# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเซรามิกจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญที่ภาครัฐให้การสนับสนุนและส่งเสริม เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบในประเทศเป็นส่วนใหญ่ การผลิตจะใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก และมีการกระจายรายได้ไปสู่ภูมิภาค เดิมผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้า ต่อมาได้พัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องจนเป็นหนึ่งในผู้ผลิตที่สำคัญในภูมิภาคเอเชีย สามารถสร้างรายได้เข้าประเทศได้ถึงปีละ 20,000 ล้านบาท การผลิตเซรามิกในประเทศเกือบทั้งหมดจะเป็นการผลิตเซรา-มิกดั้งเดิม การผลิตเซรามิกสมัยใหม่มีผู้ผลิตเพียงน้อยราย โดยจะเป็นเพียงการนำเข้าวัตถุดิบสำเร็จรูปจากต่างประเทศมาผลิตเท่านั้น ยังไม่มีการผลิตแบบครบวงจรและต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากบริษัทแม่เป็นหลัก สำหรับการผลิตเซรามิก แบบดั้งเดิมแบ่งเป็น 5 กลุ่มที่สำคัญ คือ

1. กระเบื้องปูพื้น บุผนัง และโมเสค มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 104 ล้านตารางเมตรต่อปี เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เงินลงทุนและเทคโนโลยีสูง โรงงานจะมีขนาดใหญ่และได้มาตรฐาน จะผลิตเพื่อส่งออกประมาณ ร้อยละ 60 และจำหน่ายให้กับธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ในประเทศประมาณร้อยละ 40

2. เครื่องสุขภัณฑ์ มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 160,000 ตันต่อปี เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เงินลงทุนและเทคโนโลยีสูง โรงงานจะมีขนาดใหญ่และได้มาตรฐาน มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอย่างต่อเนื่อง จะผลิตเพื่อส่งออกประมาณ ร้อยละ 60 และจำหน่ายให้กับธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ในประเทศประมาณร้อยละ 40

3. เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 126,000 ตันต่อปี การผลิตจะเน้นแรงงานและความรู้ในการออกแบบ ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดกลางและขนาดย่อม มีเพียงส่วนน้อยที่เป็นโรงงานขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถพัฒนารูปแบบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดี การผลิตจะเน้นเพื่อการส่งออกร้อยละ 80 และจำหน่ายในประเทศร้อยละ 20

4. ของชำร่วยและเครื่องประดับ มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 133,000 ตันต่อปี เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้แรงงานจำนวนมากและเน้นการออกแบบเป็นสำคัญ ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดกลางและขนาดย่อม การผลิตจะเน้นเพื่อการส่งออกร้อยละ 80 และจำหน่ายในประเทศร้อยละ 20

5. ลูกถ้วยไฟฟ้า มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 10,000 ตันต่อปี เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้เทคโนโลยีเพื่อการผลิตสูง จะผลิตเพื่อตอบสนองกิจการสาธารณูปโภคทางไฟฟ้าร้อยละ 90 ที่เหลือผลิตเพื่อส่งออก

อุตสาหกรรมเซรามิกระดับกลางและระดับย่อมในประเทศไทย ส่วนใหญ่ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์เซรามิกดิบด้วยวิธีตากแห้งตามธรรมชาติ (Natural drying) ซึ่งวิธีนี้ไม่สามารถระเหยน้ำออกจากเนื้อเซรามิกให้ต่ำกว่า 3% dry-basis ได้ และใช้ระยะเวลาในการอบแห้งค่อนข้างนาน โดยเฉพาะช่วงฤดูฝน พบว่าถ้าทำการตากแห้งตามธรรมชาติจะใช้ระยะเวลานานกว่า 1-2 เดือน ความชื้นจึงจะลดลงมาที่ประมาณ 5% dry-basis ส่งผลทำให้การผลิตล่าช้าไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้า และในขั้นตอนการเผาก็จะต้องทำการเผาอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ชิ้นงานแตกเสียหาย เนื่องจากชิ้นงานยังคงมีความชื้นสูงเกิน 3% dry-basis ส่งผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในขั้นตอนการเผา และบางครั้งพบว่าชิ้นงานเกิดการแตกเสียหายจำนวนมากในระหว่างการเผาอันเนื่องมาจากชิ้นงานยังคงมีความชื้นสูง

กระบวนการอบแห้งเซรามิกถือว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งในกระบวนการผลิตเซรามิก โดยจะเป็นตัวกำหนดกระบวนการเผาว่าจะสามารถเผาได้ช้าหรือเร็วมากน้อยเพียงใด โดยหากชิ้นงานหลังทำการอบแห้งยังมีความชื้นสูงอยู่ จำเป็นจะต้องทำการเผาชิ้นงานอย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าชิ้นงานมีความชื้นสูงมากเกินไปก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกเสียหายในระหว่างการเผา โดยปกติแล้วกระบวนการเผาเซรามิกจะทำการเผา 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะทำการเผาบิสกิต (Biscuit firing) ที่อุณหภูมิประมาณ 900 $^{\circ}$C ส่วนครั้งที่ 2 จะทำการเผาเคลือบ (Glost firing) ที่อุณหภูมิประมาณ 1200 $^{\circ}$C ตามแต่ชนิดของเซรามิก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งที่นำมาใช้ศึกษาคือ ชนิดเซรามิก ความหนาของชิ้นงาน อุณหภูมิในห้องอบแห้ง ความชื้นของอากาศในห้องอบแห้ง และความเร็วลมของอากาศอบแห้ง โดยปัจจัยดังกล่าวข้างต้นจะเป็นตัวกำหนดลักษณะการอบแห้ง (Drying characteristics)

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์เซรามิกดิบ เพื่อสร้างสมการการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก และกราฟอบแห้งมาตรฐาน (Standard drying curve) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานการอบแห้งในอุตสาหกรรมที่สามารถนำไปออกแบบเตาอบแห้งเซรามิกได้ และสามารถลดขั้นตอนการเผา เซรามิกจาก 2 ครั้งให้เหลือเพียงครั้งเดียว (Single firing) โดยไม่ทำการเผาบิสกิตและสามารถเผาแบบรวดเร็ว (Fast firing) ได้โดยไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย

## 1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

### 1.2.1 การอบแห้งวัสดุเซรามิก

Saber Chemkhi และคณะ (2005) ทำการศึกษาทดลองอบแห้งดิน โดยใช้ดินบริสุทธิ์ 3 ชนิดในการทดลอง และได้ทำการทดลองภายใต้สภาวะต่างๆ กันในด้านของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จลศาสตร์การอบแห้งและสัมประสิทธิ์การแพร่ได้ถูกนำเสนอและหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยใช้สมการของ Crank (1975) โดยทั่วไปแล้วยากที่จะทำการศึกษาทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่เป็นฟังก์ชันกับปริมาณความชื้น กราฟการอบแห้งถูกใช้เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ โดยเป็นฟังก์ชันกับปริมาณความชื้น ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจสำหรับการอบแห้งดิน แต่กราฟการอบแห้งดินนั้นมีความไวต่อความเข้มข้นปริมาณความชื้นของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในช่วงจำกัดของปริมาณความชื้นเท่านั้น ความสัมพันธ์เหล่านี้ใช้สำหรับอธิบายพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ได้

Rajnish Misra และคณะ (2002) ทำการศึกษาจลนศาสตร์อบแห้งของเซรามิกจำพวก Alumina, Boehmite และ Lead zirconate titanate ที่มีความสัมพันธ์กับสมบัติของวัสดุที่ใช้สำหรับท่อเซลล์เชื้อเพลิง ตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา และองค์ประกอบในไฮโดรโฟเนส และตัวกระตุ้นหลายเฟส วัสดุที่ทำการศึกษาดังกล่าวข้างต้นไม่ต้องการรอยแตกขนาดใหญ่ในขณะที่ยังเป็นชิ้นงานเซรามิกดิบก่อนที่จะทำการเผาผนึก การหลีกเลี่ยงปัญหานี้สามารถบรรลุได้โดยการใช้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้ง ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมการอบแห้งเพื่อไม่ให้ในระหว่างอบแห้งเกิดการหดตัวแล้วเกิดรอยแตกขนาดใหญ่ขึ้น การทดลองนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งเป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการผลิตเซรามิกที่จะทำให้มีคุณภาพสูงขึ้นได้ รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการอบแห้ง ที่มีความสัมพันธ์กับการหดตัวจะใช้กล้องดิจิตอลเป็นตัวคอยจับภาพ

Aleksandra Sander และคณะ (2003) ทำการศึกษาจลนศาสตร์อบแห้งสำหรับการการอบแห้งแบบพาความร้อนในอุตสาหกรรมกระเบื้องดินมุงหลังคา ทำการวิเคราะห์โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์แบบจำลองทำ การประเมินจากสมบัติการถ่ายเทเป็นหลัก ได้แก่ สัมประสิทธิ์การแพร่ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลและความร้อน ค่าการนำความร้อน ค่าคงที่การอบแห้ง และตัวแปรแบบจำลองเอ็กโปเนนเชียล แบบจำลองการอบแห้งจะอาศัยพื้นฐานทางด้านอัลกอริทึมสำหรับแบบจำลองไดนามิกส์ของปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของชิ้นงานดินขนาดบางผลที่ได้รับยืนยันสมติฐานทั้งการถ่ายเทมวลและความร้อนภายใต้สภาวะภายนอก ค่าน้อยมากของตัวเลขไบออท สามารถยืนยันได้ว่ามันเป็นจริง อุณหภูมิอบแห้งและปริมาณความชื้นเริ่มต้นของดิน

มีอิทธิพลอย่างมากต่อจลนศาสตร์การอบแห้งและสมบัติการถ่ายเท อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและการประเมินสมบัติการถ่ายเทถูกแสดงในรูปเอ็กโปเนนเชียล

### 1.2.2 การอบแห้งวัสดุที่ไม่ใช่เซรามิก

Turhan Koyuncu และคณะ (2004) ทำการศึกษาลักษณะการอบแห้งและพลังงานที่ต้องการสำหรับการอบแห้งผลเชอร์รี่ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบการไหลของอากาศแบบขนาน โดยส่วนหลักแล้วเครื่องอบแห้งนี้ประกอบขึ้นจากขดลวดไฟฟ้า พัดลมปรับความเร็วลมได้ ตาข่ายพลาสติกต้านทานการกัดกร่อน แผ่นโลหะต้านทานการกัดกร่อน ฉนวน Sytrafor ระบบช่องเข้า-ออก ของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งความคุมอุณหภูมิโดยเทอร์โมสตัด เครื่องวัดอุณหภูมิและกำลัง โดยผลเชอร์รี่จะถูกอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C โดยใช้ความเร็วอากาศในการอบแห้งที่ 0.3, 0.6 และ 0.7 m/s สำหรับแต่และอุณหภูมิ ซึ่งผลเชอร์รี่จะถูกทำให้ระเหยจากความชื้นเริ่มต้นที่ 233% dry-basis จนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 8% dry-basis ในระหว่างการทดลองผลผลิตที่สะสมอยู่บนตะแกรงพลาสติก จะถูกชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณน้ำที่ระเหยออกไป ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อระยะเวลาในการอบ ส่วนความเร็วลมมีผลต่อพลังงานที่ต้องการสำหรับการอบแห้ง ในทางตรงกันข้ามพบว่า ผลของความเร็วอากาศมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งน้อยมาก พลังงานต่ำสุดและพลังงานสูงสุดที่ต้องการสำหรับทำการอบแห้งผลเชอร์รี่เท่ากับ 11.57 kWh/kg และ 39.55 kWh/kg สำหรับที่ 70 °C, 0.3 m/s และ 50 °C, 0.9 m/s ตามลำดับ ดังนั้นหากต้องการลดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งให้น้อยลง จะต้องควบคุมความของเร็วอากาศไม่ให้มากกว่า 0.3 m/s

M.Carsky (2008) ทำการศึกษากลศาสตร์การอบแห้งของเปลือกมะนาว เพื่อออกแบบเครื่องอบแห้งในระดับอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาบนพื้นฐานของห้องปฏิบัติการ การทดลองอบแห้งในระดับปฏิบัติการจะทดสอบที่ความหนาของเปลือก 3 ขนาด (3, 6 และ 9 mm) และระยะเวลาการอบที่ 15, 20 และ 40 นาที ที่อุณหภูมิ 150 °C และ 30, 35 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 100 °C เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายของเปลือกที่ 10% พบว่ากราฟอัตราการอบแห้งที่ได้ส่วนใหญ่จะเกิดในอัตราที่ลดลง และอุณหภูมิที่ 150 °C เป็นอุณหภูมิการอบที่ดีที่สุด เพราะว่าใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดและไม่ทำให้เกิดการไหม้

M.Fatouh และคณะ (2005) ทำการออกแบบและสร้างปั้มความร้อน เพื่อทำการศึกษาลักษณะการอบแห้งของสมุนไพรชนิดต่างๆ โดย R134a ถูกใช้เป็นของไหลในวงจรปั้มความร้อนในการทดลองนี้จะใช้ต้นแมลโล, มินต์ และผักชีฝรั่ง โดยจะทำการศึกษาผลกระทบในด้าน ขนาด ก้านใบ พื้นที่ผิว อุณหภูมิอากาศอบแห้ง และความเร็วอากาศอบแห้งต่อลักษณะการอบ ผลการทดลองแสดงที่ปริมาณชิ้นงานอบแห้ง 28 kg/m$^2$ เป็นอัตราการอบแห้งช้าที่สุด ขณะที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศ

55 °C, ความเร็วลม 2.7 m/s เป็นอัตราการอบแห้งที่สูงที่สุด ความจุสูงสุดสำหรับการผลิตอยู่ที่ 5.4 $kg/m^2$ โดยใช้อุณหภูมิ 55 °C ความเร็วลม 2.7 m/s และปริมาณชิ้นงาน 28 $kg/m^2$ พบว่าสมุนไพรที่มีขนาดเล็ก และไม่มีก้าน ใช้พลังงานและระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลงด้วย เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการอบของสมุนไพรต่างชนิดกันพบว่าผักชีฝรั่งต้องการพลังงานในการอบแห้งน้อยที่สุด (3,684 $kJ/kg_{H2O}$) ตามด้วยมินต์ (3,982 $kJ/kg_{H2O}$) และแมลโล (4,029 $kJ/kg_{H2O}$) เครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนได้ถูกออกแบบ สร้างขึ้น และทดสอบเพื่อประเมิน ลักษณะการอบแห้งของสมุนไพรชนิดต่างๆ และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งที่สภาวะต่างๆ โดยกระบวนการอบแห้งนั้นขึ้นกับปัจจัยของปริมาณชิ้นงาน ความเร็วลมในการอบแห้งและอุณหภูมิในการอบแห้ง

Ibrahim Doymaz (2005) ทำการทดลองอบแห้งและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของการเจริญเติบโตของถั่วเขียวในอีสเคนเดอรัน ประเทศตุรกี ลักษณะการอบแห้งถั่วเขียว ได้ถูกพิจารณาทำการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้น 90.53 $\pm$ 0.5% จนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 14 $\pm$ 0.3% โดยใช้อากาศร้อนทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50–70 °C ผลแสดงให้เห็นถึง การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง จะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง โดยกราฟการอบแห้งที่ได้จากการทดลองถูกทำการสร้างกราฟโดยวิธี A number of semi-theoretical (รูปแบบ : 1.Handerson and Pabis (1961), 2.Lewis (Bruce, D.M., 1985) 3.Page (1949)) และทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 3 แบบจำลอง พบว่ารูปแบบของ Page (2004) มีลักษณะการอบแห้งที่ดีกว่าแบบอื่นๆ ผลกระทบของสัมประสิทธิ์การแพร่ของการถ่ายโอนความชื้นมีค่าจาก 2.641 x $10^{-9}$ ถึง 5.711 x $10^{-9}$ $m^2/s$ พลังงานกระตุ้นสำหรับการแพร่ของความชื้นเท่ากับ 35.43 kJ/mol

Ibrahim Doymaz และคณะ (2005) ทำการศึกษาการอบแห้งใบผักชีฝรั่งในระดับปฏิบัติการ ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการอบแห้งของตัวอย่างทดสอบ ที่ความเร็วอากาศเท่ากับ 1.1 m/s และที่อุณหภูมิ 50, 60, และ 70 °C ถูกนำมาศึกษา 4 แบบจำลองผนังบาง(ได้แก่ 1.Lewis (1985), 2.Hannderson and Pabis (1961) 3.Page (1949) และ 4.Midilli&Kucuk (Lahsasni et al., 2004) ถูกนำมาทำการสร้างกราฟ ข้อมูลการอบแห้งของ Midilli&Kucuk (Lahsasni et al., 2004) พบว่ามีความเหมาะสมที่สุดที่จะใช้อธิบายกราฟการอบแห้งของใบผักชีฝรั่ง ผลกระทบของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เปลี่ยนแปลงจาก 6.693 x $10^{-10}$ ถึง 1.434 x $10^{-9}$ $m^2/s$ และ 9.0 x $10^{-10}$ ถึง 2.337 x $10^{-9}$ $m^2/s$ สำหรับการอบแห้งใบผักชีฝรั่ง ตามลำดับ การคำนวณค่าผลกระทบของสัมประสิทธิ์การแพร่แสดงในรูปแบบอาร์เรเนียส โดยขึ้นกับอุณหภูมิ พลังงานกระตุ้นที่ใช้มีค่าเท่ากับ 35.05 และ 43.92 kJ/mol สำหรับการอบแห้งใบผักชีฝรั่ง ตามลำดับ สีของตัวอย่างทดสอบจะถูกวัดค่าหลังกระบวนการอบแห้งด้วยฮันเตอร์ Lab โดยมีค่าอยู่ในเทอมของ L, a และ b จากผลของคุณภาพสี การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่าเป็นจุดอุณหภูมิที่ดีที่สุดสำหรับการอบแห้งใบผักชีฝรั่ง

**1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมการอบแห้งของกระเบื้องดินเผาและพอร์ซเลนเซรามิก
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการอบแห้ง

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. สามารถลดขั้นตอนการเผาเซรามิกให้เหลือเฉพาะเผาเคลือบ โดยไม่ต้องทำการเผาบิสกิต
2. เป็นการหาแนวทางการลดระยะเวลาและต้นทุนการผลิตเซรามิกให้กับผู้ประกอบการ
3. ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับใช้ทำนายการอบแห้งเซรามิกและสามารถนำไปใช้ในการออกแบบ เตาอบแห้งเซรามิกที่มีประสิทธิภาพได้

**1.5 ขอบเขตโครงงานวิจัย**

**1. ทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีและเอ็มไพริกัล**

1.1 พอร์ซเลนเซรามิกทรงสี่เหลี่ยมขนาด 70x70x2 $mm^3$ โดยมีความหนา 2, 4 และ 6 mm

1.2 ทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิในช่วง 40–80 $^{\circ}C$ ความเร็วลมร้อน 0.7–2.4 m/s

1.3 ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เซรามิกดิบที่ต้องการคือ ต่ำกว่า 1% dry-basis

**2. การทดลองในอุตสาหกรรม เพื่อสร้างกราฟมาตรฐานการอบแห้ง และประเมินการใช้พลังงาน**

**2.1 พอร์ซเลนเซรามิก**

2.1.1 ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนเซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะหรือตกแต่ง ชนิดที่ไม่จำเป็นต้องเผาบิสกิต

2.1.2 ทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิในช่วง 50–70 $^{\circ}C$ และความเร็วลมร้อน 1.4 m/s ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เซรามิกดิบที่ต้องการคือต่ำกว่า 1% dry-basis

2.1.3 เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 $m^3$

2.1.4 ประเมินการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งเพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบและประเมินเครื่องอบแห้งสำหรับอุตสาหกรรม

**2.2 กระเบื้องดินเผา**

2.2.1 ผลิตภัณฑ์กระเบื้องดินเผาแบบสี่เหลี่ยม ขนาด 4x10x0.5 $นิ้ว^3$

2.2.2 ทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิในช่วง 50–70 $^{\circ}C$ และความเร็วลมร้อน 1.4 m/s

2.2.3 ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เซรามิกดิบที่ต้องการคือ ต่ำกว่า 3% dry-basis

2.2.4 เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 $m^3$

2.2.5 ประเมินการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งเพื่อใช้เป็นแนวทางการออกแบบและประเมินเครื่องอบแห้งสำหรับอุตสาหกรรม