

การเป่าแก้วเบื้องต้น

(Introduction to Glass Blowing)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กุศลา จันทร์อรุณ

การเป่าแก้วเบื้องต้น -
Introduction to glass



11078853

สถาบันการศึกษาดุสิตสงคราม

มหาวิทยาลัยศิลปากรและเทคโนโลยี ภาควิชาเคมี

วิทยาลัยครูพิบูลสงคราม พิษณุโลก

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม



การเป่าแก้วเบื้องต้น

(Introduction to Glass Blowing)

เอกสารคำสอนวิชา รหัส 3124710

ตามหลักสูตรสภาการฝึกหัดครู พุทธศักราช 2528

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กุลยา จันทรวงศ์

กศ.บ., วท.ม.

พิมพ์ที่ ศูนย์บริการการพิมพ์

สหวิทยาลัยพณิชยการ วิทยาลัยครูพิษณุสงคราม พิษณุโลก

ปีการศึกษา 2530

มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์

กิติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบพระคุณอย่างสูงต่ออาจารย์ ดร. โกศล สาระเวก ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้ซึ่งให้ความรู้เกี่ยวกับการฝึกและอบรมเรื่องแก้วและเทคนิคการเป่าแก้ว ทั้งระดับต้นและระดับกลางแก่ผู้เขียนอย่างดียิ่ง และขอขอบคุณ คุณเรืองเดช วงศ์เสนา อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอีสาน อุดรราชธานี ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและแสดงความคิดเห็นในการเขียนเนื้อหาในเรื่องอุตสาหกรรมแก้ว และขอบคุณ คุณเทอดศักดิ์ จันทร์อรุณ ที่ให้การสนับสนุน

ขอขอบคุณ สหวิทยาลัยพุทธชินราช วิทยาลัยครูพิบูลสงคราม พิษณุโลก ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนทางด้านเงินทุน ในการสร้างชุดเป่าแก้วและเอกสารคำสอนเล่มนี้ เพื่อใช้เป็นคู่มือในการเรียนการสอน

คุณความดีของเอกสารเล่มนี้ ผู้เขียนขอมอบให้ท่านที่มีส่วนช่วยเหลือที่กล่าวมาข้างต้น

กฤษยา จันทร์อรุณ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

คำนำ

หนังสือเอกสารคำสอน วิชาการเป่าแก้วเบื้องต้นเล่มนี้ เขียนขึ้นเพื่อใช้ประกอบการ
เรียนการสอนวิชา 3124710 การเป่าแก้วเบื้องต้น ตามหลักสูตรสภาการฝึกหัดครู พุทธศักราช
2528

การเป่าแก้วเป็นวิชาที่ยังมีการสอนไม่แพร่หลายมากนัก การเรียนการเป่าแก้วมักจะ
เรียนโดยการเรียนจากผู้ชำนาญการเป่าแก้วโดยตรงและจากการฝึกฝนด้วยตนเอง ซึ่งวิธีนี้
อาจจะต้องใช้เวลาในการศึกษานาน ดังนั้นในการเขียนเอกสารคำสอนเรื่องการเป่าแก้วเบื้องต้น
นี้ จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ความรู้เรื่องแก้วและแนะนำวิธีการและเทคนิคการเป่าแก้วทางงาน
วิทยาศาสตร์และการเป่าแก้วทางงานศิลป์ โดยการใช้ตะเกียงเป่าแก้ว อธิบายหลักการเป่าแก้ว
เบื้องต้น เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนการเป่าแก้วได้ถูกวิธี ถูกลำดับขั้นตอน เพื่อให้เกิดความชำนาญ
โดยไม่ต้องเสียเวลานานมากนัก และนอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับใช้เป็นคู่มือสำหรับผู้สนใจเรื่อง
แก้ว หลักการและเทคนิคการเป่าแก้วด้วยตนเองได้เป็นอย่างดี

ผู้เขียนหวังว่าเอกสารคำสอนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ศึกษาเรื่องแก้วและการเป่าแก้ว
ได้เป็นอย่างดี

กฤษยา จันทร์อรุณ

ภาควิชาเคมี คณะวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

สารบัญ

หน้า

บทนำ	การเป่าแก้วเบื้องต้น	
	คำอธิบายรายวิชา	1
	โครงการสอน	2
บทที่ 1	แก้วและประวัติของแก้ว	
	แผนการสอน	7
	1.1 แก้ว	9
	1.2 ประวัติและความเป็นมาของแก้ว	9
บทที่ 2	อุตสาหกรรมแก้ว	
	แผนการสอน	17
	2.1 องค์ประกอบของแก้ว	19
	2.2 แก้วเพื่อการค้า	21
	2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว	26
	2.4 ปฏิกริยาเคมีของแก้ว	27
	2.5 ขบวนการผลิตแก้วทางอุตสาหกรรม	29
	2.6 อุตสาหกรรมของแก้วพิเศษ	40
บทที่ 3	ความหมายและสมบัติของแก้ว	
	แผนการสอน	47
	3.1 ความหมายของแก้ว	49
	3.2 สมบัติทางกายภาพของแก้ว	50
	3.3 คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของแก้ว	54
	3.4 คุณสมบัติของขบวนการเป่าและตัดแปลงแก้ว	55

	หน้า
บทที่ 4	อันตรายที่อาจจะเกิดจากการเป่าแก้วและการป้องกัน
	แผนการสอน 61
4.1	อันตรายจากเปลวไฟและตะเกียงเป่าแก้ว 63
4.2	อันตรายจากแก๊ส 63
4.3	อันตรายจากถังแก๊สเชื้อเพลิงและถังออกซิเจน 64
4.4	อันตรายจากแก้วและอุปกรณ์การเป่าแก้ว 65
4.5	อันตรายที่เกิดกับปอด 65
4.6	สิ่งที่ควรเตรียมเพื่อป้องกันอุบัติเหตุในห้องเป่าแก้ว 66
บทที่ 5	การจัดห้องเป่าแก้วและการเก็บรักษาแก้ว
	แผนการสอน 67
5.1	การจัดห้องเป่าแก้ว 69
5.2	การจัดหาแก้วเพื่อใช้ในห้องเป่าแก้ว 71
5.3	การเก็บรักษาแก้ว 72
บทที่ 6	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเป่าแก้ว
	แผนการสอน 75
6.1	ตะเกียงเป่าแก้ว 77
6.2	อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในการเป่าแก้ว 82
6.3	เครื่องมือเป่าแก้วที่เป็นพวกเครื่องจักรหรือเครื่องมือพิเศษ 83
6.4	เตาอบเหนียว 84
บทที่ 7	หลักการเป่าแก้ว
	แผนการสอน 91
7.1	การเป่าแก้ว 93

	หน้า
7.2 เทคนิคการใช้ตะเกียงเป่าแก้ว	94
7.3 การทำความสะอาดแก้ว	96
7.4 เทคนิคการตัดแก้ว	100
7.5 การเผาแก้วและการจับแก้ว	102
7.6 การตรวจสอบชนิดของแก้ว	106
7.7 ชนิดของการเป่าแก้ว	108
บทที่ 8 ปฏิบัติการเป่าแก้วเบื้องต้น	
แผนการสอน	113
ปฏิบัติการที่ 1 การยัดแก้ว	115
ปฏิบัติการที่ 2 การทำแท่งแก้วคน	119
ปฏิบัติการที่ 3 การทำหลอดหยด	122
ปฏิบัติการที่ 4 การเป่าหลอดทดลอง	125
ปฏิบัติการที่ 5 การทอแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่าง ๆ	129
ปฏิบัติการที่ 6 การเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะ	139
ปฏิบัติการที่ 7 การงอหลอดแก้ว	146
ปฏิบัติการที่ 8 การเป่าหลอดแก้วให้เป็นข้อ	152
บทที่ 9 การเป่าแก้วงานศิลป์	
แผนการสอน	157
9.1 การเป่าแก้วทางงานศิลปะ	159
9.2 การเป่าดอกกุหลาบ	162
9.3 การเป่าตัวหงส์	164

มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาสังคราม

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	องค์ประกอบของแก๊วบางชนิด	20
2.2	เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของแก๊วบางชนิด	25

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 1

รูปที่

1.1	โรงงานทำแก้วของชาวโบฮีเมีย เป่าแก้วโดยใช้มือจับหลอดเป่า	11
1.2	กลองจุดหลอมโบราณ ใช้เลนซ์เจียรระโนอย่างดี	13
1.3	แก้วเป่าควยปาก	14
1.4	เครื่องแก้วในสมัยต่าง ๆ	15
1.5	องค์ประกอบและการทำเส้นคายแก้ว	16

บทที่ 2

รูปที่

2.1	รูปตัดตามขวางของเตาเผาแบบ Regenerative furnance	31
2.2	การทำแก้วแผ่นของขบวนการ Fourcault	32
2.3	แผนผังการทำแก้วของการผลิตแก้วแบบ Flout glass	33
2.4	ขั้นตอนการผลิตแก้วแผ่น	34
2.5	เครื่องมือแสดงการชักผิวหน้าของแก้วแผ่น	36
2.6	เครื่องจักรชักแก้วแผ่นของประเทศสหรัฐอเมริกา	36
2.7	โรงงานทำแก้วแบบ Floatglass ของ Pilkington brothers ของอังกฤษ	37
2.8	การทำแก้วแบบ Wired and patterned glass	37
2.9	ขบวนการผลิตขวดแก้วควยเครื่องจักรอัตโนมัติ	38
2.10	การทำแก้วนิรภัย	42

บทที่ 3

รูปที่

3.1 อุณหภูมิและเวลาของการอบเหนียวแก้วในเตาอบ

54

บทที่ 6

รูปที่

6.1 ตะเกียงเป่าแก้วแบบมือถือชนิดต่าง ๆ

78

6.2 ตะเกียงเป่าแก้วแบบตั้งโต๊ะชนิดต่าง ๆ

79

6.3 ตะเกียงเป่าแก้วแบบตั้งโต๊ะชนิดต่าง ๆ (ต่อ)

80

6.4 แบบเจียรแก้ว

84

6.5 อุปกรณ์เป่าแก้ว

85

6.6 อุปกรณ์เป่าแก้ว (ต่อ)

86

6.7 อุปกรณ์เป่าแก้ว (ต่อ)

87

6.8 เครื่องเจาะแก้ว

88

6.9 เครื่องตัดแก้ว

88

6.10 เครื่องจับแก้วหรือแทนกสังแก้ว

89

6.11 เครื่องโพลาริสโคป

89

6.12 เครื่องขัดหรือเจียรแก้ว

90

บทที่ 7

รูปที่

7.1 ส่วนประกอบของตะเกียงเป่าแก้วแบบมือถือ

95

7.2 ตะเกียงเป่าแก้วแบบตั้งโต๊ะ

97

	หน้า
7.3	แสดงโชนทาง ๆ ของเปลวไฟ 98
7.4	การกรีกรอยบนแกวแลวที่ควมมือ 101
7.5	การจับและการหมุนแกว 104
7.6	การปักแกวและการตอแกว 110
7.7	การตอแกวรูปควที่ 111
7.8	แกวที่ไซเปาแกว 112

บทที่ 8

รูปที่

8.1	การปักหลอดแกวกลาง 116
8.2	การทำแกวคน 120
8.3	การทำหลอดหยด 123
8.4	การเป่าหลอดทดลอง 126
8.5.1	การตอแกวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน 131
8.5.2	การตอหลอดแกวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันไม่มาก 134
8.5.3	การตอแกวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมาก 137
8.6.1	การเป่ากระเปาะแซนเดียวโดยไซหลอดแกวหลอดเดียว 141
8.6.2	การเป่ากระเปาะแกวโดยไซหลอดแกวต่างขนาดกัน 142
8.6.3	การเป่ากระเปาะแกวสองแซน 144
8.7.1	การงอหลอดแกว 147
8.7.2	หลอดแกวงอขนาดต่าง ๆ 147
8.7.3	การงอแกวรูปควมู 149
8.7.4	การงอแกวรูปตัวแอล 150
8.8	การทำส่วนปลายหลอดแกวให้เป็นข้อ 153

รูปที่

9.1	คอกกูกุหลาบ	161
9.2	การเป่าคอกกูกุหลาบ	163
9.3	การเป่าตัวหงส์	166
9.3.1	การเป่าตัวหงส์ (ต่อ)	167
9.4	ขั้นตอนการทำคอกไม้แก้ว	168
9.4.1	ขั้นตอนการทำคอกไม้แก้ว (ต่อ)	169
9.5	อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ผู้เขียนเป่าในห้องปฏิบัติการ	170
9.5.1	อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ผู้เขียนเป่าในห้องปฏิบัติการ (ต่อ)	171
9.5.2	อุปกรณ์ที่ผู้เขียนเป่าในห้องปฏิบัติการ (ต่อ)	172
9.6	ผู้เขียนขณะเป่าแก้วในห้องเป่าแก้ว	173
9.7	ผู้เขียนเป็นวิทยากรสาธิตการเป่าแก้ว	174

บทนำ

การเป่าแก้วเบื้องต้น

รหัส 3124710

(Introduction to Glass Blowing)

2(1-3)

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเรื่องแก้ว สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแก้ว การจัดห้องสำหรับเป่าแก้ว
ชนิดของหัวเป่าตะเกียงเป่าแก้วและเปลวไฟ เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการเป่าแก้ว หลักการ

1. มีความรู้ความเข้าใจในความหมายของแก้วและเทคนิคการเป่าแก้วเบื้องต้น
เป็นวิชาหนึ่งในสาขาวิชาทางเคมี
2. มีความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบ ชนิด และการผลิตแก้วชนิดต่าง ๆ ทั้งแก้วที่ใช้ใน
ห้องปฏิบัติการและแก้วที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป
3. ให้อุปกรณ์การเป่าแก้วต่าง ๆ และสามารถใช้อุปกรณ์เหล่านั้นได้อย่างถูกต้อง
ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ตลอดจนรู้จักเลือกใช้อุปกรณ์แก้วแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับการใช้งาน
ในห้องปฏิบัติการ
4. ให้สามารถจัดสร้างห้องเป่าแก้ว ทั้งชนิดอย่างง่าย ๆ เพื่อไว้ใช้เอง และห้องเป่า
แก้วที่ได้มาตรฐานเพื่อใช้เป่าแก้วได้
5. ให้อำนาจในการเป่าแก้วแบบต่าง ๆ และรู้เทคนิคขั้นต้นต่าง ๆ ในการเป่าแก้ว

อย่างมีหลักการ ถูกขั้นตอนทางวิทยาศาสตร์ เพื่อประหยัดเวลาในการฝึกหัดเป่าแก้วไม่ให้ของเสียเวลาฝึกนานมากเกินไป

6. ให้สามารถสร้างและซ่อมแซมอุปกรณ์จากแก้วเพื่อใช้ในห้องทดลองปฏิบัติการเคมีได้ด้วยตนเอง

7. ฝึกให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และฝึกการพัฒนาทางสมมติในการสร้างชิ้นงานจากความคิด จินตนาการ และแสดงออกมาในรูปของผลงานจากงานเป่าแก้ว

8. ให้ความรู้พื้นฐานในการฝึกปฏิบัติการทำงานด้านการเป่าแก้วสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์และสร้างงานแก้วที่แปลกและใหม่ ๆ ทางด้านศิลปะ เพื่อยึดเป็นวิชาชีพได้วิชาชีพหนึ่ง

โครงการสอน

สัปดาห์ที่	เนื้อหา
1	<p>ปฐมนิเทศเกี่ยวกับการเรียนการสอน จุดประสงค์ของวิชา วิธีการเรียนการสอน และการประเมินผล</p> <p>บทที่ 1 แก้วและประวัติของแก้ว</p> <p>1.1 แก้ว</p> <p>1.2 ประวัติความเป็นมาของแก้ว</p>
2	<p>บทที่ 2 อุตสาหกรรมแก้ว</p> <p>2.1 องค์ประกอบของแก้ว</p> <p>2.2 แก้วเพื่อการค้า</p> <p>2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว</p> <p>2.4 ปฏิกริยาเคมีในการเกิดแก้ว</p>

ลำดับที่	เนื้อหา
	2.5 ขบวนการผลิตแก้วทางอุตสาหกรรม 2.6 อุตสาหกรรมของแก้วพิเศษ
3	บทที่ 3 ความหมายและสมบัติของแก้ว 3.1 ความหมายของแก้ว 3.2 สมบัติทางกายภาพของแก้ว 3.3 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงของแก้ว
4	บทที่ 4 อันตรายที่อาจเกิดจากการเป่าแก้วและการป้องกัน 4.1 อันตรายจากเปลวไฟและสะเก็ดเป่าแก้ว 4.2 อันตรายจากแก๊ส 4.3 อันตรายจากถังแก๊ส เซลล์เพลิงและถังออกซิเจน 4.4 อันตรายจากแก้วและอุปกรณ์การเป่าแก้ว 4.5 อันตรายที่เกิดกับปอด 4.6 สิ่งที่ต้องเตรียมเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ
5	บทที่ 5 การจัดห้องเป่าแก้วและการเก็บรักษาแก้ว 5.1 การจัดห้องเป่าแก้ว 5.2 การจัดหาแก้วเพื่อใช้ในห้องเป่าแก้ว 5.3 การเก็บรักษาแก้ว

ลำดับตอนที่	เนื้อหา
6	บทที่ 6 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเป่าแก้ว 6.1 ตะเกียงเป่าแก้ว 6.2 อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในการเป่าแก้ว 6.3 เครื่องมือเป่าแก้วที่เป็นพวกเครื่องจักร 6.4 เตาอบเหนียว
7	บทที่ 7 หลักการเป่าแก้ว 7.1 การเป่าแก้ว 7.2 เทคนิคการใช้ตะเกียงเป่าแก้ว 7.3 การทำความสะอาดแก้ว 7.4 เทคนิคการตัดแก้ว 7.5 การเผาแก้วและการจับแก้ว 7.6 การตรวจสอบชนิดของแก้ว 7.7 ชนิดของการเป่าแก้ว
8	บทที่ 8 ปฏิบัติการเป่าแก้วเบื้องต้น ปฏิบัติการที่ 1 การยืดแก้ว
9	บทที่ 8 (ต่อ) ปฏิบัติการที่ 2 การทำแท่งแก้วคน ปฏิบัติการที่ 3 การทำหลอดหยด

ลำดับที่	เนื้อหา
10	บทที่ 8 (ต่อ) ปฏิบัติการที่ 4 การเป่าหลอดทดลอง
11	บทที่ 8 (ต่อ) ปฏิบัติการที่ 5 การต่อแก้วขนาดต่าง ๆ
12	บทที่ 8 (ต่อ) ปฏิบัติการที่ 6 การเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะ
13	บทที่ 8 (ต่อ) ปฏิบัติการที่ 7 การงอหลอดแก้ว
14	บทที่ 8 (ต่อ) ปฏิบัติการที่ 8 การเป่าหลอดแก้วให้เป็นข้อ
15	บทที่ 9 การเป่าแก้วงานศิลป์ 9.1 การเป่าแก้วทางด้านศิลปะ
16	บทที่ 9 (ต่อ) 9.2 การเป่าดอกกุหลาบ 9.3 การเป่าตัวหงส์

ลำดับที่	เนื้อหา
16	9.4 การทำดอกไม้แก้ว
17	ประเมินผลปลายภาคเรียน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

แกวและประวัติของแกว

แผนการสอน

หัวข้อเนื้อหาของบทเรียน

- 1.1 แกว
- 1.2 ประวัติความเป็นมาของแกว

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากที่ได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้ศึกษามีความสามารถดังนี้

1. อธิบายสมบัติเฉพาะตัวของแกวที่เหมาะสมในการใช้ทำอุปกรณ์ เครื่องใช้ต่างๆ

ได้

2. บอกประวัติความเป็นมาของแกวที่พัฒนาในแต่ละสมัย ตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์จนถึงยุคปัจจุบันได้

3. เปรียบเทียบลักษณะและสมบัติเฉพาะของแกวแต่ละแบบ แต่ละชนิดที่ชนชาติต่างๆ ผลิตขึ้นมาได้

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. วิธีบรรยาย
2. แบ่งกลุ่มคนควาเรื่องประวัติของแกว แล้วนำมาอภิปรายร่วมกัน แล้วอ่าน

เอกสารประกอบเพิ่มเติม

สื่อการเรียนรู้การสอน

1. เอกสารและตำราเรื่องแกว

2. ตัวอย่างแกวชนิดต่าง ๆ อุปกรณ์ทำจากแกว
3. ภาพที่เกี่ยวกับแกว

การประเมินผล

1. ใช้วิธีสังเกตจากการซักถามและการตอบปัญหาของผู้เรียน
2. ใช้วิธีสังเกตจากความร่วมมือในการอภิปรายกลุ่มและความถูกต้องของเนื้อหา

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

แก้วและประวัติของแก้ว

1.1 แก้ว

ในปัจจุบันนี้เราจะพบสิ่งของเครื่องใช้และเครื่องมืออุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์จำนวนมากมายที่มาจากแก้ว แก้วนอกจากจะนำมาใช้ทำประโยชน์นานาชนิดในชีวิตประจำวัน เช่น ทำแว่นตา ทำกระจก ถ้วยแก้ว ชวด สร้างอาคารบ้านเรือนและอื่น ๆ แล้ว แก้วยังเป็นวัสดุที่จำเป็นและสำคัญมากในการนำมาสร้างอุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องแก้วที่ใช้ในงานทดลองและการทำงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์ที่ทำจากแก้วใช้เป็นภาชนะเก็บสารเคมีต่าง ๆ

แก้วมีสมบัติเป็นของแข็ง ซึ่งทำให้หลอมเหลวและดัดแปลงให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามความต้องการได้ โปร่งแสง และสามารถทำให้มีสีต่าง ๆ ได้ ทนความร้อน เป็นฉนวนไฟฟ้า และสามารถรักษาสูญญากาศได้ แก้วเป็นวัสดุที่เปราะ ทนต่อแรงกดได้ดีกว่าแรงกระแทก และในทางอุตสาหกรรมแก้วได้มีการพัฒนาให้เป็นสารที่ทนทานมากขึ้นจนประสบความสำเร็จมาก เช่น แก้วกันกระสุนปืน แก้วนิรภัย เป็นต้น แก้วที่ทำขึ้นในปัจจุบันนี้มืองค์ประกอบของวัตถุดิบที่นำมาทำแก้วมากขึ้นและมีแก้วมากกว่า 800 ชนิด

1.2 ประวัติความเป็นมาของแก้ว

ประวัติความเป็นมาของแก้วนั้นเริ่มจากแก้วธรรมชาติที่เกิดขึ้นเนื่องจากภูเขาไฟระเบิด และมีของเหลวที่เรียกว่า ลาวา ไหลออกมาจากภูเขาไฟ ลาวามีอุณหภูมิสูงมากเมื่อไหลผ่านบริเวณที่เป็นหิน ทราบ จะหลอมเหลวสิ่งต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทราบจะถูกหลอมเหลวหมด เมื่อของเหลวเหล่านี้เย็นลงจะกลายเป็นของแข็งที่มีสีสรรคสวยงามและมีบางส่วนโปร่งแสง ของแข็งเหล่านี้คือแก้วธรรมชาตินั่นเอง ซึ่งแก้วที่เกิดขึ้นตามธรรมชาตินี้จะมีสีค่อนข้างดำ

เรียกว่า obsidian ซึ่งสีที่ดำนั้นอาจจะเนื่องมาจากมีออกไซด์ของโลหะหนักบางชนิดปนอยู่ และมีส่วนโปร่งแสงบางส่วน อาจจะเป็นเพราะมีสารชนิดอื่นปนอยู่ด้วยจึงทำให้บางส่วนที่โปร่งแสงไม่โปร่งแสงเหมือนแก้ว แต่อย่างไรก็ตามในสมัยโบราณที่มนุษย์ยังไม่ทราบว่าคืออะไรก็สามารถนำมาทำเครื่องมือต่าง ๆ เช่น ทำใบมีด ทำขลุ่ยสำหรับล่าสัตว์

ความเป็นมาของแก้ว มนุษย์เริ่มมีการใช้แก้วเป็นครั้งแรกเมื่อไรนั้นไม่ปรากฏแน่ชัด แต่จากหลักฐานที่เก่าแก่ที่สุด โดยพบจากหลักฐานของ Pliny ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องแก้วโดยมีเรื่องเล่าว่า พวกพ่อค้าชาว Phoenician ได้พบแก้วโดยบังเอิญเมื่อเขาได้จอดเรือเพื่อทำอาหารที่ชายฝั่งทะเล ซึ่งที่ชายฝั่งทะเลนี้มีแร่ทราย พวกพ่อค้าจึงได้เอาหินส่วนที่แข็งมาตั้งทำเตาต้มน้ำ พอกลิ่นแข็งนั้นถูกความร้อนจึงกลายเป็นของเหลวพุ่งออกมา เมื่อเย็นลงคือแก้วในปัจจุบัน ซึ่งสารที่พบนี้คือผลึกของ Na_2CO_3 และ NaHCO_3 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ความร้อนทำให้ทรายรวมตัวกับพวกสารประกอบแอคคาไลต์ ทำให้มนุษย์สนใจและเป็นสาเหตุของการทำแก้วขึ้นในเวลาต่อมา

ในสมัยก่อนคริสต์ศักราชราว 6,000 หรือ 5,000 ปี ชนชาติอียิปต์ก็ได้ใช้แก้วประดับในแจกันเพื่อความสวยงาม จากหลักฐานของลูกปัดแก้วและภาชนะแก้วที่คนพบในอียิปต์และซีเรีย ภาชนะมนุษย์เริ่มรู้จักวิธีผลิตแก้วขึ้นใช้แล้ว มีการใช้แก้วประดับหน้าต่างและทำเป็นหน้าต่างเป็นครั้งแรกใน ค.ศ. 290 สิ่งสำคัญที่เป็นหลักฐานแสดงถึงวิวัฒนาการเทคนิคการทำแก้วคือ การประดิษฐ์หลอดเป่าแก้วที่เป็นเหล็ก (Blowing iron) เป็นหลอดเป่าแก้วมีลักษณะเป็นแท่งเหล็กกลวงยาวประมาณ 100 - 150 cm โดยปลายข้างหนึ่งทำเป็นที่สำหรับปากเป่า ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งใช้สำหรับยึดแก้วร้อนที่จะนำมาเป่า



รูปที่ 1.1 โรงงานทำแก้วของชาวโบฮีเมีย
เป่าแก้วโดยใช้มือจับหลอดเป่า

ในระหว่างสมัยกลางของยุคประวัติศาสตร์ (Middle age) ได้มีการนำแก้วมาใช้ประดับตกแต่งตามโบสถ์ต่าง ๆ โดยทำเป็นโมเสก (Mosaics) และแก้วสี (strained glass) โดยนำมาปะติดรวมกันเป็นรูปภาพต่าง ๆ เพื่อบอกเล่าเรื่องราวของคัมภีร์ทางศาสนา เพื่อให้ความสวยงามและเป็นประโยชน์ ทำให้รู้เรื่องราวทางศาสนาจากภาพเหล่านั้น ในสมัยนี้ แก้วที่คิดค้นขึ้นใช้สำหรับประดับหน้าต่างโบสถ์ เป็นแก้วที่ทำจากนอร์มันดีและลอเรน ต่อมาศูนย์กลางของการทำแก้วมาอยู่ที่กรุงเวนิส (Venice) ชาวเวนิสได้ใช้เวลานับศตวรรษในการพัฒนา

การทำแก้วและการประทับประคาคงแก้วจนเป็นเอกลักษณ์ของตนเอง โดยเฉพาะการใช้แก้วสีใหม่ ๆ แก้วกระจกเงา แก้วของชาวเวนิสเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นแก้วชั้นดีและสวยงามที่สุดในโลกติดต่อกันมาเป็นเวลา 300 - 400 ปี ครอบคลุมถึงปลายศตวรรษที่ 17 ระหว่างศตวรรษที่ 17 นี้ โปฮิเมีย ฝรั่งเศส อังกฤษ และเนเธอร์แลนด์ ก็สามารถผลิตแก้วที่มีความสวยงามออกมามากขึ้น เช่น ฝรั่งเศสได้พัฒนาการทำแก้วแผ่นเรียบที่เรียกว่าแก้วแผ่น (Plate glass) ขึ้นเป็นครั้งแรกใน ค.ศ. 1688 ส่วนอังกฤษค้นพบวิธีทำแก้วผสมตะกั่ว (Lead glass) ซึ่งเป็น การเริ่มต้นไปสู่ยุคของการเจียรไนแก้ว การแกะสลักลายบนแก้วเจียรไน (Crystal) ตลอดจนการทำแก้วที่มึแสงบิดเกลียว และพัฒนาต่อมาจนในศตวรรษที่ 18 อังกฤษมีบริษัทชื่อเสียงทางด้าน การผลิตแก้วจำนวนมาก ในปลายศตวรรษที่ 19 มีการประดิษฐ์เครื่องจักรที่ใช้ในการทำแก้วขึ้น ต่อมาในศตวรรษที่ 20 มีการประดิษฐ์เครื่องจักรอัตโนมัติในการผลิตขวดแก้ว การผลิตแก้วแผ่นเรียบแบบ Plate glass, sheet glass และแบบ Float glass ตลอดจน การผลิตแก้วไฟเบอร์ (Glass fibres) ในปัจจุบันนี้ได้มีการผลิตแก้วเพื่อใช้เป็นเครื่องมือต่าง ๆ โดยอาศัยความรู้ทางวิศวกรรมทางวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ ผลิตแก้วได้มากถึงประมาณ 800 ชนิด

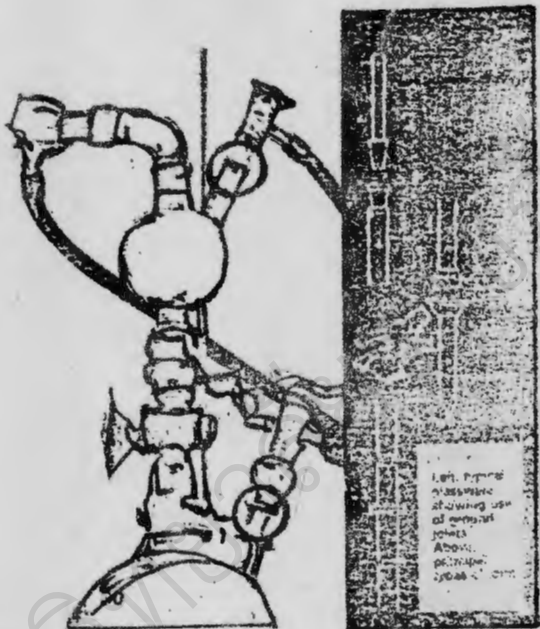


รูปที่ 1.2¹ กล้องจุลทรรศน์ไมรอน ไซเลนซ์เจียรระโนอย่างดี

¹ ศศิเกษม หองยงค์, แก้ว (กรุงเทพมหานคร, โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2520), หน้า 30.



ก



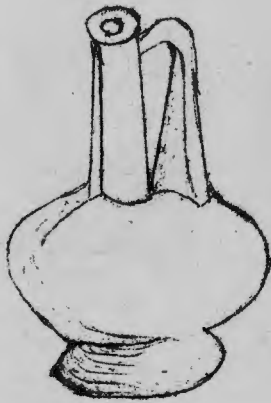
ข



รูปที่ 1.3² แก้วเป่าควาฬิกา

- ก เซอร์ เจมส์ เควอร์ ผู้คิดค้นแก้วสองชั้นเป็นสุดยอดาศภายใน
- ข เครื่องแก้วเป่าควาฬิกา

² เรื่องเดียวกัน, หน้า 25



ขวดซาวโรมันใช้หลอดเหล็กเป่า



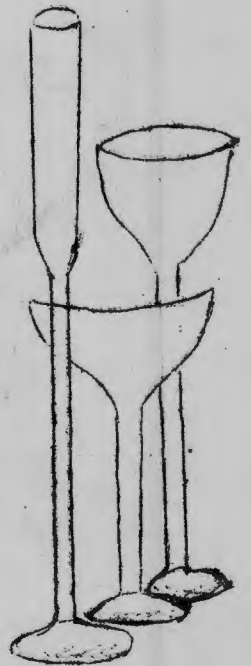
แจกันอียิปต์ใช้สายแก้วพันรอบทรวง



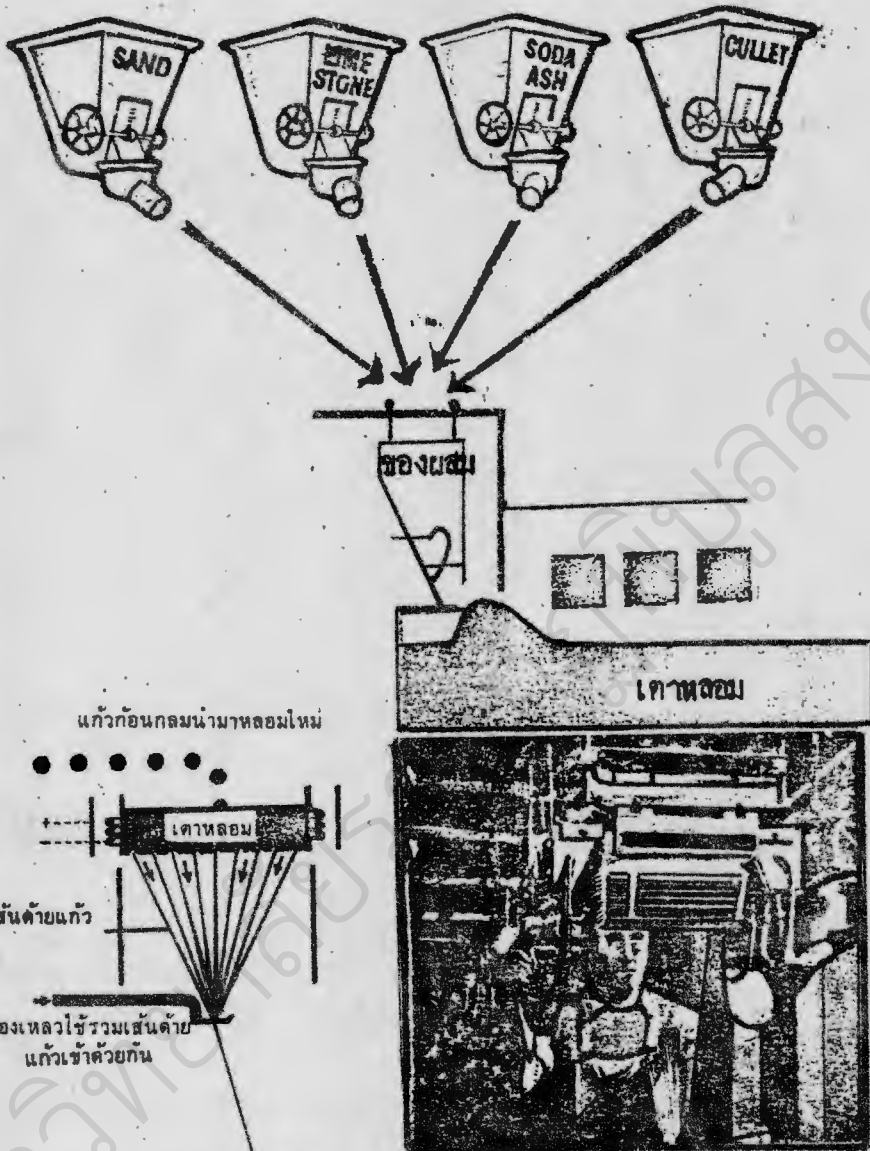
แก้วผสมตะกั่ว
สลักลวดลาย



หลอดไฟฟ้าเอคิสัน



แก้วรุ่นใหม่ผลิตในสวีเดน



แก้วก่อนกลมนำมาหลอมใหม่

เตาหลอม

เส้นด้ายแก้ว

ช่องเหลวใช้รวมเส้นด้ายแก้วเข้าด้วยกัน

ม้วน

เตาหลอม

เส้นด้ายแก้วทำโดยเทแก้วหลอมเหลวให้ผ่านรูเล็กๆ ได้เตาหลอม แก้วจะผ่านออกมาเป็น เส้นเล็กๆ แล้วนำมารวมม้วนเข้าด้วยกัน

รูปที่ 1.5 องค์ประกอบและการทำเส้นด้ายแก้ว

อุตสาหกรรมแก้ว

แผนการสอน

หัวข้อเนื้อหาของบทเรียน

- 2.1 องค์ประกอบของแก้ว
- 2.2 แก้วเพื่อการค้า
- 2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว
- 2.4 ปฏิกริยาเคมีของแก้ว
- 2.5 ขบวนการผลิตแก้วทางอุตสาหกรรม
- 2.6 อุตสาหกรรมของแก้วพิเศษ

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากที่ได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้ศึกษาคควรจะต้องทำในสิ่งต่อไปนี้ได้

1. อธิบายถึงองค์ประกอบของแก้วแต่ละชนิดได้
2. สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างและสมบัติเฉพาะตัวของแก้วแต่ละชนิดที่เหมาะสมกับการใช้งานโดยเฉพาะของแก้วชนิดนั้น ๆ
3. สามารถอธิบายถึงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้วแต่ละชนิด และปฏิกริยาทางเคมีของเนื้อแก้วได้
4. สามารถอธิบายถึงขบวนการและขั้นตอนในการผลิตแก้วทางอุตสาหกรรมเพื่อการการค้าได้

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. วิธีบรรยาย
2. ศึกษาวิธีการผลิตแก้วจากภาพประกอบ
3. ศึกษาจากตัวอย่างวัตถุหลาย ๆ ชนิดที่ผลิตจากแก้ว

สื่อการเรียนรู้การสอน

1. เอกสารและตำราเรื่องอุตสาหกรรมแก้ว
2. ตัวอย่างสิ่งของหลาย ๆ ชนิดที่ทำจากแก้ว เช่น ขวด แวนตา กระจก เครื่องมือแก้วทนไฟ
3. รูปภาพประกอบ

การประเมินผล

1. ใช้วิธีสังเกตจากการซักถามและทบทวนปัญหาของผู้เรียน
2. สังเกตจากความสามารถแยกแก้วแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง
3. สังเกตจากความสามารถอธิบายถึงขั้นตอนในการผลิตแก้วทางอุตสาหกรรม
4. สังเกตจากความสามารถอธิบายปฏิกิริยาทางเคมีของแก้ว และปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสีของแก้วได้อย่างถูกต้อง

อุตสาหกรรมแก้ว

การทำแก้วเป็นอุตสาหกรรมเริ่มในยุคคริสต์ศตวรรษที่ 15 โดยพวกเวนิสซึ่งเป็นผู้ที่นิยมใช้แก้วทำหน้าต่างกันมาก และในสหรัฐอเมริกาทำเป็นครั้งแรกที่เมือง Jamestown เมื่อ ค.ศ. 1608 และปี ค.ศ. 1639 ในเมือง Salem รัฐแมสซาชูเซต จากนั้นมาการทำแก้วเป็นอุตสาหกรรมก็มากขึ้น การพัฒนาอุตสาหกรรมแก้วได้พิจารณาองค์ประกอบทางเคมีเป็นอย่างมาก เพราะองค์ประกอบทางเคมีมีผลต่อแสงและสมบัติทางกายภาพมาก ในตอนต้น ค.ศ. 1900 มักจะพัฒนาในรูปของแก้วที่ใช้ในงานศิลปะเท่านั้น

2.1 องค์ประกอบของแก้ว

แก้วต่าง ๆ มักจะทำด้วยสารที่สำคัญ 3 อย่าง คือ ปูนขาว หรือ Lime (CaO) ทราย (SiO_2) และ โซดา ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) กว่า 90% ซึ่งองค์ประกอบนี้เป็นองค์ประกอบหลักของแก้วที่ผลิตขึ้นในทำนองเดียวกับแก้วเมื่อ 2,000 ปีล่วงมาแล้ว แก้วชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยขององค์ประกอบหลัก และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากขององค์ประกอบย่อย (องค์ประกอบหลักคือ CaO , SiO_2 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ องค์ประกอบย่อยคือสารอื่น) ปัจจัยที่สำคัญของการทำอุตสาหกรรมแก้วคือ ความหนืดของออกไซด์ของสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบที่หลอมเหลว ตาราง 2.1 คือตารางแสดงองค์ประกอบของแก้วชนิดต่าง ๆ

ตาราง 2.1¹ องค์ประกอบของแก้วบางชนิด (เปอร์เซ็นต์)

ชนิดที่	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	As ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	PbO	SO ₃
1	68.7	-	4.4	-	-	4.0	2.3	13.7	2.3	-	1.0
2	69.4	-	3.5	1.1	-	7.2	-	17.3	-	-	-
3	70.5	-	1.9	0.4	-	13.0	-	12.0	1.9	-	-
4	71.5	-	1.5	-	-	13.0	-	14.0	-	-	-
5	72.88	-	0.78	0.78	-	12.68	0.22	12.69	-	-	-
6	72.9	-	0.7	0.7	-	7.9	2.8	15.0	-	-	-
7	72.68	-	0.5	0.07	-	12.95	-	13.17	-	-	0.44
8	70.74	-	2	0.09	-	-	10-11	-	13-16	-	-
9	73.6	-	1.0	-	-	5.2	3.6	16.0	0.6	-	-
10	73.88	16.48	2.24	2.24	0.73	-	-	6.67	-	-	-
11	74.2	0.4	-	-	0.2	4.3	3.2	17.7	-	-	-
12	67.2	-	-	-	0.5	0.9	-	9.5	7.1	14.8	-
13	69.04	0.25	-	-	-	12.07	-	5.95	11.75	-	-
14	64.7	10.6	4.2	-	-	0.6	-	7.8	0.3	-	-
15	80.5	12.9	2.2	-	-	-	-	3.8	0.4	-	-
16	96.3	2.9	0.4	-	-	-	-	0.2	0.2	-	-
17	70.3	-	7.15	0.47	-	4.93	-	12.75	1.97	-	-

¹ R. Norris Shreve and Joseph A. Brink, Jr., Chemical Process Industries, (Tokyo, Tosho Printing Co., LTD., 1977), p. 181.

- ชนิดที่ 1 คือ แก้วของอียิปต์
- ชนิดที่ 2 คือ หน้าต่าง Pompeian
- ชนิดที่ 3 คือ หน้าต่างของเยอรมัน (1849)
- ชนิดที่ 4 คือ หน้าต่างและซอก ของศตวรรษที่ 19
- ชนิดที่ 5 คือ แก้วดวง
- ชนิดที่ 6 คือ Fourcault glass ซึ่งมี $BaO = 0.7\%$
- ชนิดที่ 7 คือ แก้วแผ่น ซึ่งมี $Sb_2O_3 = 0.18\%$
- ชนิดที่ 8 คือ ซอกโซคาไลม์
- ชนิดที่ 9 คือ หลอดไฟฟ้า
- ชนิดที่ 10 คือ แก้ว Jena, แก้วทนไฟ
- ชนิดที่ 11 คือ แก้วที่ใช้ในครัวเรือน (เฉพาะพวก Lime Crystal)
- ชนิดที่ 12 คือ แก้วที่ใช้ในครัวเรือน (เฉพาะพวก Lead Crystal)
- ชนิดที่ 13 คือ แก้วแว่นตา ซึ่งมี $Sb_2O_3 = 0.9\%$
- ชนิดที่ 14 คือ แก้ว Jena ซึ่งมี $ZnO = 10.9\%$
- ชนิดที่ 15 คือ แก้ว Pyrex
- ชนิดที่ 16 คือ แก้วซิลิกา (แก้วเบอร์ 790 ของบริษัท Shand)
- ชนิดที่ 17 คือ แก้วซิลิกา (Fused silica)

2.2 แก้วเพื่อการค้า (Commercial glass)

เป็นแก้วที่ผลิตขึ้นเพื่อทางการค้า เพื่อใช้งานทั่ว ๆ ไป ซึ่งมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบและสมบัติเฉพาะตัวของแก้วแต่ละชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแก้วชนิดนั้น ๆ สำหรับแก้วทางการค้าที่มีการจำแนกเป็นชนิด ๆ ดังนี้

2.2.1 แก้วฟิวส์ควอตซ์ (Fused quartz) แก้วชนิดนี้มีองค์ประกอบของ SiO_2 ประมาณ 99.5 % จะเห็นว่ามีส่วนเปอร์เซ็นต์ของซิลิกาสูงมาก บางครั้งจึงเรียกว่าแก้วซิลิกาบริสุทธิ์ สมบัติเฉพาะตัวของแก้วชนิดนี้คือมีความแข็งแรงมาก มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นต่ำ มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนและไฟฟ้าสูงมากแม้ในขณะที่ร้อน โปร่งแสงและโปร่งเสียง (คลื่นเสียงผ่านทะลุได้) แก้วชนิดนี้ทำจากการสลายซิลิกอนเตตระคลอไรด์ด้วยอุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย จึงทำให้มีราคาแพง แก้วควอตซ์ทนทานต่อการกัดกร่อนมาก มีประโยชน์ในการทำเครื่องแก้ว ทำเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้กับการทดลองที่อุณหภูมิสูง ๆ ใช้เป็นวัสดุสะท้อนแสงเลเซอร์ ทำครุชิวเบิลสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ของซิลิกาบริสุทธิ์เพื่อใช้ในทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นตัวกรองรังสีเอกซ์ของแก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียม แก้วควอตซ์มีน้ำหนักเบา จึงเหมาะสำหรับใช้ทำกระจกสำหรับดาวเทียมและกระจกกล้องโทรทรรศน์

2.2.2 แก้วเหลว (Alkali silicate หรือ water glass) เป็นแก้วที่ละลายน้ำได้ แก้วชนิดนี้ทำจากการนำทรายและเถ้าโซดา (Soda ash) หลอมเข้าด้วยกัน ผลที่ได้เรียกว่าโซเดียมซิลิเกตซึ่งมีส่วนผสมเป็น $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ ถึง $\text{Na}_2\text{O} \cdot 4 \text{SiO}_2$ การศึกษาสมบัติของสัคส่วนของแก้ว 2 สัคส่วนทำให้ทราบสมบัติที่ซับซ้อนของแก้วชนิดนี้ สารละลายของโซเดียมซิลิเกตนี้รู้จักกันในชื่อว่า water glass water glass นี้ใช้เป็นกาวสำหรับติดกระดาษในอุตสาหกรรมกลองกระดาษ นอกจากนั้นยังใช้เป็นสารป้องกันไฟไหม้ สารทนอมโซ และผสมในผงซักฟอกและสบู่ด้วย

2.2.3 แก้วโซดา (Soda-Lime glass) หรือแก้วอ่อน (soft-glass) เป็นแก้วที่ใสกันกว้างขวางมาก ใช้ทำหน้าต่าง เครื่องใช้ประเภทโปร่งแสงและใช้บรรจุของแข็งหรือของเหลวหลายชนิด ใช้กับกระจกรถยนต์ เครื่องใช้ในครัวเรือน มีการพัฒนาสมบัติทางกายภาพของแก้วชนิดนี้ที่สามารถลดความหนา เป็นอิสระต่อคลื่นและแรงเคี้ยว แต่การพัฒนาทาง ๆ นั้นก็ไม้อาจทำให้องค์ประกอบเปลี่ยนแปลงมากเท่าใดนัก องค์ประกอบแก้วชนิดนี้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือซิลิกา คือ (1) SiO_2 ประมาณ 70-74 % (2) CaO ประมาณ 10-13 %

(3) Na_2O ประมาณ 13-16 % ผลผลิตที่เกิดจากองค์ประกอบดังกล่าวสามารถหลอมเหลวได้จากการใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก อุณหภูมิสามารถดัดแปลงให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย การพัฒนาชิ้นส่วนใหญ่จะเป็นการพัฒนาเครื่องควบคุมการทำงาน อุตสาหกรรมการทำขวดเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องกลมาก อธิพิผลส่วนใหญ่ที่มีต่ออุตสาหกรรมขวดคือขวดบรรจุสุรา ซึ่งทำให้เกิดการใช้วัสดุเปลี่ยนไปคือใช้ Al_2O_3 และ CaO สูง และ Na_2O ต่ำลง การเติมสารเคมีพวกนี้ลงในซิลิกา เช่นเติมโซดาในรูปของ Na_2CO_3 หรือ Na_2O หรือโปแตส (K_2O) จะทำให้จุดอ่อนตัวของซิลิกาต่ำลงเหลือประมาณ $800-900^\circ\text{C}$ การเติมไลม์ (CaO) หรือแมกนีเซีย (MgO) หรืออลูมินา (Al_2O_3) จะช่วยให้แก้วทนทานต่อสารเคมีและทำให้แก้วมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และสีของแก้วจะดีขึ้นโดยการใช้วัตถุดิบที่บริสุทธิ์มากขึ้น และใช้ดีเบียมเป็นค่างำจี้ดี แก้วชนิดนี้มีสมบัติเฉพาะตัวคือ มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นสูงมากยากต่อการอบเหนียวมีความต้านทานอากาศและสารเคมีน้อย

2.2.4 แก้วตะกั่ว (Lead glass) เป็นแก้วที่ใสจากตะกั่วออกไซด์ และแอลคาไลออกไซด์ ใช้ประโยชน์ส่วนมากในกระจกตกแต่งและกระจกที่เกี่ยวกับแสง ประโยชน์ที่ใช้ส่วนใหญ่จริง ๆ คือใช้ทำอุปกรณ์เกี่ยวกับแสงเพราะแก้วชนิดนี้จะให้ครรชนหักเหสูงและกระจายแสงได้สูง แก้วที่ประกอบด้วยตะกั่วออกไซด์ 92 % (มีความหนาแน่น 8.0 ครรชนหักเห 2.2) มีการผลิตออกมามาก ปริมาณที่ใช้มากที่สุดคือใช้สร้างหลอดไฟฟ้า หลอดนีออน และ Rediotrons ทั้งนี้เพราะแก้วชนิดนี้มีสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี และอาจจะใช้เป็นโล่ป้องกันรังสีนิวเคลียร์ด้วย แก้วตะกั่วมีอีกชื่อหนึ่งว่า Flint glass

2.2.5 แก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate glass) เป็นแก้วที่ทำด้วยออกไซด์ของโบรอน ใช้เป็นแก้วที่เกี่ยวข้องกับแสงและงานทางวิทยาศาสตร์ ส่วนมากแล้วแก้วบอโรซิลิเกตจะประกอบด้วย B_2O_3 13-18 % และ SiO_2 80-87 % Al_2O_3 1-4 % บางที่เรียกว่าแก้วแข็ง (Hard glass) มีชื่อทางการค้าต่าง ๆ กัน เช่น ไพเรกซ์ (Pyrex) ซึ่งเป็นของบริษัท Corning ชื่อคิมแมกซ์ (Kimax) ของบริษัท Kimble แก้วชนิดนี้มีโซดา

หรือ โปแตสเซียมเล็กน้อย เป็นแก้วที่มีสมบัติการขยายตัวเชิงเส้นต่ำ มีการแตกร้าวได้ยาก ทนต่อสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี เนื่องจากสมบัติพิเศษต่าง ๆ มีมากจึงใช้แก้วชนิดนี้มากหลายประการ ได้แก่ จานทำขนมปัง เครื่องแก้วในห้องทดลอง ท่อน้ำ ฉนวนที่มีแรงดึงผิวสูง ใช้เป็นเครื่องทำความสะอาด และที่มขอลเสียงเป็นที่รู้จักคือ ใช้ทำเลนส์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 นิ้ว ของกล้องดูดาวที่ Mt. Palomar

2.2.6 แก้วพิเศษ ได้แก่ แก้วสี แก้วโปร่งแสง แก้วทรายหลอม (Fused silica) แก้วเซรามิกส์ แก้วนิรภัยหรือ Laminated หรือ Tempered glass แก้ว Fotoform แก้วเปลี่ยนสี แก้วไฟเบอร์ (Fiber glass)

แก้วสีนั้นเป็นแก้วใช้สำหรับการประดับตกแต่งมาเป็นเวลานาน ปัจจุบันแก้วสีใช้กับแก้ววิทยาศาสตร์และแก้วเทคนิค ซึ่งมีสีต่าง ๆ มากกว่า 100 สี แก้วสีมี 3 ประเภท คือ

1. แก้วสีที่เกิดจากการถูกกลืนสีที่ละลายโดยสารที่เหมาะสมในแก้ว ได้แก่ ออกไซด์ของธาตุแทรนซิชัน ซึ่งได้แก่ Ti, V, Cr, Zn, Fe, Co, Ni และ Cu ธาตุต่างๆ เหล่านี้จะแบ่งออกเป็นพวกย่อย ๆ ได้อีก ซึ่งสีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบอื่นด้วยและนอกจากนั้นแล้วหากธาตุเดียวกัน oxidation state ต่างกันก็จะได้สีต่างกันด้วย ตัวอย่างเช่น NiO ที่ละลายใน Sodium Lead glass จะให้สีน้ำตาล

2. สีที่เกิดจากอนุภาคคอลลอยด์ที่ตกตะกอน ซึ่งตอนแรกจะไม่มีสี

3. สีที่เกิดจากอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น ซึ่งมีสีภายในตัวเอง เช่น สีแดงของซีลีเนียม (SeO_2) ใช้ในสัญญาณจราจร ตะเกียงสัญญาณ

2.2.7 แก้วโปร่งแสง เป็นแก้วที่ใสเมื่ออยู่ในสภาวะหลอมเหลว แต่เมื่อเย็นตัวลงจะขุ่น ทั้งนี้เนื่องจากการแยกของอนุภาคต่าง ๆ ในส่วนผสมของแก้ว

2.2.8 แก้วโพล (แก้วใส) เป็นแก้วที่ทำขึ้นจากการเลี้ยงผลึกของพวกอโลหะ ซึ่งเกิดจากการใช้อนุภาคเงินเป็นนิวเคลียส แก้วชนิดนี้นิยมใช้กับสถาปนิก เช่น การสร้างหน้าต่างและใช้เป็นเครื่องเรือน

2.2.9 แก้วนิรภัย (Safety or Laminated glass) เป็นแก้วที่มี 2 ชั้น ประกอบกัน เชื่อมด้วยเรซินที่ทำด้วย Polyvinyl Butyral Resin เมื่อแก้วแตกเรซินจะยึดแก้วทั้ง 2 ชั้นเอาไว้ไม่ให้มีการกระจาย Tempered glass เป็นแก้วที่แตกยาก หากแตกแล้วจะเป็นชิ้นเล็ก ๆ ไม่คม

2.2.10 แก้วไฟเบอร์ (Fiber glass) เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ของแก้วที่มีขนาดเล็กมาก ขนาด 0.0005 นิ้ว ถึง 0.0002 นิ้ว สามารถปั่นให้เส้นด้ายทำเป็นเส้นลวด ใช้ทำเป็น ฉนวน เพล กรองอากาศ เป็นโครงสร้างของพลาสติกซึ่งเป็นพลาสติกชนิด Fiber glass ใช้ทำเรือ ตัวถังรถยนต์

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของแก้วบางชนิด

สมบัติ	แก้วธรรมดา	แก้วไฟเบอร์	แก้ว vycor	Fused silica	Pyroceram
จุดอ่อนตัว (°F)	1285	1508	2732	2600	2282
จุดแอนเนล (อบเหนียว) (°F)	750	1027	1710	1965	-
จุดเคียว (°F)	887	950	1575	1810	-
อุณหภูมิสูงสุดที่จะใช้ได้ (°F)	-	932-1022	1830-1990	-	-
ความถ่วงจำเพาะ	2.47	2.23	2.8	2.07	2.60
สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น ($^{\circ}\text{F}^{-1} \times 10^{-7}$)	92	18	4.4	5.4	32

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแก้ว

ในการผลิตแก้วชนิดต่าง ๆ นั้นต้องใช้วัสดุต่าง ๆ ที่เป็นสารตั้งต้นที่ทองไข่มากที่สุดคือทราย (SiO_2) นอกจากทรายสารอื่น ๆ คือ Na_2O $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ BaSO_4 CaCO_3 PbO_2 K_2CO_3 KNO_3 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ H_2BO_3 As_2O_3 หินพัลมา (Feldspar) ออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ และสารอื่น ๆ เพื่อใช้ทำแก้วสี และในขั้นสุดท้ายของการทำแก้วอาจจะต้องใช้กรดกัดแก้ว (HF) เพื่อใช้ในการขัดหรือทำแก้วให้เป็นรอย

2.3.1 ทราย (sand) ทรายที่ใช้สำหรับทำแก้วจะประกอบด้วย Quartz บริสุทธิ์ ซึ่งโรงงานแก้วควรจะต้องตั้งอยู่ใกล้แหล่งทรายด้วย ส่วนผสมของเหล็กต้องไม่เกิน 0.45 % ในกรณีใช้ทำเครื่องแก้วที่ใช้ในบ้าน 0.015 % สำหรับแก้วที่เป็นอุปกรณ์ทางแสง

2.3.2 โซดา (Na_2O) โดยทั่วไปจะได้จากโซดาแอช (Na_2CO_3) นอกจากจะใช้ Na_2CO_3 แล้วอาจจะได้ Na_2O NaHCO_3 หรือ NaNO_3 NaNO_3 มีประโยชน์ต่อการออกซิไดส์เหล็กจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการหลอมเหลว

2.3.3 หินพัลมา (Feldspar) มีสูตรทั่วไปเป็น $\text{R}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ เมื่อ R_2O คือ Na_2O หรือ K_2O หรือของผสมของทั้ง 2 สาร และอาจจะมีสารอื่นที่จะให้ Al_2O_3 ได้อีกเพราะเป็นสารที่ราคาถูก บริสุทธิ์ และหลอมได้ง่าย Al_2O_3 ใช้ทำแก้วเมื่อต้องการลดต้นทุนราคาของแก้วลง หินพัลมาสามารถให้ Na_2O หรือ K_2O และ SiO_2 การมี Al_2O_3 มากในแก้วจะทำให้แก้วหลอมได้ง่าย

2.3.4 บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) เป็นส่วนผสมที่ใช้เพียงเล็กน้อย ซึ่งผสมรวมอยู่กับ Na_2O และ B_2O_3 ใช้ทำกระจกหน้าต่างหรือแก้วแผ่น ในปัจจุบันแก้วชนิดที่ไข่มากคือทำขวดบรรจุสารแก้วที่มีบอแรกซ์มาก เป็นแก้วที่มีสมบัติกระจายแสงน้อยลง และมีความหักเหของแสงมากขึ้น จึงใช้ทำอุปกรณ์ทางแสง แก้วประเภทนี้นอกจากจะมีสมบัติการขยายตัวเชิงเส้นต่ำแล้ว

ยังทนต่อสารเคมีมาก การใช้กรวดบอริกในเตาจะใช้เพื่อเพิ่มปริมาณของแอลดคาไลเท่านั้น กรวดบอริกมีราคาสูงเป็น 2 เท่าของบอแรกซ์ ดังนั้นจึงนิยมใช้บอแรกซ์

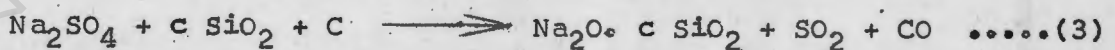
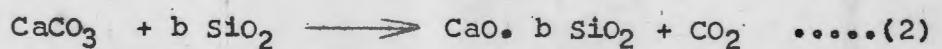
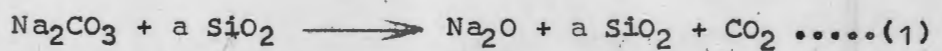
2.3.5 salt cake เป็นองค์ประกอบส่วนย่อยของแก้ว ซึ่งเป็นสารจำพวกซิลิเกต เช่น อัมโมเนียมซิลิเกต แบริยมซิลิเกต การเติม salt cake ก็เพื่อแก้ปัญหาคาร์บอริกของแก้วในเตาเผาแก้ว อาจจะมีการใช้คาร์บอนรวมกับซิลิเกตเหล่านี้ด้วย เพื่อที่จะรีดิวซิลิเกตให้เป็นซิลิไฟท์ อาจจะได้เติม As_2O_3 ลงไปด้วยเพื่อลดฟอง เติม $NaNO_3$, KNO_3 เพื่อออกซิไดส์เหล็กเพื่อไม่ให้เกิดตำหนิในแก้ว เติม KNO_3 และ K_2CO_3 มักจะใช้กับแก้วที่มีเกรดสูง เช่น แก้วที่ใช้ตามบ้านเรือน แก้วตกแต่ง แก้วเกี่ยวกับแสง

2.3.6 cullet คือแก้วที่ไคจากเศษแก้ว หรือแก้วที่เสียแล้ว เป็นแก้วที่เพิ่มเข้ากับเตาเผา เพื่อให้แก้วหลอมเร็วขึ้นและใช้แก้วให้เป็นประโยชน์อีกด้วย อาจจะใช้เป็นส่วนผสมประมาณ 10 % หรือ 80 % ในเตาเผาแก้ว

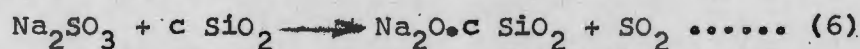
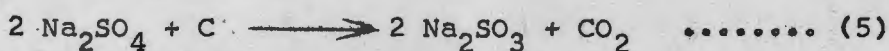
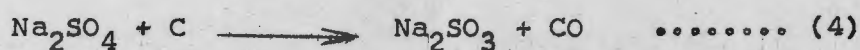
2.3.7 ก้อนอิฐทนไฟ (Refractory blocks) เป็นวัสดุที่ใช้ทำเตาเผาแก้วซึ่งทนต่ออุณหภูมิที่สูงมาก

2.4 ปฏิริยาเคมีของแก้ว

ปฏิริยาเคมีที่เกิดขึ้นอาจสรุปได้ดังนี้



ปฏิริยา (3) อาจจะเริ่มต้นจากสมการ (4), (5) และ (6)



อัตราส่วนของ $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ และ CaO/SiO_2 ไม่เป็นสัดส่วนจำนวนโมล อัตราส่วนอาจเป็น Na_2O 1 ส่วน ต่อ SiO_2 1.8 ส่วน แก้วหน้าต่างธรรมดาอาจจะมีอัตราส่วนจำนวนโมลเป็น 2 mole Na_2O , 1 mole CaO , 5 mole SiO_2 แก้วชนิดอื่นจะมีสัดส่วนต่าง ๆ แตกต่างออกไป

ในขบวนการอุตสาหกรรมทำแก้วอาจเกิดขึ้นจากหน่วยต่าง ๆ ตามลำดับ ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกายภาพเป็นลำดับขั้นดังนี้

1. การขนส่งวัตถุดิบสู่โรงงานแก้ว
2. แยก คัด ขนาดของวัตถุดิบ
3. ทนวยเก็บวัตถุดิบ
4. ทนวยซึ่งนำหมักผสมวัตถุดิบและส่งวัตถุดิบไปยังเตา
5. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในเตาเผาแก้ว
6. การเผาเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนแก่เตา
7. ประหยัดพลังงานโดยการนำกลับไบโซ
8. ทำให้แก้วมีรูปร่างต่าง ๆ
9. การอบเหนียวแก้ว
10. การแต่งแก้วให้เรียบร้อย

ลำดับขบวนการขั้นที่ 6 และ 7 เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมี นอกจากนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์

2.5 ขบวนการผลิตแก้วทางอุตสาหกรรม

ขบวนการผลิตแก้วอาจแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ การหลอม การขึ้นรูป การแอนนิล (อบเหนียว) และการแต่งแก้ว

2.5.1 การหลอม เตาหลอมแก้วอาจแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แบบเป็นหม้อ (Pot furnance) และแบบเป็นกล่อง (Tank furnance) เตาหลอมแบบหม้อ (Pot furnance) เป็นเตาที่มีความจุประมาณ 2 ตัน หรือน้อยกว่า เป็นเตาที่ใช้สำหรับผลิตแก้วจำนวนน้อย โดยมากจะใช้ทำแก้วพิเศษ เตาหลอมแบบนี้มีใช้ทำแก้วสำหรับผลิตอุปกรณ์แสง แก้วศิลปะ แก้วแผ่น หม้อ (หรือเตา) คือเบ้าหลอมซึ่งทำด้วยดินเหนียวที่คัดเลือกแล้ว หรือทำจากพลาสติกแข็ง การหลอมแก้วควยวิเศษจะทำให้แก้วหลอมโดยยากโดยปราศจากสิ่งเจือปน หรือบางส่วนของเตาเผาที่หลอมเอง แต่การใช้เตาพลาสติกจะป้องกันการหลอมได้ สำหรับเตาเผาแบบกล่อง ดังรูป 2.1 เตาเผาแบบนี้จะทำด้วยอิฐทนไฟ เตาเผาแบบนี้มีขนาด $125 \times 30 \times 5$ ฟุต มีความจุ 1,500 ตัน แก้วจะหลอมเป็นช่องเหลวที่ใจกลางของเตา ซึ่งจากการพันไฟเข้าไปทั้ง 2 ข้าง แก้วที่หลอมแล้วจะไหลออกด้านหนึ่ง และการหลอมแก้วจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เตาเผาแบบนี้ผนังของเตาเผาจะมีการฉีกกร่อนเพราะแก้วที่ร้อนมากเกินไป คุณภาพของแก้วและอายุการใช้งานของเตาเผาจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอิฐทนไฟ ดังนั้นถ้าต้องการแก้วที่มีคุณภาพที่ดีต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของอิฐทนไฟด้วย เตาเผาแบบกล่องเล็กเรียกว่า Day tank ซึ่งสามารถหลอมแก้วได้วันละ 1-10 ตัน เตาแบบนี้อาจใช้ความร้อนจากแก๊สหรือไฟฟ้า

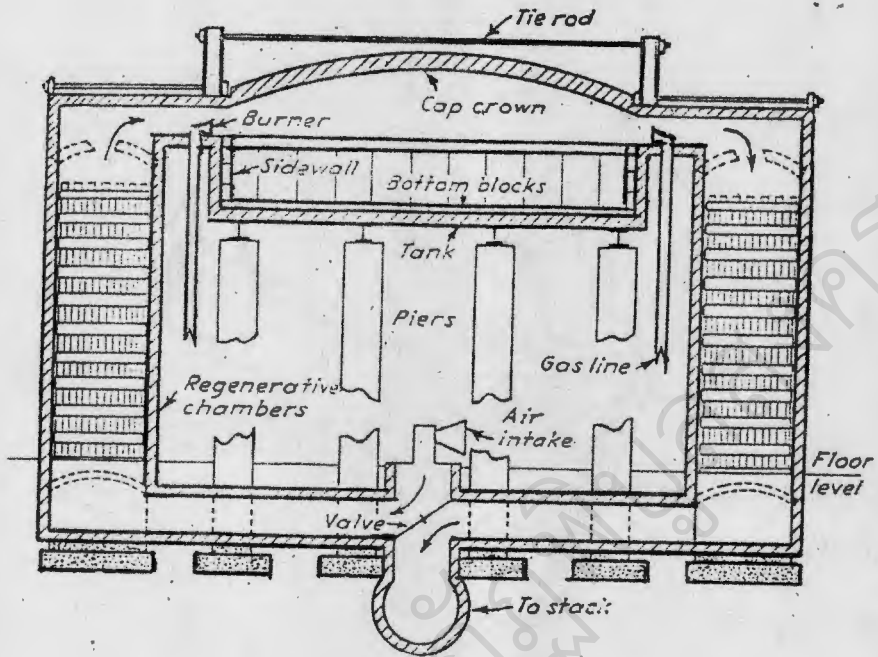
เตาแบบ Regenerative furnance จะเป็นเตาที่มีการทำงาน 2 วงจร ซึ่งมีห้องทำงาน (Chamber) 2 แห่ง เปลวไฟจากเชื้อเพลิง (เป็นเปลวที่ผ่านแก้วที่หลอมในส่วนบน) นอกจากจะให้ความร้อนกับส่วนที่เป็นเตาโดยตรงแล้วจะมีการผ่านความร้อนลงข้างล่างซึ่งแสดงดังรูป 2.1 แก๊สร้อนที่ได้จากการเผาในตอมบนที่ผ่านลงมาห้องล่างจะทำให้อุณหภูมิของอากาศที่จะเข้าไปรวมกับเชื้อเพลิงสูงขึ้น ในกรณีเช่นนี้เรียกว่า อากาศถูกทำให้อุ่นในเบื้องต้นก่อน (Preheat) ซึ่งเป็นขบวนการที่จะเพิ่มอุณหภูมิของเตาให้สูงมากกว่าไม่ได้อุ่นทำให้อุ่นก่อน วิธีการเช่นนี้เป็นการประหยัดความร้อน

อุณหภูมิของเตานั้นอาจจะเริ่มทนเผา ซ้อเพลิงในแต่ละวันก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถ หรือสมบัติของวัตถุดิบไฟที่ใส่ทำเตา เตาแบบ Regenerative furnace จะทำให้อุณหภูมิสูง ใค้อย่างต่ำ 2200 F และถ้าวัดอุณหภูมิเช่นนี้ไว้ตลอดเวลาจะดีมาก หากทำเช่นนี้แล้วการหลอม แกวทอ 1 ตัน จะเสียค่าใช้จ่ายเพียง 6 ดอลลาร์เท่านั้น ความร้อนส่วนใหญ่ที่สูญเสียไปจะขึ้นอยู่กับ การแผ่รังสีจากเตา มีส่วนน้อยที่เสียไปเพราะการหลอม หากไม่มีการสูญเสียไปโดยการแผ่รังสีจะทำให้ อายุการใช้งานของเตาจะสั้นลงจนกระทั่งทำให้แกวเหลวทำลายเตาได้ เพราะบางส่วนของเตาอาจ จะหลอมไค้อกเพื่อทำให้อายุการใช้งานของเตาสูงขึ้น อาจจะต่อท่อน้ำเพื่อให้ความเย็นแก่เตาด้วย

2.5.2 การขึ้นรูป อาจจะขึ้นรูปโดยใช้เครื่องจักร หรือเครื่องมือที่อาศัยแรงคน เนื่องจากการขึ้นรูปของแกวทอใช้เวลาอันสั้นในช่วงหนึ่งที่เหมาะสมเท่านั้น ดังนั้นเครื่องจักรต่างๆ จึงจำเป็นต้องพัฒนาและใช้กันอย่างมาก ปัญหาที่เกิดขึ้นกับการดำเนินงานใดแก่ การไหลของความ ร้อน ความอยู่ตัวของโลหะ ความสะอาดของโรงงาน และสิ่งอื่น ๆ อีกมาก สิ่งที่จะกล่าวต่อไปนี้คือ เครื่องจักรที่ใช้ทำกระจกหน้าต่าง กระจก Float glass ขวด หลอดแกว

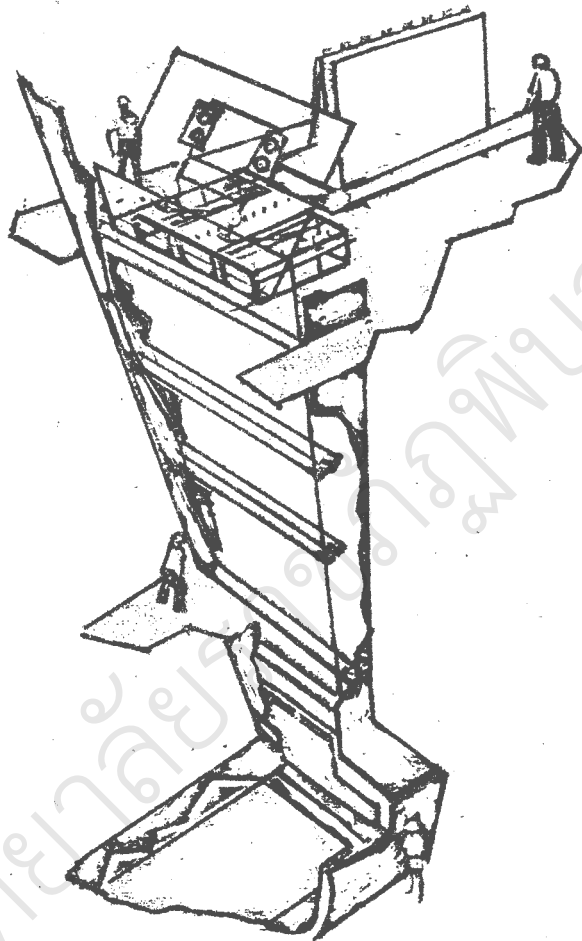
กระจกหน้าต่าง การทำกระจกหน้าต่างสมัยแรกทำด้วยมือ คือเริ่มตนจากการนำแกวที่ หลอมแล้วใส่ในคอนปลายของท่อเป่าแกวแล้วก็เป่าแกวสู่ท่อ ตัดส่วนปลายออกเผาในเตาแล้วทำให้ แบน วิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ใช่แล้วในปัจจุบัน ขบวนการที่ใช้ในปัจจุบันคือ Fourcault process และ Colburn process

ในขบวนการ Fourcault จะมี Drawing chamber ซึ่งบรรจุด้วยแกวเหลว แกวจะถูกดึงขึ้นในแนวตั้งจากจากเตาโดยผ่าน de'biteuse (เครื่องดึงชนิดหนึ่ง) เครื่อง de'biteuse ประกอบด้วยวัตถุดิบไฟที่เป็น Boat มีช่องว่างตรงกลาง ขณะที่ส่วนหนึ่งของ Boat จะจมลงในแกวหลอม ในขณะที่ Boat จมลงไบนั้นจะมีโลหะตัดผ่านในช่องว่างแล้วจะ ทำการดึงแกวหลอมไผ่ผ่านช่องว่างเรื่อย ๆ แกวแผ่นจะถูกดึงขึ้นมาอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วที่ เหมาะสม แกวที่ดึงขึ้นมาจะผ่านลูกกลิ้งเหล็กที่หมุนด้วยโยหิน และผ่านห้องแอมนิต แล้วจะตัดเป็นแผ่น ตามขนาดที่ต้องการ



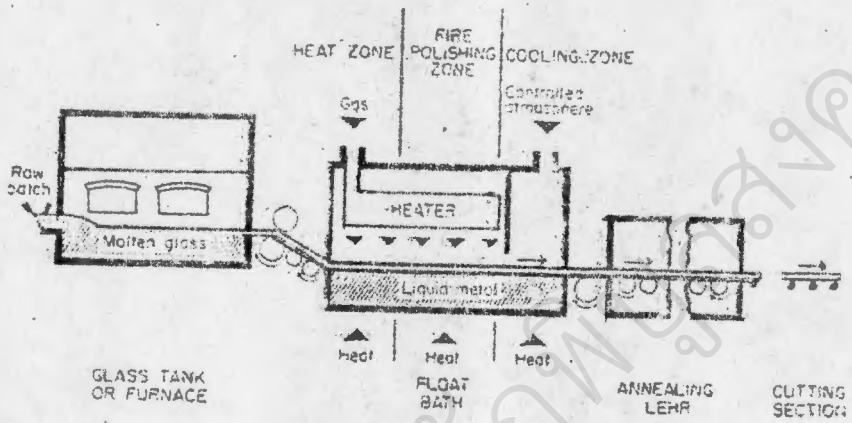
รูปที่ 2.1¹ รูปตัดขวางของเตาเผาแบบ
Regenerative furnace

¹ R. Norris Shreve and Joseph A. Brink, Jr., Chemical Process Industries, (Tokyo, Tosho Printing Co., LTD., 1977), P. 186.



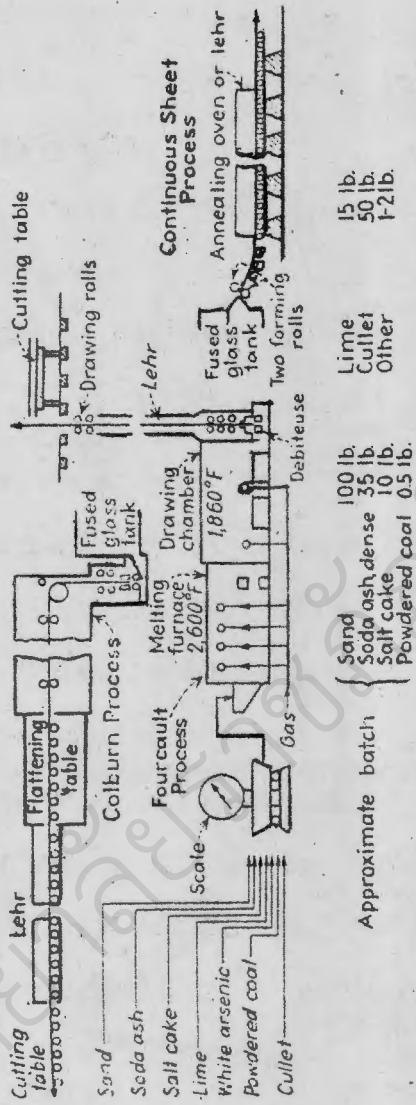
รูปที่ 2.2 การทำแกว่งแขนของขบวนถาวร Fourcault

² Ibid, P. 187.



รูปที่ 2.3³ แผนผังการทำงานของการผลิตแก้วแบบ Float glass

³ Ibid, p. 188.



รูปที่ 2.4⁴

ขั้นตอนของการผลิตแก้วแผ่น

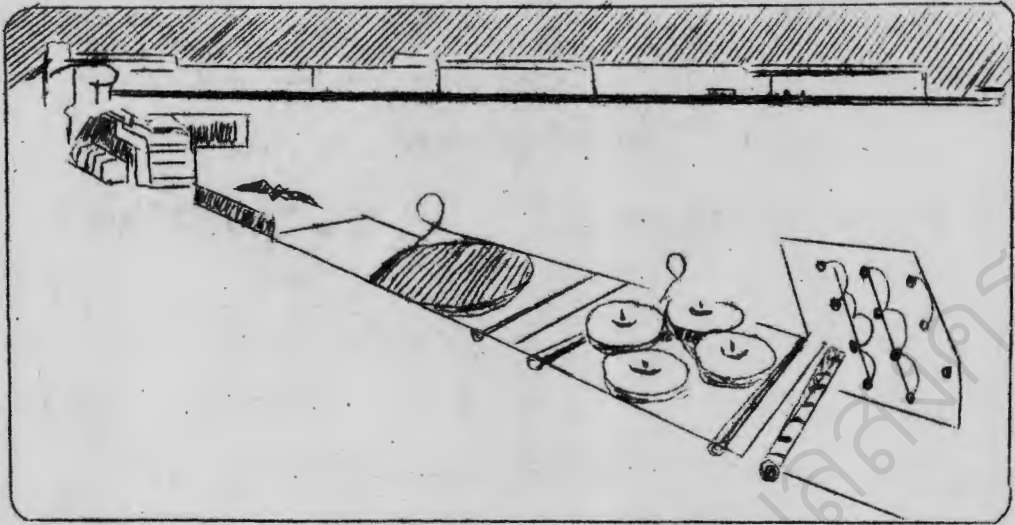
⁴ Ibid, P. 188.

ใน PPG Industries ซึ่งผลิตแก้ว Pennvernon เป็นกรรมวิธีการผลิตที่ขยายส่วนจากวิธีของ Fourcault ขบวนการนี้จะโค้งขนาดกว้าง 120 นิ้ว ทน $\frac{7}{32}$ นิ้ว ความหนาของแก้วขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของการโค้งแก้ว หลังจากโค้งขึ้นในแนวตั้งฉากเป็นความยาว 26 ฟุตแล้วจะตัดออก ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ 26 ฟุตนี้จะผ่านขบวนการการแช่น้ำแล้ว

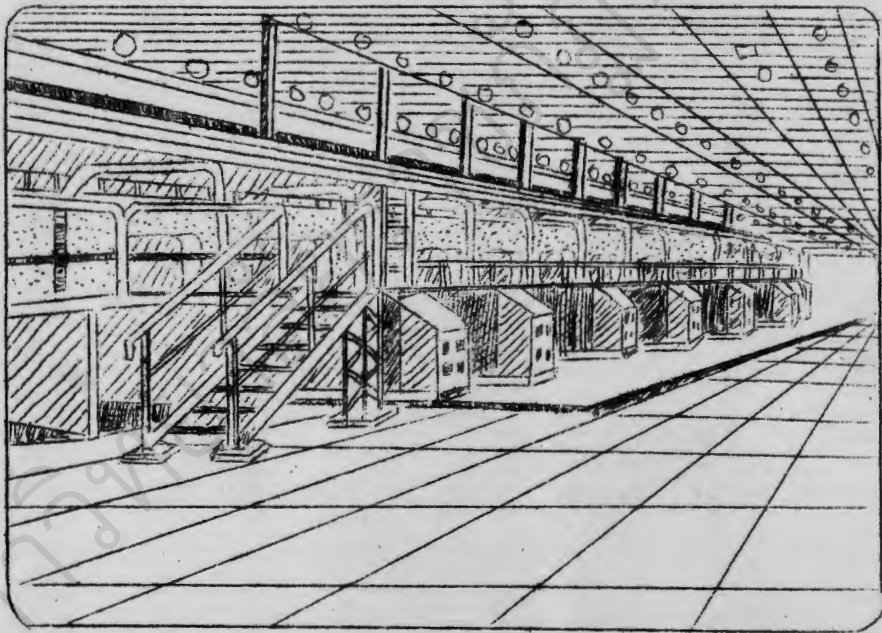
ในปี 1917 บริษัท Libbey-Owens-Ford glass ได้พัฒนาวิธีการผลิตเป็นแบบ Colburn process ขบวนการทำได้โดยทำการโค้งแก้วจากเตาในทิศตั้งฉาก ทำนองเดียวกับ Fourcault แต่เมื่อโค้งได้ 3 ฟุตแล้วจะทำให้แก้วงอและให้ความร้อน จากนั้นก็โค้งแก้วในทิศทางแนวราบต่อไป และจะตัดเป็นแก้วสำเร็จในตอนท้าย

แก้วแผ่น ในระหว่าง ค.ศ. 1922 - 1924 บริษัท Ford Moter และ PPG Industries ได้พัฒนาขบวนการผลิตแก้วโดยขบวนการอัดโน้มติแบบต่อเนื่อง แก้วจะถูกทำให้หลอมในเตาเป็นปริมาณ 1,000 ตัน หรือมากกว่า วัตถุดิบจะถูกส่งเข้าด้านหนึ่งของเตา อุณหภูมิที่หลอมแก้วมีค่า 2900 F ถูกดึงที่หลอมควมำจะทำให้โค้งแก้วเป็นแผ่นที่คล้ายพลาสติก แผ่นหนึ่ของแก้วจะถูกดึงลงด้านล่างโดยผ่านลูกดึงจำนวนมากและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากขึ้น ในขณะที่แผ่นแก้ววิ่งผ่านลูกดึงนั้นจะทำให้แก้วถูกดึงมากขึ้นหากความเร็วเพิ่ม ในทางตรงข้ามหากความเร็วลดลงก็จะทำให้เกิดการหดตัวควม แผ่นแก้วจะผ่านไปยังห้องอบเหนียว (Anneal) ต่อไป จากนั้นจะตัดแก้วเป็นขนาดต่าง ๆ ก่อนที่จะผ่านขบวนการบดและขัด ซึ่งขบวนการใหม่นี้จะทำด้วยขบวนการอัดโน้มติ (ทั้งรูป 2.5 และ 2.6) กระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องจะมีขีดความสามารถการทำงานสูงมาก และเมื่อผลิตมาก ๆ จะโค้งแก้วที่มีลักษณะเป็นรี้น แต่รี้นที่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกันอย่างดี มีความหนาจำเพาะ องค์ประกอบของแก้วก็เหมาะที่จะใช้ทำกระจกรถยนต์ได้ แก้วพิเศษต่าง ๆ จะใช้ขบวนการแบบนี้ไม่ได้

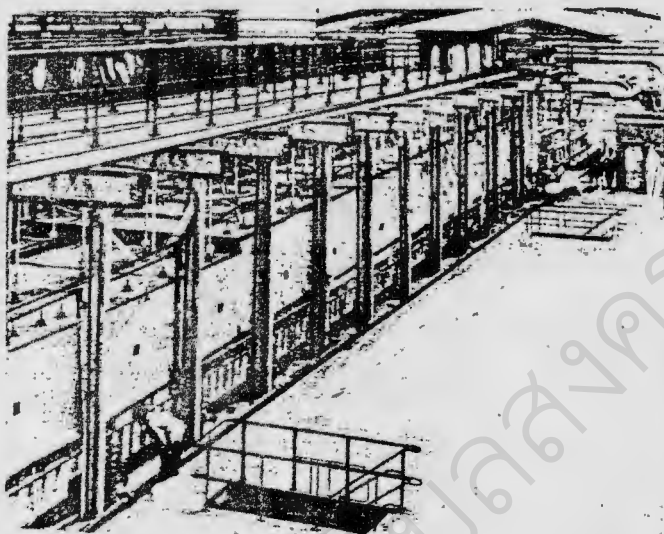
แก้วแผ่น พัฒนาโดย Pilkington brothers ของประเทศอังกฤษ ซึ่งสามารถผลิตแก้วแผ่นที่มีคุณสมบัติดียิ่ง แผ่นแก้วจะถูกผลิตขึ้นโดยการใช้อ่างโลหะหลอมเหลวแทนลูกดึง ในขณะที่แก้วผ่านอ่างโลหะหลอมเหลวนั้นอุณหภูมิของแก้วจะสูงมาก สูงขนาดที่แก้วสามารถไหลได้



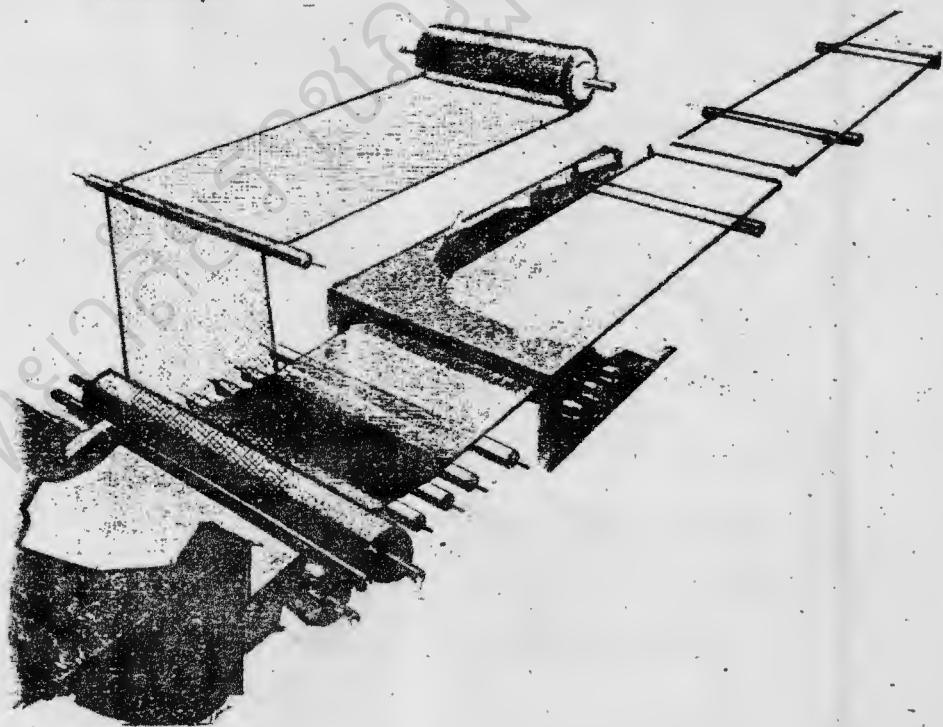
รูปที่ 2.5 เครื่องมือแสดงการชักใยทอของแกแวน



รูปที่ 2.6 เครื่องจักรชักแกแวนของประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.7 โรงงานทำแก้วแบบ Floatglass ของ Pilkington brothers
ของอังกฤษ



รูปที่ 2.8 การทำแก้วแบบ wired and patterned glass



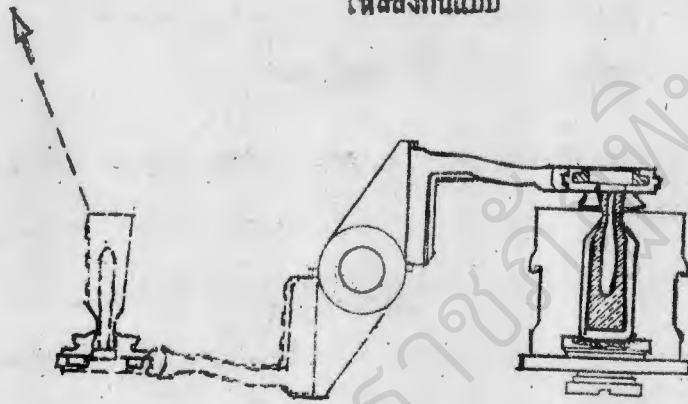
1
ใส่แก้วเหลวลงในแม่แบบ



2
อัดอากาศให้แก้วเหลวไหลลงก้นแม่แบบ



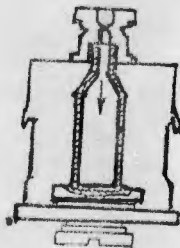
3
เป่าเป็นรูปขวดในแม่แบบ



4
ถอดส่วนแม่แบบเก่าไปใช้ใหม่



5
กักความร้อนและทำให้แก้วที่ฉอมเหลวใหม่



6
อัดอากาศลงไปในขวดก้นแม่แบบ



7
ถอดแม่แบบออก

รูปที่ 2.9 ขบวนการผลิตขวดแก้วด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ

แผ่นแก้วคานล่างจะเรียบเพราะผิวของโลหะหลอมคานล่าง ผิวคานบนจะราบเรียบโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก เทคนิคของการใช้อุณหภูมิสูงยิ่งนี้ทำให้ผิวของแก้วราบเรียบยิ่งขึ้น ซึ่งเรียกว่า Fire - polishing ผิวของแผ่นแก้วที่ได้จะมีความราบเรียบเท่ากับการใช้การบดและขัด ความหนาที่ได้ของการผลิตด้วยวิธีนี้คือ 0.1-1.0 นิ้ว

Wired and Patterned glass ในอุตสาหกรรม เป็นขบวนการที่นำเอาแก้วเหลวไหลออกจากปากของเตาแล้วผ่านไประหว่างลูกกลิ้งโลหะ ขบวนการที่กระทำนี้เป็นขบวนการครึ่งเดียวเสร็จ แก้วชนิดนี้เป็นแก้วกระจายแสง ใช้ในการทำประตูห้อง ตู้โชว์ แก้วชนิดนี้จะทำขึ้นเป็นพิเศษในกรณีที่ใช้กับเตาไฟหรือตู้ควันทันโดยการใส่เส้นลวดภายในเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากสิ่งของที่อาจจะกระเด็นออกนอกเตาไฟ

แก้วเป่า เป็นขบวนการที่เก่าแก่ที่สุดในอุตสาหกรรมเป่าแก้วที่ต้องอาศัยปอดของคนเป็นกำลังในการขึ้นรูปของแก้วแบบต่าง ๆ -แต่การเป่าแก้วสมัยใหม่ได้มีวิวัฒนาการมาอย่างมากเพื่อทำให้ได้ปริมาณมากและราคาถูก การทำขวดก็อาศัยวิธีนี้แต่แรงเป่ามีการใช้เครื่องอัดอากาศด้วยเครื่องจักรแทน แต่อย่างไรก็ตามการทำแก้วเป็นรูปต่าง ๆ ของขบวนการนี้อาจจะเกิดจากทั้งการดูด การเป่าและการกดด้วย

ในขบวนการดูด (suction-feed) นั้นแก้วเหลวจะถูกบรรจุอยู่ในร่องสั้น ๆ หลายๆ ร่องที่มีการหมุนเป็นวงกลมแก้วก็จะถูกนำเข้าสู่แม่โดยการดูด การกระทำนี้เป็นการทำต่อเนื่องอย่างอัตโนมัติ ซึ่งสามารถผลิตได้ 60 หน่วยต่อ 1 นาที

การผลิตขวดที่นิยมทำในโรงงานอุตสาหกรรมแก้วคือ Gob Feeder ขบวนการนี้เริ่มต้นจากแก้วเหลวไหลไปยังอ่างเก็บแก้วเหลวที่อยู่คานล่าง แก้วก็จะหยดจากปากของอ่างควยขนาดหยดที่แน่นอนโดยการใส่กรรไกรตัด จากนั้นก็จะส่งตัวไปยังตัวแม่ ซึ่งจะเป็นการเริ่มเข้าสู่การทำขวด ขั้นตอนที่แสดงดังรูป 2.9 จากตอนที่ 1-7 เป็นการนำขวดแก้วอัตโนมัติที่นิยมมาก

2.5.3 การแอนนีสแก๊ว แก้วทุกชนิดต้องผ่านการแอนนีสแก๊ว การแอนนีสแก๊วโดยย่อสรุปได้ 2 ประการคือ

1. การคงอุณหภูมิของเตาสำหรับแก๊วเป็นระยะเวลาานพอที่จะลดความเครียดของเนื้อแก้ว อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิขนาดที่แก๊วชนิดนั้น ๆ ถึงจุดอ่อนตัว
2. การทำให้เย็น เป็นการค่อย ๆ ลดอุณหภูมิของแก๊วจนถึงอุณหภูมิห้อง การลดอุณหภูมิของกระเบื้องอย่างช้า ๆ

เตาแอนนีสแก๊วเป็นเตาที่ออกแบบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้มีระดับตามต้องการและสามารถควบคุมอัตราการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิได้ ในโรงงานอุตสาหกรรมแก๊วนั้น วิศวกรต้องออกแบบการลดอุณหภูมิของเตาเป็นแบบต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการประหยัคเชื้อเพลิงไคควย

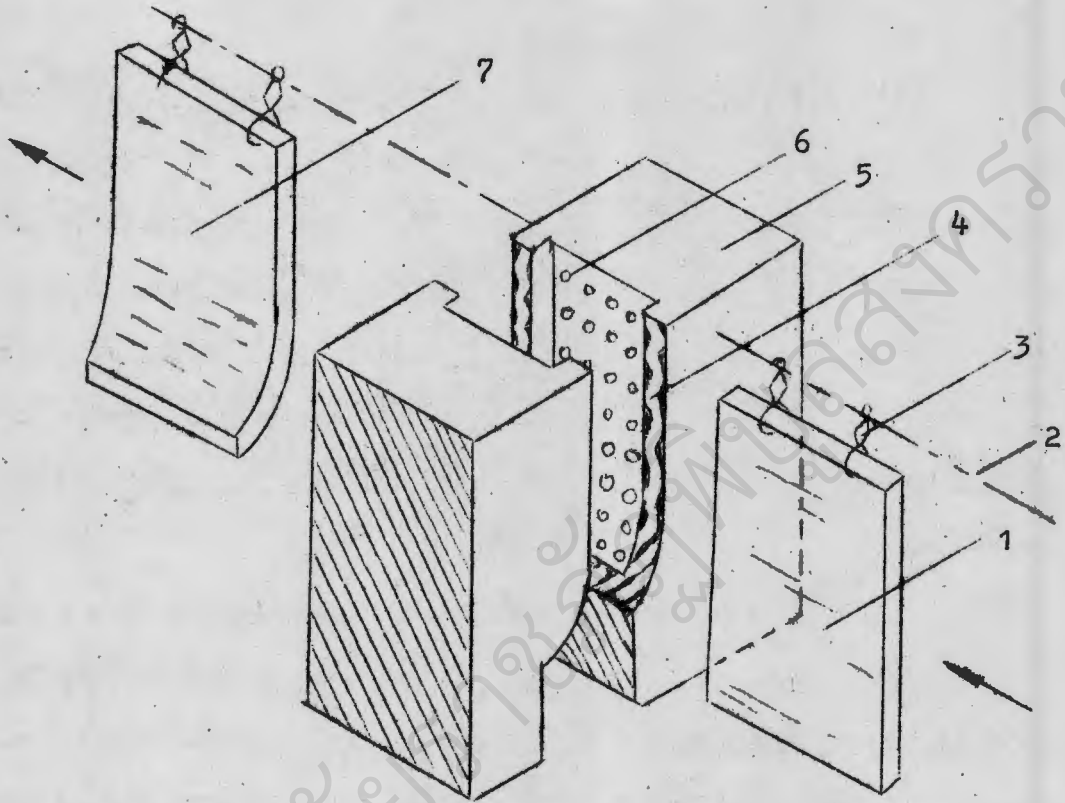
2.6 อุตสาหกรรมของแก้วพิเศษ

2.6.1 Fused silica glass เป็นแก้วที่เคียทำจากการนำทรายบริสุทธิ์มาหลอมเตาผลที่เกิดขึ้นคือ ไคแก้วที่ไมไคส ปัจจุบันนี้มีบริษัท Corning อาศัยการผลิตโดยการใช้ซิลิกอนเตตระคลอไรคมาทำการแยก (pyrolysis) โดยใช้อุณหภูมิสูงและความดันสูง ขบวนการนี้ทำให้ไคแก้วที่มีความบริสุทธิ์ของซิลิกาสูง แก้วชนิดนี้ไคจากกรรมวิธีผลิตนี้จะมีรูปร่างเป็นแผ่น การใช้อุณหภูมิสูงเป็นผลคือจะสามารถไคถึงสภปรกเป็อนทั้งหลายออกหมดแล้วทำให้ไค fused silica ที่บริสุทธิ์ที่มีสิ่งปนเป็อนในระดับ 1 ใน 100 ล้านส่วน คุณภาพของ fused silica แสดงคังตาราง 2.1 และมีการดูดกัคลื่นเสียงน้อยที่สุด แก้วชนิดนี้มีการขยายตัวเชิงเส้นค้ำ ซึ่งไคทำเลนซ์ของกล้องโทรทัศน์ เช่น กล้องโทรทัศน์ 62 นิ้ว ของ U.S. Naval

2.6.2 High silica glass เป็นแก้วที่มีทรายสูงชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกว้า Vycor glass เป็นแก้วที่มีองค์ประกอบที่ไคเค็ยง และมีสมบัติไคเค็ยงกับ fused silica มาก แก้วชนิดนี้มีทราย 96 % บอริกออกไซด์ 3 % นอกนั้นจะมีอลูมินาและพวกค่างของโซเค็ยงหรือโปตัสเซียมอยู่บาง สำหรับแก้วบอแรกซ์ (Borosilicate glass)

มีองค์ประกอบที่เป็นทรายเพียง 75 % แก้ว Borosilicate นี้จะมีการหลอมและขึ้นรูปแล้ว ปล่อยให้เย็น แล้วนำไปทำให้อ่อนและแอนนัล การทำเช่นนี้จะทำให้แก้วมีส่วนที่แตกต่างกัน 2 ส่วน ส่วนหนึ่งจะเป็นส่วนที่มีบอริกออกไซด์และออกไซด์ของแอลคาไลสูง ซึ่งเป็นสารที่ละลายในกรดที่ร้อน ได้เร็ว อีกส่วนหนึ่งจะเป็นพวกที่มีทรายสูง เป็นส่วนที่ไม่ละลายในกรดที่ร้อน นำแก้วทั้ง 2 ส่วน นี้แช่ในกรดไฮโดรคลอริก 10 % ที่อุณหภูมิ 98 °C ในระยะเวลาานพอที่ส่วนที่ละลายได้ละลาย ออกไปหมด จากนั้นก็นำไปล้างเพื่อล้างส่วนที่ละลายได้ออก และขณะเดียวกันส่วนที่ไม่บริสุทธิ์ก็จะ หลุดออกไปด้วย จากนั้นก็นำไปทำให้อ่อนเพื่อไล่น้ำออกให้หมดและทำให้เนื้อแก้วเป็นเนื้อเดียวไม่มี รุพุน ทำให้แก้วมีการหดตัวลงไปจากเดิม 14 % ในตาราง 2.1 แสดงถึงสมบัติของแก้วชนิดนี้ ด้วย การทำเช่นนี้จะได้แก้วที่มีสมบัติคือ เป็นแก้วที่สามารถอยู่ตัวโดยไม่แตกแม้มันจะถูกเผาให้ ร้อนแดงแล้วจุ่มลงไปในน้ำที่ปนควมน้ำแข็งทันที แก้วชนิดนี้ยังเป็นแก้วที่ทนต่อสารเคมีและกรดได้สูง กว่าแก้วชนิดอื่น (ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก) แก้วกรดไฮโดรฟลูออริกจะกัดแก้วนี้ได้โดยใช้เวลา นานมาก

2.6.3 Glass - ceramic หรือ Pyroceram เป็นวัสดุที่เกิดขึ้นจากการ หลอมและขึ้นรูปทำนองเดียวกันกับแก้ว แล้วเปลี่ยนเป็นเซรามิกประเภทผลึก เซรามิกนี้ประกอบ ด้วยผลึกและอนุภาคที่หลอมที่อุณหภูมิสูงรวมเข้าด้วยกันทั้งแบบที่อยู่ในของผสมที่เหมือนแก้ว หรือการ หลอมอนุภาคต่าง ๆ รวมกับเม็ดผลึก ของผสมเหมือนแก้วนี้เป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง fluxes และวัตถุดิบจำนวนเล็กน้อยกับผลึก เซรามิกแก้วนี้อาศัยการเร่งการเกิดปฏิกิริยาเพื่อ ให้เกิดการรวมกันได้ วัสดุที่ใช้คือ TiO_2 ผลึกต่าง ๆ จะเกิดขึ้นจากการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดที่จะ เป็นผลึกได้ ผลึกที่เกิดขึ้นจะเป็นผลึกที่มีขนาดเล็กกว่าและอยู่ในแบบเดียวกันมากกว่าเซรามิกทั่ว ๆ ไป สมบัติของเซรามิกนี้จะมีสมบัติใกล้เคียงกับเซรามิกมากกว่าแก้วที่ทำขึ้น แก้วเซรามิกจะแสดง สมบัติที่คงตัวยิ่งทั้งด้านอุณหภูมิและขบวนการทดสอบทางฟิสิกส์ ลักษณะของผลึกแบบนี้มักจะเป็นวัตถุทึบ แสง แก้วเซรามิกนี้จะไม่รุพุนเป็นเม็ดละเอียด เป็นผลึกที่มีความแข็งแรง ซึ่งสามารถทนต่อแรง ตันได้ถึง 30,000 psi แก้วชนิดนี้ใช้ในจรวดนำวิถี อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ภายใต้เครื่องหมาย Pyroceram ของบริษัท Corning



รูปที่ 2.10 การทำแก้วนिरภัย

1. แก้วแผ่นออกจากเตาอบ
2. เส้นทางลำเลียงแผ่นแก้ว
3. ที่จับแก้ว
4. แม่แบบรอนภายในไม้รูปอากาศ
5. แผ่นกันความร้อนแอสเบสตอส
6. รูปอากาศผ่านอากาศเย็น
7. แก้วนิรภัยที่ทำเสร็จแล้ว

2.6.4 แก้วนิรภัย (Safety glass) แก้วนิรภัยอาจจะแบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ คือ แก้วนิรภัยแผ่นบาง (Laminated safety glass) และ Tempered glass สำหรับ wire glass ก็จัดเป็นแก้วนิรภัยชนิดหนึ่งได้

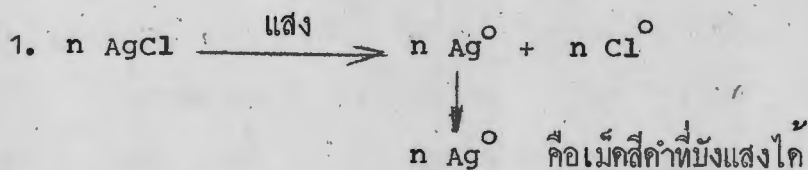
1. แก้วนิรภัยแผ่นบาง (Laminated safety glass) เป็นแก้วที่ใช้กันมาก อย่างกว้างขวาง เป็นแก้วที่ประกอบด้วยแก้วบางขนาดความหนา 0.125 นิ้ว 2 แผ่นประกบกัน และมีพลาสติกที่มีสมบัติที่ไม่แตกเชื่อมอยู่ ลักษณะของแก้วนิรภัยแบบนี้คล้ายกับขนมแซนด์วิช ทั้งพลาสติกและแก้วจะต้องถูกด่างให้สะอาดก่อนที่จะทำเป็นแก้วนิรภัย ในตอนแรกทั้งแก้วและพลาสติก จะถูกนำมากลึงให้ติดกันโดยใช้ความร้อนขนาดปานกลางและต้องปิดขอบไม่ให้มีการซึมของอากาศได้ จากนั้นก็นำเอาแก้วที่ได้ไปยังเครื่องกดขึ้นสูงโดยระบบไฮดรอลิก พร้อมทั้งให้ความร้อนสูงไปด้วย ทั้งนี้เพื่อให้แก้วและพลาสติกเชื่อมกันอย่างสนิท หลังจากนั้นมีการปิดขอบด้วยวัสดุกันการซึมของน้ำ ที่ขอบอีกครั้งหนึ่ง

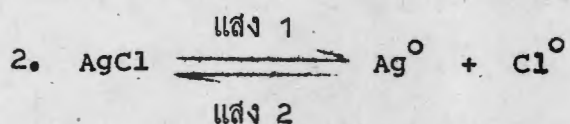
แก้วที่ใช้ทำแก้วนิรภัยนี้เป็นแก้วธรรมดา แต่มิพลาสติกที่อยู่ภายในระหว่าง 2 แผ่น เป็นตัวช่วยประสานไม่ให้แก้วทั้ง 2 ชั้นแตกจากกัน พลาสติกที่ใช้ตอนแรกคือไนโตรเซลลูโลส แต่ ตอนหลังใช้เซลลูโลสอะซีเตตแทน และในระยะหลังสุดคือการใช้ Polyvinyl butyryl resin Polyvinyl เป็นสารที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าเซลลูโลสอะซีเตต นอกจากนั้นยังทำให้ได้แก้วที่ใส ทลอด สภาวะการณต่าง ๆ ไม่มีผลต่อแสงอาทิตย์เป็นสารที่ไม่ต้องใช้การ ขณะที่น่าแก้วมาติดกันและ ไม่ต้องใช้การและไม่ต้องใช้วัสดุกันน้ำอีกด้วย

2. แก้วนิรภัยแบบ Tempered เป็นแก้วที่แข็งแรงและเหนียวมาก ใช้สำหรับ ทำประตูหน้าต่างของรถยนต์ และห้องน้ำ แก้วชนิดนี้มีความเครียดภายในสูง ถ้าหากผิวหน้าแตกจะ มีการแตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ หลายชิ้น ขบวนการทำแก้วนี้ขึ้นอยู่กับการควบคุมการอบเหนียว เพื่อให้ เกิดความเครียดที่ไม่เท่ากันทั้งแผ่น เนื่องจากเป็นแก้วที่ได้รับความกดสูงยิ่งและมีความตึงผิวน้อย การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวกับการอบเหนียวและการทำให้เย็น แก้วหรือ ภาชนะที่สำเร็จรูปแล้ว ทำให้มีความแข็งแรงโดยขบวนการ tempering หรือการอบเหนียว ซึ่งทำได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่ง เช่น 800 F ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดอ่อนตัวของแก้ว

แล้วก็ทำให้เย็นโดยอากาศหรือเกลือที่หลอมเหลวหรือน้ำมัน ขณะที่ทำการ tempering นี้จะทำให้เกิดลักษณะเป็น sandwich โดยเมื่อผิวนอกของแก้วเย็นลงอย่างรวดเร็วและแข็ง ส่วนภายในมีการเย็นลงอย่างช้า ๆ และค่อยเป็นค่อยไปในขณะที่ผิวนอกมีความอยู่ตัวแล้ว ผิวในของแก้วจะดึงผิวนอกของแก้ว เป็นผลทำให้แก้วมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า การใส่สารเคมีเฉพาะสำหรับแก้วชนิดนี้จะทำให้แก้วมีความแข็งแรงมากขึ้นถึง 5 เท่า ขบวนการนี้ทำโดยอาศัยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) โดยที่ผิวส่วนนอกของแก้วซึ่งเป็นโซเดียมจมลงในเกลือที่หลอมเหลวของลิเทียม ลิเทียมจะเข้าไปแทนที่โซเดียมที่ผิวนอกของแก้ว ส่วนภายในแก้วจะยังคงเป็นโซเดียมอยู่ การเข้าไปแทนที่ของแก้วลิเทียมจะเกิดผลคือแก้วลิเทียมเป็นแก้วที่มีความสามารถในการขยายตัวเชิงเส้นต่ำกว่าแก้วโซเดียม ดังนั้นผิวนอกของแก้วที่ได้ใหม่จะไม่ค่อยมีการขยายตัวมาก ส่วนภายในจะมีการขยายตัวมากเมื่อได้รับอุณหภูมิเท่ากัน แก้วนิรภัยแบบนี้สามารถทำให้โค้งงอได้

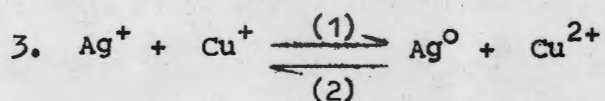
2.6.5 แก้วเปลี่ยนสี (Photochromic silicate glass) เป็นแก้วที่เปลี่ยนเป็นสีดำหรือมืด เมื่อถูกกับแสงสว่างแล้วเปลี่ยนกลับใต้อีกเมื่อไม่ถูกแสงสว่างและยิ่งสว่างมากขึ้นเมื่อมีความร้อนเพิ่มขึ้น สมบัติของแก้วพวกนี้ต้องมีปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ (reversible) คือปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นทำนองเดียวกันตลอดของการทดลองให้ถูกแสงถึง 1,000 ครั้ง แก้วชนิดนี้เกิดจากการทดลองโดยการนำเอาเงินฮาไลด์ที่มีขนาดเล็กมาก (แต่มีความแตกต่างจากเงินฮาไลด์ในฟิล์มถ่ายรูป) อนุภาคเล็ก ๆ ของเงินฮาไลด์ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 50 Å และมีความเข้มข้น 10^{15} หน่วย ต่อ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร อนุภาคนี้ถูกตรึงแน่นด้วยแก้วซึ่งเป็นสารเคมีที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีมาก ซึ่งขบวนการนี้เป็นข้อแตกต่างกับฟิล์มถ่ายรูปเป็นปฏิกิริยาแบบไม่ย้อนกลับ (irreversible) ปฏิกิริยาเคมีอาจแสดงได้ดังนี้





แสง 1 คือแสงในที่สว่างหรือกลางวัน หรือนอกอาคาร

แสง 2 คือแสงกลางคืน หรือในอาคาร



(1) กรณีถูกแสงสว่าง (2) กรณีถูกความร้อน

ปฏิกิริยาใน (1) คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแบบไม่ย้อนกลับของพิชฌดาชรูป

ปฏิกิริยาใน (2) และ (3) คือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแก้วเปลี่ยนสีซึ่งในแบบย้อนกลับได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ความหมายและสมบัติของแก๊ว

แผนการสอน

หัวข้อเนื้อหาของบทเรียน

- 3.1 ความหมายของแก๊ว
- 3.2 สมบัติทางกายภาพของแก๊ว
- 3.3 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงรูปของแก๊ว
- 3.4 อุณหภูมิของขบวนการ เป่าและตัดแปลงแก๊ว

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากที่ได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้ศึกษาคควรจะสามารถดังนี้

1. อธิบายความหมายของแก๊วได้ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างความหมายทางเคมีและความหมายทางฟิสิกส์ได้
2. อธิบายค่าต่าง ๆ เกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของแก๊วต่อไปนี้ได้
 - สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของแก๊ว
 - การออบเทนิวแก๊ว
 - อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงรูปของแก๊ว
 - จุดทำงานของแก๊ว
3. อธิบายสมบัติทางกายภาพของแก๊วที่สำคัญต่อการ เป่าแก๊วได้

กิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีบรรยาย

2. ใ้วิธีทดลองสัมพันธ์การขยายตัวเชิงเส้นของแก๊ว
3. ใ้วิธีอธิบายในเรื่องสมบัติทางกายภาพของแก๊วที่มีผลต่อการเป่าแก๊ว

สื่อการเรียนการสอน

1. แท่งแก๊วทดลอง
2. ตะเกียงเป่าแก๊ว
3. มีดตัดแก๊ว
4. ขาดังวางแท่งแก๊ว

การประเมินผล

1. สังเกตจากการทดลอง
2. สังเกตจากการซักถามและตอบปัญหาของผู้เรียน

ความหมายและสมบัติของแก้ว

3.1 ความหมายของแก้ว

แก้วมีสมบัติเฉพาะตัว โดยเฉพาะ ซึ่งสมบัติเฉพาะตัวของแก้วแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแก้วแต่ละชนิด และเนื่องจากแก้วมีส่วนประกอบของสารหลายชนิด เป็นองค์ประกอบ จึงทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแก้วแต่ละชนิดแตกต่างกันไป องค์ประกอบของแก้วแต่ละชนิดส่วนมากประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ รวมกันอยู่เป็นโครงสร้างซับซ้อน จากคำจำกัดความของแก้วจาก webster's dictionary ว่า "แก้วคือสารที่แข็งเปราะ โปร่งใสและทำจากการหลอมซิลิเกตกับโซดาหรือโปแตส หินปูน และออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ" แต่แก้วในความหมายทางฟิสิกส์และทางเคมีก็มีความหมายแตกต่างกันดังนี้

ความหมายของแก้วทางฟิสิกส์ แก้วหมายถึงสารที่เป็นของเหลวที่เป็นยวดยิ่ง (super cooled liquid) คือเป็นของแข็งที่เกิดจากการที่แก้วอยู่ในสภาพของเหลวเกิดการเย็นตัวอย่างยวดยิ่ง จนกลายเป็นของแข็งโดยไม่เกิดผลึก เป็นสารที่มีความหนืดสูง (มากกว่า 10^{13} P) ซึ่งมากพอที่จะป้องกันการตกผลึกได้ มีสถานะอยู่ระหว่างของแข็งและของเหลวและเป็นของเหลวที่คงตัว (Rigid) ที่สุด ค่ายเหตุนี้จึงไม่มีจุดหลอมเหลวที่แน่นอน ช่วงอุณหภูมิที่อ่อนตัวของแก้วจึงค่อนข้างจะกว้าง

ความหมายของแก้วทางเคมี แก้วหมายถึงของผสมของออกไซด์ประเภทไม่ระเหยของสารพวกอิมพีเรีย ซึ่งได้จากการสลายตัวและการหลอมตัวของพวกโลหะแอสคาไล และแอสคาไลน เอิร์ท ทราายและองค์ประกอบของแก้วอื่น ๆ และแก้วเป็นสารที่มีโครงสร้างไม่แน่นอน

3.2 สมบัติทางกายภาพของแก้ว

3.2.1 สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของแก้ว (Linear expansion coefficient of glass) แก้วเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวและเมื่อเย็นลงก็จะหดตัวเหมือนสารอื่น ๆ ทดลองได้โดยการใส่หลอดแก้วกลางหรือแหงแก้วคันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพอดีสมควรวัดขนาดยาวประมาณ 100 cm ยึดปลายทั้งสองข้างไว้ในแนวราบ แล้วใช้เปลวไฟที่อุณหภูมิไม่สูงมาก เช่น เปลวไฟจากตะเกียงเบนเสน สนหลอดแก้วตามความยาวให้ทั่วหลอดคอยาให้ถึงจุดอ่อนตัวของแก้ว หลังจากนั้นลดระดับกลางของหลอดแก้ว หลอดแก้วจะโค้งงอลง ทั้งนี้เนื่องจากตัวแก้วตามกลางของหลอดแก้วขยายตัวทำให้มีความยาวมากกว่าด้านบน และเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิต่ำ หลอดแก้วจะหดตัวคืนสู่สภาวะเดิม ยาวเท่าเดิม สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของแก้วจะบอกความสามารถในการขยายตัวเชิงเส้นของแก้วชนิดต่าง ๆ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นนี้คำนวณได้จากผลการทดลองโดยนำแหงแก้วคันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางพอดีสมควรมาเผาไฟแล้ววัดความยาวของแก้วที่ขยายตัว และอุณหภูมิของวัตถุที่เพิ่มขึ้น (อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง) เช่น

สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของแก้วใช้สัญลักษณ์ α

ความยาวของแหงแก้วเดิม = L_0 cm

ความยาวของแหงแก้วที่ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน = ΔL cm

อุณหภูมิของวัตถุที่เปลี่ยนไป (ช่วงอุณหภูมิที่ใช้) = Δt °C

$$\text{ดังนั้น} \quad \alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

ค่า α คือความยาวของแก้วที่ขยายตัวต่อหน่วยความยาวต่ออุณหภูมิ

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของแก้วจะขึ้นอยู่กับแก้วแต่ละชนิด เช่น

ชนิดของแก้ว

ค่า α

1. Pyrex glass	$3.2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
2. Duranso glass	$3.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
3. Solidex glass	$3.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
4. Supermax glass	$3.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
5. Silica glass	$0.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
6. Soda glass	$8.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
7. Lead glass	$9.1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
8. Bottle glass	$10.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

แก้วชนิดที่ 1, 2, 3 และชนิดที่ 4 เป็นแก้วพวก Borosilicate glass (แต่ผลิตจากบริษัทต่างกัน)

ในการเป่าแก้วโดยเฉพาะในห้องปฏิบัติการเป่าแก้ว การสร้างและซ่อมแซมอุปกรณ์เครื่องแก้วของคาน้ำถึงแก้วที่จะนำมาใช้ด้วย ถ้าเป็นแก้วต่างชนิดกันที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นต่างกันมากจะนำมาเชื่อมติดกันหรือใช้ด้วยกันไม่ได้ อาจเกิดการร้าว แตก หรือหัก ปกติแก้วต่างชนิดกันที่จะนำมาเชื่อมเข้าด้วยกันนั้น จะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นแตกต่างกันต่ำกว่า 10 % ซึ่งเลขจำนวนนี้เป็นจำนวนแฟคเตอร์ของการขยายตัวของ ๆ แฉ่งต่างชนิดกันที่จะนำมาเชื่อมกันได้

3.2.2 อุณหภูมิของการอบเหนียว (Annealing temperature) อุณหภูมิของการอบเหนียว (โดยปกติแล้วช่างเป่าแก้วจะใช้คำว่าอุณหภูมิ การแอนเนลเป็นภาษาสัทที่นิยมใช้กัน แต่ศัพท์วิทยาศาสตร์ฉบับราชบัณฑิตยสถาน 2528 ใช้คำว่า การอบเหนียว) เป็นอุณหภูมิซึ่งโมเลกุล

ต่าง ๆ ของแก้วพัทแก้วเพื่อให้มีเวลาเพียงพอที่จะกลับเข้าสู่สภาวะที่สมดุลของอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิของการอบเหนียวนี้มีความสำคัญมากสำหรับงานเป่าแก้วหลังจากทำชิ้นงานเสร็จแล้วของอบเหนียวแก้วเสมอ เพราะว่าแก้วเมื่อเอาเข้าไฟเวลาตัดแปลงเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามที่ต้องการนั้น เมื่อทำเสร็จแล้วเอาออกจากไฟจะทำให้แก้วแต่ละส่วนเย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน จึงทำให้แก้วเกิดความเค้น (stress) ในเนื้อแก้ว ถ้าเกิดความเค้นในเนื้อแก้วมากจะทำให้เกิดรอยร้าวบนเนื้อแก้วทันที หรือเกิดรอยร้าวเมื่อแก้วเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง แก้วยิ่งหนามากเท่าไรก็ยิ่งเกิดความเค้นได้มากเท่านั้น เพราะว่าแก้วหนา ๆ เมื่อเป่าเปลงไฟต้องใช้อุณหภูมิสูงมาก เมื่อเป่าเสร็จแล้วนำออกจากเปลวไฟ ผิวนอกของแก้วที่สัมผัสกับอากาศจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เดียวกันเนื้อแก้วภายในจะยังไม่หดตัวตาม เมื่อเนื้อแก้วภายในเริ่มเย็นตัวลงจึงเกิดการหดตัวในขณะที่ผิวแก้วด้านนอกเย็นเท่าอุณหภูมิห้องแล้ว จึงไม่มีการหดตัวเพิ่มเติม สาเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดการเกร็งในเนื้อแก้วซึ่งเรียกว่าความเค้น การเกิดความเค้นมากจะทำให้แก้วเกิดการแตกร้าว แต่ถ้าวัดความเค้นน้อยก็อาจจะทำให้บริเวณที่เกิดความเค้นชำรุดเสียหายเวลาใช้งาน ดังนั้นจึงต้องกำจัดความเค้นของแก้วที่เป่าเสร็จแล้ว ซึ่งการกำจัดความเค้นของแก้วนี้ทำได้โดยวิธีการที่เรียกว่าการอบเหนียวหรือการแอนนิล (Annealing) ซึ่งเป็นการทำให้แก้วค่อย ๆ เย็นลงอย่างช้า ๆ จนเท่ากับอุณหภูมิห้อง การอบเหนียวเครื่องแก้วรอนทำได้ 2 ขั้นตอนคือ

ก. ควบคุมเครื่องแก้วที่เป่าเสร็จแล้วให้มีอุณหภูมิที่จุดอบเหนียวสักครู่ ซึ่งในระหว่างการอบเหนียวโมเลกุลของแก้วจะมีเวลาพอเพียงที่จะจัดเรียงตัวของมันและเคลื่อนย้ายไปอยู่ในตำแหน่งที่เสถียรมากกว่า

ข. ขั้นตอนหลัง ลดอุณหภูมิของแก้วจนกระทั่งเย็นลงเท่ากับอุณหภูมิห้องอย่างแท้จริง ซึ่งการปฏิบัติแบ่งเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นแรกลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดแอนนิลประมาณ 75°C แล้วจึงทำให้แก้วเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

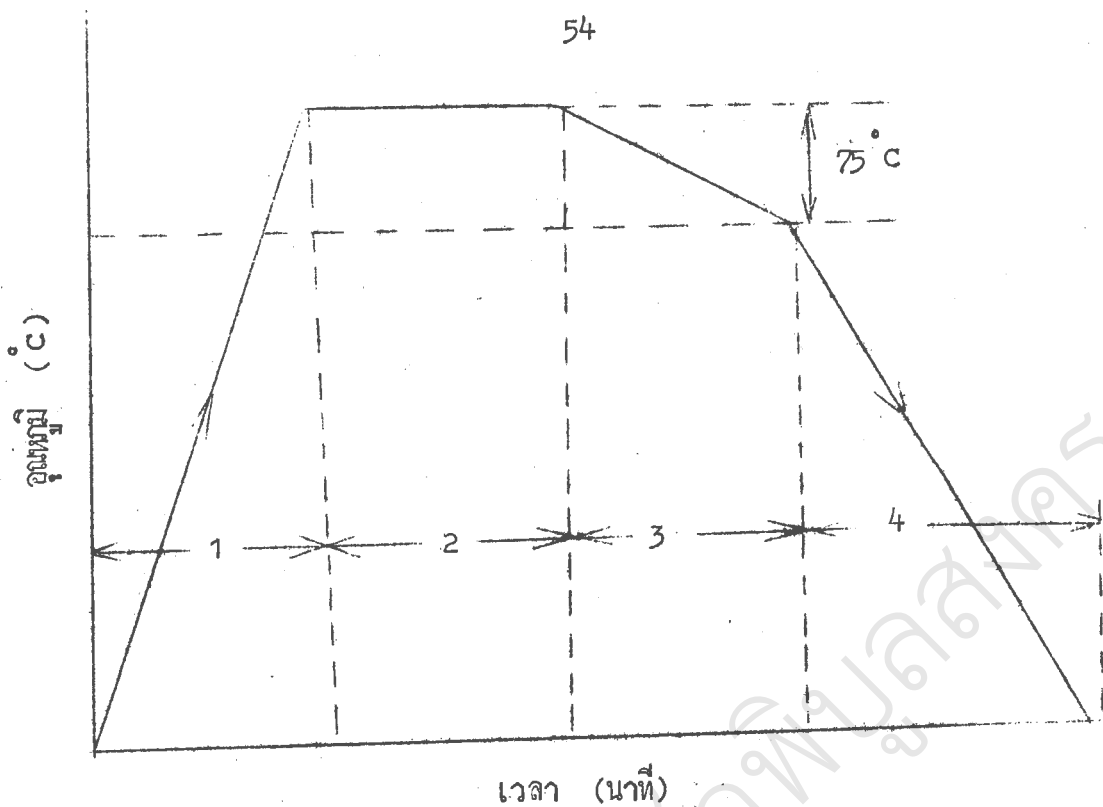
ในหองปฏิบัติการโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเรียนรายวิชาการเป่าแก้วเบื้องต้นนี้ จะใช้วิธีการอบเหนียวโดยใช้เปลวไฟทันที (Flame annealing) หลังจากที่ทำสร้างเครื่องแก้วเสร็จ

แล้ว แต่ในโรงงานเป่าแก้วนั้นมักจะใช้เตาอบ (Oven annealing) ควบคู่กันไปกับการใช้ เบลวไฟอบเหนียว

การอบเหนียวโดยใช้เปลวไฟ มีวิธีทำดังนี้ หลังจากทำเครื่องแก้วเสร็จสมบูรณ์แล้ว นำมาเผาโดยใช้เปลวไฟที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงทำให้เกิดการสันดาป ไม่สมบูรณ์ เปลวไฟจะมีสีเหลืองแกมส้มทำให้มีเขม่า ทำการถนอมแก้วให้ทั่วโดยเฉพาะอย่างยิ่งตรง บริเวณแก้วที่ทำงาน และถนนานจนประมาณว่าแก้วมีอุณหภูมิเท่าเปลวไฟ จึงลดอัตราการไหลของ แก๊สออกซิเจนลงอย่างช้า ๆ จนไม่มีแก๊สออกซิเจนเหลืออยู่ การถนอมในตอนนี้จะมีเขม่าเกาะติด ผิวแก้ว ไม่ควรให้มีเขม่าเกาะติดผิวแก้วมากเพราะจะทำให้แก้วเย็นตัวมากเกินไป เวลาที่ใช้ในการอบเหนียวใช้เท่ากับเวลาที่สร้างเครื่องแก้ว แต่อาจจะทำการอบเหนียวซ้ำโดยใช้เตาอบให้ใช้เวลาครึ่งหนึ่งของการสร้างเครื่องแก้ว

การอบเหนียวโดยใช้เตาอบเป็นสิ่งที่ควรกระทำในโรงงานเป่าแก้วหรือในทางทฤษฎี ทำได้โดยนำแก้วที่สร้างเสร็จแล้วมาใส่เตาอบแก้ว แล้วเผาแก้วให้ร้อนที่อุณหภูมิของจุดอบเหนียว ของตัวอย่างช้า ๆ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการเกร็ง เนื่องจากอุณหภูมิเป็นเหตุให้แก้วราวได้ เวลาที่ใช้ในการอบเหนียวนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของแก้ว เวลาที่ใช้โดยประมาณในขั้นตอนการอบเหนียวแสดงดังรูปที่ 3.1

เวลาที่เผาในเตาอบเพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับจุดอบเหนียวของแก้วแต่ละชนิดประมาณ 10-15 นาที ที่อุณหภูมิที่จุดอบเหนียวปล่อยให้แก้วอบเหนียว 15-20 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิ จากจุดอบเหนียวลงไป 75°C เพื่อให้เย็นในขั้นแรก แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10-20 นาที หลังจากนั้นเป็นขั้นสุดท้ายของการทำให้เย็น ทำโดยการลดอุณหภูมิลงไปเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิห้อง ช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที แก้วที่หนาอาจจะต้องใช้เวลาการอบเหนียวและการทำให้เย็นมากกว่าที่กล่าวแล้ว แต่แก้วที่บางอาจจะใช้เวลาน้อยกว่าในการเผา ในเตาอบนั้นจะใช้วิธีเพิ่มอุณหภูมิของเตาอบให้ร้อน 200°C ทุก ๆ 2-3 นาที จนถึงอุณหภูมิ ของจุดอบเหนียว แล้วปล่อยให้อบเหนียว 20 นาที แล้วปิดสวิตซ์ไฟปล่อยให้เครื่องแก้วค่อย ๆ เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องอาจต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงหรือทั้งวันก็อาจคืน



รูปที่ 3.1 อุณหภูมิและเวลาของการอบเหนียวแก้วในเตาอบ

อุณหภูมิการอบเหนียวของแก้วขึ้นอยู่กับชนิดของแก้ว เช่น

ชนิดของแก้ว	อุณหภูมิการอบเหนียว (°C)
แก้วโซดา	520
แก้วบอโรซิลิเกต	560
แก้วซิลิกา (ควอทซ์)	1200

3.3 อุณหภูมิการเปลี่ยนรูปของแก้ว (Deformation temperature)

เป็นอุณหภูมิที่แก้วแต่ละชนิดเริ่มเปลี่ยนรูป ซึ่งแก้วแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนรูปต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแก้วแต่ละชนิด อุณหภูมิการเปลี่ยนรูปของแก้วนี้จะสูงกว่า

อุณหภูมิการอบเหนียวไม่มากนัก เช่น

ชนิดของแกว	อุณหภูมิการเปลี่ยนรูป (°C)
แกวโซดา	950
แกวบอโรซิลิเกต	720
แกวตะกั่ว	620
แกวซิลิกา (แกวควอทซ์)	1500

3.4 อุณหภูมิของขบวนการเป่าและคັคแปลงแกว (Processing temperature)

หรือเรียกว่าจุดทำงาน (working point) หรือจุดหลอมเหลวของแกว ที่อุณหภูมินี้แกวจะหลอมเหลวเป็นพลาสติก สามารถจะคັคแปลงให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามความต้องการได้ ที่อุณหภูมินี้มีความสำคัญในการเป่าแกวมมาก ขางเป่าแกวจะทำงานแกวทุกชนิดได้เฉพาะที่ช่วงอุณหภูมิการทำงานของแกวแต่ละชนิดนี้เท่านั้น เช่น

ชนิดของแกว	อุณหภูมิ (°C)
แกวโซดา	700 - 850
แกวบอโรซิลิเกต	800 - 1200
แกวตะกั่ว	970
แกวซิลิกา (ควอทซ์)	1850 - 2100

นอกจากสมบัติทางกายภาพของแก้วดังกล่าวแล้วยังมีเรื่องเกี่ยวกับแก้วที่ข้างเป่าแก้วควรรทราบคือ

3.4.1 การเกิด Devitrification ของแก้ว เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของแก้วมีสีขาวขุ่น ซึ่งเกิดขึ้นจากการสูญเสียปริมาณโลหะอัลคาไลที่เป็นองค์ประกอบที่เหมาะสมในเนื้อแก้วแต่ละชนิดไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อแก้ว และจะมีปริมาณซิลิกามากเกินไปเหลืออยู่ในเนื้อแก้ว จะทำให้เกิดการตกผลึกของซิลิกาที่ผิวของแก้ว จึงทำให้ผิวของแก้วมีสีขาวขุ่น ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าการเกิด Devitrification ของแก้ว

ปรากฏการณ์เช่นนี้มักพบในแก้วอ่อน พวกแก้วโซดา แต่แก้วแข็งเช่น แก้วคูราน แก้วไฟเร็กซ์ ก็พบบ้างตามนั้น ๆ ไซน่าน ๆ และไซท์อุณหภูมิสูง ๆ นอกจากนั้นแก้วเก่า ๆ ที่ใส่สารเคมีบ่อย ๆ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเนื้อแก้วได้โดยสูญเสียปริมาณโลหะอัลคาไลไป เพราะโลหะอัลคาไลไวต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารเคมีต่าง ๆ มาก จึงทำให้ปริมาณของซิลิกาที่มากเกินไปตกผลึกเหลืออยู่ที่ผิวของแก้ว ซึ่งการเกิด Devitrification นี้เมื่อเกิดขึ้นที่ผิวของแก้วแล้วจะทำให้แก้วเปราะไม่ทนทาน และไม่สามารถจะแก้ไขได้

ในการเป่าแก้วนั้นถ้าใช้อุณหภูมิสูง ๆ เป่าแก้วเป็นเวลานาน ๆ หรือใช้เวลาทำงาน แก้วชิ้นนั้นนานมากเกินไป เอาชิ้นงานเข้าไฟบ่อยมากเกินไป เช่นในการทอแก้วรูปตัวที (T) ต้องใช้หลอดแก้วหลอดหนึ่งต่อตรงกลางหลอดแก้วอีกหลอดหนึ่ง ถ้าใช้เวลาดำรงรอยตอนนานเกินไปและเข้าไฟบ่อยมากเกินไป จะทำให้โครงสร้างของโมเลกุลของแก้วตรงส่วนรอยตอนนั้นเปลี่ยนไปและเกิดการสูญเสียองค์ประกอบของแก้วบางส่วน จะทำให้เกิด Devitrification ตรงส่วนที่เป็นรอยตอนนั้นจะเป็นสีขาวขุ่น ซึ่งปัญหานี้แก้ไขได้โดยพยายามใช้เวลาในการสร้างชิ้นงานหรือซ่อมแซมชิ้นงานนั้น ๆ โดยใช้เวลาในการทำงานเข้าไฟเครื่องแก้วน้อยที่สุดในการทำงานแก้วชิ้นนั้น ๆ

3.4.2 สารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดสีในเนื้อแก้วและการขจัดสี

ดังที่กล่าวแล้วว่าองค์ประกอบที่สำคัญของแก้วคือทราย (มี SiO_2 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของทราย) แต่ทรายนี้นำนามวลิกแก้วนั้นจะนำมวลลิกแก้วโดยตรงไม่ได้ เพราะ

ทรายไม่บริสุทธิ์เพียงพอมักจะมีสารอื่นปนเปื้อนอยู่ ซึ่งเมื่อนำมาผลิตแก้วแล้วจะทำให้ได้แก้วที่ไม่บริสุทธิ์ ตัวอย่างเช่น ถ้ามี เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ปนเปื้อนอยู่เพียง 0.1 % ในทรายนั้น จะทำให้แก้วที่ผลิตออกมามีสีเขียวอ่อนหรือเหลืองอ่อน ๆ แก้วจะไม่ใส ดังนั้นจึงต้องขจัดสารปนเปื้อนในทรายออกก่อนนำทรายนั้นไปผลิตแก้ว เพื่อให้ได้แก้วเนื้อขาวใส ซึ่งจะทำให้ได้ดังนี้คือ

ก. ขจัดสีโดยอาศัยวิธีทางเคมี โดยเติมพวกสารเคมี คือ โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) และ อาเซนิกออกไซด์ (As_2O_3) ลงไปในขณะที่วัสดุที่ทำแก้วกำลังหลอมเหลว สารนี้เป็นองค์ประกอบของแก้วที่มี Fe_2O_3 ปนอยู่ จะถูกรีดิวซ์ไปเป็น FeO ที่อุณหภูมิสูง ถ้ายิ่งขจัด Fe_2O_3 ได้มากเท่าไร เนื้อแก้วจะยิ่งใสมากขึ้นเท่านั้น นอกจากนั้นอาจจะใช้ CeO_2 เพื่อขจัดสีก็ได้ แต่จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากเนื่องจากสารเคมี CeO_2 แพง จึงไม่นิยมใช้กัน แต่ในการผลิตแก้วพิเศษที่ใสทางแสงยังนิยมใช้วิธีเติม CeO_2 อยู่

ข. ขจัดสีโดยอาศัยวิธีการทางฟิสิกส์ วิธีการคือใช้สารเคมีที่มีสีผสมเพื่อตัดสีซึ่งกันและกัน ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะทำให้เกิดสีในแก้วอยู่แล้ว โดยใช้สารผสมระหว่างสารคู่ใดคู่หนึ่ง คือ

CoO กับ NiO

NiO กับ Se (หรือใช้ SeO_2, Na_2SeO_3)

NiO กับ MnO_2

หลักการใส่สารเคมีเหล่านี้ต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการใส่ปริมาณสารเหล่านี้ให้พอเหมาะ เพื่อให้ได้แก้วสีขาวใสตามต้องการ และจะใช้สารเคมีเหล่านี้ได้ก็ต่อเมื่อปริมาณ Fe_2O_3 ในทรายต้องไม่เกิน 0.1 % ถ้ามีมากกว่านี้จะทำให้แก้วที่ผลิตได้เป็นสีเทา และสีจะเข้มมากขึ้นตามปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ Fe_2O_3 ที่เพิ่มมากขึ้นในทราย

3.4.3 การทำแก้วสี (Coloured glass)

การทำแก้วสีนั้นช่างแก้วในสมัยโบราณรู้จักวิธีทำมานานแล้ว ชาวอียิปต์สามารถทำแก้วทึบแสงได้เมื่อประมาณ 2000 ปีมาแล้ว ในสมัยกลางทางประวัติศาสตร์จากหลักฐานพบว่ามีการทำกระจกหน้าต่างโบสถ์วิหาร เพื่อทำให้เกิดแสงสีต่าง ๆ ช่างแก้วชาวเวนิสสามารถผลิตแก้วสีชมพูซึ่งสวยงามมาก

ในปัจจุบันนี้แก้วสีมีใช้ในชีวิตประจำวันมาก เช่น แจกันแก้วสีต่าง ๆ โคมไฟ เครื่องประดับตกแต่งทำจากแก้วสีต่าง ๆ สัญญาณไฟจราจร และอื่น ๆ แก้วสีทำได้โดยการนำสีซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารเคมีจำพวกสารอนินทรีย์ของโลหะ ซึ่งอาจจะเป็นชนิดเดียวหรือหลาย ๆ ชนิด ผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน แล้วนำมาผสมกับวัสดุที่จะทำแก้ว สารเคมีที่ใช้ทำสีนั้นแบ่งเป็นสองพวกคือ

ก. พวกสารเคมีกลุ่มนี้เรียกว่า solution colours เป็นพวกออกไซด์ของโลหะแทรนซิชัน และรวมพวก rare earth ด้วย เช่น โครเมียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส นิกเกิล โคบอลต์ วาเนเดียม ไทเทเนียม นีโอติเมียม และเพอร์โอติเมียม ตัวอย่างสีที่เกิดจากออกไซด์ของโลหะพวกนี้คือ

สารเคมี	สีที่เกิดขึ้น
Cr_2O_3	สีเขียว
FeO Fe_2O_3	สีเขียวแกมเหลือง
CuO	สีน้ำเงินแกมเขียว
Cu_2O	สีแดง

สารเคมี	สีที่เกิดขึ้น
UO_3	สีเหลืองแกมเขียว
$NiO - MnO_2$	สีม่วงคราม
CoO	สีน้ำเงิน
Nd_2O_3	สีม่วงแดง
$FeS \quad Na_2S$	สีเหลืองอมน้ำตาล

สารเคมีที่ทำให้เกิดแก้วสีในกลุ่มนี้เกิดสีได้โดยเมื่อโลหะออกไซด์หลอมรวมกับเนื้อแก้ว จะมีการแทรกของไอออนของโลหะเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลแก้ว ทำให้แก้วเกิดสี

ข. พวกสารเคมีกลุ่มที่เรียกว่า saturation colours ส่วนมากเป็นสารเคมีกลุ่มพวกโลหะมีตระกูล เช่น

สารเคมี	สีที่เกิดขึ้น
$AgNO_3$	สีเหลือง
$AuCl_3$	สีแดงทับทิมเข้มหรือชมพูม่วง
CdS	สีเหลืองสด
$CdS + CdSe$	สีเหลืองถึงสีส้มจึก.
$Se/CdSe$	สีแดงอมส้ม

สารเคมีในกลุ่มนี้ การเกิดสีจะแตกต่างกัน เช่น พวกสีดีเนียม แคลเมียมซัลไฟด์ แคลเมียมซีลีไนด์ การเกิดสีจะโดยวิธีการตกตะกอนของคอลลอยด์ของโลหะพวกนี้ในระหว่างการเย็นตัวของแก้วที่หลอมเหลว

วิธีทำแกวสีโดยการผสมสารเคมีตัวที่ทำให้เกิดสีต่าง ๆ กันในอัตราส่วนที่แน่นอนกับวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของแกว แล้วหลอมเข้าด้วยกัน เมื่อแกวเย็นตัวลงจะได้แกวสีตามต้องการ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะเติมปริมาณสารอนินทรีย์พวกนี้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น การเติมสารเคมีที่ทำให้เกิดสีในแกวนี้จะไม่ทำให้สมบัติทางกายภาพของแกวเปลี่ยนไป นอกจากจะมีสีเพิ่มขึ้นเท่านั้น

นอกจากจะทำแกวสีโดยวิธีการเติมสารเคมีดังกล่าวแล้ว การทำแกวสียังทำได้โดยการระบายสีลงบนแกว หรือโดยวิธีเคลือบสีทับผิวแกวที่เป่าหรือตกแต่งเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจึงนำไปเผาให้ร้อนอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้สีที่ระบายหรือเคลือบไว้บนผิวแกวไม่ตกสีหรือไม่ซีดจาง

อันตรายที่อาจเกิดจากการเป่าแก้วและการป้องกัน

แผนการสอน

หัวข้อเนื้อหาของบทเรียน

- 4.1 อันตรายจากเปลวไฟและตะเกียงเป่าแก้ว
- 4.2 อันตรายจากแก๊ส
- 4.3 อันตรายจากถังแก๊สเชื้อเพลิงและถังออกซิเจน
- 4.4 อันตรายจากแก้วและอุปกรณ์การเป่าแก้ว
- 4.5 อันตรายที่เกิดกับปอด
- 4.6 สิ่งที่ต้องเตรียมเพื่อป้องกันอุบัติเหตุในห้องเป่าแก้ว

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากที่ได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้ศึกษาควรจะต้องทำในสิ่งต่อไปนี้ได้

1. ระบุถึงอันตรายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการเป่าแก้วได้
2. สามารถระมัดระวังตัวเองเพื่อป้องกันตัวเองไม่ให้ได้รับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการเป่าแก้วได้
3. สามารถปฐมพยาบาลเบื้องต้นให้แก่ตนเองหรือผู้ร่วมงานได้เมื่อได้รับอุบัติเหตุจากการเป่าแก้ว เช่น ไฟลวก ถูกแก้วร่อน หรือถูกแก้วบาด
4. สามารถจัดตั้งศูนย์ปฐมพยาบาลเบื้องต้นไว้ประจำในห้องเป่าแก้วได้

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ใช้วิธีบรรยายประกอบการซักถามในเนื้อหาวิชา

2. สหิการไ้ทะเกียงที่ถูกรวิี เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น
3. แสดงการติดตั้งถังแกส เชื้อเพลิงและถังออกซิเจนให้ติดแน่นอยู่กับที่เพื่อป้องกัน

อุบัติเหตุ

4. จัดตู้ยาปฐมพยาบาลเบื้องต้น
5. สหิการเป่าแกวที่ไม่ใช่แรงลมการเป่าจากปากจนสุดแรงเกิดเพื่อป้องกัน

อันตรายที่อาจจะเกิดจากปอด

สื่อการเรียนการสอน

1. ทะเกียงเป่าแกวพร้อมถังแกส ถังออกซิเจน แทงแกว
2. ตู้ยาปฐมพยาบาลเบื้องต้นพร้อมยา เช่น ยาแดง ยาทาแกไฟลวก สำลี ผาพันแผล ยาลางตา
3. เอกสารคำสอนประกอบคำบรรยาย

การประเมินผล

1. ใช้วิธีสังเกตจากการซักถามและตอบปัญหาของผู้เรียน
2. สังเกตจากการสามารถใช้ทะเกียงเป่าแกว การวางตำแหน่งและติดตั้งถังแกส เชื้อเพลิงและถังออกซิเจนได้ถูกต้อง
3. สังเกตจากความสามารถเป่าแกวได้ถูกรวิี เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายแก่ปอด
4. สังเกตจากความสามารถจัดตู้ยาปฐมพยาบาลเบื้องต้น และเตรียมยาที่จำเป็น ต้องมีไว้ประจำตู้ยาได้ถูกต้อง

อันตรายที่อาจจะเกิดจากการเป่าแก้วและการป้องกัน

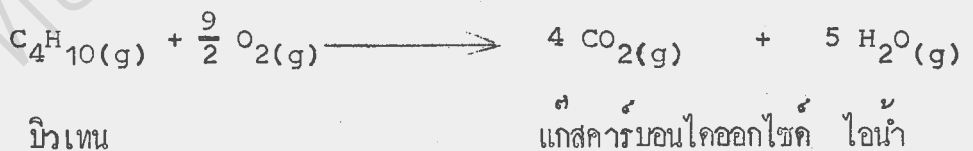
ในการทำงานเป่าแก้ว สิ่งที่ต้องปฏิบัติการเป่าแก้วจะต้องคำนึงถึงคืออันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน ซึ่งอาจจะเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้จากสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ เช่น จากแก้ว จากเปลวไฟและตะเกียงเป่าแก้ว จากถังแก๊ส จากการเป่าแก้ว จากการใช้เครื่องมือ ดังนั้น ผู้ที่ทำงานเป่าแก้วจึงจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงข้อควรระมัดระวังทั่วไป จากสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว และต้องทราบถึงวิธีป้องกันและแก้ไขเมื่อมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นด้วย

4.1 อันตรายจากเปลวไฟและตะเกียงเป่าแก้ว

ในการเป่าแก้วต้องมีสมาธิความตั้งใจ ถ้าเผลอเรออาจถูกเปลวไฟลวกมือได้ ถ้ามีของเหลวที่ติดไฟง่ายเช่นพวกแอลกอฮอล์ อะซิโตน อาจจะทำติดไฟง่ายต้องอย่าวางไว้ใกล้ไฟ

4.2 อันตรายจากแก๊ส

เปลวไฟที่ใช้ในการเป่าแก้ว ปกติจะใช้แก๊สเชื้อเพลิงคือ แก๊สชีวเพนกับอากาศหรือ ออกซิเจน เมื่อจุดไฟเกิดการเผาไหม้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นคือ



การเผาไหม้มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น แต่ถากการเผาไหม้เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ก็จะมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดขึ้นด้วย ซึ่ง CO นี้เป็นแก๊สพิษ ซึ่งพิษจากการสูด CO เข้าไปมาก ๆ จะทำให้หมดความรู้สึกลงเนื่องจากขาดออกซิเจน เพราะแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะรวมตัว

กับออกซิเจนในเฮโมโกลบิน แต่ถ้าวัดเข้าไปไม่มากนักจะทำให้ปวดศีรษะ คลื่นไส้และสลบได้
 ฉะนั้นจึงต้องระมัดระวังไม่สูดหายใจเข้าไปในหลอด นอกจากเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์แล้ว
 ขณะที่เปลวไฟติดอยู่มีแก๊ส CO_2 และความชื้น (H_2O) เกิดขึ้น จากการลุกไหม้ถ้าไม่กำจัดออกจะ
 ทำให้เกิด H_2CO_3 ขึ้น ทั้งสมการปฏิกิริยา



นอกจากนี้ยังมีแก๊สอื่น ๆ เกิดขึ้นจึงต้องระวังไม่ให้แก๊สเหล่านี้สะสมอยู่ในห้องเป่าแก้ว
 ท่อน้ำแก๊สของตรวจสวมอยู่เสมอ ๆ เพื่อป้องกันแก๊สรั่ว สายยางที่ต่อกับตะเกียงเป่า
 แก้วต้องอย่าปล่อยให้เสื่อมคุณภาพ ท่อแก๊สควรติดวาล์วเพื่อป้องกันแก๊สไหลย้อนกลับ ซึ่ง
 อาจจะทำให้แก๊สออกซิเจนหรืออากาศรั่วเข้าไปเกิดการสันดาปอาจจะระเบิดได้ และในกรณี
 ใช้เปลวไฟที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในการซ่อมเครื่องแก้วชิ้นใหญ่ ๆ ขณะจุดตะเกียงเปลวไฟ
 อาจพุ่งเข้าไปในเครื่องแก้วทำให้เกิดการสันดาปกับอากาศภายในเครื่องแก้ว ทำให้เครื่องแก้ว
 ระเบิดได้ ฉะนั้นในการซ่อมเครื่องแก้วจึงต้องระวังมาก

4.3 อันตรายจากแก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจน

แก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนมักจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้ง
 แก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในห้องเป่าแก้วควรยึดติดอยู่กับที่ให้แน่นหนาแข็งแรง
 เก็บไว้ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวกไม่ร้อนจนเกินไป และมีห้องเก็บแยกต่างหากไม่รวมกับห้อง
 เป่าแก้ว แก๊สเชื้อเพลิงทุกชนิดจะติดไฟง่ายจึงต้องระวังเรื่องแก๊สรั่วตามสายยาง ตามข้อต่อ
 ของอู่ และวาล์วควบคุมแก๊ส ระวังอย่าให้พวกไขมัน น้ำมัน ไปถูกตัวควบคุมแก๊สและที่ปิดเปิด
 แก๊สออกซิเจนเพราะพวกไขมันจะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วทำให้เกิดการลุกไหม้ได้เอง
 ซึ่งอาจจะทำให้ระเบิดได้

ถ้าเป็นห้องเป่าแก้วที่ต่อใช้แก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนหลาย ๆ จุด ควรจะมี
 วาล์วควบคุมรวมติดตั้งระหว่างแก๊สกับแก๊สออกซิเจนก่อนจะแยกไปตามโต๊ะเป่าแก้วที่กำหนดไว้

4.4 อันตรายจากแก๊วและอุปกรณ์การเป่าแก๊ว

ในการเป่าแก๊วนั้นบ่อยครั้งที่ช่างเป่าแก๊วมักจะได้รับอุบัติเหตุหรือบาดเจ็บเล็ก ๆ น้อยๆ จากแก๊วที่เป่า เริ่มตั้งแต่เทคนิคในการถือแก๊วถ้าเป็นแก๊วยาวไม่ว่าแก๊วคันหรือแก๊วกลางควรถือในแนวตั้งเพราะว่าถ้าถือในแนวนอนอาจจะชนกับสิ่งกีดขวางหักและเป็นอันตรายได้ แต่เวลาเก็บควรวางในแนวนอนบนชั้นวางแก๊ว ในการตัดแก๊วหรือหลอดแก๊วถ้าใช้วิธีกรี๊ดให้เป็นรอยแล้วหักควรจะใช้แรงในการหักน้อยที่สุด ถ้าไม่หักให้หยุดแล้วกรี๊ดซ้ำรอยเดิม ถ้าออกแรงมาก ๆ จะทำให้แก๊วหักเป็นรูปปากปลาตามทางถูกผู้ตัดได้ หลังจากตัดแก๊วแล้วแก๊วที่ตัดใหม่รอยตัดจะมีความคมมากอาจทำให้มีอันตรายเวลาเอาเข้าปากเป่า จึงต้องลบรอยคมด้วยไฟหรือตะไบก่อนเมื่อตัดแก๊วแล้ว

แก๊วร้อนที่เพิ่งเอาออกจากเปลวไฟอาจจะทำให้เกิดอันตรายได้ ในการวางแก๊วร้อนบนโต๊ะปฏิบัติการให้หันปลายคานที่ร้อนออกห่างตัวเสมอ ถ้าจับถูกแก๊วร้อนหรือถูกไฟลวกให้ผ่านน้ำเย็นจัดปริมาณมากไปยังส่วนที่ถูกลวกทันที ให้น้ำเย็นไปอย่างน้อย 5 นาที จะลดความเจ็บปวดและช่วยไม่ให้รอยไหม้ลึก หากยกกดีเซลร้อน เศษแก๊วที่เหลือจากการเป่าแก๊วมักจะเปราะบางและคม ควรทิ้งในถังเก็บเศษแก๊วที่จัดเตรียมไว้ อย่าทิ้งลงบนพื้นเพราะจะเหยียบถูกและเกิดบาดแผลได้ ถ้าแก๊วบาดให้ตรวจหาเศษแก๊ว ล้างตรงที่ถูกบาดด้วยน้ำเย็นอย่างระมัดระวัง ใช้ผ้าพันแผลที่สะอาดกดปากแผลไว้แล้วใส่ยา

อันตรายจากอุปกรณ์เป่าแก๊วและการทำงานในห้องเป่าแก๊วนั้นมีอุปกรณ์เกี่ยวกับการเป่าแก๊วหลายชนิดที่อาจจะทำให้เกิดอันตรายได้จากการใช้ เช่น เครื่องตัดแก๊ว เครื่องเจาะแก๊ว เตาอบเทนิยว (Anneal oven) ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังเวลาใช้เครื่องมือ ใช้เครื่องมือให้ถูกวิธี ปกป้องตนเองให้พ้นจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

4.5 อันตรายที่เกิดกับปอด

ช่างเป่าแก๊วที่เป่าแก๊วนาน ๆ มักจะมีปัญหาเป็นโรคเกี่ยวกับปอดที่เรียกว่า

โรค Emphysema คือโรคที่เกิดจากการที่มีช่องว่างในปอดมาก ซึ่งเกิดจากการหายใจเอาแก๊สต่าง ๆ เข้าไปเป็นเวลานาน ๆ แก๊สจะเข้าไปแทรกในเนื้อเยื่อ Connective tissue ของปอด ทำให้ประสิทธิภาพในการหายใจของปอดลดลง ซึ่งเมื่อเป็นโรคนี้อาจจะรักษาไม่ได้ วิธีระวังคือห้ามหายใจลึก ๆ ก่อนเป่าแก้ว และไม่ให้เป่าแก้วจนสุดแรงเกิดจนหมดลมปอด ในการเป่าแก้วให้เป่าเมื่อแก้วหลวมออกันตัวอยู่เท่านั้น เพราะการเป่าเมื่อแก้วแข็งตัวแล้วก็ไม่เกิดผลแต่อย่างใด

4.6 สิ่งที่ควรเตรียมเพื่อป้องกันอุบัติเหตุในห้องเป่าแก้ว

- ก. ตู้ยา ใส่จำพวกยาที่ใช้ในการปฐมพยาบาลเบื้องต้น เช่น ผ้าพันแผล สำลี ยาใส่แผลสด ยาล้างตา ยาแก้ไฟไหม้ ไฟลวก
- ข. เครื่องดับเพลิง ยาน้ำ สำหรับดับเพลิง วางในที่เห็นชัดง่ายต่อการหยิบใช้
- ค. ท่อน้ำเย็น ไว้ใช้ในเวลาผิวหนังถูกแก๊สร้อนจัดหรือเปลวไฟลวกจะได้ใช้ไต่ทันที
- ง. มีคู่มือการใช้อุปกรณ์ทุกชนิดติดไว้ที่อุปกรณ์ทุกชนิด เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้
- จ. ไม่ทำงานเป่าแก้วในห้องปฏิบัติการโดยลำพัง ควรมีเพื่อนร่วมงานคอยจะคอยช่วยเหลือกันได้เวลาเกิดอุบัติเหตุ
- ฉ. ต้องสวมรองเท้าทุกครั้งที่เราห้องปฏิบัติการเพื่อป้องกันสะเก็ดแก้วแตก และทำความสะอาดห้องปฏิบัติการให้สะอาดอยู่เสมอ

การจัดห้องเป่าแก้วและการเก็บรักษาแก้ว

แผนการสอน

หัวข้อเนื้อหาของบทเรียน

- 5.1 การจัดห้องเป่าแก้ว
- 5.2 การจัดหาแก้วเพื่อใช้ในห้องเป่าแก้ว
- 5.3 การเก็บรักษาแก้ว

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากที่ได้อ่านเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้ศึกษาคควรจะต้องทำในสิ่งต่อไปนี้ได้

1. สามารถจัดห้องเป่าแก้วแบบมาตรฐานและห้องเป่าแก้วอย่างง่าย ๆ ได้ด้วย

ตนเอง

2. สามารถจัดหาเลือกซื้อแท่งแก้วที่จะใช้เป่าแก้วได้ และเลือกซื้อได้ในราคาที่

เหมาะสม คุณภาพตรงกับความต้องการใช้งาน

3. สามารถเก็บรักษาเครื่องแก้วให้หยิบใช้ได้สะดวกและถูกวิธี โดยทำชั้นแยก

เป็นแต่ละชนิดไม่ปะปนกัน

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ใช้วิธีบรรยายและศึกษาเอกสารตำราประกอบ
2. สาธิตการจัดห้องเป่าแก้วแบบมาตรฐานและแบบง่าย ๆ
3. ให้นักศึกษาหาข้อมูลแหล่งที่จำหน่ายแท่งแก้วที่ใช้เป่า พร้อมทั้งเปรียบเทียบ

ราคาแต่ละแห่ง

4. สำนัคแบบชั้นเก็บแยกเครื่องแกว

5. ใหญ่เรียนออกแบบทองเป่าแกว ชั้นเก็บแกว และเสนอแหล่งสถานที่จำหน่าย

แกวพร้อมราคา

สื่อการสอน

1. แบบตัวอย่างทองเป่าแกว

2. ชั้นเก็บแกว

3. ใบเสนอราคาแกวของบริษัทขายเครื่องแกวต่าง ๆ

การประเมินผล

1. สังเกตความสามารถในการจัดทองเป่าแกวใดควยตนเองจากการออกแบบ

2. สังเกตความสามารถออกแบบชั้นเก็บแกวใดถูกตอง

3. สังเกตจากความสามารถเปรียบเทียบราคาจำหน่ายแกวชนิดเดียวกันของบริษัทต่างกัน และการตัดสินใจซื้อแกวจากแหล่งที่เหมาะสม

การจัดห้องเป่าแก้วและการเก็บรักษาแก้ว

งานปฏิบัติการ เป่าแก้วนั้นควรมีห้องทำงานโดยเฉพาะอยู่ในสภาพที่เหมาะสม ปลอดภัย ขณะทำงาน และแก้วที่จะเป่านั้นนอกจากจะต้องมีคุณภาพดีแล้วควรจะมีเก็บรักษาให้ถูกวิธีและสะดวกแก่การใช้งานด้วย

5.1 การจัดห้องเป่าแก้ว

ห้องเป่าแก้วควรจะเป็นห้องที่ออกแบบโดยเฉพาะสำหรับใช้ใช้งานเป่าแก้วโดยไม่รวมกับห้องอื่น ๆ เพื่อทำงานเกี่ยวกับทางด้านการเป่าแก้วโดยเฉพาะ มีที่เก็บเครื่องมือ อุปกรณ์การเป่าแก้ว เก็บสต็อกแก้วที่จะใช้เป่า เก็บถังแก๊ส เชื้อเพลิง ถังออกซิเจน ติดตั้งเครื่องมืออากาศอัดเข้าตะเกียงเป่าแก้ว โตะเป่าแก้ว โดยเฉพาะสำหรับติดตั้งตะเกียงเป่าแก้วแบบติดกับโตะ ซึ่งในการจัดห้องเป่าแก้วนั้นควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

5.1.1 สถานที่ตั้งห้องเป่าแก้ว ตำแหน่งห้องเป่าแก้วควรอยู่ใกล้หรือเป็นศูนย์กลางของวิทยาศาสตร์ แยกเป็นห้องอิสระ เพื่อตัดปัญหาเรื่องเสียงรบกวนจากการใช้เครื่องมือเป่าแก้ว เช่น เครื่องตัดแก้ว เครื่องดูดอากาศ ห้องเป่าแก้วควรอยู่ใกล้ห้องเก็บแก้วหรืออาจจะทำที่เก็บแก้วโดยทำเป็นชั้น ๆ เก็บแก้วแต่ละขนาดแต่ละชนิดไว้คั่นข้าง ๆ ห้อง สถานที่ต้องสะดวกต่อการขนส่ง แก๊ส เชื้อเพลิง ถังแก๊สออกซิเจน และอุปกรณ์เกี่ยวกับการเป่าแก้ว ห่างไกลจากเสียงรบกวนสมาธิของช่างเป่าแก้ว (เพราะในบางครั้งช่างเป่าแก้วต้องใช้สมาธิในการทำงาน) ห่างไกลจากฝุ่นละอองสารเคมี หรือน้ำที่ระเหยออกมา ทำให้แก้วสกปรกมีปัญหาวเวลาเป่า

5.1.2 ขนาดของห้องเป่าแก้ว ห้องไม่ตองกว้างใหญ่เกินไป พื้นที่ประมาณ 40 ตารางเมตร เพื่อวางอุปกรณ์เป่าแก้ว เช่น เครื่องตัดแก้ว เครื่องเจาะแก้ว เตาอบเหนียว

(แอนนิล) พันทองถ้าเป็นไปไต่ควร เป็นไม้เนื้อแข็ง แต่ถ้ามียอยแตกของเนื้อไม้ อาจจะเป็นอันตรายถ้ามีเศษแกวตกลงไป พันทิมเมนต์ก็สะดวกต่อการทำความสะอาดเศษแกวที่ตกแตกจากการเป่าแกว จะไม่ทำให้พันทเสียหาย เพดานห้องทองสูงพอควร ไม่ควรต่ำกว่า 3 เมตร เพื่อให้ ความร้อน ใจแกวที่เกิดจากการเผาแกวกระจายขึ้นสูงได้ ถ้าเพดานต่ำตองก็ควรถูกแกวสอออกไป จากห้อง

5.1.3 ระบบการถ่ายเทอากาศ การเป่าแกวในการนำแกวเข้าไฟ จะมีแกวร้อนต่าง ๆ ซึ่งต้องระบายออกจากห้อง จึงต้องมีระบบการถ่ายเทอากาศที่ดี มีพัดลมดูดอากาศ ถ้าเพดานสูง พัดลมดูดอากาศควรอยู่ต่ำกว่าเพดานห้อง ถ้าสามารถติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิได้ก็จะดียิ่งขึ้น

5.1.4 แสงสว่าง ในห้องเป่าแกวควรมีแสงสว่างพอที่ ๆ ไม่สว่างมากเกินไป เพราะจะทำให้การดูแสงจากเปลวไฟเพื่อคาดคะเนอุณหภูมิคลาดเคลื่อนมากเกินไป อย่าให้มีแสงแดดสาดเข้าห้อง เพราะแสงแดดจะบดบังแสงของเปลวไฟจากตะเกียงเป่าแกว ทำให้ช่างเป่าแกวมองไม่เห็นเปลวไฟที่เกิดจากอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะของแกว เชื้อเพลิงกับแกวออกซิเจน หรืออากาศอัด ทำให้ทำงานได้ยากและอาจจะเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย ถ้ามืดแสงแดดมากควรบังแสงแดดบ้าง แสงสว่างในห้องหลอดนีออนติดไว้เหนือโต๊ะเป่าแกว การติดหลอดนีออนเพื่อลดเงาที่เกิดขึ้น ซึ่งเงาที่เกิดขึ้นจะทำให้ตำแหน่งของแกวที่จะตองเข้าไฟผิดพลาดไ้มาก

5.1.5 โต๊ะเป่าแกว แยกเป็นโต๊ะ ๆ ขนาดโต๊ะกว้าง 0.75 เมตร สูงประมาณ 0.75 เมตร บนโต๊ะปูด้วยแผ่นแอสเบสตอส (Asbestos) กว้างประมาณ 3 ตารางฟุตหนาประมาณ 3/16 นิ้ว เพื่อป้องกันโต๊ะไหม้เนื่องจากแกวที่ร้อนจัด บนโต๊ะตองมีแสงสว่างเพียงพอ แสงควรมาจากข้างบนคานหน้าของโต๊ะ อาจจะติดไฟไว้เหนือโต๊ะ ติดตั้งระบบดูดอากาศในโต๊ะมีดินซึกเก็บอุกกรณที่จะใช้ในงานเป่าแกว เก้าอี้นั่งเป่าแกวสูงพอเหมาะ กับโต๊ะเมื่อช่างเป่าแกวนั่งบนโต๊ะ ข้อศอกซึ่งวางอยู่บนโต๊ะควรวางไ้สบาย เท้าวางที่พันทอง

ถ้าใช้แก้วรับความสูงไค้จะดีมาก ไค้ไค้ทำเป็นตู้เก็บพวกแก้ว ตะเกียง ท่อแกส ฟูนิค
เปิดแกส

5.1.6 การจ้กอุปกรณ์ อุปกรณ์เป่าแก้วเฉพาะประจำตัวช่างเป่าแก้ว เช่น แวนตา
เป่าแก้ว มีดตัดแก้ว ที่จุดไฟ ขานมหรือกระดามเหล็กแก้ว พวกอุปกรณ์ชิ้นเล็กควรเก็บไว้ในลิ้นชัก
เฉพาะของช่างเป่าแก้ว ภายในตู้ ไค้ไค้เก็บพวกเครื่องแก้ว กอกแก้วตะเกียง แทงแก้วที่
เหลือจากการใช้งาน ช่าง ๆ ผนังห้องควรมีไค้เพื่อตั้งพวกเครื่องแก้วที่สร้างขึ้น ส่วนอุปกรณ์
ชิ้นใหญ่หรือเครื่องจักร ต้องจัดแยกไว้ทางหากและติดตั้งให้เรียบร้อย สะดวกและปลอดภัยต่อการ
ใช้งาน

แต่อย่างไรก็ตามถ้าไม่มีห้องเป่าแก้ว โดยเฉพาะตั้งกล่าแล้ว อาจจะใช้ห้องขนาด
เล็กตัดแปลงเป็นห้องเป่าแก้ว และจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นตอ้งใช้ในการ เป่าแก้วบางชนิดที่จำเป็น
ตอ้งใช้ เช่น ตะเกียงเป่าแก้ว มีดตัดแก้ว แวนตาเป่าแก้ว ไค้ แกส เชื้อเพลิง ถังออกซิเจน
เครื่องอัดอากาศ แทงแกสไฟฟ้ ก็จะสามารถสร้างและซ่อมอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการได้มาก
ชนิดพอสมควร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถเฉพาะตัวของช่างเป่าแก้วแต่ละคน ซึ่งการสอนในราย
วิชานี้ มีจุดมุ่งหมายให้นักศึกษาสามารถจ้กห้องเป่าแก้วเล็ก ๆ เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่จำเป็นตอ้งใช้ใน
ห้องปฏิบัติการทดลองได้มากกว่าการจ้กห้องเป่าแก้วขนาดใหญ่ ได้มาตรฐานตั้งกล่าแล้ว

5.2 การจัดหาแก้วเพื่อใช้ในห้องเป่าแก้ว

แทงแก้วที่ใช้ในห้องเป่าแก้วแทงแก้วตัน (Glass rod) และแทงแก้ว (Glass
tubing) โดยปกติแล้วบริษัทผู้จำหน่ายมักจะขายโดยยี่คนน้ำหนักเป็นเกณฑ์ ใช้หน่วยเป็นปอนด์
และบอกความยาวเป็นฟุตต่อปอนด์น้ำหนักของแทงแก้วแต่ละขนาด และบรรจุเป็นทึบ ๆ บอกจำนวน
น้ำหนักต่อทึบ เช่น แก้ว 1 ทึบ น้ำหนัก 10 ปอนด์ หรือ 50 ปอนด์ โดยขึ้นอยู่กับขนาดของแทงแก้วที่เต
ละบริษัทผลิต ความยาวของแก้วแต่ละแทงที่จำหน่ายประมาณ 1.2 เมตร และ 1.5 เมตร แต่
อาจจะมีหน่วยอื่น เช่นในประเทศเยอรมัน ขนาดความยาว 1.5 เมตร น้ำหนักคิดเป็นกิโลกรัม

แต่แกวในอังกฤษและอเมริกาขนาดยาว 1.2 เมตร ราคาที่คิดเป็นลอนคือนำหนัก ยกเว้นพวก แกวที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 40 มิลลิเมตร และน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร จะมีราคาแพง มาก ในการจัดหาหรือซื้อเครื่องแกวนี้ถ้าจะซื้อปริมาณมากควรซื้อเป็นหีบหรือตั้งถาวรแล้วเพื่อความ ประหยัด นอกจากจะซื้อปริมาณน้อย ๆ จึงซื้อเป็นแท่ง ไม่ควรซื้อแกวมาเก็บไว้นานเกินไปเพราะ แกวเก่าอาจจะเสื่อมคุณภาพได้ แกวเก่ามากเวลาเป่าจะแตกกระจายละเอียด ควรเก็บไว้ให้พอ ใช้งานได้ประมาณหนึ่งปี แต่แกวกลางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 30 มิลลิเมตร เป็นแกวที่มีการ ใช้งานมากในห้องปฏิบัติการจึงควรวางแผนสั่งซื้อล่วงหน้า ส่วนแกวที่มีขนาดใหญ่ ๆ ราคาแพงขึ้น ความจำเป็นในการใช้งานมีน้อยจึงควรซื้อครั้งละน้อย ๆ และต้องคำนึงถึงความสามารถของช่าง เป่าแกวควาจะสามารรถเป่าโดยไม่ต้องใช้เครื่องจักรจับแกวได้หรือไม่ เพราะปกติแล้วแกวกลาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเกินกว่า 50 mm ขึ้นไป ช่างเป่าแกวจะไม่สามารถจับควมมือเพื่อทำงาน ได้ ต้องใช้เครื่องจับแกวช่วย

5.3 การเก็บรักษาแกว

แกวจะต้องเก็บไว้ในที่แห้ง ปราศจากฝุ่น ไม่สัมผัสเชื้อรา ภายในห้องเก็บต้องมีความดัน อากาศปกติ สภาพแวดล้อมไม่มีภาวะมลพิษและไม่เกิดอุบัติเหตุง่าย

การเก็บแท่งแกวคั้นและแท่งแกวกลางกลมนั้นต้องเก็บโดยวางไว้ในแนวราบ โดยวาง เป็นแนวนอนไปตามชั้นที่วางเก็บแกว ส่วนแกวเป็นแผ่นแบนต้องเก็บไว้ในแนวตั้ง ทำที่เก็บแกวเป็น ชั้น ๆ เก็บแกวแต่ละชนิด แต่ละขนาดโดยแยกไว้เป็นพวก ๆ วางในแต่ละชั้น และติดป้ายบอกชนิด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกวแต่ละชนิดไว้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน การใช้งานนั้นแกวเก่า ควรนำมาใช้ก่อน เพราะแกวมียุการใช้งานไม่เกิน 10 ปี แกวที่มีอายุ 5 ปีถือว่าเป็นแกวเก่า แล้ว เพราะวาลูประกอบของแกวแต่ละชนิดนั้นมีวัตถุผสม (Fluxing agent) เพื่อให้ แกวหลอมเหลวเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้สะดวก วัตถุผสมเมื่อถูกความชื้นนาน ๆ จะทำปฏิกิริยากับ ความชื้น แกสคาร์บอนมอนอกไซด์และสารอื่น ๆ ที่ไวต่อปฏิกิริยาในอากาศจะทำปฏิกิริยาด้วย

ทำให้แก้วเสื่อมคุณภาพได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผิวของแก้วจะเสื่อมคุณภาพก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก้วชนิดที่มีองค์ประกอบเป็นพวกออกไซด์ของแคลเซียม โซเดียมและตะกั่วมาก จะเก็บไว้ไม่ได้มานาน เวลาเผาจะแตกกระจาย ฉะนั้นแก้วเก้าอี้จึงควรนำมาใช้งานก่อน ก่อนที่จะใช้ต้องทำความสะอาดก่อน แก้วกลางควยกรดักแก้วเจือจางก่อนใช้จะยืดอายุการใช้งานได้บ้าง ดังนั้นจึงไม่ควรซื้อแก้วมาครั้งละมาก ๆ ควรซื้อมาพอสมควรและใช้แก้วใหม่ที่ดีที่สุด

ในห้องเป่าแก้วนั้นควรเตรียมสิ่งต่าง ๆ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น (รายละเอียดบทที่ 4) สิ่งที่สำคัญคือ ตู้ยาปฐมพยาบาลเบื้องต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเป่าแก้ว

แผนการสอน

หัวข้อเนื้อหาของบทเรียน

- 6.1 ตะเกียงเป่าแก้ว
- 6.2 อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในการเป่าแก้ว
- 6.3 เครื่องมือเป่าแก้วที่เป็นพวกเครื่องจักร
- 6.4 เตาอบเหนียว (Annealing oven)

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากที่ได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้ว ผู้ศึกษาควรจะต้องทำในสิ่งต่อไปนี้ได้

1. สามารถใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเป่าแก้วได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพและปลอดภัย
2. สามารถเลือกใช้ตะเกียงเป่าแก้วให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ทำได้
3. สามารถจัดอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการเป่าแก้วในห้องเป่าแก้วได้

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. สาธิตการใช้ตะเกียงเป่าแก้ว การใช้ขนาดของเปลวไฟให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ทำ
2. สาธิตการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่จัดไว้ในห้องเป่าแก้ว ส่วนเครื่องมือที่ไม่ได้ใช้วิธีศึกษาและค้นคว้าจากเอกสารและตำรา
3. ให้นักศึกษาทดลองใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีอยู่จนชำนาญ

สื่อการสอน

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในห้องเป่าแก้ว เช่น ตะเกียงเป่าแก้ว มีดตัดแก้ว
 แหงคาร์บอน ฯลฯ

2. แหงแก้วทั้งแก้ว โซดาและแก้วบอโรซิลิเกต

3. เอกสารการเป่าแก้ว

การประเมินผล

1. สังเกตจากการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง

2. สังเกตจากความสามารถเลือกชนิดของแก้วใช้ได้เหมาะสมกับอุณหภูมิของ

เปลวไฟ

3. สังเกตจากความสามารถในการตัดแต่งแก้วกลางและแหงแก้วต้นก้วยเครื่องมือ
 ตัดแก้วแบบต่าง ๆ เช่น มีดตัดแก้ว ตะไบสามเหลี่ยม เป็นต้น

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเป่าแก้ว

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเป่าแก้วที่จำเป็นมากคือ ตะเกียงเป่าแก้ว ส่วนอุปกรณ์และเครื่องมืออื่น ๆ ที่ใช้ประกอบการเป่าแก้วนี้มีจำนวนมาก แต่ความจำเป็นในการใช้เครื่องมือแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของงานแต่ละชนิดว่าจำเป็นต้องใช้เครื่องมือชนิดใด เครื่องมือที่ควรรู้จักในงานเป่าแก้วมีดังนี้

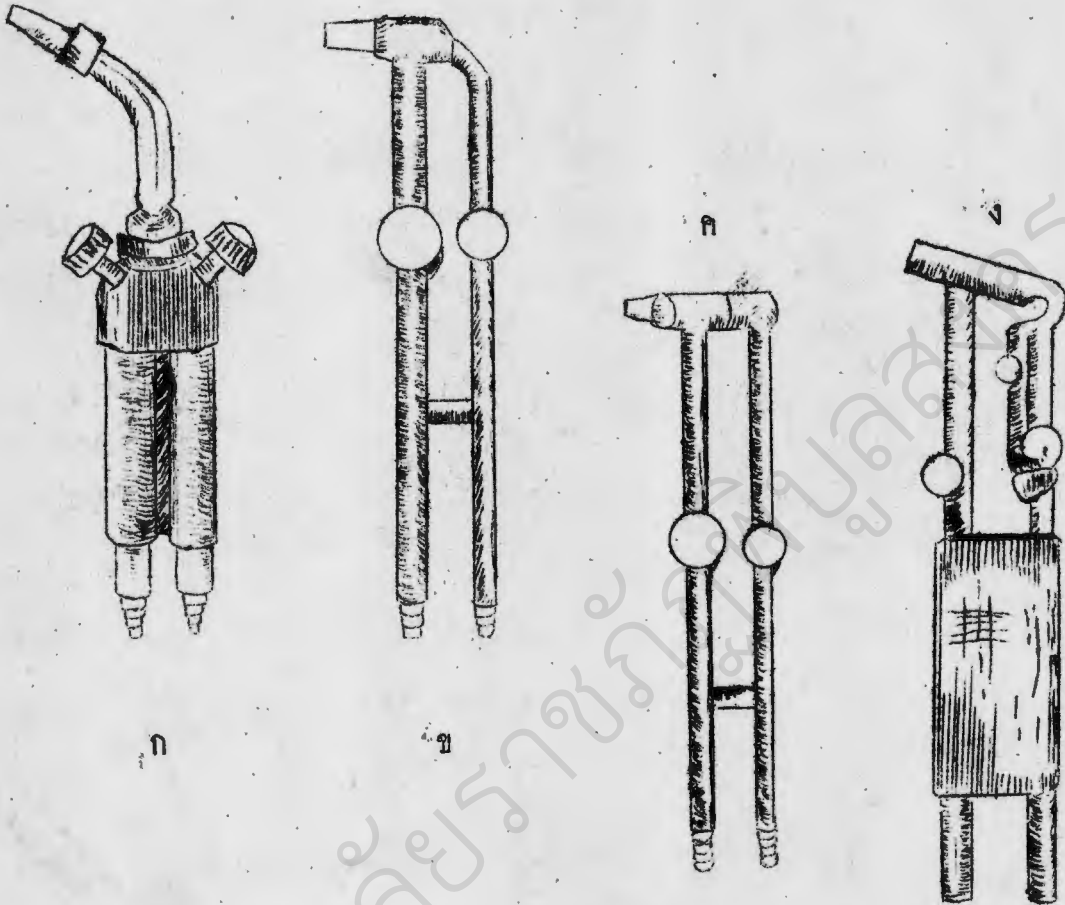
6.1 ตะเกียงเป่าแก้ว

ตะเกียงเป่าแก้วมีหลายชนิด มีรูปแบบและการใช้งานตามบริษัทผู้ผลิต แต่หลักเกณฑ์การใช้งานส่วนมากคล้ายกัน ตะเกียงเป่าแก้วแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ตะเกียงเป่าแก้วแบบตั้งโต๊ะและแบบมือถือ แบบมือถืออาจจะดัดแปลงเป็นแบบตั้งโต๊ะ โดยการติดตั้งให้ติดกับโต๊ะเป่าแก้วแล้วดัดแปลงให้หัวตะเกียงหมุนหรือปรับได้ตามความต้องการใช้งาน

6.1.1 หลักการทำงานของตะเกียงเป่าแก้ว คือ มีท่อผ่านแก๊สเชื้อเพลิง ท่ออากาศอัดหรือท่อออกซิเจนผ่าน ตะเกียงบางชนิดเช่นตะเกียงจากเยอรมันจะมีสามท่อคือ ท่อแก๊สเชื้อเพลิง ท่ออากาศอัดและท่อแก๊สออกซิเจน ซึ่งแก๊สจะพบกันและผสมกันก่อนที่จะถึงหัวเตาจุดให้เปลวไฟ อุณหภูมิความร้อนจากเปลวไฟจะร้อนมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับส่วนผสมของแก๊สและอากาศที่ผ่านตะเกียงดังนี้คือ

ก. ตะเกียงเป่าแก้วที่ใช้แก๊สมีเทนเป็นเชื้อเพลิงกับอากาศอัดผสมกัน เปลวไฟให้ความร้อนประมาณ 800°C ตะเกียงชนิดนี้ใช้สำหรับเป่าแก้วอ่อน

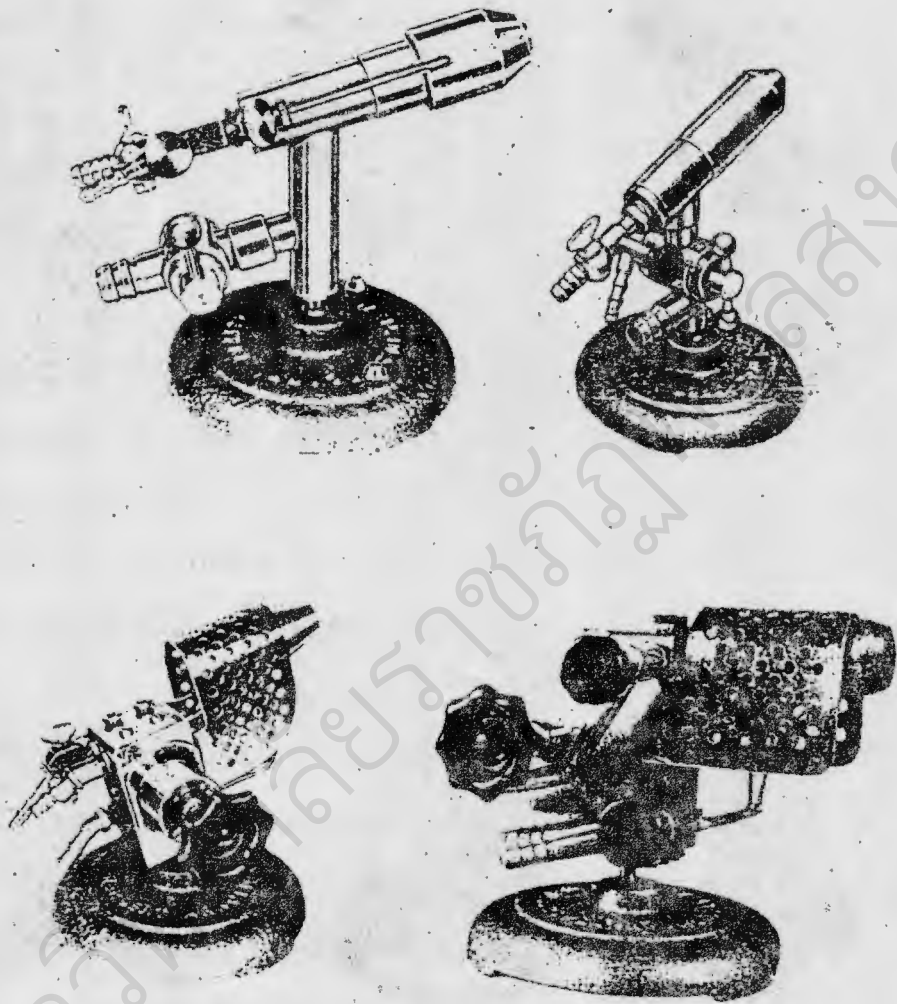
ข. ตะเกียงเป่าแก้วที่ใช้แก๊สมีเทนกับแก๊สออกซิเจนผสมกัน เปลวไฟให้ความร้อนประมาณ $1800-2200^{\circ}\text{C}$ ตะเกียงชนิดนี้ใช้สำหรับเป่าแก้วบอโรซิลิเกต (แก้วแข็ง)



รูปที่ 6.1 ตะเกียงเป่าแก้วแบบมือถือชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 6.2 ตะเกียงเป่าแก้วแบบตั้งโต๊ะชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 6.3 ตะเกียงเข่านกแก้วทั้งสี่

ค. ตะเกียงเป่าแก๊สที่ไซแก๊สมีเทน อากาศอัดและออกซิเจนผสมกัน เปลวไฟจากตะเกียงชนิดนี้ให้ความร้อนประมาณ 1600°C ไซทั้งแก๊สและแก๊สแข็ง หลักการใช้โดยการปรับการไหลของแก๊สทั้งสามชนิดผสมกัน แล้วปรับอุณหภูมิให้ได้ตามชนิดของแก๊สที่ไซเป่า หลักการจุดเปลวไฟจากตะเกียงคือทองคอบ ๆ เปิดท่อแก๊สมีเทนก่อนแล้วคอบ ๆ เพิ่มขึ้นทีละน้อย ๆ แล้วจึงคอบ ๆ เปิดท่อออกซิเจนคอบ ๆ เพิ่มทีละน้อย ๆ อากาศอัดก็เช่นเดียวกันแล้วปรับจนได้เปลวไฟให้ความร้อนสูงตามความต้องการ

6.1.2 แก๊สเชื้อเพลิงที่ไซกับตะเกียงเป่าแก๊ส แก๊สเชื้อเพลิงที่ไซกับตะเกียงเป่าแก๊สมีหลายชนิดคือ

ก. แก๊สไฮโดรเจน เปลวไฟจากตะเกียงเป่าแก๊สที่ไซแก๊สไฮโดรเจนเป็นแก๊สเชื้อเพลิงกับอากาศ เปลวไฟแบบนี้ไซกับแก๊สชนิดบโรซิลีเกตและแก๊สออกอน แต่การใช้เปลวไฟจากแก๊สไฮโดรเจนนี้แก๊สจะหลอมตัวเร็วมากจะทำให้หม้อการทำงานยากต้องใช้ความรวดเร็วมาก แก๊สไฮโดรเจนบรรจุในถังเหล็กความดันประมาณ 2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความดันในถังแก๊สไม่ควรเป็นศูนย์ ควรนำไปอัดใหม่ให้ความดันในถังมีมากพอ เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศและออกซิเจนเข้าไปตกค้างในถังเพราะอาจจะทำให้ถังแก๊สระเบิดได้

ข. แก๊สถ่านหิน (Coal gas) จากการเผาถ่านหินได้แก๊สถ่านหินให้ความร้อนประมาณ 1000°C ในที่อากาศจำกัด ส่วนประกอบของถ่านหินโดยประมาณ แก๊สไฮโดรเจน 50 % มีเทน 32 % คาร์บอนมอนอกไซด์ 8 % ไนโตรเจน 6 % เอทิลีน 4 % โดยปริมาตร เปลวไฟจากแก๊สถ่านหินเหมาะสำหรับใช้กับแก๊สออกอน แก๊สแข็ง แก๊สตะกั่ว

ค. แก๊สธรรมชาติ (Natural gas) ส่วนประกอบคือ แก๊สมีเทน เป็นส่วนมาก และแก๊สอื่น ๆ ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน คือ อีเทน โพรเพน บิวเทน แก๊สธรรมชาติที่นิยมใช้เพราะประสิทธิภาพให้ความร้อนสูงราคาถูก

ง. แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquified petroleum, LPG) เป็นแก๊สผสมระหว่างแก๊สโพรเพน (C_3H_8) และบิวเทน (C_4H_{10}) ปกติจะมีสถานะเป็นแก๊สทั้งคู่ มีความดันประมาณ

100-140 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะเป็นของเหลวและเก็บไว้ได้ในสถานะของเหลวคือบิโตรเลียม ซึ่งใช้เป็นตัวเชื่อมเชื่อมเป่าแก้วได้ เชื่อมเชื่อมจะกลายเป็นไอ เมื่อนำมาใช้ที่ความดันบรรยากาศโดยเติมกลิ่นจุนทรวงเมอร์แคปแทน เช่น บิวทิลเมอร์แคปแทน (Butyl mercaptan) ลงไปเพื่อให้อายุการใช้งานยาว ปกติใช้แก๊สสูงคมในท้องตลาดเป็นตัวเชื่อมเชื่อมเป่าแก้วได้สะดวก

6.2 อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในการเป่าแก้ว

นอกจากตะเกียงเป่าแก้วซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่สุดที่จะต้องใช้ในการเป่าแก้วแล้วอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่เป็นพื้นฐานที่ใช้ในงานเป่าแก้วคือ

6.2.1 แวนตาเป่าแก้ว ในการเป่าแก้วแวนตาเป่าแก้วเป็นสิ่งจำเป็นมาก ในการเป่าแก้วทุกครั้งควรจะต้องใส่แวนตาเป่าแก้วเพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานแก้ว เช่น การตัดแก้ว การต่อแก้ว และการเป่าแก้วในเปลวไฟ อุบัติเหตุอาจเกิดขึ้นจากเศษแก้วหรือสะเก็ดแก้วกระเด็นมาถูกตา นอกจากนั้นแล้วเหตุผลที่สำคัญที่สุดของสวมแวนตาเป่าแก้วคือ การเผาแก้วในเปลวไฟจะก่อให้เกิดแสงสีเหลืองซึ่งเกิดจากการเผาแก้วในเปลวไฟที่โซเดียมเชื่อมเชื่อมเชื่อมกับออกซิเจน แสงสีเหลืองนี้เป็นแสงที่เกิดจากโซเดียมซึ่งสว่างจ้ามาก ซึ่งนอกจากจะบดบังการทำงานของช่างแก้วแล้วยังประกอบด้วยแสงยูวี (UV) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสายตามากจึงต้องสวมแวนตาเป่าแก้ว แวนตาเป่าแก้วโซเดียมสีพิเศษที่สามารถกรองแสงยูวีได้ ที่เรียกว่า Didymium lens เป็นแก้วพิเศษประกอบด้วยออกไซด์ 2 ชนิดคือ Neodymium oxide และ Praseodymium oxide ซึ่งสามารถถึงถูกแสงในช่วง sodium D line ได้

6.2.2 มีดตัดแก้วแบบต่าง ๆ มีแบบต่าง ๆ กันแล้วแต่จะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของแก้ว มีดตัดแก้วขนาดเล็กใช้มือถือสำหรับตัดแก้วขนาดเล็ก เช่น แก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางแคบ ๆ ขนาด 4, 6 mm หรือใช้ตะไบเหล็กทำรอยกรีดแล้วหักส่วนแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง ๆ ต้องใช้เครื่องตัดแก้ว

6.2.3 เครื่องวัด เช่น เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไขว้ตลับเมตร วัดความยาวของแท่งแก้ว
ไม้บรรทัด ไมเมตร วัดความยาวของแท่งแก้ว

6.2.4 กระจกมือแอสเบสทอส ใช้จับแก้วเวลาซ่อมเครื่องแก้ว เทปแอสเบสทอส
ใช้ตัดแก้ว

6.2.5 เครื่องมือขยายความกว้างของหลอดแก้วให้เป็นกรวยแก้วไว้ทำแก้วให้เป็น
รูปกรวยปากกว้าง เช่น ทำกรวยกรอง

6.2.6 แผ่นแกรไฟต์ แท่งแกรไฟต์ ใช้สำหรับใช้งานในการทำส่วนฐานตั้งงานแก้ว
ที่ทำเสร็จแล้ว หรือทำส่วนที่ต้องการให้เป็นแนวราบเช่น ฐานส่วนเรียบของขวดแก้ว ฐานก้นตัวหนังสือ
ขณะที่เพิ่งเอาออกจากเปลวไฟ แก้วซึ่งยังอ่อนตัวจะเรียบเป็นแนว ฐานตามแผ่นแกรไฟต์ โดยนำ
งานแก้วที่ทำเสร็จแล้วไปวางแนบลงบนแผ่นแกรไฟต์ กัดเบา ๆ จะได้ฐานเครื่องแก้วนั้นแนวราบ
เครื่องมืออื่น ๆ เช่น คีมคืบ ลูกกลิ้ง ที่ตัดหลอดแก้ว ลวดทึงสแตน จุกคอร์ก จุกยาง
ตะไบ แม่เจียรทำขอตอแก้ว ที่วางแก้ว ฐานเสียบแก้ว

6.3 เครื่องมือเป่าแก้วที่เป็นพวกเครื่องจักรหรือเครื่องมือพิเศษ

ช่วยในงานเป่าแก้วทำสำเร็จรวดเร็วขึ้นและอำนวยความสะดวกในการเป่าแก้ว เช่น

6.3.1 เครื่องจับแก้ว (Glass lathe) ไขว้จับแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง ๆ
เวลาเป่าจับควมมือไม้ใดตองใช้เครื่องจับช่วย

6.3.2 เครื่องตัดแก้ว (Glass cutting) ไขว้ตัดแก้วที่มีขนาดใหญ่ ๆ มีตัดเป็น
ใบเลื่อย

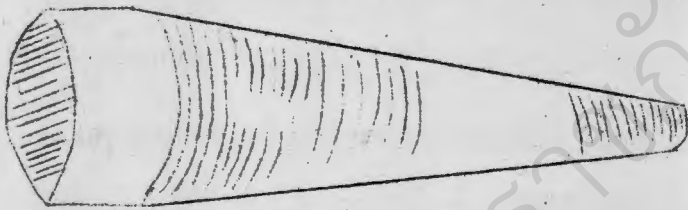
6.3.3 ส่วนหรือเครื่องเจาะแก้ว (Drilling machine) ไขว้เจาะแก้วขนาดใหญ่ ๆ

6.3.4 เครื่องมือขัดหรือฝนผิวแก้วให้เรียบ

6.3.5 เครื่องตรวจสอบความเค้นในเนื้อแก้ว (Polariscope) ที่เกิดจากการที่แก้วมีอุณหภูมิต่างกัน ขณะทำงานแก้วและขดที่แก้วเย็นตัวลง ทำให้เนื้อแก้วเกิดความเค้นขึ้น ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ทำเสร็จแล้วแตกหัก ราว เมื่อเย็นลง

6.4 เตาอบเหนียว (Annealing oven)

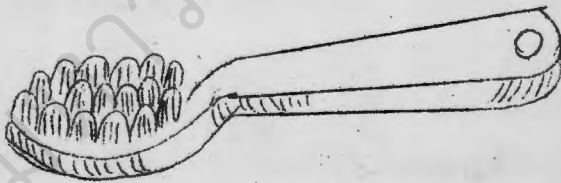
รายละเอียดกล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.2



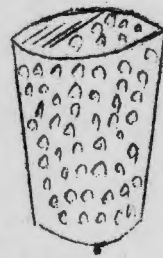
แบบเจียรทำ socket



แบบเจียรทำ Cone



แปรงกวาดเศษแก้ว



จุกคอกร

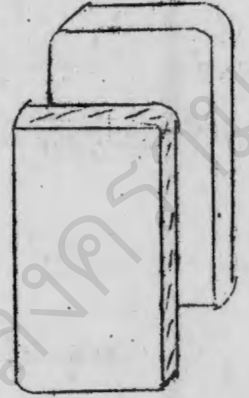
รูปที่ 6.4 แบบเจียรแก้ว



มีดตัดแก้ว



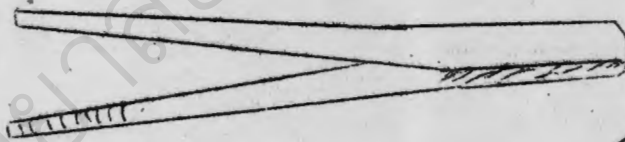
แผ่นคาร์บอนแบบมือถือ



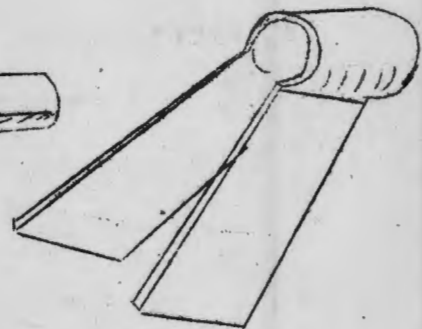
แผ่นคาร์บอน



เวอร์เนีย



คีบปลายแหลม

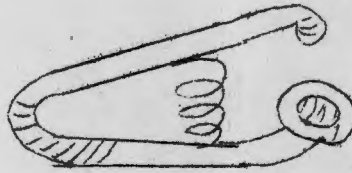


คีบแบน

รูปที่ 6.5 อุปกรณ์เป่าแก้ว



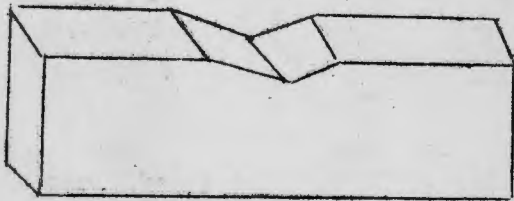
แว่นตาเปล่าแก้ว



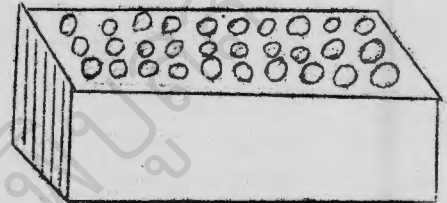
ที่จุกไฟ



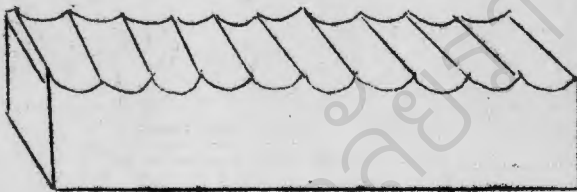
หินตัดและลับคมแก้ว



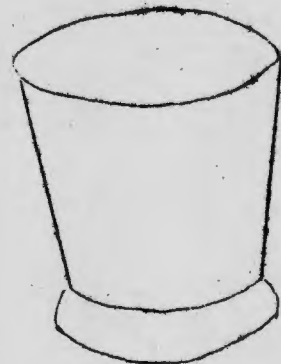
แทนคาร์บอนดิบขอมแก้ว



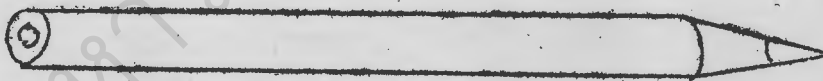
ที่เสียบแก้ว



ที่วางพาดแก้ว

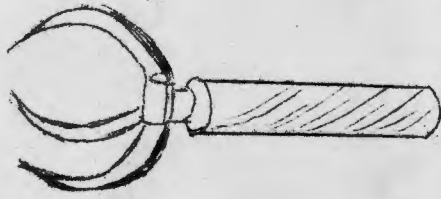


ถ้วยโลหะ

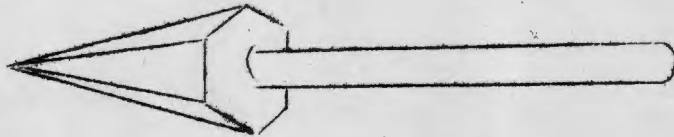


ดินสอเขียนแก้ว

รูปที่ 6.6 อุปกรณ์เปล่าแก้ว (ต่อ)



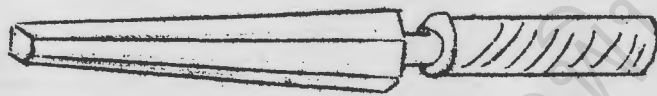
มือจับแกวกรากฉม



แบบคว้านปากแกว



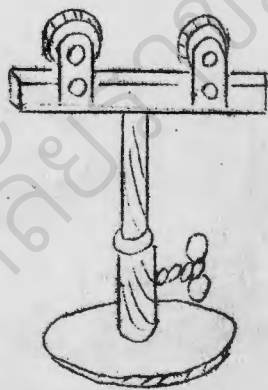
แบบคว้านแกว



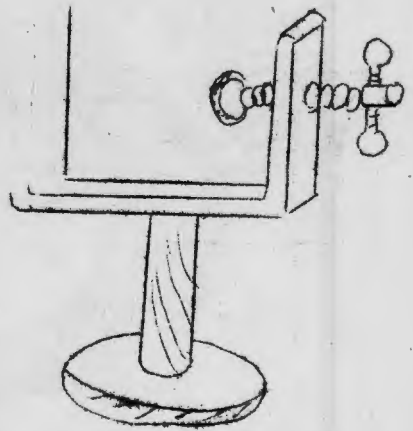
แบบทำซอกตอแกว



แบบทำซอมแกว



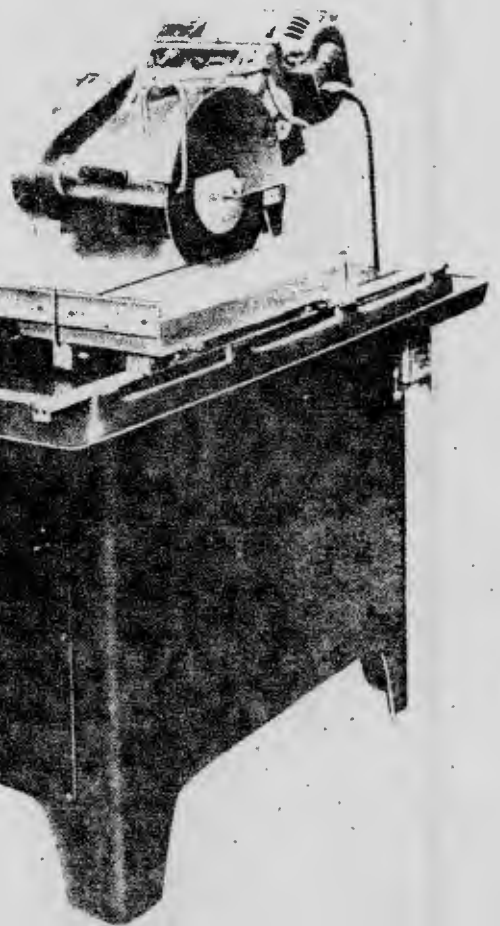
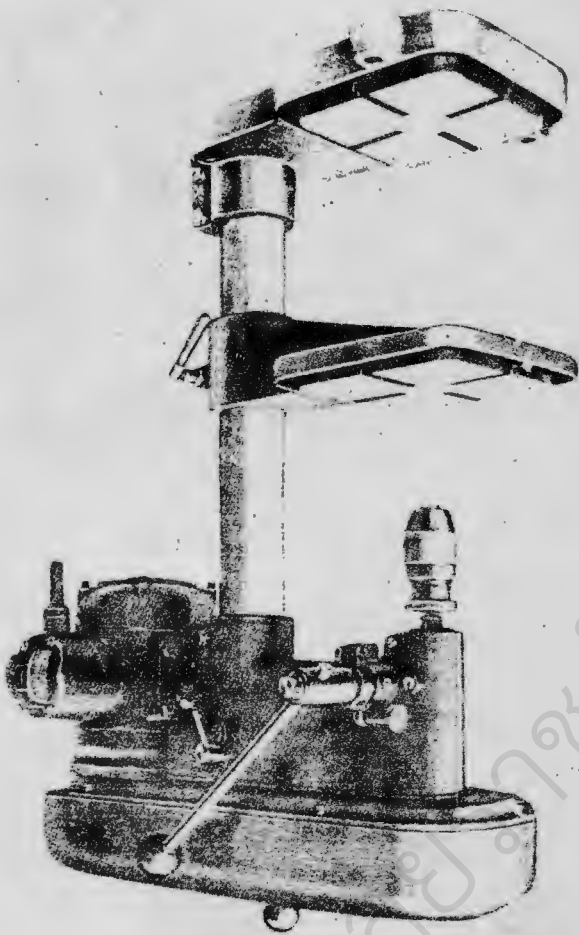
แบบลูกกิ้งหุนทอแกว



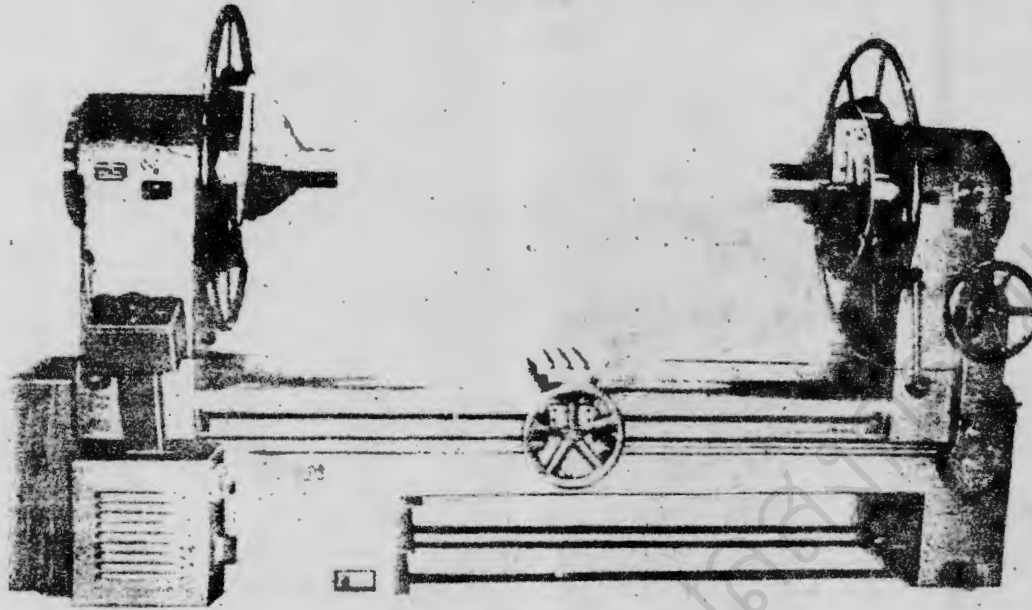
ฐานยึดแบบคารบอน
เซากับแบบทำซอกตอ

รูปที่ 6.7 อุปกรณ์แปาแกว (ต่อ)

รูปที่ 6.8 เครื่องเจาะแกว



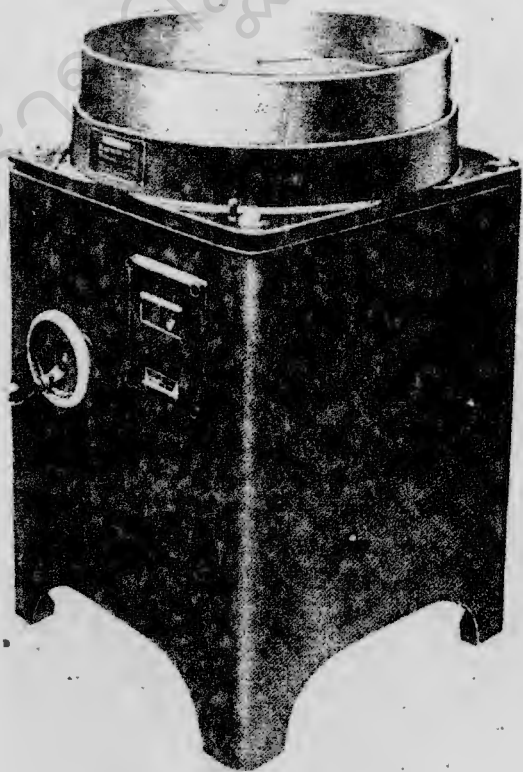
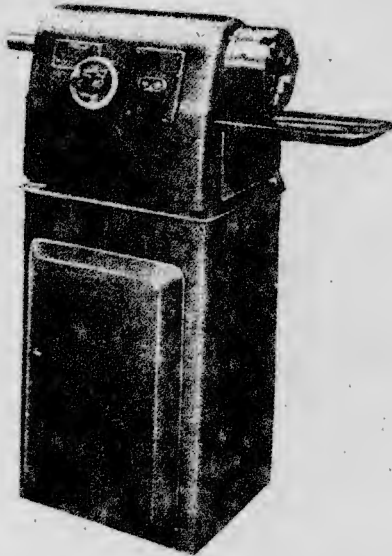
รูปที่ 6.9 เครื่องตัดแกว



รูปที่ 6.10 เครื่องจับแกวหรือแทนกถึงแกว



รูปที่ 6.11 เครื่องโพลาริสโคป



รูปที่ 6.12 เครื่องชั่งหรือเจียรแก้ว

หลักการเป่าแก้ว

แผนการสอน

หัวข้อเนื้อหาของบทเรียน

- 7.1 การเป่าแก้ว
- 7.2 เทคนิคการใช้ตะเกียงเป่าแก้ว
- 7.3 การทำความสะอาดแก้ว
- 7.4 เทคนิคการตัดแก้ว
- 7.5 การเผาแก้วและการจับแก้ว
- 7.6 การตรวจสอบชนิดของแก้ว
- 7.7 ชนิดของการเป่าแก้ว

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากที่นักศึกษาได้ศึกษาเนื้อหาในบทนี้แล้วควรจะทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. รู้เทคนิคขั้นตอนการใช้ตะเกียงชนิดต่าง ๆ และสามารถใช้ตะเกียงชนิดต่าง ๆ

ได้ถูกต้อง

2. สามารถทำความสะอาดเครื่องแก้วที่ใช้แล้วนำมาซ่อมหรือแก้วเกาทำคอนเป่าได้
ถูกวิธีไม่ทำให้แก้วระเบิดหรือแตกเสียหาย

3. สามารถตัดแก้วได้โดยใช้เทคนิคและวิธีการตัดแก้วที่ถูกต้องปลอดภัย
4. สามารถจับแก้วหมุนแก้วได้ถูกวิธีเมื่อนำแก้วเข้าไฟ
5. สามารถตรวจสอบชนิดของแก้วได้

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ใช้วิธีบรรยายเนื้อหาวิชาให้เข้าใจและอ่านเอกสารประกอบ
2. สาธิตและแนะนำวิธีการใช้ตะเกียงกับแก๊สเชื้อเพลิง แก๊สออกซิเจน อากาศอัด
3. สาธิตวิธีทำความสะอาดแกว
4. สาธิตวิธีตัดแกวด้วยวิธีต่าง ๆ กัน
5. สาธิตวิธีการจับแกว การหมุนแกว เมื่อนำแกวเข้าไฟ
6. สาธิตการตรวจสอบชนิดของแกว

สื่อการสอน

1. ตะเกียงเป่าแกวแบบต่าง ๆ
2. อุปกรณ์ตัดแกวแบบต่าง ๆ
3. แท่งแกวชนิดต่าง ๆ เช่น แกวตัน แกวกวาง
4. นำยาตรวจสอบชนิดของแกว
5. แวนตาเป่าแกว

การประเมินผล

1. สังเกตความสามารถและเทคนิคในการใช้ตะเกียง
2. สังเกตความสามารถในการทำความสะอาดแกวกอนเผา
3. สังเกตความสามารถในการตัดแท่งแกวด้วยวิธีต่าง ๆ
4. สังเกตความสามารถในการจับแกวเข้าเปลวไฟได้ถูกวิธี
5. สังเกตความสามารถในการตรวจสอบชนิดของแกวว่าใดถูกต้องเพียงไร

หลักการเป่าแก้ว

7.1 การเป่าแก้ว

เป็นการนำเอาแก้วชนิดต่าง ๆ มาดัดแปลงให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามความต้องการ และประโยชน์การใช้สอยของผู้เป่าแก้ว งานเป่าแก้วเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านศิลปะ มาก กล่าวคือ นอกจากจะต้องอาศัยทักษะประสบการณ์ความชำนาญในการเป่าแก้วแล้ว ในบางครั้ง ยังต้องอาศัยความมีพรสวรรค์ทางด้านศิลปะในตัวช่างเป่าแก้วด้วย จึงจะช่วยให้งานเป่าแก้ว ดำเนินไปด้วยดีและสวยงาม ดังนั้นโดยทั่ว ๆ ไปจึงแบ่งงานเป่าแก้วออกเป็นสองชนิดคือ

7.1.1 การเป่าแก้วทางวิทยาศาสตร์ (Scientific glass blowing) ได้แก่ งานเป่าแก้วทางด้านเครื่องมืออุปกรณ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ เช่นการสร้างเครื่องมืออุปกรณ์เพื่อ ใช้ในงานวิจัยและการทดลองทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ การสร้างภาชนะใส่สารเคมี ต่าง ๆ ทั้งของแข็ง ของเหลว และแก๊ส เช่น ขวดเก็บสารเคมี ขวดเก็บสารกันความชื้น เครื่องควบคุมแรงดันแก๊ส บีเปต นิวเรท หลอดฟอกแก๊ส หลอดแยกแก๊ส กรวยแยกสาร กรวยกรองสาร ในห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งห้องปฏิบัติการเคมีจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ที่ทำ จากแก้วมาก ทั้งนี้เพราะแก้วจะไม่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมีและสารเคมีทั่ว ๆ ไป หรือมีก็น้อยมาก ยกเว้นสารประกอบพวกฟลูออรีน เช่น ไฮโดรฟลูออริกแอซิด เท่านั้น ในงานวิเคราะห์นั้นถ้าแก้ว มีผลต่อสารเคมีจะทำให้การทดลองผิดพลาดไปได้ซึ่งปกตินั้นแล้วแก้วจะมีผลต่อกรดเพียงเล็กน้อย แต่ ถ้าเป็นสารละลายที่เป็นด่างจะมีผลมากกว่า ดังนั้นการเก็บสารละลายใส่ภาชนะแก้ว ควรเก็บ สารละลายพวกกรดมากกว่า และถ้าไม่ต้องการใช้แล้วควรเททิ้ง

การเป่าแก้วทางวิทยาศาสตร์นั้นแยกออกเป็นการเป่าด้วยเครื่องมือ โดยใช้เครื่องจักร ช่วยเป่าแก้วโดยเฉพาะ และการเป่าแก้วพื้นฐานด้วยปาก และใช้อุปกรณ์ช่างช่วยในการเป่า

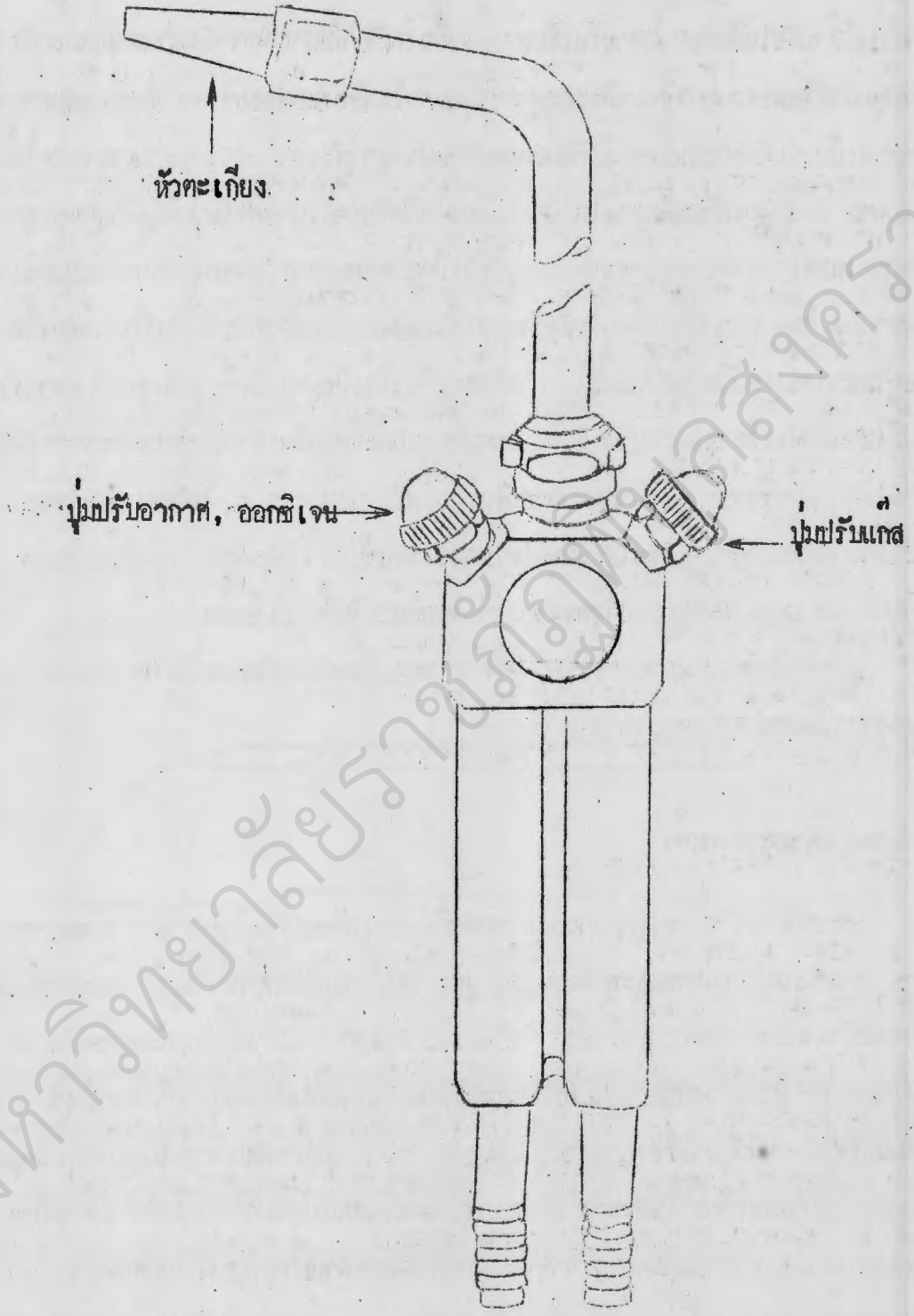
ซึ่งในการเรียนภาคปฏิบัติการในรายวิชาการเป่าแก้วเบื้องต้นนี้จะฝึกการเป่าแก้วควยปากโดยเป่าเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการชนิดที่ไม่ยากมากนักตามหลักการฝึกเบื้องต้นเท่านั้น

7.1.2 การเป่าแก้วทางศิลปะ (Artistic glass blowing) ได้แก่การเป่าแก้วทางคานงานศิลปะต่าง ๆ ที่สวยงามเพื่อเป็นเครื่องประดับตกแต่งบ้านที่อยู่อาศัยให้สวยงาม เช่น เป่าเป็นรูปนก แจกันดอกไม้ ดอกกุหลาบ หัวหงส์ เรือสุพรรณหงส์ และอื่น ๆ ซึ่งการเป่าแก้วงานศิลปะนั้นนอกจากจะของอาศัยประสบการณ์ ทักษะความชำนาญ สมาธิแล้วยังจะต้องมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการผลิตสิ่งสวยงามจากแก้วอีกด้วย งานเป่าแก้วทางศิลปะจึงเป็นงานที่แสดงความสามารถเฉพาะตัวของช่างเป่าแก้วแต่ละคนจะฝึกฝนด้วยตนเองมากกว่าการเป่าแก้วทางวิทยาศาสตร์

งานเป่าแก้วส่วนมากเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแก้ว ดังนั้นสมบัติทางกายภาพของแก้วจึงมีผลต่องานเป่าแก้วที่ทำมาก ช่างเป่าแก้วควรจะเรียนรู้หลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเป่าแก้ว ตั้งแต่การใช้อุปกรณ์ความสามารถในการใช้เครื่องมือเป่าแก้วได้ถูกต้อง สมบัติเฉพาะตัวของแก้วแต่ละชนิด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

7.2 เทคนิคการใช้ตะเกียงเป่าแก้ว

ช่างเป่าแก้วต้องรู้จักเลือกใช้ตะเกียงให้เหมาะสมกับงานเป็นสิ่งสำคัญขั้นต้น และตะเกียงเป่าแก้วมีหลายแบบ (หัวข้อ 5.1) ซึ่งแต่ละแบบจะมีหลักการใช้งานแตกต่างกันไป แต่พื้นฐานการใช้ตะเกียงเบื้องต้นคล้าย ๆ กัน แต่ตะเกียงที่ใช้สะดวกและค่อนข้างนิยมในห้องปฏิบัติการเป่าแก้วทั่วไป มักจะเป็นแบบตั้งโต๊ะหรือแบบมือถือ ซึ่งคัดแปลงเป็นแบบตั้งโต๊ะโดยยึดให้ติดกับโต๊ะได้ ตะเกียงแบบมือถือนี้เป็นตะเกียงเป่าแก้วขนาดเล็กเปลวไฟไม่ใหญ่มาก จึงเหมาะสำหรับใช้กับแก้วขนาดเล็กและขนาดกลางเท่านั้น



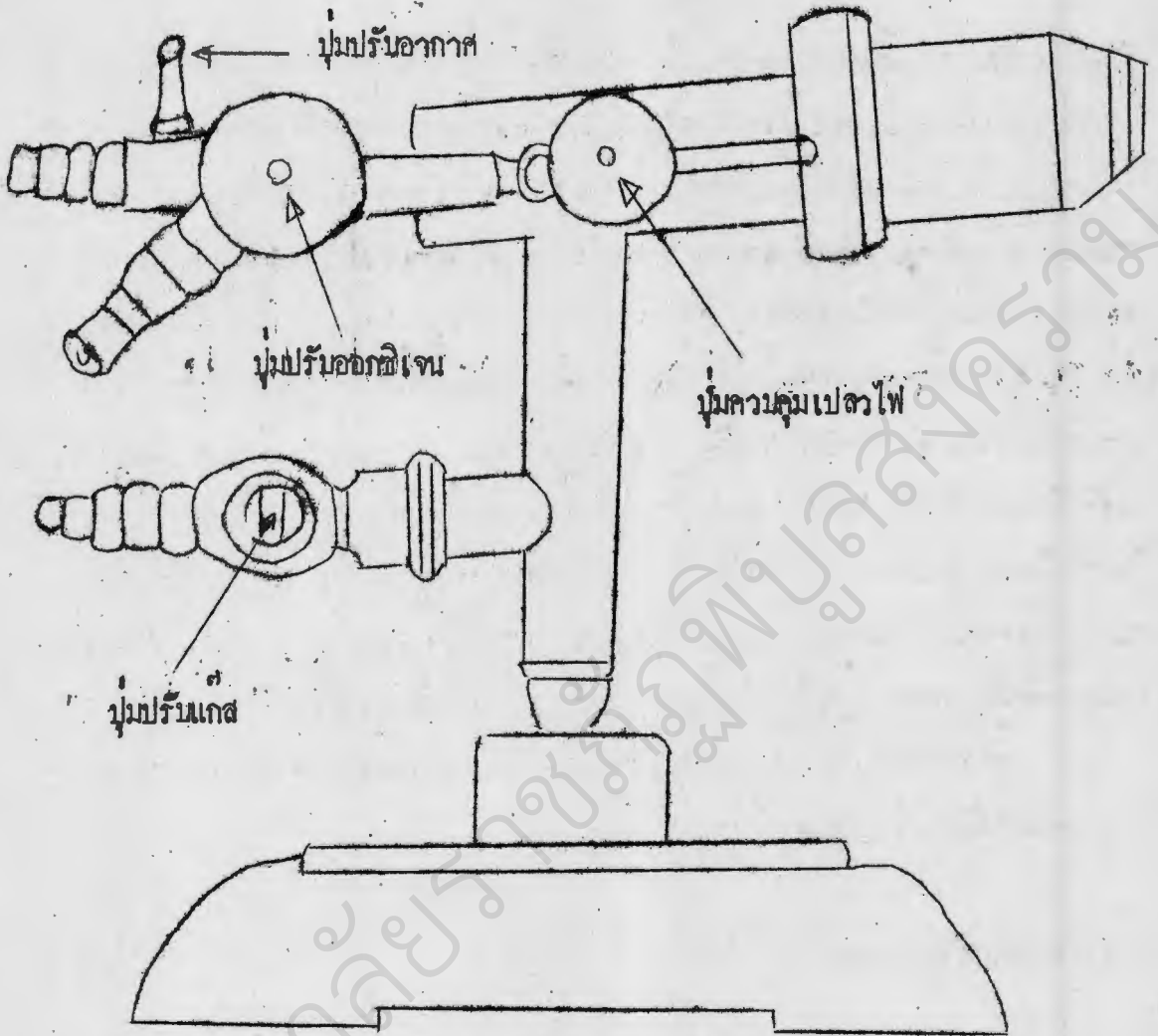
รูปที่ 7.1 ส่วนประกอบของตะเกียงเป่าแก๊สแบบมือถือ

วัตถุประสงค์ที่มีตามจับให้ถือสะดวกภายในเป็นท่อแก๊สเชื้อเพลิง ท่อนำอากาศอัดหรือท่อแก๊สออกซิเจน มีปุ่มควบคุมการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงและปุ่มควบคุมการไหลของแก๊สออกซิเจน ซึ่งท่อแก๊สแต่ละท่อนี้จะมารวมเป็นท่อเดียวกันในแก๊สผสมกันก่อนออกจากหัวเตา หัวเตาจะเปลี่ยนแบบและขนาดได้ตามต้องการ และหมุนเปลี่ยนทิศทางการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงให้ติดกับโต๊ะเป่าแก้วใหม่ซึ่งเป็นปุ่มควบคุมการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ทางซ้ายมือและปุ่มซึ่งเป็นปุ่มควบคุมการไหลของอากาศหรือออกซิเจนอยู่ทางขวามือ แล้วทดสอบอย่างละเอียดไปยังแก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนโดยมีวาล์วเปิดปิดวาล์วอยู่ในตำแหน่งรั้วมีเปิดปิดได้ การใช้ตะเกียงให้เปิดปุ่มแก๊สเชื้อเพลิงจุดไฟ แล้วปรับแก๊สให้เปลวไฟสีเหลืองสูงประมาณ 8 นิ้ว อย่าปล่อยให้แก๊สเชื้อเพลิงเข้าไปมากเพราะอาจจะทำให้เปลวไฟดับ แล้วจึงค่อย ๆ เปิดปุ่มอากาศอัดหรือออกซิเจนอย่างช้า ๆ ปรับจนเปลวไฟพอเหมาะแล้วผ่านแก๊สออกซิเจนเข้าไปปรับจนได้เปลวไฟโซนชั้นใน (zone) เป็นสีน้ำเงินสูงประมาณครึ่งนิ้ว เปลวไฟส่วนที่ร้อนที่สุดจะอยู่เหนือโซนสีน้ำเงินขึ้นไปเล็กน้อย

ผู้เริ่มฝึกหัดเป่าแก้วควรฝึกฝนวิธีการใช้ตะเกียงและปรับเปลวไฟให้เหมาะสมกับขนาดของแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่าง ๆ กันด้วย

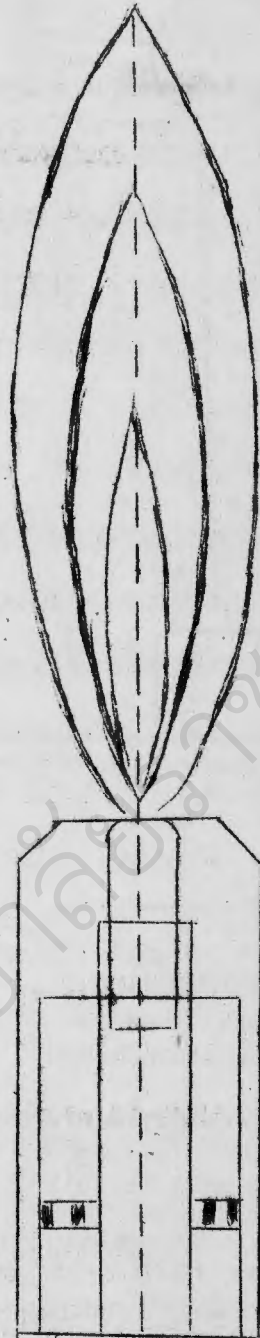
7.3 การทำความสะอาดแก้ว

แก้วชนิดต่าง ๆ ของทำความสะอาดก่อนที่จะนำมาตัดแปลงเป็นรูปต่าง ๆ ตามความต้องการ แก้วที่จะนำมาเป่าของสะอาดและแห้ง ผุ่นผงที่เกาะอยู่ที่ผิวแก้วถ้าไม่เช็ดให้สะอาดก่อนเป่าอาจจะมีผลต่องานแก้วที่เป่าเสร็จแล้ว บางครั้งอาจจะทำให้ชิ้นงานที่ทำเสร็จแล้วเกิดรอยร้าว หรือแตกได้ ถึงแม้ว่างานแก้วจะได้รับการอบเหนียว (Annealing) ไว้แล้วก็ตาม ถ้าแก้วใหม่มักจะไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องการทำทำความสะอาด ใช้ผ้าชุบน้ำกั้นเล็กน้อยใช้ผ้าชื้นเช็ดผ่นแก้วออกแล้วใช้ผ้าแห้งเช็ดซ้ำให้สะอาด ถ้าแก้วกลางข้างในสกปรกต้องทำความสะอาดด้วยโดยใช้น้ำล้างข้างใน แต่อาจสกปรกมาก ๆ อาจจะใช้ผงซักฟอกละลายน้ำล้างข้างในหลอดแก้วแล้วทองล้างควายน้ำหลาย ๆ ครั้งจนไม่มีสารตกค้างอยู่ในหลอดแก้ว และมือที่จับแก้วนั้นต้องสะอาด



รูปที่ 7.2 ตะเกียงเปล่าแก้วแบบตั้งโต๊ะ

การใช้ เปิดปุ่มปรับแก๊ส จุดไฟติดแล้วเพิ่มแก๊สให้เปลวไฟสูงประมาณ 15-20 เซนติเมตร จากนั้นเปิดปุ่มควบคุมเปลวไฟ เปิดออกซิเจน ปรับเปลวไฟ ตรงหัวตะเกียงเกิดสีฟ้ารอบ ๆ เปลวไฟ ต่อมาเปิดปุ่มปรับอากาศ เปลวไฟจะพุ่งแรงขึ้น เปลวไฟช่วงนี้ใช้กับแก้วอ่อนได้ ถ้าปรับเพิ่มออกซิเจน เข้าไปอีกจะได้เปลวไฟใช้กับแก้วบอโรซิลิเกตได้ ถ้าต้องการเปลวไฟใหม่ให้เพิ่มแก๊สก่อนและเพิ่มอากาศและออกซิเจนที่หลัง ถ้าเปลวไฟเล็กให้ลดแก๊สอากาศและออกซิเจน



Warming Zone
(Reduction Zone)

Hottest Zone
(Oxidation Zone)

Coollest Zone
(Blue Zone)

รูปที่ 7.3 แสดงโซนต่าง ๆ ของเปลวไฟ

ปราศจากฝุ่นผงและความชื้น เพราะในบางครั้งพวกรอยนิ้วมืออาจจะทำให้แก้วมีปัญหาได้เมื่อนำแก้วไปเข้าเตาเผาไฟ

ถ้าเป็นแก้วเก่าหรืออุปกรณ์แก้วที่โซลเว็กซ์ทำขึ้นมาซอมแซม มักจะมีปัญหาเมื่อนำมาซอมแซม ดังนั้นผู้นำเครื่องแก้วมาซอมแซมจึงควรทำความสะอาดแก้วเองให้สะอาดก่อนส่งซอม เพราะผู้ซอมทราบที่ว่าจะมีสารเคมีตกค้างอยู่และล้างออกได้หมด แต่ช่างเป่าแก้วควรทำความสะอาดใหม่ซ้ำเพื่อความปลอดภัยจากอันตรายที่อาจจะเกิดจากสารเคมีซึ่งอาจจะทำปฏิกิริยากับแก้วหรือเปลวไฟเมื่อถูกความร้อนจากเปลวไฟเวลาเป่าแก้ว การทำความสะอาดแก้วอาจทำได้ดังนี้

1. ใช้ดีโซลเว็กซ์ด้วยผ้าออบนุ่ม แล้วนำแก้วนั้นมาแช่ในสารละลายกรดกัดแก้ว (HF) เข้มข้นประมาณ 2-10 % (ถ้าสกปรกมากอาจใช้ถึง 10-40 %) เป็นเวลานานประมาณ 20 นาที ควรสวมถุงมือขณะทำงาน เพราะกรดกัดแก้วเป็นกรดที่อันตรายมาก ทำงานด้วยความระมัดระวัง กรดนี้จะกัดแก้ว ดังนั้นการเก็บกรดนี้จึงต้องเก็บไว้ในภาชนะที่ทำจากพลาสติก หลังจากแช่ในกรดกัดแก้วแล้วเอาไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 % นานประมาณ 5 นาที

2. ถ้าไม่ล้างด้วยสารละลายกรดกัดแก้วอาจใช้สารละลายทำความสะอาดเครื่องแก้ว (Cleansing solution mixture) Chromsulphuric acid ($H_2SO_4 + K_2Cr_2O_7 + H_2O$) ทำความสะอาดแทน

3. นำแก้วที่ทำความสะอาดด้วยสารละลายดังกล่าวแล้วมาล้างด้วยน้ำกั้นหลาย ๆ ครั้งจนสะอาด ใช้ดีโซลเว็กซ์จึงนำไปเป่าหรือซอมแซมต่อไป

ถ้าเป็นแก้วใหม่ที่จะนำมาเป่า ถ้าสกปรกนอกจากจะเช็ดด้วยผ้าออบก็ควรล้างด้วยน้ำยาล้างแก้วแล้วด้วย

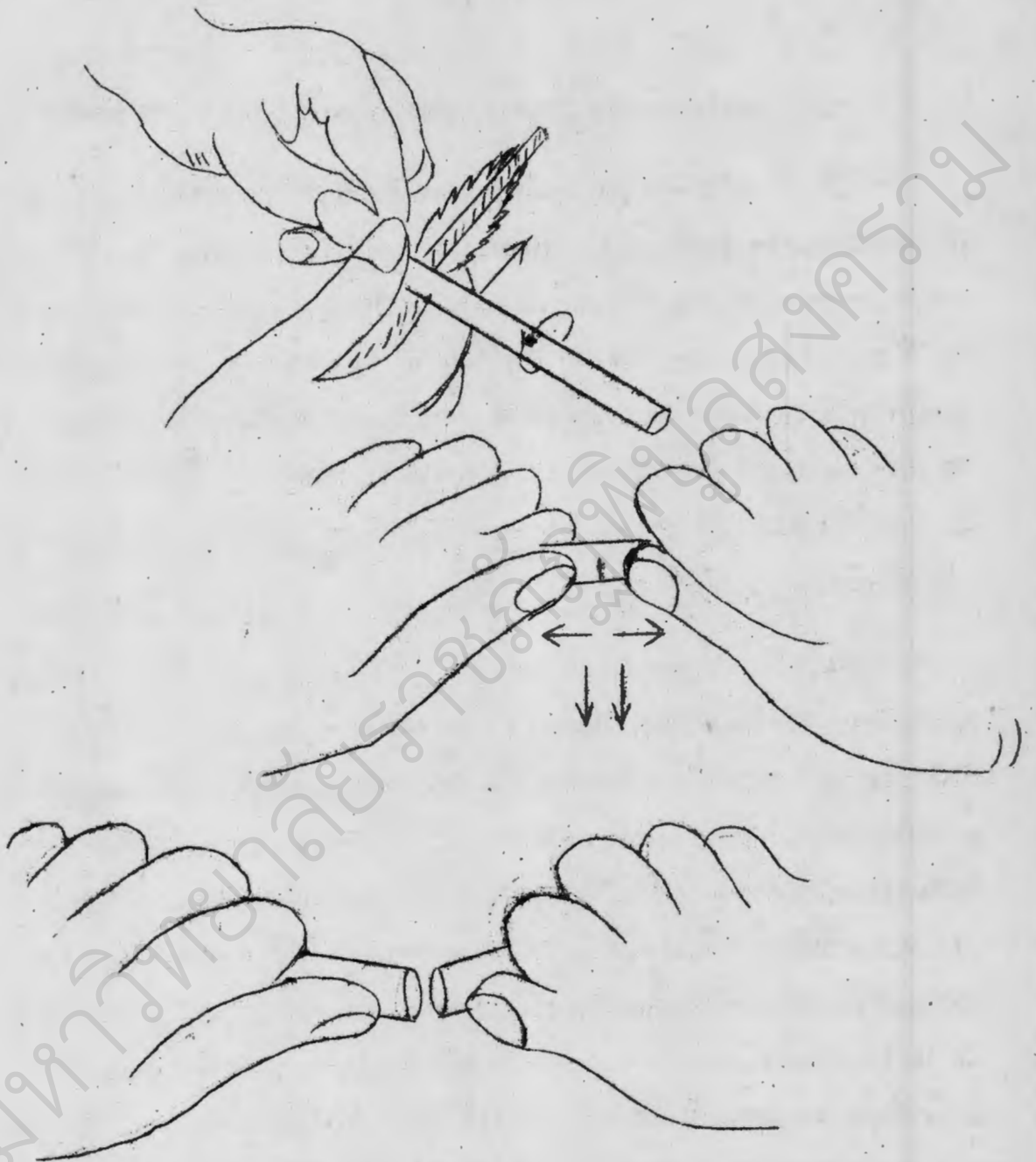
หมายเหตุ ไม่ควรใช้ตัวทำละลายสารอินทรีย์ เช่น อะซิโตน เป็นตัวทำความสะอาดแก้ว เพราะถ้ามีตัวทำละลายนี้เหลือตกค้างอยู่ เมื่อนำมาเผาอะซิโตนจะระเหยเป็นไอ ปริมาณของไอที่ฟุ้งกระจายในอากาศอาจมีสัดส่วนเป็นของผสมที่ไวต่อปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารนั้นกับออกซิเจนในอากาศอย่างรวดเร็วจนทำให้เกิดระเบิดได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายมาก

7.4 เทคนิคการตัดแกว

การตัดแกวทำให้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของแกว เทคนิคการตัดแกวมี่ดังนี้

7.4.1 การทำรอยกรีดบนแกวแล้วหักด้วยมือ การตัดแกวด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการเกี่ยวกับสมบัติของแกว คือเมื่อแกวถูกกรีดด้วยของมีคม จะทำให้แกวเกิดความเค้น จะทำให้รอยกรีดค่อย ๆ ขยายกว้างออกซึ่งจะทำให้แกวส่วนนี้เปราะง่ายต่อการหัก การตัดแกวด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับแกวกลางที่มีขนาดเล็กจนถึงแกวที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 mm และแกวที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 mm สำหรับผู้เริ่มเรียนการเป่าแกวนั้นควรเริ่มจากแกวขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 mm เสียก่อนแล้วค่อย ๆ ไซแกวที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การกรีดรอยบนแกวนั้นทำได้โดยใช้มีดตัดแกวไซตะไบแบน ตะไบสามเหลี่ยม ซึ่งการตัดแกวด้วยเครื่องมือแต่ละอย่างมีวิธีการดังนี้

7.4.2 การตัดแกวด้วยมีดตัดแกว มีวิธีทำ (ดังรูปที่ 7.3) ใช้มือซ้ายจับแกวให้กระชับ มือขวาจับมีดตัดแกว วางหัวแฉมือขวานบนแกวที่จะตัด ใจคมมีดอยู่ที่ติดกับแกวด้านตรงข้ามกับหัวแฉมือ มีดตัดแกวจะอยู่ในอุ้งมือของนิ้วทั้งสี่นิ้ว แล้วออกแรงกดลงบนนิ้วหัวแฉมือ พร้อมกับใช้อุ้งมือค้ำมีดให้กรีดลงบนแกว ขณะเดียวกันก็ค่อย ๆ หมุนให้นิ้วหัวแฉมือเลื่อนออกไปข้างหน้า จนได้รอยกรีดยาวตามความต้องการ ปกติจะกรีดยาวประมาณเศษหนึ่งส่วนสามหรือเศษหนึ่งส่วนสี่ของเส้นรอบวงของแกว เมื่อกรีดเป็นรอยแล้วทำให้รอยกรีดขึ้น ปกติใช้นิ้วหัวแฉมือขึ้น ๆ เขี่ยบนรอยกรีดนั้น จากนั้นจึงหักแกว โดยใช้มือซ้ายและมือขวากำแท่งแกวให้อยู่ในตำแหน่งราวหัว เข็มขัด โดยให้นิ้วหัวแฉมือทั้งสองอยู่ระหว่างรอยกรีดและให้หัวรอยกรีดอยู่คานกลางแล้วออกแรงที่หัวแฉมือทั้งสองข้างโดยกดแกวลงไปในลักษณะให้งอแกวขึ้นในขณะที่เดียวกันก็พยายามดึงแกวออกจากกันด้วย แกวจะหักออกจากกัน แต่ถาแกวไม่หักออกจากกันก็อย่ากดและดึงต่อ เพราะรอยกรีดที่กรีดไว้นั้นต้นเกินไป ถ้าหักจะทำให้แกวหักแหลมคมหรืออาจจะเป็นรูปปากกลม เพราะการงอแกวมากเกินไปหรืองอแกวเร็วมากเกินไป ให้ทำการกรีดซ้ำให้ลึกและกว้างกว่าเดิม โดยต้องให้อยู่ในแนวเดิมด้วย แล้วจึงหักใหม่ตามวิธีเดิมโดยดึงแกวและงอแกวให้สัมพันธ์กันมากกว่าเดิม



รูปที่ 7.4 การกรีก รอยบน แกวแล้ว หักด้วยมือ

7.4.3 การตัดแแก้วโดยการเผาที่รอยกรีดของแแก้ว ทำรอยกรีดบนแแก้วให้ลึกพอควรตามวิธีที่กล่าวมาแล้ว แล้วปรับเปลี่ยนไฟตะเกียงเป่าแแก้วให้โตเปลาไฟที่เล็กและร้อนที่ปลายคานหนึ่งของรอยกรีด รอยกรีดจะขยายออกไปจนรอบหลอดแแก้ว หักเบา ๆ แแก้วจะหักออกจากกัน

7.4.4 การตัดแแก้วควยแแก้วตันที่ร้อน การตัดแแก้วโดยวิธีนี้เหมาะสำหรับตัดหลอดแแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดกว้าง ๆ หรือหลอดแแก้วที่ติดอยู่กับเครื่องแก้วอื่น วิธีทำกรีดหลอดแแก้วที่จะตัดออกให้เป็นรอยยาวประมาณเศษหนึ่งส่วนสามของเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดแแก้วที่จะตัด แลวนำแท่งแแก้วตันเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4-6 mm มาเผาปลายข้างหนึ่งในหลอดแล้วเอามาจี้ตรงปลายคานใดคานหนึ่งของรอยกรีดจะทำให้เกิดรอยร้าวและรอยร้าวจะขยายตัวออกมากยิ่งขึ้นจนรอบ ๆ หลอดแแก้ว เคาะเบา ๆ หลอดแแก้วก็จะหักออก

7.4.5 การตัดแแก้วควยเครื่องตัดแแก้ว วิธีนี้เหมาะสำหรับตัดแแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง ๆ จนต้องใช้เครื่องมือตัดแแก้ว เครื่องตัดแแก้วแต่ละชนิดอาจแตกต่างกันไป แต่ตัวเครื่องตัดแแก้วเป็นเลื่อยติดอยู่กับหัวเลื่อยซึ่งทำควยคาร์ไบด์ (Carborundum) ใบเลื่อยหมุนควยความเร็วคงที่ ส่วนกลางของใบเลื่อยอยู่ในอ่างน้ำซึ่งวางอยู่ที่ใต้แท่นวางแแก้ว ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ใบเลื่อยร้อนขณะใช้งานและลดการเสียดสีระหว่างใบเลื่อยกับแแก้วที่ตัด การตัดให้ใส่แท่งแแก้วที่ต้องการตัดเข้าไป ขณะตัดแแก้วต้องทำการหมุนแแก้วตลอดเวลาช้า ๆ จนเลื่อยตัดแแก้วได้ครบเส้นรอบวงของแแก้ว จะมีสีเกิดขึ้นตรงรอยตัดซึ่งกำจัดได้โดยใช้เปลวไฟเผา

แแก้วที่ตัดแล้วจะมีรอยคมตรงบริเวณที่ตัด ถ้าไม่ต้องการนำบริเวณที่มีรอยคมไปต่อกับแแก้วอื่นก็ต้องลบรอยคมเสียโดยการนำไปเผาในเปลวไฟ

7.5 การเผาแแก้วและการจับแแก้ว

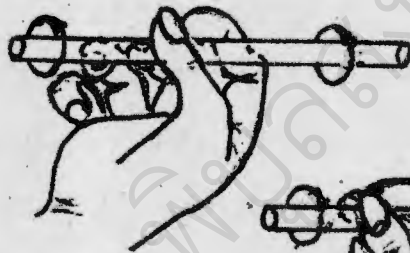
การสร้างเครื่องแก้วทุกชนิดต้องทำการเผาแก้วให้อ่อนตัวและหลอมแก้วเพื่อเปลี่ยนรูปร่างให้ไปตามต้องการ การเผาแก้วที่อุณหภูมิห้องของเผาแก้วให้ร้อนจนถึงจุดทำงาน

(Working point) ของแก๊วโดยใช่เปลวไฟ หลักในการเผาแก๊วต้องเริ่มด้วยการ
 อุ่นแก๊วให้ร้อนขึ้นเสียก่อน (ถ้าข้างเป่าแก๊วเผาในเปลวไฟที่อุณหภูมิสูงทันทีแก๊วมีแนวโน้มจะแตก
 กระจาย) โดยการปรับเปลวไฟให้มีอุณหภูมิต่ำ (โดยการควบคุมให้ให้มีปริมาณออกซิเจนน้อย)
 จนเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ เปลวไฟจะมีสีเหลืองส้ม ๆ มีเขม่าเล็กน้อย เผาจน
 โมเลกุลของสารในเนื้อแก๊วค่อย ๆ ขยายตัวออกจากกัน จึงปรับเปลวไฟให้ออกซิเจนมาก ปรับ
 เปลวไฟให้อุณหภูมิสูงโดยการปรับปุ่มแก๊ส เชื้อเพลิง ปุ่มออกซิเจนของตะเกียงเป่าแก๊ว การปรับ
 ขนาดของเปลวไฟขึ้นอยู่กับขนาดของหลอดแก๊วที่จะเป่า ถ้าต้องการให้หลอดแก๊วถูกเปลวไฟครั้ง
 หนึ่งหรือคานหนึ่งของเส้นรอบวงพร้อม ๆ กัน จะต้องปรับเปลวไฟให้มีขนาดประมาณเส้นผ่าศูนย์กลาง
 กลางของหลอดแก๊ว ถ้าต้องการเผาเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งของหลอดแก๊วก็ปรับเปลวไฟให้มีขนาด
 เล็ก การเผาแก๊วคือการเผาผนังหรือผิวคานนอกของแหงแก๊ว เมื่อเผาจนแก๊วหลอมเหลวจะเกิด
 การหลอมตัวของเนื้อแก๊ว ซึ่งเรียกส่วนที่หลอมเหลวนี้ว่า พลาสติก (Plastic) เมื่อแก๊ว
 หลอมตัวส่วนที่หลอมเหลวจะยอยลงส่วนกลางตามแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นในระหว่างที่เผาต้อง
 หมุนแก๊วตลอดเวลาเพื่อให้ส่วนที่เป็นพลาสติกยังคงติดอยู่ที่เนื้อแก๊วตามเดิม จะทำให้เกิดการไหล
 ของแก๊วหลอมไปรวมกันเอง ทำให้แก๊วบริเวณที่หลอมเหลวเป็นพลาสติกหนาเพิ่มขึ้น ในภาวะที่
 แก๊วหลอมเหลวเป็นพลาสติกนี้เท่านั้น ที่ข้างเป่าแก๊วสามารถจะเป่าหรือคักเปลวไฟให้เป็นรูปอะไร
 ก็ได้ตามความต้องการ แต่ถาพณสภาวะนี้ไปแล้วจะไม่สามารถเป่าได้ตามต้องการ ต้องหลอมเหลว
 ใหม่ และการจับแก๊วในสภาวะหลอมเหลวนั้นสิ่งที่สำคัญมากคือ การจับแหงแก๊วให้ถูกวิธี โดยการจับ
 แก๊วหมุนแก๊วตามแนวแกนของแหงแก๊วตลอดเวลา เพื่อป้องกันการไหลยอยลงของแก๊วที่หลอมเหลว
 การจับแก๊วที่ถูกวิธีแสดงดังรูปที่ 7.4

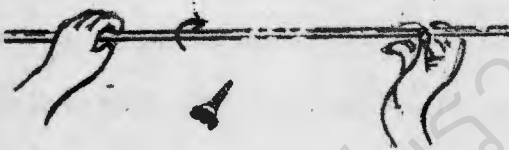
ไข่มือช่วยบอกว่าเผ่ามื่อองจับหลอดแก๊ว โดยใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้จับตะหลอดแก๊ว ส่วน
 อีกสามนิ้วที่เหลืออรอบแหงแก๊วและตะแหงแก๊วเบา ๆ หมุนแก๊วโดยใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้คั้น
 แก๊วให้หมุนไปรอบ ๆ แนวแกนแบบตามเข็มนาฬิกา การเลื่อนนิ้วเพื่อหมุนแก๊วแต่ละครั้งทำให้แก๊ว
 หมุนไปเกินกว่าครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงของแหงแก๊ว การจะหมุนแก๊วให้ได้เร็วเพียงไรขึ้นอยู่กับ



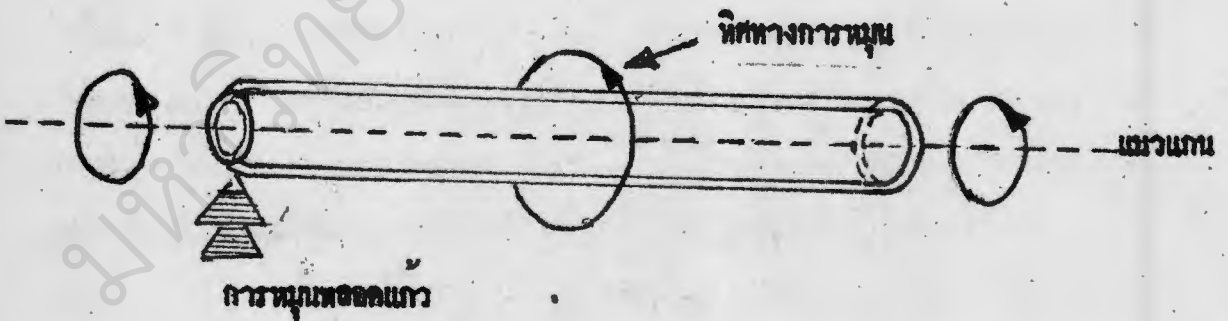
จับแท่งแกวควมมือซ้าย



จับแท่งแกวควมมือขวา



จับแท่งแกวสองมือ



รูปที่ 7.5 การจับและการหมุนแท่งแกว

การฝึกฝนและความคล่องตัวในการเลื่อนนิ้ว ข้างเป่าแก้วที่มีความชำนาญมากบางท่านใช้เวลาในการฝึกฝนการหมุนแก้วเป็นเวลานาน (ผู้เขียนเคยเรียนวิชาการเป่าแก้วระดับกลางกับช่างเป่าแก้วผู้เชี่ยวชาญชาวเยอรมัน ให้ชมดูว่าช่างเป่าแก้วที่ฝึกเป่าแก้วจริง ๆ นั้นต้องใช้เวลาเบื้องต้นในการฝึกฝนการหมุนแก้วถึงหกเดือน เพื่อให้ฝึกหมุนแต่งแก้วได้อย่างคล่องแคล่วจนเป็นอัตโนมัติ โดยในเวลารว่าง ๆ ก็ใช้แท่งหินสอดต่อกวียนนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้หมุนและประกองดังกล่าวดำแล้วจนมือสัมพันธ์กันโดยอัตโนมัติ)

การหมุนแต่งแก้วต้องหมุนให้ต่อเนื่องและฝึกฝนด้วยตนเอง ให้หมุนแก้วไปอย่างสม่ำเสมอ ๆ ไม่เกิดการกระตุกมือ ส่วนมือขวาที่จับแก้วอีกแห่งหนึ่งต้องจับในลักษณะที่หงายมือ การจับแบบหงายมือจะมีความคล่องตัวโดยเฉพาะเมื่อจะเป่าลมควยปากเข้าไปในท่อของหลอดแก้ว การหมุนแก้วควมมือขวาก็ทำเช่นเดียวกับมือซ้าย ถ้ามองจากปลายแก้วตามแนวแกนของแก้วจะเห็นว่าหมุนวนเข็มนาฬิกา ถ้ามือซ้ายและมือขวาถือแต่งแก้วคนละแห่ง มือทั้งสองก็จะเป็นอิสระแก่กัน แต่ถาถือแต่งแก้วแต่งเดียวกันหรือถ้าเป็นแก้วสองแห่งห้อมเหลวแล้วนำมาตะกัน การหมุนแก้วทั้งสองมือจะต้องสัมพันธ์กัน ต้องหมุนไม่ให้แก้วคองหรือบึกเบี้ยว โดยใช้นิ้วมือซ้ายหมุนรอบแนวแกนในแนวเดียวกัน มือขวาจะหมุนแก้วตามไปคยแต่เป็นการหมุนเพียงเพื่อรักษาแก้วให้ตรงไม่บึกเบี้ยวเท่านั้น

การจะคัดแปลงแต่งแก้วให้เป็นรูปร่างตามความต้องการของเผาจนแก้วห้อมเหลวเป็นพลาสติก แล้วจึงตั้งต้น โค้งงอ เป่าลมควยปากหรือการใช้อุปกรณ์ในการเป่าแก้วอื่น ๆ ขวานั้นช่างเป่าแก้วจะต้องทำงานด้วยความรวดเร็ว มีสมาธิแน่นอน เชื่อมั่นในตัวเอง การทำงานแก้วขึ้นใด ๆ ก็ตาม จะต้องทำให้เสร็จสิ้นในขณะที่แก้วห้อมเหลวอยู่เท่านั้น ถ้าแก้วเย็นตัวของเขาไฟไหม้ และทำงานช้า ๆ จนกว่าชิ้นงานจะเสร็จเรียบร้อยสวยงาม คงทนตามต้องการ เมื่อทำเสร็จแล้วต้องทำการอบแก้ว (แอนนิล) เพื่อป้องกันแก้วแตกกราวเมื่อเริ่มเย็น

7.6 การตรวจสอบชนิดของแก้ว

แก้วมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไป ซึ่งส่วนประกอบทางเคมีของแก้วที่แตกต่างกันนี้เป็นผลทำให้สมบัติทางกายภาพของแก้วแต่ละชนิดแตกต่างกันไปคล้าย เช่น ความแข็งของเนื้อแก้ว ความทนทานต่อความร้อนและสารเคมีและสมบัติทางกลอื่น ๆ แต่สมบัติที่แตกต่างกันทางกายภาพที่สำคัญทางด้านการเป่าแก้วคือสมบัติทางกลสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของแก้วแต่ละชนิดซึ่งแตกต่างกัน ฉะนั้นถ้านำแก้วแต่ละชนิดที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นแตกต่างกันมาใช้รวมกัน เช่นนำมาต่อเข้าด้วยกันจะทำให้แก้วที่ต่อเข้าด้วยกันเกิดรอยร้าวหรือแตกหักได้ เมื่อแก้วเย็นตัวลง เพราะเหตุว่าแก้วต่างชนิดกันมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นแตกต่างกัน ดังนั้นก่อนจะทำงานเกี่ยวกับการต่อแก้วจึงต้องตรวจสอบให้แน่ใจเสียก่อนว่าแก้วที่นำมาต่อเข้าด้วยกันนั้นเป็นแก้วชนิดเดียวกัน วิธีที่ดีที่สุดที่จะป้องกันไม่ให้แก้วแต่ละชนิดปะปนกันก็คือต้องจัดเรียงแก้วแยกไว้เป็นพวก ๆ แต่ละชนิด แต่ละขนาด แก้วที่ใส่มากในช่องเป่าแก้วคือแก้วแข็งและแก้วอ่อน ถ้าไม่แน่ใจว่าแก้วที่นำมาต่อจะเป็นแก้วชนิดใดและเป็นแก้วชนิดเดียวกันหรือไม่ ก็มีวิธีทดสอบแก้วแข็งและแก้วอ่อนได้ดังนี้

7.6.1 การตรวจสอบด้วยเปลวไฟจากแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศ (Gas-air flametest) วิธีตรวจสอบโดยใช้หลักความแตกต่างของอุณหภูมิของจุดทำงาน (working point) ของแก้วแต่ละชนิดเป็นสมบัติเฉพาะตัวในการตรวจสอบ นำแก้วที่สงสัยมาต่อเชื่อมกับแก้วอ่อน (จุดทำงาน 1000°C) โดยใช้เปลวไฟจากตะเกียงเป่าแก้วที่ใช้แก๊สและอากาศเป็นเชื้อเพลิง ถ้าต่อเชื่อมกันได้แสดงว่าแก้วที่สงสัยเป็นแก้วอ่อนเช่นเดียวกัน แต่ถ้าแก้วที่สงสัยไม่สามารถเชื่อมตัวเชื่อมติดกับแก้วอ่อนที่นำมาเป็นตัวทดสอบได้ แสดงว่าเป็นแก้วแข็งเพราะอุณหภูมิของเปลวไฟจากตะเกียงแก๊สและอากาศไม่สูงพอที่จะทำให้แก้วแข็งอ่อนตัวจนถึงจุดทำงานได้ (จุดทำงานแก้วแข็ง 1220°C) จึงไม่เชื่อมติดกัน

7.6.2 การตรวจสอบแบบแก้วทรงกลม (Glass sphere test) เปลาไฟท์ใช้ตรวจสอบจากตะเกียงเป่าแก้วใช้แก๊สเชื้อเพลิงกับออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงทำการตรวจสอบโดยนำเศษแก้วที่สงสัยชิ้นหนึ่งมาทดสอบเข้ากับปลายคานหนึ่งของแก้วแข็ง แล้วเผาเศษแก้วชิ้นที่สงสัยนั้นในหอนั่วจนเป็นก้อนทรงกลม เอาออกจากเปลาไฟท์แล้วทำให้เย็นโดยการเป่าอากาศลงบนแก้วทรงกลมนั้น ถ้าแก้วทรงกลมเกิดรอยร้าวแสดงว่าแก้วที่นำมาตรวจสอบไม่ใช่แก้วแข็ง

7.6.3 การตรวจสอบแก้วโดยวิธีของเหลว (Liquid method) การตรวจสอบแก้วโดยวิธีนี้อาศัยสมบัติเฉพาะตัวของแก้วแต่ละชนิดที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงแตกต่างกัน วิธีทดสอบทำได้โดยจุ่มแก้วที่สงสัยลงในของเหลวที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับค่าดัชนีหักเหของแก้วแข็ง ถ้าแก้วที่สงสัยเป็นแก้วแข็งก็จะมองไม่เห็นแก้วส่วนที่จุ่มอยู่ในของเหลวนั้น แต่ถ้าเป็นแก้วชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แก้วแข็งจะมองเห็นแก้วส่วนที่จุ่มอยู่ในของเหลวได้ชัดเจน

ของเหลวหรือสารละลายที่ใช้เป็นตัวทดสอบมีส่วนผสมดังนี้คือ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) 59 ส่วน คอเบนซีน (C_6H_6) 41 ส่วน โดยปริมาตรหรืออาจจะใช้สารละลายที่เป็นส่วนผสมของ เมทิลแอลกอฮอล์ (CH_3OH) 16 ส่วน ผสมกับเบนซีน 84 ส่วนโดยปริมาตร ซึ่งสารละลายผสมทั้งสองชนิดนี้ระเหยได้จึงต้องเก็บไว้ในขวดปิศาจให้แน่นป้องกันการระเหย เพราะถ้าระเหยไปจะทำให้อัตราส่วนผสมของสารละลายผิดไป ซึ่งจะเป็นผลทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงของสารละลายเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้ผลการตรวจสอบชนิดของแก้วผิดพลาดไป

7.6.4 การตรวจสอบด้วยวิธีดึงเป็นเส้น (Thread method) วิธีนี้ใช้แก้วแข็งเป็นตัวตรวจสอบ นำแก้วที่สงสัยมาตรวจสอบโดยเผาปลายคานหนึ่งแล้วเผาเชื่อมต่อกับแท่งแก้วแข็งที่ใช้เป็นตัวตรวจสอบโดยเชื่อมผิวคานข้างให้ติดกันแล้วดึงแก้วให้ยืดออกเป็นเส้น โดยออกแรงดึงที่มือที่จับแก้วอยู่ หลังจากนั้นก็ทิ้งไว้ให้เย็น ถ้าแก้วที่ดึงไว้ยังเป็นเส้นตรงอยู่แสดงว่าแก้วที่สงสัยเป็นแก้วแข็ง แต่ถ้าแก้วที่เย็นแล้วเป็นเส้นโค้งงอ แสดงว่าแก้วที่สงสัยนั้นไม่ใช่แก้วแข็ง อาจจะเป็นแก้วอ่อนหรือแก้วชนิดอื่น ๆ เหตุที่งอโค้งเพราะว่าสมบัติการขยายตัวเชิงเส้นของแก้ว

แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น แก้วอ่อนจะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นสูงกว่าแก้วแข็ง ดังนั้นเมื่อทำให้อุ่นก็จะขยายตัวไ้มากกว่า และเมื่อเชื่อมกับแก้วแข็ง (ทางคานข้างตั้งเป็นเส้น) เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นแก้วอ่อนจะขยายตัวมากกว่าแก้วแข็ง จึงทำให้เส้นแก้วที่ยึดไว้ออโค้งมาทางคานแก้วอ่อน แต่ถาเป็นแก้วชนิดที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นต่ำกว่าแก้วแข็งเช่น พวกแก้วควอทซ์หรือซิลิกา 96 % เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยวิธีเดียวกันนี้ เส้นแก้วที่เย็นลงจะโค้งงอไปทางคานแก้วแข็ง เพราะแก้วแข็งขยายตัวเมื่อร้อนและหดตัวเมื่อเย็นไ้มากกว่าแก้วควอทซ์

7.7 ชนิดของการเป่าแก้ว

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการเป่าแก้วคือการนำเอาแก้วมาดัดแปลงโค้ง งอ ตัด ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามความต้องการ การเป่าแก้วถาแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งานแบ่งได้เป็นสองชนิดคือ การเป่าแก้วทางวิทยาศาสตร์ และการเป่าแก้วทางศิลป์ (หัวข้อ 7.1.1, 7.1.2) แล้วการเป่าแก้วยังแบ่งตามลักษณะของการสร้างงานแก้วได้สองชนิดคือ

7.7.1 การเป่าแก้วโดยไม่ใช้ตะเกียงเป่าแก้วเป็นวิธีแบบเก่าที่ใช้มานาน การเป่าแก้วโดยวิธีนี้ทำได้โดยนำสารที่เป็นองค์ประกอบของแก้วแต่ละชนิดมารวมกันแล้วหลอมให้หลอมเหลว จากนั้นนำของเหลวไปรวมกันไว้ที่ปลายท่อที่ทำด้วยเหล็กเพื่อใช้ในการเป่า มีที่ตักแต่งรูปร่างให้ได้ตามต้องการโดยใช้แผ่นไม้ แล้วทำการเป่าจากปลายท่อเหล็กอีกด้านหนึ่ง ข้างเป่าแก้วโดยวิธีนี้ต้องมีความชำนาญเป็นพิเศษและในบางครั้งอาจจะต้องมีผู้ช่วยในการทำงาน และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการตั้งรานเป่าแก้วสูง

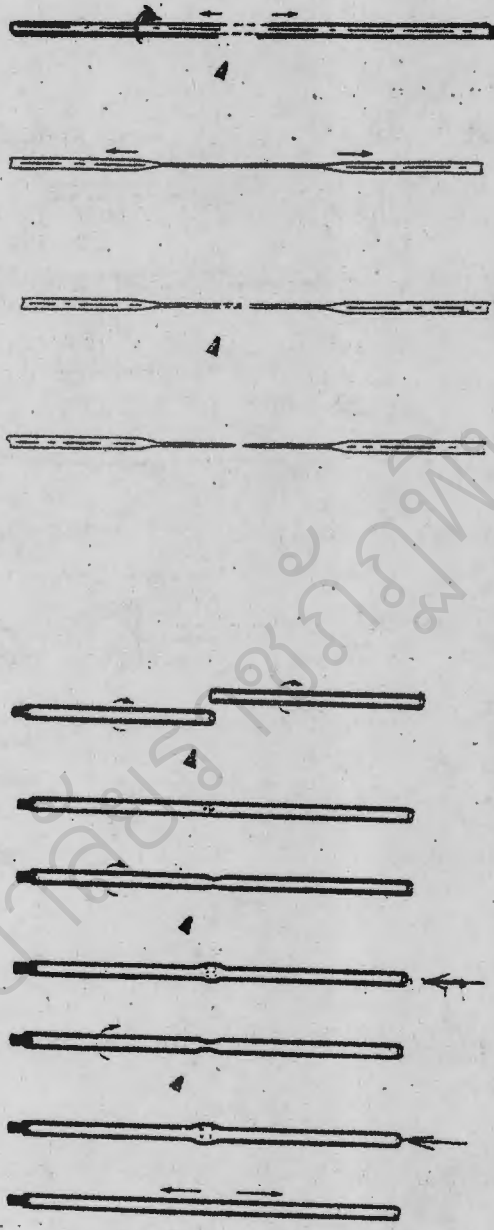
7.7.2 การเป่าแก้วโดยใช้ตะเกียงเป่าแก้ว ใช้หลักการเผาแท่งแก้วที่ต้องการจะเป่าให้หลอมเหลวจนถึงจุดทำงานของแก้วแต่ละชนิด แล้วเปลี่ยนแปลงดัดแปลงแก้วที่หลอมเหลวแล้วให้เปลี่ยนเป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามความต้องการใช้งานทางคานวิทยาศาสตร์หรือการใช้งานทางคานศิลปะ การจะเป่าแก้วให้ได้ดีเพียงไ้มันขึ้นอยู่กับกาฝึกฝน ความชำนาญ

ความมีพรสวรรค์และจินตนาการของช่างเป่าแก้วแต่ละคน การเป่าแก้วโดยวิธีใช้ตะเกียงเป่าแก้วนี้เป็นวิธีที่สะดวกและง่ายต่อการฝึก การเรียนรู้หลักการเป่าแก้วเบื้องต้น การเป่าโดยวิธีนี้สามารถจะเป่าโดยลำพังคนเดียวได้

งานเป่าแก้วเป็นวิชาที่ยังมีการสอนไม่แพร่หลายมากนัก ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่างานเป่าแก้วเป็นงานที่ต้องอาศัยการฝึกฝนด้วยตนเองเป็นส่วนมาก และเป็นวิชาที่จะยึดเป็นอาชีพเฉพาะที่มีรายได้ดีได้อีกอาชีพหนึ่ง ดังนั้นงานเป่าแก้วจึงมักจะไม่ค่อยมีการถ่ายทอดกันแพร่หลายนัก ช่างเป่าแก้วมักจะได้รับความรู้เกี่ยวกับการเป่าแก้วของตนเองเป็นความลับ การเรียนวิชาการเป่าแก้วจึงมักเรียนกันสองวิธีคือ การเรียนรู้จากผู้ชำนาญการเป่าแก้วโดยเฉพาะ และการเรียนรู้โดยผู้เรียนฝึกด้วยตนเอง จากความพยายามทดลองเป่า ปฏิบัติทั้งแบบถูกวิธีและไม่ถูกวิธี จนกว่าจะชำนาญไปเอง ซึ่งวิธีหลังนี้อาจจะต้องใช้เวลาทดลองผิดทดลองถูกนานมากทำให้เสียเวลา

ในการเขียนเอกสารคำสอน การเป่าแก้วเบื้องต้นนี้ มีจุดมุ่งหมายกว้าง ๆ เพื่อให้ความรู้เรื่องแก้วและแนะนำเทคนิคและวิธีการเป่าแก้วทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้ตะเกียงเป่าแก้วฝึกหัดหลักการเป่าแก้วเบื้องต้น เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนการเป่าแก้วให้ถูกหลักการตามคำแนะนำวิธีเป่าแก้วที่ถูกต้อง เพื่อให้เกิดความชำนาญขึ้นเองโดยใช้เวลาไม่มากนัก และสามารถสร้างอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ประจำในห้องปฏิบัติการ และซ่อมแซมอุปกรณ์เครื่องแก้วได้บาง ซึ่งผู้ที่มีพรสวรรค์ทางด้านนี้อาจจะฝึกฝนจนเป็นช่างเป่าแก้วที่มีความชำนาญต่อไปในอนาคต

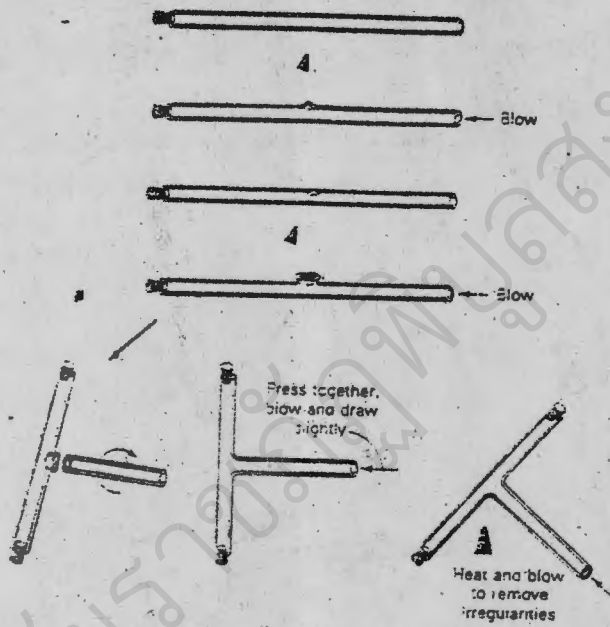
ในการสอนฝึกปฏิบัติการเป่าแก้วในรายวิชานี้ จะให้ผู้เรียนฝึกการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเป็นแต่ละชนิด ๆ ไป พร้อมกับหัดซ่อมเครื่องแก้วที่ชำรุดที่ซ่อมไม่ยากนัก เพื่อว่าผู้เรียนจะสามารถทำงานเหล่านี้ได้เองโดยไม่ต้องซื้ออุปกรณ์สำเร็จรูปซึ่งมีราคาแพงมาก หรืออาจจะฝึกจนชำนาญยึดถือเป็นอาชีพที่มีรายได้สูงได้อีกอาชีพหนึ่ง



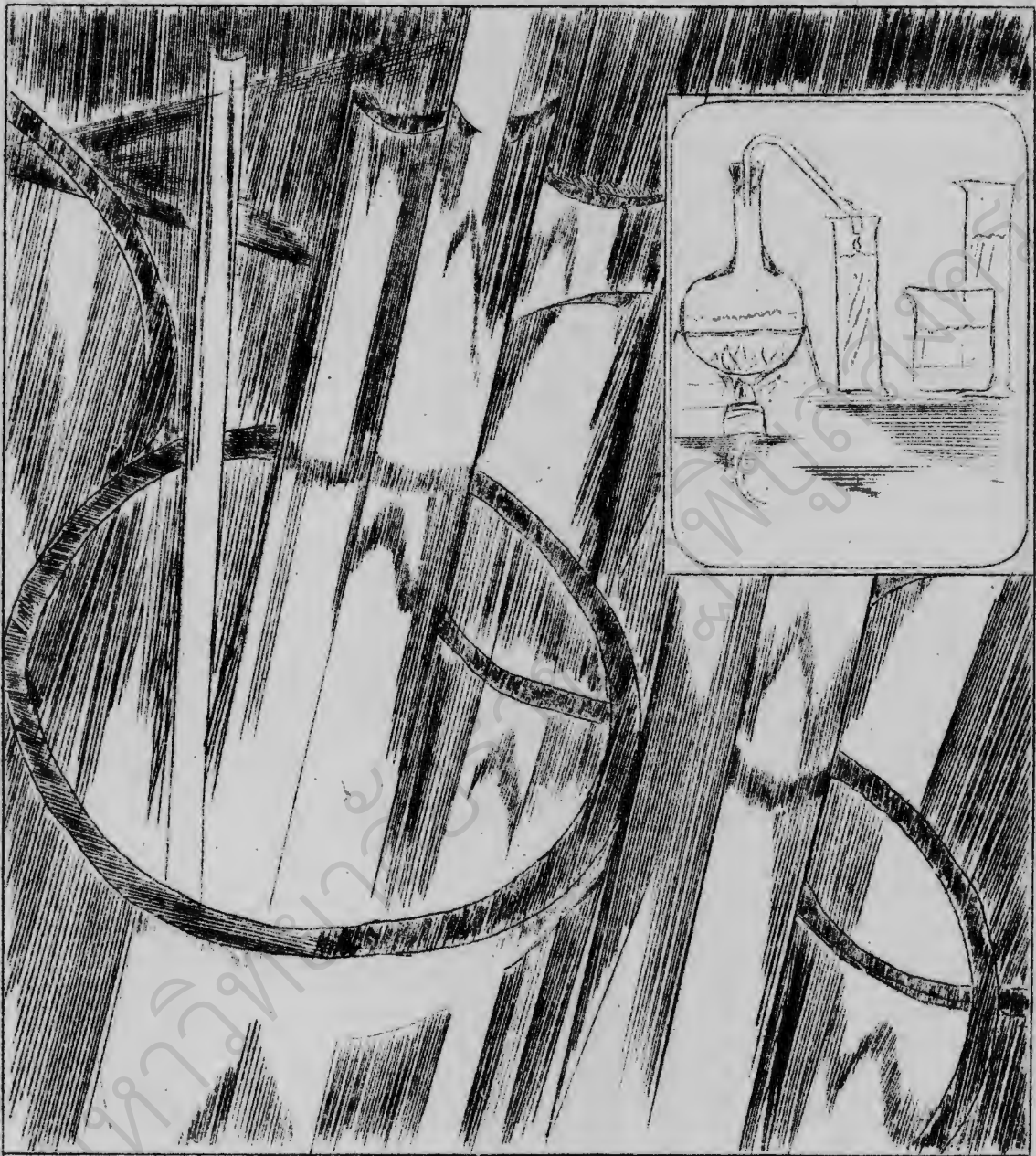
แป้

แป้และคิงเข่า ๗

รูปที่ 7.6 การบีกแก้วและทอแก้ว



รูปที่ 7.7 การท่อนแก้วรูปตัวที (T)



รูปที่ 7.8 แท่งแก้วที่ใช้เป่าแก้ว

ปฏิบัติการเป่าแก้วเบื้องต้น

แผนการสอน

- 8.1 การยัดแก้ว
- 8.2 การทำแท่งแก้วคน
- 8.3 การทำหลอดหยด
- 8.4 การเป่าหลอดทดลอง
- 8.5 การต่อแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่าง ๆ
- 8.6 การเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะ
- 8.7 การงอหลอดแก้ว
- 8.8 การเป่าหลอดแก้วให้เป็นข้อ

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากจบบทเรียนบทนี้แล้ว นักศึกษาต้องทำสิ่งต่อไปนี้ได้คือ

1. ยัดแก้วใต้อย่างน้อย 2 แท่ง
2. ทำแท่งแก้วคนใต้อย่างน้อย 2 แท่ง
3. ทำหลอดหยดใต้อย่างน้อย 2 หลอด
4. เป่าหลอดทดลองใต้อย่างน้อย 2 หลอด
5. ต่อแก้วขนาดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน ต่างกันไม่มากนัก และต่างกันมากอย่างน้อยใต้อย่างละ 1 ชิ้นงาน
6. เป่าแก้วให้เป็นกระเปาะ ใต้อย่างน้อย 3 ชิ้นงาน คือ กระเปาะแขนเดียว 2 ชิ้น และกระเปาะสองแขน 1 ชิ้น

7. ท่องงอหลอดแก้ว 90° และหลอดแก้วตัวยูได้ อย่างน้อยอย่างละ 1 ชิ้นงาน
8. ท่องเป่าหลอดแก้วให้เป็นข้อใดอย่างน้อย 2 ชิ้นงาน โดยเป่าให้ปลายหลอดมีข้อข้างละ 3 ข้อ
9. ออกแบบควยตนเอง 1 ชิ้นงาน เป่าให้สำเร็จ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ใช้วิธีอธิบายพร้อมทั้งสาธิตการเป่าแก้วแต่ละแบบตามหัวข้อ 8.1-8.8 โดยสอนครั้งละ 1 หัวข้อ
2. ใช้วิธีแนะนำเทคนิคและวิธีการรายละเอียดค่อยๆ เพื่อให้การดำเนินการปฏิบัติการเป่าแก้วแต่ละหัวข้อได้ผลสำเร็จ ได้ชิ้นงานที่ทนทาน สวยงามเหมาะแก่การใช้งาน
3. ให้นักศึกษาทำการเป่าแก้วทุกชิ้นงานตามที่กำหนดไว้ในจุดประสงค์ของบทเรียน
4. ให้นักศึกษาออกแบบชิ้นงานควยตนเองและเป่าให้สำเร็จ

สื่อการสอน

1. ตัวอย่างชิ้นงานทุกชิ้นงานตามเนื้อหาในหัวข้อ 8.1-8.8
2. อุปกรณ์และเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเป่าแก้ว (บอกไว้ในเนื้อหาแต่ละหัวข้อ)

การประเมินผล

1. สังเกตจากชิ้นงานที่ทำ
2. ตรวจสอบจำนวนชิ้นงานที่ทำได้ครบตามที่กำหนด
3. สังเกตจากประสิทธิภาพการใช้งานของแต่ละชิ้นงานได้ผลดีหรือไม่
4. สังเกตจากทักษะความสามารถในการทำงานได้ถูกต้องตามขั้นตอนลำดับการเป่าแก้ว
5. สังเกตการมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์จากชิ้นงานที่ให้ออกแบบเอง

ปฏิบัติการที่ 1

การยัดแก้ว

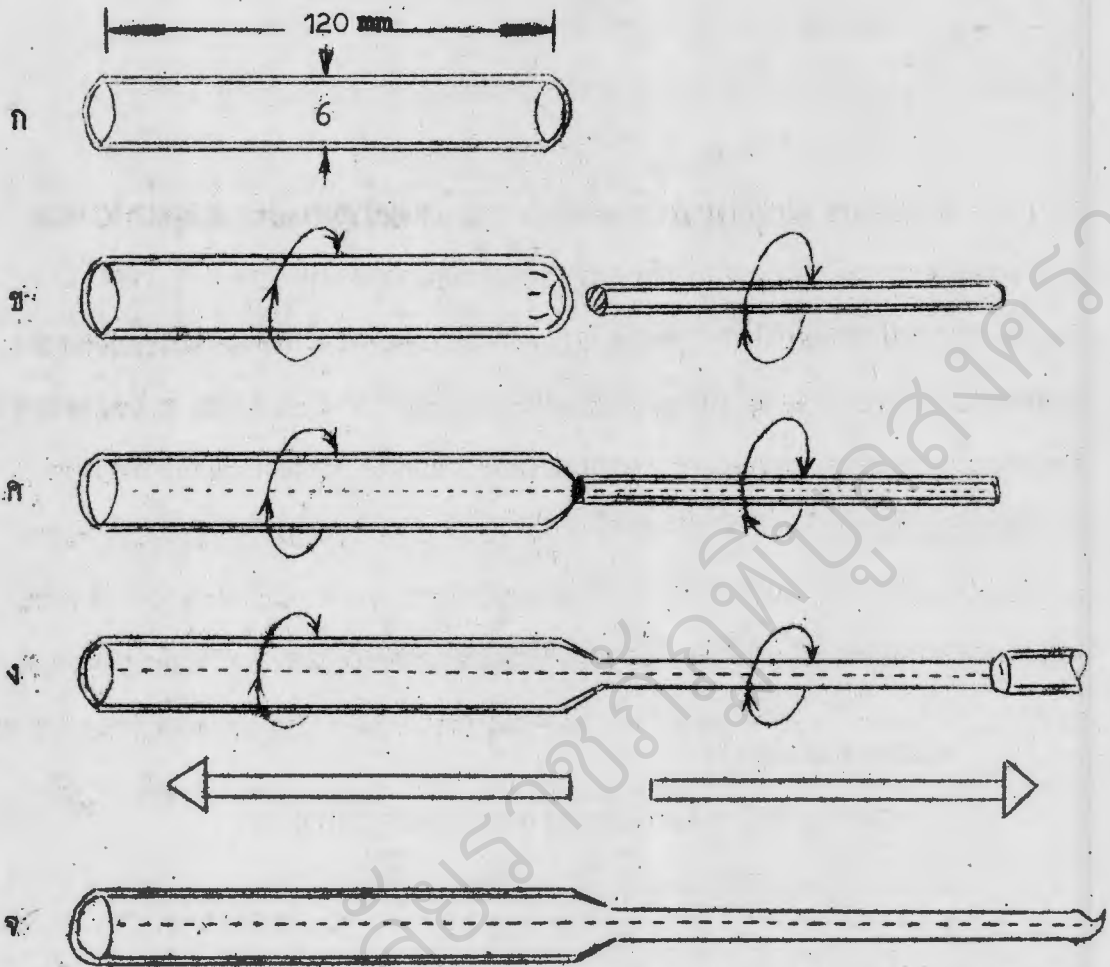
การยัดแก้ว หมายถึงการทำให้ส่วนปลายของแท่งแก้วกลางมีเส้นผ่าศูนย์กลางตามความต้องการ การยัดแก้วจะยัดในลักษณะที่ทำให้แก้วยัดยาวออกไปแบบค่อย ๆ เล็กเรียกว่าจนไตเส้นผ่าศูนย์กลางตามที่กำหนด ส่วนของแก้วที่ยัดแล้วจะทองตรงไม่โค้งงอเมื่อเทียบกับแท่งแก้วกลางเดิม ซึ่งการยัดแก้วนี้เป็นขั้นตอนขั้นแรกที่สำคัญในการทำงานเป่าแก้ว การสร้างชิ้นงาน การต่อเครื่องแก้วมักจะเริ่มควยการยัดแก้วก่อนเสมอ ขั้นตอนการยัดแก้วมีหลักการดังรายละเอียดขั้นตอนปฏิบัติงาน

จุดประสงค์ หลังจากฝึกปฏิบัติงานนี้แล้วนักศึกษาต้องทำอะไรต่อไปนี้ได้

1. สามารถยัดแก้วได้
2. สามารถนำชิ้นงานไปใช้ประโยชน์ในห้องปฏิบัติการได้
3. สามารถนำหลักการยัดแก้วนี้ไปใช้เป็นความรู้พื้นฐานในงานเป่าแก้วแบบอื่น ๆ ได้

วัสดุอุปกรณ์

1. แท่งแก้วกลางชนิดแก้วอ่อน 1 แท่ง เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm แท่งแก้วตัน 1 แท่ง
2. ตะเกียงเป่าแก้ว
3. แวนตาเป่าแก้ว
4. มีดตัดแก้ว



รูปที่ 8.1 การยัดหลอดแกวกลาง

- ก. หลอดแกวกลางที่จะยัด
- ข. แกวกลางที่จะยัด (ซ้ายมือ) แทงแกวตัน (ขวามือ)
- ค. ส่วนปลายแกวที่ต่อกันพร้อมกับหมุนแกว
- ง. ยัดแกว เป็นเส้นตรง โดยหมุนแกวไปคายน
- จ. แกวที่ยัดเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนปฏิบัติงาน

ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติการยัดแก้ว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ตัดหลอดแก้วกลางขนาดยาว 120 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm 1 แท่ง

(รูปที่ 8.1 ก.)

2. ปรับเปลวไฟให้ไดขนาดพอเหมาะกับแท่งแก้วกลาง จับแท่งแก้วควมมือซ้าย นำปลายด้านที่จะยัดเข้าเปลวไฟ แล้วหมุนแท่งแก้วรอบแนวแกนโดยใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ช่วยตามที่ใ้คได้ฝึกหมุนแท่งแก้วจนชำนาญแล้ว (หัวข้อ 7.5)

3. มือขวาจับแท่งแก้วตัน (รูปที่ 8.1 ข.) นำปลายเข้าชนไฟจนหลอมเหลวเช่นเดียวกับแท่งแก้วกลาง ระหว่างเข้าเปลวไฟของหมุ่แก้วไปรอบแนวแกนตลอดเวลา แท่งแก้วกลางต้องเผาจนเนื้อแก้วไหลไปรวมกันที่ปลาย ทำให้รูปแคบแล้วนำปลายแท่งแก้วตันไปแตะกับปลายแท่งแก้วกลางและให้ติดกันสนิท แล้วนำแก้วออกจากเปลวไฟ พร้อมกับหมุนแก้วที่ติดกันแล้วไปรอบๆ แนวแกน โดยต้องให้แท่งแก้วทั้งสองติดกันเป็นเส้นตรง แล้วรอจนรอยต่อเริ่มแข็งตัว (รูปที่

8.1 ค.)

4. นำแก้วกลางเข้าเปลวไฟให้มีบริเวณที่เข้าไฟห่างจากรอยต่อเดิมประมาณ 20 mm หมุนแก้วรอบแนวแกนจนกระทั่งแก้วหลอมเหลว แก้วที่หลอมจะไหลมารวมกันทำให้ผนังหนาขึ้นเล็กน้อย นำออกจากเปลวไฟพร้อมกับคอย ๆ ดึงอย่างช้า ๆ ขณะดึงก็ต้องหมุนแก้วไปด้วยทั้งสองมือ และต้องคอยสังเกตดูว่าแก้วที่ดึงนั้นยัดตรงหรือไม่ ถ้าไม่ตรงต้องพยายามหมุนแก้วเพื่อให้แนวแกนของแก้วที่ยัดตรงกับแนวแกนของแท่งแก้วกลาง ต้องพยายามทำให้เสร็จก่อนแก้วเริ่มแข็งตัว เมื่อแก้วตรงเป็นเส้นตรงแล้วก็หมุนต่อไปจนกว่าแก้วจะแข็งตัว (รูปที่ 8.1 ง.)

5. ตัดส่วนที่ไม่ต้องการออกโดยใช้เปลวไฟหรือมีดตัดแก้ว (8.1 จ.)

การประเมินผล จะพิจารณา ดังนี้

1. สังเกตวิธีการและขั้นตอนการทำงานว่าถูกต้อง เหมาะสม คล่องแคล่วเพียงไร
2. สังเกตชิ้นงานที่ทำว่าใช้งานได้ดีเพียงไร ความเรียบร้อยสวยงาม คงทนต่อการใช้งาน
3. สังเกตจากทักษะการใช้ตะเกียง การตัดแก้ว การยึดแก้ว ทำได้ดีถูกต้องหรือไม่

กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ให้อีกหลอดแก้วกลางจากแก้วขนาดยาว 100 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm

จำนวน 2 หลอด

ปฏิบัติการที่ 2

การทำแท่งแก้วคน

แท่งแก้วคนนั้นเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองปฏิบัติการเคมี เพื่อไว้คนสารละลายต่าง ๆ และปลายอีกด้านหนึ่งอาจจะทำเป็นทึบคสารได้ด้วย

จุดประสงค์

หลังจากฝึกปฏิบัติงานแล้ว นักศึกษาต้องทำสิ่งต่อไปนี้ได้

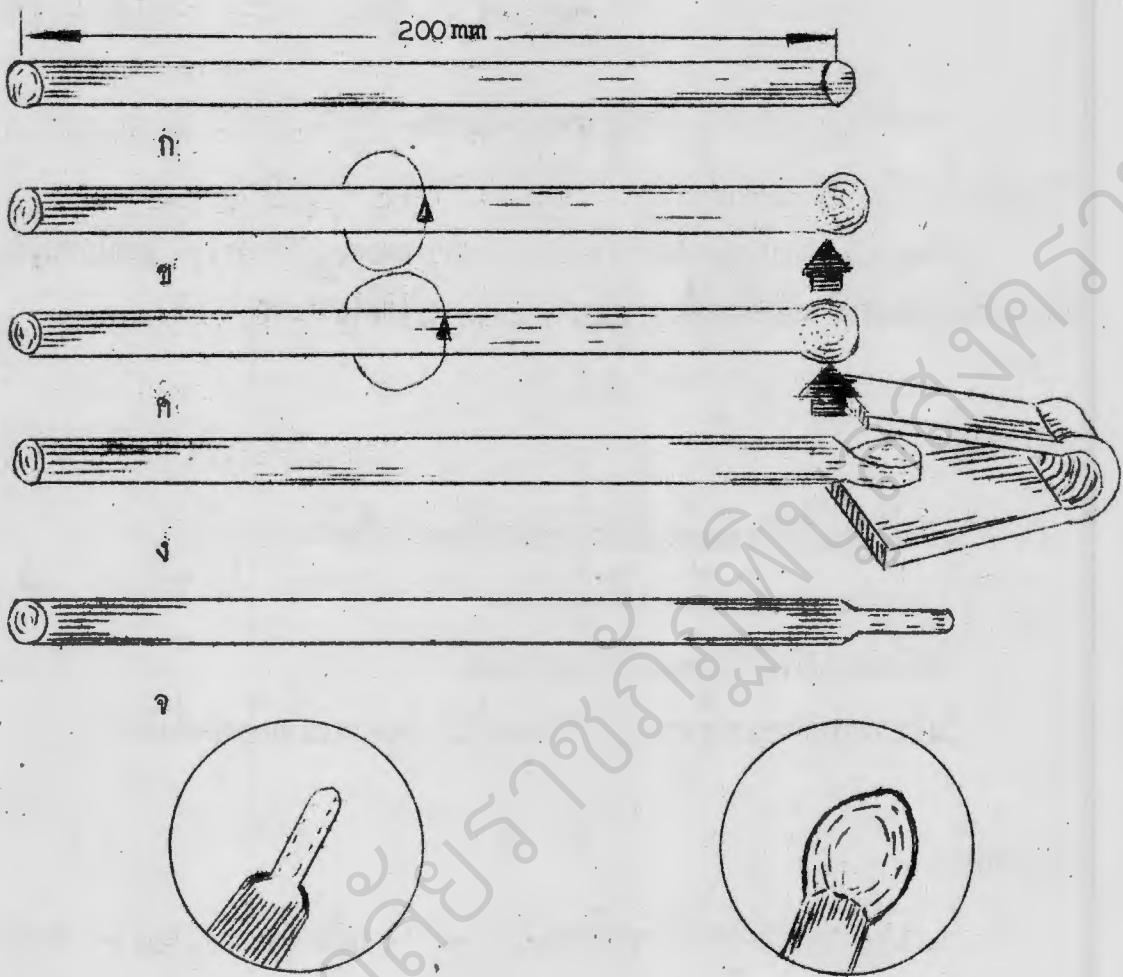
1. สามารถทำแท่งแก้วคนได้
2. ชั่งงานนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการเคมีได้
3. สามารถนำความรู้จากงานปฏิบัติการนี้ไปใช้ในงานเป่าแก้วชนิดอื่นได้

วัสดุอุปกรณ์

1. แท่งแก้วคันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm 1 แท่ง ยาว 150 cm
2. ตะเกียงเป่าแก้ว
3. มีดตัดแก้ว
4. คีมบีบ

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน ตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

1. ใช้มีดตัดแก้วหรือตะไบเหล็กทำรอยกรีดแล้วหักแท่งแก้วคันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm ให้ยาว 200 mm (รูปที่ 8.2 ก.)



รูปที่ 8.2 การทำแท่งแกว่คน

- ก. แท่งแกว่คัน
- ข. ลวดไฟที่ปลายพร้อมทั้งหมุน
- ค. ลวดไฟจนแกว่หกลมเป็นกอนกลมใหญ่
- ง. ใช้คีมบีบแกว่กอนกลมให้แบน
- จ. แท่งแกว่คนที่ทำสำเร็จแล้ว

2. ปรับเปลวไฟให้ใหญ่ อุณหภูมิปานกลาง สนไฟที่ปลายข้างหนึ่ง ขณะเดียวกันก็หมุนแท่งแก้วไปรอบ ๆ ตามแนวแกน แก้วจะเริ่มร้อนทั่วหลอดหลอดบริเวณที่ถูกสนไฟจะเย็นเป็นฉับ (รูปที่ 8.2 ข.) สนไฟต่อไป ให้สนแก้วส่วนที่ติดจากปลายเข้ามาเล็กน้อยควบคู่กับหมุนแท่งแก้วตลอดเวลา ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะไปยังที่โตพอสมควร (รูปที่ 8.2 ค.)

3. นำออกจากไฟใช้คีมหนีบให้แบน ขณะบีบต้องดูตรงที่ถูกบีบให้ตรงไม่คดคั่ว ในขณะที่บีบแบนนั้น ทองฟลักแท่งแก้วกลับไปกลับมา จะทำให้แท่งแก้วส่วนที่ถูกบีบแบน ตรงและสวยงาม การบีบต้องออกแรงบีบพอสมควร ไม่ออกแรงมากไปเพราะจะทำให้แก้วแบนจะบางเกินไป (รูปที่ 8.2 ง.) จึงควรบีบให้หนาพอเหมาะแก่การใช้งาน เมื่อเสร็จแล้วถ้าแท่งแก้วไม่ตรงก็นำไปเผาใหม่ จนแก้วเริ่มร้อนทั่วจึงนำออกมาตัดให้ตรง

4. นำปลายแท่งแก้วอีกด้านหนึ่งมาเข้าไฟ หมุนไปจนกลมดีเพื่อไว้ใช้คัสสาร (รูปที่ 8.2 จ.)

การประเมินผล

จะพิจารณาดังนี้

1. สังเกตวิธีการและขั้นตอนการทำงานว่าถูกต้องตามลำดับขั้นตอน เหมาะสม คล่องแคล่วเพียงไร
2. สังเกตจากชิ้นงาน การใช้งานความเรียบร้อยสวยงาม คงทนต่อการใช้งานเพียงไร
3. สังเกตทักษะการใช้เครื่องมือต่าง ๆ และการหมุนแก้ว การบีบแก้ว การทำปลายแท่งแก้วให้กลม ทำได้ถูกต้องหรือไม่

กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ให้ทำแท่งแก้วคนจากแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm ยาว 200 mm จำนวน 2 แท่ง

ปฏิบัติการที่ 3

การทำหลอดหยด

หลอดหยดเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดสอบปฏิบัติการเคมีเพื่อวิเคราะห์และหยดสารละลายสารเคมีต่าง ๆ โดยปลายค้ำหนึ่งทำเป็นรูเล็ก ๆ ไขว้หยดสาร ปลายอีกค้ำหนึ่งสวมจุกยางเพื่อไขว้คูดสารละลาย

จุดประสงค์

หลังจากฝึกปฏิบัติทำงานแล้ว นักศึกษาต้องทำสิ่งต่อไปนี้ได้

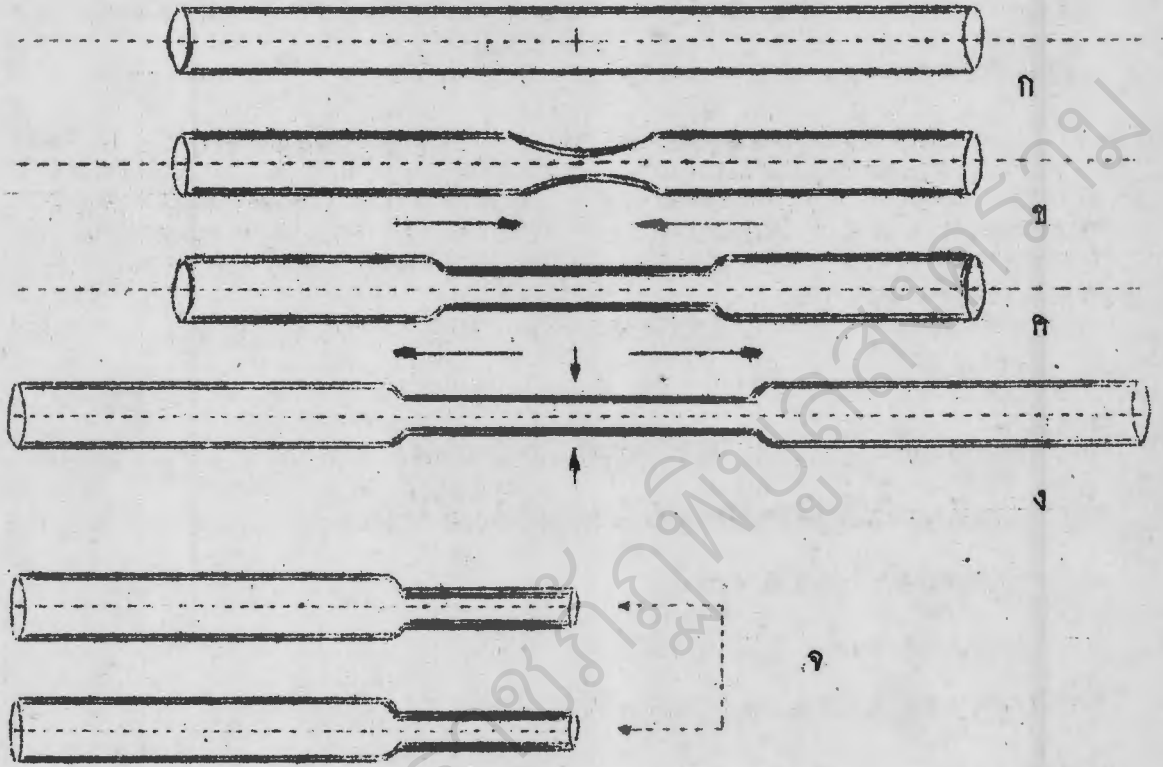
1. สามารถเป่าหลอดหยดได้
2. นำหลอดหยดไปใช้งานได้
3. สามารถนำความรู้จากการนำชิ้นงานนี้ไปทำชิ้นงานอื่นได้

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดแก้วกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm ยาว 220 mm
2. มีดตัดแก้ว คินสอเขียนแก้ว
3. ตะเกียงเป่าแก้ว
4. จุกยาง

ขั้นตอนปฏิบัติงาน ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. นำหลอดแก้วกลางขนาดยาวพอสมควรเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm วัดความยาว 220 mm ทำเครื่องหมายด้วยคินสอเขียนแก้ว แล้วตัดด้วยมีดตัดแก้ว หลังจากนั้นแบ่งครึ่งแบ่งแก้วไขว้คินสอเขียนแก้วทำเครื่องหมายไว้ (รูปที่ 8.3 ก.)



รูปที่ 8.3 การทำหลอคหยก

- ก. หลอคแกวกลางยาว 220 มม. ชีตเครื่องหมายตรงกลาง
- ข. สนิไฟบริเวณที่ทำเครื่องหมายจนแกวอ่อนตัว
- ค. คอย ๆ ก็ยี่คออกจากกัน
- ง. ยี่คแกวจนไคขนาดเท่าปลายหลอคหยก
- จ. หลอคหยกสองอันทำเสร็จแล้ว

2. นำหลอดแก้วเข้าไฟตรงกลางที่ทำเครื่องหมายไว้ ให้เปลวไฟอยู่ตรงรอยที่ทำเครื่องหมายไว้ จนจนแก้วเริ่มอ่อนตัว ขณะที่สนทองหมุนแก้วตลอดเวลา แก้วบริเวณที่ถูกเปลวไฟจะหดตัวลง แก้วบริเวณนี้จะหนากว่าบริเวณอื่น (รูปที่ 8.3 ข.)

3. สนไฟต่อจนบริเวณนี้หนาพอสมควร นำออกจากเปลวไฟหมุนแก้วไปรอบ ๆ ตามแนวแกนพร้อมกับคอย ๆ ดึงยืคแก้วออกจากกัน (รูปที่ 8.3 ค.) แก้วบริเวณที่อ่อนตัวจะยืดยาวออกและคอดเล็กจนกระทั่งมีขนาดตามต้องการ ขนาดเท่าปลายหลอดหยด แล้วหมุนต่อไปจนกว่าแก้วที่ยืดออกจากกันจะแข็งตัวและตรง เมื่อแก้วเย็นตัวลง (รูปที่ 8.3 ง.)

4. นำแก้วที่ดึงเรียบร้อยแล้วมาตัดด้วยมีดตัดแก้ว โดยให้มีคกริยตรงกลางแก้ว ส่วนที่ยืดออกจากกัน แล้วหักออกจากกันเบา ๆ จะได้หลอดหยด 2 หลอด นำมาลบรอยคมแก้วทั้งด้านหัวและด้านที่เป็นปลายหลอดหยด ปลายอีกด้านหนึ่งใส่ลูกยาง จะได้หลอดหยดสารละลาย 2 อันตามต้องการ (รูปที่ 8.3 จ.)

การประเมินผล จะพิจารณาดังนี้

1. ทำหลอดหยดได้ตามจำนวน 2 หลอด
2. ทำชิ้นงานเสร็จตามกำหนดเวลา
3. สังเกตทักษะและขนานการทำงานถูกต้องตามลำดับขั้นตอน และทำงานได้คล่อง

แล้ว

4. สังเกตจากชิ้นงานว่าการใช้งาน ความเรียบร้อยสวยงาม คงทนต่อการใช้งาน

เพียงไร

กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ให้เป่าหลอดหยดจากหลอดแก้วกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm ยาว 200mm

จำนวน 2 หลอด

ปฏิบัติการที่ 4

การเป่าหลอดทดลอง

หลอดทดลองนั้นเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองทางเคมีมาก วัสดุสารละลายจำนวนมากเพื่อทดลอง เช่นทดลองปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นของสารละลาย ทดสอบสมบัติเฉพาะตัวของสารละลาย เป็นต้น

จุดประสงค์

หลังจากฝึกปฏิบัติงานแล้ว นักศึกษาต้องทำสิ่งต่อไปนี้ได้

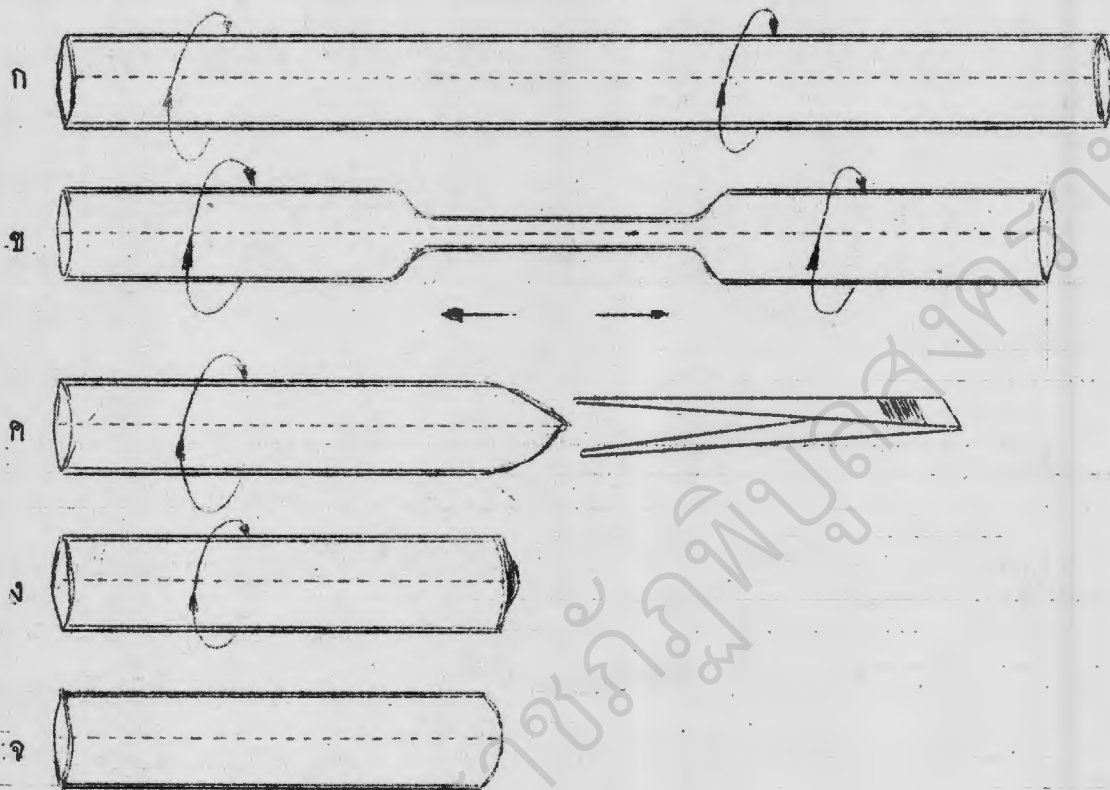
1. สามารถเป่าหลอดทดลองได้
2. หลอดทดลองที่ทำต้องนำไปใช้งานได้ดี
3. สามารถนำความรู้ไปใช้ในการทำชิ้นงานอื่นได้

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 mm 1 แท่ง
2. มีดตัดแก้ว คีมสอดเขียนแก้ว
3. ตะเกียงเป่าแก้ว
4. คีมปากเป็ด

ขั้นตอนปฏิบัติงาน ตามลำดับขั้นดังนี้

1. นำหลอดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 mm ความยาวพอสมควร วัดขนาดยาว 220 mm ทำเครื่องหมายไว้ควยคีมสอดเขียนแก้ว แล้วใช้มีดตัดแก้วกรีดเป็นรอยแล้วหักเบา ๆ จะได้แท่งแก้วกลางยาว 220 mm ใช้คีมสอดเขียนแก้วทำเครื่องหมายตรงกลางแท่งแก้วไว้ (รูปที่ 8.4 ก.)



รูปที่ 8.4 การเป่าหลอดทดลอง

- ก. หลอดแก้วกลางทำเครื่องหมายตรงกลาง
- ข. คึงยึดแก้วและตัดทรงรอยคอกลาง
- ค. สก๊อฟไฟแล้วใช้คีมปากเบ็ดคึงส่วนเกินออก
- ง. เฉาไฟที่ก้นสลับกับการ เป่าควยปากโทก้นหลอดกลม
- จ. หลอดทดลองเป่าเสร็จแล้วหนาเท่ากันตลอดหลอด

2. นำแท่งแก้วที่เตรียมไว้มานำไฟตรงกลางที่ทำเครื่องหมายไว้ พร้อมกับหมุนแก้วรอบตามแนวแกนจนหลอดแก้วเริ่มร้อนทั่วและหดตัวลง จึงนำออกจากไฟค่อย ๆ ดึงจนยืดออกจากกันพร้อมกับหมุนแก้วไปค้ำยขณะดึงพยายามดึงและหมุนให้แก้วส่วนนี้ยึดอยู่ตรงกลางของแนวแกนของหลอดแก้ว เมื่อดึงยืดจนหลอดแก้วตรงที่เลวนำหลอดแก้วที่ยึดแล้วมาตัดด้วยไฟตรงกลางรอยยึด (รูปที่ 8.4 ข.) แบ่งแก้วออกเป็นสองท่อน ตรงส่วนปลายแต่ละท่อนจะเรียวยาวเล็ก

3. ถ้าจัดตรงส่วนที่ยึดจนเล็กเรียวยาวออก โดยนำไปลงไฟตรงส่วนโคนที่ยึดจนจนแก้วอ่อนตัวก็ใช้คีมปากแหลมดึงเอาแก้วส่วนที่เรียวยาวเล็กทิ้งไป (รูปที่ 8.4 ค.) จะได้หลอดแก้วที่ปลายก้นหลอดยังไม่โครูปไม่สวยงาม

4. นำหลอดแก้วมาตกแต่งก้นหลอดให้สวยงาม โดยนำหลอดแก้วเข้าไปเผาไฟที่ก้นหลอดอีก โดยเผาส่วนปลายที่ไม่โครูปโดยใช้มือหมุนหลอดแก้วตามแนวเดียวกันตลอดเวลาและสม่ำเสมอ จนแก้วอ่อนตัวน้อย ๆ นำออกจากไฟมาเป่าค้ำยปากที่ปลายหลอดอีกด้านหนึ่ง ค่อย ๆ เป่าลมเข้าไป เพื่อให้ส่วนที่อ่อนตัวขยายตัวออกมาน้อย ๆ ระหว่างที่เป่าค้ำยให้มือจับหมุนหลอดแก้วไปเรื่อย ๆ เพราะถ้าไม่หมุนหลอดแก้ว แก้วที่หลอมตัวจะขยอยลงด้านล่างที่ไม่โคหมุน จะทำใ้ก้นหลอดไม่กลมโค้งและก้นหลอดจะหนาไม่เท่ากัน (ถาก้นหลอดทั้งสองมีผนังหนาไม่เท่ากัน คือ ถาก้นหลอดบางกว่าผนังด้านข้างหลอด หลอดก็จะไม่ทนต่อแรงกระแทกหรือการกด แต่ถาก้นหลอดมีผนังหนากว่าด้านข้างหลอดก็จะทนทานต่อแรงกระแทกแต่ไม่ทนทานต่อความร้อน) ดังนั้นจึงต้องพยายามเป่าให้ผนังหนาเท่ากันโดยตลอดทั้งก้นหลอดและข้างหลอดตลอด โดยพยายามเอาก้นหลอดเข้าไฟ ระหว่างเผาไฟต้องหมุนหลอดแก้วไปทางเดียวกัน สลับกับการเอาออกมาเป่าค้ำยลมปากและระหว่างที่เป่าค้ำยให้หมุนแก้วให้ไปทางเดียวกัน (รูปที่ 8.4 ง.) ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้งจนกระทั่งหลอดแก้วหนาเท่ากันตลอดทั้งหลอด และก้นหลอดจะกลมโค้งสวยงามดีและทนทานต่อการใช้งาน (รูปที่ 8.4 จ.)

การประเมินผล จะพิจารณาทั้งนี้

1. ทำหอคอยทดลองได้ 2 หอคอย เสร็จตามกำหนดเวลา
2. ชิ้นงานนำไปใช้ประโยชน์ได้
3. สังเกตทักษะและชบวนการทำงานตามลำดับขั้นตอน ทำงานได้คล่องแคล่ว ถูกต้อง
4. ชิ้นงานสวยงาม เรียบร้อย คงทนต่อการใช้งาน

กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ให้เป่าหอคอยทดลอง 2 หอคอย

ปฏิบัติการที่ 5

การต่อแกนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่าง ๆ

การต่อแกนมีประโยชน์ในการผลิตอุปกรณ์แกวต่าง ๆ การซ่อมอุปกรณ์เครื่องแกว การต่อแกนยังเป็นการช่วยประหยัดแกวในบางครั้งที่เครื่องมือทำการทดลองชำรุดหัก หรือมีส่วนใดส่วนหนึ่งแตกอาจจะนำมาทอให้สามารถใช้งานได้อีกเดิม ทำให้สิ้นเปลืองน้อยลงและประหยัดเวลาในการทำงานเพราะไม่ต้องเป่าใหม่ทั้งหมด ในการต่อแกนนั้นเปลวไฟที่ใช้เป่านั้นต้องปรับให้พอดีกับแกวที่จะนำมาทอ ถ้าต่อแกนขนาดเล็กต้องปรับเปลวไฟให้เล็ก ถ้าแกนขนาดใหญ่ต้องปรับเปลวไฟให้ใหญ่ควย และต้องปรับเปลวไฟให้อุณหภูมิพอเหมาะ จะทำให้ทอแกวได้รวดเร็วและสวยงาม และเมื่อทอเสร็จเรียบร้อยแล้วต้องทำการอบเหนียว (แอนนีส) โดยใช้เปลวไฟจนได้ที่แล้วจึงทิ้งไว้ให้เย็น เพื่อจะได้อันไม่เกิดการร้าวและแตกได้

ในการฝึกปฏิบัติการต่อแกนนี้จะฝึกให้ผู้เป่าแกวสามารถต่อได้ทั้งแกวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน แกวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันไม่มากนัก และแกวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมาก

จุดประสงค์

หลังจากฝึกปฏิบัติงานแล้ว นักศึกษาต้องทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. สามารถต่อหลอดแกวที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันได้
2. สามารถต่อหลอดแกวที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันไม่มากนักได้
3. สามารถต่อหลอดแกวที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมากได้
4. นำหลอดแกวที่ต่อกันแล้วไปใช้งานได้

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm , 12 mm และ 15 mm อย่างละ 1 แท่ง
2. มีดตัดแก้ว คินสอเขียนแก้ว ไม้บรรทัด
3. ตะเกียงเป่าแก้ว
4. จุกคอรถขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm , 12 mm และ 15 mm

การประเมินผล

จะพิจารณา ดังนี้

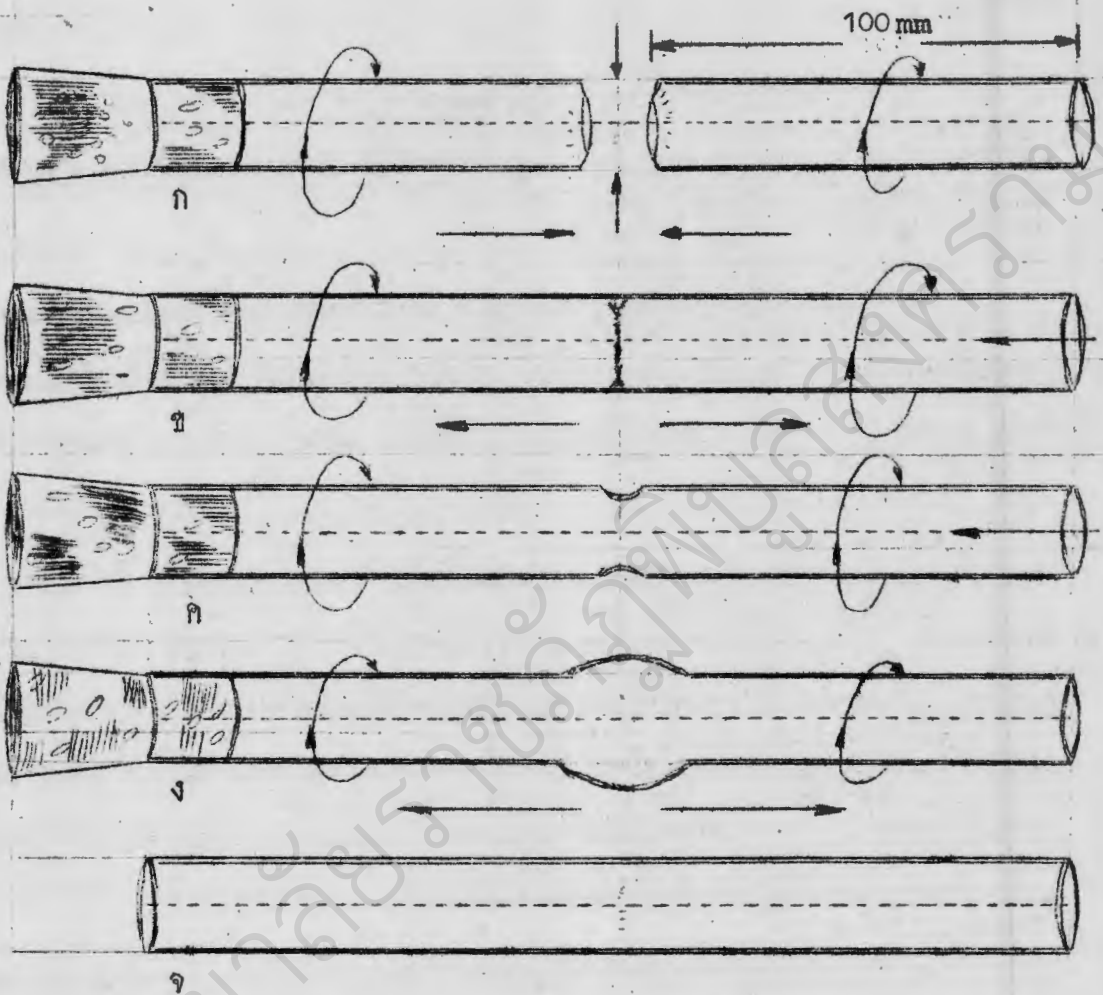
1. สังเกตจากชิ้นงานการต่อหลอดแก้ว 3 ชนิดตามจุดประสงค์ข้อ 1, 2 และ 3
2. สังเกตจากวิธีการเป่าหลอดแก้ว การต่อหลอดแก้วตรงข้อต่อเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่
3. ความสวยงาม คงทนต่อการใช้งาน
4. ทักษะความชำนาญในการเป่าและการหมุน การเผาหลอดแก้ว

กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ให้ต่อหลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน 3 ขนาด จากหลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm , 12 mm และ 15 mm มาอย่างละ 1 หลอด โดยใช้หลอดแก้วแต่ละหลอดยาว 100 mm

8.5.1 การต่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน

ขั้นปฏิบัติงาน ตามลำดับขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 8.5.1 การต่อแกวที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน

- ก. มีข้ายึดหลอดแกว ปีกุ๊กครอบก มือขวาถือหลอดที่ 2
- ข. เช้าไฟแต่ละส่วนปลายหลอดติดกันถึงเบา ๆ
- ค. ย่นแกวส่วนที่ต่อให้หนากว่าบริเวณอื่น
- ง. เป่าบริเวณที่ย่นแกวให้โป่งออก
- จ. แกวที่ต่อเรียบร้อยแล้ว

วิธีทำ

1. นำหลอดแก้วกลางที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm ยาว 100 mm มาสองแท่ง อุดปลายด้านหนึ่งของแก้วแท่งที่หนึ่งด้วยจุกคอร์ก แล้วถือไว้ควมมือซ้าย ส่วนหลอดที่สองถือไว้ควมมือขวา (รูปที่ 8.5.1 ก.)
2. นำปลายหลอดแก้วทั้งคู่เข้าไฟพร้อม ๆ กัน แล้วหมุนแก้วที่ถือทั้งสองมือรอบแนวแกนจนกระทั่งแก้วอ่อนตัว แล้วเลื่อนหลอดแก้วทั้งคู่ให้ส่วนปลายแตะกันพอดี ให้พื้นที่หน้าตัดของท่อแก้วติดกัน แล้วออกแรงดึงเบา ๆ พร้อมกับหมุนแก้วไปเรื่อย ๆ แก้วบริเวณที่ท่อติดกันจะคอดเล็กน้อย (รูปที่ 8.5.1 ข.)
3. นำแก้วออกจากเปลวไฟแล้วเป่าลมเข้าทางปลายหลอดแก้วที่เปิด คือ หลอดทางขวามือ ค่อย ๆ เป่าลมให้ได้จังหวะ ให้แก้วบริเวณที่คอดค่อย ๆ ขยายออกเท่า ๆ กันกับแนวเดิมตรงส่วนที่ไม่ได้เผาไฟหรือโตกว่าเล็กน้อย ขณะเป่าลมต้องหมุนแก้วไปรอบ ๆ ตามแนวแกนด้วย พร้อมกับจับแก้วให้ตรงไม่คดงอ หรือบิดเบี้ยว เมื่อแก้วเย็นตัวลง นำเข้าสนไฟที่ตำแหน่งเดิมอีก พร้อมกับหมุนแก้วไปเรื่อย ๆ จนแก้วอ่อนตัวหลวมเหลว ไข่มือสองข้างออกแรงดึงเบา ๆ เข้าหากัน แก้วจะเย็นไหลเข้าไปรวมกันทำให้หนากว่าบริเวณอื่น (รูปที่ 8.5.1 ค.)
4. นำแก้วที่เย็นแล้วออกจากไฟ เป่าลมเข้าไปทางปลายเปิดให้บริเวณที่สนไฟจนหลวมเหลว มีขนาดโตกว่าหลอดแก้วเดิมเล็กน้อย (รูปที่ 8.5.1 ง.) แล้วหมุนแก้วที่อ่อนตัวให้ตรง พร้อมกับดึงแก้วออกทั้งสองข้าง จนแก้วที่ศูนย์กลางคอดและขนาดเท่าหลอดเดิม ถ้ารอยต่อยังไม่เรียบร้อย ให้เอาเข้าเผาไฟใหม่ และทำตามขบวนการเดิมจนกระทั่งรอยต่อเรียบเป็นแก้วเนื้อเดียวกัน และมีขนาดเท่าเดิมทุกประการ (รูปที่ 8.5.1 จ.)

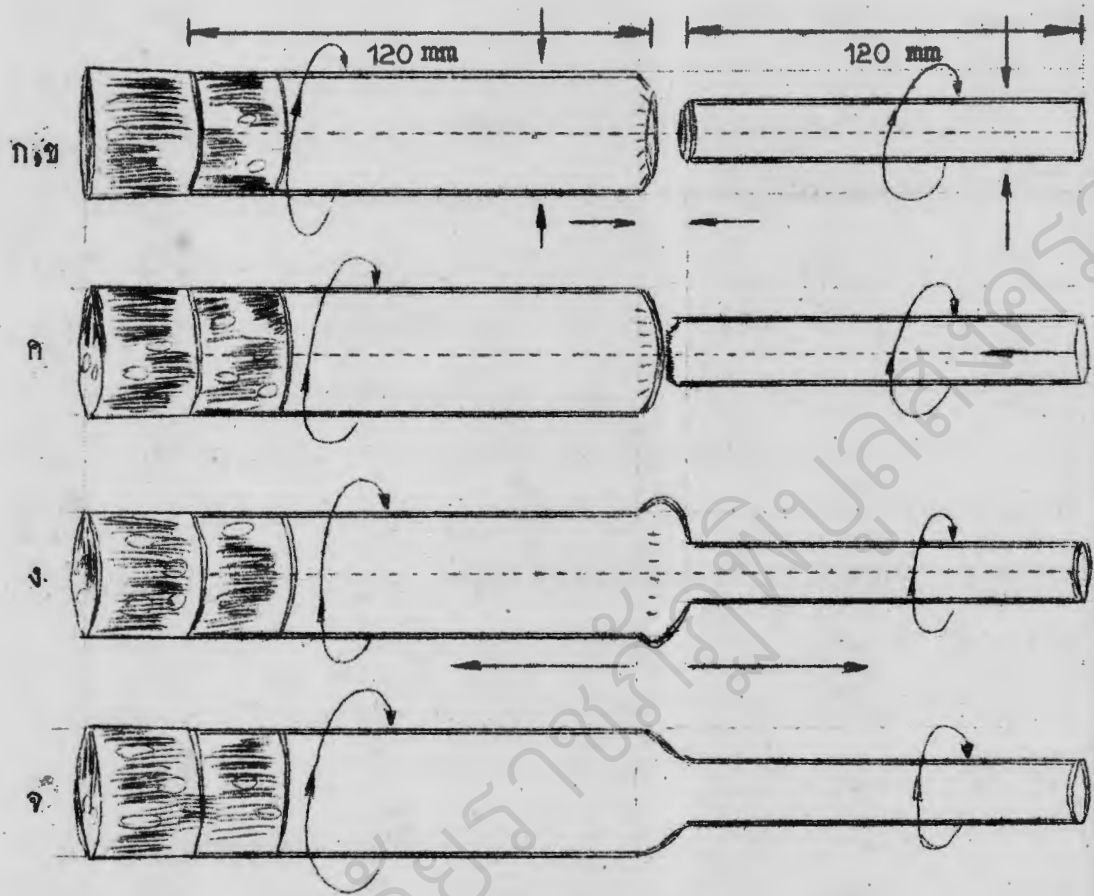
เทคนิคขอเสนอแนะ

ในการต่อแก้วในเปลวไฟ เมื่อต่อเสร็จแล้วการนำแก้วออกจากเปลวไฟมาเป่านั้น เมื่อแก้วหลอมตัวเข้ากันดีแล้ว จึงนำออกมาเป่าพร้อมกับหมุนแก้วไปรอบ ๆ ถ้าหากไม่หมุนแก้วไปรอบ ๆ แล้วแก้วที่อยู่ด้านล่างจะย้อยลง ทำให้บริเวณที่ย้อยลงไปออกมามากกว่าบริเวณอื่น ๆ อาจจะใช้วิธีเป่าอีกวิธีหนึ่งโดยใช้มือซ้ายถือหลอดแก้วอยู่ด้านล่าง มือขวาอยู่ด้านบน ใ้หลอดแก้วที่เป่าตั้งไ้ฉากกับพื้น จะทำให้แก้วที่อ่อนตัวเมื่อถูกลมเป่าดันจากภายในจะขยายตัวออกทุก ๆ ด้าน การเป่าไม่ควรออกแรงเป่ามากเกินไป เพราะจะทำให้ช่วงที่ลมไฟขยายโตมากเกินไป ควรเป่าให้แก้วขยายตัวโตกว่าหลอดแก้วเพียงเล็กน้อย แล้วใช้มือทั้งสองข้างดึงปลายหลอดแก้วทั้งสองข้างเบา ๆ พร้อมกับหมุนแก้วไปรอบ ๆ จนแก้วที่เป่าออกเท่าหลอดแก้วเดิมและหลอดตรงเป็นเนื้อเดียวกัน

ในการฝึกเป่าในระยะแรก ๆ แก้วที่ต่ออาจจะไม่ตรง เนื้อแก้วอาจจะหนาบางไม่เท่ากัน อาจจะมีบางส่วนโป่งออก บางส่วนงอเข้ามิดไป ซึ่งสาเหตุเนื่องมาจากว่ามือที่หมุนแก้วทั้งสองข้างหมุนแก้วไม่พร้อมกัน หรือหมุนแก้วที่หลอมเหลวเร็วหรือช้าเกินไป การปรับเปลวไฟไม่เหมาะสม แก้วหลอมตัวไม่สม่ำเสมอ การเป่าลมเข้าไปในหลอดแก้วเบาหรือแรงเกินไป ผู้ฝึกหัดเป่าแก้วใหม่ ๆ จึงต้องพยายามทดลองเป่ามาก ๆ นาน ๆ จนกว่าจะเกิดความชำนาญ จะทำให้ทำงานได้เร็วและสวยงามคงทนต่อการใช้งาน

8.5.2 การต่อหลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันไม่มาก

ขั้นปฏิบัติงาน ตามลำดับขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 8.5.2 การต่อหลอดแกวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันไม่มาก

- ก. มือซ้ายถือหลอดใหญ่ มือขวาถือหลอดเล็ก
- ข. ดมไฟปลายหลอดใหญ่ให้เท่าปลายหลอดเล็ก
- ค. นำปลายหลอดมาแตะกันยึดให้คอคเล็กน้อย
- ง. เป่าส่วนที่คอคให้ใหญ่
- จ. แกวที่เป่าทอเสร็จแล้ว

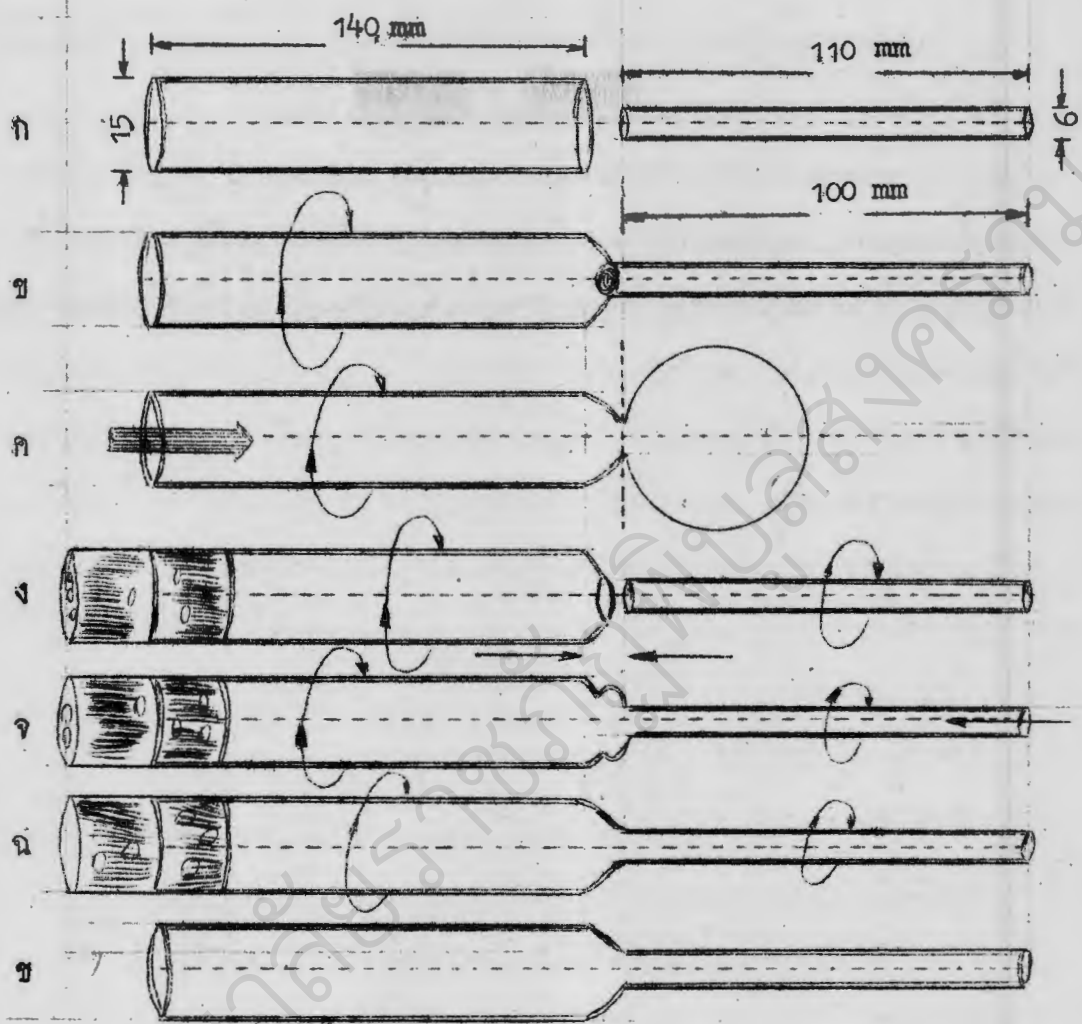
วิธีทำ

1. เตรียมหลอดแก้วสองหลอด หลอดที่หนึ่งขนาดยาว 120 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 mm หลอดที่สองขนาดยาว 120 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm หลอดใหญ่มีจุกคอกรก ถัดควมมือซ้าย หลอดเล็กถัดควมมือขวา (รูปที่ 8.5.2 ก.)
2. นำหลอดแก้วใหญ่เข้าไปปลายค้ำที่ไม่มีจุกคอกรกหมุนหลอดแก้วไปรอบ ๆ ในไฟ จนกระทั่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเท่าหลอดเล็ก (รูปที่ 8.5.2 ข.) เอาออกจากเปลวไฟ ปลดปล่อยให้แข็งตัว
3. นำหลอดแก้วทั้งสองหลอดที่ปลายหลอดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน เข้าไฟพร้อม ๆ กัน หมุนแก้วทั้งสองหลอดไปรอบ ๆ ตามแนวแกน จนกระทั่งปลายแก้วทั้งสองข้างเริ่มอ่อนตัว จึงนำหลอดแก้วทั้งสองมาแตะกันให้สนิท แล้วยึดส่วนที่แตะกันให้คอคดเล็กน้อย (รูปที่ 8.5.2 ค.)
4. เข้าไฟให้อ่อนตัว แล้วเอาออกมาเป่าส่วนที่คอคดให้มีขนาดกว้างเท่าแก้วแท่งเล็กก่อนเป่า (รูปที่ 8.5.2 ง.)
5. นำหลอดแก้วที่ต่อเข้ากันแล้ว เข้าเผาไฟอีกแต่เผาคนไปทางหลอดใหญ่ เพราะตรงปลายหลอดผนังแก้วจะหนากว่า เพราะเมื่อสนไฟครั้งแรกทำให้ขนาดเล็กลงแก้วหลอดใหญ่จะหดตัวลงทำให้บริเวณผนังหนากว่าบริเวณอื่นจึงต้องเผาส่วนนี้เพื่อให้บางลง ขณะเผาต้องหมุนหลอดแก้วทั้งสองมือ จนแกว้ออ่อนตัวนำออกมาเป่า การเป่าต้องค่อย ๆ เป่า พร้อมกับมือที่จับหมุนหลอดแก้วไปควม แล้วใช้มือทั้งสองจับแก้วให้ตรงในขณะที่แก้วคอบ ๆ แข็งตัว ทำเช่นนี้จนกว่าบริเวณที่ต่อจะเชื่อมติดกันดี ซึ่งสังเกตได้จากตรงรอยต่อจะต้องเรียบ บริเวณที่ต่อจะต้องไม่กินบริเวณกว้างเกินไป เนื้อที่ตรงส่วนนี้ต้องไม่บางกว่าปกติ ต้องไม่เห็นรอยต่อของแก้วทั้งสองหลอด ต้องเรียบสนิทเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้ายังไม่เรียบรอยสวยงามต้องเผาแล้วทำใหม่จนกว่าจะดี เมื่อคอคดแล้วต้องอบเหนียว (แอนนิล) แก้วประมาณ 10 นาที เพื่อลดความเครียดของแก้วเป็นการป้องกันแก้วแตกเมื่อเย็นลง (รูปที่ 8.5.2 จ.)

8.5.3 การต่อแฉกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมาก

การต่อหลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมาก ต้องใช้วิธีต่อที่แตกต่างกับวิธีต่อหลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันไม่มาก เพราะเราไม่อาจสนใจไปละลายหลอดแก้วที่โตใหม่ขนาดเล็กเท่าปลายหลอดแก้วของหลอดแก้วขนาดเล็กได้ เพราะถ้าหลอมให้เล็กมากแล้ว แก้วที่หลอมจะไหลไปรวมกันมากที่สุดที่ปลายหลอด จะทำให้ผนังหนาเกินไปจนต่อกับหลอดเล็กไม่ได้เพราะความหนาไม่เท่ากัน จะทำให้หลอดแก้วที่ต่อแล้วแตกหักออกจากกันเมื่อเย็นลง วิธีต่อหลอดแก้วที่มีขนาดต่างกันมากจึงต้องยึดปลายหลอดแก้วแท่งที่ใหญ่กว่าใหม่เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับแท่งเล็กเสียก่อนแล้วจึงนำมาต่อเข้าด้วยกัน ขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. ตัดหลอดแก้วแท่งหนึ่งขนาดยาว 140 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 mm และหลอดแก้วขนาดเล็กยาว 110 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 mm (รูปที่ 8.5.3 ก.)
2. นำปลายด้านหนึ่งของหลอดแก้วใหญ่เข้าสนไฟจนหลอมเหลวแล้วใช้แท่งแก้วตันยึดแก้วโดยใช้แท่งแก้วตันเกาะติดกับปลายหลอดแก้วที่หลอมเหลวจนแน่น แล้วเอาออกจากไฟดึงยึดแก้วตรงปลายให้ปลายหลอดมีเส้นผ่าศูนย์กลางแคบ ๆ (รูปที่ 8.5.3 ข.) แล้วนำส่วนของแก้วที่ดึงยึดออกมาเป็นเส้นยาวตัดด้วยเปลวไฟให้เหลือความยาวประมาณ 100 mm (รูปที่ 8.5.3 ช.)
3. นำหลอดแก้วเข้าไฟตรงบริเวณรอยคอที่ติดพร้อมทั้งหมุนจนแก้วอ่อนตัวแล้วดึงส่วนเรียวเล็ก 100 mm ออก ซึ่งการดึงส่วนนี้ต้องอาศัยความชำนาญ ดึงปลายคอค้นในทิศหลอดหลอมติดกันและเนื้อแก้วที่เหลืออยู่ของไมหนานหรือบางเกินไป แล้วเอาออกจากไฟรอให้แข็งตัวปรับเปลวไฟให้เล็กลงนำส่วนก้นหลอดที่หลอมติดกันไว้เข้าไฟอีกจนแก้วอ่อนตัวดี การสนไฟจนหลอดทองสนใหม่บริเวณกว้างขนาดเท่าหรือใกล้เคียงกับแก้วที่จะนำมาต่อ เมื่อแก้วอ่อนตัวดีแล้วเอาออกจากไฟแล้วเป่าลมเข้าไปในหลอดทางปลายอีกด้านหนึ่ง คอย ๆ เป่าเบา ๆ จนแก้วที่หลอมเหลวยูบโป่งเป็นลูกโป่ง (รูปที่ 8.5.3 ค.) และแตกออก ถ้าไม่แตกขยี้ให้แตกกับแท่งคาร์บอนที่รองรับหรือขยี้กับของแข็งอื่น ๆ เบา ๆ เมื่อแก้วนี้โป่งแตกแล้วจะได้แก้วปลายทางก้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่าแก้วแท่งเล็กที่จะนำมาต่อ แดงปากให้เรียบด้วยเปลวไฟ



รูปที่ 8.5.3 การต่อแนวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมาก

- ก. หลอดแก้วขนาดใหญ่และเล็ก
- ข. ปลายหลอดใหญ่ที่ตึงยึดจนแคบ
- ค. เป่าก้นหลอดใหญ่ให้พองเป็นลูกโป่ง
- ง, จ. ต่อหลอดแก้วเล็กกับหลอดใหญ่ตรงส่วนแคบ
- ฉ, ช. หลอดแก้วที่ต่อเสร็จเป็นหลอดเดียวกัน

4. นำแท่งแก้วทั้งสองมาต่อเชื่อมกันตามวิธีในข้อ 8.2 จะได้หลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมาก คือเป็นหลอดเดียวกัน (รูปที่ 8.5.3 ง., จ.)

5. เมื่อต่อเสร็จแล้วทำการอบเหนียว (แอนนีล) แก้วประมาณ 10 นาที เพื่อลดความเครียดของแก้วทรงรอยต่อ ป้องกันแก้วที่ต่อเสร็จแล้วแตกหักออกจากกัน จะได้แก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกันมากต่อเป็นแท่งเดียวกันและต่อเชื่อมกันสนิทจนเป็นเนื้อเดียวกันจนไม่มีรอยต่อ (รูปที่ 8.5.3 จ., ช.)

ปฏิบัติการที่ 6

การเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะ

การเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะกลมเป่าได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแก้วที่นำมาเป่า มีเส้นผ่าศูนย์กลางกว้างขนาดไหน ส่วนแก้วที่จะนำมาใช้เป่านั้นจะใช้แก้วชนิดใด เช่น แก้วอ่อน แก้วแข็ง ก็ต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก ในการเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะนั้น การย่นแก้วเป็นสิ่งสำคัญ เพราะการย่นแก้วจะทำให้แก้วหนากว่าปกติ แก้วที่มีความหนาจะโค้งกระเปาะที่เป่าแล้วมีความหนาทนทาน จะแข็งแรงเมื่อใช้งาน ลักษณะของกระเปาะที่ดีเมื่อเป่าแล้วเนื้อแก้วจะต้องมีความหนา บางเรียบเท่ากันตลอดทั้งกระเปาะ มองดูเนื้อแก้วไม่เป็นคลื่น การเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะนั้นเป่าได้หลายวิธี ดังจะกล่าวต่อไป

จุดประสงค์

หลังจากฝึกปฏิบัติทำงานแล้ว นักศึกษาต้องทำสิ่งต่อไปนี้ได้

1. สามารถเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะแขนเดียวโดยใช้หลอดแก้วแท่งเดียว
2. สามารถเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะโดยใช้หลอดแก้วต่างขนาดกัน
3. สามารถเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะที่มีสองแขน

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดแก้ววงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm
2. มีดตัดแก้ว คินสอเขียนแก้ว จุกคอร์ก
3. ตะเกียงเป่าแก้ว

การประเมินผล

จะพิจารณาดังนี้

1. สามารถเป่าหลอดแก้วให้เป็นกระเปาะ 3 หลอด ตามจุดประสงค์ข้อ 1, 2 และ 3
2. กระเปาะแก้วที่เป่าจะค่อนข้างสม่ำเสมอเท่ากันทั้งกระเปาะไม่เป็นรอยคลื่น
3. สามารถนำไปใช้งานได้
4. สังเกตความคงทน เรียบร้อยสวยงามของชิ้นงาน

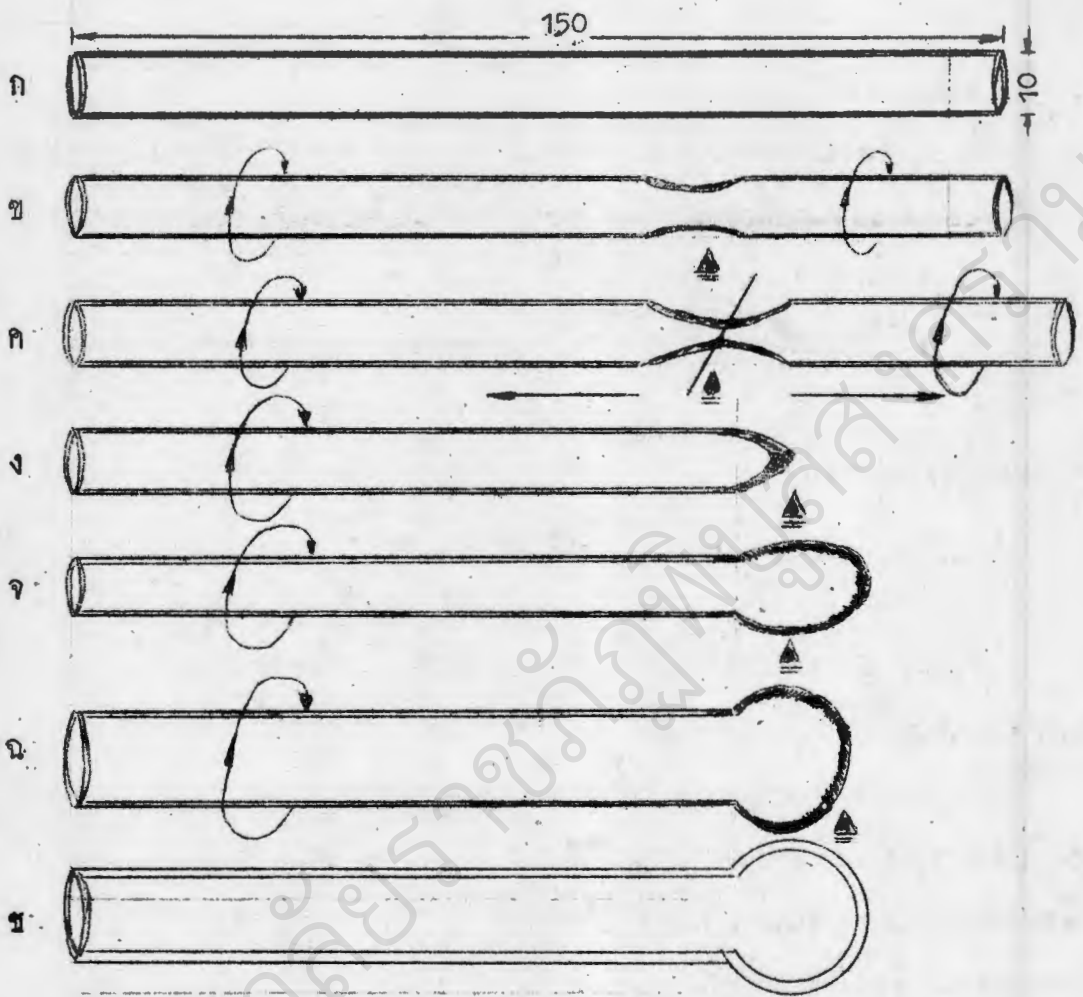
กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ให้เป่าหลอดแก้วที่มีกระเปาะตามจุดประสงค์ข้อ 1, 2 และ 3 อย่างละ 2 หลอด

8.6.1 การเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะแขนเดียวโดยใช้หลอดแก้วแห้งเดียว

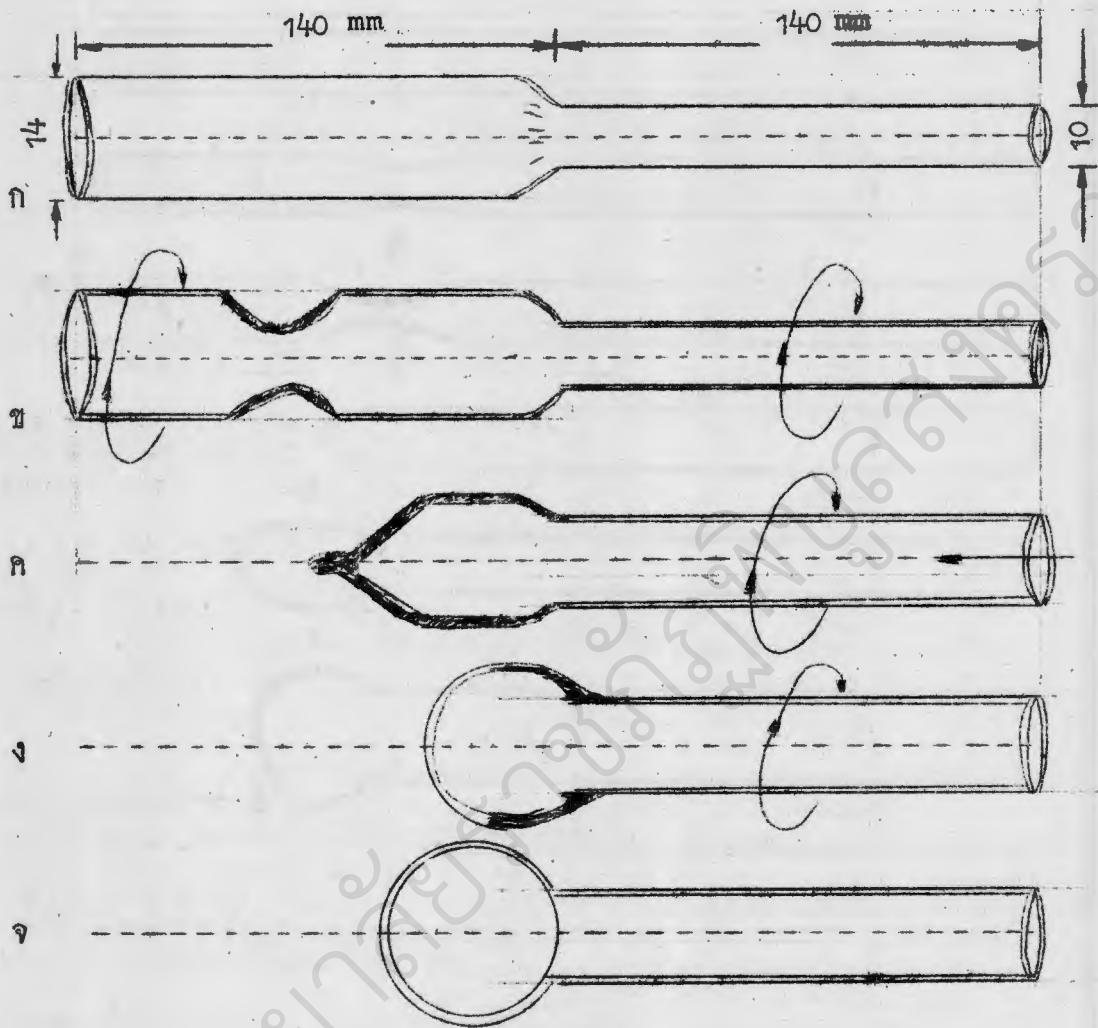
มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. นำหลอดแก้วยาวแห้งหนึ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ปรับเปลวไฟให้มีอุณหภูมิปานกลางให้เปลวไฟขนาดโตพอเหมาะกับหลอดแก้ว นำหลอดแก้วเข้าไฟ หมุนแก้วพร้อม ๆ กันทั้งสองมือในแนวอน จนแก้วเริ่มอ่อนตัวแล้วค่อย ๆ ย่นแก้วเข้าหากันทีละน้อย ๆ จนบริเวณที่เริ่มมีความหนาเท่าที่ต้องการ (รูปที่ 8.6.1 ข.) จากนั้นปรับเปลวไฟให้เล็กลงแล้วเอาปลายทางด้านขวามือของรอยย่นเข้าเปลวไฟหมุนหลอดแก้วรอบ ๆ ตามแนวอนพร้อมกันทั้งสองมือ เมื่อแก้วหดรัดตัวแล้วค่อย ๆ คึงออกจากกัน (รูปที่ 8.6.1 ข.)
2. นำแก้วที่ยืดแล้ว (ดังรูปที่ 8.6.1 ข.) เข้าเปลวไฟให้ชิดส่วนคอคอดที่หนาทางด้านซ้ายมือหมุนมือไปเรื่อย ๆ และใช้เปลวไฟตัดจนแก้วขาดออกจากกัน (รูปที่ 8.6.1 ค., ง)
3. ปรับเปลวไฟใหญ่พอกับแก้วที่ย่นไว้ นำแก้วตรงปลายส่วนที่ย่นไว้เข้าไฟให้เผาให้ถูกหัวรอยย่น หมุนแก้วไปรอบ ๆ จนแก้วเริ่มอ่อนตัว นำออกจากเปลวไฟ หมุนเฉียงให้หลอดแก้วตรง พร้อมกับเป่าไปค้วย (รูปที่ 8.6.1 จ., ฉ.) ทำการเป่าเช่นนี้ไปจนกว่าจะได้ขนาดกระเปาะโตเท่าที่ต้องการและเป่าจนแก้วหนาเรียบเท่ากันหมดทุกส่วนของกระเปาะและสวยงามไม่ดูเป็นคลื่นตามต้องการ (รูปที่ 8.6.1 ซ.)



รูปที่ 8.6.1 การเป่ากระเปาะแบบเดี่ยวโดยใช้หลอดแก้วหลอดเดี่ยว

- ก. หลอดแก้วที่ใช้เป่า
- ข. ขนแก้วบริเวณที่จะเป่าให้หนา
- ค, ง คึงแก้วตรงขนออกจากกัน
- จ, ฉ เหวส่วนปลายแตกแล้วเป่า
- ช. แก้วที่เป่าเสร็จแล้ว



รูปที่ 8.6.2 การเป่ากระเปาะแก้วโดยใช้หลอดต่างขนาดกัน

- ก. ท่อหลอดแก้วต่างขนาดเป็นหลอดเดียวกัน
- ข. ดึงแก้วที่ต่อให้ยืคออก
- ค. ตัดส่วนคอดด้วยเปลวไฟ
- ง., จ. แก้วที่เป่าเสร็จแล้ว

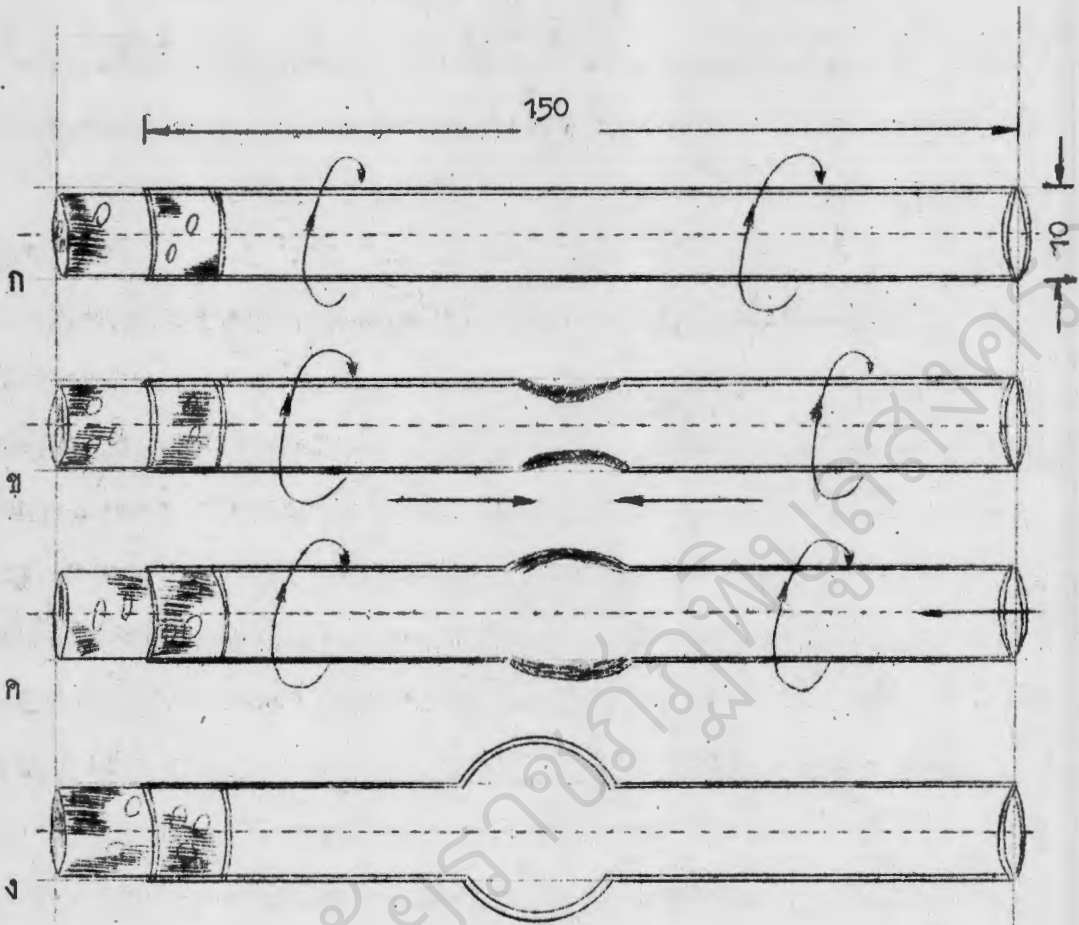
8.6.2 การเป่ากระเปาะแก้วโดยใช้หลอดต่างขนาดกัน มีลำดับขั้นดังนี้

1. นำหลอดแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน ความยาวตามต้องการมาอย่างละแท่ง ปรับเปลวไฟให้พอเหมาะกับแก้วแท่งใหญ่แล้วยึกแก้ว หลังจากนั้นนำไปต่อกับหลอดแก้วหลอดเล็กตามวิธีการต่อแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน (หัวข้อ 8.5.2) จนเป็นหลอดแก้วหลอดเดียวกัน (รูปที่ 8.6.2 ก.)
2. นำหลอดแก้วที่ต่อแล้วเข้าไฟ โดยให้ด้านที่มีขนาดใหญ่เข้าไฟ โดยให้ตำแหน่งที่เข้าไฟห่างจากรอยต่อมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับขนาดของกระเปาะที่ต้องการเป่า ถ้าต้องการกระเปาะใหญ่ก็ต่อหลอดไฟให้ห่างจากตำแหน่งตรงรอยต่อมาก ถ้าต้องการกระเปาะเล็กก็ต่อหลอดไฟห่างจากกระเปาะน้อย ขณะหลอดไฟให้ใช้สองมือจับพร้อมกันหมุนแก้วไปรอบ ๆ จนแก้วเริ่มอ่อนตัวเอาออกจากเปลวไฟแล้วค่อย ๆ คึงแก้วให้ยึกออกจากกัน (รูปที่ 8.6.2 ข.)
3. นำแก้วที่ยึกแล้วมาตัดควยเปลวไฟให้ชิดกับคานที่ต่อกับหลอดแก้วหลอดเล็ก (รูปที่ 8.6.2 ค.) เมื่อตัดออกแล้วจะเหลือส่วนของแก้วใหญ่ที่พอจะเป่าเป็นกระเปาะติดอยู่กับหลอดแก้วเล็ก เพื่อนำมาเป่าเป็นกระเปาะ
4. เปลี่ยนใช้มือซ้ายจับหลอดแก้วเล็ก เอาคานแก้วใหญ่เข้าไฟเผาจนแก้วหลอมเหลวขณะที่เผาหมุนมือไปรอบ ๆ จนแก้วอ่อนตัวก็แล้ว เอาออกมาเป่าขณะที่เป่าต้องหมุนมือที่ถือแก้วไปรอบ ๆ ควย จนแก้วมีความหนาของผนังแก้วเท่ากันดีและกระเปาะกลมดีแล้ว ทำการอมเหนียวแก้วที่เป่าควยเปลวไฟ จะได้กระเปาะแก้วที่เป่า (รูปที่ 8.6.2 ง., จ.)

หมายเหตุ การเป่าแก้วเป็นกระเปาะควยวิธีทั้งสองดังกล่าวแล้ว ถ้าได้กระเปาะไม่กลมและไม่สวยงามให้นำกระเปาะเข้าไฟใหม่และทำการเป่าใหม่จนกว่าจะได้แก้วที่เป่าสวยงามคงทนตามต้องการ และในขณะที่หลอดไฟต้องระวังไม่ให้หลอดแก้วที่มีขนาดเล็ก หรือบริเวณใกล้เคียงถูกไฟเพราะจะทำให้หลอดแก้วงอ หรือบิดโค้งซึ่งจะตัดให้ตรงควยเปลวไฟได้ยาก

8.6.3 การเป่ากระเปาะแก้วที่มีสองแขน

กระเปาะแก้วที่มีสองแขนนั้น ตรงกลางจะเป่าเป็นกระเปาะมีขนาดใหญ่ตามที่กำหนด ส่วนมากจะทำให้ใส่สารละลายภายในหลอดแก้วให้ได้มากขึ้น เพราะกระเปาะจะเพิ่มพื้นที่ของ



รูปที่ 8.6.3 การเป่ากระเปาะแกวสองแกน

- ก. หลอดแกวที่เตรียมไว้
- ข. ย่นแกวตรงบริเวณจะเป่าให้หนา
- ค. ลนไฟตรงรอยย่นแล้วเป่าเป็นกระเปาะ
- ง. แกวที่เป่าเป็นกระเปาะเสร็จแล้ว

หลอกแก้ว จะทำให้ไม่ต้องใช้หลอกแก้วยาวมาก เป็นการสะดวกในการใช้เครื่องมือ และเพื่อเป็นการช่วยลดความเร็วของ ๆ เหลวที่ไหลผ่านหลอกแก้วนี้ การเป่าแก้วให้เป็นกระเปาะสองแฉกมีสำคัญขั้นตอนการเป่าดังนี้

1. ตัดหลอกแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ยาว 150 mm ปิดปลายด้านหนึ่งด้วยจุกคอร์ก (รูปที่ 8.6.3 ก.) แล้วปรับเปลวไฟให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของกระเปาะที่ต้องการเป่า เช้าไฟตรงบริเวณที่จะเป่ากระเปาะ หมุนแก้วไปรอบ ๆ ตามแนวแกนจนกระทั่งแก้วเริ่มหลอมตัว พยายามหมุนแก้วช้า ๆ โดยใช้มือสองมือค่อย ๆ คั้นแก้วเข้าหากันในขณะหมุนแก้ว (รูปที่ 8.6.3 ข.) จนผนังแก้วมีความหนาพอ จึงนำออกมาเป่า ขณะเป่าก็หมุนแก้วไปรอบ ๆ ค่อย ๆ การเป่ากระเปาะแบบนี้ค่อย ๆ เป่าให้ได้กระเปาะโตขึ้นทีละน้อย ๆ (รูปที่ 8.6.3 ค.) ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้งจนได้กระเปาะที่ใหญ่ตามกำหนด จะใช้หลอกแก้วที่มีกระเปาะกลางผนังหนาเสมอกันและมีรูปร่างกลมสวยงาม หนาตามต้องการ (รูปที่ 8.6.3 ง.)

2. ทำการอบเหนียวแก้วที่เป่าเสร็จแล้วโดยเฉพาะตรงบริเวณที่เป่าเป็นกระเปาะ เพื่อป้องกันแก้วแตกร้าวเมื่อเย็นลง

ปฏิบัติการที่ 7

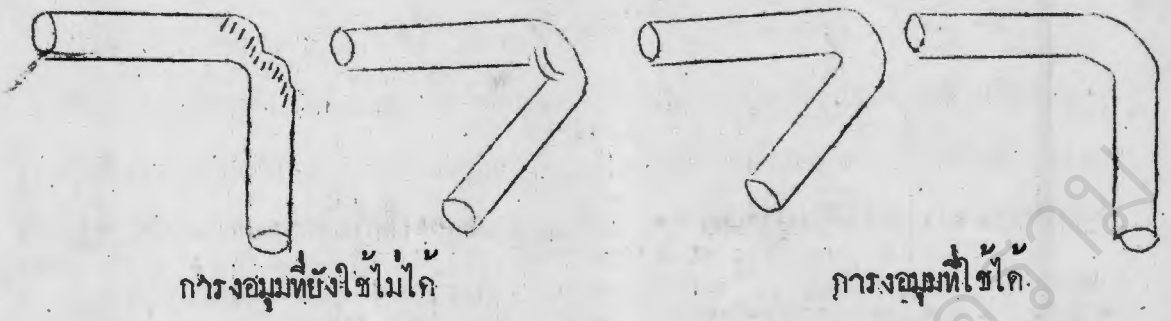
การงอหลอดแก้ว

แก้วที่จะนำมางอนั้นจะเป็นแก้วทรงหรือแท่งแก้วตันก็ได้ ขนาดและความยาวของแก้วที่จะนำมางอนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน เช่นการงอแก้วรูปตัวแอล (L) หรือการงอแก้วรูปตัวยู (U) หลักในการงอหลอดแก้วคือ นำแก้วที่ต้องการจะงอมาค้ำให้มุมงอตามที่ต้องการใช้งาน และให้มีรัศมีของการโค้งงอตามที่กำหนดการใช้งาน แก้วกลางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่จะงอยากกว่าหลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางแคบ ฉะนั้นการงอแก้วจึงมีความยากง่ายต่างกันตามลำดับของขนาดของแก้ว การงอแก้วจะงอได้มุมงอใดและสวยงามเพียงไรนั้น ขึ้นอยู่กับวิธีการฝึกและความชำนาญของช่างเป่าแก้วนั่นเอง

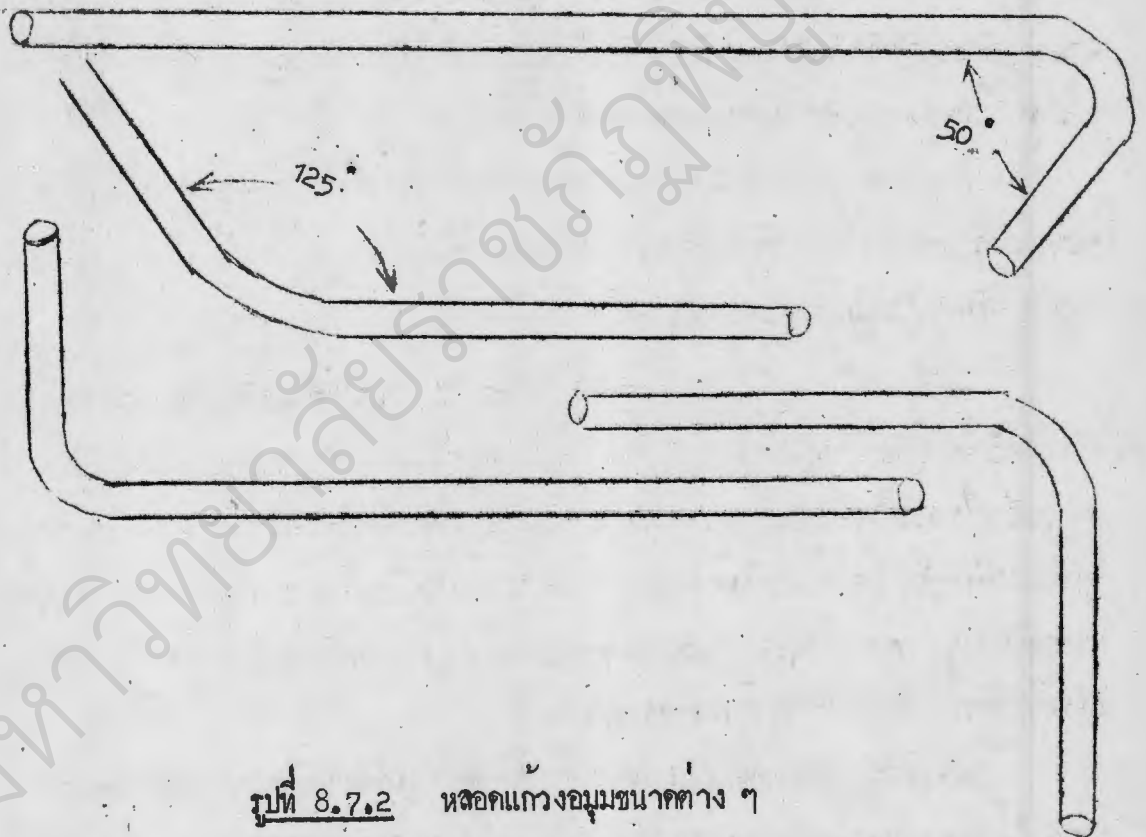
การงอแก้วคือการดัดแปลงให้แก้วโค้งงอโดยที่ให้แก้วทั้งสองข้างของส่วนที่งอหันมุมเข้าหากันตามความต้องการของการใช้งาน เช่นงอเป็นมุมแหลม (30° , 60°) งอเป็นมุมฉาก (90°) หรืองอเป็นมุมป้าน (มากกว่า 90°)

แก้วที่จะนำมางอนั้นต้องทำให้ร้อนตัวในเปลวไฟ จะทำให้บริเวณที่ร้อนตัวมีขนาดกว้างเพียงไรนั้นขึ้นอยู่กับขนาดมุมที่ต้องการจะงอ เช่นจะงอหลอดแก้วรูปตัวยูของรูรัศมีของส่วนโค้งของรูปตัวยูที่ต้องการเป็นเกณฑ์ ถ้าต้องการให้ส่วนของแก้วที่ร้อนตัวมีขนาดยาวขึ้นจะต้องใช้เปลวไฟที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าต้องการให้แก้วถูกเปลวไฟมาก ต้องสนใจไฟเฉียง ๆ เพื่อให้ความร้อนถูกพื้นที่แก้วยาวมาก การงอแก้วให้เป็นมุมแหลมหรือมุมฉากนั้น ส่วนของแก้วที่ถูกไฟควรจะมีควมยาวประมาณสองเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของแก้ว

อุณหภูมิของเปลวไฟที่ใช้ในการงอแก้ว จะใช้อุณหภูมิปานกลาง ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป แก้วจะไม่หลอมเหลวจนงอได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปแก้วจะหลอมเหลวมาก ความหนักคำ ทำให้ไหลง่าย และยากต่อการดัดให้โค้งงอได้รูป ขนาดของเปลวไฟขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของแก้ว มุมที่ต้องการงอและรัศมีการโค้งงอของแก้ว



รูปที่ 8.7.1 การงอมนหลอดแก้ว



รูปที่ 8.7.2 หลอดแก้วงอมนขนาดต่าง ๆ

แท่งแกวกลวงหรือคันทึ่จะนำมางอให้เป็นมุมนั้น เนื้อแกวบริเวณคานในของมุมที่จะงอ จะเบียดกันมากกว่าคานนอกของมุม ซึ่งเนื้อแกวจะถูกยี้ค้ำให้ห่างออกจากกัน จะทำให้บริเวณมุมมี ลักษณะแบน การงอแกวกลวงนั้นรูแกวจะคงไม่ค้ำตรงมุมทั้งอ เส้นผ่าศูนย์กลางของแกวจะคง ไม่เปลี่ยนแปลง โดยใช้วิธีเป่าลมควยปากเข้าไปในหลอดแกวเพื่อไม่ให้หลอดแกวค้ำคั้น ส่วนการ งอแท่งแกวค้ำนั้นต้องใช้เทคนิคปฏิบัติการและความชำนาญเพื่อช่วยไม่ให้แกวแบนตรงมุม

จุดประสงค์

หลังจากฝึกปฏิบัติงานแล้ว นักศึกษาจะต้องทำสิ่งต่อไปนี้ได้

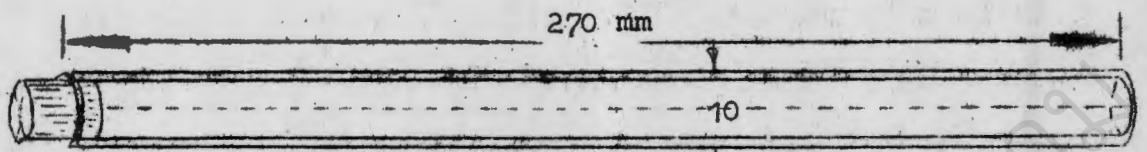
1. สามารถเป่าหลอดแกวมุมงอ 90° และรูปตัวยูได้
2. สามารถงอแกวเป็นมุมอื่น ๆ เช่น มุมแหลม 60° มุมป้าน 120° ได้
3. สามารถนำความรู้เรื่องการงอแกวไปใช้งานสร้างเครื่องแกวแบบต่าง ๆ ได้

วัสดุอุปกรณ์

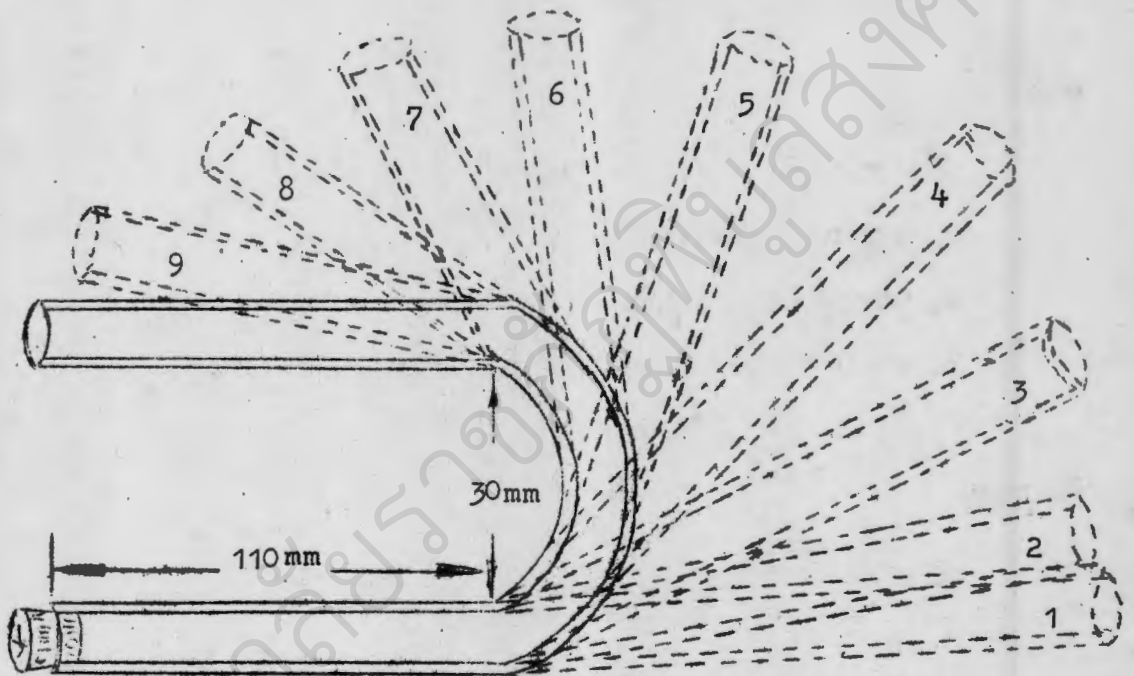
1. หลอดแกวกลวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm และ 15 mm
2. ตะเกียงเป่าแกว
3. มีดค้ำแกว
4. จุกคอรก

ขั้นปฏิบัติงาน ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมหลอดแกวกลวงขนาดยาว 270 mm เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm
- ปีกลายคานหนึ่งของหลอดแกวควยจุกคอรก (รูปที่ 8.7.3) ใช้คินสอเขียนแกวทำเครื่องหมาย ตรงบริเวณที่จะงอสองตำแหน่ง



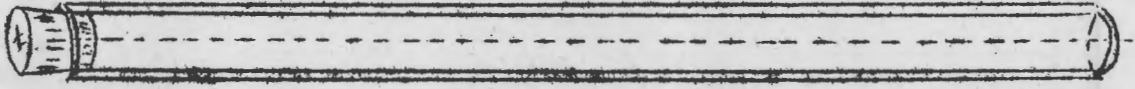
ก



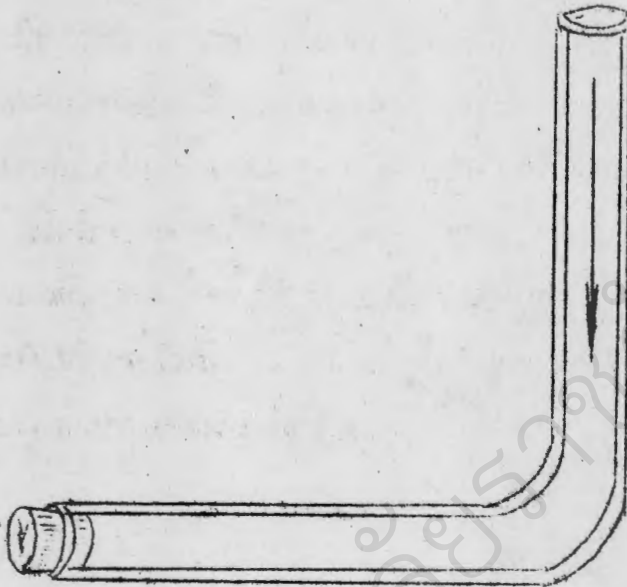
ข

รูปที่ 8.7.3 การงอแก้วรูปท้วม

- ก. หลอดแก้วที่ใช้ในการงอ
- ข. หลอดแก้วท้วมที่งอเสร็จแล้ว



ก



ข

รูปที่ 8.7.4 การงอแก้วรูปตัวแอล (L) มุม 90°

- ก. หลอดแก้วที่ใช้ในการงอ
 ข. หลอดแก้วงอมุม 90° ที่งอเสร็จแล้ว

2. ไข่มือชาวจับแก๊วทางคานที่ปลายปีกจุกคอกรักโดยจับแบบคว่ำมือ ส่วนเมื่อช่วยจับปลายทางคานเปิดของหลอดแก๊วโดยจับหลอดแก๊วแบบหงายมือ นำหลอดแก๊วเข้าไฟตรงบริเวณที่ใช้กินสอเขียนแก๊วทำเครื่องหมายไว้ โดยไขไฟอุณหภูมิปานกลางและขนาดของเปลวไฟให้พอเหมาะ (บริเวณแก๊วที่ถูกไฟให้ความยาวประมาณสองเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางแก๊วในกรณีที่ต้องการงอให้เป็นมุมต่าง ๆ ที่ไม่ใช่ 180°) การงอหลอดแก๊วรูปตัวยูขนาดเปลวไฟจะขึ้นอยู่กับรัศมีความโค้งของก้นตัวยูตรงส่วนที่โค้งงอเป็นครึ่งวงกลม

3. หมุนแก๊วในไฟจนกระทั่งแก๊วเริ่มหลอมเหลวเป็นพลาสติก นำหลอดแก๊วออกจากไฟแล้วค่อย ๆ งอสลักกับการเป่าลมเข้าไปในหลอดแก๊วเพื่อไม่ให้หลอดแก๊วตีบและให้หลอดแก๊วกลม โดยถือหลอดแก๊วให้ตั้งฉากกับพื้นไฟปลายคานที่มีจุกคอกรออยู่คานกลาง ส่วนปลายคานเปิดของหลอดแก๊วจ่อเข้ากับริมฝีปาก ไขมือซ้ายคอย ๆ ออกแรงงอแก๊วเข้าหาคิ้ว พร้อมกับเป่าลมเข้าไปในหลอดแก๊วเบา ๆ ให้แก๊วบริเวณที่งอซึ่งจะตีบขยายตัวออกจนมีรูปเสมอกันตลอดทั้งหลอด เมื่อแก๊วเริ่มแข็งตัวแล้วให้ดูมุมที่งอว่าเป็นไปตามที่ต้องการจะใช้งานหรือไม่ ถ้ายังไม่พอให้เข้าไปบริเวณที่งอใหม่โดยไขอุณหภูมิต่ำกว่าเดิม ให้แก๊วเริ่มหลอมตัวแล้วเอาออกจากไฟมางอ หรือตัดและเป่าให้ได้ตามจุดประสงค์การใช้งาน

การประเมินผล

จะพิจารณาดังนี้

1. จากชิ้นงาน เป่าหลอดแก๊วมุม 90° 1 ชิ้น งอหลอดแก๊วรูปตัวยู 1 ชิ้น
2. สังเกตจากความชำนาญในการเป่า การงอหลอดแก๊วได้ถูกต้อง มุมงอไม่ตีบ

เส้นผ่าศูนย์กลางของเท่าเดิม

3. สังเกตความเรียบร้อยสวยงาม คงทนต่อการใช้งาน

กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ให้งอหลอดแก๊วมุม 90° 1 ชิ้นงาน
2. ให้งอหลอดแก๊วรูปตัวยู 1 ชิ้นงาน

ปฏิบัติการที่ 8

การเป่าหลอดแก้วให้เป็นข้อ

ในการปฏิบัติการทดลองทางเคมีนั้น บางครั้งต้องใช้หลอดแก้วสวมเข้ากับสายยางหรือสายพลาสติก ผิวของหลอดแก้วเรียบและมันจึงทำให้ยึดสายยางได้ไม่ดี จะทำให้เกิดการรั่วซึมของแก๊สหรือของเหลวได้ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงควรเป่าหลอดแก้วที่จะนำมาสวมเข้ากับสายยางหรือสายพลาสติกให้เป็นข้อ ๆ หนุนขึ้นจากผิวของหลอดแก้วที่เรียกว่าช่อออย จะทำให้ช่วยยึดสายยางได้ดีขึ้น ถ้าจะให้แน่นยิ่งขึ้นใช้สายยางหรือลวดรัดค้ำทับข้างบนสายยางรอยข้อจะทำให้แน่นยิ่งขึ้นจนไม่ทำให้เกิดการรั่วซึมหรือหลุดออกมา การทำผิวแก้วเป็นช่อออยนี้จะทำข้อเดียวหรือหลายข้อก็ได้ ถ้าทำมากกว่าหนึ่งข้อ ข้อแรกที่อยู่ห่างจากปลายรูเปิดของหลอดแก้วมากที่สุดจะต้องทำให้เป็นรอยหนุนสูงที่สุด และค่อย ๆ ลดลงจนข้อสุดท้ายที่อยู่ใกล้ปลายหลอดแก้วมากที่สุดจะหนุนน้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกแก่การสวมยางหรือสายพลาสติก

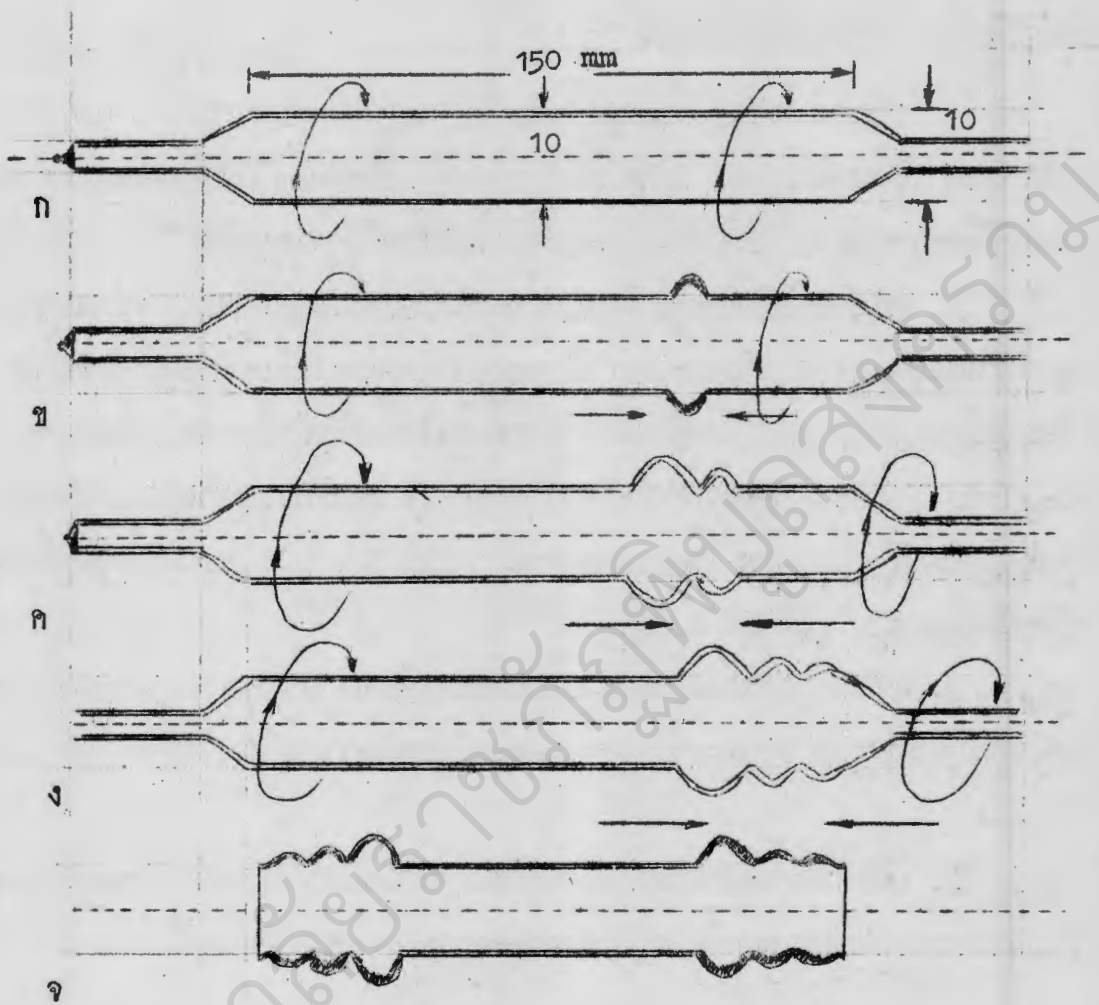
จุดประสงค์

หลังจากฝึกปฏิบัติการแล้ว นักเรียนจะต้องทำอะไรต่อไปนี้ได้

1. เป่าหลอดแก้วเป็นช่อออยได้ปลายหลอดคานละ 3 ข้อ
2. สามารถนำหลอดแก้วที่เป่าแล้วไปใช้ประโยชน์ได้
3. สามารถออกแบบขนาดชิ้นงานได้เหมาะสมกับเครื่องมือที่จะนำไปใช้รวมด้วย

วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดแก้วกลาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm
2. ตะเกียงเป่าแก้ว
3. มีดตัดแก้ว คีมสอดเขียนแก้ว



รูปที่ 8.8 การทำส่วนปลายหลอดแก้วให้เป็นข้อ

- ก. ยึดปลายหลอดแก้วทั้งสองด้าน
- ข. ย่นแก้วที่ปลายหลอด
- ค. ย่นแก้วข้อที่สอง
- ง. ย่นแก้วข้อที่สาม
- จ. แก้วที่ทำเสร็จแล้ว

ขั้นตอนปฏิบัติงาน ลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำหลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ตัดยาวประมาณ 150 mm ปรับเปลวไฟใหญ่ (ไขออกซิเจนน้อย) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดแก้ว ยึดปลายหลอดแก้วทั้งสองด้าน (วิธียึดหัวข้อ 8.1) เมื่อยึดแก้วทั้งสองด้านแล้วตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก
2. ปรับเปลวไฟให้มีขนาดเล็ก นำแก้วเข้าไฟโดยให้ผนังถูกไฟหมุนแก้วไปรอบ ๆ ถ้าต้องการให้หลอดแก้วเป็นข้อเพียงข้อเดียว ก็ให้ตำแหน่งของหลอดแก้วที่เข้าไฟอยู่ห่างจากปลายเรียวเล็กประมาณ 25 mm แต่ถาต้องการหลายข้อต้องให้ส่วนที่ถูกไฟห่างออกไปอีกประมาณ 40-50 mm เมื่อเข้าไฟจนแก้วอ่อนตัวก็แล้วนำออกจากไฟ หมุนแก้วรอบแนวแกนพร้อมกับออกแรงคันเบา ๆ ที่มือทั้งสองข้าง ให้แก้วเย็นเซาหากัน (รูปที่ 8.8 ก.) จนผนังแก้วหนาสูงขึ้นตามความต้องการ (รูปที่ 8.8 ข.)
3. การทำข้อที่สองและข้อที่สามให้ขนาดแก้วแบบเดียวกัน แต่ให้หนูน้อยลงตามลำดับ และอยู่ติดออกมาทางปลายหลอดระยะห่างระหว่างแต่ละข้อขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน (รูปที่ 8.8 ค., ง.)
4. เมื่อย่นแก้วจนครบสามข้อแล้ว ปลายอีกด้านหนึ่งก็เป่าโดยวิธีเดียวกันจนครบอีกสามข้อ แล้วตัดส่วนปลายสุดของแก้วทิ้ง แฉงให้สวยงามลบรอยคมตรงส่วนที่ตัด (รูปที่ 8.8 จ.)

การประเมินผล

พิจารณาจาก

1. ชิ้นงานหลอดแก้วที่เป่าเป็นข้อออย
2. ทักษะการใช้เครื่องมือในการ เป่าแก้ว
3. ทักษะการย่นแก้ว การทำแก้วให้เป็นข้อได้สวยงามเรียงใหญ่เล็กตามลำดับ สามารถใช้งานได้ดีและคงทนสวยงาม

กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ใ้เป่าหลอดแก้วชออย 2 หลอด ยาวหลอดละ 150 mm และ 120 mm
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ใ้เป่าหลอดเป็นชออยปลายละ 3 ชอ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

การเป่าแก๊วงานศิลป์

แผนการสอน

- 9.1 การเป่าแก๊วทางคานศิลปะ
- 9.2 การเป่าคอกกูดหลาย
- 9.3 การเป่าตัวหงส์

จุดประสงค์ของบทเรียน

หลังจากจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนต้องทำสิ่งต่อไปนี้ได้ คือ

1. สามารถเป่าแก๊วทางคานศิลปะใหม่ชิ้นงาน 2 ชิ้น คือ คอกกูดหลาย ตัวหงส์
2. สามารถออกแบบสร้างสรรค์จากความคิดริเริ่มของตนเอง 1 ชิ้น
3. สามารถออกแบบงานแก๊วทางคานศิลปะได้
4. สามารถเลือกใช้ขนาดของแก๊วและชนิดของแก๊วได้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ออกแบบ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

1. ใช้วีซีดีอธิบายการเป่าชิ้นงานแก๊วทางศิลปะ
2. สาธิตการเป่าชิ้นงาน คอกกูดหลาย และตัวหงส์
3. แนะนำเทคนิคต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการเป่าแก๊วงานศิลป์

สื่อการสอน

1. ตัวอย่างชิ้นงาน

2. หลอดแก้วขนาดต่าง ๆ
3. มีดตัดแก้ว
4. ตะเกียงเป่าแก้ว
5. ภาพงานแก้วทางศิลปะ

การประเมินผล

1. สังเกตจากชิ้นงานที่ทำ
2. สังเกตความฉีกิรีเริ่มสร้างสรรค์
3. สังเกตจากงานแก้วที่ออกแบบเอง
4. สังเกตความสวยงามเหมาะสมทางศิลปะของชิ้นงาน

กิจกรรมเสริมประสบการณ์

1. ให้เป่าคอกกุกหลายจากหลอดแก้วกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm 3 คอก
2. เป่าหัวหงตจากหลอดแก้วกลางขนาด 10 mm และ 15 mm 1 อย่างละ 1 หัว
3. ชิ้นงานที่คิดสร้างสรรค์เอง 1 ชิ้นงาน

การเป่าแก้วงานศิลปะ

9.1 การเป่าแก้วทางคานศิลปะ

เป็นการนำแก้วมาดัดแปลงทำให้รูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการ แก้วที่จะนำมาดัดแปลงหรือตกแต่งนั้นอาจจะเป็นแก้วกลาง แก้วตัน แก้วชนิดอ่อน (soft glass) แก้วแข็ง (Hard glass) หรือแก้วสีต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับความต้องการของงานทางคานศิลปะนั้น ๆ

การใช้แก้วเป่างานทางคานศิลปะนั้น ชาวอียิปต์รู้จักการทำแก้วเป่างานทางคานศิลปะเป็นเวลานาน ตั้งแต่สมัย 5,000 ปีมาแล้ว โดยเริ่มจากการทำแก้วลูกปัด เป็นอาภรณ์เครื่องประดับ การฉาบเคลือบผิวของหินควยแก้วหลอมละลายสีต่าง ๆ ทำให้มีแสงประกายแวววับเหมือนเพชรพลอย และเมื่อประมาณ 2,500 ปีมาแล้ว ชาวอียิปต์ยังสามารถทำแก้วให้เป็นสีต่าง ๆ เช่น แก้วสีแดง แก้วทึบแสง

ในสมัยกลางของประวัติศาสตร์ ชาวโรมันสามารถทำแก้วโมเสกสีต่าง ๆ ประดับตามกระจกหน้าต่าง ตามโบสถ์วิหารมีแสงแวววาวสวยงามมาก (ก่อนหน้านั้นก็รู้จักใช้สีผสมเพื่อทำให้เกิดลวดลายเหมือนหินอ่อนได้แล้ว) และในสมัยนี้ช่างแก้วชาวเวนิสมีชื่อเสียงมากในการทำแก้วสีชมพู

ในศตวรรษที่ 19 ชาวโบฮีเมียได้ผลิตแก้วสีใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น (โดยการใส่ออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ ลงไปในส่วนผสมของแก้ว) เช่น แก้วสีคำ จากเหล็กและแมงกานีส แก้วสีเขียวแกมเหลืองจากยูเรเนียม ปัจจุบันนี้โบฮีเมียซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของประเทศเชโกสโลวาเกีย เป็นประเทศที่มีชื่อเสียงมากในการผลิตแก้วทางคานงานศิลปะที่สวยงามเริ่มตั้งแต่ระบายนภาพลีที่สวยงามบนแก้ว แก้วที่มีภาพสีเล็ก ๆ ที่สวยงามมาก

การเป่าแก้วทางคานงานศิลปะนั้น อาจจะใช้ทำพวกเครื่องใช้ เครื่องประดับตกแต่งต่าง ๆ เช่น ขวดใส่น้ำหอม ถ้วยใส่ของมีค่า ทำเป็นรูปดอกไม้ ผลไม้ ทำรูปสัตว์ในลักษณะ

อาคารต่าง ๆ กัน ทำเรื่องหลัง ทำเป็นรูปอาคารบ้านเรือน เป็นต้น

การทำงานแนวทางการงานศิลปะเป็นงานที่ละเอียดอ่อน ต้องมีสมาธิ ดังนั้นการทำงานทางด้านนี้จึงสามารถใช้เป็นวิถีทางในการพัฒนาสมาธิและจินตนาการ คิดรูปแบบต่าง ๆ ของงานแนว ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มพูนประสบการณ์ในการทำงานแล้วยังเป็นการสร้างจินตนาการใหม่ ๆ ด้วย ความสวยงามของงานเป่าแก้วทางศิลปะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญ ซึ่งในการทำงานแนวทางการงานศิลปะนั้นควรคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ต่อไปนี้เป็นพื้นฐานหลักก่อน

9.1.1 วัสดุที่ใช้ ใต้อุณหภูมิของแก้ว เช่น แก้วอ่อนหรือแก้วแข็ง (โบโรซิลิเกต) แบบแก้วอาจจะเป็นชนิดแก้วตันหรือกลวงขนาดต่าง ๆ ตามความต้องการใช้งาน และแก้วสีต่าง ๆ เพื่อใช้แต่งส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงาน

9.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเป่าแก้ว ควรมีให้ครบ เช่น มีดตัดแก้ว แฉนคาร์บอน แฉนคาร์บอน ตะเกียงเป่าแก้ว คีมคีบ และอื่น ๆ ตามความจำเป็น

9.1.3 จุดอ่อนแก้ว จุดทำงานของแก้ว การรู้อุณหภูมิของจุดอ่อนแก้วและจุดทำงานของแก้วจะช่วยให้การทำงานแก้วรวดเร็วและทำงานได้ชิ้นงานสวยงามขึ้น

9.1.4 รูปแบบของจริงที่นำมาเป็นแบบอย่างในการเป่าแก้ว การย่ออัตราส่วนของส่วนต่าง ๆ ของจริงที่นำมาเป็นต้นแบบต้องให้ไคขนาดสวยงาม เช่น การเป่ารูปสัตว์ กวาง หงส์ ขนาดลำตัว แขน ขา และส่วนประกอบอื่น ๆ ต้องให้เหมาะสม ทำให้ถูกขั้นตอน อิริยาบทที่แตกต่างกันออกไป เช่น รูปสัตว์ยืน นอน เดิน วิ่ง เป็นต้น เมื่อย่ออัตราส่วนได้ดีแล้ว งานที่ออกมาจะสวยงาม

ในการฝึกภาคปฏิบัติการเป่าแก้วทางการงานศิลปะนี้ จะเน้นให้นักศึกษาฝึกฝนด้วยตนเอง เพื่อฝึกทักษะ การพัฒนาสมาธิ ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ให้เกิดประสบการณ์และความชำนาญด้วยตนเองมากกว่าการทำตามแบบอย่างของผู้สอน โดยจะให้ฝึกตามแบบอย่างเป็นการเริ่มต้นเท่านั้น เช่น การเป่าดอกกุหลาบ การทำแจกันใส่ดอกไม้ การทำรูปกวาง การทำรูปปลา เป็นต้น



รูปที่ 9.1 ดอกกุหลาบแก้ว

9.2 การเป่าคอกกุกหลาม

การเป่าคอกกุกหลามนี้ใช้แกวกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขึ้นอยู่กับขนาดของคอกว่า
 ของการคอกกุกหลามขนาดใหญ่หรือเล็ก ปกติมักใช้หลอดแกวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm
 เมื่อเป่าเสร็จแล้วบรรจุน้ำสีสวยงามใช้เป็นคอกไม้ประดับตกแต่งห้องใคสวยงามมาก

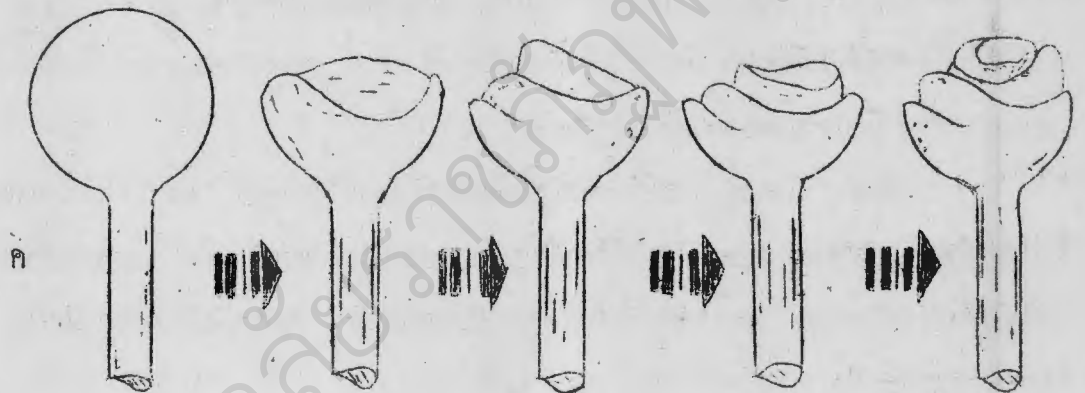
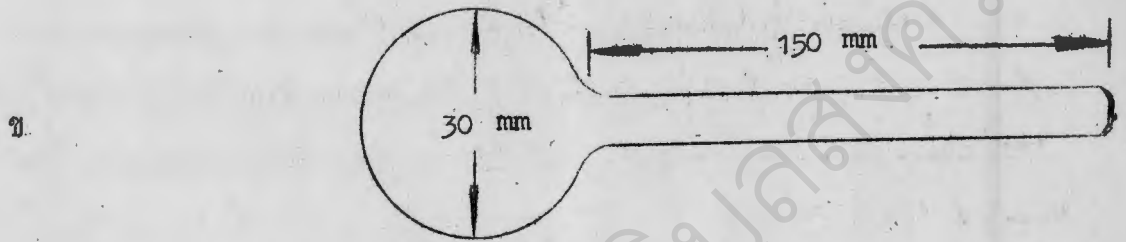
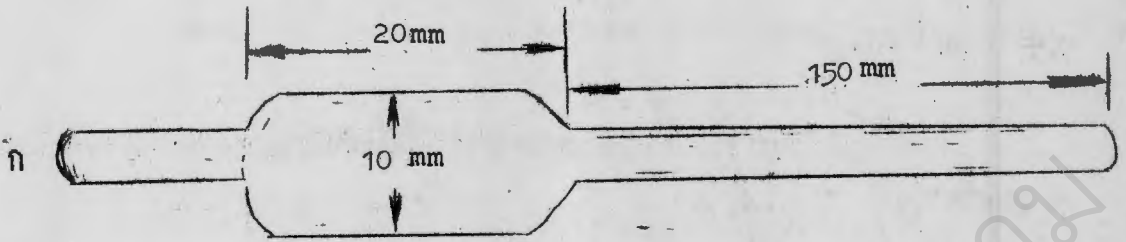
ลำดับขั้นตอนการเป่าคอกกุกหลามมีดังนี้คือ

1. นำหลอดแกวกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm ยาวพอควรมาหลอดหนึ่ง ยึด
 ปลายด้านหนึ่งให้เป็นก้านคอกยาวประมาณ 150 mm พยายามยึดให้ได่ก้านหนาพอสมควร วัด
 ความยาวจากปลายคอกที่คอกเข้ามประมาณ 20 mm ใช้ดินสอเขียนแกวทำเครื่องหมายไว้
 แล้วตัดแกวทางคานปลายที่ทำเครื่องหมายไว้ด้วยเปลวไฟ (รูปที่ 9.2 ก.) ปลายคานที่ตัด
 แล้วเชื่อมติดกันเป็นกระเปาะยาวประมาณ 20 mm

2. ปรับเปลวไฟใหญ่ (ออกซิเจนน้อย) เอาแกวที่ทำไว้แล้วเข้าไปทางคานเป็นกระ
 เปาะเผาจนกระเปาะแกวหลอมเหลวเป็นพลาสติก ระหว่างเผาของหมุ่กานแกวที่ยึดไว้ในแนว
 นอนตลอดเวลา (ต้องระวังไม่ให้เปลวไฟถูกตรงส่วนที่จะทำเป็นก้านยาว เพราะจะทำให้โค้งงอ
 ไม่สวยหรืออาจจะหักได้) เมื่อแกวหลอมเหลวเป็นพลาสติกดีแล้วเอาออกจากไฟ มาเป่าเป็น
 กระเปาะกลมขนาดใหญ่พอเหมาะแก่การทำคอกกุกหลาม ระหว่างเป่าหมุ่แกวไปค่อยเป่ากระเปาะ
 จะได่กลม (รูปที่ 9.2 ข.)

3. ปรับเปลวไฟเล็กพอควร นำกระเปาะกลมเข้าเปลวไฟโดยแยกเผาเป็นส่วน ๆ
 เป็นบริเวณแคบ ๆ ในแต่ละส่วนจนบริเวณนั้นหลอมเหลว แล้วเอาออกจากไฟค่อย ๆ เป่าให้
 บริเวณที่เผาหมุ่ออกเป็นกลีบคอกหลาม ตรงบริเวณแกวที่ยังไม่หลอมจะเป็นร่อง ค่อย ๆ เป่าที่ละ
 กลีบ ๆ จนเป็นคอกกุกหลามทั้งคอกตามต้องการ (รูปที่ 9.2 ค.)

4. เมื่อเป่าคอกกุกหลามแล้ว รอสักครู่แต่อย่าให้แกวเย็น เอาก้านจุ่มลงในน้ำสีต่าง ๆ
 สีจะขึ้นไปในคอกกุกหลาม จะได่กุกหลามแกวสีต่าง ๆ สวยงาม เป็นเครื่องตกแต่งปักแจกันแก้ว



รูปที่ 9.2 การเป่าคอกกุดหลาม

- ก. ยึดแก้มยาวเป็นก้านและตัดแก้มทำกระเปาะ
- ข. เป่ากระเปาะ
- ค. เป่าคอกกุดหลามเป็นชั้น ๆ ทีละก๊ีบ

9.3 การเป่าตัวหงส์

แกวที่ใส่ทำตัวหงส์เป็นแกวกลางขนาดกลาง ใช้แกวตันหรือแกวสี่คกแต่งส่วนที่เป็นปากคา และปีก

วิธีเป่ามีลำดับขั้นตอนดังนี้คือ

1. ขั้นทำส่วนที่เป็นลำคอตัวหงส์ โดยการยืดแกวให้ตรงและให้ยาวหนาพอเหมาะ (รูปที่ 9.3 ก.) พอแกวเย็นตัดส่วนปลายที่ยืดทิ้ง แล้วนำแกวตรงบริเวณที่ติดกับการยืดครั้งแรกเข้าไฟห่างจากจุดตรงแกวคอกประมาณ 6 mm จนแกวอ่อนตัวแล้วยืดให้ยาวพอสมควร เพื่อทำเป็นคอหงส์ (รูปที่ 9.3 ข.)

เมื่อแกวเย็นแล้วนำไปเข้าไฟใหม่ให้ห่างจากจุดที่สองประมาณ 50 mm เมื่อแกวเข้าไฟจนอ่อนตัวนำออกมายืดจนแกวแข็งตัวและตรงดี ตัดส่วนของหลอดแกวตรงที่ไม่ได้ยืดทิ้งด้วยเปลวไฟ ปิดปลายหลอดคานนี้ (รูปที่ 9.3 ค.)

2. ขั้นทำลำตัวหงส์ นำแกวส่วนที่ยังไม่ได้ยืด ซึ่งยาว 50 mm เข้าไฟโดยใช้เปลวไฟใหญ่ (ออกซิเจนน้อย) จนกระทั่งแกวอ่อนตัว นำแกวออกมาเป่าพร้อมกับตั้งเล็กน้อย แกวจะขยายตัวออกรอบ ๆ และโตจนกว่าจะโคลำตัวหงส์ตามที่ต้องการ ระหว่างเป่าให้หมุนแกวไปรอบ ๆ คอยจนกว่าแกวจะแข็งตัว (รูปที่ 9.3 ง.)

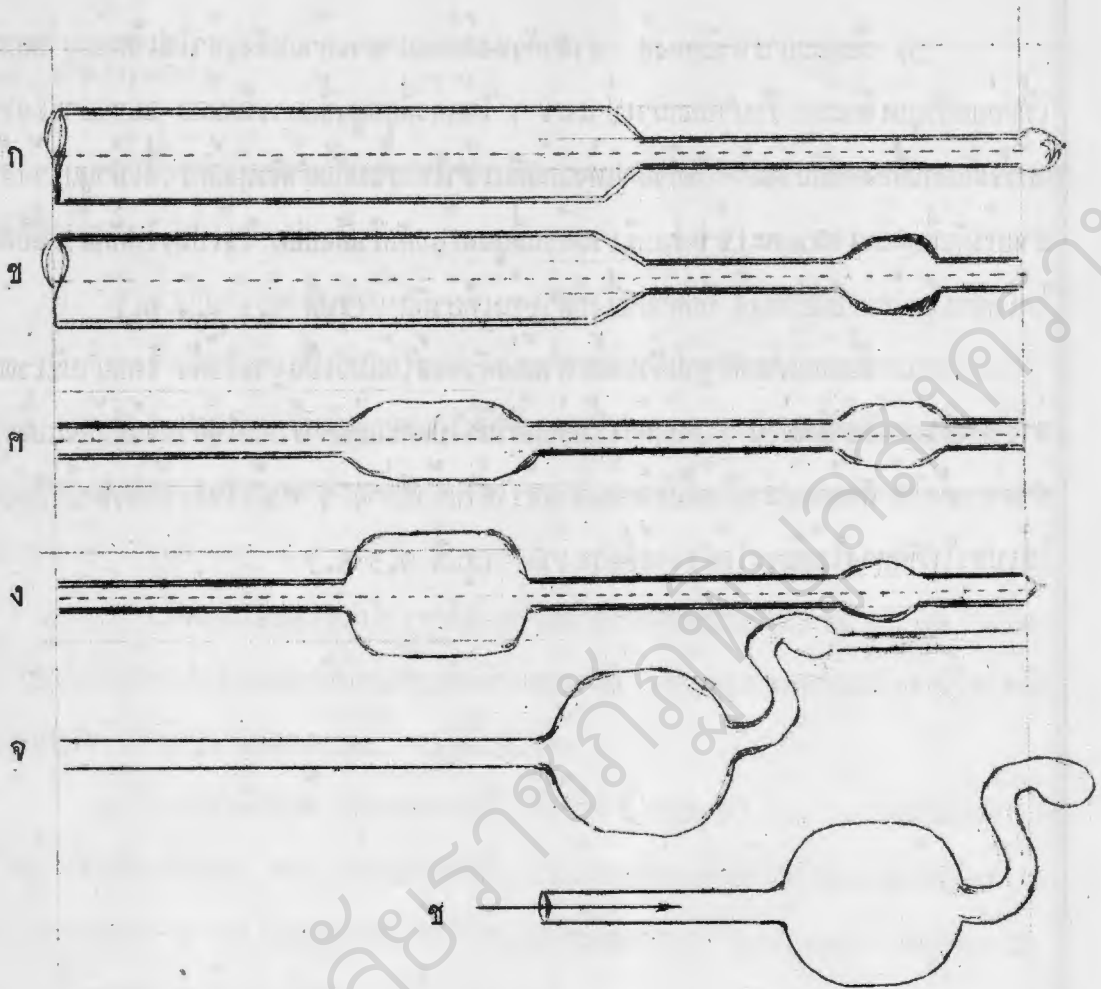
3. ขั้นทำส่วนโค้งของลำคอ ปรับเปลวไฟให้อ่อนนุ่มต่ำกว่าเดิมแล้วนำแกวส่วนที่ยืดไว้เข้าไฟจนอ่อนตัวแล้วตั้งอให้เป็นรูปคอคตามต้องการ แล้วตัดส่วนคานปลายออกเล็กน้อย เหลือส่วนที่เป็นปากไว้ทำหัวปาก (รูปที่ 9.3 จ., ช.)

4. ขั้นทำส่วนที่เป็นปาก นำส่วนปลายที่เป็นปากเข้าไฟจนแกวเริ่มอ่อนตัว เป่าแกวให้หนาเท่ากัน นำแกวตันเข้าไฟจนปลายแกวตันอ่อนตัว นำแกวทั้งสองตะเข้าด้วยกัน ให้ริมแกวตันอยู่คานบนเพื่อให้เป็นหงอนแล้วค่อย ๆ ถึงออกจากกันให้ได้รูปปาก แล้วตัดด้วยไฟให้ขาดออกจากกันเป็นปากและหงอน เอาแกวสีมาเผาให้สอมเหลวแล้วเติมเป็นตาทั้งสองข้าง (รูปที่ 9.3

ช., ฉ.)

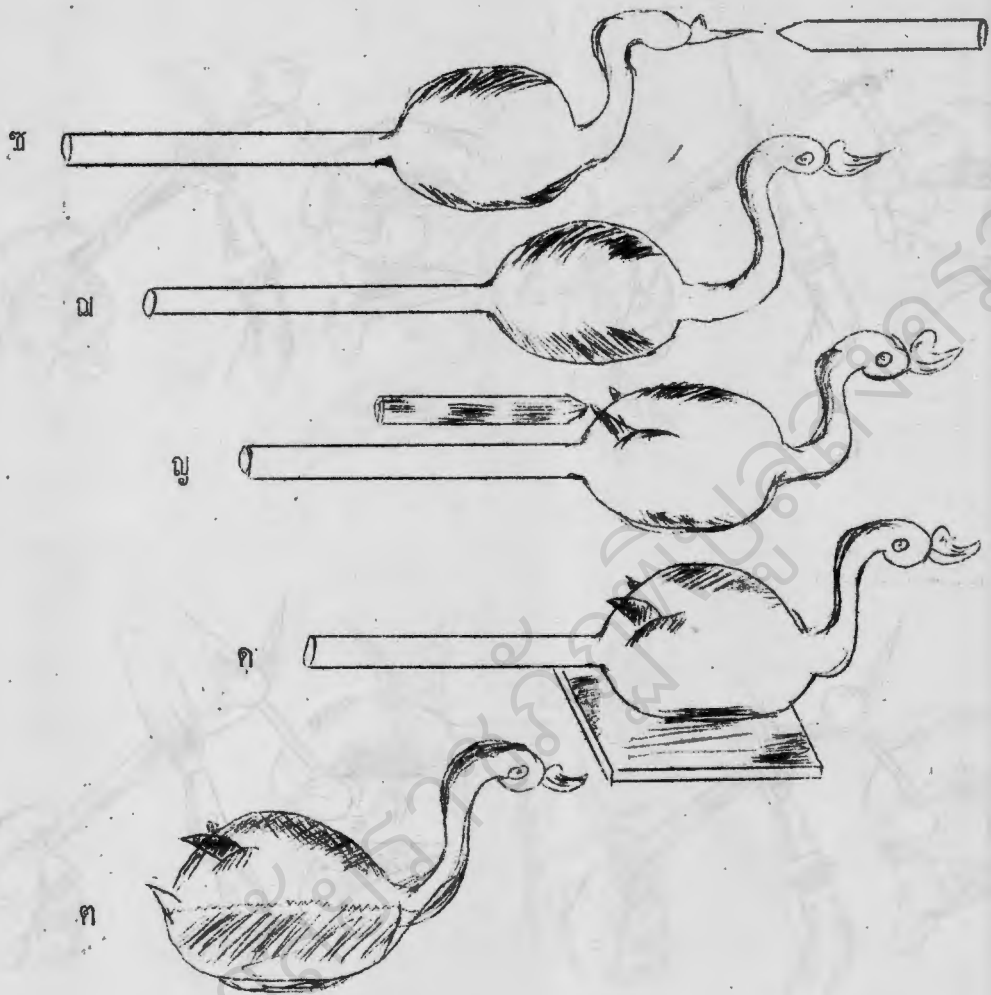
5. ขั้นตอนการทำปีกหงส์ นำลำตัวหงส์คอนมาจากด้านหลังเข้าไฟเล็กน้อย พอแก้วเริ่มอ่อนตัวยุบเล็กน้อย ให้นำออกมาเป่าเบา ๆ ให้แก้วที่ยูนูนขึ้นมาเล็กน้อย อย่าเป่าแรงเพราะแก้วจะแตกเนื่องจากบางมาก แลวนำแท่งแก้วคั้นเข้าไฟพร้อมกับลำตัวหงส์ตรงที่เป่ายูนูนไว้แล้ว นำแก้วคั้นที่หลอมเหลวแตะเข้าตรงบริเวณส่วนที่ยุบพร้อมกับรีบดึงออก ใช้เปลวไฟตัดส่วนที่ยื่นออก ให้เหลือเล็กน้อยเป็นปีกหงส์ อีกค้ำหนึ่งก็ทำเช่นเดียวกัน (รูปที่ 9.3 ฉ., ค.)

6. ขั้นตอนการทำฐานตัวหงส์ ทำห้องตัวหงส์ให้แบนเป็นฐานใช้ตั้ง โดยนำบริเวณส่วนล่างของตัวหงส์เข้าไฟอ่อน ๆ พอแก้วเริ่มอ่อนตัวนำไปแตะแผ่นคาร์บอนให้ตัวหงส์มีทองแบนราบ สามารถตั้งได้ ตัดส่วนปลายให้สั้นเล็กน้อย แล้วใส่ในน้ำสีต่าง ๆ จนน้ำไหลเข้าตัวหงส์เกือบเต็ม ใช้เปลวไฟตัดหางให้สั้นจะได้ตัวหงส์ที่สวยงาม (รูปที่ 9.3 ค.)



รูปที่ 9.3 การเป่าคัพหงส์

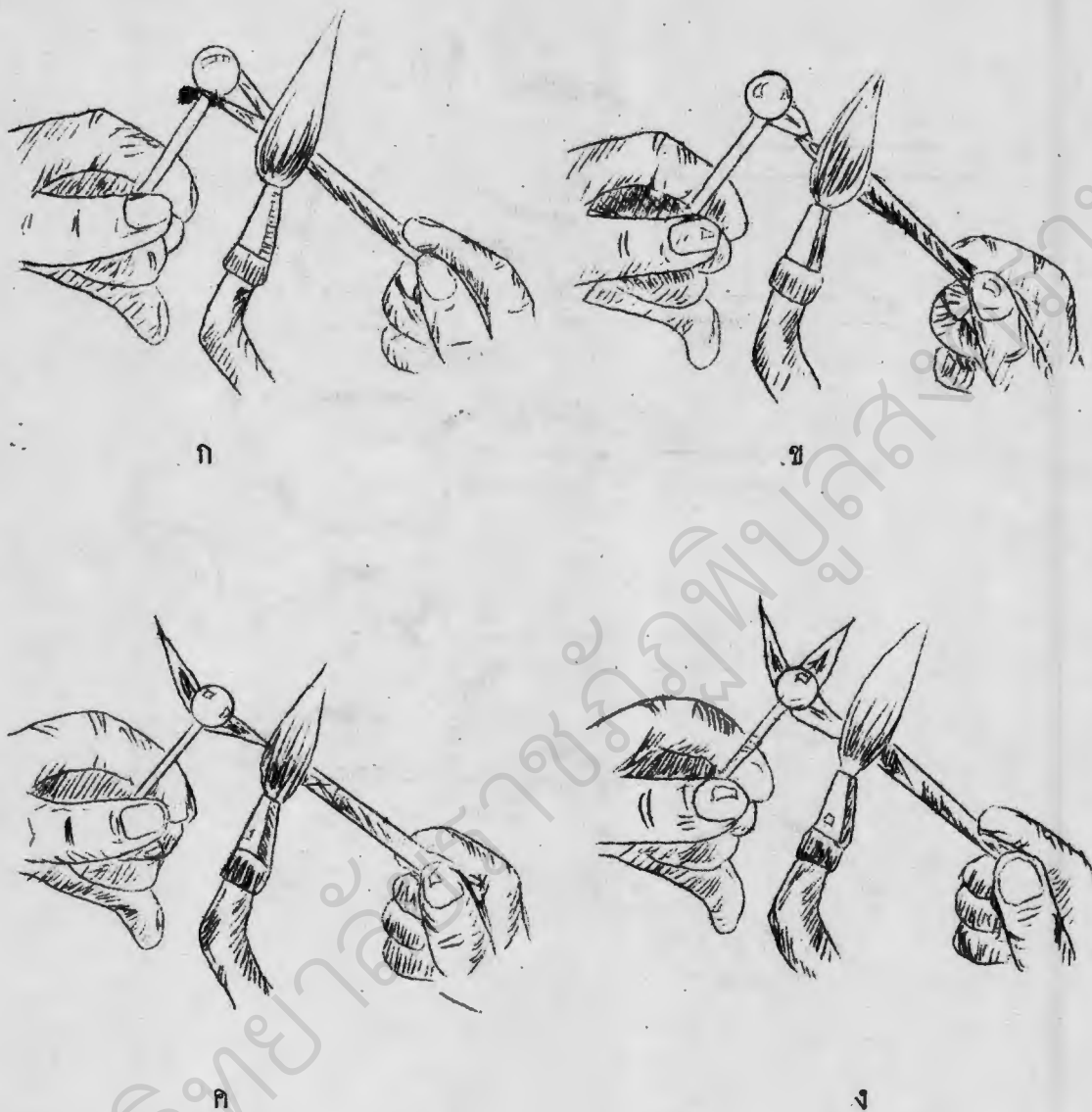
- ก. ยึดแถวยาวหนาพอเหมาะ
 ข. คิ่งส่วนทำคองหงส์
 ค, ง. ชั้นทำลำคัพหงส์
 จ, ช. ชั้นทำส่วนโค้งของลำคอง



รูปที่ 9.3

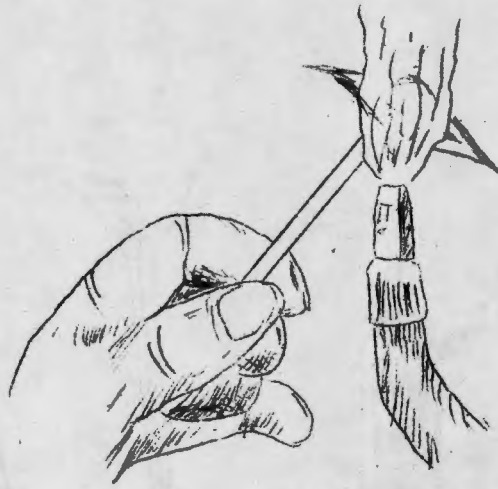
การเป่าตัวหงส์ (ต่อ)

- ข, ฉ ชั้นทำปากหงส์
- ง, ค ชั้นทำปีกหงส์
- ค หงส์ที่เป่าเสร็จแล้ว

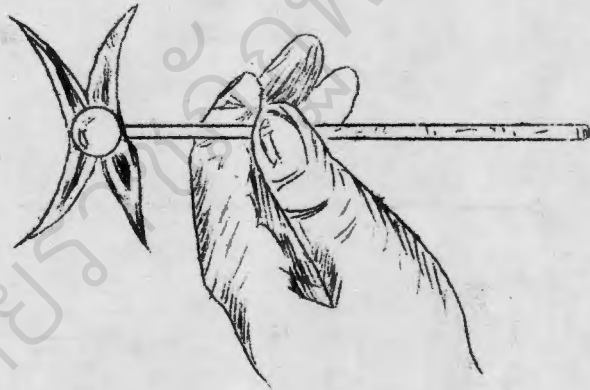


รูปที่ 9.4 ขั้นตอนการทำคอกไม้แก้ว

- ก. บัดกรีคอกและทำส่วนแรกของคอก
- ข. คิ่งแก้วทำเป็นกีดับคอกกีดับแรก
- ค. คอกกีดับคอกกีดับที่สอง
- ง. คอกกีดับคอกกีดับที่สามและสี่



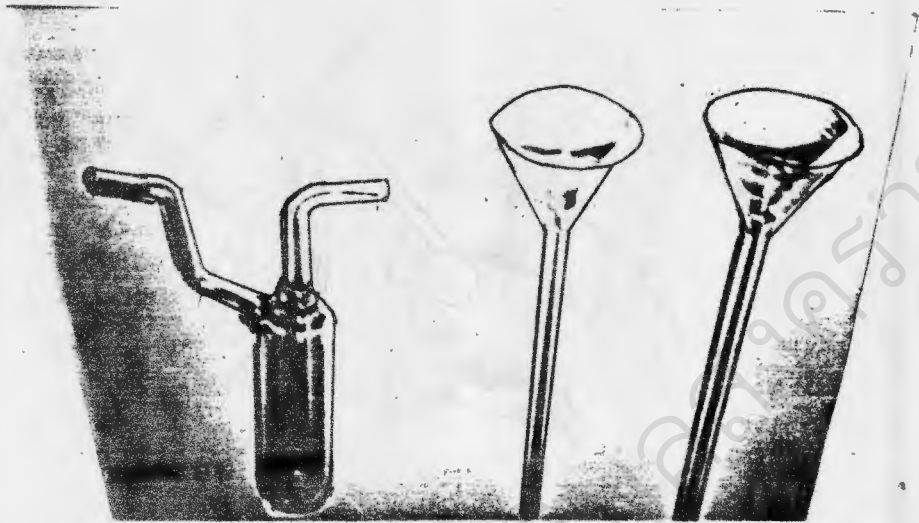
จ



ข

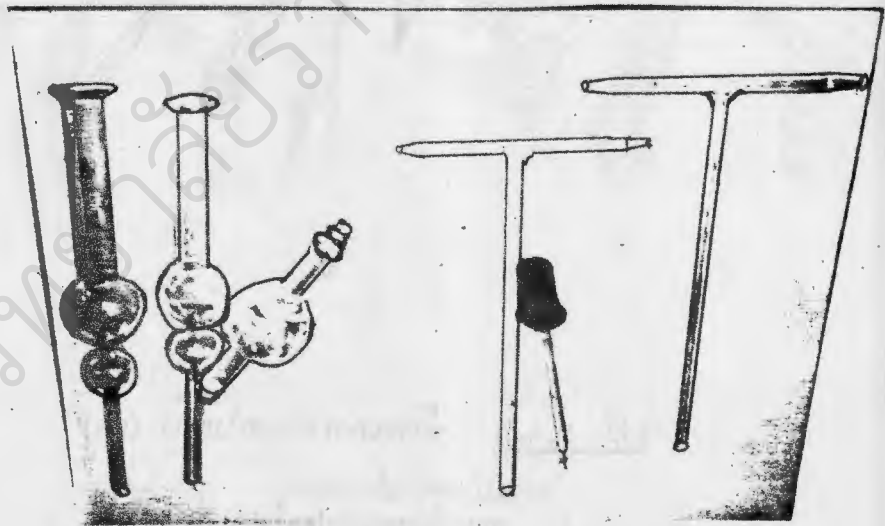
รูปที่ 9.4.1 ขั้นตอนการทำดอกไม้แก้ว (ต่อ)

- จ อบเหนียวด้วยเปลวไฟ
 ข ดอกที่ทำเสร็จสมบูรณ์แล้ว



ขวดอานแกส

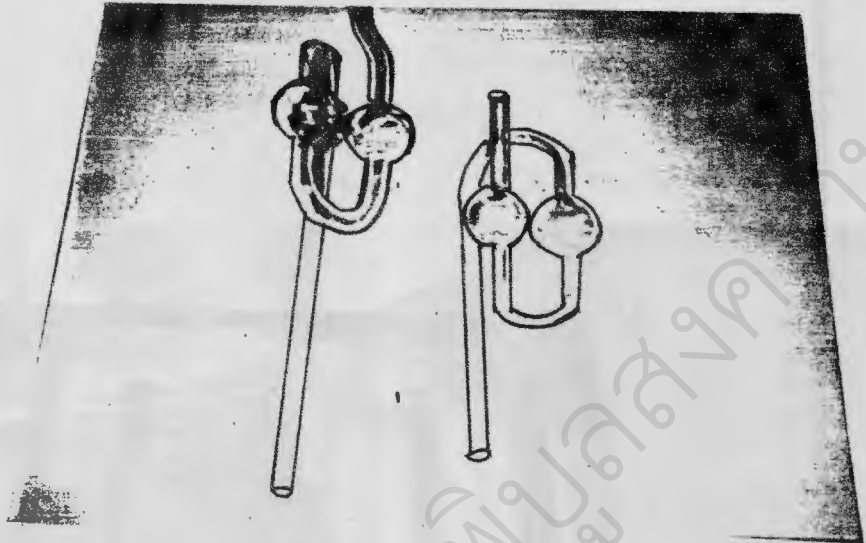
กรวยกรอง



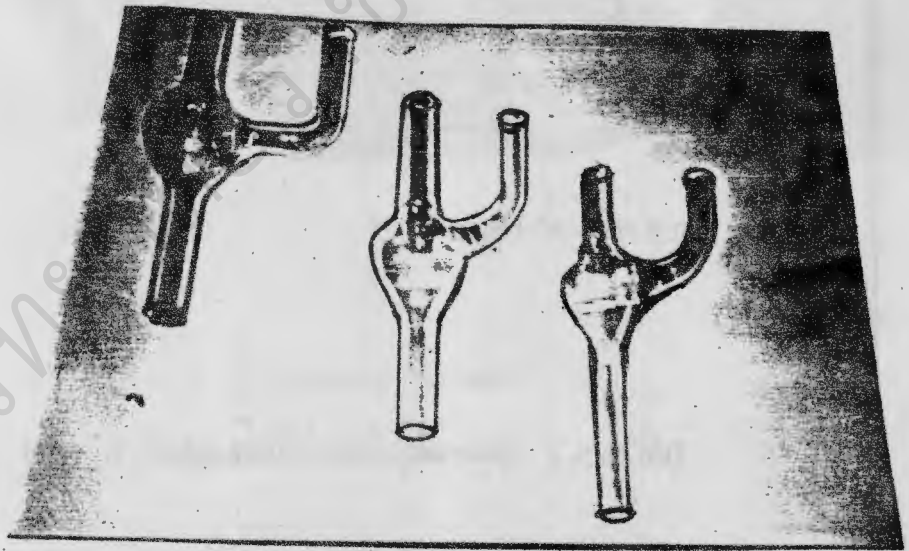
หลอดคนเกลเชื่อมคอขโโรค

หลอดคนแก้วรูปตัวที

รูปที่ 9.5 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ผู้เขียนเป่าในห้องปฏิบัติการ

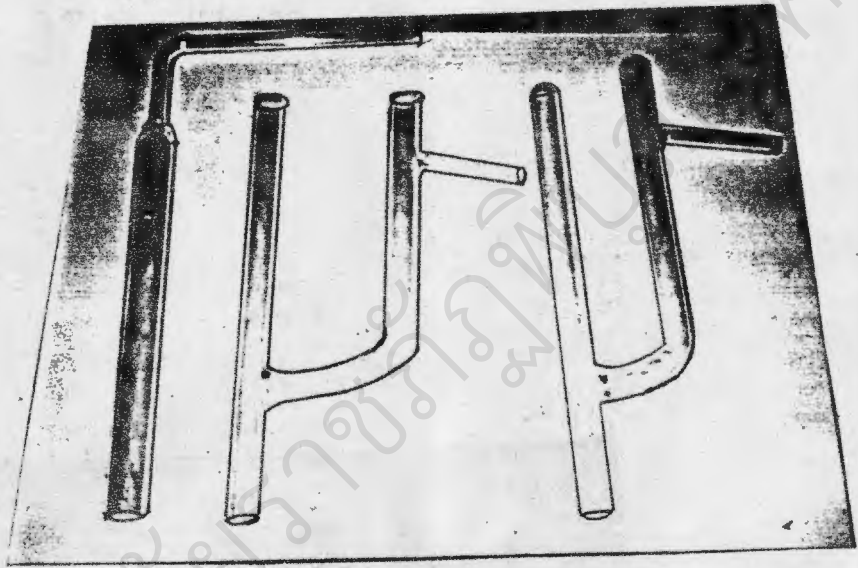


แตรดูด



หลอดแก้วสวมแก๊สกับอากาศ

รูปที่ 9.5.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้เขียนเป่าในห้องปฏิบัติการ (ต่อ)



การทอแก้วทางขนาด

อะแคล์เตอร์

รูปที่ 9.5.2 อุปกรณ์ที่ผู้เขียนเป่าในท้องปฏิบัติการ (ต่อ)



รูปที่ 9.6 ผู้เขียนขณะเป่าแก้วในห้องเป่าแก้ว



รูปที่ 9.7 ผู้เขียนเป็นวิทยากรวิชาการเป่าแก๊วงานศิษย์ในงานนิทรรศการ
วันวิทยาศาสตร์ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2526 ที่โรงเรียนอุตรดิตถ์
อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

บรรณานุกรม

เชียงใหม่, มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี การเป่าแก้วเบื้องต้น เชียงใหม่
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2527

เชียงใหม่, มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี การเป่าแก้วระดับกลาง เชียงใหม่
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2528

ศศิเกษม ทองยงค์ แก้ว กรุงเทพฯ โรงพิมพ์ชวนพิมพ์ 2520

Barbour, R. Glassblowing for Laboratory Technicians. London,
Pergamon Press Inc., 1968.

Carberry, E. Glassblowing : an Introduction to Artistic and
Scientific Flameworking. Minnesota, MGLS Publishing,
1977.

Fliedner Leonard I. and Teichman Louis. Chemistry Man's Servant.
Boston, Allyn and Bacon Inc., 1961.

King, G. Brooks, Caldwell, William E. and Williams, Max B.
Laboratory Experiments in College Chemistry. 3d ed.
New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1972.

Maloney, F.J. Glass in the Modern World. New York, Doubleday
and Company, Inc., 1968.

Partington, J.R. General and Inorganic Chemistry for University
Students. New York, Macmillan and Company Limited, 1968.

Shand, E.B. Glass Engineering Handbook. 2d ed. New York,
McGraw-Hill Book Company, 1958.

Shreve, R. Norris and Brink, Jr. Joseph. Chemical Process Industries. 4th ed. Tokyo, Tosho Printing Co., LTD., 1977.

Wright, R.H. Manual of Laboratory Glass - blowing. New York, Chemical Publishing Company, Inc., 1943.



มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม