

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ได้ค้นคว้าข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำรา ตลอดจนงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อให้งานวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ โดยจำแนกเป็นหัวข้อดังนี้

- 2.1 แก๊สเชื้อเพลิง
- 2.2 ปฏิกริยาเคมีของการเผาไหม้
- 2.3 หัวเผา
- 2.4 เต้าเผา
- 2.5 การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก
- 2.6 บรรยากาศการเผา
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.8 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

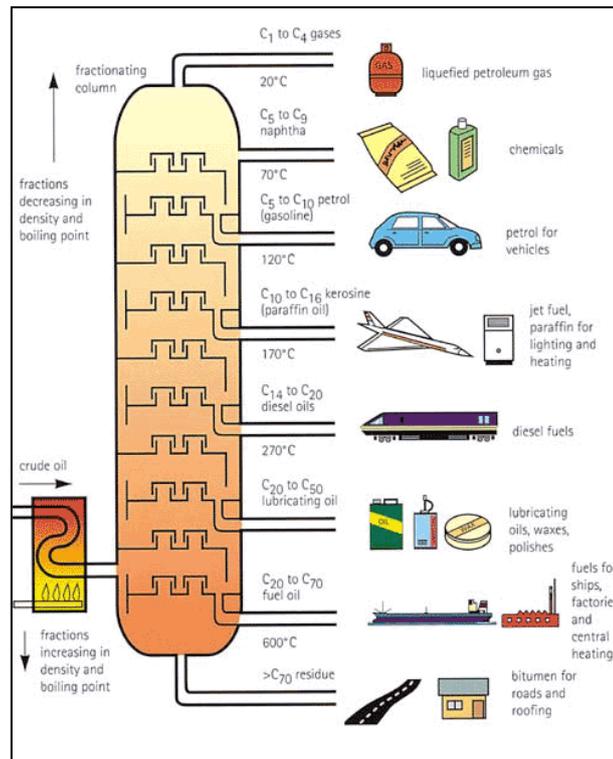
2.1 แก๊สเชื้อเพลิง

2.1.1 แก๊สธรรมชาติ

แก๊สธรรมชาติ (Natural gases หรือ NG) เป็นเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ที่ทับถมกันภายใต้อุณหภูมิและความดันและการเคลื่อนตัวของชั้นหินเป็นเวลาหลายร้อยล้านปี สารอินทรีย์ของซากสิ่งที่มีชีวิตจะกลายเป็นของเหลวและแก๊สและอาจถูกพัดพาโดยกระแสน้ำใต้ดินเคลื่อนที่ไปสะสมตัวถูกกักเก็บไว้ภายใต้โครงสร้างหรือรอยเลื่อนของชั้นหินกลายเป็นแหล่งน้ำมันปิโตรเลียมและ/หรือแหล่งแก๊สธรรมชาติในที่สุด แก๊สธรรมชาติประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด แต่ก็พบว่าบางแหล่งมีสารไฮโดรคาร์บอนอยู่น้อยมาก ส่วนประกอบโดยทั่วไปของแก๊สธรรมชาติ คือไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbons) หรือพาราฟินิกไฮโดรคาร์บอน (Paraffinic hydrocarbons) โดยเฉพาะ มีเทน (Methane, CH_4) และอีเทน (Ethane, C_2H_6) เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้มีแก๊สเจือปน (Impurities) ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ COS , CS_2 , H_2S แก๊สเฉื่อย (Inert and permanent gases) ได้แก่ He, Ar, N_2 , CO_2 และความชื้น มักมีเกลือของโซเดียมเจือปน

2.1.2 แก๊สปิโตรเลียมเหลว

แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gases หรือ LPG) เป็นแก๊สที่บรรจุอยู่ในถังขนาดต่างๆ ที่สามารถขนส่งไปยังผู้ใช้ได้สะดวก ประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอน อิ่มตัวสองชนิดหลัก คือ โพรเพน (Propane, C_3H_8) และบิวเทน (Butane, C_4H_{10}) เป็นส่วนใหญ่ในอัตราส่วนต่างๆ กัน เช่น 65% โพรเพน และ 35% บิวเทน เนื่องจากแก๊สไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่โพรเพนขึ้นไปสามารถกลายเป็นของเหลวได้ที่บรรยากาศปกติดังนั้นขณะที่อยู่ในถังจึงเป็นของเหลว เมื่อเปิดวาล์วส่วนที่เป็นไอจะไหลออกมาให้ใช้งาน และส่วนที่เป็นของเหลวจะระเหยออกมาชดเชยตลอดเวลา แก๊สดังกล่าวนี้ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมในโรงกลั่นน้ำมันหรือจากการกลั่นแก๊สในโรงแยกแก๊สธรรมชาติ (กัญญา บุญยเกียรติ, 2542 : 13-15) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวหรือแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง



ภาพประกอบที่ 2.1 กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ
ที่มา: Odom (2556)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของโพรเพนและบิวเทน

คุณสมบัติ	โพรเพน	บิวเทน
จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)	-40	0.5
ค่าความร้อน (kW/kg)	12.87	12.70
อุณหภูมิเปลวไฟ ($^{\circ}\text{C}$)	1967	1973
ความต้องการอากาศ (m^3)	24	31
ความหนาแน่นของไอระเหย	1.5	2.0

ที่มา: พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา, ศุภย์ (2542)

2.1.2.1 จุดเดือด (Boiling point)

โพรเพนมีจุดเดือดต่ำกว่าบิวเทน หมายความว่าการทำงานจากถังบรรจุ ส่วนผสมของโพรเพนจะเริ่มเดือดออกมาก่อนในช่วงแรก ดังนั้นปริมาณของโพรเพนในถังจะลดลง ส่วนผสมของบิวเทนจะสูงขึ้น สิ่งนี้จะมีอิทธิพลเล็กน้อยในการปรับปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ และถังบรรจุแก๊สจะมีอุณหภูมิต่ำลง

2.1.2.2 ค่าความร้อน (Calorific value)

ค่าความร้อนของโพรเพนและบิวเทนใกล้เคียงกันมากคือ 12.87 kW/kg และ 12.7 kW/kg ตามลำดับ ซึ่งประมาณเท่ากับ 50 MJ/kg หรือ 11000 kcal/kg

2.1.2.3 อุณหภูมิเปลวไฟ (Flame temperature)

อุณหภูมิเปลวไฟในทางทฤษฎีมีค่าสูงสุดของโพรเพนและบิวเทน คือ 1967°C และ 1973°C แต่อุณหภูมิสำหรับการเผาพอร์ชเลน อาจประมาณ 1350°C เท่านั้น

2.1.2.4 ความต้องการอากาศ (Air requirements)

การเผาไหม้ทั้งหมดของโพรเพน 1 m³ ต้องการอากาศ 31 m³ เมื่อ ส่วนผสมของแก๊สแปรเปลี่ยน หัวเผา (Burners) ต้องสามารถปรับได้ การออกแบบหัวเผาคือต้องสามารถ ปรับให้มี Excess Air เพียงพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ได้ โดยไม่คำนึงถึงส่วนประกอบของแก๊ส

2.1.2.5 ความหนาแน่นของไอระเหย (Vapour density)

ไอระเหยของโพรเพนและบิวเทนหนักกว่าอากาศอย่างเห็นได้ชัดจน ไม่เหมือนกับแก๊สธรรมชาติซึ่งเบากว่าอากาศ เพราะฉะนั้นเมื่อไอระเหยถูกปล่อยออกมาในสภาวะ แวดล้อม มันมีแนวโน้มที่จะอยู่ในระดับพื้นดินหรือห้องใต้ดิน ซึ่งทำให้เกิดส่วนผสมที่ลุกไหม้เกิด เปลวกับอากาศและระเบิดได้ การติดตั้งถึงแก๊สควรห่างจากใต้ดินและควรมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

2.1.2.6 ช่วงการลุกไหม้ (Flammability limits in air)

แก๊สที่สันดาปจะมีช่วงส่วนผสมกับอากาศเพียงช่วงเดียวที่จุดไฟแล้วลุกไหม้ ได้ เพราะอากาศผสมอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ช่วงการลุกไหม้ได้จะแสดงค่าเป็นอัตราส่วนร้อยละ ของปริมาตรแก๊สต่ออากาศ ค่าทางด้านความเข้มข้นสูงของช่วงการลุกไหม้เรียกว่า ค่าขอบบน ส่วนทางด้านต่ำเรียกว่า ค่าขอบล่าง แก๊สแอลพีจีจะลุกไหม้ในช่วงประมาณ 2-9% โดย

โพรเพนมีช่วงการลุกไหม้ 2.4 – 9.5 % ในอากาศ

บิวเทนมีช่วงการลุกไหม้ 1.8 – 8.4 % ในอากาศ

ดังนั้นโพรเพนจะสามารถลุกไหม้หรือติดไฟได้ก็ต่อเมื่อมีแก๊สผสมอยู่ใน อากาศ 2.4–9.5% คือ ถ้ามีแก๊สโพรเพนต่ำกว่า 2.4 ส่วนหรือมากกว่า 9.5 ส่วนในส่วนผสมของแก๊ส กับอากาศ 100 ส่วน ส่วนผสมนั้นจะไม่ติดไฟ

2.1.2.7 อุณหภูมิของการจุดติดไฟ (Ignition temperature)

เมื่อค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิให้กับเชื้อเพลิงจนเลยอุณหภูมิค่าหนึ่งแล้วแม้จะไม่มี ประกายไฟหรือสาเหตุของการติดไฟ เชื้อเพลิงก็จะเริ่มลุกไหม้เองตามธรรมชาติ อุณหภูมิต่ำสุดที่เริ่ม เกิดการลุกไหม้ตามธรรมชาตินี้เรียกว่า อุณหภูมิของจุดติดไฟ จุดติดไฟของโพรเพนคือ 460-580°C และของบิวเทนคือ 410-550°C แก๊สแอลพีจีจึงติดไฟได้ยากเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินซึ่งมีจุดติดไฟ 280-430°C และน้ำมันดีเซล 250-340°C ดังนั้นแอลพีจีจึงมีความปลอดภัยสูงกว่า

2.1.2.8 ค่าความดันไออิ่มตัว (Saturated vapour pressure)

เป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการระเหย (Volatility) ของสาร กล่าวคือ ถ้าสารใดมีความดันไอสูงแสดงว่าสารนั้นสามารถระเหยได้เร็ว และเป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิโดยตรง กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงค่าความดันไออิ่มตัวก็สูงขึ้นด้วย และไม่ว่าจะมีแอลพีจีอยู่เต็มถังหรือมีเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยก็ตาม ถ้าอุณหภูมิและอัตราส่วนไม่เปลี่ยนแปลงแล้วความดันก็ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นภาชนะบรรจุและอุปกรณ์ต่างๆ จึงต้องออกแบบให้ทนต่อความดันสูงได้เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน

2.1.2.9 สี กลิ่น ความเป็นพิษและการละลาย

แก๊สแอลพีจี ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตแก๊สแอลพีจี จึงต้องเติมสารประกอบที่มีกลิ่นเหม็นลงไปด้วย เพื่อให้ผู้ใช้รู้ตัวเมื่อแก๊สแอลพีจีเกิดรั่ว หรือผู้ใช้ลืมเปิดวาล์วใช้แก๊ส สารประกอบที่เติมลงไปเพื่อให้แก๊สแอลพีจี มีกลิ่นเหม็นเป็นสารพวกเมอร์แคปแทน (Mercaptan) ในกรณีที่เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก ไม่มีสารพิษร้ายแรง เช่น Tetraethyl lead เหมือนน้ำมันเบนซิน แก๊สเสีย (ไอเสีย) ของแก๊สแอลพีจี จึงสะอาดเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน นอกจากนี้แก๊สแอลพีจี มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายเช่นเดียวกับพวกน้ำมันระเหย จึงสามารถละลายหรือทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำมาจากยางธรรมชาติเสียคุณสมบัติได้ เช่น ปะเก็นหรือซีลต่างๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาใช้กับถังที่บรรจุแก๊สแอลพีจี ควรใช้วัสดุอื่นที่ไม่ได้ทำมาจากยางธรรมชาติ เช่น ยางสังเคราะห์ เป็นต้น

2.1.2.10 การบรรจุแก๊สในถังขนาดเล็กหรือถังใหญ่

การบรรจุแก๊สในถังขนาดเล็กหรือถังใหญ่ต้องไม่เกิน 80% ของความจุถัง แก๊สที่เป็นของเหลวมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนสูงมาก ซึ่งหมายความว่า เมื่ออุณหภูมิแปรเปลี่ยน ปริมาตรของของเหลวจริงๆ สามารถเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ภายในถังจากผิวหน้าของของเหลวยังคงมีช่องว่างด้านบนซึ่งเป็นส่วนของไอแก๊สอยู่ แก๊สจะเคลื่อนที่ไปยังระบบจ่ายแก๊สในสถานะของไอแก๊สไม่ใช่ของเหลว (พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา, ศูนย์, 2542)

2.2 ปฏิริยาเคมีของการเผาไหม้

ปฏิริยาเคมีของการเผาไหม้ หมายถึงปฏิริยาที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง (ตั้งแต่ 1000 องศาเซลเซียสขึ้นไปโดยประมาณ) เกิดขึ้นเร็วมาก (ในช่วงเวลา 1 ไมโครวินาที – 10 มิลลิวินาที) เป็นปฏิริยาเอกพันธ์หรือเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ในภูมิภาคแก๊สระหว่างโมเลกุลของเชื้อเพลิงหรือ โมเลกุลที่เกิดจากการแตกตัวของเชื้อเพลิงและออกซิเจน (ซึ่งโดยทั่วไปใช้อากาศ) ปฏิริยาในภูมิภาคแก๊สมีความซับซ้อนมากทั้งในส่วนของจำนวนปฏิริยาที่เกิดขึ้น และส่วนที่เกี่ยวข้องกับขอบเขตและพื้นผิวของภาชนะหรืออุปกรณ์ที่บรรจุอยู่ ปฏิริยาของการเผาไหม้เป็นปฏิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ไม่ใช่ปฏิริยาระหว่างโมเลกุลโดยตรง แต่จะเริ่มต้นด้วยการแตกตัวของโมเลกุลของเชื้อเพลิงเป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไวจำนวนมาก เป็นขั้นตอนการเริ่มต้นของลูกโซ่ (Chain initiation) อนุมูลอิสระที่ว่องไวจะทำปฏิริยากับโมเลกุลอื่น ได้ทั้งอนุมูลอิสระใหม่และอนุมูลขั้นกลาง (Intermediate radicals) อื่นๆ ซึ่งก็จะทำปฏิริยาต่อลูกโซ่ (Chain propagation) ทั้งที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน และที่เกิดเป็นลำดับก่อนหลังกัน หลายรูปแบบ ทำให้เกิดทั้งผลผลิตและอนุมูลอื่นๆ

อีกมาก สุดท้ายคือปฏิกิริยาที่ให้ผลผลิตสุดท้ายและอนุผลที่ไม่ว่องไว ตามด้วยการสิ้นสุดปฏิกิริยาลูกโซ่ ดังนั้นแม้แต่เชื้อเพลิงในรูปแบบที่ง่ายที่สุด เช่น ไฮโดรเจน ก็มีจำนวนปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องมากถึง 12 ปฏิกิริยา ดังที่เสนอไว้เบื้องต้นโดย Hinshelwood และต่อมามีผู้เสนอเพิ่มเติมจนถึง 25 ปฏิกิริยา

2.2.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ไฮโดรเจน

เปลวไฟของไฮโดรเจนกับอากาศหรือออกซิเจนไม่แพร่รังสี มีการปล่อยพลังงานในช่วงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ OH ได้อุณหภูมิเปลวไฟอะเดียเบติก (Adiabatic flame) สูงสุดประมาณ 3,100 K โดยใช้สัดส่วนมวลสารสัมพันธ์ พบว่าได้ความเร็วของเปลวไฟสูงสุดด้วยเช่นกัน และในผลผลิตมีน้ำประมาณ 57% ส่วนที่เหลือประมาณหนึ่งในสี่อยู่ในรูปอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาเริ่มต้นด้วยการแตกตัวของไฮโดรเจนชนกับผนังกลายเป็นอนุมูลอิสระไฮโดรเจน ซึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดอนุมูลอื่น และปฏิกิริยาลูกโซ่อื่นๆ จากอนุมูลอิสระไฮโดรเจน หนึ่งอนุมูลจะได้อนุมูลอิสระไฮโดรเจนถึง สามอนุมูล ที่อุณหภูมิต่ำ จะมีอัตราเร็วต่างกัน แต่ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าคงที่ของปฏิกิริยาเข้าใกล้กันมากขึ้น อัตราเร็วจึงไม่ต่างกันมากนัก สภาวะกึ่งสมดุลที่เกิดขึ้นในขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ประมาณสามในสี่ แต่อนุมูลอิสระและอะตอมต่างๆ ยังมีเอนทัลปี (Enthalpy) อยู่ พลังงานนี้ถูกใช้ไปในปฏิกิริยาการรวมตัวอันดับสาม ซึ่งใช้เวลาเกิดมากกว่าอันดับสอง ในช่วงหลังเปลวไฟ แก๊สที่มีเชื้อเพลิงเข้มข้นจะเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวโดยอนุมูล H เป็นหลัก

2.2.2 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอนมอนอกไซด์

แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มักมีสารที่มีไฮโดรเจนเจือปนอยู่เสมอ เช่น ในถังแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีแก๊สมีเทนปนอยู่ด้วยเล็กน้อย ดังนั้นในการออกซิไดส์ (Oxidized) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จึงมีอนุมูลอิสระ OH และ H_2O จลนพลศาสตร์ (Kinetic) ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ แม้แต่ของโมเลกุลเล็กๆ มีความซับซ้อนมาก ยิ่งไปกว่านั้นที่อุณหภูมิสูงต้องพิจารณาภาวะที่ผนังของอุปกรณ์ ซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากต่อจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาการเผาไหม้ด้วย และเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้มีเทอร์โมไดนามิกส์กลศาสตร์ของไหล (Fluid mechanics thermodynamics) และการถ่ายโอนความร้อน (Heat transfer) เข้ามามีส่วนร่วมสำคัญ การทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์การเผาไหม้ จึงจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์เชิงเลข (Mathematics analysis) เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและเวลา ถึงแม้ว่าการศึกษาระดับสูงด้านวิทยาศาสตร์การเผาไหม้จะก้าวหน้าเป็นอย่างมากแล้วก็ตาม ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาการเผาไหม้ในระดับจุลภาค (Microscopic) ยังอยู่ในระดับที่ยังต้องเพิ่มเติมอีกมาก อย่างไรก็ตามในกรณีทั่วไปที่นำเชื้อเพลิงมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนมาใช้ ความรู้ความเข้าใจในปฏิกิริยาระดับมหภาค (Macroscopic) ก็มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าความรู้ความเข้าใจในระดับจุลภาค โดยเฉพาะผลและปฏิกิริยาสุดท้ายที่ได้จากการเผาไหม้ เพื่อให้สามารถทำนายและคำนวณปริมาณความร้อน ปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สผลผลิตแต่ละชนิดที่ได้ภายหลังการเผาไหม้ ถ้าเชื้อเพลิงมีไนโตรเจนจะเกิดไนโตรเจนออกไซด์ และถ้าใช้อากาศ ไนโตรเจนจากอากาศส่วนหนึ่งก็จะกลายเป็นไนโตรเจนออกไซด์ด้วย แต่เนื่องจากปฏิกิริยาการออกซิไดส์ไนโตรเจนใช้พลังงานสูงมาก จึงเกิดปฏิกิริยาน้อย ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ในฟลูแก๊ส (Full gas) มีค่าน้อย อยู่ในระดับต่ำกว่าพันส่วนในล้านส่วน ในการพิจารณาทั่วไปจะไม่นำมาคิด ยกเว้นต้องการคำนวณผลกระทบต่อสถานะแวดล้อม

2.2.3 สถานะที่จำเป็นในการเริ่มเกิดปฏิกิริยา

2.2.3.1 องค์ประกอบที่จำเป็นทั้งสาม

ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีตัวทำปฏิกิริยาและสภาวะที่เหมาะสม ปฏิกิริยาการเผาไหม้คือปฏิกิริยาการออกซิไดส์เชื้อเพลิงให้กลายเป็นออกไซด์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดต่อเนื่องจนสมบูรณ์ การเผาไหม้ทั่วไป ตัวทำปฏิกิริยา คือ เชื้อเพลิง (ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่) และอากาศ ซึ่งจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาได้ต่อเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งก็คือ แหล่งให้ความร้อนเพื่อจุดไฟ (Ignition source) การเริ่มต้นปฏิกิริยาการเผาไหม้ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เริ่มด้วยการแตกตัวของโมเลกุลของเชื้อเพลิงเป็นอนุมูลอิสระก่อน แหล่งจุดไฟจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพราะจะให้พลังงานส่วนแรกแก่ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและออกซิเจนทำให้เชื้อเพลิงเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระจำนวนมากพอที่จะไปทำให้เริ่มเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเผาไหม้ เมื่อเริ่มเกิดการเผาไหม้แล้วแหล่งจุดไฟ จะไม่จำเป็นอีกต่อไปเพราะพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ส่วนต้นมากเกินพอที่จะไปทำให้เชื้อเพลิงส่วนที่เหลืออยู่เกิดการแตกตัวและการเผาไหม้ต่อเนื่องกันไปได้เอง (Spontaneous reaction)

2.2.3.2 พลังงานการจุดไฟและอุณหภูมิการจุดไฟ

พลังงานส่วนแรกที่ต้องให้เพื่อเริ่มต้นเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่นี้ เรียกว่า พลังงานการจุดไฟ (Ignition energy) ซึ่งอาจไม่ใช้วิธีวัดโดยตรงแต่มักจะวัดอุณหภูมิการจุดไฟ (Ignition temperature) ซึ่งเป็นอุณหภูมิของส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่ต่ำที่สุดที่จะจุดติดไฟได้เอง อุณหภูมิการจุดไฟจึงเป็นเครื่องบ่งชี้ระดับพลังงานที่ต้องให้แก่ส่วนผสมของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน ปฏิกิริยาการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ดังนั้นสามารถทำให้ส่วนผสมติดไฟได้ โดยให้พลังงานการจุดไฟในบริเวณเล็กๆ เพียงบริเวณเดียวก็เพียงพอแล้ว อุณหภูมิการจุดไฟแสดงถึงความยากง่ายที่เชื้อเพลิงจะเกิดการเผาไหม้ ซึ่งหมายถึงความปลอดภัยในการใช้งานด้วย ประโยชน์ของค่านี้นิยามในอุตสาหกรรมคือ ใช้เป็นค่าอุณหภูมิจากการอุ่นเตา ก่อนจุดหัวเผา ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เป็นเนื้อเดียวกันสามารถเกิดได้ในช่วงความดันและอุณหภูมิกว้าง ถ้าส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศเกิดปฏิกิริยาภายใต้ความดันสูง จะเป็นปฏิกิริยาที่มีความเร็วเหนือเสียง (Supersonic reactions) เรียกว่าการระเบิด (Detonations) และถ้าส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศเกิดปฏิกิริยาที่ ความดันบรรยากาศ หรือ ภายใต้ความดันต่ำ จะเป็นปฏิกิริยาที่มีความเร็วต่ำกว่าเสียง (Subsonic reactions) เรียกว่าการเผาด้วยความร้อน (Deflagrations) แต่ค่าที่นิยมใช้มากกว่า คือ การเกิดเปลวไฟ เนื่องจากที่ความดันปกติจะปรากฏเป็นแสงสว่างที่มองเห็นด้วยตาเปล่า

2.2.3.3 เปลวไฟ (flames)

เป็นบริเวณการเผาไหม้ (Combustion zone) ที่เคลื่อนที่เข้าหาส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศ (หรือสารออกซิไดส์) การที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้นั้น ต้องเริ่มจากส่วนผสมที่เหมาะสม ถ้าเริ่มจากเชื้อเพลิงอย่างเดียวการเผาไหม้จะเกิดขึ้นไม่ได้ ถ้าเริ่มจากอากาศหรือสารออกซิไดส์อย่างเดียวการเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้นไม่ได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงมีช่วงส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้ อยู่ระหว่างส่วนผสมที่มีเชื้อเพลิงเจือจางที่สุด (Lean mixture) ที่จะเกิดเปลวไฟขึ้นได้ เรียกว่าขีดจำกัดขั้นต่ำของการเกิดเปลวไฟ (Lower limit of flammability) และ ส่วนผสมที่มีเชื้อเพลิงเข้มข้นที่สุด (Rich mixture) ที่ยังคงเกิดเปลวไฟได้ เรียกว่าขีดจำกัดขั้นสูงของการเกิดเปลวไฟ

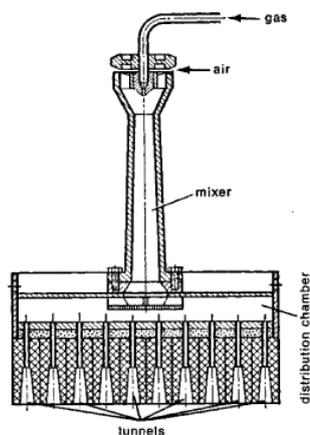
ไฟ (Limits of flammability) เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีขีดจำกัดของการเกิดเปลวไฟแตกต่างกัน ทั้งช่วงกว้าง และค่าของขีดจำกัดทั้งขั้นต่ำและขั้นสูง (กัญจนา บุญเกียรติ, 2542 : 43-51)

2.3 หัวเผา

เราสามารถทำให้เกิดเปลวไฟได้สองลักษณะ คือ 1) เปลวไฟเคลื่อนที่เข้าหาส่วนผสมซึ่งอยู่กับที่ เช่น มีส่วนผสมอยู่ในท่อผสมแล้วจุดระเบิดให้เกิดเปลวไฟซึ่งจะเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นเข้าหาส่วนผสมที่เหลืออยู่ในท่อ และ 2) ป้อนส่วนผสมให้แก่เปลวไฟซึ่งอยู่กับที่ในกรณีนี้เปลวไฟจะอยู่กับที่ได้ต่อเมื่อมีอัตราการป้อนส่วนผสมระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศให้แก่เปลวไฟตลอดเวลาด้วยอัตราคงที่ซึ่งกระทำโดยใช้ หัวเผา หรือ หัวเผา ภาพของหัวเผาที่คุ้นตาได้แก่ หัวเผาของเตาหุงต้มที่ใช้ตามบ้านเรือนและตามร้านค้าทั่วไป และเปลวไฟที่เห็นว่าอยู่กับที่ก็คือบริเวณที่เรียกกันว่าหัวเตา นั้นเอง

2.3.1 หัวเผาในบรรยากาศเปิด (Atmospheric open burner)

หัวเผากลุ่มนี้มีให้เห็นทั่วไป เช่น หัวเตาแก๊สหุงต้มที่มีช่องเปลวไฟออกเป็นรูปวงกลม โดยรอบเหมือนโดนัท หัวเตาอบแก๊สที่ใช้อบขนม ที่มีช่องเปลวไฟออกเป็นแนวยาวหลายแนวขนานกัน ทั้งที่ทำในประเทศและที่นำเข้า หัวเผากลุ่มนี้เป็นหัวเผาชนิดเปลวไฟแก๊สผสมอากาศ (Premixed flames) ใช้หลักการเดียวกับตะเกียงบุนเซน (Bunsen burner) คือใช้ไมเมนตัมของแก๊สที่พุ่งผ่านหัวฉีดออกมาตึงอากาศส่วนแรกเข้าผสมเป็นส่วนผสมแรก เกิดเปลวไฟชั้นในเหนือหัวเผา แล้วเกิดเปลวไฟชั้นนอกโดยการแพร่ของอากาศที่อยู่ล้อมรอบเข้าหาผลผลิตที่ยังเผาไหม้ได้ที่ออกจากเปลวไฟชั้นใน ส่วนประกอบสำคัญของหัวเผา ได้แก่ หัวฉีดแก๊ส (Injector) ช่องเปิดให้อากาศส่วนแรกเข้า (Primary air port), ท่อผสม (ส่วนคอคอด และ ท่อเวนทูรี) (Throat and diffuser) ส่วนหัวเตา (Burner head) และ ช่องเปลวไฟ (Flame port or burner port) (กัญจนา บุญเกียรติ, 2542 : 75)



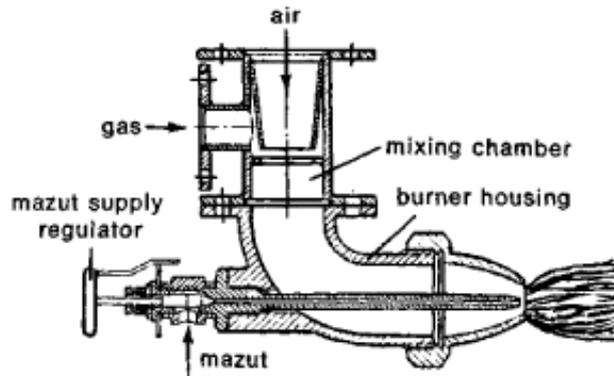
ภาพประกอบที่ 2.2 หัวเผาในบรรยากาศเปิด

ที่มา: Industrial Furnace (2556a)

2.3.2 หัวเผาผสมอากาศชนิดอากาศตั้งแก๊ส (Premixed air blast burner)

หัวเผาชนิดนี้ใช้อากาศป้อนผ่านท่อเข้ามาที่หัวฉีดและใช้ความดันของอากาศตั้งเชื้อเพลิงเข้ามาผสม โดยที่การเผาไหม้ต้องใช้ปริมาณของอากาศสูงมากเพื่อเทียบกับของแก๊สตั้งเชื้อเพลิง การใช้โมเมนตัมของอากาศตั้งเชื้อเพลิงเข้ามาผสมจึงเป็นหลักการการใช้พลังงานจลน์ที่ถูกต้อง หัวเผาชนิดนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเพราะ

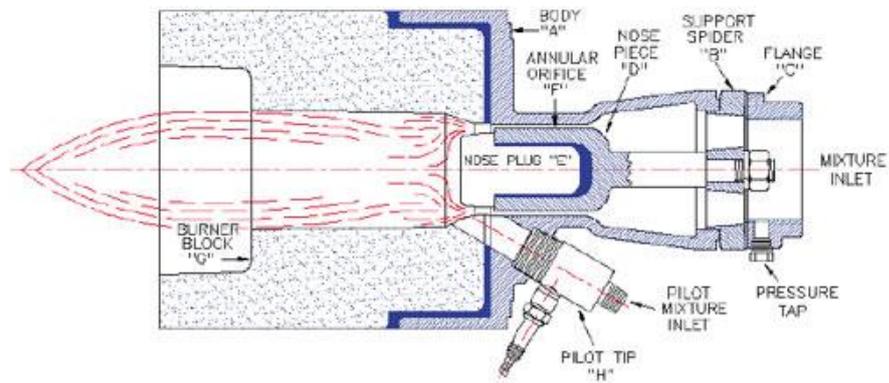
1. ได้สัดส่วนการผสมที่ต้องการตามทฤษฎี และควบคุมอัตราส่วนได้ง่าย
2. ปรับอัตราการป้อน (Throughput) ได้ง่าย โดยปรับเพียงอากาศ
3. มีอัตราส่วนการป้อนระหว่างสูงที่สุดต่อต่ำที่สุด (Turn down ratio) สูง
4. ส่วนผสมที่ช่องเปลวไฟมีความดันสูงจึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์
5. เกิดการกระจายของแก๊สร้อนไปทั่วเตาเผาและการถ่ายโอนความร้อนโดยการพา
6. เปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงได้สะดวก (กัญจนา บุญเกียรติ, 2542 : 78-79)



ภาพประกอบที่ 2.3 หัวเผาผสมอากาศชนิดอากาศตั้งแก๊ส
ที่มา: Atmospheric open burner (2556b)

2.3.3 หัวเผาแก๊สผสมอากาศชนิดผสมในอุโมงค์ (Tunnel mixing air blast burner)

การผสมระหว่างแก๊สและอากาศกระทำได้โดยพ่นทั้งแก๊สและอากาศเข้าพร้อมกัน กระแสทั้งสองถูกบีบให้เข้าผสมกันภายในท่อที่มีลักษณะแคบยาวเหมือนอุโมงค์แล้วเกิดการเผาไหม้ บริเวณนั้น หัวเผากลุ่มนี้มีข้อดีที่จะไม่เกิดเปลวไฟย้อนกลับ ช่วยให้เปลวไฟอยู่ตัวและยึดอยู่กับที่ได้ ในช่วงกว้าง สามารถใช้อากาศที่อุ่นก่อน และมีความดันต่ำได้ (กัญจนา บุญเกียรติ, 2542 : 82)

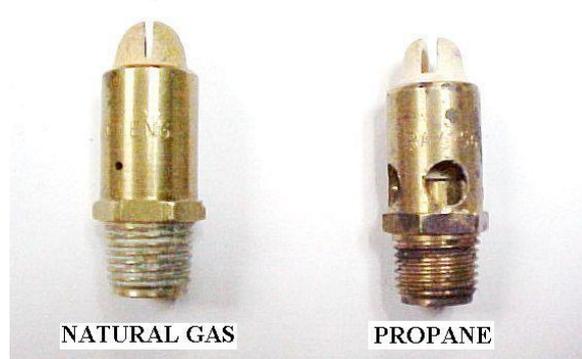


ภาพประกอบที่ 2.4 หัวเผาแก๊สผสมอากาศชนิดผสมในอุโมงค์

ที่มา: Sales heat technology (2556)

2.3.4 หัวเผาชนิดแก๊สผสมอากาศหรือเปลวไฟชนิดแพร่ (Diffusion flame burner)

หัวเผาชนิดนี้ฉีดแก๊สเข้ามาในบริเวณปากหัวเผาแล้วจึงมาพบกับอากาศจากภายนอกหรืออากาศที่นำเข้ามาผสม มีทั้งชนิดที่มีการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน ลักษณะสำคัญของหัวเผาชนิดนี้คือ ให้เปลวไฟลุกสว่าง ไม่เกิดเปลวไฟย้อนกลับ จึงให้อัตราส่วนการป้อนสูงที่สุดต่อต่ำที่สูงสุด นอกจากนี้ยังมีขนาดกะทัดรัดและไม่มีเสียงดังเหมือนหัวเผาชนิดแก๊สผสมอากาศ (เสียงฟู่ที่เกิดจากการดึงอากาศเข้าผสม) รวมทั้งหัวเผาไม่ร้อนจึงไม่เกิดการอุดตันที่ช่องเปลวไฟ เนื่องจากการเผาไหม้ ไม่เข้มข้นเฉพาะบริเวณหัวเผาแต่เกิดขึ้นตลอดความยาวเตาเผา (กัญญา บุญยเกียรติ, 2542 : 90)

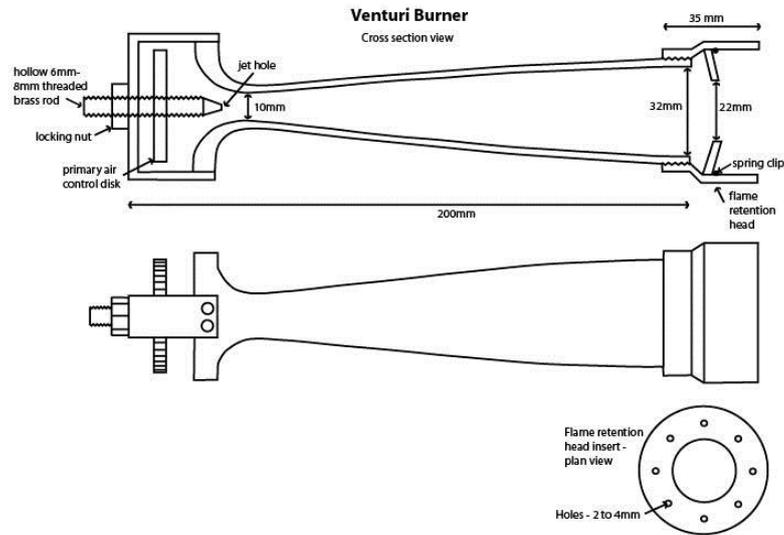


ภาพประกอบที่ 2.5 หัวเผาชนิดแก๊สผสมอากาศหรือเปลวไฟชนิดแพร่

ที่มา: Bray burner (2556)

2.3.5 หัวเผาแบบเวนจูรี (Venturi burner)

งานวิจัยนี้ใช้หัวเผาแบบเวนจูรีซึ่งเป็นหัวเผาในบรรยากาศเปิด ควบคุมอากาศไหลเข้าโดยการปรับแผ่นกั้นอากาศ (Air baffle) เพื่อนำอากาศเข้าไปผสมกับแก๊ส (Air-gas mixed) การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกมักนิยมใช้หัวเผาที่ทำด้วยดินเหนียวมากกว่าที่ทำจากโลหะ



ภาพประกอบที่ 2.6 หัวเผาแบบเวนจูรี
ที่มา: Duncan shearer (2556)

2.4 เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยทั่วไปนั้นมียูหลายชนิด สามารถจำแนกตามหน้าที่การใช้งานตามลักษณะทางเดินของลมร้อน ตามรูปร่างลักษณะของเตาเผา และตามเชื้อเพลิงที่ใช้เผาก็ได้ เช่น เตาน้ำมัน เตาแก๊ส เตาฟืน เตาไฟฟ้า แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ ผู้ออกแบบ และความเหมาะสมเป็นหลักสำคัญ (ทวี พรหมพฤษช์, 2523 : 143) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของเตาตามลักษณะต่างๆ ดังกล่าวคือ

2.4.1 แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตาเผา จำแนกออกเป็น 3 ประเภท (ทวี พรหมพฤษช์, 2525 : 13) คือ

2.4.1.1 เตาเผาที่ไม่ต่อเนื่อง (Non-continuous kiln)

เป็นเตาเผาที่เผาเป็นครั้งคราวโดยเผาไม่ติดต่อกัน ต้องใช้เวลานานพอสมควรเพื่อรอให้เตาเผาเย็นจึงจะมีการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาใหม่ เป็นเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมภายในครอบครัว งานค้นคว้าวิจัย งานทดลองต่างๆ

2) เตาเผาชนิดกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous kiln)

เป็นเตาเผาที่สามารถเผาเกือบจะติดต่อกันไป ทำให้เป็นการประหยัดเชื้อเพลิง โดยอาศัยความร้อนส่วนหนึ่งของเตาเผา และใช้รถบรรจุผลิตภัณฑ์อย่างน้อย 2 คันเพื่อใช้หมุนเวียนสลับกันไป

3) เตาเผาชนิดที่เผาต่อเนื่อง (Continuous kiln)

เป็นเตาเผาแบบอุโมงค์ (Tunnel kiln) หรือเตาเผาแบบวงแหวน เป็นเตาเผาที่ออกแบบให้สามารถเผาติดต่อกันได้ตลอดเวลา เป็นเตาที่มีระบบการควบคุมอย่างดีลงทุนสูง ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

2.4.1.2 แบ่งตามประเภทของทางเดินลมร้อน เป็นการออกแบบเตาเผาที่ให้ความร้อนเดินไปในทิศทางที่ต้องการมี 3 ชนิด (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 13-14) คือ

1) เตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนในแนวนอน (Horizontal draft kiln)

หรือเตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนขนานเป็นเตาชนิดที่มีรูปร่างยาวขนานกับพื้นดิน หลังคาโค้งตลอดจนถึงแนวปล่องเตา เป็นเตาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงและสามารถเผาได้ อุณหภูมิสูง ซึ่งได้แก่ เตาจีน เตาเผาสังคโลกที่มีชื่อเสียงในสมัยสุโขทัย เป็นต้น ปัจจุบันเตาแบบนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยม เนื่องจากต้นทุนในการผลิตสูงและเชื้อเพลิงที่ใช้หายาก และอีกประการหนึ่งต้องคอยควบคุมการเผาตลอดเวลา

2) เตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนขึ้น (Up draft kiln)

เป็นเตาเผาที่ลงทุนสร้างไม่แพงนัก เป็นเตาที่สร้างง่าย แต่อุณหภูมิที่เผาได้ไม่สูงมากนัก เเผาเคลือบไฟต่ำได้ดี เตาเผาชนิดนี้ผู้สร้างจะต้องเรียงตะกรับ (Checker work) หลายๆ ชั้น จะช่วยให้ความร้อนภายในเตาสม่ำเสมอ สำหรับเตาแก๊สชนิดทางเดินลมร้อนขึ้นเป็นเตาเผาที่ไม่มีปล่องไฟแต่มีช่องระบายความร้อนทำหน้าที่แทนปล่องไฟอยู่ในตอนบนของเตาเผา ให้ความร้อน ผ่านแผ่นรองชนิดทนไฟสูง (High temperature slab) โดยไม่ผ่านผลิตภัณฑ์โดยตรง แผ่นรองนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อน (Thermal conductivity) รับน้ำหนัก และช่วยเฉลี่ยความร้อนให้สม่ำเสมอทั่วทั้งเตาเผา (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 33)

3) เตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนลง (Down draft kiln)

เป็นเตาเผาที่มีบทบาทสำคัญมาก สามารถเผาในอุณหภูมิสูง ใช้เทคนิคในการเผาสูง การลงทุนค่อนข้างแพง โดยเฉพาะวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเตา ต้องเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดี โดยปัจจุบันเตาประเภทนี้นิยมสร้างเป็นเตาน้ำมัน เตาแก๊ส สำหรับเตาแก๊สที่ใช้อิฐเบา (Insulating brick)

2.4.1.3 แบ่งตามรูปร่างลักษณะของเตา เป็นการแบ่งเตาเผาตามลักษณะรูปร่างต่างๆ เช่น เตากลม เตาเหลี่ยม เป็นต้น ซึ่งในสมัยโบราณของไทยเตาเผาผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเรียกว่าเตาทุเรียง โดยสมัยแรกๆ ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ต่อมาภายหลังใช้น้ำมัน แก๊ส ไฟฟ้า ถ่านหิน แกลบ โดยดัดแปลงให้เหมาะกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ทำให้ปัจจุบันมีเตาใช้งานชนิดที่มีคุณภาพดีและประสิทธิภาพดีขึ้นตามลำดับ (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 144)

2.4.1.4 แบ่งตามลักษณะเชื้อเพลิง เป็นเตาเผาที่ออกแบบมาให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิง ที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์ มีดังนี้

1) เตาชนิดที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง (Wood firing kiln)

เป็นเตาเผาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเผา ซึ่งเตาฟืนมีหลายแบบหลายชนิด เช่น เตาฟืนชนิดทางเดินลมร้อนขึ้น เตาฟืนชนิดทางเดินลมร้อนลง เป็นต้น (โกมล รัชชวงศ์, 2538 : 65) โดยผู้สร้างจะต้องออกแบบให้การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้ดี และสามารถเผาได้ อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะซีเมนต์จะต้องถ่ายเทได้สะดวก (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 14)

2) เตาชนิดที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Coal firing kiln)

เป็นเตาเผาอุณหภูมิสูง แต่การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงจะต้องออกแบบให้เหมาะสม ช่องที่จะใส่เชื้อเพลิงและการระบายซีเมนต์ในเตาเผาต้องให้สมดุลกัน (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 14)

3) เตาชนิดที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (Oil firing kiln)

เป็นเตาเผาที่มีผู้นิยมกันมาก สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูง เช่นเดียวกับเตาแก๊ส นิยมออกแบบสร้างเตาเป็นแบบทางเดินลมร้อนลง (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 44) โดยน้ำมัน ที่ใช้ ได้แก่ น้ำมันก๊าด น้ำมันโซลา น้ำมันเตา (โกมล รัชชวงศ์, 2538 : 64)

4) เตาชนิดใช้ไฟฟ้า (Electric firing kiln)

เป็นเตาที่มีผู้นิยมกันมาก โดยเฉพาะในวงการอุตสาหกรรม เครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากผู้ใช้มีความสะดวกสบาย ควบคุมได้ง่าย มีความปลอดภัยสูง และค่าใช้จ่ายไม่สิ้นเปลืองมากนัก ผลิตรักษามีกุณภาพดี (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 63) และสะดวกต่อการใช้ได้ผลแน่นอน เพราะควบคุมอุณหภูมิได้ดี (วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา, ศูนย์, 2529 : 70) ความร้อนที่ได้สะอาดปราศจากสิ่งสกปรกอื่นๆ และการควบคุมอุณหภูมิทำได้ดีมาก ทำให้ได้ผลที่แน่นอน เตาเผาสามารถให้อุณหภูมิสูง และสามารถเร่งความเร็วได้ตามต้องการ แต่เป็นเตาที่เผาแบบ Oxidizing ได้เท่านั้น และเป็นการลงทุนที่ค่อนข้างสูง ตั้งแต่ราคาเตา ค่ากระแสไฟฟ้า ในการเผาแต่ละครั้ง ค่าใช้จ่ายในการเผาในอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน จึงสูงกว่าเตาเผาชนิดอื่นๆ (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 15, 148) เหมาะสำหรับใช้เป็นเตาสำหรับงานทดลอง งานวิจัยต่างๆ

5) เตาชนิดที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (Gas firing kiln)

เป็นเตาที่กำลังนิยมในหมู่บรรดาผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา เป็นเตาที่ค่อนข้างสะอาด เาให้อุณหภูมิสูง มีความสะดวกต่อการใช้งาน ประหยัดเชื้อเพลิง ปลอดภัย และสามารถเผาแบบออกซิเดชันหรือรีดักชันได้ การสร้างเตาแก๊สจะต้องใช้อิฐทนไฟชนิดเบา (Insulating brick) ในการก่อเตาที่มีความทนไฟสูง เพราะจะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี เตาแก๊สที่สร้างแบบมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ

(1) เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น (Up draft kiln) การสร้างเตาเผาชนิดทางลมร้อนขึ้นนี้เป็นเตาที่ไม่มีปล่องไฟ แต่มีช่องระบายความร้อนทำหน้าที่แทนปล่องไฟอยู่ตอนบน ช่องล่างให้ความร้อนผ่านแผ่นรองชนิดทนไฟสูงโดยไม่ผ่านผลิตภัณฑ์โดยตรง แผ่นรองนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำความร้อนที่ดี รับน้ำหนักและช่วยเฉลี่ยความร้อนให้สม่ำเสมอ เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้นนิยมออกแบบเตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมชนิดเปิดหน้า (Front loading) และชนิดเปิดบน (Top loading) เตาแก๊สชนิดนี้มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก เป็นเตาที่เหมาะสมสำหรับงานทดลอง งานวิจัยต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ค่าก่อสร้างราคาถูก และง่ายต่อการก่อสร้าง	1. สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก
2. ค่าซ่อมแซมราคาถูก	2. ความร้อนในเตาไม่สม่ำเสมอ
3. สะดวกต่อการ Load และ Unload	3. อุณหภูมิส่วนล่างมักสูงกว่าส่วนบน
4. ง่ายต่อการเผา	
5. สามารถสร้างได้ทั้งขนาดเล็ก กลาง ใหญ่	

ที่มา: आयวัฒน์ สว่างผล (2536 : 152)

(2) เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง (Down draft kiln) เป็นเตาเผาที่ ออกแบบให้มีขนาดใหญ่ และเผาผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมาก การบรรจุผลิตภัณฑ์โดยการใส่รถบรรจุ ผลิตภัณฑ์เข้าเตา (Kiln car) ซึ่งทำให้สะดวกและคล่องตัว ถ้าต้องการเพิ่มผลผลิตก็เพิ่มรถไว้สำรองอีก ซึ่งเท่ากับเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลงจะต้องสร้างให้มีปล่องเตา ซึ่งจะช่วยให้การเผาไหม้หรือสันดาปได้อย่างดี การก่อสร้างเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลงซึ่งจะเป็นตัว ขนาดใหญ่ รับน้ำหนักมาก ผู้ทำการก่อสร้างเตาจะต้องสร้างฐานรากให้แข็งแรง นอกจากนี้เตาแก๊ส ชนิดนี้การลงทุนค่อนข้างสูงกว่าแบบทางลมร้อนขึ้น (ทวี พรหมพฤษณ์, 2525 : 33)

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของเตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ประหยัดเชื้อเพลิงมากกว่าเตาชนิดทางเดินลมร้อนขึ้น	1. อุณหภูมิส่วนบนมักสูงกว่าส่วนล่าง
2. อุณหภูมิสม่ำเสมอกว่าเตาชนิดทางเดินลมร้อนขึ้น	2. ค่าซ่อมแซมราคาสูง
	3. ค่าก่อสร้างราคาสูง

ที่มา: आयวัฒน์ สว่างผล (2536 : 153)



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 2.7 เตาเผาแบบใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (ก) เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนขึ้น และ (ข) เตาแก๊สชนิดทางลมร้อนลง

ที่มา: ภควดี ศิริหาล้า และคณะ (2551 : 67-68)

ในการเผาเตาชนิดที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงนั้น เชื้อเพลิงจะถูกพ่นจากหัวเผาและถูกเผาไหม้ให้เป็นเปลวไฟ เปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้จะทำให้ความร้อนไหลเข้าสู่เพดานเตา เนื่องจากแรงดันภายในเตาเพิ่มขึ้นจึงทำให้ไอร้อนหาทางออก อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของการเผาอาจไม่กระจายสม่ำเสมอตามทฤษฎี อันเนื่องมาจากสาเหตุ ดังนี้ (พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา, ศูนย์.ม.ป.ป. : 75)

- การจัดเรียงชิ้นงานไม่สมมาตร
- ขาดตั้งแผ่นรองเตาบังคับทิศทางของเปลวไฟ
- ท่อส่งแก๊สเกิดปัญหา
- การวางตำแหน่งปล่องไฟไม่เหมาะสม
- การปรับแอมเปอร์ไม่ดีพอ
- การวางหัวเผาไม่เหมาะสม

ตารางที่ 2.4 หลักเกณฑ์ในการจำแนกเตาเผา

หลักเกณฑ์ในการจำแนกเตาเผา	ชื่อที่เรียก
เชื้อเพลิงและแหล่งที่ให้ความร้อน	เตาเผาที่ใช้ฟืน
	เตาเผาที่ใช้ถ่านหิน
	เตาเผาที่ใช้น้ำมัน
	เตาเผาที่ใช้แก๊ส
	เตาเผาที่ใช้ไฟฟ้า
ทิศทางการไหลของลมร้อน	เตาเผาชนิดทางระบายลมร้อนขึ้น
	เตาเผาชนิดทางระบายลมร้อนลง
	เตาเผาชนิดทางระบายลมร้อนขนาน
ลักษณะการทำงานของเตาเผา	เตาเผาแบบเป็นครั้งคราว
	เตาเผาแบบกึ่งต่อเนื่อง
	เตาเผาแบบต่อเนื่อง
รูปร่างลักษณะของเตาเผา	เตาเผารูปสี่เหลี่ยม
	เตาเผากลม
	เตาอุโมงค์
	เตามังกร
	เตาแมงป่อง

ที่มา: พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา, ศูนย์ (2542)

2.5 การเผา

การเผาในทางเครื่องปั้นดินเผา คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในเตาเผา ภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้กลายเป็นถาวรวัตถุ มีความแข็งแรงเหมือนหิน ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวร (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์, 2541 : 288) ซึ่งการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

2.5.1 การเผาดิบ (Biscuit firing)

เป็นขั้นตอนที่นำเอาผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วเข้าเตาเผา โดยปกติการเผาดิบจะเผาในอุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ก็เพียงพอที่จะนำไปชุบเคลือบต่อไป ซึ่งจุดประสงค์ของการเผาดิบคือ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงตัว เคลื่อนย้ายได้ง่าย ไม่แตกหัก สะดวกแก่การชุบเคลือบ ไม่ต้องระวังการแตกหัก นอกจากนี้ก็เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ ที่มีตำหนิและแตกร้าวก่อนการเผาดิบ และเพื่อเผาไล่สารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ออก ผลิตภัณฑ์จะเกิดรูพรุนในเนื้อดิน ทำให้สามารถชุบเคลือบได้ดี (โกมล รัชชวงค์, 2538 : 65-66) และเนื่องจากชิ้นงานที่ขึ้นรูปแล้ว ยังคงมีความชื้นและสารอินทรีย์อยู่ในชิ้นงาน การเผาไล่ความชื้นและสารอินทรีย์ ก่อนที่จะนำไปชุบเคลือบเป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะช่วยลดปริมาณน้ำในชิ้นงาน ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดแรงดันจนชิ้นงานอาจระเบิดได้ (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์, 2541 : 289) การเผาดิบ ควรให้ความร้อนและการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนที่ละน้อย ไม่ว่าจะเป็นเตาแก๊ส น้ำมัน ฟืน และไฟฟ้าก็ตาม ควรให้ระยะเวลาการเผาเป็นไปอย่างช้าๆ สม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ในการเผาไม่ควรเผาเร็วจนเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายได้ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ควรใช้เวลาในการเผาดิบให้ยาวนานขึ้น เพื่อความปลอดภัยและไม่ให้ผลิตภัณฑ์แตกหรือเสียหายได้ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาโดยทั่วไปประมาณ 750-850 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์ไม่ต่ำกว่า 8-10 ชั่วโมง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของผลิตภัณฑ์และขนาดของเตาเผา ส่วนการปล่อยให้เตาเผาเย็นลงภายหลังจากการเผา ควรระมัดระวังเช่นกัน ควรให้เวลานานๆ ไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 152) และห้ามเปิดเตาเผาก่อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพราะผลิตภัณฑ์เมื่อกระทบอากาศเย็นนอกเตาเผาจะทำให้แตกได้ (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์, 2541 : 290)

2.5.2 การเผาเคลือบ (Glost firing)

เป็นการเผาให้น้ำเคลือบที่ชุบบนผลิตภัณฑ์ละลาย เป็นเนื้อเดียวกัน มีความมันแวววาว (Glassy) บางชนิดเป็นเคลือบด้าน ผิวเรียบ มีความแข็งแรง สามารถต้านทานต่อกรดและด่างได้เป็นอย่างดี ซึ่งในการเผาเคลือบไม่ว่าจะเป็นเคลือบชนิดไฟต่ำหรือไฟสูงก็ตาม จะต้องเผาให้ได้ อุณหภูมิตามกำหนดของน้ำเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นการเผาจะเกิดการเสียหายได้ เช่น การเผาที่ไฟเกิน (Over fire) ย่อมทำให้น้ำเคลือบไหลมาก อาจจะติดพื้นเตาเผาหรือขึ้นร่อง ยากแก่การเอาออก ทำให้เสียหายได้ และการเผาที่อุณหภูมิไม่ถึง (Under fire) จะทำให้น้ำเคลือบไม่เป็นมันเท่าที่ควร (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 155) ภาชนะที่ชุบเคลือบแล้วทุกชิ้น ต้องเซ็ดกันของผลิตภัณฑ์ให้หมดเคลือบ ป้องกันการหลอมละลายของเคลือบติดบนแผ่นรองเตาเผา ผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นจะต้องวางห่างกันเล็กน้อย ไม่ให้น้ำเคลือบสัมผัสกัน เพราะเคลือบจะหลอมละลายติดกันเมื่อเผาในอุณหภูมิสูง (ไพจิตร อิงศิริวัฒน์, 2541 : 291) และการเรียงภาชนะเข้าเผาเคลือบ จะต้องระมัดระวังมาก เพราะมีปัญหา

เกี่ยวกับการยู่บตัวและบิตเบี้ยว ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาบางไม่สม่ำเสมอจะยู่บตัวได้ง่าย ส่วนที่มีรูปทรงแบน เช่น จาน ควรวางให้ไ้ระดับ จะช่วยไม่ให้บิตเบี้ยวได้ ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงยาวไม่ควรวางให้ถูกเปลวความร้อน เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์เอียง (วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา, ศูนย์, 2529 : 156) การเผาเคลือบสามารถเผาได้เร็วกว่าการเผาดิบ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้ผ่านการเผาดิบมาแล้วครั้งหนึ่ง โดยระยะเวลาในการเผาเคลือบ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 291) เป็นดังนี้

ช่วงที่ 1 อุณหภูมิห้อง 24-950 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5-6 ชั่วโมง

ช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 950-1250 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง

ช่วงที่ 3 เผาแช่ (Soaking) อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที

สำหรับการปิดเตาเผาภายหลังจากการเผาเคลือบได้ที่แล้ว ควรปล่อยให้เตาทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง อัตราการลดความร้อน (Cooling rate) ควรใช้ 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง จะช่วยรักษาผลิตภัณฑ์ไม่ให้แตกเสียหายได้ (ทวี พรหมพฤษ, 2523 : 156)

2.5.3 การเผาตกแต่ง (Decoration firing)

ส่วนใหญ่จะเป็นการเผาตกแต่งบนเคลือบ (Over glaze decoration) จะทำหลังการเผาเคลือบ จากนั้นจะนำมาตกแต่งลวดลาย สี แล้วนำไปเผาในช่วง 750-850 องศาเซลเซียส

ผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อดินเมื่อผ่านความร้อนในอุณหภูมิต่างๆ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 292 อ้างจาก Norton, 1970 : 140) ดังนี้

100-200 องศาเซลเซียส	น้ำที่อยู่รอบๆ อนุภาคดิน ระเหยกลายเป็นไอ ถ้าเผาเร็วเกินไป ผลิตภัณฑ์จะระเบิดเสียหาย
450 องศาเซลเซียส	น้ำในสูตรเคมีของดิน (Al_2O_3 , $2SiO_2$, $2H_2O$) เริ่มระเหย
230-573 องศาเซลเซียส	ผลึกของซิลิกาหรือควอทซ์ เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึก ทำให้ดินเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว
500-600 องศาเซลเซียส	น้ำที่เป็นส่วนประกอบทางเคมีของดิน ถูกเผาหมดไป อินทรีย์สารในดินถูกเผาไหม้
900-950 องศาเซลเซียส	เศษซากเถ้าถ่านของอินทรีย์สาร (Carbon) ในเนื้อดินถูกเผาไหม้หมดไป หินปูนสลายตัว ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
ที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส	
980 องศาเซลเซียส	ดินเปลี่ยนโครงสร้าง เริ่มเกิดการหดตัวจากการหลอมละลายรวมตัวของวัตุดิบ
1050-1100 องศาเซลเซียส	เฟลด์สปาร์ในเนื้อดินเริ่มหลอมละลาย เกิดโครงสร้างรูปเข็มประสานกัน จากผลึกมัลไลท์ (Mullite) ในเนื้อดิน ช่วยให้ดินมีความแข็งแรง และการหดตัวยังเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

1200 องศาเซลเซียส	ผลึกมัลไลต์มีมากขึ้น ดินหลอมละลายปิดรูปพูน เนื้อแน่น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น
1250 องศาเซลเซียส	เนื้อดินและน้ำเคลือบสุกตัวหลอมละลาย โครงสร้างของผลึกดินเปลี่ยนเป็นแก้ว ร้อยละ 60 มัลไลต์ ร้อยละ 21 และ ควอทซ์ ร้อยละ 19

จากขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาทางความร้อนและความเปลี่ยนแปลงต่างๆ ในระหว่างกระบวนการเผา ตามที่กล่าวมา สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาได้ กล่าวคือ ทำให้ลดปริมาณความเสียหายเนื่องจากการเผาได้ เช่น ปริมาณความเสียหายในการผลิต (วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา, ศูนย์, 2529 : 149) คือ

การปั้นตกแต่ง ตกแต่ง	ร้อยละ 10
เผาดิบ เขียนสีได้เคลือบ	ร้อยละ 10
ชุบเคลือบ เเผาเคลือบ	ร้อยละ 10
เขียนสีบนเคลือบ เผาสี	ร้อยละ 5
การบรรจุหีบห่อ (คัดเลือกออก)	ร้อยละ 5

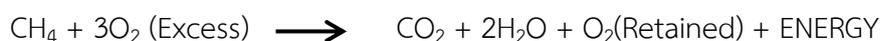
จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่า จากผลิตภัณฑ์ตั้งต้น 100 ชิ้น จะเหลือถึงขั้นสุดท้ายเพียง 60 ชิ้น เท่านั้น ซึ่งถ้าจะคิดความเสียหายเฉพาะในขั้นตอนการเผา จะสูงถึงร้อยละ 25 ดังนั้นการระมัดระวังในการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ก็ย่อมจะเกิดประโยชน์ต่อการผลิตเครื่องปั้นดินเผาเป็นอย่างมาก

2.6 บรรยากาศการเผา

สิ่งสำคัญต่อการเผาเครื่องปั้นดินเผาอีกประการหนึ่ง คือ บรรยากาศในการเผา (ศิลาปกร, กรม, 2539 : 49) การเผาได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับบรรยากาศของเตา โดยเฉพาะการที่น้ำระเหยและการแยกตัวของสิ่งต่างๆ ในเนื้อดิน (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525 : 104) ซึ่งในการเผาใหม่โดยทั่วไป จะมีแก๊สที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ ได้แก่ ออกซิเจน (Oxygen) ไนโตรเจน (Nitrogen) คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) ไออน้ำ (Water vapor) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) และอื่นๆ ซึ่งปริมาณและสัดส่วนของแก๊สเหล่านี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมเพื่อให้ได้บรรยากาศในการเผาแบบต่างๆ (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 295) บรรยากาศการเผา โดยทั่วไปมี 3 ลักษณะ ดังนี้

2.6.1 บรรยากาศแบบออกซิเดชัน (Oxidation firing : OF)

เป็นบรรยากาศที่มีการเผาใหม่อย่างสมบูรณ์ในเตาเผาที่มีออกซิเจนเพียงพอ ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการเผาใหม่แล้วจะมีออกซิเจนเหลืออยู่ ดังปฏิกิริยาการเผาใหม่ในสมการ



2.6.2 บรรยากาศแบบรีดักชัน (Reduction firing : RF)

เป็นบรรยากาศการเผาที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในเตาเผาที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ เหลืออยู่ดังปฏิกิริยาการเผาไหม้ในสมการ



2.6.3 บรรยากาศแบบนิวทรัล (Neutral firing : NF)

เป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และเมื่อสิ้นสุดการเผาไหม้แล้วจะไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่เลย การเผาไหม้มีออกซิเจนที่พอดีดังปฏิกิริยาการเผาไหม้ในสมการ



วิธีการเผาในบรรยากาศออกซิเดชันสำหรับเตาแก๊ส จะต้องทำให้บรรยากาศในเตาเผา มีออกซิเจนมากเกินไป ซึ่งทำได้โดยให้อากาศผ่านเข้าเตาอย่างเต็มที่โดยการปรับลมให้มีปริมาณเพียงพอที่จะไล่แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ให้พ้นออกไปจากเตาได้เร็วที่สุด ซึ่งจะต้องเปิดแฉกเปเปอร์หรือแผ่นควบคุมความร้อนสำหรับเตาที่ใช้แฉกเปเปอร์ชนิดเสียบ แต่ถ้าเป็นเตาที่ใช้แฉกเปเปอร์ชนิดเป็นรูหลังปล่อง ต้องปิดรูแฉกเปเปอร์ ให้หมด (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 295-296) ส่วนถ้าเป็นเตาไฟฟ้าจะเผาแบบออกซิเดชันได้เท่านั้น ความร้อนที่ได้จากขดลวดภายในเตาเผาไฟฟ้าจะอาศัยจากสิ่งสกปรก และไม่มีควันจึงไม่ต้องมีการควบคุมปริมาณของออกซิเจน (ทวี พรหมพฤกษ์, 2523 : 15,149) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป หลังการไล่น้ำอิสระ (Free Water) ออกไปจนถึงอุณหภูมิ 900-950 องศาเซลเซียส จะเผาแซ่หรือคงที่อุณหภูมิการเผาไว้จนมั่นใจว่าการไล่คาร์บอนออกจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่เผาได้หมด จากนั้นดำเนินการเผาไปเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายของการเผาตามต้องการ เรียกว่า จุดสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ แล้วเย็นไฟเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุกทั่วกันก่อนจะปิดเตาเผาและปล่อยให้เตาเย็นลง (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 296)

วิธีการเผาในบรรยากาศรีดักชันสำหรับเตาแก๊ส ในช่วงแรกต้องเผาแบบออกซิเดชันไปจนถึงอุณหภูมิ 950-1000 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในช่วงนี้จะคงค่าอุณหภูมิการเผาไว้จนแน่ใจว่าไล่คาร์บอนออกจากเนื้อผลิตภัณฑ์ที่เผาหมดแล้ว จึงทำการปรับเปลี่ยนบรรยากาศการเผาเป็นบรรยากาศรีดักชัน โดยเปิดแฉกเปเปอร์ประมาณร้อยละ 50 สำหรับเตาที่ใช้แฉกเปเปอร์แบบเสียบ ถ้าเป็นเตาที่ใช้แฉกเปเปอร์แบบเปิดรูหลังปล่องต้องเปิดแฉกเปเปอร์ออกทั้งหมด สังเกตเปลวไฟที่แลบออกมาจากด้านหน้าและด้านหลัง ของเตาเผา ทำการเผาไปเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ และคงค่าอุณหภูมิเผาไว้จนถึงอุณหภูมิสุดท้ายของการเผา จะใช้เวลาเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับขนาดเตาเผา (ไพจิตร อังศิริวัฒน์, 2541 : 296) ส่วนเตาไฟฟ้าไม่สามารถเผาในบรรยากาศรีดักชันโดยวิธีการทั่วไปได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลือชัย ประทุมมาตย์ (2546) ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาเตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนลงโดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงให้กับโรงเรียนเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนในระดับโรงเรียนและท้องถิ่นมีความรู้ด้านเซรามิก โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาเตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนลงโดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง และสามารถเผาได้อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส 2) เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความสามารถในเรื่องเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก และเกิดทักษะตรงในกระบวนการเรียนการสอนด้านสาขาเทคโนโลยีเซรามิก 3) เพื่อขยายการศึกษาขั้นพื้นฐาน ขยายโอกาสทางการศึกษาเป็นทางเลือกเรียนในระดับอุดมศึกษาของสถาบันศึกษาและมหาวิทยาลัย และ 4) เพื่อพัฒนาการใช้สื่อและความต้องการเทคโนโลยีท้องถิ่น

การพัฒนาเตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนลง สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และ 1200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน และอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสในบรรยากาศรีดักชัน มีขนาดห้องเผาภายใน 50x50x50 เซนติเมตร ก่อด้วยอิฐทนไฟหนา 2 ชั้น ชนิด SK 75 และ SK 76 ใช้หัวเผา จำนวน 2 หัว ทดสอบการเผาที่อุณหภูมิที่กำหนดอย่างละ 3 ครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยของการทดสอบกับผลิตภัณฑ์และแท่งทดสอบ คือ 1) เาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน มีค่าเฉลี่ยการบิดเบี้ยวเท่ากับ ร้อยละ 0 ค่าเฉลี่ยการแตกร้าวเท่ากับ ร้อยละ 0 ค่าเฉลี่ยการหดตัวเท่ากับร้อยละ 4.88 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำเท่ากับ ร้อยละ 20.33 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงเท่ากับ 11.780 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 5.20 กิโลกรัมต่อครั้ง เนื้อดินหลังการเผาไม่มีสีเหลืองส้ม 2) เาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน มีค่าเฉลี่ยการบิดเบี้ยวเท่ากับ ร้อยละ 3.3 ค่าเฉลี่ยการแตกร้าวเท่ากับ ร้อยละ 0 ค่าเฉลี่ยการสุกตัวเท่ากับ ร้อยละ 100 ค่าเฉลี่ยการหดตัวเท่ากับ ร้อยละ 11.16 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงเท่ากับ 96.54 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 7.11 กิโลกรัมต่อครั้ง เนื้อดินหลังการเผาไม่มีสีเหลืองอ่อน

3) เาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส บรรยากาศรีดักชัน มีค่าเฉลี่ยการบิดเบี้ยวเท่ากับ ร้อยละ 0 ค่าเฉลี่ยการแตกร้าวเท่ากับ ร้อยละ 3.3 ค่าเฉลี่ยการสุกตัวเท่ากับ ร้อยละ 98.88 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำเท่ากับ ร้อยละ 1.672 ค่าเฉลี่ยการหดตัวเท่ากับร้อยละ 12.27 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงเท่ากับ 101.32 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าเฉลี่ยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 8.10 กิโลกรัมต่อครั้ง เนื้อดินหลัง การเผาไม่มีสีเทาอมฟ้า

ภควดี ศิริหล้า และคณะ (2551) ศึกษาวิจัยเรื่อง การเพิ่มกำลังการผลิตและพัฒนาารูปแบบผลิตภัณฑ์ OTOP ประเภทเซรามิกในท้องถิ่นจังหวัดเลย โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตสินค้า OTOP ประเภทเซรามิกโดยการพัฒนาเตาเผาเซรามิก และ 2) เพื่อให้ความรู้เรื่องเทคนิคการผลิตเซรามิกและเทคโนโลยีการเผา กำหนดกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ วัสดุที่ใช้ในการพัฒนาเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก ทำการทดลองสร้างเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงในการเผา มีขนาดบรรจุ 2 แผ่นรองเผาต่อ 1 ชั้น และวิเคราะห์ข้อมูลการเพิ่มกำลังการผลิต ประกอบด้วย 1) คุณภาพเตาเผา 2) ประสิทธิภาพการเผา และ 3) กำลังการผลิต ผลการวิจัย พบว่า

1. คุณภาพเตาเผา พบว่า 1) เาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่พัฒนาขึ้น เป็นเตาเผาผลิตภัณฑ์ชนิดทางเดินลมร้อนลง ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงในการเผา มีไฟเบอร์แบบแผ่นและอิฐทนไฟชนิดอิฐเบาเป็น

ฉนวนกันความร้อน มีคุณลักษณะเป็นไปตามแบบที่กำหนดไว้ และ 2) ขนาดพื้นที่ใช้งานภายใน มีความกว้าง x สูง x ลึก เท่ากับ $0.45 \times 0.70 \times 0.70$ เมตร สามารถวางแผ่นรองเผารูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 0.35×0.35 เมตร ได้จำนวน 2 แผ่นต่อ 1 ชั้น

2. ประสิทธิภาพการเผา พบว่า 1) อุณหภูมิการเผา พบว่า เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่พัฒนาขึ้นสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผาเฉลี่ย 4.40 ชั่วโมง และสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผาเฉลี่ย 8.30 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกก่อนการพัฒนา พบว่า สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิเท่ากัน และใช้เวลาในการเผาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

2) บรรยากาศการเผา พบว่า เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่พัฒนาขึ้นสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน และสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกก่อนการพัฒนา พบว่า สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิเท่ากัน และในบรรยากาศเช่นเดียวกัน 3) ปริมาณเชื้อเพลิงในการเผา พบว่า เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่พัฒนาขึ้นสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย 12.25 กิโลกรัม และสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย 22.00 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกก่อนการพัฒนา พบว่า การเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยมากกว่าอยู่ 8.25 กิโลกรัม (ร้อยละ 206.25) และการที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ยมากกว่าอยู่ 15.00 กิโลกรัม (ร้อยละ 214.28) 4) ความจุของห้องเผา พบว่า เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่พัฒนาขึ้นมีขนาดความจุของห้องเผา เท่ากับ 0.3969 ลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกก่อนการพัฒนา พบว่า ความจุของห้องเผา มีขนาดมากกว่าอยู่ 0.2469 ลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 164.60)

3. กำลังการผลิต พบว่า 1) ในการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่พัฒนาขึ้นสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์เซรามิก (เฉพาะชนิดผลิตภัณฑ์) ในจำนวนต่อครั้งการเผา ได้แก่ กระดิ่งลมเล็ก 1,260 ชั้น/ครั้ง กระดิ่งลมใหญ่ 650 ชั้น/ครั้ง ถ้วยกาแฟ 350 ชั้น/ครั้ง เหยือกน้ำ 160 ชั้น/ครั้ง โถมีฝาปิดเล็ก 20 ชั้น/ครั้ง โถมีฝาปิดใหญ่ 8 ชั้น/ครั้ง และแจกันแปดเหลี่ยม 8 ชั้น/ครั้ง การเผาผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน สามารถเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นได้ สำหรับทุกชนิดผลิตภัณฑ์เฉลี่ย ร้อยละ 335 และสามารถลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง/ชั้น ลงได้ สำหรับทุกชนิดผลิตภัณฑ์เฉลี่ย ร้อยละ 14.18 และ 2) ในการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่พัฒนาขึ้นสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์เซรามิก (เฉพาะชนิดผลิตภัณฑ์) ในจำนวนต่อครั้งการเผา ได้แก่ กระดิ่งลมเล็ก 1,260 ชั้น/ครั้ง กระดิ่งลมใหญ่ 650 ชั้น/ครั้ง ถ้วยกาแฟ 350 ชั้น/ครั้ง เหยือกน้ำ 160 ชั้น/ครั้ง โถมีฝาปิดเล็ก 20 ชั้น/ครั้ง โถมีฝาปิดใหญ่ 8 ชั้น/ครั้ง และแจกันแปดเหลี่ยม จำนวน 8 ชั้น/ครั้ง การเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน สามารถเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นได้ สำหรับทุกชนิดผลิตภัณฑ์เฉลี่ย ร้อยละ 335 และสามารถลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง/ชั้น ลงได้ สำหรับทุกชนิดผลิตภัณฑ์เฉลี่ย ร้อยละ 22.31

ณัฐวุฒิ พิษขุนทด และคณะ (2553) ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตและคุณภาพหัตถกรรมดินเผาพื้นบ้าน มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดใช้แก๊ส

เป็นเชื้อเพลิงและถ่ายทอดเทคโนโลยีการเผาทดแทนการเผาถ่านที่มีอยู่เดิม และ 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการเผาของเตาเผาที่พัฒนาขึ้น

ผลการพัฒนาเตาเผา พบว่า

1. เตาเผาชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงเป็นแบบทางเดินลมร้อนลง
 2. พื้นที่ใช้งาน ขนาด กว้าง 410 มิลลิเมตร ทร ยาว 550 มิลลิเมตร และ สูง 655 มิลลิเมตร ขนาดบรรจุแผ่นรองเผา จำนวน 1 แผ่น
 3. อุณหภูมิสูงสุด 1300 องศาเซลเซียส เเผาได้ในบรรยากาศออกซิเดชันและบรรยากาศรีดักชัน
 4. โครงสร้างผนังเตาเป็นเหล็กกล่องเชื่อมบุด้วยเหล็กแผ่น ความหนา 3 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปล่องเตา 3 นิ้ว
 5. ฉนวนกันความร้อนได้แก่ เซรามิกไฟเบอร์แบบแผ่นและอิฐทนไฟชนิดอิฐเบา
 6. ตรวจสอบอุณหภูมิการเผาด้วยไพโรมิเตอร์แบบดิจิตอล และเทอร์โมคัปเปิล ชนิด R
 7. ระบบการเผาใหม่ประกอบด้วยหัวเผาแบบเวนจูรีชนิดประหยัดพลังงานจำนวน 4 หัว ประกอบติดกับท่อทองแดงพร้อมบอลวาล์ว
 8. ปรับปริมาณแก๊สด้วยเรกกูเลเตอร์และตรวจสอบความดันด้วยเกจแรงดัน
- ผลการทดสอบประสิทธิภาพการเผา พบว่า

1. ความจุห้องเผา พบว่า เตาเผาชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่พัฒนาขึ้น มีความจุห้องเผา 410 x 550 x 655 ลูกบาศก์เซนติเมตร บรรจุแผ่นรองเผาจำนวน 1 แผ่น
2. อุณหภูมิการเผา พบว่า สามารถเผาขึ้นต้นได้ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และเผาเคลือบได้ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส
3. บรรยากาศการเผา พบว่า เเผาได้ในบรรยากาศแบบออกซิเดชันและบรรยากาศแบบรีดักชัน
4. การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง พบว่า

4.1 การเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 4 กิโลกรัม

4.2 การเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 20

กิโลกรัม ยุทธพงษ์ นาคโสภณ (2555) ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาเทคนิคการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกแบบรวดเร็วเพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรเชื้อเพลิง มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก ต้นแบบชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง และ 2) เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกต้นแบบ ที่พัฒนาขึ้น โดยการออกแบบเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกทางเดินลมร้อนขึ้นชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง และดำเนินการพัฒนาเตาเผาตามแบบ จากนั้นทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน ผลการวิจัยพบว่า

ผลการออกแบบและพัฒนาเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก พบว่า

1. การออกแบบเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก พบว่า เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกต้นแบบเป็นชนิดทางเดินลมร้อนขึ้น ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง ระบบการเผาไหม้ประกอบด้วยหัวพ่นแก๊สแบบเวนจูรี จำนวน 1 หัวเผา สามารถวางแผ่นรองเผาขนาดทดลอง ได้จำนวน 1 แผ่นต่อชั้น ขนาดภายในเตาเผา กว้างxสูงxลึก เท่ากับ $0.345 \times 0.455 \times 0.345$ เมตร ขนาดภายนอกเตาเผา กว้างxสูงxลึก เท่ากับ $0.575 \times 0.625 \times 0.460$ เมตร

2. การพัฒนาเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก พบว่า เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกต้นแบบสามารถตัด เจาะ ชัด และเชื่อมประกอบได้ตรงตามแบบที่กำหนด

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผา พบว่า

1. การตรวจสอบอุณหภูมิการเผา พบว่า เตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่พัฒนาขึ้น สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

2. การตรวจสอบเวลาการเผา พบว่า เวลาที่ใช้ในการเผา 11.30 ชั่วโมง

3. การตรวจสอบบรรยากาศการเผา พบว่า บรรยากาศออกซิเดชัน

4. การคำนวณอัตราการเผา พบว่า อัตราการเผา รวม 69.57 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง

5. การคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงการเผา พบว่า ใช้เชื้อเพลิงในการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จำนวน 5 กิโลกรัม

2.8 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โครงการวิจัยจึงสังเคราะห์เป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย ดังนี้



ภาพประกอบที่ 2.8 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย