สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตน้ำโซดา

DESIGN AND DEVELOPMENT OF CARBONATED SYSTEM

T104201

อัศนัย ตุงคะเตชะ
ยุวนารถ ออรุ่งวิไล
ณัฐพร อินสว่าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104201
วัน,เดือน,ปี 30 มี.ค. 2552

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF CARBONATED SYSTEM

USSANAI TUNGATEJA

YUWANART ORRUNGVILAI

NATAPORN INSAWANG

A SPECIAL PROJECT SUBMITED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF FOOD ENGINEERING

DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตน้ำโซดา

DESIGN AND DEVELOPMENT OF CARBONATED SYSTEM

ผู้จัดทำ

นายอัศนัย	ตุงคะเตชะ	รหัสประจำตัว	48011108
นางสาวยุวนารถ	ออรุ่งวิไล	รหัสประจำตัว	48010718
นางสาวณัฐพร	อินสว่าง	รหัสประจำตัว	48010267

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.สมัคร รักแม่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตน้ำโซดา			
นักศึกษา	นายอัศนัย	ตุงคะเตชะ	รหัสประจำตัว	48011108
	นางสาวยุวนารถ	ออรุ่งวิไล	รหัสประจำตัว	48010718
	นางสาวณัฐพร	อินสว่าง	รหัสประจำตัว	48010267
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต			
สาขา	วิศวกรรมอาหาร			
ปีการศึกษา	2551			
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สมัคร รักแม่			

บทคัดย่อ

เครื่องดื่มอัดก๊าซของไทยมีมูลค่านับหมื่นล้านบาทต่อปี แต่เนื่องจากเครื่องจักรที่ผลิตในโรงงานมีราคาแพงและต้องลงทุนสูง จึงไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก โครงงานนี้จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตน้ำโซดาให้มีกำลังการผลิตที่เหมาะสมกับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยใช้หลักการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำโดยออกแบบและทดลองด้วยชุดระบบหัวฉีด ซึ่งจะพ่นน้ำเป็นละอองฝอยทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับก๊าซมากขึ้น จากการทดลองพบว่าชุดระบบหัวฉีดดังกล่าวสามารถนำมาใช้งานได้จริงจึงได้พัฒนาให้เป็นระบบต่อเนื่อง ใช้หลักการผลิตน้ำโซดาด้วยการใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำภายในถังกลับเข้ามาผ่านชุดหัวฉีดหมุนวนน้ำ และเติมน้ำผ่านชุดหัวฉีดเติมอีกชุดหนึ่ง โดยให้อัตราการไหลของน้ำเติมเท่ากับอัตราการไหลของน้ำโซดาออก น้ำโซดาที่ได้จะถูกส่งไปไว้ในถังพักเพื่อส่งเข้ากระบวนการผลิตต่อไป ทำการทดลองที่ความดันสภาวะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 บาร์ อุณหภูมิน้ำ 10 องศาเซลเซียส ศึกษาจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ อัตราส่วนความสูงของน้ำต่อก๊าซภายในถังต่อละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ และออกแบบระบบการผลิตน้ำโซดาแบบต่อเนื่องโดยหาอัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำ จากการทดลองพบว่า จำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำ 12 หัวฉีดนั้น จะได้การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่ประมาณ 3.3 volume ภายในเวลาประมาณ 5 นาที อัตราส่วนความสูงของน้ำต่อก๊าซภายในถังควรมีค่าไม่น้อยกว่า 1:2 และอัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำที่เหมาะสมคือ 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title DESIGN AND DEVELOPMENT OF CARBONATED SYSTEM

Student Ussanai Tungateja

Yuwanart Orrungvilai

Nataporn Insawang

Degree Food Engineering

Program Food Engineering

Year 2008

Advisor Samak Rakmae

ABSTRACT

Carbonated drink values more than 10,000 million baht a year. Nowadays the carbonated machine is too expensive for a small business. This objective of this project was to design and develop carbonated system for a small business. Spray nozzle is concern with increasing surface area for the intermixture of carbon dioxide and water. This projection plans to use a liter of water by a spray nozzle rate. Firstly, 12 liters of water are filled in a vessel of carbon dioxide under pressure. A pump circulates the water to spray into the vessel for increasing surface area. Improve to be a continue system by feeding fresh water into the vessel by the new spray nozzles. Balancing the level of water in the carbonated vessel by flowing the product out to a container. There are 3 experiments for the optimum circulated spray, level of water in the vessel and feeding spray. Thus 12 circulated sprays under carbon dioxide pressure 2 bar 10 degree Celsius can take 12 liters of water to be carbonated 3.3 volumes in 5 minutes. Level of water in the vessel should be a part from 3 parts of vessel height. For the continue system a feeding spray should have 3 circulated sprays.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยความเมตตากรุณาจาก อ.สมัคร รักแม่ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำและชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ บิดาและมารดา สำหรับกำลังใจ ความห่วงใย ตลอดจนการสนับสนุนในทุกๆ ด้านตลอดมา

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่าน ที่ถ่ายทอดวิชาความรู้รวมถึงบอกเล่าประสบการณ์ต่างๆ ในด้านการทำงานและการใช้ชีวิต

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ คูตะคุ (พี่แมน) เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ และคุณวราภรณ์ มาไพศาล ทรัพย์ (พี่นุ้ย) นักวิทยาศาสตร์ ที่คอยช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อในการเตรียมอุปกรณ์และดูแลความเรียบร้อยต่างๆ ในการปฏิบัติงานของโครงงานนี้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สถานศึกษาที่เป็นที่ประสิทธิ์ประสาทแห่งวิชาความรู้ทั้งมวล และเป็นจุดเริ่มต้นของการย่างก้าวสู่ความเป็นวิศวกรรมอาหารอย่างมีประสิทธิภาพทำให้ความฝันที่ตั้งใจไว้กลายเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	I
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	II
	หน้าอนุมัติ	III
	บทคัดย่อ	IV
	Abstract	V
	กิตติกรรมประกาศ	VI
	สารบัญ	VII
	สารบัญตาราง	IX
	สารบัญรูปภาพ	X
1	**บทนำ**	1
	1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	**ทฤษฎีและหลักการ**	3
	2.1 ความสำคัญของน้ำโซดา	3
	2.2 หลักการผลิตน้ำโซดา	5
	2.3 ประเภทเครื่องดื่มอัดก๊าซ	7
	2.4 คุณสมบัติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	8
	2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	9
	2.6 หน่วยวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	9
	2.7 การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	11
	2.8 ขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซ	11
	2.9 หัวฉีด (Nozzle)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	**การออกแบบและการทดลอง**	18
	3.1 การคำนวณและออกแบบถังรับแรงดัน	18
	3.2 การออกแบบและพัฒนา	21
	3.3 การออกแบบ Spray Nozzle	21
	3.4 การออกแบบชุดระบบหัวฉีด	23
	3.5 ขนาดของปั๊ม	23
	3.6 หลักการทำงานและส่วนประกอบ	24
	3.7 การวางแผนการทดลอง	24
	3.8 วิธีการทดลอง	25
	3.9 การวัดปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีPiercing Device	27
4	**ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง**	31
	4.1 ผลการทดลองระบบไม่ต่อเนื่อง	31
	4.2 ผลการทดลองระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง	34
5	**สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ**	36
	5.1 สรุปผลการทดลอง	36
	5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	37
เอกสารอ้างอิง		38
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก.	39
	ภาคผนวก ข.	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1	โรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดก๊าซในประเทศไทย	4
ตารางที่ 2.2	ลักษณะและสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคาร์บอนไดออกไซด์	9
ตารางที่ 2.3	หัวฉีดประเภทต่างๆ และการใช้งาน	15
ตารางที่ 3.1	ปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ (Volume)	30
ตารางที่ ข-1	ค่าประสิทธิภาพรอยต่อ	45
ตารางที่ ข-2	กฎข้อบังคับและคุณลักษณะเฉพาะ	46
ตารางที่ ข-3	คุณสมบัติของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ 2.1	**หลักการผลิตน้ำโซดาแบบทิ้งให้เกิดสมดุล แบบฉีดพ่นน้ำและแบบฉีดพ่นก๊าซ**	**6**
รูปที่ 2.2	หลักการผลิตน้ำโซดาแบบให้น้ำไหลผ่านแผ่นทำความเย็น	7
รูปที่ 2.3	การแยกตัวของหยดละอองจากแผ่นของเหลวที่ออกจากรูฉีดในลักษณะต่างๆ	15
รูปที่ 2.4	หัวฉีดประเภทใช้แรงดันของเหลวต่างๆ	17
รูปที่ 3.1	ส่วนประกอบของเครื่องผลิตน้ำโซดา	18
รูปที่ 3.2	หัวฉีด	22
รูปที่ 3.3	ชุดระบบหัวฉีดหมุนวนน้ำ 12 หัวฉีด	23
รูปที่ 3.4	ชุดระบบหัวฉีดเติม	23
รูปที่ 3.5	หลักการทำงานของเครื่องผลิตน้ำโซดา	24
รูปที่ 3.6	อุปกรณ์ Piercing Device ต้นแบบ 1	27
รูปที่ 3.7	อุปกรณ์ Piercing Device ต้นแบบ 2	28
รูปที่ 3.8	อุปกรณ์ Piercing Device ที่ได้ปรับปรุง	29
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำกับการละลาย CO_2 ในน้ำ	32
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของหัวฉีดต่อปริมาณน้ำ (ลิตร) ภายในถังกับเวลาที่ทำให้ปริมาณ CO_2 ในน้ำคงที่	32
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อก๊าซกับ Volume	33
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อก๊าซกับเวลาที่ทำให้ปริมาณ CO_2 ในน้ำคงที่	34
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อหัวฉีดหมุนวนน้ำกับ Volume	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
รูปที่ ก-1	ชุดระบบบรรจุและปิดฝา	40
รูปที่ ก-2	ระบบบรรจุ	40
รูปที่ ก-3	ระบบปิดฝา	40
รูปที่ ก-4	ถังอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	41
รูปที่ ก-5	เกจวัดความดันภายในถัง	41
รูปที่ ก-6	เทอร์โมมิเตอร์	41
รูปที่ ก-7	ชุดระบบหัวฉีดหมุนวนน้ำ 12 หัว	42
รูปที่ ก-8	ชุดระบบหัวฉีดเติมติดตั้งบนฝา	42
รูปที่ ก-9	Piercing Device ต้นแบบ 2	43
รูปที่ ก-10	Piercing Device ที่ได้ปรับปรุง	43
รูปที่ ข-1	การกัดกร่อน	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำอัดลม หมายถึง เครื่องดื่มที่ผสมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดความซ่า แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ไม่มีการผสมน้ำหวาน เรียกว่า โซดา และประเภทที่มีการผสมน้ำหวาน ปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติ น้ำอัดลม เป็นสิ่งที่ผู้คนรู้จักและหลงใหลมาตลอดระยะเวลาอันยาวนาน โดยผู้คนในสมัยโบราณในยุคกรีกและโรมัน รู้จักน้ำอัดลมในรูปของน้ำพุแร่ซึ่งผุดขึ้นมาจากแหล่งน้ำใต้ดินตามธรรมชาติ ต่อจากนั้นชาวยุโรปจึงได้รู้จักการดื่มน้ำแร่ธรรมชาติเพื่อสุขภาพอนามัยเป็นครั้งแรก

การผลิตน้ำอัดลมในรูปแบบของอุตสาหกรรม ได้เกิดขึ้นครั้งแรกที่ประเทศอังกฤษในปี พ.ศ. 2315 โดย นาย โจเซฟ พรีสต์ลีย์ เป็นผู้ค้นคิดวิธีกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในน้ำ ต่อจากนั้นในปี พ.ศ. 2373 น้ำบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เริ่มเป็นที่รู้จักและเผยแพร่มากยิ่งขึ้น จนเข้าไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาและได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง

น้ำอัดลมมีขึ้นครั้งแรกในประเทศไทย สมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 4 การผลิตน้ำอัดลมดังกล่าวยังไม่มีการปรุงแต่ง กลิ่น และรสชาติแต่อย่างใด เรียกว่า น้ำโซดา ต่อมา ได้มีการทำน้ำอัดลมปรุงแต่ง กลิ่น และรสชาติด้วยน้ำมะนาว อุตสาหกรรมน้ำอัดลมมีแนวโน้มในการขยายตัวตลอดมา เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเมืองร้อน ความต้องการบริโภคน้ำอัดลมของคนไทยจึงมีมากขึ้น ต่อมาอุตสาหกรรมนี้ได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จนกลายเป็นอุตสาหกรรมเครื่องดื่มที่ใหญ่ที่สุดในบรรดาเครื่องดื่มหลายๆ ประเภท

น้ำอัดลมเป็นอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ มีความสำคัญในการจ้างแรงงานสูงถึงปีละประมาณ 35,000 - 40,000 คน และยังรวมไปถึงการจ้างงานในอุตสาหกรรมข้างเคียง ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมน้ำตาล ขวดแก้ว กระป๋อง ฝาจุกจีบ ลังพลาสติก และบริษัทเอเยนซี่โฆษณา เป็นต้น การผลิตน้ำอัดลมของไทยมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงปี พ.ศ. 2544 - 2548 ปริมาณการผลิตน้ำอัดลมได้ขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 8.3 ต่อปี จาก 1,663 ล้านลิตร ในปี พ.ศ. 2544 เป็น 2,272 ล้านลิตรในปี พ.ศ.2548 และมีการใช้กำลังการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 66 ของการกำลังการผลิตรวม

แต่ปัจจุบัน ผู้ประกอบการน้ำอัดลมกำลังเจออุปสรรคมากมาย ทั้งในด้านต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น อันเนื่องมาจากการปรับตัวสูงขึ้นของราคาน้ำมัน อีกทั้งกระแสสุขภาพที่คนหันมาดูแลสุขภาพกันมากขึ้น ลดการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ จึงทำให้อุตสาหกรรมน้ำอัดลมที่ไม่มีประโยชน์ต่อสุขภาพได้รับผลกระทบไปด้วย ทำให้ผู้ประกอบการน้ำอัดลมต้องแข่งขันกันมากขึ้น เพื่อแย่งชิงส่วนแบ่งทางการตลาด อีกทั้งยังต้องรักษากลุ่มลูกค้ากลุ่มเดิมไม่ให้เปลี่ยนไปบริโภคเครื่องดื่มสุขภาพ เช่น เครื่องดื่มชาเขียว เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมน้ำอัดลมต้องใช้เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อทำการผลิตให้ได้จำนวนมากในระยะเวลาจำกัด เครื่องจักรที่ผลิตในโรงงานน้ำอัดลมจึงมีราคาแพงและต้องลงทุนสูง ผู้ผลิตบางรายจึงใช้เครื่องจักรเก่าในการผลิต ทำให้การผลิตไม่มีประสิทธิภาพ สิ้นเปลืองพลังงาน และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษาสูง ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิต [7]

และเนื่องจากในปัจจุบัน เครื่องผลิตน้ำโซดามีราคาสูงมาก อาจไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ในทางเดียวกัน กำลังการผลิตก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลในทางเศรษฐศาสตร์

ในโครงงานนี้จึงตระหนักถึงความสำคัญของการผลิตน้ำโซดา ให้มีอัตราการผลิตที่เร็วขึ้น และมีราคาถูก เพื่อที่จะทำการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำโซดาให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องผลิตน้ำโซดาให้เป็นการผลิตแบบต่อเนื่องที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก

1.2.2 เพื่อศึกษาจำนวนของหัวฉีดหมุนวนน้ำ ที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อก๊าซภายในถังอัดก๊าซต่อการละลายของก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ในน้ำ

1.2.4 เพื่อศึกษาอัตราส่วนหัวฉีดเติมต่อหัวฉีดหมุนวนน้ำ ที่มีกำลังการผลิตสูงสุด โดยที่การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีค่าคงที่

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาจำนวนหัวฉีดของระบบหมุนวนน้ำ ระบบเติมน้ำและอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อก๊าซภายในถังที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่อุณหภูมิ 10 $^{\circ}$C ที่ความดัน 2 บาร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้แนวทางการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตน้ำโซดาให้สามารถผลิตน้ำโซดาได้เร็วขึ้น ช่วยลดต้นทุนในการผลิตน้ำโซดาในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก

1.4.2 ทราบถึงจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำ จำนวนหัวฉีดเติมน้ำ และอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซภายในถังอัดก๊าซที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำโซดา

1.4.3 สามารถเพิ่มกำลังการผลิตน้ำโซดาและพัฒนาเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ความสำคัญของน้ำโซดา

2.1.1 ความหมายของน้ำอัดลม

น้ำอัดลม หมายถึง เครื่องดื่มที่ผสมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะทำให้เกิดความซ่า น้ำอัดลมแบ่งเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกไม่มีการผสมน้ำหวาน หรือที่เรียกว่า โซดา ส่วนอีกประเภทคือประเภทที่ผสมน้ำหวาน ปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติ

หากแบ่งน้ำอัดลมออกเป็นสายการผลิต จะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

- น้ำดำ หมายถึง น้ำอัดลมชนิดโคล่า
- น้ำสี หมายถึง น้ำอัดลมที่มีการผสมน้ำหวาน และแต่งสีเป็นหลาย ๆ แบบ เช่น น้ำแดง น้ำเขียว น้ำส้ม เป็นต้น
- เลมอน - ไลม์ หมายถึง น้ำอัดลมที่มีสีขาว ได้แก่ สไปรท์ และเซเว่น - อัพ

2.1.2 ประวัติน้ำอัดลม

น้ำอัดลม เป็นสิ่งที่ผู้คนรู้จักและหลงใหลมาตลอดระยะเวลาอันยาวนาน โดยผู้คนในสมัยโบราณในยุคกรีกและโรมัน รู้จักน้ำอัดลมในรูปของน้ำพุแร่ซึ่งผุดขึ้นมาจากแหล่งน้ำใต้ดินตามธรรมชาติ ต่อจากนั้นชาวยุโรปจึงได้รู้จักการดื่มน้ำแร่ธรรมชาติเพื่อสุขภาพอนามัยเป็นครั้งแรก

การผลิตน้ำอัดลมในรูปแบบของอุตสาหกรรม ได้เกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศอังกฤษในปี พ.ศ. 2315 โดย นาย โจเซฟ พรีสต์ลีย์ เป็นผู้คิดค้นวิธีกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในน้ำ ต่อจากนั้นในปี พ.ศ. 2373 น้ำบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เริ่มเป็นที่รู้จักและแพร่หลายมากยิ่งขึ้น จนเข้าไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาและได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยการเพิ่มสารที่ให้ความหวาน เช่น น้ำตาลและน้ำผลไม้ เพื่อสร้างความสดชื่นดับกระหายและสร้างความรื่นรมย์ให้แก่ผู้บริโภค สิ่งสำคัญในน้ำอัดลม คือ ฟองในเครื่องดื่ม และสิ่งที่ทำให้เกิดฟอง คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศของโลก ตามธรรมชาติแล้วก๊าซนี้เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น เป็นก๊าซที่มนุษย์หายใจออกมา และพืชดูดกลับเอาไปใช้หมุนเวียนอยู่ในบรรยากาศโลก นอกจากนี้ ขบวนการผลิตที่สำคัญในโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยวัตถุดิบต่างๆ เช่น น้ำบริสุทธิ์ หัวเชื้อ ซึ่งผ่านกรรมวิธีต่างๆ จนบรรจุลงภาชนะออกมาเป็นน้ำอัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 อุตสาหกรรมน้ำอัดลมในประเทศไทย

น้ำอัดลมได้มีขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทยในสมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 4 การผลิตน้ำอัดลมดังกล่าวไม่มีการปรุงแต่ง กลิ่น และรสชาติแต่อย่างใด เรียกว่าน้ำโซดา และต่อมาได้มีการพัฒนาการผลิตน้ำอัดลมโดยการปรุงแต่ง กลิ่น และรสชาตินำ้มะนาวและมีการอัดก๊าซเช่นเดียวกับโซดา

ในสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 ได้มีการผลิตน้ำอัดลมโดยชาวยุโรปและชาวจีน แต่ก็ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย และหลังการเปลี่ยนแปลงการปกครองในปี พ.ศ. 2475 รัฐบาลได้อนุญาตให้เอกชนผลิตเบียร์ไทยขึ้นแล้วก็ยังมีน้ำโซดารวมทั้งน้ำหวานด้วย การผลิตน้ำอัดลมประเภทผสมน้ำหวานในสมัยเริ่มแรกเป็นน้ำหวานสีต่างๆ ผสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บรรจุขวดอย่างง่ายออกจำหน่ายในปริมาณไม่มาก หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 สิ้นสุดลง ก็เริ่มมีการพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำอัดลม เหตุเกิดจากความต้องการในการบริโภคของทหารต่างชาติที่เข้ามาอยู่ในประเทศไทย เพื่อเข้าร่วมกับการแก้ไขวิกฤติการณ์ยุ่งยากในแถบอินโดจีนในสมัยนั้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากผู้บริโภคน้ำอัดลมต้องการบริโภคน้ำอัดลมที่มีคุณภาพและถูกสุขลักษณะ จึงเกิดโรงงานน้ำอัดลมเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย เพื่อสนองตอบความต้องการของผู้บริโภคในสมัยนั้นและแพร่หลายไปทั่วประเทศจนถึงปัจจุบัน [7]

ตารางที่ 2.1 โรงงานอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดก๊าซในประเทศไทย

ชื่อผู้ผลิต	เริ่มการผลิต	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (case/day)
เสริมสุข	1953	เป๊ปซี่ มิลินดา ทีม	78,000
ไทยน้ำทิพย์	1957	โคคาโคลา แฟนต้า สไปรท์	35,000
กรีนสปอร์ต	1954	กรีนสปอร์ต ไวตามิลค์ F&N	25,000
ไบเลย์แคลิฟอเนีย	1951	ไบเลย์	13,000
เซเวนอัพ	1953	7-อัพ อาซี เฮาดี้	20,800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อผู้ผลิต	เริ่มการผลิต	ผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (case/day)
นิวเมมโป	1948	นิวเมมโป โปลัคมิล เดียรเรส	4,000
ยูเนียนโซดา	1948	ยูเนียน	1,000
บางกอกแดรีแพลน	1958	เพียว	2,000
อังไทย	1971	ซินเดรส	3,430
คิกคาปู	1971	คิกคาปู คิส แฮปปี้	7,000
เบียร์บุญรอด	1975	โซดา	50,000

2.2 หลักการผลิตน้ำโซดา

น้ำโซดา เป็นเครื่องดื่มประเภทผสมที่มีการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาตรที่มากกว่า 3.5 ปริมาตรขึ้นไป เพื่อทำให้เครื่องดื่มมีรสชาดดีขึ้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อประสาทสัมผัสการรับรส ทำให้เกิดความรู้สึกซ่า ช่วยกระตุ้นความรู้สึกของผู้บริโภคต่อเครื่องดื่ม นอกจากนี้การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่มยังช่วยยืดเวลาในการเก็บรักษาให้นานขึ้นอีกด้วย เนื่องจากภายในเครื่องดื่มจะปราศจากก๊าซออกซิเจน ซึ่งเป็นก๊าซที่เชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะยีสต์และเชื้อรา แต่จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปแทนที่ ทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น

การผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.1 การผลิตแบบต่อเนื่อง (Continue) เป็นระบบที่มีอัตราการผลิตสูง มีความซับซ้อนมาก และใช้เงินในการลงทุนสูง ไม่เหมาะสำหรับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก

2.2.2 การผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) เป็นระบบที่ใช้เงินลงทุนต่ำ ไม่ซับซ้อน และมีอัตราการผลิตเพียงพอต่อความต้องการของผู้ประกอบการขนาดย่อม

หลักการอัดก๊าซในการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องโดยทั่วไปจะทำการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในถังอัดความดันที่บรรจุวัตถุดิบที่ต้องการอัดก๊าซ เพื่อให้เกิดการละลายในผลิตภัณฑ์ แบ่งเป็น 3 วิธี คือ

1. การเพิ่มความดันแล้วทิ้งให้เกิดการสมดุล (Head pressure and time) โดยทำการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในช่องว่างด้านบนของถัง แล้วปล่อยให้ก๊าซค่อยๆละลายลงในผลิตภัณฑ์จนข้าสู่สมดุล ซึ่งอาจต้องใช้เวลานานมาก แต่สามารถที่จะลดระยะเวลาการผลิตได้โดยการเพิ่มความดันให้สูงกว่าค่าในตาราง ซึ่งอาจเกิดการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป (Over-carbonation) ทำให้รสชาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

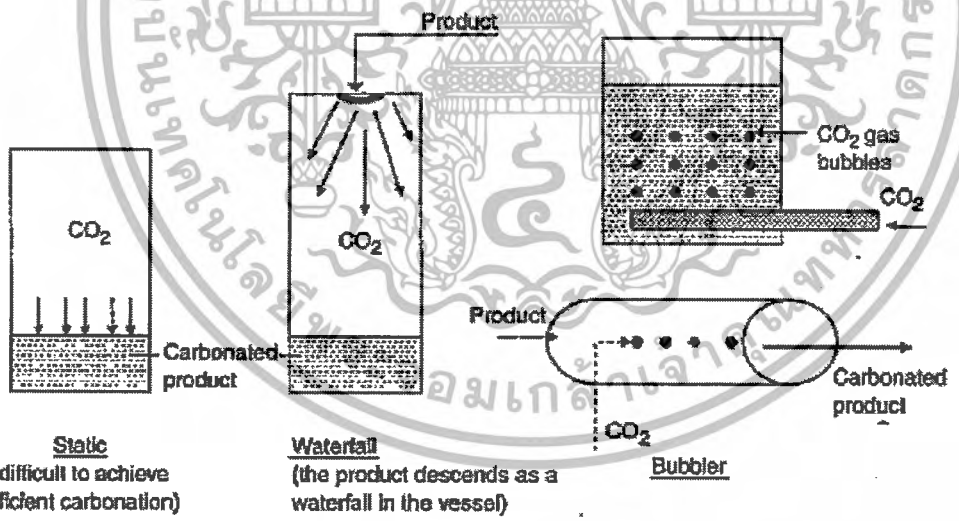
ของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากไม่สามารถควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้คงที่ได้

2. การให้ความดันพร้อมการเขย่า (Head pressure and shake) โดยทำการเขย่าถังบรรจุ เพื่อให้เกิดกระบวนการถ่ายเทมวลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดีขึ้น เนื่องจากการเขย่าเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสวิธีหนึ่ง ที่สามารถลดระยะเวลาในการผลิตได้ และยังขึ้นกับความถี่ในการเขย่าด้วย

3. การฉีดพ่นก๊าซ (Gas injection) เป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่อลดเวลาการผลิตให้น้อยลง โดยการฉีดพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีขนาดเล็กมากเข้าไปผสมกับผลิตภัณฑ์ภายในถังบรรจุ เพื่อให้ก๊าซสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น โดยใช้อุปกรณ์ Carbonation Stone มีผลให้อัตราการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออออกไซด์สูงขึ้น [2]

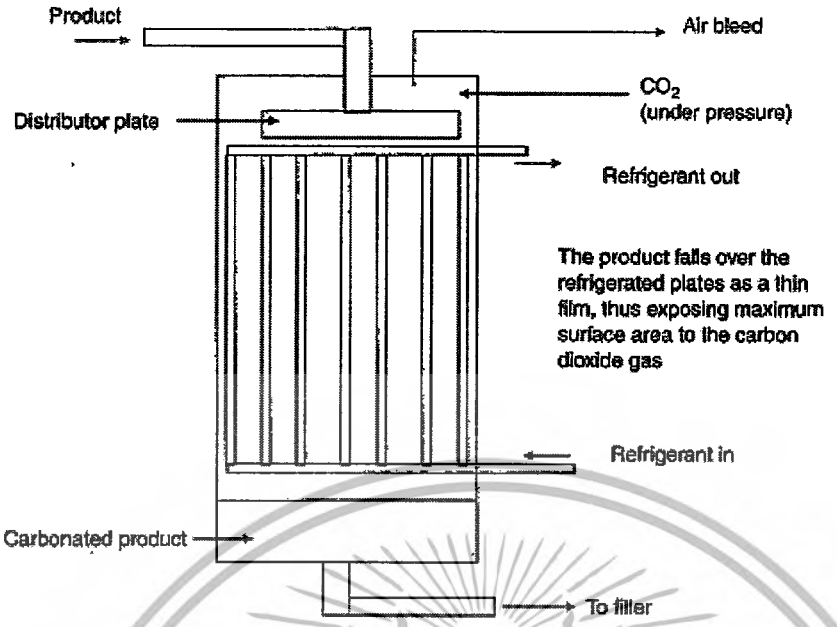
4. การฉีดพ่นน้ำ (Water injection) โดยการฉีดพ่นผลิตภัณฑ์จากด้านบนถังเข้ามาผสมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกอัดอยู่ภายใต้ความดันภายในถัง ซึ่งจะเป็นวิธีการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสคล้ายกับการฉีดพ่นก๊าซ

5. การให้น้ำไหลผ่านแผ่นทำความเย็น โดยจะให้ผลิตภัณฑ์ไหลจากด้านบนของแผ่นทำความเย็น ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ไหลมีลักษณะเป็นฟิล์มบางและจะไหลผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความดันด้วย ทำให้เกิดการละลายของก๊าซเข้าไปในผลิตภัณฑ์ [6]



รูปที่ 2.1 หลักการผลิตน้ำโซดาแบบทิ้งให้เกิดสมดุล แบบฉีดพ่นน้ำและแบบฉีดพ่นก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 หลักการผลิตน้ำโซดาแบบให้น้ำไหลผ่านแผ่นทำความเย็น

2.3 ประเภทของเครื่องดื่มอัดก๊าซ

เครื่องดื่มอัดก๊าซ (Carbonated Beverages) สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.3.1. เครื่องดื่มอัดก๊าซที่มีแอลกอฮอล์ (alcoholic carbonated beverages) ได้แก่ เบียร์ (Beer) แชมเปญ (Champagne) เครื่องดื่มน้ำผลไม้อัดก๊าซ soft drink และ frozen soft drinks เป็นต้น

2.3.2. เครื่องดื่มอัดก๊าซที่ไม่มีแอลกอฮอล์ (non alcoholic carbonated beverages) ได้แก่ เครื่องดื่มน้ำอัดลมต่าง ๆ เครื่องดื่มน้ำผลไม้อัดก๊าซ (soft drinks และ frozen soft drinks) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทเครื่องดื่มอัดก๊าซ ตามลักษณะของปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัดในเครื่องดื่มนั้นๆ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. เครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาตรมากกว่า 3.5 ปริมาตรขึ้นไป ได้แก่ ginger alc Colas และเครื่องดื่มประเภทใช้ผสม (Mixes) เช่น club soda และ tonics เป็นต้น

2. เครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาตร 2.5 - 3.5 ปริมาตร ได้แก่ เครื่องดื่มประเภท Root - beer Lemon - lime cream - soda และเครื่องดื่มประเภท grapefruit

3. เครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาตร 1.0 - 2.5 ปริมาตรได้แก่ เครื่องดื่มประเภท Strawberry Cherry Grape Orange Pineapple และ Punch เป็นต้น

เครื่องดื่มอัดก๊าซหรือน้ำอัดลมโดยทั่วไปหมายถึงเครื่องดื่มที่มีการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) ในเครื่องดื่มทำให้เครื่องดื่มมีลักษณะและรสชาดดีขึ้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อประสาทสัมผัสการรับรส เป็นตัวที่ทำให้เกิดความรู้สึกซาบซ่าเป็นการกระตุ้นความรู้สึกของผู้บริโภคต่อเครื่องดื่ม กระตุ้นการทำงานของกระเพาะอาหาร ทำให้มีการหลั่งน้ำย่อยมากขึ้น แต่มีข้อจำกัดในการดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผู้ที่ป่วยเป็นแผลในกระเพาะอาหาร นอกจากนี้การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่มยังช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาได้อีกด้วย เนื่องจากสภาวะในเครื่องดื่มจะปราศจากก๊าซออกซิเจนเพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปแทนที่ ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต โดยเฉพาะยีสต์และเชื้อรา ทำให้การเก็บรักษานานขึ้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีสูตรทางเคมีว่า CO_2 เป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้หรือไฮโดรซิส (hydrolysis) หินอ่อนหรือหินปูน สารประเภท Dolomite สารประเภทไฮโดรเจนคาร์บอเนตหรือได้จากการหมัก (Fermentation) ของน้ำตาลโดยยีสต์

2.4 คุณสมบัติของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีดังนี้คือ

1. เป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นฉุนและมีความเป็นกรดเล็กน้อย

2. สามารถดับเปลวของกำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P)

3. ไม่ช่วยในการหายใจ แต่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย

4. ถ้าหากมีสารประเภทโปแตสเซียม (K) โซเดียม (Na) และลิเซียม (Li) ผสมอยู่จะทำให้สามารถติดไฟในบรรยากาศได้

5. ถ้าผ่านก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในน้ำปูนใส $Ca(OH)_2$ $Ba(OH)_2$ จะไม่ละลายน้ำแต่จะทำให้น้ำปูนใสขุ่น ดังสมการ

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

6. ละลายน้ำได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เป็นกรดอ่อน มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย (Faintly acid) ละลายน้ำได้ประมาณ 88 ปริมาตรต่อน้ำ 100 ปริมาตรที่ 20 องศาเซลเซียส

7. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถสลายตัวได้ถ้าอุณหภูมิสูง โดยสลายเป็นคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) และออกซิเจน (O_2)

ประเทศไทยได้มีการกำหนดมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับเครื่องดื่มดังนี้ (กระทรวงอุตสาหกรรม 2540 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : คาร์บอนไดออกไซด์ มอก. 568)

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้องไม่มีกลิ่นผิดปกติ มีการตรวจสอบ Acidity Phosphine Hydrogen sulphide และ Organic reducing substances

2. สารประกอบอื่นที่ควบคุมปริมาณต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์ที่กำหนดตามตารางที่ 2.2

3. ภาชนะบรรจุก๊าซ ต้องบรรจุในภาชนะที่ทนต่อความดันและมี safety valve ป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ลักษณะและสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคาร์บอนไดออกไซด์

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ความบริสุทธิ์ (ไม่น้อยกว่าร้อยละของปริมาตร)	99.5
ความชื้น	0.5
ความเป็นกรด	สีของสารละลายตัวอย่างต้องไม่เข้มกว่าสารละลายเปรียบเทียบ
ฟอสฟีน ไฮโดรเจนซัลไฟล์ และออร์แกนิกรีดิวซิงซับสแตนซ์	ต้องไม่พบ
ปรอท	ต้องไม่พบ

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1. ความดัน (Pressure) การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น จากกฎของเฮนรี่ (Henry's Law) กล่าวว่า การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิคงที่จะขึ้นอยู่กับความดันเพียงอย่างเดียว แต่มีข้อแม้ว่าต้องไม่มีก๊าซอื่นผสมอยู่ โดยการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น 1 ปริมาตร ทุกๆ 1 บรรยากาศ ที่เพิ่มขึ้น

2. อุณหภูมิ (Temperature) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายได้ดีในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำมากกว่าในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง

3. เวลา (Residence time) การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทำให้เกิดสมดุลของน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าให้เวลามาก จะส่งผลให้การจับตัวสูงขึ้นไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ที่มีความดันสูง

4. พื้นที่ผิวสัมผัส (Surface area) หากเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น จะทำให้การละลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เร็วขึ้นด้วย

2.6 หน่วยวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ จะแสดงอยู่ในหน่วยของ volume หรือ กรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ในของเหลวหนึ่งลิตร แต่ที่นิยมใช้กันมากคือหน่วย volume โดย 1 volume ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับการละลายตัว 1 ลิตร เข้าไปในของเหลว 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และที่ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้ก็จะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์และยังสามารถคำนวณหาน้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อทราบปริมาณ volume จากสูตรต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Grams}CO_2 = \text{Volume } CO_2 \times (\text{Container Size in Liters}) \times 1.977$$

โดย 1.977 คือความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 0 องศาเซลเซียส

ความหมายของคำว่า สมดุล ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะใช้ในการอัดก๊าซนั้น มีความสำคัญมาก ในการที่จะศึกษาให้เข้าใจเกี่ยวกับการทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในรูปของคาร์บอเนต (Carbonation) เช่นบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิ 36°F ทำการอัดก๊าซที่ 12 psi อ้างอิงตามค่ามาตรฐานของก๊าซ (ตามตารางที่ 3.1 Chart Volume of CO_2 gas dissolved in water ZAHM & NAGEL CO.INC, HOLLAND NY) พบว่าจะได้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ 2.8 volume ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่นั้นไม่ใช่ค่า volume ที่จะได้จริง แต่จะต้องใช้เวลาชั่วขณะหนึ่ง ของเหลวถึงจะมีปริมาณ volume ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 2.8 ในที่สุด

อัตราการทำให้คาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในรูปคาร์บอเนต เวลาและความดันที่ Head space จนเกิดการสมดุลนั้นจะขึ้นกับ 3 ปัจจัย คือ

1. สัดส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสของก๊าซและปริมาณของเหลว
2. ความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่างสถานะของก๊าซและของเหลว
3. เวลาที่ใช้หลังจากอัดก๊าซเข้าสู่ตัวของเหลว

ดังนั้นถ้าพื้นผิวที่สัมผัสของก๊าซถูกทำให้มากขึ้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปคาร์บอเนตก็จะมากขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นเป็นผลต่างระหว่างค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นฟังก์ชั่นกับความดัน [2]

ในการวัดปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ สามารถหาได้จากการแทนค่าอุณหภูมิและความดันในสมการต่อไปนี้ (สำหรับอุณหภูมิ 40-60 °F)

$$Z = 6.1656 - 0.1393x + 0.08y + 0.0008x^2 + (1.26\times10^{-5})y^2 \; ; R^2 = 0.9877$$

โดยที่

Z คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ (Volume)

X คือ อุณหภูมิ (°F)

Y คือ ความดัน (psi)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การอัดก๊าซที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในเครื่องดื่มประเภทนี้ เพราะก๊าซจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสซ่า และยังให้ประโยชน์แก่ระบบการย่อยอีกด้วย การอัดก๊าซคือการทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายลงไปในน้ำโดยใช้อุณหภูมิต่ำหรือการเพิ่มความดัน ส่วนใหญ่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทางโรงงานได้รับมักจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งบรรจุอยู่ในถังที่ทนความดัน เมื่อเปิดให้ก๊าซออก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะออกมาตามท่อไปยังเครื่องที่ เรียกว่า คาร์บอเนเตอร์ (Carbonator) น้ำกับน้ำตาลและสารให้รสกลิ่นที่ผสมกันแล้วจะไหลผ่านมายังคาร์บอเนเตอร์นี้ เครื่องดื่มนี้จะจับก๊าซเอาไว้จำเป็นต้องควบคุมปริมาณก๊าซ แล้วผ่านไปยังเครื่องบรรจุภายใต้ความดัน หลังจากปิดฝาแล้ว เครื่องดื่มยังสามารถเก็บก๊าซไว้ได้ เครื่องดื่มประเภทนี้จะมีก๊าซประมาณ 1-5 ปริมาตร ปริมาตรจะเท่ากับ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วที่ 60 $^{\circ}F$ และที่ระดับน้ำทะเล ดังนั้นขณะที่บรรจุในขวดเครื่องดื่มนี้จะมีความดันประมาณ 15-75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เครื่องดื่มอัดก๊าซที่เป็นรสส้มจะจับก๊าซไว้ได้น้อยกว่าพวกโคล่าและพวกโซดา

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่เป็นพิษ มีกลิ่นเฝื่อนๆ เล็กน้อย ซึ่งได้จาก
1) การเผาไหม้พวกถ่านและน้ำมัน
2) พวกหินปูน (ไลม์สโตน) จะได้ไลม์และก๊าซ หรือ
3) อาจจะจับเอาจากการหมักเหล้า ไวน์ เบียร์ หรืออาจจะจับเอาจากบ่อก๊าซตามธรรมชาติ เป็นต้น
ที่มีจำหน่ายกันอยู่อาจจะเป็นของเหลวในถังที่ทนต่อความดัน ที่แท้จริงแล้วหน้าที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่มมีเพียงแต่จะให้รสซ่าเท่านั้น พวกก๊าซที่ละลายอยู่จะทำหน้าที่สำคัญในการทำลายหรือป้องกันการเจริญเติบโตของพวกแบคทีเรียที่เป็นพิษ

เครื่องดื่มอัดลมนี้จะมีปริมาตรก๊าซที่อัดอยู่แตกต่างกันไป เช่น พวกจิงเจอเอล โคล่า คลังโซดา โทนิค จะมีไม่น้อยกว่า 3.5 ปริมาตร รูทเบียร์ กลิ่นมะนาว มะนาวฝรั่ง ครีมโซดา มีประมาณ 2.5 - 3.5 ปริมาตร สตรอเบอร์รี่ เชอรี่ องุ่น ส้ม สับปะรดและพั้นช์ มีประมาณ 1.0 - 2.5 ปริมาตร

2.8 ขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซ

เครื่องดื่มประเภทนี้จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ชนิด คือ น้ำเชื่อมที่มีกลิ่นรสผสมแล้ว น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในโรงงานจะต้องให้ส่วนประกอบเหล่านี้ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม สำหรับวิธีการทั่วๆ ไปมีอยู่ 2 วิธี คือ

2.8.1 น้ำที่ได้จากแหล่งผลิตผ่านเครื่องกรอง เครื่องทำให้น้ำร้อนหรืออื่นๆ แล้วจะไหลไปยังเครื่องทำความเย็น จากนั้นผ่านเครื่องอัดก๊าซแล้วไหลไปยังเครื่องบรรจุ น้ำเชื่อมจากห้องผสมน้ำเชื่อมจะไหลไปยังเครื่องบรรจุน้ำเชื่อม จากนั้นจะมีการตวงวัดอัตราส่วนที่เหมาะสมลงในขวดแล้วเครื่องบรรจุจึงเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปให้ถูกต้อง จากนั้นผ่านไปยังเครื่องผนึกขวดแล้วจึงเขย่าขวดให้น้ำเชื่อมกับน้ำอัดก๊าซผสมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 เป็นการผสมก่อนการบรรจุคือน้ำที่ได้จะไหลไปยังเครื่องวัด ทำนองเดียวกันน้ำเชื่อมไหลไปยังเครื่องวัดแล้วทั้งน้ำและน้ำเชื่อมจะไหลไปยังที่ทำผสม ทำให้เย็นและอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วจากนั้นส่งไปยังเครื่องบรรจุ ปิดผนึก และตรวจสอบ

สำหรับกระบวนการผลิตนั้น ประกอบด้วยกรรมวิธีหลายขั้นตอน ซึ่งวัตถุดิบและภาชนะบรรจุที่ใช้มีดังนี้

วัตถุดิบ ประกอบด้วย น้ำ น้ำตาล หัวน้ำเชื่อม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสารเคมี

ภาชนะบรรจุ ประกอบด้วย ฝาจุก ขวด ลัง กระบะ

น้ำที่ใช้ในโรงงานได้มาจาก บ่อบาดาล ปั๊มส่งขึ้นไปเก็บไว้ในถังเก็บ ซึ่งจะมีปั๊มสำหรับจ่ายน้ำไปใช้ตามที่ต่างๆ ที่จุดนี้จะเติมคลอรีน (Cl_2) สำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำ จากเครื่องจ่ายน้ำนี้แยกไปใช้งาน 3 ส่วน คือ

ส่วนแรก น้ำส่วนนี้จะไม่ผ่านกระบวนการใดๆ โดยน้ำส่วนนี้จะใช้ทำความสะอาดทั่วไปและใช้ตามห้องน้ำของโรงงาน

ส่วนที่สอง น้ำส่วนนี้ผ่านถังทำน้ำให้หายกระด้าง (Softener) ใช้ในการล้างขวด และหล่อเย็นเครื่องจักรรวมทั้งใช้เติมหม้อไอน้ำด้วย

ส่วนที่สาม น้ำส่วนนี้จะผ่านการทำน้ำบริสุทธิ์ โดยการเติมสารเคมี และผ่านการกรองด้วยทราย แล้วกรองด้วยถ่าน (Activated-cabon) ชนิดเม็ด เพื่อดูดเอาสี กลิ่น และคลอรีนออก จากนั้นจะผ่านถังกรองขั้นสุดท้าย ซึ่งประกอบด้วยใยกรองเนื้อละเอียด เพื่อกรองตะกอนเบา เศษถ่าน เศษทราย ที่หลงเหลือปะปนอยู่ในน้ำ ก่อนนำไปใช้สำหรับผสมน้ำตาล และหัวเชื้อ กับใช้บรรจุเป็นน้ำอัดลม

น้ำตาลที่ใช้เป็นน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ โดยนำมาผสมกับน้ำพร้อมเติมถ่านชนิดผง (Activated-cabon) เพื่อฟอกน้ำตาลให้ขาว จากนั้นจะผ่านเครื่องกรอง เพื่อกรองเอาผงถ่านและผงอื่นๆ ออก ซึ่งจะได้น้ำเชื่อม (Simple syrup) ต่อจากนั้นจะผ่านเครื่องทำน้ำเชื่อมเย็น (Heat exchanger) เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำเชื่อมลงให้ได้ประมาณ 24°C ทั้งนี้เพื่อรักษารสชาดและกลิ่นให้ตรงตามมาตรฐาน จากนั้นน้ำเชื่อมจะผ่านเครื่อง UV Sterilizer เพื่อใช้แสง Ultra violet ฆ่าเชื้อโรค นำน้ำเชื่อมมาผสมกับน้ำหัวเชื้อ (ตามชนิดของน้ำอัดลม) เมื่อผสมแล้วใช้ใบกวนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วปล่อยทิ้งไว้ เพื่อให้ฟองอากาศแยกตัวออก จะได้น้ำเชื่อมสำเร็จรูป (Finished syrup) มีความหวานจัด ลักษณะข้น ซึ่งต้องไปผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ น้ำเชื่อมสำเร็จรูปจะส่งเข้าเครื่องผสม กับน้ำในอัตราส่วนที่กำหนด และน้ำที่ไปผสมนี้ ต้องผ่านเครื่องแยกอากาศ (Deaerator) ก่อน เหตุที่ต้องแยกอากาศออกจากน้ำ เพื่อให้การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีขึ้น

น้ำเชื่อมสำเร็จรูปที่ผสมกับน้ำแล้ว จะถูกส่งเข้าเครื่องทำให้เย็น (Carbo cooler) และอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งก๊าซที่ใช้นี้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลว ซึ่งผ่านเครื่องอุ่นให้ร้อนและผ่านเครื่องกรองแล้วจ่ายเข้าเครื่องทำให้เย็น จากนั้นน้ำหวานจะถูกส่งเข้าเครื่องบรรจุ

ขวดเปล่าที่กลับจากท้องตลาดถูกป้อนเข้าเครื่องป้อน (Uncaser) เพื่อแยกขวดออกจากลัง ขวดจะถูกลำเลียงไปบนสายพานเดินขวด ผ่านพนักงานชักหลอด และพนักงานตรวจขวดสกปรก ซึ่งจะคัดขวดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกปรก ขวดต่างชนิด และ ขวดปากบิ่นออก จากนั้นขวดจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องล้างขวด ประกอบด้วยถังโซดาไฟ 5 ถัง โซดาไฟมีความเข้มข้น 1.50 - 3.00% อุณหภูมิประมาณ 45 - 65 ^{o}C ระยะเวลาตั้งแต่ป้อนเข้าเครื่องจนกระทั่งขวดออกใช้เวลาประมาณ 20 - 25 นาที ซึ่งตามสภาวะดังกล่าวเชื้อโรคทุกชนิดจะตายหมด ขวดที่ออกจากถังโซดาไฟถังสุดท้ายจะผ่านถังน้ำเปล่าและหัวฉีดเพื่อฉีดน้ำอ่อนล้างโซดาไฟออกจากขวด ขวดที่ล้างจะมีพนักงานควบคุมคุณภาพตรวจโซดาไฟว่าหลงเหลืออยู่หรือไม่ เมื่อแน่ใจว่าไม่มีโซดาไฟหลงเหลืออยู่แล้ว ขวดเปล่าจะถูกลำเลียงโดยสายพานลำเลียงผ่านพนักงานตรวจขวด และคัดขวดที่ยังไม่สะอาดพอกับขวดปากบิ่นออก จากนั้นขวดจะผ่านเครื่องตรวจขวดอิเลคทรอนิคส์ เพื่อให้แน่ใจอีกขั้นหนึ่ง จากนั้นจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องบรรจุทำการบรรจุต่อไป

การเตรียมน้ำบริสุทธิ์ (Water Treatment)

น้ำที่จะนำมาผ่านการทำน้ำบริสุทธิ์เพื่อใช้ในการผลิตเครื่องดื่ม สิ่งแรกที่ต้องทำในการเตรียมน้ำ คือ ต้องแยกสารละลาย เช่น พวกเกลือและแร่ธาตุต่างๆ ออกเสียก่อน ด้วยสารเคมีและสารส้มแล้วนำเข้าสู่ถังที่บรรจุเต็มเม็ดพลาสติกสังเคราะห์ เรียกว่า ไฮโดรเจนซีโอไลท์ เม็ดพลาสติกสังเคราะห์นี้จะดูดและจับพวกแร่ธาตุต่างๆ ไว้ มีสภาวะเป็นกรดอ่อนๆ จึงต้องนำมาผสมกับน้ำอีกส่วนหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อปรับสภาพเป็นกลาง หลังจากนั้นจะผ่านไปยังถังฆ่าเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้คลอรีนทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำให้หมดสิ้นไป และน้ำจะผ่านการกรองด้วยทรายและถ่าน (Activated Carbon) ชนิดเม็ด เพื่อกำจัดกลิ่นและสีของคลอรีน หลังจากนั้นจะผ่านไส้กรองน้ำที่มีความละเอียดมาก [1]

การเตรียมน้ำเชื่อม (Syrup preparation)

ผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะทำการเตรียมโดยนำน้ำเชื่อมผสมกับน้ำในอัตราส่วน น้ำเชื่อม:น้ำ เท่ากับ 1:3-6 ส่วน ทำให้เกิดความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำ เพื่อนำไปใช้ผสมให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลักส่วนมากจะใช้น้ำเชื่อมที่มีความหวานประมาณ 67 Brix กรดซิตริก สี กลิ่น และน้ำ ส่วนผสมต่างๆ จะถูกชั่งอย่างละเอียดและผสมในถังผสม โดยมักทำงานเป็นรอบๆ ก่อนจะนำไปตรวจสอบ แล้วจึงนำไปอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับของการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซ หรือที่เรียกว่า Soft drink

ผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันจะใช้น้ำเชื่อมที่มีความหวานแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีการผสมน้ำเชื่อมด้วยความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ค่าความหวานที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ เครื่องวัดความหวานโดยทั่วไปจะใช้ Refractometer ซึ่งอาศัยหลักการหักเหของแสงหรือ Densitometer ซึ่งอาศัยหลักการเหนี่ยวนำด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 หัวฉีด (Nozzle)

หัวฉีด คือ อุปกรณ์ที่ฉีดพ่นของเหลวให้เป็นฝอย ของเหลวจะแตกตัวเป็นละอองเล็กๆ และฟุ้งกระจายบริเวณใกล้ๆ การแตกตัวของของเหลวให้เป็นละอองต้องการพลังงาน ดังนั้นหัวฉีดจึงถูกแบ่งออกตามประเภทของพลังงานที่ก่อให้เกิดละออง ได้แก่ การใช้แรงดันของเหลว (hydraulic) การใช้อากาศ (gaseous) การใช้แรงเหวี่ยง (centrifugal) การใช้พลังงานจลน์ (kinetic) และการใช้ความร้อน (thermal) ประเภทของหัวฉีดและลักษณะการใช้งานแสดงในตารางที่ 2.3

2.9.1 หัวฉีดประเภทใช้แรงดันของเหลว (Hydraulic nozzle)

หลักการของหัวฉีดประเภทนี้ คือ การบังคับให้ของเหลวที่มีความดันสูงไหลผ่านรูฉีด (Orifice) ซึ่งมีขนาดเล็ก พลังงานที่ของเหลวมีอยู่นั้นมีเพียงพอที่จะทำให้ของเหลวแตกกระจายในลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ที่ไม่เสถียรและแยกตัวออกเป็นละอองที่มีขนาดแตกต่างกัน สภาพอากาศแวดล้อม คุณสมบัติของของเหลว ได้แก่ แรงตึงผิว ความหนาแน่น และความหนืด มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นของของเหลวบางๆนี้ ความดันต่ำสุดสำหรับหัวฉีดประเภทใช้แรงดันของเหลวประมาณ 1 บาร์ (14 psi) แต่โดยปกติจะอยู่ช่วง 2 - 3 บาร์

ลักษณะการเกิดการแยกตัวของแผ่นของเหลวเป็นหยดละอองได้ 3 ลักษณะ คือ

1. การแยกตัวเป็นละอองที่ขอบ (Rim sheet disintegration)

การแยกต่อลักษณะนี้ที่ผิวหน้าแรงตึงผิวจะก่อให้เกิดขอบของแผ่นของเหลวที่ทำให้เกิดละอองขนาดใหญ่ที่ความดันต่ำ แต่ที่ความดันสูงละอองจะถูกเหวี่ยงออกจากขอบของแผ่นของเหลว ดังแสดงในรูป 2.3 a

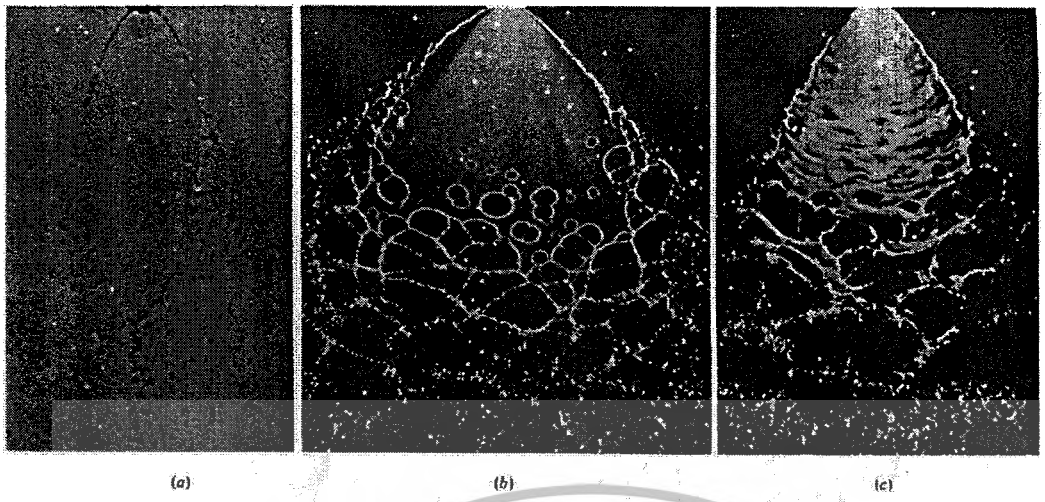
2. การแยกตัวเนื่องจากรูพรุนในแผ่นของเหลว (Perforated sheet disintegration)

การแยกตัวเนื่องจากรูพรุนในแผ่นของเหลวเกิดจากรูที่ขอบของแผ่นของเหลว ซึ่งขยายกว้างขึ้นจนกระทั่งขอบนั้นไม่อาจคงตัวในลักษณะเสถียรได้จึงกระจายออกเป็นละออง ดังแสดงในรูป 2.3 b

3. การแยกตัวในลักษณะเป็นคลื่น (Wavy sheet disintegration)

การแยกตัวในลักษณะเป็นคลื่นเกิดขึ้นเนื่องจากแผนของเหลวที่ออกจากรูฉีดฉีกขาดเป็นช่วงๆ ก่อนที่จะถึงขอบ ดังแสดงในรูป 2.3 c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การแยกตัวของหยดละอองจากแผ่นของเหลวที่ออกจากรูฉีดในลักษณะต่างๆ

ตาราง 2.3 หัวฉีดประเภทต่างๆและการใช้งาน

พลังงาน	ประเภทหัวฉีด	การใช้งาน
ใช้แรงดันของเหลว (Hydraulic)	แรงปะทะ (Impact)	ใช้แรงดันต่ำ รูฉีดขนดใหญ่ เหมาะสำหรับพ่นสารกำจัดวัชพืช
	รูปพัด (Fan)	ใช้พ่นละอองไปยังพื้นผิวราบ เช่นผิวดินหรือผนัง
	รูปพัดแบบสม่ำเสมอ (Even – spray – fan)	ใช้พ่นละอองเป็นแถบ
	กรวย (cone)	ใช้พ่นละอองปกคลุมใบพืช
	พุ่งประจุ (Solid stream)	ใช้พ่นละอองไปยังเป้าหมายเฉพาะที่
ใช้อากาศ (Gaseous)	ลมเป่า (Air blast)	ใช้พ่นละอองปกคลุมใบพืช โดยเฉพาะไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่ม
	ลมหมุนวน (Vertical)	ใช้พ่นละอองในบริเวณที่มิดชิด เช่น พ่นสารเคมีกำจัดยุง
ใช้แรงเหวี่ยง (Centrifugal)	จานหรือตะแกรงหมุน (Spinning disc or cage)	ใช้ปริมาณของเหลวจำนวนน้อย และควบคุมขนาดของละอองด้วยความเร็วของจานหมุน อากาศเป็นตัวพาละอองให้ฟุ้งกระจายไปยังเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงาน	ประเภทหัวฉีด	การใช้งาน
ใช้พลังงานจลน์ (kinetic)		ขนาดละอองหยาบ เหมาะสำหรับพ่นสารกำจัดวัชพืช
ใช้ความร้อน (Thermal)		ใช้พ่นเป็นหมอกในบริเวณที่มิดชิด เช่น พ่นสารเคมีกำจัดแมลงในยุ้งฉาง

2.9.2 ประเภทของหัวฉีดใช้แรงดันของเหลว

หัวฉีดใช้แรงดันของเหลวแบ่งได้ 4 ชนิด ดังนี้

1. หัวฉีดแบบกรวย (Cone type nozzle)

ของเหลวจะถูกแรงดันส่งไปยังแกนหรือแผ่นที่ทำให้เกิดการหมุนวน (core or swirl plate) ซึ่งอยู่ภายในหัวฉีด แกนหรือแผ่นถูกทำให้เป็นรูหรือร่องเซาะเอียงร่องเดียวหรือหลายร่อง แกนหรือแผ่นนี้จะไม่หมุน แต่ของเหลวที่ไหลผ่านจะเกิดการหมุนวนขึ้นก่อนที่จะออกจากรูฉีดเนื่องจากการหมุนวนของของเหลว จึงทำให้ไม่มีของเหลวถูกฉีดพ่นออกจากบริเวณส่วนกลางของหัวฉีดเลย หัวฉีดแบบนี้เรียกว่าหัวฉีดแบบกรวยกลาง (Hollow cone type) (รูป 2.4 ก) แต่ถ้าเจาะรูตรงกลางแกนหรือแผ่นหมุนวน ของเหลวจะถูกพ่นออกมาตรงที่ว่างในกรวยกลวงเต็มไปหมดเรียกว่า แบบกรวยตัน (Solid cone type) (รูป 2.4 ข) หัวฉีดชนิดกรวยกลวงหรือกรวยตัน ถือว่าเป็นแบบที่ดีที่สุดในการพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพราะละอองที่เกิดจากหัวฉีดสามารถเข้าไปยังต้นพืชได้หลายทิศทาง

2. หัวฉีดแบบพัด (Fan type nozzle)

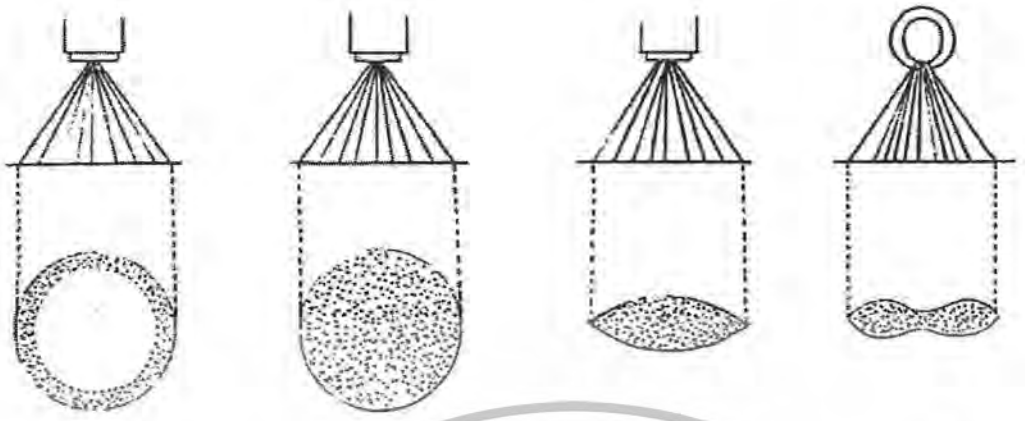
หัวฉีดแบบนี้จะถูกออกแบบให้ของเหลวภายในหัวฉีดเกิดการปะทะทำให้เกิดแผ่นบางๆ ของของเหลวลักษณะคล้ายรูปพัดออกจากรูฉีด การออกแบบรูฉีดมีความสำคัญมากเพราะมีผลต่อปริมาณของของเหลวที่ผ่านรูฉีดและรูปร่างของแผ่นของเหลวที่เกิดขึ้น รวมทั้งมุมของละอองที่เกิดขึ้นขณะที่กระจายออกจากรูฉีด ปกติมักออกแบบรูฉีดเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานหรือรูปวงรี หัวฉีดแบบพัดแสดงในรูปที่ 2.4 ค สำหรับหัวฉีดแบบพัดที่มีการกระจายของละอองเป็นแถบกว้างอย่างสม่ำเสมอและกระจายเป็นรูปพัด (Even spray fan type) นั้นเหมาะสำหรับการพ่นสสารเคมีเป็นแถบ ส่วนหัวฉีดแบบรูปพัด (Fan type) เหมาะสำหรับใช้กับพื้นผิวราบซึ่งอาจใช้ในการกำจัดวัชพืชหรือพ่นผนังเพื่อกำจัดแมลง

3. หัวฉีดแบบแรงปะทะ (Impact type nozzle)

ของเหลวจะถูกแรงดันไหลผ่านรูฉีดออกไปด้วยความเร็วสูงกระทบกับผิวเรียบโค้งเกิดการหักเหและกระจายออกเป็นแผ่นของเหลวรูปร่างคล้ายพัด หัวฉีดแบบนี้จะใช้กับเครื่องพ่นสารเคมีที่ใช้แรงดันไม่สูงนัก เพราะเหตุนี้จึงมีรูฉีดใหญ่และใช้แรงปะทะเพื่อให้ของเหลวแตกตัวเกิดเป็นละออง ละอองที่ได้หยาบและใหญ่มาก หัวฉีดแบบนี้เหมาะกับการพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืช ผู้ผลิตหัวฉีดมักนิยมกำหนดขนาดของรูฉีดโดยสัญลักษณ์สีต่างๆ เช่น สีเหลือง สีน้ำเงิน สีแดง เป็นต้น หัวฉีดแบบแรงปะทะแสดงในรูปที่ 2.4 ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



(ก) แบบกรวยกลวง (ข) แบบกรวยตัน (ค) แบบรูปพัด (ง) แบบรูปปะทะ

รูปที่ 2.4 หัวฉีดประเภทใช้แรงดันของเหลวต่างๆ

4. หัวฉีดแบบพุ่งเป็นจุด (Plain jet or solid stream nozzle)

หัวฉีดนี้มีลักษณะคล้ายๆ หัวฉีดแบบกรวย ต่างกันที่หัวฉีดแบบนี้ไม่มีห้องสำหรับทำให้ของเหลวหมุนวน (Swirl chamber) ดังนี้ของเหลวที่พุ่งออกจากรูฉีดจึงมีมุมแคบและเหมาะสำหรับใช้กำจัดวัชพืชเฉพาะที่ เพื่อป้องกันไม่ให้สารเคมีปลิวไปใส่ต้นพืช

2.9.3 ส่วนประกอบของหัวฉีดแบบใช้แรงดันของเหลว

หัวฉีดแบบใช้แรงดันของเหลวมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

1. โครงหัวฉีด (Body) ตัวโครงหัวฉีดจะเป็นส่วนที่ต่อหัวฉีดให้ติดอยู่กับท่อนำของเหลว โครงหัวฉีดมีหลายแบบ ส่วนใหญ่จะใช้เกลียวซึ่งอาจเป็นแบบเกลียวนอกหรือเกลียวในหรืออาจเป็นที่ยึดเสียบก็ได้

2. หัวฉีด (Tip) ส่วนนี้จะมีรูฉีด (orifice) อยู่ที่ส่วนปลายสำหรับพ่นของเหลวให้เกิดเป็นละออง

3. กรอง (Filter) หัวฉีดที่มีรูฉีดขนาดเล็กมากอาจมีกรองซึ่งทำจากลวดสาน ขนาด 50 - 200 mesh อยู่ภายในหัวฉีด ซึ่งจะทำให้ของเหลวที่จะผ่านรูฉีดไม่มีสารแขวนลอยขนาดใหญ่ปนอยู่ ป้องกันปัญหาอุดตันที่รูฉีด

4. ฝาครอบ (Cap) เป็นตัวยึดให้ส่วนหัวฉีด (Tip) และกรอง (Filter) ติดอยู่กับโครงหัวฉีดซึ่งจะมีเกลียวขันให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้มีการรั่วซึมได้ บางแบบอาจจะมีปะเก็น (Seal) กันรั่วด้วย [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104201

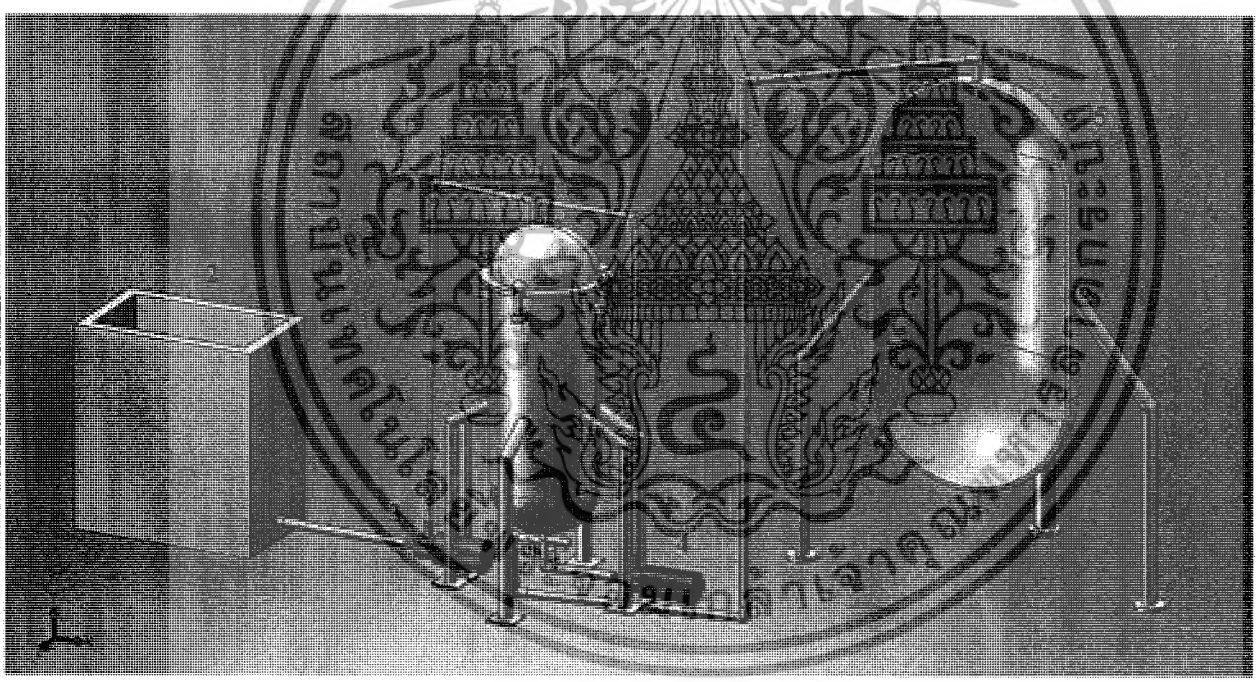
บทที่ 3

การออกแบบและการทดลอง

3.1 การคำนวณและการออกแบบถังอัดรับแรงดัน

เครื่องผลิตน้ำโซดาที่ทำการออกแบบในโครงงานนี้ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 3.1 คือ

1. ชุดถังอัดรับแรงดัน
2. ชุดทำความเย็น (Chillier)
3. ปั๊มน้ำเติม
4. ปั๊มน้ำวน
5. ถังพักน้ำโซดา



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องผลิตน้ำโซดา

การออกแบบถังรับแรงดันสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นหลักก็คือ ความหนาของตัวถังที่จะสามารถทนแรงดันสูงได้ รวมทั้งหาความกว้าง ความสูง และค่าความเผื่อการกัดกร่อนของถังรับแรงดันในการอัดก๊าซ

3.1.1 คำนวณหาขนาดถังอัดรับแรงดันได้ ถังอัดที่ออกแบบจะมีขนาดต่างๆ ดังนี้

- ปริมาตรบรรจุผลิตภัณฑ์ 12 ลิตร
- เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสูงของถังอัดแรงดัน 100 เซนติเมตร

สัญลักษณ์

P = ความดันออกแบบ เมื่อกำหนดเท่ากับ 29.4 Psi (2 kg/cm^2)

S = ค่าความเค้นของแผ่นสเตนเลส SA-240 เกรด 304 @ 10°C เท่ากับ 2109 kg/cm^2 (ดูตารางที่ภาคผนวก ข.)

E = ประสิทธิภาพของรอยต่อที่ตรวจสอบเป็นจุดของตัวถังและหัวถังครึ่งทรงรีกับตัวถังเท่ากับ 0.85

E = ประสิทธิภาพของรอยต่อของหัวถังไร้ตะเข็บเท่ากับ 1.0

R = รัศมีภายนอก 150 มิลลิเมตร

D = เส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร

T = ความหนาถังที่ต้องการ มิลลิเมตร

C.A. = ค่าเผื่อการกัดกร่อน 1.5 มิลลิเมตร

การคำนวณความหนาของตัวถังที่ต้องการ และความดันทำงานที่ยอมได้สูงสุด

$$T = \frac{PR}{SE + 0.4P}$$

$$= \frac{2 \times 150}{(2109 \times 0.85) + (0.4 \times 2)}$$

$$= 0.167 \text{ mm}$$

บวกค่าเผื่อการกัดกร่อน = 1.5 มิลลิเมตร จะได้

$$0.167 + 1.5 = 1.67 \text{ mm.}$$

$$P = \frac{SET}{R - 0.4T}$$

$$= \frac{2109 \times 0.85 \times 1.67}{150 - (0.4 \times 1.67)}$$

$$= 20.05 \text{ kg/cm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 หาความหนาที่ต้องการและความดันของหัวถังครึ่งทรงรีไร้ตะเข็บ

$$T = \frac{PD}{2SE + 1.8P}$$

$$= \frac{2 \times 300}{2(2109 \times 0.85) + (1.8 \times 2)}$$

$$= 0.167 \text{ mm}$$

บวกค่าเผื่อการกัดกร่อน = 1.5 มิลลิเมตร จะได้

$$0.167 + 1.5 = 1.67 \text{ mm}$$

$$P = \frac{2SET}{D - 1.8T}$$

$$= \frac{2 \times 2109 \times 1 \times 1.67}{300 - (1.8 \times 1.67)}$$

$$= 23.72 \text{ kg/cm}^2$$

3.1.3 หาความสูงของถัง

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4}$$

$$12000 = \frac{\pi (30)^2 H}{4}$$

$$H = 16.97 \text{ cm}$$

แต่ต้องการเผื่อปริมาตร 1/3 ของถัง

$$= 16.97 + \frac{16.97}{3}$$

$$= 22.63 \text{ cm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ความสูงที่ได้จะเป็นความสูงของน้ำ 12 ลิตร และจะต้องบวกความยาวของชุดระบบหัวฉีดด้วย ความยาวของชุดหัวฉีด 63 เซนติเมตร จะได้ความสูงของถัง = 22.63+63 = 85.63 = 86 เซนติเมตร

ความหนาของถังและหัวถังครึ่งทรงรีไร้ตะเข็บจะได้เท่ากับ 0.167 มิลลิเมตร เมื่อบวกค่าเผื่อการกัดกร่อน 1.5 มิลลิเมตร จะได้ความหนาผนังเท่ากับ 1.67 มิลลิเมตร เลือกใช้แผ่นสเตนเลสหนา 2 มิลลิเมตร เพื่อต้องการความปลอดภัยสูง และใช้ความสูงของถังทรงกระบอก 100 เซนติเมตร ความสูงของหัวถังครึ่งทรงรี 7.5 เซนติเมตร (h = D/4) โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร [4]

3.2 การออกแบบและพัฒนา

จากการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องผลิตน้ำโซดาโดยใช้หลักการให้กระบอกสูบดูดวนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ด้านบนของถังแล้วทำการอัดก๊าซกลับเข้าถังผ่านหัวกระจายก๊าซที่อยู่ด้านล่างของถัง เพื่อทำให้เกิดการหมุนเวียนตลอดเวลา พบว่ายังมีข้อจำกัดหลายประการ เนื่องจากกระบอกลูกสูบต้องมีการใช้น้ำมันหล่อลื่น ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนไปยังผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนั้นวิธีนี้ต้องใช้ระยะเวลาในการผลิตนาน ดังนั้น เพื่อลดต้นทุนในการผลิตและลดระยะเวลาในการผลิตให้สั้นลง โครงงานนี้จึงออกแบบโดยเน้นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีการออกแบบอยู่ 3 แบบ ดังนี้

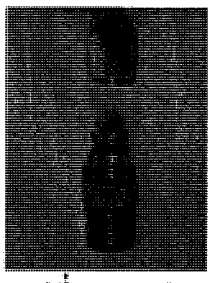
- การเพิ่มใบกวนภายในถัง เพื่อให้น้ำมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น
- การพ่นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านแท่งกระจายก๊าซ โดยให้น้ำไหลผ่านแท่งกระจายก๊าซ [8]
- การกระจายน้ำออกมาเป็นละอองฝอยโดยให้น้ำไหลผ่านหัวฉีด

วิธีที่เลือกใช้ คือ การกระจายน้ำให้เป็นละอองฝอยโดยให้น้ำไหลผ่านหัวฉีด เนื่องจากวิธีนี้ ไม่ซับซ้อน ผลิตได้ง่าย ต้นทุนต่ำ สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย และหัวฉีดสามารถปรับอัตราการไหลได้ง่าย และในโครงงานนี้ ได้ทำการพัฒนาเครื่องผลิตน้ำโซดาให้เป็นแบบต่อเนื่อง โดยใช้ปั๊มอีกตัวหนึ่งสูบน้ำใหม่เข้ามาผ่านชุดหัวฉีดเติม ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตน้ำโซดาได้อย่างต่อเนื่อง

3.3 การออกแบบ Spray nozzle

การเลือกใช้สเปรย์นอซเซิล (Spray nozzle) ที่เหมาะสม จะทำให้ประสิทธิภาพในการละลายสูงขึ้น โดยจะต้องพิจารณาถึงชนิดของสเปรย์นอซเซิล ขนาดเฉลี่ยของหยดน้ำ (Spray drop size) และมุมของการสเปรย์ (Spray angle) ซึ่งมุมของการสเปรย์จะแสดงถึงรัศมีการกระจายตัวของหยดน้ำที่ครอบคลุมพื้นที่ภายในถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 หัวฉีด

ในการออกแบบสเปรย์นอซเซิลที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้เลือกใช้ชนิดหัวฉีดแบบกรวย (Cone type nozzle) เนื่องจากสเปรย์นอซเซิลแบบนี้จะมีละอองที่กระจายตัวออกมาได้หลายทิศทาง สามารถใช้กับอัตราการไหลและความดันที่สภาวะทดลองได้ [5]

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดเฉลี่ยของหยดน้ำที่ได้จากสเปรย์นอซเซิล คือ

$$d_m = 0.0134 \frac{FN^{0.209}(\mu/\rho)^{0.215}}{(-\Delta P)^{0.348}}$$

โดยที่

$$FN = 2.08\times10^{6} \frac{Volumeflow(m^3/s)}{\sqrt{\Pr essure(kN/m^2)}}$$

เมื่อ ความหนืด μ $= 1.12\times10^{-3}$ Ns/m^2

ความหนาแน่น ρ $= 999$ kg/m^3

ความดันลด ΔP $= 50$ kN/m^2

Volume flow $= 4.167\times10^{-6}$ m^3/s

Pressure $= 250$ kN/m^2

แทนค่า หาขนาดเฉลี่ยของหยดน้ำแต่ละหัวฉีด

$$FN = 2.08\times10^{6} \frac{4.167\times10^{-6}}{\sqrt{250}}$$

$$d_m = 0.0134 \frac{0.548^{0.209}(1.12\times10^{-3}/999)^{0.215}}{(50)^{0.348}}$$

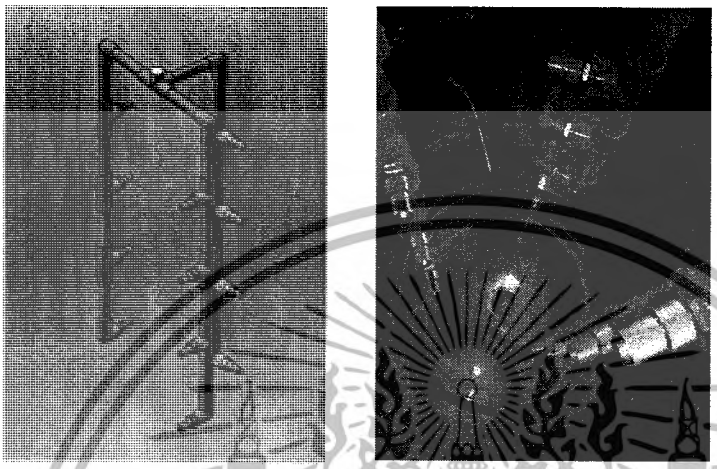
$$= 160\ \mu m$$

ดังนั้นขนาดเฉลี่ยของหยดน้ำหัวฉีดเท่ากับ 160 ไมครอน [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบชุดระบบหัวฉีด

ระบบชุดหัวฉีดที่ทำการออกแบบจะเป็นระบบท่อหัวฉีดแบบ 3 แถว โดยแต่ละแถวจะมีหัวฉีดทองเหลืองอยู่ 4 หัว เป็นจำนวนทั้งสิ้น 12 หัว ซึ่งแต่ละหัวฉีดจะมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.25 ลิตร/นาที จึงได้ออกแบบชุดหัวฉีดโดยใช้ท่อ PVC ต่อกันดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชุดระบบหัวฉีดหมุนวนน้ำ 12 หัวฉีด

ส่วนชุดระบบหัวฉีดแบบเติมนั้น ก็จะใช้หัวฉีดทองเหลืองจำนวน 4 หัวฉีด ติดตั้งอยู่ทางด้านบนฝาของถังอัดก๊าซ โดยให้หัวฉีดเติมนั้นฉีดพ่นลงมาจากด้านบนของถัง ซึ่งแต่ละหัวฉีดจะมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.29 ลิตร/นาที

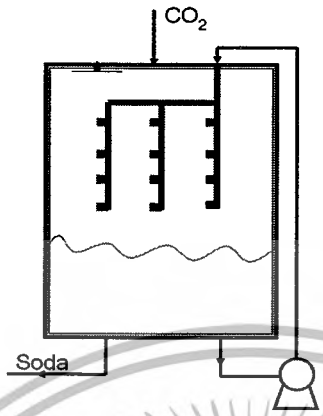
รูปที่ 3.4 ชุดระบบหัวฉีดเติม

3.5 ขนาดของปั๊มน้ำ

ในการทดลองนี้จะใช้ปั๊มน้ำ 2 ตัว คือ ปั๊มน้ำสำหรับน้ำที่ใช้หมุนวนน้ำภายในถัง ผ่านชุดระบบหัวฉีด 12 หัว มีขนาด 40 ลิตร/นาที 0.5 แรงม้า และปั๊มน้ำที่ใช้สำหรับเติมน้ำเข้ามาใหม่ผ่านชุดหัวฉีดเติม 4 หัว มีขนาด 120-130 ลิตร/นาที 0.5 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 หลักการทำงานและส่วนประกอบ



รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของเครื่องผลิตน้ำโซดา

หลักการทำงานของเครื่องผลิตน้ำโซดาที่ได้ออกแบบในโครงงานนี้ คือ บรรจุน้ำสะอาดเริ่มต้น 12 ลิตร อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส โดยเบื้องต้นสมมติให้อัตราส่วนน้ำ 1 ลิตรต่อหัวฉีดหมุนวนน้ำ 1 หัว เพื่อทำการทดสอบสมมติฐาน ดังนั้นจึงออกแบบให้มี 12 หัวฉีด จากนั้นอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาภายในถังโดยให้มีความดัน 2 บาร์ ระบบจะทำการวนน้ำจนกว่าจะได้ค่าปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำตามต้องการ จากนั้นจึงนำน้ำโซดาที่ได้เก็บใส่ถังพัก ขณะเดียวกัน ก็จะเติมน้ำใหม่เข้ามาโดยจะต้องใช้ปั๊มอีกตัวหนึ่งสูบน้ำที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกัน ผ่านชุดหัวฉีดเติมที่อยู่ทางด้านบนฝาถัง ชุดหัวฉีดเติมจะฉีดน้ำให้เป็นละอองฝอย เพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายได้ทันเมื่อผสมกับน้ำที่ผ่านชุดระบบหัวฉีดหมุนวนน้ำ โดยที่อัตราการไหลของน้ำที่ออกไปสู่ถังพักจะต้องเท่ากับอัตราการไหลของน้ำที่เติมเข้ามาใหม่

3.7 การวางแผนการทดลอง

ในโครงงานนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ

ส่วนแรก จะทำการทดลองลดจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำจาก 12 หัวฉีดเป็น 10 หัวฉีด 8 หัวฉีด 6 หัวฉีด เพื่อหาจำนวนหัวฉีดที่เหมาะสมกับความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

ส่วนที่สอง ทำการทดลองเปลี่ยนระดับน้ำจาก 12 ลิตรเป็น 23 ลิตร และ 34 ลิตร เพื่อหาอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อก๊าซที่เหมาะสมต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

ส่วนที่สาม จะทำการทดลองชุดระบบหัวฉีดเติม เพื่อทำให้เป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยจะทดลองเพิ่มหัวฉีด 1 หัวฉีด 2 หัวฉีด 3 หัวฉีด และ 4 หัวฉีด เพื่อหาจำนวนหัวฉีดที่ให้กำลังการผลิตสูงสุดโดยที่การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วิธีการทดลอง

การทดลองหาจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำที่มีผลต่อการละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

1. เตรียมน้ำสะอาดจำนวน 12 ลิตร อุณหภูมิ 10 °C ใส่ลงในถังอัดก๊าซ

2. ปิดฝาถัง เปิดก๊าซ CO_2 และเปิดวาล์วบนฝาถังทิ้งไว้ประมาณ 10 วินาที เพื่อไล่อากาศที่อยู่ภายในถังออก จากนั้นปิดวาล์ว ปล่อยให้ความดันภายในถังมีค่า 2 บาร์

3. เปิดปั๊มหมุนวนน้ำภายในถัง ผ่านชุดระบบหัวฉีด 12 หัว

4. จับเวลา 2 นาที จากนั้นหยุดการทำงานของปั๊มน้ำ บรรจุน้ำโซดาใส่ขวดจำนวน 6 ขวด ทำการวัดความดันและอุณหภูมิภายในขวดเพื่อหาปริมาณการละลายของก๊าซ CO_2 ในน้ำ (Volume) บันทึกผล

5. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1 - 4 โดยจับเวลาเป็น 4 6 8 10 12 14 16 18 20 นาที นำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงผล

6. เมื่อทดลองจนครบ 20 นาทีแล้ว เปลี่ยนการทดลองจากหัวฉีดวน 12 หัว เป็น 10 8 และ 6 หัว เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันว่าจำนวนหัวฉีดมีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำหรือไม่

การทดลองหาอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซในถังกับการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

1. เตรียมน้ำสะอาดจำนวน 12 ลิตร อุณหภูมิ 10 °C ใส่ลงในถังอัดก๊าซ

2. ปิดฝาถัง เปิดก๊าซ CO_2 และเปิดวาล์วบนฝาถังทิ้งไว้ประมาณ 10 วินาที เพื่อไล่อากาศที่อยู่ภายในถังออก จากนั้นจึงปิดวาล์ว ให้ความดันภายในถังมีค่า 2 บาร์

3. เปิดปั๊มหมุนวนน้ำภายในถัง ผ่านชุดระบบหัวฉีด 6 หัว

4. จับเวลา 2 นาที จากนั้นหยุดการทำงานของปั๊มน้ำ บรรจุน้ำโซดาใส่ขวดจำนวน 6 ขวด ทำการวัดความดันและอุณหภูมิภายในขวดเพื่อหาปริมาณการละลายของก๊าซ CO_2 ในน้ำ (Volume) บันทึกผล

5. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1 - 4 โดยจับเวลาเป็น 4 6 8 10 12 14 16 18 20 นาที นำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงผล

6. เมื่อทดลองจนครบ 20 นาทีแล้ว เปลี่ยนการทดลองจากระดับน้ำ 12 ลิตร เป็น 23 ลิตรและ 34 ลิตร ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อก๊าซในถังกับการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ นำผลที่ได้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำกับเวลา และเขียนกราฟอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซกับเวลาในการเข้าสู่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง

1. เตรียมน้ำสะอาดจำนวน 12 ลิตร อุณหภูมิ 10 °C ใส่ลงในถังอัดก๊าซ

2. ปิดฝาถัง เปิดก๊าซ CO_2 และเปิดวาล์วบนฝาถังทิ้งไว้ประมาณ 10 วินาที เพื่อไล่อากาศที่อยู่ภายในถังออก จากนั้นจึงปิดวาล์ว ปล่อยให้ความดันภายในถังมีค่า 2 บาร์

3. เปิดปั๊มหมุนวนน้ำภายในถัง ผ่านชุดระบบหัวฉีด 12 หัว เป็นเวลา 5 นาที

4. จากนั้นจึงเปิดปั๊มน้ำอีกตัวหนึ่ง เพื่อเติมน้ำใหม่ที่ได้เตรียมไว้แล้ว ที่อุณหภูมิ 10 °C ผ่านหัวฉีดเติม 1 หัวฉีด

5. เมื่อเวลาผ่านไปจนมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 250 มิลลิลิตรหรือ 1 ขวด จะทำการบรรจุน้ำโซดาออก 1 ขวด ตัวอย่างเช่น ถ้าหัวฉีดเติม 1 หัว ใช้เวลา 52 วินาทีต่อปริมาตร 1 ขวด ทำการบรรจุขวดทุกๆ 52 วินาที เป็นเวลาประมาณ 20 นาที เพื่อให้อัตราการไหลของน้ำที่เติมเข้าเท่ากับอัตราการไหลของน้ำที่ออกไปบรรจุ ทำการวัดความดันและอุณหภูมิภายในขวดเพื่อหาปริมาณการละลายของก๊าซ CO_2 ในน้ำ (Volume)

6. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1 - 5 แต่เพิ่มหัวฉีดจาก 1 หัวฉีดเป็น 2 3 และ 4 หัว เนื่องจากเครื่องบรรจุสามารถบรรจุได้ 18 วินาที โดยที่ตั้งแต่หัวฉีด 3 หัว และ 4 หัว นั้น จะต้องเปิดน้ำทิ้งเพื่อให้อัตราการไหลของน้ำที่เติมเข้าเท่ากับอัตราการไหลของน้ำออก เพื่อรักษาระดับน้ำในถังให้คงที่ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำกับเวลา

การคำนวณอัตราการไหลเข้า – ออกของน้ำที่เติม

1 หัวฉีดเติมมีอัตราการไหล 0.29 ลิตร ใช้เวลา 60 วินาที

ถ้า 1 ขวด มีปริมาตร 0.25 ลิตร จะใช้เวลา $\frac{60 \times 0.25}{0.29} = 51.72$ วินาที

2 หัวฉีดเติมมีอัตราการไหล 0.29×2 = 0.58 ลิตร ใช้เวลา 60 วินาที

ถ้า 1 ขวด มีปริมาตร 0.25 ลิตร จะใช้เวลา $\frac{60 \times 0.25}{0.58} = 25.86$ วินาที

3 หัวฉีดเติมมีอัตราการไหล 0.29×3 = 0.87 ลิตร ใช้เวลา 60 วินาที

ถ้า 1 ขวด มีปริมาตร 0.25 ลิตร จะใช้เวลา $\frac{60 \times 0.25}{0.87} = 17.24$ วินาที

4 หัวฉีดเติมมีอัตราการไหล 0.29×4 = 1.1625 ลิตร ใช้เวลา 60 วินาที

ถ้า 1 ขวด มีปริมาตรา 0.25 ลิตร จะใช้เวลา $\frac{60 \times 0.25}{1.1625} = 12.9$ วินาที

ตั้งแต่ 3 หัวฉีด ขึ้นไปนั้น ใช้เวลาเร็วมาก ซึ่งเครื่องบรรจุนั้นไม่สามารถบรรจุได้ทัน เพราะเครื่องบรรจุนั้นใช้เวลาบรรจุ 18 วินาที จึงต้องใช้วิธีเพิ่มเวลาในการบรรจุและเปิดน้ำทิ้งซึ่งได้ทำการเพิ่มเวลาไปเป็น 25 วินาที เพราะฉะนั้น จะต้องคำนวณการเปิดน้ำทิ้งดังนี้

3 หัวฉีดเติม มีอัตราการไหล 0.87 ลิตร ใช้เวลา 60 วินาที

ถ้าใช้เวลา 25 วินาที จะได้ต้องเปิดน้ำทิ้ง $\frac{0.87 \times 25}{60} = 0.362$ ลิตร – 0.25 ลิตร = 0.1125 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25 วินาที เปิดน้ำทิ้ง 0.1125 ลิตร

ถ้า 60 วินาที จะต้องเปิดน้ำทิ้ง $\frac{0.1125 \times 60}{25} = 0.27$ ลิตร/นาที

3.9 การวัดปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธี Piercing Device

อุปกรณ์ Piercing Device เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใช้กับเครื่องดื่มที่มีการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีลักษณะเป็นเข็มเจาะเข้าไปบนฝาขวด ก๊าซจะพุ่งเข้าไปในเกจวัดความดัน อ่านค่าที่ได้แล้วทำการวัดอุณหภูมิ นำความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิไปหาปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในขวดจากตารางที่ 3.1

จากการค้นคว้า พบว่ามีผู้ผลิตจำหน่ายในต่างประเทศสำหรับเครื่องมือวัดที่มีราคาต่ำที่สุดมีราคาประมาณ 3-4 หมื่นบาท สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ Piercing Device ต้นแบบ 1

ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. ทำการคลายน็อตที่เป็นตัวล็อคชุดแผ่นกดแล้วทำการปรับระดับความสูงให้ได้ระดับกับความสูงของขวดที่ทดลอง

2. ทำการวางภาชนะบรรจุให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของฐานที่ใช้เป็นที่วาง โดยที่ให้ตำแหน่งของปากขวดสวมเข้ากับรูที่เจาะไว้กับชุดแผ่นกดด้านบนซึ่งจะทำให้ปากขวดสัมผัสกับแผ่นยางพอดี

3. ทำการเลื่อนชุดแผ่นกดลงมา แล้วขันน็อตให้ที่ใช้ปรับระดับให้เกิดการกดกับขวดจนแน่น

4. กดส่วนเข็มให้ทะลุส่วนของฝาจีบที่ปิดปากขวดเล็กน้อย ทำการเขย่าชุดอุปกรณ์วัดหลายๆครั้งจนกระทั่งค่าความดันที่อ่านได้มีค่าสูงสุด

5. คลายน็อตที่เป็นตัวล็อกชุดแผ่นกด นำภาชนะบรรจุออกจากชุดอุปกรณ์วัด แล้วทำการเปิดฝาขวด นำเทอร์โมมิเตอร์ที่เตรียมไว้จุ่มลงในขวดเพื่อทำการวัดอุณหภูมิ จนกระทั่งค่าอุณหภูมิที่สามารถอ่านค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คงที่ (โดยปกติจะใช้เวลาตั้งแต่ 30 วินาทีจนถึง 1 นาทีหรือมากกกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์) ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้

6. นำค่าความดันสูงสุดกับอุณหภูมิที่อ่านได้ไปหาค่าปริมาณ Volume ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากตารางที่ 3.1 [2]

จากเครื่องมือวัดนี้ มีลักษณะการใช้งานที่ไม่ค่อยสะดวกนัก เพราะว่ามีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ไม่สะดวกต่อการเขย่า จึงได้มีผู้ออกแบบและสร้างขึ้นมาใหม่เพื่อให้ใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ Piercing Device ต้นแบบ 2

ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ทำการคลายน๊อตบริเวณตัวล็อคคอขวดเพื่อเปิดออก

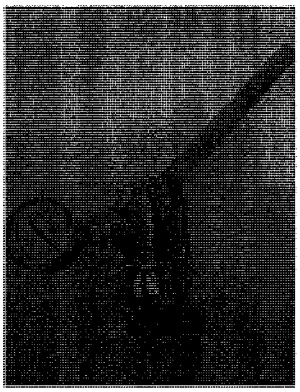
2. นำเครื่องวัดไปวางด้านบนปากขวด ให้บริเวณเข็มเจาะอยู่บนกึ่งกลางฝาจีบ ทำการล็อคคอขวดโดยการหมุนน๊อตเข้าไปให้พอดี อย่ามากเกินไป ขวดอาจแตกได้

3. ใช้แท่งเหล็กขนาดเล็ก ขันเข็มเจาะให้ลงมาปิดแนบกับฝาขวด

4. เจาะฝาขวดโดยการกดที่คันโยกด้านบนเครื่องวัด ก๊าซจะพุ่งไปยังเกจวัดความดัน ทำการเขย่าขวดจนความดันมีค่าคงที่

จากเครื่องวัดลักษณะนี้ ยังมีข้อบกพร่องอยู่ คือ ตัวล็อคคอขวดนั้น จะบีบขวดซึ่งทำให้ขวดแตกได้ และเข็มเจาะที่จะต้องขันลงมานั้น ถ้าขันไม่สนิท จะทำให้ก๊าซรั่วซึมได้ ค่าที่ได้ก็จะไม่ถูกต้อง ในโครงงานนี้เห็นความสำคัญของเครื่องมือวัดนี้ จึงได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมาใหม่ซึ่งมีราคาถูกกว่าของต่างประเทศมากดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ Piercing Device ที่ได้ปรับปรุง

ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. นำเครื่องวัดวางลงด้านบนปากขวด โดยสอดบริเวณขาล็อคคอขวดเข้ากับคอขวด

2. ให้เข็มเจาะอยู่บริเวณกึ่งกลางฝาจีบ โดยทำการ โยกคัน โยกลงมาเล็กน้อยเพื่อให้ขาล็อคคอขวดทำการล็อคขวดไว้

3. โยกคัน โยกลงมาอย่างรวดเร็ว เข็มจะเจาะฝาจีบลง ไป ก๊าซจะพุ่งขึ้น สังเกตได้จากเกจวัดความดันทำการเขย่าจนความดันมีค่าคงที่

การที่จะต้อง โยกคัน โยกอย่างรวดเร็วนั้น เพื่อ ไม่ให้ก๊าซเกิดการรั่วซึม ถ้าทำการ โยกคัน โยกอย่างช้าๆนั้น เข็มจะค่อยๆ เจาะลง ไปซึ่งจะทำให้ก๊าซรั่วซึมออกมา ทำให้ค่าที่ได้ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T(°F) \ P(psi)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
32	1.71	1.9	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3	3.5	3.8	4	4.2	4.4	4.7	4.9	5.2	5.4	5.6	5.8	6.1	6.3	6.5	6.7	7	7.2	7.4
33	1.68	1.9	2.1	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.6	4.8	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.8	7.1	7.3
34	1.64	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2	6.5	6.7	7	7.2
35	1.61	1.8	2	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5.1	5.2	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.6	6.8	7
36	1.57	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2	6.4	6.6	6.9
37	1.54	1.7	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7
38	1.51	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.2	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2	6.4	6.6
39	1.47	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.2	3.3	3.5	3.7	3.9	4	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.4	5.7	5.9	6.1	6.2	6.4
40	1.45	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3
41	1.42	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6	6.2
42	1.4	1.6	1.8	2	2.1	2.3	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.5	3.6	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
43	1.37	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.8	6
44	1.35	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9
45	1.32	1.5	1.7	1.8	2	2.2	2.4	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.8	4	4.1	4.3	4.5	4.7	4.8	5	5.2	5.4	5.6	5.7
46	1.29	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.3	2.5	2.7	2.8	3	3.2	3.4	3.5	3.7	3.9	4	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.1	5.3	5.4	5.6
47	1.26	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.5	3.6	3.8	4	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5	5.2	5.3	5.5
48	1.24	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.7	3.9	4.1	4.2	4.4	4.6	4.7	4.9	5.1	5.2	5.4
49	1.21	1.4	1.5	1.7	1.9	2	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	3	3.2	3.3	3.5	3.7	3.8	4	4.1	4.3	4.5	4.6	4.8	5	5.1	5.3
50	1.19	1.4	1.5	1.7	1.8	2	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9	5	5.2
51	1.17	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.7	3.8	4	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	5	5.1
52	1.15	1.3	1.5	1.6	1.8	1.9	2.1	2.2	2.4	2.5	2.7	2.8	3	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.9	5
53	1.13	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2	2.2	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.8	4	4.2	4.3	4.4	4.6	4.8	4.9
54	1.11	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.9	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.8
55	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.8	2	2.1	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	3	3.1	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4	4.1	4.3	4.4	4.6	4.7

ตารางที่ 3.1 ปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ (Volume)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองระบบไม่ต่อเนื่อง

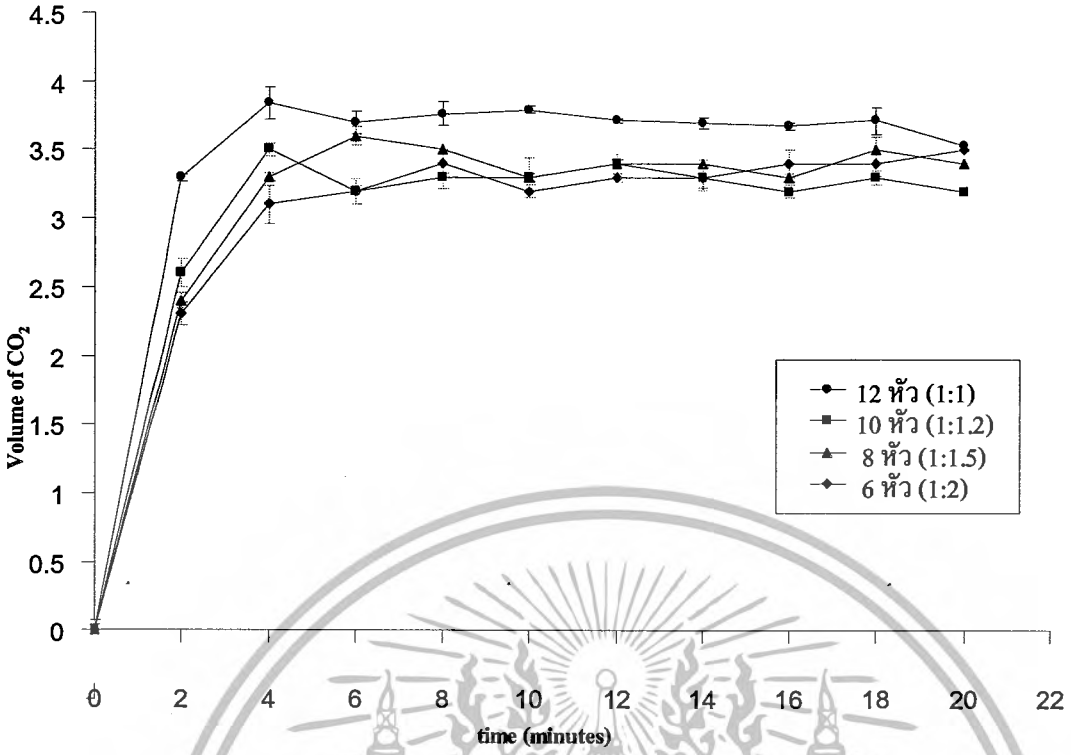
4.1.1 ผลของจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

จากการทดลอง พบว่าการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำโซดา (Volume) นั้นจะละลายได้อย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก จากนั้นการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำโซดาจะเริ่มมีค่าคงที่ จนสิ้นสุดการทดลอง

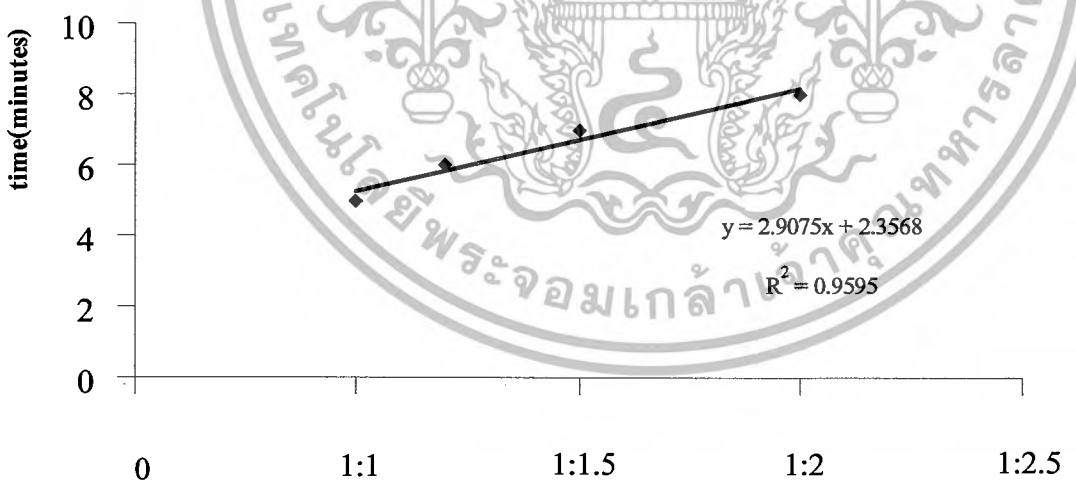
เมื่อพิจารณาถึงจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำภายในถัง พบว่า จำนวนหัวฉีดที่มากขึ้น จะทำให้การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำโซดา มีค่ามากที่เวลาเดียวกัน จากรูปที่ 4.1 ถ้าพิจารณาที่ช่วงเวลา 0 ถึง 5 นาทีแรก จะเห็นได้ว่า ปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำโซดาที่หัวฉีด 12 หัวมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ 10 หัวฉีด 8 หัวฉีด 6 หัวฉีด ตามลำดับ จากนั้นปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ในน้ำโซดาจะเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุล

ถ้าพิจารณาถึงอัตราการไหลของหัวฉีด จะเห็นได้ว่า ที่ 12 หัวฉีดจะมีอัตราการไหลของน้ำที่ 3 ลิตรต่อนาที ที่ 10 หัวฉีดมีอัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที ที่ 8 หัวฉีดมี 2 ลิตรต่อนาทีและที่ 6 หัวฉีดมี 1.5 ลิตรต่อนาที ซึ่งที่ 12 หัวฉีดนั้นมีอัตราการไหลของน้ำมาก จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับก๊าซมาก การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำโซดาจึงเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าจำนวนหัวฉีดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำกับการละลายของ CO_2 ในน้ำ



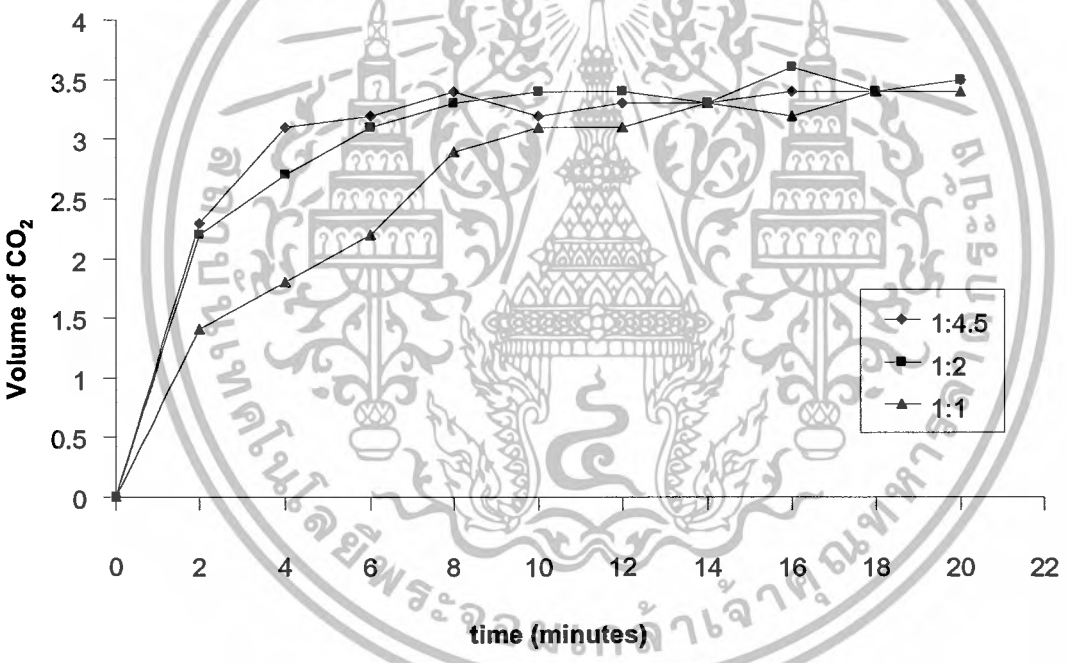
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ
หัวฉีดต่อปริมาณน้ำ (ลิตร) ภายในถังกับเวลาที่ทำให้ปริมาณ CO_2 ในน้ำคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 แสดงเป็นอัตราส่วนของจำนวนหัวฉีดต่อปริมาณน้ำ (ลิตร) ภายในถัง จะเห็นได้ว่า ที่อัตราส่วน 1:1 จะใช้เวลาในการละลายเร็วสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนอื่นๆ

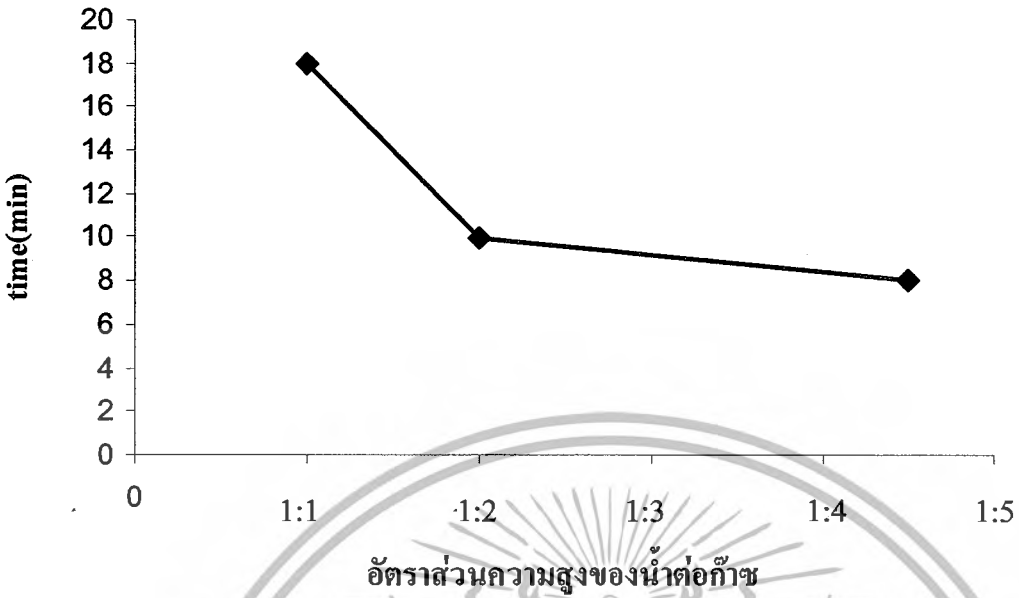
4.1.2 ผลของอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงก๊าซ ที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ในน้ำ

จากการทดลองโดยการใช้หัวฉีดหมุวนน้ำ 6 หัว โดยให้น้ำเริ่มต้นมีปริมาตรต่างกัน 3 ระดับ จากรูปที่ 4.3 ที่อัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซภายในถัง จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ช้าลง และเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่ากัน จะสังเกตได้ว่าถ้าอัตราส่วนความสูงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถังมีมาก การละลายของก๊าซก็จะเร็ว



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซกับ Volume

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



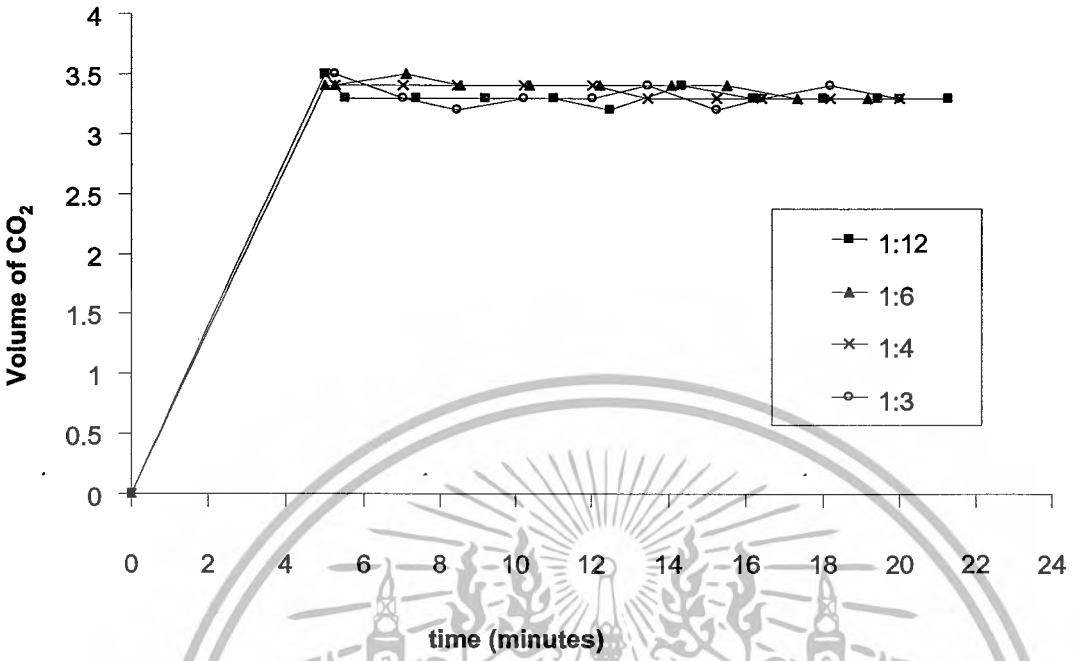
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสูง
ของน้ำต่อความสูงของก๊าซกับเวลาที่ทำให้ปริมาณ CO_2 ในน้ำคงที่

จากรูปที่ 4.3 สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซกับเวลาที่การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เริ่มเข้าสู่สมดุล พบว่า ที่อัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซ 1:2 และ 1:4.5 ใช้เวลาเข้าสู่สมดุลไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นการออกแบบจึงแนะนำให้ใช้อัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซเป็น 1:2 ขึ้นไป

4.2 ผลของการทดลองระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง

ในการออกแบบระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง พบว่า สามารถนำมาใช้งานได้จริง โดยให้อัตราการไหลของน้ำเติมเท่ากับอัตราการไหลออกของน้ำโซดา จากการทดลองเพิ่มจำนวนหัวฉีดน้ำเติม เพื่อหาอัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อจำนวนหัวฉีดน้ำหมุนวนที่ทำให้การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลง จากรูปที่ 4.5 พบว่า ที่อัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำแตกต่างกัน การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 3.3 Volume ที่อัตราส่วนต่างๆ นี้ยังไม่ทำให้การละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำลดลงได้ แสดงว่า อัตราส่วน 1:3 1:4 1:6 และ 1:12 สามารถนำไปใช้ในการผลิตได้ แต่ที่อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่มีอัตราการไหลของน้ำเติมมากที่สุด มีกำลังการผลิตมากสุด จึงแนะนำให้ใช้อัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อหัวฉีดหมุนวนน้ำเป็น 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำกับ Volume

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การออกแบบเครื่องผลิตน้ำโซดาให้มีราคาต่ำลงโดยการใช้ระบบหัวฉีดเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ และทำการทดลองศึกษาผลของจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำเริ่มต้น โดยการลดจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำ และผลของอัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซภายในถังโดยการเปลี่ยนระดับน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับ ซึ่งจะทำการทดลองที่ความดัน 2 บาร์และอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ผลที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวดเร็วในช่วงแรกแล้วจะช้าลงจนเข้าสู่สมดุลที่ค่าคงที่ค่าหนึ่งในสภาวะความดันและอุณหภูมิเดียวกัน

2. จำนวนหัวฉีดและปริมาณน้ำเริ่มต้นมีผลต่อความเร็วในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเพิ่มจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำ การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเร็วขึ้น การทดลองนี้ที่อัตราส่วน 1:1 หรือปริมาณน้ำ 12 ลิตร ต่อหัวฉีดน้ำหมุนวน 12 หัวฉีด จะใช้เวลาเร็วที่สุด

3. อัตราส่วนความสูงของน้ำต่อความสูงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถังอัดก๊าซควรมีค่าเป็น 1:2 หรือ ความสูงของก๊าซเป็นสองเท่าของความสูงของน้ำ

จากการพัฒนาเครื่องผลิตน้ำโซดานี้ให้เป็นระบบต่อเนื่องโดยเพิ่มชุดหัวฉีดน้ำเติมและรักษาระดับของน้ำให้คงที่โดยให้อัตราการไหลของน้ำที่เติมเข้ามาใหม่เท่ากับอัตราการไหลออกของน้ำโซดาเพื่อให้ระดับความสูงของน้ำภายในถังคงที่และให้ปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ (Volume) คงที่ด้วย จึงได้ทดลองศึกษาจำนวนหัวฉีดเติมที่เหมาะสมกับจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำ 12 หัวฉีด โดยการเพิ่มจำนวนหัวฉีดเติม ตั้งแต่ 1 ถึง 4 หัวฉีด ผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ที่จำนวนหัวฉีดเติม 4 หัวฉีด ปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีค่าใกล้เคียงกันกับหัวฉีดอื่นและมีกำลังการผลิตสูงสุด ดังนั้นหัวฉีดเติม 4 หัวกับหัวฉีดหมุนวนน้ำ 12 หัว หรือเทียบเป็นอัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำคือ 1:3 เป็นอัตราส่วนจำนวนหัวฉีดน้ำเติมต่อจำนวนหัวฉีดหมุนวนน้ำที่ให้กำลังการผลิตสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. การผลิตน้ำโซดานั้นจะต้องใช้ปั๊มหมุนเวียนน้ำและเติมน้ำเข้ามาภายในถัง ทำให้อุณหภูมิน้ำสูงขึ้นบ้างเล็กน้อยซึ่งอาจมีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อาจใช้น้ำหล่อเย็นช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในถังได้

2. ควรทำการศึกษาต่อในเรื่องอัตราส่วนจำนวนหัวฉีดเติมต่อจำนวนหัวฉีดหมุนวน เพื่อหาจำนวนหัวฉีดที่มากที่สุดที่ทำให้ปริมาณ Volume ลดลง

3. แนะนำให้ใช้หัวฉีดที่เป็นละอองขนาดเล็ก เพื่อให้การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำได้ดียิ่งขึ้น

4. ทำความสะอาดหัวฉีดก่อนและหลังการใช้งาน กำจัดสิ่งตกค้างที่ติดอยู่ เพื่อให้หัวฉีดสามารถฉีดน้ำได้มีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ทนง ภัครัชพันธุ์. บทที่ 7 เครื่องดื่มอัดแก๊ส. อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; p. 119-125.

[2] เรืองชัย ศรีสกุล และคณะ. การออกแบบและพัฒนากระบวนการชุดเครื่องมือการผลิตลำไยสดอัดก๊าซพร้อมดื่มต้นแบบ [ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต]. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2547

[3] เจษฎา รัศมีภูมิ และคณะ. การทดสอบและประเมินผลหัวฉีดสารเคมีที่ผลิตในประเทศไทย [ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต]. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; 2529.

[4] ตระการ ก้าวกสิกรรม. คู่มือถังรับแรงดัน : พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : เอ็มแอนด์อี ; 2540.

[5] ธิดารัตน์ ดรุณพันธ์ และคณะ. การออกแบบและสร้างเครื่องสเปรย์สครับเบอร์ [ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต]. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2542.

[6] Phillip R.Ashurst.1998. Carbonated beverages. The Chemistry and Technology of Soft Drink and Fruit Juices. Sheffield : Sheffield academic press ; p. 150-180.

[7] Unknow [online]. Available : URL : http://econ.tu.ac.th/.../อุตสหกรรมน้ำอัดลม.doc

[8] M.T.Gilliers. Apparatus for producing carbonated beverages. Soft drink manufacture. London : Noyes data corporation ; p. 2-7.

[9] David P.Steen,Philip R.Ashurst. Carbondioxide carbonation and the principles of filling technology. Carbonated Soft Drinks. Oxford : Blackwell publishing Ltd ; 2006. p. 112-133.

[10] Maurice Shachman. Carbonation Putting in the fizz. The Soft Drink Companion. USA : Pergamon press Ltd ; p. 167-177.

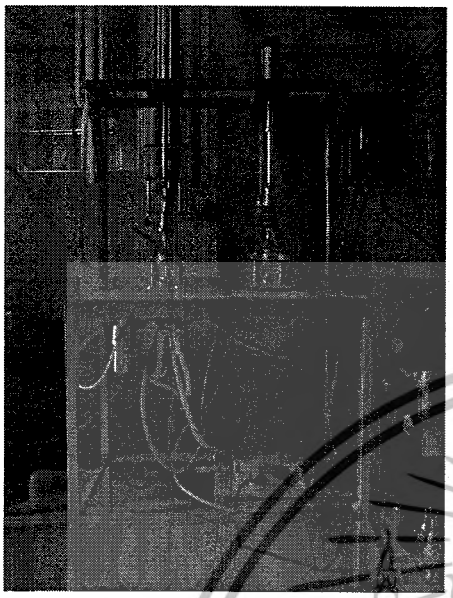
[11] J.M.Coulson,J.F.Richardson.Spray dryer.Chemical Engineering 4th edition.Great Britain : Pergamon press Ltd ; 1991. p. 726-722.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

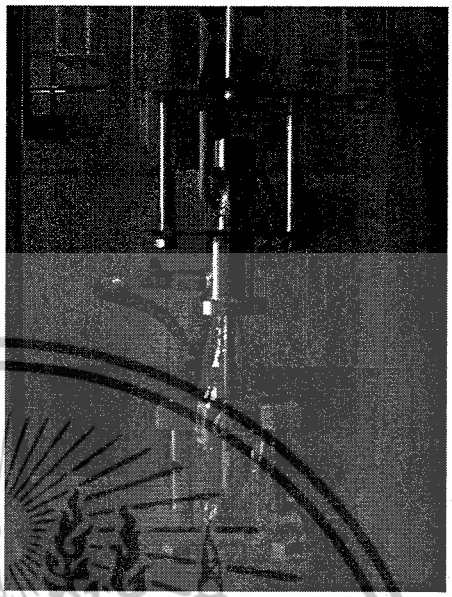
ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

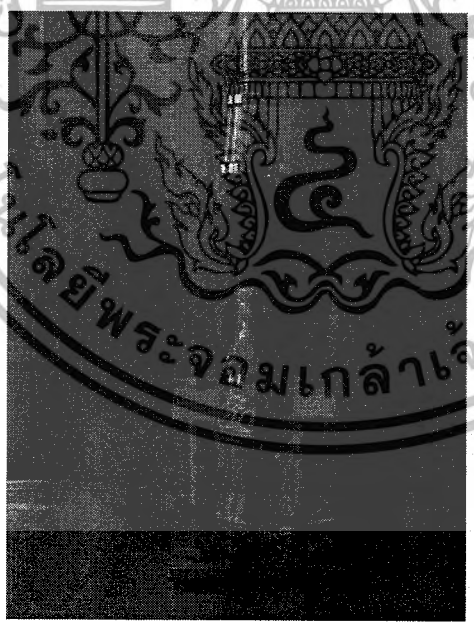
ภาพอุปกรณ์



รูปที่ ก-1 ชุดระบบบรรจุและปิดฝา

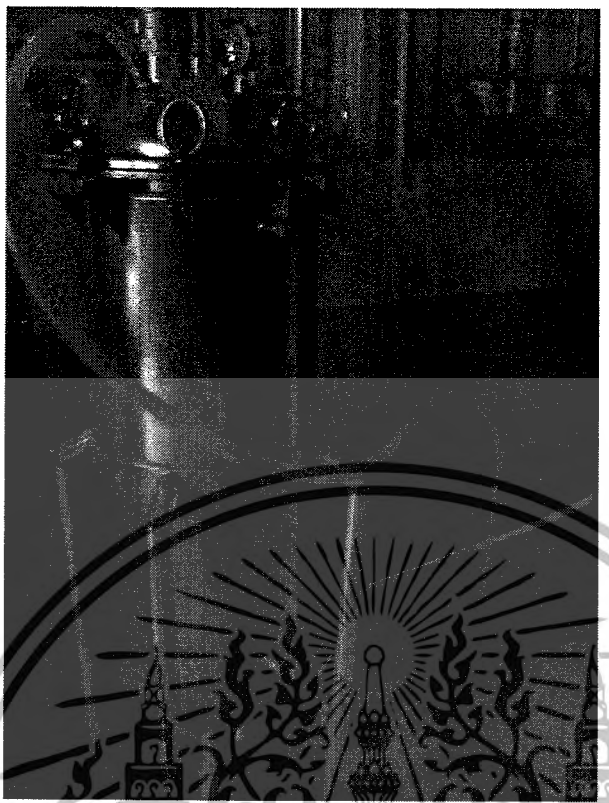


รูปที่ ก-2 ระบบบรรจุ



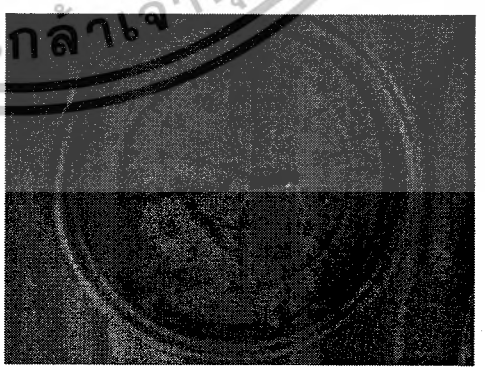
รูปที่ ก-3 ระบบปิดฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



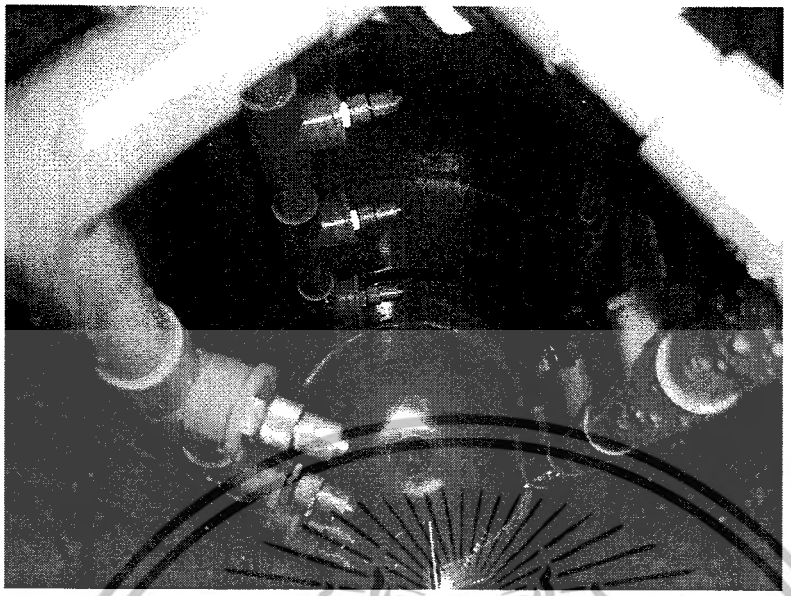
รูปที่ ก-4 ถังอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

รูปที่ ก-5 เกจวัดความดันภายในถัง

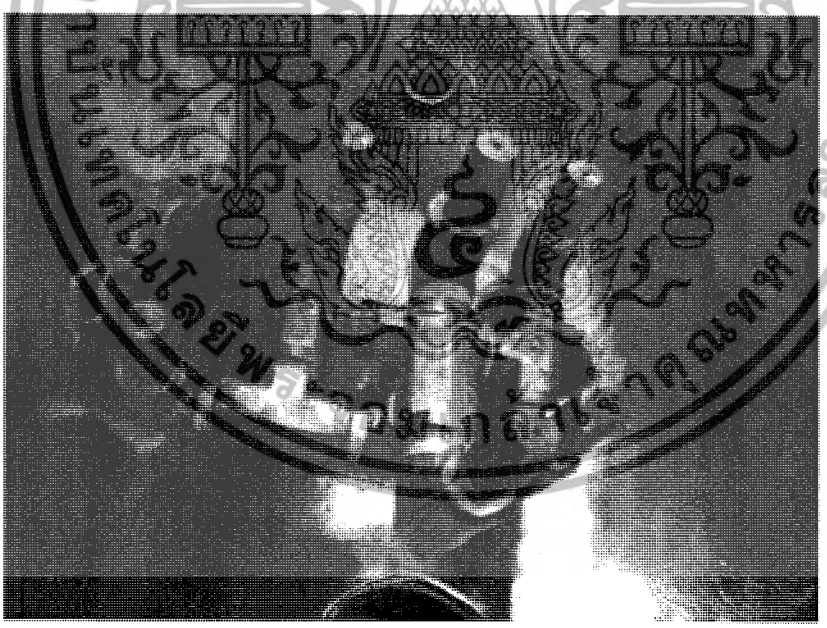


รูปที่ ก-6 เทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

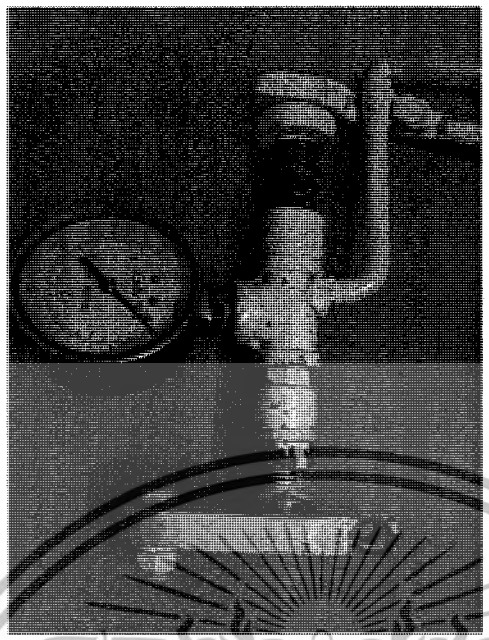


รูปที่ ก-7 ชุดระบบหัวฉีดหมุนวนน้ำ 12 หัว



รูปที่ ก-8 ชุดระบบหัวฉีดเติมติดตั้งบนฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



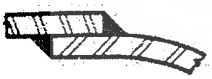
รูปที่ ก-9 Piercing Device ต้นแบบ 2

รูปที่ ก-10 Piercing Device ที่ได้ปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของรอยเชื่อม		ประสิทธิภาพรอยต่อ, E เมื่อรอยต่อเป็น :		
ชนิด ตามโคด UW-12		a. มีการตรวจสอบด้วยรังสีโดยตลอด	b. มีการตรวจสอบด้วยรังสีเป็นจุด	c. ไม่มีการตรวจเลย
	รอยต่อชนในลักษณะที่ได้มาด้วยการเชื่อมคู่หรือวิธีการอื่นที่จะให้ได้คุณภาพเหมือนกันของโลหะเชื่อมที่เชื่อมอยู่บนพื้นผิวแนวเชื่อมด้านในและด้านนอก ถ้ามีการใช้แผ่นประกบหลัง จะต้องถูกนำออกไปภายหลัง ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม	1.00	0.85	0.70
สำหรับรอยต่อตามแนวรัศมีเท่านั้น	รอยต่อชนที่เชื่อมเดี่ยวด้วยแผ่นประกบหลังที่ยังคงติดอยู่ด้านหลังแนวเชื่อมภายหลังการเชื่อม	0.90	0.80	0.65
	รอยต่อชนที่เชื่อมเดี่ยวโดยไม่ใช้แผ่นประกบหลัง	–	–	0.60
	รอยต่อเกยเชื่อมฟิลเล็ทคู่โดยตลอด	–	–	0.55
	รอยต่อเกยเชื่อมฟิลเล็ทเดี่ยวโดยตลอดที่มีการเชื่อมปลั๊ก	–	–	0.50
	รอยต่อเกยเชื่อมฟิลเล็ทเดี่ยวโดยตลอด ที่ไม่มีการเชื่อมปลั๊ก	–	–	0.45

ตารางที่ ข-1 ค่าประสิทธิภาพรอยต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎข้อบังคับและคุณลักษณะเฉพาะ (Regulations and Specifications)

กฎของโคดที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานต่าง ๆ

การใช้งานกับ	ข้อสรุปที่ย่อความมาจากข้อบังคับของโคด	ข้อบังคับของโคดที่
อากาศ	ถังรับแรงดันทุกใบที่ใช้งานกับอากาศอัด ยกเว้นที่อนุญาตให้เป็นอย่างอื่นในหัวข้อนี้จะต้องมีรูเจาะตรวจสอบที่เหมาะสม ถังที่มีความหนาน้อยที่สุดที่ต้องการน้อยกว่า 6.4 mm ('/$_4$ in.) ที่ต้องนำมาใช้กับการใช้งานกับอากาศอัดจะต้องมีค่าเผื่อการกัดกร่อนไม่น้อยกว่า '/$_8$ ของความหนาแผ่นที่คำนวณได้ ความหนาที่น้อยที่สุดเท่ากับ 2.4 mm	UG-46(a) UCS-25 UG-16(b)(6)
ก๊าซและของเหลวที่สามารลุกไหม้และ/หรือที่เป็นพิษ	จะต้องไม่นำข้อต่อขยายตัว (Expanded connections) มาใช้	UG-43(g)
สารอันตราย	รอยต่อเชื่อมแบบต่อชนในถังที่บรรจุสารอันตรายจะต้องตรวจสอบด้วยรังสีตลอดแนว เมื่อถังประกอบจากเหล็กกล้าคาร์บอนหรือผสมต่ำต้องมีการบ่าบัดด้วยความร้อนหลังการเชื่อม รอยต่อของประเภทต่าง ๆ จะเป็นไปตามข้อบังคับ UW-2 จะต้องไม่นำแผ่นเหล็กกล้าที่มีคุณลักษณะเฉพาะตาม SA-36, SA-283 มาใช้ทำถัง	UW-2(a) UW-2(a) UCS-6(b)(1)
ไอน้ำ	ถังที่มีความหนาน้อยที่สุดที่ต้องการน้อยกว่า 6.4 mm ที่ต้องนำมาใช้งานกับไอน้ำจะต้องมีค่าเผื่อการกัดกร่อนไม่น้อยกว่า '/$_8$ ของความหนาแผ่นที่คำนวณได้ ความหนาที่น้อยที่สุดของตัวถังและหัวถังเท่ากับ 2.4 mm	UCS-25 UG-16(b)(5)
หม้อไอน้ำไม่เผยสู่ไฟ (1)	ที่มีความดันออกแบบเกินกว่า 3.5 kg/cm^2 (50 psi) รอยต่อของประเภทต่าง ๆ จะเป็นไปตามข้อบังคับ UW-2 จะต้องไม่นำแผ่นเหล็กกล้าที่มีคุณลักษณะเฉพาะตาม SA-36, SA-283 มาใช้ทำถัง ความหนาที่น้อยที่สุดของตัวถังและหัวถังเท่ากับ 6.4 mm	UCS-6(b)(2) UG-16(b)(5)
น้ำ (2)	ถังที่มีความหนาน้อยที่สุดที่ต้องการน้อยกว่า 6.4 mm ที่ต้องนำมาใช้งานกับน้ำจะต้องมีค่าเผื่อการกัดกร่อนไม่น้อยกว่า '/$_8$ ของความหนาแผ่นที่คำนวณได้ ความหนาที่น้อยที่สุดของตัวถังและหัวถังเท่ากับ 2.4 mm	UCS-25 UG-16(b)(6)

หมายเหตุ :

1.หม้อไอน้ำที่ไม่เผยสู่ไฟอาจสร้างตามกฎของโคด Section I ได้ด้วย

2.ถังในการใช้งานกับน้ำไม่รวมถังที่กำหนดไว้ตามขอบเขตของโคดที่ให้รายการไว้ใน U-1 (c)(6) และ 7

ตาราง ข-2 กฎข้อบังคับและคุณลักษณะเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกัดกร่อน
(Corrosion)

ถังหรือชิ้นส่วนของถังที่ถูกทำให้บางลงด้วยการกัดกร่อน การกัดเซาะ หรือการขัดสีเชิงกล จะมีกฎเกณฑ์ที่กระทำเพื่อให้มีอายุใช้งานตามที่ต้องการ ด้วยการเพิ่มความหนาของวัสดุที่เหมาะสมจากที่หาได้ด้วยสูตรการคำนวณ หรือด้วยการใช้วิธีการที่เหมาะสมอื่นสำหรับการป้องกัน (Code UG-25b)

โคดไม่ได้อธิบายถึงขนาดของค่าเผื่อการกัดกร่อนยกเว้นสำหรับถังที่มีความหนาน้อยที่สุดที่ต้องการน้อยกว่า 6.4 mm ที่นำมาใช้กับไอน้ำ น้ำหรืออากาศอัดจะต้องมีค่าเผื่อการกัดกร่อนไม่น้อยกว่า 1 ส่วน 6 ของความหนาน้อยที่สุดที่ต้องการ โดยผลรวมของความหนาน้อยที่สุดที่ต้องการและค่าเผื่อการกัดกร่อนไม่จำเป็นต้องเกินกว่า 6.4 mm ข้อบังคับนี้ไม่ได้นำมาใช้กับชิ้นส่วนของถังที่ออกแบบด้วยการไม่มีการตรวจสอบด้วยรังสีเอ็กซ์ หรือชิ้นส่วนของถังไร้ตะเข็บที่ออกแบบด้วยประสิทธิภาพรอยต่อ 0.85 (Code UCS-25)

สำหรับถังอื่น ๆ เมื่ออัตราส่วนของการกัดกร่อนสามารถคาดการณ์ได้ อายุที่พึงประสงค์ของถังจะกำหนดค่าเผื่อการกัดกร่อน และถ้าผลกระทบของการกัดกร่อนไม่สามารถหาออกมาได้ การตัดสินใจขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ โดยปกติอัตราการกัดกร่อน 0.13 mm ต่อปี (1.6 mm ต่อ 12 ปี) ถือว่าเพียงพอสำหรับถังและระบบท่อ

ช่วงอายุที่พึงประสงค์ของถังเป็นคำถามในเชิงประหยัด ถังหลักมักได้รับการออกแบบสำหรับช่วงอายุการใช้งานที่นานกว่า (15-20 ปี) ขณะที่ถังรองมีช่วงอายุที่สั้นกว่า (8-10 ปี)

ค่าเผื่อการกัดกร่อนไม่จำเป็นต้องเป็นความหนาที่เท่ากันสำหรับทุกส่วนของถัง ถ้าอัตราการกระทำแตกต่างกันในแต่ละส่วนของถัง (Code UG-25c)

มีวิธีการที่แตกต่างกันหลายวิธีสำหรับการวัดการกัดกร่อน วิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้รูแสดงระดับการกัดกร่อน (Teltale hole) (Code UG-25c) หรือเครื่องวัดการกัดกร่อน

ถังที่อยู่ภายใต้การกัดกร่อนจะต้องจัดให้มีรูเจาะเพื่อระบายน้ำทิ้ง (Drain-opening) (Code UG-25f) ถังความดันทุกใบที่อยู่ภายใต้การกัดกร่อน การกัดเซาะหรือการขัดสีเชิงกลภายในจะต้องจัดให้มีรูเจาะเพื่อตรวจสอบ (Inspection opening) (Code UG-46)

เพื่อกำจัดการกัดกร่อน วัสดุที่มีสภาพต้านทานการกัดกร่อนนำมาใช้ในลักษณะบุภายในเท่านั้น หรือสำหรับความหนาทั้งหมดของผนังถัง

กฎของการบุภายในแสดงในโคดข้อบังคับ UG-26 และผนวก F ของภาค UCL

ถังสามารถได้รับการป้องกันต่อการขัดสีเชิงกลด้วยแผ่นรองที่นำมาเชื่อมหรือยึดด้วยวิธีการอื่นกับพื้นที่ที่เผยอยู่ของถัง

ในถังที่มีการกัดกร่อนเกิดขึ้น ร่องแคบ ๆ และช่องทั้งหมดจะต้องไม่ให้มีด้วยการเชื่อมชิ้นส่วนกับผนังถังด้วยแนวเชื่อมต่อเนื่องโดยตลอด (Continuous weld)

หัวถังด้านในอาจอยู่ภายใต้การกัดกร่อน การกัดเซาะ หรือการขัดสีบนทั้งสองด้าน

รูปที่ ข-1 การกัดกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของวัสดุ
เหล็กกล้าไร้สนิม
P-No.8 Group No.1

องค์ประกอบระบุ 18Cr-8Ni

จุดคราก ต่ำสุด 2,109 kg/cm² แรงดึงต่ำสุด 5,273 kg/cm²

ตาราง 1

ผลิตภัณฑ์	หมายเลขคุณลักษณะเฉพาะ	เกรด	หมายเหตุ
Plate	SA-240	304	2,3
Smls. Tb.	SA-213	TP304	2
Smls. Tb.	SA-213	TP304H	–
Smls. Pb.	SA-312	TP304	2
Smls. Pb.	SA-312	TP304H	–
Smls. Pb.	SA-376	TP304	2
Smls. Pb.	SA-376	TP304H	–
Smls. Pb.	SA-452	TP304H	–
Forg.	SA-182	F304	2
Forg.	SA-182	F304H	–
Bar	SA-479	304	2,3,5

จุดคราก 1,758 แรงดึง 4,922

ตาราง 2

ผลิตภัณฑ์	หมายเลขคุณลักษณะเฉพาะ	เกรด	หมายเหตุ
Plate	SA-240	304L	–
Smls. Tb.	SA-213	TP304L	–
Smls. Pp.	SA-312	TP304L	–
Bar	SA-479	304L	5

องค์ประกอบระบุ 16 Cr-12Ni-2Mo.

จุดคราก ต่ำสุด 2,109 kg/cm² แรงดึงต่ำสุด 5,273 kg/cm²

ตาราง 3

ผลิตภัณฑ์	หมายเลขคุณลักษณะเฉพาะ	เกรด	หมายเหตุ
Plate	SA-240	326	2,3
Plate	SA-240	317	2,3
Smls. Tb.	SA-213	TP316	2
Smls. Tb.	SA-213	TP316H	–
Smls. Pb.	SA-312	TP316	2
Smls. Pb.	SA-312	TP316H	–
Smls. Pb.	SA-312	317	2
Smls. Pb.	SA-376	TP316	2
Smls. Pb.	SA-376	TP316H	–
Cast Pp.	SA-452	TP316H	–
Forg.	SA-182	F316	2
Forg.	SA-182	F316H	–
Bar	SA-479	316	2,3,5

จุดคราก 1,758 แรงดึง 4,922

ตาราง 4

ผลิตภัณฑ์	หมายเลขคุณลักษณะเฉพาะ	เกรด	หมายเหตุ
Plate	SA-240	316L	–
Smls. Tb.	SA-213	TP316L	–
Smls. Pp.	SA-312	TP316L	–
Bar	SA-479	316L	5

ค่าความเค้นที่ยอมให้ได้มากที่สุด, kg/cm²

วัสดุในตาราง	สำหรับอุณหภูมิของโลหะที่ของค่าไม่เกินกว่า, °C												หมายเหตุ
	-29 ถึง 38	90	145	205	260	315	340	370	400	429	455	480	
1	1,322	1,252	1,167	1,139	1,118	1,118	1,118	1,118	1,097	1,069	1,048	1,034	1
	1,322	1,104	991	907	851	802	787	780	759	745	731	717	
2	1,174	1,160	1,076	1,034	1,012	984	963	949	935	914			1
	1,146	1,005	900	823	766	724	710	703	689	682			
3	1,322	1,322	1,294	1,276	1,266	1,195	1,174	1,146	1,132	1,118	1,104	1,097	1
	1,322	1,244	1,097	1,005	935	886	865	851	837	823	816	809	
4	1,174	1,174	1,125	1,097	1,041	984	970	949	928	914	893		1
	1,174	991	893	823	766	731	717	703	689	675	661		

วัสดุในตาราง	สำหรับอุณหภูมิของโลหะที่ของค่าไม่เกินกว่า, °C												หมายเหตุ
	510	535	565	590	620	650	675	705	730	760	786	816	
1	1,012	991	872	689	541	429	330	260	204	162	127	98	1
	703	689	668	626	541	429	330	260	204	162	127	98	
3	1,083	1,076	1,019	872	689	520	387	288	218	162	119	91	1
	802	795	787	773	689	520	387	288	218	162	119	91	

หมายเหตุ :

1. ค่าความเค้นที่สูงกว่านี้เกินกว่า $^2/_3$ แต่ไม่เกิน 90% ของความแข็งแรงคราก ณ อุณหภูมิ ใช้ค่าความเค้นนี้อาจมีผลในการเปลี่ยนแปลงขนาดเนื่องจากความเค้นคาวร ค่าความเค้นนี้ไม่แนะนำสำหรับหน้าแปลนหรือรอยต่อที่มีปะเกิน หรือการใช้งานอื่นที่การบิดงอเพียงเล็กน้อยอาจเป็นเหตุให้เกิดการรั่วไหล หรือไม่ทำงาน
2. ณ อุณหภูมิที่เกินกว่า 535°C ค่าความเค้นนี้ใช้ได้เฉพาะเมื่อคาร์บอนเท่ากับ 0.04% หรือสูงกว่า
3. สำหรับอุณหภูมิที่เกินกว่า 535°C ค่าความเค้นนี้อาจนำมาใช้ได้เฉพาะถ้าวัสดุได้รับการบำบัดด้วยความร้อนด้วยการให้ความร้อนแก่วัสดุถึงอุณหภูมิอย่างน้อยที่สุด 1,040°C และจุ่มลงในน้ำหรือทำให้เย็นตัวด้วยวิธีอื่นอย่างรวดเร็ว
4. แรงดึงที่น้อยที่สุดที่กำหนดคือ 4,570 kg/cm²
5. ใช้แผนภูมิของความดันภายนอกสำหรับวัสดุในรูปแบบของบาร์สต็อกให้ใช้ได้สำหรับแหวนเสริมความแข็งแรงเท่านั้น

ตารางที่ ข-3 คุณสมบัติของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้