

การวางแผนการผลิตที่มีหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์และการจัดสรรแรงงานที่มีทักษะ
หลากหลายด้วยตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม กรณีศึกษาผู้ผลิต
ชุดสายไฟรถยนต์

**Multi-Product-Group Production Planning and Multi-Skill Labor Assignment
by Integer Linear Programming Model: A Case Study of an Automotive
Electrical Cable Manufacturer**

วุดินันท์ นุ่นแก้ว*, มาริษา กิมพอร์, และ ชฎาพร สิงห์กุม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

คลองหนึ่ง คลองหลวง ปทุมธานี 12120

Wuttinan Nunkaew*, Marrisa Kimaporn, and Chadaporn Singkum

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University (Rangsit Campus)

Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

*Corresponding Author E-mail: nwuttinan@engr.tu.ac.th

Received: Jun 30, 2022; **Revised:** Nov 02, 2022; **Accepted:** Nov 03, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดสรรแรงงานของโรงงานผลิตชุดสายไฟรถยนต์กรณีศึกษาในประเทศไทย ในการทำงานแบบเดิมของสายการผลิตกรณีศึกษานั้น หัวหน้างานจะอาศัยเพียงประสบการณ์ในการกำหนดแผนการผลิตและแผนการจัดสรรแรงงาน จึงยังไม่สามารถรันคดีได้ว่าแผนดังกล่าวเป็นแผนที่มีประสิทธิภาพที่สุดหรือไม่ นอกจากนี้การผลิตแบบล่วงเวลามักจะต้องเกิดขึ้นอยู่เสมอเพื่อให้สามารถผลิตสินค้าได้ทันกับกำหนดการจัดส่ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น 2 ตัวแบบสำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดสรรแรงงานของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีการพิจารณาการกำหนดการผลิตแบบล่วงเวลาตามนโยบายของบริษัท รวมถึงการพิจารณาทักษะที่หลากหลายของพนักงาน ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการวางแผนการผลิตที่ไม่มีการกำหนดและมีการกำหนดการผลิตแบบล่วงเวลาจากตัวแบบการวางแผนการผลิตที่นำเสนอ (ตัวแบบ M1) นั้นสามารถลดต้นทุนค่าแรงงานได้มากถึงร้อยละ 13.17 และ 13.14 ของต้นทุนค่าแรงแบบเดิมตามลำดับ และแผนการจัดสรรแรงงานที่ได้จากตัวแบบการจัดสรรแรงงานที่นำเสนอ (ตัวแบบ M2) นั้นดีกว่าแผนแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษาถึงร้อยละ 14.51 และ 14.74 ของค่าทักษะเฉลี่ยแบบเดิมตามลำดับ

คำสำคัญ: การวางแผนการผลิต, การจัดสรรแรงงาน, โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม, การผลิตชุดสายไฟรถยนต์

Abstract

This paper presents a solution to the production planning and labor assignment problems in an automotive electrical cable factory in Thailand. Based on the conventional manner of the case study production line, the production supervisors

made production and workforce plans by their experience. So, efficient plans cannot be guaranteed. Moreover, overtime production was always needed to catch up with the delivery due date. This situation affected the increase in total production cost. Therefore, this research developed two integer linear programming models for solving the case study's production planning and labor assignment problems. The considerations of overtime production based on the company's policy and the worker's multi-skill were included in the proposed models. The results show that, without consideration and with consideration of overtime production, the total labor cost can be reduced using the presented production planning model (model *M1*) which beat the conventional plan by 13.17 and 13.14 percent of the recent total labor cost, respectively. Moreover, workforce plans obtained from the proposed workforce planning model (model *M2*) are better than the conventional plan by 14.51 and 14.74 percent of the current average worker skill.

Keywords: production planning, labor assignment, integer linear programming, automotive electrical cable production

1. บทนำ

แม้ว่าในช่วงเวลา 2 ปีที่ผ่านมาจะเกิดการชะลอตัวของเศรษฐกิจและการผันผวนของราคาน้ำมันในตลาดโลก จนส่งผลกระทบต่อยอดขายคำสั่งซื้อรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine, ICE) ของผู้ผลิตรถยนต์ทั้งจากฝั่งเอเชีย ยุโรป และอเมริกา แต่การพัฒนาเครื่องยนต์ในรูปแบบที่ประหยัดพลังงานและใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูกลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle, EV) นั้น ก็ยังคงเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

จากบทความของ KKP Research ในปี 2022 [1] แสดงข้อมูลที่ทำให้เห็นถึงการเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องของตลาดรถยนต์ EV โดยจากการประเมินคาดว่าตลาดรถยนต์ EV ในไทยจะเติบโตเพิ่มขึ้นจาก 0.4% ของยอดขายรถใหม่ในปี 2021 เป็น 4.5% ในปี 2025 ในขณะที่ยอดขายรถยนต์ EV ในตลาดโลกจะขยับจาก 6.3% ของยอดขายรถใหม่ในปี 2021 เป็น 16.9% ในปี 2025 เช่นกัน ซึ่งในการผลิตรถยนต์ EV นั้นจะมีชิ้นส่วนยานยนต์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากการผลิตรถยนต์ ICE แบบเดิม ดังนั้นผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในไทยจึงจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและมีความยืดหยุ่นเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตของผู้ผลิตรถยนต์ได้

นอกจากเทคนิคในการผลิตแล้ว การวางแผนการผลิต (Production planning) ก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญก่อนเริ่มกระบวนการผลิตจริง โดยผู้จัดการฝ่ายผลิตนั้นจะทำการกำหนดแผนการผลิต รวมถึงจัดสรรปัจจัยการผลิต

ไม่ว่าจะเป็นการจัดสรรแรงงาน (Man) การเตรียมเครื่องจักร (Machine) การจัดหาวัตถุดิบ (Material) ตลอดจนการกำหนดวิธีการทำงาน (Method) ให้เหมาะสม [2] เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า [3-6] หากการวางแผนการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ อาจส่งผลให้เกิดต้นทุน ความสูญเปล่า หรือแม้กระทั่งกระทบต่อความไว้วางใจของลูกค้าได้

อย่างไรก็ตามผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์รายใหญ่มักจะนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการวางแผนและจัดสรรทรัพยากรการผลิตที่สอดคล้องกับแนวคิดอุตสาหกรรม 4.0 (Industry 4.0) แต่สำหรับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดกลางไปจนถึงผู้ผลิตรายย่อยนั้น ยังคงใช้วิธีการทำงานแบบดั้งเดิมซึ่งมีความยืดหยุ่นน้อยและอาจเกิดปัญหาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงยอดขายคำสั่งซื้ออย่างกะทันหัน

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตชุดสายไฟรถยนต์ (Automotive Electrical Cable, AEC) ซึ่งเป็นผู้ส่งมอบลำดับที่ 1 (1st tier supplier) ของบริษัทผู้ประกอบรถยนต์หลายแห่งในประเทศไทย โดยหลังจากได้รับการยืนยันคำสั่งซื้อจากลูกค้า หัวหน้างานฝ่ายผลิตจะกำหนดแผนการผลิตตามปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าหรือกลยุทธ์ Chase demand [5] โดยพิจารณาจากกำหนดส่งมอบผลิตภัณฑ์ (Due date) และทำการจัดสรรแรงงานของแต่ละสายการผลิต อย่างไรก็ตามปัญหาหลักที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องกับบริษัทกรณีศึกษา คือ การผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ทันตามกำหนดส่งมอบ ซึ่งบริษัทจะแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการเพิ่มการผลิตแบบล่วงเวลา (Over time) เพื่อให้ทัน

กำหนดการส่งมอบชุดสายไฟให้กับลูกค้าซึ่งเป็นบริษัทผู้ประกอบรถยนต์ที่มีกำหนดการผลิตที่เคร่งครัด แม้ว่าการเพิ่มการผลิตแบบล่วงหน้านั้นจะช่วยให้บริษัทสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันตามกำหนดส่งมอบ แต่ปัญหาที่ตามมาคือ การมีต้นทุนในการผลิตที่เพิ่มขึ้นและการจัดสรรทรัพยากรการผลิตที่ย่างยากมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดสรรแรงงานซึ่งเป็นทรัพยากรหลักของสายการผลิตกรณีศึกษา โดยสาเหตุของปัญหาดังกล่าวนั้นเกิดจากการที่บริษัทยังไม่มีการใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ แต่จะอาศัยประสบการณ์ของหัวหน้างานในการวางแผนการผลิต และยังไม่มีการพิจารณาทักษะของพนักงานที่สอดคล้องกับกระบวนการผลิตในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ เพื่อจัดสรรแรงงานให้เหมาะสมกับงาน

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการใช้เทคโนโลยีอย่างง่ายและไม่ยุ่งยากด้วยเครื่องมือ Excel Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์พื้นฐานมาช่วยในการหาคำตอบของการวางแผนการผลิตและการจัดสรรพนักงานฝ่ายผลิตตามทักษะ เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และง่ายต่อการใช้งานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของคำสั่งซื้ออย่างกะทันหัน

2. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยหลายฉบับนำเสนอการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตไว้หลากหลายวิธี โดยวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมคือโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP) [7–18] ซึ่งเป็นการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีการพิจารณาวัตถุประสงค์ไว้หลายรูปแบบ เช่น การลดต้นทุนรวมให้ต่ำที่สุด การเพิ่มกำไรให้สูงที่สุด เป็นต้น งานวิจัยของ T. Subrata และคณะ (2015) [14] รวมถึง T.G. Dariush และคณะ (2016) [15] ได้นำเสนอตัวแบบ LP สำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธี Fuzzy Linear Programming (FLP) [19–21] เป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการวางแผนการผลิต

ที่มีการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective problem) โดยวิธีนี้เหมาะกับการพิจารณาข้อมูลที่มีความคลุมเครือ ซึ่งมีความยืดหยุ่นมากกว่าโปรแกรมเชิงเส้นแบบดั้งเดิม นอกจากนี้วิธี Mix-Integer Linear Programming (MILP) [22–24] และวิธี Genetic Algorithm (GA) [18–19] ก็มักจะถูกนำมาใช้แก้ปัญหาวางแผนการผลิตเช่นกัน

ในส่วนของการแก้ปัญหาการจัดสรรแรงงานนั้น H. Liping และ S. Rong (2022) [25] และ K. Yiyo และ L. Chia-Chun (2017) [26] ได้นำเสนอเทคนิคการแก้ปัญหาที่เป็นที่นิยมคือ MILP หรือตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม สำหรับการหาคำตอบที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective problem) ซึ่งมีการพิจารณาปัญหาเป็น 2 รูปแบบคือ การหาค่าสูงสุด/ต่ำสุดเหมือนกับ LP และมีการกำหนดวัตถุประสงค์ไว้หลายรูปแบบ เช่น การลดเวลาเสร็จสิ้น (Makespan) การลดจำนวนพนักงาน การหาค่ารวมของทักษะที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอการแก้ปัญหาการจัดสรรแรงงานอีกหลากหลายกรณี เช่น การแก้ปัญหาการวางแผนกำลังคนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยให้สอดคล้องกับงบประมาณ [27] การจัดสรรแรงงานเพื่อใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพิ่มต้นทุนและผลกำไร [28] การแก้ปัญหาการจัดสรรเจ้าหน้าที่ในห้องสมุดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีควีนส์แลนด์โดยพิจารณาทักษะที่ต้องการในงานแต่ละงาน [29] รวมถึงการจัดสรรแรงงานเพื่อพัฒนาทักษะและความชำนาญ [30] เป็นต้น

จากการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดสรรแรงงานจากงานวิจัยหลายฉบับ พบว่าโปรแกรมเชิงเส้นเป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตและปัญหาการจัดสรรแรงงาน นอกจากนั้นการพิจารณาทักษะของพนักงานก็เป็นสิ่งที่สำคัญเช่นกัน โดยสามารถสรุปประเด็นที่สำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อ	ปัญหา	วิธีการ	วัตถุประสงค์													ตัวชี้วัด						คำสำคัญ			
	A B	C D E F G	H I J K L M N O	P R S T U V																					
M. Talal Alkhamis และ Y. Jav (1995) [11]	×	×												×											Refinery maintenance scheduling. Optimization in refining
J. Tehem, M. Pirlot, และ C. Antoniadis	×	×					×							×											Simulated annealing. Combinatorial optimization. Heuristic
R. Ross Farrell และ C. Thomas Maness	×	×					×							×											Flexibility. Production planning. Secondary wood product
S. Judy และ H. Gillian (2009) [29]		×				×							×					×	×						OUT Library workforce planning model
P. David และคณะ (2010) [19]	×		×										×												Supply chain management and planning, Uncertainty modeling
L. Nophadon (2013) [30]		×				×							×								×				Rationalism. Division of labor. Division of work.
R.K. Chakraborty และ Md. A. Akhtar Hasin	×					×		×						×											Multi-objective optimization, Genetic algorithm, Aggregate
T. Subrata และคณะ (2015) [14]	×		×					×						×											Aggregate Planning, Linear programming, TORA
T.G. Dariush และคณะ (2016) [15]	×		×					×						×											Aggregate production planning, Overtime account, Flexible
M. Claudio และ P.M. Josep (2016) [32]		×				×								×							×				Working hours, Participation, Job heterogeneity, Wage
B. Serdar และคณะ (2017) [22]		×				×								×											Product development, Value stream mapping, Design structure
K. Yiyo และ L. Chia-Chun (2017) [26]		×			×									×									×		Cellular manufacturing, Manpower transfer, Operator
M. Garaix, และคณะ (2018) [33]	×					×								×							×				Workforce Scheduling, Routing, Integrated problem
L.J. Zeballos และคณะ (2019) [34]	×					×			×						×										Remanufacturing, Product design, Life-cycle, Linear
J. Julliy และ B.O Mavassa (2020) [23]	×					×								×											Project scheduling, Time cost quality trade-off problem
A. Ashkan และ คณะ (2020) [35]		×				×								×				×			×				Balancing and sequencing, Rotation scheduling, Variable
Z. Ningru และคณะ (2020) [36]		×				×			×					×				×							Aggregate hours worked, Aggregate labor supply and demand
K. Toshiya, และคณะ (2021) [37]	×					×		×	×		×			×											Production planning, Human aspect, Optimization
F.P. Andres, และคณะ (2022) [17]	×		×					×						×											Staffing problem, Labor flexibility, Annualized hours.
A. El-Awady และคณะ (2022) [38]	×					×		×						×											Aggregate production planning, Learning curves,
T. Aleiandra, และคณะ (2022) [24]	×					×		×						×											Distribution network expansion planning, Multistage
H. Liping and S. Rong (2022) [25]		×				×								×									×		Flexible job-shop scheduling, Task planning, Makespan
งานวิจัยที่น่าสนใจ	×	×	×					×						×				×							Production planning, Labor assignment, Automotive electrical

กำหนดให้ A = ปัญหาการวางแผนการผลิต B = ปัญหาการจัดสรรแรงงาน, C = Linear Programming (LP), D = Fuzzy Linear Programming (FLP), E = Mixed-Integer Linear Programming (MILP), F = Genetic Algorithm (GA), G = วิธีการอื่นๆ (Non-Linear Programming (NLP), Log-Linear model, General principles of management, Lean product development tools, Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE), QUT Library workforce planning model), H = ลดต้นทุน, I = เพิ่มรายรับ/เพิ่มกำไร, J = หลายวัตถุประสงค์, K = ลดช่วงกว้างของเวลาการผลิต (Makespan), L = การใช้ทรัพยากรให้เหมาะสมที่สุด, M = การจัดสรรเครื่องจักรให้เหมาะสมที่สุด, N = การจัดสรรแรงงานที่มีทักษะเหมาะสมกับงานที่สุด, O = วัตถุประสงค์อื่น ๆ, P = ต้นทุนรวม, Q = รายรับ/กำไร, R = เวลา, S = อรรถประโยชน์ (Utilization), T = ค่าทักษะการทำงาน, U = จำนวนพนักงาน (Number of operators), V = ตัวชี้วัดอื่นๆ

3. กรณีศึกษาผู้ผลิตชุดสายไฟรถยนต์

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตและการจัดสรรแรงงานของทางบริษัทกรณีศึกษาเป็นเวลา 1 ไตรมาส ระหว่างเดือนตุลาคมถึงธันวาคม พ.ศ 2564 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.กลุ่มผลิตภัณฑ์และปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์

จากการรวบรวมและศึกษาผลิตภัณฑ์ชุดสายไฟ 3 กลุ่มซึ่งประกอบด้วย กลุ่ม A มี 14 โมเดล กลุ่ม B มี 10 โมเดล และกลุ่ม C มี 9 โมเดล โดยปริมาณการผลิตจะเป็นไปตามยอดคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to order) จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณคำสั่งซื้อชุดสายไฟเป็นเวลา 1 ไตรมาส (m คือ เดือน) แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณคำสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ (หน่วย)

โมเดล	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	รวม	โมเดล	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	รวม	โมเดล	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	รวม
A01	-	-	-	0	B01	800	1,672	840	3,312	C01	572	300	180	1,052
A02	96	216	-	312	B02	100	100	28	228	C02	-	-	-	0
A03	96	96	-	192	B03	164	204	260	628	C03	7,032	6,096	6,980	20,108
A04	1,248	3,000	-	4,248	B04	1,092	1,392	1,508	3,992	C04	1,756	1,956	1,400	5,112
A05	232	392	428	1,052	B05	892	900	936	2,728	C05	14,208	26,484	24,052	64,744
A06	248	412	432	1,092	B06	880	900	944	2,724	C06	-	-	-	0
A07	232	396	428	1,056	B07	1,064	1,380	1,492	3,936	C07	804	644	612	2,060
A08	224	396	424	1,044	B08	872	920	924	2,716	C08	1,968	2,332	2,344	6,644
A09	1,964	3,148	3,536	8,648	B09	1,056	1,388	1,480	3,924	C09	-	-	-	0
A10	1,016	1,072	1,200	3,288	B10	47,812	57,724	63,892	169,428					
A11	1,012	1,072	1,192	3,276										
A12	1,000	1,080	1,204	3,284										
A13	7,012	7,412	8,408	22,832										
A14	272	384	460	1,116										
รวม	14,640	19,060	17,692	51,440	รวม	54,720	66,568	72,288	193,616	รวม	26,340	37,812	35,568	99,720

ตารางที่ 3 อัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์กลุ่ม 1 (หน่วย/ชม.)

โมเดล	อัตราการผลิต	โมเดล	อัตราการผลิต	โมเดล	อัตราการผลิต
A01	2	A06	2	A11	3.5
A02	1	A07	2	A12	3.5
A03	1	A08	2	A13	21
A04	14	A09	13	A14	1
A05	2	A10	3.5		

3.2.อัตราการผลิต

เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละโมเดลมีขั้นตอนการประกอบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนชิ้นส่วนมากนั้นจะมีขั้นตอนในการประกอบที่มากตามไปด้วย จึงต้องใช้เวลาในการผลิตมากขึ้น จึงส่งผลให้มีอัตราการผลิต (หน่วยต่อชั่วโมง) ต่ำ ดังนั้นอัตราการผลิตเฉลี่ยของแต่ละผลิตภัณฑ์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นส่วนที่ใช้ประกอบ จากการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถคำนวณอัตราการผลิตโดยเฉลี่ยของแต่ละโมเดลได้ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 4 อัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์กลุ่ม 2 (หน่วย/ชม.)

โมเดล	อัตราการผลิต	โมเดล	อัตราการผลิต	โมเดล	อัตราการผลิต
B01	2	B05	5	B09	8
B02	1	B06	6	B10	2
B03	1	B07	8		
B04	8	B08	5		

ตารางที่ 5 อัตราการผลิตของผลิตภัณฑ์กลุ่ม 3 (หน่วย/ชม.)

โมเดล อัตราการ ผลิต		โมเดลอัตราการผลิตโมเดล อัตราการ ผลิต	
C01	2	C04	6
C02	22	C05	16
C03	2	C06	2
		C07	2
		C08	2
		C09	2

3.3.ช่วงเวลาในการผลิตและค่าแรงของพนักงาน

ช่วงเวลาทำงานปกติ (Regular Production: R) นั้นแบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ 08.00–12.00 น. และ 13.00–17.00 น. ทั้งวันธรรมดาและวันหยุด ส่วนช่วงเวลาในการทำงานล่วงเวลา (Over Time: OT) จะเริ่มตั้งแต่ 18.00–20.00 น. ทั้งวันธรรมดาและวันหยุดเช่นเดียวกัน ซึ่งหากบริษัทผลิตสินค้าไม่ทันตามยอดคำสั่งซื้อของลูกค้า จะจัดสรรให้มีการทำงานในวันหยุด นอกจากนั้นการทำงานล่วงเวลาจะทำได้เฉพาะวันที่มีการทำงานในช่วงเวลาปกติเต็มเวลาแล้วเท่านั้น ซึ่งจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาของแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์นั้นจะมีจำนวนชั่วโมงไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับนโยบายของบริษัทที่ได้ทำการกำหนดไว้ โดยจำนวนชั่วโมงในการทำงานและค่าแรงของพนักงานในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาตามนโยบาย (Over Time Policy: OTP) ของทางบริษัทที่กำหนดไว้ แสดงได้ดังตารางที่ 6–7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 เวลาทำงานและค่าแรงในการผลิตของพนักงาน

ช่วงเวลาในการผลิต	เวลา (ชม./วัน)	ค่าแรง (บาท/ชม.)
R_d : ปกติ-วันธรรมดา	8	40
OT_d : ล่วงเวลา-วันธรรมดา	2	60
R_h : ปกติ-วันหยุด	8	80
OT_h : ล่วงเวลา-วันหยุด	2	100

ตารางที่ 7 ชั่วโมงล่วงเวลาตามนโยบาย (ชม.-แรงงาน/วัน)

เดือน (m)	กลุ่ม	OTP_d	OTP_h
$m = 1$	A, B, C	0	$0 \leq OTP_h \leq 48$
$m = 2$	A	$6 \leq OTP_d \leq 64$	$0 \leq OTP_h \leq 48$
	B	$108 \leq OTP_d \leq 144$	
$m = 2$	C	$20 \leq OTP_d \leq 36$	

ตารางที่ 7 ชั่วโมงล่วงเวลาตามนโยบาย (ชม.-แรงงาน/วัน) (ต่อ)

เดือน (m)	กลุ่ม	OTP_d	OTP_h
$m = 3$	A	$0 \leq OTP_d \leq 48$	
	B	$180 \leq OTP_d \leq 240$	$0 \leq OTP_h \leq 48$
	C	$20 \leq OTP_d \leq 72$	

3.4.ทักษะของพนักงาน

พนักงานแต่ละคนในบริษัทกรณีศึกษานั้นถูกจัดสรรให้ผลิตเปลี่ยนกันทำงานในแต่ละสายการผลิต โดยในแต่ละสายการผลิตจะมีวิธีการประกอบสินค้ากำกับไว้ ซึ่งจำนวนพนักงานของแต่ละสายการผลิตจะขึ้นอยู่กับการจัดสรรจากประสบการณ์ของหัวหน้างานและปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละโมเดล โดยจำนวนพนักงานของกลุ่มผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาทั้ง 3 กลุ่มมีทั้งสิ้น 220 คนต่อเดือน

ในการจัดสรรพนักงานจะดำเนินการ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 จะจัดสรรพนักงานให้กลุ่มผลิตภัณฑ์แต่ละกลุ่มตามจำนวน โดยเมื่อพิจารณาที่ปริมาณการผลิต อัตราการผลิต และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งจำนวนพนักงานได้ดังนี้ กลุ่มที่ 1 และ 3 มีพนักงานกลุ่มละ 20 คน และกลุ่มที่ 2 มีพนักงาน 180 คน และขั้นตอนที่ 2 จะจัดสรรพนักงานแต่ละคนให้กับผลิตภัณฑ์แต่ละผลิตภัณฑ์ (รายละเอียดจะแสดงในหัวข้อถัดไป) ด้วยการประเมินทักษะของพนักงานแต่ละคนโดยหัวหน้างานและเทียบเป็นระดับคะแนน 0 ถึง 1 ตามรายละเอียดในตารางที่ 8 โดยทำการประเมินทักษะการทำงานในแต่ละผลิตภัณฑ์ ความถนัดในการทำงานและเวลาที่ใช้ในการทำงานเปรียบเทียบกับเวลามาตรฐาน (Standard time) ซึ่งพนักงานส่วนใหญ่มีทักษะการทำงานที่หลากหลาย (Multi-Skill) แต่พนักงานบางคนก็มีความถนัดและมีทักษะในการทำงานเฉพาะบางงานเท่านั้น โดยตัวอย่างการประเมินทักษะของพนักงานในการผลิตกลุ่ม A ทั้ง 20 คน สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ 14 โมเดล สามารถแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ระดับทักษะสำหรับการประเมินระดับคะแนน

ระดับทักษะที่ประเมิน	ระดับคะแนน
ไม่มีทักษะ	0.0
มีทักษะ 1 ใน 3 ของมาตรฐาน	0.1

ตารางที่ 8 ระดับทักษะสำหรับการประเมินระดับคะแนน (ต่อ)

ระดับทักษะที่ประเมิน	ระดับคะแนน
มีทักษะ 1 ใน 2 ของมาตรฐาน	0.2
มีทักษะ 2 ใน 3 ของมาตรฐาน	0.3
ต้องฝึกเพิ่มเติมในบางทักษะ	0.4
มีทักษะตามมาตรฐาน	0.5
มีทักษะค่อนข้างดีกว่ามาตรฐาน	0.6
มีทักษะดีกว่ามาตรฐาน	0.7
มีทักษะดีมาก	0.8
มีทักษะดีเยี่ยม	0.9
มีทักษะเยี่ยมมาก	1.0

ตารางที่ 9 ทักษะของพนักงานผลิตกลุ่ม A

กลุ่ม AA01A02A03A04A05A...A10A11A12A13A14

OP01	0.8	0.8	0.7	0.6	0.4	...	0.8	0.7	0.9	0.8	0.5
OP02	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	...	0.9	0.5	0.5	0.7	0.8
OP03	0.9	0.9	0.6	0.6	0.7	...	0.8	0.9	0.8	0.8	0.5
OP04	0.9	0.9	0.7	0.7	0.5	...	0.8	0.9	0.8	0.9	0.5
OP05	0.7	0.6	0.5	0.7	0.7	...	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8
OP06	0.8	0.9	0.7	0.5	0.8	...	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7
OP...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
OP14	0.8	0.8	0.6	0.6	0.4	...	0.5	1.0	0.5	0.8	0.5
OP15	0.7	0.5	0.8	0.7	0.8	...	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0
OP16	0.6	0.6	0.8	0.9	0.5	...	0.5	0.7	0.9	0.7	0.8
OP17	0.8	0.7	0.8	0.9	0.9	...	0.5	0.8	0.8	0.5	0.9
OP18	0.8	0.8	0.8	0.5	0.7	...	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8
OP19	0.7	0.5	0.4	0.5	0.8	...	0.5	0.5	0.8	1.0	1.0
OP20	0.8	0.7	0.8	0.9	0.4	...	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0

4. การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าทางบริษัทกรณีศึกษานั้นไม่มีการใช้เครื่องมือช่วยคำนวณหรือตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์หาคำตอบ แต่เป็นการใช้ประสบการณ์ของพนักงานในการวางแผนการผลิต จึงเกิดปัญหาการส่งมอบสินค้าไม่ทันกำหนด ซึ่งทางบริษัทกรณีศึกษาเลือกแก้ปัญหาด้วยวิธีการเพิ่มชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา โดยที่ไม่มีการ

แก้ไขปัญหาด้านการจัดการทรัพยากรการผลิต ส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตที่สูง รวมถึงในการจัดสรรแรงงานนั้นยังไม่มีการพิจารณาทักษะของพนักงานให้เหมาะสมกับงาน ทำให้ไม่เกิดประสิทธิภาพในการผลิตสูงสุด งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิต 2 กรณี คือการไม่กำหนดและกำหนดการทำงานล่วงเวลาเพื่อลดต้นทุนในการผลิต รวมถึงตัวแบบสำหรับการจัดสรรพนักงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ดังนี้

4.1.ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิต (M1)

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming, ILP) สำหรับการวางแผนการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีต้นทุนค่าแรงรวมทุกช่วงเวลาการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ดังนี้

กำหนดให้ d = วันทำงานปกติ 1,2, ..., D

h = วันทำงานในวันหยุด 1,2, ..., H

w = สัปดาห์ที่ 1,2, ..., W

m = เดือนที่ 1,2, ..., M

g = สินค้ากลุ่มที่ 1,2, ..., G

k = สินค้าชนิดที่ 1,2, ..., K

4.1.1. พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

C_R = ค่าแรงช่วงเวลาคปกติ-วันธรรมดา (บาท/ชั่วโมง)

C_{otR} = ค่าแรงช่วงล่วงเวลา-วันธรรมดา (บาท/ชั่วโมง)

C_H = ค่าแรงช่วงเวลาคปกติ-วันหยุด (บาท/ชั่วโมง)

C_{otH} = ค่าแรงช่วงล่วงเวลา-วันหยุด (บาท/ชั่วโมง)

I_{kgwm} = ปริมาณการเก็บสินค้าคงคลังของสินค้าโมเดล

k กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (หน่วย)

P_k = อัตราการผลิตสินค้าโมเดล k (หน่วย/ชั่วโมง)

Q_{kgwm} = ปริมาณความต้องการสินค้าชนิด k กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (หน่วย)

L_{kgdwmR} = จำนวนพนักงานสินค้าชนิด k กลุ่ม g เวลาปกติ-วันธรรมดา d สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (คน)

$L_{kgdwmOT}$ = จำนวนพนักงานสินค้าชนิด k กลุ่ม g ล่วงเวลา-วันธรรมดา d สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (คน)

L_{kgdwmR} = จำนวนพนักงานของสินค้าชนิด k กลุ่ม g เวลาปกติ-วันหยุด h สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (คน)

$L_{kgdwmOT}$ = จำนวนพนักงานของสินค้าชนิด k กลุ่ม g ล่วงเวลา-วันหยุด h สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (คน)

OT_{dgwm} = จำนวนชั่วโมงแรงงานล่วงเวลา-วันธรรมดา d กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

OT_{hgwm} = จำนวนชั่วโมงแรงงานล่วงเวลา-วันหยุด h กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

$OT_{dgwmMax}$ = จำนวนชั่วโมงแรงงานสูงสุดล่วงเวลา-วันธรรมดา d กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

$OT_{hgwmMax}$ = จำนวนชั่วโมงแรงงานสูงสุดล่วงเวลา-วันหยุด h กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

OTP_{dgwm} = จำนวนชั่วโมงแรงงานล่วงเวลาตามนโยบายโรงงานวันธรรมดา d กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

OTP_{hgwm} = จำนวนชั่วโมงแรงงานล่วงเวลาตามนโยบายโรงงานวันหยุด h กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

R_{dgwm} = จำนวนชั่วโมงแรงงานปกติ-วันธรรมดา d กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

R_{hgwm} = จำนวนชั่วโมงแรงงานปกติ-วันหยุด h กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

$R_{dgwmMax}$ = จำนวนชั่วโมงแรงงานสูงสุดปกติ-วันธรรมดา d กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

$R_{hgwmMax}$ = จำนวนชั่วโมงแรงงานสูงสุดปกติ-วันหยุด h กลุ่ม g สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (ชั่วโมง)

4.1.2. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

X_{kgdwm} = ปริมาณการผลิตสินค้าโมเดล k กลุ่ม g วันธรรมดา d สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m ในช่วงเวลาการทำงานปกติ-วันธรรมดา (หน่วย)

X_{kghwm} = ปริมาณการผลิตสินค้าโมเดล k กลุ่ม g ของวันหยุด h สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m ในช่วงเวลาการทำงานปกติ-วันหยุด (หน่วย)

Y_{kgdwm} = ปริมาณการผลิตสินค้าโมเดล k กลุ่ม g ของวันธรรมดา d สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m ในช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลา-วันธรรมดา (หน่วย)

Y_{kghwm} = ปริมาณการผลิตสินค้าโมเดล k กลุ่ม g ของวันหยุด h สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m ในช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลา-วันหยุด (หน่วย)

4.1.3. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และเงื่อนไขบังคับ (Constraints)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับที่เกี่ยวข้องของตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิต (MI) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{w=1}^W \sum_{d=1}^D \left(\frac{X_{kgdwm} C_{Rk} + Y_{kgdwm} C_{OTk}}{P_k} \right) + \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{w=1}^W \sum_{h=1}^H \left(\frac{X_{kghwm} C_{Hk} + Y_{kghwm} C_{OTk}}{P_k} \right) \quad (1)$$

ภายใต้เงื่อนไขสมการที่ (2)–(10)

$$\left(\sum_{d=1}^D X_{kgdwm} + \sum_{h=1}^H X_{kghwm} + \sum_{d=1}^D Y_{kgdwm} + \sum_{h=1}^H Y_{kghwm} \right) \geq Q_{kgwm} ; \forall k, g, w, m \quad (2)$$

$$\sum_k \frac{X_{kgdwm}}{P_k} \leq \sum_k L_{kgdwmR} \times 8hrs ; \forall g, d, w, m \quad (3)$$

$$\sum_k \frac{Y_{kgdwm}}{P_k} \leq \sum_k L_{kgdwmOT} \times 2hrs ; \forall g, d, w, m \quad (4)$$

$$\sum_k \frac{Y_{kgdwm}}{P_k} \geq OTP_{dgwm} ; \forall g, d, w, m \quad (5)$$

$$\sum_k \frac{X_{kghwm}}{P_k} \leq \sum_k L_{kghwmR} \times 8hrs ; \forall g, h, w, m \quad (6)$$

$$\sum_k \frac{Y_{kghwm}}{P_k} \leq \sum_k L_{kghwmOT} \times 2hrs ; \forall g, h, w, m \quad (7)$$

$$\sum_k \frac{Y_{kghwm}}{P_k} \geq OTP_{hgwm} ; \forall g, h, w, m \quad (8)$$

$$I_{kgwm} = I_{kg(w-1)m} + \left(\sum_{d=1}^D X_{kgdwm} + \sum_{h=1}^H X_{kghwm} + \sum_{d=1}^D Y_{kgdwm} + \sum_{h=1}^H Y_{kghwm} \right) - Q_{kgwm} ; \forall k, g, w, m \quad (9)$$

$$X_{kgdwm}, X_{kghwm}, Y_{kgdwm}, Y_{kghwm} \geq 0 \text{ and Integer} ; \forall k, g, d, h, w, m \quad (10)$$

สมการที่ (1) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นทุนค่าแรงรวมที่ต่ำที่สุด โดยคำนวณจากปริมาณการผลิตในวันธรรมดาและวันหยุด ทั้งในช่วงเวลาปกติและช่วงล่วงเวลา สมการที่ (2) เป็นเงื่อนไขในการกำหนดปริมาณการผลิตตามปริมาณคำสั่งซื้อ สมการที่ (3)–(8) เป็นเงื่อนไขในการกำหนดจำนวนชั่วโมงแรงงานไม่ให้เกินจำนวนชั่วโมงแรงงานสูงสุดและไม่ให้น้อยกว่าชั่วโมงล่วงเวลาตามนโยบายของโรงงาน สมการที่ (9) เป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับปริมาณสินค้าคงคลัง และสมการที่ (10) เป็นเงื่อนไขจำนวนการผลิตต้องไม่ติดลบและต้องเป็นจำนวนเต็ม

4.2. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรแรงงานให้เหมาะสมกับงาน (M2)

ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 3.4 เมื่อทำการวางแผนการผลิตและกำหนดจำนวนพนักงานแล้ว งานวิจัยนี้จึงพัฒนาตัวแบบ ILP สำหรับการจัดสรรแรงงานตามทักษะของพนักงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้มีค่าทักษะในการผลิตสูงสุด ซึ่งสามารถกำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ได้ดังนี้

กำหนดให้ j = พนักงานคนที่ 1,2,3...(J)

4.2.1. พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

L_{kgdwmR} = จำนวนพนักงานสินค้าชนิด k กลุ่ม g เวลาปกติ-วันธรรมดา d สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (คน)

$L_{kgdwmOT}$ = จำนวนพนักงานสินค้าชนิด k กลุ่ม g ล่วงเวลา-วันธรรมดา d สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (คน)

$L_{kgghwmR}$ = จำนวนพนักงานของสินค้าชนิด k กลุ่ม g เวลาปกติ-วันหยุด h สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (คน)

$L_{kgghwmOT}$ = จำนวนพนักงานของสินค้าชนิด k กลุ่ม g ล่วงเวลา-วันหยุด h สัปดาห์ที่ w ของเดือนที่ m (คน)

T_{jkg} = ทักษะในการผลิตสินค้าของพนักงานคนที่ j สินค้าชนิด k กลุ่ม g

4.2.2. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

U_{jkghwm} = พนักงานคนที่ j ผลิตสินค้าชนิด k กลุ่ม g ช่วงเวลาปกติ-วันธรรมดา d สัปดาห์ที่ w เดือน m (คน)

V_{jkghwm} = พนักงานคนที่ j ผลิตสินค้าชนิด k กลุ่ม g ช่วงเวลาปกติ-วันหยุด h สัปดาห์ที่ w เดือนที่ m (คน)

V_{jkghwm} = พนักงานคนที่ j ผลิตสินค้าชนิด k กลุ่ม g ช่วงเวลา-วันธรรมดา d สัปดาห์ที่ w เดือนที่ m (คน)

V_{jkghwm} = พนักงานคนที่ j ผลิตสินค้าชนิด k กลุ่ม g ช่วงเวลา-วันหยุด h สัปดาห์ที่ w เดือนที่ m (คน)

4.2.3. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และเงื่อนไขบังคับ (Constraints)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรแรงงานให้เหมาะสมกับทักษะการทำงานของพนักงาน (M2) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (11)

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{w=1}^W \left(\frac{(U_{jkghwm} + V_{jkghwm}) \times T_{jkg}}{L_{kgdwmR} + L_{kgghwmR}} \right) + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{w=1}^W \left(\frac{(V_{jkghwmOT} + V_{jkghwmOT}) \times T_{jkg}}{L_{kgdwmOT} + L_{kgghwmOT}} \right) \quad (11)$$

ภายใต้เงื่อนไขดังสมการที่ (12)–(20)

$$\sum_{k=1}^K U_{jkghwm} \leq 1 \quad ; \forall j, g, d, w, m \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^K U_{jkghwm} \leq 1 \quad ; \forall j, g, h, w, m \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K V_{jkghwm} \leq 1 \quad ; \forall j, g, d, w, m \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^K V_{jkghwm} \leq 1 \quad ; \forall j, g, h, w, m \quad (15)$$

$$U_{jkghwm} = L_{kgdwmR} \quad ; \forall j, k, g, d, w, m \quad (16)$$

$$U_{jkghwm} = L_{kgghwmR} \quad ; \forall j, k, g, h, w, m \quad (17)$$

$$V_{jkghwm} = L_{kgdwmOT} \quad ; \forall j, k, g, d, w, m \quad (18)$$

$$V_{jkghwm} = L_{kgghwmOT} \quad ; \forall j, k, g, h, w, m \quad (19)$$

$$U_{jkghwm}, U_{jkghwm}, V_{jkghwm}, V_{jkghwm} = \text{binary} \quad ; \forall j, k, g, d, h, w, m \quad (20)$$

สมการที่ (11) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อจัดสรรแรงงานโดยคำนวณจากจำนวนพนักงานที่ต้องการตามแผนการผลิตและทักษะของพนักงาน สมการที่ (12)–(15) เป็นเงื่อนไขในการกำหนดให้พนักงานแต่ละคนทำงานได้ไม่เกิน 1 งานต่อวัน สมการที่ (16)–(19) เป็นเงื่อนไขในการกำหนดให้จำนวนพนักงานที่ถูกจัดสรรในแต่ละงานนั้นต้องเท่ากับจำนวนแรงงานที่ต้องการตามแผนการผลิต สมการที่ (20) เป็นเงื่อนไขการจัดสรรพนักงานซึ่งต้องมีค่าตอบเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

5. ผลการวิจัย

5.1.การหาคำตอบของตัวแบบที่นำเสนอ

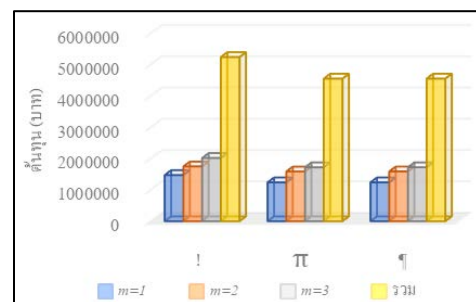
สำหรับการหาคำตอบของตัวแบบ $M1$ และ $M2$ ที่นำเสนอ งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือ Solver ในโปรแกรม MS Excel บนระบบปฏิบัติการ Windows (COMPUTE CORES 2C+3G 3.00 GHz, Installed: 4.00 GB, x64-based processor) ซึ่งสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาคำตอบของการวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบที่นำเสนอ ทั้งในกรณีที่ไม่มีกำหนดการทำงานล่วงเวลาตามนโยบายของบริษัทและกรณีที่กำหนดชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาตามนโยบายของบริษัท (ตามข้อมูลในตารางที่ 7) รวมถึงการจัดสรรแรงงานให้เหมาะสมกับงาน

5.2.การวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบ $M1$ ที่นำเสนอ

ข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้าและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตในช่วง 12 สัปดาห์ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 กลุ่ม (ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2) ได้ถูกนำมาใช้ในการวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบ $M1$ ที่นำเสนอในสมการที่ (1)–(10) และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการวางแผนการผลิตแบบกำหนดและไม่กำหนดชั่วโมงล่วงเวลากับการวางแผนการผลิตแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา โดยผลของการวางแผนการผลิตในแต่ละช่วงเวลาและต้นทุนค่าแรงรวมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 9

เมื่อวิเคราะห์ในส่วนของการวางแผนการผลิตกรณีที่มีการกำหนดชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาตามนโยบายของบริษัท จะเห็นได้ว่าตัวแบบ $M1$ ที่นำเสนอได้ทำการกำหนดแผนการผลิตล่วงเวลาในช่วงวันธรรมดา (OT_d) ก่อนการผลิตล่วงเวลาในช่วงวันหยุด (OT_h) และพิจารณาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการผลิตสูงให้ผลิตในช่วงล่วงเวลาแทนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการผลิตต่ำ เพื่อลดจำนวนชั่วโมงการผลิตในช่วงล่วงเวลาซึ่งมีค่าแรงสูงกว่าการผลิตในช่วงเวลาปกติ จึงส่งผลให้สามารถกำหนดแผนการผลิตที่มีต้นทุนค่าแรงรวมต่ำที่สุดได้ นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าแผนการผลิตที่ได้จากตัวแบบที่นำเสนอไม่มีการผลิตในวันหยุด ทั้งช่วงเวลาปกติและช่วงล่วงเวลาเลย และมีการผลิตในช่วงล่วงเวลาตามที่นโยบายของบริษัทกำหนดไว้ในวันธรรมดารวม 25,636 หน่วย หรือคิดเป็น

ร้อยละ 6.82 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้มากถึง 688,844 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 13.14 ของต้นทุนการผลิตแบบเดิมของทางบริษัท และในกรณีที่ไม่มีกำหนดชั่วโมงล่วงเวลา สามารถลดต้นทุนได้มากถึง 690,609 บาทหรือคิดเป็นร้อยละ 13.17 ของต้นทุนการผลิตแบบเดิมของทางบริษัท จะเห็นได้ว่าการวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบที่นำเสนอมีต้นทุนที่ต่ำกว่าวิธีการเดิมของบริษัท ดังตารางที่ 9 และ รูปที่ 1



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบต้นทุนค่าแรงจากการวางแผนการผลิตทั้ง 3 กรณี

5.3.การจัดสรรแรงงานให้เหมาะสมกับงานด้วยตัวแบบ $M2$ ที่นำเสนอ

ในการจัดสรรแรงงานด้วยตัวแบบ $M2$ ที่นำเสนอ ข้อมูลทักษะของพนักงาน (ในหัวข้อที่ 3.4) และจำนวนพนักงานที่ต้องการหลังจากการวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบ $M1$ ถูกนำมาใช้สำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ในสมการที่ (11)–(20) โดยการจัดสรรแรงงานด้วยตัวแบบที่นำเสนอทั้งในกรณีที่มีการกำหนดการทำงานล่วงเวลาและไม่กำหนดการทำงานล่วงเวลานั้นสามารถจัดสรรแรงงานได้อย่างเหมาะสมและมีค่าทักษะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 69.00 ตามการจัดสรรแรงงานแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษาเป็น 83.51 และ 83.74 ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 14.51 และ 14.74 ตามลำดับ ดังตารางที่ 10 และรูปที่ 2

จากการวิเคราะห์ผลการจัดสรรแรงงานด้วยตัวแบบที่นำเสนอ พบว่าเมื่อมีการกำหนดการทำงานล่วงเวลาตามนโยบายของบริษัท ตัวแบบ $M2$ จะจัดสรรพนักงานที่มีทักษะการทำงานสูงให้ทำงานในช่วงล่วงเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการผลิตสูง

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบของการวางแผนการผลิตแบบเดิมของบริษัทและตัวแบบที่นำเสนอ

เดือน (m), สัปดาห์ (w)	กลุ่ม ผลิตภัณฑ์	จำนวนชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาในการผลิต (ชั่วโมง-แรงงาน)												ปริมาณการผลิตต่อเวลารวม			ค่าแรงในการผลิตรวม (บาท)		
		R_i			OT_i			R_i			OT_i			(คน-วัน)					
		!	π	η	!	π	η	!	π	η	!	π	η	!	π	η	!	π	η
$m = 1, w = 1$	A	935	593	593	40	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	39,800	23,713	23,720
	B	7,000	6,368	6,368	150	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	289,000	254,720	254,720
	C	825	793	793	110	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0	0	39,600	31,720	31,723
$m = 1, w = 2$	A	935	593	593	40	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	39,800	23,713	23,720
	B	7,000	6,368	6,368	150	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	289,000	254,720	254,720
	C	825	793	793	110	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0	0	39,600	31,720	31,723
$m = 1, w = 3$	A	935	593	593	40	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	39,800	23,713	23,720
	B	7,000	6,368	6,368	150	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	289,000	254,720	254,720
	C	825	793	793	110	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0	0	39,600	31,720	31,723
$m = 1, w = 4$	A	935	593	593	40	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	39,800	23,713	23,720
	B	7,000	6,368	6,368	150	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	289,000	254,720	254,720
	C	825	793	793	110	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0	0	39,600	31,720	31,723
รวมช่วงเวลา $m = 1$		35,040	31,015	31,016	1,200	0	0	0	0	0	0	0	0	1,840	0	0	1,473,600	1,240,611	1,240,652
$m = 2, w = 1$	A	760	760	760	200	46	47	0	0	0	0	0	0	50	48	50	42,400	33,160	33,220
	B	7,200	7,200	7,200	800	559	562	0	0	0	0	0	0	1,125	1,042	2,115	336,000	321,540	321,720
	C	800	800	800	450	174	174	0	0	0	0	0	0	1,450	1,400	353	59,000	42,448	42,446
$m = 2, w = 2$	A	760	760	760	200	46	47	0	0	0	0	0	0	50	48	50	42,400	33,160	33,220
	B	7,200	7,200	7,200	800	559	562	0	0	0	0	0	0	1,125	1,042	2,115	336,000	321,540	321,720
	C	800	800	800	450	174	174	0	0	0	0	0	0	1,450	1,400	353	59,000	42,448	42,446
$m = 2, w = 3$	A	760	760	760	200	46	47	0	0	0	0	0	0	50	48	50	42,400	33,160	33,220
	B	7,200	7,200	7,200	800	559	562	0	0	0	0	0	0	1,125	1,042	2,115	336,000	321,540	321,720
	C	800	800	800	450	174	174	0	0	0	0	0	0	1,450	1,400	353	59,000	42,448	42,446
$m = 2, w = 4$	A	760	760	760	200	46	47	0	0	0	0	0	0	50	48	50	42,400	33,160	33,220
	B	7,200	7,200	7,200	800	559	562	0	0	0	0	0	0	1,125	1,042	2,115	336,000	321,540	321,720
	C	800	800	800	450	174	174	0	0	0	0	0	0	1,450	1,400	353	59,000	42,448	42,446
รวมช่วงเวลา $m = 2$		35,040	35,040	35,040	5,800	3,117	3,133	0	0	0	0	0	0	10,500	9,960	10,064	1,749,600	1,588,590	1,589,547

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบของการวางแผนการผลิตแบบดั้งเดิมของบริษัทและตัวแบบที่นำเสนอ (ต่อ)

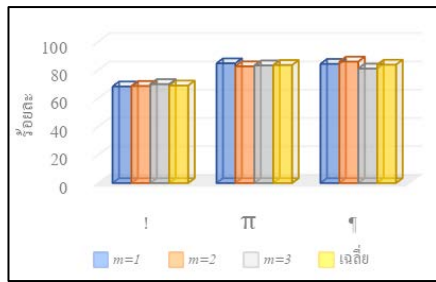
เดือน (m), สัปดาห์ (w)	กลุ่ม ผลิตภัณฑ์	จำนวนชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาในการผลิต (ชั่วโมง-แรงงาน)												ปริมาณการผลิตต่อเวลารวม			ค่าแรงในการผลิตรวม (บาท)		
		R_L						OT_L						(คน-ชั่วโมง)					
		!	π	η	!	π	η	!	π	η	!	π	η	!	π	η	!	π	η
$m = 3, w = 1$	A	760	754	755	340	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	50,800	30,160	30,200
	B	7,200	7,200	7,200	1,800	1,236	1,238	100	0	0	0	0	0	2,925	2,400	3,676	404,000	362,150	362,280
	C	800	800	800	300	106	106	0	0	0	0	0	0	700	225	218	50,000	38,338	38,360
$m = 3, w = 2$	A	760	754	755	340	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	50,800	30,160	30,200
	B	7,200	7,200	7,200	1,800	1,236	1,238	100	0	0	0	0	0	2,925	2,400	3,676	404,000	362,150	362,280
	C	800	800	800	300	106	106	0	0	0	0	0	0	700	225	218	50,000	38,338	38,360
$m = 3, w = 3$	A	760	754	755	340	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	50,800	30,160	30,200
	B	7,200	7,200	7,200	1,800	1,236	1,238	100	0	0	0	0	0	2,925	2,400	3,676	404,000	362,150	362,280
	C	800	800	800	300	106	106	0	0	0	0	0	0	700	225	218	50,000	38,338	38,360
$m = 3, w = 4$	A	760	754	755	340	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	50,800	30,160	30,200
	B	7,200	7,200	7,200	1,800	1,236	1,238	100	0	0	0	0	0	2,925	2,400	3,676	404,000	362,150	362,280
	C	800	800	800	300	106	106	0	0	0	0	0	0	700	225	218	50,000	38,338	38,360
รวมช่วงเวลา $m = 3$		35,040	35,015	35,020	9,760	5,367	5,376	400	0	0	0	0	0	14,540	10,500	15,576	2,019,200	1,722,590	1,723,360
รวม		105,120	101,070	101,076	16,760	8,483	8,509	400	0	0	0	0	0	26,880	20,460	25,628	5,242,400	4,551,791	4,553,559

กำหนดให้ ! = การวางแผนการผลิตของโรงงาน, π = การวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบที่นำเสนอโดยไม่กำหนดการทำงานล่วงเวลา, η = การวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบที่นำเสนอโดยกำหนดการทำงานล่วงเวลาตามนโยบาย

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าทักษะของพนักงาน (%) สำหรับการจัดสรรแรงงาน

เดือน (m)	กลุ่ม A			กลุ่ม B			กลุ่ม C			เฉลี่ยแต่ละเดือน			เฉลี่ยสามเดือน		
	!	π	η	!	π	η	!	π	η	!	π	η	!	π	η
$m = 1$	70.00	87.65	87.09	65.00	76.40	76.40	70.00	90.11	89.50	68.33	84.72	84.30			
$m = 2$	68.00	83.59	85.42	68.00	77.02	82.20	70.00	87.16	90.16	68.67	82.59	85.93	69.00	83.51	83.74
$m = 3$	70.00	84.14	84.03	70.00	77.03	69.70	70.00	88.49	89.17	70.00	83.22	80.97			

กำหนดให้ ! = การวางแผนการผลิตของโรงงาน, π = การวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบที่นำเสนอโดยไม่กำหนดการทำงานล่วงเวลา, η = การวางแผนการผลิตด้วยตัวแบบที่นำเสนอโดยกำหนดการทำงานล่วงเวลาตามนโยบาย



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบค่าร้อยละของทักษะการทำงานของพนักงานจากการจัดสรรแรงงานทั้ง 3 กรณี

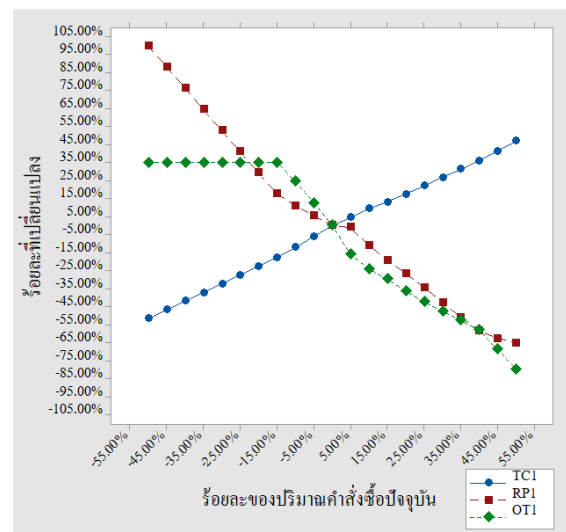
5.4.การวิเคราะห์ข้อจำกัดและต้นทุน ในการวางแผนการผลิตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคำสั่งซื้อ

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการสินค้าต่อต้นทุนและเวลาในการผลิตคงเหลืองานวิจัยนี้จึงทำการกำหนดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคำสั่งซื้อทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง จากร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 50 ของปริมาณคำสั่งซื้อปัจจุบัน ทั้งการผลิตที่กำหนดและไม่กำหนดชั่วโมงการผลิตแบบล่วงเวลาตามนโยบาย

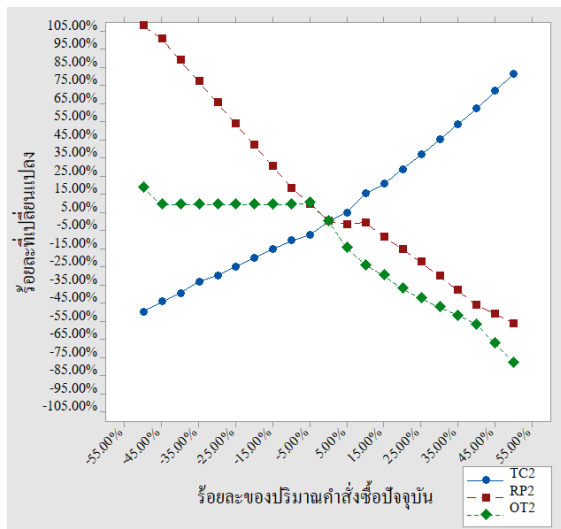
ผลจากตัวแบบที่นำเสนอพบว่าเมื่อมีคำสั่งซื้อเพิ่มขึ้นจะมีต้นทุนในการผลิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากจำเป็นต้องใช้เวลาในการผลิตเพิ่มขึ้น ในขณะที่จำนวนชั่วโมงการผลิตแบบล่วงเวลาของวันธรรมดาและวันหยุดจะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการสินค้าของแต่ละกลุ่มของผลิตภัณฑ์ นอกจากนั้นการที่ตัวแบบที่นำเสนอมีการพิจารณาต้นทุนของค่าแรงในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ตัวแบบจึงกำหนดแผนการผลิตล่วงเวลาในช่วงวันธรรมดา (OT_d) ก่อนการผลิตล่วงเวลาในช่วงวันหยุด (OT_h) และพิจารณาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการผลิตสูงให้ผลิตในช่วงล่วงเวลา โดยเมื่อปริมาณความต้องการสินค้าเพิ่มขึ้น ตัวแบบที่นำเสนอจะยังคงหาคำตอบที่ทำให้ผลิตผลิตภัณฑ์ทุกโมเดลได้ทันกำหนด โดยมีข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิตที่สามารถรองรับปริมาณคำสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้นได้ไม่เกินร้อยละ 40 ของปริมาณคำสั่งซื้อปัจจุบัน และจะไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์บางโมเดลในกลุ่มที่ B ได้ทันเวลาเมื่อมีความต้องการสินค้าเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 40 ของปริมาณคำสั่งซื้อปัจจุบัน จากรูปที่ 3 และรูปที่ 4

จะเห็นได้ว่าถึงแม้จะมีชั่วโมงการผลิตในช่วงเวลาปกติและช่วงล่วงเวลาเฉลี่ย 3 เดือนคงเหลืออยู่เมื่อความต้องการสินค้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 45 และร้อยละ 50 ของปริมาณคำสั่งซื้อปัจจุบัน แต่เวลาคงเหลือดังกล่าวนี้เป็นเวลาคงเหลือของการผลิตผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม A และกลุ่ม C จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์กลุ่ม B ได้

ในทางกลับกันเมื่อมีคำสั่งซื้อลดลงจะมีต้นทุนในการผลิตที่ลดลงเช่นกัน รวมถึงมีชั่วโมงการผลิตในช่วงเวลาปกติคงเหลืออยู่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามชั่วโมงการผลิตในช่วงล่วงเวลาคงเหลือนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีคำสั่งซื้อลดลงไม่เกินร้อยละ 15 ของปริมาณคำสั่งซื้อปัจจุบัน และจะไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีกแม้ว่าจะมีคำสั่งซื้อลดลง เนื่องจากยังคงจำเป็นที่จะต้องมีการผลิตในช่วงล่วงเวลาสำหรับผลิตภัณฑ์บางโมเดล เพื่อให้ทันกับกำหนดการส่งมอบสินค้า ยกเว้นกรณีที่ปริมาณคำสั่งซื้อของสินค้าบางโมเดลลดลงจนสามารถผลิตได้ทันในช่วงเวลาปกติ จึงมีชั่วโมงการผลิตในช่วงล่วงเวลาคงเหลือเพิ่มขึ้นได้อีก ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ร้อยละของต้นทุน (TC1) ชั่วโมงการผลิตในช่วงเวลาปกติคงเหลือ (RP1) ชั่วโมงการผลิตในช่วงล่วงเวลาคงเหลือ (OT1) เปรียบเทียบกับปริมาณคำสั่งซื้อปัจจุบันโดยไม่กำหนดชั่วโมงการผลิตในช่วงล่วงเวลา



รูปที่ 4 ร้อยละของต้นทุน (TC2) ชั่วโมงการผลิตในช่วงเวลาปกติคงเหลือ (RP2) ชั่วโมงการผลิตในช่วงเวลาคงเหลือ (OT2) เปรียบเทียบกับปริมาณค่าส่งซื้อปัจจุบันโดยกำหนดชั่วโมงการผลิตในช่วงเวลา

6. สรุปผลการวิจัย

จากการใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เพื่อหาคำตอบของการวางแผนการผลิต (ตัวแบบ *M1*) และการจัดสรรแรงงาน (ตัวแบบ *M2*) สำหรับการผลิตชุดสายไฟรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษาเป็นเวลา 1 ไตรมาส สามารถลดต้นทุนค่าแรงได้มากถึงร้อยละ 13.17 เมื่อเปรียบเทียบกับการวางแผนการผลิตแบบเดิมของบริษัทในกรณีที่ไม่มีกำหนดขอบเขตของชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา และสามารถลดต้นทุนค่าแรงได้ร้อยละ 13.14 สำหรับกรณีที่มีการกำหนดชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาตามนโยบายของบริษัท ซึ่งตัวแบบที่นำเสนอสามารถหาคำตอบของปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพและสัมพันธ์กับค่าแรงของพนักงานในการผลิตแต่ละช่วงเวลา โดยตัวแบบการวางแผนการผลิต (ตัวแบบ *M1*) ที่นำเสนอเหมาะสำหรับการหาคำตอบทั้งในสถานการณ์ที่ไม่มีกำหนดชั่วโมงล่วงเวลาขั้นต่ำและมีการกำหนดชั่วโมงล่วงเวลาขั้นต่ำ ซึ่งในกรณีที่ไม่มีกำหนดชั่วโมงล่วงเวลาขั้นต่ำนั้น การผลิตในบางช่วงไม่จำเป็นต้องมีการทำงานล่วงเวลาหรือมีการทำงานล่วงเวลาเฉพาะบางวัน ทำให้ไม่เพิ่มต้นทุนในการผลิตและพนักงานไม่จำเป็นต้องทำงานล่วงเวลา ในส่วนกรณีที่มีการกำหนด

ขอบเขตของชั่วโมงล่วงเวลา จะเหมาะกับสถานการณ์ที่มีการกำหนดชั่วโมงล่วงเวลาขั้นต่ำตามนโยบาย บริษัทสามารถจัดการแผนการผลิตตามปริมาณความต้องการสินค้ากับชั่วโมงการทำงานได้สะดวกเมื่อมีปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง

ในส่วนของการจัดสรรแรงงานให้เหมาะสมกับงานด้วยตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มที่น่าเสนอนั้น ตัวแบบที่นำเสนอสามารถจัดสรรแรงงานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 กลุ่ม โดยมีทักษะในการผลิตของพนักงานรวมเพิ่มขึ้นจากการจัดสรรแรงงานแบบเดิมของบริษัทซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 69.00 เป็นร้อยละ 83.51 และ 83.74 (สำหรับกรณีที่ไม่มีกำหนดขอบเขตของชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาและกรณีที่มีการกำหนดชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาตามนโยบายของบริษัทตามลำดับ) นอกจากนี้ต้นทุนที่ลดลงและทักษะการผลิตที่เพิ่มขึ้นแล้วนั้น ผู้ใช้งาน (User) สามารถปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อหาคำตอบในสถานการณ์ที่เปลี่ยนไปได้ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มีความพร้อมที่จะรับมือกับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของคำสั่งซื้อได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Latakit and K. Araya, "KKP Research", 2022. Distributed by Kiatnakin Phatra Bank Plc. https://media.kkpfg.com/document/2022/Apr/KKP%20Research_Thai_Automotive_Industry_Analysis_Edit.pdf
- [2] F. Claudio, G. Michele and M. Macro, "A 4M approach for a comprehensive analysis and improvement of manual assembly lines", presented at 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Modena, Italy, Jun. 27-30, 2017, pp. 1510–1518.

- [3] S. Kumar and N. Suresh, "Production Planning and Control," in *Production and Operations Management, Daryaganj*, New Delhi, India: New Age International (P) Ltd., 2009, ch. 5, sec. 2, pp. 108.
- [4] H. Jay and R. Barry, "Linear Programming Models" in *Operations Management*, Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 2011, part 4, sec. B, pp. 722.
- [5] R. S. Russell, and B. W. Taylor, "Sales and Operations Planning," in *Operations and supply chain management*, Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2014, ch. 14, sec. 1, pp. 610.
- [6] H. A. Taha, "Modeling with Linear Programming," in *Operations research an introduction*, Harlow, England: Pearson Education Limited, 2017, ch. 2, sec. 2.4.2, pp. 62.
- [7] T. Srisawat, C. Ngiampaisal and W. Nunkaew, "A Lexicographic Optimization Model for Multi- Source Raw Material Purchasing of Steel Manufacturing with Several Objective Functions," in The 9th International Congress on Natural Sciences and Engineering, Nagoya, Japan, 2020.
- [8] P. Varvarigos and M. Y. Horne, "Application of Linear Programming too individual fish farm Production Planning," Ph.D. dissertation, Dept. Aquaculture, University of Stirling, Scotland, 1968
- [9] T. C. E. CHENG, "Capacity requirements planning by stochastic Linear Programming," *Mathematical Modelling*, vol. 7, no. 2–3, pp. 443–448, 1986, doi: 10.1016/0270-0255(86)90063-1.
- [10] D. L. Nash and G. W. Rogers, "Herd Sire Portfolio Selection: A Comparison of Rounded Linear and Integer Programming," *Journal of Dairy Science*, vol. 78, no. 11, pp. 2486–2495, 1995, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76877-1.
- [11] M. A Talal and Y. Jay, "Refinery units maintenance scheduling using integer programming," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 19, no. 9, pp. 543–549, 1995, doi: 10.1016/0307-904X(95)00032-F.
- [12] J. Tehem, M. Pirlot and C. Antoniadis, "Embedding of linear programming in a simulated annealing algorithm for solving a mixed integer production planning problem," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 64, no. 1–2, pp. 91–102, 1995, doi: 10.1016/0377-0427(95)00009-7.
- [13] R. R. Farrell and T. C. Maness, "A relational database approach to a linear programming-based decision support system for production planning in secondary wood product manufacturing," vol. 40, no. 2, pp. 183–196, 2005, doi: 10.1016/j.dss.2004.02.001.
- [14] T. Subrata, S. Moumita and Md. Abnul Islamc, "Aggregate planning problem solving using linear programming method," *American Academic & Scholarly Research Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 20–28, 2015
- [15] T. G. Dariush, M. Stefan and S. Lena, "Mixed integer linear programming formulation for flexibility instruments in capacity planning problems," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 97, pp. 101–110, 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.04.013.
- [16] J. Huan, W. Barrett, Thomas and H. Mike, "Integer programming techniques for makespan minimizing workforce assignment models that recognize human learning," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 97, pp. 202–211, 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.03.027.
- [17] F. P. Andres, A. H. Cesar, L. Amaia, P. M. Oliver and P. S Roberto, "Solving a staffing problem with annualized hours, multiskilling with 2-chaining, and overtime: A retail industry case," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 167, 2022, Art. no. 107999, doi: 10.1016/j.cie.2022.107999.
- [18] B. Sandro, R. Libo and K. Nestor, "A linear programming-based framework for handling missing data in multi-granular data warehouses," *Data &*

- Knowledge Engineering*, vol. 128, 2020, Art. no. 101832, doi: 10.1016/j.datak.2020.101832.
- [19] P. David, M. Josefa, J. Mariano and Ma del Mar Botella, "A fuzzy linear programming based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment," *European Journal of Operational Research*, vol. 205, no. 1, pp. 65–80, 2010, doi: 10.1016/j.ejor.2009.11.031
- [20] W. Earl-Juei, S. Tai-Sheng and C. Ming-Hsien, "Comparative study of the applicability of fuzzy multi-objective linear programming models through cost-effective analysis for mold manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 206–219, 2013, doi: 10.1016/j.jmsy.2012.10.003.
- [21] E. Fathy and A. E. Hassanien, "Fuzzy harmonic mean technique for solving fully fuzzy multilevel multiobjective linear programming problems," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 10, pp. 8189–8205, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2022.01.021
- [22] B. Serdar, M. Bulent Durmusoglu and C. Didem, "Team based labour assignment methodology for new product development projects," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 106, pp. 83–104, 2017, doi: 10.1016/j.cie.2016.11.032.
- [23] J. Jully and B. O Mayassa, "Optimizing temporary work and overtime in the Time Cost Quality Trade-off Problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 284, no. 2, pp. 743–761, 2020, doi: 10.1016/j.ejor.2020.01.013.
- [24] T. Alejandra, M. D Gregorio, F. F John, M. A Jose and C. Javier, "Multistage reliability-based expansion planning of ac distribution networks using a mixed-integer linear programming model," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 138, 2022, Art. no. 107916, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107916.
- [25] H. Liping and S. Rong, "An Auto-MILP Model for Flexible Job Shop Scheduling Problem," *IFAC PapersOnLine*, vol. 55, no. 3, pp. 137–142, 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.05.024.
- [26] K. Yiyo and L. Chia-Chun, "Operator assignment in a labor-intensive manufacturing cell considering inter-cell manpower transfer," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 110, pp. 83–91, 2017, doi: 10.1016/j.cie.2017.05.036.
- [27] W. S. Jacobson, "Preparing for Tomorrow: A Case Study of Workforce Planning in North Carolina Municipal Governments," *Public Personnel Management*, vol. 39, no. 4, pp. 353–377, 2010, doi: 10.1177/009102601003900404.
- [28] P. Yogita and T. Shruti, "Work Force Planning, Literature Analysis: Digitization compels for a Conceptual Model for Data Driven Decisions," *IOSR Journal of Business and Management*, vol. 19, no. 11, pp. 1–11, 2017, doi: 10.9790/487X-1911060111.
- [29] S. Judy and H. Gillian, "The right person, in the right job, with the right skills, at the right time: a workforce planning model that goes beyond metrics," *Library Management*, vol. 30, no. 8/9, pp. 561–571, 2009, doi: 10.1108/01435120911006520.
- [30] L. Nophadon, "Put the right man to the right job and division of labor concept in different context: Is it still valid in Modernity and Post-modernity era," *RMUTSB Academic Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 83–91, 2013.
- [31] R. K. Chakraborty and Md. A. Akhtar Hasin, "Solving an aggregate production planning problem by using multi-objective genetic algorithm (MOGA) approach," *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 4, no. 1, p. 1–12, 2013, doi: 10.5267/j.ijiec.2012.09.003.

- [32] M. Claudio and P. M. Josep, "Labor supply with job assignment under balanced growth," *Journal of Economic Theory*, vol. 163, pp. 110–140, 2016, doi: 10.1016/j.jet.2016.01.004.
- [33] M. Garaix, M. Gondran, P. Lacomme, E. Mura and N. Tchernev, "Workforce Scheduling Linear Programming Formulation," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 264–269, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.289.
- [34] L. J. Zeballosa, C. A. Mendeza and A. P. Barbosa Pova, "Mixed-integer linear programming approach for product design for life-cycle profit," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 137, 2019, Art. no. 106097, doi: 10.1016/j.cie.2019.106079
- [35] A. Ashkan, Z. Mostaf and F. Farbod, "Balancing, sequencing, and job rotation scheduling of a U-shaped lean cell with dynamic operator performance," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 143, 2020, Art. no. 106363, doi: 10.1016/j.cie.2020.106363.
- [36] Z. Ningru, S. Yukun, S. Yang and M. Jiaming, "Aggregate labor market fluctuations under news shocks," *Economic Modelling*, vol. 90, pp. 397–405, 2020, doi: 10.1016/j.econmod.2019.12.018.
- [37] K. Toshiya, K. Daisuke, F. Nobutada and I. Daichi, "Auction-based production planning considering operators' skill criterion," *CIRP Annals*, vol. 70, no. 1, pp. 399–402, 2021, doi: 10.1016/j.cirp.2021.04.044.
- [38] A. El-Awady, M. Ashraf, A. Ali, E. Ahmed and D. Philippe, "Aggregate production planning considering organizational learning with case based analysis," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, no. 2, 2022, Art. no. 101575, doi: 10.1016/j.asej.2021.09.002