



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกรณีศึกษา บริษัทผลิตน้ำอัดลม

Process improvement for the reduction of carbon-dioxide lost in a company case study in carbonate soft drink manufacturing

อรรถกร เก่งพล วิมลพรรณ คงสมบูรณ์*และ ศจีวัลย์ ไวยานิกอร์ณ

Athakorn Kengpol, Wimolphan Kongsomboon* and Sageewan Wiyanikorn

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok,
Bangkok, Thailand, 10800

Received February 2013

Accepted September 2013

บทคัดย่อ

บริษัทผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องพบปัญหาเรื่องการสูญเสียวัตถุดิบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึงร้อยละ 52.07 ของปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบทั้งหมด คิดเป็นมูลค่าต้นทุน 250,000 – 400,000 บาทต่อเดือน เป็นค่าใช้จ่ายที่บริษัทต้องสูญเสียจำนวนมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำอัดลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเดิมร้อยละ 10 โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเทคนิคพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิตที่ 3 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมที่ระดับ 1,300 กระป๋องต่อนาทีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเดิมได้ร้อยละ 48.35 สามารถลดต้นทุนการสูญเสีย 390,508 บาทต่อเดือนที่ระดับการผลิตเดียวกัน

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง เทคนิคพื้นผิวตอบสนอง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Abstract

According to the information from a company case study in carbonate soft drink manufacturing, it was found that CO₂ has the major loss 52.07% of loss material, approximate 250,000-400,000 baht per month. The CO₂ loss problem was affected in operation costs. The objective of this research is to increase 10 percent yield of CO₂ efficiency. Design of Experiment (DOE) is used to study influent parameters of CO₂ loss and to find the optimal solution by using response surface technique. The results from statistical analysis have indicated that the water inlet temperature at 3°C and speed cycle of filler machine at 1,300 pieces per minute. The result of this research can be increased 48.35 percent yield of CO₂ efficiency. In comparison with the same product level this improvement can reduce the loss of CO₂ approximate 390,508 baht per month.

Keywords : Design of experiment, Response surface technique, CO₂

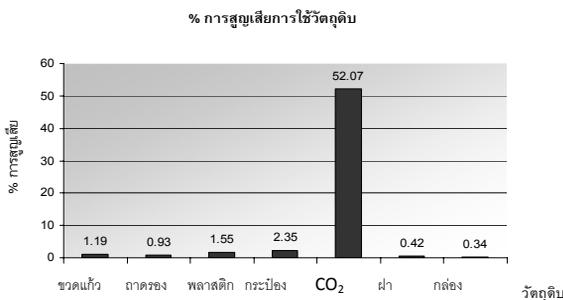
* Corresponding author.

Email address: kukkik_hmanoi@yahoo.com

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำอัดลมเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการขยายตัวและมีการแข่งขันทางการตลาดที่สูง มูลค่าทางการตลาดรวมกว่า 30,000 ล้านบาท [1] ส่งผลให้ผู้ประกอบการพยายามที่จะปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สามารถตอบสนองของกลุ่มผู้บริโภคได้ เพื่อเป็นผู้นำในการกำหนดทิศทางของอุตสาหกรรมและกำหนดราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมประสบผลสำเร็จคือ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่เชื่อถือของผู้บริโภค การปรับปรุง พัฒนา และการศึกษาหาปัจจัยในการผลิตที่เหมาะสมเพื่อนำไปสู่การควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ จึงเป็นกิจกรรมสำคัญที่อุตสาหกรรมจะต้องพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

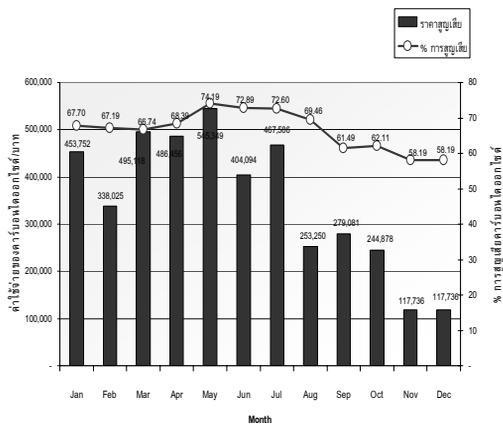
จากการศึกษาข้อมูลในอดีตปี 2555 ของผู้ประกอบการธุรกิจผลิตน้ำอัดลม พบว่า กระบวนการผลิตกำลังประสบปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบในระหว่างกระบวนการผลิต โดยรายการวัตถุดิบที่มีปริมาณการสูญเสียมากที่สุด คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียการใช้วัตถุดิบแต่ละชนิด

จากรูปที่ 1 แสดงการสูญเสียการใช้วัตถุดิบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มากถึง 52.07% สาเหตุเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตน้ำอัดลมขั้นตอนการทำให้เกิดฟองนั้นเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้ความดันที่สูงมาก กระบวนการบรรจุน้ำอัดลมลงในภาชนะบรรจุหากไม่สามารถควบคุมสภาวะทางการผลิตที่เหมาะสม จะก่อให้เกิดการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่งผลทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้น คิดเป็นค่าใช้จ่าย 250,000 – 400,000 บาทต่อเดือน การศึกษาวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในปรับปรุงกระบวนการผลิตส่วนของสายการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง เนื่องจากเป็นสายการผลิตที่มีปริมาณการใช้และการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด จากข้อมูลปริมาณการสูญเสียในช่วงการผลิต 3 ปีที่ผ่านมา (2553 – 2555) แสดงข้อมูลดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตน้ำอัดลมกระป๋อง

จากรูปที่ 2 แสดงการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตน้ำอัดลมกระป๋องกว่า 60% แสดงว่ามีปริมาณการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตโดยเฉลี่ยเพียง 40% ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Percent yield CO₂) ของโรงงานยังไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ที่ 85% ผู้ทำการวิจัยจึงจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตน้ำอัดลมกระป๋องจากเดิมร้อยละ 10 โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสีย

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเทคนิคพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม [2] เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

Montgomery [3] ได้กล่าวไว้ว่า การทดลองหมายถึงการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้าของกระบวนการหรือระบบ เพื่อสังเกตหรือบ่งชี้ถึงเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลลัพธ์ขาออกได้ การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด จะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง ปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองคือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้ คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ” หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองนั้นได้ จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

Chutima [4] การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลหมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่าง เช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับและปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับในการทดลอง 1 เปรสิเคด จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูก

นำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลจะกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่สำคัญ คือ 2^k แฟกทอเรียล (2^k Factorial design) ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้นในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัยและแผนการทดลอง 3^k แฟกทอเรียล (3^k Factorial design) ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับ ใน k ปัจจัย

2.3 การหาพื้นผิวตอบสนอง

Chutima P. [4] ได้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการหาพื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface methodology: RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางด้านของคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจจะขึ้นอยู่ กับปัจจัยหลายๆ ตัว และต้องการที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลการตอบสนองเหล่านี้

3. วิธีการวิจัย

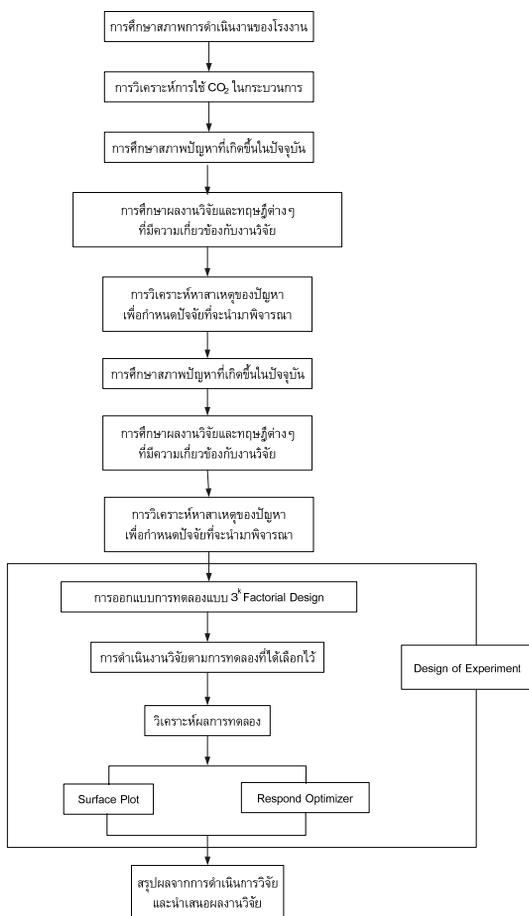
การวิจัยนี้ได้แบ่งส่วนการวิจัยออกเป็น 4 ส่วน คือ

1) วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการสูญเสียของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในสายการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง เพื่อทำการออกแบบการทดลองปรับปรุงกระบวนการให้เกิดระบบสูญญากาศแบบปิด

2) ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดการสูญเสียของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตและค้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยศึกษาพื้นผิวตอบสนองของตัวแปรจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับเนื่องจากสมมติฐานของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแต่ละระดับกับค่าผลตอบสนองที่ใช้วัดอาจไม่เป็นในลักษณะเชิงเส้น (Non linear) เพื่อทำการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง

3) ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องโดยปรับค่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดการสูญเสียของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตต่อเนื่องเป็นเวลา 30 ชั่วโมงเพื่อทดสอบยืนยันผลการวิจัย

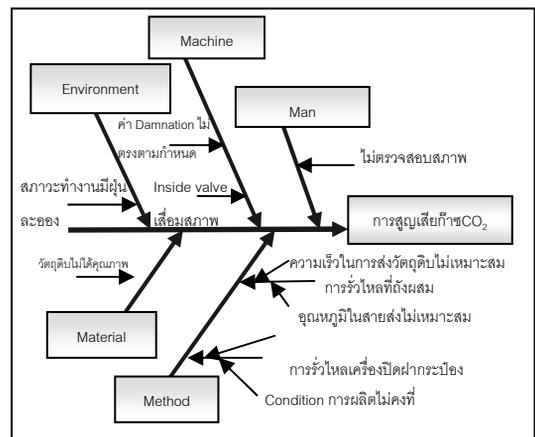
4) วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยเปรียบเทียบผลการวิจัยก่อนและหลังการปรับปรุงในด้านประสิทธิภาพการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิต พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินเครื่องจักรบรรจุกระป๋องและต้นทุนรวมในการผลิต เพื่อช่วยให้ผู้ประกอบการตัดสินใจในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

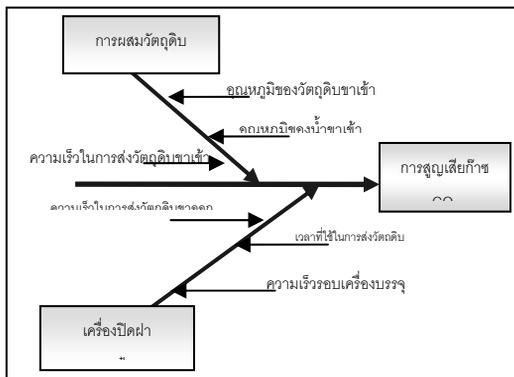
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์และแก้ปัญหาการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และดำเนินการออกแบบการทดลองโดยนำหลักการทางสถิติมาประยุกต์ใช้เพื่อการควบคุมคุณภาพ และแก้ปัญหาการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการศึกษาวิจัยทางด้านการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานักวิจัยใช้เครื่องมือทางสถิติที่เรียกว่า แผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ระบุสาเหตุที่ส่งผลต่อปัญหาเกี่ยวกับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ โดยทั่วไป [2,6] ปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันแปรของผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ไม่คงที่จะมาจาก 5 ปัจจัย คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการ (Method) และสภาวะแวดล้อม (Environment) [6] จากการระดมความคิดร่วมกับฝ่ายวิศวกรรมของโรงงานในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้พบถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วนำมาทดสอบแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงแผนผังสาเหตุและผลปัญหาการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

จากรูปที่ 4 แสดงแผนผังสาเหตุและผลของปัญหาการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จาก 5 ปัจจัยการผลิต แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุ

กระป๋องนั้นเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติโดยพนักงานมีหน้าที่ปรับตั้งเครื่องจักรให้ได้ตามค่าการควบคุมการผลิตและควบคุมการผลิตให้ได้ตามเป้าหมาย เครื่องจักรในการผลิตน้ำอัดลมเป็นระบบอัตโนมัติควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์มีการปรับตั้งสอบเทียบให้เป็นมาตรฐาน (Calibrate) อยู่เสมอ ความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักรจึงมีน้อย ในส่วนของวัตถุดิบจะมีอุปกรณ์ในการส่งสัญญาณการตรวจสอบคุณภาพภายในระบบสายการผลิตและสูตรในการผลิตจะมีการทดลองผลิตและยืนยันความถูกต้องของกระบวนการผลิต ดังนั้นการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องส่วนใหญ่จึงเกิดจากวิธีการทำงานหรือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม การระบุสาเหตุหรือปัจจัยหลักจึงได้มุ่งไปที่ขั้นตอนการผลิตที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง ซึ่งแสดงด้วยแผนภาพเหตุและผลดังรูปที่ 5 สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่อาจจะส่งผลกระทบต่อโอกาสการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบและขั้นตอนการบรรจุกระป๋องน้ำอัดลม คืออุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิตและค่าความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลม



รูปที่ 5 การค้นหาสาเหตุของปัญหาการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดขึ้นใน ขั้นตอนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง

3.2 วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ

ในการออกแบบการทดลองนี้ต้องกำหนดปัจจัยที่จะนำมาศึกษาและการทดลองนั้นต้องเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และเวลา เป็นต้น ส่วนปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้จะถือว่าไม่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ โดยการศึกษาสภาพการดำเนินงานในโรงงานทำให้ทราบว่าปริมาณของอากาศในน้ำสูงจะส่งผลถึงปริมาณการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการ ซึ่งในที่นี้เราจะถือว่าปริมาณของอากาศไม่สามารถควบคุมได้ จึงถือว่าเป็นการผันแปรที่มาจากระบบที่เรากำลังทำการศึกษา ดังนั้นการที่จะทำการทดลองต่อไปได้จะต้องกำหนดค่าปริมาณของอากาศในน้ำ ไว้ที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง เพื่อให้สามารถทำการทดลองต่อไปได้ [5] จากสมมุติฐานในการออกแบบการทดลอง และจากข้อมูลของกรรมวิธีในผลิต ในสภาวะการดำเนินงานในปัจจุบัน สามารถกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองได้ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการออกแบบการทดลอง

พารามิเตอร์	ระดับ			หน่วย
	Low (-1)	Medium (0)	High (+1)	
อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิต	3	4.5	6	°C
ความเร็วรอบเครื่องบรรจุน้ำอัดลม	1,300	1,400	1,500	bpm

ผลตอบสนองจากการทดลองที่เลือกใช้ในการงานวิจัยนี้ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ต่อกระป๋อง

3.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นการทดลองปัจจัยที่ได้ทำการวิเคราะห์หานั้นเป็นปัจจัยที่เหมาะสมหรือไม่จากการค้นคว้างานวิจัยในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (Factorial Design) คือ การออกแบบที่ประกอบด้วย ปัจจัยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย

3 ระดับ ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ “ต่ำ” “กลาง” และ “สูง” ซึ่งผู้วิจัยทำการทดลอง 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัย จะมี 3 ระดับ และเพื่อความน่าเชื่อถือของการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ [2, 6] และกำหนดค่าระดับนัยสำคัญไว้ที่ระดับ 0.05 ดังนั้นในการวิจัยนี้จะต้องทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด $3 \times 3 \times 5 = 45$ การทดลอง เมื่อได้ทำการออกแบบการทดลองเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการดำเนินการทดลองแล้วทำการเก็บข้อมูลในตารางบันทึกผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นและบันทึกผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทางสถิติมาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

(1) การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองซึ่งผลการตรวจสอบพบว่า ไม่มีความผิดปกติของการทดลองเกิดขึ้น และข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือคือเป็นไปตามหลักการ ซึ่งหมายถึงค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ และเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยใกล้เคียง 0 และมีค่าคงตัว [7] จึงจะทำให้ข้อมูลจากการทดลองมีความถูกต้องและเชื่อถือได้

(2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

Response Surface Regression: % Yield CO ₂						
The analysis was done using coded units.						
Estimated Regression Coefficients for % Yield CO ₂						
Term	Coeff	SE Coeff	T	P		
Constant	54.581	0.9858	55.366	0.000		
T	-12.030	0.5400	-22.279	0.000		
V	-5.976	0.5400	-11.068	0.000		
T*T	1.813	0.9352	1.939	0.080		
V*V	1.982	0.9352	2.119	0.040		
T*V	1.737	0.6513	2.626	0.012		
S = 2.95745	R-Sq = 94.20%	R-Sq(Adj) = 93.46%				
Analysis of Variance for % Yield CO ₂						
Source	DF	Seq. SS	Adj. SS	Adj. MS	F	P
Regression	5	5545.23	5545.23	1109.05	126.80	0.000
Linear	2	5412.76	5412.76	2706.38	309.42	0.000
Square	2	72.15	72.15	36.08	4.12	0.024
Interaction	1	60.31	60.31	60.31	6.90	0.012
Residual Error	39	341.11	341.11	8.75		
Lack-of-Fit	3	171.71	171.71	57.24	12.16	0.077
Pure Error	36	169.40	169.40	4.71		
Total	44	5886.34				
Estimated Regression Coefficients for % Yield CO ₂ using data in uncoded units						
Term	Coeff					
Constant	54.5807					
T	-12.0297					
V	-5.97600					
T*T	1.81300					
V*V	1.98200					
T*V	1.73650					

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซ CO₂ ด้วยหลักการทางสถิติดังในตารางที่ 2 พบว่า ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซ CO₂ อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิต และความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการบรรจุผลิตภัณฑ์ และเมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยในตารางที่ 2 พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิต และความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการบรรจุผลิตภัณฑ์มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซ CO₂ อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) สามารถเขียนแบบจำลองสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซ CO₂ ได้ดังนี้

$$y = 54.5807 - 12.0297x_1 - 5.97600x_2 + 1.98200x_1^2 + 1.73650x_1x_2 \quad (1)$$

เมื่อ

y คือ ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

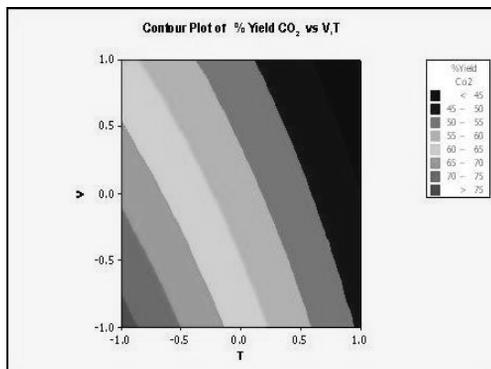
x_1 คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิต

x_2 คือ ความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลม (Filler Machine) ในการบรรจุผลิตภัณฑ์

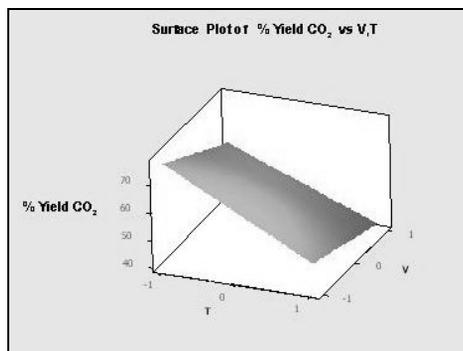
เมื่อทำการทดสอบ Lack of Fit ซึ่งเป็นการทดสอบทางสถิติวิธีหนึ่ง สำหรับทดสอบว่าฟังก์ชันถดถอยที่ใช้เหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ หรือรูปแบบการถดถอยที่ใช้เหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ พบว่า ค่า P-Value (เท่ากับ 0.077) มีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ ($P < 0.05$) นั้นแสดงว่ารูปแบบสมการถดถอยแบบเทอม Full Quadratic ที่ได้ มีความเหมาะสมกับข้อมูล และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R - Sq$) และ $R - Sq(adj)$ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดว่าสมการที่ประมาณเหมาะสมกับข้อมูลเพียงไร พบว่า ค่า $R - Sq(adj)$ มีค่าเท่ากับ 93.46% หมายความว่า สมการถดถอยที่ประมาณเหมาะสมกับข้อมูลในระดับดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้แบบจำลองสมการถดถอยที่อยู่ในรูปแบบเทอม Full Quadratic ดังสมการ (1) ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.2 ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

เมื่อใช้การประมวลผลในลักษณะของวิธีการป็นขั้นด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest ascent) และด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัย [7] ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้จะช่วยแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิตและความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการผลิต สามารถแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองดังรูปที่ 6 และ 7 นี้



รูปที่ 6 โครงร่างระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิต (T) และความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการผลิตผลิตภัณฑ์ (V)



รูปที่ 7 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิต (T) และความเร็วรอบเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการผลิตผลิตภัณฑ์ (V) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จากรูปที่ 6 และ 7 พบว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นหรือการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ผลิตผล (Percent Yield CO₂) เมื่อระดับค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิต (T) และความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการบรรจุผลิตภัณฑ์ (V) แนวนอนลดลง ถ้าลดระดับค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิตและความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการบรรจุผลิตภัณฑ์แนวนอนต่ำลง ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมมากที่สุดคือ 76.85% โดยอุณหภูมิของน้ำก่อน

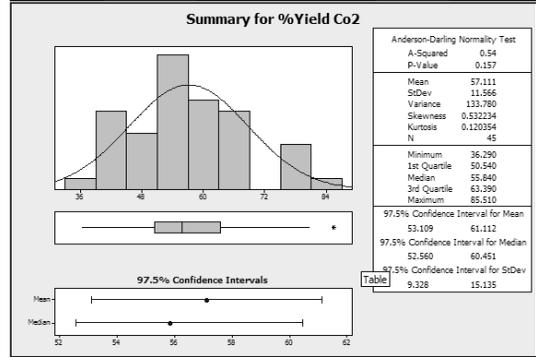
เข้าสายการผลิตที่ระดับ 3 องศาเซลเซียส และค่าความเร็วยรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการบรรจุผลิตภัณฑ์ควรรที่ระดับ 1,300 กระทบต่อหน้าที่ (Bottle per minute: bpm) การทดลองขั้นตอนของการควบคุมกระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกำหนดค่าปัจจัยในขั้นตอนการควบคุมการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง

ปัจจัยควบคุม	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	ช่วงควบคุม	หน่วย
1. อุณหภูมิ	3	2.5 – 3.5	°C
2. ความเร็วยรอบของเครื่อง	1,300	1,250 – 1,350	bpm

4.3 ผลการทดลองหลังการปรับปรุงเพื่อทดสอบยืนยันผลการวิจัย

การทดสอบยืนยันผลการวิจัยเป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 2 ปัจจัย โดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 2 ปัจจัยตามค่าที่ได้กำหนดไว้คือ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิตและความเร็วยรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมเพื่อตรวจสอบค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นไปตามผลการวิเคราะห์หรือไม่ โดยทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของกระบวนการผลิต จากนั้นทำการสุ่มทำการวัดค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเวลา 30 ชั่วโมง เพื่อนำมาตรวจสอบค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ว่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม 10% ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้จริงหรือไม่ ผลจากการสุ่มเก็บตัวอย่างสามารถแสดงผลการตรวจสอบได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลจากการทดสอบยืนยันผลการวิจัย

จากรูปที่ 8 พบว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (ค่า P-value anderson-darling normality test) และค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 57.11 เปอร์เซ็นต์หรือประมาณ 57 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าสูงกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ว่าจะปรับปรุงให้ได้เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์หรือประมาณ 37.76 เปอร์เซ็นต์ และเป็นไปตามผลจากการวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer

4.4 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

4.4.1 การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง ฐานการคำนวณกำลังการผลิต ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษาปี 2555 แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กำลังในการผลิตน้ำอัดลมกระป๋อง

Item	Soft Drink 325 ml Production		
	Shift#1	Shift#2	Shift#3
	12.00-08.00 am	08.00-4.00 am	4.00-12.00 pm.
Demand (Box)	24,000	8,000	12,000
Demand (Can)	576,000	192,000	288,000
Demand CO ₂ (kg)	1390.08	463.36	695.04

ตารางที่ 4 แสดงกำลังการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง ในการผลิตน้ำอัดลมนั้นกำลังในการผลิตในแต่ละวันจะทำการผลิตตามแผนของการผลิตซึ่งมาจากหลายปัจจัย อาทิเช่น จำนวนความต้องการของตลาด ยอดการสั่งซื้อในช่วงเวลาดังกล่าวในอดีตที่ย้อนหลัง 1- 2 สัปดาห์ การพยากรณ์ จำนวนการผลิตของคู่แข่ง เป็นต้น สามารถนำมาคิดประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดังตารางที่ 5 จากข้อมูลในตารางที่ 5 เป็นศึกษาข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึง เดือนตุลาคม 2555 พบว่าเกิดการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเฉลี่ย 68.27% ประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยได้ 31.73% เป็นมูลค่าการสูญเสียเฉลี่ย 396,760 บาท ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม 2555 พบว่าเกิดการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องคิดเป็นการสูญเสียเฉลี่ย 19.92% และประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 80.08% คิดเป็นมูลค่าการสูญเสียเฉลี่ย 6,252 บาท

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลการผลิตภัณฑ์น้ำอัดลมบรรจุกระป๋องก่อนและหลังการปรับปรุง

Month	ก่อนปรับปรุง		
	การสูญเสีย CO ₂ (%)	ประสิทธิภาพการใช้ CO ₂ (%)	มูลค่าการสูญเสีย (บาท/เดือน)
January	67.7	32.3	453,752
February	67.19	32.81	338,025
March	66.74	33.26	495,118
April	68.33	31.67	486,456
May	74.19	25.81	545,349
June	72.89	27.11	404,094
July	72.6	27.4	467,596
August	69.46	30.54	253,250
September	61.49	38.51	279,081
October	62.11	37.89	244,878
ค่าเฉลี่ย	68.27	31.73	396,760
Month	หลังปรับปรุง		
	การสูญเสีย CO ₂ (%)	ประสิทธิภาพการใช้ CO ₂ (%)	มูลค่าการสูญเสีย (บาท/เดือน)
November	20.48	79.52	7,283
December	19.36	80.64	5,220
ค่าเฉลี่ย	19.92	80.08	6,252

4.4.2 การวิเคราะห์ด้านพลังงาน

เนื่องจากค่าไฟฟ้าและพลังงานของโรงงานกรณีศึกษาได้คิดโดยแยกตามสายการผลิต จึงสามารถวิเคราะห์ได้แต่พลังงานรวมตามแต่ละสายการผลิตสามารถดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้าของสายการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋อง

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง	
			ค่าที่ได้	เปอร์เซ็นต์
พลังงานไฟฟ้าในการเดิน	64.5	67	3	4
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	129,161	134,168	5,006	4

หมายเหตุ: ฐานการคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเครื่องจักร Soft Drink Filling Machine อายุใช้งาน 10 ปี, ประสิทธิภาพมอเตอร์ร้อยละ 80, ค่าพลังงานไฟฟ้า 2.67 บาท/ยูนิท, การเดินเครื่องจักร 600 ชั่วโมง/1,056,000 กระป๋อง [8]

จากตารางที่ 6 การวิเคราะห์ในส่วนของก่อนทำการปรับปรุงเปรียบเทียบกับหลังทำการปรับปรุงพบว่า ภายหลังการปรับปรุงมีค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้าของสายการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องเพิ่มขึ้นจากผลของการปรับเพิ่มค่าอุณหภูมิเป็นจำนวน 3 กิโลวัตต์จากเดิมคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น 5,006 บาท แต่ในการปรับปรุงโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองนี้สามารถลดปริมาณของการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องลง 48.35 % คิดเป็นมูลค่าการลดค่าใช้จ่ายลงได้ 390,508 บาท ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลต่อการเพิ่มของพลังงานไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่สามารถช่วยให้ลดการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปได้อย่างคุ้มค่ามากกว่า

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 บทสรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยครั้งนี้สามารถพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำอัดลมบรรจุกระป๋องอยู่

2 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิต และค่าความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมในการบรรจุผลิตภัณฑ์และเมื่อได้ทำการควบคุมระดับของอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสายการผลิตเท่ากับ 3 องศาเซลเซียส และควบคุมระดับของค่าความเร็วรอบของเครื่องบรรจุน้ำอัดลมเท่ากับ 1,300 ครอบง้อมต่อนาที ผลจากการประยุกต์ใช้เงื่อนไขของปัจจัยหลักในการออกแบบการทดลองพบว่าเมื่อนำผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองไปใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มจากเดิม 10% ผลการทดลองสรุปได้ว่าค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสายการผลิตมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 80.08% คิดเป็นส่วนเพิ่มจากเดิม 48.35% ซึ่งถือว่าผ่านการตรวจสอบและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าประสิทธิภาพการใช้งานของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถลดการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องเหลือเพียง 19.92% คิดเป็นส่วนลดจากเดิม 48.35% สามารถลดต้นทุนการใช้วัตถุดิบให้แก่โรงงานได้ประมาณ 390,508 บาทต่อเดือน แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผลิตน้ำอัดลมบรรจุกระป๋องก่อนและหลังการปรับปรุง

รายการ	ก่อน	หลัง	ผลต่าง
ค่าเฉลี่ยการสูญเสีย CO ₂ (%)	68.27	19.92	-48.35
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้ CO ₂	31.73	80.08	48.35
ค่าเฉลี่ยมูลค่าการสูญเสีย(บาท/เดือน)	396,760	6,252	-390,508

หมายเหตุ : เครื่องหมาย + / - หมายถึง การเปลี่ยนแปลงมีการเพิ่มค่าขึ้น หรือลงตามลำดับ

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

ในการทดลองนี้มีข้อกำหนดของปัจจัย 2 ปัจจัย และกำหนดระดับของปัจจัยจะกำหนดเป็น 3 ระดับ เพราะทำให้เราทราบว่าจะระดับของกระบวนการควรอยู่จุดใดในการทดลอง เนื่องจากมีการกำหนดระดับปัจจัยหลายระดับในการทดลอง จะเกิดความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองค่อนข้างสูง เพราะในการเปลี่ยนระดับปัจจัยในการทดลองแต่ละครั้งต้องเสียเวลา และอาจมีผลกระทบต่อกระบวนการอื่นของโรงงานกรณีศึกษา

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 โรงงานกรณีศึกษายังมีปัญหาเรื่องของการสูญเสียต้นทุนวัตถุดิบประเภทอื่นอีก ดังนั้นสามารถนำหลักการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาอื่นๆ ในกระบวนการผลิต

5.3.2 การนำหลักการแก้ปัญหาไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน ต้องมีการศึกษาเพื่อหาปัจจัยให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตเช่น โรงงานอาจมีวิธีการผลิตหรือส่วนผสมที่แตกต่างกัน เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาผู้ให้การสนับสนุนในกำลังใจในการทำงาน ท่านผู้จัดการโรงงานกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุนในการเก็บข้อมูล ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยรหัสโครงการ 51-11-04-002 ที่ได้รับจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Suandusit IT center. Beverage Industry [cited 2012 September 12]. Available from URL: <http://www.arip.co.th/businessnews>. (In Thai).
- [2] Tuammee S. Defect Reduction in Plastic Sheet Process: Applying the Design of Experiments; A Company Case Study in Plastic Industry. Journal of KMUTNB. 2008; 18 (3): 80-89. (In Thai).
- [3] Montgomery, DC. Design and Analysis of Experiments. 6th ed. The United States of America: John Wiley & Sons, INC; 2005.
- [4] Chutima P. Design of experiment for engineering. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House; 2002. (In Thai).
- [5] Pookmanee P. Determination of alcohol in carbonated beverage gas chromatography [Msc thesis]. Chiang Mai: Chiang Mai University; 1995. (In Thai).
- [6] Boonpakdee W. A study of effective factors for efficient solvent recovery system by design of Engineering experiments method case study of Union Thai-Nichiban Co.,Ltd. [Msc thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok; 2007. (In Thai).
- [7] Saleesing W. Defect reduction by design for experiment. Productivity World. 2003; 45 (8): 36-40. (In Thai).
- [8] Buajanpho Y. Studying on economic value for Nakhon Ratchasima zoo [Rsearch report]. Nakhon Ratchasima: Nakhon Ratchasima Rajabhat University; 2006. (In Thai).