การประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 : กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป

กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ [*1] และระพีพันธ์ ปิตาคะโส [2]
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บของเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 ของโรงงานกรณีศึกษา โดยศึกษาและประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาโดยมีการพิจารณาประเภทเครื่องจักรเป็นเงื่อนไขประกอบในการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บ และทำการเปรียบเทียบผลกับสายการงานการประกอบเย็บของเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 ปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะทำหน้าที่ในการสร้างเวคเตอร์เริ่มต้นด้วยการสุ่มจากจำนวนจริงและปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด วิธีการแลกเปลี่ยนพิกัด และการคัดเลือก จากผลการทดลองประยุกต์ใช้สูตรในขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดทั้ง 3 สูตร พบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างโดยการประยุกต์ใช้สูตรที่ 1 สามารถลดจำนวนสถานีงานได้จากสายงานการประกอบเย็บปัจจุบันจาก 23 สถานี เป็น 17 สถานี มีประสิทธิภาพของสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 56 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว

คำสำคัญ: สมดุลสายงานการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1, วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

* Corresponding author. E-mail: ganokgarn.kung@gmail.com
[1] นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Application of The Differential Evolution Algorithm to Solve Assembly Line Balancing Problem Type 1: A Case Study of the Garment Manufacturing Industry

Ganokgarn Jirasirilerd [*1] Rapeepan Pitakaso [2]

Faculty of engineering, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

Abstract

This research aims to find a minimum number of workstations (m) for a case study that has an assembly line for t-shirt production (item number 518729). We apply the differential evolution algorithm (DEA) to optimize the number of workstation when machine types in each assembly line are considered as constraints. By obtaining the minimum number of workstations, the differential evolution algorithm will generate an initial vector from the sampling of real numbers which will be further optimized by mutation, recombination, and selection method. The optimized outcome is compared with the current number of workstations. The result shows that formula 1 implemented in the differential evolution can reduce the number of workstations from 23 to 17. The efficiency of this assembly line is increased by 56 %. The processing time is also faster.

Keywords: Simple assembly line balancing problem type 1, Differential evolution algorithm

* Corresponding author. E-mail: ganokgarn.kung@gmail.com

[1] Graduate students in Faculty of engineering , Ubon Ratchathani University

[2] Associate Professor in Faculty of engineering. Ubon

1. บทนำ

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบส่วนใหญ่จะใช้แรงงานคนเป็นหลักในการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ถ้าโรงงานอุตสาหกรรมไหนมีขั้นตอนการทำงานที่มากโรงงานจะต้องจ้างคนงานมากตามไปด้วย ก่อให้เกิดต้นทุนในการผลิตมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ช่วยลดต้นทุน และช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งยังช่วยให้สายการประกอบมีการไหลอย่างต่อเนื่องและไม่ก่อให้เกิดคอขวด โดยการจัดสมดุลสายงานการประกอบคือการกำหนดขั้นตอนงาน (Task) ให้กับแต่ละสถานีงาน (Workstation) โดยมีเงื่อนไขลำดับความสัมพันธ์ของขั้นตอนงานก่อน-หลัง การจัดสมดุลสายงานการประกอบนั้นทำให้แต่ละสถานีงานมีเวลาในการผลิตของแต่ละสถานีงานเฉลี่ยเท่าๆกัน ส่งผลให้ไม่เกิดเวลาว่างงาน (Idle time) และเกินรอบเวลาการผลิต (Cycle time) การผลิตจึงไหลต่อเนื่องประสิทธิภาพจึงสูงขึ้น

ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DEA) เพื่อประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 เพื่อจัดสรรขั้นตอนงานให้กับแต่ละสถานี โดยมีการพิจารณาประเภทเครื่องจักรเป็นเงื่อนไขประกอบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด (m) ซึ่งจัดเป็นปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 (Simple assembly line balancing problem type 1 : SALBP-1) ของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นอุตสาหกรรมผลิตเครื่องนุ่งห่มสำเร็จรูป เช่น เสื้อแขนสั้น, เสื้อแขนยาว และกางเกง ตั้งอยู่ในอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี เนื่องจากในปัจจุบันการจัดสมดุลสายการประกอบของโรงงานกรณีศึกษานั้น วิศวกรจะเป็นผู้ที่มีหน้าที่ในการจัดขั้นตอนงานลงสถานีตามเงื่อนไขของงาน และตามความเหมาะสม โดยใช้ประสบการณ์ในการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาการไหลของชิ้นงานไม่สมดุล มีการรองานหรือเกิดจุดคอขวดในสายงานการประกอบขึ้น หัวหน้างานหรือวิศวกรก็จะทำการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงานของสถานีงานนั้นตามความเหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพของสายการประกอบเย็บอยู่ในระดับที่ต่ำ

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ Salveson เป็นคนแรกที่ให้ชื่อปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบว่า ALBP ในปี ค.ศ. 1995 ตั้งแต่นั้นมามีการนำวิธีการมากมายมาพัฒนาเพื่อแก้รูปแบบที่แตกต่างกันของ ALBP [2] ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบถูกพิสูจน์ว่าเป็นปัญหาแบบ NP-hard ต้องใช้เวลานานในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาแบบ NP-hard นี้ได้คือ การประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติก จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ ได้แก่ [3] ได้ประยุกต์ใช้วิธีจีนเนติกอัลกอลิทึม (Genetic algorithm: GA) ในการเพิ่มผลิตภาพของสายการประกอบผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว จากผลการวิจัยพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบได้จาก 46.32 เปอร์เซ็นต์ เป็น 85.56 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มความสามารถในการผลิตของสายการประกอบจาก 996 ชุดต่อวัน เป็น 1,187 ชุดต่อวัน และสามารถลดจำนวนคนงานในสายการประกอบลงได้ 6 คน ส่งผลให้โรงงานกรณีศึกษาลดต้นทุนการผลิตลงได้ 28,800 บาทต่อเดือน, [4] ได้ประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบตาบู (Tabu search: TS) และจีนเนติกอัลกอลิทึม (Genetic algorithm: GA) นำมาใช้งานร่วมกันโดยให้ชื่อว่าวิธี TSGA ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์ จากผลการวิจัยพบว่าวิธี TSGA สามารถให้คำตอบที่ดี เป็นอัลกอริทึมที่มีศักยภาพ และเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ, [5] ได้ประยุกต์ใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลอิโวลูชั่น (Differential evolution : DE) ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบง่าย จากผลการวิจัยพบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

สามารถให้คำตอบที่ดี และมีคุณภาพในการค้นหาคำตอบที่สูงได้, [6] ได้ประยุกต์ใช้วิธีการระบบมดแบบแม็ก-มิน (Max-min ant system :MMAS) ร่วมกับวิธีโลคอลเสิร์ช (Local search) มาพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบเส้นตรงและแบบตัวยู จากผลการวิจัยพบว่าวิธีการระบบมดแบบแม็ก-มินร่วมกับวิธีโลคอลเสิร์ช เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากวิธีหนึ่ง ที่สามารถใช้แก้ปัญหาปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงและแบบตัวยู ที่ให้คำตอบที่เหมาะสม หรือเป็นคำตอบที่ดีได้

จะเห็นได้วิธีการเมตาฮิวริสติกต่างๆ ที่นำมาแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ สามารถให้คำตอบที่เหมาะสมได้ และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบ ถึงแม้ว่าการประยุกต์ใช้วิธีจีนเนติกอัลกอลิทึม (Genetic algorithm: GA) ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบจะมีนักวิจัยจำนวนมากสนใจ [7] แต่วิธีจีนเนติกอัลกอลิทึมก็ยังมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและมีกระบวนการค้นหาคำตอบที่ค่อนข้างช้ากว่าวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลอิโวลูชั่น แต่การประยุกต์ใช้วิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลอิโวลูชั่นในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบนั้นมีกระบวนการที่คล้ายกับวิธีจีนเนติกอัลกอลิทึมและมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีได้อีกวิธีการหนึ่ง แต่ก็ยังไม่มีนักวิจัยนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบมากนัก

[8] วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DEA) เป็นอัลกอริทึมที่มีวิวัฒนาการคล้ายกันมากกับวิธีจีนเนติกอัลกอลิทึม (GA) ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกโดย Storn และ Price และยังมีโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยกว่าวิธีจีนเนติกอัลกอลิทึม ทำให้การแก้ปัญหามีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ และเหมาะที่จะนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆที่ซับซ้อน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

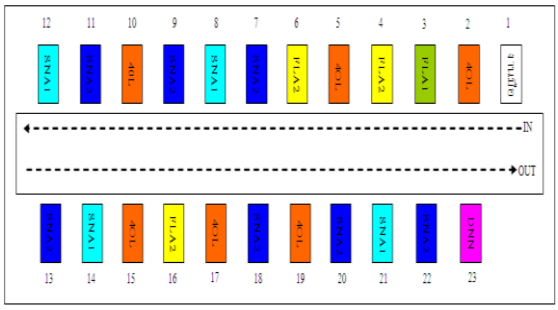
วิธีการดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษาสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 ของโรงงานกรณีศึกษา
2. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบประเภทที่ 1 โดยประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DEA)
3. วิเคราะห์ผลการวิจัย
4. สรุปผลการวิจัย

3.1 ศึกษาสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 ของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นอุตสาหกรรมผลิตเครื่องนุ่งห่มสำเร็จรูป ทำงานเพียงกะเดียว วันละ 8 ชั่วโมง โดยสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 มีจำนวนขั้นตอนงานทั้งหมด 36 ขั้นตอน รายละเอียดขั้นตอนงานดังตารางที่ 1 และมีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 23 สถานีงาน คือ 1 สถานีงานต่อ 1 เครื่อง มีจำนวนเครื่องจักรอยู่ในสายงานการประกอบเย็บทั้งหมด 22 เครื่อง มีรอบเวลาการผลิต (Cycle time : c) เท่ากับ 2.00 นาที ซึ่งในการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิตที่กำหนด และมีลักษณะของสายงานการประกอบเย็บเป็นแบบเส้นตรงในรูปตัวยู ดังรูปที่ 1

* หมายเหตุ : สถานีงานที่ 1 เป็นการทำงานโดยไม่ใช้เครื่องจักร ทำให้สายการประกอบเย็บมีเครื่องจักรเพียง 22 เครื่อง



รูปที่ 1 สายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729

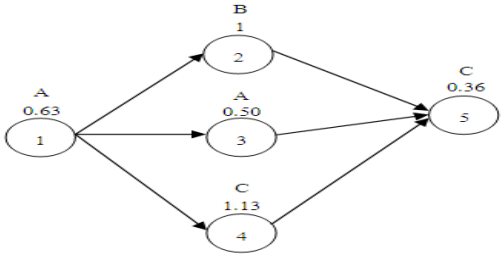
ตารางที่ 1 ข้อมูลรายละเอียดของขั้นตอนงานเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729

ลำดับ	ขั้นตอนงาน	เวลา (นาที)	งาน (ก่อน-หลัง)	เครื่องจักร
1	QC ชิ้นงาน + โหลด	1.05	-	งานมือ
2	เย็บต่อป้าย +ติดป้ายข้าง 1 ชุด	0.35	5	SNA(1)
3	เย็บต่อซกคอ 1 ข้าง (วัดสเปค)	0.22	8	SNA(1)
4	โพ้งกันลุ่ยซกคอกลมตะเข็บ 2 ข้าง (ใส่ด้าย 3)	0.42	3	4OL
5	เย็บต่อซกแขนสกัดแบตะเข็บสีที่ 1	0.33	1	SNA(1)
6	เย็บต่อซกแขนสกัดแบตะเข็บสีที่ 2	0.33	1	SNA(1)
7	เย็บเนาซกปลายแขนกลซ้าย1 ข้าง	0.40	2	SNA(1)
8	เย็บเนาซกปลายแขนกลมขวา 1 ข้าง	0.40	6	SNA(1)
9	โพ้งต่อชิ้นแต่งแขน ซ้าย 1 ข้าง	0.32	1	4OL
10	เย็บคิ้ว 1/16 ตัดต่อแขน 1 ข้าง	0.25	9	SNA(2)
11	โพ้งใต้ท้องแขน 2 ข้าง	0.52	23	4OL
12	โพ้งตัดต่อบ่าหน้า-หลังตรง 2 ข้าง	0.73	1	4OL
13	ลาโรยบ่าหน้า-หลัง 2 ข้าง	0.65	12	FLA(1)
14	โพ้งต่อข้างหลัง 2 ข้าง	0.63	13	4OL
15	ลาคิ้ว 1/16 ข้างหลัง 2 ข้าง	0.60	14	FLA(2)
16	โพ้งตัดต่อชายหลังเส้นตรง 1 ข้าง	0.43	7,21	4OL
17	ลาคิ้ว 1/16 ตัดต่อชายหลังเส้นตรง 1 ข้าง	0.38	16	FLA(2)
18	โพ้งต่อข้างหน้า 2 ข้าง	0.85	1	4OL
19	เย็บคิ้ว 1/16 ข้างหน้า 2 ข้าง	0.78	18	FLA(2)
20	โพ้งต่อไหล่ข้างซ้าย 1 ข้าง	0.27	15	4OL
21	เย็บคิ้ว 1/16 ไหล่ซ้าย 1 ข้าง	0.22	20	SNA(2)
22	โพ้งใส่วงแขนโค้งกลมข้างซ้าย 1 ข้าง	0.70	17	4OL
23	โพ้งใส่วงแขนโค้งแบข้างขวา 1 ข้าง	0.52	22	4OL
24	เย็บคิ้ว 1/16 วงแขนโค้งกลมข้างซ้าย 1 ข้าง	0.67	11	SNA(2)
25	เย็บคิ้ว 1/16 วงแขนโค้งแบข้างขวา 1 ข้าง	0.42	28	SNA(2)
26	โพ้งตัดต่อสันแขนเส้นตรงข้างขวา 2 ข้าง	0.72	24,29	4OL
27	เย็บคิ้ว 1/16 สันแขนโค้ง 2 เส้น ข้างขวา	0.68	10	SNA(2)
28	โพ้งใส่ซกแขนกลมข้างซ้าย 1 ข้าง	0.45	27	4OL
29	โพ้งใส่ซกแขนกลมข้างขวา 1 ข้าง	0.45	25	4OL
30	เย็บคิ้ว 1/16 ตัดต่อขอบแขนกลมข้างซ้าย 1 ข้าง	0.37	35	SNA(2)
31	เย็บคิ้ว 1/16 ตัดต่อขอบแขนกลมข้างขวา 1 ข้าง	0.37	30	SNA(2)
32	โพ้งใส่ซกคอกลม	0.77	26	4OL
33	เย็บใส่เทปคอหลังพับหัวท้าย (จ.ต.น.)	0.65	35	SNA(1)
34	เย็บคิ้ว 1/16 คอหน้าโค้ง 1 ข้าง	0.43	4,32	SNA(2)
35	เย็บคิ้วเทปคอหลังพับหัวท้าย	0.48	34	SNA(1)
36	เย็บพับม้วนชายกลมหน้า-หลังโค้ง	1.23	31	DNN

เนื่องจากในปัจจุบันการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บของโรงงานกรณีศึกษานั้น วิศวกรเป็นผู้ที่มีหน้าที่ในการจัดขั้นตอนงานลงสถานีตามเงื่อนไขของงาน และตามความเหมาะสม โดยใช้ประสบการณ์ในการจัดสมดุลสายงานการประกอบ ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาการไหลของชิ้นงานไม่สมดุล มีการรองาน หรือเกิดจุดคอขวดในสายงานการประกอบขึ้น หัวหน้างานหรือวิศวกรก็จะทำการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงานของสถานีงานนั้น ตามความเหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพของสายงานการประกอบเย็บอยู่ในระดับที่ต่ำ

3.2 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DEA)

วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เป็นอัลกอริทึมที่มีวิวัฒนาการคล้ายกันมากกับวิธีจีนเนติกอัลกอลิทึม (GA) ซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยกว่าวิธีจีนเนติกอัลกอลิทึม นอกจากนี้ยังสามารถใช้ตัวเลขที่เป็นค่าจริงในการคำนวณให้ได้ค่าที่เหมาะสมได้เลย โดยไม่จำเป็นต้องแปลงค่าตัวแปรการตัดสินใจ (Decision variables) ให้เป็นเลขฐานสอง ทำให้การแก้ปัญหามีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนต่างๆ ของอัลกอลิทึม และยกตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย ดังรูปที่ 2 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 ลำดับความสัมพันธ์ขั้นตอนงานก่อน-หลัง ของสายงานการประกอบอย่างง่าย

ขั้นตอนที่ 1. Initialization คือ ขั้นตอนการสุ่มจำนวนจริง 0 ถึง 1 ให้กับขั้นตอนงานแต่ละขั้นตอน เพื่อเป็นค่าตัดสินใจในการจัดขั้นตอนงานลงในสถานี และเป็นค่าเวคเตอร์เริ่มต้นของโครโมโซมเพื่อนำมาใช้ในขั้นตอนปรับเปลี่ยนค่าพิกัด (Mutation) และขั้นตอนการแลกเปลี่ยนค่าพิกัด (Recombination) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขั้นตอน Initialization ของปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ (รอบเวลาการผลิต = 2 นาที)

งาน	1	2	3	4	5
เวลา	0.63	1	0.50	1.13	0.36
เครื่องจักร	A	B	A	C	C
เวคเตอร์เริ่มต้น	0.01	0.24	0.70	0.85	0.57

ขั้นตอนที่ 2 จัดขั้นตอนงานลงสถานีงาน คือการนำข้อมูลตัวเลขสุ่มจากตารางที่ 1 โดยเรียงค่าจากน้อยไปหามาก แล้วทำการเลือกงานที่มีค่าน้อยที่สุดถูกจัดลงสถานีงานก่อน โดยต้องไม่ขัดต่อเงื่อนไขของลำดับงานก่อน-หลัง และจะต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิตดังตารางที่ 3 ซึ่ง 1 สถานีงานสามารถมีเครื่องจักรได้ไม่เกิน 1 ประเภท

ตารางที่ 3 การจัดขั้นตอนงานลงสถานีงาน

สถานีงาน	1		2	3	
งาน	1	3	2	4	5
เวลา	0.63	0.50	1	1.13	0.36
เครื่องจักร	A	A	B	C	C
เวคเตอร์เริ่มต้น	0.01	0.70	0.24	0.85	0.57

จากตารางที่ 3 แสดงการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงาน โดยพิจารณาค่า Population จากตัวเลขสุ่มเรียงจากน้อยไปมาก โดยค่าที่น้อยที่สุดถูกจัดลงสถานีงานก่อน คือขั้นตอนงานที่ 1 และ 1 สถานีงานสามารถมีเครื่องจักรได้ไม่เกิน 1 ประเภท ซึ่งสามารถจัดขั้นตอนงานลงสถานีงานได้คือ สถานีงานที่ 1 มีขั้นตอนงานที่ 1 กับ 3, สถานีงานที่ 2 มีขั้นตอนงานที่ 2 เป็นต้น ซึ่งจะได้สถานีงานทั้งหมด 3 สถานี จากนั้นนำข้อมูลตารางที่ 3 มาทำขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าพิกัด (Mutation) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 3 การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด (Mutation) ผู้วิจัยได้นำเสนออัลกอริทึม 3 สูตร ตามที่ได้อ้างอิงใน [9] สำหรับหาคำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากประชากรเริ่มต้นเรียกว่า Weighting factor : F เพื่อจุดประสงค์ของการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดในขั้นตอนที่ 3 มีขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

1. กำหนด Target vector ($X_{i,G}$) โดยที่ i = 1,2,...,NP

2. สุ่มเลือก vector ($X_{r_1^i,G}, X_{r_2^i,G}, X_{r_3^i,G}, X_{r_4^i,G}, X_{r_5^i,G}$) จากโครโมโซมตั้งต้นโดยต้องไม่ซ้ำกับ Target Vector ที่เลือกไปแล้ว

3. $X_{best,G}$ คือ Target vector โดยที่ best = 1,2,...,NP ของ vector ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่น

4. คำนวณหาค่า Mutant vector ($V_{i,G+1}$) จากความสัมพันธ์

4.1 “DE/rand/1”

$$V_{i,G+1} = X_{r_1^i,G} + F.(X_{r_2^i,G} - X_{r_3^i,G}) \quad (1)$$

4.2 “DE/best/2”

$$V_{i,G+1} = X_{best,G} + F.(X_{r_1^i,G} - X_{r_2^i,G}) + F(X_{r_3^i,G} - X_{r_4^i,G}) \quad (2)$$

4.3 “DE/rand/2”

$$V_{i,G+1} = X_{r_1^i,G} + F.(X_{r_2^i,G} - X_{r_3^i,G}) + F.(X_{r_4^i,G} - X_{r_5^i,G}) \quad (3)$$

โดยค่า F คือ ค่า Weighting factor เป็นจำนวนจริงที่มีค่าคงที่ระหว่าง 0 ถึง 2,

ค่า best คือ ค่าของ Target vector ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด

ค่า i คือ ค่าของ Target vector ตัวที่ 1,2,...,NP

ค่า NP คือ ค่า Number population หรือจำนวนประชากร ในงานวิจัยนี้คือจำนวนของขั้นตอนงาน

ค่า $V_{i,G}$ คือ ค่า Mutant vector

ค่า $X_{i,G}$ คือ ค่า Target vector แล้วคำนวณหาค่า Mutant vector

*หมายเหตุ : ในงานวิจัยนี้ค่า F และค่า NP ไม่มีผลต่อคำตอบเนื่องจากค่า F และค่า NP สามารถหาคำตอบได้เท่ากัน ผู้วิจัยจึงได้กำหนดค่า F = 0.9 ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นที่ดีตามที่ได้อ้างอิงใน [10] และค่า NP = จำนวนของขั้นตอนงาน

ผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างการคำนวณของสูตรที่ 1 ในขั้นตอน Mutation ด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้น รุ่น 518729 จากสมการที่ 1

ตารางที่ 4 การหาค่า Mutant vector โดยกำหนดค่า F = 0.9

งาน	1	2	3	4	5
$X_{i,G}$	0.01	0.24	0.70	0.85	0.57
$V_{i,G}$	0.42	0.32	0.44	1.00	-0.19

จากตารางที่ 4 แสดงการหาค่า Mutant vector โดยได้กำหนดค่า F = 0.9 ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นที่ดีแล้วทำการสุ่มเลือก vector 3 vector จาก $X_{i,G}$ และแทนค่าลงในสมการที่ 1 ได้คือ 0.01+0.9(0.70-0.24) เท่ากับ 0.42 เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลในตารางที่ 4 มาทำในขั้นตอนการแลกเปลี่ยนค่าพิกัด (Recombination) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 4 การแลกเปลี่ยนค่าพิกัด (Recombination) เป็นขั้นตอนการเพิ่มความหลากหลายให้กับคำตอบของปัญหา ซึ่งจะได้สายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าหรือแย่กว่าออกมา ขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ค่า Trial Vector ($U_{i,G+1}$) ดังสมการที่ 4 เป็นการผสมสายพันธุ์แบบ Exponential crossover แบบ 1 จุด เพื่อใช้ในการพิจารณาและเปรียบเทียบในการผสมสายพันธ์ดังสมการที่ 3 จะได้สายพันธุ์ใหม่ดังตารางที่ 6 จากนั้นนำสายพันธุ์ใหม่ที่ได้มาจัดลงสถานีงานดังตารางที่ 7

$$U_{i,G} \begin{cases} V_{ji,G+1} & \text{if } j \le r1 \\ X_{ji,G+1} & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

โดยค่า $U_{i,G+1}$ = Trial vector, [rand [0,1)] = การสุ่มตัวเลขจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ตารางที่ 5 วิธีการแลกเปลี่ยนพิกัดแบบ Exponential crossover ซึ่งจะได้ค่า Trial vector ($v_{i,G+1}$)

	1	2	3	4	5
ตัวเลขสุ่ม	0.23	0.14	0.89	0.76	0.02

จากนั้นทำการสุ่มมาเพียง 1 ตำแหน่งหรือ 1 จุด เพื่อที่หาค่า Trial vector ($U_{i,G+1}$) โดยสุ่มได้ตำแหน่งที่ 3 คือ 0.89 ดังนั้นตำแหน่งที่ 1-3 เป็นค่า Mutant vector ($V_{i,G}$) และตำแหน่งที่ 4-5 เป็นค่า Target vector ($X_{i,G}$) จะได้สายพันธุ์ใหม่ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลของการผสมสายพันธุ์ใหม่แบบ Exponential crossover

งาน	1	2	3	4	5
$X_{i,G}$	0.01	0.24	0.70	0.85	0.57
$V_{i,G}$	0.42	0.32	0.44	1.00	-0.19
$U_{i,G+1}$	0.42	0.32	0.44	0.85	0.57

จากตารางที่ 6 แสดงผลของการ Recombination ซึ่งจะได้ค่า Trial vector โดยพิจารณาและเปรียบเทียบในการผสมสายพันธ์ดังสมการที่ 4 จากนั้นนำสายพันธุ์ใหม่ที่ได้จากตารางที่ 6 มาจัดลงสถานีงานดังตารางที่ 7

ขั้นตอนที่ 5 จัดขั้นตอนงานลงสถานีงาน คือการนำข้อมูลการผสมสายพันธุ์ใหม่จากตารางที่ 6 โดยเรียงค่า Population จากน้อยไปหามาก แล้วทำการเลือกงานที่มีค่าน้อยที่สุดถูกจัดลงสถานีงานก่อน โดยต้องไม่ขัดต่อเงื่อนไขของลำดับงานก่อน-หลัง และจะต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิตดังตารางที่ 6 ซึ่ง 1 สถานีงานสามารถมีเครื่องจักรได้ไม่เกิน 1 ประเภท

ตารางที่ 7 แสดงการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงาน

สถานีงาน	1		2	3	
งาน	1	3	2	4	5
เวลา	0.63	0.50	1	1.13	0.36
เครื่องจักร	A	A	B	C	C
Crossover ($U_{i,G+1}$)	0.42	0.44	0.32	0.85	0.57

จากตารางที่ 7 แสดงการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงาน โดยพิจารณาค่า Recombination โดยเรียงค่า Population จากน้อยไปหามาก โดยค่าที่น้อยที่สุดจะถูกจัดลงสถานีงานก่อน คือขั้นตอนงานที่ 2 แต่ผิดเงื่อนไขลำดับงานก่อน-หลัง จึงพิจารณาขั้นตอนงานที่มีค่า Population ที่มีค่าน้อยลำดับถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่ขัดต่อเงื่อนไขลำดับความสัมพันธ์งานก่อน-หลัง และ 1 สถานีงานสามารถมีเครื่องจักรได้ไม่เกิน 1 ประเภท ซึ่งสามารถจัดขั้นตอนงานลงสถานีงานได้คือ สถานีงานที่ 1 มีขั้นตอนงานที่ 1 กับ 3, สถานีงานที่ 2 มีขั้นตอนงานที่ 2 เป็นต้น ซึ่งจะได้สถานีงานทั้งหมด 3 สถานี จากนั้นนำตารางที่ 3 และตารางที่ 7 มาทำในขั้นตอนการคัดเลือก (Selection) ดังนี้

ขั้นตอนงานที่ 6 การคัดเลือก (Selection) คัดเลือกประชากรโดยเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector ในกรณีที่ค่า Function value ของ Trial vector ดีกว่า Target vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial vector ในรุ่นต่อไปดังสมการที่ 5 ซึ่งจะได้รุ่นถัดไปในการหาคำตอบที่ดีที่สุดดังตารางที่ 8

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G+1} & \text{if } f(U_{i,G+1}) \le f(X_{i,G}) \\ X_{i,G} & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

จากตารางที่ 8 และ 9 แสดงตัวอย่างการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงานของปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่ายมีคำตอบค่า Function value ของ Trial vector คือการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงานหลังการ Recombination กับ Target vector คือการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงานก่อนการ Recombination ซึ่งมีจำนวนสถานีงานเท่ากัน คือ 3 สถานี ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial vector มาเป็นคำตอบที่ดีที่สุดดังตารางที่ 10

ตารางที่ 8 การจัดขั้นตอนงานก่อนการ Recombination

สถานีงาน	1		2	3	
งาน	1	3	2	4	5
เวลา	0.63	0.50	1	0.63	0.50
เครื่องจักร	A	A	B	C	C
$X_{i,G}$	0.01	0.70	0.24	0.85	0.57

ตารางที่ 9 การจัดขั้นตอนงานหลังการ Recombination

สถานีงาน	1		2	3	
งาน	1	3	2	4	5
เวลา	0.63	0.50	1	1.13	0.36
เครื่องจักร	A	A	B	C	C
$U_{i,G+1}$	0.42	0.44	0.32	0.85	0.57

ตารางที่ 10 ค่าคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างง่าย

สถานีงาน	1		2	3	
งาน	1	3	2	4	5
เวลา	0.63	0.50	1	1.13	0.36
เครื่องจักร	A	A	B	C	C
$U_{i,G+1}$	0.42	0.44	0.32	0.85	0.57

ตารางที่ 10 เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของการจัดขั้นตอนงานลงสถานีงาน โดวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (DE) จากนั้นนำไปทำต่อในขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7. Evolution & Re-generation คือ การดำเนินการทำซ้ำจากขั้นตอนที่ 3 ถึง 6 โดยเปลี่ยนค่า Target vector

4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง(Differential evolution algorithm : DEA) มาเขียนชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Bloodshed Dev- C++ 4.9.9.2 และประมวลผลการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์รุ่น Intel(R) Pentium Dual-Core CPU T2130 @ 1.86 GHz Ram 1.5 GB. แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 ของโรงงานกรณีศึกษา ดังตารางที่ 11 จากผลการทดลองปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 พบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DEA) ในขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด (Mutation) อัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึม สามารถให้คำตอบที่ดี โดยสามารถลดจำนวนสถานีงานลงได้จากเดิม 23 สถานีลงเหลือ 17 สถานี รายละเอียดของการจัดสถานีงานก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง ดูได้จากภาคผนวก และค่าประสิทธิภาพของสายงานการประกอบเย็บมีค่าเพิ่มขึ้น 14.61 เปอร์เซ็นต์ จากเดิม 41.39 เปอร์เซ็นต์ เป็น 56 เปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 6 แต่พบว่าอัลกอริทึมสูตรที่ 1 สามารถประมวลผลได้รวดเร็วกว่าทั้ง 3 สูตร สรุปผลทั้ง 3 สูตร ได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 ด้วยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential evolution algorithm: DEA)

	วิธีการสำหรับการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729	
	โรงงานกรณีศึกษา	วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง
สถานีงาน	23 สถานี	17 สถานี
ประสิทธิภาพสายการประกอบ	41.39%	56%

แสดงการหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของสายงานการประกอบ

$$E=\frac{\sum T_{ej}}{nT_C}\times 100 \qquad (6)$$

เมื่อ T_{ej} = เวลาของงานที่ j

T_C = รอบเวลาการผลิต

E = ประสิทธิภาพของสายการผลิต

n = จำนวนของสถานีงาน

ซึ่งสามารถแสดงการคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของสายงานการประกอบเย็บได้ดังนี้

$$\mathrm{E}=\frac{19.04}{34}\times 100 \ =56\%$$

ตารางที่ 12 ผลเวลาการประมวลผลของทั้ง 3 สูตรได้แก่ สูตรที่ 1 DE/rand/1, สูตรที่ 2 DE/best/2 และสูตรที่ DE/rand/2 ในขั้นตอนการกลายพันธุ์ (Mutation)

	DE/rand/1	DE/best/2	DE/rand/2
สถานีงาน	17 สถานี	17 สถานี	17 สถานี
ประสิทธิภาพสายการประกอบ	56 %	56 %	56 %
เวลาในการประมวลผล (วินาที)	0.003	0.010	0.018

จากตารางที่ 12 แสดงผลเวลาการประมวลผลของทั้ง 3 สูตร พบว่า สูตรที่ 1 DE/rand/1 ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด จาก 3 สูตรเท่ากับ 0.003 วินาที โดยสูตรที่ 1 DE/rand/1 มีการสุ่มค่า Vector เพียง 3 ตัว แต่สูตรที่ 2 DE/best/2 สุ่มค่า Vector 4 ตัว และสูตรที่ 3 DE/rand/2 สุ่มค่า Vector 5 ตัว ในขั้นตอนการกลายพันธุ์ จึงทำให้ สูตรที่ 2 และ 3 ใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าสูตรที่ 1 คือ 0.010 วินาที และ 0.018 วินาทีตามลำดับ โดยทั้ง 3 สูตร นี้ สามารถหาคำตอบได้เท่ากันทั้ง 3 สูตร แต่เนื่องจากสูตรที่ 2 และ 3 ตามลำดับมีการสุ่มค่า vector มามากกว่าสูตรที่ 1 ทำให้สูตรที่ 2 และ3 ตามลำดับ มีเวลาในการประมวลผลหาคำตอบนานกว่าสูตรที่ 1

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยนำเสนอวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บเสื้อแขนสั้นรุ่น 518729 ของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สามารถให้คำตอบที่ดีและมีประสิทธิภาพในการค้นพบคำตอบได้อย่างรวดเร็วอีกวิธีการ

6.เอกสารอ้างอิง

[1] M. E. Salveson, “The Assembly Line Balancing Problem,” *The Journal of Industrial Engineering*, Vol. 6, No. 3, pp.18-25, 1995.

[2] A. L. Gutjahr and G. L. Nemhause, “An algorithm for the line balancing problem,” *Management Science*. Vol. 11, No. 2, pp.8-315, 1964.

[3] กษิดิศ แสงเดือน, ชูศักดิ์ พรสิงห์ และ อาณัติ วัฒนสังสุทธ, “การเพิ่มผลิตภาพด้วยเทคนิคการจัดสมดุลสายการประกอบโดย วิธีการทางพันธุกรรม,” *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ,* 24-26 ตุลาคม, 2550, หน้า 619-624

[4] สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี, สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ และ เดชา พวงดาวเรือง, “*การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยวิธี TSGA,*” *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ*, 24-26 ตุลาคม, 2550 , หน้า 485-490.

[5] C. N. Andreas, “A Differential Evolution Algorithm For Simple Assembly Line Balancing,” *Proc. In 16th Int. Federation of Automatic Contro (IFAC) World Congress*, July 4-8, 2005, Prague, pp.1462-1467.

[6] นุชสรา เกรียงกรกฎ,"*วิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ*," วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุต- สาหการ, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี, 2552.

[7] M. M. Leenus Jehan and B.V. Babu**,** "Differential Evolution for Multi-Objective Optimization. Evolutionary," *Computation CEC*, Vol.4, pp. 2696-2703, Dec, 2003.

[8] R. Storn, and K. Price. "Differential Evolution a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces," *Journal Golbal Optimization*, Vol. 11, No. 4, pp.241-354, 1997.

[9] A. K. Qim, V. L. Huang, and P. N. Suganthan, "Differential Evolution Algorithm With Strategy Adaptation for Global Numerica Optimization," *IEEE Transactions On Evolutionary Computation***.**, Vol. 13, No. 2, pp.235-246, April, 2009.

[10] J. Rönkkönen, S. Kukkonen, and K. V. Price, "Real-parameter optimization with differential evolution," *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Vol. 1, No. 1, pp. 506–513, 2005.

7. ภาคผนวก

ตารางที่ 13 ขั้นตอนงานที่ถูกจัดลงสถานีงานก่อนการปรับปรุง (รอบเวลาการผลิต = 2.00 นาที)

สถานีงาน	ขั้นตอนงาน	เวลา (นาที)	เวลาว่างงาน (นาที) (2.00-เวลางาน)	เครื่องจักร
1	1	1.05	0.95	งานมือ
2	18,12,9	1.90	0.10	4OL
3	13	0.65	1.35	FLA(1)
4	19	0.78	1.22	FLA(2)
5	14	0.63	1.37	4OL
6	15	0.60	1.40	FLA(2)
7	10	0.25	1.75	SNA(2)
8	7,2,5,6	1.41	0.59	SNA(1)
9	27	0.68	1.32	SNA(2)
10	28,20	0.72	1.28	4OL
11	25	0.42	1.58	SNA(2)
12	8	0.40	1.60	SNA(1)
13	21	0.22	1.78	SNA(2)
14	3	0.22	1.78	SNA(1)
15	29,16,4	1.30	0.70	4OL
16	17	0.38	1.62	FLA(2)
17	22,11,23	1.74	0.26	4OL
18	24	0.67	1.33	SNA(2)
19	32,26	1.49	0.51	4OL
20	34	0.43	1.57	SNA(2)
21	33,35	1.13	0.87	SNA(1)
22	30,31	0.74	1.26	SNA(2)
23	36	1.23	0.77	DNN
	รวม	19.04	26.96	

ตารางที่ 14 ขั้นตอนงานที่ถูกจัดลงสถานีงานหลังการปรับปรุง (รอบเวลาการผลิต = 2.00 นาที)

สถานีงาน	ขั้นตอนงาน	เวลา (นาที)	เวลาว่างงาน (นาที) (2.00-เวลางาน)	เครื่องจักร
1	1,12	1.78	0.22	4OL
2	13	0.65	1.35	FLA(1)
3	14,9,18	1.80	0.2	4OL
4	19,15	1.38	0.62	FLA(2)
5	6,5,2,7,8	1.81	0.19	SNA(1)
6	3	0.22	1.78	SNA(1)
7	4,20	0.69	1.31	4OL
8	21,10,27	1.15	0.85	SNA(2)
9	16,28	0.88	1.12	4OL
10	17	0.38	1.62	FLA(2)
11	22,23,11	1.74	0.26	4OL
12	25,24	1.09	0.91	SNA(2)
13	29,26,32	1.94	0.06	4OL
14	34	0.43	1.57	SNA(2)
15	35,33	1.13	0.87	SNA(1)
16	30,31	0.74	1.26	SNA(2)
17	36	1.23	0.77	DNN
	รวม	19.04	14.96	