การศึกษาสมบัติแม่เหล็กและเชิงกายภาพของสารประกอบความร้อนเชิงแม่เหล็ก ในกลุ่มแอนทีเฟอโรแมกเนท และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบระบบทำความเย็นเชิงแม่เหล็ก

หัวหน้าโครงการวิจัย: รศ.ดร.กิตติวิทย์ มาแทน[1]

นักวิจัยร่วมโครงการวิจัย: รศ.ดร.ราชธีร์ เดชไพศาลเธียรญกิ[2], ผศ.ดร.ยุรนันท์ หาญสำยวง[2], ผศ.ดร.วีรชัย ชัยวรพฤกษ์[3]

นักวิจัยหลังปริญญาเอก: ดร.กนต์ธีร์ ทิงเทียรลิผงบ์[1,4]

นักศึกษา: นายชิรัญญ์ คุลยประวิสี์, นายธีร์รัวัจ ก้านเหลือง[1], นายวิชากร ลับผลกรี[2], นายประเธียฐสิทธิ์ ปิญฉะเกวคุปส์, นางสาวอิรัชญา ทองดำรุญ[1], นายศิลา แย้มพุชชงค์[2] ,นายณัฏฐพล เค็ดรักษ์ทิพย์[2]

[1] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล [2] ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [4] สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

เป้าหมายโครงการ

สร้างองค์ความรู้: ศึกษาสมบัติแม่เหล็กและเชิงความร้อนของสารประกอบความร้อนเชิงแม่เหล็กในกลุ่มแอนทีเฟอโรแมกเนท

การประยุกต์และพัฒนาต้นแบบ: การประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวัสดุความร้อนเชิงแม่เหล็ก ในการพัฒนาผลิตเครื่องทำความเย็นเชิงแม่เหล็กต้นแบบ

สร้างบุคลากร: พัฒนาบุคลากรด้านการวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีระบบทำความเย็นทางแม่เหล็ก

ประสิทธิผล

ต้นแบบระบบทำความเย็นทางแม่เหล็กรูปแบบ Rotary Active Magnetic Regenerator

ผลผลิตเชิงวิชาการ:

1 นักวิจัยหลังปริญญาเอก — 3 บัณฑิตระดับปริญญาโท

3 นักศึกษาระดับปริญญาโท (กำลังอยู่ในการศึกษา)

1 หัวหน้าโครงการ — 3 นักวิจัยอาวุโส

2 บทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (SCI)

4 บทความตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ (Scopus)

ผลกระทบ

ผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคม

- ต่อยอดผลพัฒนาต้นแบบระบบทำความเย็นทางแม่เหล็ก ให้ประสิทธิภาพเหมาะต่อภาคอุตสาหกรรมหรือสาธารณูปโภคพื้นฐานต่อไป และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเพิ่มศักยภาพอุตสาหกรรมสีเขียวในประเทศ
- สร้างความร่วมมือในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบร่วมกับภาคอุตสาหกรรมในประเทศ

ผลกระทบต่อวงการวิชาการของประเทศ

- เกิดคลัสเตอร์วิจัยด้านวัสดุแม่เหล็กเพื่ออุตสาหกรรมในประเทศ ที่มีความร่วมมือระหว่าง 4 สถาบันการศึกษาชั้นนำในประเทศ
- ต่อยอดบูรณาการการวิจัยทางเทคโนโลยีทางความเย็นด้วยวัสดุล้ำสมัยต่างๆ ได้แก่ วัสดุความร้อนเชิงแม่เหล็ก วัสดุความร้อนเชิงไฟฟ้า และวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
- สร้างบุคลากรระดับบัณฑิตศึกษา ที่เป็นกำลังสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ
- เกิดความร่วมมือการวิจัยด้านวัสดุความร้อนเชิงแม่เหล็กกับนักวิจัยต่างประเทศ โดยร่วมเสนอขอทุนวิจัย โปรแกรมวิจัย International Cooperative Research for Eco-Friendly Refrigeration (ICER) กับองค์กรในสหภาพยุโรป

งบประมาณรวม : 4,811,000.00 บาท

ช่วงเวลาดำเนินโครงการ : ปี 2560 – 2563

ความสอดคล้อง

โครงการวิจัยนี้ มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน นำไปสู่การพัฒนาเป็นระบบต้นแบบในที่สุด เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม ตลอดห่วงโซ่มูลค่าของระบบทำความเย็นเชิงแม่เหล็ก เพื่อก้าวข้ามกับดักจากผู้ซื้อเทคโนโลยีไปสู่การเป็นผู้ผลิตเทคโนโลยี โดยอุตสาหกรรมทำความเย็นถือเป็นอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศ

ความยั่งยืน

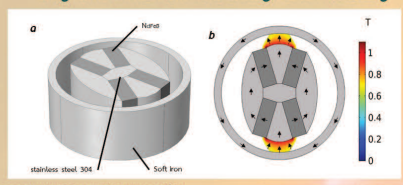
- การพัฒนาต่อยอดต้นแบบระบบทำความเย็นทางแม่เหล็ก เพื่อให้ประสิทธิภาพดีขึ้น ให้เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ประโยชน์ในวงกว้าง
- การดำเนินการวิจัยร่วมของคลัสเตอร์การวิจัยด้านวัสดุแม่เหล็กในประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยมีการประชุมความก้าวหน้าและแลกเปลี่ยนความรู้ และผสานความร่วมมืออย่างเข้มแข็ง
- การเสนอขอทุนวิจัยด้านเทคโนโลยีทำความเย็นทางแม่เหล็ก ร่วมกับนักวิจัยต่างประเทศ โดยขอทุนวิจัยกับแหล่งทุนวิจัยของสหภาพยุโรป เพื่อส่งเสริมการแลกเปลี่ยนนักวิจัย ก่อให้เกิดการต่อยอดพัฒนาองค์ความรู้อย่างยั่งยืน

ผลการดำเนินงาน

Prototype Development

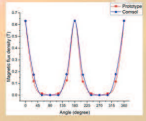
ต้นแบบระบบทำความเย็นทางแม่เหล็กแบบ Rotary Active Magnetic Regenerator (AMR)

Magnetic Field Generator Design and Assembly



การออกแบบและวิเคราะห์ ระบบการสร้างสนามแม่เหล็กแบบหมุน เพื่อให้ได้ขนาดแม่เหล็กที่กะทัดรัด

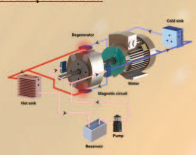
- การวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม ให้สนามแม่เหล็กสูงสุด 0.65 T โดยผลการผลิตต้นแบบจริง โดยความร่วมมือการผลิตกับ บริษัท ไอซ์แลนด์คิด จำกัด ทำให้ได้ระบบสร้างสนามแม่เหล็กสอดคล้องกับการวิเคราะห์
- ได้รับการอนุเคราะห์แผ่นเหล็ก soft iron เกรดมอเตอร์ จาก บริษัท กุลธรเคอร์บี้ จำกัด (มหาชน)
- การตัดแต่งชิ้นงานโครงสร้างของต้นแบบ ได้รับความช่วยเหลือด้านคำแนะนำและการตัดแต่งจาก บริษัท JAP Inter จำกัด

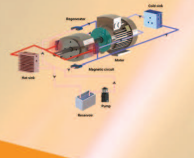


การออกแบบระบบการควบคุมการไหลและการแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบ active magnetic regeneration ให้สอดคล้องกับการหมุนของแม่เหล็ก

(1) แม่เหล็กหมุนไปแนวตั้ง:
คู่ AMR beds แนวตั้งเกิดmagnetization และอุณหภูมิสูงขึ้น (สีแดง) ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนจะไหลจาก cold sink สู่ hot sink เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของ heat-exchange fluid และนำความร้อนจาก cold ไปถ่ายเทด้าน hot

(2) แม่เหล็กหมุนไปแนวนอน:
คู่ AMR beds แนวตั้งเกิด demagnetization และอุณหภูมิลดลง (สีฟ้า) ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนจะไหลจาก hot sink สู่ cold sink เพื่อลดอุณหภูมิของ heat-exchange fluid เพื่อไปลดอุณหภูมิด้าน cold sink

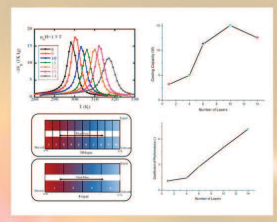




Numerical and Computational Simulations

Numerical simulation of magnetocaloric effect

การคำนวณโมเดลเชิงตัวเลข ใช้ Governing equation สมการหลัก คือ สมการของแข็งและสมการของไหล และใช้โปรแกรม matlab ในการคำนวณเชิงตัวเลข สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้วัสดุ MCE แต่ละชั้นที่มีอุณหภูมิคูรีที่แตกต่างกันได้ พบว่าการเพิ่มชั้นวัสดุ MCE ที่มีอุณหภูมิคูรีที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็น



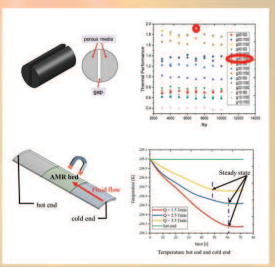
Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation of magnetic cooling

สร้างระบบการกลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียและความเร็วการไหล ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับ CFD

วิเคราะห์ค่า thermal performance ภายใต้ตัวแปรระยะช่องว่างระหว่างวัสดุพรุน เพื่อลด pressure loss

วิเคราะห์จำลอง magnetic cooling cycle โดยเทคนิค CFD เพื่อคำนวณหา temperature span ที่รอบเพิ่มขึ้น ภายใต้ flow rate ต่างๆ

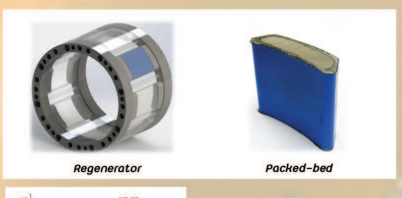
CFD platform นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ AMR beds เพื่อลดการสูญเสียแล้วงานและเพิ่ม cooling powers

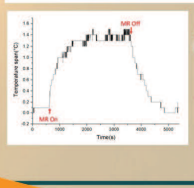


Active magnetic regenerator (AMR)

ประกอบไปด้วย 4 AMR beds (คู่แนวตั้ง และ คู่แนวนอน)

AMR bed: อัดผงวัสดุ Gadolenium ที่มีสมบัติแม่เหล็กเชิงความร้อน และอุณหภูมิคูรีเท่ากับ 297 K โดย heat-exchange fluids สามารถไหลผ่านและแลกเปลี่ยนความร้อนได้



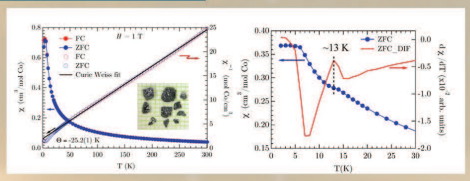


แนวทางการพัฒนาต่อยอด

- การเพิ่มความเร็วของอัตราการไหล จาก 0.5 LPM (ปัจจุบัน) ให้สูงกว่า 2.5 LPM
- การเพิ่ม Cooling frequency จาก 0.08 Hz (ปัจจุบัน) ให้สูงถึง 1 – 2 Hz

Fundamental Study of Antiferromagnetic Magnetocaloric Compounds

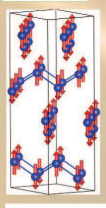
$Co_2V_2O_7$: Cobalt Pyrovanadate



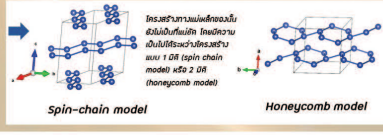
จากผลการวัดค่าความไวต่อสภาพแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) ที่แปรตามอุณหภูมิของสารประกอบ $Co_2V_2O_7$ ในรูปผลึกเดี่ยว พบว่าสารดังกล่าวมีสภาพแม่เหล็กเป็นแบบ antiferromagnetic มีอุณหภูมิคูรีเป็น -25.2(1) เคลวิน และอุณหภูมิเปลี่ยนเฟส (Neel temperature) ประมาณ 13 เคลวิน

$Zn_kCu_{2-k}V_2O_7$: Copper Pyrovanadate

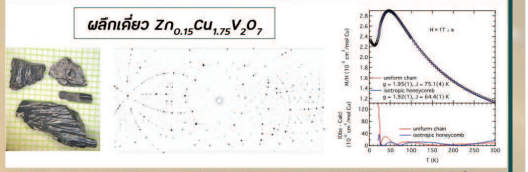
α-$Cu_2V_2O_7$ — $Zn_{0.15}Cu_{1.75}V_2O_7$ ⟷ β-$Cu_2V_2O_7$



สารประกอบ $Cu_2V_2O_7$ มีอยู่ด้วยกัน 2 เฟส ได้แก่ α และ β โดยสามารถเอื้อสารดั้งเดิม ด้วย Zn ในปริมาณร้อยละ 7.5 โดยโมล เพื่อควบคุมการเปลี่ยนเฟสเปลี่ยนได้



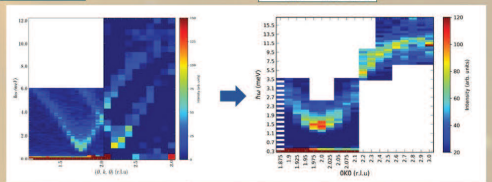
ผลึกเดี่ยว $Zn_{0.15}Cu_{1.75}V_2O_7$



ผลึกเดี่ยว $Zn_{0.15}Cu_{1.75}V_2O_7$ ขนาดใหญ่ สามารถปลูกได้ด้วยเทคนิค Vertical gradient ทำให้ได้ผลึกเดี่ยวที่มีคุณภาพสูง คัแสดงได้จากผลการถ่ายภาพ Laue neutron diffraction จาก Koala diffractrometer ประเทศออสเตรเลีย

ผลของค่าความไวต่อสภาพแม่เหล็กเมื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วย Quantum Monte Carlo ทั้งแบบจำลอง 1 มิติ และ 2 มิติ

α-$Cu_2V_2O_7$ — $Zn_{0.15}Cu_{1.75}V_2O_7$



จากผลการวัด dispersion ของผลึกเดี่ยว $Zn_{0.15}Cu_{1.75}V_2O_7$ พบว่า มีความแตกต่างจากกรณีของ α-$Cu_2V_2O_7$ อย่างชัดเจน โดยไม่มีการตรวจพบ noncentrosymmetric magnon เนื่องมาจากการที่สารประกอบ $Zn_{0.15}Cu_{1.75}V_2O_7$ ไม่มีอันตรกิริยาที่มีชื่อว่า Dzyaloshinskii–Moriya interaction

โปสเตอร์สรุปโครงการวิจัย 2560

การประชุมศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ประจำปี 2563

ณ โรงแรม เดอะ สุโกศล กรุงเทพมหานคร วันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2563

http://thep-center.org/