การวิจัยและพัฒนาสมบัติเชิงกลของกระเบื้องปูพื้นดินเผาจากเถ้าลอยลิกไนต์

Research and development Mechanical Properties of Teracotta Floor Tiles from Lignite Fly Ash

รองรัตน์ ระมิงค์วงศ์ กิติชัย ระมิงค์วงศ์
คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50002 โทรศัพท์: 053-414250 E-mail: kchai88@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาสมบัติเชิงกลของกระเบื้องปูพื้นดินเผาจากเถ้าลอยลิกไนต์ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในส่วนผสมเนื้อดินกระเบื้องปูพื้นดินเผาต่อสมบัติเชิงกลและเพื่อนำผลพลอยได้จากการเผาไหม้ของถ่านลิกไนต์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ผลของการวิจัย ที่อุณหภูมิ 900°C,1000°C,1150°C,1200°C และ 1230°C บรรยากาศ OF และ RF พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ผสมในเนื้อดินพื้นบ้าน ส่งผลให้เนื้อดินพื้นบ้านที่นำไปผลิตเป็นกระเบื้องปูพื้นดินเผามีสมบัติเชิงกลที่สูงเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้น และตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มของเถ้าลอยลิกไนต์ ค่าสมบัติเชิงกลของเนื้อดินในบรรยากาศการเผาแบบ RF มีค่าความแกร่งมากกว่าแบบ OF ค่าความแกร่งสูงสุดที่อุณหภูมิ 1200°C บรรยากาศ RF ที่ 148.62 kgf/cm^2 และต่ำสุดที่อุณหภูมิ 900°C บรรยากาศ OF ที่ 6.03 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 1 สามารถเผาได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศ OF เนื้อดินยังคงรูปไม่หลอมตัว

กระเบื้องปูพื้นดินเผาโดยทั่วไปเผาที่อุณหภูมิ 800-900°C บรรยากาศ OF ที่อุณหภูมิ 900°C เนื้อดินสูตรที่ 9 เนื้อดินมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตกระเบื้องดินเผาปูพื้นเนื่องจากเนื้อดินมีค่าความแกร่งสูง ค่าความพรุนตัวต่ำ เนื้อดินมีอัตราส่วนผสมดังนี้ ดินพื้นบ้าน บ้านหม้อ 90 % เถ้าลอยลิกไนต์ 10% เนื้อดินมีค่าความแกร่งที่ 53.05 kgf/cm^2 มีค่าความพรุนตัวที่ 11.37% และมีค่าการ หดตัวที่ 8.7% เนื้อดินมีสี ส้ม ส้มแดงเพิ่มมากขึ้นในอุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้น

คำสำคัญ: กระเบื้องปูพื้นดินเผา เถ้าลอยลิกไนต์ เนื้อดินพื้นบ้าน สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ

Abstract

Research and development Mechanical Properties of Teracotta Floor Tiles from Lignite Fly Ash, the objectives of this study, to study the effect of using lignite fly ash in Teracotta floor tile‘s for mechanical properties, to the benefit of pottery from Lignite Fly Ash. It was found that in oxidation firing and reduction firing at 900°C, 1000°C, 1150°C, 1200°C and 1230°C . Lignite fly ash which use as raw material composition in clay body. It can increase the strength in clay body and also increases clay body’s firing in high temperatures.Depend on ratios of lignite fly ash composition. In reduction firing mechanical properties of traditional clay body are higher than oxidation firing.The most hightest mechanical property is in reduction firing at 1200°C 148.62 kgf/cm^2.The most lowest of mechanical property is in oxidation firing at 900°C 6.03 kgf/cm^2 .Traditional clay body can firing to 1230°C in oxidation firing , clay body no.1 still inform.

In generl of teracotta floor tiles are firing at 800-900°C in oxidation firing.At 900°C clay body no.9 in oxidation firing is suitable for produce teracotta floor tiles becaues it has high mechanical property and has low porosity.The ratio of composition are ban mor’s traditional clay 90% lignite fly ash 10%. The strength of clay body is 53.05 kgf/cm^2, the porosity is 11.37% and the 8.7% shrinkage. The clor of clay body has an orange, an ocher-orange in higher temperatures.

Keywords: Teracotta Floor Tiles, lignite fly ash, traditional clay, mechanical properties, physical properties

1. บทนำ

เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite fly ash) คือผลพลอยได้จากการเผาไหม้ของถ่านลิกไนต์ ที่อุณหภูมิสูงระหว่าง 900-1100 °C คิดเป็น 75-85% ของเถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้น เฉพาะที่โรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่แม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีเถ้าลอยประมาณ 6,000-9,000 ตัน/วัน องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเถ้าลอย คือ ซิลิกา (SiO_2) อลูมิน่า (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) อัตราส่วนของออกไซด์ทั้ง 3 ชนิดจะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิสภาพแวดล้อมขณะเผา และชนิดของถ่านหินที่ใช้เผา [1]

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเถ้าลอยลิกไนต์ คือ ซิลิกา (SiO_2) อลูมิน่า (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) และจากการทดสอบ ผลวิเคราะห์เถ้าลอยลิกไนต์โดยโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธีสกัดสาร และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัด เพื่อตรวจสอบปริมาณโลหะหนักหรือวัสดุมีพิษในน้ำ พบว่าปริมาณโลหะหนักหรือวัสดุมีพิษในน้ำสกัดไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม จึงสามารถนำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์ได้

กระเบื้องปูพื้นดินเผาในปัจจุบัน ใช้เนื้อดินพื้นบ้านเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ทำให้กระเบื้องดินเผามีข้อด้อยในการใช้งานในเรื่องของความแข็งแกร่งต่ำ แตกหักง่าย ดูดซึมน้ำสูง การพัฒนาเนื้อดินให้มีความแกร่งสูง และดูดซึมน้ำน้อย จะทำให้กระเบื้องมีคุณภาพที่ดี เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัตถุดิบทางเลือกหนึ่งที่ผู้วิจัยคิดว่าสามารถใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินเพื่อให้เนื้อดินมีสมบัติเชิงกลด้านความแกร่งเพิ่มมากขึ้นได้ เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์มีองค์ประกอบทางเคมี คือ ซิลิกา (SiO_2) อลูมิน่า (Al_2O_3) ถึงแม้ว่ามีองค์ประกอบทางเคมีของ เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ก็ไม่ส่งผลต่อสีของเนื้อกระเบื้อง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในการเพิ่มสมบัติเชิงกลสำหรับกระเบื้องเครื่องปั้นดินเผา เป็นการนำวัตถุดิบที่เป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้ของถ่านลิกไนต์มาใช้ประโยชน์อีกทางหนึ่ง นอกเหนือจากที่ในปัจจุบันได้มีการนำผลการวิจัยเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างและภาคการเกษตร

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ในส่วนผสมเนื้อดินกระเบื้องปูพื้นดินเผาต่อสมบัติเชิงกล

2.2 เพื่อนำผลพลอยได้จากการเผาไหม้ของถ่านลิกไนต์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

3. แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิดการวิจัยและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite fly ash) คือผลพลอยได้จากการเผาไหม้ของถ่านลิกไนต์ที่อุณหภูมิระหว่าง 900-1100 °C เมื่อไอร้อนลอยขึ้นไป และเกิดการถ่ายเทความร้อน จนไอร้อนเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ละอองเถ้าซึ่งเป็นของแข็งที่เหลืออยู่ จะรวมตัวกันก่อรูปเป็นอนุภาคเล็กๆ มีสัณฐานเป็นทรงกลม และมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1 ไมครอน จนถึง 150 ไมครอน ความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.00-2.60 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเถ้าลอย คือ ซิลิกา (SiO_2) อลูมิน่า (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) อัตราส่วนของออกไซด์ทั้ง 3 ชนิดจะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิสภาพแวดล้อมขณะเผา ระบบการดักจับเถ้าลอย และชนิดของถ่านหินที่ใช้เผา องค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์โดยทั่วไป เป็นสารเฟอโร-อลูมิโนซิลิเกต (Ferro-aluminosiligate) [2]

สมบัติเชิงกลของเซรามิก (Mechanical Properties)

สมบัติเชิงกลของเซรามิก [3] หรือความแข็งแกร่งของเนื้อดิน เกิดจากการรวมตัวของผลึกวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบเซรามิกในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นผลึกเชิงซ้อน (Polycrystalline) ถ้าอะตอมของวัตถุดิบและแร่ธาตุสามารถยึดเกาะกันได้แน่น เนื้อดินก็จะแข็งแกร่งมาก ซึ่งความแข็งแกร่งเนื้อดินขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น ปริมาณการดูดซึมน้ำของเนื้อดิน รูปทรงของผลิตภัณฑ์ การขึ้นรูปและน้ำยาเคลือบ เป็นต้น สมบัติเชิงกลของเซรามิกสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. ความแกร่ง (Strength) [4] เป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของเซรามิก ที่ได้รับแรงเชิงกลอย่างต่อเนื่อง ในรูปแบบต่างๆ เช่น แรงกด (Compressive) แรงดึง (Tensile) แรงกระแทก (Impact) และแรงเฉือน (Shear) โดยแรงนั้นจะทำให้เซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลง

การทดสอบความแกร่ง (Bending Strength, Modulus of Rupture: MOR) [8] ของเนื้อดินเซรามิกสามารถทำได้ 2

ขั้นตอน คือ การทดสอบความแกร่งก่อนเผา (Green Strength) และการทดสอบความแกร่งหลังเผา (Fired Strength)

2. ความแข็ง (Hardness) เป็นสมบัติเชิงกลที่บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการขีดข่วนที่บริเวณผิวของเซรามิก โดยเซรามิกที่มีค่าความแข็ง (Hardness) สูงจะสามารถทนทานต่อการเกิดร่องรอยจากการขีดข่วนในการใช้งานต่างๆ ได้ดี

ความพรุนตัว (Porosity) [5] ของเนื้อดินปั้นมีความสัมพันธ์กับความแกร่ง (Strength) ของเนื้อดินปั้น เนื่องจากความพรุนตัวเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการดูดซึมที่น้ำแทรกเข้าไปในช่องว่างขนาดเล็กของเนื้อดินปั้นที่เผาแล้ว ในดินโดยทั่วไปน้ำจะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของดินและแร่อื่นๆ และน้ำเหล่านี้จะหายไปเมื่อเผาถึงอุณหภูมิ 600°C ทำให้เกิดช่องว่างขึ้น ดังนั้นดินที่เผาถึงอุณหภูมิ 600°C จะเริ่มเป็นของแข็งที่มีความพรุนตัว เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 600°C อัลคาไลน์ที่มีอยู่ในเนื้อดินจะทำให้หินฟันม้าและซิลิกาอิสระเกิดการหลอมตัว เข้าไปปิดช่องว่างทำให้มีการหดตัวเกิดขึ้น จะเหลือช่องว่างเพียงเล็กน้อยและเนื้อดินมีช่องว่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น พฤติกรรมการหลอมจะเกิดต่อเนื่องไปจนกระทั่งช่องว่างและความพรุนตัวเป็นศูนย์ ทำให้เกิดเนื้อแก้วอย่างสมบูรณ์

กระเบื้องปูพื้น (Floor Tiles)

กระเบื้องปูพื้น (Floor Tiles) คือ กระเบื้องที่มีลักษณะหนากว่ากระเบื้องปูผนังเพื่อให้รับน้ำหนักได้มาก เพราะต้องปูติดกับพื้น กระเบื้องปูพื้นเซรามิกมีการตกแต่งด้วยวิธีการเคลือบและวิธีการวาดภาพ กระเบื้องปูพื้นที่มีขนาดเล็กเรียกว่า กระเบื้องโมเสก (mosaic) ซึ่งกระเบื้องปูพื้นมีทั้งชนิดที่เคลือบและไม่เคลือบ กระเบื้องปูพื้นควรมีคุณสมบัติดังนี้ สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกลและสมบัติการนำความร้อน

การศึกษาเกี่ยวกับเถ้าลอยเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตเซรามิกในประเทศไทย ยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง แต่มีการศึกษาวิจัยในต่างประเทศได้มีการศึกษาในการนำไปเป็นส่วนผสมหลักและส่วนผสมรองสำหรับเนื้อดินเซรามิกเพื่อศึกษาประเมินการนำเถ้าลอยไปใช้เป็นส่วนผสม จากการค้นคว้างานวิจัยจากต่างประเทศพบว่าได้มีการนำเถ้าลอยไปใช้เป็นส่วนผสมในอิฐก่อสร้าง กระเบื้องปูพื้น และยังได้มีการวิจัยค้นคว้าการใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยสำหรับเซรามิกในแง่ของสมบัติการต้านทานความร้อน สมบัติเชิงกล และอื่นๆ อีกมาก ซึ่งจากการค้นคว้าพอเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเถ้าลอยมีดังนี้

Queralt I [6] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้เถ้าลอยสำหรับเซรามิก กรณีศึกษาจากเถ้าลอยที่ประเทศสเปน (Use of Coal Fly Ash for Ceramics : A Case Study for A Large Spanish Power Station) พบว่า มี Mullite เพิ่มขึ้น 50% และ Feldsper เพิ่มขึ้น 16% ในเนื้อดิน สมบัติของเนื้อดิน เช่น สี ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ และการหดตัวหลังการเผา มีการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาหลังการเผาระหว่างอุณหภูมิ 900°C - 1200°C มีความเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทสโตนแวร์ กระเบื้องและอิฐ

Das; Swapan Kumar และคณะฯ [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิก จากสิ่งตกค้างจากอุตสาหกรรม โดยการใช้แร่เหล็ก 30-50% โดยน้ำหนัก เถ้าลอย 10-25% โดยน้ำหนัก เถ้าจากเตาถลุง 5-20% โดยน้ำหนัก พบว่าตัวอย่างกระเบื้องทดสอบ มีการดูดซึมน้ำ 2.5 -15% พื้นผิวมีความเรียบลื่น 95% มีความแข็งตาม Moh’s scale 7-6 มีความยืดหยุ่น (Modulus of rupture) 400-255 kg/cm^2 ทนต่อแรงกระแทก 430-365 มีความแกร่ง 450 kg/cm^2

N. Quaranta, S.Camelli, et al. [8] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับ กระบวนการเกิด Mullite ในเซรามิก จากการใช้เถ้าลอยและอลูมิน่า (Processing of Mullite Ceramics Using Fly Ash and Alumina) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอลูมิน่าและเถ้าลอย ที่ทำการเผาโดยใช้วิธี Sintering ที่อุณหภูมิระหว่าง 1200°C -1600° C เนื้อดินมีความหนาแน่นและมีคุณภาพที่สูงมาก และมี Mullite เพิ่มสูงมากที่ อุณหภูมิ 1500° C จากอัตราส่วนระหว่างเถ้าลอยและอลูมิน่า 30% โดยน้ำหนัก

L.Sidjanin และคณะฯ [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การวัดค่าความแข็งของกระเบื้องปูพื้นด้วยการวัดความแข็งของ วิกเกอร์ ชนิด macro และ micro (Measurement of Vickers hardness on ceramic floor tiles) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การวัดค่าความแข็งของกระเบื้องปูพื้นเซรามิก ชิ้นงานเตรียมจาก kaolinite และ illite-carbonate ผสมและขึ้นรูปด้วยการอัดผงด้วยแรงดัน 25 mPa เผาที่ 960°C และ 1050°C ในห้องทดลองและทำการวัดค่าความแข็งด้วย วิกเกอร์ ชนิด macro hardness ใช้ค่าน้ำหนักของการวัดตั้งแต่ HV0.1 HV0.2 HV0.5 HV1 HV5 พบว่า ความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น แม้ว่าโครงสร้างผลึกที่ต้องการ

ยังไม่เกิดขึ้นก็ตาม อธิบายว่า illite-carbonate จะช่วยเพิ่มการเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคผลึกที่เหลืออยู่ขณะถูกเผา ส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งเพิ่มขึ้นโดยเป็นโครงสร้างชนิด calcium silica hydrates และพบว่าการวัดค่าความแข็งของกระเบื้องที่ส่วนผสมของวัตถุดิบมีความแตกต่างกัน การเผาในอุณหภูมิที่สูงเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดผลึกและขนาดอนุภาคที่แตกต่าง

4. วิธีดำเนินงาน

4.1. วิธีการและเครื่องมือการวิจัย

4.1.1 วิธีการวิจัย ในขั้นตอนแรกวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาค วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีใช้เทคนิค XRF และองค์ประกอบทางแร่โดยเทคนิค XRD ของเถ้าลอยลิกไนต์ ดินแดงท้องถิ่น ต่อจากนั้นจึงทดลองหาส่วนผสมเนื้อดินเผากระเบื้องที่เหมาะสม แบบ Line Bland นำส่วนผสมเผาที่อุณหภูมิ 900°C, 1000°C, 1150°C , 1200°C และ 1230°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF วิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละบรรยากาศที่อุณหภูมิการเผาที่เท่ากันโดยทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ การหดตัว ความแกร่งต่อการหัก สรุปผลงานและเขียนรายงาน

4.1.2 เครื่องมือการวิจัย เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size Analyzer) เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ (X-ray fluorescence) เครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) 2 หม้อบด ขนาด 5 กิโลกรัม แบบพิมพ์อัดแผ่นทดสอบและเครื่องอัดกระเบื้อง

4.1.3 วัตถุดิบที่ใช้ ดินท้องถิ่นบ้านหม้อและเถ้าลอยลิกไนต์

4.1.4 การเก็บข้อมูล วิธีการทดลอง วิธีการทดสอบ

5. ผลการศึกษา/การทดลอง

5.1 ผลการวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของเถ้าลอยลิกไนต์ ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size Analyzer) พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ มีการกระจายตัวของอนุภาคค่อนข้างกว้างตั้งแต่ประมาณ 0.5 ไมครอนถึง 500 ไมครอน คือ ประมาณ 40% มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน ที่คาดว่าเป็นอนุภาคของแร่อลูมิน่า แร่ซิลิกา และแร่เหล็ก เป็นองค์ประกอบหลัก อีกประมาณ 60% มีขนาดโตกว่า 20 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ D [4,3]= 36.30

5.2 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ และดินท้องถิ่นบ้านหม้อ ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ XRF เถ้าลอยลิกไนต์ ลำปาง

Compound	Wt %
SiO_2	41.779
Al_2O_3	20.068
Fe_2O_3	8.039
CaO	8.356
MgO	0.392
K_2O	1.717
Na_2O	0.375
MnO	0.01
BaO	0.100
SrO	0.045
TiO_2	0.178
P_2O_5	0.188
SO_3+Loss on Ignition (LOI)	18.762
รวม	100

จากตารางที่ 1 พบว่า เถ้าลอยลิกไนต์ มีองค์ประกอบหลักทางเคมีคือ SiO_2 รองลงมาคือ Al_2O_3 , CaO และ Fe_2O_3

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ XRF ดินท้องถิ่นบ้านหม้อก่อนเผาและหลังเผา

Compound	ก่อนเผา Wt %	หลังเผา Wt %
SiO_2	57.50	61.77
Al_2O_3	14.85	15.03
Fe_2O_3	12.85	12.76
CaO	0.71	0.69
MgO	0.48	0.55
K_2O	3.09	3.23
Na_2O	-	<0.01
MnO	-	<0.01
ZrO_2	0.05	0.04
Rb_2O, BaO Cr_2O	<0.01	<0.01
TiO_2	2.41	2.39
P_2O_5	0.55	0.61
Loss on Ignition (LOI)	7.53	2.91
รวม	100	100

จากตารางที่ 2 พบว่า ดินท้องถิ่นบ้านหม้อ มีองค์ประกอบหลักทางเคมีคือ SiO_2 รองลงมาคือ Al_2O_3 และ Fe_2O_3

5.3 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางแร่ของเถ้าลอยลิกไนต์ ด้วยเครื่องตรวจสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction:XRD) พบว่า องค์ประกอบทางแร่ประกอบด้วย แร่ควอทซ์ (Quartz) แร่ทริไดไมท์ (Tridymite) แร่จีเฮลไนท์ (Gehlenite) และแร่ฮีมาไทต์ (Hematite)

5.4 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้อง จากการผสมอัตราส่วนแบบ Line Blend

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมเนื้อดินทดลองแบบ Line Blend

R	อัตราส่วนผสม %									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
B	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5

R = วัตถุดิบที่ใช้ A = ดินท้องถิ่นบ้านหม้อ B = เถ้าลอยลิกไนต์

5.4.1 ตารางที่ 4 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 900°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

สูตรที่	บรรยากาศแบบ OF			บรรยากาศแบบ RF		
	หดตัว %	พรุนตัว%	ความแกร่ง kgf/cm^2	หดตัว %	พรุนตัว%	ความแกร่ง kgf/cm^2
1	9.3	16.24	7.35	9.5	12.46	7.35
2	9.3	15.85	7.24	9.4	13.97	7.3
3	9.2	14.42	6.03	9.4	15.75	6.4
4	9.3	15.73	9.86	9.5	17.63	10.5
5	9.3	16.56	15.79	9.3	24.33	13.95
6	9.3	12.62	33.76	9.3	17.91	22.94
7	9.2	15.65	54.87	9.2	16.8	49.76
8	9.2	16.16	41.84	9.1	17.45	45.87
9	8.7	12.73	53.05	8.5	13.8	50.61
10	8.7	12.51	45.86	8.6	13.76	48.65

จากตารางที่ 4 ค่าการหดตัวในบรรยากาศแบบ OF อยู่ระหว่าง 8.7-9.3% ส่วนในบรรยากาศแบบ RF ค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 8.5-9.5% สูตรที่ 9 มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดทั้ง OF 8.7% และ RF 8.5% ในบรรยากาศ แบบ OF ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง12.51-16.56% ในบรรยากาศ แบบ RF ค่าความพรุนตัวอยู่ ระหว่าง 12.46-24.33% สูตรที่ 10 มีค่าความพรุนตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศแบบ OF และ RF สูตรที่ 1 มีค่าความพรุนตัวน้อยที่สุด ค่าความแกร่ง ทั้งสองบรรยากาศมีความแตกต่างกัน เนื้อดินสูตรที่ 1 ถึงเนื้อดินสูตรที่ 8 ในบรรยากาศ OF เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 6.03 – 54.87 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 45.86 kgf/cm^2 และ 53.05 kgf/cm^2 และ RF เนื้อดินสูตรที่ 1-8 เนื้อดินมีค่าความแกร่งที่ 6.4 – 49.76 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 48.65 kgf/cm^2 และ 50.61 kgf/cm^2

ภาพที่ 1 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องดินเผาที่อุณหภูมิ 900°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

สีของเนื้อดินหลังการเผาส่วนใหญ่มีสีน้ำตาลแดง สีน้ำตาลอมส้ม ในบรรยากาศ RF มีสีเข้ม

5.4.2 ตารางที่ 5 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1000°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

สูตรที่	บรรยากาศแบบ OF			บรรยากาศแบบ RF		
	หดตัว %	พรุนตัว%	ความแกร่ง kgf/cm^2	หดตัว %	พรุนตัว%	ความแกร่ง kgf/cm^2
1	9.3	13.23	9.18	9.1	12.11	9.59
2	9.2	13.65	8.63	9.1	12.43	8.9
3	9	10.29	7.58	8.8	12.65	7.63
4	9.1	14.33	12.67	9.1	14.23	11.59
5	9.1	15.76	18.97	9	16.58	15.18
6	9	15.48	17.98	9	17.67	17.7

สูตรที่	บรรยากาศแบบ OF			บรรยากาศแบบ RF		
	หดตัว %	พรุนตัว%	ความแกร่ง kgf/cm^2	หดตัว %	พรุนตัว%	ความแกร่ง kgf/cm^2
7	9	15.5	29.61	8.9	16.76	30.75
8	9	15.70	47.55	8.9	16.74	49.79
9	8.4	11.37	47.20	8.4	12.02	48.42
10	8.3	11.31	20.68	8.3	12.5	22.43

จากตารางที่ 5 ในบรรยากาศ แบบ OF มีค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 8.3-9.3% ส่วน RF ค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 8.3-9.1% สูตรที่ 10 มีค่าการหดตัวน้อยที่สุด OF 8.3% และ RF 8.3% ในบรรยากาศแบบ OF ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 10.29-15.70% และ RF ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 12.02-17.67% สูตรที่ 3 มีค่าความพรุนตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศแบบ OF สูตรที่ 9 มีค่าความพรุนตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศแบบ RF ค่าความแกร่ง ทั้งสองบรรยากาศมีความแตกต่างกัน เนื้อดินสูตรที่ 1 ถึงเนื้อดินสูตรที่ 8 ในบรรยากาศ OF เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 7.58 – 47.55 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 20.68 kgf/cm^2 และ 47.20 kgf/cm^2 ส่วนในบรรยากาศ RF เนื้อดินสูตรที่ 1-8 เนื้อดินมีค่าความแกร่งที่ 7.63 – 49.79 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 มีค่าความแกร่ง ที่ 22.43 kgf/cm^2 และ 48.42 kgf/cm^2

ภาพที่ 2 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1000°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

จากภาพที่ 2 สีของเนื้อดินหลังการเผาส่วนใหญ่จะมีสีแดงอมน้ำตาลอ่อน จนถึงสีแดงอมน้ำตาลเข้ม ในบรรยากาศ RF สีของเนื้อดินจะมีสีเข้ม

5.4.3 ตารางที่ 6 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1150°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

สูตรที่	บรรยากาศแบบ OF			บรรยากาศแบบ RF		
	หดตัว %	พรุนตัว %	ความแกร่ง kgf/cm^2	หดตัว %	พรุนตัว %	ความแกร่ง kgf/cm^2
1	8.8	19.23	42.76	8.7	16.48	77.62
2	8.8	18.75	56.49	8.7	17.64	64.32
3	8.58	17.25	95.91	8.4	17	101.64
4	9	18.86	127.43	9.25	19.74	105.65
5	8.7	15.87	130.55	8.8	16.46	114.56
6	8.6	14.63	139.66	8.5	13.28	145.53
7	8.6	15.86	140.63	8.5	15.54	142.41
8	8.62	17.20	135.07	8.4	17.98	143.61
9	8.5	14.43	130.74	8.3	14.78	133.3
10	8.42	12.11	107.43	8.22	12.55	112.62

จากตารางที่ 6 ในบรรยากาศ แบบ OF ค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 8.42-9.3% และ RF ค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 8.22-9.25% สูตรที่ 10 มีค่าการหดตัวน้อยที่สุด OF 8.42% และ RF 8.22% ค่าความพรุนตัวในบรรยากาศ แบบ OF อยู่ระหว่าง 12.11-19.23% และ RF ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 12.55-19.74% สูตรที่ 10 มีความพรุนตัวที่สุดในบรรยากาศแบบ OF และ RF 7 ค่าความแกร่งทั้งสองบรรยากาศมีความแตกต่างกัน เนื้อดินสูตรที่ 1 ถึงเนื้อดินสูตรที่ 8 ในบรรยากาศ OF เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 42.76 – 140.63 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 107.43 kgf/cm^2 และ 130.74 kgf/cm^2 ส่วนในบรรยากาศ RF เนื้อดินสูตรที่ 1-8 เนื้อดินมีค่าความแกร่งที่ 64.32 – 145.53 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 112.62 kgf/cm^2 และ 133.3 kgf/cm^2

ภาพที่ 3 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1150°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

จากภาพที่ 3 สีของเนื้อดินเปลี่ยนแปลงไปทั้งบรรยากาศ OF และ RF สีของเนื้อดินมีสีที่อ่อนลงเป็นสีน้ำตาลอมส้มอ่อนๆ

5.4.4 ตารางที่ 7 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1200°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

สูตรที่	บรรยากาศแบบ OF			บรรยากาศแบบ RF		
	หดตัว %	พรุนตัว %	ความแกร่ง kgf/cm^2	หดตัว %	พรุนตัว %	ความแกร่ง kgf/cm^2
1	8.4	13.76	96.97	8.3	14.12	100.54
2	8	12.87	97.54	8.1	13	111.76
3	8.2	12.98	110.41	8.2	13	115.87
4	8.11	12.64	132.56	8	12.5	136.86
5	8.3	13.34	130.74	8.3	13	138.21
6	8.3	12.56	142.2	8.3	13	148.62
7	8.34	12.87	140.11	8	12.2	145.71
8	8.6	13.4	132.51	8.22	12.4	141.04
9	8.47	11.45	112.78	8.3	11	112.31
10	8.5	11.73	103.54	8.5	11	107.65

จากตารางที่ 7 ในบรรยากาศ OF ค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 8.0-8.5% และ RF ค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 8.0-8.5% สูตรที่ 2 มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศ OF 8.0% สูตรที่ 4 และ 7 มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศ RF 8.0% ผลการทดสอบความพรุนตัวพบว่า ในบรรยากาศ แบบ OF ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 11.45-13.76% และ RF ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 11-14.12% สูตรที่ 9 มีค่าความพรุนตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศแบบ OF สูตรที่ 9,10 มีค่าความพรุนตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศแบบ RF ค่าความแกร่งของเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1200°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF แสดงให้เห็นว่า ค่าความแกร่ง ทั้งสองบรรยากาศมีความแตกต่างกัน เนื้อดินสูตรที่ 1 ถึงเนื้อดินสูตรที่ 8 ในบรรยากาศ OF เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 96.97 – 142.2 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 103.54 kgf/cm^2 และ 112.78 kgf/cm^2 ส่วนในบรรยากาศ RF เนื้อดินสูตรที่ 1-8 เนื้อดินมีค่าความแกร่งที่ 100.54 – 148.62 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 107.65 kgf/cm^2 และ 112.31 kgf/cm^2

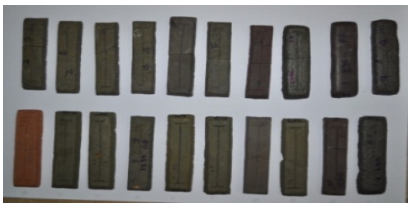
ภาพที่ 4 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1200°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

จากภาพที่ 4 สีของเนื้อดินมีสีน้ำตาลแดงเข้ม ในบรรยากาศ RF จะมีสีแดงเข้มมากกว่า ตั้งแต่สูตรที่ 6 ถึงสูตรที่ 10 สีของเนื้อดินมีสีน้ำตาลแดงเข้มปนดำ

5.4.4 ตารางที่ 8 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

สูตรที่	บรรยากาศแบบ OF			บรรยากาศแบบ RF		
	หดตัว %	พรุนตัว %	ความแกร่ง kgf/cm^2	หดตัว %	พรุนตัว %	ความแกร่ง kgf/cm^2
1	8.24	11.20	108.27	8.28	12.29	115.37
2	8.5	11.54	108.65	8.5	12.87	116.32
3	7.98	12.70	111.47	7.8	12.6	120.23
4	8.43	11.89	125.06	8.3	12.30	126.9
5	8.38	12	128.73	8.4	12.1	130.41
6	8.34	11.10	138.3	8.4	11.11	126.05
7	8.4	11.34	139.50	8.43	11	130.6
8	8.46	12.21	130.50	8.5	10.6	129.97
9	8.5	10.75	126.6	8.5	10.5	108.63
10	8.56	10.86	115.18	8.54	10.45	100.61

จากตารางที่ 8 ในบรรยากาศ OF ค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 7.98-8.56% และ RF ค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 7.8-8.54% สูตรที่ 3 มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดทั้ง OF และ RF ค่าความพรุนตัวในบรรยากาศ OF อยู่ระหว่าง 10.75-12.70% และ RF ค่าความพรุนตัวอยู่ระหว่าง 10-45.12.87% สูตรที่ 9 มีค่าความพรุนตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศแบบ OF สูตรที่ 10 มีค่าความพรุนตัวน้อยที่สุดในบรรยากาศแบบ RF ค่าความแกร่ง ทั้งสองบรรยากาศมีความแตกต่างกัน เนื้อดินสูตรที่ 1 ถึงเนื้อดินสูตรที่ 8 ในบรรยากาศ OF เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 108.27 – 139.50 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 115.18 kgf/cm^2 และ 126.6 kgf/cm^2 ส่วนในบรรยากาศ RF เนื้อดินสูตรที่ 1-8 เนื้อดินมีค่าความแกร่งที่ 115.37 – 130.6 kgf/cm^2 เนื้อดินสูตรที่ 9,10 เนื้อดินมีค่าความแกร่ง ที่ 100.61 kgf/cm^2 และ 108.63 kgf/cm^2



ภาพที่ 5 ผลการทดลองเนื้อกระเบื้องที่อุณหภูมิ 1230°C บรรยากาศในการเผา OF และ RF

จากภาพที่ 5 สีของเนื้อดินมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีน้ำตาลเข้มปนเขียวเข้ม เนื้อดินมีการหลอมละลายมากขึ้นในสูตรที่ 8,9,10 เนื้อดินหลอมละลาย ส่วนสูตรที่ 1 ซึ่งมีส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วน 50% เนื้อดินมีสีน้ำตาลอมแดงในบรรยากาศ OF

5.5 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ของเนื้อดินกระเบื้องทดสอบสูตรที่ 9 ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence ณ อุณหภูมิ 900°C , 1000°C , 1150°C ในบรรยากาศออกซิเดชัน (OF)

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกระเบื้องทดสอบสูตรที่ 9 ในบรรยากาศออกซิเดชัน (OF)

Compound	900 °C	1000 °C	1150 °C
Al_2O_3	21.999	21.577	20.675
SiO_2	65.928	65.527	66.013
Fe_2O_3	4.388	4.575	4.986
K_2O	1.537	1.516	1.434
MgO	2.173	2.23	2.258
MnO	0.01	0.008	0.018
Na_2O	0.749	0.705	1.004
P_2O_5	0.012	0.064	0.089
TiO_2	0.831	0.868	0.805
CaO	1.316	1.479	2.363
LOI(+SO_3)	1.079	1.458	0.360

จากตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินสูตรที่ 9 พบว่า มี (SiO_2) ซิลิกาและอลูมิน่า เป็นองค์ประกอบหลัก ทั้ง 3 อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 900°C มี SiO_2 = 65.93% , Al_2O_3= 21.99% ที่อุณหภูมิ 1000°C มี SiO_2 = 65.53% , Al_2O_3= 21.58% ที่อุณหภูมิ 1150°C มี SiO_2 = 66.01% , Al_2O_3= 20.68%

ภาพที่ 6 แสดงกระเบื้องปูพื้นดินเผาสูตรที่ 9

จากภาพที่ 6 นำสูตรที่ 9 เข้าสู่กระบวนการผลิตในอุณหภูมิการเผา 900°C , 1000°C , 1150°C ในบรรยากาศออกซิเดชัน (OF) เนื้อดินมีความเข้มของสีมากขึ้นในการเผาที่สูง

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเนื้อดินสูตรที่ 9 ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) พบว่า มีซิลิกาและอลูมิน่า เป็นองค์ประกอบหลัก ทั้ง 3 อุณหภูมิ ซึ่งองค์ประกอบของซิลิกาในเนื้อดินท้องถิ่นบ้านหม้อที่ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นส่วนผสมมีเปอร์เซนต์ที่สูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์ก่อนการผสมเถ้าลอยลิกไนต์มีซิลิกา 61.77% และสามารถเผาเนื้อดินท้องถิ่นให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นได้ในอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ในเปอร์เซนต์การใช้ที่สูงขึ้น ดังเช่นสูตรที่ 1 อุณหภูมิในการเผา 1230°C เถ้าลอยลิกไนต์ 50% เนื้อดินท้องถิ่น 50 % เนื้อดินสามารถคงรูปอยู่ได้ไม่หลอมละลาย และมีค่าความแกร่งที่สูงขึ้นที่ 115.37 kgf/cm^2 เถ้าลอยลิกไนต์สามารถใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินพื้นบ้าน ได้ตั้งแต่ อัตราส่วน 10% -50% บรรยากาศในการเผาแบบไม่สมบูรณ์ มีค่าความแกร่งมากกว่าบรรยากาศการเผาแบบสมบูรณ์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเกี่ยวกับการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์ในการอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา ควรทำการวิจัยเกี่ยวกับน้ำยาเคลือบจากเถ้าลอยลิกไนต์ ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสำหรับเนื้อดินประเภทต่างๆ เพื่อเพิ่มสมบัติด้านความความทนไฟและด้านความแกร่งนอกเหนือจากเนื้อดินพื้นบ้าน

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนงานวิจัย ขอขอบพระคุณ คุณ ไพบูลย์ , คุณจรัล แสงรัตนธงชัย และคุณสุรศักดิ์ เชื้อกิติศักดิ์ แห่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสนับสนุนให้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัตถุดิบในการวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

[1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.*การศึกษาศักยภาพการนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์.* กองการพิมพ์ ฝ่ายประชาสัมพันธ์ กฝผ. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.นนทบุรี, 2539.

[2] ชัย จารุพิทักษ์กุล, สุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย และวราภรณ์ คุณาวนากิจ.*คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอย.* เอกสารทางวิชาการ การสัมมนาเรื่องการใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีตครั้งที่ 5 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูประถัมภ์. หน้า 7-9, 2543.

[3] Michel W.Barsoum, *Fundamentals of ceramics,* McGraw-Hill Book Co.Inc., 391-438, 1997.

[4] ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. *เนื้อดิน.* กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, หน้า 264-266, 2541.

[5] Harmer,Frank and Janet. *The potter’s Dictionary of Materials and Techniques.* 2nd London : A&C Black Publishers Ltd, 248-249, 1986.

[6] Queralt I, [1998], *Use of Coal Fly Ash for Ceramics : A Case Study for A Large Spanish Power Station,* Fuel and Energy Abstracts, v.39, n.1, January , pp. 55-55(1), Elsevier. Avilable : http;// www.ingentaconnect.com

[7] Das; Swapan Kumar et al., Process for The Production of Ceramic Tiles, Avilable : http;// www.patengenius.com/patent/6743383.html

[8] N. Quaranta, S.Camelli, et al., [1999] Processing of Mullite Ceramics Using Fly Ash and Alumina, Avilable : http;// www3.interscience.wiley.com

[9] L.Sidjanin hardness homogeneity by Vickers indentation analysis.) *Journal of the European Ceramic Society.* xxx (2005) xxx-xxx [Online]. Avilable : http;// www. Science direct.com.