ่งกลุ่มโดยแบ่งตามความคล้ายคลึงทางการทำงานหรือกระบวนการให้อยู่ภายในเซลล์เดียวกัน
3. จัดเรียงการทำงานตามเซลล์ โดยจะมีการเคลื่อนที่ของวัสดุตามขั้นตอนจากการผลิตเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

2.5 การวิเคราะห์ผลและการเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิม

ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากกระบวนการ Cellular Manufacturing System แล้วนำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบของกระบวนการผลิตแบบปกติ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางด้านใด มีการลดขั้นตอนของการทำงาน ลดเวลา และ ลดความซ้ำซ้อนของเส้นทางการทำงานอย่างไร เมื่อได้ผลออกมาแล้วก็จะจัดรูปแบบการทำงานจริงตามการทำงานของ Cellular Manufacturing System

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ กับการผลิตตามขั้นตอน

รายการ	Cellular Manufacturing System	Process Layout
1. วิธีการผลิต	ปานกลาง	สูง
2. ปริมาณการผลิต	ปานกลาง	ต่ำ
3. เวลาที่ใช้ในการผลิต	สั้นกว่า	ยาวกว่า
4. ระยะทางการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน	น้อยกว่า	มากกว่า
5. จำนวนงานระหว่างผลิต	น้อยกว่า	มากกว่า
6. การจัดลำดับการทำงาน	ง่าย	ยาก
7. อัตราการใช้เครื่องจักร	น้อยกว่า	มากกว่า
8. อัตราการใช้แรงงาน	น้อยกว่า	มากกว่า
9. รูปแบบการทำงาน	ทำเป็นทีม	ต่างคนต่างทำ

(ที่มา: พินิจ บุญเอี่ยม, วาณิชชา กลมเกลี้ยง, ศิวาพร บุญมีมา, 2550)

จากตารางจะแสดงถึงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์เทียบกับกระบวนการผลิตแบบตามกระบวนการ ระบบการผลิตแบบตามกระบวนการเป็นการนำเอาเครื่องจักรที่มีลักษณะการทำงานเหมือนกันมาไว้ด้วยกัน เช่น เครื่องกลึงจะจัดกลุ่มอยู่กลุ่มของเครื่องกลึง เครื่องกัดจัดอยู่ในกลุ่มของเครื่องกัด เป็นต้น บางครั้งการผลิตของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ อาจจะต้องมีการกลับมาทำใหม่ คือ ชิ้นงานถูกส่งไปทำงานในขั้นตอนของการกลึง เสร็จแล้วก็จะถูกส่งไปยังเครื่องกัด เมื่อทำการกัดเสร็จแล้วจะต้องย้อนกลับมาในขั้นตอนของกระบวนการกลึงอีกที จึงทำให้การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์นั้นมีมากและเสียเวลาในการทำงานส่งผลทำให้ระยะเวลาของการผลิตเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบการผลิตแบบเซลล์ลูลาร์ ระบบการผลิตแบบเซลล์ลูลาร์นั้น จะมีการจัดระบบและวางแผนการเคลื่อนที่ของการทำงานในส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มีความคล้ายคลึงกัน ทำให้การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ลดลง ส่งผลทำให้ระยะเวลาของกระบวนการผลิตนั้นลดลงไปด้วย การจัดการผลิตเป็นแบบเซลล์ ส่งผลทำให้เครื่องจักรแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กัน การทำงานมีความใกล้ชิดกันมากยิ่งขึ้น ส่วนของผู้ปฏิบัติงานก็จะมีความสนิทสนมกันมีการประสานงานที่ดีขึ้น ทำให้เกิดการทำงานเป็นทีมจึงก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้น

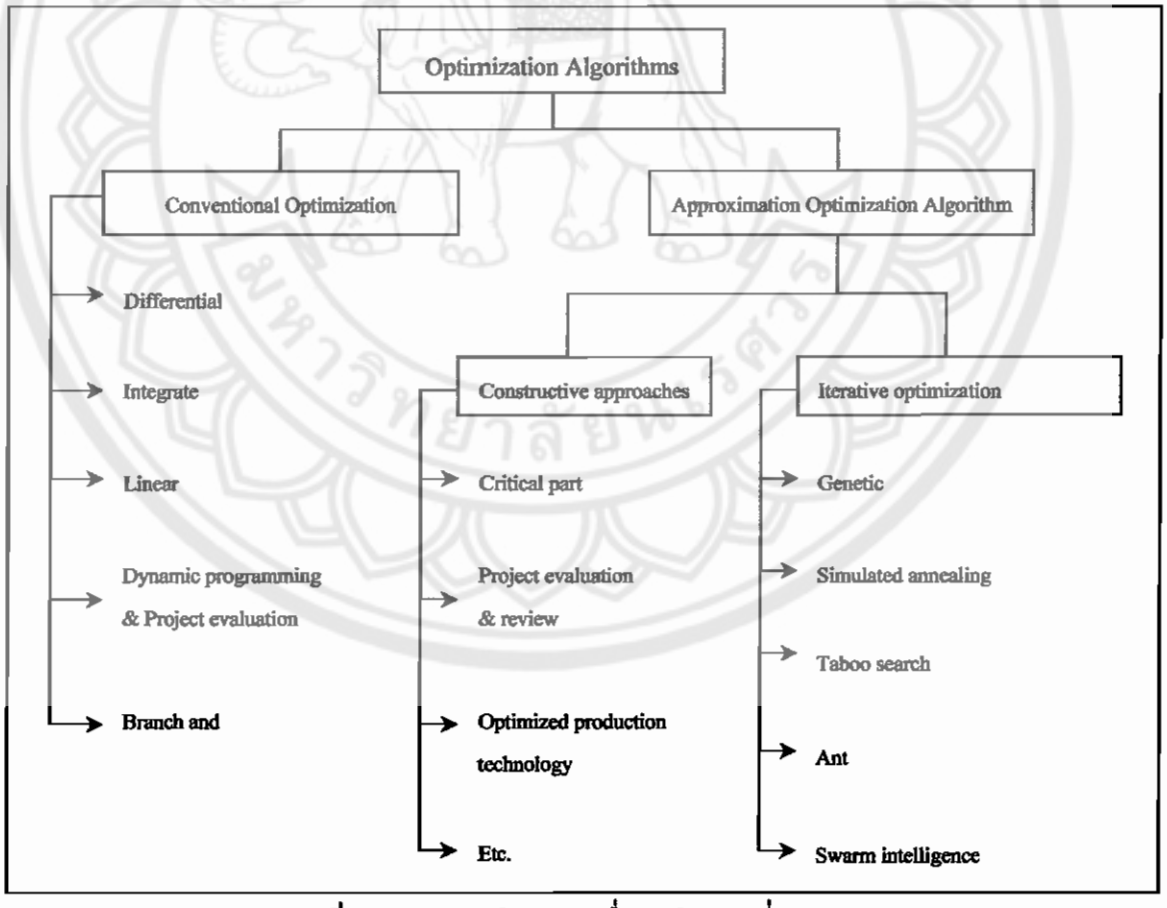
2.6 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์

คือ ปัญหาของการเคลื่อนที่ ของวัสดุที่จะต้องไหลผ่านเครื่องจักรต่างๆ มีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ

2.6.1 การเคลื่อนที่ภายในเซลล์ คือ การทำงานของกระบวนการในขั้นตอนของผลิตภัณฑ์ มีการเคลื่อนที่ของวัสดุผ่านไปยังเครื่องจักรต่างๆ ปัญหาในการเคลื่อนที่รูปแบบนี้ จะเกิดปัญหาขึ้นน้อย หรืออาจไม่เกิดขึ้น จึงไม่ค่อยเกิดปัญหาต่อระบบการผลิต

2.6.2 การเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ (Intercell Move) เป็นกระบวนการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์จากเครื่องจักรเซลล์หนึ่ง ไปยังเครื่องจักรอีกเซลล์หนึ่ง จึงทำให้เกิดปัญหาขึ้นในการเคลื่อนที่ คือ มีเส้นทางที่ซับซ้อนกัน มีการตัดกันของเส้นทาง ทำให้งานที่ผลิตนั้นมีการรองานเกิดขึ้น ทำให้เสียเวลาในการทำงาน รวมทั้งค่าใช้จ่าย และโอกาสที่จะได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

2.7 วิธีที่เหมาะสมในการหาคำตอบ



รูปที่ 2.6 ผังการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม

(ที่มา : ภูพงษ์ พงษ์เจริญ, 2548)

ในการแก้ปัญหาต่างๆจะสามารถแบ่งกว้างๆได้ 2 แบบ คือ Conventional optimization algorithm และ Approximation optimization algorithm ซึ่ง Approximation optimization algorithm สามารถแบ่งได้เป็น

ก. Constructive approaches

ข. Iterative optimization approaches

1. Conventional optimization algorithm

เป็นการหาคำตอบที่ใช้พื้นฐานของ คณิตศาสตร์ และสถิติ ในการหาคำตอบพื้นฐานในการแก้ปัญหาที่คนรู้จักและใช้มานานแล้ว คำตอบที่ได้สามารถรับรองได้ว่าได้คำตอบที่ดีที่สุดได้ ตัวอย่างของ Conventional optimization algorithm ได้แก่ Differential, Integration, Linear programming, Dynamic programming และ Branch and bound เป็นต้น

2. Approximation optimization algorithm

เป็นการหาคำตอบโดยการประมาณคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด หรืออาจเป็นคำตอบที่ดีที่สุดก็ได้ แต่จะใช้เวลาสั้นกว่า Conventional optimization algorithm และสามารถแบ่งได้อีก 2 แบบ คือ

ก. Constructive approaches เป็นการหาคำตอบโดยวิธีที่มีลักษณะเฉพาะคำตอบจะค่อยๆถูกสร้างจน ได้คำตอบมากที่สุดของตัวอย่างของ Constructive approaches ได้แก่ Critical part method, Project evaluation & review technique, Material requirement planning, และ Optimized production technology เป็นต้น

ข. Iterative optimization approaches เป็นการหาคำตอบที่เลียนแบบพฤติกรรมธรรมชาติ เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ใหม่เมื่อเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาอื่นๆ ตามที่ได้กล่าวมา ตัวอย่างของ Iterative optimization approaches ได้แก่ Genetic algorithms, Simulated annealing, Toboo search, Neural network, Ant colony และ Swarm intelligence เป็นต้น ซึ่ง Simulated annealing เป็นแนวคิดโดยการอบอ่อนจำลองของโลหะ และนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการสร้างเซลล์ในงานวิจัยนี้

2.8 การอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing)

ในปี ค.ศ. 1953 Metropolis ได้มีการพัฒนาทฤษฎีของการแก้ไขปัญหา เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีการอาศัยการทำงานของระบบการเคลื่อนที่ของพลังงาน Metropolis ได้ทำการตั้งสมมติฐานไว้ว่า การที่จะให้พลังงานความร้อนมีส่วนประกอบทางเคมี จะต้องมีการกำหนดค่าของอุณหภูมิ เพราะฉะนั้นพลังงานจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมกับอุณหภูมิ ซึ่งมีค่าที่มีความคงที่การจำลองในการเคลื่อนที่ระบบนี้ เรียกว่า ทฤษฎีอบอ่อนจำลอง

ต่อมาในปี ค.ศ. 1983 Kirkpatrick ได้มีการพัฒนาระบบการอบอ่อนจำลองมาใช้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการแก้ไขปัญหา จึงมีหลายคนที่นำแนวคิดของ Kirkpatrick ไปแก้ไขปัญหาในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

การอบอ่อนจำลองประยุกต์มาจากการอบอ่อนของเหล็ก เนื่องจากเหล็กที่ผ่านการอบอ่อนเมื่อมีการทำให้เหล็กเย็นตัวโดยช้าๆ ผิวหน้าของชิ้นงานจะมีความเรียบสม่ำเสมอ เป็นเพราะว่าโมเลกุลจะถูกแทรกด้วยโครงสร้างผลึก โดยที่ผลึกของโครงสร้างจะถูกแทนที่ด้วยระดับพลังงานที่ต่ำที่สุด ในขณะที่เหล็ก ที่ผ่านการอบอ่อนแล้วนำมาทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้เหล็กนั้นมีความขรุขระ เพราะรอยขรุขระที่เกิดขึ้นนั้น จะแทนที่ด้วยตำแหน่งที่น้อยที่สุด และมากที่สุดของระดับพลังงาน Metropolis จึงได้สร้าง อัลกอริทึม ซึ่งรู้จักกันดีในความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง ปัจจุบันไปเป็นโครงสร้างแบบที่ต่ำกว่า ความน่าจะเป็นดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้

$$\text{สมการความน่าจะเป็น} = e^{-(E2-E1)/kt}$$

เมื่อ E1 คือ ค่าของโครงสร้างคำตอบปัจจุบัน

E2 คือ ค่าของโครงสร้างคำตอบที่เปลี่ยนแปลงไป

k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ 1.38065×10^{-23} JK^{-1}

t คือ อุณหภูมิปัจจุบันของการอบอ่อน

สมการนี้ถูกเรียกว่าสมการ Metropolis Criterion การให้โอกาสที่คำตอบที่ต่ำกว่ามีโอกาสที่จะถูกเลือกถือเป็นข้อดีของการอบอ่อนจำลอง สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดในย่านอื่นๆได้ ตัวแปรเสริมที่สำคัญมีผลในการนำการอบอ่อนจำลองมาใช้งาน ถูกรวบรวมไว้โดย Davidson กับ Karel ดังนี้

ก. กลุ่มของโครงสร้างคำตอบรวมทั้งคำตอบเริ่มต้นด้วย ที่ซึ่งถูกเลือกมาจากการสุ่ม

ข. การเลือกโครงสร้างคำตอบต่อไปจะถูกเลือกโดยการสุ่มจากย่านปัจจุบัน

ค. เป้าหมาย ค่าฟังก์ชันจะถูกกำหนดให้มีค่าน้อยที่สุด

ง. การควบคุมตัวแปรของตารางการเย็นตัว และเมื่อไหร่ที่จะใช้กฎ Metropolis Criterion และมันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

จ. เงื่อนไขจะทำให้สิ้นสุด ขึ้นอยู่กับเวลาและค่าของฟังก์ชัน หรือตัวแปรควบคุม

และในการให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นของการทำงานของการอบอ่อนจำลอง ว่าลำดับขั้นตอน ของการทำงานเป็นอย่างไร ศึกษาจากตัวอย่างต่อไปนี้ ขั้นแรก ต้องมีการออกแบบ หรือตัดสินใจในการเลือกอุณหภูมิเริ่มต้น (T) และอุณหภูมิหยุด (T_{end}) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะอุณหภูมินั้นจะถูกใช้ด้วยสมการความน่าจะเป็นของ Metropolis คือ

$$\text{สมการความน่าจะเป็น} = e^{-(E2-E1)/kt}$$

เมื่อ E1 คือ ค่าของโครงสร้างคำตอบปัจจุบัน

E2 คือ ค่าของโครงสร้างคำตอบใหม่

k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann มีค่าเท่ากับ 1.38065×10^{-23} JK^{-1}

t คือ อุณหภูมิปัจจุบันของการอบอ่อน

วัตถุประสงค์ของการใช้สมการคือ การใช้สมการในการหาค่าของโครงสร้างเพื่อหาว่าโครงสร้างแบบใหม่หรือว่าแบบเก่า แบบไหนจะถูกยอมรับมากกว่ากัน ถ้าค่าไหนดีกว่าและมีค่าต่ำกว่ามักจะถูกเลือกในการนำไปใช้งาน โดยหลักของการอบอ่อนจำลองจะเป็นการสุ่มเพื่อหาโครงสร้างที่มีค่าน้อยที่สุด

การอบอ่อนจำลองจะเริ่มด้วยการสุ่มค่าของโครงสร้างคำตอบ ในการหาคำตอบของปัญหาซึ่งจะเป็นค่าที่น้อยที่สุด หรือมากที่สุด ขึ้นอยู่กับการหาคำตอบของปัญหานั้นๆ ว่าเป็นปัญหาอะไร ค่าที่เริ่มต้นนั้นจะเริ่มด้วยการสุ่ม โดยวิธีการคำนวณ และ ณ เวลาที่สุ่มนั้นๆ จะเกิดโครงสร้างคำตอบใหม่ขึ้นมา ในการสร้างที่เกิดจากการอบอ่อนจำลอง และโครงสร้างคำตอบใหม่ๆ จะต่อเนื่องมาจากโครงสร้างคำตอบเก่า โดยการนำค่า 2 ค่า คือ ค่าของโครงสร้างคำตอบใหม่และเก่ามาเปรียบเทียบกัน ถ้าโครงสร้างคำตอบใหม่มีค่าที่ดีกว่าโครงสร้างคำตอบเก่า มันจะถูกยอมรับโดยทันที แต่ถ้าค่าของโครงสร้างคำตอบใหม่ไม่ดีกว่าโครงสร้างคำตอบปัจจุบัน ขึ้นอยู่**กับผลลัพธ์ของสมการความน่าจะเป็น ในการที่จะยอมรับหรือปฏิเสธ และในการเปรียบเทียบทั้งโครงสร้างคำตอบปัจจุบันและโครงสร้างคำตอบใหม่ รวมไปถึงการยอมรับหรือปฏิเสธนั้น ก็จะเป็นการทำทั้งหมด n ครั้ง และในทุกๆครั้งอุณหภูมิก็จะเปลี่ยนไป ซึ่งอัตราของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็ขึ้นอยู่ปัญหาแต่ละปัญหา ในการหาจำนวนครั้งของการทดลอง (n) ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ กระบวนการทำซ้ำจนกระทั่งอุณหภูมิจะหยุดถึงขอบเขต**

2.9 หลักการและทฤษฎีของโปรแกรม Visual Basic for Application

ในการแก้ปัญหาโดยใช้หลักของ Cellular Manufacturing โดยวิธีอบอ่อนจำลองแบบเดิมเป็นการแก้ปัญหาที่ใช้เวลาค่อนข้างมาก เนื่องจากกระบวนการของการอบอ่อนจำลอง มีลักษณะของการทำงานที่มีลักษณะวนซ้ำ ที่มีจำนวนรอบวนซ้ำสูงมาก จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการสร้างกระบวนการทำงานของการอบอ่อนจำลอง โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ที่ช่วยในการทำงานของระบบ Cellular Manufacturing เพื่อช่วยลดเวลาและขั้นตอนของการทำงานก็คือ โปรแกรม Visual Basic for Application ของโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งโดยปกติมีการประยุกต์ใช้ในการคำนวณได้หลากหลาย และมีการใช้งานที่แพร่หลาย

2.9.1 หลักการของ Visual Basic

จากผู้ผลิตและพัฒนา Microsoft โปรแกรมทั่วๆไปมักจะมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่เสมอ ที่เรียกว่า "บัก" (Bug) เนื่องจากการทำงานจะต้องมีการไหลของโปรแกรม ตั้งแต่ต้นจนจบการทำงาน ไม่ว่าการทำงานนั้นๆจะต้องเคลื่อนที่ผ่านไปยังโปรแกรมย่อยก็ตาม แต่ในขั้นตอนสุดท้ายแล้วนั้นโปรแกรมก็ยังคงกลับมายังโปรแกรมหลักเหมือนเดิม โปรแกรม Visual Basic จึงมีหน่อยย่อยต่างๆมากมาย เพื่อทำการลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการเขียนโปรแกรมของ Visual Basic โดยใช้ภาพและการมองเห็น มีการเก็บออบเจกต์ต่างๆไว้ในส่วนที่เรียกว่าฟอร์ม (Form) โดยจะกำหนดให้ออบเจกต์ทำงานตามเหตุการณ์(Event) ซึ่งอาจจะเป็นการคลิกดับเบิ้ลคลิกเป็นต้น เหตุการณ์ที่ไม่ได้ระบุจะไม่มีผลกับออบเจกต์นั้น ลักษณะโปรแกรมเช่นนี้เรียกว่า Event-Driven ซึ่ง Visual Basic มีการกำหนดส่วนหัวและส่วนหางไว้เรียบร้อยแล้ว เพื่อทำการเขียนโปรแกรมให้ง่ายขึ้น

2.9.2 ข้อดีของโปรแกรม Visual Basic for Application

ก. ได้รับความนิยมใช้ในการทำงานอย่างมาก เนื่องจากเป็นภาษา Basic ที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไป

ข. ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประสิทธิภาพของตัวภาษาในการประเมินผล การติดต่อกับระบบฐานข้อมูลการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

ค. สามารถนำภาษา Basic ไปประยุกต์ใช้ได้ในโปรแกรมของ Microsoftได้อย่างดี โดยเฉพาะกับโปรแกรม Excel ซึ่งมีการนำโปรแกรมนี้ไปใช้กันอย่างแพร่หลาย

ง. การทำงานของ Windows เป็นการทำงานหลายอย่างในเวลาเดียวกัน (Multitasking) มีการทำงานของหลายแอปพลิเคชั่น จึงเป็นการยากที่จะรู้ว่าแอปพลิเคชั่นใดทำงานถึงจุดใดบ้างแล้ว แต่เมื่อนำโปรแกรม Event-Driven มีใช้ในการแก้ปัญหา ปัญหาเหล่านี้ก็จะหมดไป

2.9.3 การใช้ Visual Basic for Application ของ Microsoft Excel

ในการวิจัยนี้ ได้นำเอาโปรแกรม Visual Basic for Application มาใช้ในการสร้างฟังก์ชันใน Microsoft Excel มาช่วยในการสร้างกระบวนการทำงานของการอบอ่อนจำลอง ซึ่งกระบวนการอบอ่อนจำลองมีลักษณะการทำงานที่วนซ้ำ ซึ่งมีรอบการทำซ้ำที่สูงมาก ทำให้เหมาะสมในการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย เพื่อนำมาคำนวณลดการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ให้น้อยที่สุด มีการสร้างส่วนที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ (User forum) เพื่อให้ผู้ใช้ได้กรอกข้อมูลลงไปเพื่อทำการคำนวณหาค่าต่างๆ โดยมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลของ Excel มาใช้ในการคำนวณร่วมกับผู้ใช้งานและแสดงผลของการคำนวณเพื่อหาค่าการเคลื่อนที่ระหว่างเซลล์ที่น้อยที่สุดในระบบการทำงานของ Excel