

การประเมินผังโรงงานแบบหลายปัจจัยด้วยวิธีกระบวนการลำดับชั้น
เชิงวิเคราะห์ร่วมกับตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมาย
กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

**Multi-Criteria for Plant Layout Evaluation Using Analytic Hierarchy Process
Combined with Goal Programming Model: A Case Study of an Automotive
Part Industry**

ฤกษ์วัลย์ จันทร์สา*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ. ชลบุรี 20131

E-mail: ruephuwc@eng.buu.ac.th*

Ruephuwan Chantrasa*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Muang, Chonburi, 20131 E-

mail: ruephuwc@eng.buu.ac.th*

Received 16 Sep 2020; Revised 14 Nov 2020

Accepted 16 Dec 2020; Available online 28 Dec 2020

บทคัดย่อ

ผังโรงงานเป็นสิ่งจำเป็นต่อประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพสินค้า ความปลอดภัยและขวัญกำลังใจของพนักงาน การประเมินและตัดสินใจคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมโดยการพิจารณาครอบคลุมหลายปัจจัยจึงมีความสำคัญต่อความสำเร็จขององค์กร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการอย่างเป็นระบบในการประเมินผังโรงงานแบบหลายปัจจัย โดยการบูรณาการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ร่วมกับตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมาย การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ขั้นที่ 1 เป็นการประยุกต์วิธีการวางผังอย่างเป็นระบบ ในการรวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต วิเคราะห์การไหลของวัสดุและความสัมพันธ์ของกิจกรรม เพื่อกำหนดผังทางเลือก ขั้นที่ 2 เป็นการประยุกต์กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อกำหนดปัจจัยและค่าน้ำหนักปัจจัยที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินผังโรงงาน งานวิจัยนี้ได้จัดแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ด้านหลัก คือ ด้านประโยชน์และด้านความเสี่ยง ค่าน้ำหนักปัจจัยและค่าน้ำหนักผังทางเลือกเทียบกับปัจจัยจะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นที่ 3 ซึ่งเป็นการสร้างตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมายเพื่อตัดสินใจคัดเลือกผังโรงงานทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยจะเป็นผังโรงงานที่ทำให้ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายด้านประโยชน์และด้านความเสี่ยงมีค่าน้อยที่สุด วิธีการที่นำเสนอนี้ได้ประยุกต์ใช้กับโรงงานกรณีศึกษาซึ่งทำการผลิตชิ้นส่วนช่วงล่างรถบรรทุก โดยจากการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมายได้ผลลัพธ์ว่า ผังโรงงานแบบที่ 2 เหมาะสมที่สุด ถึงแม้ว่าค่าน้ำหนักรวมด้วยประโยชน์จะไม่ได้มีค่าสูงสุด แต่ค่าน้ำหนักด้านความเสี่ยงมีค่าน้อยที่สุด กล่าวโดยสรุปการบูรณาการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ร่วมกับตัวแบบการโปรแกรม

เป้าหมายนับว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการตัดสินใจคัดเลือกผังโรงงาน เนื่องจากเป็นวิธีที่เป็นระบบ มีความเที่ยงตรงและพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ อย่างครบถ้วนทั้งปัจจัยด้านประโยชน์และความเสี่ยง

คำหลัก: ผังโรงงาน ปัญหาหลายปัจจัย การวางแผนผังโรงงานอย่างเป็นระบบ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมาย

Abstract

Plant layout has significant impact on the production efficiency, product quality, safety and workers' morale. Evaluation and decision making processes of alternative layouts with multiple-criteria consideration have become mandatory to organization's achievement. This research aims to propose a systematic methodology for evaluating plant layout based on multiple criteria by integrating Analytic Hierarchy Process (AHP) with Goal Programming (GP). The research consists of 3 main phases. In phase 1, which is an application of SLP, the SLP is applied to collect product and processes data, analyze material flows and activity relationship for determining a number of alternative plant layouts. In phase 2, AHP is applied to identify factors and their weights to be used as criteria to evaluate alternative layouts. This research classified the criteria into 2 groups as benefit criteria and risk criteria. The criteria weights and the alternative layout weights with respect to criteria are then used as input parameters for Goal Programming model (GP) in phase 3. The GP is applied to select an optimal plant layout by specifying a target for each goal to solve for a preferred solution that minimizes the summation of the deviations for the prescribed set of target values. An application of the proposed methodology is demonstrated by the case study factory producing truck suspension parts. Optimal solution solved by GP model showed that an alternative layout 2 is the most appropriate layout. Although its total weight score of benefit is not the highest, but that of the risk is the lowest. In conclusion, the integration of AHP with GP proposed in the research is a suitable and effective methodology for evaluating and selecting the plant layout. This approach is systematic, accurate, and considering all factors including benefit and risk factors.

Keywords: Plant layout, Multi-criteria problem, Systematic Layout Problem, Analytic Hierarchy Process, Goal Programming model

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างได้รับผลกระทบทั้งจากสภาวะการแข่งขัน วิฤตเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของเทคโนโลยี ส่งผลให้อุตสาหกรรมต้องปรับตัวอย่างต่อเนื่อง โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเพื่อให้เกิดความทันกับคู่แข่งและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ ผังโรงงานที่ดีนับเป็นสิ่งสนับสนุนสำคัญที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต คุณภาพของสินค้า และลดต้นทุนการผลิต ในทางตรงข้าม ผังโรงงานที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดปัญหาหลายประการ ได้แก่ ปริมาณสินค้าระหว่างผลิตสูง เวลาและต้นทุนการผลิต

สินค้าเพิ่มขึ้น ความสูญเสียและอุบัติเหตุในการทำงานสูงขึ้น เป็นต้น [1]

งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเสนอวิธีการออกแบบผังโรงงานจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1. วิธีอัลกอริทึม (algorithm) เช่น วิธี Spiral และ MULTIPLE เป็นวิธีที่สะดวกในการสร้างผังทางเลือก หรือวิธีอัลกอริทึมในรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งจะมีความซับซ้อนในการคำนวณและต้องการทักษะทางคณิตศาสตร์สูง วิธีอัลกอริทึมนี้จะใช้จุดมุ่งหมายเดียวเชิงปริมาณ เช่น ต้นทุนการขนส่งรวมต่ำที่สุด เป็นต้น 2. วิธีตามขั้นตอน (procedural) เช่น วิธีการออกแบบผังโรงงานอย่างเป็นระบบ (SLP) วิธีการนี้จะการออกแบบผังโรงงาน

ตามลำดับขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน เป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่น ในการรวมหลายปัจจัยทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณในการออกแบบผังโรงงานได้ [2]

SLP เป็นวิธีการตามขั้นตอน (procedural) ใช้สำหรับออกแบบผังโรงงานทางเลือก SLP เป็นที่นิยมและใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในภาควิชาการและภาคปฏิบัติในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีวิธีการชัดเจน เข้าใจง่าย อย่างไรก็ตาม SLP ไม่ได้นำเสนอรายละเอียดที่ชัดเจนในการประเมินเลือกผังโรงงานที่เหมาะสม ซึ่งได้แก่ ขั้นตอนการกำหนดปัจจัยและค่าน้ำหนักปัจจัยในการประเมินผังทางเลือก [3]

การวางแผนผังโรงงานจัดเป็นปัญหาการตัดสินใจหลายปัจจัย (multi-criteria decision making: MCDM) ซึ่งหมายถึง การตัดสินใจคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาจากปัจจัยหลายประการร่วมกัน ทั้งที่เป็นปัจจัยเชิงปริมาณและปัจจัยเชิงคุณภาพ เช่น ต้นทุน การขนถ่ายวัสดุ ความยืดหยุ่น ความปลอดภัย ความสะดวกในการจัดการ [4]

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (analytic hierarchy process: AHP) เป็นเทคนิคการตัดสินใจหลายปัจจัยโดยใช้ทฤษฎีการวัด เพื่อประเมินน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยความสำคัญที่จัดแบ่งออกเป็นโครงสร้างตามลำดับชั้น (hierarchy) [5] เนื่องจากลักษณะเด่นของ AHP คือ ง่ายต่อการใช้งาน และมีความยืดหยุ่นสูง AHP จึงได้ถูกนำมาใช้งานร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ ได้แก่ mathematical programming, meta-heuristics ในการออกแบบผังโรงงานแบบหลายปัจจัย [6,7]

การโปรแกรมเป้าหมาย (goal programming: GP) ตัวแบบชนิดหนึ่งของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง มีลักษณะเป็นการโปรแกรมหลายจุดประสงค์ (multi-objective programming) โดยผู้ตัดสินใจกำหนดเป้าหมาย (target) ของแต่ละจุดประสงค์และหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดซึ่งทำให้ผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนระหว่างค่าเป้าหมายที่ต้องการกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงมีค่าต่ำที่สุด [8]

งานวิจัยนี้มุ่งเสนอวิธีการอย่างเป็นระบบที่จะช่วยอุตสาหกรรมประเมินและคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสม โดยการพิจารณาปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบทั้งด้านประโยชน์

และด้านความเสี่ยงร่วมกัน วิธีที่นำเสนอได้ประยุกต์ใช้ SLP ในการสร้างผังโรงงานทางเลือก และได้บูรณาการ AHP ร่วมกับ GP โดย AHP ใช้เพื่อกำหนดปัจจัยด้านประโยชน์และด้านความเสี่ยง กำหนดโครงสร้างลำดับชั้นของปัจจัยและกำหนดค่าน้ำหนักของปัจจัย ซึ่งจะนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับตัวแบบ GP เพื่อคัดเลือกผังโรงงานที่เลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีการที่นำเสนอนี้ได้ประยุกต์ใช้กับโรงงานกรณีศึกษาซึ่งทำการผลิตชิ้นส่วนช่วงล่างรถบรรทุก

การนำเสนอการบูรณาการ AHP ร่วมกับ GP นับว่ามีความเหมาะสมในการประเมินคัดเลือกผังโรงงาน เนื่องจากเทคนิคทั้ง 2 เป็นเทคนิคสำหรับปัญหาการตัดสินใจหลายปัจจัย AHP จะช่วยให้สามารถตัดสินใจได้อย่างเป็นระบบ มีความเที่ยงตรงในการประเมิน และใช้งานง่ายไม่มีการคำนวณที่ซับซ้อน ส่วน GP จะช่วยคัดเลือกผังโรงงานที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขของผังโรงงานที่มีประโยชน์สูงสุดแต่มีความเสี่ยงต่ำสุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีหลักที่ได้ประยุกต์ในงานวิจัยนี้มีหัวข้อและรายละเอียดดังนี้

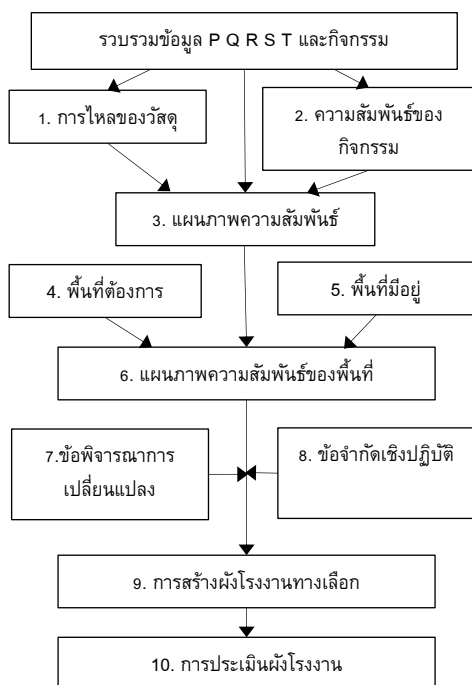
2.1 การวางแผนผังโรงงาน

การวางแผนผังโรงงาน (plant layout) หมายถึง การจัดตำแหน่งและการประสานงานอย่างมีประสิทธิภาพของหน่วยงานต่าง ๆ ในโรงงานเพื่อให้การผลิตและการบริหารทรัพยากรการผลิตดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ปัญหาการวางแผนผังโรงงานจึงเป็นการจัดวางตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของ n แผนกลงใน n ตำแหน่งโดยมีจุดประสงค์แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) ทำให้ระยะทางรวมของการเคลื่อนที่น้อยที่สุด (distance-based objective) และ 2) ทำให้คะแนนการติดกันมากที่สุด (adjacency-based objectives) [9] ซึ่งการหาผลลัพธ์การจัดวางผังโรงงานที่เหมาะสมมีหลายวิธี ได้แก่ 1) หาคำตอบที่ดีที่สุด (exact procedure) ซึ่งได้แก่ วิธี branch and bound สำหรับ quadratic assignment problem 2) วิธีฮิวริสติกส์ ซึ่งสามารถแยกเป็นกรณี การสร้างผังใหม่ (construction type) ซึ่งได้แก่ วิธี SLP วิธี graph-based และ CORELAP อัลกอริทึม

หรือ การปรับปรุงฝังเดิม (improvement type) เช่น CRAFT อัลกอริทึม เป็นต้น และ 3) วิธี Meta-heuristics เช่น GA, SA และ tabu search เป็นต้น [10]

2.2 วิธีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ

วิธีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ(systematic layout planning: SLP) พัฒนาขึ้นโดย Richard Muther ในปีค.ศ. 1967 เป็นวิธีการตามขั้นตอน (procedural) ใช้สำหรับสร้างผังโรงงานใหม่หรือผังโรงงานทางเลือก SLP ประกอบด้วย 10 ขั้นตอนต่อเนื่องกันแสดงดังรูปที่ 1 [11]



รูปที่ 1 วิธีการวางผังโรงงานอย่างเป็นระบบ

SLP เริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูล 5 ด้านได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ปริมาณผลิต ลำดับการผลิต หน่วยสนับสนุนการผลิต และ เวลาผลิต ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาวิเคราะห์การไหลของวัสดุ ด้วยเทคนิค from-to-chart และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรมด้วย activity relationship diagram เพื่อสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ (relationship diagram) จากนั้นจะกำหนดพื้นที่ที่

ต้องการในแต่ละกิจกรรมแล้วนำมาสร้างเป็น แผนภาพความสัมพันธ์ของพื้นที่ (space relationship diagram) หลังจากที่ได้พิจารณาข้อจำกัดในทางปฏิบัติต่างๆ ผังโรงงานทางเลือกจะถูกสร้างขึ้น ในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการประเมินผังโรงงานโดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ เพื่อคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุด SLP ได้นำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย ได้แก่ Maina E.C. et al. [3] ประยุกต์ SLP ในการปรับปรุงพื้นที่การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น กฤต จันทรสมัย และอรอุมา ลาสูนนท์ [12] ได้ประยุกต์ SLP ร่วมกับหลักการ ECRS ในการลดเวลาการผลิตรวมของกระบวนการผลิตประตูไม้บานเลื่อน

2.3 การวางผังโรงงานแบบหลายปัจจัย

การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (multiple criteria decision making: MCDM) เป็นแขนงหนึ่งของการวิจัยดำเนินงาน ซึ่งเกี่ยวกับการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่มีความซับซ้อน มีตัวชี้วัด จุดมุ่งหมายและปัจจัยในการพิจารณาที่หลากหลายและมีความขัดแย้งกัน วิธีที่ใช้สำหรับปัญหา MCDM ได้แก่ MAUT, AHP, Fuzzy Set Theory, DEA, Goal Programming, ELECTRE และ PROMETHEE เป็นต้น [13, 14]

การวางผังโรงงาน โดยเฉพาะในขั้นตอนการประเมินผังโรงงานทางเลือก จัดเป็นปัญหา MCDM เนื่องจากการตัดสินใจเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมต้องพิจารณาจากปัจจัยหลายด้านทั้งปัจจัยเชิงปริมาณและปัจจัยเชิงคุณภาพ แล้วคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งหมดรวมกัน [2] การวางผังโรงงานแบบหลายปัจจัยมีขั้นตอนหลักได้แก่ การกำหนดผังทางเลือก การกำหนดปัจจัยในการพิจารณา และการประเมินผังทางเลือกเทียบกับปัจจัย [15]

2.4 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) เป็นเทคนิค MCDM ใช้ทฤษฎีการวัดเพื่อกำหนดความสำคัญของปัจจัยโดยการจัดรูปแบบปัญหาที่ซับซ้อนออกเป็นโครงสร้างตามลำดับชั้น (hierarchy) ของจุดมุ่งหมาย ปัจจัยหลัก ปัจจัยย่อย และทางเลือกในการตัดสินใจตามลำดับ โดยผู้ตัดสินใจทำการประเมินส่วนประกอบย่อยที่สำคัญเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย และทางเลือก

ในการตัดสินใจ [5] เนื่องจากลักษณะเด่นของ AHP คือ ง่ายต่อการใช้งาน และมีความยืดหยุ่นสูง AHP จึงได้ถูกนำมาใช้งานร่วมกับเทคนิคอื่นๆ ได้แก่ mathematical programming, DEA, meta-heuristics, QFD และ GP

AHP นิยมอย่างแพร่หลายในปัญหาการวางแผนโรงงาน ทรัพยากร ภัยพิบัติ และ ปณิธาน พัฒนา [16] นำเสนอการปรับปรุงผังโรงงานเครื่องจักรกลการเกษตร โดยประยุกต์ SLP ร่วมกับ AHP Sirawadee Arunyanart และ Surangkana Pruekthaisong [17] ประยุกต์ AHP ร่วมกับ DEA เพื่อเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล AHP ได้นำมาประยุกต์ร่วมกับการโปรแกรมไม่เป็นเส้นตรง (NLP) โดย AHP ใช้เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักปัจจัยเชิงคุณภาพและแบบจำลอง NLP ใช้เพื่อหาผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ [18]

2.5 ตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมาย

ตัวแบบการโปรแกรมเป้าหมาย (goal programming model: GP) พัฒนาขึ้นโดย Charnes และ Cooper ในปี คศ. 1961 โดยแบบจำลอง GP จะหาคำตอบที่ทำให้จุดประสงค์ที่มีอยู่หลายข้อซึ่งมักจะขัดแย้งกันให้บรรลุค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยค่าเป้าหมายของจุดประสงค์เหล่านี้ถูกกำหนดขึ้นโดยผู้ตัดสินใจ คำตอบที่เหมาะสมที่สุดจะทำให้ผลรวมค่าความเบี่ยงเบน (deviations) ของแต่ละเป้าหมายมีค่าต่ำสุด (minimize) [19,20]

งานวิจัยหลายเรื่องได้นำเสนอการใช้ GP ร่วมกับ AHP เพื่อการตัดสินใจในปัญหา MCDM Badri [21] เสนอการบูรณาการ AHP ร่วมกับ GP เพื่อคัดเลือกอุปกรณ์ในการควบคุมคุณภาพงานบริการ Kwak และ Lee [22] นำเสนอการใช้ AHP เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักและระดับความสำคัญของโครงการการจัดสรรทรัพยากรและสารสนเทศของมหาวิทยาลัย และได้ใช้ GP เพื่อคัดเลือกโครงการที่เหมาะสม

3. วิธีการดำเนินงาน

วิธีการอย่างเป็นระบบที่จะช่วยอุตสาหกรรมในการประเมินและคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสม โดยบูรณาการวิธี AHP และ GP ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก

3 เฟส แสดงดังรูปที่ 2

การตัดสินใจเลือกผังโรงงานที่เหมาะสม



เฟส 1 วิธี SLP

- ขั้นที่ 1 เก็บรวบรวมข้อมูล
- ขั้นที่ 2 วิเคราะห์การไหลของวัสดุ
- ขั้นที่ 3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์กิจกรรม
- ขั้นที่ 4 สร้างผังทางเลือก



เฟส 2 วิธี AHP

- ขั้นที่ 1 กำหนดปัจจัยในการประเมิน
- ขั้นที่ 2 สร้างโครงสร้างลำดับชั้น
- ขั้นที่ 3 สร้างเมตริกการเปรียบเทียบแบบคู่
- ขั้นที่ 4 คำนวณค่าน้ำหนักปัจจัย
- ขั้นที่ 5 ตรวจสอบความเที่ยงตรงการประเมิน
- ขั้นที่ 6 คำนวณค่าน้ำหนักรวม



เฟส 3 วิธี GP

- ขั้นที่ 1 สร้างตัวแบบ GP
- ขั้นที่ 2 หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

รูปที่ 2 วิธีการตัดสินใจเลือกผังโรงงาน

3.1 เฟส 1 วิธี SLP

เฟส 1 เป็นการประยุกต์ SLP เพื่อกำหนดผังโรงงานทางเลือก จำนวน 3 – 5 รูปแบบ มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 เก็บรวบรวมข้อมูล การวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงงาน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต หน่วยสนับสนุนการผลิต การไหลของวัสดุ แผนงานของโรงงานกรณีศึกษา โดยจัดทำในรูป operation process chart และ flow diagram

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์การไหลของวัสดุ ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์การไหลในกระบวนการผลิตตั้งแต่วัตถุดิบจนเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยการจัดทำเป็นแผนภูมิ

from-to chart ซึ่งแสดงปริมาณการขนถ่ายระหว่างแผนกงาน

ขั้นที่ 3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์กิจกรรม ขั้นตอนนี้เป็นการจัดทำ แผนภาพความสัมพันธ์ (relationship diagram) โดยเริ่มจากการแปลงข้อมูลปริมาณการไหลระหว่างแผนกซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณให้เป็นรหัสระดับความสัมพันธ์หรือความสำคัญของคู่แผนกต่างๆซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพในรูปของ relationship chart (REL chart) จากนั้นจึงสร้าง relationship diagram ในลำดับต่อมา

รหัสความสัมพันธ์ระหว่างคู่แผนกใน Relationship chart และสัญลักษณ์ความสัมพันธ์ [23] แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รหัสความสัมพันธ์ของ REL chart

รหัส	ความหมาย	สัญลักษณ์
A	ความสัมพันธ์สมบูรณ์แบบที่สุด	=====
E	ความสัมพันธ์พิเศษ	=====
I	ความสัมพันธ์มาก	=====
O	ความสัมพันธ์ธรรมดาหรือน้อย	=====
U	ความสัมพันธ์น้อยที่สุด	=====
X	ไม่อยู่ติดกันหรือไกลกัน	=====

ขั้นที่ 4 สร้างผังทางเลือก

ความสัมพันธ์ของคู่แผนกจะนำมาพิจารณาสร้างผังทางเลือกอย่างน้อย 3 รูปแบบ โดยคู่แผนกที่มีความสัมพันธ์เป็น A จะให้มิติด้านของแผนกที่ติดกันมากที่สุด ความสัมพันธ์เป็น E ควรมิติด้านที่ติดกัน ความสัมพันธ์เป็น I ควรอยู่ใกล้กัน

3.2 เฟส 2 วิธี AHP

เฟส 2 เป็นการประยุกต์ AHP เพื่อกำหนดค่าน้ำหนักปัจจัย และค่าน้ำหนักของผังโรงงานทางเลือกเทียบกับปัจจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดปัจจัยในการประเมิน งานวิจัยนี้ได้ทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยในอดีตที่ได้นำเสนอปัจจัยซึ่งใช้ในการประเมินคัดเลือกผังโรงงาน และได้

พิจารณาจัดแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยด้านประโยชน์ (benefit factors) และ ปัจจัยด้านความเสี่ยง (risk factors) แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 ปัจจัยด้านประโยชน์

ปัจจัย	ความหมาย
รูปลักษณะและความเป็นระเบียบ [11,16]	การวางตำแหน่งและรูปทรงของแผนกเหมาะสมเป็นสัดส่วนส่งเสริมให้การจัดวางเครื่องจักรและวัสดุมีความเป็นระเบียบเรียบร้อย ผังโรงงานสวยงามสร้างภาพลักษณ์ที่ดีแก่บริษัท
การใช้ประโยชน์พื้นที่ [11,15,16]	ใช้พื้นที่โรงงานได้อย่างคุ้มค่าทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง การใช้พื้นที่ในการทำงานร่วมกัน ขนาดของพื้นที่ทางเดินเหมาะสมเพิ่มพื้นที่ใช้ประโยชน์ ลดพื้นที่ที่ไม่เกิดคุณค่าต่อกิจกรรมการผลิต
การไหลของวัสดุ พนักงาน และอุปกรณ์ [11]	วัสดุสามารถไหลเป็นชุดในจำนวนมาก การไหลของวัสดุและพนักงานสั้นและราบเรียบ ลดการไหลย้อนกลับและตัดกัน ลำดับการไหลระหว่างแผนกเหมาะสมความกว้างของเส้นทางการขนถ่ายที่เหมาะสม การเข้าถึงแผนกที่สำคัญ เช่น แผนกรับ-ส่งของแผนกคลังสินค้ามีความสะดวก
ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยน [7,15]	ความสะดวกในการขยายโรงงานมีความเหมาะสมในการเพิ่มเติมและติดตั้งแผนกงานและเครื่องจักร มีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนสายการผลิตในอนาคต ผังโรงงานเอื้อประโยชน์ต่อระบบสาธารณูปโภค เข้าถึงแผนกได้ในหลายตำแหน่ง
การจัดการและควบคุม [11,15]	มีความสะดวกต่อผู้บริหารในการกำกับดูแลและควบคุมพนักงานและกระบวนการผลิต

สภาพการทำงานและความพึงพอใจของพนักงาน [11]	ผังโรงงานเอื้อประโยชน์ให้พนักงานปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และกำลังใจที่ดี มีการแบ่งภาระงานอย่างเหมาะสม มีพื้นที่บริการและสนับสนุนพนักงานที่เหมาะสม
สอดคล้องกับโครงสร้างองค์กร [11]	ผังโรงงานสอดคล้องกับผังโครงสร้างองค์กรที่ได้กำหนดขึ้น ผังโรงงานส่งผลดีต่อการทำงานของผู้บริหาร
การใช้ประโยชน์อุปกรณ์และเครื่องจักร [11]	แผนงานใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ร่วมกันได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

	ของพนักงาน ความยากลำบากของการบำรุงรักษา
การโจรกรรมและอุบัติเหตุ [11]	ผังโรงงานเอื้อต่อการโจรกรรมหรือ การทำความผิดของพนักงานและบุคคลภายนอก การขาดระบบและความรัดกุมในการรักษาความปลอดภัย

ตารางที่ 3 ปัจจัยด้านความเสี่ยง

ปัจจัย	ความหมาย
อุบัติเหตุและอาชีวอนามัย [16,24]	อันตรายและอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานและการขนถ่าย ความเมื่อยล้า การเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานของพนักงาน ความไม่สะดวกในการทำควมสะอาด ขาดระบบสุขอนามัยที่ดี
ต้นทุนดำเนินการ [24]	ต้นทุนการขนถ่ายวัสดุ ต้นทุนการจัดเก็บสินค้า ค่าจ้างแรงงาน ค่าสาธารณูปโภค ต้นทุนการติดตั้งผังโรงงาน
คุณภาพสินค้า [24]	การผลิตของเสีย ความสูญเสียในการผลิต การขาดประสิทธิภาพและความไม่สะดวกในงานควบคุมคุณภาพ
สภาพแวดล้อม [7,24]	มลพิษในโรงงาน ได้แก่ เสียง ความร้อน อากาศเสีย สารพิษ
ทรัพยากรการผลิและการบำรุงรักษา [11,24]	ความเสี่ยงเนื่องจากความไม่พร้อมและความไม่น่าเชื่อถือ เช่น ข้อขัดข้องและการหยุดทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ การปฏิบัติงานผิดพลาด

จากปัจจัยด้านประโยชน์และความเสี่ยงดังกล่าว วิศวกรผู้ตัดสินใจจะพิจารณาเลือกปัจจัยเหล่านี้มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสม

ขั้นที่ 2 สร้างโครงสร้างลำดับชั้น ขั้นตอนนี้เป็น การแยกย่อยปัญหาการตัดสินใจเลือกผังโรงงานออกเป็นโครงสร้างตามลำดับชั้น ลำดับบนสุดคือ เป้าหมาย ลำดับที่ 2 รองลงมาเป็นปัจจัยที่จะใช้เป็น เกณฑ์ในการคัดเลือกผังโรงงาน และลำดับที่ 3 เป็นผัง ทางเลือกแต่ละรูปแบบ

ขั้นที่ 3 สร้างเมตริกการเปรียบเทียบแบบคู่ เป็นการประเมินเปรียบเทียบแบบคู่ (pair-wise comparison) ของปัจจัยหรือผังทางเลือกในลำดับชั้นเดียวกันเทียบกับ ปัจจัยที่อยู่ในลำดับชั้นที่สูงขึ้นไป โดยสร้างเป็นเมตริก A ขนาด $n \times n$ มี element เป็น a_{ij} เปรียบเทียบ ความสำคัญของปัจจัยแถว i เทียบกับปัจจัยคอลัมน์ j โดยใช้ระดับคะแนน 1-9 [5]

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าน้ำหนักปัจจัย

การคำนวณค่าน้ำหนักปัจจัย ในขั้นนี้เป็นการ คำนวณ local weights ของปัจจัยและผังทางเลือกด้วย วิธี Additive Normalization ดังนี้

คำนวณ เมตริก A_{norm} ซึ่งมี element เป็น a'_{ij}

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

คำนวณค่า local Weight, w_i ดังนี้

$$w_i = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n a'_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

ขั้นที่ 5 ตรวจสอบความเที่ยงตรงการประเมิน โดยพิจารณาจากค่า consistency ratio (CR) ซึ่งค่า CR ที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.1 รายละเอียดสามารถศึกษาได้จาก [5]

ขั้นที่ 6 คำนวณค่าน้ำหนักรวม (global weights) จากขั้นที่ 4 จะได้ค่าน้ำหนัก local weights ซึ่งจะนำมาคำนวณเป็นค่าน้ำหนักความสำคัญของผังโรงงานทางเลือก j ดังสมการที่ 3

$$R_j = \sum_{i=1}^n w_i P_{ij} \quad (3)$$

โดยที่ w_i ($i = 1, 2, \dots, n$) คือค่าน้ำหนักของปัจจัย i
 P_{ij} ($j = 1, 2, \dots, n$) คือค่าน้ำหนักรวมของผังโรงงานทางเลือก j ประเมินเทียบกับปัจจัย i

3.3 เฟส 3 วิธี GP

ค่าน้ำหนักรวมของผังโรงงานทางเลือกจากเฟส AHP จะนำมาเป็นพารามิเตอร์สำหรับตัวแบบ GP เพื่อเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุด ตัวแบบ weighted GP แสดงดังสมการที่ 4

$$\text{Min } Z = w_b d_b^- + w_r d_r^+ \quad (4)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m b_i x_i - (d_b^+ - d_b^-) = G_b$$

$$\sum_{i=1}^m r_i x_i - (d_r^+ - d_r^-) = G_r$$

$$x_i = \{0, 1\}$$

$$i = (1, 2, \dots, m)$$

$$d_b^+, d_b^-, d_r^+, d_r^- \geq 0$$

โดยที่ x_i คือผังโรงงานทางเลือก, $x_i = 1$ ผังโรงงานถูกเลือก, $x_i = 0$ ผังโรงงานไม่ถูกเลือก

m คือจำนวนผังโรงงานทางเลือก

w_b คือ ค่าน้ำหนักเป้าหมายด้านประโยชน์

w_r คือ ค่าน้ำหนักเป้าหมายด้านความเสี่ยง

b_i คือค่าน้ำหนักผังทางเลือก i ด้านประโยชน์

r_i คือค่าน้ำหนักผังทางเลือก i ด้านความเสี่ยง

G_b คือเป้าหมายด้านประโยชน์ กำหนดจากค่าน้ำหนักผังทางเลือกด้านประโยชน์ที่มากที่สุด

G_r คือเป้าหมายด้านความเสี่ยง กำหนดจากค่าน้ำหนักผังทางเลือกด้านความเสี่ยงที่น้อยที่สุด

d_b^+, d_b^- คือค่าเบี่ยงเบนทางบวกและทางลบไปจากค่าเป้าหมายด้านประโยชน์

d_r^+, d_r^- คือค่าเบี่ยงเบนทางบวกและทางลบไปจากค่าเป้าหมายด้านความเสี่ยง

4. ผลการวิจัย

ตัวแบบการตัดสินใจคัดเลือกผังโรงงานได้ประยุกต์กับโรงงานกรณีศึกษาซึ่งทำการผลิตชิ้นส่วนช่วงล่างรถบรรทุก ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 เฟส 1 วิธี SLP

ขั้นที่ 1 เก็บรวบรวมข้อมูล โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนรถบรรทุก มีการผลิตตามคำสั่งลูกค้าผลิตภัณฑ์หลักของโรงงาน ได้แก่ สาแหรก บูช และลูกหมาก งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตและการจัดผังโรงงานในส่วนการผลิตสาแหรก เนื่องจากมีปริมาณการผลิตสูง มีแผนงานที่เกี่ยวข้องหลายแผนกและประสบปัญหาเนื่องจากการวางผังโรงงาน

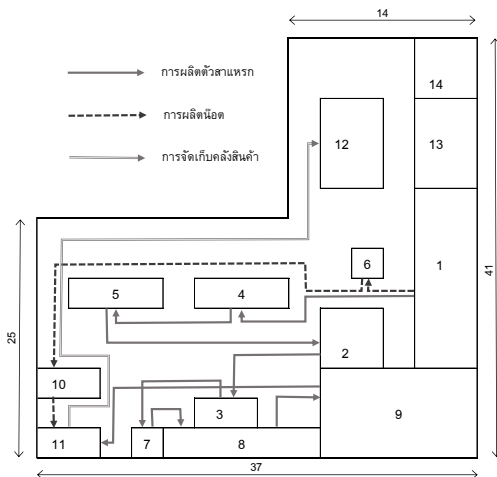
ชิ้นส่วนสาแหรก ประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อย 3 ชิ้นส่วน ได้แก่ น็อต สาแหรก และแหวนสปริง ซึ่งน็อตและสาแหรกจะผลิตขึ้นที่โรงงานกรณีศึกษา ส่วนแหวนสปริงจะจัดซื้อจากผู้ส่งมอบ กระบวนการผลิตสาแหรกมีแผนงานที่เกี่ยวข้องจำนวน 14 แผนก แผนกงานและพื้นที่แผนกแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แผนกงานและพื้นที่การผลิตสาแหรก

ลำดับที่	ชื่อแผนก	พื้นที่ (ตารางเมตร)
1	แผนกตัดเหล็ก	128
2	แผนกขึ้นรูปสาแหรก	45
3	แผนกพันทราย	16
4	แผนกกลึงปอกผิว	28
5	แผนกรีดเกลียว	27
6	แผนกตีปเกลียว	6
7	แผนกเข้าแบบ	8
8	แผนกพ่นสี	45

9	คลังเก็บสาเหแรก	135
10	คลังเก็บน็อต	18
11	แผนกประกอบสาเหแรก	15
12	คลังเก็บสินค้าสำเร็จรูป	48
13	แผนกซ่อมบำรุง	60
14	แผนก QC	36
รวม		615

โรงงานกรณีศึกษา มีพื้นที่สำหรับการผลิตสาเหแรกรวม 1,149 ตารางเมตร โดยเป็นพื้นที่ที่มีการใช้งานการผลิตจริง 615 ตารางเมตร รูปที่ 3 แสดงผังโรงงานและ Flow diagram การผลิตตัวสาเหแรกในปัจจุบัน การไหลประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1. การผลิตตัวสาเหแรก มีจำนวน 8 ขั้นตอนเริ่มต้นที่แผนกตัดเหล็กและสิ้นสุดที่แผนกประกอบสาเหแรก 2. การผลิตน็อต มีจำนวน 3 ขั้นตอน เริ่มต้นที่แผนกตัดเหล็กและสิ้นสุดที่แผนกประกอบสาเหแรกเช่นเดียวกัน 3. การไหลของสาเหแรกทีประกอบแล้วส่งไปจัดเก็บยังคลังสินค้า



รูปที่ 3 ผังโรงงานปัจจุบันและ Flow diagram การผลิตตัวสาเหแรก

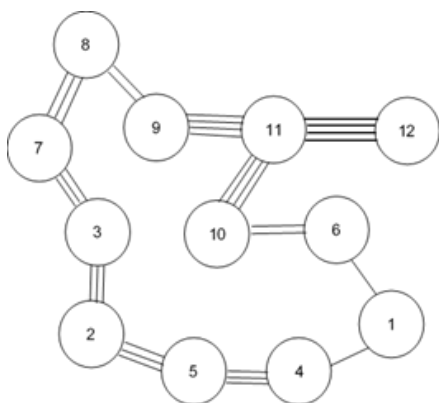
ขั้นที่ 2-3 ผลวิเคราะห์การไหลของวัสดุด้วย From-To chart ในการผลิตตัวสาเหแรก สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5 ข้อมูลในตารางแสดงจำนวนเที่ยวการขนถ่ายต่อสัปดาห์ระหว่างแต่ละคู่แผนกงานจำนวน 12 คู่

จำนวนเที่ยวในการขนถ่ายจะถูกแปลงให้เป็นรหัสความสัมพันธ์ระหว่างแผนก เพื่อนำไปใช้ใน Relationship diagram แผนกที่มีจำนวนเที่ยวการขนถ่ายเกิดขึ้นสูงสุด คือ 24 เที่ยว กำหนดให้มีความสัมพันธ์เป็น A คู่แผนกที่มีจำนวนเที่ยวน้อยลงจะกำหนดให้มีความสัมพันธ์เป็น E, I, O ตามลำดับ สำหรับแผนกที่ไม่มีการขนถ่ายระหว่างกันเกิดขึ้นจะกำหนดให้มีรหัสความสัมพันธ์เป็น U ใน Relationship Chart

ตารางที่ 5 จำนวนเที่ยวและรหัสความสัมพันธ์

ที่	เส้นทางการขนถ่าย	จำนวนเที่ยว/สัปดาห์	รหัสความสัมพันธ์
1	9 - 11	24	A
2	10 - 11	24	A
3	11 - 12	24	A
4	2 - 3	18	E
5	3 - 7	18	E
6	4 - 5	18	E
7	5 - 2	18	E
8	7 - 8	18	E
9	6 - 10	5	I
10	8 - 9	3	I
11	1 - 4	2	O
12	1 - 6	1	O

ความสัมพันธ์ระหว่างคู่แผนกใน Relationship chart จะนำมาสร้าง Relationship diagram ดังรูปที่ 4 วงกลมแต่ละวงหมายถึงแผนกงาน และเส้นเชื่อมโยงระหว่างวงกลมหมายถึงความสัมพันธ์ระหว่างแผนก ความหมายรหัสอักษรแทนความสัมพันธ์และสัญลักษณ์เส้นได้กล่าวไว้ในตารางที่ 1



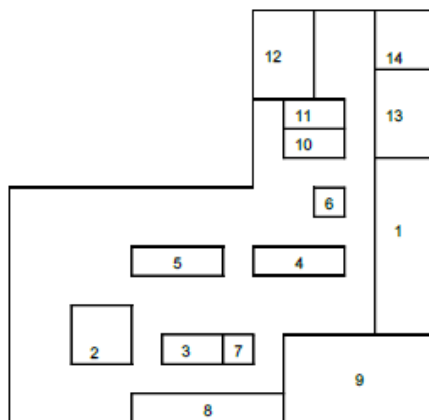
รูปที่ 4 Relationship diagram โรงงานกรณีศึกษา

ขั้นที่ 4 การสร้างผังทางเลือก ได้สร้างผังทางเลือกจำนวน 3 แบบ โดยพิจารณาระดับความสัมพันธ์ระหว่างแผนกจาก Relationship diagram กล่าวคือ กลุ่มแผนงานที่มีความสัมพันธ์เป็น A จะจัดให้มีด้านที่ติดกันหรือใกล้กันมากที่สุด ความสัมพันธ์ E จัดให้มีด้านที่ติดกันหรืออยู่ใกล้กันมาก และความสัมพันธ์ I ควรอยู่ใกล้กัน พิจารณาปรับขนาดของพื้นที่และรูปทรงแผนกให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และพิจารณาจากข้อจำกัดของโครงสร้างของอาคารและระบบสาธารณูปโภคร่วมด้วย ผังโรงงานทางเลือกแต่ละแบบจะมีคุณลักษณะ รูปแบบข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 6 และผังโรงงานทางเลือกแสดงดังรูปที่ 5

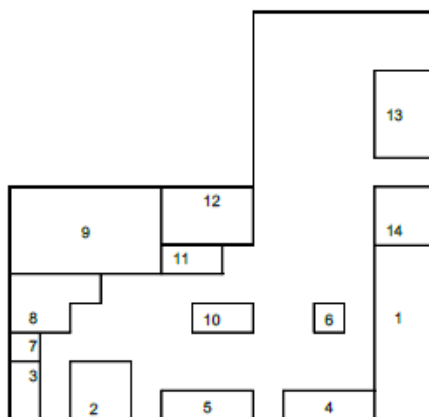
ตารางที่ 6 คุณลักษณะของผังโรงงานทางเลือก

ผังโรงงานทางเลือก	คุณลักษณะเฉพาะ
แบบที่ 1	- ไม่เปลี่ยนแปลงแผนกที่มีเครื่องจักรขนาดใหญ่ ใช้พื้นที่มาก เช่น แผนกตัดเหล็ก และแผนกสนับสนุนการผลิต เช่น แผนก QC - ปรับตำแหน่งของแผนกงานเพื่อให้การไหล มีระยะทางสั้นขึ้น มีความราบเรียบเป็นเส้นตรง ลดการเคลื่อนที่ย้อนกลับและติดกัน
แบบที่ 2	ปรับย้ายตำแหน่งของแผนกงาน

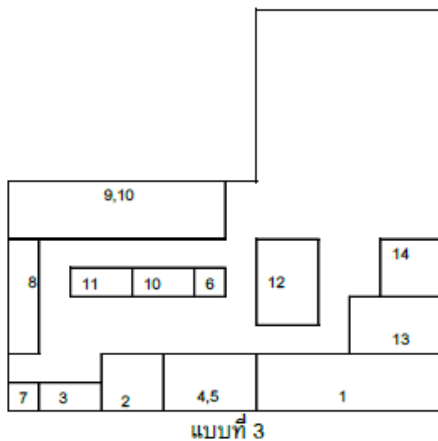
	ทั้งหมดให้เหมาะสมต่อการไหลในการผลิต - พิจารณาผลกระทบด้านสภาพแวดล้อมและอุบัติเหตุร่วมด้วย - ปรับพื้นที่แผนกและรูปทรงแผนกให้เหมาะสม
แบบที่ 3	- เน้นการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์ โดยใช้พื้นที่แนวตั้งในการจัดเก็บ - รวมแผนกงานที่คล้ายกันเพื่อใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ร่วมกัน - มุ่งเน้นให้มีพื้นที่ว่างมากขึ้นเพื่อรองรับการขยายตัวในอนาคต



แบบที่ 1



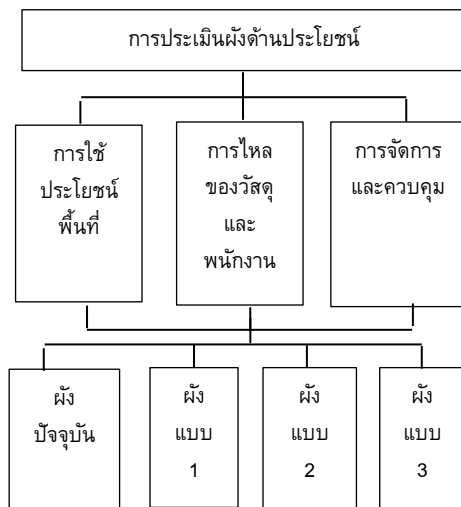
แบบที่ 2



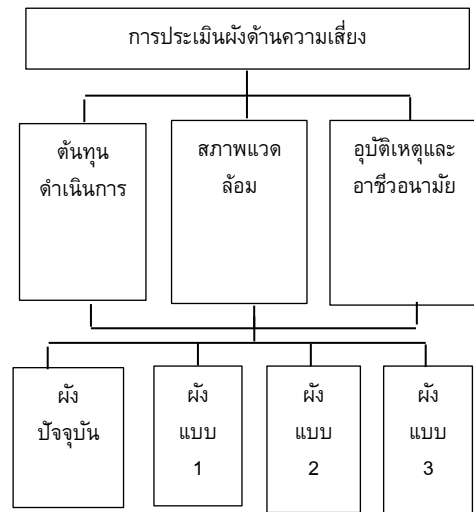
รูปที่ 3 แบบที่ 5 ฟังโรงงานทางเลือก 3 รูปแบบ

4.2 เฟส 2 วิธี SLP

เฟส 2 วิธี SLP ผู้บริหารโรงงานและวิศวกรที่เกี่ยวข้องระดมสมองร่วมกันพิจารณาปัจจัยด้านประโยชน์และความเสี่ยงจากข้อมูลในตารางที่ 2 และ 3 เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินผังโรงงานทางเลือก ผลการระดมสมองได้กำหนดปัจจัยประโยชน์และความเสี่ยงด้านละ 3 ปัจจัย และนำมาสร้างโครงสร้างลำดับชั้นเพื่อใช้ในการประเมินผังปัจจุบันและผังทางเลือกรวมจำนวน 4 ผัง แสดงดังรูปที่ 6-7



รูปที่ 6 โครงสร้างลำดับชั้นด้านประโยชน์



รูปที่ 7 โครงสร้างลำดับชั้นด้านความเสี่ยง

ปัจจัยด้านประโยชน์และความเสี่ยงจะถูกประเมินความสำคัญโดยการสร้างเมตริกแบบคู่ซึ่งใช้ระดับคะแนน 1-9 ในการประเมินดังตารางที่ 7 และคำนวณค่าน้ำหนักปัจจัยตามสมการที่ 1 และ 2 อย่างไรก็ตามในการประเมินด้านความเสี่ยงจะมีความหมายตรงกันข้ามกับด้านประโยชน์ กล่าวคือถ้าให้ความสำคัญมากคะแนนประเมินจะมีค่าน้อย

ตารางที่ 7 ระดับคะแนนประเมินเมตริกแบบคู่ [5]

คะแนนความสำคัญ	ความหมาย
1	สำคัญเท่ากัน
3	สำคัญกว่าเล็กน้อย
5	สำคัญกว่าปานกลาง
7	สำคัญกว่ามาก
9	สำคัญกว่ามากที่สุด
2,4,6,8	ความสำคัญกึ่งกลาง

ตัวอย่างผลการประเมินเมตริกแบบคู่ของปัจจัยประโยชน์ 3 ปัจจัยเทียบกับเป้าหมาย แสดงดังตารางที่ 8 โดยผลการประเมินมีค่า CR = 0.05 ซึ่งยอมรับได้ ค่าน้ำหนักปัจจัยด้านประโยชน์และความเสี่ยงสรุปผลแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 เมตริกการเปรียบเทียบแบบคู่ของปัจจัยประโยชน์

เป้าหมายประโยชน์	พื้นที่	ไหล	จัดการ	ค่าน้ำหนัก
พื้นที่	1	1/5	3	0.193
ไหล	5	1	7	0.724
จัดการ	1/3	1/7	1	0.083
CI=0.033 RI=0.58 CR=0.05				

ตารางที่ 9 ค่าน้ำหนักปัจจัย

ด้าน	ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก
ประโยชน์	การใช้ประโยชน์พื้นที่	0.193
	การไหลของวัสดุและพนักงาน	0.724
	การจัดการและควบคุม	0.083
ความเสี่ยง	ต้นทุนดำเนินการ	0.115
	สภาพแวดล้อม	0.480
	อุบัติเหตุและอาชีวอนามัย	0.405

สำหรับการประเมินค่าน้ำหนักผังโรงงานทั้ง 4 แบบเทียบกับปัจจัยด้านประโยชน์และความเสี่ยงนั้น แสดงตัวอย่างการประเมินเมตริกแบบคู่เทียบกับปัจจัยการใช้ประโยชน์พื้นที่ ดังตารางที่ 10 และผลค่าน้ำหนักผังทางเลือกเทียบกับแต่ละปัจจัยและค่าน้ำหนักรวม (Global weight) ด้านประโยชน์และด้านความเสี่ยงแสดงดังตารางที่ 11 และ 12 ตามลำดับ ในการคำนวณค่าน้ำหนักรวมของผังทางเลือกเทียบกับเป้าหมายด้านประโยชน์และความเสี่ยง คำนวณตามสมการที่ 3 ตัวอย่างเช่น ค่าน้ำหนักรวมของผังปัจจุบันเทียบกับเป้าหมายด้านประโยชน์ = $(0.196 \times 0.058) + (0.724 \times 0.086) + (0.083 \times 0.063) = 0.078$

ตารางที่ 10 เมตริกการเปรียบเทียบแบบคู่ของผังทางเลือกเทียบกับปัจจัยการใช้ประโยชน์พื้นที่

การใช้ประโยชน์พื้นที่	ปัจจุบัน	แบบ1	แบบ2	แบบ3	ค่าน้ำหนัก
ปัจจุบัน	1	1/3	1/5	1/7	0.058
แบบ1	3	1	1/3	1/3	0.145
แบบ2	5	3	1	1/3	0.282
แบบ3	7	3	3	1	0.515
CI=0.047 RI=0.9 CR=0.05					

ตารางที่ 11 ค่าน้ำหนักผังทางเลือกด้านประโยชน์

ผังทางเลือก	ค่าน้ำหนัก			
	การใช้ประโยชน์พื้นที่ (0.193)	การไหลของวัสดุและพนักงาน (0.724)	การจัดการและควบคุม (0.083)	รวม
ปัจจุบัน	0.058	0.086	0.063	0.078
แบบ1	0.145	0.432	0.267	0.363
แบบ2	0.282	0.382	0.335	0.359
แบบ3	0.5115	0.100	0.335	0.200

ตารางที่ 12 ค่าน้ำหนักผังทางเลือกด้านความเสี่ยง

ผังทางเลือก	ค่าน้ำหนัก			
	ต้นทุนดำเนินการ (0.115)	สภาพแวดล้อม (0.480)	อุบัติเหตุ (0.405)	รวม
ปัจจุบัน	0.306	0.365	0.459	0.396
แบบ1	0.144	0.365	0.316	0.320
แบบ2	0.244	0.099	0.116	0.123
แบบ3	0.306	0.171	0.109	0.161

จากการพิจารณาความสำคัญระหว่างประโยชน์และความเสี่ยงโดยการเปรียบเทียบแบบคู่ ได้ผลค่าน้ำหนักเป้าหมายด้านประโยชน์และความเสี่ยงเป็น 0.67 และ 0.33 ตามลำดับ

4.3 เฟส 3 วิธี GP

ค่าน้ำหนักเป้าหมายและค่าน้ำหนักผังทางเลือกด้านประโยชน์และความเสี่ยงจากเฟส SLP จะนำมาเป็นพารามิเตอร์สำหรับตัวแบบ GP ดังสมการที่ 5

$$\text{Min } Z = 0.67d_b^- + 0.33d_r^+ \quad (5)$$

s.t.

$$0.078x_1 + 0.363x_2 + 0.359x_3 + 0.200x_4$$

$$-(d_b^+ - d_b^-) = 0.363,$$

$$0.396x_1 + 0.320x_2 + 0.123x_3 + 0.161x_4$$

$$-(d_r^+ - d_r^-) = 0.123,$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 = \{0, 1\},$$

$$d_b^+, d_b^-, d_r^+, d_r^- \geq 0$$

ฟังก์ชันเป้าหมายกำหนดให้หาผลรวมของค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของประโยชน์ด้านลบและความเสี่ยงด้านบวกให้มีค่าน้อยที่สุด

ข้อช่วยที่ 1 เป็นข้อช่วยประโยชน์ กำหนดให้ผลรวมของค่าน้ำหนักของผังโรงงานที่เลือกกลับความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับเป้าหมาย คือ 0.363 ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักของผังโรงงานด้านประโยชน์ที่มากที่สุด

ข้อช่วยที่ 2 เป็นข้อช่วยความเสี่ยงกำหนดให้ผลรวมของค่าน้ำหนักของผังโรงงานที่เลือกกลับความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับเป้าหมาย คือ 0.123 ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักของผังโรงงานด้านความเสี่ยงที่น้อยที่สุด

การหาผลลัพธ์ด้วย Microsoft Excel Solver 2016 พบว่าคำตอบที่ดีที่สุดคือ $x_3 = 1$ หมายความว่าผังโรงงานทางเลือกแบบที่ 2 เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่า $Z = 0.00268$ คำตอบที่ได้نبวามีความเหมาะสม ถึงแม้ว่าค่าน้ำหนักกรรมด้านประโยชน์ (0.359) จะไม่ได้มีค่าสูงสุดแต่ค่าน้ำหนักด้านความเสี่ยงมีค่าน้อยที่สุดซึ่งหมายถึงผังโรงงานมีความเสี่ยงของปัจจัยต่างๆ อยู่่น้อย เมื่อพิจารณาารวมกันทั้งด้านประโยชน์และความเสี่ยง ผังโรงงานที่ 2 จึงเหมาะสมที่สุด

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอตัวแบบประเมินและคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสม โดยบูรณาการวิธี AHP และ วิธี GP ร่วมกัน ตัวแบบที่นำเสนอได้ประยุกต์ใช้กับโรงงานกรณีศึกษาซึ่งทำการผลิตชิ้นส่วนช่วงล่างรถบรรทุก นอกจากนั้นงานวิจัยได้นำเสนอการจัดแบ่งปัจจัยออกเป็นด้านประโยชน์และด้านความเสี่ยงซึ่งจะทำให้การกำหนดปัจจัยและการตัดสินใจครอบคลุมทั้ง 2 ด้านส่งผลให้การตัดสินใจมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามตัวแบบที่นำเสนอในงานวิจัยยังมีข้อจำกัดหลายประการ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดงานวิจัยดังนี้ 1. การคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับจำนวนและคุณลักษณะของผังโรงงานทางเลือก ถ้าผังโรงงานทางเลือกมีจำนวนมากขึ้นและการออกแบบมีคุณลักษณะที่เหมาะสมและความหลากหลายจะช่วยให้สามารถเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมได้ดียิ่งขึ้น 2. เนื่องจากการประเมินค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ มีลักษณะเป็น subjective ความแม่นยำและเหมาะสมจะ

ขึ้นกับความรู้และประสบการณ์ผู้ประเมิน นอกจากนั้นระดับคะแนน 1-9 ของ AHP อาจทำให้เกิดความคลุมเครือในการประเมินได้ ซึ่งการแก้ปัญหานี้อาจพัฒนาเป็นตัวแบบ Fuzzy logic เพื่อให้การประเมินมีความชัดเจนมากขึ้น 3. ปัจจัยที่ใช้ประเมินคัดเลือกผังโรงงาน อาจจะไม่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นการพัฒนาตัวแบบ Analytic Network Process (ANP) จะช่วยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้ดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ปัจจัยประโยชน์ 2 ปัจจัยได้แก่ ปัจจัยการใช้ประโยชน์พื้นที่ และปัจจัยการไหลของวัสดุพนักงานและอุปกรณ์อาจมีความสัมพันธ์เชิงลบต่อกัน กล่าวคือ ถ้าต้องการผังโรงงานที่มีเส้นทางลำเลียงที่มีขนาดใหญ่ ปัจจัยการใช้ประโยชน์พื้นที่จะมีคะแนนน้อย แต่ปัจจัยการไหลของวัสดุ พนักงานและอุปกรณ์จะมีคะแนนมาก เป็นต้น 4. การประยุกต์ตัวแบบวิธีการเมตา-ฮิวริสติก ช่วยให้สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาหมายเลข 21/2554

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hosseini-Nasab H, Fereidouni S, Ghomi S, Fakhrazad B. Classification of facility layout problems: review study. International Journal of Manufacturing Technology. 2018; 94: 954-977.
- [2] Yang T, Hung C-C. Multiple-attribute decision making methods for plant layout design problem. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2007; 23: 126-137.
- [3] Maina EC, Muchiri PN, Keraita JN. Improvement of facility layout using Systematic Layout Planning. IOSR Journal of Engineering. 2018; 08(5): 33-43.
- [4] Chen C-W, Sha DY. Heuristics approach for solving the multi-objective facility layout problem. International Journal of Production Research. 2005; 43(21): 4493-457.

- [5] Saaty TM. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill; 1980.
- [6] Yang L, Deuse J, Jiang P. Multiple-attribute decision-making approach for an energy-efficient facility layout design. *International Journal of Manufacturing Technology*. 2013; 66: 795-807.
- [7] Singh, S.P., and Singh, V.K., Three-level AHP-based heuristic approach for a multi-objective facility layout problem. *International Journal of Production Research*. 2011; 49(4): 115-1125.
- [8] Goicoechea A, Hansen DR, Duckstein L. Multiobjective decision analysis with engineering and business applications. Canada: John Wiley & Sons; 1982.
- [9] Tompkins JA, White JA, Bozer YA, Tanchoco JMA. *Facilities Planning*. USA: John Wiley & Sons; 2003.
- [10] Singh SP, Sharma RK. A review of different approaches to the facility layout problem. *International Journal of Manufacturing Technology*. 2006; 30: 425-433.
- [11] Muther R. *Systematic Layout Planning*. USA: Cahnners Books; 1973.
- [12] กฤต จันทรมัย อรุมา ลาสนนท์. การออกแบบผังโรงงานและปรับปรุงกระบวนการผลิตประตูไม้บานเลื่อน. *Naresuan University Journal: Science and Technology*. 2017; 25(3): 146-155.
- [13] Kumar A, Sah B, Singh A, Deng Y, He X, Kumar P, Bansal RC. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 2017; 69: 596-609.
- [14] Velasquez M, Hester PT. An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*. 2013; 10(2): 56-66.
- [15] Al-Hawari T, Mumani A, Momani A. Application of the analytic network process to facility layout selection. *Journal of Manufacturing Systems*. 2014; 3: 488-497.
- [16] ณัฏฐริยา ภักดีปัญญา และ ปณิธาน พิรพัฒนา. การปรับปรุงการผลิตอุปกรณ์การเกษตรด้วยเทคนิคแบบลิ้น: กรณีศึกษาบริษัทเครื่องจักรกลการเกษตร. *KKU Engineering Journal*. 2015; 42(2): 145-153.
- [17] Arunyanart S, Pruekthaisong S. Selection of multi-criteria plant layout design by combining AHP and DEA methodology. *MATEC Web of Conferences*. 2018;192: 1-5.
- [18] Hadi- Vencheh A, Mohamadghasemi A. An integrated AHP- NLP methodology for facility layout design. *Journal of Manufacturing Systems*. 2013; 32:40-45.
- [19] Handy A. Taha. *Operations Research an Introduction*. 7th Edition: Prentice Hall; 2003.
- [20] Ignizio JP. A review of goal programming: a tool for multiobjective analysis. *The Journal of the Operational Research Society*. 1978; 29(11): 1109-1199.
- [21] Badri MA. A combined AHP- GP model for quality control systems. *International Journal of Production Economics*. 2001; 72: 27-40.
- [22] Kwak NK, Lee C. A multicriteria decision-making approach to university resource allocations and information infrastructure planning. *European Journal of Operational Research*. 1998; 110: 234-254.
- [23] สมศักดิ์ ตรีสัตย์. การออกแบบและวางผังโรงงาน. *สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.*; 2551.
- [24] Amri SK, Darmoul S, Hajri-Gabouj S, Pierreval H. Risk issues in facility layout design. *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*; 2016 March 8- 9; Kuala Lumpur, Malaysia.