

การประยุกต์การโปรแกรมเลขจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิตรวม เพื่อการตัดสินใจผลิตและซื้อวัคซีนจากภายนอก

นันทวรรณ ไชยมงคล¹, ศันสนีย์ สุภาภา² และ พัชรภรณ์ ญาณภีร์^{*3}

สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Received: 1 May 2022; Revised: 10 October 2022; Accepted: 25 October 2022

บทคัดย่อ

การติดเชื้อจากไวรัสยังคงมีการรายงานอย่างต่อเนื่องทั่วโลก ทั้งโรคที่มีการระบาดเป็นประจำทุกปี เช่น ไข้หวัดใหญ่ ไข้หวัด และโรคอุบัติใหม่อย่าง โควิด-19 วัคซีนเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการระบาดของโรคในกลุ่มประชากร โดยป้องกันการติดเชื้อ ลดความรุนแรงจากอาการป่วย และลดการเสียชีวิตอันเกิดจากการแทรกซ้อน องค์การเภสัชกรรม (อภ.) เป็นหน่วยงานภายใต้กระทรวงสาธารณสุข มีพันธกิจหลักในการจัดหาและเวชภัณฑ์ รวมถึงวัคซีนที่จำเป็น และมีนโยบายในการผลิตวัคซีนเพื่อทดแทนการนำเข้าวัคซีนจากต่างประเทศเพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านวัคซีนให้กับประเทศไทย โรงงานผลิตวัคซีนของอภ. ใช้เทคโนโลยีไขไก่ฟักสำหรับการผลิตวัคซีน ซึ่งในปัจจุบันสามารถผลิตวัคซีนได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 3 สายพันธุ์ วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 แต่ยังไม่สามารถผลิตวัคซีนได้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการส่งผลให้ต้องมีการซื้อวัคซีนจากต่างประเทศ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การโปรแกรมเลขจำนวนเต็มในการวางแผนการผลิตรวมสำหรับวัคซีนทั้ง 3 ชนิด ภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากรของโรงงานผู้ผลิตวัคซีน และการนำเข้าวัคซีนจากต่างประเทศเพื่อรองรับความต้องการในแต่ละไตรมาส โดยมีต้นทุนรวมในการจัดหาวัคซีนต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาสามารถช่วยในการวางแผนการผลิตรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ข้อจำกัดของกำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตวัคซีนเป็นปัจจัยที่มีความไวต่อแผนการผลิตและการนำเข้าวัคซีนแต่ละประเภท

คำสำคัญ: การวางแผนการผลิตรวม, การโปรแกรมเลขจำนวนเต็ม, กระบวนการผลิตวัคซีน, โควิด-19

* Corresponding author. E-mail: fengppy@ku.ac.th

1 สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2, 3 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Application of Integer Programming for Aggregate Production Planning in the Production and Purchase of Vaccines

Nantawan Chaimongkol¹, Sansanee Supapa² and Patcharaporn Yanpirat^{*3}

Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering, Kasetsart University

50 Ngamwongwan Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

Received: 1 May 2022; Revised: 10 October 2022; Accepted: 25 October 2022

Abstract

Infectious diseases caused by viruses have been reported across the world. These include seasonal diseases like influenza and emerging diseases such as COVID-19. The vaccine is one of the effective tools to control a virus pandemic among the population by preventing virus infection, reducing the severity of illness, and reducing the mortality rate. The Government Pharmaceutical Organization (GPO) is a state enterprise operated under the Ministry of Public Health, with a mission to supply medicines, medical devices, and vaccines. GPO has a policy of vaccine production to reduce the importing of vaccines and to establish vaccine security in Thailand. As part of the GPO, the biological product (Vaccine) production plant has employed an egg-based platform for the manufacture of vaccines, which presently includes trivalent seasonal influenza vaccine, quadrivalent seasonal influenza vaccine, and COVID-19 vaccine. However, the production capacity is limited. To fulfill the domestic demand for vaccines, imported vaccines have been widely used. This paper aims to propose a mathematical model by employing integer programming to generate a quarterly aggregate production plan for three vaccines. The objective of the proposed model is to minimize the total production cost and import cost under capacity and inventory constraints. The results show the effectiveness of the proposed model and that the manufacturing costs of those vaccines are sensitive to the amount of vaccine production and imported vaccines during the planning period.

Keywords: aggregate production planning, integer programming, vaccine manufacturing process, Covid-19

* Corresponding author. E-mail: fengppy@ku.ac.th

1 Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

2, 3 Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

1. บทนำ

การระบาดของโรคติดเชื้อที่เกิดจากไวรัสยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง และพบว่าอาการจากการติดเชื้อในบางโรคมีความรุนแรงขึ้น วัคซีนเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการติดเชื้อจากไวรัส ช่วยลดความรุนแรงจากการป่วยและการเสียชีวิตอันเนื่องจากภาวะแทรกซ้อน รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล และการแพร่กระจายเชื้อระหว่างบุคลากรทางการแพทย์และผู้ป่วยในโรงพยาบาล ซึ่งเป็นประโยชน์ในเชิงสาธารณสุขและในเชิงเศรษฐกิจ ข้อมูลจาก World Health Organization (2022) แสดงให้เห็นว่าความต้องการของวัคซีนทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยมีอุบัติการณ์การระบาดใหญ่ของโรคโควิด-19 ส่งผลให้หน่วยงานภาครัฐต้องเร่งดำเนินการในการนำเข้าวัคซีน อย่างไรก็ตามการแพร่ระบาดดังกล่าวส่งผลให้ทั่วโลกต้องการวัคซีนจำนวนมาก จึงพบปัญหาความล่าช้าในการส่งมอบวัคซีนจากบริษัทผู้ผลิต และการส่งมอบในปริมาณที่ต่ำกว่าความต้องการ นอกจากนี้ยังมีไวรัสที่มีการระบาดตามฤดูกาล ทำให้ต้องฉีดวัคซีนกระตุ้นภูมิเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดทุกปี อย่างวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ ซึ่งตามแนวทางการควบคุมโรคกระทรวงสาธารณสุข ได้ส่งเสริมให้ประชากรกลุ่มเสี่ยง เช่น หญิงตั้งครรภ์ ผู้สูงอายุ เด็กเล็ก ผู้มีโรคเรื้อรัง รวมทั้งบุคลากรทางการแพทย์ ได้รับวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ เป็นประจำทุกปี

องค์การเภสัชกรรม (อภ.) มีนโยบายผลิตวัคซีนเพื่อความมั่นคงของประเทศ ทดแทนการนำเข้าวัคซีนจากต่างประเทศ แก้ปัญหาขาดแคลนวัคซีนในสถานการณ์การระบาดใหญ่ โดยกระบวนการผลิตวัคซีนจะถูกควบคุมตามมาตรฐาน Good Manufacturing Practice (GMP) ซึ่งเป็นหลักการหนึ่งในมาตรฐานสากลของ Pharmaceutical Inspection Co-operation Scheme (PIC/S) เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในด้านความปลอดภัย คุณภาพ และประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ในปัจจุบัน อภ. มีสายการผลิตวัคซีนจากไวรัสด้วยเทคโนโลยีไขไก่ฟัก เพียง 1 สายการผลิต และสามารถผลิตวัคซีนได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ วัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และชนิด 3 สายพันธุ์ ซึ่งกระบวนการผลิตจะเกิดขึ้นในลักษณะต่อเนื่อง

แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การผลิตแอนติเจนเข้มข้น ซึ่งเป็นตัวสำคัญในวัคซีน และ 2) การผสมและบรรจุผลิตภัณฑ์วัคซีนสำเร็จรูป โดยการผสมแอนติเจนเข้มข้นกับวัตถุดิบอื่นๆ เช่น ตัวทำละลาย สารเพิ่มความคงสภาพ แล้วบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์

เนื่องด้วยกำลังการผลิตในปัจจุบันที่มีอยู่เพียง 1 สายการผลิต และถูกควบคุมภายใต้มาตรฐาน GMP เกิดเป็นข้อจำกัดทางด้านกำลังการผลิต ทำให้ไม่สามารถผลิตวัคซีนได้ตามจำนวนคำสั่งซื้อของลูกค้า และต้องนำเข้าวัคซีนเพิ่มเติมเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เพียงพอ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลองโปรแกรมเลขจำนวนเต็ม เพื่อวางแผนการผลิต และแผนการจัดซื้อวัคซีนทดแทนเพื่อให้เพียงพอกับปริมาณวัคซีนตามคำสั่งซื้อ ให้มีต้นทุนรวมในการดำเนินการจัดหาวัคซีนที่ต่ำที่สุดภายใต้กำลังการผลิตในปัจจุบัน

2. แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ จะพบปัญหาเรื่องปริมาณสินค้าที่ต้องการมากกว่ากำลังการผลิต การเลือกชนิดและจำนวนสินค้าที่จะผลิตจึงขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของทรัพยากร ซึ่งผลกระทบจากปัญหาดังกล่าวจะมีทั้งที่อยู่ในรูปของการเงินและไม่ใช้การเงิน วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ Heuristic Algorithm หรือ Meta-heuristic Algorithm ซึ่งมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ 3 หลักเกณฑ์ คือ ปริมาณงานค่าใช้จ่ายในการผลิต และปริมาณสินค้าคงคลัง [1] โดยมีการนำข้อมูลจากสูตรการผลิตของผลิตภัณฑ์ (Bill of Material) มาบริหารคลังสินค้าและควบคุมการผลิต [2] พบว่าในอดีตได้มีการประยุกต์ใช้วิธี Heuristics Algorithm เข้ากับกระบวนการผลิตภายใต้มาตรฐานการผลิตยา ในการจำลองสถานการณ์ หลังจากนั้นใช้ Algorithm จัดเรียงแผนงานการผลิตให้เป็นไปตามคำสั่งซื้อและตามกำหนดการอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการจัดเรียงแผนงานคือ วัตถุประสงค์การสั่งผลิต แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ ผลิตตามปริมาณคำสั่งซื้อ และผลิตตามปริมาณที่กำหนดไว้เพื่อรอจำหน่าย โดยการผลิตตามปริมาณคำสั่งซื้อจะถูกจัดลำดับลงในแผนการผลิตก่อน [3] นอกจากนั้นมีการใช้วิธี Linear Programming Model (LP) หรือ Integer-programming

Model (ILP) เพื่อให้วางแผนการผลิตให้ได้ปริมาณตามวัตถุประสงค์ภายใต้กำลังการผลิตที่มีอยู่ และให้สอดคล้องกับต้นทุนของการผลิตที่ตั้งเป้าไว้ [2, 4] สำหรับการวางแผนการผลิตที่ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวนรุ่นผลิต สามารถนำแบบจำลองโปรแกรมเลขจำนวนเต็มมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตได้ [5]

อุตสาหกรรมการผลิตยา จะพบข้อจำกัดจากเรื่องมาตรฐานการผลิตที่ต้องเป็นไปตามกฎหมาย GMP/PICs ทำให้ผลิตได้น้อยกว่ากำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักร โดยหลักการทางคณิตศาสตร์สามารถประยุกต์ใช้ใน Aggregate Production Planning สำหรับการวางแผนรายการการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์หลากหลาย จะสามารถกำหนดปริมาณการผลิตที่เหมาะสมที่สุดได้ตามวัตถุประสงค์ [6] โดยข้อจำกัดที่เป็นคอขวดวิเคราะห์จากปริมาณทรัพยากรทั้งหมดที่ต้องใช้ในการผลิตกระบวนการนั้น มีมากกว่าทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อการผลิต [1] อย่างไรก็ตาม หลักการทางคณิตศาสตร์ยังมีข้อจำกัดในกรณีที่ไม่ได้คำนึงถึงภาระงานที่หนักของพนักงาน เพื่อให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด การวางแผนด้วยวิธีการดังกล่าวก็จะไม่สัมฤทธิ์ผล [7, 8]

องค์กรโดยทั่วไปจะเลือกที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นเองภายในบริษัทด้วยเหตุผลด้านการแข่งขันทางการตลาดและลดปัญหาความไม่แน่นอนที่ผู้จัดจำหน่ายส่งมอบไม่ได้ตามความต้องการ กรณีไม่สามารถผลิตได้เพียงพอกับความต้องการ จะซื้อผลิตภัณฑ์เข้ามาทดแทน โดยต้องมีหลักเกณฑ์ในการเลือกผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์เพื่อให้มั่นใจว่าสินค้าที่เลือกซื้อเพื่อมาทดแทนนั้นไม่ด้อยคุณภาพไปกว่าสินค้าที่ผลิต การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยให้ข้อมูลต้นทุนรวมและปริมาณที่ต้องผลิตและซื้อทดแทนในการตัดสินใจ [9]

การคิดต้นทุนภายใต้สภาวะการดำเนินการผลิตจริง จะวัดต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงตามรอบของระยะเวลาบัญชีสามารถรวบรวมข้อมูลต้นทุนที่เกี่ยวข้องได้อย่างรวดเร็ว เพื่อใช้ในการวางแผนการผลิต ซึ่งค่าต้นทุนที่ได้อาจมีความไม่แน่นอน จึงต้องระวังในการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ [10] สำหรับกระบวนการผลิตที่มีวิธีการผลิตคล้ายกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ แต่มีในส่วนของคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จะใช้วิธีการสะสมต้นทุนผสมผสานระหว่างการผลิตต้นทุนการดำเนินการในส่วนของการผลิต และต้นทุนงานสำหรับวัตถุดิบทางตรง ต้นทุนดังกล่าวจะถูก

จัดสรรลงไปแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ 1 ชนิดต่อหน่วย และนำไปบริหารจัดการแผนงานการผลิต [11] สำหรับวิธีการคิดต้นทุนการดำเนินการดังกล่าวเป็นวิธีการคิดต้นทุนแบบดั้งเดิม ไม่สามารถให้การวิเคราะห์ในเชิงลดต้นทุนของสินค้าได้เหมือนกับวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนจากกิจกรรม [12]

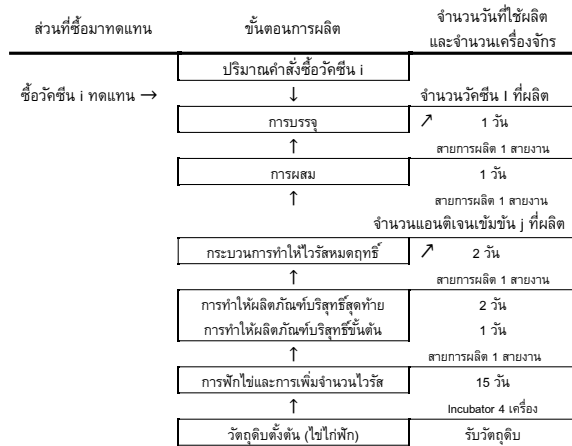
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ข้อจำกัดการผลิต

กระบวนการผลิตวัคซีนจากไวรัสด้วยเทคโนโลยีไขไก่ฟักของโรงงานจะแบ่งการผลิตออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การผลิตแอนติเจนเข้มข้น โดยเริ่มตั้งแต่รับวัตถุดิบหลักในการผลิตคือ ไขไก่ฟัก เพื่อการเพิ่มจำนวนไวรัส หลังจากนั้นจะเก็บเกี่ยวน้ำไขในส่วนที่มีไวรัสจำนวนมาก แล้วมาทำให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์ขั้นต้นโดยการปั่นเหวี่ยง การกรองหยาบ แล้วทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นและเข้มข้นด้วยเทคนิค Ultrafiltration และ Ultracentrifugation หลังจากนั้นจะกรองด้วยแผ่นกรองรูพรุนขนาด 0.2 ไมครอน จึงจะได้แอนติเจนเข้มข้น 1 รุ่นการผลิต 2) การผลิตวัคซีนสำเร็จรูป โดยการนำแอนติเจนเข้มข้นมาผสม แล้วกรองปราศจากเชื้อและบรรจุลงขวด โดยวัคซีนแต่ละชนิดต้องการจำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้นที่แตกต่างกัน ขึ้นกับสูตรการผลิตที่กำหนด ดังนั้นกระบวนการทั้งหมดใช้ระยะเวลาอยู่ที่ 36, 37 และ 32 วัน สำหรับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19, วัคซีนป้องกันโรคไขหวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และ 3 สายพันธุ์ตามลำดับ จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีสายการผลิตเพียง 1 สายเท่านั้น โดยในขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์สุดท้ายของการผลิตแอนติเจนเข้มข้น จำเป็นต้องใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบสูง (Zonal Ultracentrifuge) ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องจักร 2 รอบต่อรุ่นการผลิต แต่เนื่องจากมีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ทำให้เกิดเป็นคอขวดการทำงาน

กรณีที่มีการผลิตแอนติเจนเข้มข้นมากกว่า 1 รุ่นการผลิตต่อสัปดาห์ จะทำให้ในบางวันมีกระบวนการผลิตที่ซ้อนทับกันมากกว่า 1 กระบวนการ ซึ่งตามมาตรฐานการผลิตยา จะไม่สามารถใช้พื้นที่การผลิตรวมถึงเครื่องจักรเพื่อผลิตมากกว่า 1 รุ่นการผลิตในวันเดียวกันได้ เนื่องจากต้องมีการทำความสะอาดสายการผลิตทุกครั้งหลังการผลิต (Line

Clearance) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างผลิตภัณฑ์หรือระหว่างรุ่นการผลิต รวมทั้งเมื่อพิจารณาจำนวนคนที่ต้องใช้ในการทำงานทุกกระบวนการพบว่า สามารถทำการผลิตได้มากที่สุดที่ 2 รุ่นการผลิตต่อสัปดาห์



รูปที่ 1 กระบวนการจัดหาวัคซีนเพื่อส่งมอบวัคซีนตามคำสั่งซื้อ

นอกจากนี้ตามมาตรฐานการผลิตยา ระบุให้มีกระบวนการทำความสะอาดสายการผลิตและพื้นที่ผลิตเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในสายการผลิตเดียวกัน (Campaign Production) ซึ่งทางโรงงานใช้วิธีการอบฆ่าเชื้อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อกำจัดเชื้อไวรัสที่หลงเหลืออยู่ ซึ่งกระบวนการอบฆ่าเชื้อดังกล่าวเกิดขึ้นในแต่ละครั้งใช้เวลานาน 1 สัปดาห์ มีผลให้จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้นลดลงไป 2 รุ่นการผลิต

จากข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตที่ได้กล่าวมา ทำให้ไม่สามารถผลิตวัคซีนได้เพียงพอกับปริมาณคำสั่งซื้อ จึงต้องซื้อวัคซีนเพื่อมาทดแทน ซึ่งผลิตภัณฑ์ทางยาและวัคซีนนั้นจำเป็นต้องได้รับอนุญาตทะเบียนจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ก่อนการจำหน่าย เพื่อคุ้มครองความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้น วัคซีนที่ผลิตและซื้อมาเพื่อทดแทนนั้นจะต้องมีคุณภาพและมาตรฐานโดยผ่านการประเมินจาก อย.

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ข้อสมมติฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ

1) ทุกวัตถุดิบและวัคซีนที่นำเข้าไม่มีปัญหาในการสั่งซื้อ โดยผู้ผลิตวัตถุดิบนั้น ๆ สามารถส่งมอบวัตถุดิบให้กับทางโรงงานได้ทันที กล่าวคือ วัตถุดิบหลักในการผลิตคือ ไข่ไก่ฟอก มีการทำสัญญาในการสั่งซื้อล่วงหน้าเป็นรายปี เป็นไปตามแผนงานการผลิต

2) ปริมาณความต้องการวัคซีนเป็นคำสั่งซื้อรายปี โดยมีกำหนดส่งมอบเป็นรายไตรมาส

3) กระบวนการผลิตเกิดขึ้นในลักษณะต่อเนื่องจนจบกระบวนการใน 1 รุ่นการผลิต โดยที่ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดกระบวนการผลิตร่วมกัน

4) ค่าพารามิเตอร์กำหนดให้คงที่ตลอดระยะเวลาการวางแผน

5) ไม่มีข้อจำกัดด้านระบบการจัดเก็บวัคซีนที่ผลิตและคลังสำหรับจัดเก็บวัคซีนที่นำเข้า โดยวัคซีนที่นำเข้ามาเมื่อตรวจรับวัคซีนแล้วเสร็จ วัคซีนดังกล่าวจะถูกส่งให้กับลูกค้าตามระยะเวลาที่กำหนด

6) กำลังการผลิตของโรงงานในปัจจุบันมีข้อจำกัด จึงไม่สามารถผลิตได้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า และต้องมีการซื้อวัคซีนเข้ามาทดแทน ดังนั้นปริมาณวัคซีนที่จัดหามาได้ทั้งหมดจะถูกส่งมอบให้กับลูกค้า ตามระยะเวลาที่กำหนด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตวัคซีน ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของตัวแปร ข้อจำกัด และสมการเป้าหมาย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 ดัชนี (Indices and Sets)

j ชนิดของแอนติเจนเข้มข้นที่ผลิต เมื่อ $j = 1, 2, 3$ แทนแอนติเจนเข้มข้นที่เป็นส่วนประกอบในการผลิตวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19, วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และ 3 สายพันธุ์ ตามลำดับ

i ชนิดของวัคซีนที่ผ่านกระบวนการผลิต เมื่อ $i = 1, 2, 3$ แทนวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19, วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และชนิด 3 สายพันธุ์ ตามลำดับ

$J_{(i)}$ กลุ่มชนิดของแอนติเจนเข้มข้นที่ใช้ผลิตวัคซีน

t ไตรมาสการจัดหาวัคซีน เมื่อ $t = 1, 2, 3, 4$ แทนไตรมาสที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

S_t กลุ่มของชนิดวัคซีนที่ต้องการผลิตในไตรมาสที่ t

3.2.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

W_{jt} จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้นชนิดที่ j ที่ต้องผลิตในไตรมาสที่ t

X_{it} จำนวนรุ่นการผลิตวัคซีนชนิดที่ i ที่ต้องผลิตในไตรมาสที่ t

Y_{it} จำนวนรุ่นวัคซีนชนิดที่ i ที่ซื้อทดแทนในไตรมาสที่ t

U_{it} จำนวนชนิดของวัคซีนชนิดที่ i ที่ต้องผลิตในไตรมาสที่ t

3.2.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

MC_{it} ต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตวัคซีนชนิดที่ i สำหรับไตรมาสที่ t (หน่วย: บาทต่อรุ่นผลิต)

OC_{it} ต้นทุนช่วงการผลิตวัคซีนชนิดที่ i สำหรับไตรมาสที่ t (หน่วย: บาทต่อรุ่นผลิต)

HC_{it} ต้นทุนการดูแลวัคซีนที่ i คงคลัง สำหรับไตรมาสที่ t (หน่วย: บาทต่อรุ่นผลิต)

SC_{it} ค่าใช้จ่ายการทำความสะอาดก่อนเริ่มผลิตวัคซีนชนิดที่ i สำหรับไตรมาสที่ t (หน่วย: บาทต่อครั้ง)

PC_{it} ต้นทุนเฉลี่ยของการซื้อวัคซีนชนิดที่ i สำหรับไตรมาสที่ t (หน่วย: บาทต่อรุ่นผลิต)

Inv_{it} จำนวนวัคซีนคงคลังชนิดที่ i สำหรับไตรมาสที่ t (หน่วย: รุ่นผลิต)

Dem_{it} จำนวนที่ต้องส่งมอบวัคซีนชนิดที่ i สำหรับไตรมาสที่ t (หน่วย: รุ่นผลิต)

DS_{it} จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้น สำหรับผลิตวัคซีนชนิดที่ i จำนวน 1 รุ่นการผลิต (หน่วย: รุ่นผลิต)

3.2.4 สมการเป้าหมาย

จากนโยบายขององค์กร เพื่อจัดหาวัคซีนให้ได้ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ภายใต้กำลังการผลิต ณ ปัจจุบัน โดยมีต้นทุนรวมในการผลิตและซื้อวัคซีนที่ต่ำที่สุด จึงมีสมการเป้าหมายคือ ต้นทุนรวมในการจัดหาวัคซีนที่ต่ำที่สุด (Minimized Total Cost) ดังสมการที่ (1)

$$Z = C^{Pd} + C^{Hc} + C^{Pc} \quad (1)$$

ซึ่งประกอบไปด้วย

1) ต้นทุนรวมของต้นทุนดำเนินการผลิต และค่าใช้จ่ายการทำความสะอาด (C^{Pd}) ในระยะเวลา 1 ปี ซึ่ง $i \in S_t$ คือ ชนิดวัคซีนที่ i ที่ผลิต อยู่ในกลุ่มของชนิดวัคซีนที่ต้องการผลิตในไตรมาสที่ t ดังสมการที่ (2)

$$C^{Pd} = \sum_{i=1}^M (\sum_{t=1}^T MC_{it} X_{it} + \sum_{t=1}^T OC_{it} X_{it} + \sum_{t=1}^T \sum_{i \in S_t} SC_{it}) U_{it} \quad (2)$$

โดยที่ $U_{it} = \begin{cases} 1; & \text{วัคซีนชนิดที่ } i \text{ ผลิตในไตรมาสที่ } t \\ 0; & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$

ในการปฏิบัติงานปกติจะมีกระบวนการทำความสะอาดหลังจากกระบวนการผลิตทุกครั้ง ซึ่งต้นทุนการดำเนินงานส่วนนี้จะรวมอยู่ในต้นทุนช่วงการผลิต (OC_{it}) สำหรับสายการผลิตของแอนติเจนเข้มข้นซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้ผลิตเชื้อไวรัสที่ยังมีชีวิต กรณีที่มีการผลิตวัคซีนชนิดที่ i ในไตรมาสที่ t จะนับจำนวนครั้งของการอบฆ่าเชื้อไวรัสในสายการผลิตและพื้นที่ผลิต จากจำนวนชนิดของวัคซีนที่ต้องผลิตในไตรมาสที่ t ดังนั้นผลรวมจำนวนวัคซีนชนิดที่ i ที่ต้องผลิตในไตรมาสที่ t เป็น 1

2) ต้นทุนรวมของการดูแลสินค้าคงคลัง (C^{Hc}) ในระยะเวลา 1 ปี เกิดจาก ค่าเฉลี่ยของจำนวนสินค้าคงคลังต้นงวดและปลายงวดคูณกับต้นทุนการดูแลวัคซีนชนิดที่ i คงคลังโดยค่าจัดเก็บ (HC_{it}) คิดเป็น 20% ของราคารุ่นการผลิตวัคซีนต่อปี ดังสมการที่ (3)

$$C^{Hc} = \sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T HC_{it} (Inv_{i(t-1)} + Inv_{it}) / 2 \quad (3)$$

3) ต้นทุนรวมของการซื้อวัคซีนทดแทน (C^{Pc}) ในระยะเวลา 1 ปี เกิดจากผลคูณของจำนวนวัคซีนที่ซื้อทดแทนกับต้นทุนเฉลี่ยของการซื้อวัคซีนแต่ละชนิด (PC_{it}) ดังสมการที่ (4)

$$C^{Pc} = \sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T PC_{it} Y_{it} \quad (4)$$

3.2.5 ข้อจำกัด (Constraints)

การส่งมอบสินค้าได้ครบตามคำสั่งซื้อ และตรงตามเวลา กล่าวคือจำนวนวัคซีนที่ผลิตรวมกับจำนวนวัคซีนที่นำเข้า ต้องเท่ากับจำนวนวัคซีนตามคำสั่งซื้อ ดังสมการที่ (6) ซึ่งวัคซีนแต่ละชนิดมีจำนวนโดสต่อรุ่นการผลิตที่แตกต่างกัน โดยวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 ผลิตได้ 200,000 โดสต่อรุ่นการผลิต และวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ทั้ง 2 ผลิตได้ 25,000 โดสต่อรุ่นการผลิต ดังนั้นจำนวนรุ่นการผลิตที่จะซื้อวัคซีนแต่ละชนิดมาทดแทน จะคิดจากโดสต่อรุ่นผลิตในจำนวนที่เท่ากับกำลังการผลิตของโรงงานในกรณีศึกษา

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^4 X_{it} + \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^4 Y_{it} = Dem_{it}; \forall i, \forall t \quad (5)$$

เพื่อให้มีการผลิตต่ออายุใบอนุญาตการผลิต กำหนดให้แผนผลิตใน 1 ปี ต้องมีการผลิตวัคซีนทุกชนิดอย่างน้อย 1 รุ่นการผลิต ดังสมการที่ (6) ถึง (8)

$$\sum_{t=1}^4 X_{1t} \geq I \quad (6)$$

$$\sum_{t=1}^4 X_{2t} \geq I \quad (7)$$

$$\sum_{t=1}^4 X_{3t} \geq I \quad (8)$$

การผลิตวัคซีน 1 รุ่นการผลิต จะต้องวางแผนการผลิตให้มีจำนวนแอนติเจนเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อเป็นส่วนประกอบในการผลิตวัคซีนแต่ละชนิด โดยแอนติเจนเข้มข้นชนิดที่ j ที่ผลิต จะต้องเป็นชนิดเดียวกันกับแอนติเจนเข้มข้นที่เป็นองค์ประกอบในกระบวนการผลิตวัคซีนชนิดที่ i และวัคซีนชนิดที่ i เป็นวัคซีนที่กำหนดให้ผลิตในไตรมาสที่ t ดังสมการที่ (9)

$$\sum_{j \in J(i)} W_{jt} = X_{it} DS_{it}; i \in S_t \quad (9)$$

โดยที่ $DS_{it} = \begin{cases} 2; i = 1 \\ 4; i = 2 \\ 3; i = 3 \end{cases}$

จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้นที่มากที่สุด ได้จากการคำนวณจากข้อจำกัดด้านทรัพยากร เป็น 2 รุ่นการผลิตต่อสัปดาห์ ดังนั้น ใน 1 ไตรมาส สามารถผลิตได้ไม่เกิน 20 รุ่นการผลิต

มาตรฐานการผลิตวัคซีน กำหนดให้ทำความสะอาดทุกครั้งหลังจบกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนชนิดของวัคซีนที่จะผลิตจำเป็นต้องมีการอบฆ่าเชื้อสายการผลิตและพื้นที่ผลิตก่อนเริ่มผลิตวัคซีนชนิดใหม่ในแต่ละไตรมาส ซึ่งการทำความสะอาดแต่ละครั้งใช้เวลา 1 สัปดาห์ ทำให้การผลิตแอนติเจนเข้มข้นลดลง 2 รุ่นการผลิต ดังสมการที่ (10)

$$\sum_{j \in J(i)} W_{jt} \leq 20 - 2U_{it}; i \in S_t, \forall t \quad (10)$$

แต่เมื่อไม่มีการผลิตวัคซีนชนิดที่ i หรือไม่มีการเปลี่ยนชนิดของวัคซีนที่จะผลิตภายในไตรมาสที่ t ก็จะไม่เกิดงานในการอบฆ่าเชื้อก่อนผลิตวัคซีนชนิดที่ i ในไตรมาสนั้น ดังสมการที่ (11)

$$X_{it} \leq mU_{it} \quad (11)$$

โดยที่ m คือค่าคงที่มีค่ามาก ๆ

หลังจากที่มีการบรรจุวัคซีนลงขวดแล้ว ผลิตภัณฑ์จะถูกนำเข้าไปถึงที่คลังสินค้า เพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้าตามรอบไตรมาสต่อไป จึงมีจำนวนที่เหลืออยู่ในคลังสินค้าดังสมการ ดังสมการที่ (12)

$$Inv_{it} = Inv_{i(t-1)} + X_{it} + Y_{it} - Dem_{it} \quad (12)$$

จำนวนรุ่นการผลิตวัคซีนที่ผลิตรวม จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้น และจำนวนรุ่นวัคซีนที่ซื้อทดแทน รวมทั้งจำนวนชนิดของวัคซีนที่ต้องผลิตเป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ (13)

$$X_{it}, Y_{it}, W_{jt} \geq 0 \text{ และ Integer} \quad (13)$$

4. ผลการวิจัย

การหาผลลัพธ์สำหรับปัญหานี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก CPU Intel Core i5 สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยโปรแกรม Solver Add-in ชนิด Excel Add-in จากการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น ได้ผลลัพธ์จากการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลคำสั่งซื้อวัคซีน และผลลัพธ์การคำนวณ

กิจกรรม	จำนวนวัคซีน (รุ่นการผลิต)			จำนวน ชนิดวัคซีน ที่ผลิต ในแต่ละ ไตรมาส (U_{it})
	โควิด- 19	4 สาย พันธุ์	3 สาย พันธุ์	
คำสั่งซื้อต่อปี	100	16	280	-
จำนวนที่ต้องส่งมอบ: คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ต้องส่งมอบ (Dem_{it})				
ไตรมาสที่ 1	25	50	50	-
ไตรมาสที่ 2	25	50	25	-
ไตรมาสที่ 3	25	0	25	-
ไตรมาสที่ 4	25	0	0	-
จำนวนที่ผลิตแอนติเจนเข้มข้นแต่ละชนิด* (W_{ij})				
ไตรมาสที่ 1	12	4	0	2
ไตรมาสที่ 2	12	0	3	1
ไตรมาสที่ 3	18	0	0	2
ไตรมาสที่ 4	18	0	0	1
ค่าใช้จ่ายรวมของการอบฆ่าเชื้อ (บาท)				486,000
จำนวนที่ผลิตวัคซีนสำเร็จรูปแต่ละชนิด (X_{ij})				
ไตรมาสที่ 1	6	1	0	-
ไตรมาสที่ 2	6	0	1	-
ไตรมาสที่ 3	9	0	0	-
ไตรมาสที่ 4	9	0	0	-
แผนผลิตต่อปี	30	1	1	-
ต้นทุนการผลิตรวม (พันล้านบาท)				0.30
จำนวนที่ซื้อทดแทนวัคซีนแต่ละชนิด (Y_{ij})				
ไตรมาสที่ 1	19	7	140	-
ไตรมาสที่ 2	19	8	69	-
ไตรมาสที่ 3	16	0	70	-
ไตรมาสที่ 4	16	0	0	-
แผนจัดซื้อต่อปี	70	15	279	-
ต้นทุนการซื้อทดแทนรวม (พันล้านบาท)				5.05

หมายเหตุ * จำนวนแอนติเจนเข้มข้นที่เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตวัคซีนสำเร็จรูปใน 1 รุ่นการผลิต เมื่อ $DS_{1t} = 2$ $DS_{2t} = 4$ และ $DS_{3t} = 3$

จากผลลัพธ์ของโปรแกรมเลขจำนวนเต็มเพื่อให้ได้แผนการผลิตรวมและจำนวนที่ต้องซื้อวัคซีนทดแทนสำหรับแต่ละไตรมาส โดยมีต้นทุนรวมในการจัดหาวัคซีนที่ต่ำที่สุดเป็นเงิน 5.36 พันล้านบาทต่อปี ประกอบด้วยต้นทุนการผลิตเป็นเงิน 0.3 พันล้านบาท ค่าใช้จ่ายการอบฆ่าเชื้อเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดวัคซีนที่ผลิตในแต่ละไตรมาสเป็นเงิน 486,000 บาท ค่าใช้จ่ายการซื้อวัคซีนจากภายนอกเป็นเงิน 5.05 พันล้านบาท และไม่เกิดต้นทุนการดูแลวัคซีนคงคลัง สำหรับจัดหาจำนวนวัคซีนให้เป็นไปตามคำสั่งซื้อ คือ วัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 จำนวน 100 รุ่นผลิตต่อปี วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ จำนวน 16 รุ่นผลิตต่อปี และวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 3 สายพันธุ์ จำนวน 280 รุ่นผลิตต่อปี โดยมีแผนการผลิตจำนวนวัคซีนที่เหมาะสม คือ 30, 1 และ 1 รุ่นผลิตต่อปี ตามลำดับ และต้องซื้อวัคซีนจากภายนอกจำนวน 70, 15 และ 279 รุ่นต่อปี ตามลำดับ

แบบจำลองดังกล่าวเป็นจริงภายใต้ต้นทุนการผลิตและราคาซื้อวัคซีนทดแทนที่คงที่ โดยพบว่าเมื่อต้นทุนการผลิตของวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ลดลงจาก 11,556,878 บาท ไปเป็น 7,265,578 บาท หรือ 4,291,300 บาท (62.87%) จะทำให้แผนการผลิตและจำนวนที่ต้องซื้อวัคซีนทดแทนได้ผลลัพธ์ที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ต้นทุนการผลิตของวัคซีนดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการใช้แบบจำลองนี้

5. สรุปผลการวิจัย

จากการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์การโปรแกรมเลขจำนวนเต็มในการแก้ปัญหาการจัดหาวัคซีน เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากรด้านการผลิต พบว่า แบบจำลองสามารถช่วยในการตัดสินใจการวางแผนการผลิตรวม ได้สอดคล้องกับการวางแผนการผลิตรวมที่สอดคล้องกันเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตที่ดี รวมทั้งการวางแผนจัดซื้อวัคซีนจากต่างประเทศทดแทนเพื่อให้สามารถส่งมอบจำนวนวัคซีนได้ตามคำสั่งซื้อรายไตรมาส อย่างไรก็ตาม พบว่า ปัจจัยที่มีความไวต่อแผนการผลิตและการนำเข้าวัคซีนแต่ละประเภท คือ ต้นทุนการผลิตของวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการวางแผนการผลิตที่กำลังการผลิตปัจจุบัน ซึ่งยังมีข้อจำกัดทางด้านกำลังการผลิตในอนาคตจะวิเคราะห์ในจุดที่เป็นคอขวดเพื่อขยายกำลังการผลิต และประสิทธิภาพการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าวัคซีน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Rezaie, S. Nazari-Shirkouhi and R. Ghodsi, "Theory of constraints and particle swarm optimization approaches for product mix problem decision," *Australian Journal of Basic and Applied Science.*, vol. 4, no. 12, pp. 6483-6491, 2010.
- [2] S. C. K. Chu, "A mathematical programming approach towards optimized master production scheduling," *International Journal of Production Economics.*, vol. 38, no. 2, pp. 269-279, 1995.
- [3] S. Wattitham, T. Somboonwiwat and S. Prombanpong, "Master production scheduling for the production planning in the pharmaceutical industry," *Industrial Engineering, Management Science and Applications.*, vol. 349, pp. 267-276, 2015.
- [4] R. Venkataraman and J. Nathan, "Master production scheduling for a process industry environment," *International Journal of Operations & Production Management.*, vol. 14, no. 10, pp. 44-53, 1994.
- [5] R. T. McIvor and P. K. Humphreys, "A case-based reasoning approach to the make or buy decision," *Integrated Manufacturing Systems.*, vol. 11, no. 5, pp. 295-310, 2000.
- [6] S. Chaoleam, T. Somboonwiwat and S. Prombanpong, "The Production Planning of Pharmaceutical Production Under Multi Variables," in *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Thailand, 2013.
- [7] B. P. Das, J. G. Rickard, N. Shah and S. Macchietto, "An investigation on integration of aggregate production planning, master production scheduling and short-term production scheduling of batch process operations through a common data model," *Computers & Chemical Engineering.*, vol. 24, pp. 1625-1631, 2000.
- [8] M. Trost, T. Claus and F. Herrmann, "Employment of Temporary Workers and Use of Overtime to Achieve Volume Flexibility using Master Production Scheduling: Monetary and Social Implications," in *the 35th International ECMS Conference on Modelling and Simulation*, Kuwait, 2021.
- [9] E. T. Valencia, S. Moussavi, S. Lamouri, R. Pellerin, and A. Moeuf, "An Optimization Approach for MPS in a MTO Multiproduct Assembly Line System," in *the 8th International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, China, 2019.
- [10] E. J. Blocher, D. E. Stout, P. E. Juras and S. Smith, *Cost Management: A Strategic Emphasis*, 8th ed., New York: McGraw-Hill Education, 2019.
- [11] J. S. Zuk, "Techniques for Effective Product Costing in an IC Manufacturing Facility," in *IEEE/SEMI International Symposium on Semiconductor Manufacturing Science*, United State of America, 1990.
- [12] X. Li, G. Hengfa and C. Siyuan, "Extension intelligence for process manufacturing," *Journal of Physics.*, vol. 1605, no. 1, pp. 12046, 2020.