

บทที่ 4

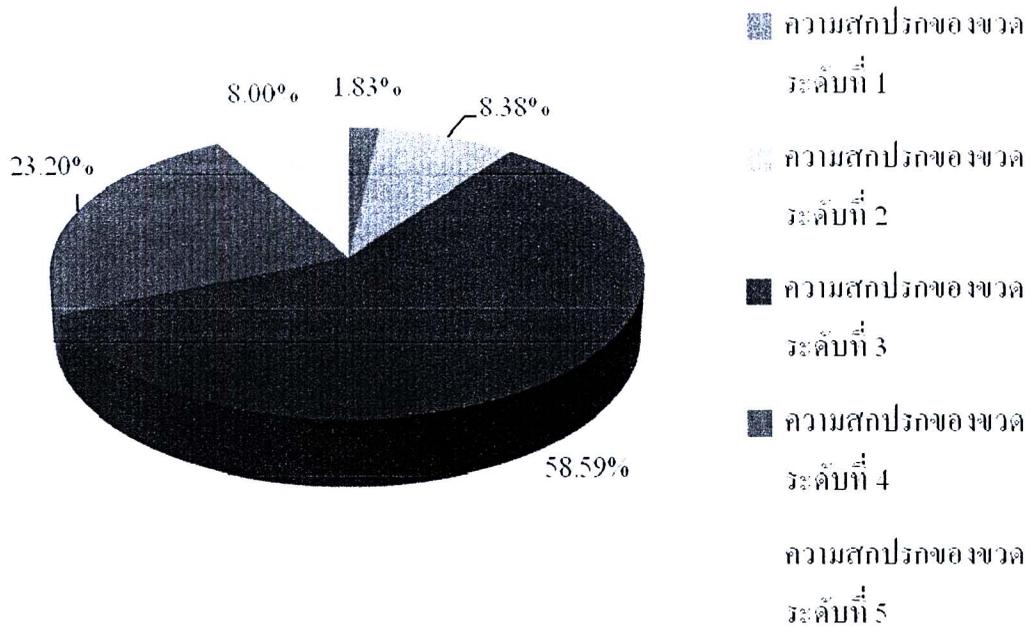
ผลการวิจัยและวิจารณ์

ในการศึกษาเรื่อง สภาวะที่เหมาะสมของการล้างขวดแก้วที่ใช้แล้ว โดยเครื่องล้างขวดระบบอัตโนมัติในโรงงานผลิตโซดา ได้เก็บรวบรวมข้อมูลนำเสนอผลการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

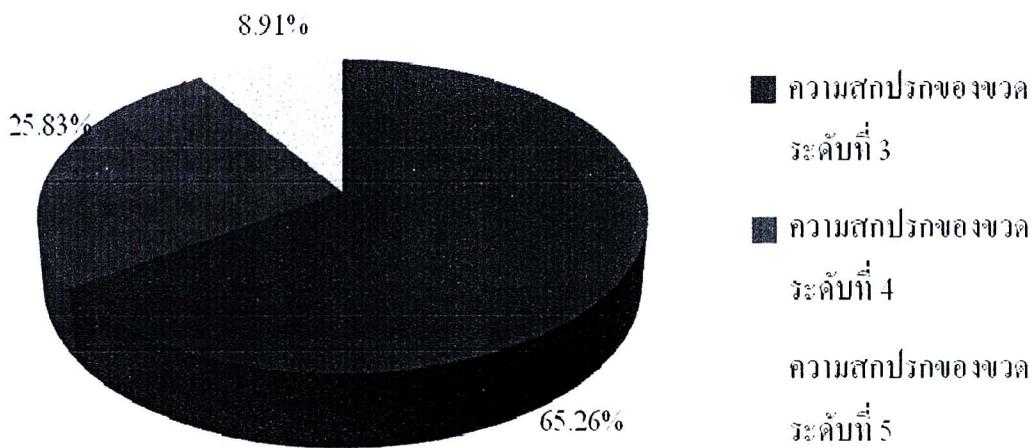
4.1 การคัดขวดเปล่าโซดาใช้แล้ว

จากการนำขวดเปล่าโซดาขนาด 400 มิลลิลิตรที่ใช้แล้ว ที่รับเข้ามายังโรงงานและยังไม่ผ่านกระบวนการล้างจำนวน 2,000 ถึง (48,000 ขวด) นำไปตรวจพินิจลักษณะทางกายภาพ และคัดแยกแบ่งระดับความสกปรกของขวดออกเป็น 5 ระดับตามมาตรฐานโรงงาน โดยผู้ชำนาญของโรงงาน พบว่าขวดที่ถูกคัดแยกแบ่งระดับความสกปรกทั้ง 5 ระดับมีจำนวนแตกต่างกัน โดยที่ขวดที่มีความสกปรกระดับ 3 คือขวดที่สกปรกมาก ผิวนอกไม่วาว แต่ยังคงสามารถล้างออกได้ โดยกระบวนการล้างขวดอัตโนมัติ มีจำนวนมาก ถึงร้อยละ 58.59 (ภาพที่ 4.1) ซึ่งเป็นปริมาณมากที่สุดของจำนวนขวดทั้งหมดที่รับเข้าโรงงาน ขณะที่ขวดที่มีความสกปรกระดับ 1 คือขวดที่สกปรกมาก ผิวนอกไม่วาว ปากขวดเป็นสนิม และไม่สามารถล้างออกได้ มีจำนวนเพียงร้อยละ 1.83 ซึ่งเป็นปริมาณน้อยที่สุดของจำนวนขวดทั้งหมดที่รับเข้าโรงงาน และเป็นจำนวนขวดที่โรงงานต้องคัดทิ้ง ไม่นำเข้าสู่กระบวนการผลิต

เมื่อพิจารณาขวดที่มีความสกปรกระดับที่ 3 4 และ 5 ซึ่งเป็นระดับความสกปรกที่สามารถล้างออกได้โดยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ พบว่ามีจำนวนรวมคิดเป็นร้อยละ 89.79 ของจำนวนขวดทั้งหมดที่รับเข้าโรงงาน แต่ในการวิจัยนี้ได้เลือกเฉพาะขวดที่มีความสกปรกระดับที่ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีระดับความสกปรกมากที่สุด ที่สามารถล้างออกได้ด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีจำนวนมากที่สุดในกลุ่มขวดที่มีความสกปรก ที่สามารถล้างออกได้โดยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ คิดเป็นร้อยละ 65.26 (ภาพที่ 4.2) และเป็นจำนวนขวดมากที่สุดของจำนวนขวดทั้งหมดที่รับเข้าโรงงาน ไปใช้เป็นตัวแทนขวดที่ใช้ในการวิจัยต่อไป



ภาพที่ 4.1 สัดส่วนของหมวดเปล่าโซดาใช้แล้วที่รับเข้าโรงงานในแต่ละระดับความพึงพอใจ



ภาพที่ 4.2 สัดส่วนของหมวดเปล่าโซดาใช้แล้วที่สามารถสั่งออกได้โดยเครื่องจักรอัตโนมัติในแต่ละระดับความพึงพอใจ

4.2 คุณภาพขวดเปล่าที่ใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการล้าง และผ่านการล้างภายใต้สภาวะปกติของโรงงาน

จากขวดที่คัดไว้ในการทดลองที่ 4.1 นำไปล้างด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ ภายใต้สภาวะปกติของโรงงาน ซึ่งได้แก่ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 โดยมวลต่อปริมาตร สารเพิ่มความเข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยมวลต่อปริมาตร ควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส นำขวดเปล่าที่ล้างแล้วไปวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับขวดที่คัดไว้แต่ยังไม่ผ่านการล้าง พบว่า ขวดที่คัดไว้ที่ไม่ผ่านการล้างมีจำนวนขวดที่สะอาดเพียงร้อยละ 65.33 ± 3.51 (ตารางที่ 4.1) และไม่มีขวดใดเลยที่ผ่านเกณฑ์ทางจุลชีววิทยา (ขวดที่ผ่านเกณฑ์ทางจุลชีววิทยาคือขวดที่มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดน้อยกว่า 500 cfu และตรวจไม่พบเชื้อรา) ขณะที่ขวดคัดไว้ที่ผ่านการล้างขวดล้วนมีความสะอาดทุกขวด จำนวนขวดที่ไม่พบการตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คิดเป็นร้อยละ คิดเป็นร้อยละ 98.67 ± 1.53 จำนวนขวดที่ไม่พบการตกค้างของสารละลายเพิ่มความขาว คิดเป็นร้อยละ 98.33 ± 1.53 และทุกขวดผ่านเกณฑ์ทางจุลชีววิทยา คิดเป็นร้อยละ 100 แสดงให้เห็นว่า สภาวะที่ใช้ปกติของโรงงานนั้นแม้ว่าจะส่งผลให้ขวดที่ผ่านการล้างผ่านเกณฑ์ทางด้านความสะอาดและเกณฑ์ทางจุลชีววิทยา แต่ยังมีปัญหาเรื่องการตกค้างของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการล้างขวด ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายเพิ่มความขาว ซึ่งหากมีสารทั้ง 2 ชนิดนั้นตกค้าง ทำให้ขวดมีคราบขาว ขวดขุ่นมัว

ในสภาวะการทำงานปกติของโรงงานนั้น เมื่อขวดผ่านกระบวนการล้างแล้ว จะเรียกผู้เชี่ยวชาญดำเนินการตรวจสอบความขุ่น-ใสของขวด (bottle inspector) ก่อนเข้าสู่กระบวนการบรรจุ หากขวดที่ผ่านกระบวนการล้าง มีคราบขาวที่เกิดจากการตกค้างของสารเคมีในกระบวนการล้างตกค้างอยู่ เครื่องตรวจความขุ่น-ใสของขวดซึ่งมีกลไกในการคัดแยกให้ขวดที่มีคราบดังกล่าวเคลื่อนที่แยกออกไปจากสายพาน (ไม่เข้าสู่กระบวนการบรรจุ) เพื่อให้พนักงานรวบรวมขวดดังกล่าว นำกลับไปล้างซ้ำ (rework) ทำให้เสียค่าใช้จ่าย ทั้งค่าสารเคมี ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน รวมถึงเสียเวลาในการผลิตอีกด้วย

จากปัญหาการตกค้างของสารเคมีในกระบวนการล้างขวด แสดงให้เห็นว่าเป็นจุดอ่อนที่เหมาะสมในการนำไปศึกษาวิจัย หาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการล้าง เพื่อลดปัญหาต่างๆ ซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.1 คุณภาพขวดเปล่าที่ตัดไว้ที่ยังไม่ผ่านการล้าง และผ่านการล้างด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติภายใต้สภาวะปกติของโรงงาน

ลักษณะคุณภาพ	ขวดตัดไว้ที่ไม่ผ่านการล้าง	ขวดตัดไว้ที่ผ่านการล้างภายใต้สภาวะปกติของโรงงาน
ร้อยละจำนวนขวดที่สะอาด	65.33 ± 3.51	100.00
ร้อยละจำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	-	98.67 ± 1.53
ร้อยละจำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลายเพิ่มความวาว	-	98.33 ± 1.53
ร้อยละจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ทางจุลชีววิทยา	0.00	100.00

4.3 สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการล้างขวดระดับห้องปฏิบัติการ

จากการศึกษาการล้างขวดระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีปัจจัยสำคัญ 3 ปัจจัย และมีปริมาณสูงสุดและต่ำสุดดังนี้ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 2.0 ถึง 4.0 โดยมวลต่อปริมาตร ความเข้มข้นสารละลายเพิ่มความวาว ร้อยละ 0.2 ถึง 0.6 โดยมวลต่อปริมาตร และอุณหภูมิ 60 ถึง 90 องศาเซลเซียส นำไปให้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 วางแผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial Experiment in Central Composite Design (ทำซ้ำที่จุดกึ่งกลางจำนวน 3 ซ้ำ) ซึ่งได้สภาวะการล้างขวดระดับห้องปฏิบัติการ 17 สภาวะ (ตารางที่ 4.2)

จากการนำขวดที่ตัดไว้ในกรณีการทดลองที่ 4.1 ไปล้างในแต่ละสภาวะ ด้วยชุดล้างขวดด้วยน้ำร้อนระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งตัดแปลงจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิด้วยปั๊มปรับระดับแรงดัน พ่วงสายฉีดน้ำ (ภาพผนวกที่ ก.5) และนำขวดที่ผ่านการล้างไปวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพต่างๆ พบว่าขวดที่ผ่านการล้างในแต่ละสภาวะของการล้างได้คุณภาพแตกต่างกันในคุณลักษณะคุณภาพส่วนใหญ่ ยกเว้นความวาวผิวนอกขวดและค่าความเป็นกรด-ด่างภายในขวด ที่มีร้อยละจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ความวาวผิวนอก และร้อยละจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันไม่มากนัก (ตารางที่ 4.2)

เมื่อนำข้อมูลจากการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้ไปหาสมการถดถอยลดรูป โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 ได้สมการถดถอยลดรูปของลักษณะคุณภาพทั้ง 6

ลักษณะของขวด ที่ผ่านการล้างภายใต้สภาวะการล้างขวดระดับห้องปฏิบัติการที่แตกต่างกัน จากนั้นเลือกพิจารณาเฉพาะสมการที่มีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.85 สมการที่มีค่า R^2 เข้าใกล้ ร้อยละ 1 แสดงให้เห็นว่าสมการดังกล่าวนั้นสามารถใช้ในการทำนายผลได้ค่าที่ใกล้เคียงความจริง ซึ่งพบว่าได้สมการถดถอยถดครหัส 2 สมการ คือ สมการแสดงร้อยละจำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (R^2 คิดเป็นร้อยละ 0.89) (ตารางที่ 4.3) และ สมการแสดงร้อยละจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ทางจุลชีววิทยา (R^2 คิดเป็นร้อยละ 0.92) แสดงว่าปัจจัยที่ศึกษามีผลต่อคุณภาพทั้ง 2 ด้านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ผลต่อคุณภาพด้านอื่นๆ ไม่มากนัก และเมื่อนำสมการถดถอยถดครหัสที่ได้ทั้ง 2 สมการ ไปใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 สร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง พบว่าได้กราฟด้านการไม่ตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และคุณภาพทางจุลชีววิทยา ของขวดเปล่าที่ผ่านกระบวนการล้าง (ภาพที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ)

เมื่อพิจารณากราฟพื้นที่ตอบสนอง ด้านการไม่ตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มความวาวลดลง ส่งผลให้จำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณากราฟพื้นที่ตอบสนองด้านคุณภาพทางจุลชีววิทยา พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มความวาวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คุณภาพทางจุลชีววิทยา หรือจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ทางจุลชีววิทยามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากนั้นใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 คำนวณหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการล้างระดับห้องปฏิบัติการและทำนายลักษณะคุณภาพที่ได้ พบว่าได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด 2 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1 ประกอบด้วยความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.74 โดยมวลต่อปริมาตร ความเข้มข้นสารละลายเพิ่มความวาว ร้อยละ 0.40 โดยมวลต่อปริมาตร และอุณหภูมิ 86.06 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.4) และ สภาวะที่ 2 ประกอบด้วย ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.73 โดยมวลต่อปริมาตร ความเข้มข้นสารละลายเพิ่มความวาว ร้อยละ 0.40 โดยมวลต่อปริมาตร และอุณหภูมิ 85.85 องศาเซลเซียส โดยที่ทั้ง 2 สภาวะดังกล่าวนี้มีลักษณะคุณภาพที่ได้จากการทำนายใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 100 และเมื่อพิจารณาการใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรมพบว่า ทั้ง 2 สภาวะที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมมีความใกล้เคียงกันในทางปฏิบัติของโรงงาน จึงเลือกใช้สภาวะที่ได้จากการเฉลี่ยของสภาวะที่เหมาะสมทั้ง 2 สภาวะ ประกอบด้วย ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 2.74 โดยมวลต่อปริมาตร ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มความวาว ร้อยละ 0.40 โดยมวลต่อปริมาตร และอุณหภูมิ 86 องศาเซลเซียส

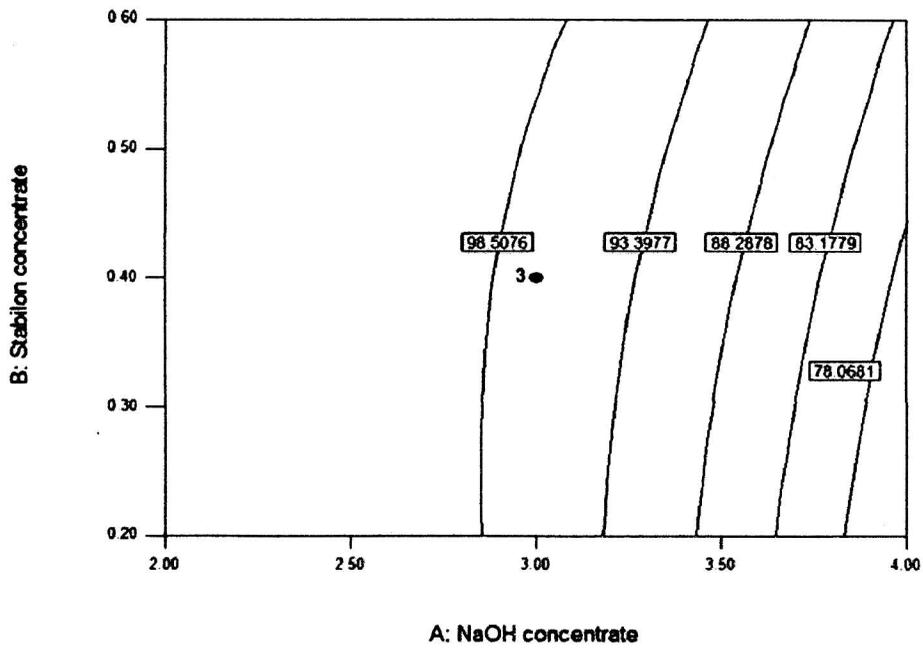
ตารางที่ 4.2 สภาวะในการล้างขวดระดับห้องปฏิบัติและลักษณะคุณภาพของขวดเปล่าโซดาที่ใช้
แล้วที่ผ่านการล้าง

สภาวะ ที่	สภาวะในกระบวนการล้างขวดระดับ ห้องปฏิบัติการ			ลักษณะคุณภาพ (ร้อยละ)					
	ความ เข้มข้น ของสาร ละลาย โซเดียม- ไฮดรอก- ไซด์ (ร้อยละ โดยมวล ต่อ ปริมาตร)	ความ เข้มข้น ของสาร เพิ่ม ความวาว (ร้อยละ โดยมวล ต่อ ปริมาตร)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	จำนวน ขวดที่ สะอาด	จำนวน ขวดที่ ผ่าน เกณฑ์ ความ วาวผิว นอก ขวด	จำนวนขวด ที่ไม่มี การตกค้าง ของ สารละลาย โซเดียม- ไฮดรอก- ไซด์	จำนวน ขวดที่ไม่ มีการ ตกค้าง ของสาร ละลาย เพิ่มความ วาว	จำนวน ขวดที่ ผ่าน เกณฑ์ ความ เป็น กรด- ด่าง	จำนวน ขวดที่ ผ่าน เกณฑ์ ทาง จุล- ชีววิทยา
1	4.0	0.60	90	100	100	76	90	92	100
2	4.0	0.60	60	100	100	100	100	100	86
3	4.0	0.20	90	100	100	70	100	88	100
4	4.0	0.20	60	100	96	80	100	92	76
5	2.0	0.60	90	100	100	100	98	100	100
6	2.0	0.60	60	100	100	100	98	100	60
7	2.0	0.20	90	98	90	100	100	100	94
8	2.0	0.20	60	76	86	100	100	100	58
9	3.0	0.40	75	100	100	94	100	96	100
10	3.0	0.40	75	100	100	98	100	100	100
11	3.0	0.40	75	100	100	100	100	100	100
12	1.3	0.40	75	56	100	100	96	100	90
13	4.7	0.40	75	100	100	46	100	86	100
14	3.0	0.06	75	100	98	100	100	100	98
15	3.0	0.74	75	100	90	96	68	100	100
16	3.0	0.40	50	44	98	94	100	100	4
17	3.0	0.40	100	100	100	100	100	100	100

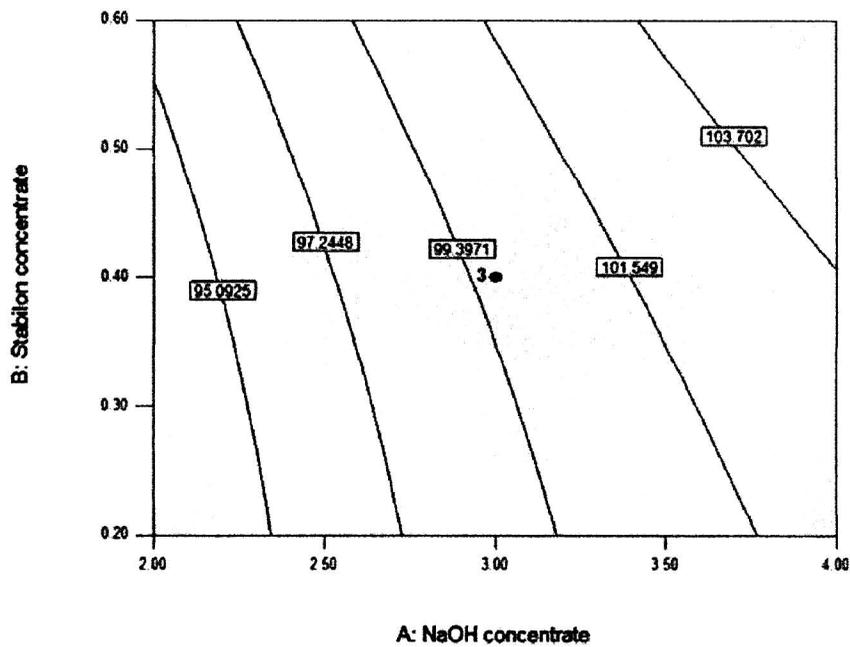
ตารางที่ 4.3 สมการถดถอยถดถอครหัสของลักษณะคุณภาพขวดปลาโซดาที่ใช้แล้ว ที่เป็นผลมาจากสภาวะในกระบวนการล้างขวดระดับห้องปฏิบัติการที่แตกต่างกัน

สมการถดถอยถดถอครหัส	R ²
1) ร้อยละจำนวนขวดที่สะอาด $= 99.07 + 7.32*A + 1.90*B + 8.51*C - 4.58*A^2 + 3.20*B^2 - 6.70*C^2 - 3.25*A*B - 2.75*A*C - 2.75*B*C$	0.64
2) ร้อยละจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ ความวาวผิวนอก $= 100.07 + 1.46*A + 1.07*B + 0.83*C - 0.23*A^2 - 2.35*B^2 - 0.58*C^2 - 2.50*A*B - 1.00*B*C$	0.56
3) ร้อยละจำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ $= 97.21 - 12.07*A + 1.41*B - 1.75*C - 8.18*A^2 + 0.66*B^2 + 4.25*A*C - 1.75*B*C$	0.89
4) ร้อยละจำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของ สารละลายเพิ่มความวาว $= 99.70 + 0.053*A - 4.97*B - 0.73*C + 0.32*A^2 - 4.63*B^2 - 1.25*A*C - 1.25*B*C$	0.70
5) ร้อยละจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ความเป็น กรด-ด่าง $= 97.67 + 0.026*A + 7.422E - 0.003*B - 0.033*C - 0.094*A^2 - 0.022*B^2 - 0.041*C^2 + 0.099*A*B + 0.11*A*C - 0.054*B*C$	0.78
6) ร้อยละจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ทาง จุลชีววิทยา $= 99.78 + 4.89*A + 1.56*B + 20.17*C - 1.03*A^2 + 0.39*B^2 - 16.23*C^2 + 0.25*A*B - 4.75*A*C - 0.75*B*C$	0.92

หมายเหตุ: A หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร)
 B หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มความวาว (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร)
 C หมายถึง อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 4.3 พื้นที่ตอบสนองของความสัมพัทธ์ ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายเพิ่มความวาว ที่มีผลต่อร้อยละจำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.4 พื้นที่ตอบสนองของความสัมพัทธ์ ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายเพิ่มความวาว ที่มีผลต่อร้อยละจำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ทางจุลชีววิทยาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.4 สภาวะที่เหมาะสมและลักษณะคุณภาพขวดที่ผ่านการล้างที่ได้จากการทำนายของโปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0

สภาวะในการล้างขวดและลักษณะคุณภาพขวด ที่ผ่านการล้าง	สภาวะที่เหมาะสม	
	สภาวะที่ 1	สภาวะที่ 2
สภาวะในการล้างขวด		
- ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร)	2.74	2.73
- ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มความวาว (ร้อยละ โดยมวลต่อปริมาตร)	0.40	0.40
- อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	86.60	85.86
คุณภาพของขวดเปล่าโซดาที่ได้จากการทำนายโดย โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert 6.0 (ร้อยละ)		
- จำนวนขวดที่สะอาด	99.99	99.93
- จำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ความวาวผิวนอก	99.96	99.94
- จำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์	99.51	99.07
- จำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลายเพิ่ม ความวาว	100.00	100.00
- จำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ความเป็นกรด-ด่าง	100.00	99.96
- จำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ทางจุล-ชีววิทยา	105.39	105.41

4.4 การทดสอบสภาวะเหมาะสมที่ได้กับเครื่องล้างขวดอัตโนมัติระดับอุตสาหกรรม

จากการนำขวดที่คัดไว้ในการทดลองที่ 4.1 ไปล้างด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติระดับอุตสาหกรรมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ 4.3 ซึ่งประกอบด้วย ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 2.74 ความเข้มข้นสารละลายเพิ่มความวาว ร้อยละ 0.40 และอุณหภูมิ 86 องศาเซลเซียส นำขวดเปล่าที่ผ่านกระบวนการล้างดังกล่าวไปวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพต่างๆ ได้แก่ ค่าความสะอาดขวด ค่าความวาวผิวนอก ค่าการไม่ตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าการไม่ตกค้างของสารละลายเพิ่มความวาว ค่าความเป็นกรด-

ค่าภายในขวด และ คุณภาพทางจุลชีววิทยา เปรียบเทียบค่าลักษณะคุณภาพที่ได้ในแต่ละลักษณะคุณภาพ กับขวดเปล่าโศคาที่ผ่านกระบวนการล้างขวดด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติภายใต้สภาวะปกติของโรงงาน พบว่ามีแต่ละลักษณะคุณภาพที่ใกล้เคียงกันมาก (ตาราง 4.5) และเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะคุณภาพที่ได้จากการทำนาของโปรแกรมสำเร็จรูปพบว่ามีค่าสอดคล้องกัน คือเข้าใกล้ร้อยละ 100

ถึงแม้ผลของลักษณะคุณภาพที่ได้ระหว่างการล้างภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด และการล้างภายใต้สภาวะปกติของโรงงานมีความใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบเชิงปริมาณเฉพาะค่าเฉลี่ย (ไม่พิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) พบว่าสภาวะปกติของโรงงานมีการเกิดการตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คิดเป็นร้อยละ 1.33 และสารละลายเพิ่มความวาว คิดเป็นร้อยละ 1.67 ของขวดทั้งหมดที่นำเข้าสู่กระบวนการล้างขวด ดังนั้นหากพิจารณาความเสี่ยงหรือโอกาสการเกิดการตกค้างของสารเคมีล้างขวด ในระดับความเสี่ยงสูงที่สุด การตกค้างของสารเคมีล้างขวดจะคิดรวมเป็นร้อยละ 3.00 ขณะที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดมีการเกิดการตกค้างของสารเคมีล้างขวดจะคิดรวมเป็นร้อยละ 1.00 ของขวดทั้งหมดที่นำเข้าสู่กระบวนการล้างขวด ซึ่งเป็นจำนวนขวดที่ต้องนำกลับไปล้างซ้ำ (rework) ดังนั้นหากนำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่หาได้จากการวิจัย ไปใช้ในกระบวนการล้างขวดด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ จะสามารถลดปัญหาการตกค้างของสารเคมีและต้องนำกลับไปล้างซ้ำ (rework) ลงได้ ร้อยละ 2.00 ของจำนวนขวดทั้งหมดที่เข้าสู่กระบวนการล้างขวด

เมื่อพิจารณาข้อมูลการล้างขวดของโรงงานแห่งนี้ ซึ่งมีกำลังในการล้างขวด 36,000 ขวดต่อชั่วโมง เดินเครื่องจักรอย่างน้อย 8 ชั่วโมงต่อวัน อย่างน้อย 20 วันต่อเดือน คิดเป็น 5,760,000 ขวดต่อเดือน สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่หาได้จากการวิจัยจะสามารถลดปัญหาการตกค้างของสารเคมีและต้องนำกลับไปล้างซ้ำ (rework) ลงได้ 115,200 ขวดต่อเดือน หรือ 1,382,400 ขวดต่อปี (ภาคผนวกที่ ง.1) ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายได้ทั้งค่าสารเคมี ค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน รวมถึงเสียเวลาในการนำกลับไปล้างซ้ำอีกด้วย

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพของขวดเปล่าโซดาที่ผ่านกระบวนการล้างขวดด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ลักษณะคุณภาพ	ค่าคุณภาพของขวดเปล่าโซดาที่ผ่านการล้างขวดด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ ^{ms}		ค่าคุณภาพของขวดเปล่าโซดาที่ได้จากการทำนายของโปรแกรมสำเร็จรูป
	ภายใต้สภาวะปกติของโรงงาน	ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด	
จำนวนขวดที่สะอาด (ร้อยละ)	100.00	100.00	99.96
จำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ความวาวผิวนอก (ร้อยละ)	99.51±0.78	99.67±0.58	99.95
จำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ)	98.67±1.53	99.00±1.00	99.29
จำนวนขวดที่ไม่มีการตกค้างของสารละลายเพิ่มความวาว (ร้อยละ)	98.33±1.53	100.00	100.00
จำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ความเป็นกรด-ด่าง (ร้อยละ)	98.67±1.15	99.57±0.58	99.98
จำนวนขวดที่ผ่านเกณฑ์ทางจุลชีววิทยา (ร้อยละ)	100.00	100.00	105.4

หมายเหตุ: ^{ms} เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี t-test ตามแต่ละลักษณะคุณภาพ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.5 เปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการล้างขวด

จากข้อมูลต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการล้างขวดด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ ในสภาวะการล้างขวดปกติของโรงงาน พบว่าในช่วงเดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553 กระบวนการล้างภายใต้สภาวะปกติของโรงงาน มีต้นทุนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 641,081.28 บาทต่อปี (ตาราง ข.2) ต้นทุนสารละลายเพิ่มความขาว 872,541.72 บาทต่อปี คิดเป็นต้นทุนสารเคมีรวมที่ใช้ในกระบวนการล้างขวด 1,513,623.00 บาทต่อปี

เมื่อกำหนดเปรียบเทียบกับต้นทุนสารเคมีที่ใช้ ในกระบวนการล้างภายใต้สภาวะเหมาะสมที่สุดที่ได้จากการวิจัยด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติ ตามปริมาณสัดส่วนการใช้งานและราคาของสารเคมีที่แตกต่างกัน พบว่า กระบวนการล้างภายใต้สภาวะเหมาะสมที่สุดที่ได้จากการวิจัย มีต้นทุนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 702,625.08 บาทต่อปี (ภาคผนวกที่ ง.2.1) สูงกว่าสภาวะปกติของโรงงาน ร้อยละ 9.60 มีต้นทุนสารละลายเพิ่มความขาว 581,985.33 บาทต่อปี ต่ำกว่าสภาวะปกติของโรงงาน ร้อยละ 33.33 คิดเป็นต้นทุนสารเคมีรวมที่ใช้ในกระบวนการล้างขวด 1,284,348.64 บาทต่อปี คิดเป็นต้นทุนสารเคมีรวมที่ลดลง 229,274.36 บาทต่อปี หรือร้อยละ 15.13

เมื่อพิจารณาพลังงาน พบว่า สภาวะการล้างขวดปกติของโรงงาน ใช้น้ำมันเตาเป็นแหล่งพลังงานในการอุ่นให้ความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจากอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 30 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเป็น 90 องศาเซลเซียส พบว่าต้องเพิ่มอุณหภูมิขึ้นอีก 60 องศาเซลเซียส ขณะที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการวิจัย ใช้น้ำมันเตาเป็นแหล่งพลังงานในการอุ่นให้ความร้อน เพิ่มอุณหภูมิของน้ำจากอุณหภูมิห้องเพิ่มขึ้นเป็น 86 องศาเซลเซียส พบว่าต้องเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเพียง 56 องศาเซลเซียส คิดเป็นการใช้พลังงานที่ลดลงร้อยละ 6.66 (ภาคผนวกที่ ง.2.2) เมื่อคิดอุณหภูมิที่ลดลงเป็นต้นทุนในส่วนของพลังงานที่ลดลง โดยคิดจากปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ในการอุ่นน้ำให้ร้อนในกระบวนการล้างขวด จากข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันเตา ในช่วงเดือนมกราคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553 ที่ผ่านมา โรงงานใช้น้ำมันเตาเฉลี่ย 1,455,120.00 บาทต่อปี ดังนั้นหากนำสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการวิจัย ไปใช้ในกระบวนการล้างขวดด้วยเครื่องล้างขวดอัตโนมัติจะสามารถลดต้นทุนน้ำมันเตาได้ถึงร้อยละ 6.66 ของต้นทุนเดิม หรือคิดเป็นมูลค่า 96,911 บาทต่อปี

เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนรวมที่ใช้ในกระบวนการล้างขวด ได้แก่ ต้นทุนสารเคมีและต้นทุนพลังงาน พบว่าสภาวะปกติของโรงงานใช้ต้นทุนรวม 2,968,743.00 บาทต่อปี ขณะที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการวิจัยใช้ต้นทุนรวม 2,642,557.64 บาทต่อปี คิดเป็นต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการล้างขวดลดลง 326,185.36 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 10.98 (ภาคผนวกที่

ง.2.3) ทั้งนี้ยังไม่รวมต้นทุนเกี่ยวกับส่วนของค่าแรงงาน ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการล้างขวดและค่าเสียโอกาสต่างๆด้วย