Gelcasting วิธีการขึ้นรูปเซรามิกสำหรับอนาคต

ดร. สุธรรม ศรีหล่มสัก สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

เซรามิกสมัยใหม่ไม่ได้ทำมาจากดินเป็นหลักอย่างในอดีต แต่เซรามิกสมัยใหม่ทำมาจากวัตถุดิบสังเคราะห์ที่ซึ่งบริสุทธิ์กว่าแล้วนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ เช่น HIP (Hot Isostatic Pressing), Injection molding ฯลฯ ได้ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีคุณสมบัติดีกว่าและเด่นกว่า เช่น ใบ turbocharger rotor และหัวจรวด (radome) ดังภาพที่ 1 และ 2

ปัจจุบันน้ำมันมีราคาแพงมนุษย์จึงได้ให้ความสนใจในการพัฒนาการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ และไร้มลพิษมากขึ้น แนวทางหนึ่งที่เป็นได้คือหันไปใช้ Gas Turbine Engines แทนที่การใช้เครื่องยนต์แบบที่ต้องใช้หัวเทียน ปัญหาของ gas turbine engines ในอดีตคือต้องทำมาจากวัสดุมีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิสูงและทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ซึ่งก็มีแต่เซรามิกบางชนิดเท่านั้นที่มีคุณสมบัติเช่นนั้นได้เช่น Silicon Nitride (Si_3N_4) อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาในการขึ้นรูป กล่าวคือการขึ้นรูป Silicon Nitride ให้เป็น turbocharger rotor ซึ่งมีรูปร่างซับซ้อนแบบ เป็นเรื่องที่ทำได้ยากมาก ก่อนการค้นพบวิธีการขึ้นรูปแบบ gelcasting นักเซรามิกขึ้นรูป turbocharger rotor ด้วยวิธีการฉีดแบบ (Injection Molding) ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำและมีค่าใช้จ่ายสูงมาก บางครั้งต้องฉีดแบบได้ชิ้นงานออกมาถึง 20 ชิ้นเพื่อจะได้ชิ้นงานที่เผา sintering ได้ดีเพียงชิ้นเดียว

ราวๆปี พ.ศ. 2543 นักวิจัยเซรามิก Mark Janney กับคณะที่ Oak Ridge National Lab ณ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ร่วมกันพัฒนาวิธีการขึ้นรูปแบบ gelcasting ซึ่งเป็นการขึ้นรูปแบบใหม่ที่ทำให้ความฝันของนักเซรามิกเป็นจริง gelcashing เป็นการขึ้นรูปที่มีความคล้ายคลึงกับการขึ้นรูปแบบ slip casting ซึ่งเป็นที่รู้จักดีในหมู่นักเซรามิก ที่แตกต่างกันบ้างคือส่วนผสมใน slurry ที่นำไปเทแบบกล่าวคือ slurry ของ gelcasting ประกอบด้วย monomer ที่จะจับตัวแข็งเป็น gel เพื่อโอบอุ้มผงเซรามิกให้เกาะกันเป็นรูปตามแบบที่หล่อ ดังนั้นแบบที่ใช้หล่อใน gelcasting จึงไม่จำเป็นต้องทำมาวัสดุที่ดูดซึมน้ำได้ดีอย่างปูนปลาสเตอร์ในงาน slip casting

ภาพที่ 3 เป็นแผนผังการขึ้นรูปแบบ gelcasting จากภาพจะเห็นว่า gelcasting มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

<u>ขั้นที่1</u> บดกวนผสม slurry ขั้นตอนที่จะเอาผงเซรามิกมากวนและบดผสมกับสารละลาย monomer กับสารช่วยกระจายตัว (dispersant) โดยทั่วไป slurry ในงาน gelcasting จะมีส่วนผสมที่เป็นผงเซรามิกมากกว่า 50 vol%

<u>ขั้นที่2</u> นำของผสมในขั้นที่1 ไปไว้ในสุญญากาศเพื่อแยกเอาฟองอากาศใน slurry ออกไป มิฉะนั้นฟองอากาศใน slurry จะเป็นช่องว่างในชิ้นงาน (pore) ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงลดลง

<u>ขั้นที่3</u> เติมสารเริ่มและเร่งปฏิกิริยา (initiator และ catalyst) เพื่อกระตุ้นให้ monomer เกิดปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า polymerization

ขั้นที่4 นำ slurry ไปหล่อแบบที่ทำมาจาก โลหะ แก้ว พลาสติก หรือขี้ผึ้ง แล้วนำแม่แบบที่มี slurry อยู่ไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 40-80 °C เพื่อเร่งให้ปฏิกิริยา polymerization เกิดเสร็จสมบรูณ์ slurry เปลี่ยนเป็น gel ที่มีโครงสร้างแข็งแรง 3 มิติ

ขั้นที่5 ถอดแบบแล้วนำ gel จากขั้นที่4 ไปอบโดยเริ่มด้วยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในเตาอบให้สูงๆ ก่อนจนชิ้นงานหยุดหดตัวจึงค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิและลดความชื้นสัมพัทธ์ในเตาลง แล้วอบต่อไปจนชิ้นงานแห้ง ถึงตรงนี้จะได้ชิ้นงานที่ยังไม่เผา (greenware) ที่มีความแข็งแรงมากจนสามารถนำไปตบแต่ง (matching) คือ ตัด,ขัด,เจาะรูได้ โดยไม่ต้องนำไปเผา sintering เสียก่อน ตรงนี้เป็นข้อดีที่สำคัญมากของการขึ้นรูปแบบ gelcasting เพราะการทำ matching ขณะที่ยังเป็น greenware จะทำให้การ machining ทำได้ง่ายขึ้นอย่างมาก อีกทั้งยังสามารถใช้ tooling คือ หินตัด, หินขัด และหัวเจาะที่ทำมาจาก carbon steel ธรรมดาๆ ซึ่งมีราคาถูกกว่า tooling ที่ทำมาจากเพชรมาก

ขั้นที่6 เผาไล่ binder และเผา sintering (binder-burnout และ sintering) เป็นการนำชิ้นงานที่ตบแต่งสมบรูณ์แล้วไปเผาไล่ binder และเผา sintering เนื่องจาก polymer ที่เหลือใน gel ที่อบแห้งแล้วมีเพียง 2-4wt% ดังนั้นเราอาจจะเผาไล่ binder และเผา sintering ไปพร้อมๆกันได้เลยทำให้ไม่ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากในการเผาไล่ binder และเผา sintering แยกกันเหมือนที่ต้องทำให้การขึ้นรูปแบบ injection molding

จากข้างต้นจะเห็นว่าการขึ้นรูปแบบ gelcasting มีขั้นตอนการขึ้นรูปที่ใกล้เคียงกับการขึ้นรูปแบบ slip casting มาก นักเซรามิกจึงสามารถขึ้นรูปชิ้นงานของเขาด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบใหม่ คือ gelcasting โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่มซื้อเครื่องมือแพงๆ ข้อดีอีกอย่างของการขึ้นรูป gelcasting คือ สามารถนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ๆ เช่น วงแหวน Nickel-Zinc Ferrite ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 เซนติเมตร ซึ่งใช้ในงานวิจัยทางฟิสิกส์ ปัจจุบันมีนักเซรามิกจำนวนมากหันมาทำการศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการขึ้นรูปแบบนี้มากขึ้นเรื่อยๆ อีกไม่นานจากนี้ไปนักเซรามิกจะใช้วิธีการนี้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์มากพอๆ กับการขึ้นรูปวิธีอื่นเช่น slip casting , die pressing และ extrusion

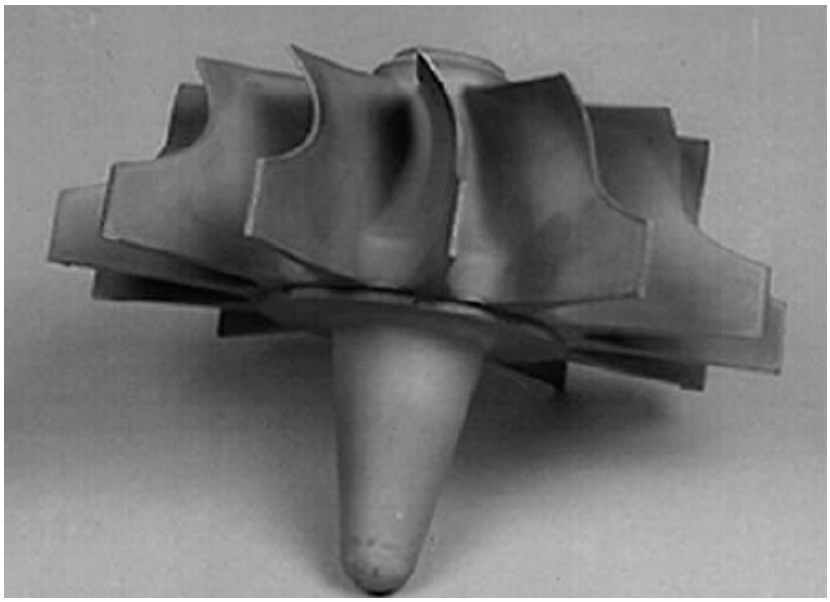
เอกสารอ้างอิง

1) C. Krause, “ORNL’s Gelcasting :Molding the Future of Ceramic Forming?, ” Oak Ridge National Lab. Accessed on: March, 2004. Available at < http://www.ornl.gov/info/ornlreview/rev28-4/text/gelcast.htm>

2) M. Janney, S. Nunn, C. Walls, O. Omatete, R. Ogle, G. Kirby and A. McMillan, “Gelcasting, ” Oak Ridge National Lab. Accessed on: March, 2004. Available at <http://www.ms.ornl.gov/researchgroups/process/cpg/gelpubs/GelChap.pdf>

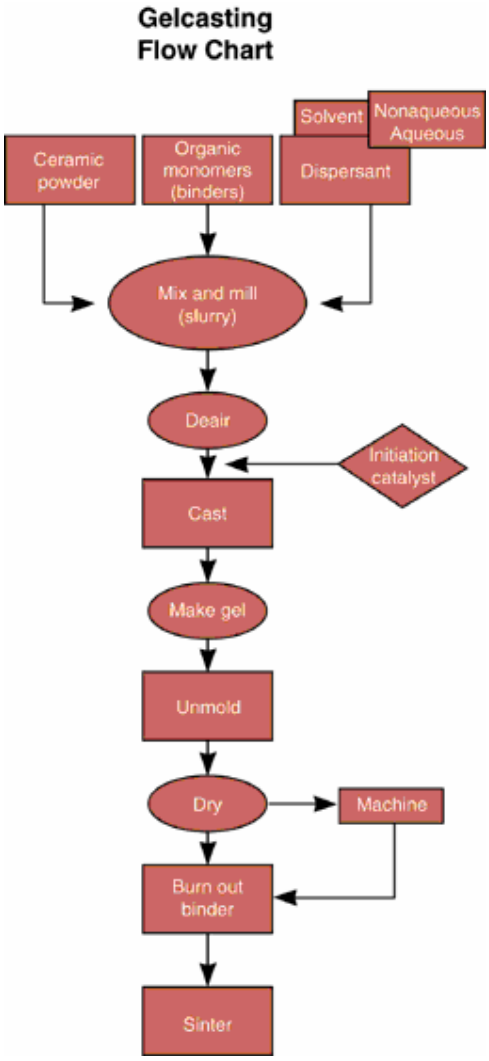
3) H.-C. Liu, S. Kang, F. Prinz and J. Stampfl, “Fabrication of Ceramic Components for Micro Gas Turbine Engines, ” Standford University. Accessed on: March, 2004. Available at <http://www-rpl.stanford.edu/files/Paper/cocoa_beach_v7.pdf >

4) M. Janney, O. Omatete, C. Walls, S. Nunn, R. Ogle, and G. Westmoreland, “Development of Low-Toxicity Gelcasting Systems, ” Oak Ridge National Lab. Accessed on: March, 2004. Available at <http://www.ms.ornl.gov/researchgroups/process/cpg/gelpubs/LowToxGel.pdf>



ภาพที่ 1 แสดง ceramic turbocharger rotor ที่ทำงานด้วยการหมุนด้วยความเร็วหลายแสนรอบต่อนาที ที่ 1000 ^{o}C **(ภาพนี้ย่อได้มากนะครับ ของจริงควรจะเล็กกว่าหัวจรวดในภาพที่ 2 อีก แต่ที่ให้เป็นภาพใหญ่ๆ มาเผื่อว่าย่อแล้วจะได้ชัดๆ)**

ภาพที่ 2 แสดงหัวจรวด (radome) ที่ทำมาจาก ceramic ด้วยวิธี gelcasting



ภาพที่ 3 แสดงแผนผังขั้นตอนการขึ้นรูปแบบ gelcasting