The Journal of Applied Science **Vol. 14 No. 2:40-57 [2015]**
วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์
ISSN 1513-7805 Printed in Thailand

Research Article

การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตโดยใช้แนวคิดผลิตภาพสีเขียว : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

Wastes reduction in production process using green productivity : a case study in rice noodle factory

มงคล สายขุนทด และ ปณิธาน พีรพัฒนา*

Mongkol Saikhunthod and Panitarn Peerapattana *

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen

***E-mail**: panpee@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยแนวคิดผลิตภาพสีเขียว เพื่อลดปริมาณข้าวเจ้าที่ละลายทิ้งไปกับน้ำล้างข้าวและลดปริมาณเศษก๋วยเตี๋ยวจากการตัดซอย การลดปริมาณข้าวเจ้าที่ละลายทิ้งไปกับน้ำล้างนั้น แนวทางแรกเป็นการเติมน้ำแข็งลงในน้ำล้างข้าวเพื่อลดอุณหภูมิน้ำเพื่อดูผลว่าหากอุณหภูมิลดลงข้าวเจ้าจะละลายกับน้ำน้อยลงหรือไม่ แนวทางที่สองได้เสนอให้เปลี่ยนเครื่องล้างข้าวจากแบบเดิมที่ใบกวนจะตีเมล็ดข้าวเจ้าจนแตกซึ่งทำให้แป้งในข้าวเจ้าละลายไปกับน้ำล้างมากขึ้นไปเป็นแบบลมกวนแทน ส่วนการที่มีเศษก๋วยเตี๋ยวมากจากการตัดซอยเส้น ได้เสนอให้ลับใบมีดเครื่องตัดจากทุก 10 วันเป็นทุก 5 วัน จากนั้นหาค่าดัชนีผลิตภาพสีเขียว (green productivity index) และ ค่าสัดส่วนผลิตภาพสีเขียว (green productivity ratio) และใช้ค่ารายการผลิตภาพสีเขียว (green productivity portfolio) ของทุกแนวทาง ในการพิจารณาทางเลือกในการปรับปรุงที่ดีที่สุด ทั้งด้านผลิตภาพและด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งพบว่าหากเปลี่ยนไปใช้เครื่องล้างข้าวแบบลมกวนจะได้ผลดีกว่าทางเลือกอื่นๆ

คำสำคัญ: การลดความสูญเปล่า โรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ผลิตภาพสีเขียว

Abstract

The objective of this study was to decrease wastes in the rice noodle production process by using the green productivity concept in order to reduce the rice starch leached out from rice-soaking water and to decrease the scrap of noodle from cutting process. To reduce the leached out rice starch, the first alternative was to add some ice into the rice wash tank to lessen the water temperature. The second alternative was suggesting to change the rice wash tank from the vane type to the air strir type. While, sharpening the blade of the cutting machine every 5 days instead of every 10 days was suggested in order to reduce the noodle scrap. Then calculating the Green Productivity Index, Green Productivity Ratio and Green Productivity portfolio of all alternatives for evaluating the best in both productivity and environmental impact. It was found that the use of air strir type rice wash tank had more efficiency than other methods.

Keywords: wastes reduction, rice noodle factory, green productivity

บทนำ

ข้าวนับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย แต่ปัจจุบันสถานการณ์ข้าวของไทยกำลังเผชิญความท้าทายเป็นอย่างมากทางด้านราคาส่งออกข้าวที่สูงกว่าคู่แข่ง ส่งผลต่อปริมาณการส่งออกข้าวของไทยที่ลดลงตั้งแต่ปี 2555 ทำให้ไทยต้องปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์การค้าข้าวโลกมากขึ้น ดังนั้นการต่อยอดให้กับข้าวไทยเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตข้าวสู่ "ผลิตภัณฑ์แปรรูป" นับเป็นทางเลือกที่จะทำให้ไทยมีจุดแข็งในการสร้างความแตกต่างเพื่อเพิ่มโอกาสในการส่งออกท่ามกลางการแข่งขันในตลาดโลกที่มีแนวโน้มรุนแรงขึ้น (ข่าวสด, 2557) ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากข้าวเจ้าและเป็นที่นิยมรับประทานกันเป็นอย่างมากคือ “เส้นก๋วยเตี๋ยว” ซึ่งเป็นการนำข้าวเจ้ามาล้างน้ำ โม่ให้ได้น้ำแป้ง นึ่งให้สุกเป็นแผ่น อบให้แห้งหมาดๆ ตัดเป็นเส้น แล้วอบแห้ง ก่อนนำมาประกอบอาหารต่างๆ เช่น ก๋วยเตี๋ยวน้ำหรือแห้ง ผัดหมี่ เย็นตาโฟ เป็นต้น โดยที่ “เส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมปรุง” เป็นสินค้าส่งออกอันดับหนึ่งในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวของไทยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 31 ของมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์จากข้าวของไทยที่มีแนวโน้มการเติบโตที่ดีตามพฤติกรรมผู้บริโภคในตลาดโลกที่มีการบริโภคผลิตภัณฑ์เส้นเป็นส่วนประกอบในสารพัดเมนูอาหารสำหรับในปี 2556 ไทยส่งออกเส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมปรุงมูลค่า 4,941 ล้านบาทหรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.7 แบ่งเป็นการส่งออกเส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมปรุง 4,164 ล้านบาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.8 ตลาดส่งออกสำคัญคือ กัมพูชา สหรัฐอเมริกา สปป.ลาว เป็นต้น (ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, 2557) แต่ถ้าหากภาคอุตสาหกรรมมุ่งเน้นแค่ด้านการผลิตแต่เพียงอย่างเดียวย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแน่นอน ยกตัวอย่างเช่น การใช้วัตถุดิบที่เป็นสารเคมีอันตราย การปล่อยก๊าซมลพิษออกมา การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลืองเกินไป

ดังนั้นเพื่อแสดงความรับผิดชอบต่อสังคม ภาคอุตสาหกรรมจึงควรให้ความสนใจด้านการรักษาสิ่งแวดล้อมด้วย โดยในปัจจุบันนั้นมีแนวคิดหนึ่งที่เรียกว่าผลิตภาพสีเขียวหรือ Green Productivity (GP) ที่มุ่งเน้นทั้งทางด้านการผลิตสินค้าให้มีผลิตภาพสูงควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อมโดยลดการใช้ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต โดยประยุกต์ใช้หลักการต่าง เช่น หลัก 4Rs ที่ประกอบด้วย Reduce Reuse Recycle Recovery เป็นต้น

งานวิจัยต่าง ๆ ด้านผลิตภาพสีเขียวนั้นมีผู้ทำการวิจัยไว้หลายฉบับ เช่น การเสนอวิธีคำนวณตัวชี้วัดผลิตภาพสีเขียวคือ Green Productivity Index (GPI) โดยในด้านผลิตภาพ (productivity) สามารถคำนวณได้หลายวิธี เช่น จำนวนผลผลิต/จำนวนวัตถุดิบ ราคาขายต่อต้นทุน กำไรต่อต้นทุน ยอดขายทั้งหมดต่อปี กำไรทั้งหมดต่อปี เป็นต้น ส่วนการคิดค่าผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมหรือ Environmental Impact (EI) สามารถคิดได้จากหลายวิธี เช่น วัฏจักรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ วัฏจักรพลังงาน การใช้น้ำ ปริมาณการใช้วัตถุดิบทั้งหมด หรือการใช้พื้นที่ เป็นต้น จากนั้นเสนอวิธีในการพิจารณาว่าวิธีที่จะใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตนั้นดีกว่าวิธีการเดิมที่ใช้อยู่หรือไม่ด้วยค่า Green Productivity Ratio (GPR) คือการนำค่า GPI ของกระบวนการผลิตใหม่ที่จะใช้มาเทียบกับค่า GPI ของกระบวนการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อีกทั้งเสนอวิธีเลือกโครงการในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานด้วยเครื่องมือ Green Productivity Portfolio (GP portfolio) คือการแยกค่า GPR ออกเป็นด้านผลิตภาพและด้านสิ่งแวดล้อม (Hurและคณะ, 2004) ต่อมามีผู้เสนอให้คิดค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรมจากสูตร Environmental Impact = 0.17SWG + 0.5GWG + 0.33WC เมื่อ Solid Waste Generation (SWG) คือการเกิดของเสียที่เป็นของแข็ง Gas Waste Generation (GWG) คือการเกิดของเสียที่เป็นก๊าซ และ Water Consumption (WC) คือปริมาณการใช้น้ำและค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรมาจากการถ่วงน้ำหนักของตัวบ่งชี้ (indicator) 6 ตัวที่เลือกจาก 21 ตัวในรายงาน Environmental Sustainability Index (ESI) ฉบับปี ค.ศ.2005 แล้วแยกตามสถานะของของเสียคือของแข็ง ก๊าซ และของเหลว (Mohan Das Gandhiและคณะ, 2006) ต่อมามีผู้ประยุกต์ใช้แนวคิดการเพิ่มผลิตภาพสีเขียวในอุตสาหกรรมยาง ซึ่งได้ปรับปรุงสูตรการคิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ Mohan Das Gandhiและคณะ (2006) ย้อนรวมไปถึงขั้นตอนการปลูกต้นยางด้วยด้วย โดยได้เพิ่มตัวบ่งชี้ (indicator) ด้านความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้พื้นที่เพาะปลูกเข้าไปในการคำนวณด้วย ทำให้มีตัวแปรเพิ่มขึ้นจากสูตรของ Mohan Das Gandhi และคณะ (2006) ที่ใช้เฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีตัวแปรเพียง 3 ตัว โดยตัวแปรที่ 4 ที่เพิ่มขึ้นคือการเกิดผลกระทบต่อที่ดิน หรือ Land Waste Generation (LWG) และถ่วงน้ำหนักใหม่จนได้สูตรสำหรับค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการเกษตรกรรมถึงการผลิตในโรงงานเป็น Environmental Impact = 0.125SWG + 0.375GWG + 0.25WC + 0.25LWG (Marimin และคณะ, 2014) โดยในประเทศอินโดนีเซียได้มีผู้ใช้หลักการผลิตภาพสีเขียวในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกาวโดยวัดผลการปรับปรุงกระบวนการด้วยค่าดัชนีชี้วัดผลิตภาพสีเขียวหรือ GPI และค่าอัตราส่วนผลิตภาพสีเขียว หรือ GPR (Singgih และคณะ, 2010) สำหรับในประเทศไทยมีงานวิจัยเกี่ยวกับผลิต

ภาพสิเขียวบ้างแล้ว เช่น งานวิจัยในโรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวแห่งหนึ่งที่มีการใช้น้ำในการล้างข้าวสูงถึงร้อยละ 25 จึงปรับปรุงกระบวนการโดยนำน้ำในการล้างข้าวครั้งที่ 2 ซึ่งสกปรกน้อยกลับมาใช้ซ้ำคือใช้ล้างข้าวครั้งที่ 1 ของรอบการล้างข้าวถัดไป และยังมีปัญหาที่ต้องเอาน้ำไปล้างพื้นที่สกปรกเพราะในกระบวนการผลิตไม่มีถาดรองรับของเสีย ดังนั้นเมื่อของเสียตกลงพื้น จึงต้องมีการล้างบ่อยครั้ง จึงได้จัดทำอุปกรณ์รองรับของเสียที่เปียกชื้นไม่ให้ตกลงพื้น จากผลการทดสอบที่หน้างานพบว่าโรงงานจะสามารถประหยัดค่าน้ำได้ประมาณ 51,400 บาทต่อเดือน (ณัฐพล, 2546) และยังมีงานวิจัยที่เสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเพาะปลูกพริกในจังหวัดหนองคายและขอนแก่นเปรียบเทียบกันตามลักษณะความแตกต่างในการเพาะปลูก โดยใช้ค่า GPI กับค่า GPR มาคำนวณเป็น GP Portfolio เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกแนวทางการปรับปรุงกระบวนการเพาะปลูกให้ได้ผลดีขึ้นและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (อมฤต, 2556)

โรงงานเส้นก๋วยเตี๋ยวกรณีศึกษาอยู่ใน จ.นครราชสีมา ก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2550 มีปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบจากกระบวนการล้างข้าวเจ้าด้วยเครื่องล้างข้าวแบบใบกวน เพราะพบว่าน้ำล้างข้าวเจ้าที่ทิ้งจากเครื่องล้างข้าวมีสีขาวขุ่นและมีการสูญเสียเป็นเศษเส้นก๋วยเตี๋ยวในกระบวนการตัดซอยเส้น ซึ่งทำให้เกิดความสูญเปล่าและเป็นภาระในการบำบัดน้ำทิ้ง ทำให้ทางโรงงานมีความต้องการที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตทั้งในด้านผลิตภาพและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยแนวคิดผลิตภาพสีเขียวโดยมุ่งเน้นที่การลดการละลายของเมล็ดข้าวเจ้าในกระบวนการล้างข้าวด้วยเครื่องล้างข้าวและลดปริมาณเศษก๋วยเตี๋ยวจากกระบวนการตัดซอยเส้นก๋วยเตี๋ยว แล้ววัดผลการปรับปรุงการผลิตด้วยค่า GPI กับ GPR และใช้ GP Portfolio ในการช่วยตัดสินใจในการเลือกแนวทางปรับปรุงกระบวนการผลิตที่เหมาะสม

วิธีการทดลอง

1. เก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง วัตถุดิบ เพื่อเลือกปรับปรุงด้านที่มีปริมาณการใช้เกิน จากนั้นศึกษาเกี่ยวกับผลิตภาพสีเขียวทั้งด้าน เทคนิค และตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในกิจการต่างๆ

2. เก็บข้อมูลการผลิตซึ่งด้านผลิตภาพจะใช้ราคาขายต่อต้นทุน โดยใช้วิธีการจำแนกต้นทุนตามลักษณะส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าใช้จ่ายในการผลิต ใช้การคิดต้นทุนที่ดัดแปลงจากสูตรในงานวิจัยของกันทิมา (2550) โดยต้นทุนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวของโรงงานกรณีศึกษาคำนวณตามสมการที่ (1)

ต้นทุนการผลิต = ค่าข้าวเจ้า + ค่าแรงพนักงาน + ค่าน้ำมันพืช + ค่าแกลบ + ค่าน้ำประปาหมู่บ้าน + ค่าไฟฟ้า + ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร + ค่าใช้จ่ายอื่นๆแล้วแต่กรณี เช่น ค่าน้ำแข็ง –รายได้จากการขายเศษก๋วยเตี๋ยว (1)

ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคิดจากสมการที่ (2)

$$\text{Environment Impact (EI)} = 0.17\text{SWG} + 0.5\text{GWG} + 0.33\text{WC} \quad (2)$$

เมื่อ SWG คือปริมาณเศษเส้นก๋วยเตี๋ยวกับปริมาณแป้งที่ละลายเป็นสารแขวนลอยหรือ Suspended Solid (SS) ทิ้งไปกับน้ำล้างข้าวเจ้า GWG คือก๊าซมลพิษจากการเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิง ก๊าซจากการผลิตไฟฟ้าและการผลิตน้ำประปา WC คือปริมาณการใช้น้ำในการผลิตตามสูตรของ Mohan Das Gandhiและคณะ (2006)

3. คำนวณค่า GPI หรือดัชนีชี้วัดผลิตภาพสีเขียวซึ่งเป็นการหาจากค่าผลิตภาพหารด้วยค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยค่าผลิตภาพจะคิด 2 แบบคือ แบบราคาขายต่อต้นทุนหรือ Selling Price (SP) / Production Cost (PC) และแบบปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณวัตถุดิบหรือ Output / Input

4. เสนอรูปแบบการปรับปรุงกระบวนการโดยประยุกต์ใช้หลักการผลิตภาพสีเขียวและทดลองปรับปรุงกระบวนการคือ

4.1 หาปริมาณข้าวเจ้าที่ละลายเป็นแป้งทิ้งไปกับน้ำล้างข้าวเจ้า โดยเก็บตัวอย่างน้ำล้างข้าวเจ้าจากเครื่องล้างไปทดสอบหาค่าความเข้มข้นของแป้งข้าวเจ้าในน้ำที่เป็นของแข็งแขวนลอย (suspended solid) และที่ละลายไปกับน้ำ (dissolved solid) จากนั้นนำค่า SS กับ DS ของน้ำล้างข้าวเจ้ามาคิดเป็นปริมาณข้าวเจ้าที่ละลายทิ้งไปกับน้ำล้างด้วยสมการจากกระทรวงอุตสาหกรรม (2553) คือสมการที่ (3) และ (4)

$$\text{ความเข้มข้นของแป้งสูญเสีย} = (DS+SS)_{\text{น้ำล้างข้าวเจ้า}} - DS_{\text{น้ำใช้}} \quad (3)$$

$$\text{ปริมาณแป้งที่สูญเสีย(กก.)} = \text{ความเข้มข้น (กก. / ลิตร)} \bullet \text{ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อถัง (ลิตร)} \quad (4)$$

โดยในที่นี้น้ำใช้หมายถึงน้ำประปาหมู่บ้านที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา

4.2 ทดลองลดอุณหภูมิของน้ำล้างข้าวเจ้าซึ่งจะทำให้มีการละลายของแป้งข้าวเจ้าน้อยลงเพราะน้ำล้างยิ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าก็จะมีพลังงานความร้อนไปสั่นสะเทือนโมเลกุลแป้งได้มากกว่าน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าทำให้แป้งหลุดออกจากเมล็ดข้าวได้ง่ายขึ้น (ศุภนุชและคณะ, 2553) โดยการเติมน้ำแข็งลงไปในน้ำล้างข้าวเจ้าครั้งที่ 1 กับ 2 ครั้งละ 100 กิโลกรัมแล้วเก็บตัวอย่างน้ำไปหาค่า SS และ DS เพื่อคำนวณหาปริมาณแป้งข้าวเจ้าที่ละลายทิ้งไปในแต่ละครั้งเปรียบเทียบกันระหว่างการล้างข้าวเจ้าที่น้ำอยู่ในอุณหภูมิห้องและที่น้ำอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าปกติจากการเติมน้ำแข็ง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในสายการผลิตจริงเพียง 1 ครั้ง อันเนื่องมาจากโรงงานเดินเครื่องผลิตตลอดวันการหยุดสายการผลิตทำได้ยากเพราะจะกระทบต่อการดำเนินงานของโรงงาน

4.3 ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2546) มาคำนวณค่า GPI ของทางเลือกในการปรับปรุงด้วยการเปลี่ยนจากการล้างข้าวเจ้าด้วยเครื่องล้างแบบใบกวนมาเป็นเครื่องล้างแบบลมกวน โดยค่าเฉลี่ยพบว่าจะลดการละลายของแป้งได้ 59% เพราะไม่มีใบกวนตีเมล็ดข้าวให้แตก ลดการใช้น้ำลงได้ 34% แต่ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น 120%เพราะต้องล้างนานขึ้น โดยต้องลงทุน 83,380 บาท และจากรายงานมาตรฐานอายุการใช้งานเครื่องจักรผลิตอาหารของสมาคมผู้ประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทยและสมาคมนักประเมินราคาอิสระไทย (2554) ได้กำหนดไว้ว่าเครื่องจักรผลิตอาหารที่ผลิตในประเทศไทยจะมีอายุการใช้งานนาน 15 ปี

4.4 เสนอให้ลับใบมีดเครื่องตัดทุก 5 วันจากเดิมที่ทำทุก 10 วัน เพื่อให้มีดมีความคมสม่ำเสมอตัดเส้นได้ดีขึ้นและมีเศษเส้นก๋วยเตี๋ยวที่แตกหักน้อยลง โดยการทดสอบได้แบ่งช่วงเวลาการใช้งานใบมีดเครื่องตัดเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงวันที่ 1-5 หลังการลับใบมีดและช่วงวันที่ 6-10 หลังลับใบมีด แล้วเก็บข้อมูลปริมาณเศษเส้นก๋วยเตี๋ยวจากกระบวนการตัดซอยทั้ง 2 ช่วง ก่อนนำมาศึกษาความแปรปรวนและค่าเฉลี่ย โดยทดสอบด้วยหลักการทางสถิติคือ pair t-test และคำนวณผลด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 17 ซึ่งหากการใช้งานทั้ง 2 ช่วงมีปริมาณเศษเส้นก๋วยเตี๋ยวที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจริง ก็จะเสนอให้มีการเพิ่มความถี่ในการลับใบมีดจากทุก 10 วันเป็นทุก 5 วันแทนเพื่อรักษาความคมของมีดเอาไว้ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปริมาณเศษก๋วยเตี๋ยวน้อยลง

5. คำนวณค่า GPI ของแนวทางในการปรับปรุงแบบต่างๆเมื่อคิดค่าผลิตภาพจากราคาขายต่อต้นทุน

6. คำนวณและนำเสนอการเลือกการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยค่า GPR และ GP Portfolio เมื่อคิดค่าผลิตภาพจากราคาขายต่อต้นทุน (SP/PC) โดยคำนวณจากสมการที่ (5) ที่มาจากงานวิจัยของ Hurและคณะ (2004)

$$GPR = GPI_{alt} / GPI_{cur} = ((SP_{alt} \cdot PC_{cur}) / (SP_{cur} \cdot PC_{alt})) \cdot (EI_{cur} / EI_{alt}) \quad (5)$$

เมื่อ GPI หรือ Green Productivity Index คือ ดัชนีชี้วัดผลิตภาพสีเขียว (ไม่มีหน่วย)
GPR หรือ Green Productivity Ratio คือ อัตราส่วนผลิตภาพสีเขียว (ไม่มีหน่วย)
EI หรือ Environmental Impact คือ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ไม่มีหน่วย)
SP หรือ Selling Price คือ ราคาขายต่อหน่วย (บาท)
PC หรือ Production Cost คือ ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)
alt หรือ Alternate คือ ทางเลือกในการปรับปรุง
Cur หรือ Current คือ สภาพปัจจุบัน

โดย GPI คือ ค่าที่แสดงดัชนีชี้วัดของกระบวนการที่รวมทั้งด้านผลิตภาพและสิ่งแวดล้อมในค่าเดียว
GPR คือ ค่าที่แสดงว่าการปรับปรุงกระบวนการใหม่ดีกว่าแบบปัจจุบันเมื่อมีค่ามากกว่า 1
GP Portfolio แบ่งออกเป็น 2 ค่าคือ

Productivity Ratio แสดงอัตราส่วนด้านผลิตภาพของกระบวนการใหม่กับปัจจุบันเท่ากับ $(SP_{alt} \cdot PC_{cur}) / (SP_{cur} \cdot PC_{alt})$ หากมากกว่า 1 แสดงว่ากระบวนการใหม่ดีกว่าปัจจุบัน

Green Ratio แสดงอัตราส่วนด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการใหม่กับปัจจุบันเท่ากับ (EI_{cur} / EI_{alt}) หากมากกว่า 1 แสดงว่ากระบวนการใหม่ดีกว่าแบบปัจจุบัน

7. คำนวณและนำเสนอการเลือกการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยค่า GPI GPR และ GP Portfolio เมื่อค่าผลิตภาพเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ต่อวันตามสมการที่ (6) จากงานวิจัยของ Hurและคณะ (2004)

$$GPR = GPI_{alt} / GPI_{cur} = ((OUTPUT_{alt} \cdot INPUT_{cur}) / (OUTPUT_{cur} \cdot INPUT_{alt})) \cdot (EI_{cur} / EI_{alt}) \quad (6)$$

เมื่อ EI หรือ Environmental Impact คือ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ไม่มีหน่วย)
OUTPUT คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อวัน (ตัน)
INPUT คือ ปริมาณวัตถุดิบ (ข้าวเจ้า) ต่อวัน (ตัน)
alt หรือ Alternate คือ ทางเลือกในการปรับปรุง
Cur หรือ Current คือ สภาพปัจจุบัน

โดยในกรณีนี้ GP Portfolio แบ่งออกเป็น 2 ค่าคือ

Productivity Ratio แสดงอัตราส่วนด้านผลิตภาพของกระบวนการใหม่กับปัจจุบันเท่ากับ $(OUTPUT_{alt} \cdot INPUT_{cur}) / (OUTPUT_{cur} \cdot INPUT_{alt})$ หากมากกว่า 1 แสดงว่ากระบวนการใหม่ดีกว่าปัจจุบัน

Green Ratio ที่แสดงอัตราส่วนด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการใหม่กับปัจจุบันเท่ากับ (EI_{cur} / EI_{alt}) หากมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ากระบวนการใหม่ดีกว่าปัจจุบัน

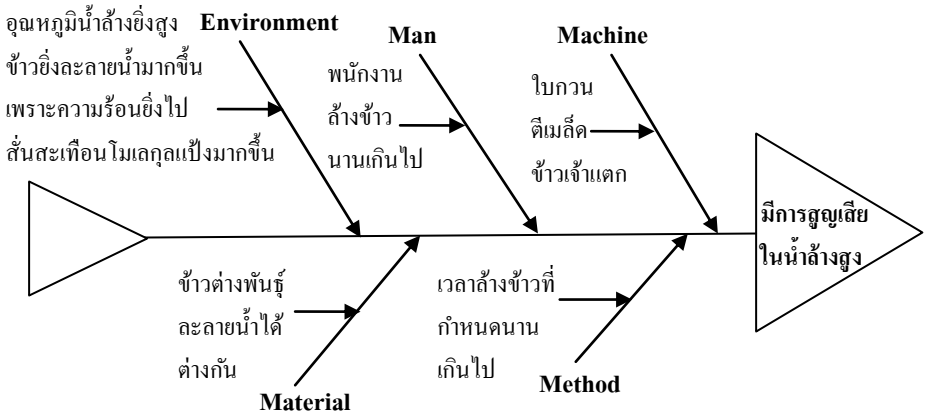
8. คำนวณและนำเสนอการเลือกการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยค่า GPI, GPR และ GP Portfolio เมื่อค่าน้ำเปลี่ยนจาก 5.5 บาทต่อ ลบม. (น้ำประปาหมู่บ้าน) เป็น 10 บาทต่อ ลบม. (น้ำประปาของรัฐวิสาหกิจ) และคิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตน้ำประปาเพิ่มเข้าไปในการคำนวณค่า Gas Waste Generation (GWG) จากเดิมคำนวณจากการเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงและการผลิตไฟฟ้าเท่านั้น

9. เปรียบเทียบและสรุปผลการดำเนินงาน

ผลการทดลอง

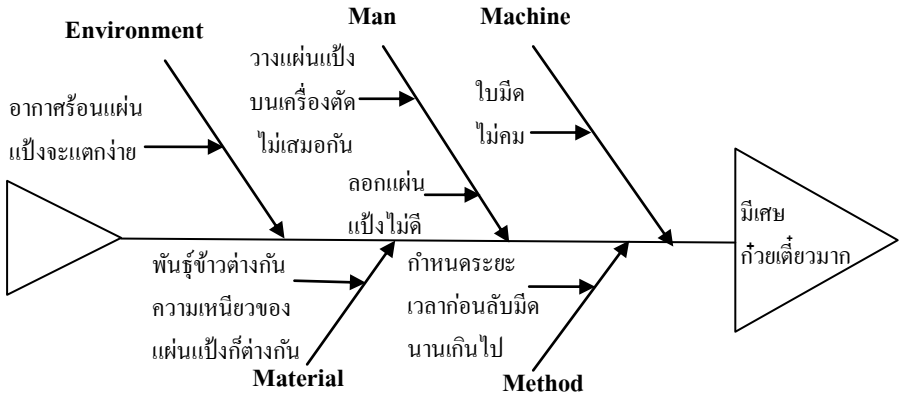
1. เมื่อเก็บข้อมูลการใช้น้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง วัตถุดิบ เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยจาก กระทรวงอุตสาหกรรม (2553) และ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2546) พบว่าโรงงานกรณีศึกษามีการใช้ข้าวเจ้าเกินค่าเฉลี่ยคือในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว 1 ตัน จะใช้ข้าวเจ้า 1.337 ตัน มากกว่าค่าเฉลี่ยที่ใช้ 1.31 ตัน ดังนั้นจึงควรลดปริมาณข้าวเจ้าที่สูญเสียไปในกระบวนการผลิตโดยจากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์สาเหตุพบว่ามีความสูญเปล่าหลัก 2 ประการคือ

1.1 แป้งข้าวเจ้าที่หลุดออกจากเมล็ดข้าวเจ้าละลายทิ้งไปกับน้ำในขั้นตอนการล้างข้าวเป็นปริมาณ 0.115 ตันต่อวัตถุดิบ 1.337 ตัน คิดเป็น 8.647 % ของปริมาณข้าวเจ้าที่เป็นวัตถุดิบทั้งหมดโดยมีสาเหตุดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการสูญเสียแป้งข้าวเจ้าไปกับน้ำล้างข้าวเจ้า

1.2 เศษเส้นก๋วยเตี๋ยวจากกระบวนการต่างๆ ปริมาณ 0.197 ตันต่อผลิตภัณฑ์ 1 ตัน หรือคิดเป็น 14.734 % ของปริมาณข้าวเจ้าที่เป็นวัตถุดิบทั้งหมด โดยมีสาเหตุดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการสูญเสียเศษก๋วยเตี๋ยวจากการตัดซอย

2. ต้นทุนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาก่อนปรับปรุงกระบวนการคือ 33,636.37 บาทต่อตัน มีราคาขายตันละ 41,666 บาทต่อตันผลิตภัณฑ์ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำข้อมูลจากตารางที่ 5 มาคำนวณค่า EI ก่อนปรับปรุงกระบวนการ จะได้ค่า EI = 3.408

3. จากการเก็บตัวอย่างน้ำล้างข้าวเจ้าไปทดสอบหาค่าของแข็งที่แขวนลอย (SS) และค่าของแข็งที่ละลายน้ำ (DS) นำมาคำนวณหาปริมาณแป้งที่ละลายทิ้งไปกับน้ำล้างพบว่าโรงงานสูญเสียข้าวเจ้า 259.428 กก. ต่อวันหรือ คิดเป็น 8.647 % ของปริมาณวัตถุดิบคือข้าวเจ้าทั้งหมดที่ใช้ต่อวันหรือ 3,000 กิโลกรัม

4. คำนวณค่า GPI ก่อนปรับปรุงกระบวนการ พบว่าได้ค่า GPI เท่ากับ 0.363

5. ทำการเสนอรูปแบบการปรับปรุงกระบวนการ

5.1 แนวทางที่ 1 เติมน้ำแข็งลงในน้ำล้างข้าวเจ้าเพื่อลดอุณหภูมิน้ำซึ่งจะทำให้ข้าวเจ้าละลายไปกับน้ำล้างน้อยลง ในการเก็บตัวอย่างน้ำล้างข้าวเจ้าได้เก็บที่อุณหภูมิ 30.2 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมปกติ ผลที่ได้คือมีแป้งข้าวเจ้าละลายไปกับน้ำในรูปของแข็งแขวนลอย (suspended solid) และละลายไปกับน้ำ (dissolved solid) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่า SS, DS ของน้ำล้างข้าวเจ้าที่อุณหภูมิ 30.2 องศาเซลเซียส (g/L)

ของแข็งในน้ำล้าง	น้ำล้างรอบ 1	น้ำล้างรอบ 2	น้ำแช่ข้าวเจ้า	น้ำประปาหมู่บ้าน
SS	16.138	13.903	0.591	-
DS	6.307	3.433	0.409	0.149

เมื่อทดลองล้างข้าวเจ้าด้วยน้ำอุณหภูมิ 30.2 องศาเซลเซียส พบว่าข้าวเจ้าละลายไปกับน้ำล้าง 259.428 กก. ต่อวัน คิดเป็น 8.647 % จากนั้นการทดลองเติมน้ำแข็ง 5 กระสอบ (100 กก.) ลงผสมกับน้ำในถังล้างข้าวเจ้าในการล้างครั้งที่ 1 และ 2 โดยไม่ได้เติมน้ำแข็งลงในน้ำแช่ข้าวเจ้า เพราะในน้ำแช่ข้าวเจ้ามีข้าวเจ้าละลายเพียง 5.478 กก. ต่อวันหรือคิดเป็น 0.182 % ของวัตถุดิบทั้งหมด คิดเป็นเงินได้ 98 บาทต่อวัน ซึ่งไม่คุ้มที่จะเติมน้ำแข็งเพราะมีค่าน้ำแข็งถึง 200 บาทต่อถัง (5 กระสอบ) ผลการทดลองทำให้อุณหภูมิน้ำที่ใช้ล้างลดลงเหลือ 22 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างน้ำล้างครั้งที่ 1 และ 2 ไปทดสอบหาค่า SS และ DS ได้ค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่า SS, DS ของน้ำล้างข้าวเจ้าที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส (g/L)

ของแข็งในน้ำล้าง	น้ำล้างรอบ 1	น้ำล้างรอบ 2	น้ำแช่ข้าวเจ้า	น้ำประปาหมู่บ้าน
SS	8.275	6.824	-	-
DS	3.978	3.046	-	0.149

ตารางที่ 3 ปริมาณข้าวเจ้าที่ละลายไปกับน้ำทิ้งที่ลดได้จากการเติมน้ำแข็ง 100 ก.ก.ต่อถัง (เฉพาะน้ำล้างที่ 1 และ 2) ต่อรอบ (หนึ่งรอบประกอบด้วยการล้างครั้งที่ 1 การล้างครั้งที่2 การแช่ข้าวเจ้า)

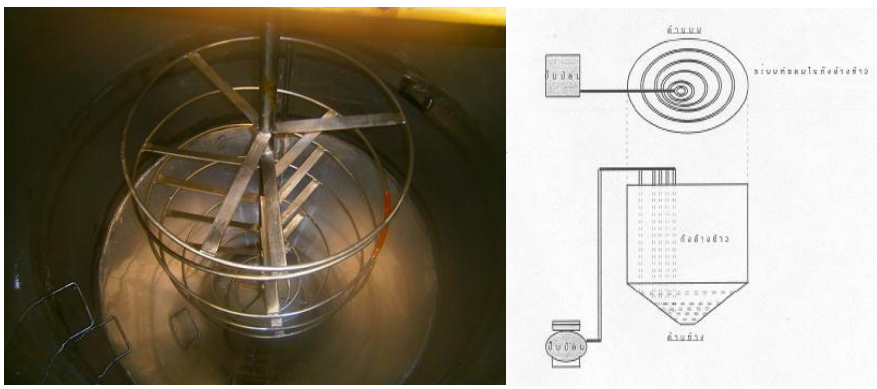
ถังที่	น้ำหนักข้าวเจ้าที่ละลาย(ก่อนเติมน้ำแข็ง) 30.2 องศาเซลเซียส(ก.ก.)	น้ำหนักข้าวเจ้าที่ละลาย(หลังเติมน้ำแข็ง) 22 องศาเซลเซียส (ก.ก.)	ปริมาณที่ละลายน้อยลง (ก.ก.)
1	47.80	25.95	21.85
2	36.85	20.84	16.01
แช่	1.82	1.82*	-
รวม	86.47	48.61	37.86
*หมายเหตุ น้ำแช่ไม่ได้เติมน้ำแข็ง			

การเติมน้ำแข็งครั้งละ 100ก.ก. ลงผสมกับน้ำในถังล้างข้าวในการล้างรอบแรกและรอบที่สอง ทำให้อุณหภูมิลดลงจาก 30.2 องศาเซลเซียส เหลือ 22 องศาเซลเซียส และช่วยลดการละลายของข้าวเจ้าสู่น้ำได้ 37.86 ก.ก.ต่อรอบ และเมื่อหักลบต้นทุนที่ซื้อน้ำแข็งแล้ว พบว่าสามารถลดต้นทุนค่าข้าวเจ้าที่ละลายทิ้งไปกับน้ำล้าง ในการล้างรอบที่ 1 และ 2 ลงได้วันละ 844 บาท คิดเป็น 24,488 บาท/เดือน จะเห็นว่าการละลายของข้าวเจ้าในน้ำล้างลดลงจาก 8.647 % เหลือ 4.861 % ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากหลายปัจจัยดังนี้

- ด้านอุณหภูมิ การเติมน้ำแข็งให้น้ำที่ใช้ล้างข้าวเจ้ามีอุณหภูมิลดลงจะทำให้การละลายของแป้งข้าวเจ้าในน้ำล้างน้อยลงด้วยเพราะน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความร้อนเข้าไปสั่นสะเทือนโมเลกุลของแป้งให้แตกออกจากเมล็ดข้าวเจ้าได้มากกว่าน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ศุภนุชและคณะ, 2553) โดยในที่นี้เปรียบเทียบกันระหว่างน้ำอุณหภูมิ 30.2 องศาเซลเซียสกับน้ำอุณหภูมิ 22.0 องศาเซลเซียส

- ด้านทางกล ในถังล้างข้าวเจ้าจะมีใบกวนติดมอเตอร์หมุนกวนอยู่ทำให้ใบกวน ตีเมล็ดข้าวเจ้าแตกและแป้งในข้าวเจ้าละลายน้ำมากขึ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546) แต่การที่มีก้อนน้ำแข็งผสมอยู่ทำให้ใบกวนตีโดนน้ำแข็งแทนเมล็ดข้าวเจ้า ดังนั้นเมื่อนำน้ำมาหาปริมาณแป้งที่ละลายอยู่ในน้ำจึงได้ค่าต่ำลง

5.2 แนวทางที่ 2 คือเสนอให้ใช้เครื่องล้างข้าวแบบลมกวนแทนแบบใบกวนซึ่งต้องลงทุน 83,380 บาท เครื่องจักรมีอายุการใช้งาน 15 ปีโดยคำนวณผลที่คาดว่าจะได้จากข้อมูลทุติยภูมิที่เป็นค่าเฉลี่ยจากที่ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2546) ได้ทำการเก็บข้อมูลและวิจัยไว้ คือร้อยละการละลายน้ำของเมล็ดข้าวเจ้าที่ลดลง ปริมาณการใช้น้ำที่ลดลง ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ลดปริมาณการละลายน้ำของแป้งข้าวเจ้าในขั้นตอนการล้างข้าวเจ้าจาก 8.647 % เหลือ 3.545 % เมื่อเทียบกับปริมาณข้าวเจ้าที่เป็นวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ต่อวัน



รูปที่ 3 เครื่องล้างข้าวแบบใบกวน(ซ้าย)และแบบใช้ลมกวน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546)

5.3 แนวทางที่ 3 คือเสนอให้มีการลับใบมีดเครื่องตัดซอยให้บ่อยขึ้นจากทุก 10 วันเป็นทุก 5 วัน ซึ่งจะทำให้ใบมีดของเครื่องมีความคมพอที่จะตัดเส้นได้ดีอยู่เสมอ โดยค่าเฉลี่ยของเศษก๋วยเตี๋ยวช่วงวันที่ 1-5 เท่ากับ 210.4 ก.ก.ต่อวันและช่วงวันที่ 6-10 เท่ากับ 223.6 ก.ก.ต่อวัน และหาว่าค่าเฉลี่ยหากลับใบมีดทุก 5 วันกับ ทุก 10 วัน เศษก๋วยเตี๋ยวจะเท่ากับเท่าใด พบว่าหากลับใบมีดทุก 10วันจะมีเศษก๋วยเตี๋ยวเฉลี่ย 217.0 ก.ก.ต่อวันและหากลับใบทุก 5 วันจะมีเศษก๋วยเตี๋ยวเฉลี่ย 210.4 ก.ก.ต่อวัน

ตารางที่ 4 Pair Sample T-Test ว่าปริมาณเศษก้วยเตี๋ยวจากกระบวนการตัดซอยมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไปหลังลับใบมีด

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Time1 - Time2	-13.200	1.643	.735	-15.240	-11.160	-17.963	4	.000

การทดสอบ t – test นี้ตั้งสมมุติฐานว่า H0: $\mu_1 \leq \mu_2$ (7)

H1: $\mu_1 > \mu_2$ (8)

เมื่อ μ_1 คือค่าเฉลี่ยปริมาณเศษก้วยเตี๋ยวช่วงวันที่ 1 - 5 หลังการลับมีด

μ_2 คือค่าเฉลี่ยปริมาณเศษก้วยเตี๋ยวช่วงวันที่ 6 - 10 หลังการลับมีด

โดยจะปฏิเสธ h0 ได้เมื่อมีเงื่อนไขว่า

เงื่อนไขที่ 1 ค่า sig2/2 < 0.05

เงื่อนไขที่ 2 ค่า $t > 0$

ผลการทดสอบคือ เงื่อนไขที่ 1 ค่า Sig2/2 = 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าเงื่อนไขนี้เป็นจริง

เงื่อนไขที่ 2 พบว่าค่า $t < 0$ แสดงว่าเงื่อนไขไม่เป็นจริง

ดังนั้นเราจะปฏิเสธ H0 ไม่ได้ ต้องยอมรับ H0 คือปริมาณของเสียจากกระบวนการตัดซอยในช่วง 5 วันแรกหลังจากลับใบมีด จะมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าปริมาณของเสียในช่วง 5 วันหลังจริงนั่นคือเราควรปรับปรุงกระบวนการนี้โดยการลับใบมีดให้บ่อยขึ้น

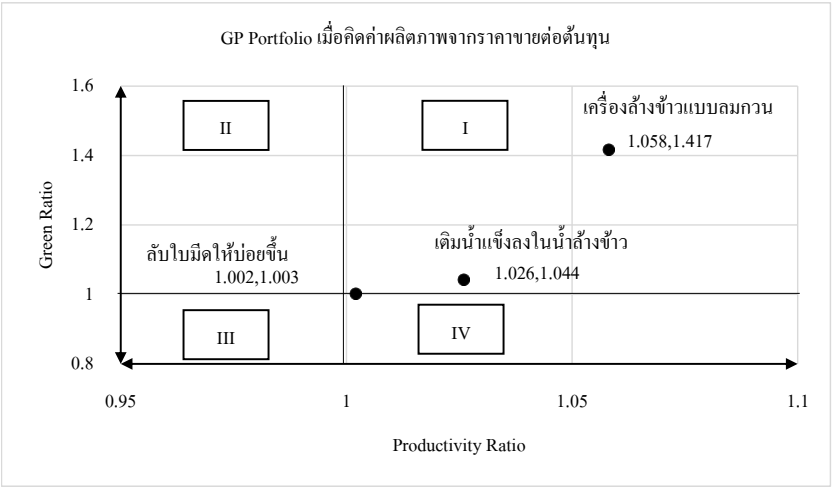
6. คำนวณค่า GPI หลังปรับปรุงกระบวนการด้วยการเติมน้ำแข็งและ GPI ของทางเลือกเมื่อเปลี่ยนเครื่องล้างข้าวเจ้าเป็นแบบลมกวน แบ[คิดค่าผลิตภาพจากราคาขายต่อต้นทุนต่อหน่วย

7. คำนวณค่า GPR Productivity Ratio และ Green Ratio ของแต่ละทางเลือกเมื่อผลิตภาพเป็นราคาขายต่อต้นทุนผลดังตารางที่ 5 และ GP Portfolio

7.1 จากนั้นจึงใช้ค่า Productivity Ratio และ Green Ratio มาทำกราฟ GP Portfolio เพื่อ พิจารณาว่าทางเลือกต่างๆ มีผลิตภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไร ซึ่งพบว่าทั้ง 3 ทางเลือกต่างก็ให้ผลที่ดีขึ้น โดยการใช้เครื่องล้างแบบลมกวน จะได้ผลดีกว่าการเติมน้ำแข็งและการลับมีดให้บ่อยขึ้น ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 5 ค่าต่างๆ ของการผลิตเมื่อค่าผลิตภาพเป็นราคาขายต่อต้นทุน

	ก่อนปรับปรุงกระบวนการ	**การเติมน้ำแข็งในน้ำล้างข้าว**	**การลับใบมีดเครื่องตัดบ่อยขึ้น**	**การใช้เครื่องล้างข้าวแบบลมกวน**
ราคาขายต่อตัน (บาท)	41,666	41,666	41,666	41,666
ต้นทุนต่อตัน (บาท)	33,636	32,758	33,564	31,790
ผลิตภาพ (Productivity)	1.23871	1.271	1.241	1.310
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EI)	3.4086	3.262	3.398	2.404
GPI	0.363	0.389	0.365	0.544
Productivity Ratio	-	1.026	1.002	1.058
Green Ratio	-	1.044	1.003	1.417
GPR	-	1.072	1.005	1.499

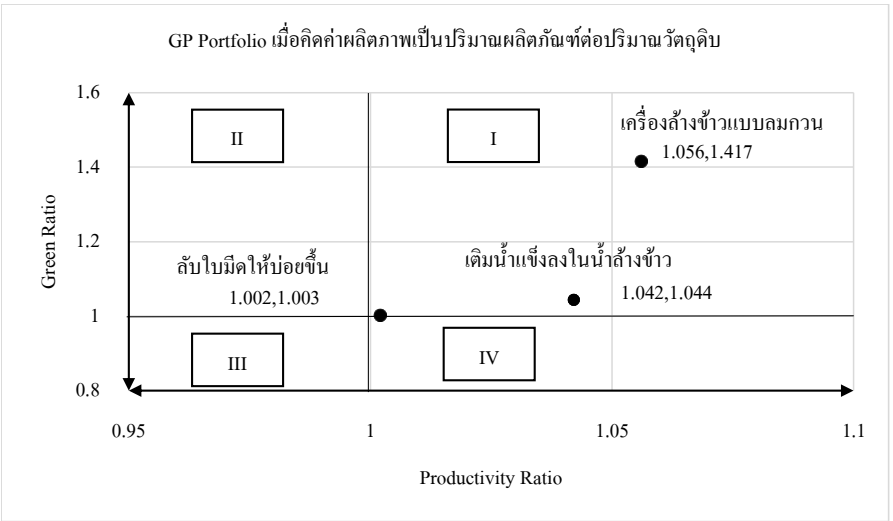


รูปที่ 4 GP Portfolio เมื่อคิดค่าผลิตภาพจาก ราคาขายต่อต้นทุน

7.2 การพิจารณาทางเลือกในการปรับปรุงโดยใช้ค่าผลิตภาพเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณวัตถุดิบโดยจากการเก็บข้อมูลสามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังตารางที่ 6 และทำ GP Portfolio เมื่อเป็นผลิตภาพแบบผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบดังรูปที่ 5 ทุกทางเลือกต่างก็ให้ผลที่ดีขึ้น

ตารางที่ 6 ค่าต่างๆ ของการผลิตเมื่อค่าผลิตภาพเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณวัตถุดิบ

	ก่อนปรับปรุงกระบวนการ	**การเติมน้ำแข็งในน้ำล้างข้าว**	**การลับใบมีดเครื่องตัดบ่อยขึ้น**	**การใช้เครื่องล้างข้าวแบบลมกวน**
ปริมาณวัตถุดิบต่อวัน(ตัน)	3	3	3	3
ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อวัน(ตัน)	2.243	2.337	2.249	2.370
ผลิตภาพ(Productivity)	0.747	0.779	0.749	0.790
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม(EI)	3.408	3.262	3.398	2.404
GPI	0.219	0.238	0.220	0.328
Productivity Ratio	-	1.042	1.002	1.056
Green Ratio	-	1.044	1.003	1.417
GPR	-	1.088	1.005	1.498

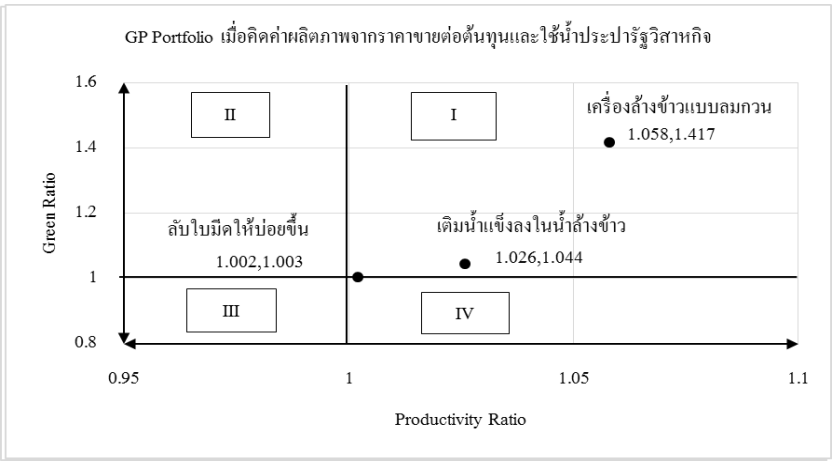


รูปที่ 5 GP Portfolio เมื่อคิดค่าผลิตภาพแบบปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณวัตถุดิบ

7.3 นำเสนอค่า GPI, GPR และ GP Portfolio เมื่อค่าน้ำเปลี่ยนจาก 5.5 บาทต่อลบม.(น้ำประปาหมู่บ้าน) เป็น 10 บาท (น้ำประปารัฐวิสาหกิจ) และคิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตน้ำประปาเพิ่มไปในค่า GWG โดยจากงานวิจัยของคณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2552) ค่า Emission Factor ของการผลิตคือ 0.026 Kg CO_2/หน่วย(m^3) และรูปที่ 6 พบว่า GP Portfolio ไม่แตกต่างกันที่หลักทศนิยม 3 ตำแหน่ง

ตารางที่ 7 ค่าต่างๆ ของการผลิตเมื่อค่าผลิตภาพเป็นราคาขายต่อต้นทุนและใช้น้ำประปาของรัฐวิสาหกิจ เติมน้ำแข็งลงในน้ำล้างข้าว

	ก่อนปรับปรุงกระบวนการ	การเติมน้ำแข็งในน้ำล้างข้าว	การลับใบมีดเครื่องตัดบ่อยขึ้น	การใช้เครื่องล้างข้าวแบบลมกวน
ราคาขายต่อตัน (บาท)	41,666	41,666	41,666	41,666
ต้นทุนต่อตัน (บาท)	33,680	32,800	33,608	31,821
ผลิตภาพ(Productivity)	1.237	1.270	1.239	1.309
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม(EI)	3.408	3.262	3.398	2.405
GPI	0.362	0.389	0.364	0.544
Productivity Ratio	-	1.026	1.002	1.058
Green Ratio	-	1.044	1.003	1.417
GPR	-	1.072	1.005	1.500



รูปที่ 6 GP Portfolio เมื่อคิดค่าผลิตภาพเป็นราคาขายต่อต้นทุนและใช้น้ำประปาของรัฐวิสาหกิจ

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. งานวิจัยนี้ใช้ค่าผลิตภาพเป็น ราคาขายต่อต้นทุน และ ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณวัตถุดิบ ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ใช้ สูตรจากงานวิจัยของ Mohan Das Gandhiและคณะ (2006) ซึ่งคิดจากค่า SWG GWG WC แต่ในงานวิจัยของ Hurและคณะ (2004) ได้เสนอวิธีการคิดค่าผลิตภาพอีกหลายรูปแบบ เช่น อัตราการผลิต จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ขายได้ต่อปี เป็นต้น และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมก็สามารถหาได้หลายแบบเช่น การใช้วัสดุทั้งหมด การใช้พลังงานทั้งหมด ดังนั้นในการเลือกวิธีการวัดค่าดัชนีด้านผลิตภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นก็ควรจะพิจารณาถึงชนิดของกิจการ กระบวนการผลิต และปัจจัยอื่นๆ เพื่อให้เหมาะสม

2. งานวิจัยนี้มีขอบเขตแค่ในโรงงานเท่านั้น ดังนั้นต่อไปอาจจะเพิ่มขอบเขตไปยังการผลิตข้าวเจ้าจากผู้ส่งมอบวัตถุดิบ (supplier) เช่น การใช้สารเคมี การใช้พลังงานเช่นน้ำมันดีเซลในเครื่องจักร พื้นที่เพาะปลูก เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Mariminและคณะ (2014) ซึ่งทำการใช้แนวคิดผลิตภาพสีเขียวในอุตสาหกรรมยาง ได้คิดดัชนีชี้วัดเป็นค่า GPI ที่มีการคิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมย้อนรวมไปถึงขั้นตอนการปลูกต้นยางด้วย โดยได้เพิ่มตัววัดด้านความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้พื้นที่เพาะปลูกเข้าไป ซึ่งสูตรใหม่นี้สามารถนำไปใช้ในการหาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกได้ซึ่งจะให้ค่าที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงกระบวนการทั้ง 3 ทางเลือกต่างก็ให้ผล GPI, GPR ที่ดีขึ้นทั้งวิธีคำนวณค่าผลิตภาพด้วยวิธีราคาขายต่อต้นทุนและวิธีคำนวณด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณวัตถุดิบ เมื่อเปลี่ยนค่าน้ำประปาจากน้ำประปาหมู่บ้านราคาหน่วยละ 5.5 บาทเป็นน้ำประปารัฐวิสาหกิจราคาหน่วยละ 10 บาท ต้นทุน (PC) จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าผลิตภาพจึงลดลง การเพิ่มค่า GWG จากการผลิตน้ำประปาเข้าไปในการคำนวณทำให้ EI เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่า GPI จึงลดลง แต่เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณค่า Productivity Ratio และ Green Ratio พบว่าค่าเปลี่ยนไปเล็กน้อย เมื่อนำมาวาดเป็น GP Portfolio พบว่าผลยังคงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับเมื่อยังไม่เพิ่มราคาค่าน้ำประปาและยังไม่เพิ่มการคิดค่า GWG จากการผลิตน้ำประปา คือ การเปลี่ยนไปใช้เครื่องล้างข้าวแบบลมกวนจะส่งผลดีกว่าการเติมน้ำแข็งในน้ำล้างและการลับใบมีดให้บ่อยขึ้นตามลำดับ ทั้งในด้านผลิตภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าของกิจการและพนักงานโรงงานหมี่ตะคุ แม่ตุ้ย สีดาจันทร์ ต.ตะคุ อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา ที่อำนวยความสะดวกและข้อมูลในการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, (2546) หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขาอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่, ที่มา: http://www2.diw.go.th/km/pdf%5Cknow%5Ccodeofpractice_noodle_th.pdf, สืบค้น 22 กันยายน 2556.

กระทรวงอุตสาหกรรม, (2553) หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่(ฉบับปรับปรุง), แอ็มแอนเอ็ม เลเซอร์พริ้นต์, กรุงเทพฯ, 206 หน้า.

กันทิมา ลีลาสุขสันต์, (2550) การคำนวณต้นทุนการผลิตด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรมสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมกรณีศึกษาโรงงานการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวขนาดย่อม, ที่มา: http://tdc.thailis.or.th/tdc/, สืบค้น 22 กันยายน 2556.

ข่าวสด, (2557) สร้างมูลค่าเพิ่มข้าวไทย, ที่มา: http://www.ftawatch.org/node/39519, สืบค้น 4 ธ.ค. 2558.
คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, (2552) แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, ที่มา: http://www.tgo.or.th/download/carbonfootprint/CFP_Guideline.pdf, สืบค้น 22 กันยายน 2556.

ณัฐพล สะธรรมกิจ, (2546) การประยุกต์ใช้แนวคิดการเพิ่มผลผลิตสีเขียวในโรงงานผลิตเส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้ง, ที่มา: http://tdc.thailis.or.th/tdc/, สืบค้น 22 กันยายน 2556.

ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, (2557) ศูนย์วิจัยกสิกรฯชูส่งออก "เส้นก๋วยเตี๋ยวพร้อมปรุง" สร้างมูลค่าเพิ่ม"ข้าวไทย", ที่มา: http://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1395226603, สืบค้น 4 ธ.ค. 2558.

ศุภนุช ใส่แปง, นิรมล อุตมอ่าง และยุทธนา พิมลศิริผล, (2553) “ผลของสภาวะในการแช่ข้าวต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิแดงงอก”, หน้า 100-107, ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, 3-5 ก.พ. 2553, กรุงเทพฯ.

สมาคมผู้ประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทยและสมาคมนักประเมินราคาอิสระไทย, (2554) มาตรฐานและจรรยาบรรณวิชาชีพการประเมินมูลค่าโรงงานเครื่องจักรและอุปกรณ์, ที่มา: http://www.tva.or.th/ewt_news.php? nid=502, สืบค้น 22 กันยายน 2556.

อมฤต สิทธิชินวงษ์, (2556) ผลิตภาพสีเขียวในห่วงโซ่อุปทานพริกใหญ่ กรณีศึกษา: ห่วงโซ่อุปทาน การ ผลิตพริกใหญ่แบบการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดี (GAP) ในจังหวัดขอนแก่น และแบบทั่วไป (Conventional) ในจังหวัดหนองคาย, ที่มา: http://tdc.thailis.or.th/tdc/, สืบค้น 22 กันยายน 2556.

Hur T., Kim I. and Yamamoto R., (2004) Measurement of green productivity and its Improvement. J. Clea. Tech., 12(2): 673-683.

Marimin., Darmawan M.A., Machfud., Putra M.P.I.F. and Wiguna B., (2014) Value chain analysis for green productivity improvement in the natural rubber supply chain : a case study. J. Clea. Prod., 85: 201-211.

Mohan Das Gandhi N., Selladurai V. and Santhi P., (2006) Green productivity indexing: A practical step towards integrating environmental protection into corporate performance. Int. J. Prod. Perf. Manage., 55(7): 594-606.

Singgih M.L., Suef M., and Putra C.A., (2010) "Waste reduction with green productivity approach for increasing productivity (case study: PT Indopherin Jaya)", In: The 11th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 7-10 December 2010, Melaka.