การศึกษาเชิงทดลองกระบวนการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว 2 เลเยอร์
Experimental Study of Solidification of Saturated Porous Media in 2-Layer

ธีรพันธุ์ วรรณมณี[1] ธีรพงษ์ ใยทอง[1] วิลาวรรณ มณีนพรัตน์[1] และมณฑล ชูโชนาค[2*]

[1] นักศึกษา , [2]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
* E-mail: monthon6@hotmail.com, โทรศัพท์: 081-8432096

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองกระบวนการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัวแบบ 2 เลเยอร์ โดยวัสดุพรุนประกอบไปด้วยเม็ดแก้วและเม็ดเหล็ก(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 mm) และน้ำอิ่มตัวภายในรูพรุน เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแข็ง และรูปแบบของการจัดวางวัสดุพรุนภายในเซลล์ทดสอบที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิทำแข็ง -10 °C การกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบจะดีกว่าที่อุณหภูมิทำแข็ง -5 °C และการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบที่จัดวางแบบเม็ดเหล็ก-เม็ดแก้วจะดีกว่าที่จัดวางแบบเม็ดแก้ว-เม็ดเหล็ก

คำหลัก: การทำแข็ง, วัสดุพรุนแบบอิ่มตัว, การจัดวาง, ผิวทำแข็ง

Abstract

This research study experimentally of solidification in a saturated porous medium 2 layer. The saturated porous medium consists of glass and steel (ϕ = 0.30 mm) and water fulfill in the voids. This problem the influence of the solidification temperature and porous medium configuration inside test cell on temperature distribution and solidification front are discussed. The results show that at solidification temperature -10 $^{\circ}$C the temperature distribution and solidification front inside test cell are greater than at solidification temperature -5 $^{\circ}$C and temperature distribution and solidification front inside test cell at placement is steel-glass greater than placement is glass-steel.

Keywords: solidification, saturated porous media, placement, solidification front

1. บทนำ

ในธรรมชาติสสารแต่ละชนิดจะปรากฏอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่ง นั้นคือ ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส เราสามารถทำให้สสารเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปเป็นอีกสถานะหนึ่งได้ และสามารถทำให้กลับมาอยู่ในสถานะเดิมได้อีก การเปลี่ยนแปลงสถานะของสสารเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานซึ่งการเปลี่ยนสถานะของสสารจากของแข็งเป็นของเหลว และจากของเหลวเป็นแก๊ส จะต้องทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคลดลง ทำได้โดยใช้พลังงานความร้อนแก่สสารในสถานะของแข็งและจะทำให้ของแข็งหลอมเหลวกลายเป็นของเหลว และเมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลวจะทำให้ของเหลวกลายเป็นแก๊ส ในทางกลับกันการเปลี่ยนสถานะของสสารจากแก๊สกลับมาเป็นของเหลว และจากของเหลวกลายเป็นของแข็งนั้นจะต้องทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคเพิ่มขึ้น ซึ่งทำได้โดยให้สสารคายความร้อนออกมา เมื่อลดอุณหภูมิของสสารในสถานะแก๊สลงจะทำให้แก๊สควบแน่นกลายเป็นของเหลว และเมื่อลดอุณหภูมิของเหลวลงอีกจะทำให้ของเหลวกลายเป็นของแข็งได้ พลังงานความร้อนที่ใช้ไปเพื่อเปลี่ยนสถานะของสสารเรียกว่า ความร้อนแฝง ถ้าเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอเรียกว่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ถ้าเปลี่ยนสถานะของแข็งเป็นของเหลวเรียกว่า ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว ความร้อนแฝงของสสารแต่ละชนิดมีค่าเฉพาะตัว เช่น

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำมีค่า 540 แคลอรีต่อกรัม ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำมีค่า 80 แคลอรีต่อกรัม

โดยทั่วไปในชีวิตประจำวันเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสารอยู่เสมอ เช่น การเปลี่ยนสถานะของน้ำในธรรมชาติหมุนเวียนเป็น วัฏจักรทำให้มีแหล่งน้ำสะอาดให้มนุษย์ได้ใช้หมุนเวียนอยู่เสมอ นอกจากนี้มนุษย์ยังใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนสถานะของสสารในด้านต่าง ๆ เช่น

1. การเปลี่ยนสถานะของสสารจากของแข็งเป็นของเหลวก่อนจะนำสสารไปใส่แบบพิมพ์หรือเป่าให้มีรูปร่างตามต้องการ เช่น โลหะ แก้ว เทียน พลาสติก

2. การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ เช่น การใช้ประโยชน์จากแรงดันไอน้ำเดือดในการหมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

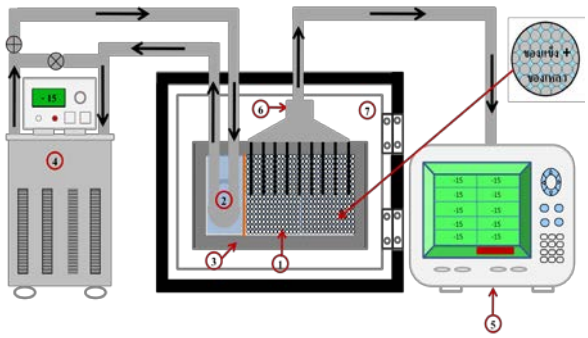
3. การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง เช่น การทำไอศกรีม การทำน้ำแข็ง

การเปลี่ยนแปลงสถานะของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัวเป็นปัญหาทางกายภาพที่มีความซับซ้อน นั่นคือมีการเคลื่อนที่ของขอบเขตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถพบเห็นอยู่ทั่วไปในธรรมชาติและในทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ การที่นำวัสดุพรุนมาศึกษาทดลองเนื่องจากวัสดุพรุนเป็นวัสดุพื้นฐานที่ใช้ในด้านวิศวกรรม ดังนั้นถ้าเราสามารถทำความเข้าใจถึงกลไกของการเปลี่ยนแปลงในปรากฏการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ได้จะช่วยให้สามารถออกแบบหรือพัฒนาปรับปรุงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำแข็งของวัสดุต่าง ๆ ให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นได้มีนักวิจัยจำนวนมากพยายามที่จะทำการศึกษาถึงปัญหาดังกล่าวโดยเริ่มจาก ในปี ค.ศ. 1959 Murray และ Landis[1] ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีแปรผันระยะกริด (Variable space grid method) กับวิธีกำหนดระยะกริดแบบคงที่ (Fixed space grid method) พบว่าวิธีแรกจะมีความแม่นยำกว่า เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนขณะเริ่มต้นน้อยกว่า ในปี พ.ศ. 2549 จิตติน แตงเที่ยง[2] ได้นำระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการแข็งตัวของน้ำแข็งซอง เพื่อทำนายอัตราการผลิตของน้ำแข็งและสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และผลการคำนวณเชิงตัวเลขที่ได้เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรง พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน ในปี พ.ศ. 2551 มณฑล ชูโชนาค และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช[3] ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อทำนายการกระจายของอุณหภูมิภายในวัสดุและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็ง (Freezing front) ที่เวลาต่างๆ ในระบบหนึ่งมิติและทำการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งที่ได้จากการทำนายด้วยวิธีแปรผันระยะกริด วิธีการกำหนดขอบเขตแบบคงที่และผลเฉลยแม่นตรง (Exact solution) พบว่าอัตราการเกิดผิวทำแข็งมีลักษณะเป็นแบบไม่เชิงเส้นสูงในช่วงแรกของกระบวนการ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่ได้จากสมการแม่นตรง พบว่ามีค่าที่สอดคล้องกัน ในปีเดียวกัน วิระศักดิ์ คงแก้ว และคณะ[4] ได้ศึกษาเชิงตัวเลขและเชิงทดลองของกระบวนการทำแข็งในวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ 1 มิติ โดยนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งพบว่าแนวโน้มของการกระจายอุณหภูมิและอัตราการเกิดน้ำแข็งที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขกับผลที่ได้จากการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน ในปี พ.ศ. 2553 ยุทธนา สุโจ๊ะ และคณะ[5] ได้ศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว 1 มิติ โดยใช้เม็ดแก้วเป็นวัสดุพรุนและน้ำเป็นสารทำงานในการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแข็งที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนตัวที่ของผิวทำแข็ง พบว่าการกระจายอุณหภูมิในเซลล์ทดสอบที่เม็ดแก้วขนาดใหญ่จะมีค่าสูงกว่าเม็ดแก้วขนาดเล็ก การเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งช่วงแรกของเม็ดแก้วที่มีขนาดใหญ่จะมีอัตราเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า แต่ในช่วงปลายที่ขนาดเม็ดแก้วเล็กกว่าจะมีอัตราการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งที่เร็วกว่า ในปีเดียวกัน อติยะ ประคองเกื้อ และคณะ[6] ได้ศึกษาเชิงทดลองกระบวนการทำละลายของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว 1 มิติ โดยใช้เม็ดแก้วเป็นวัสดุพรุนและน้ำเป็นสารทำงานในการเปลี่ยนแปลงสถานะ โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำละลายที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำละลาย พบว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะมีอัตราการเคลื่อนที่ของผิวทำละลายที่สูงกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่โตกว่าและที่อุณหภูมิทำละลายเพิ่มขึ้น ผิวทำละลายจะเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว และในปี 2553 เช่นกัน วิระศักดิ์ คงแก้ว และคณะ[7] ได้ศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการทำแข็งของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ 1 มิติ พบว่าแนวโน้มของการกระจายอุณหภูมิและอัตราการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งที่ได้จากการทดลองกับผลเฉลยแม่นตรงมีค่าไปในทิศทางเดียวกัน ในปี 2554 พิรสิทธิ์ ทวยนาค

และคณะ[8] ได้ศึกษาเชิงทดลองการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัวภายในรูปทรงสี่เหลี่ยมปิด: อิทธิพลของชนิดของวัสดุ โดยใช้เม็ดแก้ว เม็ดเหล็ก เม็ดสเตนเลสเป็นวัสดุพรุน และน้ำเป็นสารทำงานในการเปลี่ยนแปลงสถานะ พบว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัวชนิดเม็ดเหล็กจะดีกว่าชนิดเม็ดสเตนเลส และเม็ดแก้วตามลำดับ ในปี 2555 พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะ[9] ได้ศึกษาเชิงทดลองการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว โดยใช้เม็ดสเตนเลสเป็นวัสดุพรุน และน้ำเป็นสารทำงานในการเปลี่ยนแปลงสถานะ พบว่ากระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคขนาดเล็กจะดีกว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคขนาดโตกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิทำแข็ง -10 °C การเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบจะดีกว่าที่อุณหภูมิทำแข็ง -5 °C

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดลองกระบวนการการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัวโดยใช้เม็ดเหล็กเป็นวัสดุพรุนและใช้น้ำเป็นสารทำงานในการเปลี่ยนแปลงสถานะ เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่ใช้ในการทำแข็งที่มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็ง

2. การทดลอง

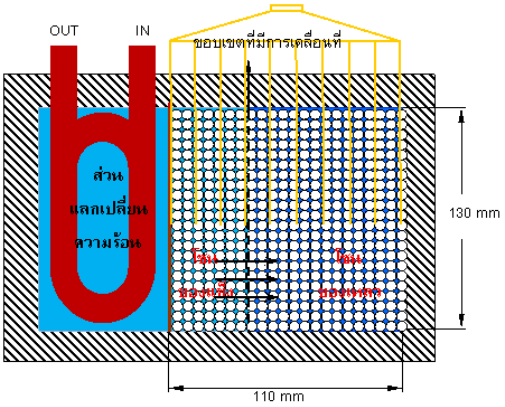


รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
1) เซลล์ทดสอบ 2) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
3) ฉนวนความร้อน 4) เครื่องทำความเย็น
5) อุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ 6) เทอร์โมคัปเปิ้ล
7) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

จากรูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว ซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์ทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาดภายในสูง 130 mm กว้าง 110 mm และลึก 50 mm ผนังในแนวราบทั้งด้านบนและด้านล่าง ผนังในแนวดิ่งทั้งด้านหน้าและด้านหลังทำจากอะครีลิกเรซิน (Acrylic resin) ทุกด้านของเซลล์ทดสอบหุ้มฉนวน Styrofoam หนา 25.4 mm ยกเว้นด้านที่ให้โหลดเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนและการควบแน่นของความชื้นที่ผนังของเซลล์ทดสอบ โดยที่ภายในเซลล์ทดสอบบรรจุวัสดุพรุนสองชนิดเรียงติดกันประกอบด้วยเม็ดเหล็กและเม็ดแก้วซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอขนาด 0.30 mm เป็นวัสดุพรุนและใช้น้ำเป็นสารทำงานในการเปลี่ยนแปลงสถานะ ที่ผนังในแนวดิ่งด้านข้างซ้ายได้มีการระบายความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนอุณหภูมิต่ำโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบหลายกลับ ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกต่อเข้ากับแหล่งอุณหภูมิต่ำโดยใช้วาล์วเปิด-ปิด แหล่งอุณหภูมิต่ำจะประกอบไปด้วยสารละลายเอทิลีนไกลคอลและน้ำมีความเข้มข้น 50 % ซึ่งใช้เป็นสารตัวกลางในการระบายความร้อน (เนื่องจากที่ความดันบรรยากาศน้ำจะแข็งตัวที่ 0 °C แต่ในแหล่งความร้อนคงที่นั้นอุณหภูมิจะต่ำกว่าศูนย์ ดังนั้นจึงต้องเติมสาร Ethylene Glycol เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำแข็งตัว)

การเตรียมเซลล์ทดสอบโดยเริ่มจากนำเม็ดเหล็กและเม็ดแก้วขนาดที่ต้องการมาตวงให้ได้ปริมาตรเท่ากับครึ่งเซลล์ทดสอบ เติมน้ำให้อิ่มตัวโดยไม่มีช่องว่างภายในรูพรุน แล้วนำไปบรรจุชนิดละครึ่งเซลล์ทดสอบ จากนั้นนำไปประกอบเข้ากับชุดทดลอง

ระหว่างทำการทดลอง เซลล์ทดสอบจะติดตั้งไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิและควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง 10 °C ใช้เทอร์โมคัปเปิ้ล type K ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 mm จำนวน 10 ตัว เพื่อหาค่าการกระจายของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบซึ่งตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้งหมดที่ใช้วัดอุณหภูมิจะถูกติดตั้งที่ตำแหน่งศูนย์กลางในระนาบของเซลล์ทดสอบและมีระยะห่างเท่า ๆ กัน 10 mm โดยที่เทอร์โมคัปเปิ้ลทุกตัวจะต่อเข้ากับอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ (Data logger) เพื่อเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ช่วงเวลาต่าง ๆ โดยที่ตำแหน่งของผิวทำแข็งภายในในเซลล์ทดสอบหาได้จากการประมาณค่าในช่วง (Interpolate) ของอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ล



รูปที่ 2 แสดงขอบเขตที่มีการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 2 เมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจะเกิดโซนของแข็งในเซลล์ทดสอบ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนภายในเซลล์ทดสอบและจากนั้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบขึ้น

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากกฎการอนุรักษ์พลังงานเมื่อพิจารณาเฉพาะการนำความร้อนที่ถ่ายเทผ่านปริมาตรควบคุมใด ๆ ในที่นี้จะพิจารณาเป็นกรณีการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ สามารถเขียนสมการเชิงอนุพันธ์เพื่อใช้อธิบายการถ่ายเทความร้อนทั้งภายในบริเวณโซนของเหลวและภายในบริเวณโซนของแข็งในกรณีหนึ่งมิติ ได้ดังนี้

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

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

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

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

3.3) สำหรับที่ตำแหน่งของผิวทำแข็ง($x = \varepsilon$)

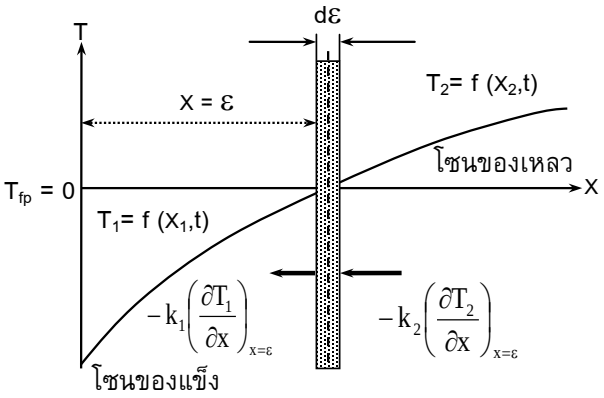
จากรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาตำแหน่งของผิวเชื่อมต่อระหว่างเฟสที่ $x = \varepsilon$ อุณหภูมิ 0 °C จากนั้น ทำการสร้างแถบเล็กๆ มีความหนา $d\varepsilon$ ที่เวลา dt ซึ่งที่ตำแหน่งนี้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปแบบต่อเนื่อง ซึ่งความร้อนที่ถ่ายเทจากโซนของแข็งโดยการนำผ่านพื้นผิวที่มีอุณหภูมิคงที่ไปยังโซนของเหลวของสารทำงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส จากกฎของการอนุรักษ์พลังงาน จะได้

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

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

อัตราการเคลื่อนที่ของขอบเขตของผิวทำแข็งหาได้จาก

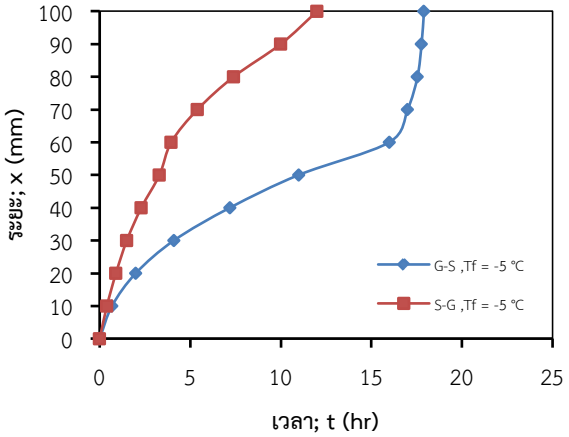
$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{L\rho}\left[k_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial x}\right)_{x=\varepsilon} - k_2 \left(\frac{\partial T_2}{\partial x}\right)_{x=\varepsilon} \right] \qquad (4)$$



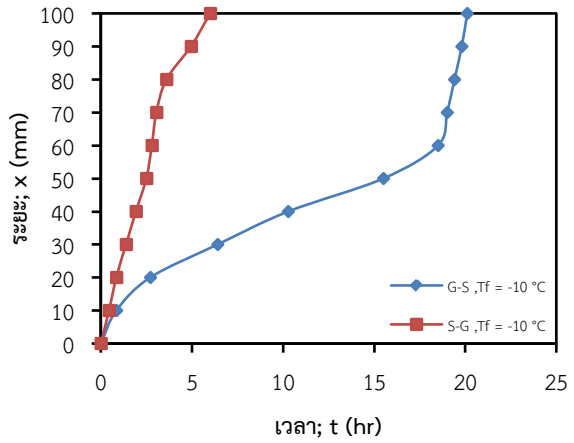
รูปที่ 3 แสดงการสมดุลพลังงานที่ผิวทำแข็ง

4. ผลการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล

จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบจะได้กราฟดังต่อไปนี้



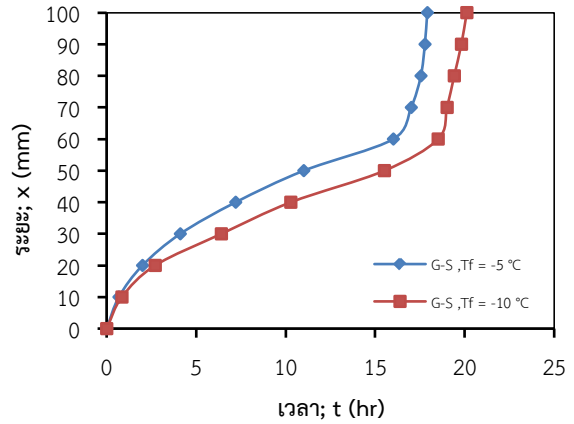
รูปที่ 4 ก การทำแข็งที่อุณหภูมิ -5 °C



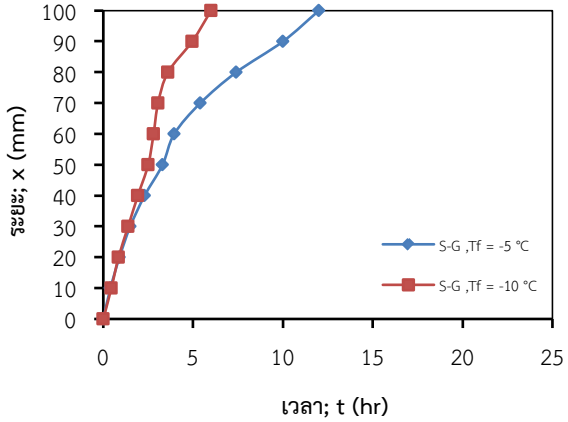
รูปที่ 4 ข การทำแข็งที่อุณหภูมิ -10 °C

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบแนวโน้มการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งของการจัดวางแบบ เม็ดแก้ว – เม็ดเหล็ก และเม็ดเหล็ก – เม็ดแก้ว

จากรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบแนวโน้มการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งของการจัดวางแบบ เม็ดแก้ว – เม็ดเหล็ก และเม็ดเหล็ก – เม็ดแก้ว ที่ใช้อุณหภูมิทำแข็ง -5 °C และ -10 °C พบว่าแนวโน้มของการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งที่ใช้ การจัดวางแบบเม็ดเหล็ก – เม็ดแก้ว การกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งดีกว่าการจัดวางแบบ เม็ดแก้ว – เม็ดเหล็ก



รูปที่ 5 ก การจัดวางแบบ เม็ดแก้ว – เม็ดเหล็ก



รูปที่ 5 ข การจัดวางแบบ เม็ดเหล็ก – เม็ดแก้ว

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบแนวโน้มการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งของอุณหภูมิทำแข็ง -5 °C และ -10 °C

จากรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบแนวโน้มการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งของอุณหภูมิทำแข็ง -5 °C และ -10 °C พบว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งที่ใช้อุณหภูมิทำแข็ง -10 °C ดีกว่า -5 °C เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแข็ง

5.สรุป

จากงานวิจัยนี้พบว่าที่อุณหภูมิทำแข็ง -10 °C การกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบจะดีกว่าที่อุณหภูมิทำแข็ง -5 °C เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแข็ง และการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบที่จัดวางแบบเม็ดเหล็ก-เม็ดแก้วจะดีกว่าที่จัดวางแบบเม็ดแก้ว-เม็ดเหล็กตามลำดับ เนื่องจากค่าการนำความร้อนของเม็ดเหล็กมีค่าสูงกว่าเม็ดแก้วทำให้การถ่ายเทความร้อนของการจัดวางแบบเม็ดเหล็ก-เม็ดแก้วจากโซนของเหลวไปยังโซนของแข็งได้ดีกว่าการจัดวางแบบเม็ดแก้ว-เม็ดเหล็กจึงส่งผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็งภายในเซลล์ทดสอบ

6.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.จิระพล กลิ่นบุญ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้สนับสนุนการทำงานวิจัยในครั้งนี้

7.อักษรย่อและสัญลักษณ์

k ค่าการนำความร้อน (W/m•K)
L ความร้อนแฝงของการทำแข็ง (J/kg)
T อุณหภูมิ (^{o}C)
t เวลา (hr)
ρ ความหนาแน่น (kg/m^{3})
α สัมประสิทธิ์การแผ่กระจายของความร้อน (m^{2}/s)
ε ระยะการเคลื่อนที่ของผิวทำแข็ง (m)

7.1 ตัวห้อย

1 โซนของเหลว
2 โซนของแข็ง
f ทำแข็ง
fp จุดเยือกแข็ง
o ที่สภาวะเริ่มต้น

8.เอกสารอ้างอิง

[1] Murray W.D. and Landis F. (1959). "*Numerical and machine solutions of transient heat conduction problem involving melting or freezing*", ASME J. Heat Transfer, 81, pp. 106-112.

[2] จิตติน แตงเที่ยง (2549). "*การทำนายการแข็งตัวของน้ำแข็งในสองมิติโดยใช้วิธีผลต่างสืบเนื่องแบบกริดคงตัว*", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรม เครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 วันที่ 18-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา.

[3] มณฑล ชูโชนาค และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551). "*การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีสำหรับปัญหาที่มีการเคลื่อนตัวของขอบเขตด้วยวิธีแปรผันระยะกริด และวิธีการกำหนดขอบเขตแบบคงที่ (กรณีศึกษา:กระบวนการทำแข็ง)*", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 วันที่ 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

[4] วิระศักดิ์ คงแก้ว และคณะ (2552). "*การศึกษาเชิงตัวเลขและเชิงทดลองของกระบวนการทำแข็งในวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส 1 มิติ*", จัดการประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 8 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่วันที่ 12-13 มีนาคม 2552 ณ โพธิ์วดล รีสอร์ทแอนด์สปา จ.เชียงราย.

[5] ยุทธนา สุโง๊ะ และคณะ. 2553. "*การศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว 1 มิติ (ใช้เม็ดแก้วเป็นวัสดุพรุนในการทดสอบ)*", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 วันที่ 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี.

[6] อติยะ ประคองเกื้อ และคณะ (2553). "*การศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการทำละลายในวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว 1 มิติ (ใช้เม็ดแก้วเป็นวัสดุพรุนในการทดสอบ)*", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 วันที่ 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี.

[7] วิระศักดิ์ คงแก้ว และคณะ (2553). "*การศึกษาเชิงทดลองของกระบวนการทำแข็งของวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส 1 มิติ*", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24 วันที่ 20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี.

[8] พิรสิทธิ์ ทวยนาค และคณะ (2554). "*การศึกษาเชิงทดลองการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัวภายในรูปทรงสี่เหลี่ยมปิด: อิทธิพลของชนิดของวัสดุ*", การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 วันที่ 19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่.

[9] พิรสิทธิ์ ทวยนาค, ภาณุพันธ์ พรหมสวัสดิ์, ทวีศักดิ์ จินดาวงศ์ และมณฑล ชูโชนาค (2555). "*การศึกษาเชิงทดลองการทำแข็งของวัสดุพรุนแบบอิ่มตัว*", การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 จังหวัดมหาสารคาม.