

การเลือกวัตถุดิบและการจัดสรรการผลิตสำหรับกระดาษบรรจุภัณฑ์

Material selection and production allocation for card board

จารุต์ อักษร และวิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ

Jarut Agsornn and Wipawee Tharmmaphornphilas

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร. 02-2186814-6 โทรสาร 02-2513969, 02-2186813

E-mail: Jarut_a@hotmail.com, Wipawee.t@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกสรรกำลังการผลิตให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการของกระดาษบรรจุภัณฑ์ รวมถึงการเลือกใช้วัตถุดิบเส้นใยในการผลิตเพื่อให้มีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการและต้นทุนต่ำ เนื่องจากราคาวัตถุดิบและความต้องการของลูกค้ามีการเปลี่ยนแปลง จึงใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบฤดูกาลชนิดวินเตอร์สำหรับความต้องการสินค้าทั้ง 11 ประเภท ผลการพยากรณ์ให้ค่า MAPE เฉลี่ยที่ 0.91% และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล และวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบแนวโน้มสำหรับพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ 14 ชนิด ได้ค่า MAPE เฉลี่ยที่ 2.51% และ 2.33% ตามลำดับ ผลจากการพยากรณ์นำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองเพื่อวางแผนจัดซื้อวัตถุดิบและจัดสรรกำลังการผลิต ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง สามารถทำกำไรเพิ่มขึ้น 14.36 % เมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์จริง

Abstract

The purpose of this paper is to propose a mathematical model to allocate resources for card board demand and select proper material for each product type to satisfy product specification at the minimum cost. Since raw material price and customer demand are various, the “Winter’s Linear and Seasonal Exponential Smoothing forecast” method is used to forecast 11 types of product demand. It results in the average MAPE of 0.91%. The 14

types of raw material prices are forecasted by “Exponential Smoothing” and “Trend-adjusted Exponential Smoothing” method. The average MAPE are 2.51% and 2.33%, respectively. The forecasted results are used as inputs in the mathematical model to obtain the raw material purchasing plan and resource allocation plan. It can be concluded that, the profit increases 14.36% compared to the actual situation.

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์ที่มีการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยมีขั้นตอนการผลิตหลัก 3 ขั้นตอนคือขั้นตอนการเตรียมเยื่อ ขั้นตอนการผลิตกระดาษ และขั้นตอนการแปรรูปกระดาษ โดยเริ่มจากนำวัตถุดิบมาตีกับน้ำให้แตกตัวเป็นสารละลาย (เยื่อกระดาษ) จากนั้นทำความสะอาดและแยกสิ่งแปลกปลอมแล้วผสมเยื่อแต่ละชนิดให้เข้ากัน ซึ่งอัตราส่วนในการผสมจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพของสินค้า จากนั้นนำเยื่อเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตกระดาษโดยผ่านส่วนต่าง ๆ ของเครื่องผลิตกระดาษ โดยส่วนแรกจะนำน้ำเชื่อมมาปล่อยลงบนลวดเดินแผ่นเพื่อให้เยื่อกระจายตัวแล้วส่งไปยังชุดลูกกด โดยมีผ้าสักหลาดเป็นตัวพากระดาษไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง ชุดลูกกดนี้จะทำหน้าที่รีดน้ำออกจากกระดาษโดยการใช้แรงกดให้มีความชื้นเหลือประมาณ 55-60% แล้วถูกนำไปอบความร้อนที่ชุดอบซึ่งกระดาษมีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 5% จากนั้นจะถูกส่งไปยังชุดขัดผิวเพื่อให้มีความหนาและความเรียบ สุดท้ายจะได้เป็นกระดาษม้วนใหญ่ (Jumbo Roll) และถูกส่งไปยัง

ขั้นตอนการแปรรูป ซึ่งจะได้สินค้าออกมาเป็นกระดาม้วนเล็ก (Roll) ที่มีขนาดตามที่ลูกค้าต้องการ

2. ที่มาของปัญหา

ขั้นตอนในการวางแผนการผลิตกระดาม้วนจะเริ่มจาก ฝ่ายการตลาดรับความต้องการสินค้าเพื่อกำหนดเป็นแผนการขายรายเดือนให้หน่วยงานวางแผนการผลิตใช้สำหรับเป็นข้อมูลวางแผนการผลิตในหนึ่งรอบการผลิตหรือประมาณ 1 เดือน โดยจะจัดแผนให้ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด ซึ่งแผนดังกล่าวจะถูกส่งไปยังหน่วยงานผลิตเพื่อส่งวัตถุดิบมายังหน่วยงานคลังวัตถุดิบ หากมีวัตถุดิบเพียงพอตามมาตรฐานการใช้วัตถุดิบ จะดำเนินการส่งวัตถุดิบเข้ากระบวนการผลิต โดยทางหน่วยงานผลิตจะกระจายความต้องการสินค้าและวัตถุดิบไปผลิตที่เครื่องจักรแต่ละเครื่อง ซึ่งแต่ละเครื่องมีกำลังการผลิตสินค้าแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป ซึ่งในขั้นตอนการวางแผนการผลิตพบปัญหาหลัก ๆ 2 ประเด็น คือ

2.1 ปัญหาด้านการเลือกวัตถุดิบเส้นใย

จากแผนการผลิตมาสู่ขั้นตอนของการเลือกวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตเป็นสินค้า โดยปกติจะมีมาตรฐานของอัตราส่วนวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติสินค้าอาศัยข้อมูลการผลิตในอดีต แต่เนื่องจากราคาสินค้าวัตถุดิบมีการปรับตัวตลอดทุกเดือน บวกกับปริมาณวัตถุดิบเส้นใยที่มีอยู่ในคลังวัตถุดิบ ณ ขณะนั้น บางครั้งมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงส่งผลให้ต้นทุนวัตถุดิบมีมูลค่าเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลกระทบต่อคุณภาพสินค้ามีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าควบคุม ซึ่งค่าควบคุมทางด้านคุณภาพของสินค้าจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ 3 ประเด็น คือ 1.ความต้านทานแรงกดวงแหวน (RCT) 2.การต้านแรงกดลอนลูกฟูก (CMT) และ 3.ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Burst Strength) ดังนั้นหากวัตถุดิบที่เลือกใช้ผลิตบนเครื่องผลิตกระดามมีความไม่เหมาะสม จะทำให้ต้นทุนสินค้าสูงขึ้นและทำให้สูญเสียวัตถุดิบในการผลิตเกินความจำเป็น ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการเลือกวัตถุดิบเส้นใยให้มีความเหมาะสมทั้งด้านคุณภาพและราคา โดยวัตถุดิบเส้นใยที่นำมาใช้มีทั้งสิ้น 14 ชนิด แต่ละประเภท

ให้คุณสมบัติทางด้านคุณภาพ และความสามารถในการเตรียมเส้นใยให้เป็นเยื่อกระดาม (yield) สำหรับผลิตเป็นกระดามบรรจุภัณฑ์ 11 ประเภทแตกต่างกัน

2.2 ปัญหาด้านการสูญเสียกำลังการผลิต

เนื่องจากเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีอัตราการผลิตสินค้าแต่ละชนิดและต้นทุนในการแปรรูปที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากวางแผนการผลิตไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสในการผลิตและทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 1 ผลการวางแผนการผลิตเลือกกำลังการผลิตปัจจุบัน

สินค้า	เครื่องจักร			ต้นทุน (ล้านบาท)
	M/C1	M/C 2	M/C 3	
LineC	546	-	159	2.098
LineP	-	4,761	54	17.64
LineD	301	-	-	0.92
midP	608	-	64	2.49
LineW	-	565	270	3.39
LineT	577	-	9,313	31.93
LineB	694	-	263	3.15
midA	413	-	123	1.61
LineA	5,433	567	-	23.03
LineE	-	432	-	1.61
midT	145	2,584	-	9.52
รวม (ตัน)	8,717	8,909	10,246	
เวลา (ชม.)	576	477	507	

จากตารางที่ 1 ปัจจุบันหน่วยงานวางแผนการผลิตจะทำการวางแผนโดยเลือกผลิตสินค้าที่มีกำลังการผลิตสูงสุดของแต่ละเครื่องจักรมาผลิตก่อน เช่น เครื่องจักร M/C 1 เลือกผลิตสินค้า LineA ที่ให้กำลังการผลิตสูงสุดคือ 5,433 ตันต่อเดือน เครื่องจักร M/C 2 เลือกผลิต LineP ก่อนเนื่องจากให้กำลังการผลิตสูงสุด 4,761 ต่อเดือน เครื่องจักร M/C 3 เลือกผลิต LineT ที่ให้กำลังการผลิตสูงสุด 9,313 ตันต่อเดือน จากนั้นจะ

ทำการกระจายสินค้าตามกำลังการผลิตที่เหลือลงบนเครื่องจักรแต่ละจนครบตามจำนวน โดยผลการวางแผนการผลิตใช้เวลาผลิตทั้งสิ้น 1,560 ชั่วโมง มีต้นทุนในการแปรรูป 97.38 ล้านบาท

แต่ในการวางแผนผลิตที่มีการพิจารณาถึงกำลังการผลิตและต้นทุนในการแปรรูปและมีการปรับสมดุล ดังตารางที่ 2 จะใช้เวลาในการผลิตลดลงเป็น 1,541 ชั่วโมง ทำให้ต้นทุนในการแปรรูปเปลี่ยนไปเป็น 92.08 ล้านบาท

ตารางที่ 2 ผลการวางแผนกำลังการผลิตที่มีการปรับสมดุล

สินค้า	เครื่องจักร			ต้นทุน (ล้านบาท)
	M/C1	M/C 2	M/C 3	
LineC	-	-	705	2.07
LineP	-	-	4,815	16.59
LineD	301	-	-	0.92
midP	-	-	672	2.32
LineW	-	-	835	3.06
LineT	6,709	-	3,181	31.51
LineB	957	-	-	3.09
midA	-	-	536	1.63
LineA	-	6,000	-	19.92
LineE	-	432	-	1.61
midT	2,510	219	-	9.36
รวม	10,477	6,651	10,744	
เวลา (ชม.)	576	389	576	

3. ทบทวนวรรณกรรม

การวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมกระดาษหรืออุตสาหกรรมต่างๆ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการวางแผนคือปัจจัยข้อมูลนำเข้า สำหรับงานวิจัยนี้คือราคาวัตถุดิบและความต้องการสินค้า โดยงานวิจัยของ Chauhan และคณะ[1] ได้สรุปว่าความแปรปรวนของความต้องการจะส่งผลต่อแบบจำลองของการวางแผนการแปรรูปกระดาษ พิระพล [2] ใช้ข้อมูลราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบในอดีตเป็น

พื้นฐาน เพื่อนำไปใช้พยากรณ์ราคาวัตถุดิบล่วงหน้าที่จะนำมาสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ยศนันท์และคณะ [3] ได้เสนอการพยากรณ์ความต้องการโดยใช้เทคนิคในการพยากรณ์แต่ละวิธี แล้วนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่า MAPE ที่น้อยที่สุด สำหรับนำข้อมูลมาวางแผนการผลิตน้ำมันถั่วเหลือง

การออกแบบระบบในการตัดสินใจ งานวิจัยจำนวนมากได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งงานวิจัยของ Nilsson และคณะ[4] ได้ศึกษาโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษเป็นกรณีศึกษาที่มีวัตถุประสงค์คือต้องการให้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนไอน้ำ ต้นทุนเชื้อเพลิงและต้นทุนกระแสไฟฟ้า โดยใช้วิธี node Network ในการแก้ปัญหา งานวิจัยของ Pati และคณะ [5] มีวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นทุนต่ำที่สุด ของห่วงโซ่อุปทานในธุรกิจกระดาษ โดยกำหนดเงื่อนไขขีดจำกัดในเรื่องการเตรียมวัตถุดิบ การขนส่ง การแปรรูป สินค้าคงคลัง งานวิจัยของ Derigs และ คณะ [6] นำเสนอการตัดสินใจในการซื้อขายวัตถุดิบกระดาษโดยใช้เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เรื่องรายรับสูงสุด งานวิจัยของ ทวีพร และคณะ [7] เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตกระดาษโดยมีการกำหนดเงื่อนไขขีดจำกัดในเรื่องของการทำให้ปริมาณการผลิต ปริมาณการขายและปริมาณสินค้าคงคลังในแต่ละเดือน มีความเหมาะสม

4. แนวทางแก้ไขปัญห

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาในการวางแผนการผลิตในปัจจุบันและรวบรวมงานวิจัยต่างๆ ที่ได้นำเสนอข้างต้นสามารถสรุปการแก้ปัญหการวางแผนการผลิต โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

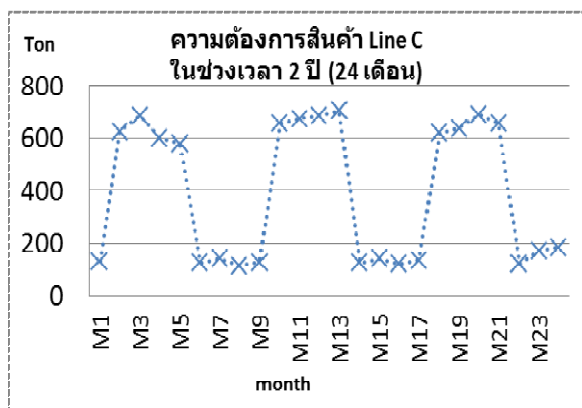
1. พยากรณ์ความต้องการของลูกค้า และราคาของวัตถุดิบ ซึ่งวิธีในการเลือกเทคนิคในการพยากรณ์ ต้องพิจารณาข้อมูลในอดีตว่ามีลักษณะข้อมูลในรูปแบบใดและใช้ค่าวัดความแม่นยำในการพยากรณ์เป็นตัววัดประสิทธิภาพและนำข้อมูลที่พยากรณ์ เป็นข้อมูลนำเข้าในส่วนที่ 2

2. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อวางแผนการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์คือกำไรสูงสุด ประกอบด้วยราคาขายลบต้นทุนเส้นใยและต้นทุนในการแปรรูป โดยกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัดในการผลิต เช่นคุณภาพของสินค้า กำลังการผลิตของแต่ละเครื่องจักรและเงื่อนไขในการสั่งซื้อและการจัดเก็บสินค้า

4.1 การพยากรณ์ความต้องการและราคาสินค้า

4.1.1 ความต้องการสินค้าของลูกค้า

การวางแผนการผลิต โดยปกติจะนำข้อมูลความต้องการของสินค้าแต่ละชนิดมากำหนดปริมาณการผลิตและกระจายลงไปยังเครื่องจักรต่างๆ โดยข้อมูลที่ใช้พยากรณ์ความต้องการสินค้าสำหรับวางแผนการผลิตของงานวิจัยนี้จะอยู่ในช่วงเดือนมกราคม ปี 2552 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2553 ดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ตัวอย่างความต้องการสินค้า Line C ในช่วงเดือนมกราคม 2552 ถึง ธันวาคม ปี 2553

รูปที่ 1 แสดงถึงความต้องการสินค้า Line C ในช่วงระยะเวลา 2 ปีที่ผ่านมาจะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเคลื่อนไหวในแนวนอน (Horizontal Movement) และมีลักษณะเป็นฤดูกาล คือมีการขึ้นลงของข้อมูลในแนวทิศทางที่เป็นระบบและซ้ำกัน ซึ่งจากข้อมูลสินค้าทั้ง 11 ประเภทจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบวินเตอร์ แล้วทำการทดสอบความถูกต้องโดยการคำนวณหาค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ดังตารางที่ 3

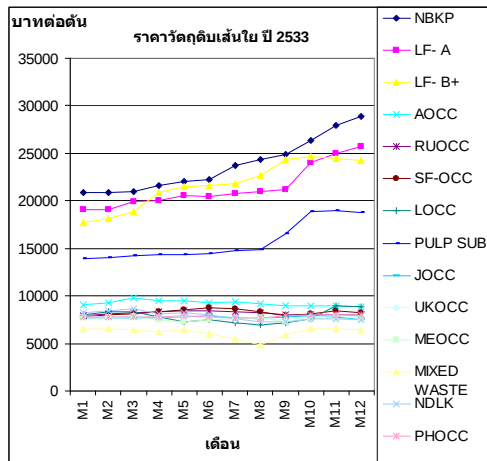
ตารางที่ 3 ผลการคำนวณ ค่าที่พยากรณ์ และค่า MAPE ของความต้องการสินค้า

Product	Demand			
	Alpha	Gamma	Delta	MAPE (%)
Line C	0.9	0.9	0.9	0.82
Line P	0.9	0.9	0.9	1.30
Line D	0.9	0.9	0.9	0.45
Mid P	0.9	0.9	0.9	0.17
Line W	0.9	0.9	0.9	0.66
Line T	0.9	0.9	0.9	0.40
Line B	0.9	0.9	0.9	1.72
Mid A	0.9	0.9	0.9	1.32
Line A	0.9	0.9	0.9	0.39
Line E	0.9	0.9	0.9	2.77
Mid T	0.9	0.9	0.9	0.05

จากตารางที่ 3 เทคนิคพยากรณ์วินเตอร์ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เฉลี่ยเท่ากับ 0.91% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธีนี้มีความเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ค่าความต้องการของลูกค้า

4.1.2 ราคาวัตถุดิบเส้นใย

ข้อมูลของราคาวัตถุดิบเส้นใยช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี 2553 พบว่า ส่วนใหญ่มีลักษณะอยู่ในแนวระดับ (Horizontal Pattern) แต่มีเพียง 3 ชนิดที่มีรูปแบบเป็นแนวโน้ม คือ เชื้อ NBKP, LF-A และ LF- B+ ที่มีราคาเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวโน้มของราคาวัตถุดิบในช่วงเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี 2553

จากลักษณะของข้อมูลราคาวัตถุดิบทั้งหมด จึงได้เลือกเทคนิคการพยากรณ์ 2 วิธี คือ วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลและวิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลมีพฤติกรรมของแนวโน้ม พบว่า

1. วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล เหมาะสมกับการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ AOCC, RUOCC, SF-OCC, LOCC, PULP SUB, JOCC, UKOCC, MEOCC, MIXED WASTE, NDLK, PHOCC โดยมี MAPE เฉลี่ยเท่ากับ 2.51%

2. วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลมีพฤติกรรมของแนวโน้ม เหมาะสมกับการพยากรณ์ราคาวัตถุดิบ NBKP, LF-A, LF-B+ โดยมี MAPE เฉลี่ยเท่ากับ 2.33%

จากนั้นทดสอบความถูกต้องโดยคำนวณหาค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2.33

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณค่า MAPE ของราคาวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	การปรับเรียบ				
	แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล		แบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีพฤติกรรมแบบแนวโน้ม		
	α	MAPE	α	β	MAPE
NBKP	0.9	3.0	0.90	0.14	2.0
LF- A	0.9	3.0	0.90	0.25	2.0
LF- B+	0.2	9.0	0.20	0.02	3.0
AOCC	0.8	1.6	0.89	0.01	1.8
RUOCC	0.9	1.4	0.90	0.90	1.7
SF-OCC	0.9	3.0	0.90	0.06	3.0
LOCC	0.9	5.0	0.90	0.07	5.0
PULP SUB	0.9	3.0	0.90	0.17	4.0
JOCC	0.9	1.4	0.90	0.10	1.5
UKOCC	0.6	1.2	0.64	0.23	1.3
MEOCC	0.3	1.8	0.33	0.28	1.9
MW	0.9	6.0	0.90	0.12	6.0
NDLK	0.9	2.6	0.90	0.15	2.9
PHOCC	0.9	0.7	0.90	0.12	0.8

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจเพื่อให้ได้ผลตอบแทนสูงสุด มีสมการวัตถุประสงค์คือราคาขายหักออกด้วยต้นทุนเส้นใย, ต้นทุนแปรรูปและต้นทุนสั่งซื้อวัตถุดิบ โดยกำหนดเงื่อนไขจากปัญหาจริงแบบจำลองออกแบบสำหรับการวางแผนระยะเวลา 3 เดือนสำหรับผลิตสินค้า 11 ประเภทโดยใช้เครื่องจักร 3 เครื่อง ที่มีอัตราการผลิตและต้นทุนในการแปรรูปสินค้าแตกต่างกันแต่ละเครื่องมีเวลาผลิต 576 ชั่วโมง วัตถุดิบประเภทเส้นใย 14 ชนิด และแต่ละชนิดมีค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อประมาณ 237,500 บาทต่อครั้งต่อเดือน มีงบประมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบเดือนละ 300 ล้านบาท และมีข้อกำหนดทางด้านคุณภาพคือเส้นใยแต่ละชนิดที่ผ่านกระบวนการผลิตจะมี

ปริมาณลดลง (yield loss) ซึ่งแต่ละประเภทจะมีค่า yield เป็นค่าคงที่ ดังนี้

การกำหนดดัชนี

$I = \{1,2,3\}$ เป็นเซตของเครื่องจักร

$J = \{1,2,\dots,11\}$ เป็นเซตของชนิดสินค้า

$K = \{1,2,\dots,14\}$ เป็นเซตของชนิดวัตถุดิบ

$T = \{1,2,3\}$ เป็นเซตของช่วงเวลาในการวางแผน

$Q = \{1,2,3\}$ เป็นเซตของประเภทของคุณภาพ

การกำหนดพารามิเตอร์

$D_{j,t}$ = ปริมาณสินค้า j ที่ลูกค้าต้องการ (ตัน) ในเดือน t

S_j = ราคาขายสินค้าของสินค้า j (บาทต่อตัน)

$RP_{k,t}$ = ราคาวัตถุดิบ k ในเดือน t

$C_{i,j,t}$ = อัตราผลิตสินค้า j บนเครื่องจักร i ในเดือน t (ตันต่อชม.)

$FC_{i,j,t}$ = ต้นทุนการแปรรูปสินค้า j บนเครื่องจักร i ในเดือน t (บาทต่อตัน)

$R_{q,k}$ = คุณภาพประเภท q ของวัตถุดิบ k

$F_{q,j}$ = คุณภาพประเภท q ของสินค้า j

E_k = ประสิทธิภาพการเตรียมวัตถุดิบ k

$PSmax_{k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k มากสุดที่ผู้ขายนำมาขายในเดือน t

IC_t = งบประมาณในการซื้อรายเดือน (บาท)

$Imax_t$ = จำนวนวัตถุดิบที่เก็บไว้ในคลังวัตถุดิบ (ตัน)

M = ค่าคงที่ที่กำหนดให้เท่ากับ 1,000,000

OC = ค่าสั่งซื้อเฉลี่ยเท่ากับ 237,000 บาท

ตัวแปรตัดสินใจ

$X_{i,j,t}$ = เวลาในการผลิตสินค้า j บนเครื่องจักร i ในเดือน t (ชั่วโมง)

$Y_{k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k ที่ซื้อมาในเดือน t (ตัน)

$P_{j,k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k ที่ผ่านการเตรียมเชื้อเพื่อนำมาผลิตสินค้า j ที่ในเดือน t (ตัน)

$I_{k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k ในคลังในเดือน t (ตัน)

$ST_{k,t}$ = ปริมาณวัตถุดิบ k ก่อนเตรียมวัตถุดิบเดือน t (ตัน)

$B_{k,t} = \begin{cases} 1 & \text{มีการสั่งซื้อวัตถุดิบ } k \text{ ใน เดือน } t \\ 0 & \text{ไม่มีการสั่งซื้อวัตถุดิบ } k \text{ เดือน } t \end{cases}$

Objective function

$$\begin{aligned} MaxZ = & \sum_{t=1}^3 \sum_{j=1}^{11} \sum_{i=1}^3 (S_j \times C_{i,j,t} \times X_{i,j,t}) \\ & - \sum_{t=1}^3 \sum_{j=1}^{11} \sum_{i=1}^3 (C_{i,j,t} \times FC_{i,j,t} \times X_{i,j,t}) \\ & - \sum_{t=1}^3 \sum_{k=1}^{14} \sum_{j=1}^{11} P_{j,k,t} \times ST_{k,t} \\ & - \sum_{t=1}^3 \sum_{k=1}^{14} OC \times B_{k,t} \end{aligned} \quad (1)$$

ผลตอบแทนสูงสุดจากสมการที่ (1) ราคาขายสินค้าลบด้วยต้นทุนในการแปรรูปของกระดาษแต่ละชนิด ลบต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบแต่ละประเภทและลบค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบ

เงื่อนไขในการตัดสินใจประกอบด้วย

1. เงื่อนไขชั่วโมงการผลิต

เงื่อนไข (2) ระบุขีดจำกัดด้านเวลาที่จะผลิตสินค้าแต่ละชนิดบนเครื่องจักร ซึ่งเวลาในการผลิต 1 รอบของเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีเวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 576 ชั่วโมง

$$\sum_{j=1}^{11} X_{i,j,t} \leq 576 \quad \text{for } \forall_i \in I, \forall_t \in T \quad (2)$$

2. เงื่อนไขกำหนดปริมาณสินค้าให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า

เงื่อนไข (3) ระบุขีดจำกัดทางการกำหนด ปริมาณสินค้าให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า

$$\sum_{i=1}^3 (X_{i,j,t} \times C_{i,j,t}) \geq D_{j,t} \quad \text{for } \forall_j \in J, \forall_t \in T \quad (3)$$

3. เงื่อนไขการใช้เชื้อให้เหมาะสมกับการผลิต

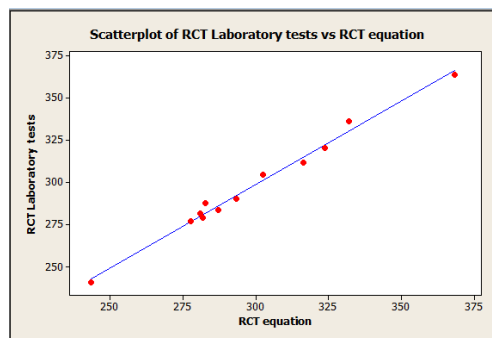
เงื่อนไข (4) ใช้กำหนดปริมาณเชื้อที่สะอาดเพื่อนำไปผลิตกระดาษให้มีความเหมาะสมกับปริมาณสินค้าที่ผลิต

$$\sum_{i=1}^3 (X_{i,j,t} \times C_{i,j,t}) = \sum_{k=1}^{14} P_{j,k,t} \quad \text{for } \forall_j \in J, \forall_t \in T \quad (4)$$

4. การเลือกวัตถุดิบโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น การสร้างข้อจำกัด (constraint) การผสมกับของวัตถุดิบในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้ผลรวมของปริมาณของวัตถุดิบคูณกับค่าคุณภาพของวัตถุดิบนั้นจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับคุณภาพของสินค้าชนิดนั้นที่จะนำมาผลิตคูณกับปริมาณผลิต ดังเงื่อนไขที่ (5)

$$\left(X_{i,j,t} \times C_{i,j,t} \times F_{q,j} \right) \leq \sum_{k=1}^{14} (P_{j,k,t} \times F_{q,k}) \quad \text{for } \forall_i \in I, \forall_j \in J, \forall_t \in T \text{ และ } \forall_q \in Q \quad (5)$$

ในการกำหนดข้อจำกัดการเลือกใช้เชื้อเพื่อทดสอบความถูกต้องของเงื่อนไข จึงได้ทำการผสมเชื้อในห้องทดลองเพื่อหาค่าคุณสมบัติคุณภาพทั้ง 3 ประเภทของการผสมเชื้อที่ละชนิดจนครบ 14 ชนิด โดยทำการทดลอง 4 ครั้ง เช่นครั้งที่ 1 ผสมเชื้อจำนวน 6 ชนิดแล้วเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติทั้ง 3 ที่คำนวณได้จากสมการในสัดส่วนเดียวกับการผสมเชื้อในห้องทดลอง จากนั้นนำค่าคุณสมบัติทั้ง 3 จากการทดลองมาคำนวณความถดถอยและสหสัมพันธ์อย่างง่าย เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของเงื่อนไขในการเลือกใช้เชื้อ โดยกำหนดแกนให้ X คือค่าที่คำนวณได้จากสมการ และแกน Y คือค่าที่ได้จากการผสมเชื้อในห้องทดลอง



รูปที่ 3 ข้อมูล Correlation Analysis การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองในห้องทดลอง และการคำนวณจากสมการ

จากรูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของสมการขีดจำกัดในการเลือกใช้เชื้อกับค่าคุณภาพทั้ง 3 พบว่าค่า RCT มีค่า $r^2 = 0.989$ ค่า CMT มีค่า $r^2 = 0.993$ และค่า Burst Strength มีค่า $r^2 = 0.999$ ซึ่งค่าคุณภาพทั้ง 3 มีค่าเข้าใกล้ 1 สามารถสรุปได้ว่าการคำนวณตามเงื่อนไขมีความแม่นยำเทียบเท่าการทดสอบคุณภาพเชื้อในห้องทดลอง สามารถนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้

5. ประสิทธิภาพกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

เงื่อนไขที่ (6) เนื่องจากเส้นใยแต่ละชนิดมีสิ่งเจือปนมาไม่เท่ากันซึ่งในกระบวนการนำสิ่งเจือปนออกทำให้ปริมาณเชื้อที่นำไปผลิตกระดาษมีปริมาณลดลง (Yield Loss)

$$\frac{1}{E_k} \left(\sum_{j=1}^{11} P_{j,k,t} \right) = ST_{k,t} \quad \text{for } \forall_k \in K, \forall_t \in T \quad (6)$$

6. การเลือกซื้อวัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตรายเดือน

เงื่อนไขที่ (6) ปริมาณวัตถุดิบที่ซื้อและวัตถุดิบคงค้างในเดือนก่อนหน้าจะต้องเท่ากับวัตถุดิบที่นำไปใช้ก่อนผ่านภาพกระบวนการเตรียมวัตถุดิบรวมกับวัตถุดิบที่รับเก็บเข้าคลังสำหรับใช้ในเดือนถัดไป

$$I_{k,t-1} + Y_{k,t} = ST_{k,t} + I_{k,t} \quad \text{for } \forall_k \in K, \forall_t \in T \quad (7)$$

7. การกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบให้อยู่ภายใต้

งบประมาณรายเดือน

เงื่อนไขที่ (8) หน่วยงานจัดซื้อมีงบประมาณในการซื้อวัตถุดิบ 300 ล้านบาทต่อเดือน จึงเป็นขีดจำกัดสำหรับกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบไม่ให้เกินงบประมาณ

$$\sum_{k=1}^{14} (Y_{k,t} \times PR_{k,t}) \leq IC_t \quad \text{for } \forall_t \in T \quad (8)$$

8. การกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบภายใต้จำนวนที่จำกัด

เงื่อนไขที่ (9) ปริมาณเส้นใยที่บริษัทสามารถซื้อได้จากผู้ขายเศษกระดาษ

$$Y_{k,t} \leq PS_{\max_{k,t}} \quad \text{for } \forall_k \in K, \forall_t \in T \quad (9)$$

9. การกำหนดปริมาณการเก็บวัตถุดิบภายใต้การเก็บในที่จำกัด

เงื่อนไขที่ (10) ปริมาณในการเก็บเศษกระดาษเข้าคลังวัตถุดิบ

$$\sum_{k=1}^{14} I_{k,t} \leq Im_{\max_t} \quad \text{for } \forall_t \in T \quad (10)$$

10. การกำหนดปริมาณการซื้อวัตถุดิบให้อยู่ภายใต้งบประมาณรายเดือน

การตัดสินใจซื้อวัตถุดิบ ในการซื้อขายสินค้าในธุรกิจทั่วไปจะมีค่าใช้จ่ายในการทำธุรกรรมโดยคิดค่า ใช้จ่ายในการซื้อ (Import Letter of Credit) และค่าประกันภัยในการส่งสินค้า เงื่อนไขที่ (11) จะเป็นการกำหนดให้เมื่อเลือกซื้อวัตถุดิบแต่ละชนิดจะต้องจ่ายค่าใช้จ่ายในการทำธุรกรรมและค่าประกันภัย (B=1) และเมื่อไม่มีการซื้อวัตถุดิบชนิดนั้นจะไม่ต้องจ่ายค่าทำธุรกรรมและค่าประกันภัย (B=0)

$$Y_{k,t} \leq M(B_{k,t}) \quad \text{for } \forall_k \in K, \forall_t \in T \quad (11)$$

11. การตัดสินใจซื้อวัตถุดิบ

เงื่อนไขที่ (12) - (17) กำหนดขอบเขตตัวแปรตัดสินใจทั้งหมด

$$X_{i,j,t} \geq 0 \quad \text{for } \forall_i, \forall_k, \forall_t \quad (12)$$

$$Y_{k,t} \geq 0 \quad \text{for } \forall_k, \forall_t \quad (13)$$

$$P_{j,k,t} \geq 0 \quad \text{for } \forall_j, \forall_k, \forall_t \quad (14)$$

$$I_{k,t} \geq 0 \quad \text{for } \forall_k, \forall_t \quad (15)$$

$$ST_{k,t} \geq 0 \quad \text{for } \forall_k, \forall_t \quad (16)$$

$$B_{k,t} \in (0,1) \quad \text{for } \forall_k, \forall_t \quad (17)$$

5. สรุปผลงานวิจัย

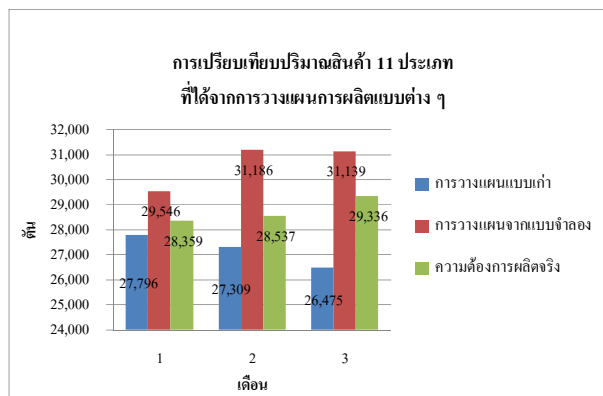
จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตและการเลือกวัตถุดิบสำหรับกระดาษบรรจุภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด ในส่วนขั้นตอนที่หนึ่งจะใช้การพยากรณ์เพื่อให้ข้อมูลนำเข้ามีความแม่นยำ ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างเพื่อวางแผนการผลิตและเลือกซื้อวัตถุดิบและกำหนดปริมาณในการใช้วัตถุดิบเพื่อให้ได้กำไรสูงสุด

5.1 ผลจากแบบพยากรณ์

ความต้องการของลูกค้าในแต่ละเดือน มีลักษณะเป็นฤดูกาลแบบรายปี ซึ่งเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดคือ การพยากรณ์แบบฤดูกาลแบบวินเตอร์ ค่า MAPE คือ 0.91% ส่วนราคาของวัตถุดิบใช้เทคนิคการพยากรณ์ 2 เทคนิค โดยวัตถุดิบส่วนใหญ่ใช้การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลในการพยากรณ์ราคา ค่า MAPE คือ 2.51% วัตถุดิบ 3 ชนิด ที่ใช้วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลแบบแนวโน้มมนั้นคือวัตถุดิบชนิด NBKP, LF- A และ LF- B+ ค่า MAPE คือ 2.33%

5.2 การนำเข้าข้อมูลในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลจากการนำข้อมูลจากการพยากรณ์ความต้องการสินค้าและราคาวัตถุดิบเส้นใย มาใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนการผลิต โดยได้เปรียบเทียบกับ การวางแผนการผลิตจริงและต้นทุนที่ผลิตจริง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำผลกำไร ได้สูงกว่าการวางแผนแบบเดิม 14.36 %



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณสินค้ารวม 11 ประเภทจากการวางแผนการผลิตในแบบต่างๆ

รูปที่ 4 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างการวางแผนการผลิตแบบเก่าและการวางแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าปริมาณสินค้าที่ได้จากการวางแผนจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 เดือนมีปริมาณมากกว่าปริมาณสินค้าที่ได้จากการวางแผนแบบเก่า และยังให้ปริมาณมากกว่า ความต้องการในการผลิตจริงอีกด้วย เช่นในเดือนที่ 1 พบว่า การวางแผนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถวางแผนการผลิตได้ถึง 29,546 ตัน โดยให้กำไรสุทธิเท่ากับ 143,865,982 บาท ซึ่งมีปริมาณมากกว่าการวางแผนการผลิตแบบเก่าและความต้องการผลิตจริง 1,750 ตัน และ 1,187 ตันตามลำดับ

เดือนที่ 2 การวางแผนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถวางแผนการผลิตได้ถึง 31,186 ตัน โดยให้กำไรสุทธิเท่ากับ 164,372,542 บาท ซึ่งมีปริมาณมากกว่าการวางแผนการผลิตแบบเก่าและความต้องการผลิตจริง 3,877 ตัน และ 2,649 ตัน ตามลำดับ

เดือนที่ 3 จะเห็นได้ว่าการวางแผนแบบเก่าสามารถวางแผนได้ 26,475 ตัน โดยมีกำไรสุทธิเท่ากับ 141,931,010 บาท แต่ความเป็นจริงมีความต้องการการผลิตเท่ากับ 29,336 ตัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการวางแผนแบบเก่าสามารถวางแผนการผลิตได้น้อยกว่าความต้องการผลิตจริง 2,861 ตัน เมื่อได้ทดลองวางแผนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถวางแผนการผลิตได้ถึง 31,139 ตัน โดยให้กำไรสุทธิเท่ากับ 165,157,243 บาท ซึ่งการวางแผนโดยใช้แบบจำลอง ๆ นี้ มี

ปริมาณมากกว่าการวางแผนการผลิตแบบเก่าและความต้องการจริง 4,664 ตัน และ 1,803 ตัน ตามลำดับ

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 แบบจำลอง ๆ ที่สร้างอาจจะเกิดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) ที่ความต้องการมากกว่ากำลังการผลิตและทั้งปริมาณในการซื้อวัตถุดิบน้อยกว่าที่จะซื้อวัตถุดิบมาผลิตให้เท่ากับความต้องการ ในอนาคตสามารถพัฒนาแบบจำลอง ๆ โดยใช้ แบบจำลองการโปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming Model) โดยกำหนดงบประมาณเป็น Goal แทนที่จะเป็นเงื่อนไข

6.2 ความต้องการจริงคือความต้องการที่เกิดขึ้นจริงในเดิมนั้นๆ ผลการวางแผนจากแบบจำลองจะมีการผลิตที่มากกว่าความต้องการจริง ซึ่งส่วนที่มากกว่าจะเป็นจุดที่ฝ่ายขายสามารถนำไปขายเพื่อเพิ่มผลกำไรได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสมบูรณ์มิได้ถ้าหากขาดร่วมมือจากทุกแผนกทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการให้ลุล่วงเป็นอย่างดี สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัว รวมถึงเพื่อนทุกคนที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนตลอดมา ความดีและประโยชน์ในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ข้าพเจ้าขอยกให้กับผู้ที่ได้กล่าวนามและมีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] S.S. Chauhan et al., "Roll assortment optimization in a paper mill: An integer programming approach", Computers & Operations Research 35, 2008, pp. 614–627.
- [2] พิระพล เก้าเอียน, "การปรับปรุงการวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา: การจัดซื้อวัตถุดิบจากต่างประเทศในอุตสาหกรรมกระดาษ", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549

- [3] ขศนันท์ ศุภพิบูลย์กุล และ ธนัญญา วสุศรี, “การพยากรณ์และการวางแผนการผลิตรวม กรณีศึกษา: บริษัทผู้ผลิตน้ำมันถั่วเหลือง”, การประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, ครั้งที่ 9, 2552
- [4] K. Nilsson and M. Soderstrom, “Optimizing The Operating Strategy of A Pulp and Paper Mill Using The Mind Method”, Energy Vol.17, No.10, 1992, pp. 945-953.
- [5] R.K. Pati et al., “Economic analysis of paper recycling vis-a-vis wood as raw material”, Int. J. Production Economics 103, 2006, pp. 489–508.
- [6] Ulrich Derigs, and Stefan Friederichs, “Decision Support for Flow Management in a Recycling Network”, 42nd Hawaii International Conference on System Sciences, 2009, pp. 1-9.
- [7] ทวีพร ขาเจียมเจน และ อรรถกร เก่งพล, “การหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์: กรณีศึกษาการวางแผนการผลิตบริษัทในอุตสาหกรรมกระดาษ”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 17, ฉบับที่ 3