

บทที่ 2

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิจัย

หัวเทียน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายไฟของรถยนต์ทำให้เกิดประกายไฟและนำไปสู่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ในที่สุด ส่วนประกอบหลักของหัวเทียนมี 2 ส่วนก็คือขั้วไฟฟ้า (Electrode) ซึ่งทำด้วยโลหะ เป็นตัวทำให้เกิดประกายไฟและฉนวนหัวเทียน ซึ่งทำด้วยเนื้อเซรามิก ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไฟฟ้าไม่ให้ไหลผ่านออกมาในทิศทางอื่นนอกจากตามขั้วโลหะเท่านั้น และยังทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ขั้วโลหะเกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนและบรรยากาศภายในห้องเผาไหม้ด้วย ทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมติดกันด้วยวัสดุเชื่อม (Sealing Material) ซึ่งยังทำหน้าที่เป็นตัวอุดไม่ให้เกิดการรั่วของก๊าซ (Gas Leakage) อีกด้วย หัวเทียนในปัจจุบันสามารถทำให้เกิดประกายไฟได้มากกว่า 200,000 ครั้งต่อชั่วโมง (สำหรับเครื่องยนต์ที่มีอัตราหมุน 3,600 รอบต่อนาที) หรือมากกว่า 60 ล้านครั้งในระหว่างอายุใช้งานประมาณ 16,000 กิโลเมตรหรือประมาณ 300 ชั่วโมง (Gualtieri, 1989)

2.1 สมบัติของเนื้อฉนวนหัวเทียน

นับตั้งแต่มีการผลิตหัวเทียนขึ้นใช้งานในปี ค.ศ. 1860 ก็ได้มีการพัฒนาเพื่อหาเนื้อวัสดุสำหรับใช้ผลิตฉนวนหัวเทียนให้เหมาะสมกับสมบัติที่ต้องการ ซึ่งอาจจะสรุปสมบัติต่างๆ ของเนื้อฉนวนหัวเทียนที่ต้องการได้ดังนี้ (Owens, Hinton, Insley และ Poland, 1977)

2.1.1 สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

1. ความแข็งแรง (Strength) ฉนวนหัวเทียนที่ดีจะต้องมีความแข็งแรงมากพอที่จะรับแรงกระแทกที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการเคลื่อนย้ายขนส่ง การติดตั้ง หรือในระหว่างการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตกร้าวบนเนื้อวัสดุซึ่งจะเป็นจุดอ่อนหาที่กระแสน้ำฟ้าร้าวไหลได้ง่าย

2. ความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง (Thermal strength) ฉนวนหัวเทียนที่ดีจะต้องทนต่อแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่มีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 1,300 ถึง 1,600 องศาเซลเซียสได้โดยไม่เกิดการแตกหักหรือเสียรูปร่างไป อันจะก่อให้เกิดอันตรายในการใช้งานได้

2.1.2 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

1. การนำความร้อน (Thermal conductivity) ฉนวนหัวเทียนที่ดีจะต้องสามารถระบายความร้อนได้ดี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ก่อนจังหวะ (Pre-ignition) ซึ่งเกิดจากการสะสมของความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งจนทำให้อุณหภูมิที่จุดนั้นสูงมากพอจะทำให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก่อนจังหวะการเผาไหม้ที่ถูกต้อง ซึ่งทำให้เกิดอันตรายได้

2. การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion) ฉนวนหัวเทียนจะต้องมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนใกล้เคียงกับโลหะที่ใช้ทำหัวไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่ามันจะยังคงยึดติดกับหัวโลหะแน่นอยู่ตลอดช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน นอกจากนั้นแล้วยังช่วยลดปัญหาการแตกหักเนื่องจากการขยายตัวที่ไม่เท่ากันระหว่างทั้งสองส่วนอีกด้วย

3. ความทนไฟ (Refractoriness) ฉนวนหัวเทียนจะต้องทนต่ออุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงมากโดยไม่เกิดการหลอมหรืออ่อนตัว ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายได้

4. การทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (Thermal shock resistance) ฉนวนหัวเทียนจะต้องทนสภาวะการปฏิบัติงานซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอยู่ตลอดเวลา จากอุณหภูมิของเชื้อเพลิงผสมอากาศ (Air/fuel mix) ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ขึ้นมาจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดประกายไฟฟ้า (Incandescent) ซึ่งสูงกว่า 4,000 องศาฟาเรนไฮต์ในเวลาอันสั้น ระยะเวลาในเครื่องยนต์ความเร็วสูงซึ่งอาจจะมากกว่า 30 รอบต่อวินาที ซึ่งฉนวนหัวเทียนจะต้องทนต่อสภาวะเหล่านี้ได้โดยไม่มีเกิดการแตกหัก เสียหาย

2.1.3 สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical properties)

1. ความต้านทานไฟฟ้า (Electric resistivity) ฉนวนหัวเทียนจะต้องมีความต้านทานไฟฟ้าสูงมากตลอดช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสูญเสียของพลังงานอันเนื่องมาจากการรั่วของกระแสไฟฟ้า

2. ความแข็งแรงทางไดอิเล็กตริก (Dielectric strength) ฉนวนหัวเทียนจะต้องสามารถทนต่อสนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงมาก อาจถึง 20,000 โวลต์ได้โดยไม่มีแตกหัก เสียหาย

2.1.4 สมบัติทางเคมี (Chemical properties)

1. ความเฉื่อยทางเคมี (Chemical inertness) ฉนวนหัวเทียนจะต้องทนต่อสภาวะภายในห้องเผาซึ่งมีไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงได้ โดยไม่มีเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบบางอย่างในไอเสียเหล่านั้น

นอกจากนั้นแล้ว ฉนวนหัวเทียนที่จะใช้งานได้นั้นจะต้องมีการเคลือบผิวให้มีเรียบและมีความมัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการจับของเขม่าที่ผิวฉนวนหัวเทียน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าอีกด้วย

2.2 วิวัฒนาการของ เนื้อวัสดุที่ใช้ทาลานหัวเทียน

เนื้อวัสดุที่ใช้ทาลานหัวเทียนนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป เนื้อทาลานหัวเทียนบางชนิดก็ยังคงมีการใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบันในขณะที่บางชนิดก็เลิกผลิตไปแล้ว (Barlett และ Schwartwalder, 1949) เนื้อทาลานหัวเทียนชนิดที่เคยมีการนำมาใช้กันนับตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงปัจจุบัน ได้แก่

1. เนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดหินหินม้าและควอartz (Feldspar-Quartz) เป็นเนื้อวัสดุชนิดแรกที่ใช้กันโดยนามาจากส่วนผสมของเนื้อผลิตภัณฑ์ช่วยขามชนิดซาเนาแวร์ที่ใช้กันโดยทั่วไป ส่วนผสมเป็นแบบไตรแอกเซียล (Triaxial) แต่ปัจจุบันเลิกผลิตไปแล้วเนื่องจากมันมีข้อเสียหลายประการ ได้แก่

- มีปริมาณซิลิกาอิสระ (Free silica) อยู่ในเนื้อมาก ทำให้เกิดการแตกหักได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน เนื่องมาจากการขยายตัวเมื่อเกิดการเปลี่ยนรูปจาก α เป็น β Quartz
- มีปริมาณธาตุอัลคาไล (Alkali) ซึ่งเป็นไอออนที่ช่วยให้การนำไฟฟ้าดีขึ้นอยู่ในเนื้อวัสดุที่เป็นแก้ว (glassy phase)
- มีการนำความร้อนต่ำมาก ทำให้เกิดการจับของเขม่าที่ผิวได้ง่าย

2. เนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดมัลลิต (Mullite) เริ่มพัฒนาขึ้นใช้หลังสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง โดยชาวรัสเซียซิลิแมนท์ (Silimanite) ที่ผ่านการแคลไซน์ (Calcine) แล้วเป็นส่วนผสม ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปริมาณซิลิกาอิสระแล้วยังเป็นการลดปริมาณแร่หินหินม้าซึ่งมีอัลคาไลเป็นส่วนประกอบอีกด้วย โครงสร้างจะเป็นผลึกรูปเข็มของมัลลิตกระจายอยู่ในเนื้อวัสดุส่วนที่เป็นแก้ว

3. เนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดมัลลิตและเซอร์คอน (Mullite-Zircon) พัฒนาขึ้นในราวทศวรรษที่ 1930 สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดย่อยๆ ตามปริมาณแร่เซอร์คอนที่เติม ได้แก่ ชนิดต่ำ (มีเซอร์คอนประมาณร้อยละ 20), ปานกลาง (ประมาณร้อยละ 30) และสูง (ประมาณร้อยละ 55 ถึง 60) โครงสร้างของมันจะมีผลึกเซอร์คอนกระจายอยู่ในเนื้อวัสดุที่เป็นแก้ว ซึ่งประกอบด้วยเซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO_2) และเนื้อแก้วที่มีซิลิกาสูง

ส่วนผสมทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ล้วนแต่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น ซึ่งในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายในแรงสูง ซึ่งจะต้องใช้น้ำมันที่มีสารประกอบของตะกั่ว คือเตตระเอทิลเลด (Tetraethyl lead) เป็นสารกันเือก ซึ่งเมื่อเผาไหม้แล้วจะทำให้เกิดไอเสียซึ่งส่วนประกอบของตะกั่วออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างและจะทาปฏิกิริยากับซิลิกาซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดและออกไซด์อื่นๆ กลายเป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมต่ำๆ จึงได้มีการพัฒนาหาเนื้อวัสดุชนิดใหม่ที่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบด้วย เพื่อลดปัญหาการกัดกร่อนจากไอตะกั่ว ซึ่งวัสดุเหล่านี้ได้แก่

4. เนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดคอรัันดัม (Corundum) อลูมินาหรืออลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) เริ่มผลิตขึ้นในประเทศเยอรมันในปี ค.ศ. 1932 เพื่อแก้ปัญหการกัดกร่อนของไอตะกั่วที่มาจากส่วนผสมของสารกันเือกที่ใช้กันมาสมัยนั้น นอกจากนั้นแล้วมันยังมีสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมกับการใช้เป็นฉนวนหัวเทียนอีกด้วยจึง เป็นเนื้อฉนวนที่นิยมใช้กันมาจนถึงปัจจุบัน สมบัติต่างๆ ของฉนวนไฟฟ้าที่ผลิตจากอลูมินาปริมาณสูงแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

หลังจากนั้นแล้ว ก็ยังมีการพัฒนาเนื้อฉนวนชนิดต่างๆ ขึ้นมาใช้กันแต่ไม่ได้รับการนิยมาใช้ เนื่องจากมันมีคุณสมบัติบางประการที่มันเหมาะสมกับการใช้งาน ได้แก่

5. เนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดสปิเนล (Spinel) ที่ใช้กันคือแมกนีเซียมสปิเนล ($MgAl_2O_4$) ฉนวนชนิดนี้ข้อเสียเนื่องจากมันจะไม่เกิดชั้นระหว่างฟอร์สเทอไรท์ (Fosterite) กับเนื้อวัสดุที่เป็นแก้วซึ่งทำให้ความแข็งแรงต่ำลง

6. เนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดแมกนีเซีย (Magnesia) หรือแมกนีเซียออกไซด์ (MgO) ข้อดีคือทนต่อไอตะกั่วได้ดีและมีการนำความร้อนสูง แต่ข้อเสียของมันก็คือมีความแข็งแรงเชิงกลต่ำมาก และยังเกิดปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศได้ง่าย

7 เนื้อผลิตภัณฑ์ชนิดเซอร์โคเนีย (Zirconia) หรือเซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO_2) มีข้อเสียก็คือการนำความร้อนต่ำมากและมีความแข็งแรงสู่อลูมินาไม่ได้

ตารางที่ 2.1 สมบัติบางประการของฉนวนไฟฟ้าเนื้ออลูมินาปริมาณสูง

สมบัติ	ค่าที่วัดได้
ปริมาณอลูมินา	ร้อยละ 95
ความหนาแน่น	3.1 ถึง 3.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความแข็งแรงคด (Flexural strength)	20,000 ถึง 45,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (ช่วง 20-400 องศาเซลเซียส)	5.5 ถึง 8.1 ไมครอนต่อองศาเซลเซียส
การนำความร้อน	0.048 ถึง 0.073 แคลอรีต่อวินาที ต่อเซนติเมตรต่อองศาเซลเซียส
ความต้านทานไฟฟ้า (อุณหภูมิห้อง)	10^{14} ถึง 10^{15} โอห์ม-เซนติเมตร
ความแข็งแรงทางไดอิเล็กตริก (ชั้นงานหนา 1/4 นิ้ว)	250 ถึง 400 วอลต์ต่อหนึ่งนิ้ว

ที่มา : Kingery, Bowen และ Uhlman, 1975

8. เนื้อผลิตภัณฑ์ซิงคทอเรีย (Thoria) หรือทอเรียออกไซด์ (ThO_2) ซ้อเสี้ยนก็คือ การนำความร้อนต่ำมากและน้ำหนักต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลัน

9. เนื้อผลิตภัณฑ์ซิงคเบอริลเลีย (Beryllia) หรือเบอริลเลียออกไซด์ (BeO) เป็นเนื้อวัสดุที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ เหมาะสมกับการทำฉนวนหัวเทียนมากที่สุด กล่าวคือเป็นออกไซด์ที่มีการนำความร้อนสูงและทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลันดีที่สุดในบรรดาวัสดุที่มีราคาถูกและเป็นพิษต่อร่างกาย จึงมักเป็นนิยมาใช้กัน

2.3 การขึ้นรูปฉนวนหัวเทียน

วิธีการขึ้นรูปฉนวนหัวเทียนที่เข้ากันก็มีการพัฒนาขึ้นมาพร้อมๆ กับการพัฒนาเนื้อผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้สะดวกรวดเร็วและถูกต้องมากที่สุด วิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้กัน ได้แก่

1. การปั้นด้วยมือโดยมีแบบหมุนช่วย (Throwing) วิธีนี้จะนำเนื้อดินปั้นมาผสมกับน้ำให้เกิดความเหนียวที่พอเหมาะแล้วจึงนำแบบและปั้นด้วยมือ จากนั้นจึงนำไปกลึงให้เป็นรูปร่างที่ต้องการ แต่ในปัจจุบันได้ถูกเลิกใช้ไปแล้วเนื่องจากมันไม่สะดวกต่อการผลิตคราวละมากๆ และยากต่อการควบคุมขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ที่สำคัญคือมันไม่สามารถใช้กับเนื้อฉนวนหัวเทียนชนิดใหม่ ซึ่ง เป็นออกไซด์ที่ทนมีความเหนียว (เช่น อลูมินา) ได้อีกด้วย จึงได้มีการพัฒนาวิธีการขึ้นรูปแบบอื่น ๆ เพื่อใช้กับเนื้อดินปั้นที่ทนมีความเหนียว ได้แก่

2. การเทแบบ (Casting) วิธีนี้จะประกอบไปด้วยการผสมอลูมินาที่ผ่านการหลอมและเผาแล้วกับกรดไฮดรอกลอลิกที่มีสมบัติที่เหมาะสมกับการนำไปเทแบบ จากนั้นจึงนำไปเทลงในแบบพลาสติกที่วางไว้จนได้ขนาดความหนาที่ต้องการแล้วจึงเทน้ำดินที่เหลือออกจากแบบ ทั้งชิ้นงานจนแข็งแล้วจึงแกะออกจากแบบก่อนจะนำไปตกแต่งให้เรียบร้อย (McDougal, 1949)

3. การรีด (Extrusion) วิธีนี้จะผสมเนื้อดินปั้นให้เป็นน้ำดินข้นๆ แล้วจึงนำไปกรองให้เป็นแผ่นเค้ก เนื้อดินปั้นที่ได้จะถูกตัดเป็นแผ่นๆ และนำคานให้เกิดความเหนียวก่อนจะนำไปผ่านเครื่องรีดให้ออกมาเป็นแท่งๆ คานให้แห้งแล้วจึงตกแต่งและกลึงให้เป็นรูปร่างที่ต้องการ

อย่างไรก็ตาม ทั้งสองวิธีนี้ยังมีข้อเสียก็คือจะต้องใช้น้ำในส่วนผสมในปริมาณมาก ตารางที่ 2.2 แสดงความดันและปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปแต่ละวิธี (Norton, 1974) ตารางนี้แสดงให้เห็นว่าการขึ้นรูปด้วยการเทแบบหรือการรีดจะต้องใช้น้ำมากกว่าร้อยละ 20 ซึ่งจะเป็นปัญหาในการควบคุมการหดตัวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากในการผลิตชิ้นงานเซรามิกสมัยใหม่แทบทุกชนิด การหดตัวของชิ้นงานอาจจะทำให้เกิดการแตกหักหรือรอยร้าวขึ้นภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ อันเป็นสาเหตุหนึ่งของการร้าวไหลของกระแสไฟฟ้าในหัวเทียน นอกจากนี้แล้วหากการหดตัวของชิ้นงานนั้นถูกต้องก็จะทำให้ชิ้นงานมีขนาดไม่ถูกต้อง และอาจไม่สามารถประกอบเข้ากับขั้วโลหะได้

ตารางที่ 2.2 ความดันและปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ

วิธีการขึ้นรูป	ความดันที่ใช้ (ปาสกาลต่อตารางนิ้ว)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (ร้อยละ)
การเทแบบ (Slip casting)	Hydrostatic	20-30
โดยอาศัยความเหนียว (Plasticity)	5-50	25-30
โดยเครื่องรีดและอัดเนื้อดินปั้นผ่านหัวแบบ (Extrusion)	50-10,000	15-20
การอัดเนื้อดินปั้นแห้งๆ (Dry press)	1,000-15,000	5-10
การอัดเนื้อดินปั้นที่เป็นฝุ่น (Dust press)	3,000-20,000	0-4
การให้แรงอัดเท่ากันทุกทิศทาง (Isostatic)	5,000-100,000	0-17

ที่มา : Norton, 1974

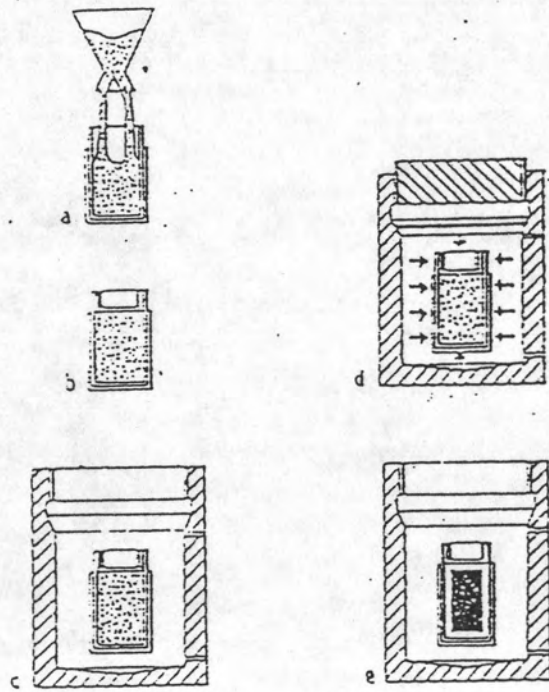
4. การฉีดเนื้อวัสดุที่ร้อนเข้าไปในแบบ (Injection molding) วิธีนี้จะเริ่มต้นด้วยการผสมเนื้อดินปั้นกับสารที่ช่วยในการยึดเกาะ ซึ่งมักจะเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกเรซิน และสารที่เพิ่มความเหนียวเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงให้ความร้อนกับส่วนผสมดังกล่าวจนกระทั่งอ่อนตัวและถูกฉีดเข้าไปในแบบ แล้วจึงให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อกำจัดพาสสารอินทรีย์ต่างๆ และทำให้สารที่ช่วยในการยึดเกาะแข็งตัวก่อนจะนำไปเผาต่อไป (Schwartzwalder, 1949) วิธีนี้มีข้อดีคือจะได้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอและมีขนาดถูกต้องมากที่สุด แต่มีข้อเสียคือต้องเสียเวลาในการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ นานมาก (35 ถึง 60 ชั่วโมง) จึงไม่เหมาะกับการผลิตที่ละมกกว่า ในระดับอุตสาหกรรม

5. การขึ้นรูปด้วยการให้ความดันเท่ากันทุกทิศทางแบบแม่เผา หรือไอลคัลไฮโรสเทติกเพรสซิ่ง (Cold isostatic pressing) เป็นวิธีการขึ้นรูปที่ใช้กันมาปัจจุบัน วิธีนี้จะใช้การอัดผงวัสดุที่บรรจุอยู่ในแบบที่ยืดหยุ่น เช่นยางสังเคราะห์หรือโพลียูรีเทนเป็นต้น ด้วยแรงที่เท่ากันในทุกทิศทาง (Austin และ McTaggart, 1976) ลักษณะของเครื่องมือที่ใช้สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบตามลักษณะการส่งผ่านแรงอัด ได้แก่

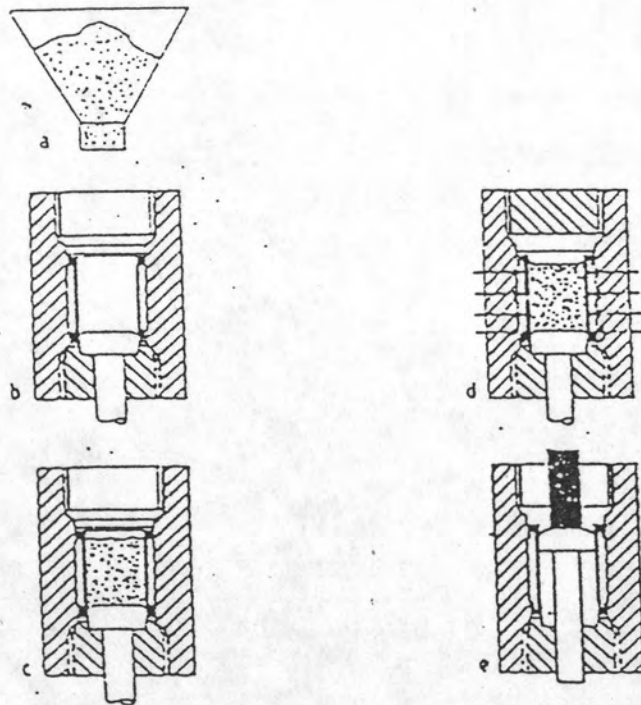
ก. การอัดแบบเปียก (Wet bag pressing) วิธีนี้จะใช้ของเหลว เช่น น้ำมัน เป็นตัวส่งผ่านแรงอัดจาก เครื่องอัด แบบจะจุ่มอยู่ในบ่ออัด ซึ่งแสดงผังรูปที่ 2.1 ก. วิธีนี้มีข้อเสียคือไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงเหมาะกับการใช้ทำตัวอย่างสำหรับการทดลอง, คั้นแบบ หรือขึ้นส่วนที่ผลิตจำนวนน้อยๆ

ข. การอัดแบบแห้ง (Dry bag pressing) วิธีนี้จะใช้แบบอัดขางลงแบบที่เป็นโลหะสองชั้นบีบอัดแบบให้แน่นจำนวนของ เหลวอีกทีหนึ่ง แรงอัดจะผ่านจาก เครื่องอัดผ่านทางของเหลวและแบบโลหะไปยังแบบข้างชั้นนอกอีกที ซึ่งแสดงผังรูปที่ 2.1 ข. วิธีนี้สามารถทำเป็นระบบต่อเนื่องได้ จึงมีอัตราการผลิตสูง แต่มีข้อเสียคือยากต่อการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงานเพราะจะต้อง เปลี่ยนแบบโลหะใหม่ด้วย จึงเหมาะกับการผลิตทีละมาก ๆ ในระดับอุตสาหกรรม

ผงเนื้อดินนั้นที่จะนำมาอัดจะเตรียมการผสมเนื้อวัสดุที่ต้องการให้เป็นน้ำสลิบ ซึ่งมี การกระจายลอยตัวที่ดีและมีความหนืดที่เหมาะสม นำมาผ่านเครื่องทำให้แห้งด้วยการพ่นให้เป็น ละออง (Spray dryer) จะได้ผงวัสดุเม็ดกลมๆ ขนาดของผงวัสดุที่ต้องการสามารถปรับได้จาก ความหนืดของน้ำสลิบที่จะพ่น, ลักษณะการฉีดพ่นน้ำสลิบ และอุณหภูมิของห้องอบแห้ง เป็นต้น ผงที่ได้จะนำมาผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนอีกครั้งหนึ่ง เพื่อคัดเอาผงวัสดุขนาดที่ต้องการมาผสม กันในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อให้การอัดตัวที่ดีที่สุด จากนั้นจึงนำผงวัสดุที่ผสมเรียบร้อยแล้วไปเข้า การขึ้นรูปต่อไป (Austin และ McTaggart, 1976) ขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้สามารถแสดง ได้ผังรูปที่ 2.2

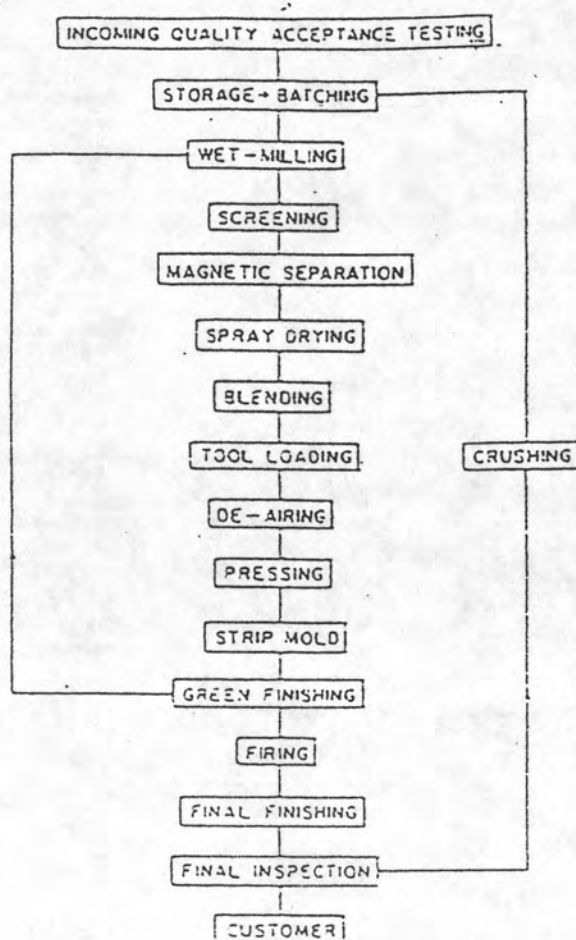


ก. การอัดแบบเปียก



ข. การอัดแบบแห้ง

รูปที่ 2.1 การขึ้นรูปด้วยวิธีให้ความดันเท่ากันทุกทิศทางแบบน้ําเฉาหรือ
โคลนไฮดรอสแตติกเพรสซิ่ง (Austin และ McDougal, 1976)



รูปที่ 2.2 แผนผังการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแรงดันเท่ากันทุกทิศทางแบบนึ่งเผา
หรือโคลด์ไอรอสเทติกเพรสซิ่ง (Austin และ McTaggart, 1976)

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมบัติของผง เนื้อดินปั้นที่ได้ ได้แก่ ลักษณะของผง เนื้อดินปั้น เช่น ลักษณะการกระจายของขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก, สมบัติและปริมาณของตัวประสานที่ใช้ และสภาวะในการเตรียม เช่น อุณหภูมิและปริมาณความชื้น โดยทั่วไปผงเนื้อดินปั้นที่ที่มีความเหนียวจะเข้าปริมาณสารที่ทำให้เกิดความเหนียวประมาณร้อยละ 1 ถึง 2 โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงานที่ได้ แต่จะทำให้การตกแต่งชิ้นงานก่อนเผายากขึ้นเช่นกัน ผงเนื้อดินปั้นที่ดีควรจะมีความหนาแน่นมากกว่าร้อยละ 60 ของความหนาแน่นทางทฤษฎีของวัสดุนั้น และมีอัตราการไหลตัวที่สูงและสม่ำเสมอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตแบบอัตโนมัติ (เช่นการอัดแบบแห้ง) เพื่อให้อัตราการผลิตสูงและชิ้นงานที่ได้มีขนาดสม่ำเสมอสุดท้ายก็คือ ผงเนื้อดินปั้นรวมทั้งสารอินทรีย์ที่ใช้เพิ่มสมบัติของผง เนื้อดินปั้นจะต้องมีแรงยึดเกาะกับผิวของเครื่องมือขึ้นรูปน้อยที่สุด เพื่อให้สะดวกต่อการถอดชิ้นงานออกจากแบบ

แบบขางที่ใช้ก็มีความสำคัญเช่นกัน สมบัติต่างๆ ของแบบขางที่ได้แก่

1. สมบัติทางกายภาพและ เคมีของแบบจะต้อง เหมาะกับผง เนื้อดินบนที่ใส่ เช่น ไม้ทำปฏิกิริยากันหรือ เกิดแรงยึด เกาะกันแน่นจนทำให้การถอดแบบเป็นไปด้ยากและอาจ เกิดรอยตำหนิตที่ผิวได้ง่าย

2. ไม้ละลายในของ เหลวที่ใช้เป็นตัวกลาง (ในการอัดแบบเปียก)

3. มีความยืดหยุ่นสูง สามารถคลายตัวกลับสู่สภาพเดิมได้เมื่อหยุดให้แรงอัดแล้ว

4. มีอายุใช้งานนาน ทนทานต่อการฉีกขาดและการ เสียคลสีอันเนื่องมาจากการอัดได้ดี

ข้อดีและข้อ เสียของการขึ้นรูปด้วยวิธีให้ความดัน เท่ากันในทุกทิศทางแบบไม้เผา ได้แก่

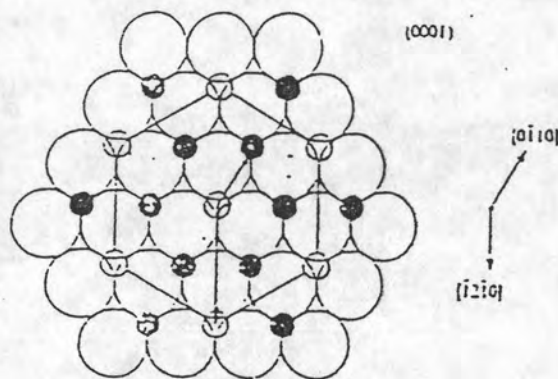
- ข้อดี
1. ชิ้นงานที่ได้มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งชิ้นงาน และใกล้เคียงกันทุกชิ้น
 2. สามารถขึ้นรูปชิ้นงานรูปร่างแปลกๆ ได้โดยกำหนดแบบอัดตามรูปร่างที่ต้องการ
 3. ใช้เวลาในการผลิตสั้นกว่าวิธี เทแบบและการรีด เนื่องจากใช้น้ำน้อยกว่า เวลาในการอบแห้งชิ้นงานจึงน้อยกว่า
 4. ใช้เนื้อที่ในการผลิตน้อยกว่าวิธี เทแบบ
 5. ผลของสิ่ง เจือปนที่ละลายน้ำได้มีน้อยกว่าวิธี เทแบบ
 6. สามารถตกแต่งชิ้นงานก่อนเผาได้ เนื่องจากมีความแข็งแรงสูงกว่า
 7. ใช้วัตถุดิบในการผลิตต่อชิ้นน้อยกว่าวิธีอื่นา
 8. ลดปริมาณช่องว่างในชิ้นงาน
 9. ชิ้นงานที่แตกหักในระหว่างการขึ้นรูปมีน้อยกว่าวิธีอื่นา

- ข้อเสีย
1. มีข้อจำกัดในทาง เทคนิคมากกว่าวิธีอื่นา เช่น การเตรียมวัตถุดิบ, อุปกรณ์
 2. ปรับปรุงคุณภาพได้ยากกว่า
 3. ราคาแพง
 4. เกรนขนาดใหญ่จะมีผลต่อความสม่ำเสมอและการตกแต่งชิ้นงาน

2.4 อลูมินา

อลูมินา เป็นชื่อที่ใช้เรียกออกไซด์ของอลูมิเนียม มีสูตรทางเคมีว่า Al_2O_3 มีน้ำหนักโมเลกุล 101.94 จุดหลอมเหลว 2030 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นตามทฤษฎี (Theoretical density) เป็น 3.99 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความแข็งตามสเกลของโมห์ (Mohr) เท่ากับ 9 สมบัติทางเคมีเป็นแอมโฟเทอริก (Amphoteric) เป็นวัตถุดิบหลักที่อุตสาหกรรมอิฐ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการสุกตัว (O'Bannon, 1984)

โครงสร้างของอลูมินาในธรรมชาติมีหลายแบบ แต่ที่พบกันมากคือ อัลฟาอลูมินา (Alpha alumina, α) ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกรูปหกเหลี่ยมด้านเท่า กังรูปที่ 2.3 โครงสร้างหน่วยเซลล์ของอลูมินาจะประกอบด้วยชั้นของอลูมิเนียมไอออนและออกซิเจนไอออนอยู่สลับกัน ในชั้นของออกซิเจนจะมีออกซิเจนบรรจุอยู่ครบทุกตำแหน่ง เป็นรูปหกเหลี่ยม ส่วนชั้นของอลูมิเนียมไอออนจะมีอลูมิเนียมไอออนอยู่เพียง 2 ใน 3 ของตำแหน่งทั้งหมดในลักษณะวางผัง เพื่อให้ประจุของโครงผลึกเป็นกลาง ในลักษณะนี้แต่ละไอออนของอลูมิเนียมจะมีออกซิเจนล้อมรอบอยู่ 6 ตัว (เลขโคออร์ดิเนตเท่ากับ 6) ส่วนออกซิเจนไอออนจะมีอลูมิเนียมล้อมรอบอยู่ 4 ตัว (เลขโคออร์ดิเนตเท่ากับ 4) รัศมีของอลูมิเนียมไอออนเท่ากับ 0.053 นาโนเมตรและของออกซิเจนไอออนเป็น 0.138 นาโนเมตร (Dorre และ Huber, 1984) จากการคำนวณค่าความหนาแน่นทางทฤษฎีของโครงผลึกอลูมิเนียม โดย Swanson ในปี 1960, Jan ในปี 1960, และ Rossi และ Lawrence ในปี 1970 (ทั้งหมดอ้างใน Dorre และ Huber, 1984) แสดงดังตารางที่ 2.3



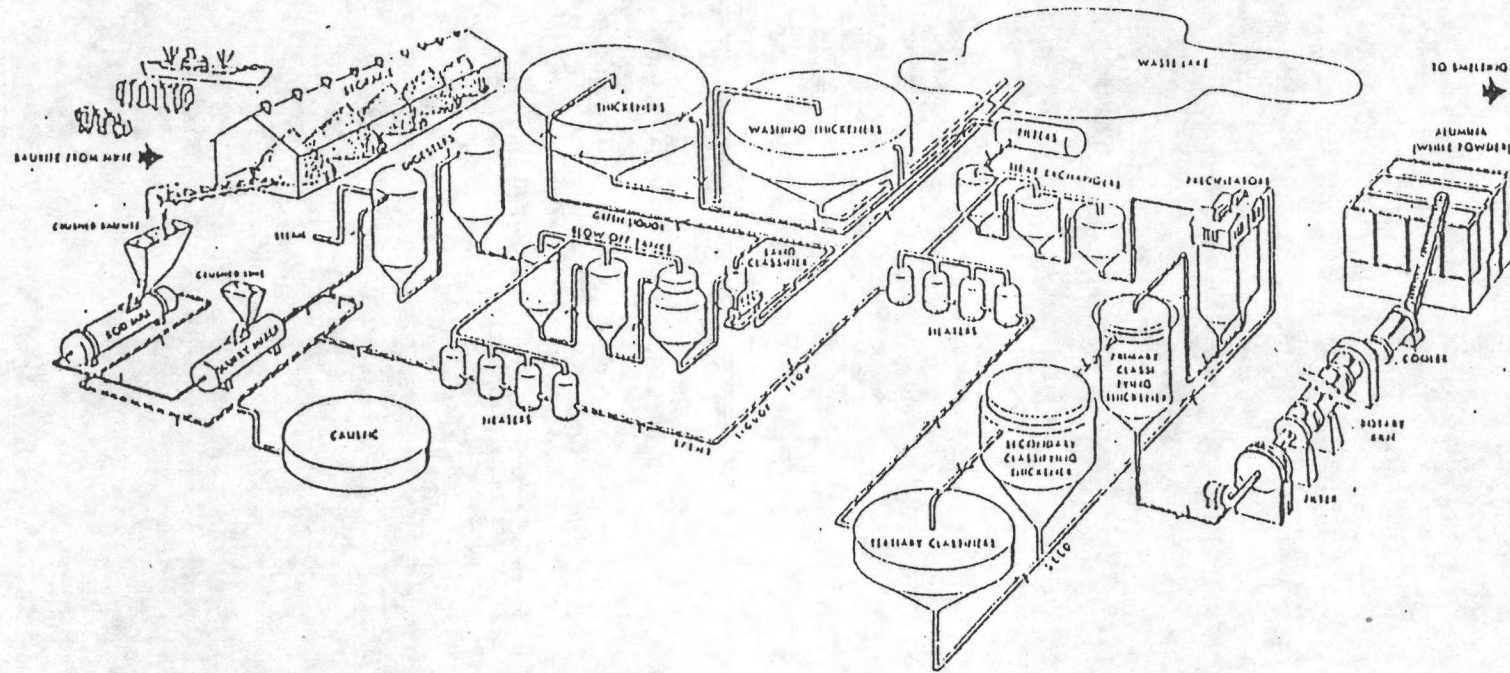
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอัลฟาอลูมินา (Dorre และ Hubner, 1984)

ตารางที่ 2.3 ความหนาแน่นทางทฤษฎีที่อุณหภูมิห้องของอัลฟาอลูมินา

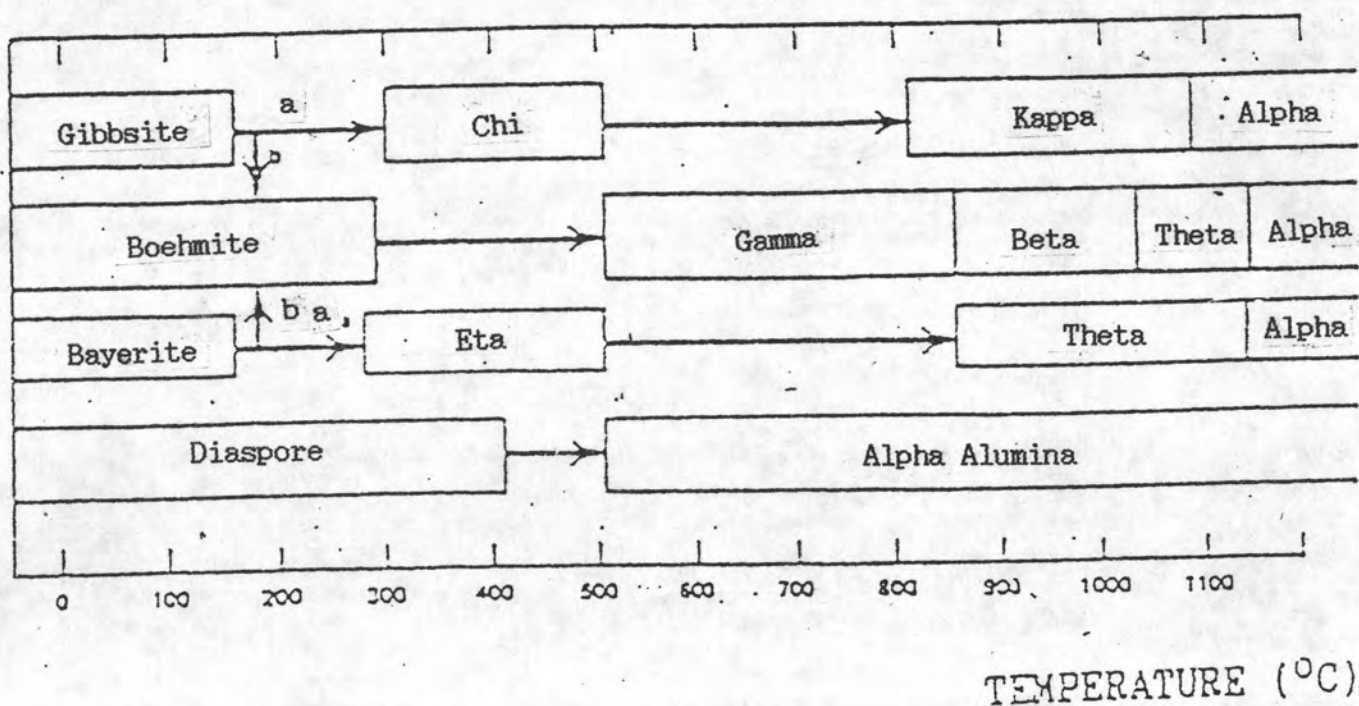
ผู้วิจัย	a_0 (นาโนเมตร)	c_0 (นาโนเมตร)	ความหนาแน่นทางทฤษฎี (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
Swanson (1960)	0.4758	1.2991	3.987
Jan (1960)	0.47591	1.29894	3.9862
Rossi และ Lawrence (1970)	0.4758	1.2990	3.987

ที่มา : Dorre และ Hubner, 1984

อลูมินาที่พบในธรรมชาติมักจะมีพบในรูปของไฮดรอกไซด์ ได้แก่ แร่บอกไซต์ (Bauxite) ซึ่งประกอบไปด้วย ยิบไซต์ (Gibbsite, $Al(OH)_3$), โบไนต์ (Boehmite, $AlOOH$) และ ไดอะสปอร์ (Diaspore, $AlOOH$) ปะปนกัน การสกัดอลูมินาจากแร่บอกไซต์จะใช้วิธีการสกัดที่มีชื่อว่า "กระบวนการของเบเยอร์" (Bayer Process) ซึ่งจะเริ่มจากการบดแร่บอกไซต์จนละเอียดแล้วนำไปละลายในสารละลายโซดาเผาผลาญภายใต้ความร้อนและความดัน เพื่อแยกเอาตะกอนที่ฝังละลายน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบของเหล็ก, ซิลิกอน และไทเทเนียมเป็นต้นออกจากโซลิวชันอลูมินาที่เหลือด้วยการตกตะกอนและกรองออกไป นำไปทำการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ให้เป็นอลูมินัมไฮดรอกไซด์ ($\alpha-Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) จากนั้นจึงนำไปผ่านความร้อนเพื่อไล่น้ำในโครงสร้าง (Chemical combined water) ออกไป ก็จะได้เป็นผลึกของอัลฟาอลูมินาออกมา ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 ส่วนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาไล่น้ำในโครงสร้างที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ แสดงไว้ดังแผนผังรูปที่ 2.5

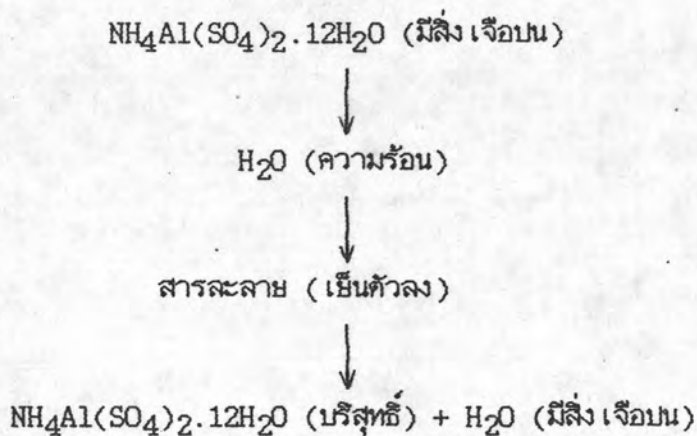


รูปที่ 2.4 กระบวนการเบเยอร์ (Maczura, Francis และ Roessel, 1976)



รูปที่ 2.5 ลำดับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของอลูมินาในช่วงอุณหภูมิต่างๆ (Gitzen, 1970)

ผงอลูมินาที่ได้จากการผลิตด้วยกระบวนการ เบเยอร์จะมีปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงอยู่เสมอ ซึ่งบางครั้งคุณภาพก็ไม่เพียงพอกับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมบางชนิดที่ต้องการความบริสุทธิ์สูงมาก เช่น การผลิตฉนวนหัวเทียน เป็นต้น ดังนั้นจึงมีวิธีเตรียมผงอลูมินาให้มีความบริสุทธิ์สูงมาก อีกวิธีหนึ่งคือกระบวนการอลัม (Alum) โดยอาศัยหลักการละลายและตกผลึกซ้ำเพื่อลบล้างเจือปน วัตถุประสงค์ที่ใช้คือสารประกอบของแอมโมเนียมและซัลเฟตของอลูมิเนียม เช่น แอมโมเนียมอลัม นำมาผ่านปฏิกิริยาคังสมการ



จากนั้น จึงนำอลูมิเนียมที่บริสุทธิ์มาให้ความร้อน จะเกิดการสลายตัวได้เป็นอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ แล้วเปลี่ยนเฟสเปรีอซวา ที่ช่วงอุณหภูมิต่างๆ จนเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 1100-1200 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนเฟสมาอยู่ในรูปอัลฟาอลูมินา ซึ่งเป็นรูปที่เสถียรที่สุด วิธีนี้สามารถผลิตอลูมินาที่มีความบริสุทธิ์สูงมากกว่าร้อยละ 99.995

อลูมินาที่ใช้กันทางการค้าสามารถแบ่งออกได้เป็นเกรดต่างๆ ตามลักษณะสองประการ ได้แก่ ขนาดมัธยฐาน (Median) ของอนุภาคและปริมาณธาตุรบกวนที่เจือปนอยู่ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 การแบ่งเช่นนี้ก็เพื่อประโยชน์ในการใช้งานในอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ ซึ่งต้องการอลูมินาที่มีลักษณะต่างกันออกไป

อลูมินาได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย อาทิเช่น อุตสาหกรรมขัดถู (Abrasive), วัสดุทนไฟ (Refractory), เครื่องเคลือบ, ผนังกรูหม้ออบ (Lining) และลูกบด (Grinding media), อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น แผ่นรอง (substrate) วงจรไฟฟ้า, ตัวต้านทานและฉนวนหัวเทียนเป็นต้น ทางด้านแสง เช่น หน้าต่างแสงอินฟราเรด, เรดอม (Radome) และเลนเซอร์เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีมีการนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนวัสดุชีวภาพ เช่นฟันและกระดูกเทียมอีกด้วย ข้อมูลในปี 1989 (Maczura, Moody และ Kennedy, 1990) ระบุว่าอลูมินาร้อยละ 50 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ ร้อยละ 20 ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบ, ร้อยละ 15 ใช้ในอุตสาหกรรมหัวเทียน, ร้อยละ 10 ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก และใช้ในด้านอื่นๆ อีกร้อยละ 5

ตารางที่ 2.4 การแบ่งเกรดของอลูมินาทางการค้า

ขนาดมาตรฐานของ อนุภาค (ไมครอน)	ปริมาณธาตุโซเดียม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	น้อยกว่า 0.15	ระหว่าง 0.15 - 0.40	มากกว่า 0.40
เล็กกว่า 1.0	A-16*	A-13	A-1 A-3
ระหว่าง 1.0 - 5.5	A-14 A-15* A-17*	A-12	A-2
ใหญ่กว่า 5.5	A-10		A-5

* Reactive aluminas

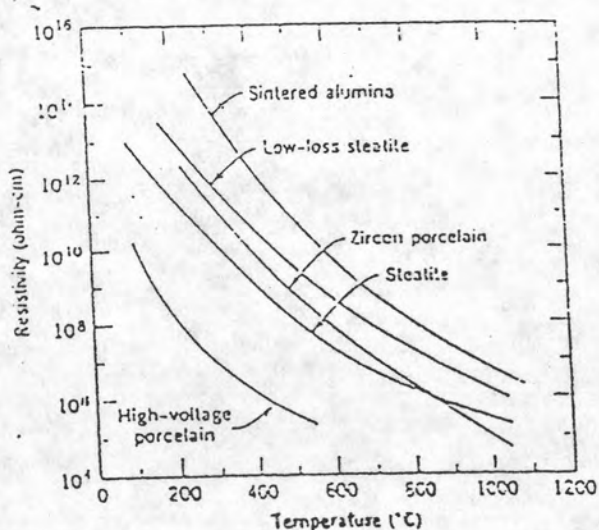
ที่มา : Maczura, Francis และ Roesel, 1976

2.5 งานวิจัยที่ผ่านมา

ได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยถึงผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ ของอะลูมินา เป็นจำนวนมาก เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ สำหรับในงานผลิตฉนวนหัวเทียน สิ่งสำคัญที่สุดที่ควรคำนึงถึงก็คือคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเนื้อวัสดุที่ใช้ อันได้แก่การนำไฟฟ้าและความแข็งแรงทางเคมีเสถียรของมัน ซึ่งจะได้นำถึงรายงานการวิจัยบางส่วนที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทั้งสอง เพื่อเป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัยขั้นต่อไป

2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวกับสมบัติการนำไฟฟ้าของอะลูมินา

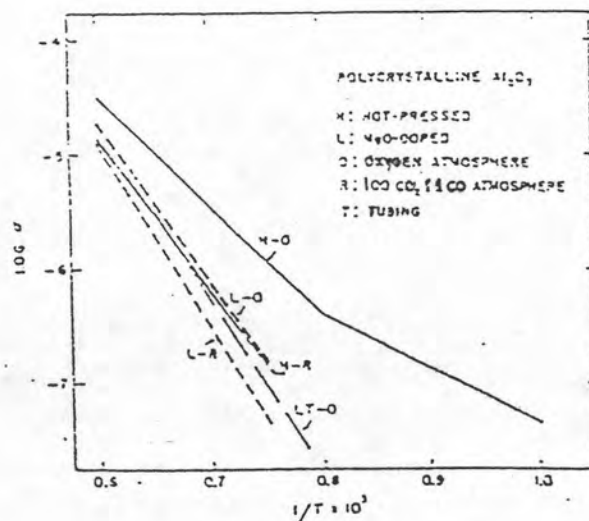
หน้าที่หลักของฉนวนหัวเทียนก็คือ การป้องกันกระแสไฟฟ้าไม่ให้รั่วไหลผ่านตัวมัน ออกมาสู่ภายนอกได้ ดังนั้น เนื้อวัสดุที่ใช้ทำฉนวนจะต้องมีการนำไฟฟ้าต่ำมาก หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ มันจะต้องมีความต้านทานสูงมากนั่นเอง รูปที่ 2.6 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของอะลูมินาบริสุทธิ์ เทียบกับออกไซด์ชนิดอื่นๆ ที่อุณหภูมิต่างๆ จะเห็นได้ว่าอะลูมินามีความต้านทานสูงกว่าเนื้อเปอร์ซเลน ที่ใช้กับกระแสไฟฟ้าแรงสูงมาก และความต้านทานของเนื้อวัสดุจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการลดลงของความต้านทานไฟฟ้าของเนื้อเซรามิก ที่เป็นออกไซด์บางชนิด (Kingery, Bowen และ Uhlmann, 1975)

ได้มีผู้ทำการศึกษาดังนี้ถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการนำไฟฟ้าของอลูมินาที่อุณหภูมิสูงงานวิจัยที่สำคัญชิ้นหนึ่งได้แก่งานของ Barta, Bartuska และคณะ (อ้างถึงใน Gitzen, 1970) ซึ่งได้ศึกษาถึงผลของสิ่งเจือปนและขนาดของเกรนของอลูมินาที่มีต่อความต้านทานไฟฟ้า ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 400 - 700 องศาเซลเซียส พบว่าไอออนของโลหะอัลคาไลจะพาให้ความต้านทานไฟฟ้าของอลูมินาลดลงอย่างชัดเจนในกรณีที่ ซิลิกอนไดออกไซด์, แคลเซียมออกไซด์, โทเทเนียมไดออกไซด์, เพอร์ริกออกไซด์, วาเนเดียมออกไซด์ และโครเมียมออกไซด์ จะไม่แสดงผลการเปลี่ยนแปลงให้เห็นได้ชัดเจน ส่วนแมงกานีสออกไซด์และสารประกอบอื่นๆ ของแคลเซียมจะช่วยเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าของอลูมินา นอกจากนั้นแล้วเนื้อวัสดุที่มีเกรนละเอียดจะมีความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่าเนื้อวัสดุที่มีเกรนหยาบ

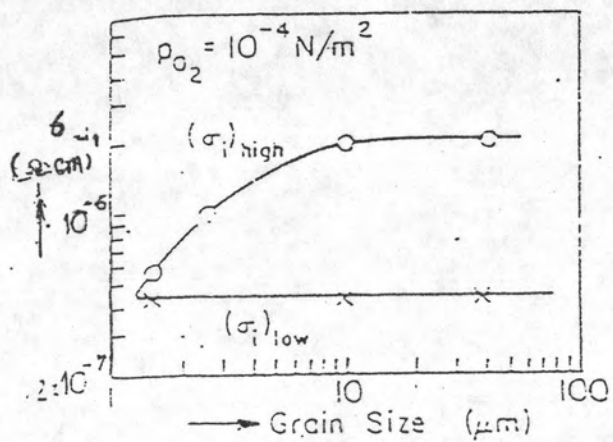
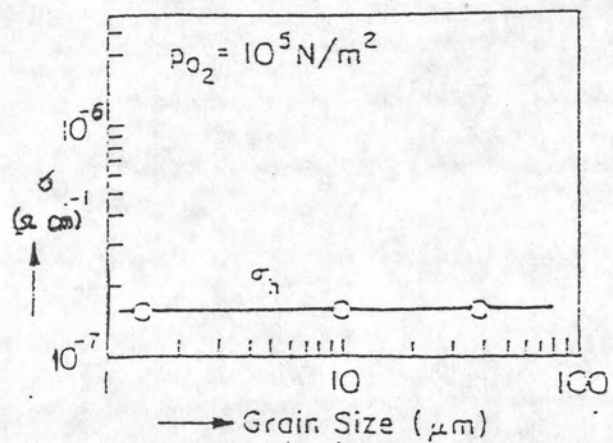
Hartmann (1936 อ้างใน Gitzen, 1970) ได้ศึกษาถึงผลของปริมาณออกซิเจนในระหว่างการเผาอลูมินาที่มีต่อความต้านทานไฟฟ้า พบว่าการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศการเผา (บรรยากาศในการเผาเป็นออกซิเดชัน) จะพาให้ความต้านทานไฟฟ้าสูงขึ้น แต่การทดลองของ Kitazawa และ Coble (1974) กลับให้ผลในทางตรงกันข้ามกับการทดลองของ Hartmann กล่าวคือ เมื่อเผาในบรรยากาศที่เป็นออกซิเดชันจะพาให้การนำไฟฟ้าของอลูมินาสูงขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7



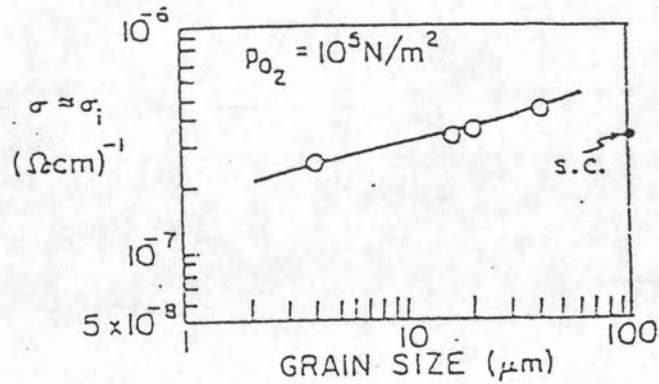
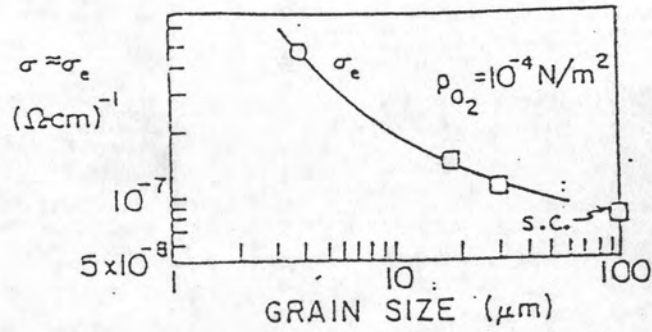
รูปที่ 2.7 การนำไฟฟ้าของอลูมินาที่เป็นผลึกผง (Kitazawa และ Coble, 1974)

การทดลองของ Kitazawa และ Coble ยังแสดงให้เห็นถึงผลที่แตกต่างกันระหว่าง การเผาผนึกชิ้นงานด้วยวิธีปกติกับการเผาผนึกชิ้นงานพร้อมกับให้แรงอัด (Hot pressing) จาก รูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า การเผาผนึกชิ้นงานพร้อมกับให้แรงอัดจะทำให้การนำไฟฟ้าของอลูมินามี ค่าสูงกว่าการเผาผนึกชิ้นงานด้วยวิธีปกติ

El-Aiat และคณะ (1981) ได้ศึกษาถึงผลของการเค็มไอออนของเหล็กและ เทเทเนียมในอลูมินาที่มีต่อการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงในฟังก์ชันของขนาดของ เกรน, ปริมาณของสิ่ง เจือปนภายในเนื้ออลูมินา, ความดันของออกซิเจนและอุณหภูมิในการเผาผนึกชิ้นงาน โดยได้ผลึก ผง (Polycrystalline) ของอลูมินาที่สังเคราะห์จากซิลิเกต (Al_2O_3 (I)) และจาก ไซรพอกไซด์ (Al_2O_3 (II)) ผลที่ได้ได้แสดงดังรูปที่ 2.8 และ 2.9 กับตารางที่ 2.5 และ 2.6 รูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นผลของขนาดของ เกรนที่ความดันออกซิเจนสูงๆ จะแตกต่างกับที่ความดัน ออกซิเจนต่ำๆ กล่าวคือที่ความดันออกซิเจนสูงๆ การนำไฟฟ้าของอลูมินาจะน้อยกว่าเมื่อความดัน ออกซิเจนต่ำและจะไม่มีแสดงการเปลี่ยนแปลงตามขนาดของ เกรน รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงผลที่ แตกต่างกันระหว่างการเค็มไอออนของเหล็กกับเทเทเนียมที่มีต่อการนำไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าของ อลูมินาที่เค็มไอออนของ เหล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของ เกรนใหญ่ขึ้นในขณะที่เทเทเนียมไอออน จะให้ผลในทางตรงกันข้าม และจากตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าเทเทเนียมไอออนจะมีผลต่อ ขนาดของ เกรนมากกว่าเหล็กไอออน ส่วนตารางที่ 2.6 แสดงว่าการเพิ่มปริมาณของสิ่ง เจือปนจะ ทำให้การนำไฟฟ้าของอลูมินาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.8 อิทธิพลของขนาดของเกรนของอลูมินาบริสุทธิ์ที่เผาที่ความดันออกซิเจน 10^{-4} และ 10^5 บรรยากาศที่มีต่อความต้านทานแพร่ (El-Aiat และคณะ, 1981)



รูปที่ 2.9 อิทธิพลของขนาดเกรนของอลูมินาที่เจือด้วยไททาเนียม 500 ส่วนในล้านส่วน ที่เผาที่อุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียสที่มีต่อความต้านทานไฟฟ้า (El-Aiat และคณะ, 1981)

ตารางที่ 2.5 การนำไฟฟ้าของอลูมินาที่ 1600 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	ขนาดเกรน (ไมครอน)	การนำไฟฟ้า (ต่อโหลทต่อเซนติเมตร)		
		(σ_i) _{high}	(σ_i) _{low}	σ_e or σ_h
Al ₂ O ₃ (II)	1.5	3x10 ⁻⁶	6x10 ⁻⁷	7x10 ⁻⁶ (h)
Al ₂ O ₃ (II): 3 wt% Fe	10.0	1.5x10 ⁻⁵	2x10 ⁻⁷	4.3x10 ⁻⁶ (h)
Al ₂ O ₃ (II):500ppm Ti	40.0	2.5x10 ⁻⁶	1.5x10 ⁻⁷	3x10 ⁻⁶ (e)

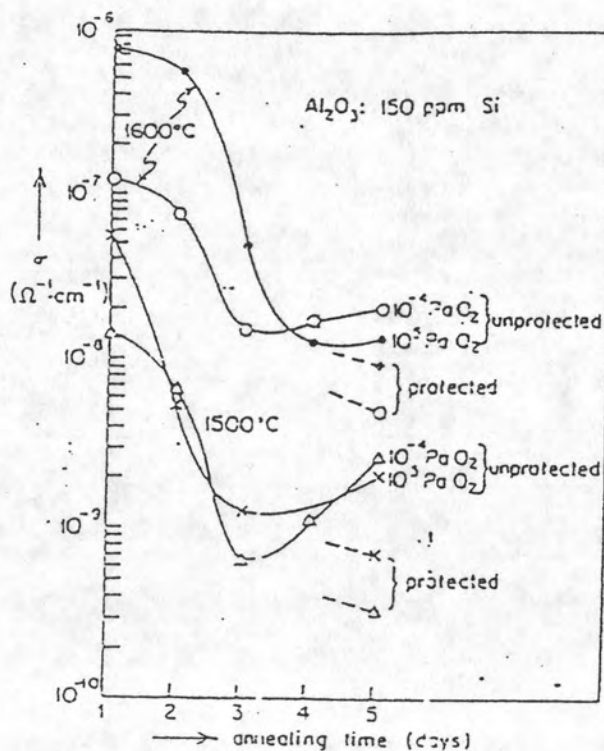
ที่มา : El-Aiat และคณะ (1981)

ตารางที่ 2.6 ผลของความเข้มข้นออกซิเจนในการเผาที่มีต่อการนำไฟฟ้าของผลึกผงอลูมินา

ตัวอย่าง	การนำไฟฟ้า (ค่าโหมต่อเซนติเมตร)		
	σ_h	σ_l	σ_i
<u>Acceptor-dominated</u>			
Undoped Al_2O_3 (I)	0.22		0
Al_2O_3 (I) : 500 ppm Fe	.14		0
Al_2O_3 (I) : 5000 ppm Fe	.20		- 0.1
Undoped Al_2O_3 (II)	.17		- 0.2- 0.24
Al_2O_3 (II) : 3 wt% Fe	.14		- 0.14
<u>Donor-dominated</u>			
Al_2O_3 (I) : 80 ppm Ti		- 0.14	0.14
Al_2O_3 (II) : 500 ppm Ti		- 0.18	0.17

ที่มา : El-Aiat และคณะ (1981)

Lee และ Kroger (1985) ศึกษาผลของการเติมซิลิกาในผลึกผงของอลูมินา รูปที่ 2.10 แสดงผลของซิลิกาที่มีต่อตัวอย่างอลูมินาที่เผาผนึกขึ้นงานที่อุณหภูมิ 1500 และ 1600 องศาเซลเซียสและเก็บตัวอย่างไว้ในบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนสูงๆ (10^5 ปาสกาล) และต่ำ (10^4 ปาสกาล) พบว่าการเผาผนึกขึ้นงานที่อุณหภูมิสูงจะทำให้การนำไฟฟ้าสูงขึ้น และผลของปริมาณออกซิเจนที่มีต่อการนำไฟฟ้าในช่วงแรกๆ การเก็บตัวอย่างไว้ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูงๆ จะมีการนำไฟฟ้าสูงกว่า แต่เมื่อทิ้งไว้นานขึ้นความแตกต่างนี้จะลดลง



รูปที่ 2.10 การนำไฟฟ้าของอลูมินาที่เจือด้วยซิลิกอน 150 ส่วนในล้านส่วนที่เผาที่อุณหภูมิ 1500 และ 1600 องศาเซลเซียสและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิคงที่กล่าวภายใต้บรรยากาศที่ความดันออกซิเจน 10^5 และ 10^{-4} ปาสกาล ทั้งที่มีการป้องกันการแพร่ของสิ่งสกปรกและน้ำ (Lee และ Kroger, 1985)

Heldt และ Haase (1954 อ้างใน Gitzen, 1970) ได้ศึกษาถึงความต้านทานไฟฟ้าของอลูมินาที่วัดในสูญญากาศและในบรรยากาศปกติ ซึ่งพบว่าเมื่อทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานความต้านทานไฟฟ้าจะลดลง และจะลดลงมากขึ้นเมื่ออากาศมีความชื้นสูง ซึ่งให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณรูพรุนเนื้อวัสดุจะทำให้ความต้านทานไฟฟ้าลดลง

สรุปแล้ว ปัจจัยที่มีผลต่อการนำไฟฟ้าของอลูมินาที่สำคัญได้แก่ ปริมาณของสิ่งเจือปน, ความดันของออกซิเจนและอุณหภูมิในการเผา ซึ่งจะมีผลต่อขนาดของเกรนและความหนาแน่นของชิ้นงานที่ได้ และสภาวะในการทดสอบชิ้นงาน ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอก

2.5.2 งานวิจัยเกี่ยวกับสมบัติความแข็งแรงทางโคอีเลคทริกของอลูมินา

ความแข็งแรงทางโคอีเลคทริก เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการทนต่อสนามไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่เกิดการแตกหัก งานวิจัยของ Kainarskii (1964 อ้างใน Gitzen, 1970) แสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงทางโคอีเลคทริกและความแข็งแรงเชิงกลของเนื้อวัสดุชนิดอลูมินาจะเป็นผลมาจากโครงสร้างภายในของเนื้อสาร โครงสร้างของเนื้อสารที่ผ่านการเผาแล้วจะขึ้นกับวิธีการเตรียมผงอลูมินา เริ่มต้นเป็นสำคัญ การเพิ่มขนาดของเกรนจนมีขนาดใหญ่มากกว่า 140 ไมครอน จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่หาเห็นแตกเร็ว (Breakdown voltage) เพิ่มขึ้นจาก 70 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร (175 โวลต์ต่อหนึ่งมิลลิเมตร) เป็น 170 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร (425 โวลต์ต่อหนึ่งมิลลิเมตร)