แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร

เพชรายุทธ แซ่หลี[1] และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์[2*]
มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอปัญหาการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตที่หลากหลาย โดยแต่ละรายการสินค้าใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกันภายใต้การผลิตแบบกลุ่ม (Batch) สินค้าที่ได้จากการผลิตลักษณะนี้ในบางครั้งจะมีจำนวนไม่สอดคล้องกับยอดความต้องการสินค้าที่ลูกค้าต้องการ หรืออุปสงค์ของลูกค้ามีมากกว่าความสามารถในการผลิตและจำนวนสินค้าคงคลังที่มีอยู่ โดยสินค้าขาดมือที่เกิดขึ้นทั้งหมดถูกกำหนดให้เป็นสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้ นอกจากนี้ผู้จัดการจะต้องจัดสรรงานตามทักษะของพนักงานผลิตแต่ละคนและยังต้องคำนึงถึงการได้ดุลภาระงาน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ค่าจัดเก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายจากสินค้าขาดมือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้า ค่าจ้างพนักงานผลิตและพนักงานบรรจุ ผลจากการวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมจากการดำเนินการตามแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง ILP ลดลง 5.06% เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินการของบริษัทกรณีศึกษา

คำสำคัญ : การวางแผนการผลิต / กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม / เครื่องสำอางจากสมุนไพร

* *Corresponding author. E-mail: apichair@nu.ac.th*

1 *นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์*

2 *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์*

An Integer Linear Programming Model for Herbal Cosmetic Production Planning

Phetcharayud Sea-lee[1] and Apichai Ritvirool[2*]

Naresuan University, Muang, Phitsanulok 65000

Abstract

This paper addresses a problem related to the production of herbal cosmetic products. Multiple herbal cosmetic products are produced under batch production and require different amounts of processing time. Sometimes the output does not match the customer demand, or the customer demand exceeds available capacity and inventory of the process. The entire out-of-stock of goods is assumed to be the backorder. Moreover, a manager must appropriately assign workers to tasks not only according to their skills but also to the workload balance. For this reason, an Integer Linear Programming (ILP) model has been developed to minimize the total cost of the process; this includes material, inventory, backorder, production, and labor costs. The results showed that the total cost of operation under the production plan generated from the ILP model could be reduced by 5.06% compared with that under the current production plan.

Keywords : Production Planning / Integer Linear Programming / Herbal Cosmetic

* *Corresponding author. E-mail: apichair@nu.ac.th*

1 *Graduate Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.*

2 *Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.*

1. บทนำ

สมุนไพรไทยเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศเป็นอย่างมาก มูลค่าการส่งออกสมุนไพรไทยในปี พ.ศ.2552 สูงถึง 333 ล้านบาท และยังคงมีอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันดับการส่งออกผลิตภัณฑ์สมุนไพรของไทยซึ่งส่วนใหญ่เป็นสมุนไพรที่ได้รับการดัดแปลงหรือแปรรูปแล้ว คือ เครื่องสำอางจากสมุนไพร เครื่องสมุนไพร อาหารเสริมสุขภาพ และยา ตามลำดับ [1] เครื่องสำอางจากสมุนไพรได้รับความนิยมจากผู้บริโภคภายในประเทศอย่างต่อเนื่องซึ่งเห็นได้จากอุปสงค์และยี่ห้อสินค้าที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี อันเป็นผลมาจากการส่งเสริมการสร้างมูลค่าเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรของภาครัฐ [2] และกระแสการหันมาใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติของผู้บริโภค ซึ่งเชื่อว่าปลอดภัยมากกว่าการใช้สารเคมี สมุนไพรที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง เช่น มะกรูด ว่านหางจระเข้ มะคำดีควาย เป็นต้น

บริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ซึ่งผลิตและจำหน่ายเครื่องสำอางจากสมุนไพร สินค้าของบริษัทผลิตเพื่อจำหน่ายทั้งภายในและต่างประเทศ โดยมีมูลค่าการส่งออกในสัดส่วน 20% ของยอดขาย ความต้องการสินค้าของบริษัทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี บริษัทต้องวางแผนการผลิตสินค้าหลากหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์พร้อมกัน ภายใต้ทรัพยากรชุดเดียวกันซึ่งมีอย่างจำกัด เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มากที่สุด บริษัทใช้แรงงานในการผลิตเป็นหลักและมีลักษณะการผลิตแบบกลุ่ม (Batch) จำนวนสินค้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตและการผลิตแต่ละครั้งจะได้จำนวนสินค้าคงที่และเมื่อต้องเร่งผลิตสินค้าอื่นที่มีความต้องการมากกว่าในช่วงเวลาเดียวกัน ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะผลิตสินค้าได้ตามจำนวนความต้องการของลูกค้าทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลา บริษัทจึงยอมให้เกิดสินค้าขาดมือได้ (Stockout) โดยสินค้าขาดมือนั้นถือเป็นสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้ (Backorder) ที่บริษัทจะต้องผลิตและส่งมอบให้กับลูกค้าในช่วงเวลาถัดไปทันที บริษัทมุ่งเน้นและให้ความสำคัญกับคุณภาพของสินค้าเป็นอย่างมาก เพื่อให้ได้มาตรฐานตามสูตรต้นตำรับของบริษัทมากที่สุด ในบางขั้นตอนการผลิตต้องใช้พนักงานผลิตที่มีทักษะเฉพาะในการผลิต ซึ่งเป็นพนักงานประจำของบริษัท และพนักงานแต่ละคนมีทักษะในการผลิตสินค้าแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นหัวหน้าแผนกผลิตต้องพยายามจัดสรรพนักงานประจำแต่ละคนให้ทำงานตามทักษะการผลิต และต้องคำนึงถึงการมอบหมายงานให้ได้ดุลภาระงานในแต่ละช่วงเวลาด้วย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยและข้อจำกัดอื่นๆ ที่ต้องพิจารณาในการวางแผนการผลิต เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่าและสามารถตอบสนองอุปสงค์ของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลาได้มากที่สุด โดยยอมให้มีสินค้าขาดมือได้ไม่เกินจำนวนที่ได้กำหนดไว้ จากข้อจำกัดและเงื่อนไขในการผลิตต่างๆ ตามที่ได้กล่าวข้างต้น ทำให้การวางแผนการผลิตมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก ผู้วางแผนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาอาศัยประสบการณ์ในการวางแผนการผลิตโดยไม่มีเครื่องมือช่วยตัดสินใจ ส่งผลให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การเสียโอกาสทางการค้าเนื่องจากการวางแผนการผลิตที่ผิดพลาดและล่าช้า ระดับความพึงพอใจของลูกค้าลดลง และยังส่งผลเสียต่อความน่าเชื่อถือขององค์กรอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming, ILP) เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการผลิตต่ำที่สุดภายใต้นโยบาย เงื่อนไข และข้อจำกัดของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ได้ประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นและกำหนดการจำนวนเต็มในการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น งานวิจัยของ Doganis และ Sarimveis [3] ได้นำเสนอแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ MILP (Mixed Integer Linear Programming) ช่วยในการกำหนดการผลิตโยเกิร์ต (Production scheduling) โดยพิจารณาความสามารถของเครื่องจักรและพนักงาน และปริมาณสินค้าคงคลังที่ต้องจัดเก็บ รวมถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตซึ่งมีความหลากหลายของรสชาติและส่วนผสมพิเศษสำหรับลูกค้าเฉพาะกลุ่ม และลำดับการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงเวลาในการจัดเตรียมการผลิต (Setup time) เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมในการผลิต

ต่ำที่สุด Kopanos และคณะ [4] ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MILP ช่วยในการกำหนดการผลิตและหาขนาดการผลิตโยเกิร์ตในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนมซึ่งมีกระบวนการผลิตแบบกลุ่ม เพื่อหาขนาดการผลิตที่เหมาะสมของสินค้าแต่ละรายการในแต่ละสัปดาห์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมในการผลิตต่ำที่สุด

หนึ่งในคุณลักษณะของการผลิตแบบกลุ่มคือ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายถูกผลิตจากสูตรต้นตำรับเพียงไม่กี่สูตร การผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพรจัดอยู่ในการผลิตแบบกลุ่มซึ่งมุ่งเน้นการผลิตตามคำสั่งซื้อจากลูกค้าเป็นหลัก จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีการสร้างแบบจำลอง LP เพื่อช่วยในการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตยาซึ่งเป็นการผลิตแบบกลุ่ม เช่น งานวิจัยของ Lakhdar และคณะ [5] ได้สร้างแบบจำลอง MILP เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจการวางแผนและกำหนดการผลิตยา เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด โดยพิจารณาถึงการกำหนดแผนการผลิตเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนกลุ่มการผลิตยา รวมทั้งพิจารณาจำนวนยาที่ส่งมอบให้ลูกค้าล่าช้าเนื่องจากเกิดสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้ในแต่ละช่วงเวลา ต่อมา Lakhdar และ Papageorgiou [6] ได้ต่อยอดงานวิจัยของ Lakhdar และคณะ [5] โดยได้ปรับปรุงและสร้างแบบจำลอง MILP เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการผลิตยา ภายใต้ความไม่แน่นอนของอัตราการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด ในงานวิจัยทั้งสองงานได้ใช้ซอฟต์แวร์ GAMS ในการเขียนแบบจำลองและใช้ซอฟต์แวร์ CPLEX ในการหาค่าเหมาะที่สุด Fourer [7] ได้แบ่งประเภทของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับแบบจำลอง LP ดังนี้ (1) ซอฟต์แวร์ประเภทการจำลอง (Modeling) ใช้ในการเขียนแบบจำลองลงในคอมพิวเตอร์ เช่น AMPL, GAMS และ MPL เป็นต้น (2) ซอฟต์แวร์ประเภทหาผลเฉลย (Solver) เช่น CBC, CLP และ KNITRO เป็นต้น (3) ซอฟต์แวร์ประเภท Add-in ในซอฟต์แวร์ Microsoft Excel โดยไม่ต้องเขียนภาษาการจำลอง เช่น Open-Solver, Excel Solver และ What's Best เป็นต้น งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ LP และ IP เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการดำเนินการ โดยสร้างแบบจำลองและใช้ซอฟต์แวร์หาค่าเหมาะที่สุดในซอฟแวร์ Excel เช่น งานวิจัยของ Cunha และ Mutarelli [8] ได้สร้างแบบจำลอง MILP เพื่อช่วยในการวางแผนการตีพิมพ์และการกระจายนิตยสารข่าวรายสัปดาห์สู่ตลาดในประเทศบราซิล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมในการดำเนินการต่ำที่สุด และได้ใช้ซอฟต์แวร์ What's Best ทำการหาค่าเหมาะที่สุดและแสดงผลเฉลยที่ได้บนตารางทำการ (Worksheet) ซึ่งพบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมในการดำเนินการลดลง 7.1% ส่วน Espey และ Balakrishnan [9] ได้สร้างแบบจำลอง LP เป็นเครื่องมือช่วยในการจัดการขบวนรถรางขนส่งสินค้าธัญพืช และแร่โปแตชในประเทศแคนาดา ทำการหาค่าเหมาะที่สุดและแสดงผลเฉลยที่ได้บนตารางทำการโดยใช้ซอฟต์แวร์ Premium Solver Platform ซึ่งเป็น Add-in ในซอฟต์แวร์ Excel พบว่าค่าใช้จ่ายในการบริหารรถรางขนส่งสินค้าขนาดต่างๆ ลดลง

นอกจากนี้ยังมีซอฟต์แวร์ระบบเบ็ดเสร็จ (Integrated system) โดย Add-in ในซอฟต์แวร์ Excel เช่น AIMMS, Microsoft Solver foundation และ SolverStudio เป็นต้น SolverStudio [10, 11] เป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ด้วยภาษาการจำลอง (Modeling languages) เช่น AMPL, GMPL และ GAMS เป็นต้น และเรียกใช้ซอฟต์แวร์ในการหาค่าเหมาะที่สุด เช่น CPLEX และ Gurobi เป็นต้น โดยผู้ใช้สามารถดำเนินการเขียนแบบจำลองและหาค่าเหมาะที่สุดในซอฟต์แวร์ Excel สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ สร้างแก้ไขและบันทึกการเขียนแบบจำลอง และแสดงผลเฉลยเหมาะที่สุดในซอฟต์แวร์ Excel งานวิจัยที่ใช้ซอฟต์แวร์ระบบเบ็ดเสร็จในการหาค่าเหมาะที่สุด เช่น Lam และ Tang [12] ได้สร้างแบบจำลอง LP เพื่อช่วยแก้ปัญหาในการวางแผนการสั่งซื้อ การผลิต การขนส่งสินค้าภายในโซ่อุปทานและการเลือกซัพพลายเออร์จากแหล่งอุปทานที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมในการดำเนินการตลอดโซ่อุปทานต่ำที่สุด และสามารถเลือกซัพพลายเออร์ที่มีคุณภาพ ในงานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ OPL Studio 3.0 ในการเขียนแบบจำลอง และหาค่าเหมาะที่สุดด้วย CPLEX ซึ่งทำการป้อนค่าพารามิเตอร์และแสดงผลคำตอบที่ได้บนตารางทำการใน Excel งานวิจัยของ Sakalli และ Birgoren [13] ได้สร้างแบบจำลอง LP สำหรับช่วยวางแผนแก้ปัญหาการผสมทองเหลืองใน

โรงงานหล่อทองเหลืองขนาดใหญ่ในประเทศตุรกี โดยผลเฉลยที่ได้คือ ปริมาณของวัตถุดิบแต่ละชนิดสำหรับใช้ในการผลิตทองเหลืองแต่ละประเภท เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด ทำการสร้างแบบจำลองและหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ Lingo โดยแสดงผลเฉลยเหมาะที่สุดบนตารางทำการในซอฟต์แวร์ Excel

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ปัญหาการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร

บริษัทกรณีศึกษาทำการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพรหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์ เช่น กลุ่มแชมพู กลุ่มครีมนวดผม เป็นต้น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตสินค้าแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์มีจำนวนจำกัดและใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกัน ในการผลิตแต่ละกลุ่ม (Batch) จะทำการผลิตตามกำลังการผลิตสูงสุดของแต่ละเครื่องจักร เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำที่สุด แต่ทั้งนี้บริษัทจะต้องคำนึงถึงความต้องการสินค้า ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายในการมีสินค้าขาดมือ และเวลาที่ใช้ในการผลิตที่จะส่งผลกระทบต่อการผลิตสินค้ารายการอื่นด้วย ดังนั้นบริษัทจึงยอมให้มีสินค้าขาดมือที่ลูกค้าสามารถรอได้ (Backorder) ไม่เกินจำนวนสินค้าขาดมือสูงสุดที่ยอมรับได้ และจะต้องผลิตและส่งมอบสินค้าขาดมือให้กับลูกค้าในช่วงเวลาถัดไปทันที บริษัทกรณีศึกษาใช้แรงงานในการผลิตเป็นหลัก พนักงานประจำของบริษัทมีทักษะในการผลิตสินค้าแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นหัวหน้าแผนกผลิตจึงต้องมอบหมายงานที่สอดคล้องกับทักษะในการผลิตของพนักงานแต่ละคน โดยต้องพิจารณาว่าพนักงานคนใด ผลิตสินค้าชนิดใด บนเครื่องจักรใดและจำนวนเท่าไรในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งต้องคำนึงถึงการได้ดุลภาระงานของพนักงานด้วย สำหรับขั้นตอนการบรรจุผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยการบรรจุ ติดฉลากและจัดหีบห่อ หัวหน้าแผนกผลิตต้องพิจารณาถึงจำนวนพนักงานที่ต้องจ้าง ซึ่งไม่ต้องมีความชำนาญหรือมีประสบการณ์ในการทำงาน โดยพนักงานที่ต้องจัดหามีจำนวนไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลาของการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนสินค้าที่ผลิตได้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมในการผลิตต่ำที่สุด และได้กำหนดข้อสมมติในการสร้างแบบจำลอง ILP ไว้ดังนี้

1. จำนวนสินค้าที่ผลิตได้บนแต่ละเครื่องจักรคงที่
2. เวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าในแต่ละกลุ่ม (Batch) บนแต่ละเครื่องจักรคงที่
3. เวลาที่สามารถใช้ในการผลิตมีค่าเท่ากันในแต่ละช่วงเวลาของการวางแผน
4. สินค้าขาดมือในแต่ละช่วงเวลาถือเป็นสินค้าขาดมือที่ลูกค้าสามารถรอได้ โดยไม่เกินจำนวนที่ลูกค้ากำหนด
5. จำนวนสินค้าขาดมือ ณ เวลาเริ่มต้นของช่วงระยะการวางแผนมีค่าเป็นศูนย์
6. เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตลอดเวลาที่ดำเนินการผลิต โดยไม่มีการเสียและไม่มีการซ่อมเครื่องจักร

3.2. แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

เซต

G กลุ่มของสินค้า

I^g เซตของรายการสินค้าในกลุ่มผลิตภัณฑ์ g เมื่อ $g \in G$

M กลุ่มของเครื่องจักรที่ใช้ผลิต

W กลุ่มของพนักงานที่ผลิตสินค้า

S กลุ่มของกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์

T กลุ่มของเวลาที่ใช้ในการผลิต

พารามิเตอร์

$D_t^{g,i}$ จำนวนสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g ที่ลูกค้าต้องการในช่วงเวลา t (หลอด)

$CP^{g,i}$ ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g (บาท/หลอด)

$ClnvP^{g,i}$ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g (บาท/หลอด)

$CBo^{g,i}$ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการมีสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้ของสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g (บาท/หลอด)

$CNB_m^{g,i}$ ค่าใช้จ่ายในการผลิตของสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g บนเครื่องจักร m (บาท/Batch)

CW_w ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงาน w ผลิตสินค้า (บาท/ชั่วโมง)

$CS^{g,s}$ ค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานทำงานในกระบวนการ s ของสินค้าในกลุ่ม g (บาท/ชั่วโมง)

$RaS^{g,s}$ อัตราการทำงานในกระบวนการ s สำหรับสินค้าในกลุ่ม g (หลอด/ชั่วโมง)

MB_m^g จำนวน Batch สูงสุดที่สามารถผลิตสินค้ากลุ่ม g ได้บนเครื่องจักร m (Batch)

Hw^g เวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าในกลุ่ม g ต่อ 1 Batch (ชั่วโมง/Batch)

WH_t ชั่วโมงการทำงานของพนักงานและเครื่องจักรที่สามารถใช้ในการผลิตได้สูงสุดในแต่ละช่วงเวลา (ชั่วโมง)

HB จำนวนผลต่างของชั่วโมงการทำงานสูงสุดที่พนักงานสามารถทำงานได้แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา (ชั่วโมง)

$MinB^{g,i}$ จำนวน Batch ขั้นต่ำสุดในการผลิตสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g ในแต่ละช่วงเวลา (Batch)

Max_t^g จำนวน Batch สูงสุดที่สามารถผลิตสินค้าแต่ละชนิดได้ในแต่ละช่วงเวลา (Batch)

E_m^g จำนวนสินค้าในกลุ่ม g ที่ผลิตได้บนเครื่องจักร m (หลอด/Batch)

$MBo^{g,i}$ จำนวนสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g สูงสุดที่ยอมให้เกิดสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้ในแต่ละช่วงเวลา (หลอด)

$MInvP$ ขีดจำกัดของจำนวนสินค้าคงคลังที่จัดเก็บได้ (หลอด)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$P_t^{g,i}$ จำนวนสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g ที่ผลิตในช่วงเวลา t (หลอด)

$InvP_t^{g,i}$ จำนวนสินค้าคงคลังรายการ i ในกลุ่ม g ที่จัดเก็บไว้ในช่วงเวลา t (หลอด)

$Bo_t^{g,i}$ จำนวนสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้รายการ i ในกลุ่ม g ในช่วงเวลา t (หลอด)

$NB_{m,w,t}^{g,i}$ จำนวน Batch ของสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g ที่ผลิตบนเครื่องจักร m โดยพนักงาน w ในช่วงเวลา t (Batch)

W_t^s จำนวนพนักงานที่ต้องจ้างสำหรับกระบวนการ s ในช่วงเวลา t (คน)

$Sp_t^{g,i}$ 1 ถ้ามีการผลิตสินค้ารายการ i ในกลุ่ม g ในช่วงเวลา t ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function)

จุดมุ่งหมายของการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร คือ เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าในแต่ละช่วงเวลาได้มากที่สุด ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการผลิตประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้าแต่ละ Batch บนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง และค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานในสายการผลิต และกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ ดังสมการที่ 1

$$
\begin{aligned}
Min\ Z = & \sum_{g\in G}\sum_{i\in I^g}\left(CP^{g,i}\sum_{t\in T}P_t^{g,i}\right) \\
& + \sum_{g\in G}\sum_{i\in I^g}\left(CInvP^{g,i}\sum_{t\in T}InvP_t^{g,i}\right) \\
& + \sum_{g\in G}\sum_{i\in I^g}\left(CBo^{g,i}\sum_{t\in T}Bo_t^{g,i}\right) \\
& + \sum_{g\in G}\sum_{i\in I_g}\sum_{m\in M}\left(CNB_m^{g,i}\sum_{t\in T}\sum_{w\in W}NB_{m,w,t}^{g,i}\right) \\
& + \sum_{w\in W}\left(CW_w\sum_{g\in G}\left(Hw^g\sum_{t\in T}\sum_{m\in M}\sum_{i\in I^g}NB_{m,w,t}^{g,i}\right)\right) \\
& + \sum_{g\in G}\sum_{s\in S}\left(CS^{g,s}\frac{\sum_{i\in I^g}\sum_{t\in T}P_t^{g,i}}{RaS^{g,s}}\right) \qquad \textbf{(1)}
\end{aligned}
$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

1. เงื่อนไขการผลิต

จำนวนสินค้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาคิดจากผลรวมของจำนวนสินค้าทั้งหมดที่ผลิตได้จากแต่ละเครื่องจักรดังสมการที่ 2 ขอบเขตของจำนวนสินค้าที่ผลิตในแต่ละช่วงเวลาจะต้องไม่น้อยกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำและต้องไม่เกินจำนวน Batch ที่กำหนดไว้ดังอสมการที่ 3 และ 4 โดยต้องไม่เกินจำนวน Batch สูงสุดที่สามารถผลิตได้ของแต่ละเครื่องจักรดังอสมการที่ 5 นอกจากนี้เวลารวมที่ใช้ในการผลิตสินค้าบนแต่ละเครื่องจักรต้องไม่เกินเวลาที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ดังอสมการที่ 6

$$P_t^{g,i} = \sum_{m\in M}\left(E_m^g \sum_{w\in W} NB_{m,w,t}^{g,i}\right) \quad \forall g\in G, i\in I^g, t\in T \tag{2}$$

$$\sum_{m\in M}\sum_{w\in W} NB_{m,w,t}^{g,i} \geq MinB^{g,i} Sp_t^{g,i} \quad \forall g\in G, i\in I^g, t\in T \tag{3}$$

$$\sum_{m\in M}\sum_{w\in W} NB_{m\ w\ t}^{g,i} \leq MaxB_t^g Sp_t^{g,i} \quad \forall g\in G, i\in I^g, t\in T \tag{4}$$

$$\sum_{i\in I^g}\sum_{w\in W} NB_{m,w\ t}^{g,i} \leq MB_m^g \quad \forall g\in G, i\in M, t\in T \tag{5}$$

$$\sum_{g\in G}\left(Hw^g \sum_{i\in I^g}\sum_{w\in W} NB_{m,w,t}^{g,i}\right) \leq WH_t \quad \forall m\in M, t\in T \tag{6}$$

2. การจัดดุลภาระงาน

อสมการที่ 7 มีเพื่อจัดดุลภาระงานพนักงานแต่ละคนที่จะต้องมีจำนวนชั่วโมงทำการผลิตรวมไม่แตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลา และอสมการที่ 8 ได้กำหนดให้จำนวนสินค้าที่ไหลผ่านแต่ละกระบวนการผลิตในแต่ละช่วงเวลาจะต้องไม่เกินความสามารถของพนักงานที่ทำการผลิต และพนักงานแต่ละคนจะต้องทำงานไม่เกินจำนวนชั่วโมงการทำงานที่บริษัทกำหนดดังอสมการที่ 9

$$\sum_{g\in G}\left(Hw^g \sum_{i\in I^g}\sum_{m\in M} NB_{m,w,t}^{g,i}\right) - \sum_{g\in G}\left(Hw^g \sum_{i\in I^g}\sum_{m\in M} NB_{m,x,t}^{g,i}\right) \leq HB \quad for\ \ w\neq x\ \forall w, x\in W, t\in T \tag{7}$$

$$\sum_{g\in G}\left(\frac{\sum_{i\in I^g} P_t^{g,i}}{RaS^{g,s}}\right) \leq WH_t W_t^s \ \forall s\in S, t\in T \tag{8}$$

$$\sum_{g\in G}\left(Hw^g \sum_{i\in I^g}\sum_{m\in M} NB_{m,w,t}^{g,i}\right) \leq WH_t \quad \forall w\in W, t\in T \tag{9}$$

ข้อจำกัดเกี่ยวกับทักษะการผลิตของพนักงานแต่ละคน เนื่องจากการผลิตสินค้าแต่ละกลุ่มต้องใช้ความชำนาญในการผลิตของพนักงานในระดับที่แตกต่างกัน ดังนั้นฝ่ายผลิตจึงต้องจัดสรรพนักงานตามทักษะที่มีในการผลิตสินค้าแต่ละกลุ่มให้เหมาะสมดังตารางที่ 1 สำหรับสินค้ากลุ่มที่ 1 พบว่า พนักงานคนที่ 1 มีทักษะในการผลิตมากกว่าพนักงานคนที่ 2 และพนักงานคนที่ 2 มีทักษะในการผลิตมากกว่าพนักงานคนที่ 3 ดังนั้นควรจัดสรรให้พนักงานคนที่ 1 มีภาระงานในการผลิตสินค้ากลุ่มที่ 1 มากกว่าพนักงานคนที่ 2 และพนักงานคนที่ 2 มีภาระงานในการผลิตมากกว่าพนักงานคนที่ 3 ตามลำดับ ดังอสมการที่ 10 สำหรับสินค้ากลุ่มที่ 2 ควรจัดสรรให้พนักงานคนที่ 2 มีภาระงานมากกว่าพนักงานคนที่ 1 และพนักงานคนที่ 1 มีภาระงานมากกว่าพนักงานคนที่ 3 ตามลำดับ ดังแสดงในอสมการที่ 11 และ 12 และสำหรับสินค้ากลุ่มที่ 3 ควรจัดสรรให้พนักงานคนที่ 3 มีภาระงานมากกว่าพนักงานคนที่ 1 และคนที่ 2 ตามลำดับ ดังแสดงในอสมการที่ 13 และ 14

ตารางที่ 1 ทักษะการผลิตสินค้าของพนักงานแต่ละคน

กลุ่มสินค้าที่	ทักษะของพนักงานคนที่		
	1	2	3
1	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง
2	มาก	มากที่สุด	ปานกลาง
3	ปานกลาง	ปานกลาง	มากที่สุด

$$\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w,t}^{g,i}\right)\geq\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w+1,t}^{g,i}\right)$$
$$for\ \ g=Sh\ \forall w\in W,\ t\in T:w\leq 2 \quad (10)$$

$$\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w+1,t}^{g,i}\right)\geq\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w,t}^{g,i}\right)$$
$$for\ \ g=Hc,w=1\ \forall t\in T \quad (11)$$

$$\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w,t}^{g,i}\right)\geq\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w+2,t}^{g,i}\right)$$
$$for\ \ g=Hc,w=1\ \forall t\in T \quad (12)$$

$$\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w+2,t}^{g,i}\right)\geq\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w,t}^{g,i}\right)$$
$$for\ \ g=Ls,w=1\ \forall t\in T \quad (13)$$

$$\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w+2,t}^{g,i}\right)\geq\sum_{m\in M}\left(E_m^g\sum_{i\in I^g}NB_{m,w+1,t}^{g,i}\right)$$
$$for\ \ g=Ls,w=1\ \forall t\in T \quad (14)$$

3. เงื่อนไขสินค้าคงคลัง

จำนวนสินค้าคงคลังรายการ i ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ g ที่ควรจัดเก็บในคลังสินค้าจะพิจารณาจากดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทานในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้ กล่าวคือ สินค้าที่จัดเก็บไว้ในช่วงเวลาใดๆ จะเท่ากับ ผลรวมของจำนวนสินค้าที่ผลิตได้ในช่วงเวลานั้น, จำนวนสินค้าที่จัดเก็บไว้ในช่วงเวลาที่ผ่านมาและจำนวนสินค้าขาดมือที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น แล้วหักออกด้วยจำนวนสินค้าที่ลูกค้าต้องการในช่วงเวลานั้นและจำนวนสินค้าขาดมือที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ผ่านมา ดังแสดงในสมการที่ 15 โดยจำนวนสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารอได้แต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาจะต้องไม่เกินจำนวนสินค้าขาดมือสูงสุดตามที่บริษัทกำหนดดังอสมการที่ 16 และไม่ให้เกิดสินค้าขาดมือในช่วงเวลาสุดท้ายของการวางแผนดังสมการที่ 17

$$InvP_t^{g,i}=P_t^{g,i}+InvP_{t-l}^{g,i}+Bo_t^{g,i}-D_t^{g,i}-Bo_{t-l}^{g,i}$$
$$\forall g\in G,i\in I^g,t\in T \quad (15)$$

$$Bo_t^{g,i}\leq MBo^{g,i}\ \forall g\in G,i\in I^g,t\in T \quad (16)$$

$$Bo_t^{g,i}=0\ \ for\ \ t=12\ \forall g\in G,i\in I^g \quad (17)$$

เนื่องด้วยพื้นที่จำกัดของคลังสินค้า ดังนั้นจำนวนสินค้าคงคลังที่จัดเก็บไว้รวมกันทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลาจะต้องไม่เกินจำนวนที่สามารถจัดเก็บได้สูงสุดดังแสดงในอสมการที่ 18

$$\sum_{g\in G}\sum_{i\in I^g}InvP_t^{g,i}\leq MInvP\ \forall t\in T \quad (18)$$

4. เงื่อนไขสำหรับตัวแปรตัดสินใจ

ทุกตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นจำนวนเต็มซึ่งเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์ โดยมีบางตัวแปรเป็นตัวแปรทวิภาคดังนี้

$$P_t^{g,i},\ InvP_t^{g,i},\ Bo_t^{g,i}\geq 0\ \text{and integer}$$
$$\forall g\in G,i\in I^g,t\in T \quad (19)$$

$$NB_{m,w,t}^{g,i}\geq 0\ \text{and integer}$$
$$\forall g\in G,i\in I^g,\ m\in M,\ w\in W,\ t\in T \quad (20)$$

$$W_t^s\geq 0\ \text{and integer}\ \forall s\in S,t\in T \quad (21)$$

$$Sp_t^{g,i}\in\{0,1\}\ \forall g\in G,i\in I^g,\ t\in T \quad (22)$$

4. ผลการวิจัย

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ถูกนำมาทดสอบกับปัญหาการวางแผนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากสมุนไพรของบริษัทกรณีศึกษา จำนวน 3 กลุ่ม ซึ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มียอดขายสูงสุด คือ กลุ่มแชมพู กลุ่มครีมนวดผม และกลุ่มสบู่เหลว โดยผลิตภัณฑ์กลุ่มแชมพูและครีมนวดผมมีรายการสินค้ากลุ่มละ 7 รายการตามชนิดของสมุนไพร คือ อัญชัน ว่านหางจระเข้ บอระเพ็ด มะกรูด มะคำดีควาย ยอ และขิง และกลุ่มสบู่เหลวมี 3 รายการตามชนิดของสมุนไพร คือ มะกรูด ว่านหางจระเข้ และขิง รวมทั้งหมด 17 รายการ แต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ใช้เวลาในการผลิตไม่เท่ากัน แต่ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเดียวกันจะใช้เวลาในการผลิตเท่ากัน ช่วงระยะการวางแผน (Planning horizon) คือ 12 เดือน ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง ILP

ขนาดปัญหา	จำนวน
ช่วงระยะการวางแผน	12
กลุ่มผลิตภัณฑ์	3
รายการสินค้ากลุ่มแชมพู (I^{Sh})	7
รายการสินค้ากลุ่มครีมนวดผม (I^{Hc})	7
รายการสินค้ากลุ่มสบู่เหลว (I^{Ls})	3
เครื่องจักร	4
พนักงานผลิตสินค้า	3
เงื่อนไขบังคับ	1,176
ตัวแปรตัดสินใจทั้งหมด	2,455
- ตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนเต็ม	2,251
- ตัวแปรทวิภาค	204

ผู้วิจัยได้เขียนแบบจำลอง ILP ด้วยภาษา AMPL [14] ลงในส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphic user interface) ของซอฟต์แวร์ SolverStudio 0.4.9.26 ซึ่งเป็น Add-in ในซอฟต์แวร์ Excel เพื่อให้ข้อมูลรับเข้าสำหรับค่าพารามิเตอร์ และผลเฉลยเหมาะที่สุดสามารถป้อนและแสดงผลได้บนตารางทำการของ Excel ข้อจำกัดของการสร้างแบบจำลองในตารางทำการของ Excel คือ ความยากในการกำหนดโครงสร้างแบบจำลอง ในการกำหนดตำแหน่งและแสดงผลเฉลยของตัวแปรตัดสินใจซึ่งทำได้โดยง่ายสำหรับ 2 มิติดัชนี (Index dimensions) เนื่องจากมิติของเซลล์ในตารางทำการมีเพียงแค่ 2 มิติ ดังนั้นเมื่อจำนวนมิติดัชนีของตัวแปรตัดสินใจเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ยิ่งยากต่อการกำหนดโครงสร้างของแบบจำลอง Cunha และ Mutarelli [8] ได้อธิบายว่าตัวแปรตัดสินใจในแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่มีมิติดัชนี 4 มิติ หรือมากกว่าจะทำให้การสร้างแบบจำลองในตารางทำการของซอฟแวร์ Excel มีระดับความยากเพิ่มขึ้น แบบจำลอง ILP ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มีตัวแปรตัดสินใจที่มีมิติดัชนีมากกว่า 2 มิติ เช่น ตัวแปร $NB^{g,i}_{m,w,t}$ มี 5 มิติดัชนี ทำให้เกิดความยากในการกำหนดโครงสร้างแบบจำลองลงในตารางทำการของโปรแกรม Excel ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้วางโครงสร้างของแบบจำลองและข้อมูลนำเข้าอย่างเหมาะสมเพื่อให้ผลเฉลยเหมาะที่สุดของตัวแปรตัดสินใจถูกแสดงในตำแหน่งที่ถูกต้อง และสามารถทำการหาค่าเหมาะที่สุด โดยใช้ซอฟต์แวร์ CPLEX 11.1.0 ได้ ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลเฉลยเหมาะที่สุดที่ได้จากการใช้โปรแกรม SolverStudio โดยทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากโปรแกรมดังกล่าวที่ปรากฏในตารางทำการของ Excel กับผลเฉลยที่ได้จากการกำหนดให้ซอฟแวร์ CPLEX รับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และแสดงผลเฉลย เหมาะที่สุดลงในแฟ้มข้อความ (Text file) พบว่าผลเฉลยเหมาะที่สุดมีค่าเหมือนกันทุกประการ

ผลเฉลยเหมาะที่สุดของตัวแปร $NB^{g,i}_{m,w,t}$ สำหรับพนักงานคนที่ 1 ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 ในช่วงระยะการวางแผน 12 เดือน ที่ปรากฏบนตารางทำการของ Excel ดังแสดงในรูปที่ 1 การผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพรกลุ่มแชมพูและครีมนวดผม มีการดำเนินการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 และ 3 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 3 ยกเว้นในเดือนที่ 12 (เดือนธันวาคม) ซึ่งมีการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2 ร่วมด้วย เนื่องจากความต้องการสินค้ามีจำนวนเพิ่มขึ้นมากเป็นพิเศษและต้องการให้ลูกค้าได้รับสินค้าครบทั้งหมดในช่วงสุดท้ายของช่วงระยะการวางแผน ซึ่งทำให้กำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ 1 และ 3 ไม่เพียงพอ จึงใช้เครื่องจักรที่ 2 ช่วยในการผลิตด้วย สำหรับเครื่องจักรที่ 4 จะผลิตสินค้าในกลุ่มสบู่เหลวเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขในการผลิตของบริษัท เมื่อพิจารณาเวลารวมที่เครื่องจักรทั้ง 4 เครื่องที่ใช้ในการผลิต (คำนวณได้จากผลเฉลยของตัวแปร $NB^{g,i}_{m,w,t}$ คูณด้วยเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าแต่ละรายการบนแต่ละเครื่องจักร) เปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการสินค้ารวมทั้งสิ้น 17 รายการที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา พบว่ามีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2

	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
24				จำนวน Batch ที่ผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 โดยพนักงานคนที่ 1												
25	บุคลากร	NO.	สินค้า	Times												Total
26				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
27	ปริญญาโท	1	มะกรูด	-	1	-	-	5	-	-	6	-	6	-	18	36
28		2	มะคำดีควาย	9	-	8	8	-	-	-	1	-	-	-	5	31
29		3	อัญชัน	6	-	-	6	4	2	-	1	4	1	6	2	32
30		4	ว่านหางจระเข้	-	6	-	-	3	5	-	4	4	-	5	-	27
31		5	ขิง	-	5	-	-	4	-	2	-	-	4	4	-	19
32		6	ยอ	-	-	2	3	-	-	3	-	-	-	-	2	10
33		7	บอระเพ็ด	-	4	-	-	-	4	-	-	-	4	4	-	16
34	ปริญญาตรี	8	มะกรูด	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	3
35		9	มะคำดีควาย	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1	3
36		10	อัญชัน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
37		11	ว่านหางจระเข้	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
38		12	ขิง	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
39		13	ยอ	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2
40		14	บอระเพ็ด	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
41	ปวส/ปวท	15	มะกรูด	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
42		16	ว่านหางจระเข้	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
43		17	ขิง	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
44	Total			16	18	11	17	16	11	5	12	11	16	19	30	182

ตัวแปรตัดสินใจ $NB^{Sh,i}_{1,1,t}$

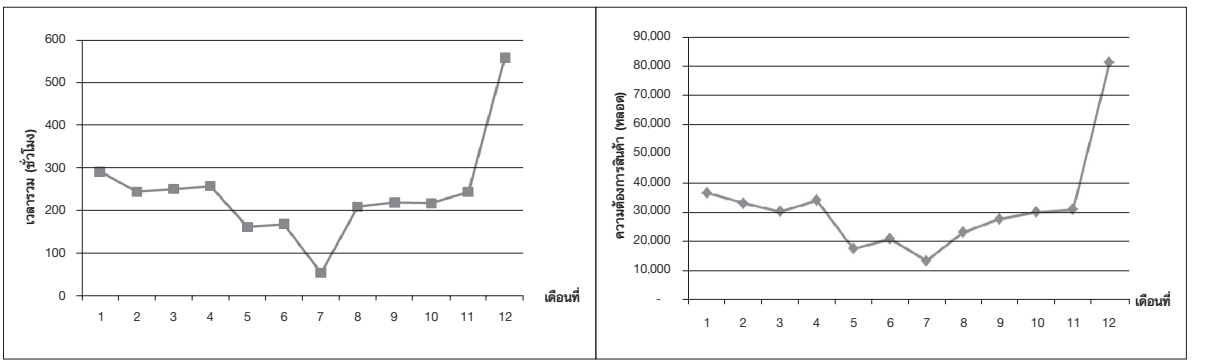
ตัวแปรตัดสินใจ $NB^{Hc,i}_{1,1,t}$

ตัวแปรตัดสินใจ $NB^{Ls,i}_{1,1,t}$

รูปที่ 1 ผลเฉลยเหมาะที่สุดสำหรับตัวแปรตัดสินใจ $NB^{g,i}_{m,w,t}$ เมื่อ $m = 1, w = 1$

ตารางที่ 3 จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการผลิตสินค้าทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละเครื่องจักร (ชั่วโมง)

เครื่องจักรที่	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	174	191	127	152	119	98	44	125	127	167	183	191
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	158
3	66	47	46	86	-	89	12	20	26	25	30	184
4	174	191	127	42	36	48	24	36	36	42	42	36
รวม (ชั่วโมง)	174	191	127	280	155	185	80	181	189	234	255	569
ความต้องการ (หลอด)	**36,703**	**33,098**	**30,341**	**34,090**	**17,713**	**20,998**	**13,554**	**23,238**	**27,784**	**30,130**	**31,021**	**81,060**



(a) เวลารวมที่เครื่องจักรทุกเครื่องใช้ในการผลิตสินค้า **(b)** ความต้องการรวมของสินค้า

รูปที่ 2 กราฟแสดงเวลารวมที่ใช้ในการผลิตและความต้องการรวมของสินค้าในแต่ละช่วงเวลา

ผลเฉลยเหมาะที่สุดของชั่วโมงการทำงานของพนักงานผลิตแต่ละคนในแต่ละช่วงเวลา (คำนวณได้จากผลเฉลยของตัวแปร $NB^{g,i}_{m,w,t}$ ของพนักงานแต่ละคนคูณด้วยเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าแต่ละรายการ) แสดงดังตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าเวลาการทำงานของพนักงานแต่ละคนจะใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาชั่วโมงการทำงานจากค่าพิสัยของพนักงานทั้ง 3 คน พบว่ามีค่าพิสัยสูงสุดเท่ากับ 20 ชั่วโมง ในเดือนที่ 5 และค่าพิสัยต่ำสุดเท่ากับ 5 ชั่วโมง ในเดือนที่ 12 โดยค่าเฉลี่ยของค่าพิสัยเท่ากับ 12.67 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายการผลิตของบริษัทที่พยายามจัดดุลภาระงานในการทำงานของพนักงานผลิตให้ต่างกันได้ไม่เกิน 20 ชั่วโมง ในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้ จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าจำนวนสินค้าแต่ละกลุ่มที่พนักงานแต่ละคนผลิตได้ทั้งหมดจากแผนการผลิตที่ได้จากผลเฉลยของแบบจำลอง สอดคล้องกับทักษะการทำงานของพนักงานแต่ละคนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 ตัวอย่างเช่น สินค้าในกลุ่มที่ 1 พนักงานคนที่ 1 มีทักษะในการผลิตมากที่สุด ดังนั้นจำนวนสินค้าในกลุ่มที่ 1 ถูกผลิตโดยพนักงานคนที่ 1 มากที่สุดและมีจำนวนลดลงสำหรับพนักงานคนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ คือ 91,800 หลอด 71,250 หลอด และ 54,600 หลอด ตามลำดับ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าแผนการผลิตที่ได้สอดคล้องกับนโยบายการผลิตของบริษัททั้งในส่วนของการจัดดุลภาระงาน และการจัดสรรงานตามทักษะของพนักงานผลิต ผลเฉลยของจำนวนพนักงานที่ต้องจ้างในแต่ละกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ (ตัวแปร W^s_t) เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนสินค้าที่ผลิตออกมาได้ทั้งหมดภายในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่าในช่วงที่มีความต้องการสินค้าสูงสุดคือ ในเดือนที่ 12 (เดือนธันวาคม) บริษัทต้องจัดหาพนักงานมากที่สุดทั้งสิ้นจำนวน 10 คน สำหรับทำการบรรจุ ติดฉลาก และจัดหีบห่อสินค้าคือ 4, 3 และ 3 คน ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 4 จำนวนชั่วโมงการทำงานของพนักงานผลิตในแต่ละช่วงเวลา (ชั่วโมง)

พนักงานคนที่	เดือนที่											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1	87	86	62	95	64	68	26	57	60	79	88	187
2	105	82	75	99	47	68	30	68	63	82	93	192
3	90	94	72	86	44	49	24	56	66	73	74	190
ค่าพิสัย	**18**	**12**	**13**	**13**	**20**	**19**	**6**	**12**	**6**	**9**	**19**	**5**

ตารางที่ 5 จำนวนสินค้าในแต่ละกลุ่มที่พนักงานแต่ละคนผลิตได้จากแผนการผลิต (หลอด)

กลุ่มสินค้า	พนักงานคนที่	จำนวนสินค้าที่ผลิต (หลอด)	ทักษะการทำงานของพนักงาน
1	1	91,800	มากที่สุด
	2	71,250	มาก
	3	54,600	ปานกลาง
2	1	23,850	มาก
	2	65,700	มากที่สุด
	3	14,850	ปานกลาง
3	1	5,600	ปานกลาง
	2	5,600	ปานกลาง
	3	48,000	มากที่สุด

ตารางที่ 6 จำนวนพนักงานที่ต้องจ้างในแต่ละกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ (คน)

พนักงาน	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
บรรจุ	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	4
ติดฉลาก	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	3
จัดทีบห่อ	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3

แผนการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนรวมทั้งสิ้น 17 รายการ (ผลเฉลยของตัวแปร $P_t^{g,i}$, $InvP_t^{g,i}$ และ $Bo_t^{g,i}$) เปรียบเทียบกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการรวมในแต่ละเดือน ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่าจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตรวมได้ใกล้เคียงกับปริมาณความต้องการสินค้ารวมในแต่ละเดือน แต่จะเห็นว่าตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึง 11 มีการจัดเก็บสินค้าคงคลังในสินค้าบางรายการ และมีสินค้าขาดมือเกิดขึ้นในสินค้าบางรายการด้วย เหตุที่ไม่สามารถส่งมอบสินค้าขาดมือได้ครบ เพราะเป็นสินค้าคนละรายการในกลุ่มที่แตกต่างกัน และเนื่องจากต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายในการมีสินค้าขาดมือ และเวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้ารายการอื่นด้วย จึงทำให้มีสินค้าขาดมือเกิดขึ้น สินค้าขาดมือที่เกิดขึ้นจะต้องผลิตและจัดส่งให้กับลูกค้าในเดือนถัดไปทันที เช่น ในเดือนที่ 11 ลูกค้ามีความต้องการรวมในทุกรายการสินค้าทั้งหมด 31,021 หลอด แต่ทำการผลิตได้ 32,750 หลอด มีสินค้าจัดเก็บในคลัง (เดือนที่ 10) 4,488 หลอด และมีสินค้าค้างส่งจากรายการสินค้าอื่นๆ จากเดือนที่ผ่านมา (เดือนที่ 10) ซึ่งต้องผลิตและจัดส่งภายในเดือนที่ 11 รวม 559 หลอด ดังนั้นจะมีสินค้าจัดเก็บรวมทั้งหมด 6,177 หลอด (32,750+4,488-31,021-559+519) ตัวเลข 519 คือจำนวนสินค้ารวมจากรายการต่างๆ ที่เป็นสินค้าค้างส่งที่ลูกค้ารอได้ ที่จะต้องผลิตและส่งมอบให้กับลูกค้าในเดือนถัดไป (เดือนที่ 12)

ตารางที่ 7 แผนการผลิตที่ได้จากการใช้แบบจำลองเปรียบเทียบกับจำนวนสินค้าทั้งหมดที่ลูกค้าต้องการ (หลอด)

รายการ	เดือนที่													รวม
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	(หลอด)
ความต้องการสินค้ารวม	-	36,703	33,098	30,341	34,090	17,713	20,998	13,554	23,238	27,784	30,130	31,021	81,060	379,730
จำนวนสินค้าที่ผลิตได้	-	37,850	34,250	27,600	38,900	18,750	24,850	10,550	23,250	24,900	29,750	32,750	77,850	381,250
จำนวนสินค้าที่จัดเก็บ	928	2,978	3,650	1,560	6,025	6,758	10,613	7,626	7,348	4,477	4,488	6,177	2,448	64,148
จำนวนสินค้าขาดมือ	-	903	423	1,074	729	425	428	445	155	168	559	519	-	5,828

ผลเฉลยเหมาะที่สุดจากการใช้ซอฟต์แวร์แก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดของแบบจำลอง ILP ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับการดำเนินการของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมจากแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง ILP มีค่าต่ำกว่าเท่ากับ 179,486.77 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 5.06 จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ลดลง เช่น ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าคงคลังจากการใช้แบบจำลอง ILP ช่วยในการวางแผนลดลงมากที่สุดเท่ากับ 154,007.20 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 69.29 ยกเว้นเพียงค่าใช้จ่ายจากการมีสินค้าขาดมือเพิ่มขึ้น เนื่องจากแบบจำลองได้กำหนดให้ลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าคงคลังและยอมให้เกิดสินค้าขาดมือในบางรายการสินค้าที่มีปริมาณความต้องการต่ำ แต่ในขณะที่การดำเนินการของบริษัทมุ่งเน้นกลยุทธ์การผลิตแบบไล่ตามความต้องการสินค้า (Chase strategy) ซึ่งทำให้โอกาสเกิดสินค้าขาดมือลดลง

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการผลิต ก่อนและหลังการใช้แบบจำลอง ILP

ค่าใช้จ่าย	ก่อนใช้ (บาท)	หลังใช้ (บาท)	ผลต่าง	ร้อยละ
ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต	2,201,690.00	2,193,095.00	8,595.00	0.39
ค่าจัดเก็บสินค้าคงคลัง	222,254.70	68,247.50	154,007.20	69.29
ค่าใช้จ่ายจากสินค้าขาดมือ	7,418.50	10,644.50	-3,226.00	-43.49
ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้า	691,640.00	677,195.00	14,445.00	2.09
ค่าจ้างพนักงานผลิต	189,280.00	184,925.00	4,355.00	2.30
ค่าจ้างพนักงานบรรจุผลิตภัณฑ์	235,439.67	234,129.10	1,310.57	0.56
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	**3,547,722.87**	**3,368,236.10**	**179,486.77**	**5.06**

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจสำหรับแก้ปัญหาการวางแผนผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพรที่มีความยุ่งยากซับซ้อน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ค่าจัดเก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายจากสินค้าขาดมือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้า ค่าจ้างพนักงานผลิตและพนักงานบรรจุ ผลจากการวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมจากการดำเนินการตามแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง ILP ลดลง 5.06% เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินการของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ SolverStudio ซึ่งดาวน์โหลดใช้งานได้ฟรี เพื่อให้ข้อมูลรับเข้า ค่าพารามิเตอร์ และผลเฉลยเหมาะที่สุดสามารถป้อนและแสดงผลได้บนตารางทำการของ Microsoft Excel ซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้ในการวางแผนการผลิต

สำหรับแนวทางการวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยจะทำการวางแผนการผลิตให้ครอบคลุมสินค้าในกลุ่มอื่นๆ ที่มีการใช้ทรัพยากรในการผลิตร่วมกัน โดยคำนึงถึงการเสียและการซ่อมเครื่องจักร รวมถึงเวลาที่ต้องใช้ในการเตรียมเครื่องจักรเมื่อเปลี่ยนไปผลิตสินค้ารายการอื่น ซึ่งจะทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถช่วยในการตัดสินใจวางแผนการผลิตใกล้เคียงกับสภาพของปัญหาที่เกิดขึ้นจริงมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัทกรณีศึกษาซึ่งผลิตและจำหน่ายเครื่องสำอางจากสมุนไพร ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

1. Polsing, R., 2010, “Thai herbs is better than you know”, *Kasikorn*, Vol. 83, No. 4, pp. 24-35. (In Thai)

2. National Economic and Social Development Board Office of the Prime Minister, 2011, *The Eleventh National Economic and Social Development Plan (2012-2016)*”, Bangkok, Thailand, pp. 60.

3. Doganis, P. and Sarimveis, H., 2007, “Optimal scheduling in a yogurt production line based on mixed integer linear programming”, *Journal of Food Engineering*, Vol. 80, No. 2, pp. 445-453.

4. Kopanos, G.M., Puigjaner, L., and Georgiadis, M.C., 2010, “Optimal production scheduling and lot-sizing in dairy plants: The yogurt production line”, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 49, No. 2, pp. 701-718.

5. Lakhdar, K., Zhou, Y., Savery, J., Titchener-Hooker, N.J., and Papageorgiou, L.G., 2005,

"Medium term planning of biopharmaceutical manufacture using mathematical programming", *Biotechnology Progress*, Vol. 21, No. 5, pp. 1478-1489.

6. Lakhdar, K. and Papageorgiou, L.G., 2008, "An iterative mixed integer optimisation approach for medium term planning of biopharmaceutical manufacture under uncertainty", *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 86, No. 3, pp. 259-267.

7. Fourer, R., 2013, *"Software survey: Linear programming"*, OR/MS Today, Vol. 40, No. 3, pp. 41.

8. Cunha, C.B. and Mutarelli, F., 2007, "A spreadsheet-based optimization model for the integrated problem of producing and distributing a major weekly newsmagazine", *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, No. 2, pp. 925-940.

9. Espey, R.L. and Balakrishnan, J., 2012, "A spreadsheet decision support optimization model for railcar storage at Canadian Pacific Railway", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 63, No. 2, pp. 139-150.

10. Mason., A.J., 2013, *"SolverStudio for Excel: An integrated environment for optimisation using modelling languages within Excel"*, Retrieved October 1, 2013, from http://solverstudio.org/.

11. Mason, A.J., 2013, "SolverStudio: A New Tool for Better Optimisation and Simulation Modelling in Excel", *INFORMS Transactions on Education*, Vol. 14, No. 1, pp. 45-52.

12. Lam, S.W. and Tang, L.C., 2006, "Multiobjective vendor allocation in multiechelon inventory systems: A spreadsheet model", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 57, No. 5, pp. 561-578.

13. Sakalli, U.S. and Birgoren, B., 2009, "A spreadsheet-based decision support tool for blending problems in brass casting industry", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 56, No. 2, pp. 724-735.

14. Fourer, R., Gay, D.M., and Kernighan, B.W., 2003, *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming*, 2nd ed., Thomson Learning, Independence, Kentucky.