หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความรู้ทั่วไปทางด้านทันตกรรม

ชนิดของ Porcelain ในการแบ่งประเภท Porcelain มีวิธีแบ่งได้ ๒ วิธี คือ:-

๑. แบ่งตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา

๒. แบ่งตามวิธีการใช้ Porcelain นั้น ๆ

การแบ่งชนิดของ Porcelain โดยแบ่งตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา แบ่งออกได้เป็น ๒ ชนิด คือ

๑. Soft Porcelain คือ Porcelain ที่เผาที่อุณหภูมิต่ำเผาระหว่าง cone๘ ถึง cone 11 (1,250°- 1,320°C) เนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ จึงทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ ด้อยกว่าชนิดที่ ๒

๒. Hard Porcelain คือ Porcelain ที่เผาที่อุณหภูมิสูงกว่าชนิดแรก เผาระหว่าง cone 12 ถึง cone 15 (1,350° - 1,435°C) Porcelain ประเภทนี้จะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดีกว่าชนิดแรก เช่นมี mechanical strength สูงกว่า เปอร์เซนต์ water absorption ต่ำกว่าเป็นต้น

การแบ่งชนิดของ Porcelain ตามวิธีการใช้ เนื่องจาก Porcelain ชนิดต่าง ๆ ที่ทำขึ้นนั้นมีจุดมุ่งหมายในการใช้ผิดกันออกไป ฉะนั้นจึงทำให้คุณสมบัติของ Porcelain แตกต่างกันออกไปตามวิธีการใช้ ซึ่งอาจแบ่งออกได้ดังนี้คือ

๑. Architectural Porcelain เป็น Porcelain ที่ทำขึ้นเพื่อใช้ในการก่อสร้าง หรือตกแต่งบ้านเรือน Porcelain ชนิดนี้ได้แก่ Stone-ware

๒. Chemical Porcelain เป็น Porcelain ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับพวกสารเคมีต่าง ๆ จึงต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดและด่างได้ดี ได้แก่ Porcelain crucible, basin และเครื่องใช้อื่น ๆ ประจำห้องปฏิบัติการเคมี

๓. Electrical Porcelain คือ Porcelain ที่ใช้เกี่ยวกับการไฟฟ้า ฉะนั้นจึงต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ ต้องมี Porosity ต่ำมาก ทั้งนี้เพื่อจะได้เป็นฉนวนที่ดี และต้องมี mechanical strength สูง และมี Dielectric strength ดี Electrical Porcelain นั้งแบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ

ก. Low Tension ใช้โดยทั่ว ๆ ไป เช่น ลูกถ้วยไฟฟ้าธรรมดา สวิทช์ สะพานไฟ พุกประกับสายและอื่น ๆ

ข. High Tension ต้องทนต่อกระแสไฟฟ้าแรงสูงได้ดี และทนต่อ weathering ได้ดีด้วย ได้แก่ Knuckle, Suspension มักใช้กับความดันเกิน ๓๕,๐๐ โวลท์ขึ้นไป

๔. Refractory Porcelain หรือ Special Porcelain พวกนี้ต้องมีความทนไฟสูงเป็นพิเศษเพื่อที่จะใช้ในอุณหภูมิสูง ๆ ได้ เช่นทำ Protection Tubes ของ Thermocouples ฉะนั้นจึงต้องมี Viscosity สูงที่อุณหภูมิสูง เพื่อกันมิให้เกิดการอ่อนตัว หรือ deform ไปโดยง่าย

๕. Decorative Porcelain เป็น Porcelain ที่ใช้ในการประดับ เช่นพวก Artsware ต่าง ๆ แจกันที่มีดอกไม้ประดับ หรือพวกตุ๊กตารูปปั้น

๖. Table Porcelain หรือ China เป็น Porcelain ที่ใช้ทำถ้วยชามที่มีคุณภาพดีกว่าถ้วยชามที่ใช้อยู่ธรรมดา เช่น ชามชุด

๗. Dental Porcelain เป็น Porcelain ที่ใช้ในการทำฟันเทียม

คุณสมบัติของ Electrical Porcelain Insulator ที่ดี Electrical Porcelain Insulator เช่น Hard Porcelain ซึ่งมีความต้านทานแรงเคลื่อนไฟฟ้าและ loss น้อย หรือมีคุณสมบัติโดยทั่ว ๆ ไปดังนี้

๑. มี Mechanical Strength ดี

๒. มีเปอร์เซนต์ porosity และ absorption ต่ำมาก

๓. มีผิวเรียบ และส่วนผสมต้องเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous body)

๔. ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่าง (chemical durability)

๕. ไม่แตกหรือหักง่ายเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก ๆ ในเวลาอันสั้น คือมี thermal shock differential ดี

๖. มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ

๗. มี Dielectric strength สูง

๘. มี dielectric constant สูง (ประมาณ ๖ – ๘.๕)

๙. มี volume resistivity สูง (ประมาณ ๘,๐๐๐,๐๐๐ Meg.Ohm/in^3)

๑๐. มี power factor สูง ใกล้เคียง ๑

๑๑. มี loss น้อย

วัตถุดิบที่นำมาใช้ทดลองทำ Electrical Porcelain

Electrical Porcelain โดยทั่ว ๆ ไปส่วนใหญ่ใช้ Kaolin, Silica และ Feldspar เป็นวัตถุดิบ เพื่อที่จะให้ได้คุณสมบัติทางไฟฟ้าดี เราจำเป็นต้องใส่วัตถุดิบอื่น ๆ ลงไปในส่วนผสมของ electrical porcelain วัตถุดิบที่เพิ่มเข้าไปได้แก่

๑. Plastic Clay และ Ball Clay ใส่ลงไปในส่วนผสมเพื่อช่วยให้ความเหนียวของ green body ดีขึ้น สะดวกแก่การขึ้นรูป

๒. $MgCo_3$ และ $BaCo_3$ ใส่เพื่อช่วยลดอุณหภูมิในการเผาให้ต่ำลง ซึ่งจะเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงในการเผา เมื่อมองในแง่อุตสาหกรรมก็เท่ากับเป็นการประหยัดการลงทุน ซึ่งสารจำพวกนี้เราเรียกว่า flux และจะทำให้ electrical properties ดีขึ้นด้วย

๓. Talc หรือเรียกตามชื่อทางเคมีว่า magnesium silicate (steatite) ใส่เพื่อให้ fired body มีสีขาวขึ้น และนอกจากนี้แล้วยังทำให้ fied body มีความต้านทานต่อ thermal shock ดีขึ้นด้วย

สิ่งที่จะต้องพึงระวังที่สุดก็คือวัตถุที่จะนำมาทำ electrical porcelain เหล่านี้จะต้องปราศจากออกไซด์ของเหล็ก หรือจะมีได้ก็เพียงน้อยเท่านั้น เพราะถ้ามีเปอร์เซนต์ของเหล็กติดอยู่จะทำให้เกิดมีน้ำตาลขึ้นที่เนื้อของ porcelain และนอกจากนี้ยังเป็น secondary flux คือทำหน้าที่เป็น flux ที่อุณหภูมิสูงด้วย การกำจัดเปอร์เซนต์ของเหล็กออกจากวัตถุดิบที่ใช้ทำ electrical porcelain เราอาจทำได้โดยใช้ magnetic separator

วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดลองครั้งนี้ได้แก่ ดินขาวลำปาง ดินขาวนครนายก ดินขาวบ้านนา ดินขาวเขาเขียว ดินขาวเวียงป่าเป้า ดินขาวดอยสุเทพ Silica จาก

จังหวัดจันทบุรี หินฟันม้า (Feldspar), $BaCo_2$, $MgCo_3$, Talc และ Whiting

<u>ดินขาวลำปาง (Lumpang White Clay)</u>

ดินขาวลำปางเป็นดินขาวที่มีความทนไฟ (refactoriness) สูงเมื่อเผาแล้วมีสีขาวและมี fired strength ดี แต่ดินลำปางมีความเหนียวไม่สู้ดีนัก ไม่สะดวกต่อการปั้น และเมื่อปั้นเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว green strength ไม่ดี มักจะแตกหักง่าย ดังนั้นเราจึงต้องเพิ่มดินนครนายกลงไปด้วยเพื่อเพิ่มความเหนียวของเนื้อ bodies ทำให้สะดวกแก่การปั้น

ดินลำปางนี้ใช้ที่ขุดมาจากเขาปางค่าหรือเรียกตามชาวบ้านแถบนั้นว่า "หม่อนหินขาวหรือหม่อนดีหิน" ทั้งนี้เนื่องจากหินบนเขานี้มีสีขาว คือแร่ feldspar มาก เขาปางค่าตั้งอยู่ในตำบลบ้านล้า อำเภอแจ้ห่ม อยู่ทางทิศใต้สุดของอำเภอ ติดต่อระหว่างอำเภอเมืองกับอำเภอแจ้ห่ม ห่างจากตัวเมืองลำปาง ๒๕–๒๖ กิโลเมตร แหล่งดินขาวที่ทำการขุดขณะนี้อยู่บนไหล่เขาปางค่าในป่าโปร่ง จะต้องเดินทางจากเชิงเขาตรงกิโลเมตรที่ ๒๖ ประมาณ ๑.๕ กิโลเมตร ทางรถยนต์ได้ตัดขึ้นเขาตามทางเกวียน ซึ่งทางรถยนต์นี้ใช้เฉพาะฤดูแล้งเท่านั้น การขุดดินขาวมาใช้โดยเส้นทางรถยนต์เพิ่งจะได้ทำขึ้นมาเพียง ๒, ๓ ปีนี้เท่านั้น

ปริมาณดินที่ได้ประเมินไว้ ๒ ชนิด คือ

ดินขาวร่อน ประมาณ ๔๐๐,๐๐๐ ตัน

หินผุ ประมาณ ๒๐๐,๐๐๐ ตัน

ดินขาวร่อนเป็นดินขาวแท้ที่ได้สะสมอยู่ เหมาะแก่การปั้นด้วยขาม

หินผุมีดินขาวปนอยู่ด้วย แต่เนื่องจากว่าเกิดจากการผุพังของหิน จึงมีคุณภาพด้อยกว่าดินขาวร่อน เมื่อจะนำมาปั้นจะต้องทุบให้ป่นเสียก่อน และต้องผสมดินเหนียวด้วยจึงจะนำมาปั้นได้

ดินขาวลำปางนี้เป็นดินที่เกิดในยุค Triassic เมื่อเอาผลวิเคราะห์ของดินขาวมาเปรียบเทียบกับ Theoretical Kaolin (ใน Table 1) จะเห็นได้ว่าดินขาวลำปางมีเปอร์เซนต์ของ Silica content สูงกว่า และมีเปอร์เซนต์ของ Alumina content ต่ำกว่า Theoretical Kaolin มากกว่า แสดงว่า weathering ยังไม่สมบูรณ์ มี Silica ปนอยู่มาก และอาจมี Feldspar ปนอยู่บ้าง และมีปริมาณเนื้อดินไม่เกิน ๕๐%

ดินขาวลำปางนี้เมื่อนำมาเก็บไว้จะเกาะกันเป็นก้อนแข็งเพราะมีสิ่งเจือปนจำพวก Silica และ Feldspar ลักษณะที่เป็นก้อนแข็งนี้เรียกว่า China Stone ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับ China clay หรือ Kaolin นั่นเอง ชาวบ้านจึงนำเอาดินขาวลำปางมาบดและปั้นเลย โดยไม่ต้องผสมพวก plastic material ลงไปอีก

ผลของการตรวจสอบเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินซึ่งได้จากวิทยานิพนธ์ของอาจารย์เล็ก อุดดมะศีล และนางสาวจรัสศรี สมบัติทวี เราพอสรุปได้ว่า ดินขาวลำปางมี plasticity ต่ำ ถ้าเราจะนำมาปั้นถ้วยชามจะต้องเพิ่มดินขาวนครนายกประมาณ ๑๐ – ๒๕% ดินลำปางเมื่อล้างแล้วจะมีสีขาวนวลเป็นสี cream เมื่อยังไม่ได้เผา ทั้งนี้เนื่องจากมีเปอร์เซนต์ของ SiO_2 ผสมอยู่ค่อนข้างมาก สีของดินลำปางเมื่อเผาแล้วจะมีสีเปลี่ยนไปซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผา

อุณหภูมิ	สี
1,060°C	Pink
1,100°C	Light-straw
1,160°C	Straw
1,200 - 1,250°C	Dark-straw

Porosity ดินขาวลำปางเมื่อเผาแล้วจะมี porosity ประมาณ ๒๘.๒๐ – ๓๔.๕๐ และจะมีค่าน้อยลงถ้า firing temperature สูงขึ้น

Shrinkage ดินขาวลำปางเมื่อเผาแล้วจะมีค่าประมาณ ๑ – ๓% ด้วยเหตุนี้เองดินขาวลำปางจึงนิยมใช้ในการปั้นถ้วยชาม

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวลำปาง

โดย Koran Co., Tokyo, Japan

Refractoriness	Sk 28	K_2O	3.24
Ignition loss	5.44	Na_2O	0.40
SiO_2	73.03	Total	100.47
Al_2O_3	16.95		
FeO	0.61		
TiO	0.20		
CaO	0.40		
MgO	0.20		

ดินขาวดอยสุเทพ เชียงใหม่ (Doi-Sutep White Clay)

จากการสังเกตลักษณะของเนื้อดินและสีของดิน (mineral-logical performance green state characteristic) ของดินขาวดอยสุเทพจะเห็นได้ว่าเหมือนกับดินขาวลำปางมาก จากการสอบถามและการตรวจพบว่า เครื่องเคลือบดินเผา (Ceramic products) ที่ผลิตขึ้นเองในจังหวัดเชียงใหม่ทั้งหมดล้วนแต่ใช้ดินขาวจากดอยสุเทพนี้ทำทั้งสิ้น ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ผู้เขียนเกิดความคิดที่จะทดลองใช้ดินขาวดอยสุเทพแทน Theoretical Kaolin ซึ่งเป็น component หนึ่งในการทำ electrical porcelain body เนื่องจากเรายังมิได้มีผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวดอยสุเทพ ผู้เขียนจึงได้นำตัวอย่างดินขาวนี้ส่งไปยังกรมธรณีวิทยาเพื่อทำการวิเคราะห์ให้

ดินขาวนครนายก (Nakornayok plastic clay)

ดินขาวนครนายกเป็นดินชนิด secondary clay มีความเหนียวดี และความทนทานไฟสูง (High refractoriness) จึงนิยมใช้เป็นดินเหนียวในส่วนผสม เพราะทำให้การขึ้นรูป (forming) ได้สะดวกขึ้น เมื่อแห้งแล้วมี green strength ดี มีการแตกร้าวน้อย แต่ดินขาวนครนายกมีสีเทาคล้ำ เพราะมีสารพวกอินทรีย์และ

พวก carbonaceous matter ปนอยู่มาก เมื่อเผาจะมีสีขาวครีม ผลของการวิเคราะห์ทางเคมีของดินขาวนครนายกโดย Koran Co., Tokyo, Japan ได้แสดงไว้ใน Table 1

Refractoriness ของดินขาวนครนายก SK.34 มีทรายและเศษแร่อื่น ๆ ปนเล็กน้อยประมาณ ๑๒% มีการหดตัวสูง (high percentage of shrinkage) ปริมาณของเหล็กที่เจือปนอยู่ในเนื้อดินจะทำให้สีของดิน fired-state เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่เผา ดังนี้

อุณหภูมิ	สี
1,060°C	Light-pink
1,100°C	Cream
1,160°C	Light-yellow
1,200°C	Straw
1,250°C	Straw

จากการตรวจสอบปรากฏว่าเปอร์เซนต์ของ porosity จะเปลี่ยนอยู่ระหว่าง ๔๐.๔๕ – ๔๑.๐๐ สำหรับอุณหภูมิที่เผาระหว่าง ๑,๐๖๐°C – ๑,๒๕๐°C จะปรากฏว่าเปอร์เซนต์ของ porosity จะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่เผาสูงขึ้น และ ณ จุดเยิ้มตัว (vitrify state) ค่าของ porosity จะมีค่าใกล้ศูนย์

เราพอจะสรุปได้ว่า ดินขาวนครนายกนี้เหมาะสำหรับใช้เป็น body clay เท่านั้น เพราะมีความเหนียวดีมาก แต่การหดตัวสูงและผลิตภัณฑ์ที่อยู่ใน green state แตกหักง่าย ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ดินนครนายกอย่างเดียวทำผลิตภัณฑ์ที่เป็น ceramic นอกจากว่าเราจะใช้ผสมกับดินขาวอื่น ๆ ที่มีความเหนียวต่ำ และมีการหดตัวเช่นดินขาวลำปางเป็นต้น ด้วยเหตุที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนี้ จึงใช้ดินขาวนครนายกผสมกับดินขาวลำปางในการทำน้ำเคลือบหรือเครื่องเคลือบดินเผา

<u>ดินขาวเวียงป่าเป้า (Vieng-par-pao Plastic Clay)</u>

ดินขาวเวียงป่าเป้าเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดมาก (fine grain) และสามารถดูดความชื้นได้ดี green state มีสีขาวและความเหนียวดีมาก ต้องการเปอร์เซนต์ water content สูงในการขึ้นรูปแบบและเทแบบ (forming and molding) มีเปอร์เซนต์

ของ dry shrinkage สูงประมาณ ๑๗.๖๗% โดยปริมาตร สีของดินเมื่อเผาแล้วจะขาวขึ้นกว่าเดิมนิดหน่อย อุณหภูมิที่เผาเปลี่ยนแปลงจาก ๑,๐๖๐°C – ๑,๒๕๐°C สีของ fired body จะเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีเทาอ่อน และเปอร์เซนต์ของ fire shrinkage จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่เผาเพิ่มขึ้นที่จุดเข้มตัว (vitrify state) จะมีค่าใกล้ศูนย์

ในการทำผลิตภัณฑ์ ceramics เราจะเห็นได้ว่าดินขาวเวียงป่าเป้ามีค่าความหนาแน่นสูง และค่าความหดตัวสูง สำหรับดินเวียงป่าเป้าเปลา ๆ จะแตกหักง่าย แต่ข้อดีของดินเวียงป่าเป้าเหนือดินขาวอื่น ๆ ก็คือ มีสีขาวมากและมีความเหนียวดีมาก แต่ต้องมี water content ค่อนข้างสูง

ดินขาวบ้านนา (Ban-na White Clay)

ดินขาวบ้านนามีสีขาวเช่นเดียวกับดินขาวเวียงป่าเป้า เพราะมีคุณลักษณะทางกายภาพและความเหนียวของ slip คล้ายกับดินขาวเวียงป่าเป้ามาก ตัวอย่างของดินขาวบ้านนานี้อาจารย์ ดร.ประโมทย์ อุณหไวทยะ ได้กรุณานำมาจากบ้านนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี เพื่อนำมาเป็นส่วนผสมของ electrical porcelain สำหรับผลวิเคราะห์ทางเคมียังไม่มีรายละเอียดมากก่อน

ดินขาวเขาเขียว (Green Hill Plastic Clay)

ดินขาวเขาเขียวมีสีขาวออกเทาเมื่ออยู่ใน Green state เนื่องจากมีคุณลักษณะทางกายภาพและความเหนียวของมันคล้ายกับดินขาวนครนายก ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ผู้เขียนนำมาทดลองใช้ทำ electrical porcelain component โดยใช้แทนดินขาวนครนายก เนื่องจากแหล่งดินขาวเขาเขียวเป็นแหล่งที่พบโดยผู้เขียนเองโดยบังเอิญ ฉะนั้นจึงยังไม่ทราบว่าผลการวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งผู้เขียนจะได้จัดส่งตัวอย่างให้กรมธรณีวิทยาทำการวิเคราะห์ต่อไป

หินฟันม้า (Feldspar)

หินฟันม้า (feldspar) ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ commercial grade feldspar เรียกว่า Karmado แผนก Chem. Tech. คณะวิทยาศาสตร์สั่งซื้อมาจาก

ประเทศญี่ปุ่น เป็นชนิด potash feldspar แต่ตามผลการวิเคราะห์ปรากฏว่ามี Na_2O ปนอยู่ด้วยเล็กน้อย potash feldspar มีชื่อตามวิชาแร่ว่า Orthoclase หรือ Microcline ขึ้นอยู่กับรูปผลึก เราพบ Microcline บ่อยกว่า เราไม่เคยพบ potash feldspar บริสุทธิ์เลย มักมี soda feldspar ปนอยู่เสมอ

Theoretical Composition ของ potash feldspar คือ

Silica	65.7%
Alumina	18.4%
Potassa	16.9%

Feldspar ที่นำมาใช้นี้เป็น potash feldspar เมื่อผสมเข้าไปใน body จะทำหน้าที่ flux ถ้าเผาที่อุณหภูมิสูง และถ้ามีอุณหภูมิต่ำจะเป็น refractory เพราะว่า theoretical feldspar มีจุดหลอมตัวที่ ๑,๑๘๕C ฉะนั้นถ้าเผาเกิน ๑,๑๗๐^{o}C มันจะทำหน้าที่เป็น flux และถ้ายิ่งเผาสูงขึ้นไปก็จะเป็น active flux ยิ่งขึ้นใน body ที่ยังไม่เผา green state feldspar จะทำหน้าที่เป็นnon-plastic จะลด dry shrinkage แต่เพิ่ม green strength เมื่อเผาแล้วจะทำให้ fired strength และ vitrification ดี ทำให้เปอร์เซนต์ water absorption และเปอร์เซนต์ porosity ต่ำลง รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ทางเคมีของfeldspar ซึ่งทำการวิเคราะห์โดย Koran Co., Tokyo, Japan ได้แสดงไว้ใน Table 1

Silica (flint)

ใช้ Silica จากจังหวัดจันทบุรี แหล่งนี้อยู่ปากทางเข้าจังหวัดจันทบุรี อยู่ห่างจากทางหลวงประมาณ ๕๐ เมตร เป็นเนินยอม ๆ มีผิวดินปกคลุมอยู่ เมื่อขุดลึกลงไป ๒ ฟุตก็จะพบ Silica นี้ซึ่งเป็น amorphous quartz มีปริมาณมาก เดิมนำมาใช้โรยถนน Silica แหล่งนี้มีเปอร์เซนต์SiO_2 สูงมาก จึงเป็นgrade ที่เหมาะสมในการทำ electrical porcelain

Silica ที่จันทบุรีนี้เราเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า flint การเพิ่มSilica เข้าไปในส่วนผสมมีผลทำให้อุณหภูมิของการหลอมตัวสูงขึ้น คือทำให้ส่วนผสมทนไฟสูงขึ้น

ลดสัมประสิทธิ์ของการขยายตัว ทนต่อการกัดกร่อนของน้ำหรือกรด เพิ่ม strength ให้แก่ส่วนผสมก่อนเผาและหลังเผา

Barium Carbonate, $BaCO_3$

Barium Carbonate ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นชนิด commercial grade ทำหน้าที่เป็น flux อย่างรุนแรงกว่าพวก alkaline earth แต่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูง

Magnesium Carbonate, $MgCo_3$

Magnesium Carbonate จะเป็น refractory ที่อุณหภูมิต่ำ แต่ในช่วงอุณหภูมิสูงจะกลายเป็น flux อย่างรุนแรง มันจะลดสัมประสิทธิ์ของการขยายตัว สารนี้จะสลายตัวที่อุณหภูมิ ๔๐๐°C และละลายน้ำได้บ้างเล็กน้อย

Talc. $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$

เป็น hydrous magnesium silicate มี MgO ๓๑.๗๐% และ SiO_2 ๖๓.๕% นอกจากนั้นเป็นสารอื่นปนอยู่เล็กน้อย ทำหน้าที่เป็น flux ที่อุณหภูมิสูง และช่วยเพิ่มความขาวให้แก่ส่วนผสม Talc ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นชนิด commercial grade และเป็นผงละเอียด

Whiting

Whiting ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นพวก limestone ($CaCO_3$) ซึ่งได้จากภูเขาขาว จังหวัดสระบุรี เมื่อเผาแล้วเป็น CaO ซึ่งอยู่ในเนื้อของ body ปริมาณน้อย จะเป็น flux ที่ดีเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง แต่ถ้ามีอยู่มากจะเป็น refractory การใส่ whiting ใน body จะทำให้ fired body มีสีขาว เพราะ CaO มีคุณสมบัติในการฟอกสี แต่ทำให้ firing shrinkage ต่ำลง

ผลของการวิเคราะห์ทางเคมีของ limestone สระบุรีโดย Koran Co., Tokyo, Japan ได้แสดงไว้ใน Table 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ โดย Koran Co. Tokyo Japan.

วัตถุดิบที่ใช้	Refract-oriness	Ignition loss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Total
Theoretical Kaolin	--	14.00	46.00	39.50	--	--	--	--	--	--	--
ดินลำปาง	SK 28	5.44	73.03	16.95	0.61	0.20	0.40	0.20	3.24	0.40	100.47
ดินนครนายก	SK 34	8.82	67.50	21.20	1.40	0.72	0.32	0.19	0.16	0.10	100.41
Feldspar จากญี่ปุ่น	SK 34	0.20	64.90	20.02	0.40	trace	0.25	0.19	11.69	2.68	100.21
Flint จากจันทบุรี	--	0.24	94.00	3.54	0.14	trace	0.52	0.18	1.58	0.50	100.20
Whiting จากสระบุรี	--	43.70	2.57	0.22	0.08	0.02	52.75	1.31	0.04	0.10	100.76

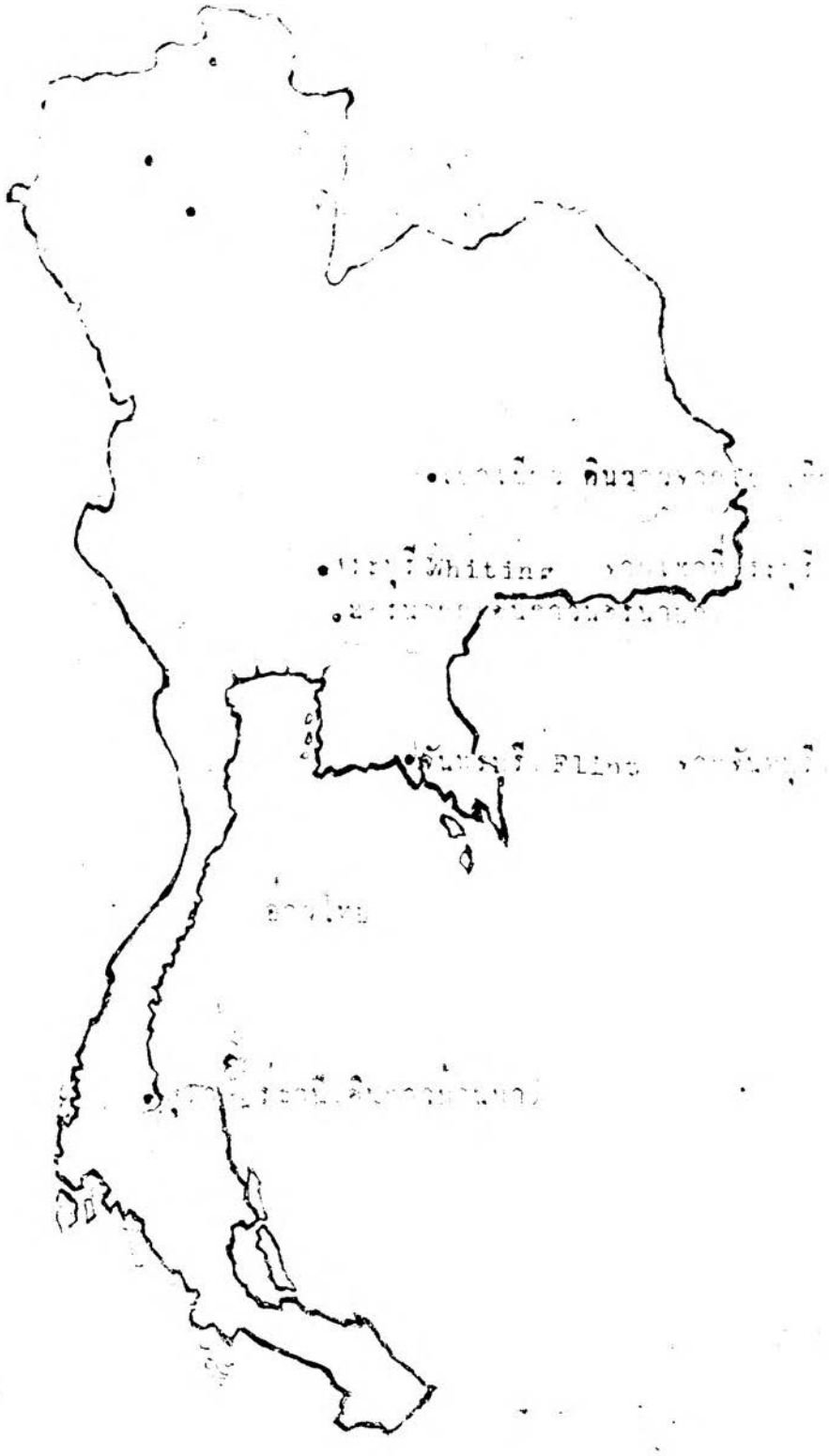


Fig.1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Theory of Dielectric

Dielectric strength-breakdown dielectric strength ของสาร "ไดอิเล็คตริค" (an insulator) ใด ๆ หมายถึงความสามารถของ dielectric หรือสาร insulator นั้นในการที่จะต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า เราหมายถึงค่า maxium. Electric potential difference ที่ใช้ระหว่างผิวทั้งสองด้านของสาร dielectric หรือ insulator นั้น โดยที่สารนั้นยังคงสภาพเดิมเป็น insulator อยู่ ไม่ breakdown (คือยังไม่เปลี่ยนสภาพเป็นตัวนำ) ค่าของ dielectric strength เราหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{Dielectric strength} = \frac{\text{Max. permissible P.D. ระหว่างผิวทั้งสองของ insulator ที่เป็น dielectric}}{\text{ความหนาของ insulator ที่เป็น dielectric}}$$

(มีหน่วยเป็น) = Volt/mm. or Kv/mm.

ถ้าค่าของผลหารระหว่าง Max. permissible P.D. ระหว่างผิวทั้งสองของ insulator ที่เป็น dielectric กับความหนาของ insulator ที่เป็น dielectric มากกว่าค่าของ dielectric strength ของสาร insulator นั้นแล้ว จะเกิดการ breakdown ขึ้นได้ทันที

ค่า dielectric strength ของสารแต่ละชนิดจะมีค่าไม่คงที่แน่นอน มันจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบอื่น ๆ หลายอย่าง เช่น ความหนา (thickness) อัตราการเพิ่มของ P.D. ที่ผิวทั้งสองของสาร dielectric (rate of voltage applied) อุณหภูมิ (temperature) ความไม่บริสุทธิ์ของสาร (impurities) และสภาพของ electrodes

008608

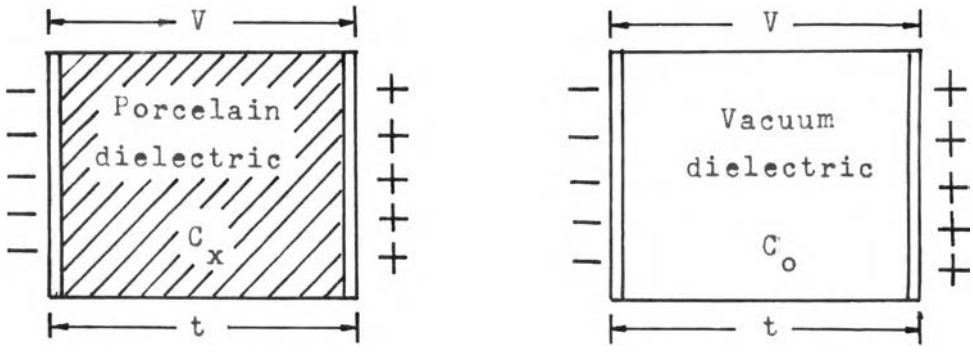


Fig.2 Perfect and Imperfect dielectric.

ถ้า V = Max. Permissible P.D. ระหว่างหน้าทั้งสองของสารที่เป็น dielectric มีหน่วยเป็น V หรือ KV

t = ความหนาของสารที่เป็น dielectric มีหน่วยเป็น มม.

Dielectric constant จาก Coumb's law for point charges ในระบบ mks rationalized units เราสามารถแสดงเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ คือ

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2} \quad \text{newtons}$$

เมื่อ F = เป็นแรงดูดหรือแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้า Q_1 และ Q_2 มีหน่วยเป็น Newton

Q = ปริมาณของประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็น coulombs

r = ระยะทางระหว่างประจุไฟฟ้า Q_1 และ Q_2 มีหน่วยเป็นเมตร

ϵ = ค่า dielectric constant ของ medium

สำหรับ medium ที่เป็น free space (vacuum) ค่าของ dielectric constant, ϵ_o จากการวัดจะมีค่าดังนี้

$$\epsilon_o = 8.854 \times 10^{-12} \cong \frac{1}{36\pi 10^2} = \frac{\text{farad}}{\text{meter}}$$

แต่สำหรับ medium อื่น ๆ เราจะได้

$$\epsilon = \epsilon_o \varepsilon_r \qquad \frac{\text{farad}}{\text{meter}}$$

เมื่อ ϵ = ค่าของ dielectric constant ของ medium

และ $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_o}$

นี้เราเรียกว่า relative dielectric constant

สำหรับ condenser แบบ two parallel plates ถ้าเราให้

A = เนื้อที่ของแผน, $meter^2$

t = เป็นระยะห่างระหว่าง plate ทั้ง ๒, meter

C = ค่า capacitance ของ condenser, farad

เราจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$C = \frac{A\epsilon}{t} \qquad \text{farad}$$

ดังนั้นจากสมการ $\varepsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_o}$

ถ้าเราเอา $\frac{A}{t}$ คูณทั้งเศษและส่วนทางด้านขวามือก็ยังคงไม่ทำให้ความหมายของสมการเปลี่ยนแปลงไป ฉะนั้นเราจะได้

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_o} \times \frac{A/t}{A/t}$$

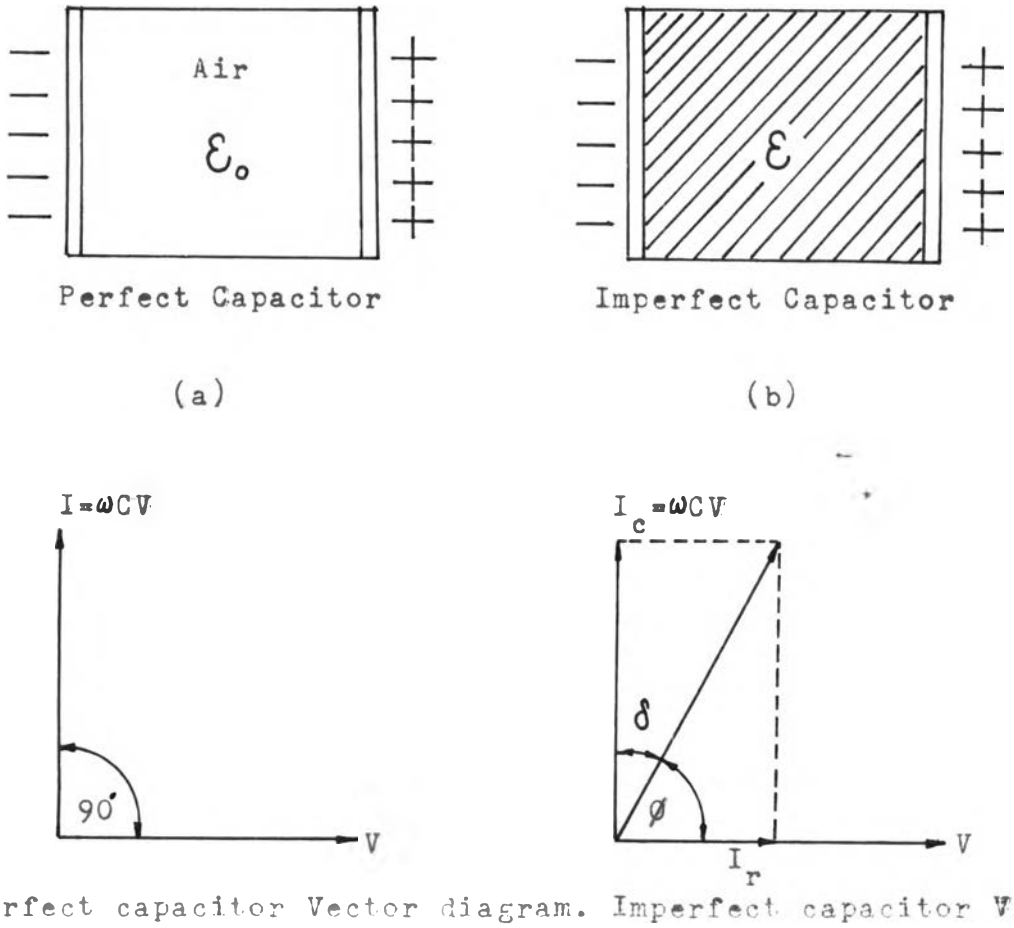
$$\frac{\frac{A\varepsilon}{t}}{\frac{A\varepsilon_o}{t}}$$

นั่นคือ $\varepsilon_r = \frac{C}{Co}$ นั่นเอง

จากสมการข้างบนนี้เราอาจให้คำจำกัดความของ relative dielectric constant ได้ใหม่ คือ relative dielectric constant ของสารใด คืออัตราส่วนระหว่างค่า capacitance ของ condenser ที่มีสารนั้นเป็น dielectric กับค่า capacitance ของ condenser ขนาดเดียวกัน แต่มีอากาศเป็น dielectric

สำหรับค่า relative dielectric constant ของสารที่เป็นฉนวนไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ระหว่าง ๑ และ ๘๐ แต่สำหรับ dielectric ของสาร ceramic จะมีค่าอยู่ในระหว่าง ๔.๐ – ๖.๐ และสำหรับ ceramic ที่เนื้อเป็นแบบ special body ค่า จะอยู่ในระหว่าง ๕.๖ ถึง ๖.๔

Dielectric Loss and Power Factor



Perfect capacitor Vector diagram. Imperfect capacitor Vector diagram

Fig.3 Capacitor vector diagrams.

สำหรับ capacitor ที่มีอากาศหรือกาซอื่น ๆ เป็น dielectric จะปรากฏว่า loss ของมันมีค่าน้อยมาก ฉะนั้นสำหรับ dielectric พวกนี้เราจึงถือว่าเป็น perfect dielectric. capacitor ชนิดนี้จึงเรียกว่า perfect capacitor. Vector ของ I จะนำหน้า Vector V เป็นมุม ๙๐ องศา ดังรูป

สำหรับ capacitor ที่มีสารอื่นที่ไม่ใช่อากาศหรือกาซเป็น dielectric เช่นมี porcelain เป็น dielectric จะปรากฏว่า loss ของมันมีค่ามากพอประมาณ capacitor ที่มีสารเหล่านี้เป็น dielectric จึงเรียกว่า imperfect capacitor. Vector ของ I จะนำหน้า Vector ของ V เป็นมุม มุมหนึ่งสมมุติว่า ϕ และจะน้อยกว่า ๙๐ องศา ดังรูป (b) ดังนั้นถ้า perfect capacitor ถูกต่อเข้ากับ sinusoidal voltage กระแสไฟฟ้าที่ให้เข้าไปใน capacitor จะนำหน้าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V) เป็นมุม ๙๐ องศา พอดี ดังรูป (a)

ถ้า applied voltage เป็น sinusoidal wave

$$v = V_{max}. \sin \omega t$$

กระแสไฟฟ้าใน perfect capacitor ที่มีค่า capacitance C farad

$$i = \omega C. V_{max}. \cos \omega t \quad \text{amp.}$$

หรือ $I = \omega C.V.$ amp.

เมื่อ I = r.m.s. value of capacitor current

V = r.m.s. value of applied voltage

สำหรับ imperfect capacitor เนื่องจากมี dielectric loss ฉะนั้น vector ของ current capacitor จะนำหน้า vector ของ applied voltage เป็นมุมมีค่าน้อยกว่า ๙๐ องศา สมมุติให้เป็นมุม ϕ มุมนี้คือ phase angle นั่นเอง ดังนั้น ค่า Power factor ของ capacitor = $\cos \phi$

ถ้าเราให้ $90^{\circ} - \phi = \delta$ มีชื่อเรียกว่า loss angle

เพราะฉะนั้นเราจะเห็นได้ว่า ค่า power factor = $\sin \delta$

เราได้กล่าวมาแล้วข้างต้นสำหรับ perfect capacitor เราจะได้ว่า

$$\phi = 90^{\circ}$$

นั่นคือ $\delta = 0$

แต่เราสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ค่า dielectric loss of

imperfect capacitor = IV Cos.ϕ

= IV Sin.δ

จากข้างบนนี้เราสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ค่า dielectric loss of perfect capacitor = IV Sin.δ = 0, Sin. δ = 0

Capacitor ที่มีค่า dielectric loss เราสามารถจะเขียน equivalent circuit ที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งได้ดังนี้

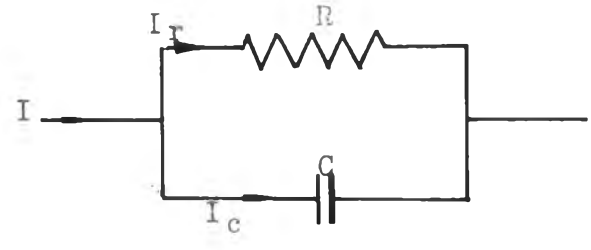


Fig.4 Symbolic Representation of an Imperfect Capacitor.

คือมีค่าเท่ากับ perfect capacitor ต่อขนานกับ resistance ดังรูป แต่ค่าของ resistance R นี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตาม frequency

กระแสไฟฟ้า I ที่ไหลผ่านไปใน condenser จะแตกออกได้เป็น ๒ components คือ Ir ไหลผ่าน resistance brance จะ inphase กับ V และ Ic. ไหลผ่าน capacitor brance จะ leading vector V เป็นมุม ๙๐ องศา ดัง diagram ในรูป (b)

$$I_c = \omega CV = I \cos.\delta$$

เมื่อค่า C = effective capacitance of capacitor

$$C = \frac{I}{\omega V} \cos.\delta$$

และ dielectric loss $P = IV \cos.\phi$

$$= IV \sin.\delta \quad (\because \cos.\phi = \sin.\delta)$$

$$= V \sin.\delta \times \frac{V\omega C}{\cos.\delta}$$

$$= V^2 \omega C \tan\delta \quad \text{watt}$$

$$= V^2 \left(2\pi \frac{A\varepsilon}{t}\right)(f)(\tan\delta)$$

ดังนั้น dielectric loss per cm^3., $W = \frac{P}{At} = (2\pi\varepsilon_o\varepsilon_r)(f)(\tan\delta)$

$$W = 55.5(\varepsilon_r)\tan\delta\,(E^2)(10^{-6}) \text{ watt}$$

W = the dielectric loss or power loss per cubic centimeter

ε_r = relative dielectric constant of the material

δ = the loss angle of the material

E = the voltage gradient in KV/mm.

f = frequency of applied field in cycle per sec.

tan δ = dissipation factor

และเทอม $\varepsilon_r \tan\delta$ = loss factor

แต่สำหรับ ceramic insulator loss angle δ มีค่าน้อยมาก น้อยกว่า ๕°

เทอม loss factor = $\varepsilon_r \sin.\delta$

การวัดค่าของ Dielectric Loss และ Power Factor ของสาร dielectric เราทำได้ ๒ วิธี คือ

๑. โดย Wattmeter method

๒. โดย Bridge method

ชนิดของ Electrical Porcelain Bodies

Electrical porcelain insulator ที่ใช้ในงานไฟฟ้าทั่ว ๆ ไป แบ่งออกได้เป็น ๓ ชนิด คือ

๑. ชนิดเป็นรูพรุน (Porous body) เป็น Insulator ชนิดที่มีเนื้อพรุน (Porous refractory insulator bodies) โดยปกติจะมีเปอร์เซนต์ของ water absorption สูงกว่าค่าใน Table 2 ซึ่งว่าด้วย properties of electrical porcelain bodies ประมาณ ๑๐٪ ส่วนผสมของ porous body ประกอบด้วย Kaolin, ball clay, feldspar, flint และผสมพวก saw dust และ cork. bodies พวกนี้เมื่อเผาจนถึงจุดเย็นตัวแล้วจะเกาะกัน บริเวณที่เป็น saw dust จะไหม้และทำให้ bodies เกิดรูพรุน เป็น body ที่มีคุณสมบัติสามารถใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีและทนต่อ thermal shock ได้ดีเป็นพิเศษ จึงนิยมเอามาทำเป็นฉนวนไฟฟ้าต่าง ๆ, แผงรองเส้นลวด (heating element) ของเตาต้มน้ำไฟฟ้า, rheostats

๒. ชนิดที่ไม่ได้เคลือบผิว แต่ถูกเผาจนถึงจุดสุกตัว (Vitreous nonglazed body) Insulator ชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้กับงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้ mechanical strength สูง ๆ และอยู่ในที่ที่ซึ่งไม่ต้องการความสะอาดนัก เช่น ที่โล่งแจ้ง (outdoor) ฉนวนไฟฟ้าชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับใช้กับไฟฟ้าตั้งแต่ ๖๐๐ – ๑,๐๐๐ โวลท์ ความถี่สูง (high frequency) คือตั้งแต่ ๑,๐๐๐ cycle/Sec. ขึ้นไป แต่ผิวของ insulator ชนิดนี้จะต้องเรียบ (smooth surface) เพื่อให้ยากแก่การจับหรือเกาะของละอองน้ำที่เกิดจากฝนหรือการกลั่นตัวของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ โดยเหตุนี้เอง insulator แบบนี้จึงมีการฉาบด้วยขี้ผึ้ง (waxed)

๓. ชนิดที่ผิวถูกเคลือบ (glazed body) Insulator ชนิดนี้มีส่วนผสมที่สำคัญอย่างเดียวกับ Vitreous nonglazed body ถูกเผาจนถึงจุดสุกตัวแล้ว ผิวยังถูกเคลือบให้เรียบและสวยงามอีกชั้นหนึ่ง Electrical porcelain ชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็น insulator สำหรับไฟฟ้าทั้ง low voltage, high voltage

และ extra high voltage อย่างยิ่ง เพราะ insulator แบบนี้มีผิวเคลือบที่ลื่นและเรียบ ยากแก่การเกาะหรือจับของฝุ่นละออง สิ่งสกปรกและน้ำที่เกิดจากฝนหรือการกลั่นตัวของไอน้ำ (moisture) ในอากาศ

นอกจากการแบ่งชนิดของ electrical porcelain ดังกล่าวแล้วข้างต้น ยังมี electrical porcelain อีกพวกหนึ่งที่เรียกว่าพวก special bodies เนื้อของมันมีส่วนผสมพิเศษออกไปจากส่วนผสมของ electrical porcelain insulator ธรรมดา เช่น Steatite, rultile, cordieritie, high alumina, beryllia, magnesia, Zirconia, Thoriaและ cordierite ซึ่งจะเสริมและช่วยให้ electrical porcelain มีคุณสมบัติที่ดี มีความต้านทานต่อ thermal shock ดี ทนความร้อนได้ดีมาก ตัวอย่างเช่น insulator ที่ใช้เป็น supporter ในหลอดวิทยุ (vacuum tubes) หรืองานไฟฟ้าที่มีความถี่สูง

แต่สำหรับการทดลองนี้จะกล่าวแต่เฉพาะ porcelain insulator ชนิดเนื้อธรรมดาเท่านั้น

สำหรับในทางวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังซึ่งเป็นงานที่ใช้ความถี่ต่ำ (50 - 60 cycle/Sec.) นั้น เราแบ่ง electrical porcelain insulator ออกเป็น ๒ พวกใหญ่ คือ

๑. พวก Low tension porcelain insulator คือ porcelain insulator ที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าไม่เกิน ๐ – ๖๐๐ โวลท์ (secondary distribution voltage) Porcelain ชนิดนี้เป็นแบบเนื้อธรรมดาส่วนมากทำจาก dry processed และ hand pressed มีทั้งเคลือบผิวและไม่เคลือบผิว และการออกแบบของรูปร่างผิดไปจาก insulator ที่ใช้กับไฟฟ้าแรงสูง (High tension insulator)

๒. พวก high tension และ extra high tension porcelain insulator ได้แก่ porcelain insulator ที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไปในงานเกี่ยวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าตั้งแต่ ๖๐๐ โวลท์ขึ้นไปจนถึง ๕,๐๐๐ โวลท์ และตั้งแต่ ๕,๐๐๐ โวลท์สูงขึ้นไป เช่น insulator ที่ใช้ในระบบ distribution system และ transmission line system เป็นต้น porcelain ชนิดนี้ส่วนมากทำจาก wet process แล้วทำการเคลือบผิวอีกชั้นหนึ่ง

ประวัติการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติทาง Mechanical properties และทาง Electrical Properties ของ Electrical Porcelain Insulator

จากวิทยานิพนธ์ของท่านรองศาสตราจารย์ ม.ร.ว.อุตตรากร วรวรรณ

Grantham ได้ทดลองพบว่า

๑. ค่า dielectric strength ของสาร electrical porcelain จะเป็นปฏิภาคส่วนตรง (varied directly) กับเปอร์เซนต์ของ feldspar และ ball clay ที่ผสมอยู่ใน body แต่จะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับการเพิ่มเปอร์เซนต์ของ flint

๒. ถ้าลดอุณหภูมิที่เผา (firing temperature) ลงเล็กน้อยจะทำให้ body มี mechanical strength สูงขึ้น แต่เราเพิ่มอุณหภูมิที่เผาให้สูงขึ้นจะทำให้ body มี thermal shock ดีขึ้น

Watkin ได้สรุปไว้ในรายงานว่า

๑. ถ้าเพิ่มเปอร์เซนต์ของ feldspar เข้าไปแทนที่เปอร์เซนต์ของ flint ใน body จะทำให้ mechanical strength ลดลง specific electrical resistance ลดลง แต่จะเพิ่มค่าของ Dielectric strength

๒. ถ้าเพิ่มเปอร์เซนต์ของ ball clay เข้าไปแทนเปอร์เซนต์ของ flint ใน body จะทำให้ค่าของ dielectric strength สูงขึ้น และค่าของ specific electrical resistance สูงขึ้นด้วย แต่จะทำให้ mechanical strength ลดลง

๓. ถ้าเพิ่มเปอร์เซนต์ของ ball clay เข้าไปแทนเปอร์เซนต์ของ kaolin จะทำให้ properties ต่างทั้งทาง mechanical และ electrical ลดลง

๔. ถ้าเพิ่มเปอร์เซนต์ส่วนผสมของ Zircon เข้าไปแทนส่วนผสมของ flint จะทำให้ mechanical strength ดีขึ้น แต่จะทำให้ค่า dielectric strength ลดลงเล็กน้อย

๕. ถ้าเพิ่มเปอร์เซนต์ส่วนผสมของ steatite เข้าไปแทนเปอร์เซนต์ส่วนผสมของ feldspar จะทำให้ค่าของ specific resistance เพิ่มสูงขึ้นมาก ค่าของ dielectric strength จะสูงขึ้นเล็กน้อย และจะไม่กระทบกระเทือนคุณสมบัติทาง mechanical strength เลย

Monsch ได้ทดลองพบว่า

๑. ค่า dielectric strength ของ porcelain body จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ระหว่าง cone 9 และ cone 15

๒. ค่าของ dielectric strength ระหว่าง cone 7 และ 10 จะผันแปรเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับเปอร์เซนต์ของ apparent porosity

Twells ได้ทดสอบแล้วพบว่า ตัวเพิ่มเปอร์เซนต์ของ lepidolite เข้าไปแทนที่ potash feldspar ใน body ของ electrical porcelain จะทำให้มี resistance ต่อ thermal shock ดี แต่จะไม่ทำให้คุณสมบัติอย่างอื่นดีขึ้นเลย

โดยทั่วไปแล้ว high voltage porcelain ทำโดยวิธี wet process จะโดยการ cast หรือ extruded แล้วเผาให้เนื้อในสุกเสียครั้งหนึ่งก่อนแล้วจึงนำมาเคลือบและเผาอีกครั้งหนึ่ง การที่เรานำเอา porcelain มาใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าแรงสูงก็เพราะ porcelain มีความเหมาะสมหลายประการดังเหตุผลต่อไปนี้

๑. เพราะว่ามันทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นงานภายในอาคารหรือนอกอาคาร

๒. มีค่าความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าสูง body resistance และ surface resistance ดีมาก

๓. ง่ายต่อการทำให้มีรูปร่างต่าง ๆ (easy to mold into any required shape)

๔. Porcelain มีคุณสมบัติทาง mechanical strength ดี

High voltage porcelain จะต้องมีค่าเปอร์เซนต์ของ porosity เกลือบเป็นศูนย์จึงจะดี และจะต้องมีเนื้อเดียวกัน (homogeneous body)

ค่า dielectric constant ของ electrical porcelain จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่วัดคือค่า dielectric constant จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จากการทดลองจะพบว่า ณ อุณหภูมิของห้องทดลอง ค่า dielectric constant ของ porcelain เป็น ๔ แต่จะมีค่าเป็น ๖๓ เมื่ออุณหภูมิเป็น ๑๐๐ องศาเซ็นติเกรด

การที่ porcelain มีประโยชน์อย่างมากมายในงานเกี่ยวกับ high voltage นั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากว่า porcelain มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทาง mechanical ดี และมีความต้านทานต่อการเกิด thermal shock ดี และยังมีความทนทานต่อการสึกกร่อนของกรดและด่าง

Rexford และ Newcombs ได้รวบรวมพิกัดต่าง ๆ ของ physical properties และ electrical properties ของ porcelain bodies ไว้ดังแสดงไว้ใน Table 2

TABLE 2 PROPERTIES OF ELECTRICAL PORCELAIN BODIES

Properties	Minimum	Maximum
Specific Gravity	1.90	2.48
Compressive strength, psi	30,000	65,000
Tensile strength, psi	1,500	6,000
Modulus of Rupture, psi	3,000	85,000
Water Absorption, per cent	0.2	2.0
Impact resistance, ft. lb/sq. in.	0.50	0.90
Linear expansion coeff., in/°C.	2.5×10^{-6}	5.5×10^{-6}
Thermal shock differential, °F	650	1,500
Thermal conductivity, cal/sec/sq. in./°C.	0.0020	0.0039
Electrical		
Dielectric strength, volts/mil	90	200
Dielectric constant	6.0	7.5
Volume resistivity, meg/in^3	300,000	3,000,000
Power factor at 1,000 kc	0.60	0.95