

การปรับปรุงผังโรงงานของกระบวนการผลิตเครื่องครัวสแตนเลสด้วย ALDEP

Plant layout improvement of the stainless-steel cookware manufacturing using ALDEP

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา^{1*} สมหมาย สารมาท¹ และ พุทธสายน นราพินิจ¹
Chaiwat Kittidecha^{1*}, Sommai Saramath¹ and Puttasayan Narapinij¹

บทคัดย่อ

การปรับปรุงผังโรงงานเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ด้วยการจัดวางตำแหน่งของแผนกต่าง ๆ ที่มีในโรงงานให้อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันสอดคล้องกับขั้นตอนการผลิตหรือความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงผังโรงงานขนาดเล็กแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ที่ผลิตอุปกรณ์ครัวเรือนจากสแตนเลสเป็นกรณีศึกษาในการวางผังโรงงานด้วยหลักการ ALDEP (automated layout design program) โดยสร้างผังโรงงานทางเลือกจำนวน 6 ผัง ตามขนาดความกว้างของการขยายและลำดับการจัดวางแผนก ซึ่งกำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 1, 2 และ 3 หน่วย ส่วนลำดับการจัดวางแผนกใช้ 2 รูปแบบ การคัดเลือกผังที่มีค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ (adjacency based scoring) สูงที่สุดเป็นตัวแทนผังโรงงานตามหลักการ ALDEP แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผังโรงงานเดิม ผังโรงงานด้วยหลักการวิธีกราฟ และผังโรงงานด้วยหลักการ CORELAP ประเมินผลโดยใช้ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์และระยะทางการขนย้ายวัสดุ ผลการวิจัยสรุปได้ว่าผังโรงงานตามหลักการ ALDEP ดีที่สุด รองลงมาคือ หลักการ CORELAP หลักการวิธีกราฟ และผังโรงงานเดิม ตามลำดับ สามารถลดระยะทางการขนย้ายวัสดุเหลือเป็น 48.50 เมตร ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าที่ผังโรงงานเดิมร้อยละ 50.30 ดีกว่าผังโรงงานที่ใช้หลักการวิธีกราฟร้อยละ 26.50 และดีกว่าผังโรงงานที่ใช้หลักการ CORELAP ร้อยละ 19.20 ถึงแม้ว่าค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์มีค่าเท่ากันทั้งสามหลักการก็ตาม

คำสำคัญ: การออกแบบผังโรงงาน การออกแบบผังโรงงานด้วยโปรแกรมแบบอัตโนมัติ การออกแบบผังโรงงานด้วยการพิจารณาความสัมพันธ์ของกิจกรรมด้วยคอมพิวเตอร์ การออกแบบผังโรงงานด้วยวิธีกราฟ

Abstract

Improving plant layout design is a strategy that can increase production efficiency by situating several departments inside the plant in close proximity in accordance with the production process or the relationship between activities. This research aims to improve the plant layout of a small factory in Chiang Mai province that manufactures stainless steel home appliances as a case study using plant layout design utilizing the ALDEP (automated layout design program) principle. The six alternative plant layouts were created according to the expansion width and planning sequence. The sweep width was established as 1, 2 and 3 units, following 2 department sequence patterns. The plant layout with the greatest adjacency-based scoring was chosen to represent the plant layout based on the ALDEP principle, and subsequently compared with the original, the graph-based, and the CORELAP plant layout principles. The total score of relationship and distance material transport was used to evaluate. The study's results indicated that the plant layout based on the ALDEP principle was the most effective, followed by the CORELAP plant layout, the graph method, and the original plant layout methods, respectively. The material handling distance can be minimized to 48.50 meters, resulting in better outcomes than 50.30% of the original plant layout, 26.50% of the graph method plant layout, and 19.20% of the CORELAP method, even though the adjacency based scorings of all three methods were the same.

Keywords: plant layout design, automated layout design program, computerized relationship layout planning, graph based layout planning

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

* Corresponding author. E-mail: chaiwatkit@rmu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันสภาวะการแข่งขันด้านราคาที่สูงมากในภาคอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าต่าง ๆ กลยุทธ์ที่ใช้กันมากเพื่อแข่งขันได้คือการลดต้นทุนการผลิตหรือการเพิ่มผลผลิต เครื่องมือที่ใช้ให้กลยุทธ์ดังกล่าวประสบความสำเร็จคือ การวางแผนการจัดการภายในโรงงานให้มีประสิทธิภาพ การวางแผนโรงงานอุตสาหกรรมเปรียบเหมือนกับการวางแผนภายในโรงงานหรือธุรกิจขนาดใหญ่ ผู้วางแผนโรงงานต้องตัดสินใจว่าควรจัดวางตำแหน่งสิ่งต่าง ๆ อย่างไร จะใช้พื้นที่และเทคโนโลยีอย่างไรให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้ยังทำให้แน่ใจว่าคนงานจะได้รับการจัดการอย่างดีและปลอดภัย (Apata, 2015) การวางแผนโรงงานไม่ใช่เป็นแค่เรื่องเทคนิคทางด้านวิศวกรรมเท่านั้นแต่ยังเกี่ยวข้องกับการจัดการและวิเคราะห์สิ่งต่าง ๆ ที่จะทำให้โรงงานดำเนินการได้ดียิ่งขึ้น สร้างสรรค์สิ่งดี ๆ และทันสมัยอยู่เสมอ การกำหนดเป้าหมาย การวางแผนทำสิ่งต่าง ๆ และใช้ทรัพยากรอย่างชาญฉลาดเป็นสิ่งสำคัญทั้งหมดนี้ช่วยให้โรงงานมีประสิทธิภาพดีขึ้นและทันการเปลี่ยนแปลงของโลก การวางแผนโรงงานไม่ได้เป็นเพียงสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อจัดตั้งโรงงานแห่งใหม่ในตอนเริ่มต้นเท่านั้น แต่ยังเกิดขึ้นเมื่อโรงงานยังคงดำเนินการอยู่อีกด้วย (Niamchuen, 2022)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบผังโรงงานพบว่ามีงานนำหลักการต่าง ๆ มาใช้กันหลากหลายมากเช่น วิธีการสลับตำแหน่งที่ตั้งของแผนก (pairwise exchange method) (Pathumnakul et al., 2003) โดยผู้วิจัยเองได้เคยปรับผังโรงงานผลิตเครื่องครัวสเตนเลสแห่งหนึ่งในเชียงใหม่โดยใช้หลักการวิธีการออกแบบผังโรงงานด้วยการพิจารณาความสัมพันธ์ของกิจกรรมด้วยคอมพิวเตอร์ (computerized relationship layout planning: CORELAP) และหลักการของวิธีการกราฟ (graph-based method) โดยผังโรงงานที่ปรับปรุงใหม่ด้วยหลักการ CORELAP สามารถลดระยะทางการขนย้ายโดยรวมเปรียบเทียบกับผังโรงงานเดิมจากระยะทางการขนย้ายรวม 97.50 เมตร เหลือเป็น 60 เมตร หรือลดลงร้อยละ 38.50 ดีกว่าผังโรงงานที่สร้างโดยใช้หลักการของวิธีการกราฟที่ลดระยะทางการขนย้ายเหลือเป็น 66 เมตร (Kittidecha et al., 2023) ดังนั้นผู้วิจัยจะนำแนววิธีการอื่น ๆ มาใช้ในการปรับปรุงผังโรงงานกรณีศึกษาเดิมดังกล่าวจะสามารถปรับปรุงหรือสามารถแก้ไขปัญหาวางเครื่องจักรไม่เหมาะสม ลดค่าใช้จ่ายในการขนย้ายวัสดุ และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ดีกว่ารูปแบบ CORELAP หรือไม่

หลักการที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือหลักการวางแผนผังโรงงานด้วยการออกแบบผังโรงงานด้วยโปรแกรมแบบอัตโนมัติ (automated layout design program: ALDEP) ซึ่งหลักการนี้ยังไม่ค่อยถูกนำมาใช้มากนักในประเทศไทยเช่นเดียวกับหลักการวางแผนด้วย CORELAP และหลักการของวิธีการกราฟ ผลการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องที่ได้นำหลักการ ALDEP มาใช้ในประเทศไทยนั้นพบเพียงงานวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบผังโรงงานโดยใช้วิธี CORELAP, ALDEP และ systematic layout planning (SLP) กรณีศึกษาโรงงานผลิตแผงวงจรพิมพ์ (Kittipanya-ngam et al., 2022) เท่านั้น โดยในงานวิจัยนี้พบว่าหลักการ ALDEP มีประสิทธิภาพในการลดระยะทางการเคลื่อนย้ายชิ้นงานอันดับเป็นอันดับสอง รองจากเทคนิค SLP แต่ดีกว่าหลักการ CORELAP ส่วนงานวิจัยที่ได้นำหลักการ ALDEP ในต่างประเทศพบหลายเรื่องเช่น การปรับปรุงผังโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ด้วยทฤษฎี SLP และหลักการ ALDEP มาใช้โดยพบว่าหลักการ ALDEP ทำให้ต้นทุนการจัดการวัสดุถูกกว่าการวางแผนด้วย SLP (Budianto et al., 2020) การปรับปรุงผังโรงงานด้วย ALDEP และหลักการ computerized relative allocation of facilities technique (CRAFT) พบว่าการปรับปรุงด้วย ALDEP ดีกว่าเทคนิค CRAFT เพราะลดต้นทุนการขนถ่ายวัสดุต่อปีได้ร้อยละ 23 แต่เทคนิค CRAFT ลดได้ร้อยละ 6.30 (Suhardini & Rahmawati, 2019) การปรับปรุงผังโรงงานผลิตซีลยางด้วยหลักการ ALDEP และหลักการ CORELAP พบว่าผังโรงงานที่ออกแบบด้วยหลักการ CORELAP สามารถลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุได้มากกว่าหลักการ ALDEP ถึงร้อยละ 50 (Tarigan et al., 2019) การเลือกผังที่เหมาะสมที่สุดโดยเทคนิค CRAFT และหลักการ ALDEP สามารถลดค่าใช้จ่ายการขนย้ายวัสดุร้อยละ 23 (Deshpande et al., 2016)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าหลักการต่าง ๆ ที่ใช้ในการวางแผนผังโรงงานให้ผลลัพธ์แตกต่างกัน บางหลักการให้ผลลัพธ์ที่ดีในกรณีศึกษาแห่งหนึ่งแต่เมื่อเปลี่ยนกรณีศึกษาอาจให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดี ประเด็นปัญหาที่สำคัญคือ

การวางผังด้วยหลักการ ALDEP ซึ่งถูกนำมาใช้กันมากในต่างประเทศและบางครั้งก็ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าหลักการอื่น แต่ในประเทศไทยกลับยังมีการใช้อยู่ด้อยอยู่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะแสดงการสร้างผังโรงงานทางเลือกด้วยหลักการ ALDEP จำนวน 6 ผัง แล้วคัดเลือกผังที่ดีที่สุดด้วยค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับผังโรงงานเดิม ผังโรงงานที่ปรับปรุงใหม่ด้วยหลักการของวิธีการกราฟ และผังโรงงานที่ปรับปรุงใหม่ด้วยหลักการ CORELAP เพื่อหาผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุด รวมทั้งเปรียบเทียบระยะทางการขนย้ายวัสดุอีกด้วย นอกจากนี้ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางให้ผู้ต้องการปรับปรุงผังโรงงานนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานของตนเองได้

วิธีการศึกษา

1. ทฤษฎี automated layout design program (ALDEP)

เป็นการออกแบบผังโรงงานวิธีการหนึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตอนการคัดเลือกลำดับการวางแผน และ 2) ขั้นตอนการจัดวางตำแหน่ง ข้อมูลนำเข้าประกอบด้วย ความกว้างและความยาวของผัง จำนวนแผนก พื้นที่ของแต่ละแผนก กำหนดค่าหนึ่งหน่วยพื้นที่ในผัง (unit area square) แผนภูมิความสัมพันธ์ (relationship chart) ระดับค่าความสัมพันธ์ขั้นต่ำที่ใช้ในการพิจารณา (minimum closeness preference) ความกว้างของการขยาย (sweep width)

ขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกลำดับการวางแผน เริ่มจากเลือกแผนกแรกด้วยการสุ่ม แผนกที่สองที่เลือกคือแผนกที่มีระดับค่าความสัมพันธ์มากที่สุดที่มีความสัมพันธ์กับแผนกแรก โดยต้องมีระดับค่าความสัมพันธ์มากกว่าหรือเท่ากับระดับค่าความสัมพันธ์ขั้นต่ำที่ใช้ในการพิจารณา หากมีมากกว่า 1 แผนกจะใช้วิธีการสุ่มเลือกจากแผนกที่มีค่าความสัมพันธ์สูงกว่าค่าระดับค่าความสัมพันธ์ขั้นต่ำที่ใช้ในการพิจารณา หากไม่มีก็จะใช้วิธีการสุ่มเลือกจากแผนกที่ยังไม่ถูกจัดลำดับ จากนั้นเลือกแผนกที่สามจากแผนกที่มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดสูงสุดกับแผนกที่สอง โดยดำเนินการเหมือนกับขั้นตอนการเลือกแผนกที่สอง จากนั้นกระบวนการนี้จะดำเนินการซ้ำจนครบทุกแผนกจะได้ลำดับการวางแผน

ขั้นตอนที่ 2 การจัดวางตำแหน่ง ตำแหน่งเริ่มต้นการจัดวางแผนกในผังเริ่มจากมุมซ้ายบนของผังและขยายต่อไปทางด้านล่าง (vertical sweep pattern) ดัง (Figure 1) ขนาดความกว้างของการขยายจะกำหนดโดยผู้วางผังดัง (Figure 2) วางตำแหน่งของทุกแผนกตามลำดับที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 จนครบทุกแผนก จะได้ผังโรงงานทางเลือกหนึ่งผัง คำนวณค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring ซึ่งเป็นการประเมินผังจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่อยู่ติดกัน ค่าความสัมพันธ์ (closeness rating) ที่ใช้ใน ALDEP นี้ นิยมคือ A=64, E=16, I=4, O=1, U=0, X=-1,024 (Klomjit, 2012; Schiffauerova, 2013; Budianto et al., 2020; Nur Incea & Tasdemir, 2024) จากนั้นทำผังโรงงานทางเลือกอื่น ๆ ด้วยวิธีการที่ได้อธิบายมาข้างต้นให้มากกว่า 2 ผังขึ้นไปแต่ไม่เกิน 20 ผัง นำมาเปรียบเทียบหาผังที่เหมาะสมที่สุดโดยเลือกผังที่มีค่าความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring สูงที่สุดนั่นเอง (Suhardini & Rahmawati, 2019)

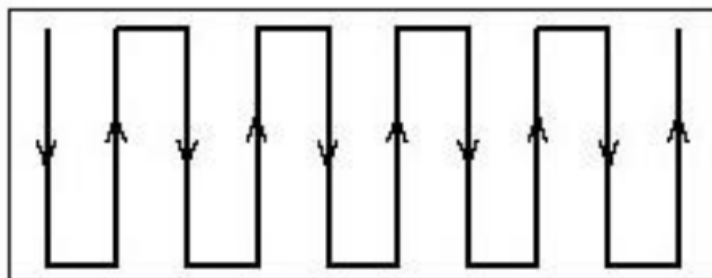


Figure 1 Vertical sweep pattern. (Schiffauerova, 2013)

จาก (Figure 1) รูปแบบการจัดวางตำแหน่งโดยเริ่มจากแผนกในลำดับแรกที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกมาวางในผังตำแหน่งบนซ้ายและขยายลงมาด้านล่าง (ตามความกว้างของผังโรงงาน) เมื่อถึงด้านล่างจะขยายไปด้านขวา (ตามความยาวของผังโรงงาน) และขยายขึ้นด้านบน ทำในรูปแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนวางตำแหน่งครบทุกแผนก

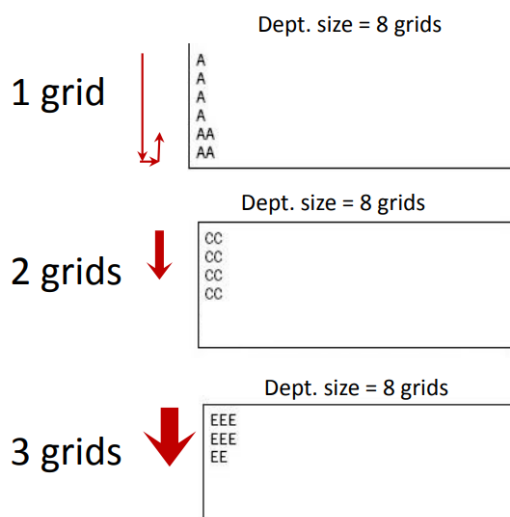


Figure 2 Examples of sweep width in vertical sweep pattern. (Schiffauerova, 2013)

จาก (Figure 2) ความกว้างของการขยายจะถูกกำหนดโดยผู้วางผัง ในตัวอย่างนี้ผังโรงงานมีความกว้าง 6 หน่วยพื้นที่ในผังหรือ 6 แถว (grid) ขนาดพื้นที่ของแผนกที่วางตำแหน่งมีจำนวน 8 หน่วยพื้นที่ในผัง เมื่อกำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 1 หน่วยพื้นที่ในผัง (ตัวอักษร A) จะวางตำแหน่งลงมาตามความกว้างของผัง 6 แถว ขยายไปด้านขวาและขึ้นไปด้านบนอีก 2 แถว จะครบ 8 หน่วยพื้นที่ในผัง หรือเมื่อกำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 2 หน่วยพื้นที่ในผัง (ตัวอักษร C) จะวางตำแหน่งลงมาตามความกว้างของผัง 4 แถวก็จะได้ครบ 8 หน่วยพื้นที่ในผัง และเมื่อกำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 3 หน่วยพื้นที่ในผัง (ตัวอักษร E) จะวางตำแหน่งลงมาตามความกว้างของผัง 3 แถว โดยแถวที่ 3 จะวางเพียง 2 หน่วยพื้นที่ในผังเท่านั้น ให้ครบ 8 หน่วยพื้นที่ในผัง

ส่วนค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring สามารถคำนวณได้ ดังสมการ (1) (Klomjit, 2012)

$$\max Z = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1+1}^m f_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

โดยที่ Z คือค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ (adjacency based scoring)

f_{ij} คือค่าคะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างแผนก i และ j

x_{ij} เท่ากับ 1 กรณีแผนก i และ j มีด้านติดกัน หรือเท่ากับ 0 กรณีเป็นอย่างอื่น

2. วิธีการดำเนินการ

ขั้นตอนการปรับปรุงผังโรงงานใหม่มี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. นำข้อมูลที่ได้จากศึกษาผังโรงงานเดิม ผังที่ปรับปรุงด้วยหลักการวิธีการ และผังที่ปรับปรุงด้วยหลักการ CORELAP เป็นข้อมูลนำเข้าในการสร้างผังโรงงานด้วยหลักการ ALDEP

2. สร้างผังโรงงานทางเลือกดด้วยหลักการ ALDEP เป็น 3 รูปแบบตามความกว้างของการขยาย และลำดับการจัดวางแผนก 2 รูปแบบ รวมเป็นจำนวน 6 ผัง ประกอบด้วย

2.1 ผังที่กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 1 หน่วยพื้นที่ในผัง จำนวน 2 ผัง

2.2 ผังที่กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 2 หน่วยพื้นที่ในผัง จำนวน 2 ผัง

2.3 ผังที่กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 3 หน่วยพื้นที่ในผัง จำนวน 2 ผัง

จากนั้นคัดเลือกผังที่ดีที่สุดด้วยค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring ที่มากที่สุด

3. นำมาเปรียบเทียบกับผังโรงงานเดิม ผังที่ปรับปรุงด้วยหลักการวิธีการกราฟ และผังโรงงานที่ปรับปรุงด้วยหลักการ CORELAP

4. เลือกผังที่ดีที่สุดด้วยค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring ที่มากที่สุด และระยะทางการขนย้ายวัสดุรวมแบบ rectilinear ที่สั้นที่สุด วิธีการคำนวณระยะทางแบบ rectilinear คือการวัดระยะทางระหว่างจุดกึ่งกลางของแผนกไปตามระยะแนวตั้งและแนวนอน สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2) (Schiffauerova, 2013) และแสดงตัวอย่างดัง (Figure 3)

$$D = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2)$$

โดยที่ D คือระยะทางการขนย้ายวัสดุแบบ rectilinear
 (x, y) คือตำแหน่งจุดกึ่งกลางของแผนก

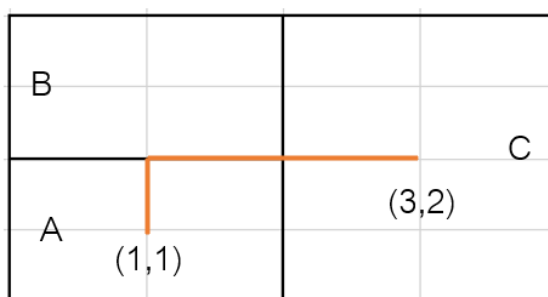


Figure 3 Rectilinear distance calculation.

จาก (Figure 3) จุดกึ่งกลางของแผนก A คือตำแหน่ง (1, 1) และจุดกึ่งกลางของแผนก C คือตำแหน่ง (3, 2) ดังนั้นระยะทางการขนย้ายวัสดุรวมแบบ rectilinear ระหว่างแผนก A กับแผนก C แทนค่าในสมการที่ 2 เท่ากับ 3 หน่วย

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ข้อมูลนำเข้าในการสร้างผังโรงงานด้วยหลักการ ALDEP

1.1 ผังโรงงานเดิม เป็นโรงงานผลิตอุปกรณ์ครัวเรือนจากสแตนเลสของโรงงานขนาดเล็กแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ โดยโรงงานมีความกว้าง 21 เมตร ความยาว 27 เมตร แบ่งเป็น 9 แผนกคือ แผนกห้องเขียนแบบ (1) แผนกคลังวัตถุดิบ (2) แผนกตัด (3) แผนกพับ (4) แผนกบาก (5) แผนกเชื่อม (6) แผนกกัด (7) แผนกขัด (8) และแผนกคลังสินค้า (9) ผังโรงงานเดิม ดัง (Figure 4)

	7		4		3		2
			9				
	5		6		8		1

Figure 4 Original plant layout. (Kittidecha et al., 2023)

จาก (Figure 4) เส้นทางไหลของวัสดุเริ่มจากแผนกคลังวัตถุดิบ (2) ไปยังแผนกในลำดับเลขถัดไปจนถึงแผนกคลังสินค้า (9) โดยมีระยะทางการขนย้ายวัสดุรวมแบบ rectilinear 97.50 เมตร และจากสมการ (1) ได้ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 101 คะแนน ผู้วิจัยกำหนดค่าหนึ่งหน่วยพื้นที่ในผัง (สี่เหลี่ยมเล็ก) เท่ากับความกว้าง 3 เมตร ความยาว 3 เมตร หรือ 9 ตารางเมตร พื้นที่ในผังโรงงานจึงมีความกว้าง 7 หน่วยพื้นที่ในผัง (7 แถว) และความยาว 8 หน่วยพื้นที่ในผัง (8 สดมภ์) ดังนั้นในแต่ละแผนกจะมีพื้นที่จริงและจำนวนหน่วยพื้นที่ในผังดัง (Table 1)

Table 1 Department area.

department	area (square meters)	unit area templates
1. drawing room	36	4
2. material store	54	6
3. cutting	27	3
4. folding	54	6
5. notching	36	4
6. welding	36	4
7. milling	54	6
8. polishing	36	4
9. warehouse	81	9
10. dummy department (blank)	90	10
total	504	56

จาก (Table 1) พื้นที่โรงงานมีทั้งหมด 504 ตารางเมตร คิดเป็นจำนวน 56 หน่วยพื้นที่ในผัง โดยพื้นที่ว่างเปล่า (dummy department) ขนาด 90 ตารางเมตร คิดเป็นจำนวน 10 หน่วยพื้นที่ในผัง เป็นพื้นที่ที่ไม่มีทางไหลของวัสดุหรือไม่เกี่ยวข้องกับแผนกอื่น ๆ สามารถกำหนดตำแหน่งตายตัวได้ หรือใช้เพื่อปรับผังแผนกต่าง ๆ ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม

ระดับค่าความสัมพันธ์ขั้นต่ำที่ใช้ในการพิจารณา คือ E โดยนำแผนภูมิความสัมพันธ์ที่ได้เคยวิเคราะห์การไหลของวัสดุ (flow of material) ด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องของการผลิตอย่างล้าจวน (flow process chart) มาแล้วดัง (Figure 5)

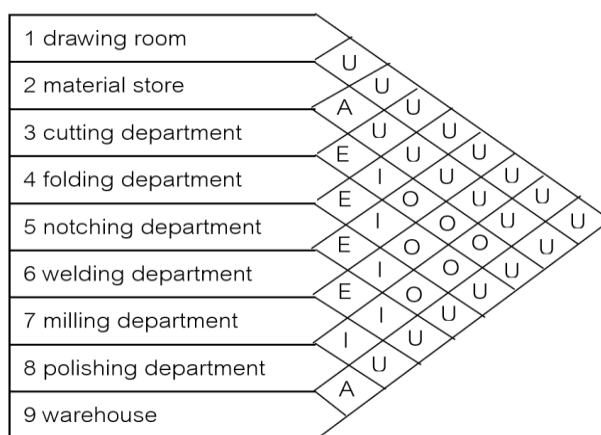


Figure 5 Relationship chart. (Kittidecha et al., 2023)

จาก (Figure 5) แผนกคู่ที่มีระดับความสัมพันธ์สมบูรณ์แบบที่สุด A มีจำนวน 2 คู่ หรือควรอยู่ใกล้กันที่สุดคือ คู่ที่ 1 แผนกคลังวัสดุ (2) กับแผนกตัด (3) และคู่ที่ 2 แผนกขัด (8) กับแผนกคลังสินค้า (9) ส่วนแผนกคู่ที่มีระดับความสัมพันธ์พิเศษ E มีจำนวน 4 คู่คือ คู่ที่ 1 แผนกตัด (3) กับแผนกพับ (4) คู่ที่ 2 แผนกพับ (4) กับแผนกบาก (5) คู่ที่ 3 แผนกบาก (5) กับแผนกเชื่อม (6) และคู่ที่ 4 แผนกเชื่อม (6) กับแผนกกัด (7)

ผังโรงงานที่ปรับปรุงใหม่ด้วยหลักการของวิธีการฟ ดิง (Figure 6) และผังโรงงานที่ปรับปรุงใหม่ด้วยหลักการ CORELAP ดิง (Figure 7)

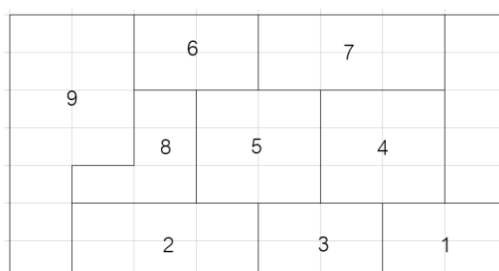


Figure 6 The graph-based method plant layout. (Kittidecha et al., 2023)

จาก (Figure 6) มีการขยายพื้นที่ของแผนกตัด (3) เป็น 36 ตารางเมตร และแผนกคลังสินค้า (9) เป็น 99 ตารางเมตร ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 197 คะแนนระยะทางการขนย้ายรวมแบบ rectilinear เท่ากับ 66 เมตร และพื้นที่ว่างเปล่าลดลงเหลือเท่ากับ 45 ตารางเมตร

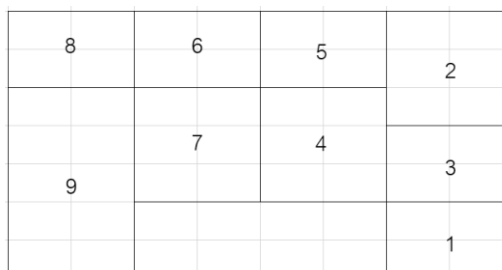


Figure 7 The CORELAP plant layout. (Kittidecha et al., 2023)

จาก (Figure 7) มีการขยายพื้นที่ของแผนกตัด (3) เป็น 36 ตารางเมตร และแผนกคลังสินค้า (9) เป็น 90 ตารางเมตร ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 197 คะแนนระยะทางการขนย้ายรวมแบบ rectilinear เท่ากับ 60 เมตร และพื้นที่ว่างเปล่าลดลงเหลือเท่ากับ 72 ตารางเมตร

2. ผลการออกแบบและวางผังโรงงานทางเลือkdด้วยหลักการ ALDEP

ผู้วิจัยออกแบบผังโรงงานเป็น 3 รูปแบบตามความกว้างของการขยายคือ 1, 2 และ 3 หน่วยพื้นที่ในผัง และรูปแบบการกำหนดลำดับแผนกจำนวน 2 รูปแบบ รวมเป็นจำนวน 6 ผัง เนื่องจากผังโรงงานที่มีความยาว 8 หน่วยพื้นที่ในผังนั้น การกำหนดระยะขยายที่เหมาะสมคือไม่ควรเกิน 3 หน่วยเพราะทำให้ได้รูปทรงของแผนกที่ได้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมที่มีสัดส่วนของระยะทางแนวนอนต่อระยะทางแนวตั้งที่ดี ไม่แบนราบเกินไป ส่วนการกำหนดลำดับแผนกเพียง 2 รูปแบบเพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของผังโรงงานที่ได้ โดยในบทความนี้ผู้วิจัยจะแสดงขั้นตอนการสร้างผังอย่างละเอียดเฉพาะผังโรงงานทางเลือกที่ 1 เท่านั้น

2.1 ผังโรงงานทางเลือกที่ 1 กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 1 หน่วยพื้นที่ในผัง ในขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกลำดับการวางแผนกได้ดัง (Table 2)

Table 2 Department selection of alternative plant layout#1.

step	department selected	reason for selection
1	2. material store	random
2	3. cutting	"A" with 2
3	4. folding	"E" with 3
4	5. notching	"E" with 4
5	6. welding	"E" with 5
6	7. milling	"E" with 6
7	8. polishing	random
8	9. warehouse	"A" with 8
9	1. drawing room	remaining

จาก (Table 1) แผนกลำดับแรกที่ถูกเลือกมาคือแผนกคลังวัตถุดิบ (2) แผนกลำดับที่สองคือแผนกตัด (3) เนื่องจากมีระดับความสัมพันธ์เป็น A กับแผนกคลังวัตถุดิบ (2) แผนกลำดับที่สามคือแผนกพับ (4) เนื่องจากมีระดับความสัมพันธ์เป็น E กับแผนกตัด (3) แผนกลำดับที่สี่คือแผนกบาก (5) เนื่องจากมีระดับความสัมพันธ์เป็น E กับแผนกพับ (3) แผนกลำดับที่ห้าคือแผนกเชื่อม (6) เนื่องจากมีระดับความสัมพันธ์เป็น E กับแผนกบาก (5) แผนกลำดับที่หกคือแผนกกัด (7) เนื่องจากมีระดับความสัมพันธ์เป็น E กับแผนกเชื่อม (6) แผนกลำดับที่เจ็ดเลือกโดยการสุ่ม เนื่องจากแผนกที่เหลืออยู่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างน้อยระดับ E กับแผนกกัด (7) ดังนั้นผู้วิจัยจึงสุ่มเลือกเป็นแผนกขัด (8) แผนกลำดับที่แปดคือแผนกคลังสินค้า (9) เนื่องจากมีระดับความสัมพันธ์เป็น A กับแผนกขัด (8) และแผนกลำดับที่เก้า (สุดท้าย) คือแผนกห้องเขียนแบบ (1) เนื่องจากเป็นแผนกสุดท้ายที่ยังไม่ถูกจัดลำดับนั่นเอง สรุปลำดับคือ 2-3-4-5-6-7-8-9-1

จากนั้นในขั้นตอนที่ 2 การจัดวางตำแหน่ง เริ่มวางตำแหน่งแผนกคลังวัตถุดิบ (2) ที่มีพื้นที่ 6 หน่วยหน่วยพื้นที่ในผัง จากมุมบนด้านซ้ายลงมาที่ละ 1 หน่วยพื้นที่ในผัง ลงมาจำนวน 6 หน่วยหน่วยพื้นที่ในผัง (6 แถว) จากนั้นวางตำแหน่งแผนกกัด (3) ที่มีพื้นที่ 3 หน่วยหน่วยพื้นที่ในผัง วางต่อจากแผนกคลังวัตถุดิบ (2) ลงมา 1 หน่วยพื้นที่ในผังจะครบ

ตามความกว้างของพื้นที่โรงงาน จึงต้องวางไปทางด้านขวามือ 1 หน่วยพื้นที่ในผัง และวางขึ้นไปด้านบนอีก 1 หน่วยพื้นที่ในผัง จะครบตามจำนวนพื้นที่ของแผนกกัด (3) และดำเนินการแบบนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จนวางตำแหน่งครบทุกแผนกจะได้ผังโรงงานทางเลือกดั้ง (Figure 8)

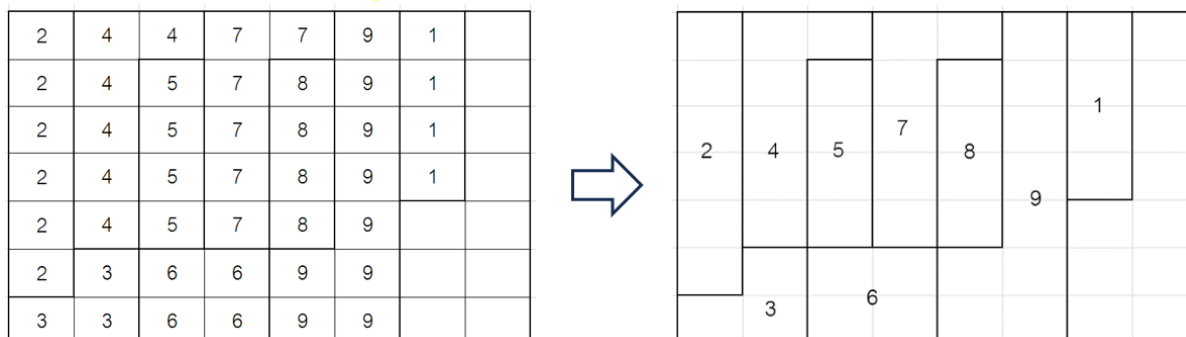


Figure 8 The alternative plant layout#1.

จาก (Figure 7) ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 186 คะแนน แผนกที่มีรูปทรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 4 แผนก คือ แผนกตัด (3) แผนกพับ (4) แผนกกัด (7) และแผนกคลังสินค้า (9)

2.2 ผังโรงงานทางเลือกที่ 2 กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 1 หน่วยพื้นที่ในผัง ผลการคัดเลือกลำดับการวางแผนกคือ 9-8-6-5-4-3-2-7-1 และวางผังได้ดัง (Figure 9)

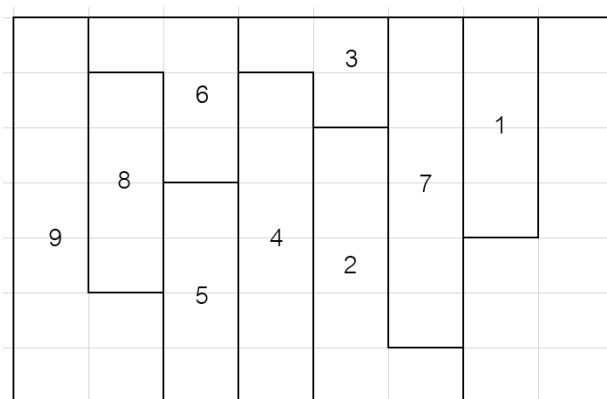


Figure 9 The alternative plant layout#2.

จาก (Figure 9) ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 171 คะแนน แผนกที่มีรูปทรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 4 แผนก คือ แผนกคลังวัตถุดิบ (2) แผนกตัด (3) แผนกเชื่อม (6) และแผนกคลังสินค้า (9)

2.3 ผังโรงงานทางเลือกที่ 3 กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 2 หน่วยพื้นที่ในผัง ผลการคัดเลือกลำดับการวางแผนกใช้แบบเดียวกับผังโรงงานทางเลือกที่ 1 คือ 2-3-4-5-6-7-8-9-1 และวางผังได้ดัง (Figure 10)

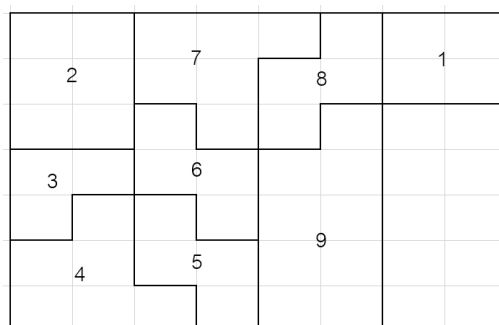


Figure 10 The alternative plant layout#3.

จาก (Figure 10) ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 196 คะแนน แผนกที่มีรูปทรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 7 แผนก คือ แผนกตัด (3) แผนกพับ (4) แผนกบาก (5) แผนกเชื่อม (6) แผนกกัด (7) แผนกขัด (8) และแผนกคลังสินค้า (9)

2.4 ผังโรงงานทางเลือกที่ 4 กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 2 หน่วยพื้นที่ในผัง ผลการคัดเลือกลำดับการวางแผนกใช้แบบเดียวกับผังโรงงานทางเลือกที่ 2 คือ 9-8-6-5-4-3-2-7-1 และวางผังได้ดัง (Figure 11)

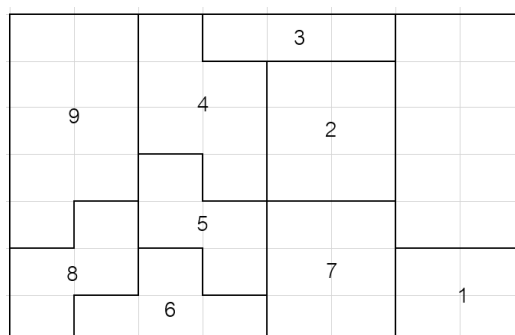


Figure 11 The alternative plant layout#4.

จาก (Figure 11) ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 185 คะแนน แผนกที่มีรูปทรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 4 แผนก คือ แผนกพับ (4) แผนกบาก (5) แผนกเชื่อม (6) และแผนกขัด (8)

2.5 ผังโรงงานทางเลือกที่ 5 กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 3 หน่วยพื้นที่ในผัง ผลการคัดเลือกลำดับการวางแผนกใช้แบบเดียวกับผังโรงงานทางเลือกที่ 1 คือ 2-3-4-5-6-7-8-9-1 และวางผังได้ดัง (Figure 12)

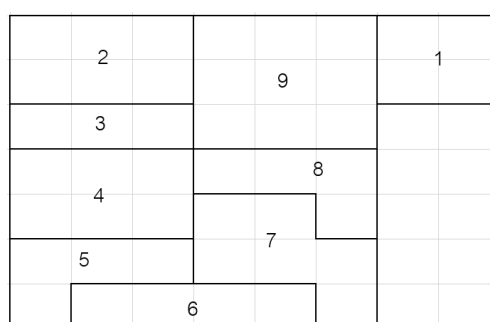


Figure 12 The alternative plant layout#5.

จาก (Figure 12) ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 197 คะแนน แผนกที่มีรูปทรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 3 แผนก คือ แผนกбак (5) แผนกกัด (7) และแผนกขัด (8)

2.6 ผังโรงงานทางเลือกที่ 6 กำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 3 หน่วยพื้นที่ในผัง ผลการคัดเลือกลำดับการวางแผนกใช้แบบเดียวกับผังโรงงานทางเลือกที่ 2 คือ 9 – 8 – 6 – 5 – 4 – 3 – 2 – 7 – 1 และวางผังได้ดัง (Figure 13)

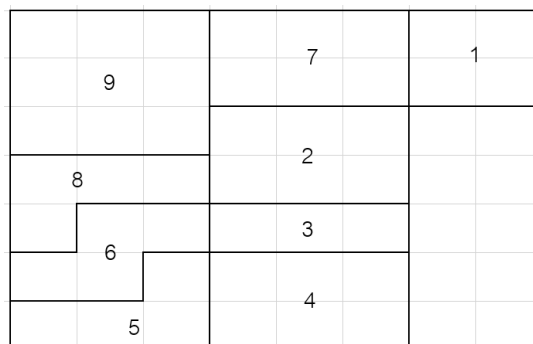


Figure 13 The alternative plant layout#6.

จาก (Figure 13) ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 181 คะแนน แผนกที่มีรูปทรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 3 แผนก คือ แผนกбак (5) แผนกเชื่อม (6) และแผนกขัด (8)

จากผังโรงงานทางเลือกทั้ง 6 ผัง การเลือกผังที่มีค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring มากที่สุดคือผังโรงงานทางเลือกที่ 5 (Figure 12) ซึ่งมีค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring เท่ากับ 197 คะแนน แต่เนื่องจากมีแผนกที่มีรูปทรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 3 แผนก โดยปรับปรุงทรงและขยายพื้นที่บางแผนกได้ผังใหม่ดัง (Figure 14)

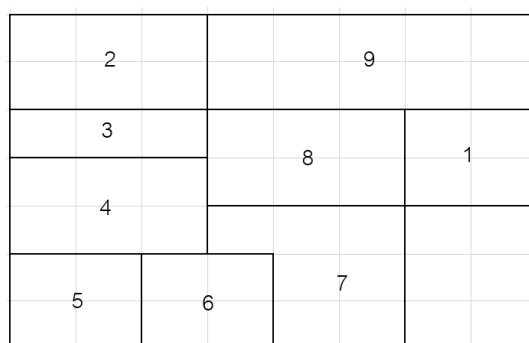


Figure 14 The ALDEP plant layout.

จาก (Figure 14) ผู้วิจัยขยายพื้นที่แผนกกัด (7) เป็น 63 ตารางเมตร หรือ 7 หน่วยพื้นที่ในผัง ขยายพื้นที่แผนกขัด (8) เป็น 54 ตารางเมตร หรือ 6 หน่วยพื้นที่ในผัง และขยายพื้นที่แผนกคลังสินค้า (9) เป็น 90 ตารางเมตร หรือ 10 หน่วยพื้นที่ในผัง ปรับปรุงทรงแล้วเหลือแผนกที่มีรูปทรงไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring ยังคงเท่าเดิมคือเท่ากับ 197 คะแนน โดยมีระยะทางการขนย้ายรวมแบบ rectilinear เท่ากับ 48.50 เมตร และพื้นที่ว่างเปล่าลดลงเหลือเท่ากับ 54 ตารางเมตร หรือ 6 หน่วยพื้นที่ในผัง

3. ผลการเปรียบเทียบและการเลือกผังที่ดีที่สุด

จากผังโรงงานเดิม (Figure 4) ผังที่ปรับปรุงด้วยหลักการวิธีการ (Figure 6) ผังโรงงานที่ปรับปรุงด้วยหลักการ CORELAP (Figure 7) และผังโรงงานที่ปรับปรุงด้วยหลักการ ALDEP (Figure 14) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring ซึ่งเป็นค่าที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแผนกที่อยู่ติดกัน ถ้าค่านี้มีค่าสูงแสดงถึงผังโรงงานมีความเหมาะสม แต่ถ้าค่านี้มีค่าต่ำแสดงถึงผังโรงงานมีความไม่เหมาะสม (Kittidecha et al., 2023) และระยะทางการขนย้ายรวมแบบ rectilinear ได้ดัง (Table 3)

Table 3 The adjacency based scorings and the total rectilinear transport distance.

type of plant layout	the adjacency based scoring (point)	the total rectilinear transport distance (meters)
the current plant layout	101	97.50
the graph-based method plant layout	197	66.00
the CORELAP plant layout	197	60.00
the ALDEP plant layout	197	48.50

จาก (Table 3) พบว่าผังที่ดีที่สุดคือผังโรงงานที่ปรับปรุงด้วยหลักการ ALDEP มีค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring สูงที่สุดเท่ากับผังที่ปรับปรุงด้วยหลักการวิธีการ ผังโรงงานที่ปรับปรุงด้วยหลักการ CORELAP แต่มีระยะทางการขนย้ายรวมแบบ rectilinear สั้นที่สุดคือ 48.50 เมตร น้อยกว่าผังแบบอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับผังโรงงานเดิมพบว่ามีค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring สูงขึ้น 96 คะแนนหรือร้อยละ 95 ระยะทางการขนย้ายรวมแบบ rectilinear ลดลง 49 เมตรหรือร้อยละ 50.30 และเมื่อเปรียบเทียบกับผังโรงงานที่ปรับปรุงด้วยหลักการ CORELAP ที่เคยเสนอแนะไปก่อนหน้านี้ (Kittidecha et al., 2023) พบว่าระยะทางการขนย้ายรวมแบบ rectilinear ลดลง 37.50 เมตรหรือร้อยละ 38.50

ผลการวิจัยโดยภาพรวมพบว่าผังโรงงานที่ปรับปรุงด้วยหลักการ ALDEP ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผังที่สร้างด้วยหลักการวิธีการและหลักการ CORELAP สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kittipanya-ngam et al., (2022) ที่พบว่าหลักการ ALDEP ดีกว่าหลักการ CORELAP เช่นกัน นอกจากนี้สามารถลดระยะทางการขนย้ายวัสดุได้เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Budianto et al., (2020) งานวิจัยของ Suhardini & Rahmawati (2019) และงานวิจัยของ Deshpande et al., (2016) แต่ที่ไม่สอดคล้องคืองานวิจัยของ Tarigan et al., (2019) ที่พบว่าหลักการ CORELAP ดีกว่าหลักการ ALDEP ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดว่าเกิดจากจำนวนผังที่สร้างด้วยหลักการ ALDEP มีจำนวนน้อยเกินไป ลำดับการเลือกแผนกและขนาดความกว้างของการขยายซึ่งมีผลต่อลักษณะผังโรงงานที่สร้างออกมา จึงทำให้ผลของหลักการ CORELAP ดีกว่านั่นเอง จากผังทางเลือกที่ใช้รูปแบบของการกำหนดความกว้างของการขยาย 1 หน่วยและ 3 หน่วยพบว่าได้ผังรูปทรงแผนกเป็นสี่เหลี่ยมค่อนข้างมาก แต่รูปแบบความกว้างของการขยาย 2 หน่วยพบว่าได้ผังรูปทรงแผนกเป็นเหลี่ยมที่มีมุมค่อนข้างเยอะ จำเป็นต้องปรับรูปทรงให้เป็นสี่เหลี่ยม ส่วนรูปแบบการกำหนดลำดับแผนกมีผลทำให้ได้ผังที่มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นผู้จัดทำผังโรงงานด้วยหลักการ ALDEP ควรออกแบบรูปแบบการกำหนดลำดับแผนกให้มีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามไม่ควรสร้างผังทางเลือกเกินกว่า 20 ผัง และผังโรงงานที่ได้เป็นผังในขั้นตอนการวางผังโดยรวม (overall layout) เท่านั้น ในขั้นตอนต่อไปคือขั้นตอนการวางผังโรงงานอย่างละเอียด (detail layout) นั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลทั้งขนาดมิติ ตำแหน่งการวางของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละแผนก รวมทั้งขนาดมิติของวัตถุดิบคือสแตนเลสตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการจัดตำแหน่งที่เหมาะสมต่อไป

สรุป

ในงานวิจัยนี้นำเสนอผังโรงงานทางเลือกใหม่ด้วยหลักการ ALDEP จำนวน 6 ผัง โดยกำหนดความกว้างของการขยายเท่ากับ 1, 2 และ 3 หน่วย และกำหนดลำดับการจัดวางแผนก 2 รูปแบบ พบว่าผังโรงงานที่ปรับปรุงด้วยหลักการ ALDEP ที่ดีที่สุดคือสามารถลดระยะทางการขนย้ายวัสดุเหลือเป็น 48.50 เมตร ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าที่ผังโรงงานเดิมร้อยละ 50.30 ดีกว่าผังโรงงานที่ใช้หลักการวิธีกราฟร้อยละ 26.50 และดีกว่าผังโรงงานที่ใช้หลักการ CORELAP ร้อยละ 19.20 ในส่วนค่าคะแนนรวมความสัมพันธ์ด้วยการประเมินแบบ adjacency based scoring พบว่ามีค่าเท่ากันแต่มีค่ามากกว่าผังโรงงานเดิม การวางผังโรงงานในกรณีศึกษาควรใช้หลักการ ALDEP สามารถเป็นแนวทางให้ผู้ต้องการปรับปรุงผังโรงงานประยุกต์ใช้ต่อไปได้โดยควรเพิ่มรูปแบบของการกำหนดความกว้างของการขยายซึ่งไม่ควรกำหนดความกว้างของการขยายมากเกินไป เพราะจะทำให้ผังรูปทรงของแผนกไม่ได้สัดส่วนที่ดีคือมีระยะแนวนอนมากกว่าระยะแนวตั้งมากเกินไป ส่วนการกำหนดลำดับสามารถกำหนดได้มากกว่า 2 รูปแบบ โดยในการสร้างผังทางเลือกไม่ควรสร้างเกินกว่า 20 ผัง แต่อย่างไรก็ตามโดยถึงแม้ว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าหลักการอื่น ๆ ผังที่ได้รับการคัดเลือกควรนำมาจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น Arena Tecnomatix หรือ Flexsim เป็นต้น เพื่อเป็นการยืนยันผลลัพธ์ได้ดีและถูกต้องยิ่งขึ้นก่อนที่จะดำเนินการปรับปรุงผังโรงงานจริงต่อไป

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนข้อมูลจากโรงงานผลิตเครื่องครัวสแตนเลสแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- Aupata, L. (2015). *Plant layout and design of T.T.N. stainless limited* [Master's Thesis]. <https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/11460?attempt=2&> (in Thai)
- Budianto, F., Halim, J., & Sembiring, A. C. (2020). Redesigning furniture production floors using systematic layout planning and ALDEP method to minimize material handling costs. *Proceedings of the 2020 3rd International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology (MECnIT)* (pp. 84-90). Sumatera Utara: IEEE. <https://doi.org/10.1109/MECnIT48290.2020.9166613>
- Deshpande, V., Patil, N. D., Baviskar, V., & Gandhi, J. (2016). Plant layout optimization using CRAFT and ALDEP methodology. *Productivity Journal by National Productivity Council*, 57(1), 32-42. <https://www.npcindia.gov.in/NPC/Files/ProductivityJournal/Vol%2057%20%20No%201%20April-June%202016.pdf>
- Kittidecha, C., Saramath, S., & Narapinij, P., (2023). Plant layout improvement of the stainless-steel cookware manufacturing using CORELAP and graph-based method. *RMUTSB Academic Journal*, 11(1), 110-122. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/257060/176485> (in Thai)
- Kittipanya-ngam, P., Sitthibrun, S., & Sirikasemsuk, K. (2022). Comparison of plant layout using CORELAP, ALDEP and SLP methodology: Case study of printed circuit board manufacturing plant. *Ladkrabang Engineering Journal*, 39(4), 121-137. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/article/view/248097/170104> (in Thai)
- Klomjit, P. (2012). *Industrial plant design for safety and productivity*. Bangkok: SE-Education PCL. (in Thai)
- Niamchuen, P. (2022). *Design of production planning system in pharmaceutical factory* [Master's Thesis]. <https://digital.car.chula.ac.th/cgi/viewcontent.cgi?article=7603&context=chulaetd> (in Thai)

- Nur Incea, M. & Tasdemir, C. (2024). Facility layout planning through the ALDEP method in the wooden cable reels industry. *Turkish Journal of Forestry*, 25(1), 71-80. <http://dx.doi.org/10.18182/tjf.1339018>
- Pathumnakul, S., Chamnanhlaw, C., & Chaikanha, N. (2003). A heuristic for facility layout problem with unidirectional flow path. *KKU Engineering Journal*, 30(4), 337-353. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/view/6595/8322> (in Thai)
- Schiffauerova, A. (2013). *Facilities design and material handling systems*. [https://users.encs.concordia.ca/~andrea/indu421/Presentation%2011%20\(Layout%20IV\).pdf](https://users.encs.concordia.ca/~andrea/indu421/Presentation%2011%20(Layout%20IV).pdf)
- Suhardini, D., & Rahmawati, S. D. (2019). Design and improvement layout of a production floor using automated layout design program (ALDEP) and CRAFT algorithm at CV. Aji Jaya Mandiri. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 528, 012062. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/528/1/012062>
- Tarigan, U., Simbolon, R., Sembiring, M. T., Tarigan, U. P. P., Sembiring, N., & Tarigan, I. R. (2019). Redesign and simulation of gripper rubber seal production facility layout using CORELAP, ALDEP and FLEXSIM algorithms. *Journal of Industrial Engineering Systems*, 21(1), 74-84. <https://talenta.usu.ac.id/jsti/article/view/905/541> (in Indonesian)