

ปัญหาการจัดวางผังสิ่งอำนวยความสะดวก: 10 ปีย้อนหลังกับทิศทางการวิจัย

Facility Layout Problem: a 10-year Review and Research Perspectives

ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000,

E-mail: srisatjav@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดวางผัง (Layout) เป็นการวางสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ (Facility) ภายในแผนกหรือสถานงานให้อยู่ในตำแหน่งที่เอื้อต่อประสิทธิภาพสูงสุดของการผลิตหรือบริการ ปัญหาการจัดวางผังสิ่งอำนวยความสะดวก (Facility Layout Problem: FLP) จึงเป็นปัญหาที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย และมีความแตกต่างกันตามลักษณะของปัญหา เช่น ประเภทของผัง, วัตถุประสงค์, ระบบขนถ่ายวัสดุ, แนวการจัดวางผังเครื่องจักร, วิธีแก้ปัญหา เป็นต้น ซึ่งมีการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับปัญหาการจัดวางผังมาบ้าง อย่างไรก็ตามยังไม่พบว่ามี การศึกษาถึงปริมาณ และทิศทางของงานวิจัยด้านปัญหาการจัดวางผัง เพื่อวิเคราะห์ช่องว่างและแนวโน้มของงานวิจัยในอนาคต ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอการสืบค้นบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดวางผัง ซึ่งตีพิมพ์เผยแพร่ในระดับนานาชาติ และสืบค้นจากฐานข้อมูลที่ได้รับการยอมรับ ISI Web of Science ย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ.2553) โดยนำคุณลักษณะ วัตถุประสงค์ และวิธีแก้ปัญหามาทำการวิเคราะห์แนวโน้มเพื่อเป็นทิศทางของการทำวิจัยในอนาคต

คำสำคัญ: การวางผัง, สิ่งอำนวยความสะดวก, ทิศทางงานวิจัย, ทบทวนวรรณกรรม, คุณลักษณะของปัญหา

Abstract

Layout involves the placement of working stations or facility units for the purpose of high efficiency production and/or service. Facility Layout Problem (FLP) has been extensively studied on different regulations such as type of layout, objective, material handling systems, layout configuration, resolution approaches etc. The comprehensive literature review has been carried and focused on the

classification and its application on layout problem. However, the investigation and discussion on the perspective of research work in this area has been unfortunately overlooked.

This paper presents the survey of the recent FLP papers indexed by the international well known database called ISI Web of Science. The survey was focused on the last decade (2001-2010) to find and discuss on the problem characteristics, objectives and approaches on perspective and gap of FLP related research in the future.

Keywords: Layout, Facility, Research perspectives, Literature Survey, Problem Characteristics

1. บทนำ (Introduction)

การจัดวางผังสิ่งอำนวยความสะดวกเป็นการจัดสิ่งต่างๆภายในแผนก หรือสถานงานทั้งในอุตสาหกรรมการผลิตและบริการ ในกรณีของการบริการจะเป็นการจัดโต๊ะภายในสำนักงาน การจัดสินค้าในห้างสรรพสินค้า การจัดแผนกหรือพื้นที่บริการภายในธนาคาร โรงพยาบาล หรือภัตตาคาร ซึ่งถ้าการบริการเหล่านี้มีการจัดวางตำแหน่งของสิ่งอำนวยความสะดวกที่ดีจะส่งผลต่อประสิทธิภาพหลายประการ อย่างเช่น ลูกค้าติดต่อสะดวก หาสินค้าได้ง่าย ลดความแออัดของลูกค้า มีการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นต้น กรณีของอุตสาหกรรมการผลิตจะเป็นการจัดวางผังเครื่องจักรสำหรับการผลิตในโรงงาน หรือการกำหนดเส้นทางขนถ่ายวัสดุ ซึ่งการจัดวางผังดีจะนำไปสู่การเพิ่มอัตราการผลิตและลดต้นทุนการผลิต [1] จึงเห็นได้ว่า ปัญหาการจัดวางผังสิ่งอำนวยความสะดวก (Facility Layout Problem: FLP) เป็นปัญหาที่พบได้ทั้งในอุตสาหกรรมการผลิตและบริการ

ปัญหาการจัดวางผังเป็นปัญหาที่มีการทบทวนวรรณกรรมมาหลายบทความ ไม่ว่าจะเป็นบทความของ Drira [1] ที่แสดงให้เห็นภาพรวมของปัญหาในแง่มุมของระบบการผลิต ลักษณะของปัญหาที่มีความไม่แน่นอนมาเกี่ยวข้องแบบจำลองของปัญหา วิธีแก้ปัญหา และทิศทางของงานวิจัย Balakrishnan [2] ทบทวนวรรณกรรมปัญหาการจัดวางผังที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการและสัดส่วนของชนิดผลิตภัณฑ์ หรือ Dynamic Plant Layout Problem (DPLP) ซึ่งส่งผลให้ปริมาณของวัสดุที่ขนถ่ายระหว่างแผนกมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งหาคำตอบด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบผสมผสาน (Hybrid Genetic Algorithm) Singh [3] ทบทวนวรรณกรรมด้านวิธีแก้ปัญหาการจัดวางสำหรับผังแบบบล็อก (Block) ซึ่งแบ่งวัตถุประสงค์ได้ 2 ด้านคือ วัตถุประสงค์เชิงปริมาณ เช่น ต้นทุนการขนถ่ายวัสดุ และวัตถุประสงค์เชิงคุณภาพ เช่น ความปลอดภัย ความยืดหยุ่นของผัง เป็นต้น แบบจำลองของปัญหามี Quadratic Assignment Model, Graph Theory Model และ Mixed Integer Programming Model วิธีหาคำตอบมี 4 กลุ่มคือ Exact Procedure, Heuristics, Meta-heuristics และวิธีอื่นๆ เช่น Neural Network, Fuzzy Logic เป็นต้น และ Kulturel-Konak [4] ทำการทบทวนวรรณกรรมปัญหาการจัดวางผังภายใต้ความไม่แน่นอนซึ่งจะพบได้ในอุตสาหกรรมการผลิตและบริการที่มีความเป็นอัตโนมัติมากขึ้น โดยแบ่งปัญหาเป็น 2 แบบคือ แบบพลวัต (Dynamic Facility Layout Problem) และแบบสุ่ม (Stochastic Facility Layout Problem) ซึ่งจากงานทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ยังมีได้นำเสนอถึงการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของการวิจัยปัญหาการจัดวางผังบางด้าน ไม่ว่าจะเป็นปริมาณของการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต และทิศทางงานวิจัยในอนาคต การตีพิมพ์ในวารสารต่างๆ ที่อยู่ในฐานข้อมูลที่ได้รับการยอมรับ คุณลักษณะของปัญหาเกี่ยวกับวิธีแก้ปัญหา และความยากน้อยของประเทศซึ่งเป็นที่อยู่ของผู้แต่งบทความวิจัย

บทความนี้จึงเป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดวางผัง ซึ่งเน้นเฉพาะปัญหาการจัดวางผังเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการผลิตแบบทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภค และไม่ครอบคลุมถึงบทความที่เป็นการทบทวนวรรณกรรม โดยจะนำเสนอทั้งคุณลักษณะของปัญหา (Characteristics) วัตถุประสงค์ (Objectives) และวิธี

แก้ปัญหา (Approaches) ความนิยม และความไม่นิยมในการประยุกต์ใช้วิธีแก้ปัญหา วารสารที่ได้รับความนิยมในการตีพิมพ์สูงสุด 6 อันดับแรก และประเทศที่นิยมทำการศึกษาวิจัย เพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของการวิจัยด้านการจัดวางผังในอนาคต

การสืบค้นบทความที่เกี่ยวกับปัญหาการจัดวางผังดำเนินการสืบค้นจากฐานข้อมูลเชิงวิชาการที่ได้รับการยอมรับระดับนานาชาติ คือ ISI Web of Science ย้อนหลังเป็นเวลา 10 ปี (ค.ศ. 2001 ถึง ค.ศ. 2010) จนกระทั่งสิ้นสุดเดือนพฤษภาคม 2010 โดยไม่ใส่เครื่องหมายคำพูดที่สำคัญ (Keywords) ที่ใช้ในการสืบค้น เพื่อให้ได้บทความที่มีเนื้อหาครอบคลุมมากที่สุด ซึ่งคำสำคัญที่จะใช้ได้จากการศึกษางานวิจัยของ Drira [1] ทั้งในเนื้อหาของบทความและบทความอ้างอิง ทำให้ได้คำสำคัญทั้งหมด 15 คำ คือ Facility Layout, Machine Layout, Layout Planning, Layout Design, Plant Layout, Manufacturing Systems (Fixed Layout, Process Layout, Product Layout, Cellular Layout), Layout Configurations (Single Row layout, Multiple Rows Layout, Loop Layout, Open Field Layout, Multi-floor Layout) และ Flexible Manufacturing System Layout นอกจากนี้ยังเพิ่มอีก 2 คำ คือ Facilities Layout กับ Cellular Layouts เพื่อให้ครอบคลุมบทความปัญหาการจัดวางผังมากที่สุด จากจำนวนบทความที่สืบค้นได้ เมื่อตรวจสอบการซ้ำกันของบทความด้วยโปรแกรม EndNote X2 จึงมีจำนวนบทความทั้งหมด 385 บทความ และเมื่อสืบค้นทั้ง 385 บทความด้วยคำว่า Layout Design ทำให้ได้จำนวนบทความมากที่สุดคือ 203 บทความ รองลงมาคือ คำว่า Facility Layout 72 บทความ แต่เมื่อผู้วิจัยตรวจสอบบทความทั้งหมดพบว่า บทความวิจัยด้านปัญหาการจัดวางผังเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการผลิตแบบทั่วไปมีจำนวน 143 บทความ บทความที่ถูกคัดออกมีจำนวนถึง 242 บทความ ประกอบด้วย การทบทวนวรรณกรรม 4 บทความ และบทความที่มีเนื้อหาไม่ตรงประเด็นกับขอบเขตงานวิจัย เช่น การจัดวางผังงานอิเล็กทรอนิกส์ [5, 6] งานโลหะแผ่น [7, 8] และการจัดวางผังงานก่อสร้าง [9, 10] เป็นต้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากการใช้คำสำคัญที่สื่อความหมายได้กว้าง ดังนั้น การใช้คำสำคัญมีส่วนสำคัญต่อการสะท้อนเนื้อหาที่แท้จริงของบทความ ซึ่งในบทความทั้ง 143 บทความเป็นบทความที่ได้จากการใช้คำสืบค้นคือ Layout Design 21 เปอร์เซนต์ และ Facility Layout 80 เปอร์เซนต์ ดังนั้น คำสำคัญที่ควรใช้คือ Facility

Layout Design เพื่อให้การสืบค้นครอบคลุมมากที่สุด ไม่ว่าจะสืบค้นด้วยคำว่า Facility Layout หรือ Facility Design บทความนั้นจะสามารถสืบค้นได้

เมื่อนำบทความวิจัยทั้ง 143 บทความมาพิจารณาถึงลักษณะต่างๆของปัญหาการจัดวางผัง สามารถจำแนกเป็น 3 ด้านคือ ลักษณะของปัญหา (Problem Characteristics) วัตถุประสงค์ (Objectives) และวิธีแก้ปัญหา (Approaches) ในหัวข้อที่ 2, 3 และ 4 รวมทั้งปริมาณ และแนวโน้มการเผยแพร่บทความในสารสารานานาชาติในหัวข้อที่ 5

2. คุณลักษณะของปัญหา (Problem Characteristics)

ปัญหาการจัดวางผังมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่ กับหลายปัจจัย เช่น ผลิตภัณฑ์ ระบบการผลิต ปริมาณการผลิต ปริมาณความต้องการผลิต ลักษณะของพื้นที่ ระบบขนถ่าย วัสดุ (Materials Handling System) เป็นต้น ซึ่งคุณลักษณะของ ปัญหาที่คำนึงถึงกันเป็นอย่างมาก คือ ทิศทางการไหลของวัสดุ (Flow Path: unidirection [11-13], bidirection [14, 15]) การจัด แถวของเครื่องจักร (Row: single [16, 17], multiple [18]) จำนวนชั้น (Floor: single, multi-floor [19, 20]) และมิติหรือ ขนาด (Dimension) ของผัง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น 2 มิติ ผัง 1 มิติมี จำนวน 2 บทความ และ 3 มิติเพียง 1 บทความ [19]

ข้อมูลต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อาจเป็นแบบสุ่มหรือมีความไม่แน่นอน (Stochastic) มาเกี่ยวข้อง อย่างเช่น ความ ต้องการสินค้า (Demands) [21] สัดส่วนของชนิดผลิตภัณฑ์ (Product Mix) เวลาการผลิต (Processing Time) เป็นต้น ซึ่งเป็น อีกคุณลักษณะที่ส่งผลต่อความซับซ้อนของปัญหา โดยจะ เกี่ยวกับความน่าจะเป็น (Probability) ความคลุมเครือ (Fuzzy) หรือการสุ่ม (Random) ซึ่งความไม่แน่นอนของปัญหาการจัดวาง ผังส่วนใหญ่แล้วจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความต้องการ สินค้า รองลงมาคือ สัดส่วนของชนิดผลิตภัณฑ์ จึงถือว่าเป็น ปัญหา DPLP [22, 23] ในทางตรงข้ามถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง สิ่งเหล่านั้น จะเรียกปัญหาการวางผังนั้นว่า Static Plant Layout Problem (SPLP) [24, 25] ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอน มีการศึกษากันทุกปี มีปริมาณเพิ่มขึ้นบ้าง ลดลงบ้าง จากปี 2008 ถึง 2009 มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจาก 7 เปอร์เซ็นต์ เป็น 29 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ปัญหาการจัดวางผังที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอน (Stochastic Facility Layout Problem) ยังนับว่าเป็นงานวิจัยที่ยังมี

ความท้าทายอยู่เพราะในความเป็นจริงแล้ว ทุกสิ่งในโลกล้วนมีความไม่แน่นอนแฝงอยู่ ถ้าสามารถรับมือหรือแก้ปัญหาความ ไม่แน่นอนได้ทันทั่วทั้งที่ อุตสาหกรรมจะสามารถดำเนินต่อไป ได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะของผัง (Layout) จะแสดงถึงลักษณะการจัดเรียงเป็นเชิงเส้น (Linear) [26] วง (Loop) [27, 28] หรือ บล็อก (Block) [29, 30] ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System: FMS) [31] ระบบการผลิตแบบ เซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System: CMS) [32, 33] โดย FMS และ CMS เป็นระบบการผลิตที่มีการศึกษากันมาก ซึ่ง FMS เป็นการผลิตโดยใช้เครื่องจักรที่ควบคุมด้วย คอมพิวเตอร์ส่วนกลาง การเคลื่อนย้ายวัสดุเป็นระบบอัตโนมัติ เช่น การใช้รถ AGV (Automatic Guided Vehicle) การใช้ หุ่นยนต์ เป็นต้น ต้นทุนการผลิตจึงสูง รวมทั้งปริมาณการผลิต และชนิดของผลิตภัณฑ์มีความหลากหลาย ดังนั้น วิธีการลด ต้นทุนวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้คือ การจัดวางผังที่มี ประสิทธิภาพ ส่วน CMS เป็นการจัดการผลิตไว้เป็นเซลล์หรือ กลุ่ม ปัญหาการจัดวางผังจะซับซ้อนกว่าปัญหาการวางผัง ทั่วไป เพราะมีข้อจำกัดหรือเงื่อนไขหลายประการ ไม่ว่าจะเป็น Cell Shape, Cell Orientation และ Pick-up and Drop-off Point Position (P/D Point) [34] จากความแตกต่างของคุณลักษณะ ของปัญหา จึงส่งผลต่อความซับซ้อนและขนาดของปัญหา ซึ่ง นำไปสู่การเลือกวิธีแก้ปัญหาและคุณภาพของคำตอบ ถ้าได้ คำตอบของปัญหา คำตอบนั้นจะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และ/หรือเป็นคำตอบที่มีคุณภาพดี คำตอบที่ยอมรับได้ รวมทั้ง เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

3. วัตถุประสงค์ของปัญหาการวางผัง (Objectives)

วัตถุประสงค์ของปัญหาการจัดวางผังสามารถจัดได้ 2 กลุ่มคือ วัตถุประสงค์เชิงปริมาณ (Quantitative Objectives) กับ วัตถุประสงค์เชิงคุณภาพ (Qualitative Objectives) [3] วัตถุประสงค์เชิงปริมาณ ได้แก่ การลดต้นทุน [35, 36] ไม่ว่าจะเป็น ต้นทุนการเคลื่อนย้ายวัสดุ (Materials Handling Cost) [37-41] ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่มีการศึกษามากที่สุด นอกจากนี้ยังมี ต้นทุนการจัดผังใหม่ (Rearrangement Cost) [42, 43] ต้นทุน การผลิต และต้นทุนการติดตั้ง [44] รองจากต้นทุนจะเป็นการ วางผังเพื่อลดระยะทางในการเคลื่อนที่หรือการไหลของงาน

[45-47] การเคลื่อนที่ระหว่างเครื่องจักร ระยะทางระหว่างวง (Loop) หรือเซลล์ (Cell) [48] ส่วนวัตถุประสงค์อื่นๆ จะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มผลผลิต การเพิ่มกำไร การใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด [49, 50] การลดความแออัดของงาน [51, 52] การวัดประสิทธิภาพของผัง [53, 54] และลดเวลาการทำงาน

วัตถุประสงค์เชิงคุณภาพ เช่น ความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน [3] ความซับซ้อนของผัง การจัดจังหวะการไหลของงาน [55] ความยืดหยุ่นของผัง [34, 56, 57] รูปร่างของแผนก [58] เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นวัตถุประสงค์ที่ใช้ในบางกรณีศึกษาเท่านั้น ซึ่งวัตถุประสงค์การวางแผนในอนาคตจะมุ่งเน้นไม่ต่างไปจากเดิม เพียงแต่จะเพิ่มวัตถุประสงค์อื่นเข้ามาทำให้การจัดวางผังนั้นต้องคำนึงถึงหลายวัตถุประสงค์ จะเรียกว่า Multiple Objective Problem (MOP) [59-62] หรือปัญหาที่เกี่ยวกับการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making: MCDM) [63, 64] หรือปัญหาที่เกี่ยวกับการตัดสินใจคำนึงถึงคุณสมบัติหลายด้าน (Multiple Attribute Decision Making: MADM) ซึ่งอาจมีทั้งวัตถุประสงค์เชิงปริมาณและคุณภาพในปัญหาเดียว [65, 66]

4. วิธีการแก้ปัญหา (Approaches)

ปัญหาการจัดวางผังจัดเป็นปัญหา NP-hard (Non-deterministic Polynomial-time hard) [1, 16, 27, 67, 68] โดยเมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปัญหากับเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ ปัญหาจะมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ปัญหา Polynomial Time (P Problem) เมื่อขนาดของปัญหา (Problem Size) ใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจะเป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียล แบบที่ 2 ปัญหา NP (Non-deterministic Polynomial Time; NP Problem) เป็นเซตของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจทั้งหมด ซึ่งเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจะไม่เป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียล เช่น Exponential, Factorial เป็นต้น ปัญหาที่ยากที่สุดของ NP จัดว่าเป็น NP-Complete Problem ดังนั้น NP-Complete Layout Problem จึงหมายถึงปัญหาการจัดวางผังที่ใช้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นทวีคูณเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้น โดยเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจะไม่เป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียล (Non-Polynomial) ซึ่งอาจจะเพิ่มขึ้นแบบ Exponential [69] ปัญหา NP-hard ที่มีความเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจจะถือว่าเป็น NP-

Complete Problem แต่ถ้าปัญหาไม่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจจะนับว่าเป็นปัญหา NP-hard และอีกอย่างที่สำคัญ NP-hard ไม่ใช่เซตของ NP โดยวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดนั้น มักเป็นการหาคำตอบโดยวิธีการประมาณค่า (Approximation Approaches)

วิธีแก้ปัญหาที่ประยุกต์ใช้จึงมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้ระยะเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม [70] คือ

4.1 Conventional Approaches

Conventional Approaches หรือเรียกอีกอย่างว่า Exact Methods เป็นการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเหมาะสำหรับปัญหาที่มีขนาดไม่ใหญ่ ไม่ซับซ้อน [71, 72] และนำมาใช้ในการแก้ปัญหาแบบ NP-Complete Layout Problem [73] วิธีแก้ปัญหาแบบ Conventional จึงเหมาะกับปัญหาที่มีขนาดเล็ก และโครงสร้างไม่ซับซ้อนมาก นั่นคือ ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ แต่ไม่ซับซ้อน วิธี Conventional สามารถหาคำตอบได้ แต่ถ้าปัญหามีขนาดเล็ก แต่ซับซ้อนมาก [74] วิธี Conventional อาจจะไม่สามารถหาคำตอบได้ หรือหาคำตอบได้แต่ต้องใช้เวลาอันยาวนาน เช่น วิธีbranch and bound (Branch-and-Bound) [75] วิธีโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) [14] วิธีโปรแกรมเชิงเส้น (Integer Programming) [76, 77] Mixed Integer Linear Programming [78-81] Mixed Integer Programming [82-85] Mixed Non-Linear Programming [81] Non-Linear Programming [86, 87] Integer Programming [88] Sequence-Pair Representation [89, 90] Simulation [91, 92] เป็นต้น

4.2 Approximation Approaches

Approximation Approaches เป็นการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่า ซึ่งเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับปัญหามีขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน คำตอบที่ได้จากวิธีนี้ไม่รับประกันว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด [93] ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มที่ 1 คือ Constructive Algorithms หรือฮิวริสติกส์ (Heuristics) เป็นวิธีการที่ค่อยๆ สร้างคำตอบ เพื่อแก้ปัญหาเฉพาะปัญหา เช่น การวางแผนความต้องการของวัสดุ (Material Requirement Planning: MRP) การหาเส้นทางวิกฤติ (Critical Path Method: CPM) เทคนิคการประเมินและทบทวนแผนงาน

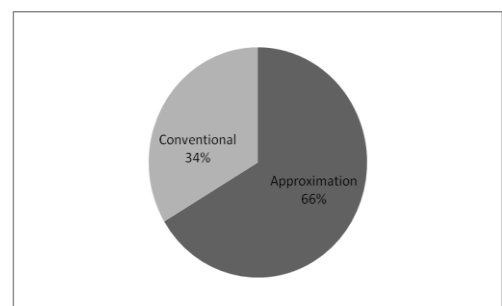
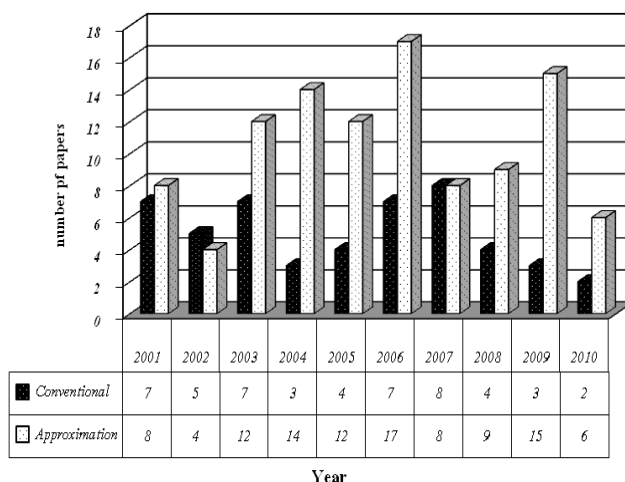
(Program Evaluation and Review Technique: PERT) วิธีนี้สามารถหาคำตอบได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสมได้โดยใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธี Exact [94]

กลุ่มที่ 2 คือ Iterative Algorithms เช่น เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) [95-102] ซิมูเลทเทดแอนนีลิ่ง (Simulated Annealing: SA) [100, 103, 104] ทาร์บูเสิร์จ (Taboo Search: TS) [105, 106] นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network: NN) [107] แอนต์คอลโลนีออฟติไมเซชัน (Ant Colony Optimization: ACO) [108] พาร์ทิเคิลสวอมออฟติไมเซชัน (Particle Swarm Optimization: PSO) [109-112] Variable Neighborhoods [113] Artificial Immune System [114] Ant System [115] เป็นต้น วิธีการนี้ยังสามารถใช้แก้ปัญหา MOP [116] เช่น Expert System [49], Fuzzy System [117-119] เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีวิธีแก้ปัญหาอื่นๆ ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น Bee Colony, The Monkey Search, Shuffled Frog-Leaping Algorithm, Harmony Search เป็นต้น ซึ่งไม่พบวิธีเหล่านี้ในการแก้ปัญหการวางแผนจากฐานข้อมูลที่สืบค้นในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา

วิธีแก้ปัญหาแบบ Approximation ที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหการวางแผนมากที่สุด คือ GA รองลงมาคือ SA ทั้งสองวิธีนี้สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ คำตอบที่ได้มีคุณภาพ วิธีแก้ปัญหามีการศึกษากันมากขึ้น และยังสามารถ

พัฒนาได้ต่อไปในอนาคตคือการผสมผสานกันระหว่างวิธีแก้ปัญหาตั้งแต่สองวิธี (Hybridization) อย่างเช่น การใช้ ACO กับ Extended Great Deluge Algorithm สำหรับการศึกษา Discrete Facility Layout Problem [120] การใช้ GA กับ TS [121] การใช้ TS กับ SA ซึ่งให้คำตอบที่มีคุณภาพกว่าการใช้ TS หรือ SA เพียงวิธีเดียว [122] การใช้ GA, SA และ TS แก้ปัญหา Block Layout [123] Hybrid GA แก้ปัญหา DPLP [124] Hybrid Ant System [125, 126] วิธี Flow Line Analysis, SA และ GA แก้ปัญหา FMS [127] เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำวิธีแก้ปัญหาแบบ Conventional กับ Approximation มาใช้ร่วมกัน [128] รวมทั้งการแก้ปัญหาเป็น MOP MCDM หรือ MADM เช่น งานวิจัยที่มี 3 วัตถุประสงค์ใช้ GA [129] งานวิจัยที่มี 4 วัตถุประสงค์ใช้วิธีวิสติกส์ [130] งานวิจัยที่คำนึงถึงคุณสมบัติ 6 ข้อใช้ TOPSIS และ Fuzzy TOPSIS และการใช้ GA และ Electre Method แก้ปัญหา MOP [131]

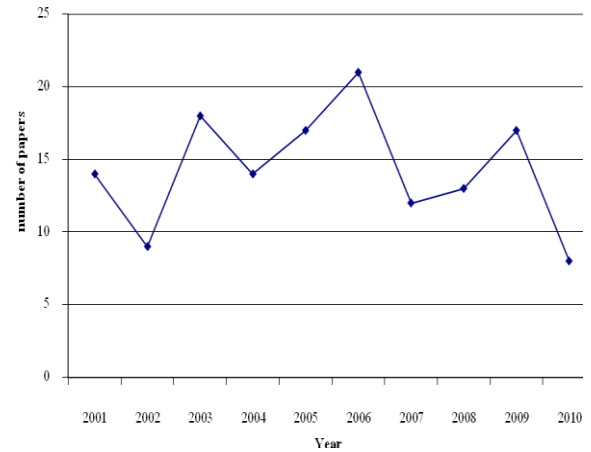
จากรูปที่ 1 แสดงถึงแนวโน้มของการประยุกต์ใช้วิธีแก้ปัญหาแบบ Conventional กับ Approximation เป็นรายปีพบว่านักวิจัยส่วนใหญ่ใช้วิธี Approximation มากกว่าวิธี Conventional ในปี 2009 มีการใช้วิธี Approximation มากกว่า 80% และมีโอกาสที่จะเพิ่มมากขึ้น ปี 2010 มีการใช้วิธี Approximation มากกว่า 75% ทั้งๆที่ระยะเวลาเพิ่งผ่านมา 5 เดือน



รูปที่ 1 จำนวนและสัดส่วนบทความในแต่ละปีที่ใช้วิธีแก้ปัญหาแบบ Conventional กับ Approximation

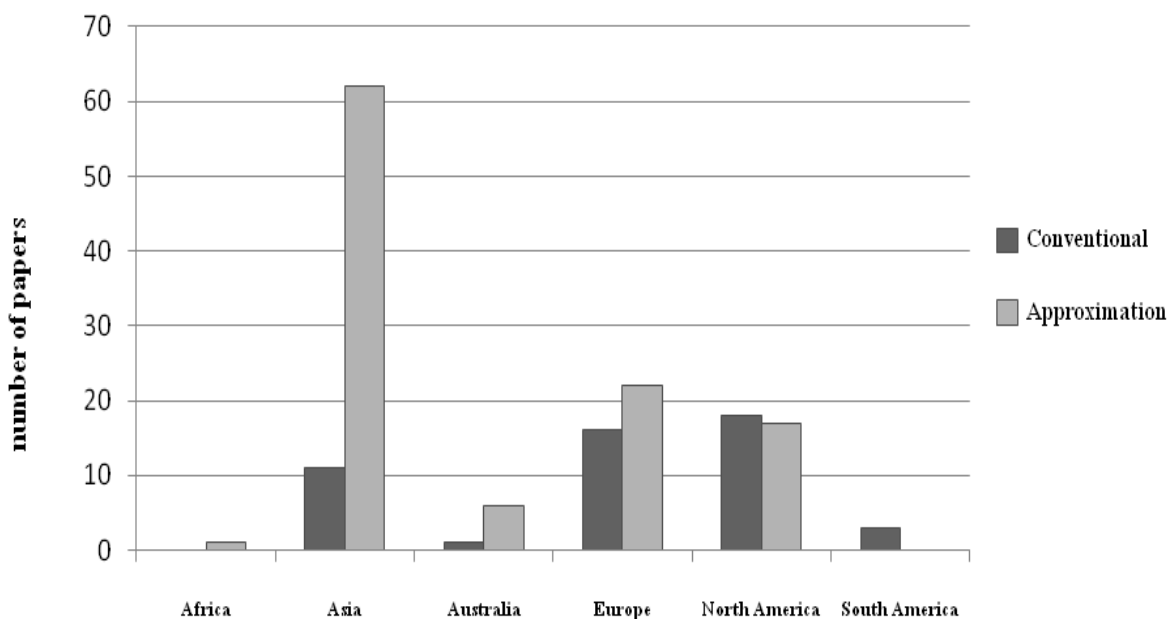
นอกจากนี้วิธี Approximation สามารถแก้ปัญหา DPLP ซึ่งอาจจะใช้เพียงวิธีเดียว [132, 133] หรือใช้วิธีไฮบริด (Hybrid) [122, 134] หรือประยุกต์ใช้กับปัญหา MCDM [67, 135, 136] เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของวิธีแก้ปัญหาพบว่า วิธี Approximation ถูกนำไปประยุกต์ใช้มากถึง 66% เนื่องจากปัญหาการจัดวางผังเป็นปัญหา NP-hard [67] วิธี Conventional จึงไม่เหมาะกับการแก้ปัญหา NP-Hard ที่มีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถค้นหาคำตอบภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้ [94]

จากการพิจารณาผลรวมของจำนวนบทความในแต่ละปีของรูปที่ 1 พบว่า จำนวนรวมของบทความอาจจะไม่เท่ากับจำนวนบทความแยกตามปีที่ตีพิมพ์ในรูปที่ 2 เนื่องจากบางบทความใช้วิธีแก้ปัญหาทั้งสองวิธี [137-139] และนำคำตอบมาเปรียบเทียบกัน หรือบางบทความไม่ได้กล่าวถึงวิธีแก้ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัย [140, 141] และเมื่อจำแนกบทความตามวิธีแก้ปัญหาในแต่ละทวีปดังรูปที่ 3 นักวิจัยจากทวีปเอเชียนิยมนำวิธี Approximation มาประยุกต์ใช้มากกว่าวิธี Conventional แต่นักวิจัยจากทวีปอเมริกาเหนือประยุกต์ใช้ทั้งสองวิธีในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2 จำนวนบทความวิจัยตามปีที่ตีพิมพ์

บทความที่สืบค้นจากฐานข้อมูล ISI Web of Science ย้อนหลัง 10 ปี พบว่ายังมีวิธีแก้ปัญหาบางวิธีที่ไม่ถูกค้นพบ แต่มีนักวิจัยไทยได้ทำการศึกษา เช่น Shuffled Frog Leaping Algorithm ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น [142] และการเปรียบเทียบ Ant System และ Shuffled Frog Leaping Algorithm ในการออกแบบผังการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว [143]



รูปที่ 3 จำแนกบทความตามวิธีแก้ปัญหาในแต่ละทวีป

5. ปริมาณ และแนวโน้มการเผยแพร่บทความใน

วารสารนานาชาติ

การศึกษาและวิจัยปัญหาการวางแผนดำเนินการมาอย่างต่อเนื่องตลอด 10 ปีที่ผ่านมา ดังจำนวนบทความในรูปที่ 2 และคาดว่าแนวโน้มของการศึกษาถึงปัญหาการจัดวางผังยังสามารรถดำเนินการต่อไปได้ในอนาคต เนื่องจากเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในทุกอุตสาหกรรมทั้งภาคการผลิตและบริการ จึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของอุตสาหกรรม อีกทั้งเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันซึ่งนับวันจะเพิ่มมากขึ้น

การเผยแพร่บทความวิจัยปรากฏอยู่ในวารสารนานาชาติต่างๆ ซึ่งวารสารที่มีการตีพิมพ์สูงสุด 6 อันดับแรก คือ i. International Journal of Production Research (32 บทความ) ii. European Journal of Operational Research (14 บทความ) iii. International Journal of Advanced Manufacturing Technology (11 บทความ) iv. Computers & Industrial Engineering (7 บทความ) v. Computers & Operations Research กับ Robotics and Computer-Integrated Manufacturing (6 บทความ) และ vi. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, International Journal of Production Economics, Manufacturing Engineering (3 บทความ) จำนวนบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติทั้ง 9 ฉบับนี้คิดเป็น 59% ของบทความทั้งหมด 143 บทความ ส่วนบทความที่เหลือตีพิมพ์ในวารสารอื่นๆ อีกกว่า 30 ฉบับ ซึ่งบางวารสารมีการตีพิมพ์บทความวิจัยที่เกี่ยวกับปัญหาการวางแผนเพียง 1 บทความ เช่น Engineering Optimization ตีพิมพ์บทความของ Nourelfath [120], Journal of Industrial and Management Optimization ตีพิมพ์บทความของ Ray [144] นอกจากนี้ยังมีบางบทความที่ตีพิมพ์ในหนังสือ [68, 145]

ผู้แต่งบทความวิจัยทั้ง 143 บทความมาจากหลายประเทศ ประเทศที่มีผู้แต่งซึ่งเป็นชื่อแรกมากที่สุดคือสหรัฐอเมริกา (USA) จำนวน 20 บทความ ซึ่งอาจเป็นนักวิจัยที่มีสัญชาตินั้น และ/หรือเป็นนักวิจัยอยู่ที่มหาวิทยาลัยของประเทศนั้นขณะทำการศึกษาคือ รองลงมาคือ อินเดีย และได้หวัน แต่ทวีปเอเชียมีการศึกษาปัญหาการจัดวางผังนี้ในสัดส่วนที่มากกว่าทวีปอเมริกา ดังนั้น ปัญหาการวางแผนจึงเป็นปัญหาที่มีการศึกษากันในหลายประเทศ และหลายทวีป ซึ่งเป็นอีกหนทางหนึ่งในการพัฒนาวิธีแก้ปัญหาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพของคำตอบ คำตอบที่

ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่เร็วขึ้น ความยืดหยุ่นของคำตอบ การตอบสนองได้หลายวัตถุประสงค์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับลักษณะของปัญหาได้หลากหลายมากขึ้น

6. สรุป (Conclusions)

จากการทบทวนวรรณกรรมบทความวิจัยที่เกี่ยวกับปัญหาการจัดวางผังสิ่งอำนวยความสะดวก โดยสืบค้นจากฐานข้อมูล ISI Web of Science ย้อนหลัง 10 ปี (ค.ศ.2001 ถึง ค.ศ.2010) ด้วยคำสำคัญทั้งหมด 17 คำ และทำการคัดกรองบทความจึงได้จำนวนบทความวิจัยทั้งหมด 143 บทความ พบว่าชื่อเรื่องและคำสำคัญนับว่าเป็นส่วนสำคัญต่อการสะท้อนภาพของปัญหา ปัญหาการจัดวางผังควรเลือกใช้ชื่อเรื่องและคำสำคัญที่มีคำว่า Facility Layout Design ซึ่งจะส่งผลให้งานวิจัยได้รับการเผยแพร่ และพัฒนาในวงกว้างมากขึ้น เมื่อทำการจัดลักษณะของปัญหาจึงนำเสนอในมุมมอง 3 ด้านคือ คุณลักษณะของปัญหา (Problem Characteristics) วัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหา (Objectives) และวิธีแก้ปัญหา (Approaches) ดังสรุปในตารางที่ 1

คุณลักษณะของปัญหาการจัดวางผังมีอยู่หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นทิศทางการไหลของวัสดุ (Flow Path) การจัดแถวของเครื่องจักร (Row) จำนวนชั้น (Floor) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะชั้นเดียว (Single row) ระบบการผลิตแบบ CMS และ FMS เป็นระบบที่มีการศึกษาปัญหาการจัดวางผังกันมาก โดยคุณลักษณะของปัญหาการจัดวางผังในอนาคตยังคงไม่ต่างจากเดิมมากนัก เพียงแต่จะมีแนวโน้มการพัฒนาในประเด็นของความไม่แน่นอน (Stochastic) ด้านข้อมูลมาเกี่ยวข้อง เช่น ความต้องการสินค้า สัดส่วนของชนิดผลิตภัณฑ์ เวลาการผลิต เวลานำ กำหนดส่งงาน เป็นต้น เพื่อให้สอดคล้องกับอุตสาหกรรมการผลิตในโลกแห่งความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งโลกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา วงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จึงมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ปัญหาการจัดวางผังจึงมีลักษณะเป็น Dynamic Plant Layout Problem หรือ Stochastic Facility Layout Problem ถ้าการจัดวางผังสามารถตอบสนองความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นได้ อุตสาหกรรมการผลิตและบริการนั้นจะสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1 สรุปลักษณะของปัญหาการจัดวางผังเครื่องจักร

Topic	Title	Reference no.
Characteristics	Unidirection flow path	[11-13, 51, 67, 73, 114, 125, 145]
	Bidirection flow path	[11, 14, 15, 125]
	Single row	[16, 17, 28, 38, 47, 106, 125, 146-150]
	Multiple row	[18, 28, 38, 147]
	Single floor	[2, 6, 14, 16, 17, 21, 24, 26, 27, 29-31, 34, 37, 42, 48, 53, 55, 58-60, 63, 78-82, 86, 88, 91, 95, 96, 105, 113, 117, 118, 124, 127, 131, 132, 137, 140, 141, 146, 151-156][4, 9, 11, 15, 18, 22, 28, 36, 38, 39, 43-45, 49-51, 54, 56, 57, 64, 67, 71, 73, 74, 76, 77, 83, 89, 90, 97, 100, 109-111, 114, 119, 120, 123, 125, 128, 134, 139, 145, 147-150, 157-159][12, 13, 23, 25, 33, 40, 41, 46, 47, 61, 65, 66, 68, 72, 75, 84, 85, 87, 94, 101, 103, 104, 106-108, 112, 116, 122, 126, 130, 133, 136, 160-164]
	Multiple floors	[19, 20, 99, 138]
	Linear layout	[11, 14-16, 26, 106]
	Loop layout	[12, 13, 27, 45, 51, 67, 73, 114, 140, 153]
	Block layout	[29, 36, 57, 76, 81, 104, 113, 123, 159]
	CMS	[33, 46, 48, 50, 54, 63, 69, 87, 97, 107, 154, 155, 163, 165]
	FMS	[31, 38, 47, 51, 67, 109, 114, 127, 148]
Objective	Material handling cost	[13, 21, 37, 39, 61, 68, 75, 91, 104, 119, 121, 123, 126, 131, 132, 134, 138, 139, 145, 147, 153, 155, 160, 163, 165]
	Rearrangement cost	[25, 42, 71, 100, 112, 113, 122, 132]
	Material handling distance	[34, 46, 66, 97, 115]
	Utilization (area, cell, space)	[49, 50, 65, 123]
	Number of cell/machine	[33, 58, 63],
	Throughput	[27, 133, 166]
Approaches	GA	[24, 28, 38, 48, 49, 56, 68, 69, 83, 95-97, 99, 101, 127, 129, 160, 162]
	TS	[27, 35, 41, 43, 71, 105, 106, 133, 161]
	SA	[24, 25, 45, 61, 77, 100, 153, 163]
	ACO	[42, 46, 108, 132]
	PS	[51, 109, 111, 112]
	MILP	[16, 18, 19, 29, 78-80, 152]
	MIP	[34, 57, 60, 82-85, 120, 138, 147]
	Hybrid	[11, 36, 120-128, 134, 145]

วัตถุประสงค์ของปัญหาการจัดวางผังที่ศึกษากันมาก คือ ต้นทุนการขนถ่ายวัสดุ (Material Handling Cost) รองลงมา คือ ต้นทุนการจัดวางผังใหม่ นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์อื่นๆ อีก เช่น ถ้าไร เวลาการขนย้าย ระยะทางการเคลื่อนที่ ต้นทุนการวางผัง เป็นต้น ด้านวัตถุประสงค์เชิงคุณภาพ เช่น ความซับซ้อนของผัง ความปลอดภัย ความยืดหยุ่นของผัง เป็นต้น รวมทั้งการศึกษาลู่ทางเพื่อตอบวัตถุประสงค์ที่หลายๆข้อ (MOP) ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (MCDM) และปัญหาการตัดสินใจโดยคำนึงถึงคุณสมบัติหลายด้าน (MADM) ซึ่งในอนาคตจะมีการศึกษากันมากขึ้น โดยวัตถุประสงค์ หลักเกณฑ์ หรือคุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงจะมีทั้งในเชิงปริมาณ และคุณภาพไปพร้อมๆกัน

วิธีแก้ปัญหในปีแรก (2001) มีการประยุกต์ใช้วิธี Conventional กับวิธี Approximation ในสัดส่วนที่พอๆกัน และมีแนวโน้มของการประยุกต์ใช้วิธี Approximation มากขึ้น เนื่องจากวิธี Conventional ไม่เหมาะกับปัญหามหาศาล [1] โดย GA เป็นวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่มีการศึกษากันมานาน โดย John Holland [167] และยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกในอนาคต ประสิทธิภาพของ GA ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์และลักษณะของปัญหา [3] วิธีแก้ปัญหาก็ได้รับความนิยมอันดับรองลงมาคือ TS และ SA ซึ่งสามารถศึกษาและวิจัยต่อไปได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น การพัฒนาความสามารถในการค้นหาคำตอบของ TS [43] หรือการประยุกต์ใช้ SA กับ DPLP [100] เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการหาคำตอบ เช่น คำตอบของปัญหาอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเร็วขึ้น เป็นต้น หรือการนำวิธีแก้ปัญหามาแบบ Approximation ไปใช้กับปัญหา DPLP, MOP, MCDM หรือ MADM ตามความซับซ้อนและขนาดของปัญหา หรือการประยุกต์วิธีแก้ปัญหาคู่กันที่ยังสับสนไม่พบจากฐานข้อมูลเชิงวิชาการ ISI Web of Science เช่น Bee Colony, Monkey Search, Harmony Search เป็นต้น หรือแม้แต่การประยุกต์ใช้ Fuzzy Theory โดยปริมาณงานวิจัยที่ใช้ Fuzzy กับปัญหาการจัดวางผังยังมีไม่มากนัก นอกจากนี้ยังสามารถใช้วิธีการผสมผสานของวิธีแก้ปัญหาคู่กัน (Hybridization) ซึ่งมีการนำมาประยุกต์เพียง 13 บทความ และมีทิศทางของการนำวิธีแก้ปัญหาคู่กัน 3 วิธีมาใช้ร่วมกัน

การเผยแพร่งานวิจัยด้านนี้ยังได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติ ผ่านการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ เช่น International Journal of Production Research, European Journal of Operational Research, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Computers & Industrial Engineering เป็นต้น

การทบทวนวรรณกรรมนี้มีข้อจำกัดหลายประการ ประการแรกคือ บทความบางบทความที่อยู่ในฐานข้อมูลของ ISI Web of Science ไม่มีคำสำคัญ และ/หรือ บทคัดย่อ ทำให้ไม่สามารถศึกษารายละเอียดของงานวิจัยนั้นได้ ซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 3% ประการที่สอง คือ คำสำคัญที่ใช้ในบทความบางครั้งไม่ได้สื่อให้ทราบถึงลักษณะของเนื้อหาที่แท้จริง ทำให้มีบทความที่ไม่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดวางผัง ส่งผลให้ต้องการใช้เวลาในการคัดกรองบทความมากขึ้น ประการที่สามคือ บทความฉบับสมบูรณ์บางบทความไม่สามารถสืบค้นได้ เนื่องจากข้อจำกัดของการเข้าถึงข้อมูล จึงต้องค้นหาคำวิธีอื่น เช่น Google Scholar เพื่อค้นหาคำฉบับสมบูรณ์ ซึ่งก็ไม่สามารถหาได้ครบ ทางผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องอิงอยู่บนข้อมูลที่ผู้แต่งบทความได้ให้รายละเอียดไว้ในฐานข้อมูล ISI Web of Science ประการสุดท้ายคือ บทความวิจัยบางบทความเพิ่งจะได้รับการตีพิมพ์ในวารสารไทย ซึ่งยังไม่ถูกนำเข้าฐานข้อมูล จึงทำให้งานวิจัยบางงานยังไม่สามารถสืบค้นได้

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ ในการให้คำแนะนำปรึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทบทวนวรรณกรรม การเรียบเรียง ตลอดจนชี้แนะถึงข้อบกพร่องของบทความ ทำให้บทความนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์

References

- [1] A. Drira, H. Pierreval, and S. Hajri-Gabouj, "Facility layout problems: A survey," *Annual Reviews in Control*, vol. 31(2), pp. 255-267, 2007.
- [2] J. Balakrishnan and C.H. Cheng, "A note on "a hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout

- problem", *International Journal of Production Economics*, vol. 103(1), pp. 87-89, 2006.
- [3] S.P. Singh and R.R.K. Sharma, "A review of different approaches to the facility layout problems," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 30(5-6), pp. 425-433, 2006.
- [4] S. Kulturel-Konak, "Approaches to uncertainties in facility layout problems: Perspectives at the beginning of the 21(st) Century," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 18(2), pp. 273-284, 2007.
- [5] S.M. Abdelsayed, M.J. Deen, and N.K. Nikolova, "Parasitics-aware layout design of a low-power fully integrated complementary metal-oxide semiconductor power amplifier," *Journal of Vacuum Science & Technology A*, vol. 24(3), pp. 835-840, 2006.
- [6] T. Bonfield and M. Barber, "A multiple-perspective design advisory system for use in the layout design of printed circuit board assemblies," *Ieee Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, vol. 26(2), pp. 115-122, 2003.
- [7] C. Huang, H.M. Chang, and C.H. Lin, *Simulation and analysis for layout of aerospace sheet metal process with lean concept*, in *Progress on Advanced Manufacture for Micro/Nano Technology 2005, Pt 1 and 2*, W. Jywe, et al., Editors. 2006, Trans Tech Publications Ltd: Zurich-Uetikon. p. 907-912.
- [8] F. Vollertsen, "Process layout avoiding reverse drawing wrinkles in hydroforming of sheet metal," *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, vol. 51(1), pp. 203-208, 2002.
- [9] E. Elbeltagi and T. Hegazy, "A hybrid AI-based system for site layout planning in construction," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 16(2), pp. 79-93, 2001.
- [10] F. Sadeghpour, O. Moselhi, and S.T. Alkass, "Computer-aided site layout planning," *Journal of Construction Engineering and Management-Asce*, vol. 132(2), pp. 143-151, 2006.
- [11] S.G. Ponnambalam and V. Ramkumar, "A genetic algorithm for the design of a single-row layout in automated manufacturing systems," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 18(7), pp. 512-519, 2001.
- [12] C.N. Potts and J.D. Whitehead, "Workload balancing and loop layout in the design of a flexible manufacturing system," *European Journal of Operational Research*, vol. 129(2), pp. 326-336, 2001.
- [13] T. Yang, B.A. Peters, and M. Tu, "Layout design for flexible manufacturing systems considering single-loop directional flow patterns," *European Journal of Operational Research*, vol. 164(2), pp. 440-455, 2005.
- [14] C.P. Chiang and S.D. Lee, "Joint determination of machine cells and linear intercell layout," *Computers & Operations Research*, vol. 31(10), pp. 1603-1619, 2004.
- [15] S.D. Lee and C.P. Chiang, "A cut-tree-based approach for clustering machine cells in the bidirectional linear flow layout," *International Journal of Production Research*, vol. 39(15), pp. 3491-3512, 2001.
- [16] A.R.S. Amaral, "On the exact solution of a facility layout problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 173(2), pp. 508-518, 2006.
- [17] M.F. Anjos and G. Yen, "Provably near-optimal solutions for very large single-row facility layout problems," *Optimization Methods & Software*, vol. 24(4-5), pp. 805-817, 2009.
- [18] D.I. Patsiatzis and L.G. Papageorgiou, "Optimal multi-floor process plant layout," *Computers &*

- Chemical Engineering*, vol. 26(4-5), pp. 575-583, 2002.
- [19] A.P. Barbosa-Povoa, R. Mateus, and A.Q. Novais, "Optimal 3D layout of industrial facilities," *International Journal of Production Research*, vol. 40(7), pp. 1669-1698, 2002.
- [20] D.I. Patsiatzis and L.G. Papageorgiou, "Efficient solution approaches for the multifloor process plant layout problem," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 42(4), pp. 811-824, 2003.
- [21] G. Aiello and M. Enea, "Fuzzy approach to the robust facility layout in uncertain production environments," *International Journal of Production Research*, vol. 39(18), pp. 4089-4101, 2001.
- [22] M. Dong, C. Wu, and F. Hou, "Shortest path based simulated annealing algorithm for dynamic facility layout problem under dynamic business environment," *Expert Systems with Applications*, vol. 36(8), pp. 11221-11232, 2009.
- [23] K. Ueda, N. Fujiii, I. Hatono, and M. Kobayashi, "Facility layout planning using self-organization method," *Cirp Annals-Manufacturing Technology*, vol. 51(1), pp. 399-402, 2002.
- [24] J. Balakrishnan, C.H. Cheng, and K.F. Wong, "FACOPT: a user friendly FACility layout OPTimization system," *Computers & Operations Research*, vol. 30(11), pp. 1625-1641, 2003.
- [25] R. Sahin, "A SIMULATED ANNEALING HEURISTIC FOR THE DYNAMIC FACILITY LAYOUT PROBLEM," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 23(4), pp. 863-870, 2008.
- [26] M.F. Anjos and A. Vannelli, "Computing Globally Optimal Solutions for Single-Row Layout Problems Using Semidefinite Programming and Cutting Planes," *Inform Journal on Computing*, vol. 20(4), pp. 611-617, 2008.
- [27] J.A. Bennell, C.N. Potts, and J.D. Whitehead, "Local search algorithms for the min-max loop layout problem," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 53(10), pp. 1109-1117, 2002.
- [28] M.A. El-Baz, "A genetic algorithm for facility layout problems of different manufacturing environments," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 47(2-3), pp. 233-246, 2004.
- [29] A.P. Barbosa-Povoa, R. Mateus, and A.Q. Novais, "Optimal two-dimensional layout of industrial facilities," *International Journal of Production Research*, vol. 39(12), pp. 2567-2593, 2001.
- [30] L. Caccetta and Y.S. Kusumah, "Computational aspects of the facility layout design problem," *Nonlinear Analysis-Theory Methods & Applications*, vol. 47(8), pp. 5599-5610, 2001.
- [31] I. Chaieb and O. Korbaa, "Intra-cell machine layout associated with flexible production and transport systems," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, vol. 217(7), pp. 883-897, 2003.
- [32] F.T.S. Chan, "Impact of operation flexibility and dispatching rules on the performance of a flexible manufacturing system," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 24(5-6), pp. 447-459, 2004.
- [33] T. Tateyama, S. Kawata, and H. Ohta, "Self-organizing map for Group Technology oriented plant layout planning," *Ieice Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences*, vol. E86A(11), pp. 2747-2754, 2003.
- [34] J. Chae and B.A. Peters, "Layout design of multi-bay facilities with limited bay flexibility," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 25(1), pp. 1-11, 2006.

- [35] R. Logendran and T. Kriausakul, "A methodology for solving the unequal area facility layout problem using distance and shape-based measures," *International Journal of Production Research*, vol. 44(7), pp. 1243-1272, 2006.
- [36] M. Mir and M.H. Imam, "A hybrid optimization approach for layout design of unequal-area facilities," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 39(1-2), pp. 49-63, 2001.
- [37] S.K. Deb, B. Bhattacharyya, and S.K. Sorkhel, "Facility layout and material handling system selection planning using hybrid methodology," *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice*, vol. 10(3), pp. 289-297, 2003.
- [38] M. Ficko, M. Brezocnik, and J. Balic, "Designing the layout of single- and multiple-rows flexible manufacturing system by genetic algorithms," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 157, pp. 150-158, 2004.
- [39] S.A. Irani and H. Huang, "Cascading flowlines and layout modules: Practical strategies for machine duplication in facility layouts," *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, vol. 17(2), pp. 119-149, 2005.
- [40] A.S. Ramkumar, S.G. Ponnambalam, and N. Jawahar, "A new iterated fast local search heuristic for solving QAP formulation in facility layout design," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 25(3), pp. 620-629, 2009.
- [41] D. Scholz, F. Jaehn, and A. Junker, "Extensions to STaTS for practical applications of the facility layout problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 204(3), pp. 463-472, 2010.
- [42] A. Baykasoglu, T. Dereli, and I. Sabuncu, "An ant colony algorithm for solving budget constrained and unconstrained dynamic facility layout problems," *Omega-International Journal of Management Science*, vol. 34(4), pp. 385-396, 2006.
- [43] L.Y. Liang and W.C. Chao, "The strategies of tabu search technique for facility layout optimization," *Automation in Construction*, vol. 17(6), pp. 657-669, 2008.
- [44] S.M. Huang, R. Batta, and R. Nagi, "Variable capacity sizing and selection of connections in a facility layout," *Iie Transactions*, vol. 35(1), pp. 49-59, 2003.
- [45] Y.C. Ho and P.F. Hsieh, "A machine-to-loop assignment and layout design methodology for tandem AGV systems with multiple-load vehicles," *International Journal of Production Research*, vol. 42(4), pp. 801-832, 2004.
- [46] M. Solimanpur, P. Vrat, and R. Shankar, "Ant colony optimization algorithm to the inter-cell layout problem in cellular manufacturing," *European Journal of Operational Research*, vol. 157(3), pp. 592-606, 2004.
- [47] M. Solimanpur, P. Vrat, and R. Shankar, "An ant algorithm for the single row layout problem in flexible manufacturing systems," *Computers & Operations Research*, vol. 32(3), pp. 583-598, 2005.
- [48] F.T.S. Chan, K.W. Lau, P.L.Y. Chan, and K.L. Choy, "Two-stage approach for machine-part grouping and cell layout problems," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 22(3), pp. 217-238, 2006.
- [49] M.H. Hu and M.J. Wang, "Using genetic algorithms on facilities layout problems," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 23(3-4), pp. 301-310, 2004.
- [50] I. Mahdavi, B. Shirazi, and M.M. Paydar, "A flow matrix-based heuristic algorithm for cell formation and layout design in cellular manufacturing system,"

- International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 39(9-10), pp. 943-953, 2008.
- [51] R.M.S. Kumar, P. Asokan, and S. Kumanan, "Design of loop layout in flexible manufacturing system using non-traditional optimization technique," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 38(5-6), pp. 594-599, 2008.
- [52] F. Viguier and H. Pierreval, "An approach to the design of a hybrid organization of workshops into functional layout and group technology cells," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 17(2), pp. 108-116, 2004.
- [53] I. Castillo and T. Sim, "A spring-embedding approach for the facility layout problem," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 55(1), pp. 73-81, 2004.
- [54] I. Mahdavi and B. Mahadevan, "CLASS: An algorithm for cellular manufacturing system and layout design using sequence data," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 24(3), pp. 488-497, 2008.
- [55] W.C. Chiang, P. Kouvelis, and T.L. Urban, "Incorporating workflow interference in facility layout design: The quartic assignment problem," *Management Science*, vol. 48(4), pp. 584-590, 2002.
- [56] N.H.W. Eklund, M.J. Embrechts, and M. Goetschalckx, "Efficient chromosome encoding and problem-specific mutation methods for the flexible bay facility layout problem," *Ieee Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C-Applications and Reviews*, vol. 36(4), pp. 495-502, 2006.
- [57] A. Konak, S. Kulturel-Konak, B.A. Norman, and A.E. Smith, "A new mixed integer programming formulation for facility layout design using flexible bays," *Operations Research Letters*, vol. 34(6), pp. 660-672, 2006.
- [58] I. Castillo and B.A. Peters, "An extended distance-based facility layout problem," *International Journal of Production Research*, vol. 41(11), pp. 2451-2479, 2003.
- [59] C.W. Chen and D.Y. Sha, "Heuristic approach for solving the multi-objective facility layout problem," *International Journal of Production Research*, vol. 43(21), pp. 4493-4507, 2005.
- [60] W.C. Chiang, P. Kouvelis, and T.L. Urban, "Single- and multi-objective facility layout with workflow interference considerations," *European Journal of Operational Research*, vol. 174(3), pp. 1414-1426, 2006.
- [61] R. Sahin and O. Turkbey, "A simulated annealing algorithm to find approximate Pareto optimal solutions for the multi-objective facility layout problem," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 41(9-10), pp. 1003-1018, 2009.
- [62] T.H. Yang and C.W. Kuo, "A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 147(1), pp. 128-136, 2003.
- [63] M. Bazargan-Lari and S. Nahavandi, "The impact of cell formation on layout designs in cellular manufacturing," *Intelligent Automation and Soft Computing*, vol. 7(1), pp. 13-22, 2001.
- [64] E. Ferrari, A. Pareschi, A. Persona, and A. Regattieri, "Plant layout computerised design: Logistic and relay layout program (LRP)," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 21(12), pp. 917-922, 2003.
- [65] D. Raman, S.V. Nagalingam, and G.C.I. Lin, "Towards measuring the effectiveness of a facilities layout," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 25(1), pp. 191-203, 2009.

- [66] T.H. Yang and C.C. Hung, "Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 23(1), pp. 126-137, 2007.
- [67] A.C. Nearchou, "Meta-heuristics from nature for the loop layout design problem," *International Journal of Production Economics*, vol. 101(2), pp. 312-328, 2006.
- [68] G.G. Zhou, M.J. Ye, Z.Y. Cao, and F. Ye, *A genetic algorithm approach on a facility layout design problem with aisles*, in *Computational Intelligence, Pt 2, Proceedings*, D.S. Huang, K. Li, and G.W. Irwin, Editors. 2006, Springer-Verlag Berlin: Berlin. p. 1008-1013.
- [69] C. Hicks, "A Genetic Algorithm tool for optimising cellular or functional layouts in the capital goods industry," *International Journal of Production Economics*, vol. 104(2), pp. 598-614, 2006.
- [70] P. Pongcharoen, *Project Mangement: Principles and Software Tool*. 2009, Faculty of Engineering, Naresuan University.
- [71] A.R. McKendall and A. Hakobyan, "Heuristics for the dynamic facility layout problem with unequal-area departments," *European Journal of Operational Research*, vol. 201(1), pp. 171-182, 2010.
- [72] M. Solimanpur and A. Jafari, "Optimal solution for the two-dimensional facility layout problem using a branch-and-bound algorithm," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 55(3), pp. 606-619, 2008.
- [73] S.D. Lee, K.H. Huang, and C.P. Chiang, "Configuring layout in unidirectional loop manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, vol. 39(6), pp. 1183-1201, 2001.
- [74] El-Ghazalitalbi, *METAHEURISTICS From Design to Implementation*. 2009, USA: Wiley.
- [75] W. Xie and N.V. Sahinidis, "A branch-and-bound algorithm for the continuous facility layout problem," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 32(4-5), pp. 1016-1028, 2008.
- [76] R.Z. Farahani, G. Laporte, and M. Sharifyazdi, "A practical exact algorithm for the shortest loop design problem in a block layout," *International Journal of Production Research*, vol. 43(9), pp. 1879-1887, 2005.
- [77] G. Ioannou, "An integrated model and a decomposition-based approach for concurrent layout and material handling system design," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 52(4), pp. 459-485, 2007.
- [78] A.P. Barbosa-Povoa, R. Mateus, and A.Q. Novais, "Optimal design and layout of industrial facilities: A simultaneous approach," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 41(15), pp. 3601-3609, 2002.
- [79] A.P. Barbosa-Povoa, R. Mateus, and A.Q. Novais, "Optimal design and layout of industrial facilities: An application to multipurpose batch plants," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 41(15), pp. 3610-3620, 2002.
- [80] I. Castillo and B.A. Peters, "Integrating design and production planning considerations in multi-bay manufacturing facility layout," *European Journal of Operational Research*, vol. 157(3), pp. 671-687, 2004.
- [81] I. Castillo, J. Westerlund, S. Emet, and T. Westerlund, "Optimization of block layout design problems with unequal areas: A comparison of MILP and MINLP optimization methods," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 30(1), pp. 54-69, 2005.
- [82] A.R.S. Amaral, "An exact approach to the one-dimensional facility layout problem," *Operations Research*, vol. 56(4), pp. 1026-1033, 2008.

- [83] T. Dunker, G. Radons, and E. Westkamper, "A coevolutionary algorithm for a facility layout problem," *International Journal of Production Research*, vol. 41(15), pp. 3479-3500, 2003.
- [84] G. Xu and L.G. Papageorgiou, "Process plant layout using an improvement-type algorithm," *Chemical Engineering Research & Design*, vol. 87(6A), pp. 780-788, 2009.
- [85] H.D. Sherali, B.M.P. Fraticelli, and R.D. Meller, "Enhanced model formulations for optimal facility layout," *Operations Research*, vol. 51(4), pp. 629-644, 2003.
- [86] M.F. Anjos and A. Vannelli, "A new mathematical-programming framework for facility-layout design," *Inform Journal on Computing*, vol. 18(1), pp. 111-118, 2006.
- [87] R. Tavakkoli-Moghaddam, N. Javadian, B. Javadi, and N. Safaei, "Design of a facility layout problem in cellular manufacturing systems with stochastic demands," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 184(2), pp. 721-728, 2007.
- [88] S. Belmokhtar, A. Dolgui, N. Guschinsky, and G. Levin, "Integer programming models for logical layout design of modular machining lines," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 51(3), pp. 502-518, 2006.
- [89] Q. Liu and R.D. Meller, "A sequence-pair representation and MIP-model-based heuristic for the facility layout problem with rectangular departments," *Iie Transactions*, vol. 39(4), pp. 377-394, 2007.
- [90] R.D. Meller, W.P. Chen, and H.D. Sherali, "Applying the sequence-pair representation optimal facility layout designs," *Operations Research Letters*, vol. 35(5), pp. 651-659, 2007.
- [91] W.K. Chan and C.J. Malmberg, "A Monte Carlo simulation based heuristic procedure for solving dynamic line layout problems for facilities using conventional material handling devices," *International Journal of Production Research*, vol. 48(10), pp. 2937-2956, 2010.
- [92] J. Chung and J.M.A. Tanchoco, "Layout design with hexagonal floor plans and material flow patterns," *International Journal of Production Research*, vol. 48(12), pp. 3407-3428, 2010.
- [93] P. Pongcharoen, C. Hicks, P.M. Braiden, and D.J. Stewardson, "Determining optimum Genetic Algorithm parameters for scheduling the manufacturing and assembly of complex products," *International Journal of Production Economics*, vol. 78(3), pp. 311-322, 2002.
- [94] S.P. Singh, "Solving Facility Layout Problem: Three-level Tabu Search Metaheuristic Approach," *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol. 1(1 ,May 2009), pp. 73-77, 2009.
- [95] S.K. Deb and B. Bhattacharyya, "Machine layout in 2-dimensional plane based on genetic algorithms," *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice*, vol. 11(4), pp. 377-386, 2004.
- [96] J.A. Diego-Mas, M.C. Santamarina-Siurana, J. Alcaide-Marzal, and V.A. Cloquell-Ballester, "Solving facility layout problems with strict geometric constraints using a two-phase genetic algorithm," *International Journal of Production Research*, vol. 47(6), pp. 1679-1693, 2009.
- [97] G.H. Hu, Y.P. Chen, Z.D. Zhou, and H.C. Fang, "A genetic algorithm for the inter-cell layout and material handling system design," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 34(11-12), pp. 1153-1163, 2007.
- [98] K.Y. Lee, S.N. Han, and M.I. Roh, "An improved genetic algorithm for facility layout problems having

- inner structure walls and passages," *Computers & Operations Research*, vol. 30(1), pp. 117-138, 2003.
- [99] K.Y. Lee, M.I. Roh, and H.S. Jeong, "An improved genetic algorithm for multi-floor facility layout problems having inner structure walls and passages," *Computers & Operations Research*, vol. 32(4), pp. 879-899, 2005.
- [100] A.R. McKendall, J. Shang, and S. Kuppasamy, "Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem," *Computers & Operations Research*, vol. 33(8), pp. 2431-2444, 2006.
- [101] E. Shayan and A. Chittilappilly, "Genetic algorithm for facilities layout problems based on slicing tree structure," *International Journal of Production Research*, vol. 42(19), pp. 4055-4067, 2004.
- [102] R.L. Wang and K. Okazaki, "Solving facility layout problem using an improved genetic algorithm," *IEEE Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences*, vol. E88A(2), pp. 606-610, 2005.
- [103] S.P. Singh and R.R.K. Sharma, "Two-level modified simulated annealing based approach for solving facility layout problem," *International Journal of Production Research*, vol. 46(13), pp. 3563-3582, 2008.
- [104] Y. Wu and E. Appleton, "Integrated design of the block layout and aisle structure by simulated annealing," *International Journal of Production Research*, vol. 40(10), pp. 2353-2365, 2002.
- [105] W.C. Chiang, "Visual facility layout design system," *International Journal of Production Research*, vol. 39(9), pp. 1811-1836, 2001.
- [106] H. Samarghandi and K. Eshghi, "An efficient tabu algorithm for the single row facility layout problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 205(1), pp. 98-105, 2010.
- [107] M.A. Rao, M.S. Rao, J. Srinivas, and P.V.G. Krishna, "Recognition of machine cells in a group technology layout using self-organizing neural networks," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, vol. 215(6), pp. 897-901, 2001.
- [108] H.D. Pour and M. Nosrati, "Solving the facility and layout and location problem by ant-colony optimization-meta heuristic," *International Journal of Production Research*, vol. 44(23), pp. 5187-5196, 2006.
- [109] M. Ficko, S. Brezovnik, S. Klancnik, J. Balic, M. Brezocnik, and I. Pahole, "Intelligent design of an unconstrained layout for a flexible manufacturing system," *Neurocomputing*, vol. 73(4-6), pp. 639-647, 2010.
- [110] M. Kapanoglu and F. Utkan, *Particle swarm optimization for facility layout problems with/out department-specific restrictions*, in *Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, Proceedings*, M. Dorigo, et al., Editors. 2006, Springer-Verlag Berlin: Berlin. p. 516-517.
- [111] R.C. Paul, P. Asokan, and V.I. Prabhakar, "A solution to the facility layout problem having passages and inner structure walls using particle swarm optimization," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 29(7-8), pp. 766-771, 2006.
- [112] H. Rezazadeh, M. Ghazanfari, M. Saidi-Mehrabad, and S.J. Sadjadi, "An extended discrete particle swarm optimization algorithm for the dynamic facility layout problem," *Journal of Zhejiang University-Science A*, vol. 10(4), pp. 520-529, 2009.
- [113] S. Bock and K. Hoberg, "Detailed layout planning for irregularly-shaped machines with transportation

- path design," *European Journal of Operational Research*, vol. 177(2), pp. 693-718, 2007.
- [114] R.M.S. Kumar, P. Asokan, and S. Kumanan, "Artificial immune system-based algorithm for the unidirectional loop layout problem in a flexible manufacturing system," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 40(5-6), pp. 553-565, 2009.
- [115] Komarudin and K.Y. Wong, "Applying Ant System for solving Unequal Area Facility Layout Problems," *European Journal of Operational Research*, vol. 202(3), pp. 730-746, 2010.
- [116] K.S. Sangwan and R. Kodali, "Multicriteria heuristic model for design of facilities layout using fuzzy logic and AHP," *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice*, vol. 13(4), pp. 364-373, 2006.
- [117] S.K. Deb and B. Bhattacharyya, "Facilities layout planning based on Fuzzy multiple criteria decision-making methodology," *International Journal of Production Research*, vol. 41(18), pp. 4487-4504, 2003.
- [118] S.K. Deb and B. Bhattacharyya, "Fuzzy decision support system for manufacturing facilities layout planning," *Decision Support Systems*, vol. 40(2), pp. 305-314, 2005.
- [119] M. Enea, G. Galante, and E. Panascia, "The facility layout problem approached using a fuzzy model and a genetic search," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 16(3), pp. 303-316, 2005.
- [120] M. Noureldath, N. Nahas, and B. Montreuil, "Coupling ant colony optimization and the extended great deluge algorithm for the discrete facility layout problem," *Engineering Optimization*, vol. 39(8), pp. 953-968, 2007.
- [121] M. Ye and G. Zhouz, "A local genetic approach to multi-objective, facility layout problems with fixed aisles," *International Journal of Production Research*, vol. 45(22), pp. 5243-5264, 2007.
- [122] R. Sahin and O. Turkbey, "A new hybrid tabu-simulated annealing heuristic for the dynamic facility layout problem," *International Journal of Production Research*, vol. 47(24), pp. 6855-6873, 2009.
- [123] Y.H. Lee and M.H. Lee, "A shape-based block layout approach to facility layout problems using hybrid genetic algorithm," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 42(2-4), pp. 237-248, 2002.
- [124] J.D. Balakrishnan, C.H. Cheng, D.G. Conway, and C.M. Lau, "A hybrid genetic algorithm for the dynamic plant layout problem," *International Journal of Production Economics*, vol. 86(2), pp. 107-120, 2003.
- [125] S.G. Ponnambalam, R. Venkataraman, H.H. Sudhan, and P.V. Chatterjee, "Hybrid search algorithms for a single-row layout in automated manufacturing systems," *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice*, vol. 12(2), pp. 117-126, 2005.
- [126] A.S. Ramkumar, S.G. Ponnambalam, and N. Jawahar, "A population-based hybrid ant system for quadratic assignment formulations in facility layout design," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 44(5-6), pp. 548-558, 2009.
- [127] S.K. Deb and B. Bhattacharyya, "Solution of facility layout problems with pickup/drop-off locations using random search techniques," *International Journal of Production Research*, vol. 43(22), pp. 4787-4812, 2005.
- [128] T. Dunker, G. Radons, and E. Westkamper, "Combining evolutionary computation and dynamic programming for solving a dynamic facility layout problem - Discrete optimization," *European Journal*

- of *Operational Research*, vol. 165(1), pp. 55-69, 2005.
- [129] L.P. Khoo, S.G. Lee, and X.F. Yin, "Multiple-objective optimization of machine cell layout using genetic algorithms," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 16(2), pp. 140-155, 2003.
- [130] S.P. Singh and V.K. Singh, "An improved heuristic approach for multi-objective facility layout problem," *International Journal of Production Research*, vol. 48(4), pp. 1171-1194, 2010.
- [131] G. Aiello, M. Enea, and G. Galante, "A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 22(5-6), pp. 447-455, 2006.
- [132] P. Corry and E. Kozan, "Ant colony optimisation for machine layout problems," *Computational Optimization and Applications*, vol. 28(3), pp. 287-310, 2004.
- [133] S.M. Saad and A.M. Lassila, "Layout design in fractal organizations," *International Journal of Production Research*, vol. 42(17), pp. 3529-3550, 2004.
- [134] A.R. McKendall and J. Shang, "Hybrid ant systems for the dynamic facility layout problem," *Computers & Operations Research*, vol. 33(3), pp. 790-803, 2005.
- [135] F.T.S. Chan, H.K. Chan, H.C.W. Lau, and R.W.L. Ip, "Analysis of dynamic dispatching rules for a flexible manufacturing system," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 138, pp. 325-331, 2003.
- [136] T. Zhao and C.L. Tseng, "Flexible facility interior layout: a real options approach," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 58(6), pp. 729-739, 2007.
- [137] F. Alizon, Y. Dallery, D. Feillet, and P. Michelon, "Solution of a facility layout problem in a final assembly workshop using constraint programming," *Infor*, vol. 45(2), pp. 65-73, 2007.
- [138] K.K. Krishnan, A.A. Jaafari, M. Abolhasanpour, and H. Hojabri, "A mixed integer programming formulation for multi-floor layout," *African Journal of Business Management*, vol. 3(10), pp. 616-620, 2009.
- [139] K.K. Krishnan, I. Jithavech, and H.T. Liao, "Mitigation of risk in facility layout design for single and multi-period problems," *International Journal of Production Research*, vol. 47(21), pp. 5911-5940, 2009.
- [140] Y.A. Bozer and Y.J. Hsieh, "Throughput performance analysis and machine layout for discrete-space closed-loop conveyors," *Iie Transactions*, vol. 37(1), pp. 77-89, 2005.
- [141] M. Braglia, S. Zanoni, and L. Zavanella, "Robust versus stable layout design in stochastic environments," *Production Planning & Control*, vol. 16(1), pp. 71-80, 2005.
- [142] T. Iamtan and P. Pongcharoen, *A comparison of Swap and Adjustment Techniques in Shuffled Frog Leaping Algorithm for Solving Machine Layout Design Problem*. in *Proceedings of the Industrial Engineering Network Conference*. 2009.
- [143] N. Leechai, Iamtan, T. and Pongcharoen, P., "Comparison on Rank-based Ant System and Shuffled Frog Leaping for design multiple row machine layout," *SWU Engineering Journal*, vol. 4(2), pp. 102-115, 2009.
- [144] T. Ray and R. Sarker, "EA for solving combined machine layout and job assignment problems," *Journal of Industrial and Management Optimization*, vol. 4(3), pp. 631-646, 2008.

- [145] F. Ozcelik and A.A. Islier, *Unidirectional loop layout problem with balanced flow*, in *Advances in Applied Artificial Intelligence, Proceedings*, M. Ali and R. Dapoigny, Editors. 2006, Springer-Verlag Berlin: Berlin. p. 741-749.
- [146] A.R.S. Amaral, "A new lower bound for the single row facility layout problem," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 157(1), pp. 183-190, 2009.
- [147] H. Djellab and M. Gourgand, "A new heuristic procedure for the single-row facility layout problem," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 14(3), pp. 270-280, 2001.
- [148] G.H. Lee, "Design of components and layout of machines for material handling," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 17(5), pp. 371-382, 2001.
- [149] M.T. Lin, "The single-row machine layout problem in apparel manufacturing by hierarchical order-based genetic algorithm," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 20(5), pp. 258-270, 2008.
- [150] M.T. Lin, "The single-row machine layout problem in apparel manufacturing by hierarchical order-based genetic algorithm," *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 21(1), pp. 31-43, 2009.
- [151] J. Balakrishnan and C.H. Cheng, "The dynamic plant layout problem: Incorporating rolling horizons and forecast uncertainty," *Omega-International Journal of Management Science*, vol. 37(1), pp. 165-177, 2009.
- [152] I. Castillo and T. Westerlund, "An epsilon-accurate model for optimal unequal-area block layout design," *Computers & Operations Research*, vol. 32(3), pp. 429-447, 2005.
- [153] J.J. Chae and B.A. Peters, "A simulated annealing algorithm based on a closed loop layout for facility layout design in flexible manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, vol. 44(13), pp. 2561-2572, 2006.
- [154] W.M. Chan, C.Y. Chan, and W.H. Ip, "A heuristic algorithm for machine assignment in cellular layout," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 44(1), pp. 49-73, 2003.
- [155] W.M. Chan, C.Y. Chan, and C.K. Kwong, "Development of the MAIN algorithm for a cellular manufacturing machine layout," *International Journal of Production Research*, vol. 42(1), pp. 51-65, 2004.
- [156] J.W. Chung and J.J. Jang, "The integrated room layout for a semiconductor facility plan," *Ieee Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 20(4), pp. 517-527, 2007.
- [157] N.S. Kumar and R. Sridharan, "Simulation modelling and analysis of part and tool flow control decisions in a flexible manufacturing system," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 25(4-5), pp. 829-838, 2009.
- [158] B. Malakooti, "Unidirectional loop network layout by a LP heuristic and design of telecommunications networks," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 15(1), pp. 117-125, 2004.
- [159] G. Ozdemir, A.E. Smith, and B.A. Norman, "Incorporating heterogeneous distance metrics within block layout design," *International Journal of Production Research*, vol. 41(5), pp. 1045-1056, 2003.
- [160] D. Raman, S.V. Nagalingam, and B.W. Gurd, "A genetic algorithm and queuing theory based methodology for facilities layout problem," *International Journal of Production Research*, vol. 47(20), pp. 5611-5635, 2009.
- [161] D. Scholz, A. Petrick, and W. Domschke, "STaTS: A Slicing Tree and Tabu Search based heuristic for the unequal area facility layout problem," *European*

Journal of Operational Research, vol. 197(1), pp. 166-178, 2009.

- [162] B. Sirinaovakul and T. Limudomsuk, "Maximum weight matching and genetic algorithm for fixed-shape facility layout problem," *International Journal of Production Research*, vol. 45(12), pp. 2655-2672, 2007.
- [163] T.Y. Wang, K.B. Wu, and Y.W. Liu, "A simulated annealing algorithm for facility layout problems under variable demand in Cellular Manufacturing Systems," *Computers in Industry*, vol. 46(2), pp. 181-188, 2001.
- [164] T.H. Yang, C.T. Su, and Y.R. Hsu, "Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 20(11-12), pp. 1360-1372, 2000.
- [165] P.M. Vilarinho and R.C. Guimaraes, "A procedure for the facility layout problem with fixed geometry resources," *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and Practice*, vol. 10(4), pp. 413-419, 2003.
- [166] A. Asef-Vaziri and M. Goetschalckx, "Dual track and segmented single track bidirectional loop guidepath layout for AGV systems," *European Journal of Operational Research*, vol. 186(3), pp. 972-989, 2008.
- [167] S.S. Chaudhry and W. Luo, "Application of genetic algorithms in production and operations management: a review," *International Journal of Production Research*, vol. 43(19), pp. 4083-4101, 2005.