

กระบวนการผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator)

ดร.คชินท์ สายอินทวงศ์

ลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับสายไฟ ทำหน้าที่เป็นฉนวนและป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้ารั่วลงดินหรือลัดวงจรลงดิน เพราะถ้าปริมาณกระแส ที่รั่วไหลมีจำนวนมาก อุปกรณ์ป้องกันที่ติดตั้งก็จะตัดวงจรออก ทำให้การจ่ายไฟหยุดชะงัก ดังนั้นลูกถ้วยจึงมีความสำคัญตราบใดที่ยังมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปตามสายเหนือดิน (Over head line) ทั้งสายส่งแรงสูง (Transmission line) และสายระบบจำหน่าย (Distribution line) การผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator) จะหมดความสำคัญลงก็ต่อเมื่อมีการเดินสายไฟลงไปได้ดินเท่านั้น ในประเทศเรายังมีพื้นที่ๆยังไม่มีไฟฟ้าใช้อยู่อีกมากมายดังนั้นตราบใดที่เราจะต้องขยายหมู่บ้าน ส่งความเจริญไปยังดินแดนที่ห่างไกลเราก็ยังคงต้องการใช้งานลูกถ้วยไฟฟ้าอยู่ วัสดุที่นำมาทำลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) นั้นมีทั้งเซรามิก แก้ว โพลีเมอร์ แต่ที่มีความนิยมมากที่สุดในการใช้งานคือลูกถ้วยไฟฟ้าเซรามิกเนื้อ Porcelain

ลูกถ้วยที่ใช้งานในปัจจุบันมีหลายชนิดได้แก่

1. ลูกถ้วยก้านตรง (Pin insulators)
2. ลูกถ้วยแขวน (Suspension insulators)
3. ลูกถ้วยฟอกไทป์ (Fog type insulators)
4. ลูกถ้วยโพสท์ไทป์ (Post type insulators)
5. ลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยง (Strain insulators)
6. ลูกถ้วยตุกรอก (Spool insulators)
7. ตัวแยกสายไฟฟ้า (Cable spacer)

ลูกถ้วยก้านตรง

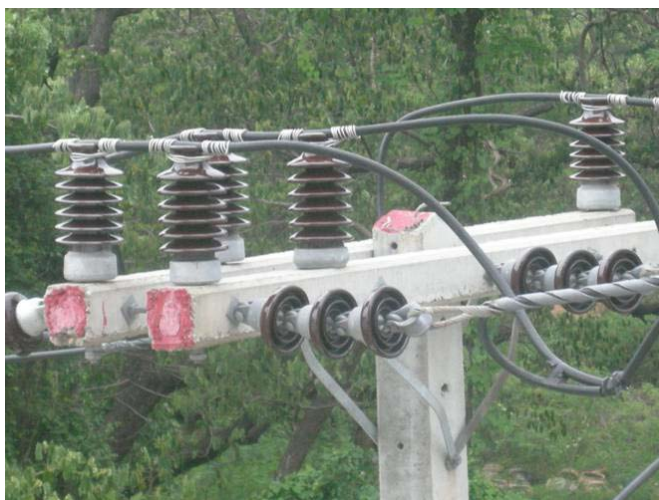
ลูกถ้วยชนิดนี้ใช้ทำเป็น Support สาย Overhead lines. ที่มีใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นพิกัด 22 และ 33 KV ตามมาตรฐาน EEI-NEMA ของสหรัฐอเมริกา เนื่องจากเหมาะสมกับ สภาพภูมิอากาศในบ้านเรา ลูกถ้วยถูกออกแบบให้รับน้ำหนักและมีค่า Mechanical strength สูงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของช่วงสายเมื่อเกิดฝนตก และลมพัดแรงที่อาจเกิดขึ้นได้ในบ้านเรา ลูกถ้วยที่ใช้กับแรงดันสูงจะต้องเคลือบสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) ไว้ที่บริเวณรองรับสายไฟ ที่อยู่ด้านบนของลูกถ้วย เพื่อป้องกันมิให้เกิดคลื่นวิทยุไปรบกวนระบบสื่อสารที่อยู่ใกล้เคียง



ลูกถ้วยแขวน

เป็นลูกถ้วยแบบ Suspension type โดยด้านบนและล่างของจานลูกถ้วยจะมีข้อต่อห่วงโลหะสำหรับเกี่ยวยึดกันเป็นชั้นๆ สายตัวนำจะถูกยึดไว้ด้วย suspension clamp ลูกถ้วยแขวนสามารถใช้กับเสาต้น dead end เพื่อรับสายไฟที่มีแรงดึงสูง จำนวนชั้นของลูกถ้วย ขึ้นอยู่กับระดับแรงดันไฟฟ้า ยิ่งแรงดันไฟฟ้าสูงจำนวนชั้นก็ยิ่งมาก กรณีที่ลูกถ้วยชำรุดสามารถถอดเปลี่ยนเฉพาะตัวที่ชำรุดได้ นิยมใช้มากในระบบแรงสูง เมื่อเราเลือกใช้ลูกถ้วยแขวนเป็น Support แทนลูกถ้วยแบบ Pin นั้น ลูกแบบแขวนมีข้อได้เปรียบคือ

1. ราคาติดตั้งลูกถ้วยแรกเริ่มถูกกว่าแบบ Pin type ที่มีขนาดทนแรงดันเท่ากันและเมื่อลูกถ้วยเกิดเสียหาย ค่าแรงในการเปลี่ยนลูกถ้วยถูกกว่าเนื่องจากลูกถ้วยแบบแขวนสามารถเปลี่ยนเฉพาะลูกถ้วยที่เสียหายได้ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนใหม่ทั้งหมด
2. การที่ลูกถ้วยแบบแขวน Suspension type มีความยืดหยุ่นได้นั้นทำให้ลดค่า Mechanical stress และแรงดึงจากสายใน Span ข้างเคียง
3. ลูกถ้วยแบบแขวน (Suspension type) สามารถใช้ตามขนาดของแรงดันไฟฟ้าโดยขึ้นอยู่กับจำนวนของลูกถ้วยเมื่อเราเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบให้สูงขึ้นเรายังสามารถนำลูกถ้วยเดิมมาใช้ต่ออนุกรมกันเพิ่มขึ้นได้โดยง่าย



ลูกถ้วยฟอกไทพ์

รูปร่างโดยทั่วไปคล้ายกับลูกถ้วยก้านตรงแบบแรงสูงแต่มีครีบริบชั้นมากกว่าและระยะสูงกว่า ลูกถ้วยชนิดนี้ออกแบบไว้ใช้ แถบชายทะเลที่มีมลภาวะไอเกลือจากทะเลสูงมากรวมทั้งป้องกันการเกิด flashover หรือเกิด leak ซึ่งลูกถ้วยก้านตรงทั่วไป ไม่สามารถป้องกันการคราบเกลือเกาะตามลูกถ้วยได้ ถ้าหากใช้ลูกถ้วยก้านตรงทั่วไปในบริเวณดังกล่าวต้องทาครีบลูกถ้วย ด้วย silicon compound เพื่อป้องกันการคราบเกลือเกาะ แต่ต้นทุนจะสูงกว่าการใช้ลูกถ้วยฟอกไทพ์



ลูกถ้วยโพลีไทพ์

ใช้ลูกถ้วยชนิดนี้ แทนการใช้ลูกถ้วยก้านตรงขนาด 33 KV. หรือลูกถ้วยแขวนเพราะมีความปลอดภัยมากกว่า การติดตั้งลูกถ้วยในระบบสายส่ง อาจเป็นแนวนอนหรือแนวตั้งก็ได้ แต่ส่วนใหญ่ติดตั้งในแนวนอนและสลับด้านซ้าย-ขวาของเสา โดยมี clamp ที่ด้านปลายลูกถ้วย เป็นตัวยึดสายไฟ โดยให้สายไฟพาดผ่านด้านบนบนหัวของลูกถ้วย





ลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยง

สายยึดโยงในระบบจ่ายไฟฟ้านั้น มีหน้าที่รับแรงดึงของสายไฟที่มีต่อเสาไฟฟ้า เพื่อให้เสาอยู่ในสภาพสมดุล โดยสายยึดโยงนั้นใช้ลวดเหล็กตีเกลียวขนาดตามความเหมาะสม ยึดกับเสาไฟฟ้าด้วยสลักเกลียว ประกอบที่จุดสำหรับทำสายยึดโยงที่หัวเสา ส่วนปลายยึดกับห่วงรองก้านสมอบก แต่เนื่องจากลวดเหล็กตีเกลียวติดตั้งไว้สูง ใกล้กับสายไฟแรงสูง จึงต้องมีฉนวนป้องกันกระแสรั่วไหลจากหัวเสาผ่านไปตามสายยึดโยง และอาจเป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่ใกล้เคียงหรือสัมผัสกับสายยึดโยง และเนื่องจากฉนวนนี้ขึ้นอยู่กับสายยึดโยงซึ่งมีแรงดึงมาก ดังนั้นฉนวนหรือลูกถ้วยสำหรับสายยึดโยงจึงต้องมีความสามารถในการเป็นฉนวนที่ตีรวมทั้งทนแรงดึงหรือแรงกดได้สูงอีกด้วย และเนื่องจากวัสดุที่เป็นเซรามิกเนื้อ Porcelain จะทนแรงอัด (Compressive) ได้ดีกว่าแรงดึง (Tension) มาก ดังนั้นลูกถ้วยจึงถูกออกแบบมาให้รับแรงยึดโยง ในลักษณะแรงอัดได้มากกว่าแรงดึง



ลูกถ้วยฉนวน

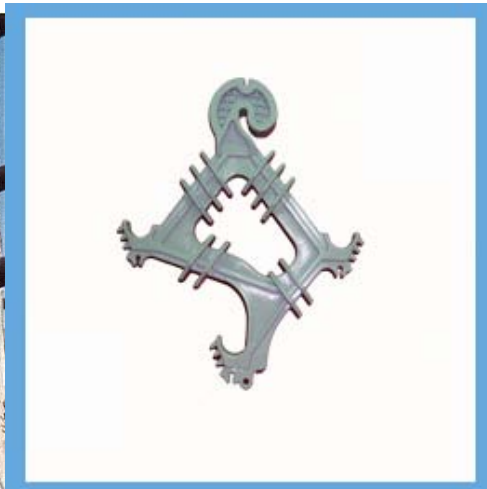
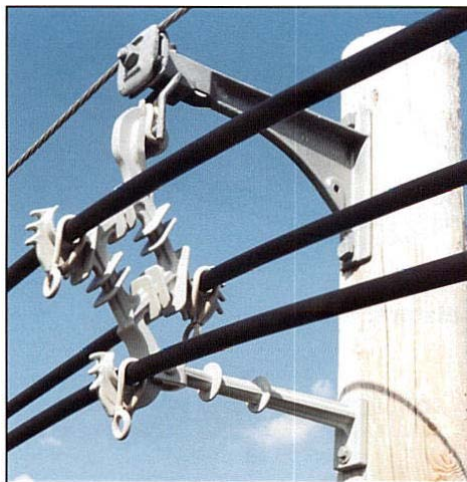
ใช้รองรับสายในระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ มีลักษณะเป็นคล้ายลูกกรอก ใช้ประกอบกับ rack โดยสายไฟจะพาดผ่านร่องกลางของลูกถ้วย สามารถติดตั้งได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้งขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่ที่จะติดตั้ง





Cable spacer

สายไฟฟ้าแรงสูงในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังเป็นระบบการเดินสายบนอากาศซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปักเสาพาดสายไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังชุมชนต่าง ๆ ดังนั้นเมื่อมีหมู่บ้านใหม่เกิดขึ้น ระบบไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเดินสายไฟฟ้าใหม่เพิ่มขึ้นดังนั้นจึงต้องมีการใช้ลูกถ้วยแบบแยกสายไฟฟ้าหรือ Cable Spacer ซึ่งสามารถจะยังใช้เสาไฟฟ้าเดิมได้เพียงแค่เดินสายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นดีกว่าการปักเสาไฟฟ้าใหม่ การใช้ Cable Spacer นี้ทำให้สามารถเพิ่มสายไฟฟ้าเพื่อเพิ่มปริมาณการส่งกระแสไฟฟ้าให้กับพื้นที่ต่าง ๆ ได้ทันที



กระบวนการผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator)

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับเนื้อดินลูกถ้วยไฟฟ้า

วัตถุดิบหลักจะใช้โพแทสเซิลด์สปาร์ ดินขาว ดินดำที่มีความเหนียวสูง ทรายละเอียด อลูมิน่า โคลโลไมท์ ซึ่งการที่เลือกโพแทสเซิลด์สปาร์ เป็นหลัก โดยที่อาจจะมีส่วนของ โซเดียมอยู่บ้างในเฟลด์สปาร์นั้นเป็นเพราะโพแทสเซิลด์สปาร์หลอมตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าโซเดียม ทำให้ไม่เกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานที่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูง สำหรับดินดำนั้นใส่เข้าไปเพื่อให้ความเหนียวสำหรับการขึ้นรูป ซึ่งในธรรมชาติดินนั้นเมื่อดินนั้นมีความเหนียวที่ดีก็จะมี การหดตัวที่สูงขึ้น ไปด้วยซึ่งในลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) นั้นถ้าเนื้อดินมีการหดตัวที่สูงเกินไปก็จะเกิดปัญหาในระหว่างการอบแห้งได้ เราจึงจำเป็นต้องใส่ดินขาวลงไปเพื่อเบรคการหดตัวของเนื้อดินไม่ให้สูงเกินไป บางโรงงานอาจมีการเติม Bentonite ลงไป 1-3% เพื่อเพิ่มค่า Plasticity ของเนื้อดินให้สูงขึ้น ทำให้การขึ้นรูปได้ดีและมีความเสียหายลดลง

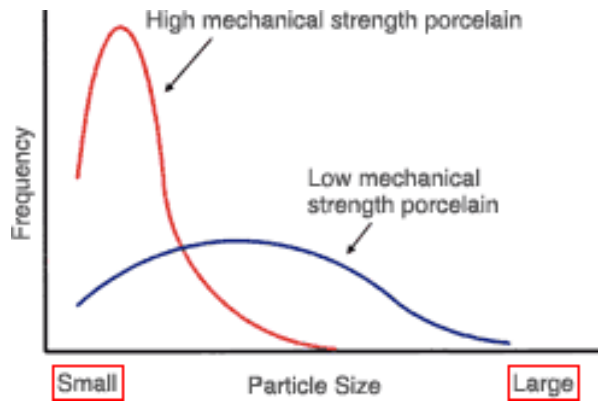
สำหรับทรายนั้นใส่ลงไปเพื่อเป็นโครงสร้างหลักที่จะนำไปสู่การเกิด Glassy phase ในเนื้อดิน

ส่วนอลูมิน่าจะใส่ลงไปเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์หลังเผา โดยเฉพาะค่า Tensile strength โคลโลไมท์ใส่ลงไปเพื่อช่วยลดจุดยูเทคติกของโพแทสเซิลด์สปาร์ทำให้การหลอมตัวของเนื้อดินทั้งหมดดีขึ้นจึงช่วยลดครุพุนที่อยู่ในเนื้อดินระหว่างการเผาได้จนทำให้ชิ้นงานมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำมาก ใกล้เคียงศูนย์เปอร์เซ็นต์

กระบวนการเตรียมเนื้อดิน

วัตถุดิบสำหรับทำเนื้อดินของลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator) จะถูกชั่งตามสัดส่วนและนำไปบดรวมกันในหม้อบด โดยมีการเติมสารเคมีน้อยมาก อาจมีการเติมโซเดียมซลิเกตลงไปบ้างเพื่อลดค่าความเหนียวของน้ำดินซึ่งจะทำให้การบดมีประสิทธิภาพมากขึ้นและการถายนํ้าดินเป็นไปด้วยดีไม่มีน้ำดินเหลือติดอยู่ภายในหม้อบด การที่เราไม่เติมโซเดียมซลิเกตลงไปนั้นหม้อบดมากนั้นก็เพราะในการขึ้นรูปลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator) นั้นจะมีเศษดินเหลือจากการขึ้นรูปมากกว่า 30% ซึ่งเศษดินเหล่านี้จะถูกส่งกลับไปตีควนเป็นน้ำดินใหม่ใน High speed blunger ซึ่งจะทำให้การคำนวณ %โซเดียมซลิเกตไม่แน่นอนได้ นอกจากนี้หลังจากการบดจะผ่านเครื่อง Filter press เพื่อรีดน้ำออกจึงใช้ความหนาแน่นของน้ำดินที่ต่ำได้ ดังนั้นการเติมโซเดียมซลิเกตลงไปเพื่อปรับการไหลตัวจึงไม่จำเป็นมากนัก แต่โดยทั่วไปก็จะมีการเติมลงไปในส่วนน้ำดินประมาณ 0.2-0.5% เนื่องจากน้ำดินของลูกถ้วยไฟฟ้านั้นจะมีสัดส่วนของดินดำที่มีความเหนียวอยู่ในส่วนมากกว่า 30% ซึ่งดินดำเหล่านี้จะทำให้น้ำดินมีความเหนียวสูงขึ้นดังนั้นเราจึงควรเติมโซเดียมซลิเกตลงไป

การบดน้ำดินสำหรับลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) นั้นจะบดในหม้อบดที่ใช้ได้ทั้งลูกบดแบบหิน (Pebble stone) และลูกบดอลูมิน่าแต่โดยทั่วไปในปัจจุบันจะนิยมบดด้วยลูกบดอลูมิน่ามากกว่าเพราะใช้ชั่วโมงบดที่น้อยกว่าและได้ความละเอียดที่ดีกว่ารวมทั้งเมื่อลูกบดอลูมิน่าสึกไปเราก็จะได้เนื้ออลูมิน่าที่เราต้องการเติมอยู่แล้วในเนื้อดินของลูกถ้วยไฟฟ้า การที่เราต้องการให้ได้ความแข็งแรงหลังเผานั้นเราจำเป็นจะต้องบดเนื้อดินให้มีความละเอียดสูง และควรให้มีค่าการกระจายตัวของอนุภาคค่าและค่าเฉลี่ยของอนุภาคก่อนไปทางละเอียดคงกราฟ ค่า%Residue ที่เหมาะสมสำหรับเนื้อดินลูกถ้วยไฟฟ้าคือประมาณ 0.2-0.4% on 325 mesh



หลังจากอัดน้ำดินจนเป็นดินเล็กแล้วก็จะนำไปเข้าเครื่อง Pug mill เพื่อผสมดินเล็กที่อาจมีปัญหาความชื้นไม่เท่ากันทั่วแผ่น โดยที่ตรงกลางแผ่นและแต่ที่ขอบของแผ่นแห้งแข็งและตลอดแถวของ Filter press ที่ด้านหน้าตรงบริเวณน้ำดินเข้า ด้านกลางแถวและด้านปลายแถว การผสมดินเล็กด้วย Pug mill จะช่วยให้ความชื้นของดินสม่ำเสมอขึ้น หลังจากผ่าน Pug mill แล้วก็จะนำไปเรียงบนฟิลเลทและคลุมผ้าพลาสติกไว้อย่างน้อยหนึ่งวันเพื่อหมักให้เนื้อดินแห้ง (ที่ยังไม่ได้ดูดอากาศ) มีความชื้นที่สม่ำเสมอขึ้นหลังจากนั้นจึงนำไปเข้าเครื่อง Extrusion เพื่อดูดอากาศและรีดดินให้เป็นแท่งตามเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่เราต้องการในการขึ้นรูปชิ้นงานลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) ซึ่งคุณภาพของดินแท่งนี้จะเป็นส่วนสำคัญอย่างมากที่จะทำให้การขึ้นรูปมีคุณภาพดีได้ โดยคุณภาพที่ต้องควบคุมจะมีเรื่องของความชื้นดินแท่ง ความสามารถในการดูดอากาศ การตรวจสอบฟองอากาศที่อาจเกิดขึ้นในเนื้อดิน อุณหภูมิที่เปลือกของดินแท่ง ค่าความแข็งของดินแท่งที่วัดโดยเครื่อง Hardness tester การตรวจเช็ค Liner barrel และ ใบ Screw ระยะห่างระหว่างLiner barrel กับใบ Screw





การควบคุมความชื้น และความหนาแน่นของดินแท่ง นั้นเนื่องจากลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator) มีรูปทรงที่ซับซ้อนและมีขนาดปีกและลำตัวที่แตกต่างกันมาก โดยเฉพาะพวก Pin post, Fog type ทำให้การหดตัวระหว่างปีกและลำตัวมีความแตกต่างกัน ซึ่งถ้ามีความแตกต่างมากเกินไปอาจจะส่งผลต่อการแตกร้าวของปีกลูกถ้วยได้เมื่อผ่านการอบแห้ง

ดินแท่งจะถูกหมักไว้อย่างน้อยสองถึงสามวันเพื่อให้ความชื้นด้านในและด้านนอกของดินแท่งมีความใกล้เคียงกันมากขึ้นก่อนที่จะนำไปเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator) ถ้าดินแท่งมีปัญหาแห้งไม่ทันใช้งาน อาจจะมีการนำไฟฟ้ามาช็อตที่ดินเพื่อให้กระตุ้นการระเหยตัวของน้ำให้ออกไปนอกดินแท่งได้ ซึ่งจะทำให้ดินแท่งแห้งเร็วขึ้น



กระบวนการขึ้นรูปลูกถ้วยไฟฟ้า (Forming process for Electrical insulator)

การขึ้นรูปลูกถ้วยไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและรูปทรงของลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator) เป็นหลัก โดยส่วนใหญ่จะใช้ดินแท่งที่ได้จากการรีดผ่านเครื่อง Extrusion มาเข้าเครื่องกลึง ซึ่งแบบของลูกถ้วยแต่ละชนิด

ได้ถูกเขียนแบบและนำไปถ่ายแบบเพื่อนำมาทำ Drawing ซึ่งจะแตกต่างกันในรายละเอียดของลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) แต่ละชนิดไม่ว่าจะเป็นแบบ Spoon, Post, Suspension, Strain, Pin สำหรับทำใบมีดในการจิกเกอร์ (Jigging) เมื่อได้ใบมีดสำหรับงานจิกแล้วจะนำมาติดตั้งในเครื่องขึ้นรูปลูกถ้วยไฟฟ้า หลังจาก Set up เครื่องเรียบร้อยแล้วทางพนักงานจะนำดินแท่งมาตั้งบนเครื่องและทำการล็อกหัว-ท้ายของดินให้แน่น หลังจากนั้นเมื่อเปิดเครื่องดินแท่งที่ถูกล็อกไว้จะถูกทำให้หมุนแล้วใบมีดก็จะเคลื่อนเข้าไปยังตัวดินแท่งเพื่อทำการตัดดินให้ได้รูปทรงตามที่เราได้กำหนดไว้แล้วที่หัวใบมีด การเคลื่อนตัวของใบมีดนั้นมีทั้งแบบ Manual คือใช้พนักงานเป็นคนเลื่อนใบมีดไปตามรอยจิกของใบมีด กับแบบ Auto ซึ่งเครื่องจะมีตัว Limit switch และใบมีดจะถูกทำให้เคลื่อนตัวด้วยระบบนิวเมติก เมื่อใบมีดเข้าไปสุดจนถึง Limit switch ที่กำหนด ระบบนิวเมติกก็จะสั่งการให้ใบมีดถอยออกมาในขณะที่ใบมีดใบต่อไปจะถูกเลื่อนเข้าไปแทนที่

ปัจจัยที่สำคัญในการขึ้นรูปลูกถ้วยไฟฟ้าคือ ความแข็งของดินแท่ง, ความคมของใบมีด, ระยะเวลาของใบมีด, Center ของการหมุนดินแท่ง หลังจากการจิกเกอร์แล้วจะนำไปคว้าน ตามรูปทรงที่ต้องการเพิ่มเติม และนำไปตกแต่งเช็ดน้ำให้ผิวหน้าเรียบปราศจากรอยใบมีด แล้วจึงนำไปขึ้นรถสำหรับรอกการอบแห้งต่อไป

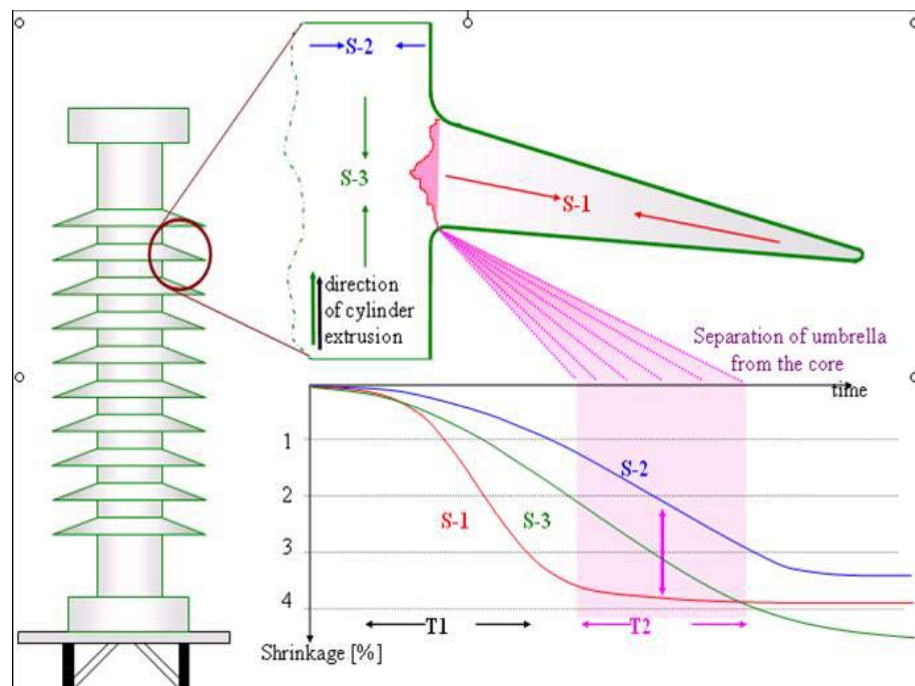


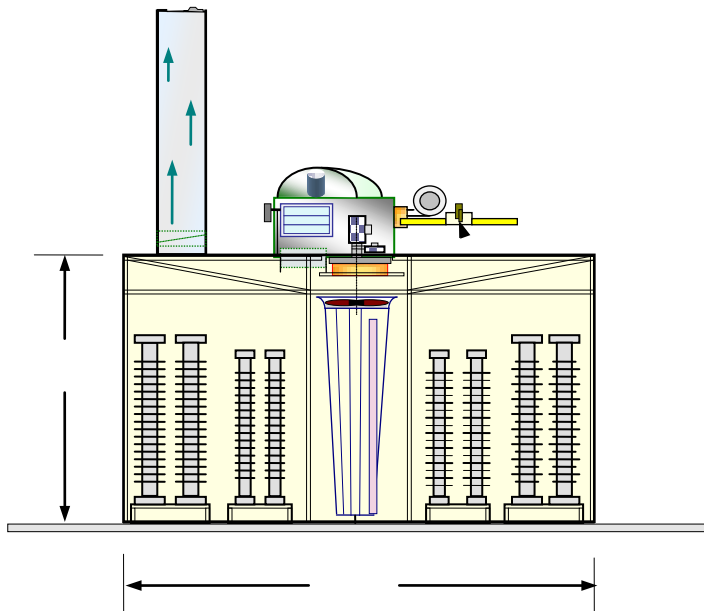
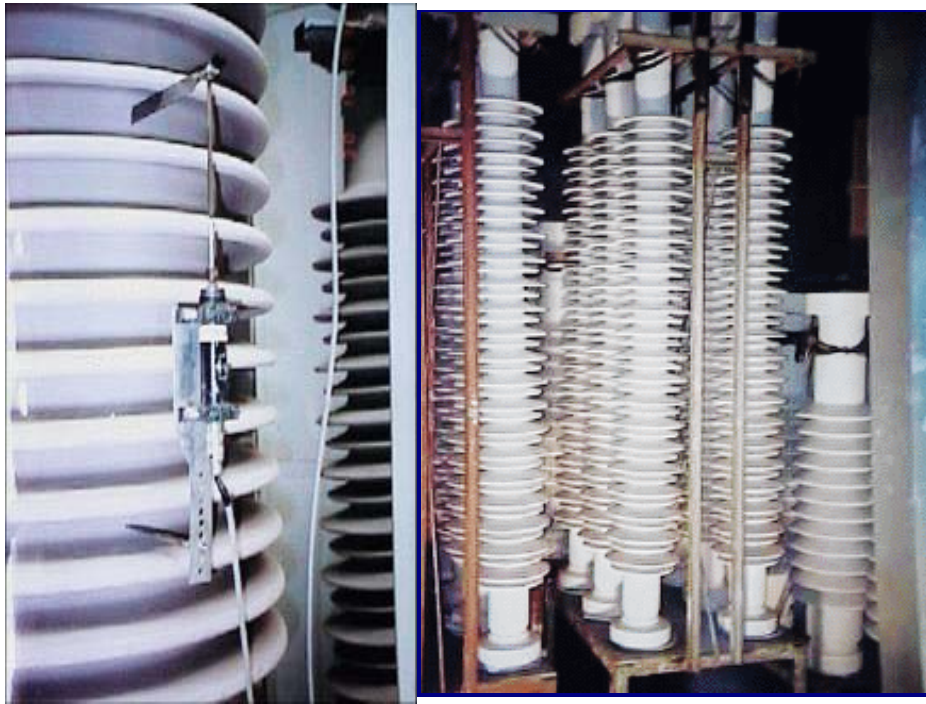


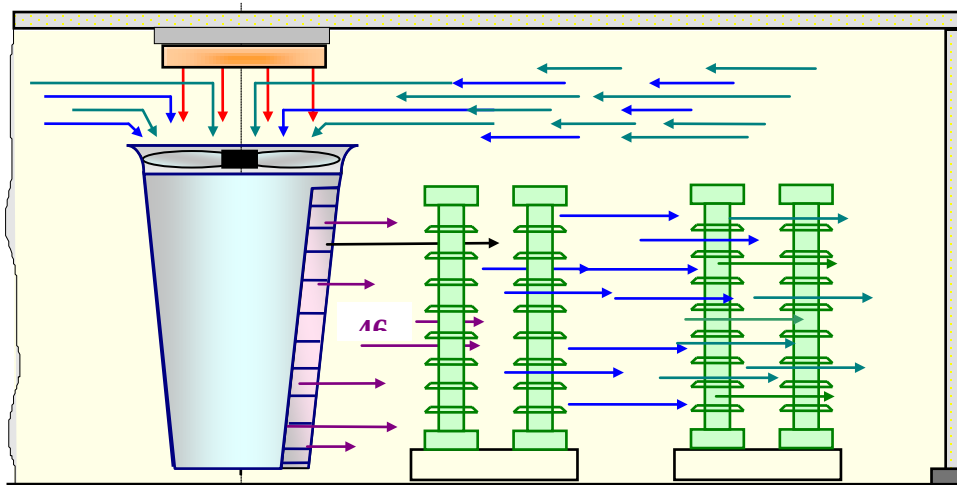
กระบวนการอบแห้งลูกถ้วยไฟฟ้า (Drying process for Electrical insulator)

การอบแห้งลูกถ้วยไฟฟ้านั้นถือว่าเป็นกระบวนการสำคัญ เป็นหัวใจของการผลิตลูกถ้วยไฟฟ้าเลยทีเดียว โรงงานที่จะผลิตของที่มีคุณภาพดีและของเสียน้อยจะต้องมีความเข้าใจในหลักการอบแห้งลูกถ้วยเป็นอย่างดี เนื่องจากลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator) นั้นจะมีรูปทรงที่ซับซ้อนมีทั้งส่วนที่เป็นลำตัวและส่วนที่เป็นปีกซึ่งมี

ความหนาบางไม่เท่ากัน ซึ่งถ้าไม่ระมัดระวังในการอบที่ดีก็จะทำให้ลูกถ้วยไฟฟ้าแตกร้าวได้ง่าย โดยแตกตั้งแต่เป็นชิ้นงานดิบ จากภาพแสดงการหดตัวของลูกถ้วยไฟฟ้าในระหว่างการอบ จะเห็นว่าในช่วงต้นของการอบแห้งที่บริเวณปีกจะมี%การหดตัวสูงที่สุดในขณะที่ลำตัวในด้านกว้างของลูกถ้วยจะมีการหดตัวต่ำที่สุด ดังนั้นถ้าเราเร่งการอบในช่วงต้นจะทำให้ปีกมีการหดตัวมากกว่าลำตัวมากจนทำให้เกิดการแตกร้าวที่ปีกลูกถ้วยได้ง่าย การอบลูกถ้วยให้มีของเสียน้อยที่สุดเราจำเป็นต้องรู้ว่าเนื้อดินของเราหดตัวในช่วงใดมากและในแต่ละตำแหน่งของลูกถ้วยมีการหดตัวแตกต่างกันอย่างไร จุดวิกฤตของการอบแห้งอยู่ที่เวลาและอุณหภูมิเท่าใด เมื่อมีข้อมูลที่ครบแล้วเราก็จะสามารถออกแบบ Curve ของการอบแห้งได้อย่างเหมาะสม การอบลูกถ้วยไฟฟ้าที่ดินนั้นจะต้องออกแบบ Drying curve ให้เหมาะสมกับชนิดของลูกถ้วย และถ้าจะเร่งให้การอบใช้ระยะเวลาเร็วขึ้นเราจำเป็นต้องทำให้มีกระแสลมไหลเวียนภายในห้องอบแห้งรวมทั้งการควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสมกับ Drying curve ซึ่งรายละเอียดการอบแห้งผลิตภัณฑ์เซรามิกจะขอเขียนถึงอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง หลังจากผ่านการอบแห้งแล้วความชื้นหลังอบแห้งในลูกถ้วยไฟฟ้าไม่ควรเกิน 1% เพื่อว่าหลังจากชุบเคลือบไปแล้วเราจะมีปริมาณความชื้นในลูกถ้วยไฟฟ้าในระหว่างการเผาสูงซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาแตกร้าวหรือระเบิดในเตาได้







กระบวนการเคลือบ

ลูกถ้วยไฟฟ้า(Electrical insulator) นั้นส่วนใหญ่จะใช้วิธีการชุบเคลือบเนื่องจากชิ้นงานมีทั้งส่วนที่เป็นลำตัวและเป็นปีก ซึ่งถ้าใช้การสเปรย์จะทำให้ไม่ทั่วถึง เคลือบที่ใช้สำหรับลูกถ้วยนั้นจะเป็นเคลือบ Porcelain ที่มีองค์ประกอบของวัตถุดิบทั้งหมด วัตถุดิบหลักที่ใช้ในเคลือบนั้นได้แก่ เฟลด์สปาร์ ซึ่งเน้นที่มีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าโซดา ดินขาว หินปูน แบริมคาร์บอเนต โดโลไมท์ ควอทซ์ และออกไซด์ที่ใส่ได้แก่ เหล็กออกไซด์ แมงกานีสออกไซด์ โครเมียมออกไซด์ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) ไม่จำเป็นต้องเป็นสีน้ำตาลเข้มเช่นที่นิยมทำกันในปัจจุบันก็ได้ ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นหรืออเมริกาก็ยังมีการใช้ลูกถ้วยสีขาวหรือสีเทาอ่อนอยู่

น้ำเคลือบจะถูกบดด้วยหม้อบดที่ใช้ลูกบอลลูมิน่า บดให้ได้ความละเอียดสูง โดยให้%กากข้างตะแกรงที่ 325 เมช อยู่ในช่วง 0.2-0.6% ให้ได้ PSD ที่ d90~15-20 micron ปรับค่าความถ่วงจำเพาะสำหรับการชุบเคลือบอยู่ที่ $D=1.45-1.48 \text{ g/cc}$ และปรับค่า Overswing ที่ 250-280

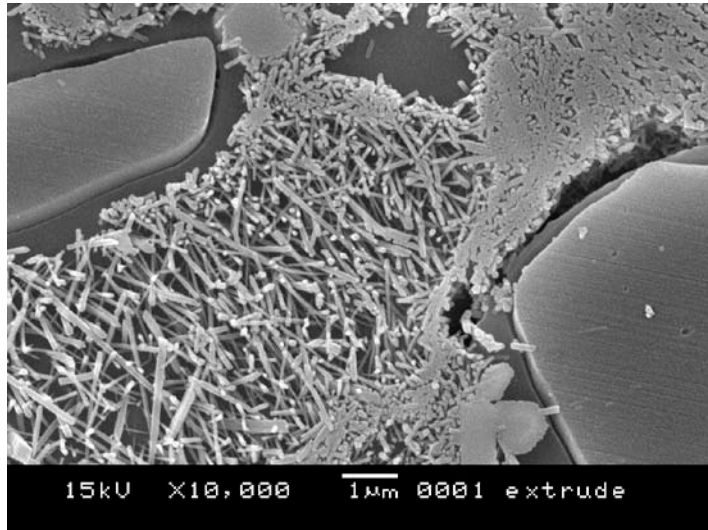
ก่อนการชุบเคลือบลูกถ้วยบางประเภทจะมีการชุบเทียนไขหรือ Wax ที่ฐานรองก่อนเพื่อไม่ให้เคลือบไปติดที่ฐานรองจะได้ไม่ต้องมาทำการเช็ดกันซ้ำในภายหลัง หลังจากชุบเคลือบแล้วจะมีการติดสติ๊กเกอร์และทำการโรยเม็ดดินที่บริเวณฐานที่สำหรับใช้ในการประกอบกับ Cap เม็ดดินนั้นทำมาจากเนื้อดินนั่นเองเพียงแต่มาทำให้มีลักษณะเป็น Granule เล็กๆ วัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นตัวทำให้ปูนซีเมนต์กับเนื้อลูกถ้วยยึดติดกันดีมากขึ้นในขณะที่ปูนซีเมนต์เริ่มเซตตัวอยู่ใน Cap ในระหว่างการประกอบลูกถ้วยไฟฟ้า



กระบวนการเผา (Firing process for Electrical insulator)

ลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) จะเผาโดยใช้เตา Shuttle เป็นหลัก โดยการเรียงนั้นจะใช้แผ่นรองเผาที่เป็นเนื้อ SiC เนื่องจาก SiC สามารถที่จะรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงได้ดี เนื่องจากลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) ที่เรียงเผานั้นจะมีน้ำหนักมาก บรรยากาศในการเผาจะเป็นบรรยากาศแบบรีดักชัน เนื่องจากบรรยากาศแบบรีดักชันจะทำให้เกิดเฟสของ Mullite ได้ดีกว่า ทำให้ลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator) มีความแข็งแรงมากขึ้น การปรับบรรยากาศรีดักชันนั้นจะเริ่มปิด Damper ตั้งแต่อุณหภูมิ 950-1000 °C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 1250-1280 °C และขึ้นไฟไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ เนื้อผลิตภัณฑ์ของลูกถ้วยไฟฟ้าจะมีผลึกของ Mullite อยู่ในปริมาณมาก ซึ่งถ้ามีการเผาที่สมบูรณ์เพียงพอที่จะได้เป็น Secondary mullite ที่มีรูปทรงเป็นผลึกรูป

เพิ่ม มีค่าAspect ratio ที่สูง ซึ่งทำให้เนื้อดินมีค่าความแข็งแรงที่สูงมาก นอกจากนี้จะมีผลึกของออลูมินาและ Quartz grain แทรกอยู่ ซึ่ง Quartz grain จะมีค่า COE ที่แตกต่างกับ Glassy phase และ Mullite ทำให้เกิดรอยร้าวเล็กๆขึ้นระหว่าง Grain ซึ่งการที่มีรอยร้าวเล็กๆเช่นนี้จะช่วยให้เนื้อดินเมื่อได้รับแรงกระทำเช่น Load ของเครื่องหามOR เมื่อใกล้ถึงจุดที่แตกร้าวรอยร้าวเล็กๆเหล่านี้จะช่วยดูดซับแรงทำให้รอยร้าวใหญ่ไม่ทะลุผ่าน Grain ไปในทันที ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มค่าความแข็งแรงของเนื้อดินได้อีกมาก

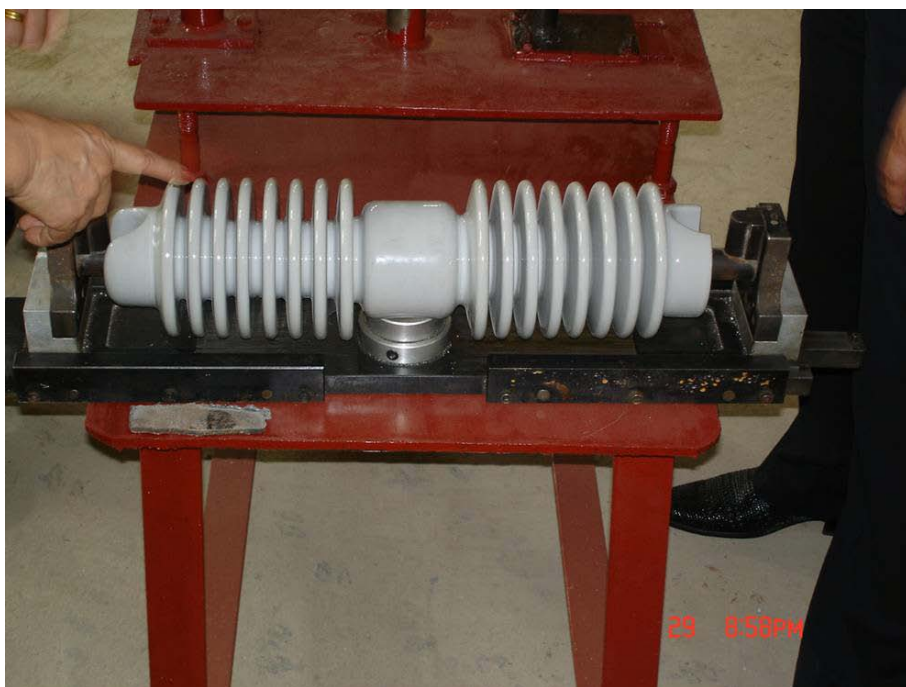


ภาพแสดงผลึกของ Mullite ในเนื้อดินลูกถ้วยไฟฟ้า (Electrical insulator)



กระบวนการประกอบและทดสอบ

เมื่อพนักงานเตานำลูกถ้วยไฟฟ้าลงจากเตาก็จะทำการคัดลูกถ้วยไฟฟ้าที่เป็นตำหนิออกไปเพื่อำนำไปซ่อมได้หรือถ้าตำหนินั้นมืขนาดใหญจนซ่อมไม่ได้ก็จะนำออกไปเพื่อำหรอการนำไปทิ้งหรือทำลายหรือนำกลับมา Recycle ตำหนิที่พบบ่อยของลูกถ้วยไฟฟ้าได้แก่ ร้าว โดยเฉพาะร้าวบริเวณปีกลูกถ้วย ปัญหาเรื่องรูเข็ม รูลึก ปัญหาเรื่องจุดเหล็ก ปัญหาเรื่องเคลือบถลอก ปัญหาลูกถ้วยไฟฟ้าเบี้ยวหรือเอียง หลังการคัดเกรดของลูกถ้วยแล้ว ลูกถ้วยไฟฟ้าบางชนิดจะต้องทำการประกอบเข้ากับ Cap โลหะที่ทำมาจากสังกะสีเพื่อใช้เป็นฐานยึดกับเสาไฟฟ้า โดยมีปูนซีเมนต์เป็นตัวประสานภายในระหว่างลูกถ้วยที่เป็นเซรามิกกับ Cap ที่เป็นโลหะ ปูนซีเมนต์ที่ใช้นั้นจะใช้ ปูนซีเมนต์ Portland Type3 ที่มีคุณสมบัติ High early strength ทำให้ความแข็งแรงของ Cap เร็วขึ้น หลังจากบ่มไว้ อย่างน้อย 7 วันก็สามารถนำไปทดสอบกับกระแสไฟฟ้าแรงสูงเพื่อดูจุดรั่วไหลได้ คูปัญหาเรื่อง Flash over ที่จะทำให้เกิดการลัดวงจรได้ นอกจากการทดสอบกับไฟฟ้าแล้วก็ต้องมีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้วยได้แก่ ค่า Tensile strength, %Water absorption หลังจากทดสอบคุณสมบัติต่างๆแล้วก็ทำการแพ็ค ลงลังและจัดเก็บเพื่อ พร้อมส่งให้กับลูกค้าต่อไป





ภาพแสดงการทดสอบหาค่าความแข็งแรงของฉนวนไฟฟ้า