แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนแรงงานในการผลิตขิงดอง

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

เพชรายุทธ แซ่หลี[1] 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 ถูกใช้ในการหาผลเฉลยเหมาะที่สุด 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) ทำการผลิตและจำหน่ายขิงดองกึ่งสำเร็จรูปให้กับตลาดในต่างประเทศ การผลิตขิงดองเป็นลักษณะการผลิตตามความต้องการสินค้าของลูกค้า โดยลูกค้าจัดส่งข้อกำหนด (Specification) ของขิงดองที่ต้องการให้บริษัทก่อนฤดูกาลเพาะปลูกขิงในแต่ละปี บริษัทดำเนินการจัดหาขิงอ่อนสดเพื่อนำมาแปรรูปเป็นขิงดอง และส่งมอบตามเวลาที่กำหนด การผลิตขิงดองใช้แรงงานที่ต้องอาศัยทั้งประสบการณ์และความชำนาญในกระบวนการตัดแต่งและการคัดขนาดขิงดองให้ได้ตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ บริษัทกรณีศึกษาประสบปัญหาการผลิตที่ล่าช้าซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสรรทรัพยากรในการผลิตที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะการจัดสรรแรงงานซึ่งเป็นกำลังการผลิตหลัก หัวหน้าฝ่ายผลิตทำการจัดสรรโดยอาศัยประสบการณ์ปราศจากเครื่องมือช่วย ซึ่งต้องเผชิญกับความยุ่งยากในการวางแผนจัดสรรแรงงานในการผลิตให้สอดคล้องกับแผนการส่งมอบผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่มากเกินความจำเป็นและมักประสบกับปัญหาการผลิตที่ล่าช้า แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่นิยมใช้ช่วยตัดสินใจในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรเหล่านั้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดและบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ [1]

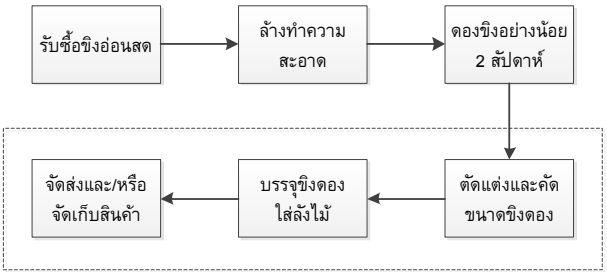
งานวิจัยที่ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นในการวางแผนจัดสรรการใช้ทรัพยากรในการผลิต เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำที่สุด เช่น งานวิจัยของ Ferrer และคณะ [2] ได้ศึกษาปัญหาในการเก็บเกี่ยวอุ่นและสร้าง

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Linear Programming, MILP) เป็นเครื่องมือช่วยในการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอุ่นและการพิจารณาเลือกใช้เครื่องจักรและจำนวนพนักงานที่ต้องจัดหา เพื่อให้ได้อุ่นที่มีคุณภาพโดยก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นพบว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่ได้จากการใช้แบบจำลองช่วยในการวางแผนและค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานลดลง 27% และ 16% ตามลำดับ Doganis และ Sarimveis [3] ได้สร้างแบบจำลอง MILP เพื่อช่วยในการจัดตารางวางแผนการผลิตโยเกิร์ต โดยพิจารณากำลังการผลิตของเครื่องจักรและจำนวนพนักงานที่มีอยู่ รวมถึงปริมาณสินค้าที่สามารถจัดเก็บได้ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการผลิตต่ำที่สุด Pastor และคณะ [4] ได้นำเสนอแบบจำลอง MILP ที่ใช้ช่วยในการวางแผนการผลิต จัดสรรพนักงานและเครื่องจักรในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมกลึงไม้เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการผลิตต่ำที่สุด Huq และคณะ [5] ได้พัฒนาแบบจำลอง MILP ช่วยในการวางแผนการผลิตที่มีการไหลผ่านกระบวนการหลายสถานีงาน เพื่อเพิ่มผลผลิตโดยเพิ่มปริมาณงานในขณะที่ใช้จำนวนพนักงานเท่าเดิม และลดจำนวนชั่วโมงทำงานล่วงเวลา Bard และคณะ[6] ได้สร้างแบบจำลอง ILP เพื่อช่วยวางแผนในการจัดสรรชั่วโมงการทำงานของพนักงานประจำและไม่เต็มเวลาของบริษัทไปรษณีย์ เพื่อลดจำนวนพนักงานให้เหมาะสมกับปริมาณงาน

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

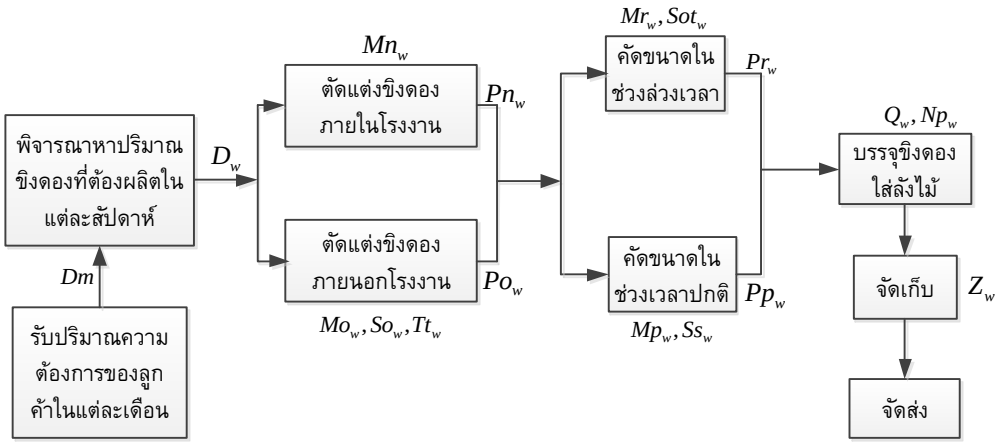
2. กระบวนการผลิตขิงดอง

กระบวนการผลิตขิงดองของบริษัทกรณีศึกษาเริ่มตั้งแต่การรับซื้อขิงอ่อนสด นำมาล้างทำความสะอาด จากนั้นทำการดองขิงในบ่อดองที่เตรียมไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ จากนั้นนำขิงดองมาทำการตัดแต่งและคัดขนาด แล้วนำไปบรรจุใส่ลังไม้ ก่อนทำการส่งมอบให้กับลูกค้าในช่วงเวลานี้หรือช่วงเวลาถัดไปดังรูปที่ 1 สำหรับการวางแผนจัดซื้อขิงดองเพื่อให้สอดคล้องกับแผนการจัดสรรบ่อดองมีอยู่อย่างจำกัดในการดองขิงสดได้มีงานวิจัย [7] นำเสนอแบบจำลอง MILP ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนดังกล่าว สำหรับขอบเขตของงานวิจัยนี้ คือศึกษาและวางแผนตั้งแต่ขั้นตอนการตัดแต่งและคัดขนาดขิงดองไปจนถึงการจัดเก็บสินค้าเพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้า



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตขิงดอง

ในกระบวนผลิตขิงดองที่ศึกษานี้ บริษัทจะรับปริมาณความต้องการขิงดองจากลูกค้าเป็นรายเดือน (Dm) แล้วทำการผลิตและส่งมอบให้กับลูกค้าจนกว่าจะครบจำนวนที่ลูกค้าต้องการ ในกรณีที่พบว่าไม่สามารถผลิตและส่งมอบให้กับลูกค้าได้ทันเวลา จึงต้องเร่งการผลิตในช่วงปลายเดือน โดยการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดอง (Subcontractor) และให้พนักงานคัดขนาดทำงานล่วงเวลา หัวหน้าฝ่ายผลิตจะกำหนดปริมาณขิงดองที่จะต้องผลิตและส่งมอบให้กับลูกค้าในแต่ละสัปดาห์ (D_w) แล้วจึงทำการจัดสรรพนักงานตัดแต่งขิงดองภายในบริษัท (Mn_w) เพื่อให้สามารถรองรับกับเป้าหมายในการผลิตของสัปดาห์นั้น ถ้าหากจำนวนพนักงานตัดแต่งที่ต้องการมีไม่เพียงพอ บริษัทจะขนขิงดองบางส่วนไปให้ผู้รับจ้างช่วง (Mo_w) ตัดแต่งขิงดองนอกบริษัท เมื่อตัดแต่งเสร็จแล้ว ขิงดองจะถูกขนย้ายกลับมายังบริษัทเพื่อให้พนักงานทำการคัดขนาด (Mp_w) ถ้าหากไม่สามารถคัดขนาดขิงดองที่ตัดแต่งให้แล้วเสร็จได้ในช่วงเวลาการทำงานปกติ หัวหน้าฝ่ายผลิตจะทำการจัดสรรจำนวนพนักงานคัดขนาดทำงานล่วงเวลา(Mr_w) ให้สามารถคัดขนาดขิงดองได้เสร็จ โดยมีข้อจำกัดคือ ทำงานล่วงเวลาได้ไม่เกิน วันละ 2 ชั่วโมง ขิงดองที่ผ่านการคัดขนาดแล้ว (Ps_w) ซึ่งบรรจุลงในตะกร้า นำมาชั่งน้ำหนักให้ได้ตะกร้าละ 45 กิโลกรัม แล้วทำการบรรจุขิงดองใส่ถุงพลาสติก เติมน้ำดองและบรรจุใส่ลังไม้ (Q_w) ขิงดองที่ยังไม่ได้บรรจุ (Np_w) จะถูกแช่น้ำดองเก็บไว้เพื่อรอบรรจุในช่วงเวลาถัดไป ขิงดองที่ผลิตได้จะถูกนำไปจัดเก็บไว้ (Z_w) สำหรับรอการจัดส่งให้กับลูกค้าดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการดำเนินการผลิตขิงดองในขอบเขตที่ศึกษา

3. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

ช่วงระยะการวางแผน (Planning horizon) คือ 1 เดือน โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังนี้ คือ ค่าใช้จ่ายในการตัดแต่งขิงดองภายในบริษัท ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วง ค่าใช้จ่ายในการคัดขนาดในเวลาปกติและในช่วงล่วงเวลา ค่าใช้จ่ายในการบรรจุขิงดอง ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาขิงดองที่ยังไม่บรรจุและค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจัดเก็บขิงดองที่บรรจุแล้วสำหรับค่าโสหุ้ยไม่ได้นำมาพิจารณา เนื่องจากไม่สามารถคิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของขิงดองที่ผลิตได้ ในการสร้างแบบจำลอง MILP ได้กำหนดข้อสมมติ คือ กำลังการผลิตของพนักงานตัดแต่งและพนักงานคัดขนาดแต่ละคนมีค่าเท่ากัน โดยคิดคำนวณจากค่าเฉลี่ยของพนักงานทั้งหมดในแต่ละแผนก

ดัชนี (Index)

w สัปดาห์ที่ทำการผลิต

พารามิเตอร์ (Parameters)

An อัตราการผลิตของพนักงานตัดแต่ง (กิโลกรัม/คน/สัปดาห์)

Ao อัตราการผลิตของผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดอง (กิโลกรัม/คน/สัปดาห์)

Bn กำลังการผลิตของพนักงานคัดขนาดในช่วงเวลาปกติ (กิโลกรัม/คน/สัปดาห์)

Bo กำลังการผลิตของพนักงานคัดขนาดในช่วงล่วงเวลา (กิโลกรัม/คน/สัปดาห์)

Cc อัตราค่าใช้จ่ายในการบรรจุ (บาท/ลัง)

Ci อัตราค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า (บาท/ลัง)

Cn อัตราค่าใช้จ่ายในการตัดแต่งขิงดองภายในบริษัท (บาท/กิโลกรัม)

Cnp อัตราค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บขิงดองที่ยังไม่ได้บรรจุ (บาท/กิโลกรัม)

Co อัตราค่าใช้จ่ายในการตัดแต่งขิงดองของผู้รับจ้างช่วง (บาท/กิโลกรัม)

Cp อัตราค่าแรงของพนักงานคัดขนาดที่ทำงานในเวลาปกติ (บาท/คน/สัปดาห์)

Cr อัตราค่าแรงของพนักงานคัดขนาดที่ทำงานล่วงเวลา (บาท/คน/สัปดาห์)

Ct อัตราค่าขนส่งขิงดองไปให้ผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดอง (บาท/รอบ)

Dm จำนวนสินค้าทั้งหมดที่ลูกค้าต้องการในเดือนนั้น (ลัง)

$Mnpo$ ปริมาณขิงดองขั้นต่ำในการนำไปตัดแต่งภายนอกบริษัท (กิโลกรัม/สัปดาห์)

$Mnot$ ปริมาณขั้นต่ำที่สามารถคัดขนาดได้ในช่วงล่วงเวลา (กิโลกรัม/สัปดาห์)

Mt จำนวนรอบสูงสุดที่สามารถขนส่งขิงดองออกไปตัดแต่งนอกบริษัทได้ในแต่ละสัปดาห์ (รอบ)

NWp จำนวนพนักงานคัดขนาดขั้นต่ำที่จะสามารถคัดขนาดได้ในช่วงเวลาปกติ (คน/สัปดาห์)

NWr จำนวนพนักงานคัดขนาดขั้นต่ำที่จะสามารถคัดขนาดได้ในช่วงล่วงเวลา (คน/สัปดาห์)

T น้ำหนักขิงดองที่บรรจุในลัง (กิโลกรัม/ลัง)

Wn จำนวนพนักงานตัดแต่งทั้งหมด (คน/สัปดาห์)

Wo จำนวนผู้รับจ้างช่วงที่ตัดแต่งขิงดอง (คน/สัปดาห์)

Wp จำนวนพนักงานคัดขนาดทั้งหมดที่ทำงานในช่วงเวลาปกติ (คน/สัปดาห์)

Wr จำนวนพนักงานคัดขนาดทั้งหมดที่สามารถทำงานล่วงเวลาได้ (คน/สัปดาห์)

Wt ปริมาณขิงดองสูงสุดที่สามารถขนส่งไปตัดแต่งภายนอกได้ในแต่ละรอบ (กิโลกรัม)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

D_w จำนวนสินค้าที่ต้องผลิตให้ลูกค้าในสัปดาห์ที่ w (ลัง)

Mn_w จำนวนพนักงานตัดแต่งที่ต้องการในสัปดาห์ที่ w (คน)

Mo_w จำนวนผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดองที่ต้องการในสัปดาห์ที่ w (คน)

Mp_w จำนวนพนักงานคัดขนาดที่ทำงานในช่วงเวลาปกติในสัปดาห์ที่ w (คน)

Mr_w จำนวนพนักงานคัดขนาดที่ทำงานในช่วงล่วงเวลาในสัปดาห์ที่ w (คน)

Np_w ปริมาณขิงดองที่ยังไม่ได้บรรจุลงลัง (กิโลกรัม)

Pn_w จำนวนขิงดองที่ได้จากการตัดแต่งภายในบริษัทในสัปดาห์ที่ w (กิโลกรัม)

Po_w จำนวนขิงดองที่ได้จากผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดองในสัปดาห์ที่ w (กิโลกรัม)

Pp_w จำนวนขิงดองที่ได้จากการคัดขนาดในช่วงเวลาปกติในสัปดาห์ที่ w (กิโลกรัม)

Pr_w จำนวนขิงดองที่ได้จากการคัดขนาดในช่วงล่วงเวลา ในสัปดาห์ที่ w (กิโลกรัม)

Q_w จำนวนลังของสินค้าที่พร้อมส่งมอบให้ลูกค้าในสัปดาห์ที่ w (ลัง)

So_w มีค่าเป็น 1 ถ้ามีการขนส่งขิงดองไปให้ผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งนอกบริษัท ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

Sot_w มีค่าเป็น 1 ถ้ามีการคัดขนาดขิงดองในช่วงล่วงเวลา ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

Ss_w มีค่าเป็น 1 ถ้ามีการคัดขนาดขิงดองในช่วงเวลาปกติ ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

Tt_w จำนวนรอบในการขนส่งขิงดองไปตัดแต่งนอกบริษัท (รอบ)

Z_w จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ทำการจัดเก็บในสัปดาห์ที่ w (ลัง)

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function)

การวางแผนแรงงานเพื่อการผลิตเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการตัดแต่งขิงดองในบริษัท ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดองนอกบริษัท ค่าใช้จ่ายในการขนส่งขิงดองไปตัดแต่งภายนอกบริษัท ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดในเวลาปกติ ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดทำงานล่วงเวลา ค่าใช้จ่ายในการบรรจุ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาขิงดองที่ยังไม่บรรจุและค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ ตามลำดับ ดังแสดงในฟังก์ชันที่ (1)

$$\begin{aligned} Min\ Z = & \sum_{w=1}^{4} CnPn_w + \sum_{w=1}^{4} CoPo_w \\ & + \sum_{w=1}^{4} CtTt_w + \sum_{w=1}^{4} CpMp_w \\ & + \sum_{w=1}^{4} CrMr_w + \sum_{w=1}^{4} CcQ_w \\ & + \sum_{w=1}^{4} CnpNp_w + \sum_{w=1}^{4} CiZ_w \end{aligned} \quad (1)$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

ในการวางแผนแรงงานเพื่อการผลิตขิงดองจะพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ดังนี้

1. การตัดแต่งขิงดอง

1.1. จำนวนพนักงานที่ทำการตัดแต่งขิงดองในบริษัทและจำนวนผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดองภายนอกบริษัทในแต่ละสัปดาห์จะต้องไม่เกินจำนวนพนักงานที่มีทั้งหมด ดังอสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ

$$Mn_w \le Wn \qquad \forall w \quad (2)$$

$$Mo_w \le Wo \qquad \forall w \quad (3)$$

1.2. ปริมาณขิงดองที่ตัดแต่งได้ในแต่ละสัปดาห์จะขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานที่ใช้ในการตัดแต่งขิงดองดังสมการที่ (4) และ (5)

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

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

1.3. ในแต่ละสัปดาห์ ถ้ามีการขนส่งขิงดองไปให้ผู้รับจ้างช่วงตัดแต่ง ปริมาณขิงดองที่ขนส่งจะต้องมากกว่าปริมาณขั้นต่ำในการขนส่ง เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการขนส่ง ดังอสมการที่ (6)

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

1.4. จำนวนรอบในการขนส่งขิงดองไปให้ผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งจะต้องสอดคล้องกับปริมาณขิงที่ต้องขนส่งและไม่เกินจำนวนรอบสูงสุดในแต่ละสัปดาห์ ดังอสมการที่ (7) และ (8)

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

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

2. การคัดขนาดขิงดอง

2.1. จำนวนพนักงานที่ใช้สำหรับการคัดขนาดขิงดองในแต่ละสัปดาห์ทั้งในช่วงเวลาการทำงานปกติและช่วงล่วงเวลาจะต้องไม่เกินจำนวนพนักงานที่มีอยู่และต้องสอดคล้องกับการจัดสรรจำนวนพนักงานขั้นต่ำในการทำงานในแต่ละช่วงเวลา ดังอสมการที่ (9) ถึง (12)

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

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

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

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

2.2. ปริมาณขิงดองที่ได้จากการคัดขนาดในแต่ละสัปดาห์ ทั้งในช่วงเวลาการทำงานปกติและช่วงล่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานที่ใช้สำหรับการผลิตในแต่ละช่วงเวลาดังอสมการที่ (13) และ (14)

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

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

2.3. ปริมาณขิงดองรวมที่คัดขนาดได้ทั้งหมดทั้งช่วงเวลาการทำงานปกติและช่วงล่วงเวลาในแต่ละสัปดาห์จะต้องสอดคล้องกับปริมาณขิงดองที่ตัดแต่งได้ดังสมการที่ (15)

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

3. การบรรจุและจัดเก็บผลิตภัณฑ์

3.1. ขิงดองที่คัดขนาดเสร็จแล้วในสัปดาห์นั้นรวมกับขิงดองที่ยังไม่ได้บรรจุจะถูกนำไปบรรจุไว้ในลังไม้ ถ้าในสัปดาห์นั้นบรรจุไม่หมดก็จะนำไปบรรจุในสัปดาห์ถัดไป ดังสมการที่ (16)

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

3.2. ขิงดองที่บรรจุใส่ลังเสร็จแล้วในแต่ละสัปดาห์จะถูกทยอยส่งมอบให้กับลูกค้าจนกว่าจะครบจำนวนที่ลูกค้าต้องการ แต่ถ้าผลิตได้มากกว่าความต้องการในสัปดาห์นี้ ขิงดองที่บรรจุลังเรียบร้อยแล้วจะถูกจัดเก็บไว้ เพื่อใช้สำหรับตอบสนองความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลาถัดไป ดังนั้นจำนวนขิงดองที่จัดเก็บไว้ในแต่ละสัปดาห์จึงเท่ากับจำนวนขิงดองที่จัดเก็บไว้ในสัปดาห์ที่ผ่านมา ($w-1$) รวมกับจำนวนขิงดองที่ผลิตได้ในสัปดาห์นั้น หักลบด้วยจำนวนขิงดองที่วางแผนผลิตและจัดส่งให้กับลูกค้าในสัปดาห์นั้น ดังสมการที่ (17)

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

4. การตอบสนองความต้องการของลูกค้า

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

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

5. เงื่อนไขบังคับของตัวแปรตัดสินใจ

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

$$D_w, Mn_w, Mo_w, Mp_w, Mr_w,$$
$$Q_w, Tt_w, Z_w \geq 0 \ \ and \ \ Integer \quad \forall w \qquad (20)$$

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

4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยทำการทดสอบแบบจำลอง MILP ที่สร้างขึ้นโดยการป้อนข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งได้จากการสอบถามหัวหน้าฝ่ายผลิตของบริษัทกรณีศึกษา และใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาค่าเหมาะที่สุด [8] แล้วทำการวิเคราะห์ผลเฉลยที่ได้เทียบกับแผนการดำเนินการผลิตที่ผ่านมาของบริษัท คำสั่งซื้อขิงดองจากลูกค้าในเดือนมกราคมมีจำนวน 11,430 ลัง โดย ณ เวลาเริ่มต้นของการวางแผนปริมาณขิงดองที่ยังไม่ได้บรรจุลงลังมีค่าเท่ากับศูนย์และไม่มีผลิตภัณฑ์เหลือเก็บในคลังสินค้า บริษัทได้ทำการผลิตตามคำสั่งซื้อจนกว่าจะครบตามปริมาณที่ลูกค้าต้องการ และเมื่อใกล้สิ้นเดือนแล้วยังคงมีปริมาณสินค้าที่ยังไม่ได้ผลิตตามแผน บริษัทจะทำการเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อให้สามารถส่งมอบขิงดองได้ตามกำหนดในเดือนนั้น ส่งผลให้ต้องมีการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดองภายนอกบริษัท และต้องจัดให้มีการทำงานล่วงเวลาของพนักงานคัดขนาดดังแผนแรงงานในการผลิตในตารางที่ 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)		คัดขนาด (คน)	
	พนักงาน	ผู้รับจ้างช่วง	ช่วงเวลาปกติ	ช่วงล่วงเวลา
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

สัปดาห์	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 จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานตัดแต่งขิงดองสูงถึง 1,920,000 บาท หรือเพิ่มขึ้น 408,000 บาท ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสรรให้พนักงานตัดแต่งขิงดองที่มีทั้งหมดทำการตัดแต่งขิงดองก่อน แล้วจึงจัดจ้างผู้รับจ้างช่วงให้ตัดแต่งขิงดองเพิ่มเติม แต่จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดอง และค่าใช้จ่ายในการขนส่งขิงดองไปตัดแต่งนอกบริษัทลดลง 613,440 และ 46,500 บาท ตามลำดับ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดขิงดองในช่วงเวลาปกติลดลง ในขณะที่ไม่มีการจ้างพนักงานคัดขนาดทำงานช่วงล่วงเวลา จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานคัดขนาดทั้งในเวลาปกติและช่วงล่วงเวลาลดลง 20,925 บาท

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการผลิตขิงดองกับผลจากแบบจำลอง MILP

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

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาการผลิตขิงดอง และได้สร้างแบบจำลอง MILP เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนแรงงานในการผลิตขิงดอง เพื่อให้สามารถผลิตสินค้าได้สอดคล้องกับความต้องการในแต่ละช่วงเวลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินการผลิตขิงดองต่อเดือนต่ำที่สุด จากการใช้แบบจำลอง MILP ช่วยในการวางแผนเพื่อจัดสรรแรงงานสำหรับการผลิต ผ่าน ซอฟต์แวร์ OpenSolver พบว่าสามารถวางแผนได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาน้อยกว่า 30 วินาที นอกจากนี้แผนการจัดสรรแรงงานที่ได้ยังสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ด้วย เมื่อนำผลลัพธ์ของแบบจำลอง MILP ที่ได้สร้างขึ้นช่วยในการวางแผนแรงงานในการผลิต เปรียบเทียบกับการดำเนินการที่ผ่านมาของบริษัท พบว่าค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินการลดลง 273,090 บาท หรือ 8.08 % ซึ่งถือว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเป็นผลมาจากการจัดสรรให้พนักงานตัดแต่งขิงดองที่มีทั้งหมดในบริษัททำการตัดแต่งขิงดองก่อน ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า และถ้าหากไม่เพียงพอจึงจัดจ้างผู้รับจ้างช่วงเพิ่มเติม จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการจ้างผู้รับจ้างช่วงตัดแต่งขิงดอง และการขนส่งขิงดองไปตัดแต่งนอกบริษัทลดลง ปริมาณขิงที่ตัดแต่งได้ก็สอดคล้องกับจำนวนพนักงานคัดขนาดที่ใช้ในช่วงเวลาปกติ ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการทำงานล่วงเวลาของพนักงานคัดขนาด จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลดลงด้วย ผลจากการใช้แบบจำลอง MILP ช่วยในการวางแผนนี้จะช่วยให้หัวหน้าฝ่ายผลิตขิงดองหรือส่วนที่เกี่ยวข้องทราบถึงจำนวนพนักงานตัดแต่ง และจำนวนพนักงานคัดขนาดขิงดองที่จะต้องจ้างและจัดหาล่วงหน้าได้ เพื่อให้สอดคล้องกับแผนในแต่ละสัปดาห์ ส่งผลให้สามารถผลิตขิงดองส่งให้ลูกค้าได้ตรงเวลาตามที่ลูกค้ากำหนด ลดการจ้างงานที่เกินความจำเป็นในกรณีที่ต้องเร่งการผลิตในช่วงปลายเดือน เพื่อให้สามารถผลิตและส่งมอบสินค้าทั้งหมดให้กับลูกค้าได้ สำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต จะทำการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวางแผนการจัดการทั้งโซ่อุปทานตั้งแต่การจัดหาขิงอ่อนสด การแปรรูปและการส่งมอบผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

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.