บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินของงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินของงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ 1) งานวิจัยที่ยืนยันประสิทธิภาพของระบบที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน ซึ่งจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานและระบบที่ไม่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานหรือระบบที่ได้มีการวางเส้นทางเดินของงานไว้ล่วงหน้าแล้ว 2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน ซึ่งงานวิจัยในกลุ่มนี้จะมีการสร้างฟังก์ชั่นซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆ เพื่อใช้ในการวัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน 3) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงาน งานวิจัยในกลุ่มนี้จะสร้างวิธีการจัดเส้นทางเดินของงาน ซึ่งวิธีการจัดเส้นทางเดินของงานสามารถแบ่งแยกย่อยออกเป็น 3 ประเภทคือ ประเภทที่จัดเส้นทางเดินของงานโดยใช้โปรแกรมเส้นตรง การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และ ทฤษฎีแถวคอย ประเภทที่จัดเส้นทางเดินของงานโดยวิธีฮิวริสติก และ ประเภทที่จัดเส้นทางเดินของงานโดยวิธีปัญญาประดิษฐ์

2.1 งานวิจัยที่ยืนยันประสิทธิภาพของระบบที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน

งานวิจัยหลายงานวิจัยได้สนับสนุนประโยชน์ของระบบผลิตที่จัดให้มีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน ดังจะสามารถยกตัวอย่างของงานวิจัยเหล่านี้ได้ดังนี้

- Brown และคณะ (1984) พบว่า การที่ระบบมีความยืดหยุ่นของทางเดินของงานจะช่วยเพิ่มความสามารถของระบบเมื่อทำการผลิตแบบต่อเนื่องในสภาวะที่มีเครื่องจักรเสีย นอกจากนี้ในการผลิตในสภาวะปกติการมีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานยังช่วยลดความคับคั่งของระบบได้อีกด้วย
- Sarin และ Dar-El (1986) วิจารณ์ว่าความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานในระดับขั้นตอนการดำเนินงาน (Operation level) จะช่วยให้ระบบมีการใช้สอยของเครื่องมือต่าง ๆ ดีกว่าแบบที่มีการวางเส้นทางเดินตายตัวไว้ล่วงหน้าแล้ว
- Lin และ Solberg (1991) ทดสอบความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานและความยืดหยุ่นของลำดับขั้นตอนการผลิต (Sequencing flexibility) และสรุปว่าหากระบบมีความยืดหยุ่นทั้ง 2 แบบ ระบบจะมีความสามารถมากขึ้น แต่หากระบบมีเพียงความยืดหยุ่นของลำดับขั้นตอนการผลิตความสามารถของระบบจะไม่เพิ่มขึ้นนัก
- Chen และ Chung (1991) สร้างแบบจำลองในปัญหาการจัดสรรขั้นตอนการทำงานและเครื่องมือให้กับเครื่องจักรและแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินของงาน โดยมี

ฟังก์ชั่นเป้าหมายของแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินของงานในการลดเวลารวมของงานที่อยู่ในระบบ โดยทดสอบแบบจำลองกับระบบที่มีความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน การผลิตมากและน้อย พบว่าไม่ว่าเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตจะแปรปรวนอย่างไร การจัดเส้นทางเดินของงานให้มีความยืดหยุ่นทำให้ได้การใช้สอยของเครื่องจักรในระบบที่สูงกว่าและเวลารวมที่งานอยู่ในระบบน้อยกว่า

- Ghosh และ Gaimon (1992) ได้สร้างแบบจำลองเครือข่ายแบบหลายผลิตภัณฑ์ หลายช่วงเวลาและหลายสภาวะ (Multi-product, Multi-period, Multi-stage network) เพื่อใช้ในการหาว่าในแต่ละวันจะต้องมีการผลิตเท่าใด และในแต่ละประเภทของชิ้นงานจะต้องทำขั้นตอนการทำงานใด ที่เครื่องจักรใด พวกเขาได้ใช้เทคนิคแบบการแยกส่วนประกอบของราคาโดยตรง (Price directed decomposition) เพื่อทำให้การแก้ปัญหาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผลปรากฏว่าเมื่อยิ่งเพิ่มความยืดหยุ่น ระบบมีผลการดำเนินงานที่น่าพอใจมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันต้องมีการตั้งเครื่องและแบ่งแยกคำสั่งในการผลิตมากขึ้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน

งานวิจัยหลายงานวิจัยมีความมุ่งหมายเพื่อที่จะวัดระดับความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานในระบบโดยใช้ฟังก์ชั่นในการวัดความยืดหยุ่นที่ต่างกันไป ขึ้นกับว่าผู้วิจัยจะพิจารณาให้ความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานขึ้นกับปัจจัยใดบ้าง ตัวอย่างของงานวิจัยดังกล่าวคือ

- Yao (1985) แบ่งส่วนประกอบในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนของวัสดุ อันได้แก่ ชิ้นงาน สถานีงานและระบบขนส่ง และส่วนของข้อมูล อันได้แก่ ข้อมูลออนไลน์และคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบ สำหรับส่วนของข้อมูลนั้น Yao ได้ศึกษาการไหลของข้อมูลเพื่อจุดประสงค์ในการควบคุมและสร้างความยืดหยุ่นในเส้นทางเดินของงาน ในการนี้ Yao ได้สร้างเอนโทรปี (Entropy) ของเส้นทางเดินของงานเพื่อใช้วัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานโดยการแบ่งขั้นตอนการทำงานของชิ้นงานออกเป็นกลุ่มๆที่เรียงต่อกันในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานที่สามารถทำขั้นตอนไหนก่อนหรือหลังก็ได้ แต่ทุกขั้นตอนในกลุ่มจะต้องทำเสร็จก่อนที่จะทำขั้นตอนในกลุ่มถัดไป เอนโทรปีของเส้นทางเดินของงานสร้างจากจำนวนทางเลือกที่มีสำหรับแต่ละขั้นตอนการทำงาน
- Kumar (1986) กล่าวถึงความสัมพันธ์ของความยืดหยุ่นและเอนโทรปี โดยสร้างฟังก์ชั่นความยืดหยุ่นที่ขึ้นอยู่กับจำนวนทางเลือกที่มีและความน่าจะเป็นที่ทางเลือกแต่ละทางจะถูกเลือกและประยุกต์ใช้ความยืดหยุ่นที่สร้างขึ้นเข้ากับฟังก์ชั่นเอนโทรปีของ

Shannon (Shannon, 1948 อ้างถึงใน Kumar, 1986) สำหรับความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน Kumar วัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานโดยใช้ทฤษฎีการแยกส่วนประกอบ (Decompositon theorem) ในการนี้ Kumar ได้สร้างฟังก์ชั่นเอนโทรปีเพื่อวัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานจากผลรวมความสามารถเลือกสถานีงานทั้งหมดของทุกขั้นตอนการผลิต นอกจากนั้น Kumar ยังได้ขยายงานของ Yao (1985) ซึ่งแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นกลุ่มๆ แต่ Kumar พิจารณาขั้นตอนการทำงานเพียงกลุ่มเดียวเพื่อให้สามารถใช้ได้กับกรณีทั่วไปอีกด้วย

- Upton และ Barash (1988) สรุปว่าสิ่งที่ส่งผลต่อความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานคือความจุของระบบและธรรมชาติของชิ้นงานที่จะทำการผลิต
- Chandra และ Tombak (1992) ได้สร้างแบบจำลองที่มีปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร และความจุในแต่ละเส้นทางเดินของงานรวมเพื่อวัดความยืดหยุ่นของระบบ เนื่องจาก Chandra และ Tombak พิจารณาว่าหากใช้พฤติกรรมของระบบเป็นตัววัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน จำนวนของทางเลือกของทางเดินที่มีอาจไม่พอเพียงที่จะเป็นตัวบ่งชี้ความยืดหยุ่นของทางเดินของระบบ เพราะตามความจริงแล้วพฤติกรรมของระบบขึ้นกับความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรและลำดับขั้นตอนการทำงานด้วย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงาน

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ดังจะสามารถแยกประเภทการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานได้ดังต่อไปนี้

2.3.1 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานด้วยวิธีโปรแกรมเส้นตรง การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และ ทฤษฎีแถวคอย

ตัวอย่างงานวิจัยที่แก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานด้วยวิธีดังกล่าวได้แก่

- Maimon และ Choong (1987) ใช้โปรแกรมพลวัต (Dynamic programming) ในการสร้างนโยบายในการจัดเส้นทางเดินของงานแบบพลวัตซึ่งคำนึงถึงเรื่องของสินค้าระหว่างผลิตคงคลัง กำหนดส่ง และสถานีงานอื่นเพื่อประโยชน์ในการจัดสมดุลภาระงานตามเวลาจริง (Real time) ผลปรากฏว่า นโยบายที่สร้างจะช่วยเพิ่มผลผลิตในขณะที่ลดวัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการ
- Avonts และ Wassenhove (1988) ได้พิจารณาปัญหาทั้งด้านการหาอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตและการหาทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบ

ยืดหยุ่นพร้อม ๆ กัน และเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมเส้นตรง (Linear programming) และแบบจำลองของแถวคอย (Queuing model) เพื่อที่จะกำหนดประเภท ปริมาณ และเส้นทางเดินของงานที่จะถูกทำในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนของโปรแกรมเชิงเส้นตรงจะแก้ปัญหาในส่วนที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา (Static) ส่วนแบบจำลองของแถวคอยจะแก้ปัญหาแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา (Dynamic) โดยผลจากงานวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนได้โดยไม่ต้องปรับกำลังการผลิตและความต้องการของตลาด

- Liu (1989) ได้พิจารณาหาเส้นทางเดินของงานที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้โปรแกรมพลวัต ซึ่งมีเป้าหมายในการหาเส้นทางเดินของงานซึ่งทำให้ต้นทุนชิ้นงานในระบบน้อยที่สุด
- Jiang, Singh และ Hindi (1991) ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็น (Stochastic optimization) ในการหาเส้นทางเดินของงานที่เหมาะสมที่สุด โดยสร้างฟังก์ชั่นเป้าหมาย (ทำให้อัตราผลผลิตมากที่สุด) สัมพันธ์กับความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทางเดินของงานแต่ละเส้น เทคนิคที่นำมาใช้กับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นนี้คือ ขั้นตอนของโรบินและมอนโร (Robbins-Monro procedure) ผลที่ได้ปรากฏว่าแบบจำลองนี้สามารถทำให้ระบบที่มีบัฟเฟอร์จำกัด เวลาในการให้บริการเป็นแบบทั่วไปและมีการบล็อคของเครื่องจักร ได้เปอร์เซ็นต์การใช้สอยสูงขึ้น
- Bernado และ Mohamed (1992) ได้เสนอการจัดความยืดหยุ่น 3 ประการ อันได้แก่ความยืดหยุ่นในการโหลดเครื่องมือ (Loading flexibility) ความยืดหยุ่นในการจัดเส้นทางเดินของงาน และความยืดหยุ่นในการออกแบบ สำหรับความยืดหยุ่นในการจัดเส้นทางเดินของงานขึ้นอยู่กับจำนวนเส้นทางที่งานสามารถเลือกได้ Bernado และ Mohamed ยังได้สร้างวิธีการปฏิบัติงานให้แก่ระบบโดยโปรแกรมเส้นตรงแบบจำนวนเต็ม (Integer linear programming) 2 แบบ แต่ละแบบมีฟังก์ชั่นเป้าหมายคือลดต้นทุนสินค้าคงคลังและเพิ่มอัตราผลผลิตตามลำดับ ผลปรากฏว่า นโยบายทางด้านต้นทุนที่น้อยที่สุดจะมีระดับของสินค้าคงคลังและความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานดีกว่านโยบายทางด้านอัตราการผลิตสูง
- Singh, Aneja และ Rana (1992) พิจารณาการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ พวกเขาได้สร้างขอบเขตจำกัดของความมีประสิทธิภาพ (Effective frontier) โดยพิจารณาจากเกณฑ์ 2 เกณฑ์ขึ้นมา 2

แบบ โดยแบบแรกมีฟังก์ชั่นเป้าหมายคือทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตและต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด แบบที่สองมีฟังก์ชั่นเป้าหมายคือทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุดและทำให้โหลดงานสมดุล การสร้างฟังก์ชั่นเป้าหมายกระทำโดยโปรแกรมเส้นตรง คำตอบที่ได้จะเป็นแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพซึ่งไม่มีแผนอื่นนอกจากแผนเหล่านี้ที่ทำให้เกณฑ์ที่พิจารณาทั้งสองได้ผลตรงตามความต้องการทั้งคู่ ผู้ใช้สามารถเลือกเส้นทางเดินของงานได้จากแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพเหล่านี้ เมื่อลากเส้นต่อแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพเหล่านี้ก็จะได้เซ็ทของแผนที่มีประสิทธิภาพหรือที่เรียกว่าขอบเขตจำกัดของความมีประสิทธิภาพนั่นเอง

2.3.2 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานโดยใช้วิธีการแบบชิวริสติก

ตัวอย่างงานวิจัยที่แก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานด้วยวิธีดังกล่าวได้แก่

- Yoa และ Buzacott (1987) ได้เสนอแผนผังความน่าจะเป็นของเส้นทางเดินที่จะมีแถวคอยสั้นที่สุด (Proobabilistic shortage-queue routing) ซึ่งงานมีความน่าจะเป็นสูงที่จะไปยังเครื่องจักรที่มีความคับคั่งน้อยที่สุดซึ่ง ในการสร้างแบบจำลองของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นนี้ใช้เครือข่ายของแถวคอยแบบปิด (Closed queue network)
- Bobrowski และ Mabert (1988) ได้เปรียบเทียบกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน 3 แบบ คือ 1)กฎช่วงของการโหลดที่ช้าที่สุด Minimum last load period, MLL) ซึ่งจะเลือกเส้นทางที่ได้รับชิ้นงานและมีการจัดตารางการผลิตที่เสร็จเร็วที่สุด 2) กฎการทำโหลดงานให้สมดุล (Balanced Total Load, BL) ซึ่งจะให้งานแก่เครื่องจักรที่มีเวลาทำงานทั้งหมดที่น้อยที่สุด 3) กฎเวลาในการผลิตน้อยที่สุด (Minimum Processing Time, MP) ซึ่งจะให้งานแก่เครื่องจักรที่ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด Bobbrowski และ Mabert ได้เปรียบเทียบกฎทั้งสามภายใต้สภาวะการปฏิบัติงานหลายแบบ ผลแสดงให้เห็นว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่พยายามลดเวลาในการปฏิบัติงาน (MP) จะใช้ได้ผลน้อยกว่าพวกที่พยายามจัดงานให้สมดุล (BL) และลดเวลาการไหลของงานในระบบ (MLL)
- Choi และ Malstrom (1988) ได้ใช้แบบจำลองทางกายภาพมาประเมินความสามารถของกฎในการเลือกเครื่องจักร 4 กฎ พบว่า กฎจำนวนงานในแถวคอยน้อยที่สุด (Number of jobs in next queue, NINQ) และเวลาของงานทั้งหมด

ที่คอยอยู่ในแถวคอยน้อยที่สุด (Work in next queue, WINQ) มีประสิทธิภาพดีที่สุด

- Upton และ Barash (1988) ประยุกต์ใช้กฎการลดลงของเอนโทรปีน้อยที่สุดกับฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของการเลือกเส้นทางเดินของงาน ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเวลาที่ใช้และเป็นสัดส่วนผกผันกับค่าใช้จ่ายเมื่อทำชิ้นงานที่เครื่องจักรนั้น เพื่อสร้างกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน
- Ghosh (1990) ได้สร้างอัลกอริทึมในการค้นหาคำตอบ (Search algorithm) เพื่อที่จะหาเส้นทางเดินของงานที่จะลดเวลารวมของงานในระบบ แม้ว่าอัลกอริทึมที่ได้คิดขึ้นมาจะทำให้ได้รับเส้นทางเดินที่ดี แต่ต้องเสียเวลาในการคำนวณมาก ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้กับสภาพแวดล้อมแบบไดนามิก ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเช่นในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น
- Nasr และ Elsayed (1990) ได้แบ่งปัญหาที่มีขนาดใหญ่ให้เป็นปัญหาย่อยเพื่อสะดวกต่อการแก้ปัญหา จากนั้นได้สร้าง Bound algorithm เพื่อแก้ปัญหาในการจัดตารางการผลิตเมื่องานยังไม่สามารถเลือกเครื่องจักรได้ Bound algorithm นี้ได้ถูกใช้ร่วมกับ Greedy algorithm ในการจัดเส้นทางเดินของงาน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ ผลปรากฏว่าการเพิ่มจำนวนเครื่องจักรที่สามารถเลือกได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบยิ่งน้อยลงและมีผลทำให้จำนวนผลผลิตและเปอร์เซ็นต์การใช้สอยของเครื่องจักรมากขึ้นไปด้วย
- Ro และ Kim (1990) ได้ศึกษากฎการเลือกเครื่องจักรเพื่อที่จะประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีความจุของบัฟเฟอร์เฉพาะที่ (Local buffer) จำกัด และพบว่ากฎแบบไดนามิก (Dynamic rules) ที่คำนึงถึงเวลาในการเดินทาง (Travel time) เวลาในแถวคอย (Queuing time) และเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการดำเนินงาน (Operation time) จะมีความสามารถมากกว่ากฎที่ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้
- Yao และ Pei (1990) ได้สร้างกฎที่สามารถใช้จัดเส้นทางเดินของงานในสิ่งแวดล้อมการผลิตแบบไดนามิก และได้นำหลักการของเอนโทรปีมาประยุกต์ใช้โดยสร้างกฎการจัดทางเดินของงานที่เรียกว่ากฎการลดลงของเอนโทรปีน้อยที่สุด (Least reduction entropy) นอกจากนี้ยังสร้างโมดูลรายการขั้นตอนต่อไปที่ต้องทำ (Next operation list, NOL) สำหรับปรับเปลี่ยนรายการขั้นตอนที่เหลือของงาน ผลของการเปรียบเทียบกฎเอนโทรปีลดลงน้อยที่สุดกับกฎเวลา

ที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตน้อยที่สุดพบว่า ที่อัตราการเสียของเครื่องจักรสูง กฎเอนโทรปีลดลงน้อยที่สุดได้เวลารวมของงานในระบบสั้นกว่า อัตราผลผลิตสูงกว่า เครื่องจักรว่างงานต่ำกว่า กฎเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตน้อยที่สุด มากแต่หากอัตราเครื่องจักรเสียน้อย กฎทั้งสองนี้แทบไม่แตกต่างกัน

- Jo และ Maimon (1991) ศึกษาโหลดของงานที่เหมาะสมที่กระจายให้แต่ละสถานีงานโดยใช้การจัดเส้นทางเดินของงานแบบไดนามิกโดยซึ่งนำงานออกมาจากแถวคอยที่ยาว มาเข้าแถวคอยที่สั้นกว่าเพื่อที่จะลดต้นทุนคาดหมาย พบว่านโยบายที่เหมาะสมคือนโยบายที่กล่าวว่าถ้าจำนวนของงานทั้งหมดที่แถวคอยหนึ่งมากกว่าค่าที่กำหนด (Threshold) จะนำงานที่จะเข้าไปต่อแถวเพิ่มไปไว้ที่เครื่องจักรอื่นที่ทำขั้นตอนทำงานที่งานนั้นต้องการได้
- Wein (1991) ได้สร้างแบบจำลองควบคุมการไหลในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยใช้เครือข่ายของบราวน์เนียน (Reduced Brownian network without discretionary routing) ซึ่งเครือข่ายของบราวน์เนียนนี้จะควบคุมทั้งส่วนของการจัดลำดับขั้นการทำงาน การนำงานเข้าสู่ระบบและการจัดเส้นทางเดินของงาน สำหรับส่วนของการตัดสินใจเลือกทางเดินของงานแบบไดนามิกจะเป็นแบบกฎเลือกเส้นทางที่คาดว่าจะมีการล่าช้าน้อยที่สุด (Shortage expected delay routing, SDR) ซึ่งจะนำงานไปยังเครื่องจักรที่คาดว่าจะมีการล่าช้าน้อยที่สุด พบว่าเมื่อขนาดของปัญหาแบบแถวคอยอยู่ในระดับปานกลาง วิธีนี้มีประสิทธิภาพสูง
- Chen และ Alfa (1992) ได้สร้างอัลกอริทึมแบบฮิวริสติก เพื่อแก้ปัญหาเรื่องเส้นทางเดินของงานในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงความต้องการแต่ไม่มีเครื่องจักรเสีย โดยใช้เทคนิคแบบค่าเฉลี่ยแบบลำดับ (Sucessive averages) ผลปรากฏว่า แม้แบบจำลองที่ได้จะง่ายต่อการทำความเข้าใจและง่ายต่อการนำไปใช้ ผลลัพธ์ที่ได้มักไม่เป็นจำนวนเต็มและหากขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้นต้องใช้การคำนวณมาก นอกจากนี้ผลการคำนวณอาจไม่เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งหากนำไปใช้กับระบบที่มีการผลิตน้อย การปัดค่าอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้
- Shmilovici และ Maimon (1992) ได้สร้างกฎแบบฮิวริสติก 3 แบบในการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตที่มีสภาพแวดล้อมแบบไดนามิก กฎทั้งสามได้แก่กฎลำดับความสำคัญคงที่ (Fixed priority, FP) กฎการลดลงของเอนโทรปีน้อยที่สุด (Least reduction entropy, LRE) และกฎความด้านทาน

การไหลน้อยที่สุด (Minimum flow resistance, MFR) เมื่อเปรียบเทียบกฎทั้งสามโดยวิธีการจำลองแบบปัญหาในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นหลาย ๆ แบบ พบว่า LRE ใช้ได้ผลดีเมื่อระบบนั้นมีอัตราเครื่องจักรเสียมากหรือมีอัตราการซ่อมบำรุงสูง MFR ค่อนข้างที่จะได้ผลดีกว่ากฎแบบอื่นในเรื่องผลผลิตของระบบที่สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การใช้กฎ MFR จะทำให้มีการใช้สอยของบัฟเฟอร์สูง มีช่วงเวลาทำนาน นอกจากนี้ยังมีความไวกับขนาดของบัฟเฟอร์ด้วย

- Arzi และ Roll (1993) เปรียบเทียบกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน 5 กฎ กฎประโยชน์สัมพัทธ์มากสุด (Largest relative advantage, LRA) กฎเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตน้อยที่สุด (Shortest processing time) กฎการดึงงาน (Pull type procedure) และอีกสองกฎสุดท้ายเป็นกฎที่มีการประยุกต์โปรแกรมเชิงเส้นตรงมาใช้คือสัดส่วนเชิงเส้นตรงของเครื่องจักรคงที่ (Fixed machine linear programming proportion, FMLPP) และกฎสัดส่วนเชิงเส้นตรงที่มีการปรับเปลี่ยน (Adjusted linear programming proportion, ALPP) และทดสอบกฎทั้ง 5 โดยการสร้างแบบจำลองปัญหา ผลปรากฏว่า เมื่อไม่มีเครื่องจักรเสียเลยเรียงลำดับกฎที่มีประสิทธิภาพมากไปยังน้อยได้ดังนี้ FMLPP MLPP LRA SPT เมื่อมีเครื่องจักรเสียประมาณ 5% พบว่าเรียงลำดับกฎที่มีประสิทธิภาพมากไปยังน้อยได้ดังนี้ FMLPP LRA ALPP ส่วน SPT และ pull type มีความสามารถเท่ากัน จากการทดลองเขาสรุปว่าในกรณีที่ไม่มีเครื่องจักรเสีย กฎที่มีการคิดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานไม่จำเป็นนัก

2.3.3 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

ตัวอย่างงานวิจัยที่แก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานด้วยวิธีดังกล่าวได้แก่

- Ben-Arieh และ Lee (1995) ได้ประยุกต์ใช้การควบคุมแบบฟัซซีลอจิกในการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกเครื่องจักรคือเวลาที่ชิ้นงานจะใช้ถ้ามีการทำขั้นตอนการผลิตที่เครื่องจักรนั้น ความยาวของแถวคอยที่เครื่องจักรนั้น เวลาที่เหลือบนแต่ละเครื่องจักรและอัตราที่เครื่องจักรเสีย จากนั้นเปรียบเทียบความสามารถของกฎที่สร้างขึ้นกับกฎแบบฮิวริสติก 3 กฎ คือ กฎเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตขั้นตอนนั้นน้อยที่สุด (Shortest processing time) กฎแบบสุ่ม (Random rule)

และกฎแถวคอยสั้นที่สุด (Shortest queue length) การทดลองกระทำโดยวิธีการจำลองแบบปัญหา ผลปรากฏว่าจากการวัดผลในเรื่องเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาเฉลี่ยที่ล่าช้า เปอร์เซ็นต์งานล่าช้าและเปอร์เซ็นต์ที่งานเสร็จ พบว่ากฎที่สร้างจากการควบคุมแบบฟัซซี่ให้ประสิทธิภาพของระบบที่ดีกว่าทุกกฎที่กล่าวไป

2.4 สรุป

2.4.1 สำหรับงานวิจัยที่ยืนยันประสิทธิภาพของระบบที่มีความยืดหยุ่นเส้นทางเดินของงาน งานวิจัยในกลุ่มนี้จะทำการทดสอบระบบผลิตที่มีความยืดหยุ่นซึ่งจัดเส้นทางเดินของงานที่ระดับการจัดตารางการผลิตซึ่งจัดเส้นทางเดินของงานในขณะที่ทำการปฏิบัติงานเปรียบเทียบกับระบบผลิตที่มีการจัดเส้นทางเดินของงานในระดับการวางแผนการผลิต ซึ่งมีการจัดเส้นทางเดินของงานไว้แล้ว ผลจากงานวิจัยในกลุ่มนี้พบว่า ระบบที่มีการจัดเส้นทางเดินของงานในระดับการจัดตารางการผลิตจะให้ความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานที่สูงกว่า ทำให้ระบบมีความคับคั่งน้อยกว่า มีการใช้สอยของเครื่องจักรที่สูงกว่า เวลารวมของชิ้นงานที่อยู่ในระบบน้อยกว่าระบบที่มีการจัดเส้นทางเดินของงานในระดับการวางแผนการผลิต และเมื่อระบบต้องปฏิบัติงานในสภาวะที่มีความไม่แน่นอนเรื่องเครื่องจักรเสีย พบว่าระบบที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานที่สูงกว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานน้อย

2.4.2 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน พบว่างานวิจัยในกลุ่มนี้จะสร้างฟังก์ชั่นที่ใช้ในการวัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน โดยฟังก์ชั่นนั้นมักประกอบด้วยคุณสมบัติของระบบ เช่น จำนวนเส้นทางเดินของงานที่สามารถเลือกได้ในแต่ละขั้นตอนการทำงาน ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร ความจุของเส้นทางเดินของงานและความจุของระบบ เป็นต้น

2.4.3 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงาน พบว่าวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานมักใช้วิธีโปรแกรมเส้นตรง การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ทฤษฎีแถวคอย วิธีแบบฮิวริสติก และวิธีแบบปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งสามารถแยกสรุปเป็นกลุ่มได้ดังนี้

- งานวิจัยที่จัดเส้นทางเดินของงานโดยใช้ใช้วิธีโปรแกรมเส้นตรง วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และทฤษฎีแถวคอย มักจะสร้างฟังก์ชั่นเป้าหมายของโปรแกรมเชิงเส้นตรงและการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยอาจมีการ

ประยุกต์ใช้ทฤษฎีแถวคอยร่วมด้วยในบางงานวิจัย โดยฟังก์ชั่นเป้าหมายมีหลายแบบ เช่น การทำให้สินค้าคงคลังน้อยที่สุด การทำให้อัตราผลผลิตมากที่สุด การทำให้เปอร์เซ็นต์การใช้สอยของระบบมากที่สุด การทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตน้อยที่สุด และ การทำให้โหลดงานสมดุลที่สุด เป็นต้น โดยในบางงานวิจัยอาจมีการใช้ฟังก์ชั่นเป้าหมายมากกว่า 1 ฟังก์ชั่น เมื่อกำหนดฟังก์ชั่นเป้าหมายแล้วก็จะใช้วิธีแก้ปัญหาโดยโปรแกรมเส้นตรง หรือ การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้เส้นทางเดินของงานที่เหมาะสมตามฟังก์ชั่นเป้าหมายมากที่สุด แม้ว่าการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงานแบบนี้จะได้เส้นทางเดินของงานที่เหมาะสมที่สุดแต่ต้องเสียเวลาในการคำนวณมาก

- งานวิจัยที่จัดเส้นทางเดินของงานโดยวิธีฮิวริสติก มักจะสร้างฟังก์ชั่นบางฟังก์ชั่นขึ้นมาเพื่อเป็นเกณฑ์ในการเลือกเส้นทางเดินของงาน โดยในแต่ละเส้นทางเดินของงานที่เป็นไปได้จะถูกประเมินค่าของฟังก์ชั่นนั้น แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเส้นทางเดินของงานทางอื่นๆ โดยฟังก์ชั่นที่สร้างขึ้นนักมักจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของทางเลือกที่ดี กล่าวคือหากชิ้นงานเลือกทางเลือกนั้นแล้วน่าจะส่งผลทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดี เช่น มีเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อย เป็นต้น ตัวอย่างฟังก์ชั่นดังกล่าวได้แก่ เอนโทรปี จำนวนชิ้นงานในแถวคอย และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง เป็นต้น
- วิธีการจัดเส้นทางเดินของงานโดยวิธีปัญญาประดิษฐ์ จะมีการสร้างส่วนที่เลียนแบบความคิด ของผู้เชี่ยวชาญในการจัดเส้นทางเดินของงานในสถานการณ์ต่างๆให้กับส่วนควบคุมระบบ เพื่อให้ระบบสามารถจัดเส้นทางเดินของงานในลักษณะที่คล้ายกับผู้เชี่ยวชาญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย