

การจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จันจิรา คงชื่นใจ^{*1} และ เชษฐา ชำนาญหล่อ²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 หมู่ 6 ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

บทคัดย่อ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในบทความนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยผลิตภัณฑ์กันชนหน้ารถ (Front bumper) 2 ประเภทที่อยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์ (Product family) เดียวกันได้ถูกนำเสนอและศึกษาเชิงตรวจสอบด้วยแนวคิดแบบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed model concept) ซึ่งในการผสมผสานการผลิตผลิตภัณฑ์ ทั้งสายการผลิตแบบขนาน (Parallel line) และสายการผลิตแบบรวม (Merged line) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตจริงของกรณีศึกษา โดยการเปรียบเทียบกับ การจัดสมดุลสายการผลิตเดี่ยว (Single line balance) พบว่า แนวคิดของการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมได้แสดงค่าวัตถุประสงค์ของต้นทุนที่ต่ำที่สุด (Cost minimization) และการใช้ประโยชน์ (Utilization) ได้ดีกว่าแบบสายการผลิตเดี่ยว จึงสรุปได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการผลิตของกรณีศึกษา

คำสำคัญ: การจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ผสม, อุตสาหกรรมยานยนต์, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

* Corresponding author. Email: janjira_k@eng.src.ku.ac.th

¹ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Mixed Model Line Balancing in Automotive Industry using Mathematical Models

Janjira Kongchuenjai*¹ and Chettha Chamnanlor²

Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

199 Moo 6, Tung Sukla, Sukhumvit Rd., Si Racha, Chonburi, 20230

Abstract

In this paper, the mathematical model is developed to balance the mixed production line in the automotive industry. In the same product family, two products of front bumper are introduced and investigated with the mixed model concept. In the mixing models, the parallel and merged productions are applied in the real production of case study. With the single line balance, the mixed-model concepts result in the better objective of cost minimization and utilization, compared to the single model concept. In summary, the proposed mathematical model is suitable for implantation.

Keywords: Mixed-model Line balancing, Automotive industry, Mathematical model

* Corresponding author. Email: janjira_k@eng.src.ku.ac.th

¹ Lecturer in Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus

² Assistance Professor in Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus

1. บทนำ

การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยมีความเชื่อมโยงกับสถานการณ์การผลิตของอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สภาพปัจจุบันของอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบเศรษฐกิจและสังคม โดยสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้รายงานข้อมูลว่า ในปี 2560 อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มียอดการผลิตเพื่อการส่งออกสูงสุดในรอบ 6 เดือน ซึ่งถือเป็นสัญญาณที่ดีภายหลังการชะลอตัวการผลิตมาระยะหนึ่ง [1] ประกอบกับความต้องการรถยนต์ทั้งในและนอกประเทศที่มีเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น ผู้ผลิตระดับต่างๆ ในอุตสาหกรรมนี้ จึงได้ให้ความสำคัญต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มศักยภาพทางการแข่งขัน โดยมุ่งเน้นการจัดการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อลดปัญหาการผลิตไม่ทันตามเป้าหมายหรือไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้

แนวทางหนึ่งที่ถูกกันดีสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต คือ การจัดสมดุลสายการผลิต ที่มักจะมีเป้าหมายในการปรับลดรอบเวลาการทำงาน (Cycle time) ให้สามารถผลิตได้ตามกำหนดเวลาส่งงาน และยังมีเป้าหมายเพื่อลดจำนวนสถานีงาน (Workstation) ให้ให้น้อยที่สุดซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตลดลงอีกด้วย อย่างไรก็ตาม จากความต้องการที่มีอย่างหลากหลาย ทำให้ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยทั่วไปต้องดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งรุ่นในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้น การทำให้ระบบการผลิตไหลอย่างราบเรียบด้วยการจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed models) กลายเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรมุ่งเน้นศึกษา ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตได้ตรงตามความต้องการกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2, 3]

งานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นการแก้ปัญหาการบริหารจัดการผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive industry) ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เพื่อจัดสมดุลการผลิตผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed models production lines) โดยมุ่งเน้นการหาค่าที่ต่ำที่สุดของต้นทุนการผลิต (Cost minimization) ซึ่งประกอบด้วย

ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปิดสถานีงานใหม่และค่าแรงงานตามทักษะในการทำงานย่อยต่างๆ

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดสมดุลสายการผลิต คือ การจัดสรรงานย่อยต่างๆ (Work elements) ให้กับแต่ละสถานีงานที่เหมาะสม โดยทำให้เวลาการผลิตรวมของแต่ละสถานีงานมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ไม่มีสถานีงานใดมีรอบเวลาการผลิตน้อยหรือมากเกินไป ดังนั้น การจัดสมดุลในการผลิตจะช่วยลดปัญหาคอขวด ลดงานกองคั่งค้างในระบบที่มากเกินไป หรือแม้แต่การลดเวลาว่างงานในแต่ละสถานีงานได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า แนวคิดในการจัดสมดุลในการผลิตนี้ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรทั้งคน เครื่องจักร และอุปกรณ์ ได้อย่างคุ้มค่า มีประโยชน์สูงสุด (Maximum utilization) ซึ่งมีการศึกษาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีต่างๆ ในการจัดสมดุลสายการผลิตอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติทั้งแบบที่มีข้อจำกัดในการผลิต และแบบทรัพยากรการผลิตร่วมโดยมุ่งเน้นจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด [4] การจัดสมดุลสายการผลิตแชสซี (Chassis) โดยวิธีการเชิงผสมระหว่างเทคนิคการเรียงตำแหน่งน้ำหนัก (Ranked positional weight technique) และเทคนิคคอมพิวเตอร์ (COMSOL) [5] การจัดสมดุลสายการประกอบในโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีสถิติ 4 วิธีการ พร้อมทั้งการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประกอบในการคำนวณด้วย [6] หรือแม้แต่การจัดสมดุลสายการประกอบอย่างง่ายที่มีการจำกัดประเภทเครื่องจักร โดยการใช้อัลกอริทึมวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ได้รับการพัฒนาเชิงปรับปรุงขึ้น (Modified differential evolution algorithm) [7] นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาพัฒนาอัลกอริทึมกลุ่มเมตะฮิวริสติกส์สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม [8, 9] อีกด้วย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

บทความนี้มุ่งเน้นศึกษาปัญหาการบริหารจัดการผลิตของผู้ผลิตรายหนึ่งในอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจัดสมดุลสายการผลิตที่

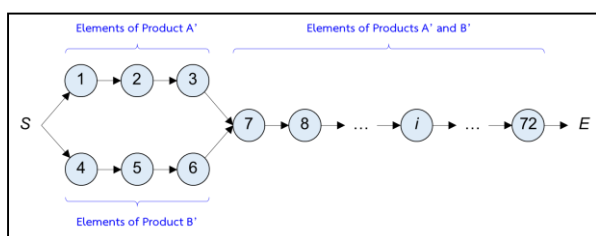
เหมาะสมกับสถานการณ์การผลิตของกรณีศึกษา ซึ่งในขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยได้อธิบายไว้ 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ การวิเคราะห์กระบวนการผลิตกันชนหน้ารถยนต์ และการพัฒนาวิธีการเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา

3.1 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตกันชนหน้าเป็นขั้นตอนหนึ่งในการผลิตรถยนต์ของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งถือเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากกำลังเผชิญปัญหาของการผลิตไม่ตรงตามเป้าหมาย ซึ่งในปัจจุบันสามารถผลิตได้เพียง 301 ชิ้นต่อวัน ในขณะที่ เป้าหมายที่ถูกกำหนดจากความต้องการสำหรับการผลิต คือ 318 ชิ้นต่อวัน ดังนั้น รอบเวลาการผลิตที่ต้องการ (Takt time) คือ 90.56 วินาที โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 2 ผลิตภัณฑ์ คือ Product A' และ Product B' ซึ่งมีลักษณะของขั้นตอนงานย่อยในการผลิตใกล้เคียงกัน มีงานย่อยทั้งหมด 72 งานย่อยสำหรับ Product A' และ 69 งานย่อยสำหรับ Product B' โดยการดำเนินการผลิตทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ นั้นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของความสัมพันธ์ของลำดับงานย่อยก่อนหลังแสดงดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดของขั้นตอนงานย่อยต่างๆ ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ดังตารางที่ 1 และเวลามาตรฐานงานย่อยเหล่านั้นจะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งในปัจจุบันทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์จะถูกผลิตด้วยสถานีงานที่ผ่านการจัดสมดุลแล้วทั้งหมดจำนวน 15 สถานีงานต่อสายการผลิต และมีเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ 4 ชั่วโมงสำหรับช่วง เช้าและ 4 ชั่วโมงสำหรับช่วงบ่าย

ตารางที่ 1 ขั้นตอนงานย่อยทั้งหมด

No	Element	No	Element
1	ติด Tape ด้านซ้าย	37	ใช้หินขัดลบรอย
2	ติด Tape ด้านขวา	38	หยิบเครื่องปั้นพร้อมหัวปั่น
3	ยกชิ้นงานไปที่ Belt conveyer in	39	ปั่นลบรอยกระดาดทราย
4	ยกชิ้นงานไป Belt conveyer out	40	ประกอบ Cover bumper
5	ติดตั้ง Jig ที่ Dolly	41	ประกอบ Cover lamp
6	ยกชิ้นงานไปที่ Dolly	42	ยก bumper มาที่ Jig locker
7	เช็ดผิวด้านซ้าย	43	ยิงสกรู Cover bumper ด้านซ้าย
8	ทำความสะอาดด้านบน	44	ใส่ Lower grille ยิงสกรูซ้าย 2 ตัว
9	ทำความสะอาดด้านขวา	45	ใส่ Fog lamp ยิงสกรูซ้าย 2 ตัว
10	ทำความสะอาดด้านล่างวางผ้า	46	ใส่ Bezel และตามด้วย Sensor 3 ตัว
11	พ่นสีด้านซ้าย	47	ใส่ Deflector ยิงสกรูซ้าย 4 ตัว
12	พ่นสีด้านซ้าย	48	ใส่ Cover bumper
13	พ่นสีด้านซ้าย	49	ใส่ Lower grille
14	พ่นสีด้านล่างเก็บปืนพ่นสี	50	ใส่ Fog lamp ยิงสกรู 2 ตัว
15	เสียบสายลมหยิบปืนลม	51	ใส่ Bezel และ Sensor 3 ตัว
16	พ่นสีด้านล่าง	52	ใส่ Deflector ยิงสกรูขวา 4 ตัว
17	พ่นสีด้านขวา	53	ปลด Bumper ออกจาก Jig locker
18	พ่นสีด้านบน	54	ยก Bumper จากBelt Jig locker
19	พ่นสีด้านซ้าย	55	ใส่ Jig locker
20	ถอดสายลมเก็บปืนพ่นสี	56	ใส่ Cover bumper
21	เสียบสายลมหยิบปืนพ่นสี	57	ใส่ Cover lamp
22	พ่นสีด้านซ้าย	58	ใส่ Cover bumper ยิงสกรู 6 ตัว
23	พ่นสีด้านบน	59	ใส่ Lower grille ด้านซ้ายยิงสกรู 3 ตัว
24	พ่นสีด้านขวา	60	ใส่ Fog lamp ยิงสกรูซ้าย 2 ตัว
25	พ่นสีด้านล่าง	61	ใส่ Bezel และ Sensor 3 ตัว
26	พ่นสี Uncover	62	ใส่ Deflector ยิงสกรูด้านซ้าย 4 ตัว
27	ถอดสายลมเก็บ	63	ยิงสกรู Cover bumper 6 ตัวขวา
28	พ่นสีด้านล่าง	64	ใส่ Lower grille ยิงสกรูขวา 2 ตัว
29	พ่นสีด้านขวา	65	ใส่ Fog lamp ยิงสกรูขวา 2 ตัว
30	พ่นสีด้านบน	66	ใส่ Bezel กับ Sensor ขวา 3 ตัว
31	พ่นสีด้านซ้ายเก็บปืนพ่นสี	67	ใส่ Deflector ยิงสกรูขวา 4 ตัว
32	หยิบปืนลมเป่าด้านซ้าย	68	ปลดออกจาก Jig locker
33	เป่าลมด้านบน	69	นำชิ้นงานไปที่ Trim final
34	เป่าลมด้านขวา	70	ใช้กระดาดทรายขัด Defect
35	เป่าลมด้านล่างเก็บปืนลม	71	ใช้หินขัดลบรอย
36	ใช้กระดาดทรายขัดรอย Defect	72	ใช้เครื่อง Polishing



รูปที่ 1 Pecedence diagram ผลิตภัณฑ์ผสม A' และ B'

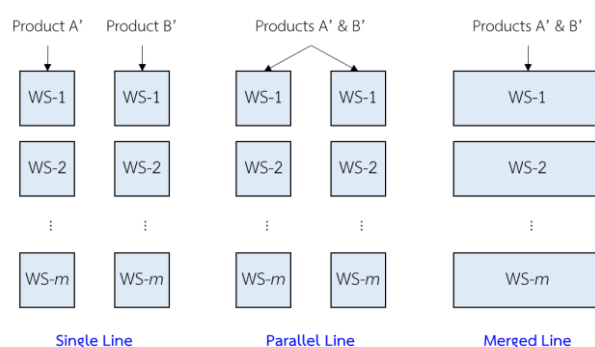
ตารางที่ 2 เวลามาตรฐานงานย่อยแต่ละผลิตภัณฑ์

No.	Time (sec.)		No.	Time (sec.)	
	Prod A'	Prod B'		Prod A'	Prod B'
1	9.54	-	37	19.88	20.93
2	12.31	-	38	10.05	10.55
3	10.95	-	39	19.36	20.38
4	7.83	7.83	40	6.67	6.03
5	15.83	16.62	41	7.89	7.89
6	9.15	9.15	42	9.52	10.02
7	12.68	14.02	43	19.14	18.23
8	13.37	13.37	44	9.21	8.75
9	7.83	7.44	45	9.68	8.76
10	15.08	14.33	46	11.88	10.74
11	11.69	12.31	47	14.84	14.13
12	15.51	17.15	48	18.34	20.28
13	11.21	11.77	49	10.52	9.52
14	21.54	20.51	50	9.32	9.81
15	7.02	7.02	51	12.86	13.50
16	20.32	20.32	52	12.02	11.42
17	14.63	13.23	53	8.84	8.84
18	20.76	20.76	54	6.67	7.37
19	17.61	16.73	55	19.02	19.02
20	5.73	6.33	56	8.02	8.02
21	6.74	6.74	57	9.16	9.16
22	16.82	16.82	58	19.02	19.02
23	20.40	19.43	59	10.84	9.80
24	14.87	16.43	60	11.91	11.91
25	15.46	14.69	61	14.68	13.95
26	19.30	21.34	62	14.57	14.57
27	7.33	6.98	63	12.93	12.93
28	18.05	18.05	64	8.56	8.56
29	10.38	10.90	65	13.32	13.32
30	14.97	15.76	66	13.59	13.59
31	11.99	10.85	67	13.32	12.94
32	19.31	19.31	68	8.98	8.98
33	19.34	17.40	69	7.82	7.45
34	17.97	17.11	70	20.70	19.67
35	21.60	20.57	71	21.33	19.29
36	19.29	19.29	72	15.87	15.11

3.2 การจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ผสม

การศึกษาการจัดสมดุลสายการผลิตในงานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการจำลองแบบปัญหา 3 ลักษณะ ซึ่งมาจากแนวคิดแบบเดิม และแนวคิดแบบใหม่ โดยรูปที่ 2 ได้แสดงลักษณะการจัดสมดุลสายการผลิตรูปแบบต่างๆ อันประกอบด้วย (1) สมดุลสายการผลิตเดี่ยว (Single line balance) แยกผลิตภัณฑ์ เป็นแนวคิดที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน โดยมีการกำหนดให้แต่ละสายการผลิตจะต้องถูกใช้หรือกำหนดให้ทำ

การผลิตผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียวเท่านั้น ดังนั้นทรัพยากรต่างๆ สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ในแต่ละสายการผลิตจะต้องถูกเตรียมไว้อย่างพร้อมเพียง ทั้งจำนวนคน จำนวนอุปกรณ์ และเครื่องมือ รวมทั้งวัสดุสิ้นเปลืองต่างๆ ด้วย ซึ่งแนวคิดแบบนี้ยังทำให้เกิดต้นทุนที่สูงอยู่แต่ก็มีข้อดีที่ง่ายต่อการบริหารจัดการ (2) สมดุลสายการผลิตขนาน (Parallel line balance) สำหรับผลิตภัณฑ์ผสม เป็นแนวคิดใหม่ที่มุ่งเน้นให้แต่ละสายการผลิตจะต้องถูกกำหนดให้ทำการผลิตผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชนิด โดยมีการกำหนดการใช้ทรัพยากรต่างๆ สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งจำนวนคน จำนวนอุปกรณ์และเครื่องมือ รวมทั้งวัสดุสิ้นเปลืองต่างๆ ร่วมกัน แต่ยังคงมีการกำหนดให้แต่ละสายการผลิตดำเนินการผลิตโดยไม่ปะปนกัน ถึงแม้แนวคิดนี้จะบริหารจัดการผลิตรายขึ้น แต่ก็มีข้อดีตรงที่มีความยืดหยุ่นสูงสำหรับปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์ได้ง่าย และ (3) สมดุลสายการผลิตร่วม (Merged line balance) สำหรับผลิตภัณฑ์ผสม เป็นอีกหนึ่งแนวคิดที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรการผลิตให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยทุกสายการผลิตจะถูกยุบรวมกันกลายเป็นสายการผลิตเดียวที่มีขนาดใหญ่ มีทรัพยากรในการผลิตอย่างเต็มที่และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ทุกชนิด ซึ่งต้องการคนที่มีทักษะที่หลากหลายในการปฏิบัติงาน



รูปที่ 2 การจัดสมดุลสายการผลิตรูปแบบต่างๆ

จากที่กล่าวมาข้างต้น แนวทางการปรับปรุงการจัดสมดุลสายการผลิตสำหรับกรณีศึกษา มีความเหมาะสมในการรองรับผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย สามารถสลับการผลิตผลิตภัณฑ์โดยไม่มีการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่หรืออาจมีน้อยมากจึงสามารถตอบสนองความต้องการได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ในตระกูลเดียวกัน มีลำดับขั้นตอน

แตกต่างกันไม่มากนัก และโดยปกติมีพนักงานจำนวนอย่างน้อย 1 คนต่อสถานี มีการคำนวณค่าใช้จ่ายจาก 2 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเปิดสถานีงานใหม่ ซึ่งถูกกำหนดไว้ 400 บาท สำหรับสมดุสลายการผลิตรเดี่ยว 420 บาทสำหรับสมดุสลายการผลิตรแบบขนาน และ 480 บาทสำหรับสมดุสลายการผลิตร่วม ในขณะที่ มีการกำหนดค่าแรงงานตามทักษะ ซึ่งแปรผันตามงานย่อยต่างๆ ดังนี้ งานย่อยที่ 1 ถึง 10 มีค่า 300 บาท งานย่อยที่ 11 ถึง 31 มีค่า 400 บาทเนื่องจากใช้ทักษะในการทำงานสูงขึ้น และงานย่อยที่ 32 ถึง 72 มีค่า 300 บาท

3.3 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากรูปแบบของการจัดสมดุสลายการผลิตรในหัวข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการจัดสมดุสลายการผลิตรมีค่าต่ำที่สุด โดยแนวทางการจัดสมดุสลายการผลิตรเดี่ยว ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มีการพัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้ [4] มาประยุกต์ใช้กับปัญหาในกรณีศึกษา ในขณะที่ แนวทางใหม่ในการจัดสมดุสลายการผลิตรผลิตภัณฑผสมจะถูกพัฒนาขึ้นด้วยพื้นฐานจากแบบรูปแบบสมดุสลายการผลิตรเดิม โดยมีรายละเอียดของแบบจำลองและการประยุกต์ใช้ดังนี้

การกำหนดสัญลักษณ์ (Indices and parameters)

i, i' : ดัชนีของงานย่อย ($i, i' = 1, 2, \dots, n$)

j, j' : ดัชนีของสถานีงาน ($j, j' = 1, 2, \dots, m$)

l, l' : ดัชนีของผลิตภัณฑในการจัดสมดุส ($l, l' = 1, 2, \dots, p$)

k : ดัชนีของงานย่อยที่ตามหลังดัชนีงานย่อยก่อนหน้านี้ ($k = i+1; k \leq n$)

n : จำนวนของงานย่อยทั้งหมด

m : จำนวนสถานีงานที่คาดหวัง

p : จำนวนผลิตภัณฑในการจัดสมดุส

t_i : เวลาการทำงานของงานย่อยที่ i

Ct : รอบเวลาการผลิตที่กำหนดตามความต้องการ

pre : เซตลำดับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของงานย่อยที่ได้จาก (Precedence diagram) แต่ละผลิตภัณฑ

C_{ij} : ค่าใช้จ่ายตามทักษะของงานย่อย i ในสถานีงาน j

SC : ค่าใช้จ่ายในการเปิดสถานีงานใหม่

การกำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

m^* : จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้

x_{ijl} : มีค่าเป็น 1 เมื่องานย่อยที่ i ถูกจัดอยู่ในสถานีงาน j สำหรับผลิตภัณฑ l ; มีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่นๆ

e_{jl} : จำนวนเงินค่าแรงสำหรับสถานีงาน j ผลิตภัณฑ l

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

$$\min Z = (m^* \times sc) + \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^p e_{jl} \quad (1)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมาย (Objective function) สำหรับแบบจำลองนี้ โดยมุ่งเน้นการจัดสมดุสลายการผลิตรที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด (Total cost minimization) ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการเปิดสถานีงานใหม่ ($m^* \times sc$) รวมกับค่าใช้จ่ายทางด้านแรงงานซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับงานย่อยต่างๆ ที่จะถูกจัดลงไปให้กับสถานีงานใดๆ (e_{jl})

$$\sum_{j=1}^m x_{ijl} = 1, \forall i=1,2,\dots,n \forall l=1,2,\dots,p \quad (2)$$

สมการข้อจำกัดที่ (2) เป็นการกำหนดเงื่อนไขของการจัดงานย่อยแต่ละงานสำหรับแต่ละสถานีงาน โดยงานย่อย i ใดๆ ของผลิตภัณฑ l ใดๆ จะสามารถถูกจัดไว้สำหรับสถานีงาน j ใดๆ ได้เพียง 1 สถานีงานเท่านั้น

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^p (t_i \times x_{ijl}) \leq Ct, \forall i=1,2,\dots,m \quad (3)$$

อสมการข้อจำกัดที่ (3) แสดงข้อจำกัดที่ว่าผลรวมเวลาทำงานของงานย่อยใดๆ ของแต่ละผลิตภัณฑ์ผสมที่ถูกกำหนดไว้สำหรับสถานีงานใดๆ แล้วจะต้องไม่เกินกว่ารอบเวลาการผลิต (Ct) ที่ถูกกำหนดไว้จากความต้องการ ดังนั้นเวลาการทำงานย่อยใดๆ ของผลิตภัณฑ์ผสม (t_i) จะสามารถคำนวณได้จาก $t_i = \left(\sum_{l=1}^p t_{il} \right) / p$ สำหรับกรณีการจัดสมดุลสายการผลิตแบบขนาน และ $t_i = \max_{l \in p} \{t_{il}\} / p$ สำหรับกรณีการจัดสมดุลสายการผลิตแบบรวม

$$\sum_{j=1}^m (j \times x_{ijl}) \leq \sum_{j=1}^m (j \times x_{kjl}), \forall (i,k,l) \in pre \quad (4)$$

อสมการข้อจำกัดที่ (4) เป็นการสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่จะทำให้แน่ใจว่า การจัดงานย่อยให้กับสถานีงานแต่ละสถานีเป็นไปตามลำดับความสัมพันธ์ของงานย่อยก่อน-หลัง ตามแผนภาพ (Precedence diagram) ที่แสดงก่อนหน้านี้

$$x_{ijl} = x_{ijl'}, \forall i=1,2,\dots,n \forall j=1,2,\dots,m \forall l=1,2,\dots,p-1 \forall l'=l+1 \quad (5)$$

สมการข้อจำกัดที่ (5) เป็นการกำหนดให้งานย่อยใดๆ ของผลิตภัณฑ์ l และผลิตภัณฑ์ l' อยู่ในสถานีงานเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เวลาการทำงานของบางงานย่อยของบางผลิตภัณฑ์อาจมีค่าเป็น 0 เนื่องจากงานย่อยนั้นๆ ไม่ได้มีการกระทำจริงๆ เกิดขึ้น แต่เป็นเพียงงานย่อยสมมติ (Dummy element) เพื่อให้เป็นไปตามตรรกะเท่านั้น

$$j \times x_{ijl} \leq m^*, \forall i=1,2,\dots,n \forall j=1,2,\dots,m \forall l=1,2,\dots,p \quad (6)$$

อสมการข้อจำกัดที่ (6) เป็นการระบุจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด (m^*) จากการเปิดสถานีงานต่างๆ ขึ้นเพื่อรองรับการทำงานย่อยทั้งหมดของทุกผลิตภัณฑ์

$$m^* \leq m \quad (7)$$

อสมการข้อจำกัดที่ (7) คือการจำกัดจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดที่ได้จากการจัดสมดุลสายการผลิต (m^*) จะต้องไม่เกินจำนวนสถานีงานทั้งหมดที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (m)

$$x_{ijl} \times c_{ij} \leq e_{jl}, \forall i=1,2,\dots,n \forall j=1,2,\dots,m \forall l=1,2,\dots,p \quad (8)$$

อสมการข้อจำกัดที่ (8) จะเป็นการคำนวณค่าใช้จ่ายแรงงาน (e_{jl}) ในการปฏิบัติงานย่อยสำหรับแต่ละสถานีงานโดยงานย่อยใดๆ ที่ทำให้เกิดค่าแรงงานมากที่สุดสำหรับแต่ละสถานีงาน จะกลายเป็นค่าใช้จ่ายทางด้านแรงงานของสถานีงานนั้น

$$x_{ijl} \in \{0,1\} \quad (9)$$

สุดท้ายข้อจำกัดที่ (9) เป็นการระบุหรือกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจที่สำคัญว่าสามารถมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยนี้มาจากการทดลองเชิงคำนวณที่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการหาคำตอบการจัดสมดุลสายการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ ซึ่งการดำเนินการผลิตในปัจจุบัน มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 30 สถานีเพื่อใช้ในการผลิตทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 15 สถานีงานสำหรับผลิตภัณฑ์ A' และอีก 15 สถานีงานสำหรับผลิตภัณฑ์ B' อย่างไรก็ตาม หลังจากการทดลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 แนวทางของการจัดสมดุล แสดงให้เห็นว่าแนวทางใหม่ที่น่าเสนอทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำกว่าด้วยประสิทธิภาพสายการผลิตที่ดีกว่าแนวทางเดิมดังตารางที่ 3 เมื่อเวลาการทำงาน (Working time) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชุด ได้แก่ 1) ชุดที่ใช้เวลามาตรฐาน (Standard time) และ 2) ชุดที่ใช้เวลามาตรฐาน $\pm 5\%$ อันเนื่องมาจากการดำเนินการผลิตโดยทั่วไป มักจะเกิดความเปลี่ยนแปลงเวลาการทำงานอยู่ในช่วงระหว่าง มากกว่าหรือน้อยกว่า เวลา

มาตรฐานที่ 5% ด้วยวิธีการแบบสมดุลสายการผลิตเดี่ยว (Single line) วิธีการแบบสมดุลสายการผลิตขนาน (Parallel mixed line) และวิธีการแบบสมดุลสายการผลิตร่วม (Merged line) โดยมีการคำนวณจำนวนสถานีงาน ต้นทุนที่ใช้ และประสิทธิภาพสายการผลิต

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบแนวคิดการจัดสมดุลสายผลิต

Working time	Approach	Workstation	Cost (บาท)	Utilization (%)
Standard time	Single line	26	18,800	84.37%
	Parallel mixed line	26	18,720	82.45%
	Merged line	12	10,560	91.41%
Standard time $\pm$ 5%	Single line	24	18,500	87.97%
	Parallel mixed line	24	17,240	89.49%
	Merged line	12	10,560	91.91%

ผลการทดลองในตารางที่ 3 ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป (Software) เอ็กเซลโซลเวอร์-กูโรบิ (Excel Solver – Gurobi) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตโดยวิธีจัดสมดุลสายการผลิตแบบผสมมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าแบบแยกสถานีในการผลิต รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพสายการผลิตก็ให้ผลโดยเฉลี่ยที่ดีกว่าอีกด้วย

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการในการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยมุ่งเน้นการผลิตของผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ Product A' และ Product B' ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จึงมีลำดับขั้นตอนการผลิตคล้ายกัน ซึ่งแนวทางในปัจจุบันยังขาดประสิทธิภาพทางด้านต้นทุนการผลิต ดังนั้น แนวทางใหม่ในการจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมที่ทั้ง 2 รูปแบบจึงได้ถูกนำเสนอในการศึกษานี้ ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การจัดสมดุลสายการผลิตร่วมให้ผลที่ดีกว่าวิธีการอื่น ทั้งประสิทธิภาพสายการผลิตที่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และจำนวน

สถานีงานที่น้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าว ยังคงมีข้อควรระวังตรงความยุ่งยากในการบริหารจัดการการผลิต เนื่องจากลำดับการผลิตและการไหลต่องานมีผลต่อความราบเรียบในการไหลของการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ในขณะที่ การจัดสมดุลสายการผลิตแบบขนานให้ผลจำนวนสถานีงานเท่ากันกับการจัดสมดุลสายการผลิตเดี่ยว แต่สามารถมีประสิทธิภาพสายการผลิตและต้นทุนที่เหมาะสมกว่า และยังช่วยให้ความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนการผลิตตามสถานการณ์ได้อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยวิจัยการปรับปรุงผลิตภาพและการจัดการโลจิสติกส์ (PILM) ภายใต้กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมและการจัดการการผลิต (IPM) คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา และขอขอบคุณโรงงานผลิตรถยนต์กรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษา นอกจากนี้ ขอขอบคุณคุณจรรยาพร ราชวรนิยมที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (10 กุมภาพันธ์ 2560). *สัดส่วนการเติบโตของการนำเข้าและส่งออกอุตสาหกรรมยานยนต์*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.fti.or.th>.
- [2] รศ.พิภพ ลลิตาภรณ์. *ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต*. พิมพ์ครั้งที่ 11., สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2548.
- [3] G. Hadi and E. Erdal, "Binary integer formulation for mixed-model assembly line balancing problem," *Computers and Industrial Engineering*, Vol 34(2), pp. 451-461, 1998.
- [4] เชษฐา ขำนาญหล่อ, จักรินทร์ กลั่นเงิน, และไตรภพ แซ่ตั้ง. "การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการจัดสมดุลสายการผลิตอุปกรณ์

- อิเล็กทรอนิกส์,” *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* ปีที่ 44 (ฉบับที่ 4), หน้า 809-819, 2559.
- [5] บรรหาญ ลีลา และ ณิษฐา ไชยสร. “การพัฒนาเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตภายใต้ข้อจำกัดขอบเขตพื้นที่และอุปกรณ์,” *มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.* 2554.
- [6] นุชสรุา เกรียงกรกฎ และ ปรีชา เกรียงกรกฎ. “โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบ กรณีศึกษา : โรงงานผลิตเสื้อผ้า,” *KKU Engineering Journal*, Vol 39(2), pp. 131-138, 2012.
- [7] R. Pitakaso and K. Sethanan. “Modified differential evolution algorithm for simple assembly line balancing with a limit on the number of machine types,” *Engineering Optimization*, Vol 48(2), pp. 253-271, 2016.
- [8] A. Noorul Haq, J. Jayaprakash and K. Rengarajan. “A hybrid genetic algorithm approach to mixed-model assembly line balancing,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol 28, pp. 337-341, 2006.
- [9] W. Zhang and M. Gen, “An efficient multiobjective genetic algorithm for mixed-model assembly line balancing problem considering demand ratio-based cycle time,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol 22, pp. 367-378, 2011.