การออกแบบแผนผังโรงงานกล่องกระดาษลูกฟูก สำหรับปัญหาความต้องการที่ไม่แน่นอน

วทัญญู แสนโภชน์ ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์[*1]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถห้วยแก้ว . อเมือง. จเชียงใหม่. 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการออกแบบแผนผังโรงงานเพื่อลดระยะทางการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ระหว่างแผนกโดยรวม ภายใต้สภาวะที่ความต้องการของสินค้านั้นมีความไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกเป็นโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตค่อนข้างยืดหยุ่นตามความต้องการของลูกค้า อีกทั้งความต้องการสินค้ามีลักษณะที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนผังโรงงานอยู่หลายครั้งในหนึ่งปี โดยงานวิจัยนี้นำเอาวิธีการคำนวณแบบ ซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง (Simulated Annealing) ร่วมกับหลักการออกแบบแผนผังโรงงานแบบโรบัส (Robust Layout) มาทำการหาแผนผังโรงงานที่เหมาะสมเพียงผังเดียว เพื่อรองรับความต้องการของสินค้าที่มีความไม่แน่นอน โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง และจัดทำข้อมูลให้อยู่ในรูปของแผนภูมิจาก-ไปในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นทำการหาคำตอบโดยโปรแกรมออกแบบผังโรงงานที่ใช้หลักการซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่งในการคำนวณ และทำการประเมินความเหมาะสมของผังโรงงานหลังปรับปรุงโดยหลักการออกแบบผังโรงงานแบบโรบัส ซึ่งผังโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ปรับปรุงจากงานวิจัยนี้ ให้ค่าต้นทุนความสูญเสียโดยรวม (Total Penalty Cost, TPC) อยู่ที่ร้อยละ 0.76 แสดงว่ามีความเหมาะสมในการนำผังโรงงานนี้ไปปรับใช้จริง และสามารถลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยรวมของโรงงานกรณีศึกษา จาก 5,343,338 เมตร เหลือ 4,089,541 เมตร ซึ่งทำให้ระยะทางรวมลดลง 1,253,798 เมตรต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 23.46

คำสำคัญ: การออกแบบแผนผังโรงงาน, ซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง, ออกแบบแผนผังโรงงานแบบโรบัส, ปัญหาความต้องการที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา

* Corresponding author. E-mail: chompoonoot.kasemset@cmu.ac.th
[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Corrugated Package Plant Layout Design for the Problem of Uncertain Demand

Watunyou Sanpote Chompoonoot Kasemset *1

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

239 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai 50200

Abstract

This research aimed to design a plant layout for reducing the total transportation distance of material handling under an uncertain demand environment. A corrugated package factory was selected as a case study. Corrugated packaging requires a flexible production process since the product demand is uncertain during a year. Currently, the factory needs to re-layout the plant many times during a year to handle the uncertain demand. The Simulated Annealing (SA) algorithm and robust layout design concept were applied to find a single plant layout without re-locations during a year. Beginning with data collection, related data were used to develop a From-To Chart for each time period. Then, SA was applied to find a practical plant layout and this layout was evaluated again based on the robust plant design concept. The improved plant layout gave a total penalty cost (TPC) of 0.76% confirming that this layout was practical for the implementation. Finally, the results showed that the total transportation distance can be reduced from 5,343,338 meters per year to 4,089,541 meters per year which is a 1,253,798 meter per year reduction or a 23.46% improvement.

Keywords: Plant Layout Design, Simulated Annealing, Robust Layout Concept, Uncertain Demand Problem

* Corresponding author. E-mail: chompoonoot.kasemset@cmu.ac.th

[1] Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

1. บทนำ

การวางผังโรงงานเป็นกิจกรรมที่สำคัญ หากโรงงานมีการจัดวางผังโรงงานอย่างเหมาะสม จะช่วยลดต้นทุนได้ถึงร้อยละ 20–50 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด โรงงานกรณีศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้เป็นโรงงานที่ทำการผลิตบรรจุภัณฑ์จากกระดาษลูกฟูก ซึ่งผลิตภัณฑ์ของโรงงานมีหลากหลายรูปแบบ และมีลักษณะการผลิตตามรายการสั่งซื้อของลูกค้า (Make to Order) การวางผังโรงงานมีการจัดวางตำแหน่งเครื่องจักรตามกระบวนการผลิต (Process Layout) ปัจจุบันคำสั่งซื้อของลูกค้ามีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ทำให้โรงงานต้องปรับเปลี่ยนผังโรงงานในแต่ละช่วงเวลาที่มีรายการคำสั่งซื้อของลูกค้าที่ต่างกันไป ตัวอย่างปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าหลักแต่ละไตรมาสแสดงดังตารางที่1

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์หลักตัวอย่างรายไตรมาสของโรงงานกรณีศึกษา (หน่วย: ล้านชิ้น)

ประเภทสินคา	ไตรมาส 1	ไตรมาส 2	ไตรมาส 3	ไตรมาส 4
กล่องทั่วไป	3.05	3.03	5.27	4.05
กล่องไดคัท	2.81	2.69	1.54	1.42
แผ่นลูกฟูก	0.47	0.33	0.29	0.22

จากตารางที่ 1 จะพบว่า หากพิจารณาผลิตภัณฑ์หลักที่ยกตัวอย่างมา สัดส่วนการผลิตในแต่ละไตรมาสจะมีความแตกต่างกัน โดยไตรมาสที่ 1 และ 2 สัดส่วนการผลิตจะไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากไตรมาสที่ 3 และ 4 ซึ่งปริมาณกล่องทั่วไปจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับไตรมาสที่ 1 และ 2

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการออกแบบผังโรงงานที่เหมาะสมสำหรับโรงงานกรณีศึกษา โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง (Simulated Annealing, SA) ร่วมกับหลักการออกแบบแผนผังโรงงานแบบโรบัส (Robust Plant Layout) ซึ่งเป็นหลักการหนึ่งในการหาผังโรงงานแบบพลวัต (Dynamic Layout Problem) เพื่อให้ได้แผนผังที่เหมาะสมเพียงผังเดียว สำหรับรองรับความต้องการของสินค้าที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา และลดระยะทางการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์โดยรวม

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบวางผังโรงงานถือเป็นปัญหาหนึ่งที่มีผู้วิจัยให้ความสนใจค่อนข้างมาก การออกแบบผังโรงงานที่เหมาะสมนั้นจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ได้โดยเทคนิคการแก้ไขปัญหาการออกแบบผังโรงงาน สามารถจำแนกได้ 2 วิธี ตามลักษณะข้อมูลที่นำมาใช้ในการพิจารณา วิธีแรกคือ การวางผังโดยใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดย [5] ได้อธิบายวิธีการออกแบบโดยใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ ตามหลักการวางผังอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning ,SLP) แต่ข้อมูลเชิงคุณภาพนั้นมีข้อเสียคือ เป็นข้อมูลที่เกิดจากการประเมินของผู้ออกแบบผังโรงงาน จึงอาจเกิดการคลาดเคลื่อนได้ การวางผังอีกวิธี ได้แก่ การวางผังโดยใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ คือการวางผังโรงงานโดยใช้ข้อมูลปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ระหว่างแผนก เช่น ปริมาณการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ปัญหาดังกล่าวจัดเป็นปัญหาประเภท NP-Hard มีความยากในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงได้มีงานวิจัยต่างๆพยายามทำการคิดค้นรูปแบบการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดอยู่หลายวิธี การจำลองการอบอ่อนหรือวิธีซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ โดย [4] ได้อธิบายถึงหลักการของวิธีซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง ว่าเป็นการแก้ไขปัญหาโดยจำลองมาจากกระบวนการให้ความร้อนแก่โลหะเพื่อให้อ่อนตัว และทำการลดอุณหภูมิของสารนั้นอย่างช้าๆจนถึงจุดเยือกแข็ง การค้นหาคำตอบแบบซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง เป็นวิธีค้นหาคำตอบได้ดีในปัญหาที่ซับซ้อน โดย [4] ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวางผังโรงงานซึ่งสามารถค้นหาคำตอบได้สองแบบ คือ คราฟท์ (Craft) และซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง และจากการนำไปทดลองแก้ปัญหาพบว่า วิธีซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าคราฟท์

งานวิจัยโดยส่วนใหญ่ จะพิจารณาการออกแบบผังโรงงานที่มีลักษณะความต้องการผลิตภัณฑ์ที่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา หรือเป็นการออกแบบวางผังโรงงานแบบสถิต (Static Layout Problem) แต่ในความเป็นจริงแล้ว โรงงานส่วนใหญ่มีความต้องการในการผลิตที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งเกิดจากปริมาณการสั่งซื้อจากลูกค้าที่มีความไม่แน่นอน หรือวัตถุดิบที่ใช้เป็นสินค้าที่มีตามฤดูกาล เป็นต้น ซึ่ง [1] การออกแบบวางผังโรงงานแบบพลวัต (Dynamic Layout Problem) เป็นหลักการออกแบบวางผังโรงงานที่เหมาะสมในแต่ละช่วงระยะเวลา เมื่อลักษณะความต้องการ

ไม่คงที่และเปลี่ยนแปลงตามแต่ช่วงเวลา (Uncertain Demand)

ปัจจุบันมีการทำวิจัยหลายฉบับ เพื่อหาเทคนิคการวางผังโรงงานให้สามารถรองรับปัญหาการวางผังโรงงานแบบพลวัต โดย [2] ได้แยกประเภทของการวางผังแบบพลวัตไว้ 2 แบบ อย่างแรกคือการวางผังโรงงานแบบยืดหยุ่น (Flexible Layout) ซึ่งการวางผังโรงงานแบบนี้เหมาะสมกับโรงงานที่มีความต้องการที่เปลี่ยนแปลงตามแต่ละช่วงเวลา สามารถเปลี่ยนแปลงผังโรงงานได้ง่าย และมีต้นทุนการเปลี่ยนแปลงผังโรงงานที่ต่ำ อีกประเภทคือ การวางผังโรงงานแบบโรบัส คือการวางผังที่เหมาะสมที่สุดผังเดียวภายใต้ความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละช่วงเวลา ซึ่งการวางผังโรงงานแบบนี้เหมาะสมกับโรงงานที่มีความต้องการที่เปลี่ยนแปลงตามแต่ละช่วงเวลา แต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงผังโรงงานในแต่ละช่วงเวลาได้ รวมถึงมีต้นทุนการเปลี่ยนแปลงผังโรงงานที่สูง งานวิจัย [3] ได้อธิบายวิธีพิจารณาความเหมาะสมของผังโรงงานที่เหมาะสมภายใต้ความต้องการที่ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลาขึ้น โดยทำการวางผังโรงงานด้วยวิธี ซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง และพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานภายใต้ความต้องการที่ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ร้อยละความแตกต่างของต้นทุนการเคลื่อนที่ของวัสดุของผังโรงงานแบบโรบัส กับผังโรงงานที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา หรือ TPC (Total Penalty Cost) โดยผังที่เหมาะสมต้องมีค่า TPC ไม่เกินร้อยละ 15 นอกจากนี้ [6] ยังได้ประยุกต์ค่า TPC มาใช้ในการวางผังโรงงานแบบโรบัสโดยใช้ข้อมูลความต้องการของผลิตภัณฑ์ผ่านการคาดคะเน 2 แบบ คือ จากการพยากรณ์ และจากการกระจายตัวของข้อมูล โดยทำการออกแบบผังโรงงานจากข้อมูลทั้ง 2 แบบด้วยโปรแกรม VIPPLANOPT 2006 โดยทำการเปรียบเทียบผลผ่านกรณีศึกษาที่มีช่วงเวลา จำนวนแผนก และรูปแบบความต้องการที่ต่างกัน

จากการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย มีลักษณะการผลิตที่ยืดหยุ่น ลักษณะความต้องการไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลา อีกทั้งเครื่องจักรของโรงงานส่วนใหญ่นั้นมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายได้ยาก ดังนั้นวิธีการออกแบบวางผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุดแผนผังเดียวภายใต้ความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละช่วงเวลา หรือการวางผังโรงงานแบบโรบัส ร่วมกับการออกแบบตำแหน่งของแผนกโดยโปรแกรมที่คำนวณตามวิธีซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่ผลิตภัณฑ์ที่น้อยที่สุด เป็นวิธีวิจัยที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัยนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 ศึกษาปัญหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1.1 ศึกษา และเก็บข้อมูลในด้านลักษณะพื้นที่ของโรงงานกรณีศึกษา ทั้งขนาดพื้นที่แต่ละแผนก ระยะทางระหว่างแผนก โดยการวัดระยะจริงและแสดงในรูปแบบของแผนผังโรงงาน

3.1.2 ศึกษา และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลความถี่การเคลื่อนที่ระหว่างแผนกของผลิตภัณฑ์แต่ละรูปแบบในแต่ละช่วงเวลา ให้อยู่ในรูปแบบของแผนภูมิจาก-ไป (From-To Chart)

3.2 สร้างโปรแกรมสำหรับการออกแบบวางผังโรงงานโดยใช้หลักการ ซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง

สร้างโปรแกรมสำหรับการออกแบบแผนผังโรงงานโดยประยุกต์ใช้หลักการจาก [4] ซึ่งเป็นการใช้วิธีซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง ในการหาคำตอบ โดยมีขั้นตอนการหาคำตอบดังรูปที่ 1 โดยแต่ละรอบของการค้นหานั้น โปรแกรมจะทำการสุ่มสลับแผนก 2 แผนกในผังโรงงาน โดยโปรแกรมจะเลือกแผนกที่ติดกัน หรือมีพื้นที่เท่ากันในการสลับ จากนั้นนำระยะทางการเคลื่อนที่โดยรวมของผังที่ทำการสลับในรอบนั้นๆ (คำนวณได้ดังสมการที่(1)) มาประเมินตามขั้นตอนดังรูปที่ 1 โดยโปรแกรมจะทำการสุ่มสลับแผนกไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าอุณหภูมิ (T_i) จะมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิสุดท้าย (T) จึงจะหยุดการทำงาน และนำคำตอบที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบ

$$\text{Distance} = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{n} L_{ij} S_{ij} \qquad (1)$$

โดยที่ Distance = ระยะทางในการขนย้ายวัสดุโดยรวม

L_{ij} = จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างแผนก i กับ j

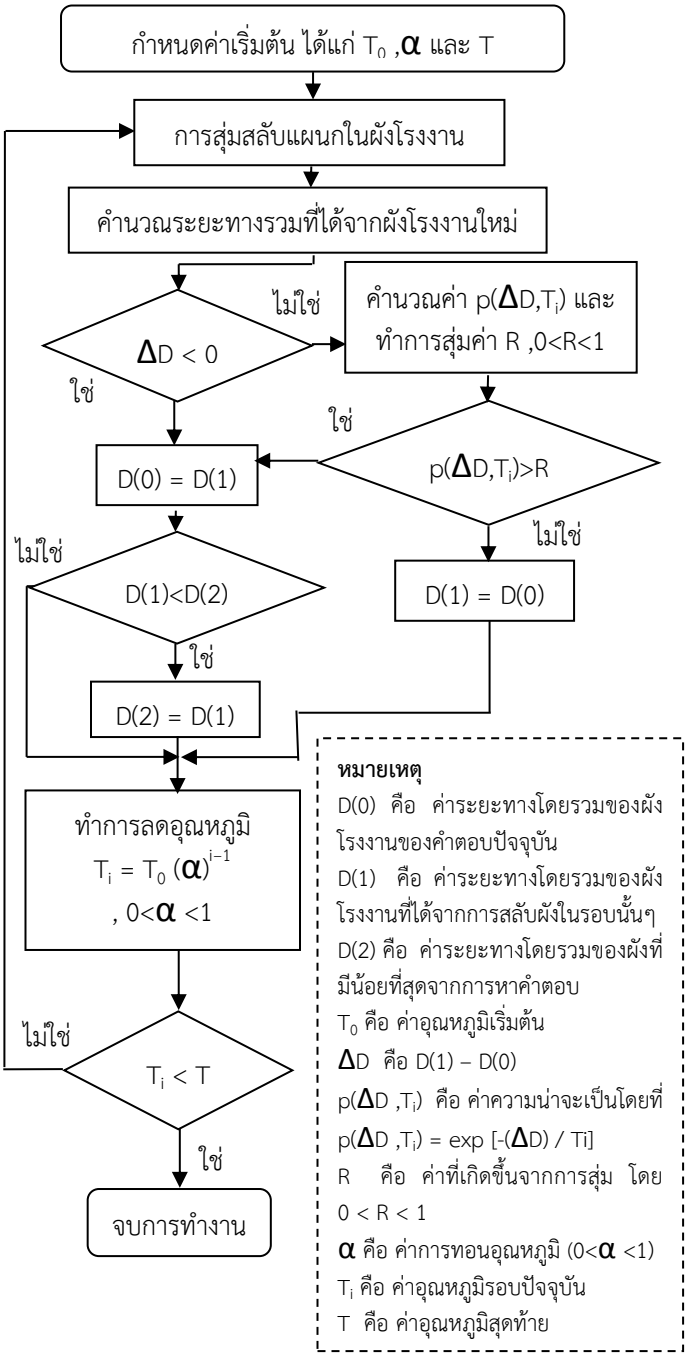
S_{ij} = ระยะทางแบบมุมฉากระหว่างแผนก i กับ j

N = จำนวนแผนกทั้งหมด

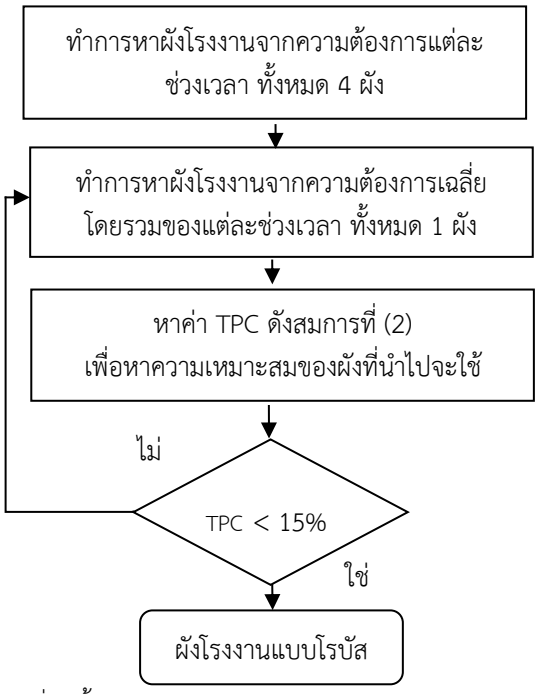
3.3 ออกแบบแผนผังโรงงานเบื้องต้นจากโปรแกรม และทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของผังตามหลักการประเมินแผนผังแบบโรบัส

ทำการออกแบบพัฒนาผังโรงงานกรณีศึกษา จากโปรแกรมที่สร้างในขั้นตอน 3.2 โดยผังโรงงานที่ทำการออกแบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ แผนผังโรงงานที่เหมาะสมของแต่ละไตรมาส จำนวนทั้งหมด 4 ผัง (Optimal Layout) โดยนำข้อมูลแผนภูมิจาก-ไปของแต่ละไตรมาสมาคำนวณโดยโปรแกรมที่สร้างในขั้นตอน 3.2 และส่วนที่ 2 คือ ผังโรงงานจะนำมาใช้เป็นผังโรงงานจริง

(Robust Layout) จำนวน 1 ผังโรงงาน โดยนำข้อมูลแผนภูมิจาก-ไปเฉลี่ยของแต่ละไตรมาสมาคำนวณโดยโปรแกรม จากนั้นนำผังทั้ง 2 ส่วนมาทำการประเมินความเหมาะสมตามหลักการออกแบบแผนผังโรงงานแบบโรบัส โดยแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ขั้นตอนแก้ปัญหาวางผังโรงงาน โดยวิธีซิมมูเลดเต็ดอะเนลลิ่ง



รูปที่ 2 ขั้นตอนประเมินความเหมาะสมของผังด้วยวิธีโรบัส

$$TPC = \frac{\sum_{t=1}^{m} D_t^{Robust} - \sum_{t=1}^{m} D_t^{Optimal}}{\sum_{t=1}^{m} D_t^{Robust}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ TPC = Total Penalty Cost

D_t^{Robust} = ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยรวมผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ย ณ ช่วงเวลา t

$D_t^{Optimal}$ = ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยรวมผังโรงงานที่เหมาะสมแต่ละช่วงเวลา t

m = ช่วงเวลาทั้งหมด

โดยหากค่า TPC ที่ได้ ดังสมการที่ 2 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 15 แสดงว่าผังโรงงานที่ได้จากช่วงเวลาเฉลี่ยนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในสภาวะที่ความต้องการของแต่ละช่วงเวลามีความไม่แน่นอน

3.4 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการจัดวางจริงของแผนผังโรงงานที่ทำการออกแบบได้

นำแผนผังโรงงานที่เหมาะสมจากช่วงเวลาเฉลี่ยที่ออกแบบได้จากขั้นตอนที่ 3.3 มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการจัดวางจริง โดยทำการศึกษาจากพื้นที่จริง และการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญในโรงงานว่าแผนผังโรงงานที่ออกแบบมานั้นสามารถจัดวางตามตำแหน่งนั้นๆได้จริง

หรือไม่ ถ้าไม่ต้องทำการปรับปรุงตำแหน่งอย่างไร และทำการแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบแผนผังโรงงานโดยละเอียด

3.5 ประเมินประสิทธิภาพของผังโรงงานออกแบบเปรียบเทียบกับผังโรงงานเดิม

ทำการประเมินเปรียบเทียบ ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยรวมระหว่างผังโรงงานเดิมกับผังที่ทำการปรับปรุง

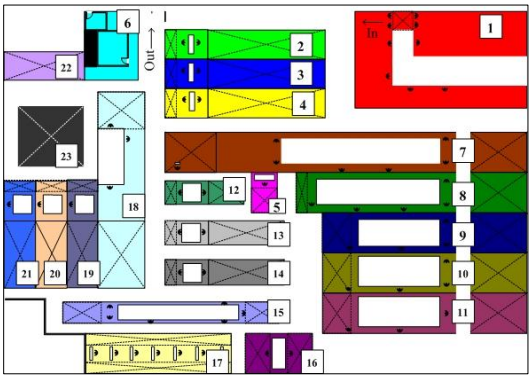
4. ผลการดำเนินการ

4.1 เก็บข้อมูล และศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับสภาพผังโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบัน

จากการศึกษาสภาพผังก่อนปรับปรุงของโรงงานกรณีศึกษา สามารถแสดงผลการเก็บข้อมูลได้ ดังนี้

4.1.1 รูปแบบผังโรงงานกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูล และวัดพื้นที่จริงในโรงงาน พบว่า รูปแบบผังโรงงานกรณีศึกษาก่อนปรับปรุงนั้นมีการจัดผังตามกระบวนการผลิต ประกอบด้วย 23 แผนก แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังโรงงานกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง

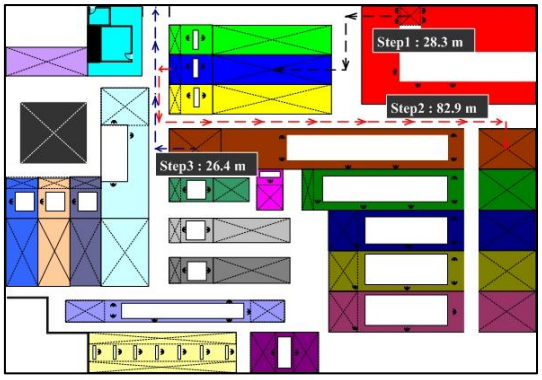
โดยรายละเอียดของแต่ละแผนกตามหมายเลขมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- ส่วนรับงานกระดาษลูกฟูก (หมายเลขที่ 1) ทำหน้าที่รับงานจากเครื่องขึ้นรูปกระดาษลูกฟูก
- แผนกตัด และทับรอยกระดาษ (หมายเลขที่ 2-4) ทำหน้าที่ตัดกระดาษ และทับรอยตามขนาดที่ต้องการโดยมี 3 เครื่องที่มีคุณลักษณะต่างกัน
- แผนกพิมพ์ลาย (หมายเลขที่ 7-11) ทำหน้าที่พิมพ์ลวดลายของบรรจุภัณฑ์ตามคำสั่งของลูกค้า มีทั้งหมด 5 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องมีคุณสมบัติ และจำนวนสีที่พิมพ์ได้แตกต่างกัน
- แผนกสับร่องกระดาษ (หมายเลขที่ 5) ทำหน้าที่ตัดเพื่อทำร่องสำหรับฝาพับ
- แผนกเจาะรู (หมายเลขที่ 16) ทำหน้าที่เจาะรูสำหรับมือจับ หรือระบายอากาศ
- แผนกประกบกล่อง (หมายเลขที่ 12, 13, 14, 15, 17, 22) ทำหน้าที่ประกบกล่องให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการโดยสามารถทำการประกบได้ 2 ประเภท คือ ทากาว และเย็บลวด โดยมีทั้งแบบ อัตโนมัติ กึ่งอัตโนมัติ และประกบด้วยแรงงานคน
- แผนกปั๊มไดคัท (หมายเลขที่ 18-21) ทำหน้าที่ปั๊มชิ้นงานไดคัท ประกอบไปด้วยเครื่องจักร 4 เครื่องทั้งแบบกึ่งอัตโนมัติ และแบบอัตโนมัติ
- แผนกงานทำมือ (หมายเลขที่ 23) เป็นส่วนงานที่ใช้ฝีมือคนในการทำกิจกรรม เช่น ห่อกระดาษ ขึ้นรูป เป็นต้น
- ส่วนสำนักงานฝ่ายผลิต (หมายเลข 6) เป็นห้องสำนักงาน ไม่สามารถย้ายตำแหน่งได้

จากรายละเอียดของผังโรงงานก่อนปรับปรุงเมื่อพิจารณา พบว่า แผนกที่ 1 และ 6 เป็นส่วนของเครื่องจักรขนาดใหญ่ และเป็นส่วนของสำนักงานการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะไม่พิจารณาเคลื่อนย้ายสองแผนกนี้

4.1.2 ศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูก

ในขั้นตอนดังกล่าว จะทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนครั้งการเคลื่อนที่ระหว่างแผนก และระยะทางการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ระหว่างแผนก เริ่มตั้งแต่การศึกษาเส้นทางการไหลระหว่างแผนกจริงโดยแสดงได้ดังตัวอย่าง ในรูปที่ 4 แสดงการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกของกล่องฝาพับชนแบบทากาวพิมพ์ลาย 3 สี ซึ่งจะทำการวัดระยะทางจากพื้นที่วางงานที่ผลิตเสร็จของแผนกหนึ่ง ไปยังพื้นที่รับงานรอผลิตของแผนกถัดไป จนกระทั่งผลิตภัณฑ์ออกจากสายการผลิต โดยหน่วยการเคลื่อนที่คือ 1 พาเลทต่อครั้ง



รูปที่ 4 แผนภาพขั้นตอน และเส้นทางการเคลื่อนที่ของกระบวนการผลิตกล่องฝาพับชนแบบทากาว มีพิมพ์ 3 สี

จากตัวอย่างดังรูปที่ 4 ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกระหว่างแผนกในโรงงานและสรุประยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกให้อยู่ในรูปของแผนภูมิจาก-ไป โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 1 ไตรมาส และจัดทำแผนภูมิจาก-ไปของปริมาณการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกโดยเฉลี่ยของทุกช่วงเวลาที่ทำการศึกษาอีก 1 แผนภูมิ ซึ่งจากข้อมูลแผนภูมิจาก-ไปในแต่ละไตรมาสพบว่าโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบันมีระยะทางการเคลื่อนที่โดยรวมในแต่ละไตรมาสอยู่ที่ 1,330,168 เมตร 1,422,344 เมตร 1,476,652 เมตร และ 1,114,175 เมตร ตามลำดับ มีระยะทางรวมตลอดทั้งปีคือ 5,343,338 เมตร และพบว่าระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ยตลอดช่วงเวลาของโรงงานกรณีศึกษาอยู่ที่ 1,335,835 เมตร โดยสามารถแสดงตัวอย่างแผนภูมิจาก-ไปของปริมาณเฉลี่ยของทุกช่วงเวลาได้ดัง ตารางที่ 2

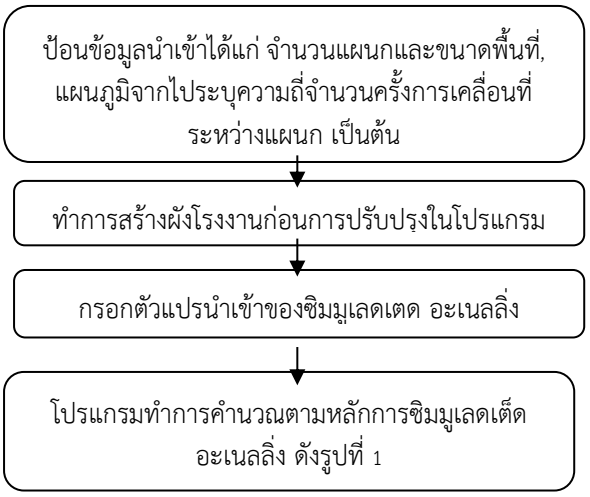
ตารางที่ 2 แผนภูมิจาก-ไป แสดงระยะทางรวมของการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกของผังโรงงานเฉลี่ยทุกช่วงเวลา (เมตร)

จาก/ไป	1	2	3	4	9	10	8	7	5	12	22	15	13	14	17	16	20	21	18	19	23	Out	รวม
แผนกที่ 1		88,632	47,225	56,030	19,479	18,365	6,099	8,256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,476	893	267,454
แผนกที่ 2	-		149	-	56,671	66,212	98,155	56,549	23	-	-	-	-	-	-	-	1,381	1,517	116	11	-	770	281,553
แผนกที่ 3	-	-		19	56,500	21,724	10,126	24,660	124	-	16	-	-	-	-	-	1,140	1,275	95	-	7	1,348	117,031
แผนกที่ 4	-	-	-		64,427	6,484	4,373	62	-	-	-	-	-	-	-	-	4,191	4,690	11,798	1,011	-	1,227	98,263
แผนกที่ 9	-	-	-	-		-	-	-	632	6,564	617	9,272	7	10	12,925	8,260	2,891	3,194	11,275	26,862	3,337	3,651	89,497
แผนกที่ 10	-	-	-	-	-		-	-	140	3,256	-	1,714	-	-	9,370	3,496	294	338	12,529	906	-	19,564	51,606
แผนกที่ 8	-	-	-	-	-	-		-	-	390	-	4,224	3,225	4,578	17,598	10,845	192	205	3,042	108	-	-	44,404
แผนกที่ 7	-	-	-	-	-	-	-		-	107	-	326	-	-	343	531	-	-	-	-	-	34,936	36,243
แผนกที่ 5	-	-	-	-	-	-	-	-		55	-	-	-	-	283	-	-	-	-	-	28	1,496	1,862
แผนกที่ 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	80	-	-	690	-	-	-	-	-	4,285	16,535	21,589
แผนกที่ 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	1,008	-	-	-	-	-	596	10,004	11,608
แผนกที่ 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,429	43,429
แผนกที่ 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	8,113	8,113
แผนกที่ 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	9,469	9,469
แผนกที่ 17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	119,463	119,463
แผนกที่ 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,077	-	126	-	-	11,518		-	-	-	-	1,621	-	19,342
แผนกที่ 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47.5	-	-	-	-	-		-	-	4	1,661	143	1,856
แผนกที่ 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-	-		-	10	2,713	183	2,960
แผนกที่ 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	13,875	3,681	17,556
แผนกที่ 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		8,265	610	8,875
แผนกที่ 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,022	5,712	-	-	-	-	-	-	-	-		73,928	83,662
Out	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
รวม	-	88,632	47,373	56,049	197,077	112,784	118,753	89,526	919	16,450	4,755	21,453	3,231	4,587	53,733	23,132	10,089	11,218	38,854	28,912	58,864	349,443	1,335,835

4.2 สร้างโปรแกรมออกแบบปรับปรุงผังโรงงานแบบซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง และวิเคราะห์ความถูกต้องของโปรแกรม

ทำการสร้างโปรแกรมวางผังโรงงานโดยทำการพัฒนาโปรแกรมที่นำเสนอในงานวิจัย [7] ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบผังโรงงานโดยใช้วิธีการคำนวณด้วยฮิวริสติกแบบคราฟท์ โดยใช้หลักการของวิธีซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง มาพัฒนาการหาคำตอบ โดยทำการพัฒนาโปรแกรมคำนวณด้วยภาษา Visual Basic for Application (VBA) ซึ่งโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้นนั้น มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 5

จากนั้นจึงทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ [4] ซึ่งเปรียบเทียบ 3 กรณีศึกษาด้วยกัน และใช้ตัวแปรนำเข้าเท่ากับกรณีศึกษา จากผลพบว่าคำตอบมีค่าเท่ากันกับ [4] ในกรณีที่ 1 และ 2 และมีค่าที่ดีกว่าในกรณีที่ 3 จึงสรุปได้ว่าโปรแกรมที่ทางผู้วิจัยสร้างมีความถูกต้องสามารถการนำไปใช้ออกแบบผังโรงงานในขั้นตอนต่อไปได้ ซึ่งเหตุที่ได้คำตอบไม่เท่ากับ [4] ในกรณีที่ 3 เนื่องจากภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม รวมถึงโปรแกรมที่นำมาพัฒนานั้นแตกต่างกัน คำตอบที่ได้จึงไม่เท่ากัน



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบผังโรงงาน

4.3 ทำการปรับปรุงแผนผังโรงงานของโรงงานกรณีศึกษาโดยโปรแกรมออกแบบแผนผังโรงงาน

นำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาทำการออกแบบผังโรงงานให้กับโรงงานกรณีศึกษา และพิจารณาความเหมาะสมของผังโรงงานที่ออกแบบตามหลักการประเมินแผนผังแบบโรบัส โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.3.1 ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมโดยอ้างอิงจากคำแนะนำของงานวิจัยที่ได้ศึกษาและได้นำมาทดลองใช้กับผังโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกผังของช่วงเวลาเฉลี่ยมาใช้ในการทดลองหาค่า ผลการทดลองการหาค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า เมื่อค่าอุณหภูมิเริ่มต้นมีค่าน้อย คำตอบที่ได้มีแนวโน้มที่จะลดลง จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลที่ได้จากการตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นต่างๆ โดยให้ค่าการลดอุณหภูมิ และ ค่าอุณหภูมิสุดท้ายมีค่าคงที่ เท่ากับ 0.99 และ 0.1 ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ Z_0 x 0.00039 ดังนั้นจากการศึกษาพบว่าค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาโรงงานกรณีศึกษานี้ คือ อุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ Z_0 x 0.00039, ค่าการลดอุณหภูมิ เท่ากับ 0.99 และค่าอุณหภูมิสุดท้าย เท่ากับ 0.1 ซึ่งค่าดังกล่าว ผู้วิจัยจะนำไปใช้ในการค้นหาคำตอบปรับปรุงแผนผังโรงงานในแต่ละช่วงเวลาไตรมาสที่ 1-4 และผังโรงงานเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 ระยะทางการเคลื่อนที่ (ล้านเมตร) ที่ได้ จากการตั้งค่าตัวแปรนำเข้า α และ T_0 ที่ต่างกัน โดย T คงที่ที่ 0.1

α \ T_0	Z_0x0.025	Z_0x0.05	Z_0x0.1	Z_0x1
0.80	1.08	1.07	1.08	1.08
0.90	1.04	1.03	1.03	1.04
0.99	0.96	0.97	0.99	1.00

4.3.2 ทำการออกแบบตำแหน่งที่ตั้งของแผนกต่างๆ ในแผนผังโรงงานจากโปรแกรมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 4.2 โดยผู้วิจัยต้องทำการป้อนข้อมูลเบื้องต้นของผังโรงงานดังที่ศึกษาในขั้นตอนที่ 4.1 และทำการป้อนรูปแบบผังโรงงานก่อนปรับปรุงในโปรแกรมก่อนโดยสามารถแสดงผังก่อนปรับปรุงที่ทำการป้อนเข้าไปในโปรแกรมได้ดังรูปที่ 6 จากรูปดังกล่าว คอลัมน์ และแถวในตาราง แทนความกว้างและยาวของผังโรงงานตามลำดับ ตัวเลขแต่ละตัวในตารางแทนแผนกแต่ละแผนก โดยอ้างอิงตำแหน่งจากผังโรงงานรูปที่ 3 (โดยเพิ่มเติมหมายเขที่ 23, 25, 26 แทนพื้นที่ว่างในโรงงาน)

รูปที่ 6 ผังโรงงานก่อนปรับปรุงที่ทำการกรอกในโปรแกรมออกแบบผังโรงงาน

หลังจากการป้อนข้อมูลผังโรงงานในโปรแกรมแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแผนผังโรงงาน โดยกำหนดค่าตัวแปรนำเข้าในการหาคำตอบด้วยวิธีซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง ดังผลที่ได้ในข้อ 4.3.1 จากนั้นจึงทำออกแบบผังโรงงานด้วยโปรแกรม โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบผังโรงงานอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ผังโรงงานที่เหมาะสมของข้อมูลแต่ละไตรมาส และผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ย โดยแผนผังที่จะนำไปใช้พัฒนาในการใช้งานจริงคือ ผังที่ได้จากข้อมูลเฉลี่ย และผังโรงงานที่ได้จากข้อมูลแต่ละไตรมาสจะนำไปใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมของในการใช้งานของผังโรงงานดังสมการที่ (2)

ซึ่งจากผลการออกแบบผังโรงงานด้วยโปรแกรม สามารถแสดงตัวอย่างของผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ยได้ดังรูปที่ 7 และสามารถเปรียบเทียบระยะทางระหว่างผังก่อนปรับปรุง ผังที่เหมาะสมของแต่ละช่วงเวลา และผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ยที่โปรแกรมคำนวณได้ดังตารางที่ 4 โดยระยะทางที่แสดงในตารางนั้นเป็นระยะการวัดระยะทางแบบมุมฉากที่ทำการวัดโดยโปรแกรมออกแบบผังโรงงาน ซึ่งผลดังกล่าวจะนำไปใช้ในการหาความเหมาะสมตามหลักการประเมินความเหมาะสมแบบโรบัสดังข้อที่ 3.3 ต่อไป

รูปที่ 7 รูปแบบผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมออกแบบแผนผังโรงงานโดยวิธีซิมมูเลตเต็ด อะเนลลิ่ง

ตารางที่ 4 ระยะทางแบบมุมฉากของผังก่อนปรับปรุง ผังปรับปรุงจากข้อมูลเฉลี่ย และผังปรับปรุงของแต่ละช่วงเวลา

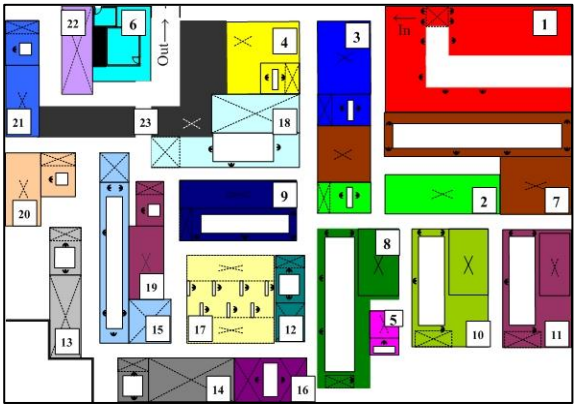
แผน / ผัง / ไตรมาส	ระยะทางแบบมุมฉากผังก่อนปรับปรุง (เมตร)	ระยะทางแบบมุมฉากจากผังหลังปรับปรุง (เมตร)	
		ผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ย (D_t^{Robust})	ผังโรงงานที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา ($D_t^{Optimal}$)
1	1,177,706	921,715	917,006
2	1,265,441	991,431	960,642
3	1,321,006	1,050,215	1,070,341
4	997,076	774,382	761,240
ผลรวม	4,761,231	3,737,744	3,709,231

4.3.3 ทำการประเมินความเหมาะสมของผังโรงงานที่จะนำไปใช้จริงตามหลักการออกแบบผังแบบโรบัส โดยนำค่าจากตารางที่ 4 มาใช้คำนวณหาค่า TPC ตามสมการที่ 2 เพื่อประเมินความเหมาะสมของผังโรงงานสำหรับความต้องการที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาได้ ดังนี้

$$TPC = [(3,737,744-3,709,231) /3,737,744] \times 100$$
$$= 0.76\ \%$$

พบว่าค่า TPC ที่ได้มีค่าเพียงร้อยละ 0.76 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 15 ตามหลักการที่ได้นำเสนอข้างต้น ดังนั้น ผังโรงงานที่ได้จึงมีความเหมาะสมสำหรับความต้องการที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา ของโรงงานกรณีศึกษา

4.3.4 นำผังโรงงานที่ได้จากโปรแกรมดังรูปที่ 7 มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการจัดวางจริง โดยการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ และการสำรวจสถานที่จริง เพราะบางพื้นที่ไม่สามารถที่จะจัดวางแผนกนั้นๆ ลงไปได้ตามการคำนวณจากโปรแกรม เช่น มีสิ่งกีดขวางที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (มีเสาอาคารตั้งอยู่ เป็นพื้นที่ลาดเอียง) หรืออาจมีความอันตรายไม่เหมาะสมสำหรับการทำงาน (อยู่ใกล้เครื่องจักรที่มีความร้อน เป็นทางเดินสายไฟ) เป็นต้น โดยจากการสอบถาม ผู้วิจัยต้องทำการปรับปรุงแนวการวางของแผนกที่ 14 และ 15 เนื่องจากรูปแบบการวางที่ได้จากโปรแกรมของทั้ง 2 แผนกนั้น ไม่เหมาะสมในการทำงานจริง จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวางผังโรงงานโดยละเอียด โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแผนผังโดยใช้โปรแกรม MS Visio 2003 ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบผังหลังปรับปรุงโดยละเอียดได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปแบบผังโรงงานที่ออกแบบปรับปรุงโดยละเอียด

4.4 เปรียบเทียบแผนผังโรงงานกรณีศึกษาก่อนและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 8 ทำการวัดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกโดยโปรแกรม MS Visio 2003 และทำการหาระยะทางการเคลื่อนที่โดยรวมจริงจากโปรแกรมดังกล่าว พบว่าในไตรมาสที่ 1-4 ผังโรงงานหลังปรับปรุงมีระยะทางการเคลื่อนที่โดยรวมเท่ากับ 1,008,390 เมตร 1,091,688 เมตร 1,144,325 เมตร และ 845,137 เมตร ตามลำดับ และมีระยะทางโดยรวมตลอดทั้งปีอยู่ที่ 4,089,541 เมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผังโรงงานก่อนปรับปรุงพบว่ามีระยะทางเคลื่อนที่ตลอดทั้งปีลดลงจาก 5,343,338 เมตร เป็น 4,089,541 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 23.46 และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบผังโรงงานที่ออกแบบปรับปรุงกับผังโรงงานก่อนปรับปรุง (ดังรูปที่3) พบว่าต้องทำการย้ายตำแหน่งทุกแผนก ยกเว้นแผนกที่ 1 และ 6 ที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้เนื่องจากเป็นส่วนของเครื่องจักรขนาดใหญ่ และเป็นส่วนของสำนักงานการผลิต ตามลำดับ

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษา วิเคราะห์ และปรับปรุงผังโรงงานกรณีศึกษา ภายใต้สภาวะความต้องการผลิตภัณฑ์ไม่แน่นอน โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงผังโรงงานด้วยการคำนวณตามวิธีซิมมูเลดเต็ด อะเนลลิ่ง ร่วมกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมของผังโรงงานด้วยวิธีการวิเคราะห์ผังโรงงานแบบโรบัสนั้น สามารถออกแบบแผนผังโรงงานที่สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งปีโดย ลดการเปลี่ยนแปลงผังโรงงานระหว่างปี และสามารถรองรับกับความต้องการสินค้าที่ผันแปรในแต่ละช่วงเวลาได้ และทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ระหว่างแผนกโดยรวมลดลงได้ถึงร้อยละ 23.46

เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงการหาคำตอบที่เหมาะสม ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นหากมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรนำเข้า หรือพิจารณาวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีอื่นๆ อาจจะสามารถพัฒนาคำตอบที่ได้ให้เข้าใกล้กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้มากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ปณิธาน พีรพัฒนา. "เจเนติกส์อัลกอริทึมกับปัญหาการวางผังโรงงาน," *วารสาร วิศวกรรมสาร มข.*, ปีที่ 33 ฉบับที่ 4, หน้า 313- 324, 2549.

[2] G. Moslemipour and T. S. Lee, "Intelligent design of a dynamic machine layout in uncertain environment of flexible manufacturing systems," *Journal of Intelligent Manufacturing., Vol.23 (5)*, pp.1849-1860, 2011.

[3] V. Madhusudanan Pillai, I. B. Hunagund and K. K. Krishnan, "Design of robust layout for dynamic plant layout problems," *Computers & Industrial Engineering., Vol.61 (3),* pp.813-823, 2011.

[4] สกพจน์ วิมลเกษม. *การพัฒนาโปรแกรมวางผังโรงงาน.* ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.

[5] สมศักดิ์ ตรีสัตย์. *การออกแบบและวางผังโรงงาน.* พิมพ์ครั้งที่ 20. กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551.

[6] Jamal Oheba, *A new framework considering uncertainty for facility layout problem.* Doctor of philosophy. Faculty of Engineering and Physical Sciences. University of Manchester, 2012.

[7] Jensen P. A.. (20 January 2015). *Computation (OM/IE Add-in Instructions)* [Online] Website: http://www.me.utexas.edu