บทที่ 5

ลูกถ้วยฉนวน

เนื้อฉนวนที่ใช้เป็นฉนวนของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ พอร์ซเลน (Porcelain) แก้วเหนียว (Toughened glass) และสารสังเคราะห์ เช่น คาสท์เรซิน อิพ็อกซีเสริมใยแก้ว ยาง เป็นต้น ลูกถ้วยฉนวนประเภทสารสังเคราะห์นิยมใช้ภายในอาคารที่ไม่เปียกชื้น ส่วนที่ใช้ภายนอกอาคารมักจะเป็นลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนและแก้วเหนียวเพราะมีความคงทนต่อสภาวะดินฟ้าอากาศได้ดี ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนซึ่งเป็นลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่สามารถผลิตขึ้นได้เองโดยใช้วัตถุดิบมากกว่า 85% เป็นของภายในประเทศ[14]

5.1 ส่วนผสมลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน

ส่วนผสมของเนื้อลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนมีผลต่อคุณสมบัติของลูกถ้วยฉนวนเป็นอย่างมาก ทั้งทางกลทางไฟฟ้าและทางความร้อน โดยที่ส่วนผสมหลักที่ใช้ทำเนื้อพอร์ซเลนมี 3 ส่วนด้วยกัน[4] คือ

1) ดินเหนียว (Ball Clay หรือ Plastic Clay และดินขาว(Kaolin)) มีประมาณ 50%

2) หินฟันม้า (Feldspar) มีประมาณ 25%

3) ทรายแก้ว (Quartz) มีประมาณ 25%

5.1.1 ดินเหนียว

ดินเหนียวเป็นส่วนผสมที่สำคัญด้วยเหตุที่ดินเหนียวเมื่อผสมน้ำหรือมีความชื้นจะมีความยืดหยุ่นสามารถขึ้นรูปตามรูปร่างที่ต้องการได้ ดังนั้นปริมาณส่วนผสมของดินเหนียวจึงขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปและกระบวนการผลิตตามที่ต้องการ

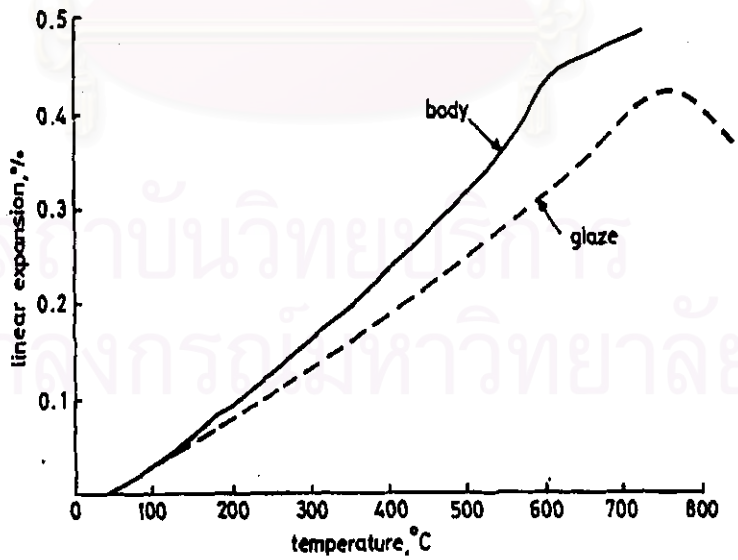
5.1.2 หินฟันม้า (Feldspar)

หินฟันม้าเป็นส่วนผสมอีกชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานหรือตัวเชื่อมโดยทำให้เกิดการรวมตัวกันของส่วนผสมเหลวขณะที่อุณหภูมิสูง หินฟันม้าหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อัลคาไลน์-อลูมิเนียม ซิลิเคท ($XO.Al_2O_3.6SiO_2$) โดยที่ X คือโปตัสเซียม (Potassium) หรือโซเดียม (Sodium) หรือทั้งสองชนิดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อพอร์ซเลนตามที่ต้องการ[4] การเพิ่มส่วนผสมหินฟันม้าให้มากขึ้นเป็นการเพิ่มส่วนผสมของแก้วทำให้เนื้อพอร์ซเลนที่ได้มีความใสมากขึ้น

5.1.3 ทรายแก้ว (Quartz)

ทรายแก้วเป็นส่วนผสมที่เติมลงไปเนื้อพอร์ซเลนทำหน้าที่ควบคุมการหดและขยายตัวขณะเพิ่มอุณหภูมิของเตาในระหว่างกระบวนการเผาระหว่างเนื้อพอร์ซเลนที่มีโครงสร้างผลึกกับส่วนผสมที่ยังหลงเหลืออยู่และระหว่างเนื้อพอร์ซเลนกับสารเคลือบผิว ดังรูปที่ 5.1 ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนบางชนิด เช่น ลูกถ้วยแขวนที่ต้องการความแข็งแรงทางกลสูงได้มีการเปลี่ยนส่วนผสมจากทรายแก้วเป็นผงอะลูมินา โดยปรกติแล้วภายในเนื้อพอร์ซเลนที่เสร็จจากกระบวนการเผามักจะมีอนุภาคของส่วนผสมที่ยังไม่ได้เกิดปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่ ดังรูปที่ 5.2 ในกรณีอนุภาคของส่วนผสมทรายแก้วมีคุณสมบัติทางความร้อน โดยเฉพาะคุณสมบัติการขยายตัวที่แตกต่างกับสารละลายภายในเนื้อพอร์ซเลนมาก รวมทั้งขนาดอนุภาคของทรายแก้วจะมีขนาดใหญ่จึงเกิดปฏิกิริยาได้ช้าจึงส่งผลให้ไม่มีความต่อเนื่องของเนื้อพอร์ซเลนและมีผลกระทบต่อความคงทนทางกลโดยตรง แต่ในขณะที่คุณสมบัติของส่วนผสมผงอะลูมินาตรงข้ามกับที่ได้กล่าวมาจึงทำให้มีความคงทนทางกลเพิ่มขึ้น

ปริมาณส่วนผสมของวัตถุดิบในการทำลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตและแบบของลูกถ้วยที่นำไปใช้งานในหน้าที่ต่าง ๆ กัน โดยมีส่วนผสมโดยประมาณ ดินเหนียว 50% , หินฟันม้า 25% และ ทรายแก้ว 25%[4]



รูปที่ 5.1 กราฟการขยายตัวระหว่างเนื้อพอร์ซเลนกับสารเคลือบผิวที่อุณหภูมิต่างๆ

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงทนทางกลและทางไฟฟ้าของเนื้อพอร์ซเลน

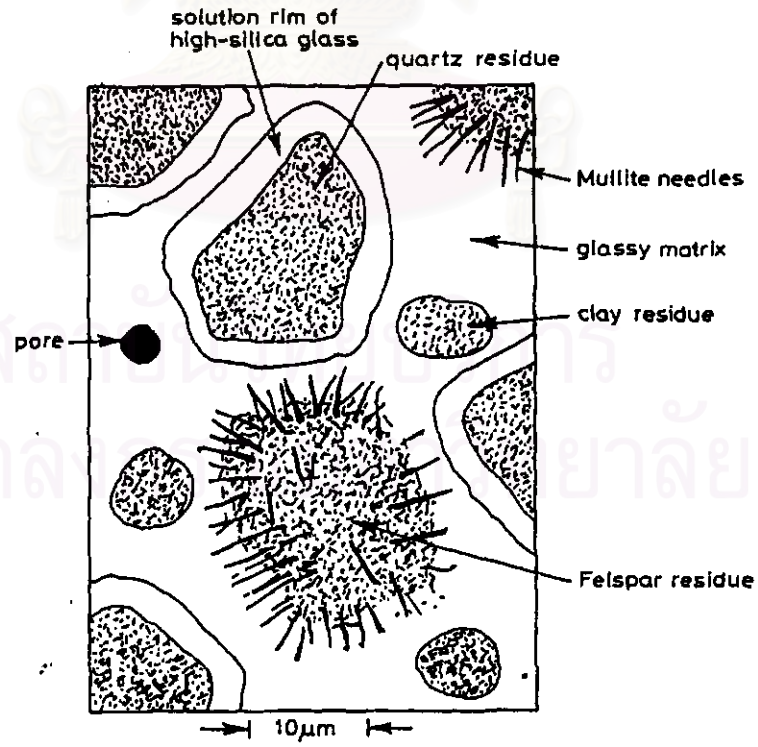
เมื่อพิจารณาลงไปถึงระดับโครงสร้างภายในของเนื้อพอร์ซเลนพบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าของเนื้อพอร์ซเลนมีอยู่ 2 ประการ[4] คือ

1) ความพรุนของเนื้อพอร์ซเลน

2) ขนาดของส่วนผสมเนื้อพอร์ซเลน

5.2.1 ความพรุนของเนื้อพอร์ซเลน

ความพรุนของเนื้อพอร์ซเลนเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต การขึ้นรูปโดยกระบวนการเปียกหรือแห้งก็ตามต้องใช้เนื้อพอร์ซเลนที่มีความชื้นเป็นส่วนหนึ่ง กระบวนการรีดหรืออัดเนื้อพอร์ซเลนก่อนนำไปขึ้นรูป ถ้าหากรีดหรืออัดเนื้อพอร์ซเลนไม่แน่นจะทำให้ยังคงมีช่องว่างภายในเนื้อพอร์ซเลน หรือแม้กระทั่งกระบวนการเผาในเตาอบ ถ้าหากเผาที่อุณหภูมิต่ำจนเกินไปทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในเนื้อพอร์ซเลนเพื่อให้เป็นโครงสร้างผลึกคล้ายแก้วเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ย่อมส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าโดยตรง แต่ถ้าหากเผาที่อุณหภูมิสูงจนเกินไปจะทำให้เกิดกาซซึ่งมาจากส่วนผสมภายในเนื้อพอร์ซเลนเริ่มระเหยออกมานั้นเองเป็นการเพิ่มช่องว่างหรือความพรุนมากขึ้น เพราะฉะนั้นความพรุนหรือช่องว่างในเนื้อพอร์ซเลนย่อมขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 5.2 ภาพจำลองโครงสร้างเนื้อพอร์ซเลนซึ่งยังมีส่วนผสมบางชนิดหลงเหลืออยู่[4]

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความพรุนหรือช่องว่างในเนื้อพอร์ซเลนมี 2 แบบ คือ ช่องว่างแบบเปิด (Open porosity) ซึ่งเกิดจากช่องว่างแต่ละจุดมาอยู่ใกล้กันหรือติดกันกลายเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ ส่วนแบบที่สองคือช่องว่างแบบปิด (Closed porosity) เป็นช่องว่างแต่ละจุดที่ไม่ได้เชื่อมต่อกันเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ ช่องว่างแบบเปิดจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้ามากกว่าช่องว่างแบบปิด[4]

การทดสอบหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการเผาลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนนั้นส่วนใหญ่วัดจากความหนาแน่นของเนื้อพอร์ซเลนหลังการเผา แต่การใช้วิธีดังกล่าวให้ผลไม่ชัดเจนนักถึงแม้จะเผาเนื้อพอร์ซเลนที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไป และผลที่ได้จากการทดสอบยังแตกต่างกันระหว่างเนื้อพอร์ซเลนที่เคลือบผิวกับไม่เคลือบผิว โดยเนื้อพอร์ซเลนที่ไม่ได้เคลือบผิวจะมีความหนาแน่นมากกว่าเนื้อพอร์ซเลนที่เคลือบผิวอันเนื่องมาจากสารที่เคลือบผิวของเนื้อพอร์ซเลนจะปิดกั้นไม่ให้กาซซึมออกมาได้

โดยปกติแล้วการเผาลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนที่อุณหภูมิสูงจนเกินไปจะเกิดช่องว่างแบบเปิดที่มีขนาดใหญ่อันเนื่องมาจากการระเหยเป็นกาซของส่วนผสมในเนื้อพอร์ซเลน ส่งผลให้ความคงทนทางไฟฟ้าและทางกลลดลง และที่สำคัญยังทำให้ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนเกิดรอยร้าวที่สารเคลือบผิวได้ง่ายขณะทำการทดสอบแรงดึง อันเป็นสาเหตุให้ลูกถ้วยฉนวนแตกได้ง่ายยิ่งขึ้น ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ เนื่องจากการเผาลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนที่อุณหภูมิสูงจนเกินไปนอกจากจะเกิดกาซดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังทำให้ส่วนผสมทรายแก้วและส่วนผสมอื่นๆ สามารถละลายเพื่อเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น โดยเฉพาะรอยต่อระหว่างเนื้อพอร์ซเลนกับสารเคลือบผิว จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระหว่างเนื้อพอร์ซเลนกับสารเคลือบผิวไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อกระบวนการเผาในเตาได้ลดอุณภูมิลงจะทำให้เนื้อพอร์ซเลนหดตัวใกล้เคียงกับสารเคลือบผิว ส่งผลให้เกิดแรงกดเข้าหากันที่ชั้นสารเคลือบผิวน้อย เมื่อนำลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนที่เผาด้วยอุณหภูมิสูงมาทำการทดสอบแรงดึงทำให้แรงกดเข้าหากันที่ชั้นของสารเคลือบผิวที่มีอยู่เดิมช่วยหักล้างกับแรงดึงจากภายนอกได้ไม่มากนัก ส่งผลให้ชั้นสารเคลือบผิวต้องรับแรงดึงมากอันเป็นสาเหตุให้ชั้นสารเคลือบผิวแตกหรือมีรอยร้าวซึ่งเป็นสาเหตุให้ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแตกทั้งลูกตามมา[4] ดังนั้นควรใช้อุณหภูมิที่พอเหมาะที่ยังสามารถทำให้เนื้อพอร์ซเลนและชั้นสารเคลือบผิวยังคงมีความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวไว้ระดับหนึ่งส่งผลให้ลูกฉนวนพอร์ซเลนมีความคงทนทางกลเพิ่มขึ้น

5.2.2 ขนาดของส่วนผสมเนื้อพอร์ซเลน

รอยแตกหรือรอยร้าวในเนื้อพอร์ซเลนซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลกระทบต่อความคงทนทางกลและทางไฟฟ้า รอยแตกหรือรอยร้าวที่เกิดขึ้นนอกจากอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการเผาแล้วยังขึ้นอยู่

กับขนาดของส่วนผสมที่หลงเหลืออยู่ โดยที่ส่วนผสมที่มีขนาดใหญ่และทำให้เกิดรอยแตกหรือรอยร้าวได้ง่ายคือส่วนผสมทรายแก้ว[4]

ขณะเดียวกันตำแหน่งของการเกิดรอยแตกหรือรอยร้าวยังขึ้นอยู่กับขนาดของส่วนผสมทรายแก้วเช่นเดียวกัน ถ้าหากขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าหรือเท่ากับระยะห่างระหว่างจุดของโครงผลึกแล้ว รอยแตกหรือรอยร้าวที่เกิดขึ้นรอบๆอนุภาคจะสามารถเชื่อมต่อถึงกันระหว่างจุดภายในโครงผลึก ส่งผลให้กระบวนการเผาไม่สามารถลดปริมาณช่องว่างแบบเปิดลงได้ แต่การบดส่วนผสมทรายแก้วให้ได้ขนาดเล็กนั้นตามที่ต้องการนั้นทำได้ยาก จึงได้นำส่วนผสมผงอะลูมินามาแทนส่วนผสมทรายแก้วซึ่งมีขนาดเล็กกว่าส่วนผสมทรายแก้วและไม่ทำให้เกิดรอยแตกหรือรอยร้าวของจุดในโครงผลึก ย่อมส่งผลให้มีความแข็งแรงทางกลและทางไฟฟ้าสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติทางกลของลูกถ้วยฉนวนที่มีเนื้อฉนวนต่างกัน[4]

Property	Siliceous Porcelain		Aluminous Porcelain		Toughened glass: Alkali lime silica
Density(g/cm^3)					
- Bulk	2.26 - 2.42		2.60 - 3.25		2.30 - 2.60
- True, without pores	2.42 - 2.50		2.78 - 3.47		
Unglazed/Glazed	U	G	U	G	
Strength(MPa)					
- Flexuarl	42 – 90	56 - 120	100 - 140	120 – 170	200 - 250
- Tensile	21 – 42	28 - 56	50 - 70	60 – 80	100 - 120
- Compressive	280 – 450	380 - 690	400 - 600	500 – 700	700
Fracture impact engergy(J)	2.0 - 3.0		2.5 - 4.0		5.0 - 6.0
Modulus elastic,tensile(J)	55 - 80		80 – 120		60 - 70
Expansibility (20-100°C) ($x10^{-6}/^{o}K$)	3.5 - 5.5		4.6 - 6.0		8.0 - 9.5
Thermalconductivity ($W/m^{o}K$)	1.0 - 2.5		2.0 - 25.0		0.5 - 0.9
Specific heat (20-100°C)($J/g^{o}K$)	0.46 - 0.72		0.11 - 0.13		0.5 - 0.67

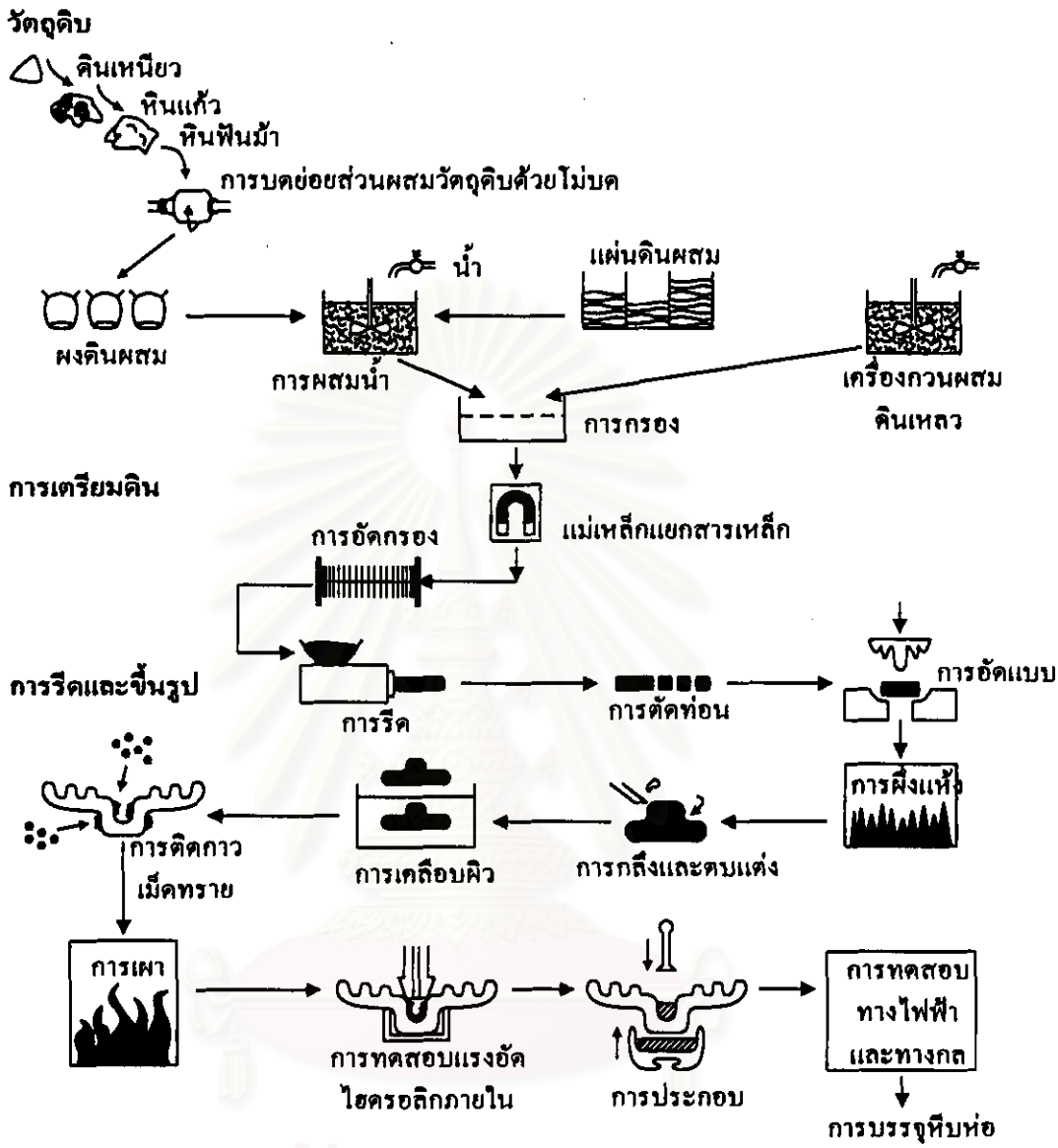
ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนที่มีเนื้อฉนวนต่างกัน[4]

Property	Unit	Siliceous Porcelain	Aluminous Porcelain	Toughened glass: Alkali lime silica
Permittivity				
(50 - 60 Hz, 20°C)	air = 1	5.0 - 6.5	6.0 - 7.5	7.3 - 7.5
(1 MHz, 20°C)	air = 1	4.8 - 5.6	5.0 - 6.5	7.1 - 7.5
Loss tangent				
(50 - 60 Hz, 20°C)	$x10^{-3}$	10.0 - 25.0	12.0 - 30.0	15.0 - 60.0
(1 MHz, 20°C)	$x10^{-3}$	5.0 - 12.0	5.0 - 12.0	5.0 - 12.0
Puncture strength				
(50 - 60 Hz, 20°C)	kV/mm	10.0 - 20.0	10.0 - 20.0	> 25.0
Impulse puncture strength (1/5 μs)	kV/mm	40.0 - 50.0	40.0 - 50.0	170.0 - 220.0
$\rho \equiv$ Volume resistivity				
20°C	Ω.cm	10^{13}	10^{12}	10^{12}
300°C	Ω.cm	10^{6}	10^{11}*	10^{5} - 10^{6}
$T_\rho \equiv$ Temperature for $\rho = 10^6 \Omega$.cm	°C	280 - 340	830 - 1070*	270 - 400

* ค่าจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปอร์เซ็นต์ของ Na เพิ่มขึ้น

5.3 กระบวนการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน

กระบวนการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนอาจทำได้ 2 วิธี[14] วิธีแรกเรียกว่า กระบวนการเปียก (Wet process) คือ ขึ้นรูปโดยการเทแบบหรือการกดอัดลงในแบบในขณะที่ส่วนผสมก้อนดินยังไม่แห้ง คือยังมีส่วนผสมของน้ำหรือความชื้นเพียงพอที่จะกดอัดได้ ตามกระบวนการผลิตลำดับขั้นตอน ดังรูปที่ 5.3 ส่วนรูปที่ 5.4 เป็นภาพการขึ้นรูปลูกถ้วยกระบวนการเปียกโดยวิธีการอัด(ก)และวิธีการกลึง(ข) ส่วนอีกวิธีหนึ่งเป็นกระบวนการแห้ง เป็นกระบวนการที่ใช้ส่วนผสมที่ได้ผ่านการบดจนละเอียด นำมาอัดให้แน่นตามรูปร่างของลูกถ้วยตามที่ต้องการ หลังจากนั้นจะนำไปเผาเช่นเดียวกับกระบวนการเปียก

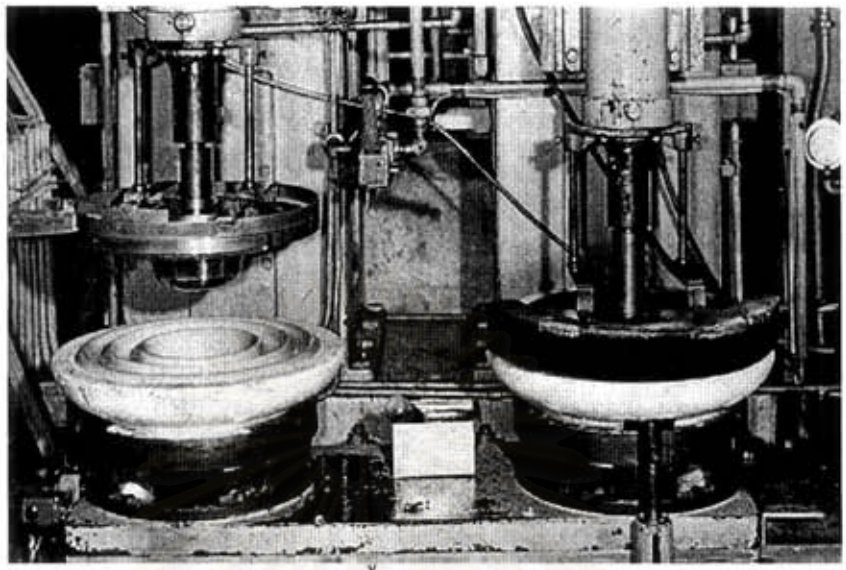


รูปที่ 5.3 ขั้นตอนกระบวนการผลิตลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนแบบเปียกสำหรับลูกถ้วยแขวนและก้านตรง[14]

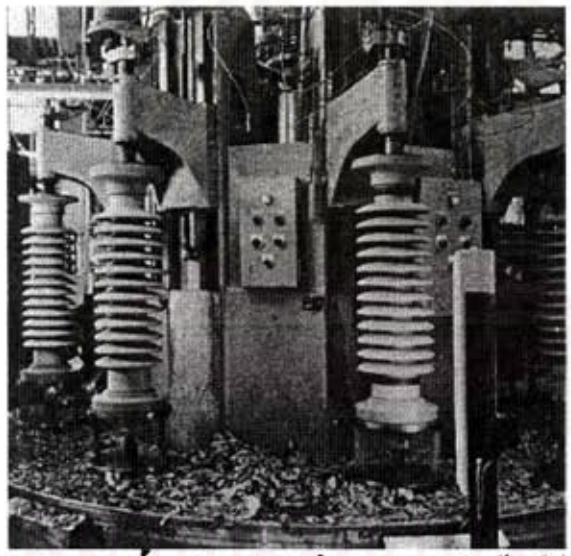
การผลิตลูกถ้วยฉนวนโดยวิธีกระบวนการเปียกมีขั้นตอนต่อไปนี้[14]

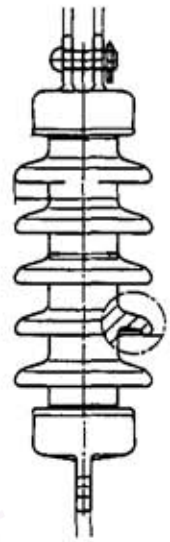
1) **เตรียมดินผงผสม** จะเริ่มต้นด้วยการนำวัตถุดิบที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดได้แก่ ดินเหนียว ดินขาว หินแก้ว หินฟันม้าซึ่งยังอยู่ในลักษณะเป็นก้อน และได้ผ่านการตรวจคุณสมบัติและคุณภาพโดยการสุ่มตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ในด้านเคมี ความร้อน และการตกตะกอนเรียบร้อยแล้วมาผสมตามอัตราส่วนที่ต้องการ

2) **บดวัตถุดิบกับน้ำ** ทำการบดด้วยไม่บดให้ละเอียดตามที่ต้องการและเป็นการกวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน



ก) การขึ้นรูปโดยการกดอัด





ข) การขึ้นรูปโดยการกลึง(สามารถผลิตด้วยวิธีกระบวนการแห้ง)

รูปที่ 5.4 ตัวอย่างภาพการผลิตลูกถ้วยด้วยวิธีกระบวนการเปียก[14]

3) **กรองสิ่งแปลกปลอมออก** เมื่อกวนผสมได้ที่แล้วจึงนำไปผ่านตะแกรงเพื่อคัดสิ่งเจือปนแปลกปลอมที่ไม่ต้องการออกและแยกสารประเภทเหล็กออกด้วยการใช้แม่เหล็กดึงดูดออกจากดินเหลว ก่อนที่จะผ่านไปเข้าเครื่องอัดกรองน้ำออก(Filter press)

4) **กรองน้ำออกด้วยผ้ากรอง** จะได้ดินผสมมีลักษณะเหมือนดินเหนียวปั้นได้

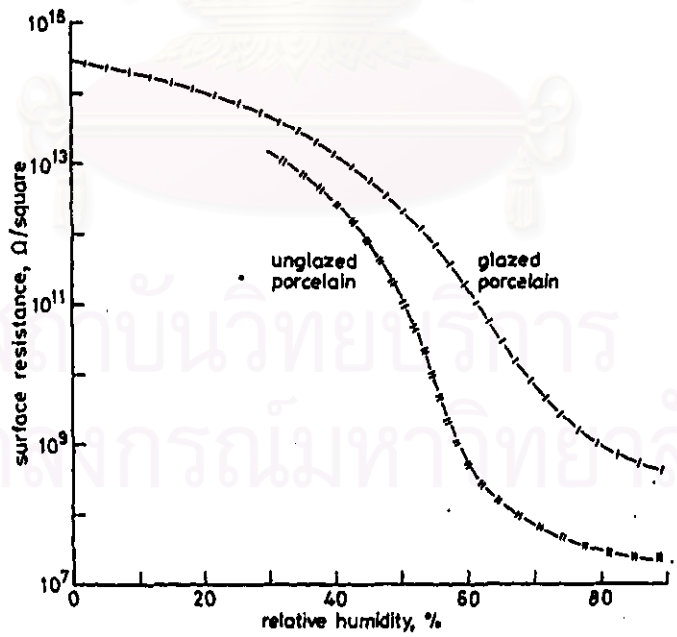
5)**รีดดินเหนียวผสมเป็นแท่ง** โดยการนำดินเหนียวผสมไปผ่านเข้าเครื่องรีดสุญญากาศ (Vacuum extrusion) เพื่อไล่ฟองอากาศ และให้เนื้อดินผสมอัดแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน รีดออกมาเป็นแท่ง

ทรงกระบอก ตัดออกเป็นท่อนๆ ณ ตำแหน่งนี้สามารถควบคุมส่วนผสมของความชื้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปขึ้นรูปแบบใด

6) **ขึ้นรูป** การขึ้นรูปอาจทำได้โดยการอัดแบบ (จากก้อนดินที่ยังมีความชื้นสูง) หรือขึ้นรูปโดยการขึ้นแท่นกลึง (จากก้อนดินที่มีความชื้นต่ำ)

7) **ผึ่งแห้ง** นำลูกถ้วยที่ขึ้นรูปแล้วผึ่งให้แห้งในบรรยากาศ หรือในห้องอบ เพื่อให้เนื้อดินแห้งถึงระดับที่ต้องการ

8) **การเคลือบ** ในสภาพใช้งานลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้ามีโอกาสได้รับสิ่งสกปรก ฝุ่นละออง เกลือ ความชื้น และสารเคมีเป็นต้น มาจับเกาะที่ผิวได้ง่ายหากผิวไม่เรียบมัน ฉะนั้นผิวลูกถ้วยฉนวนต้องเคลือบเสมอ จะทำให้ผิวมัน สิ่งสกปรกและฝุ่นละอองเกาะผิวได้ยากและเมื่อฝนตกก็จะถูกชะล้างออกได้ดีขึ้นด้วย การเคลือบอาจจะใช้วิธีพ่นถ้าลูกถ้วยนั้นมีขนาดใหญ่โต ถ้าลูกถ้วยขนาดเล็กอาจเคลือบด้วยวิธีจุ่มน้ำยาเคลือบหรือใช้วิธีราด โดยทั่วไปนิยมใช้เคลือบผิวด้วยวิธีจุ่มน้ำยาเพราะจะทำให้น้ำยาเคลือบฉาบผิวได้สม่ำเสมอ ผิวมันเรียบดีกว่า การเคลือบจะกระทำในกรณีลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนมีความชื้นประมาณ 1-2% โดยความชื้นที่ยังหลงเหลืออยู่จะซึมออกมายังผิวของเนื้อพอร์ซเลนและจะซึมผ่านสารเคลือบผิวอีกชั้นหนึ่ง[2] ดังรูปที่ 5.5 เป็นกราฟการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเชิงผิวระหว่างลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนที่เคลือบผิวกับไม่เคลือบผิวเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5.5 กราฟความต้านทานเชิงผิวที่เปลี่ยนแปลงตามความชื้นระหว่าง เนื้อพอร์ซเลนที่มีสารเคลือบผิวและไม่มีสารเคลือบผิว[4]

9) การเผา การเผาลูกถ้วยให้ได้พอร์ซเลนที่ดีมีคุณภาพต้องอาศัยเทคนิค การเผาต้องเป็นไปตามตารางการเผาหรือตามเส้นกราฟ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาให้เหมาะ นั่นคือ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอไม่ช้าหรือเร็วเกินไป ถ้าช้าเกินไปก็จะทำให้สิ้นเปลืองค่าเชื้อเพลิงเกินความจำเป็น แต่ถ้าเผาเร็วเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวหรือบิดเบี้ยวได้ เทคนิคสำคัญในการเผาก็คือ อัตราความร้อนที่ได้จากเตาต้องไม่เร็วกว่าอัตราการดูดความร้อนของผลิตภัณฑ์ และเผาที่อุณหภูมิหนึ่งให้นานพอ เพื่อให้เนื้อในของลูกถ้วยมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิข้างนอกของลูกถ้วยและเพื่อให้กาซที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีของเนื้อลูกถ้วยเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ออกจากผิวของลูกถ้วย คุณสมบัติของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าจะต้องไม่มีความพรุน จึงต้องเผาที่อุณหภูมิสูง คือ ที่อุณหภูมิ 1200°C, 1250°C และ 1280°C ในอัตราเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 120°C ต่อชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมินั้นนานราว 1 ชั่วโมง ตัวอย่างเส้นกราฟการเผา (อุณหภูมิ-เวลา) ดังรูปที่ 5.6 โดยมีรายละเอียดการเกิดปฏิกิริยาในเนื้อพอร์ซเลนดังนี้[4]

100 °C : ความชื้นหรือน้ำในเนื้อพอร์ซเลนเริ่มหมดไป

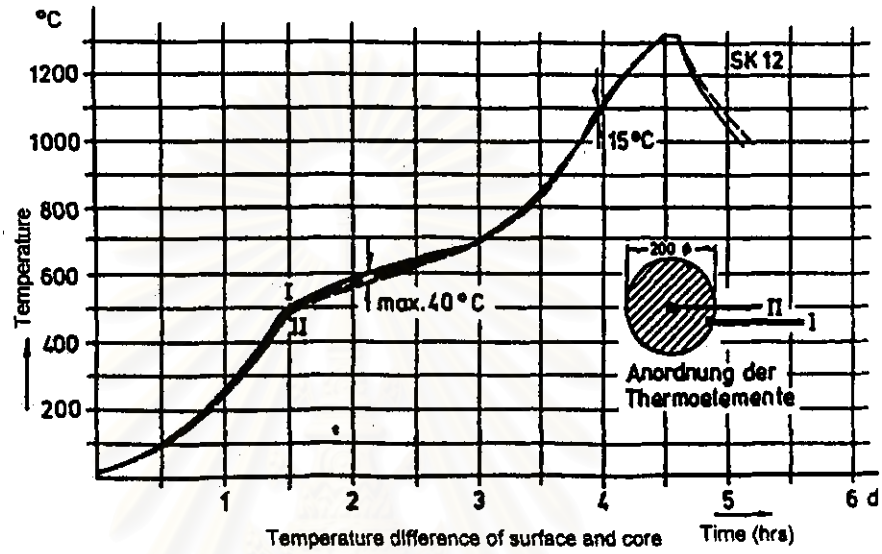
400°C - 650°C : สารเจือปนอินทรีย์เริ่มระเหยที่อุณหภูมิ 650°C . อะตอมของคาร์บอนเริ่มระเหยออกไป ที่อุณหภูมิ 573°C เกิดร่องรอยการขยายตัวเนื่องจากความร้อนซึ่งเป็นการเปลี่ยนโครงผลึกของส่วนผสมทรายแก้วจากโครงผลึกอัลฟา (α) มาเป็นโครงผลึกเบต้า (β) ช่วงอุณหภูมิ 450°C-650°C ดินเหนียวไม่สามารถนำกลับมาทำให้มีความชื้นหรือมีความยืดหยุ่นได้อีก

990°C : จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างหินฟันม้า , ซิลิกา และดินเหนียว กลายเป็นโครงสร้างของเนื้อพอร์ซเลน โดยที่ส่วนผสมที่มีขนาดเล็กจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าหากส่วนผสมที่มีขนาดใหญ่เช่น ทรายแก้ว จะเกิดปฏิกิริยาช้าส่งผลให้เกิดจุดบนโครงสร้างผลึก โดยจะมีสารละลายจากส่วนผสมอื่นมาล้อมรอบส่วนผสมทรายแก้วที่ยังหลงเหลืออยู่ ทำให้ไม่มีความต่อเนื่องของเนื้อสารพอร์ซเลน ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวไม่ต่อเนื่องและเกิดรอยร้าวเมื่อมีการลดอุณหภูมิลงซึ่งมีผลต่อความคงทนทางกลโดยตรง

ที่อุณหภูมิสูงกว่า 950°C ดินเหนียวที่ยังเกิดปฏิกิริยาไม่หมดจะเกิดปฏิกิริยาต่อไปซึ่งจะกลายเป็น Mullite ในขณะที่อะลูมินา , ซิลิเคทและซิลิกา จะเข้าทำปฏิกิริยากับของเหลวที่ละลายมาจากหินฟันม้า ความแข็งของเนื้อพอร์ซเลนขณะกำลังเผาขึ้นอยู่กับความเหนียวของโครงผลึกแก้วเหลว ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและส่วนผสมของโซเดียมและโปตัสเซียมที่อยู่ในหินฟันม้า และยังขึ้นอยู่กับการมีหรือไม่มี Alkaline earths ซึ่งเหมือนกับแคลเซียม การที่มีความเหนียวของโครงผลึกแก้วยิ่งมากยิ่งทำให้สามารถเผาที่อุณหภูมิสูงได้นานและมีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิได้ระหว่างการเผาได้มากขึ้น ซึ่งไม่ทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป โดยเฉพาะลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนที่มีขนาดใหญ่และยาว

สามารถแขวนด้านใดด้านหนึ่งซึ่งไม่ต้องมีการรองรับที่ฐาน และจะไม่ทำให้เกิดความผิดปกติจากแรงดึงที่เกิดขึ้นจากการแขวน

1100°C : สารที่เคลือบผิวเนื้อพอร์ซเลนจะทำปฏิกิริยากับเนื้อพอร์ซเลนบางส่วนตรงชั้นรอยต่อซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าวสารเคลือบผิวจะมีความแข็ง



รูปที่ 5.6 เส้นกราฟอุณหภูมิ-เวลา ของการเผาเนื้อพอร์ซเลน[14]

10) ประกอบชิ้นส่วนโลหะ เพื่อให้สามารถนำลูกถ้วยไปติดตั้งใช้งานได้อย่างมั่นคง จึงต้องมีการประกอบชิ้นส่วนโลหะเช่น ก้านโลหะสำหรับยึดกับเสาหรือไม้คอนหรือประกอบฝาครอบโลหะและข้อต่อเพื่อให้สามารถนำลูกถ้วยมาต่อซ้อนกันหรือห้อยเป็นพวงได้ในกรณีที่ต้องใช้กับแรงดันสูงขึ้น

11) การตรวจสอบและทดสอบคุณภาพ ก่อนจะบรรจุหีบห่อส่งจำหน่าย จะต้องทำการตรวจสอบดูสภาพความเรียบร้อย และทดสอบตามที่มาตรฐานกำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย