

บทที่ ๗

ความรู้พื้นฐานสำหรับการเป่าแก้ว

การเป่าแก้วเป็นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแก้ว ดังนั้น สมบัติทางกายภาพของแก้วจึงมีความสำคัญต่อผลงานที่ทำมาก ผู้ที่เป่าแก้วจะต้องรู้และเข้าใจสมบัติทางกายภาพของแก้วเป็นอย่างดี นอกจากนี้อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการเป่าแก้วนั้น ผู้ที่เป่าแก้วก็ควรที่จะได้รู้หลักการพื้นฐาน, วิธีการใช้ที่ถูกต้อง และขีดความสามารถของอุปกรณ์และเครื่องมือแต่ละอย่างที่มีอยู่ จึงจะทำให้ผลงานที่ได้มีคุณภาพและสัมฤทธิ์ผลตามที่ประสงค์ที่ต้องการทุกประการ สิ่งที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นความรู้ที่ช่างเป่าแก้วควรทราบเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพที่สำคัญต่อการเป่าแก้วและอิทธิพลที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของแก้ว และอุปกรณ์พื้นฐานในงานเป่าแก้ว ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการพัฒนาฝีมือและทักษะในการเป่าแก้วต่อไป

7.1 การใช้ตะเกียงเป่าแก้ว

ในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแก้วนั้นช่างเป่าแก้วต้องใช้ตะเกียงเป่าแก้วที่เหมาะสมกับงาน ช่างเป่าแก้วควรที่จะทราบถึงหลักการทำงานและวิธีการใช้งานของตะเกียงเป็นอย่างดี เนื่องจากตะเกียงเป่าแก้วมีหลายแบบและแต่ละแบบก็มีวิธีการใช้งานต่างกันไป อย่างไรก็ตามก็ดีหลักการพื้นฐานของการใช้ตะเกียงเหล่านี้จะคล้ายกันมาก ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะตะเกียงเป่าแก้วแบบตั้งโต๊ะ (Bench burner) ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในห้องเป่าแก้วระดับมาตรฐานเท่านั้น ตะเกียงแบบนี้เป็นตะเกียงขนาดปานกลาง สามารถปรับเปลวไฟได้หลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงใหญ่ จึงสามารถใช้งานได้กับแก้วได้หลายขนาด

ตัวอย่างของหัวเป่าแก้วแบบนี้แสดงในรูป 7.1 มีแท่นสำหรับวางบนพื้นโต๊ะ สามารถปรับมุมก้ม-เงยได้สะดวก หัวเป่าแก้วจะต่อเข้ากับท่อนำก๊าซเชื้อเพลิง, ท่อนำอากาศ และ

ก๊าซออกซิเจน ปุ่มควบคุมการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงอยู่ที่ปุ่มหมายเลข 1 ก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศ หรือออกซิเจนผสมกันในท่อก่อนออกทางหัวเตา โดยมีขั้นตอนในการใช้ตะเกียงดังนี้

1) ก่อนจะใช้งานหัวเป่าแก้ว ควรเปิดให้ออกซิเจนและก๊าซเชื้อเพลิงผ่านตะเกียง สัก 2-3 วินาที เพื่อไล่อากาศที่ตกค้างในสายยางและฝุ่นผงที่อาจตกค้างที่หัวตะเกียงออกเสียก่อน จากนั้นปิดปุ่มควบคุมตะเกียงอย่างระมัดระวัง โดยอย่าให้แน่นจนเกินไป เพราะจะเป็นอันตราย ต่อลิ้นปิดเปิดซึ่งเป็นทางผ่านของก๊าซและออกซิเจนได้ ในการจุดหัวเป่าแก้วจะมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2) เปิดก๊าซเชื้อเพลิง (ปุ่มหมายเลข 1) ให้ก๊าซเชื้อเพลิงผ่านไปยังหัวเตาเพียง เล็กน้อย (ปิดวาล์วอากาศและก๊าซออกซิเจน) แล้วทำการจุดด้วยไม้ขีดไฟที่หัวเป่าแก้ว จะเกิดการ ลูกไหม้ได้เปลวไฟสีส้มที่มีเขม่ามาก

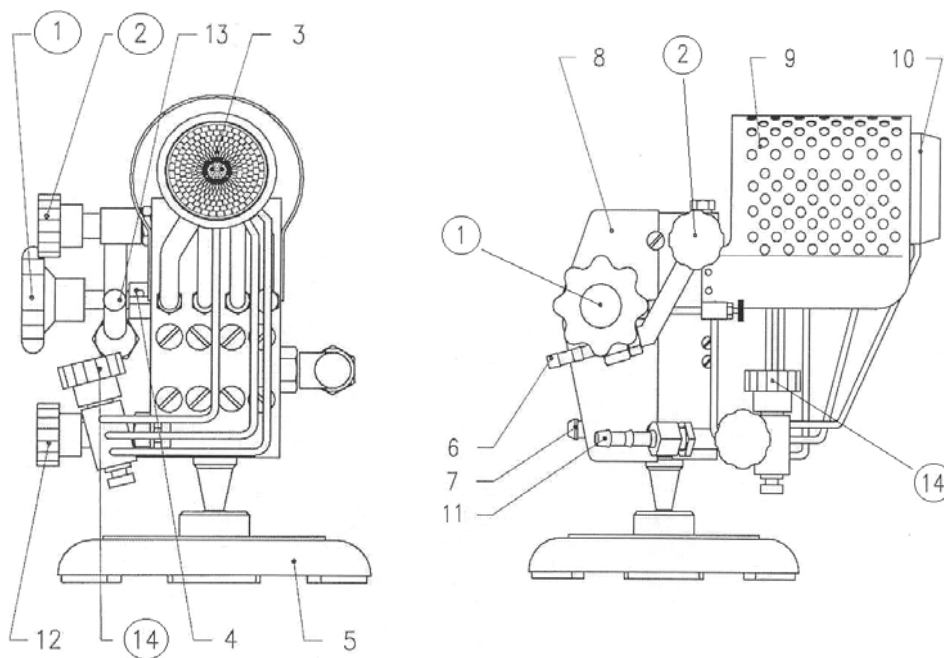
3) เปิดอากาศ โดยปรับปุ่มหมายเลข 14 เพื่อปรับการไหลของอากาศจนกระทั่ง ได้เปลวไฟสีเหลืองที่มีความยาวของเปลวของเปลวไฟประมาณ 15-20 ซม. (ถ้าปล่อยก๊าซมากเกินไป จะทำให้เปลวไฟดับ)

4) เปิดก๊าซออกซิเจน โดยเปิดปุ่มหมายเลข 2 ของตะเกียงเพื่อให้ออกซิเจนเข้าไป เพิ่มอัตราการไหลของออกซิเจนอย่างช้า ๆ จนกระทั่งได้เปลวไฟที่เหมาะสม ซึ่งจะมีโซนข้างใน เป็นสีน้ำเงินสูงประมาณ 1.0-1.5 ซม. ส่วนโซนนอกจะมีลักษณะโปร่งใสสีออกม่วง ส่วนของ เปลวไฟที่ร้อนที่สุดจะอยู่เหนือโซนสีน้ำเงินเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 7.2

ผู้เริ่มต้นเป่าแก้วควรที่จะฝึกควบคุมอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง, อากาศ และ ก๊าซออกซิเจน เพื่อให้ได้ขนาดของเปลวไฟ (หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งอุณหภูมิของเปลวไฟ) ตาม ความเหมาะสมกับงาน

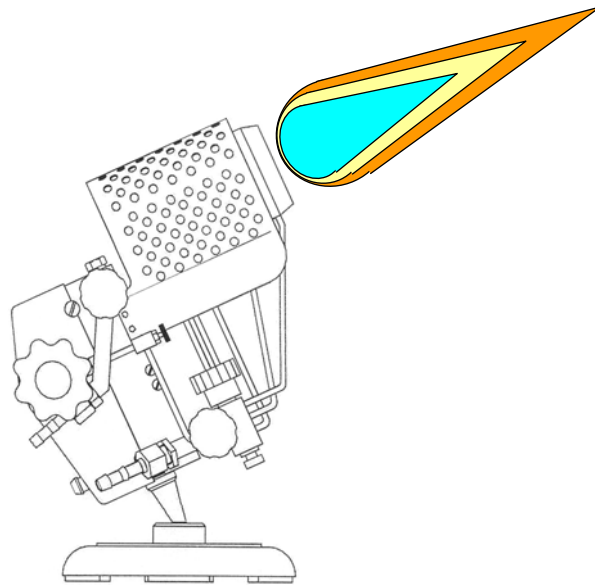
5) เมื่อจะเลิกใช้ตะเกียงเป่าแก้ว ต้องมีขั้นตอนในการปิดไฟหรือดับตะเกียง โดย จะต้องลดอัตราการไหลของออกซิเจนก่อนเสมอ (ปุ่มหมายเลข 2) จากนั้นจึงค่อย ๆ ปิดก๊าซ เชื้อเพลิง (ปุ่มหมายเลข 1) เพื่อลดอัตราการไหลของก๊าซลง จนไฟดับ แต่ยังคงเปิดวาล์วอากาศไว้ (หมายเลข 14) เพื่อให้อากาศเป่าไล่เขม่าและเพื่อลดอุณหภูมิของหัวเป่าแก้ว เมื่อหัวเป่าแก้วเย็นจึง ปิดอากาศ

หลักการของตะเกียงเป่าแก้วที่ใช้เป็นตัวอย่างนี้สามารถใช้กับก๊าซเชื้อเพลิงได้ทุกชนิด และตัวช่วยการสันดาปใช้ได้ทั้งอากาศอัด และออกซิเจนแต่จะต้องทำการเปลี่ยนหัวเตาที่เหมาะสม



รูป 7.1 ตะเกียงเป่าแก้วแบบตั้งโต๊ะ (Herbert Arnold GmbH & Co. รุ่น Zenit 114/1 PSL)

1. ที่ปรับเปลวไฟ (Hand-wheel for flame adjustment)
2. วาวว์หลักออกซิเจน (Main oxygen valve)
3. ปลายหัวเป่าแก้ว (Multiple hole middle jet)
4. วงแหวนตั้งเปลวไฟ (Adjusting ring)
5. ฐานตั้ง (Cast iron foot with ball link)
6. ข้อต่อท่อออกซิเจน (Connection thread with union nut for oxygen)
7. ข้อต่อแก๊สเชื้อเพลิง (Connection thread with union nut for propane gas)
8. ฝาครอบ (Protection hood)
9. แผ่นกันความร้อน (Heat protection)
10. หัวตะเกียง (Burner head)
11. ข้อต่อท่ออากาศ (Connection thread with union nut for air)
12. วาวว์ปรับอากาศรูปกรวย (Cone valve for air)
13. วาวว์ปรับเปลวออกซิเจน (Oxygen valve for stabilizing the flame)
14. วาวว์ปรับอากาศ (Air valve)



รูป 7.2 โชนต่าง ๆ ของเปลวไฟ

7.2 การทำความสะอาดแก้ว

แก้วที่จะนำมาเป่าเพื่อตัดแปลงเป็นรูปร่างต่าง ๆ ต้องสะอาดและแห้ง พวกฝุ่นผงที่เกาะติดบนผิวแก้วจะมีผลต่องานเป็นอย่างมาก เพราะอาจทำให้แก้วที่ทำการเป่าแก้วเสร็จแล้วและปล่อยให้ไวให้เย็น แก้วก็มีรอยร้าวได้ถึงแม้จะได้ทำการแอนนิลแล้วก็ตาม รอยร้าวก็ยังเกิดขึ้นได้เช่นกัน ดังนั้นก่อนทำการเป่าแก้วจึงต้องทำความสะอาดแก้วอย่างดี เพื่อให้มั่นใจว่าแก้วปลอดจากสารตกค้างอย่างแท้จริง ในทางปฏิบัติแก้วใหม่ไม่ค่อยมีปัญหายุ่งยากในการทำความสะอาด การใช้ผ้าที่สะอาดทำให้ชื้นด้วยน้ำกลั่นเช็ดแก้วก็เพียงพอแล้ว จากนั้นใช้ผ้าแห้งที่สะอาดและไม่เป็นขุยเช็ดซ้ำให้แห้ง สำหรับแท่งแก้วกลมจะต้องทำความสะอาดทั้งภายนอกและภายในด้วย ในกรณีที่แก้วสกปรกมากอาจใช้น้ำผสมผงซักฟอก แต่มักจะมีข้อเสียที่มีคราบสารเคมีตกค้างอยู่ที่ผิวแก้ว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ปลอดจากสารเคมีที่ตกค้างอย่างแท้จริง

อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้แล้วเมื่อนำมาซ่อมแซม มักจะก่อให้เกิดปัญหาในการทำ ความสะอาด ปัญหานี้จะลดลงได้หากผู้ใช้อุปกรณ์นั้น ๆ ซึ่งเป็นผู้ที่ทราบดีที่สุดว่ามีสารใด ตกค้างอยู่บ้าง เป็นผู้ทำความสะอาดแก้วก่อนส่งอุปกรณ์นั้น ๆ ไปให้ช่างเป่าแก้ว อย่างไรก็ตาม ช่างเป่าแก้วอาจต้องทำความสะอาดผิวแก้วซ้ำโดย

- แช่เครื่องแก้วในสารละลายกรดกัดแก้ว (กรดไฮโดรฟลูออริก) 2% นานประมาณ 20 นาที กรดกัดแก้วนี้เป็นกรดที่มีอันตรายมาก จึงควรสวมถุงมือยาง และใช้งานด้วยความ ระมัดระวัง และการเก็บกรดนี้ควรเก็บรักษาไว้ในภาชนะพลาสติก อนึ่งในกรณีที่แก้วสกปรก มากอาจต้องใช้กรดเข้มข้น 10-40% หลังจากแช่ในกรดนี้แล้วนำเครื่องแก้วไปทำความสะอาดต่อ โดย

- แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5% นานประมาณ 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำกลั่นสะอาด จากนั้นทำให้แห้งต่อไป

สิ่งที่ต้องระวังเป็นพิเศษคือ ถ้ามีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน มา ล้างเพื่อทำความสะอาดแก้ว ต้องแน่ใจว่าตัวทำละลายนั้นระเหยออกหมดแล้ว จึงทำการเป่าแก้ว ได้ ถ้ายังมีตัวทำละลายอินทรีย์เหลืออยู่ เมื่อนำมาเผา ตัวทำละลายอินทรีย์จะระเหยเป็นไอ ปริมาณของไอที่ฟุ้งกระจายในอากาศมีสัดส่วนที่เป็นของผสมที่ระเบิดได้ ซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยา เคมีระหว่างสารกับออกซิเจนในอากาศอย่างรวดเร็วทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้

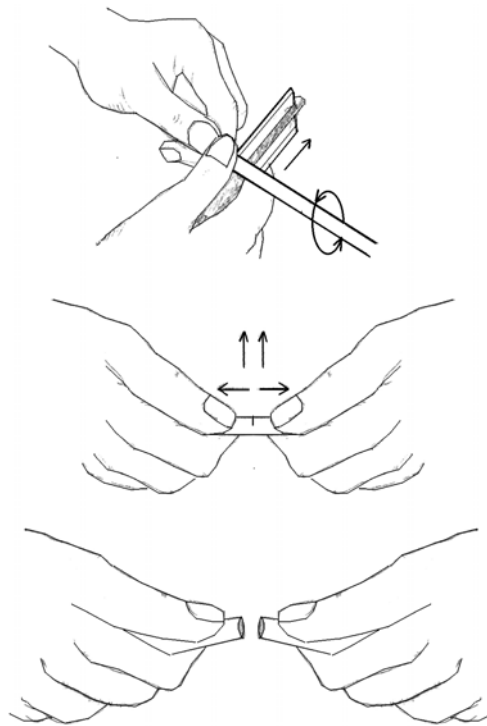
ในการเป่าแก้ว มือที่ใช้จับแก้วควรสะอาดปราศจากไขมัน และผงฝุ่นเช่นกัน พบว่าบางครั้งรอยนิ้วมือบนผิวแก้วอาจทำให้เกิดปัญหาได้เมื่อนำแก้วไปเผาในเปลวไฟ

7.3 การตัดแก้ว

การตัดแก้วที่เป็นหลอดแก้วหรือแท่งแก้วมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของแก้ว เทคนิคต่าง ๆ ของการตัดแก้วมีดังนี้

7.3.1 การทำรอยกรีดบนแก้วแล้วหักด้วยมือ

วิธีการนี้เราอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อแก้วถูกรีดด้วยของมีคม จะทำให้แก้วเกิดความเค้น (Stress) แล้วรอยกรีดนั้นค่อย ๆ ขยายขึ้น ทำให้ส่วนนี้ของแก้วเปราะง่ายต่อการหัก วิธีนี้เหมาะสมสำหรับการตัดหลอดแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก ๆ ไปจนถึง 20 มม. และสำหรับแก้วตันที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 มม. อย่างไรก็ตามก็ดีสำหรับผู้เพิ่งเริ่มต้นเรียนการตัดแก้วควรทดลองตัดแก้วที่มีขนาดเล็กเสียก่อน จากนั้นค่อยตัดแก้วที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การทำแก้วให้เป็นรอยกรีดทำได้หลายวิธี คืออาจใช้ตะไบสามเหลี่ยม หรือตะไบแบนราบก็ได้ แต่ที่ดีที่สุดคือการใช้มีดตัดแก้ว ซึ่งจะกล่าวเฉพาะการตัดด้วยมีดตัดแก้ว



รูป 7.3 การตัดแก้วโดยการทำรอยกรีดบนบนแก้ว แล้วหักแก้วด้วยมือ

การตัดด้วยมีดตัดแก้ว มีวิธีการทำดังนี้

1) มือซ้ายจับแก้วให้กระชับส่วนมือขวานั้นจับมีดตัดแก้ว โดยวางนิ้วหัวแม่มือของมือขวาลงบนแก้วที่จะตัด ส่วนคมมีดติดอยู่กับแก้วด้านตรงข้ามกับหัวแม่มือ (ดูรูปที่ 7.3) มีดตัดแก้วจะอยู่ในอุ้งมือของนิ้วทั้งสี่

2) นิ้วหัวแม่มือขวาออกแรงกดลงบนแก้ว พร้อมกับค่อย ๆ ดันแก้วไปข้างหน้า (ซึ่งจะเลื่อนออกไปมากขึ้นขึ้นอยู่กับความต้องการให้รอยกรีดนั้นยาวแค่ไหนปกติรอยกรีดเพียง $\frac{1}{3}$ หรือ $\frac{1}{4}$ ของเส้นรอบวงของแก้วนั้นเพียงพอแล้ว) ในขณะเดียวกันให้หมุนแท่งแก้วเข้าหาตัวด้วยมือซ้าย

3) เมื่อแก้วมีรอยกรีดแล้ว ทำให้รอยกรีดมีความชื้น โดยใช้นิ้วมือที่ชื้น ลูบบริเวณรอบ ๆ รอยกรีด จากนั้นก็เป็นขั้นตอนการหักแก้ว

4) ขั้นตอนการหักแก้วกระทำโดยใช้มือซ้ายและมือขวากำหลอดแก้ว (ในตำแหน่งราวหัวเข็มขัด) โดยมีนิ้วหัวแม่มือทั้งสองอยู่ระหว่างรอยกรีดและให้รอยกรีดอยู่ด้านบน จากนั้นออกแรงที่หัวแม่มือทั้งสองโดยดึงแก้วขึ้นในลักษณะงอแก้วขึ้นมา ในขณะเดียวกันก็ต้องดึงแก้วให้แยกออกจากกันไปทางด้านซ้าย-ขวา แก้วจะหักออกจากกัน แต่ถ้าไม่สามารถหักแก้วได้อาจเป็นเพราะว่ารอยกรีดสั้นเกินไป ต้องทำรอยให้ลึกกว่าเดิม หนึ่งต้องพยายามกรีดซ้ำรอยเดิมและหากกรีดกว้างก็ต้องให้อยู่ในแนวของรอยกรีดเดิมด้วย ในกรณีที่แก้วที่หักแล้วนั้นมิลักษณะแหลมคมเป็นปากฉลามแสดงว่าตอนหักแก้วนั้นพยายามจะงอแก้วมากเกินไปหรือไวเกินไป ในการหักแก้วครั้งต่อไปต้องพยายามให้การงอแก้วและดึงแก้วมีความสัมพันธ์กันมากกว่านี้

7.3.2 การตัดด้วยแก้วตันร้อน

แก้วที่มีขนาดใหญ่หรือหลอดแก้วที่ติดอยู่กับชุดเครื่องแก้ว สามารถตัดออกได้ โดยการทำรอยกรีดบนหลอดแก้วตามวิธีกล่าวแล้วให้มีความยาวของรอยกรีดประมาณ $\frac{1}{3}$ ของความยาวเส้นรอบวงของหลอดแก้ว จากนั้นนำแท่งแก้วตันที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 4-6 มิลลิเมตร มาเผาปลายข้างหนึ่งให้ร้อนจัด แล้วจี้ปลายที่ร้อนเข้ากับปลายรอยกรีดปลายใดปลายหนึ่ง รอยกรีดจะขยายออกมากยิ่งขึ้นจนรอบหลอดแก้ว จากนั้นเคาะหลอดแก้วเบา ๆ แก้วจะหักออกจากกันได้อย่างง่ายดาย

7.3.3 การตัดด้วยการเผาที่รอยกรีด

การตัดแก้วด้วยวิธีนี้ กระทำโดยทำรอยกรีดให้ลึกพอควรบนหลอดแก้วที่ต้องการจะตัด (ประมาณ $1/3$ ของความยาวเส้นรอบวงของหลอดแก้ว) จากนั้นเผาปลายข้างหนึ่งของรอยกรีดด้วยเปลวไฟที่เล็กและร้อนอย่างทันทีทันใด รอยกรีดจะขยายออกไปจนรอบหลอดแก้ว จากนั้นจะหักแก้วออกจากกันได้ง่าย

7.3.4 การตัดด้วยเครื่องตัดแก้ว

วิธีการตัดแก้วนี้ใช้สำหรับแก้วที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่มาก ๆ เครื่องตัดแก้วจะประกอบด้วยแผ่นใบเลื่อย หมุนอยู่กับที่ ใบเลื่อยมักจะทำด้วยคาร์โบรันดัม (Caborundum) และหมุนด้วยความเร็วคงที่ เพื่อป้องกันใบเลื่อยร้อนขณะใช้งานและลดการเสียดสีระหว่างใบเลื่อยกับแก้วที่ต้องการตัด ส่วนล่างของใบเลื่อยจะจุ่มแช่ในอ่างน้ำซึ่งวางอยู่ใต้แท่นวางแก้ว ขณะทำการตัดแก้วจะต้องหมุนหลอดแก้วช้า ๆ เพื่อให้เลื่อยตัดได้ครบรอบของเส้นรอบวงของแก้ว แก้วที่ตัดโดยวิธีนี้จะมีสีเทาตรงบริเวณรอยตัด ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยการนำไปเผาในเปลวไฟ (Fire polishing)

7.4 การลบคมแก้ว

แก้วที่ตัดได้โดยวิธีต่าง ๆ จะมีขอบที่คมมากทีเดียว ดังนั้นจะต้องทำการลบคมของแก้วนี้เสียก่อน มักใช้วิธีการหลอมแก้วบริเวณรอยตัดนั้นด้วยเปลวไฟ วิธีการลบคมด้วยเปลวไฟกระทำโดยการนำส่วนปลายของแก้วที่ต้องการจะลบคม ค่อย ๆ เข้าไปในไฟอย่างช้า ๆ (เพื่อเป็นการอุ่นแก้วก่อน มิฉะนั้นแก้วจะแตกทันที) พร้อมกับทำการหมุนแก้วไปตลอดเวลา จนคมของแก้วหลอมแหลมมองเห็นเป็นสีส้มจึงค่อย ๆ นำแก้วออกจากไฟ ในกรณีที่แก้วเพื่อนำไปใช้ต่อกับแก้วส่วนอื่น ๆ ก็ไม่จำเป็นต้องลบรอยคมแก้ว และต้องไม่ลบคมแก้วด้วยไฟนานเกินไป เพราะจะทำให้แก้วบริเวณนั้นเกิดการหลอมและหดตัวลง จนทำให้เสียรูปทรงได้

7.5 การแอนนีส (Annealing)

แก้วที่ถูกเผาในเปลวไฟที่ร้อนนั้น เมื่อนำออกจากเปลวไฟอย่างรวดเร็ว จะทำให้แก้วแต่ละส่วนเย็นตัวลงด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน ทำให้แก้วบริเวณนั้นเกิดความเค้น (Stress) ขึ้นในเนื้อแก้ว ถ้าความเค้นนี้มีมากไปจะทำให้เกิดรอยร้าวในเนื้อแก้วซึ่งอาจเกิดขึ้นทันทีทันใด หรืออาจเกิดขึ้นภายหลังจากที่ทิ้งไว้จนเย็นตัวลงเท่าอุณหภูมิห้องแล้วก็ได้ พบว่าแก้วยิ่งหนามากเท่าใดความเค้นนี้ก็ยิ่งเกิดได้มากและโอกาสที่จะเกิดรอยร้าวบนชิ้นงานที่ทำเสร็จแล้วยังมีมากตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแก้วที่หนานี้เมื่อนำออกจากเปลวไฟ ผิวนอกที่สัมผัสกับอากาศจะเย็นลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เนื้อแก้วภายในไม่ยอมหดตาม ต่อมาเมื่อแก้วข้างในเริ่มเย็นตัวลง จึงจะเกิดการหดตัวในขณะที่ผิวแก้วด้านนอกเย็นเท่าอุณหภูมิห้องแล้วจึงไม่มีการหดตัวเพิ่มเติมแต่อย่างใด สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเกร็งในเนื้อแก้ว เรียกว่า ความเค้น (Stress) นั้นเอง และหากไม่มีการกำจัดความเค้นนี้ แก้วจะมีความเค้นนี้อยู่มากพอจะทำให้เกิดการแตกร้าว แต่ถ้ามีไม่มากพอ จะทำให้แก้วบริเวณที่มีความเค้นนี้มีโอกาสเกิดการชำรุดเสียหายได้ง่ายในขณะที่ใช้งาน การกำจัดความเค้นนี้กระทำได้โดยวิธีการที่เรียกว่า การแอนนีส ซึ่งเป็นการทำให้แก้วค่อย ๆ เย็นลงอย่างช้า ๆ ให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง การแอนนีสเครื่องแก้วร้อนที่ถูกต้อง มี 4 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้

ขั้นที่ 1 การเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องแก้ว ให้เครื่องแก้วมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่จุดแอนนีส (Annealing point) ภายในเวลา 10-15 นาที อุณหภูมิที่จุดแอนนีสนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนประกอบของแก้ว ตัวอย่างเช่นแก้วโบโรซิลิเกตมีจุดแอนนีสที่ 555°C ในขณะที่จุดการทำงาน (Working point) มีอุณหภูมิเป็น $1,220^{\circ}\text{C}$ เป็นต้น (ตาราง 7.1)

ขั้นที่ 2 การรักษาอุณหภูมิของเครื่องแก้วไว้ที่จุดแอนนีส เพื่อให้โมเลกุลของสารที่เป็นองค์ประกอบของเครื่องแก้วมีเวลาเพียงพอที่จะจัดเรียงตัวหรือเคลื่อนย้ายไปอยู่ในตำแหน่งมีเสถียรกว่า ใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที

ขั้นที่ 3 การลดอุณหภูมิของแก้วให้ต่ำกว่าจุดแอนนีสประมาณ 75°C ภายในเวลา 10-20 นาที

ขั้นที่ 4 การลดอุณหภูมิของแก้วลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง ทำให้แก้วเย็นตัวลงอย่างช้า ๆ ต่อไปจนอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ในเวลา 20-30 นาที

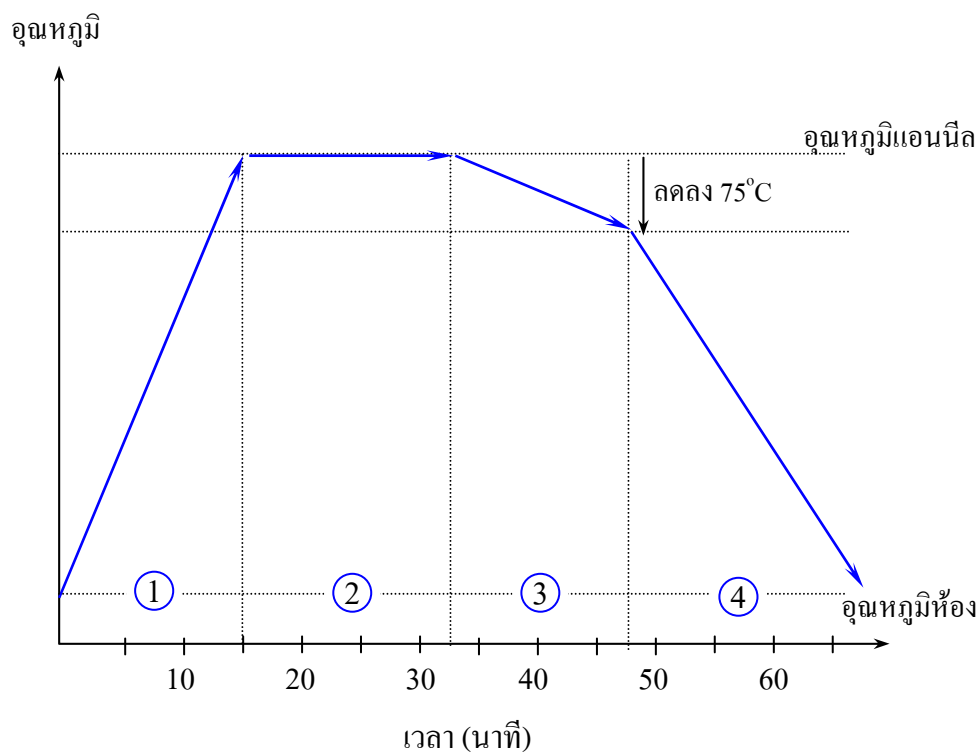
ตาราง 7.1 อุณหภูมิแอนนีย์ลของแก้วบางชนิด

| ชนิดของแก้ว | จุดอ่อนตัว (softening point, °C) | จุดการทำงาน (working point, °C) | จุดแอนนีย์ล (annealing point, °C) |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| แก้วควอทซ์ (Fused-quartz glass) | 1,650 | 1,850-2,100 | 1,200 |
| แก้วโบโรซิลิเกต (Borosilicate glass) | 820 | 1,220 | 555 |
| แก้วอ่อน, แก้วโซดา (Soft glass) | 700 | 1,000 | 510 |
| แก้วตะกั่ว (Lead glass) | 626 | 970 | 425 |

ในทางปฏิบัติการแอนนีย์ลมี 2 วิธี คือ การแอนนีย์ลโดยใช้เปลวไฟ (Flame annealing) และการแอนนีย์ลโดยใช้เตาอบ (Oven annealing) ส่วนมากช่างเป่าแก้วจะใช้ทั้งสองวิธีควบคู่กันโดยทำการแอนนีย์ลด้วยเปลวไฟทันทีที่สร้างเครื่องแก้วเสร็จสมบูรณ์แล้ว และหลังจากนั้นจะนำไปทำการแอนนีย์ลโดยใช้เตาอบอีกครั้งหนึ่ง

7.5.1 การแอนนีย์ลโดยใช้เปลวไฟ ทำได้ดังนี้คือ ในขณะที่ทำงานนั้นเปลวไฟเกิดจากปริมาณก๊าซและออกซิเจนหรืออากาศที่พอดีเกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ เมื่อทำการสร้างหรือซ่อมเครื่องแก้วเรียบร้อยแล้ว จะทำการเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงขึ้นเป็นผลให้เกิดการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของก๊าซ อุณหภูมิของเปลวไฟจะลดต่ำลง เปลวไฟจะมีขนาดใหญ่ขึ้น มีสีเหลือง-ส้ม และเริ่มมีเขม่า ทำการลดเครื่องแก้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่ถูกไฟในระหว่างการทำการสร้างซ่อมในเปลวไฟนี้นานพอประมาณ ค่ะเนว่าแก้วเย็นตัวลงเท่าอุณหภูมิของเปลวไฟในขณะนั้น แล้วจึงทำการลดอัตราการไหลของออกซิเจนหรืออากาศลดลง โดยการหมุนปิด

ป้อนควบคุมออกซิเจนหรืออากาศลงอย่างช้า ๆ จนในที่สุดไม่มีออกซิเจนหรืออากาศเลย เบลวไฟ จะมีจะมีสีเหลืองเข้มและมีเขม่ามาก เขม่าบางส่วนจะเกาะติดอยู่บนเครื่องแก้ว โดยทั่วไปไม่ควร ให้เขม่าติดที่ผิวแก้วมากเกินไปเนื่องจากจะทำให้แก้วเย็นตัวเร็วเกินไป ปกติต้องใช้เวลาในการ แอนนีสโดยใช้เปลวไฟนี้เท่ากับเวลาที่ใช้ในการสร้างซ่อมเครื่องแก้วนั้น อย่างไรก็ตามถ้าจะ นำไปแอนนีสซ้ำโดยใช้เตาอบ การแอนนีสโดยใช้เปลวไฟนี้จะใช้เวลาประมาณครึ่งหนึ่งของ เวลาที่ใช้ในการสร้างซ่อมเครื่องแก้วนั้น



รูป 7.4 อุณหภูมิและช่วงเวลาในการแอนนีส

- | | |
|--|--------------|
| 1) เพิ่มอุณหภูมิ ถึง อุณหภูมิแอนนีส | (10-15 นาที) |
| 2) ควบคุมอุณหภูมิแอนนีสให้คงที่ | (15-20 นาที) |
| 3) ลดอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิแอนนีส 75 °C | (10-20 นาที) |
| 4) ลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิห้อง | (20-30 นาที) |

7.5.2 การแอนนิลโดยใช้เตาอบ เป็นสิ่งจำเป็นและควรที่จะกระทำในทางทฤษฎี การแอนนิลแบบนี้จะทำให้เครื่องแก้วร้อนขึ้นอย่างช้า ๆ จนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดแอนนิล (หากเพิ่มอุณหภูมิไวเกินไปจะทำให้เกิดการเกร็งในส่วนอื่น ๆ ของเนื้อแก้วได้อีกเช่นกัน ดังนั้นแทนที่แอนนิลจะทำให้ความเค้นที่มีอยู่หายไปกลับอาจทำให้มีความเค้นเพิ่มมากขึ้นได้) การแอนนิลโดยใช้เตาอบนี้จะทำตามขั้นตอนการแอนนิล 4 ขั้น ที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นสำหรับระยะเวลาที่แท้จริงในแต่ละขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับชนิด ความหนาของแก้วและปัจจัยอื่น ๆ เวลาที่ใช้โดยประมาณของแต่ละขั้นตอนนี้ อาจแสดงได้โดยกราฟในรูปที่ 7.4 กล่าวคือเวลาที่ใช้ในการเผาในเตาอบ เพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่จุดแอนนิลใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที ที่อุณหภูมินี้ปล่อยให้แอนนิล 15-20 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิจนถึง 75°C จากอุณหภูมิของจุดแอนนิล ในขั้นนี้เป็นการทำให้เย็นขึ้นแรก ใช้เวลาประมาณ 10-20 นาที แล้วปล่อยให้เครื่องแก้วเย็นอยู่ที่อุณหภูมินี้ประมาณ 20-30 นาที สำหรับแก้วที่หนาอาจต้องใช้ช่วงของการแอนนิลกับช่วงการทำให้เย็นขึ้นแรกมากกว่านี้ ส่วนแก้วที่บางก็จะใช้เวลาสั้นกว่าที่กล่าวข้างต้น

ในทางปฏิบัติจริง ๆ นั้น กระทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของเตาอบให้ร้อนขึ้น 200°C ทุก ๆ 2-3 นาทีจนกระทั่งถึงอุณหภูมิของการแอนนิลจากนั้นปล่อยให้แอนนิลไปประมาณ 20 นาทีแล้วปิดสวิทช์เตาอบ ปล่อยให้เครื่องแก้วค่อย ๆ เย็นลงเองในเตาอบ จนถึงอุณหภูมิห้อง ซึ่งอาจต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง (บางครั้งอาจปล่อยให้ทิ้งไว้ค้างคืน)

7.6 การตรวจสอบแก้วโบโรซิลิเกต

แก้วชนิดต่าง ๆ จะมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นต่างกัน ฉะนั้นถ้านำมาใช้ร่วมกัน เช่น มาต่อกัน แก้วที่นำมาต่อกันแล้วเมื่อเย็นลงจะเกิดรอยร้าวได้ ถ้าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องระมัดระวังในการสร้างเครื่องแก้ว โดยควรตรวจสอบชนิดของแก้วที่ใช้เสียก่อน แก้วที่ซื้อมาเก็บไว้ควรจัดไว้เป็นพวก ๆ ไป ไม่ปะปนกัน แก้วที่ใช้กันมากในห้องปฏิบัติการคือแก้วอ่อน (Soda glass) และแก้วแข็ง (Borosilicate glass) ดังนั้นจึงควรทราบวิธีการตรวจสอบชนิดของแก้วเหล่านี้ ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน

7.6.1 วิธีของเหลว (Liquid method)

วิธีการทดสอบโดยใช้ของเหลวนี้ กระทำโดยการจุ่มแก้วที่สงสัยลงในของเหลวที่มีค่าดัชนีหักเหแสงเท่ากับค่าดัชนีหักเหแสงของแก้วโบโรซิลิเกต ถ้าแก้วที่สงสัยเป็นแก้วโบโรซิลิเกตจะมองไม่เห็นแก้วที่จุ่มอยู่ในสารละลาย แต่ถ้าแก้วที่สงสัยเป็นแก้วชนิดอื่น ๆ จะมองเห็นส่วนของแก้วที่จุ่มอยู่ในสารละลายนี้ได้อย่างชัดเจน

สารละลายที่ใช้ในการนี้ เป็นสารละลายผสมระหว่าง คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) กับ เบนซีน (C_6H_6) ในอัตราส่วน 59 ต่อ 41 (โดยปริมาตร) หรืออาจใช้เมทานอล (CH_3OH) ผสมกับเบนซีน (C_6H_6) 16 ต่อ 84 (โดยปริมาตร) ก็ได้ เนื่องจากสารที่ใช้ผสมกันนี้ ระเหยได้และเป็นอันตรายต่อร่างกาย ดังนั้นต้องเก็บสารละลายผสมนี้ไว้ในขวดที่มีจุกปิดแน่นหนาเพื่อป้องกันการระเหย ซึ่งจะเป็นผลให้ส่วนประกอบผิดไปและสิ่งที่ตามมาคือการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหแสงของสารละลายนั่นเอง

7.6.2 การทดสอบด้วยเปลวไฟของก๊าซ-อากาศ (Gas-air flame test)

วิธีนี้อาศัยหลักความแตกต่าง ของอุณหภูมิ ณ จุดทำงาน (Working point) ของแก้วต่างชนิดกันในการตรวจสอบชนิดของแก้ว แก้วที่สงสัยจะถูกนำมาต่อกันกับแก้วอ่อนโดยใช้เปลวไฟจากตะเกียงเป่าแก้วที่ใช้ก๊าซกับก๊าซเชื้อเพลิง หากสามารถต่อเชื่อมกันได้แสดงว่าแก้วที่สงสัยนั้นจะเป็นแก้วอ่อนเช่นกัน แต่ถ้าแก้วที่สงสัยนั้นเป็นแก้วแข็งอุณหภูมิของเปลวไฟดังกล่าว จะไม่สูงพอที่จะทำให้แก้วแข็งอ่อนตัวจนกระทั่งเชื่อมติดกับแก้วอ่อนได้

7.6.3 การทดสอบแบบแก้วทรงกลม (Glass sphere test)

การทดสอบนี้ทำโดยการหลอมเศษแก้วหรือแก้วชิ้นเล็ก ๆ ของแก้วที่สงสัยเข้ากับปลายหนึ่งของแก้วแข็ง โดยใช้เปลวไฟจากตะเกียงที่ใช้ก๊าซกับออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิง เผาเศษแก้วหรือชิ้นแก้วที่ติดกับแก้วแข็ง ให้อ่อนตัวจนเป็นก้อนทรงกลม จึงเอาออกจากไฟและทำให้เย็นโดยเป่าอากาศลงบนแก้วทรงกลมนั้น หากแก้วทรงกลมเกิดรอยร้าว แสดงว่าแก้วที่สงสัยไม่ใช่แก้วแข็ง หรือเป็นแก้วชนิดอื่น ซึ่งจะนำมาต่อเชื่อมกันไม่ได้

7.6.4 วิธีดึงเป็นเส้น (Thread method)

ให้เผาส่วนปลายของแก้วที่สงสัยให้เชื่อมต่อกับแก้วแข็งในลักษณะที่ใช้ผิวด้านข้างเชื่อมติดกัน จากนั้นดึงแก้วให้ยืดออกเป็นเส้นโดยออกแรงดึงที่มือที่จับแก้วอยู่ ทิ้งไว้ให้เย็น หากเส้นแก้วที่ดึงได้ยังคงลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงว่าแก้วที่สงสัยเป็นแก้วแข็งเช่นกัน แต่หากแก้วที่เย็นมีลักษณะงอโค้งแสดงว่าแก้วที่สงสัยไม่ใช่แก้วแข็ง ตัวอย่างเช่นแก้วอ่อน ซึ่งสัมประสิทธิ์การขยายตัวมีค่าสูงกว่าแก้วแข็งนั้น เมื่อทำให้ร้อนจะขยายตัวได้มาก ดังนั้นเมื่อเชื่อมด้านข้างติดกับแก้วแข็งแล้วปล่อยให้เย็นแก้วอ่อนจะหดตัวมากกว่าแก้วแข็ง ทำให้เส้นแก้วที่ยืดไว้นั้นงอโค้งมาทางด้านแก้วอ่อน ในกรณีแก้วที่สงสัยเป็นพวกควอตซ์ (quartz) หรือ 96% ซิลิกาซึ่งแก้วทั้งสองชนิดนี้มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นต่ำกว่าแก้วแข็ง ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบโดยใช้วิธีนี้ แก้วที่เย็นตัวลงจะงอโค้งไปทางด้านแก้วแข็งซึ่งขยายตัวเมื่อร้อนและหดตัวเมื่อเย็นได้มากกว่า (สัมประสิทธิ์การขยายตัวของแก้วอ่อน > แก้วโบโรซิลิเกต > แก้วควอตซ์)

7.7 การเข้าไฟ

ในการสร้าง-ซ่อมแก้วทุกชนิด ต้องทำการเผาแก้วให้อ่อนตัวและหลอมเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามต้องการ การเผาแก้วในเปลวไฟนี้อาจเรียกได้ว่า การเข้าไฟ โดยแก้วที่อุณหภูมิห้องจะถูกเผาจนอุณหภูมิสูงถึงจุดทำงาน (Working point) โดยใช้เปลวไฟ ถ้านำแก้วไปเผาในเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงทันที จะมีแนวโน้มที่แก้วจะแตกร้าวได้ ดังนั้นการเผาแก้วจึงมีขั้นตอนดังนี้

- 1) การเผาแก้วต้องเริ่มด้วยการอุ่นแก้วให้ร้อนขึ้นเสียก่อน ทั้งนี้โดยการใช้เปลวไฟที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำได้โดยการควบคุมให้มีปริมาณออกซิเจนหรืออากาศน้อย ๆ ทำให้ก๊าซเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ เปลวไฟจะมีสีเหลืองส้มและมีเขม่าเล็กน้อย เมื่อแก้วเข้าไฟระยะหนึ่ง โมเลกุลของสารในเนื้อแก้วจะค่อย ๆ ขยายตัวออกจากกัน
- 2) การเพิ่มอุณหภูมิของเปลวไฟขึ้น โดยเพิ่มปริมาณออกซิเจนหรืออากาศเพื่อปรับให้เปลวไฟมีอุณหภูมิสูงขึ้น และปรับปุ่มควบคุมก๊าซควบคุมไปเพื่อให้เปลวไฟมีขนาดตาม

ต้องการ ในระหว่างการปรับปุ่มควบคุมก๊าซและอากาศหรือออกซิเจนนี้จะต้องให้แก้วอยู่ในเปลวไฟเสมอ ถ้าต้องการเผาแก้วในลักษณะที่ครึ่งหนึ่งของเส้นรอบวงแก้วถูกไฟพร้อม ๆ กัน จะต้องปรับให้ไฟมีขนาดประมาณเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งแก้ว แต่ถ้าต้องการเผาเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงแก้ว จะปรับให้เปลวไฟมีขนาดเล็กลง

3) การหมุนแก้วตลอดเวลาในขณะที่แก้วเข้าไฟ การเผาแก้วจะเป็นการเผาผนังหรือผิวด้านข้างของแท่งแก้วได้รับอุณหภูมิสูงจนถึงจุดหลอมเหลวจะเกิดการหลอมตัวของเนื้อแก้ว และจะย้อยลงตามแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นหากไม่ต้องการให้แก้วย้อยลงจึงต้องหมุนแก้วตลอดเวลา เพื่อให้ส่วนที่หลอมเหลวหรือที่เรียกว่าเป็นพลาสติกนี้ยังคงติดอยู่บนแก้วตามเดิม ผลที่เกิดตามมาจะเป็นการไหลของแก้วหลอมไปรวมกันเองทำให้แก้วที่หลอมเป็นพลาสติกนั้นมีความหนาเพิ่มขึ้น ภายใต้ภาวะที่แก้วหลอมเป็นพลาสติกนี้เท่านั้น ที่ช่างเป่าแก้วจะสามารถดัดแปลงรูปร่างแก้วให้เป็นไปตามต้องการได้

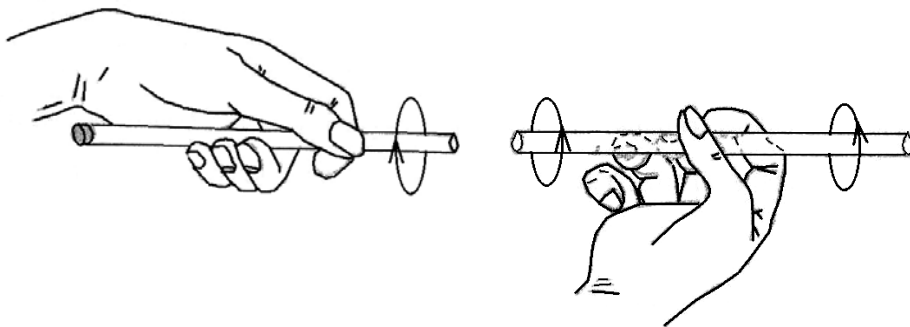
7.8 การถือแก้ว

สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งในระหว่างการทำงานของช่างเป่าแก้วก็คือการจับแก้ว ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่แก้วหลอมและอยู่ในลักษณะที่เป็นของเหลวหนืดแบบพลาสติกนั้น ช่างเป่าแก้วจะต้องหมุนแก้วในรอบแนวแกนแท่งแก้วตลอดเวลา เพื่อป้องกันการไหลย้อยของแก้วหลอม โดยทั่วไปการจับแก้วที่ถูกริธีนั้นจะมีลักษณะดังรูป 7.5

การถือแก้วด้วยมือซ้าย มือข้างซ้ายจะจับแก้วในลักษณะคว่ำมือลง ใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้แตะที่ผิวแก้วและอยู่ตรงกันข้ามพอดี ส่วนนิ้วมืออีกสามนิ้วที่เหลือจะงอรอบแท่งแก้วและแตะแท่งแก้วเบา ๆ การหมุนแก้วทำได้โดยใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้ช่วยกัน ให้แท่งแก้วหมุนรอบแนวแกนในลักษณะหมุนออกนอกตัว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งเมื่อมองจากปลายแท่งแก้วด้านหัวแม่มือจะเห็นแก้วหมุนรอบแนวแกนแบบตามเข็มนาฬิกา การเลื่อนนิ้วเพื่อหมุนแก้วแต่ละครั้งจะทำให้แก้วหมุนไปเกินกว่าครึ่งรอบของเส้นรอบวงแก้ว แต่จะหมุนได้มากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการคล่องตัวในการเลื่อนนิ้วไปมาของช่างเป่าแก้วเอง ด้วยเหตุนี้แก้วจะไม่หมุนแบบต่อเนื่องแต่จะถูกหมุนและหยุดสลับกันไป โดยช่วงหยุดจะเป็นระยะเวลาที่ยกนิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้กลับไปวางบนแก้วเพื่อหมุนแก้วครั้งต่อไป แม้ว่าการหมุนแก้วจะไม่

ต่อเนื่องดังที่กล่าวแต่จะต้องพยายามฝึกฝนตนเองให้การหมุนแก้วเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ซ้ำ ๆ และไม่มีอาการสะดุดเกิดขึ้น

การถือแก้วด้วยมือขวา เมื่อใช้มือขวาช่วยในการจับแก้วอีกข้างหนึ่ง ให้จับแก้วในลักษณะหงายมือหรือตั้งมือ โดยทั่วไปจะไม่นิยมจับแบบคว่ำมือเหมือนกับมือซ้าย ทั้งนี้เนื่องจากการจับแบบหงายมือจะมีความคล่องตัวกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการทำการเป่าลมด้วยปากเข้าไปในท่อของหลอดแก้ว การหมุนแก้วที่อยู่ในมือขวาจะทำโดยใช้นิ้วหัวแม่มือและนิ้วชี้เช่นเดียวกันกับแก้วที่อยู่ในมือซ้าย แต่ในกรณีนี้ถ้ามองจากปลายแก้วด้านฝ่ามือจะเห็นแก้วหมุนรอบแนวแกนแบบทวนเข็มนาฬิกา



รูป 7.5 การถือแก้วและการหมุนแก้ว

ในกรณีที่แก้วถืออยู่ในมือ ทั้งที่อยู่ในมือซ้ายและที่อยู่ในมือขวาไม่ใช่เท่าเดียวกัน การหมุนแก้วในแต่ละมือจะทำการหมุนอย่างอิสระ แต่หากแก้วที่จับอยู่ในทั้งสองมือเป็นแก้วเท่าเดียวกัน (เผาส่วนกลางของแท่งแก้ว) หรือเป็นแก้วสองแท่งที่หลอมจนเป็นพลาสติกแล้วนำมาตะตักกันนั้น การหมุนแก้วจะต้องหมุนในลักษณะที่ไม่ให้เกิดการบิดเบี้ยวหรือคดงอของแท่งแก้วส่วนที่หลอมในเปลวไฟ โดยจะใช้นิ้วของมือซ้ายหมุนแก้วรอบแนวแกน ในขณะที่นิ้วมือขวาก็จะหมุนแก้วตามไปด้วย แต่เป็นการหมุนเพียงเพื่อรักษาแก้วให้ตรงและ

ไม่ให้แก้วบิดเบี้ยวเท่านั้น และการนำข้อศอกของมือทั้งสองข้างวางบนพื้นโต๊ะเป่าแก้วขณะถือแก้วเมื่อนำแก้วเข้าไฟ นั้น จะช่วยลดความเมื่อยล้า และยังช่วยทำแก้วไม่ส่ายไปมาได้อีกด้วย

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแก้วให้เป็นไปตามต้องการ โดยการเผาแก้วในเปลวไฟจนหลอมเป็นพลาสติกแล้วเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยการดึง, การย่น, การงอโค้ง, การเป่าลมด้วยปากหรือการใช้อุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ ตกแต่งแก้วนั้น ช่างเป่าแก้วต้องทำด้วยความรวดเร็ว ความแน่นอน และด้วยความเชื่อมั่น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะได้จากประสบการณ์การฝึกปฏิบัติเท่านั้น และการทำงานใด ๆ ก็ตามจะต้องให้เสร็จสิ้นก่อนที่แก้วจะเริ่มแข็งตัว ในกรณีที่แก้วเกิดการแข็งตัวก่อน จะต้องนำแก้วเข้าไฟเพื่อหลอมแก้วใหม่และทำงานซ้ำจนกว่าจะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ เรียบร้อยและสวยงาม แต่ต้องไม่ลืมว่าเมื่อทำชิ้นงานเสร็จแล้วจะต้องกระทำการแอนนิลเพื่อป้องกันการเกิดรอยร้าวของแก้วในภายหลัง

