

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนแรงงาน ในการผลิตขิงดอง

A Mixed-Integer Linear Programming Model for Workforce Planning in the Pickled-Ginger Production

เพชรรายุทธ แซ่หลี่¹ และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์^{2*}

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

E-mail: apichair@nu.ac.th

บทคัดย่อ – งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตขิงดองของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งประสบปัญหาการวางแผนแรงงานในการผลิต บริษัทต้องจ้างแรงงานที่มีทักษะและความชำนาญ จำนวนพนักงานผลิตมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของฝ่ายผลิตทำให้ต้องจ้างผู้รับจ้างช่วง นอกจากนี้ยังเกิดความล่าช้าในการส่งมอบเนื่องจากหัวหน้าฝ่ายผลิตทำการวางแผนแรงงานโดยปราศจากเครื่องมือช่วย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตและการจ้างผู้รับจ้างช่วงเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนแรงงานสำหรับการผลิตขิงดอง เพื่อให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด OpenSolver ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Add-in ใน Microsoft Excel ถูกใช้ในการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด แผนแรงงานเพื่อการผลิตที่ได้จากแบบจำลองช่วยให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่อเดือนลดลง 273,090 บาท หรือ 8.08 % เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินการที่ผ่านมาของบริษัทกรณีศึกษา

คำสำคัญ - ขิงดอง การวางแผนแรงงาน กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

Abstract - This paper addresses a workforce planning problem of producing a pickled ginger in a case study plant. The production manager faces with the workload variation. The pickled ginger production needs skilled workers. The workforce size does not meet production requirements. Therefore, subcontractors are contracted to perform some tasks. Moreover, the product could not be delivered to the customer as promise due to the lack of a decision support tool. Consequently, the production and operation costs increase. A mixed-integer linear programming model has been developed for the problem as a decision support tool to minimize

the total cost. OpenSolver, Microsoft Excel add-in software, is used to find the optimal solution. The results show that a total monthly cost of operating under a workforce plan generated from the proposed model is reduced by 273,090 baht or 8.08% compared with the case-study plant operations.

Keywords - Pickled ginger, Workforce planning, Mixed Integer Linear Programming (MILP)

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ทำการผลิตและจำหน่ายขิงดองซึ่งสำเร็จรูปให้กับตลาดในต่างประเทศ การผลิตขิงดองเป็นลักษณะการผลิตตามความต้องการสินค้าของลูกค้า โดยลูกค้าจัดส่งข้อกำหนด (Specification) ของขิงดองที่ต้องการให้บริษัทก่อนฤดูกลเพาะปลูกขิงในแต่ละปี บริษัทดำเนินการจัดหาขิงอ่อนสดเพื่อนำมาแปรรูปเป็นขิงดอง และส่งมอบตามเวลาที่กำหนด การผลิตขิงดองใช้แรงงานที่ต้องอาศัยทั้งประสบการณ์และความชำนาญในกระบวนการตัดแต่งและการคัดขนาดขิงดองให้ได้ตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ บริษัทกรณีศึกษาประสบปัญหาการผลิตที่ล่าช้าซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสรรทรัพยากรในการผลิตที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะการจัดสรรแรงงานซึ่งเป็นกำลังการผลิตหลัก หัวหน้าฝ่ายผลิตทำการจัดสรรโดยอาศัยประสบการณ์ปราศจากเครื่องมือช่วย ซึ่งต้องเผชิญกับความยุ่งยากในการวางแผนจัดสรรแรงงานในการผลิตให้สอดคล้องกับแผนการส่งมอบผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่มากเกินไปและมักประสบกับปัญหาการผลิตที่ล่าช้า แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่นิยมใช้ช่วยตัดสินใจในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรเหล่านั้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดและบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ [1]

งานวิจัยที่ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนจัดสรรการใช้ทรัพยากรในการผลิต เพื่อให้เกิด

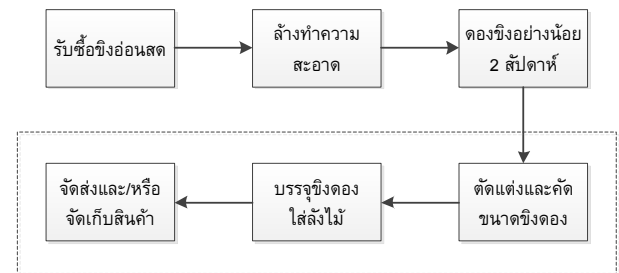
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำที่สุด เช่น งานวิจัยของ Ferrer และคณะ [2] ได้ศึกษาปัญหาในการเก็บเกี่ยวและสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming, MILP) เป็นเครื่องมือช่วยในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวและพิจารณาเลือกใช้เครื่องจักรและจำนวนพนักงานที่ต้องจัดหา เพื่อให้ได้ต้นทุนที่มีคุณภาพโดยก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นพบว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ได้จากการใช้แบบจำลองช่วยในการวางแผนและค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานลดลง 27% และ 16% ตามลำดับ Doganis และ Sarimveis [3] ได้สร้างแบบจำลอง MILP เพื่อช่วยในการจัดตารางวางแผนการผลิตโยเกิร์ต โดยพิจารณากำลังการผลิตของเครื่องจักรและจำนวนพนักงานที่มีอยู่ รวมถึงปริมาณสินค้าที่สามารถจัดเก็บได้ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการผลิตต่ำที่สุด Pastor และคณะ [4] ได้นำเสนอแบบจำลอง MILP ที่ใช้ช่วยในการวางแผนการผลิต จัดสรรพนักงานและเครื่องจักรในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมกลึงไม้ เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการผลิตต่ำที่สุด Huq และคณะ [5] ได้พัฒนาแบบจำลอง MILP ช่วยในการวางแผนการผลิตที่มีการไหลผ่านกระบวนการหลายสถานงาน เพื่อเพิ่มผลผลิตโดยเพิ่มปริมาณงานในขณะที่ใช้จำนวนพนักงานเท่าเดิม และลดจำนวนชั่วโมงทำงานล่วงเวลา Bard และคณะ [6] ได้สร้างแบบจำลอง ILP เพื่อช่วยวางแผนในการจัดสรรชั่วโมงการทำงานของพนักงานประจำและไม่เต็มเวลาของบริษัท ไปรษณีย์ เพื่อลดจำนวนพนักงานให้เหมาะสมกับปริมาณงาน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แบบจำลอง MILP สามารถประยุกต์ใช้ช่วยในการวางแผนและแก้ไขปัญหาการจัดสรรทรัพยากรได้เป็นอย่างดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลอง MILP เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการจัดสรรแรงงานสำหรับการผลิตชิงตอง โดยใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver ซึ่งเป็น Add-in tool ในโปรแกรม Microsoft Excel ในการหาค่าเหมาะที่สุด โดยมีเป้าหมายเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโดยรวมต่อเดือน

2. กระบวนการผลิตชิงตอง

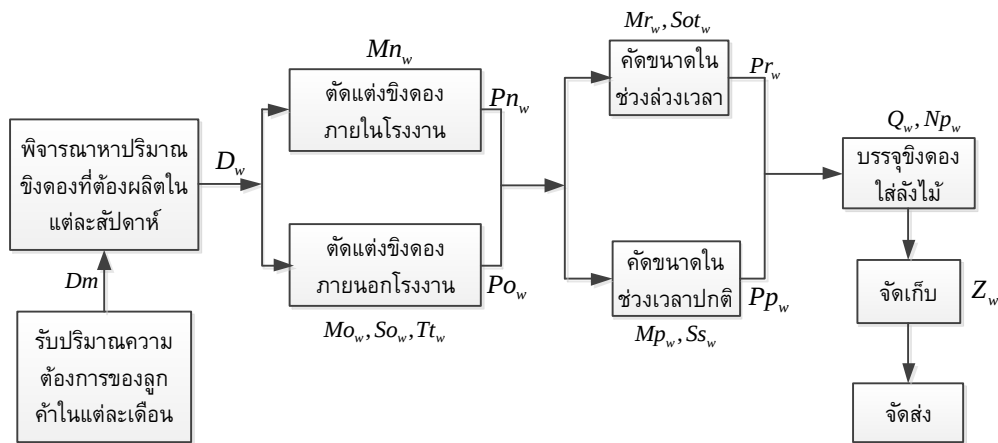
กระบวนการผลิตชิงตองของบริษัทกรณีศึกษาเริ่มตั้งแต่การรับซื้อชิงอ่อนสด นำมาล้างทำความสะอาด จากนั้นทำการดองชิงในบ่อดองที่เตรียมไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ จากนั้นนำชิงดองมาทำการตัดแต่งและคัดขนาด แล้วนำไปบรรจุใส่ลังไม้ ก่อนทำการส่งมอบให้กับลูกค้าในช่วงเวลาขึ้นหรือช่วงเวลาถัดไปดังรูปที่ 1 สำหรับการวางแผนจัดซื้อชิงตองเพื่อให้สอดคล้องกับแผนการจัดสรรบ่อดองมีอยู่อย่างจำกัดในการดองชิงสดได้มีงานวิจัย [7] แนะนำแบบจำลอง MILP ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนดังกล่าวสำหรับขอบเขตของงานวิจัยนี้ คือศึกษาและวางแผนตั้งแต่

ขั้นตอนการตัดแต่งและคัดขนาดชิงตองไปจนถึงการจัดเก็บสินค้าเพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้า



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตชิงตอง

ในกระบวนการผลิตชิงตองที่ศึกษานี้ บริษัทจะรับปริมาณความต้องการชิงตองจากลูกค้าเป็นรายเดือน (D_m) แล้วทำการผลิตและส่งมอบให้กับลูกค้าจนกว่าจะครบจำนวนที่ลูกค้าต้องการ ในกรณีที่พบว่าไม่สามารถผลิตและส่งมอบให้กับลูกค้าได้ทันเวลา จึงต้องเร่งการผลิตในช่วงปลายเดือน โดยการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งชิงตอง (Subcontractor) และให้พนักงานคัดขนาดทำงานล่วงเวลา หัวหน้าฝ่ายผลิตจะกำหนดปริมาณชิงตองที่จะต้องผลิตและส่งมอบให้กับลูกค้าในแต่ละสัปดาห์ (D_w) แล้วจึงทำการจัดสรรพนักงานตัดแต่งชิงตองภายในบริษัท (Mn_w) เพื่อให้สามารถรองรับกับเป้าหมายในการผลิตของสัปดาห์นั้น ถ้าหากจำนวนพนักงานตัดแต่งที่ต้องการมีไม่เพียงพอ บริษัทจะขนชิงตองบางส่วนไปให้ผู้รับจ้างช่วง (Mo_w) ตัดแต่งชิงตองนอกบริษัท เมื่อตัดแต่งเสร็จแล้ว ชิงตองจะถูกขนย้ายกลับมายังบริษัทเพื่อให้พนักงานทำการคัดขนาด (Mp_w) ถ้าหากไม่สามารถคัดขนาดชิงตองที่ตัดแต่งให้แล้วเสร็จได้ในช่วงเวลาการทำงานปกติ หัวหน้าฝ่ายผลิตจะทำการจัดสรรจำนวนพนักงานคัดขนาดทำงานล่วงเวลา (Mr_w) ให้สามารถคัดขนาดชิงตองได้เสร็จ โดยมีข้อจำกัดคือ ทำงานล่วงเวลาได้ไม่เกิน วันละ 2 ชั่วโมง ชิงตองที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว (Ps_w) ซึ่งบรรจุลงในตะกร้า นำมาชั่งน้ำหนักให้ได้ตะกร้าละ 45 กิโลกรัม แล้วทำการบรรจุชิงตองใส่ถุงพลาสติก เติมน้ำดองและบรรจุใส่ลังไม้ (Q_w) ชิงตองที่ยังไม่ได้บรรจุ (Np_w) จะถูกแช่น้ำดองเก็บไว้เพื่อรอบรรจุในช่วงเวลาถัดไป ชิงตองที่ผลิตได้จะถูกนำไปจัดเก็บไว้ (Z_w) สำหรับรอการจัดส่งให้กับลูกค้าดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการดำเนินการผลิตซิงตองในขอบเขตที่ศึกษา

3. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

ช่วงระยะเวลาวางแผน (Planning horizon) คือ 1 เดือน โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังนี้ คือ ค่าใช้จ่ายในการตัดแต่งซิงตองภายในบริษัท ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วง ค่าใช้จ่ายในการคัดขนาดในเวลาปกติและในช่วงล่วงเวลา ค่าใช้จ่ายในการบรรจุซิงตอง ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาซิงตองที่ยังไม่บรรจุและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจัดเก็บซิงตองที่บรรจุแล้วสำหรับค่าเสียหายไม่ได้นำมาพิจารณา เนื่องจากไม่สามารถคิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของซิงตองที่ผลิตได้ ในการสร้างแบบจำลอง MILP ได้กำหนดข้อสมมติ คือ กำลังการผลิตของพนักงานตัดแต่งและพนักงานคัดขนาดแต่ละคนมีค่าเท่ากัน โดยคิดคำนวณจากค่าเฉลี่ยของพนักงานทั้งหมดในแต่ละแผนก

ดัชนี (Index)

w สัปดาห์ที่ทำการผลิต

พารามิเตอร์ (Parameters)

An	อัตราการผลิตของพนักงานตัดแต่ง (กิโลกรัม/คน/สัปดาห์)
Ao	อัตราการผลิตของผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งซิงตอง (กิโลกรัม/คน/สัปดาห์)
Bn	กำลังการผลิตของพนักงานคัดขนาดในช่วงเวลาปกติ (กิโลกรัม/คน/สัปดาห์)
Bo	กำลังการผลิตของพนักงานคัดขนาดในช่วงล่วงเวลา (กิโลกรัม/คน/สัปดาห์)
Cc	อัตราค่าใช้จ่ายในการบรรจุ (บาท/ลัง)
Ci	อัตราค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า (บาท/ลัง)

Cn	อัตราค่าใช้จ่ายในการตัดแต่งซิงตองภายในบริษัท (บาท/กิโลกรัม)
Cnp	อัตราค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บซิงตองที่ยังไม่ได้บรรจุ (บาท/กิโลกรัม)
Co	อัตราค่าใช้จ่ายในการตัดแต่งซิงตองของผู้รับจ้างช่วง (บาท/กิโลกรัม)
Cp	อัตราค่าแรงของพนักงานคัดขนาดที่ทำงานในเวลาปกติ (บาท/คน/สัปดาห์)
Cr	อัตราค่าแรงของพนักงานคัดขนาดที่ทำงานล่วงเวลา (บาท/คน/สัปดาห์)
Ct	อัตราค่าขนส่งซิงตองไปให้ผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งซิงตอง (บาท/รอบ)
Dm	จำนวนสินค้าทั้งหมดที่ลูกค้าต้องการในเดือนนั้น (ลัง)
Mnp_o	ปริมาณซิงตองขั้นต่ำในการนำไปตัดแต่งภายนอกบริษัท (กิโลกรัม/สัปดาห์)
$Mnot$	ปริมาณขั้นต่ำที่สามารถคัดขนาดได้ในช่วงล่วงเวลา (กิโลกรัม/สัปดาห์)
Mt	จำนวนรอบสูงสุดที่สามารถขนส่งซิงตองออกไปตัดแต่งนอกบริษัทได้ในแต่ละสัปดาห์ (รอบ)
NWp	จำนวนพนักงานคัดขนาดขั้นต่ำที่จะสามารถคัดขนาดได้ในช่วงเวลาปกติ (คน/สัปดาห์)
NWr	จำนวนพนักงานคัดขนาดขั้นต่ำที่จะสามารถคัดขนาดได้ในช่วงล่วงเวลา (คน/สัปดาห์)
T	น้ำหนักซิงตองที่บรรจุในลัง (กิโลกรัม/ลัง)

W_n	จำนวนพนักงานตัดแต่งทั้งหมด (คน/สัปดาห์)
W_o	จำนวนผู้รับจ้างช่วงที่ตัดแต่งกิ่งตอง (คน/สัปดาห์)
W_p	จำนวนพนักงานคัดขนาดทั้งหมดที่ทำงานในช่วงเวลาปกติ (คน/สัปดาห์)
W_r	จำนวนพนักงานคัดขนาดทั้งหมดที่สามารถทำงานล่วงเวลาได้ (คน/สัปดาห์)
W_t	ปริมาณกิ่งตองสูงสุดที่สามารถขนส่งไปตัดแต่งภายนอกได้ในแต่ละรอบ (กิโลกรัม)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

D_w	จำนวนสินค้าที่ต้องผลิตให้ลูกค้าในสัปดาห์ที่ w (ลัง)
Mn_w	จำนวนพนักงานตัดแต่งที่ต้องการในสัปดาห์ที่ w (คน)
Mo_w	จำนวนผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งกิ่งตองที่ต้องการในสัปดาห์ที่ w (คน)
Mp_w	จำนวนพนักงานคัดขนาดที่ทำงานในช่วงเวลาปกติในสัปดาห์ที่ w (คน)
Mr_w	จำนวนพนักงานคัดขนาดที่ทำงานในช่วงล่วงเวลาในสัปดาห์ที่ w (คน)
Np_w	ปริมาณกิ่งตองที่ยังไม่ได้บรรจุลงลัง (กิโลกรัม)
Pn_w	จำนวนกิ่งตองที่ได้จากการตัดแต่งภายในบริษัทในสัปดาห์ที่ w (กิโลกรัม)
Po_w	จำนวนกิ่งตองที่ได้จากผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งกิ่งตองในสัปดาห์ที่ w (กิโลกรัม)
Pp_w	จำนวนกิ่งตองที่ได้จากการคัดขนาดในช่วงเวลาปกติในสัปดาห์ที่ w (กิโลกรัม)
Pr_w	จำนวนกิ่งตองที่ได้จากการคัดขนาดในช่วงล่วงเวลาในสัปดาห์ที่ w (กิโลกรัม)
Q_w	จำนวนลังของสินค้าที่พร้อมส่งมอบให้ลูกค้าในสัปดาห์ที่ w (ลัง)
So_w	มีค่าเป็น 1 ถ้ามีการขนส่งกิ่งตองไปให้ผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งนอกบริษัท ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0
Sot_w	มีค่าเป็น 1 ถ้ามีการคัดขนาดกิ่งตองในช่วงล่วงเวลา ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0
Ss_w	มีค่าเป็น 1 ถ้ามีการคัดขนาดกิ่งตองในช่วงเวลาปกติ ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0
Tt_w	จำนวนรอบในการขนส่งกิ่งตองไปตัดแต่งนอกบริษัท (รอบ)
Z_w	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ทำการจัดเก็บในสัปดาห์ที่ w (ลัง)

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function)

การวางแผนแรงงานเพื่อการผลิตเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการตัดแต่งกิ่งตองในบริษัท ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งกิ่งตองนอกบริษัท ค่าใช้จ่ายในการขนส่งกิ่งตองไปตัดแต่งภายนอกบริษัท ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดในเวลาปกติ ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดทำงานล่วงเวลา ค่าใช้จ่ายในการบรรจุ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษากิ่งตองที่ยังไม่บรรจุและค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ ตามลำดับ ดังแสดงในฟังก์ชันที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{w=1}^4 Cn Pn_w + \sum_{w=1}^4 Co Po_w \\ & + \sum_{w=1}^4 Ct Tt_w + \sum_{w=1}^4 Cp Mp_w \\ & + \sum_{w=1}^4 Cr Mr_w + \sum_{w=1}^4 Cc Q_w \\ & + \sum_{w=1}^4 Cnp Np_w + \sum_{w=1}^4 Ci Z_w \end{aligned} \quad (1)$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

ในการวางแผนแรงงานเพื่อการผลิตกิ่งตองจะพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ดังนี้

1. การตัดแต่งกิ่งตอง

1.1. จำนวนพนักงานที่ทำการตัดแต่งกิ่งตองในบริษัท และจำนวนผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งกิ่งตองภายนอกบริษัทในแต่ละสัปดาห์จะต้องไม่เกินจำนวนพนักงานที่มีทั้งหมด ดังสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$Mn_w \leq Wn \quad \forall w \quad (2)$$

$$Mo_w \leq Wo \quad \forall w \quad (3)$$

1.2. ปริมาณกิ่งตองที่ตัดแต่งได้ในแต่ละสัปดาห์จะขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานที่ใช้ในการตัดแต่งกิ่งตองดังสมการที่ (4) และ (5)

$$Pn_w = An \times Mn_w \quad \forall w \quad (4)$$

$$Po_w = Ao \times Mo_w \quad \forall w \quad (5)$$

1.3. ในแต่ละสัปดาห์ ถ้ามีการขนส่งกิ่งตองไปให้ผู้รับจ้างช่วงตัดแต่ง ปริมาณกิ่งตองที่ขนส่งจะต้องมากกว่าปริมาณขั้นต่ำในการขนส่ง เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการขนส่ง ดังสมการที่ (6)

$$Po_w \geq Mnpo \times So_w \quad \forall w \quad (6)$$

1.4. จำนวนรอบในการขนส่งกิ่งตองไปให้ผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งจะต้องสอดคล้องกับปริมาณกิ่งตองที่ขนส่งและไม่เกินจำนวนรอบสูงสุดในแต่ละสัปดาห์ ดังสมการที่ (7) และ (8)

$$Wt \times Tt_w \geq Po_w \quad \forall w \quad (7)$$

$$Tt_w \leq Mt \times So_w \quad \forall w \quad (8)$$

2. การคํัดขนาดซิงดอง

2.1. จํานวนพนักงานที่ใช้สำหรับการคํัดขนาดซิงดองในแต่ละสัปดาห์ทั้งในช่วงเวลาการทำงานปกติและช่วงลํ่วงเวลาจะต้องไม่เกินจํานวนพนักงานที่มีอยู่และต้องสอดคล้องกับการจัดสรรจํานวนพนักงานชั้นต่ำในการทำงานในแต่ละช่วงเวลา ดังอสมการที่ (9) ถึง (12)

$$Mp_w \leq Wp \times Ss_w \quad \forall w \quad (9)$$

$$Mp_w \geq NWp \times Ss_w \quad \forall w \quad (10)$$

$$Mr_w \leq Wr \times Sot_w \quad \forall w \quad (11)$$

$$Mr_w \geq NWr \times Sot_w \quad \forall w \quad (12)$$

2.2. ปริมาณซิงดองที่ได้จากการคํัดขนาดในแต่ละสัปดาห์ ทั้งในช่วงเวลาการทำงานปกติและช่วงลํ่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับจํานวนพนักงานที่ใช้สำหรับการผลิตในแต่ละช่วงเวลา ดังอสมการที่ (13) และ (14)

$$Pp_w \leq Bn \times Mp_w \quad \forall w \quad (13)$$

$$Pr_w \leq Bo \times Mr_w \quad \forall w \quad (14)$$

2.3. ปริมาณซิงดองรวมที่คํัดขนาดได้ทั้งหมดทั้งช่วงเวลาการทำงานปกติและช่วงลํ่วงเวลาในแต่ละสัปดาห์จะต้องสอดคล้องกับปริมาณซิงดองที่ตัดแต่งได้ดังสมการที่ (15)

$$Pp_w + Pr_w = Pn_w + Po_w \quad \forall w \quad (15)$$

3. การบรรจุและจัดเก็บผลิตภัณฑ์

3.1. ซิงดองที่คํัดขนาดเสร็จแล้วในสัปดาห์นั้นรวมกับซิงดองที่ยังไม่ได้บรรจุจะถูกนำไปบรรจุไว้ในลังไม้ ถ้าในสัปดาห์นั้นบรรจุไม่หมดก็จะนำไปบรรจุในสัปดาห์ถัดไป ดังสมการที่ (16)

$$Np_w = Np_{w-1} + Pp_w + Pr_w - TQ_w \quad \forall w \quad (16)$$

3.2. ซิงดองที่บรรจุใส่ลังเสร็จแล้วในแต่ละสัปดาห์จะถูกทยอยส่งมอบให้กับลูกค้าจนกว่าจะครบจํานวนที่ลูกค้าต้องการ แต่ถ้าผลิตได้มากกว่าความต้องการในสัปดาห์นั้น ซิงดองที่บรรจุเสร็จเรียบร้อยแล้วจะถูกจัดเก็บไว้ เพื่อใช้สำหรับตอบสนองความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลาถัดไป ดังนั้นจํานวนซิงดองที่จัดเก็บไว้ในแต่ละสัปดาห์จึงเท่ากับจํานวนซิงดองที่จัดเก็บไว้ในสัปดาห์ที่ผ่านมา ($w-1$) รวมกับจํานวนซิงดองที่ผลิตได้ในสัปดาห์นั้น หักลบด้วยจํานวนซิงดองที่วางแผนผลิตและจัดส่งให้กับลูกค้าในสัปดาห์นั้น ดังสมการที่ (17)

$$Z_w = Z_{w-1} + Q_w - D_w \quad \forall w \quad (17)$$

4. การตอบสนองความต้องการของลูกค้า

ปริมาณซิงดองที่ผลิตได้ทั้งหมดจะต้องสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าในเดือนนั้นๆ ได้ โดยกำหนดให้ 1 เดือน มี 4 สัปดาห์ ดังอสมการที่ (18)

$$\sum_{w=1}^4 D_w \geq Dm \quad (18)$$

5. เงื่อนไขบังคับของตัวแปรตัดสินใจ

$$Np_w, Pn_w, Po_w, Pp_w, Pr_w \geq 0 \quad \forall w \quad (19)$$

$$D_w, Mn_w, Mo_w, Mp_w, Mr_w,$$

$$Q_w, Tt_w, Z_w \geq 0 \text{ and Integer } \forall w \quad (20)$$

$$Sot_w, Sot_w, Ss_w \in \{0,1\} \quad \forall w \quad (21)$$

4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยทำการทดสอบแบบจำลอง MILP ที่สร้างขึ้นโดยการป้อนข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งได้จากการสอบถามหัวหน้าฝ่ายผลิตของบริษัทกรณีศึกษา และใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาค่าเหมาะที่สุด [8] แล้วทำการวิเคราะห์ผลเฉลยที่ได้เทียบกับแผนการดำเนินการผลิตที่ผ่านมาของบริษัท คำสั่งซิงดองจากลูกค้าในเดือนมกราคมมีจํานวน 11,430 ลัง โดย ณ เวลาเริ่มต้นของการวางแผนปริมาณซิงดองที่ยังไม่ได้บรรจุลงลังมีค่าเท่ากับศูนย์และไม่มีผลิตภัณฑ์เหลือเก็บในคลังสินค้า บริษัทได้ทำการผลิตตามคำสั่งซื้อจนกว่าจะครบตามปริมาณที่ลูกค้าต้องการ และเมื่อใกล้สิ้นเดือนแล้วยังคงมีปริมาณสินค้าที่ยังไม่ได้ผลิตตามแผน บริษัทจะทำการเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อให้สามารถส่งมอบซิงดองได้ตามกำหนดในเดือนนั้น ส่งผลให้ต้องมีการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งซิงดองภายนอกบริษัท และต้องจัดให้มีการทำงานลํ่วงเวลาของพนักงานคํัดขนาดวางแผนแรงงานในการผลิตในตารางที่ 1 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยเหมาะที่สุดที่ได้จากแบบจำลอง MILP ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจัดให้มีพนักงานตัดแต่งจํานวนเท่ากันทุกสัปดาห์ และเมื่อจํานวนพนักงานตัดแต่งที่ต้องการมีไม่เพียงพอ จึงจัดจ้างผู้รับจ้างช่วงทำการตัดแต่ง ผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายโดยรวมพบว่า แผนแรงงานเพื่อการผลิตที่ได้จากการใช้แบบจำลอง MILP มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการดำเนินการผลิตที่ผ่านมาของบริษัทเท่ากับ 273,090 บาท หรือคิดเป็น 8.08% ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 จํานวนแรงงานจากการดำเนินงานของบริษัท

สัปดาห์	ตัดแต่ง (คน)		คํัดขนาด (คน)	
	พนักงาน	ผู้รับจ้างช่วง	ช่วงเวลาปกติ	ช่วงลํ่วงเวลา
1	65	50	40	-
2	70	50	40	-
3	80	60	40	6
4	100	30	40	9
รวม	315	190	160	15

ตารางที่ 2 จำนวนแรงงานจากผลเฉลยของแบบจำลอง MILP

ลำดับที่	ตัดแต่ง (คน)		คัดขนาด (คน)	
	พนักงาน	ผู้รับจ้างช่วง	ช่วงเวลาปกติ	ช่วงล่วงเวลา
1	100	20	40	-
2	100	-	36	-
3	100	19	40	-
4	100	9	38	-
รวม	400	48	154	0

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในแต่ละด้านของผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลอง MILP เปรียบเทียบกับการดำเนินการผลิตที่ผ่านมาของบริษัท จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานตัดแต่งชিংตองสูงถึง 1,920,000 บาท หรือเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการผลิตชিংตองกับผลจากแบบจำลอง MILP

ค่าใช้จ่าย (บาท)	การดำเนินการที่ผ่านมา	แบบจำลอง MILP	ผลต่าง
ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานตัดแต่งชিংตอง	1,512,000	1,920,000	+ 408,000
ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งชিংตอง	820,800	207,360	- 613,440
ค่าใช้จ่ายในการขนส่งชিংตองไปตัดแต่งภายนอกบริษัท	63,000	16,500	- 46,500
ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดในเวลาปกติ	288,000	277,200	- 10,800
ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดทำงานล่วงเวลา	10,125	-	- 10,125
ค่าใช้จ่ายในการบรรจุชিংตอง	685,800	685,800	-
ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาชিংตองที่ยังไม่บรรจุ	480	255	- 225
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า	-	-	-
ค่าใช้จ่ายโดยรวม (บาท)	3,380,205	3,107,115	- 273,090

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาการผลิตชিংตอง และได้สร้างแบบจำลอง MILP เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนแรงงานในการผลิตชিংตอง เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าได้สอดคล้องกับความต้องการในแต่ละช่วงเวลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินการผลิตชিংตองต่อเดือนต่ำที่สุด จากการใช้แบบจำลอง MILP ช่วยในการวางแผนเพื่อจัดสรรแรงงานสำหรับการผลิต ผ่าน ซอฟต์แวร์ OpenSolver พบว่าสามารถวางแผนได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาน้อยกว่า 30 วินาที นอกจากนี้แผนการจัดสรรแรงงานที่ได้ยังสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ด้วย เมื่อนำผลลัพธ์ของแบบจำลอง MILP ที่ได้สร้างขึ้นช่วยในการวางแผนแรงงานในการผลิต เปรียบเทียบกับการดำเนินการที่ผ่านมาของบริษัท พบว่าค่าใช้จ่ายรวมในการ

408,000 บาท ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสรรให้พนักงานตัดแต่งชিংตองที่มีทั้งหมดทำการตัดแต่งชিংตองก่อน แล้วจึงจัดจ้างผู้รับจ้างช่วงให้ตัดแต่งชিংตองเพิ่มเติม แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งชিংตอง และค่าใช้จ่ายในการขนส่งชিংตองไปตัดแต่งนอกบริษัทลดลง 613,440 และ 46,500 บาท ตามลำดับ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดชিংตองในช่วงเวลาปกติลดลง ในขณะที่ไม่มีการจ้างพนักงานคัดขนาดทำงานช่วงล่วงเวลา จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดทั้งในเวลาปกติและช่วงล่วงเวลาลดลง 20,925 บาท

ดำเนินการลดลง 273,090 บาท หรือ 8.08 % ซึ่งถือว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเป็นผลมาจากการจัดสรรให้พนักงานตัดแต่งชিংตองที่มีทั้งหมดในบริษัททำการตัดแต่งชিংตองก่อน ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า และถ้าหากไม่เพียงพอก็จะจ้างผู้รับจ้างช่วงเพิ่มเติม จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งชিংตอง และการขนส่งชিংตองไปตัดแต่งนอกบริษัทลดลง ปริมาณชিংตองที่ตัดแต่งได้ก็สอดคล้องกับจำนวนพนักงานคัดขนาดที่ใช้ในช่วงเวลาปกติ ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการทำงานล่วงเวลาของพนักงานคัดขนาด จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลดลงด้วย ผลจากการใช้แบบจำลอง MILP ช่วยในการวางแผนนี้จะช่วยให้อุตสาหกรรมผลิตชিংตองหรือส่วนที่เกี่ยวข้องทราบถึงจำนวนพนักงานตัดแต่ง และจำนวนพนักงานคัดขนาดชিংตองที่จะต้องจ้างและจัดหาล่วงหน้าได้ เพื่อให้สอดคล้องกับแผนในแต่ละสัปดาห์

ส่งผลให้สามารถผลิตซึ่งต้องส่งให้ลูกค้าได้ตรงเวลาตามที่ลูกค้ากำหนด ลดการจ้างงานที่เกินความจำเป็นในกรณีที่ต้องเร่งการผลิตในช่วงปลายเดือน เพื่อให้สามารถผลิตและส่งมอบสินค้าทั้งหมดให้กับลูกค้าได้ สำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต จะทำการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวางแผนการจัดการทั้งโซ่อุปทานตั้งแต่การจัดหาซื้อมาจนถึงการแปรรูปและการส่งมอบผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] F. S. Hillier and G. Lieberman, *Introduction to operations research*, 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- [2] J. C. Ferrer, A. Cawley, S. Maturana, S. Toloza, and J. Vera, "An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations," *International Journal of Production Economics*, vol. 112, pp. 985-999, 2008.
- [3] P. Doganis and H. Sarimveis, "Optimal scheduling in a yogurt production line based on mixed integer linear programming," *Journal of Food Engineering*, vol. 80, pp. 445-453, 2007.
- [4] R. Pastor, J. Altimiras, and M. Mateo, "Planning production using mathematical programming: The case of a woodturning company," *Computers and Operations Research*, vol. 36, pp. 2173-2178, 2009.
- [5] F. Huq, K. Cutright, and C. Martin, "Employee scheduling and makespan minimization in a flow shop with multi-processor work stations: A case study," *Omega*, vol. 32, pp. 121-129, 2004.
- [6] J. F. Bard, C. Binici, and A. H. deSilva, "Staff scheduling at the United States Postal Service," *Computers & Operations Research*, vol. 30, pp. 745-771, 2003.
- [7] A. Pantong and A. Ritvirool, "Purchasing and resource allocation planning in pickled ginger industry using mixed-integer linear programming," *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 22(2), pp. 339-348, 2012. (in Thai)
- [8] A. J. Mason and I. Dunning, "OpenSolver: Open source optimisation for Excel," in *Proceedings of the 45th Annual Conference of the ORSNZ*, November 29-30, 2010, Auckland, New Zealand, pp. 181-190.