

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การศึกษาเชิงทดลองกระบวนการทำละลายของวัสดุพรุนแบบอัดตัว 1 มิติ Experimental Study of 1-D Melting Process in Saturated Porous Media

อดิยะ ประคองเกื้อ¹, วอนศักดิ์ แก้มแย้ม², จิระพล กลิ่นบุญ³ และ มณฑล ชูโซนา^{4*}

^{1,2} นักศึกษา, ^{3,4} อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

* E-mail: monthon6@hotmail.com, โทรศัพท์: 081-8432096

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองกระบวนการทำละลาย (Melting process) ของวัสดุพรุนแบบอัดตัวภายในรูปทรงสี่เหลี่ยม 1 มิติ ที่สภาวะเริ่มต้นของเซลล์ทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมประกอบด้วยอนุภาค (เม็ดแก้ว) และน้ำที่แข็งตัวภายในรูพรุน โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำละลายที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำละลาย จากการศึกษาพบว่าอัตราการทำละลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการทำละลายและที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคต่างๆ พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะมีอัตราการเคลื่อนที่ของผิวละลายที่สูงกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าและที่อุณหภูมิทำละลายเพิ่มขึ้นผิวทำละลายเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนที่ส่งผ่านไปยังผิวละลายมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิทำละลายใดๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นระยะทางของผิวทำละลายจะเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปขณะหนึ่งเนื่องจากโซนของเหลวที่เพิ่มขึ้น

คำหลัก: วัสดุพรุนแบบอัดตัว, กระบวนการทำละลาย, ผิวทำละลาย

Abstract

This research presents the experimental study of the melting process of saturated porous media in 1-D rectangular. The initial condition consists of particles (glass beads) and ice in pore. The influence of the particle size and melting temperature on temperature distribution and melting front during melting process in saturated porous media are clarified in details. It is found that using a smaller particle size and higher melting temperature result in a faster melting rate. Moreover, it is found that the melting temperature at time increases have mobility of melting front will increase, and will increase in rate decreased when the time passes due to increase liquid zone.

Keywords: saturated porous media, melting process, melting front.

1. บทนำ

ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเฟสของวัสดุพูนแบบอิมิตัวหรือการเคลื่อนตัวของผิวละลายนั้นเป็นปัญหาที่มีนักวิจัยให้ความสำคัญเป็นพิเศษเนื่องจากมีความซับซ้อนกันระหว่างความไม่เป็นเชิงเส้นของเงื่อนไขขอบเขต ทำให้ทำนายตำแหน่งการเคลื่อนตัวของผิวละลายได้ยาก นอกจากนี้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงเฟสยังมีความสำคัญมากกับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันซึ่งสามารถพบเห็นโดยทั่วไปในธรรมชาติ เช่น การละลายของก้อนน้ำแข็งขั้วโลกจากสภาวะโลกร้อน การละลายตัวของหิมะ, ในกระบวนการทางด้านวิศวกรรม เช่น กระบวนการหลอมละลายของโลหะ กระบวนการขึ้นรูปโลหะ กระบวนการทำละลายของการถนอมอาหารในด้านการแพทย์ เช่น การละลายของการถนอมเนื้อเยื่อและอื่น ๆ อีกมากมาย ดังนั้นการอธิบายถึงความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงเฟสในกระบวนการทำละลาย สามารถทำให้เข้าใจในกลไกของปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงในกรณีต่าง ๆ เหล่านี้ได้ ซึ่งช่วยให้เราได้เพิ่มองค์ความรู้พื้นฐานเพื่อประโยชน์ในการออกแบบหรือพัฒนาปรับปรุงกระบวนการที่เกี่ยวข้องให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

เริ่มต้นจากปี ค.ศ. 1860 Neumann (H.S. Carslaw and J.C.Jaeger,1959), (J.C.Muehlbauer and J.E. Sunderland 1965) ได้ทำการศึกษาปัญหาการเปลี่ยนแปลงเฟส (กรณี 1-phase change problem) สำหรับเงื่อนไขขอบเขตที่มีอุณหภูมิคงที่จนสามารถหาคำตอบของปัญหาที่อยู่ในรูปของผลเฉลยแม่นยำในกรณี 1 มิติได้สำเร็จ ต่อมาในปี ค.ศ. 1889 Stefan (L.I.Rubinstein,1971) ได้ศึกษาปัญหาเพิ่มเติมจนสามารถหาผลเฉลยในกรณี 2-phase-change problem ได้เช่นกัน กล่าวได้ว่านักวิจัยทั้ง 2 ท่านนี้ถือเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาปัญหาการเปลี่ยนแปลงเฟสในยุคต่อมา ซึ่งทำให้สามารถหาผลเฉลยแม่นยำได้หลากหลายวิธี เช่น วิธี Neumann's Solution (John Crank, 1981), วิธี Similarity Transformation Method (H.S. Carslaw and J.C.

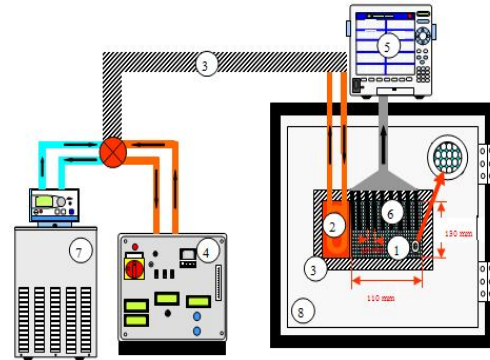
Jaeger , 1959) , (A.B. Taylor , 1974) หรือวิธี Heat Balance Integral Methods (T.R. Goodman , 1961) ต่อมาในปี ค.ศ.1985 C. Beckermann and R. Viskanta ได้ศึกษาเชิงทดลองร่วมกับระเบียบวิธีเชิงตัวเลขของกระบวนการทำละลายของโลหะบริสุทธิ์ภายในกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยมในแนวดิ่ง โดยจะทำการพิจารณาถึงผลของการพาความร้อนแบบธรรมชาติในโซนของเหลวและผลของการนำความร้อนในโซนของแข็งพบว่าของแข็งที่ได้รับการชัลลูลิ่งจะมีผลทำให้อัตราการทำละลายลดลงเมื่อเทียบกับการทำละลายของของแข็งที่อุณหภูมิหลอมละลาย ต่อมาในปี ค.ศ. 1996 M. Yamada และคณะศึกษาเชิงทดลองการทำละลายของชั้นน้ำแข็งในแนวดิ่งที่จมอยู่ในของเหลวที่ผสมเข้ากันไม่ได้ ในการทดลองจะพิจารณาดำเนินการของผิวละลายและการถ่ายเทความร้อน โดยใช้น้ำมันพืชเป็นของเหลวในการทดสอบทำละลายน้ำแข็งที่บรรจุในกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งพบว่าการถ่ายเทความร้อนและอัตราการทำละลายมีผลต่อการเคลื่อนตัวของของเหลวทั้งน้ำมันพืชและน้ำที่ละลายผสมกันไม่ได้ หลังจากนั้นต่อมาได้มี ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช ได้ศึกษาเชิงทดลองการทำละลายโดยการพาความร้อนผ่านทรงกระบอก (ใช้แท่งน้ำแข็งทรงกระบอกเป็นวัสดุทดสอบ) โดยทำการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของน้ำแข็งทรงกระบอกที่มีน้ำไหลผ่านที่อัตราการไหลคงที่ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นวัตถุจะมีลักษณะเป็นลูกเบี้ยว ต่อมาใน พ.ศ. 2550 ชยานนท์ เสริฐธิกุล และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช ได้ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแก้ปัญหาการทำละลาย (กรณีวัสดุพูนแบบอิมิตัว) โดยใช้เทคนิควิธีแปรผันระยะกิริตและทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผลเฉลยแม่นยำตรงพบที่มีความใกล้เคียงและสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน, ต่อมาใน พ.ศ. 2551 มณฑล ชูโชนาค และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อทำนายการกระจายของอุณหภูมิภายในวัสดุและการเคลื่อนที่ของผิวฟรียิ่ง (Freezing front) ที่เวลาต่างๆ ในระบบหนึ่งมิติ และทำการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่

ของผิวพรีซซึ่งที่ได้จากการทำนายด้วยวิธีแปรผัน
ระยะกริด วิธีการกำหนดขอบเขตแบบคงที่และผล
เฉลยแม่นยำตรง (Exact solution) พบว่าอัตราการเกิด
ผิวพรีซซึ่งมีลักษณะเป็นแบบไม่เชิงเส้นสูงในช่วงแรก
ของกระบวนการ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้
จากการทำนายกับค่าที่ได้จากสมการแม่นยำตรง พบว่ามี
ค่าที่สอดคล้องกัน, ต่อมาใน พ.ศ. 2552 มณฑล
ชูโชนาค, วีระศักดิ์ คงแก้ว, อติยะ ประครองเกื้อ,
วอนศักดิ์ แก้วแย้ม, ยุทธนา สุโงะและอัฐพล เสนากัสปี
ได้ศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการทำละลายในวัสดุ
ที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส 1 มิติ พบว่าการเคลื่อนที่ของ
ผิวละลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของความร้อนที่
ส่งผ่านไปยังผิวละลายที่อุณหภูมิของการทำละลาย
ใดๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการเคลื่อนที่ของผิวละลายจะมี
ค่าเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่รวดเร็วเมื่อเวลา
ผ่านไปในช่วงปลายของกระบวนการทำละลาย
เนื่องจากความแตกต่างของคุณสมบัติทางความร้อน
ของน้ำและน้ำแข็ง อีกทั้งอาจเกิดจากการพาความร้อน
ในโซนของเหลวซึ่งมีส่วนทำให้อัตราการทำละลาย
เพิ่มขึ้น

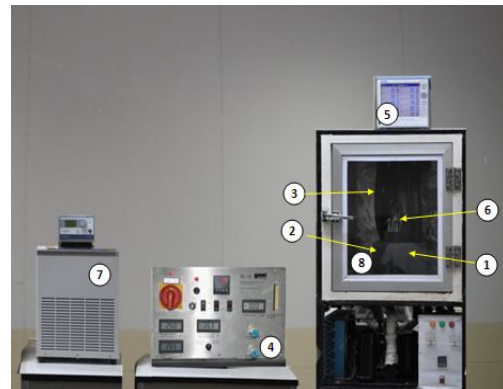
2.การทดลอง

จากรูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
สำหรับการทำละลายของวัสดุพูนแบบอิมิตัว ซึ่ง
ประกอบไปด้วยเซลล์ทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาด
ภายในสูง 130 mm กว้าง 110 mm และลึก 50 mm
และมีช่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดภายในสูง
130 mm กว้าง 75 mm และลึก 50 mm ผืนใน
แนวราบทั้งด้านบนและด้านล่าง และผืนในแนวตั้งทั้ง
ด้านหน้าและด้านหลังทำจากอะคริลิคเรซิน
(acrylic resin) และผืนกันระหว่างช่องความร้อนกับ
เซลล์ทดสอบเป็นทองแดง เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน
ทุกด้านของเซลล์ทดสอบหุ้มฉนวน Styrofoam
หนา 1 in เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและการ
ควบแน่นของความชื้นที่ผืนรอบชุดทดสอบ ภายใน
เซลล์ทดสอบบรรจุวัสดุพูนแบบอิมิตัว (ประกอบด้วย
เม็ดแก้ว (glass bead) และน้ำ) ที่ผืนในแนวตั้ง
ด้านข้างซ้ายได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อน

อุณหภูมิสูงซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
แบบหลายกลับ (multi pass) โดยที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยน
ความร้อนจะถูกต่อเข้ากับแหล่งอุณหภูมิคงที่ ซึ่งใช้น้ำ
เป็นสารตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน



(ก) ภาพแสดงทางกายภาพของอุปกรณ์การทดลอง

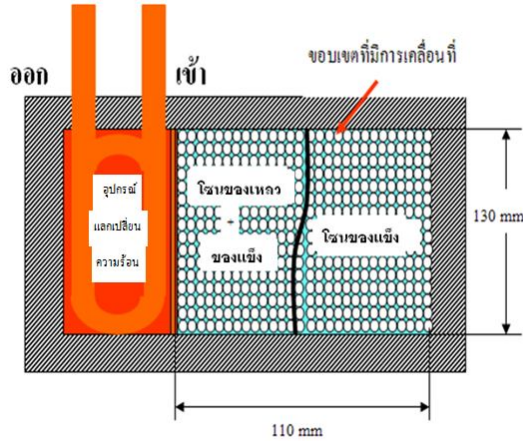


(ข) ภาพแสดงอุปกรณ์การทดลอง

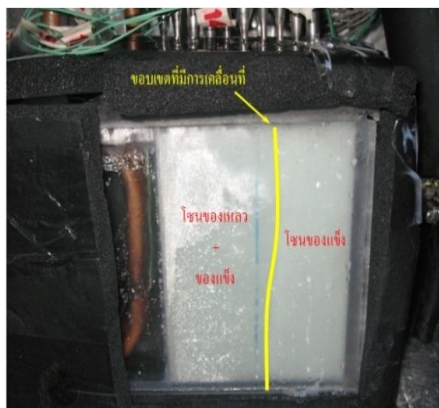
- รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ทดลอง 1) เซลล์ทดสอบ
2) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 3) ฉนวนความร้อน
4) เครื่องทำความร้อน 5) อุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ
6) เทอร์โมคัปเปิล 7) เครื่องทำความเย็น
8) ตัวควบคุมอุณหภูมิ

ระหว่างทำการทดลองเซลล์ทดสอบจะติดตั้งไว้ใน
ตัวควบคุมอุณหภูมิคงที่ 10 °C และใช้เทอร์โมคัปเปิล
type K ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 mm. จำนวน
10 ตัว เพื่อหาค่าการกระจายของอุณหภูมิภายในเซลล์
ทดสอบซึ่งตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดที่ใช้วัด
อุณหภูมิจะถูกติดตั้งที่ตำแหน่งศูนย์กลางในระนาบ
ของเซลล์ทดสอบและมีระยะห่างเท่าๆ กัน 10 mm

โดยที่เทอร์โมคัปเปิ้ลทุกตัวจะต่อเข้ากับอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ (data logger) เพื่อเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ ตำแหน่งของผิวเชื่อมต่อระหว่างเฟสในเซลล์ทดสอบหาได้จากการประมาณค่าในช่วง (interpolate) ของอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ล



(ก) ภาพแสดงทางกายภาพของขอบเขตที่มีการเคลื่อนที่



(ข) แสดงขอบเขตที่มีการเคลื่อนที่จากการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงขอบเขตที่มีการเคลื่อนที่
จากรูปที่ 2 เมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง จะเกิดโซนของเหลวในเซลล์ทดสอบและเกิดการเคลื่อนที่ของผิวทำละลายภายในเซลล์ทดสอบที่ผ่านแนววัดอุณหภูมิที่อยู่ในชุดทดสอบและเก็บค่าการกระจายอุณหภูมิในชุดทดสอบ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากกฎการอนุรักษ์พลังงานเมื่อพิจารณาเฉพาะการนำความร้อนที่ถ่ายเทผ่านปริมาตรควบคุมใด ๆ ในที่นี้จะพิจารณาเป็นกรณีการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติสามารถเขียนสมการเชิงอนุพันธ์เพื่อใช้อธิบายการถ่ายเทความร้อนทั้งภายในบริเวณโซนของเหลว และภายในบริเวณโซนของแข็งในกรณีหนึ่งมิติ ได้ดังนี้

3.1) สำหรับโซนของแข็ง (frozen layer) ($0 < x < \epsilon(t)$)

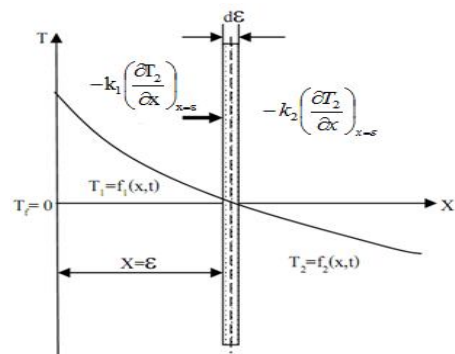
$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = \alpha_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \quad (1)$$

3.2) สำหรับโซนของเหลว (Unfrozen layer) ($x > \epsilon(t)$)
(ไม่พิจารณาการพาความร้อน)

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \alpha_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} \quad (2)$$

3.3) สำหรับที่ตำแหน่งของผิวละลาย ($x = \epsilon$)

เมื่อพิจารณาดำเนินการของผิวละลาย $x = \epsilon$ อุณหภูมิ 0°C จากนั้น ทำการสร้างสติบเล็ก ๆ มีความหนา $d\epsilon$ ที่เวลา dt ดังรูปที่ 3 ที่ตำแหน่งนี้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปแบบต่อเนื่อง ซึ่งความร้อนที่ถ่ายเทจากโซนของแข็งโดยการนำผ่านพื้นผิวที่มีอุณหภูมิคงที่ไปยังโซนของเหลวของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส จากกฎของการอนุรักษ์พลังงาน จะได้



รูปที่ 3 แสดงการสมดุลพลังงานที่ผิวละลาย

$$L\rho \frac{d\epsilon}{dt} = q_1 - q_2 \quad (3)$$

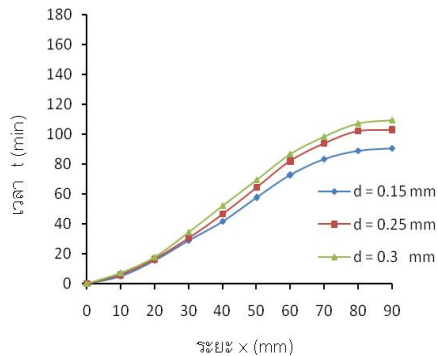
เมื่อ $q = -k \frac{\partial T}{\partial x}$ จะได้

อัตราการเคลื่อนที่ของขอบเขตของผิวทำละลายหาได้จาก

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{1}{L\rho} \left[-k_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial x} \right)_{x=\epsilon} + k_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial x} \right)_{x=\epsilon} \right] \quad (4)$$

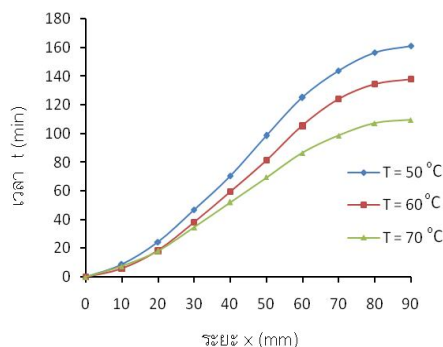
4.ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล

จากการทดลองในสภาวะต่าง ๆ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบจะได้กราฟดังต่อไปนี้



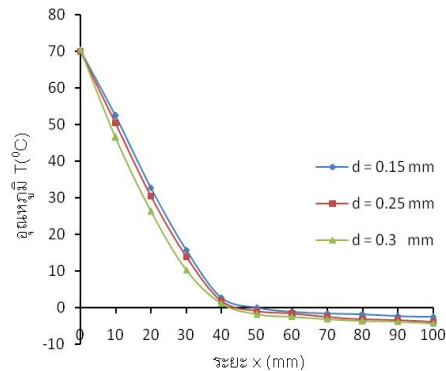
รูปที่ 4 เปรียบเทียบแนวโน้มการเคลื่อนตัวของผิวละลายที่เม็ดแกวขนาดต่างๆ สำหรับอุณหภูมิทำละลายที่ 70 °C

จากรูปที่ 4 พบว่าแนวโน้มการเคลื่อนตัวของผิวทำละลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ใช้ในการทำละลายที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำละลาย พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะมีอัตราการเคลื่อนที่ของผิวทำละลายที่สูงกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า เนื่องจากที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าจะมีค่าความจุความร้อน (ρc) มีค่าต่ำกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า จึงทำให้ความร้อนเกิดการแพร่กระจายผ่านวัสดุได้เร็วกว่า

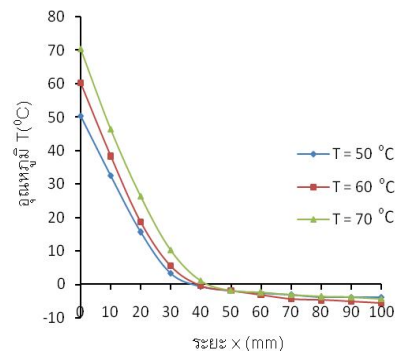


รูปที่ 5 เปรียบเทียบแนวโน้มการเคลื่อนตัวของผิวละลายที่อุณหภูมิต่างๆ สำหรับเม็ดแกวขนาด 0.3 mm

จากรูปที่ 5 พบว่าแนวโน้มการเคลื่อนตัวของผิวทำละลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำละลายที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำละลาย พบว่าที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการทำละลายที่เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าเนื่องจากอิทธิพลของความร้อนที่ส่งผ่านไปยังผิวทำละลาย



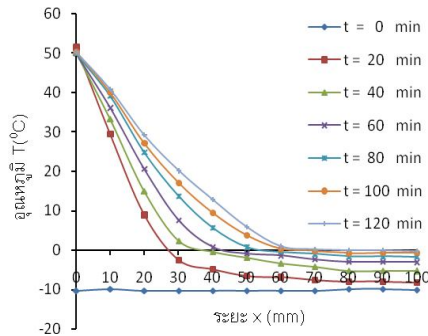
รูปที่ 6 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิและการเคลื่อนตัวของผิวทำละลายที่เม็ดแกวขนาดต่างๆ สำหรับอุณหภูมิทำละลายที่ 70 °C เมื่อพิจารณาที่เวลา 60 นาที



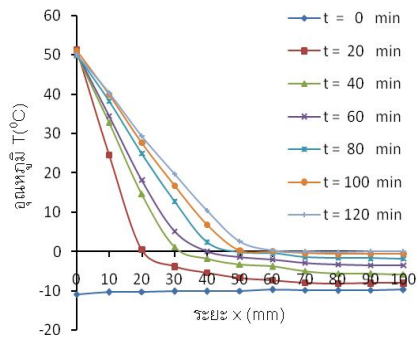
รูปที่ 7 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิและการเคลื่อนตัวของผิวทำละลายที่อุณหภูมิต่างๆ สำหรับเม็ดแกว 0.3 mm เมื่อพิจารณาที่เวลา 60 นาที

จากรูปที่ 6 และ 7 พบว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบระยะการเคลื่อนตัวของผิวทำละลายที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคและอุณหภูมิที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำละลายที่เวลา 60 นาที พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะมีอัตราการ

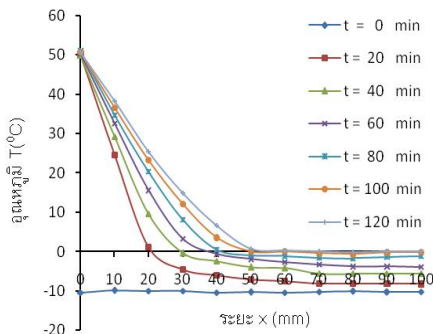
เคลื่อนที่ของผิวทำละลายที่สูงกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โตกว่าและที่อุณหภูมิทำละลายเพิ่มขึ้นทำให้ผิวทำละลายเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น



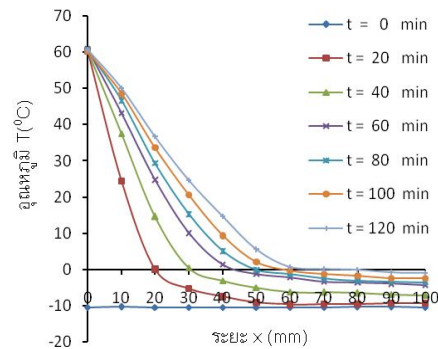
(ก) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 mm



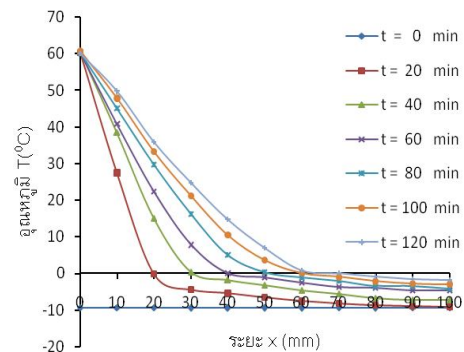
(ข) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm



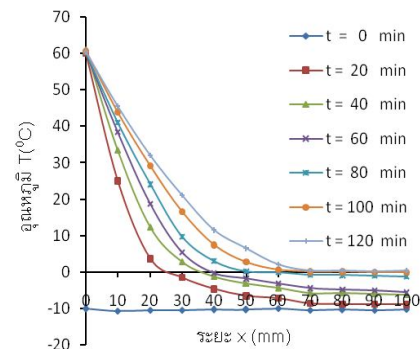
(ค) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm
รูปที่ 8 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนตัวของผิวทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของการทำละลายที่ 50 °C



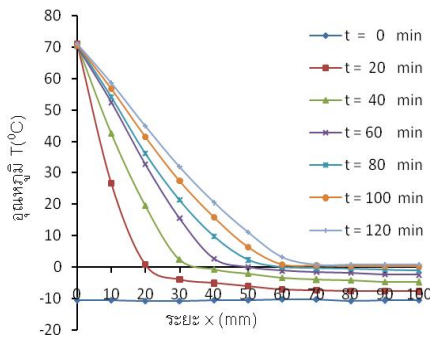
(ก) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 mm



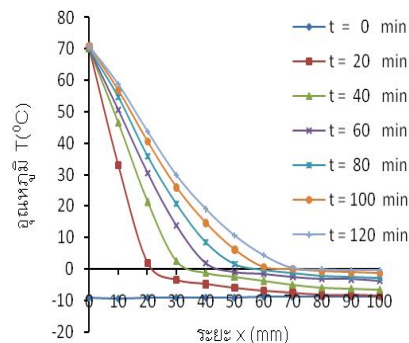
(ข) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm



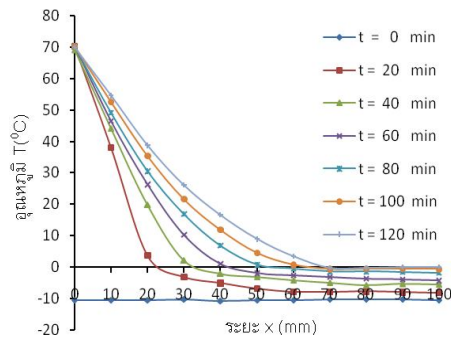
(ค) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm
รูปที่ 9 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนตัวของผิวทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของการทำละลายที่ 60 °C



(ก) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 mm



(ข) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm



(ค) การทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 mm
รูปที่ 10 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนตัวของผิวทำละลายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของการทำละลายที่ 70 °C

จากรูปที่ 8 , 9 และ 10 เป็นค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมดและยังพบว่าอัตราการละลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการ และที่อุณหภูมิทำละลายใดๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นระยะทางของผิวทำละลายจะเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเนื่องจากโซนของเหลวที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความ

ต้านทานของความร้อนที่ส่งผ่านจากโซนของเหลวไปยังโซนของแข็ง

5.สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการทำละลายของวัสดุพูนแบบอิมัลชันภายในรูปทรงสี่เหลี่ยม 1 มิติ โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคและอุณหภูมิ พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะมีอัตราการเคลื่อนที่ของผิวละลายที่สูงกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า เนื่องจากที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะเกิดการแพร่กระจายความร้อนผ่านวัสดุได้เร็วกว่า และพบว่าที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการทำละลายที่เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนที่ส่งผ่านไปยังผิวทำละลาย โดยที่อัตราการละลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของกระบวนการ และที่อุณหภูมิทำละลายใดๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นระยะทางของผิวทำละลายจะเพิ่มขึ้นแต่จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเนื่องจากโซนของเหลวที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความต้านทานของความร้อนที่ส่งผ่านจากโซนของเหลวไปยังโซนของแข็ง

6.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศ.ดร ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช หน่ววิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)และสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้สนับสนุนการทําวิจัยในครั้งนี้

7.อักษรย่อและสัญลักษณ์

- ρ ความหนาแน่น (kg/m^3)
- α สัมประสิทธิ์การแผ่กระจายของความร้อน (m^2/s)
- k ประสิทธิภาพของการนำความร้อน (W/mK)
- t เวลา (s)
- T อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
- ε ระยะการเคลื่อนที่ของผิวละลาย (m)
- L ความร้อนแฝงของการทำละลาย (J/kg)

ตัวห้อย

- o ที่สภาวะเริ่มต้น(initial)
- s ผิวที่ได้รับโหลดความเย็น
- 1 โซนของแข็ง
- 2 โซนของเหลว

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชยานนท์ เสริฐธิกุล และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2550. การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแก้ปัญหาการหาละลาย (กรณีวัสดุพหุแบบอ้อมตัว) โดยเทคนิควิธีการแปรผันระยะกิริต, วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 29 ฉบับที่ 5ก.ย.-ต.ค. p. 1393-1405.
- [2] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และมณฑล ชูโซนา, 2551. การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีสำหรับปัญหาที่มีการเคลื่อนตัวของขอบเขตด้วยวิธีแปรผันระยะกิริต และวิธีการกำหนดขอบเขตแบบคงที่ (กรณีศึกษา: กระบวนการฟรีซ ชิ่ง) การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 15-17 ตุลาคม 2551.มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
- [3] มณฑล ชูโซนา, วิระศักดิ์ คงแก้ว, อติยะ ประคองเกื้อ, วอนศักดิ์ แก้วแย้ม, ยุทธนา สุโงะ และอัฐพล เสนากัสป์, 2552. ได้ศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการทำละลายในวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส 1 มิติ การจัดทำวารสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ครั้งที่ 1
- [4] วิระศักดิ์ คงแก้ว, จิรพล กลิ่นบุญ, มณฑล ชูโซนา, การศึกษาเชิงตัวเลขและเชิงทดลองของกระบวนการทำละลายในวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส 1 มิติ, จัดการประชุมวิชาการ การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 8 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วันที่ 12-13 มีนาคม 2552 ณ โพธิ์วัด รีสอร์ท แอนด์ สปา จ.เชียงใหม่
- [5] Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C., 1959. "Conduction of Heat in Solid" 2nd Ed., p. 283, 353. Oxford University Press, London and New York
- Muehlbauer, J.C. and Sunderland, J.E., 1965. Heat Conduction with a freezing or melting. Appl. Mech. Rev. p. 18, 951.
- [6] Crank, J., 1981. Numerical Methods in Heat Transfer, chap. 9, John Wiley & Sons Ltd.
- [7] Crank, J., 1984. Free and Boundary Problem, Clarendon Press Oxford.
- [8] Goodman, T.R., 1961. J. Heat Transfer, Trans. ASME (C), P. 83-86.
- [9] M. YAMADA, S. FUKUSAKO, T. KAWANAMI and C. WATANABE, "Melting heat transfer characteristics of a horizontal ice cylinder immersed in quiescent still water" Hokkaido University, Japan 28 January 1996
- [10] Rattanadecho, P. 2004. Experimental and Numerical Study of Solidification Process in Unsaturated Granular Packed Bed, J. Thermophysics and Heat Transfer, January-March p. 87-93.
- [11] Rubinstein, L.I., 1971. The Stefan problem, Am. Math. Soc. Transl. Math. Monogr. 27.
- [12] Taylor, A.B., 1974. The mathematical formulation of Stefan problems, "Moving Boundary Problems in Heat Flow and Diffusion." Proc. Univ. Oxford, March p. 25-27.