

ME21 NETT



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย

The 35th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand

ครั้งที่

วันที่ 20-22 กรกฎาคม 2564

ณ มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม

35



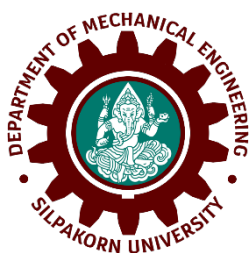


การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35
(ME-NETT 2021)

วันที่ 20 – 22 กรกฎาคม 2564

มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

จัดโดย



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ร่วมกับ

สมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย

สถาบันสมาชิก เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยบูรพา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

โรงเรียนนายเรือ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

มหาวิทยาลัยรังสิต

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

มหาวิทยาลัยนเรศวร

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

รายชื่อที่ปรึกษาสมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย

ลำดับ	ชื่อ-นามสกุล	มหาวิทยาลัย/หน่วยงาน	ตำแหน่ง
1	รศ.ดร.วรวิธ วิสุทธิ์เมธางกูร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	ที่ปรึกษา
2	รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ที่ปรึกษา
3	ศ.ดร.สำเร็จ จักรใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ที่ปรึกษา
5	ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	ที่ปรึกษา
6	ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	ที่ปรึกษา
7	คุณมานิตย์ กุศลพัฒน์	กรรมการสภาวิศวกร	ที่ปรึกษา
8	คุณยุทธนา เจริญวงศ์	กรรมการผู้จัดการใหญ่บริษัท บีแอลซีพี เพาเวอร์ จำกัด	ที่ปรึกษา
9	ดร.พยุห ศักดาสาวิตร	ประธานกรรมการบริหาร กลุ่มบริษัทบริษัท ไทย ออโต้ ทูลส์ แอนด์ ดาย จำกัด	ที่ปรึกษา
10	คุณอภิชาติ ล้าเลิศพงศ์พนา	กรรมการผู้จัดการ บริษัท ไอ.ที.ซี.(1993) จำกัด	ที่ปรึกษา
11	รศ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล	ประธานสมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย	ที่ปรึกษา
12	รศ.ดร.พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์	รองผู้อำนวยการฝ่ายอุตสาหกรรมสกว.	ที่ปรึกษา
13	ศ.ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล	ที่ปรึกษาที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทยด้านการวิจัย	ที่ปรึกษา
14	คุณจิรบูลย์ วิทยสิงห์	นายสมาคมของขวัญของชาวยุโรปและของตบแต่งบ้าน, ประธานสมาพันธ์อุตสาหกรรมของขวัญอาเซียนและเลขาธิการสมาพันธ์ไลฟ์สไตล์ไทย	ที่ปรึกษา
15	พลตรีชูเกียรติ ช่วยเพชร	ผู้อำนวยการสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพบก	ที่ปรึกษา
16	คุณทินกร ผ่องลักขณา	ผู้อำนวยการกองบริหารยุทธศาสตร์ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	ที่ปรึกษา
17	ดร.สำเร็จ เนตรภู	บริษัท เอส.เอส.เค.เอ็นจิเนียริง จำกัด	ที่ปรึกษา

รายชื่อกรรมการสมาคมวิศวกรเครื่องกลไทย

ลำดับ	ชื่อ-นามสกุล	มหาวิทยาลัย/หน่วยงาน	ตำแหน่ง
1	ศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	นายกสมาคมฯ
2	รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	อุปนายก คนที่ 1
3	รศ.ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร	อุปนายก คนที่ 2
4	ผศ.ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์	มหาวิทยาลัยมหิดล	เลขาธิการ
5	ผศ.ดร.วราคม เนติน้อย	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น	เหรัญญิก
6	ผศ.ดร.ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	ปฎิคม
7	อ.ดร.นพรัตน์ คำพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	นายทะเบียน
8	อ.ดร.มันทนา รังสิโยภาส	มหาวิทยาลัยบูรพา	ประชาสัมพันธ์
9	รศ.ดร.คณิต วัฒนวิเชียร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
10	พล.อ.ท.ศ.ดร.นพพล หาญกล้า	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช	กรรมการ
11	ศ.ดร.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
12	รศ.ดร.ปรีชา การินทร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	กรรมการ
13	รศ.ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	กรรมการ
14	อ.ดร.เทพฤทธิ์ ทองซูป	มหาวิทยาลัยศรีปทุม	กรรมการ
15	รศ.ดร.อัญชสา ประมวลเจริญกิจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตสกลนคร	กรรมการ
16	ผศ.ดร.วิรัช โยชนรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
17	ดร.นุวงศ์ ชลคุป	ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ (ENTEC), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	กรรมการ
18	ผศ.ดร. สราวุธ เวชกิจ	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
19	ผศ.ดร.พิเชฐ นิลดวงดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี	กรรมการ
20	คุณสายัณห์ ปานซัง	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	กรรมการ
21	ดร.สมสิทธิ์ มูลสถาน	สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	กรรมการ

Alternative Energy and Combustion (AEC)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทรกษัตริยาธิราช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

1. Alternative Energy and Combustion (AEC)

รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร เชื้อเพ็ง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา มากมูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร. สมชาย จันทน์ขาวนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ปทุมสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปุมยศ วัลลิกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท เทียนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาน สติย์เรืองศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.เอกรงค์ สุขจิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารัฐ เวชกิจ	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศร์ อารมย์ดี	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ คูวรญาณ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดินทร์ แสงสว่าง	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.กษมา ศิริสมบุญ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ นามเขต	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา การินทร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. Automotive, Aerospace and Marine Engineering (AME)

ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาดา สุขศิลา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วัจจะตรากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ กนต์ธร ธรรมกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศาสตราจารย์ ดร.ธัญชัย ลีภักดิ์ปรีดา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนภัทร์ วานิชานนท์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จารุธรรม คุณานพดล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
น.ต.ดร.ศราวุธ ศรีนาแก้ว	โรงเรียนนายเรือ
น.ท.ผศ.สุทธิพงษ์ ภาคสุทธิผล	โรงเรียนนายเรือ

น.อ.รศ.ดร.ประสาทพร วงษ์คำข้าง
น.อ.ศ.ดร.สมชาย หาญกล้า
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา การินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ ผกามาศ

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพบก

3. Applied Mechanics, Materials and Manufacturing (AMM)

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์
ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ สิงห์นาคกิจ
รองศาสตราจารย์ ดร.จิรพงศ์ กสิวิทย์อำนาจ
อาจารย์ ดร.อรรถพร วิเศษสินธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพล มหายศนันท์
รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์
อาจารย์ ดร.ประกอบ ชาติภูมิต
อาจารย์ ดร.สนั่นตันเชม อิชิโรจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนา การุญบุญญานันท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธา จินครวั
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ชัยชนะศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา อรุณจรัสธรรม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ธาราวดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จารุธรรม คุณานพดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิวพงศ์ เพ็ชรสงค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ธาราวดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชานนท์ โพธิคุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันท์วัฒน์ วีระยุทธ
น.อ.ศ.ดร.สมชาย หาญกล้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

4. Biomechanics and Bioengineering (BME)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริสรา ชัยกิตติรัตน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพล เวศพันธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ชัยชนะศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา อรุณจรัสธรรม	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชานนท์ โพธิคุณ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทวัฒน์ วีระยุทธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

5. Computation and Simulation Techniques (CST)

อาจารย์ ดร.อรรถพร วิเศษสินธุ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ จันทสาโร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ บุรีรัตน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย จันทสาโร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรเดช จันทโสภณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สัณณ เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธาดา สุขศิลา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชมพัฒน์ ตันตวิวัฒน์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ เวศพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ฤทธิพล จันทราษฎ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.วิฑูรย์ เหมสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ชัยชนะศิริ	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ คู่ขวัญ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิวพงศ์ เพ็ชรสงค์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชานนท์ โพธิคุณ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพพงศ์ ศรีตระกูล	มหาวิทยาลัยศิลปากร
พันเอกหญิง รศ.ดร.สุวิมล เสนิงค์ ณ อยุธยา	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
น.อ.ศ.ดร.สมชาย หาญกล้า	โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภรณ์ กลิ่นบุญ	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

6. Dynamic Systems, Robotics and Controls (DRC)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถพร เรืองวิเศษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชมพัฒน์ ต้นติววัฒนกุล
ศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ กุลธนปรีดา
อาจารย์ อภิลักษณ์ หล่อนกลาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักพงศ์ จันทเปรมจิตต์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนภัทร์ วานิชานนท์
อาจารย์ กฤตยา ไชยยศ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ ผกามาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพบก

7. Engineering Education (EDU)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชิดา สุวแพทย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารัฐ เวชกิจ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิวะพงศ์ เพ็ชรสงค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล เขตเจนการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชานนท์ โพธิคุณ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร

8. Energy Technology and Management (ETM)

อาจารย์ ดร.ธงชาติ เกิดผล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรล ศาลากิจ
ศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร
รองศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวิน จันทระเสนาวงค์
รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย อัครภูษิตกุล
ศาสตราจารย์ ดร.สักรกมล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ปทุมสวัสดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สินชัย ชินวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปุมยศ วัลลิกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล กลั่นบุญ
รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต
รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤตาคม
อาจารย์ ดร.พรสวรรค์ ทองใบ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำรรค

Kyushu Institute of Technology
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาจารย์ ดร.สนั่นตันเชม อิชิโรจน์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว	มหาวิทยาลัยนเรศวร
อาจารย์ ดร.ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยบูรพา
อาจารย์ ดร.มันทนา รังสิโยภาส	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชิดา สุวแพทย์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรารัฐ เวชกิจ	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่ง กิตติพิชัย	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์พงศ์ วัฒนวันยู	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรอุฒิกุล	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติพันธ์ แสงสว่าง	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รองศาสตราจารย์ ดร.กษมา ศิริสมบุญ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล เขตเจนการ	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา เมตตานันท	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระศักดิ์ หุดากกร	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทวัฒน์ วีระยุทธ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ นามเขต	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.มานพ มาสมทบ	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

9. Thermal System and Fluid Mechanic (TSF)

อาจารย์ ดร.ธงชาติ เกิดผล	Kyushu Institute of Technology
ศาสตราจารย์ ดร.อาชวานี เค. คูปตา	University of Maryland
รองศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พิณ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.อศิ บุญจิตราดุลย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เด่นชัย วรเดชจำเริญ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬารณย์ เบญจปิยะพร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน	มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จันทร์ชานนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิทธิกร วงศธนวิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สักรกมล เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม ปทุมสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
อาจารย์ นิวัฒน์ สุขสาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต กฤดาคม
อาจารย์ ดร.วิฑูรย์ เทียมสุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กริช เจียมจิโรจน์
อาจารย์ ดร.ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์
อาจารย์ ดร.มณฑนา รังสียോഗาส
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ชัยชนะศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ เอี่ยมวรอุฒิกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ คูว์รัญญู
รองศาสตราจารย์ ดร.กษมา ศิริสมบูรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชานนท์ โพธิคุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพพงศ์ ศรีตระกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติพงศ์ โสภณพงศ์พัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระศักดิ์ หุดากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัทตาร์ แวหะยี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยุต นันทคุลิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทวัฒน์ วีระยุทธ
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนรัฐ ศรีวีระกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ
ดร. มานพ มาสมทบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

รายชื่อคณะกรรมการผู้จัดงาน

- | | |
|---|----------------------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรุณศรี ลีจิระจำเนียร | ที่ปรึกษา |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.สาโรช พูลเทพ | กรรมการและที่ปรึกษา |
| 3. รองศาสตราจารย์ ดร.กษมา ศิริสมบูรณ์ | กรรมการและที่ปรึกษา |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติพงศ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์ | กรรมการและที่ปรึกษา |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทสพล เขตเจนการ | กรรมการและที่ปรึกษา |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงษ์ศิริ จรรย์นนท์ | กรรมการและที่ปรึกษา |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระศักดิ์ หุตากร | กรรมการและที่ปรึกษา |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชชานนท์ โพธิคุณ | ประธาน |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดชาพันธ์ รัฐศาสนศาสตร์ | กรรมการ |
| 10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติพันธ์ แสงสว่าง | กรรมการ |
| 11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ คู่วัฒน | กรรมการ |
| 12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชุดา เมตตานันท | กรรมการ |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ธาราวดี | กรรมการ |
| 14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระนุช อินทะกันท์ | กรรมการ |
| 15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภชัย วาสนานนท์ | กรรมการ |
| 16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณพพงศ์ ศรีตระกูล | กรรมการ |
| 17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวัชพงศ์ เพ็ชรสงค์ | กรรมการ |
| 18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรรุตม์ คุณานพดล | กรรมการ |
| 19. อาจารย์ ดร.จันทนา สังวรโยธิน | กรรมการ |
| 20. อาจารย์ ดร.จงรัก ปรีวัตรนานนท์ | กรรมการ |
| 21. อาจารย์ ดร.ณัฐ รัชยะพงษ์ | กรรมการ |
| 22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศร์ อารมย์ดี | กรรมการและเลขานุการ |
| 23. นางสาวกัลยกร คงอิม | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 24. นางสาววัลลภา อรุณมงคลโชค | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |

สารบัญ

รหัสบทความ	ชื่อบทความและชื่อผู้แต่ง	หน้า
ETM0016	ปัญหาการสิ้นเปลืองพลังงานในระบบไอน้ำที่ใช้ในโรงพยาบาลของรัฐ (กรณีศึกษา โรงพยาบาล 5 แห่ง) วุฒิกัดี เทชนวนรัมย์, ฤทธิกุล คล่องดี, โชคดี ปัดนา และ ธวัชชัย กองสี	913
ETM0017	การผลิตกำลังไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากต้นราชินีสีทอง ภูรีนัฐ เลี้ยงก่อสกุล, ชมาพร เจียรบุตร, ศิริพรรณ สุนทรสิงห์, ณัฐนันท์ จันทร์ปารเมศ และ สกิตคุณ ธรรมอิทธิศักดิ์	920
ETM0018	การผลิตแก๊สสังเคราะห์จากแก๊สซิเพคชั่นร่วมเชิงเร่งปฏิกิริยาของชีวมวลและเอทานอล พิชชาภา จันทร์อ้น และ ประพันธ์ คูชลธารา	925
ETM0019	การปรับปรุงสมรรถนะของหอผึ่งน้ำเพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำแข็งของ กิตติพงศ์ รงค์เดชไพบูลย์ และ เกรียงไกร อัครมาศบันลือ	934
ETM0020	อิทธิพลของวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการอบแห้งพริกด้วยลมร้อน กรณีติดตั้งวัสดุพูนที่ผนังห้องอบแห้ง รพีพงศ์ เปี่ยมสุวรรณ, รตินันท์ เหลือมพล, ไสภณ สีนสร้าง, บัณฑิต กฤตาคม, ปวิวัติ วรามิตร, อภิวัฒน์ นามเขต และ อำไพศักดิ์ ทิบุญมา	939
ETM0021	การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยตัวสร้างวอร์เทค แบบวงแหวน 8 เหลี่ยมด้วยวิธีเชิงตัวเลข นรินทร์ กุลนภาดล, พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง	946
ETM0022	การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความชื้นของเครื่องหีบกากมันสำปะหลังแบบสายพานกรองอัด อารยันต์ วงษ์นิยม, ไมตรี พลสงคราม, วิวัฒน์ อภิสิทธิ์ภิญโญ, ตติกร ภูวดิน และ ปรีชา ชันติโกมล	954
ETM0024	การใช้ประโยชน์ก๊าซชีวภาพสำหรับระบบสูบน้ำเพื่อการชลประทาน กรณีศึกษาชุมชนตำบลท่ามะนาว จังหวัดลพบุรี พงษ์ศิริ จุรยนนท์, อธิศักดิ์ หุดากร, ศิวะพงศ์ เพ็ชรสงค์ และ นพพงศ์ ศรีตระกูล	962
TSF0001	ความเร็วลมต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดซ์เบด(Umf) และอัตราการอบแห้งจำเพาะแครอทขึ้นโดยใช้ เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และ อารีย์ อัจฉริยวิริยะ	971
TSF0002	ผลของการไหลสองสถานะต่อคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานแบบเรียบ ไกรวิชญ์ รองเดช, ชยุต นันทดุสิต และ ณัฐพร แก้วชูทอง	978
TSF0003	การทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนของแผงทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้ ท่อความร้อน เรวัฒน์ เต็มกล้า, อนิรุตต์ มัทธจักร และ ธนรัฐ ศรีวีระกุล	986

การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ด้วยตัวสร้างวอร์เทค คแบบวงแหวน 8 เหลี่ยมด้วยวิธีเชิงตัวเลข

Simulation Study of Heat Transfer Enhancement in Heat Exchanger Tube with Octagon Ring Vortex Generators

นรินทร์ ฤทธาภาดล¹, พงษ์เจต พรหมวงศ์², วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง³*

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
422 ถนนมรุพงษ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

² สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

*ติดต่อ: dr.narin@techno.rru.ac.th, โทร 038-50000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงตัวเลขแบบสามมิติเพื่อศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความร้อนและสมรรถนะทางความร้อนภายในท่อกลมที่มีการติดตั้งวงแหวน 8 เหลี่ยม ในกรณีที่มีการให้ความร้อนคงที่ที่ผิวท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งการติดตั้งวงแหวน 8 เหลี่ยม เข้าไปในท่อสามารถสร้างวงแหวนวอร์เทคในแนวยาวภายในท่อซึ่งเป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวท่อ โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานด้วยความเร็วการไหลในรูปเลขเรย์โนลด์ (Re) ระหว่าง 4000 ถึง 20000 ลักษณะของวงแหวน 8 เหลี่ยมมีอัตราส่วนการขวางการไหล (R_B) 0.1 วางเอียงทำมุมเท่ากับ 45° กับแนวการไหล โดยจะศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตต์ (PR) ของแผ่นกั้นที่ระยะแตกต่างกันจำนวน 5 ค่า ได้แก่ 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อจะถูกตรวจสอบโดยผลทดลองที่ถูกยอมรับอย่างกว้างขวาง การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อถูกแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย Nusselt number (Nu) และค่าความเสียดทาน (f) ตามลำดับ ผลการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่าการใช้วงแหวนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากในท่อผิวเรียบ นอกจากนี้วงแหวน 8 เหลี่ยมที่มีค่า PR = 0.1 ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.53 ที่ Re = 5000

คำหลัก: วงแหวน 8 เหลี่ยม, การไหลแบบวอร์เทค, ตัวประกอบความเสียดทาน, สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

Abstract

The research presents the simulations study on heat transfer, pressure loss and thermal enhancement factor characteristics in a round tube fitted repeatedly with inclined octagonal rings under a uniform wall heat flux. Periodically inclined octagonal rings are mounted into the tube with a view to generating longitudinal vortex flows that assist to increase the heat transfer rate of the tube. The airflow rate in the form of Reynolds number (Re) is ranging from 4000 to 20000. The inserted inclined octagonal rings configuration is at a single

blockage ratio, $R_b=e/D=0.1$ and attack angle, $\alpha=45^\circ$. Effect of five pitch ratios, $PR=P/D=0.5, 0.75, 1.0, 1.5$ and 2.0 respectively. The heat transfer and friction loss in the tube is experimentally investigated. The heat transfer and pressure drop are presented in terms of mean Nusselt number (Nu) and friction factor (f), respectively. The simulations results show that the use of the rings leads to the considerable increase in heat transfer coefficient and friction factor over the smooth tube. In addition, the inclined octagonal rings insert with $PR=0.5$ provides the highest thermal enhancement factor of 1.83 at $Re=4000$.

Keywords: octagonal ring; vortex flow; friction loss; thermal enhancement factor

1 บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานมีแนวโน้มที่สูงขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หรือเป็นการลดต้นทุนในการผลิตของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจะมีขนาดที่เล็กลงเมื่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น เทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนหรือตัวสร้างการไหลแบบปั่นป่วน เช่น ครีป [1] แผ่นขรุขระหรือผิวท่อที่มีการเจาะร่อง [2] ปีก [3] และแผ่นกัน [4] โดยตัวสร้างการไหลปั่นป่วนนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นการก่อวนการไหลให้เกิดการไหลแบบหมุนวนของการไหลตามแนวยาและเพิ่มการผสมให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนี้ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมในสายงานต่างๆ เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด เครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และแผงระบายความร้อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นระบบสำคัญสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นความสนใจในการศึกษาทั้งในส่วนของการทดลองและในส่วนวิธีการเชิงตัวเลขหรือการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ดังนั้น Promvong และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้วงแหวนวางเอียงในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยศึกษาการวางเอียงที่มุม 30° ที่อัตราส่วนด้านการไหล $0.1, 0.15$ และ 0.2 ทดลอง

ในช่วงค่า $Re=5,000-26,000$ พบว่าที่อัตราส่วนการด้านการไหลที่สูงจะทำให้เกิดวอร์เทคที่รุนแรงเป็นผลให้มีการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น แต่ทำให้เกิดความเสียดทานที่สูงขึ้นเช่นกัน โดยที่อัตราส่วนระยะพิตช์ 0.5 และอัตราส่วนระยะพิตช์ 1.0 จะให้ค่าสมรรถนะความร้อนที่สูงที่สุด

Chingtuaythong และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้วงแหวนรูปตัววีในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตช์ $0.5, 1.0, 1.5$ และ 2.0 และอัตราส่วนการด้านการไหลที่ $0.1, 0.15$ และ 0.2 พบว่าวงแหวนดังกล่าวสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้โดยทำให้เกิดการไหลแบบวอร์เทคด้านหลังของวงแหวน ซึ่งสามารถเพิ่มตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 1.63 ในช่วงที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำ

ในส่วนของการใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลขและทำการทดลองจริง โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มี Hans et al.[7] และ Verun et al. [8] ศึกษาการไหลแบบเป็นคาบสำหรับการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่แล้ว โดยใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลขในส่วนของการพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อทั้งการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วนของ Patankar et al. [9] Webb และ Ramadhyani [10] ได้นำเอาหลักของการไหลแบบเป็นคาบของการไหลที่พัฒนาเต็มที่แล้ว ซึ่งได้มีการศึกษาไว้จากการอ้างอิง [10] ทำการศึกษาด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อผิวเรียบและท่อที่ติดตั้งแผ่นกันแบบวางเอียง Keller และ Patankar [11] ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อขนานที่ติดตั้งแผ่นกันในลักษณะการจัดวางแบบเอียงพบว่า

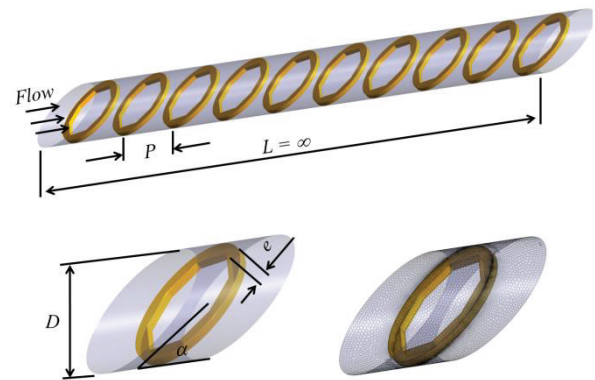
การถ่ายเทความร้อนที่ได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความสูงของแผ่นกัน รวมถึงการลดระยะห่างระหว่างแผ่นกัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาพฤติกรรมการไหล และการถ่ายเทความร้อนในท่อลักษณะต่างๆ โดยการเพิ่ม ครีบหรือแผ่นกันทั้งในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสและทอกลม แต่ การศึกษาเชิงตัวเลขที่ใส่แผ่นกันมีลักษณะเป็นแผ่นแบบบาง โดยเฉพาะแผ่นกันวงแหวนที่มีการปรับปรุงด้านในของวงแหวนแบบทำมุมในทอกลมยังไม่ได้มีการรายงาน ในงานวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอการคำนวณเชิงตัวเลขซึ่งใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS FLUENT ในการจำลองพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการไหลแบบปั่นป่วน 3 มิติ โดยพิจารณาลักษณะการไหลเป็น คาบในทอกลมที่มีการติดตั้งตัวสร้างการปั่นป่วนแบบวงแหวน แปรเปลี่ยนเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการตัดสินใจในการศึกษา วิจัยต่อไปในขั้นตอนการทดลอง

2 แบบจำลองและสมการทางคณิตศาสตร์

2.1 กรอบการวิจัย

กรอบการศึกษาที่นำมาวิเคราะห์เป็นท่อที่ติดตั้งวงแหวน รูปแปดเหลี่ยม วางเอียงทำมุมปะทะการไหล 45° ดังแสดงใน รูป 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ระยะห่างระหว่างวงแหวนตามแนวการไหล (P), เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (D), ความสูงของวงแหวน (e) และมุมปะทะการไหลของวงแหวน (α) ในการศึกษาจะกำหนดให้ค่าอัตราส่วนการ ขวางกั้นการไหลคงที่ ($R_b = e/D = 0.10$) แล้วทำการเปลี่ยน ระยะห่างระหว่างวงแหวนในรูปของอัตราส่วนระยะพิตซ์ ($PR = P/D$) โดยมีค่าตั้งแต่ 0.5, 0.75, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ส่วนพารามิเตอร์อื่นกำหนดค่าคงที่ ดังนี้ $D = 0.05$ เมตร, $e = 0.005$ เมตร และ $\alpha = 45^\circ$ ศึกษาผลการศึกษพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) และสูญเสียเนื่องจากการไหล (f)



รูปที่1 รูปแบบของทอกลมและพารามิเตอร์การจำลองเชิงตัวเลข

2.2 สมการพื้นฐาน

การคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเทความร้อนมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

- การไหลของของไหลเป็นแบบคงตัว 3 มิติ
- การไหลเป็นแบบราบเรียบและอัดตัวไม่ได้
- คุณสมบัติของของไหลคงที่
- ไม่คิดผลของแรงโน้มถ่วง
- ไม่คิดผลของการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานข้างต้น การไหลในท่อจะใช้สมการควบคุม ประกอบไปด้วยสมการอนุรักษ์มวล สมการโมเมนตัมและ สมการพลังงาน ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบเทนเซอร์พิกัด ฉากดังนี้

สมการอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial p}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (2)$$

สมการพลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

เมื่อ Γ คือ การแพร่ความร้อน

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \quad (4)$$

ในการคำนวณ สมการที่ (1), (2) และ (3) จะถูกแก้สมการด้วยวิธีการเชิงตัวเลขที่เรียกว่า วิธีการปริมาตรสืบเนื่อง (finite volume method) โดยจะใช้ SIMPLE algorithm [9] ในการแยกความสัมพันธ์ที่มีต่อกันระหว่างความดันกับความเร็ว และยังใช้ในขบวนการทำซ้ำโดยใช้ QUICK schemes ในการ discretize เทอม convection ส่วนเทอม diffusion จะถูก discretize โดย central differencing scheme ในการหาคำตอบจะพิจารณาจากค่าแปรเปลี่ยนของทุกตัวแปรน้อยกว่า 10^{-6}

การศึกษานี้มีตัวแปรที่สำคัญที่มีการวิเคราะห์ 4 ตัวแปร คือ ค่าเลขเรย์โนลด์ ตัวประกอบเสียดทาน ค่าเลขนัสเซลล์ และสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งค่าตัวเลขเรย์โนลด์ นิยามโดย

$$Re = \frac{\rho \bar{u} D}{\mu} \quad (5)$$

ตัวประกอบเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, Δp ตลอดช่วงความยาวของท่อ, L

$$f = \frac{(\Delta p / L) D}{(l/2) \rho \bar{u}^2} \quad (6)$$

ค่าเลขนัสเซลล์เฉพาะที่หาได้จาก

$$Nu = \frac{h_x D}{k} \quad (7)$$

ค่าเลขนัสเซลล์เฉลี่ยหาได้จาก

$$Nu = \frac{1}{L} \int Nu_x dx \quad (8)$$

สมรรถนะเชิงความร้อน, TEF

$$TEF = (Nu / Nu_o) / (f / f_o)^{1/3} \quad (9)$$

เมื่อ Nu_o และ f_o คือ เลขนัสเซลล์และตัวประกอบเสียดทานของท่อเปล่า ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนนี้พิจารณาในกรณีกำลังปั๊มที่ใช้ในท่อเปล่าและท่อติดแผ่นกันเท่ากัน

เงื่อนไขทางเข้าและทางออกของท่อเป็นการไหลเป็นคาบ (periodic flow) ในช่วงการไหลพัฒนาเต็มที่ โดยในการคำนวณจะระบุอัตราการไหลเชิงมวลที่ทางเข้าและทางออกเท่ากัน ซึ่งอัตราการไหลดังกล่าวหาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ กำหนดอุณหภูมิและความดันของอากาศที่ทางเข้าเท่ากับ 300 K และ 0 Pa (1 atm) ตามลำดับ ที่ผนังท่อกำหนดเงื่อนไขแบบไม่มีการสิ้นไหลและฟลักซ์ความร้อนที่ผนังคงที่เท่ากับ 500 W/m^2 ส่วนวงแหวนจะกำหนดให้เป็นฉนวนความร้อน

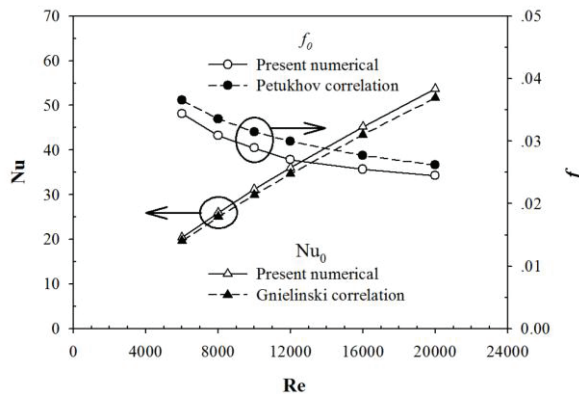
สำหรับการไหลในท่อนี้ โดเมนที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยแบ่งเป็นพื้นที่รูปหกเหลี่ยม การวิเคราะห์ผลของจำนวนกริดที่มีผลต่อคำตอบที่ได้ ทำโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกันคือ 100000, 200000, 400000, 600000 และ 800000 พบว่าเมื่อจำนวนกริดมากกว่า 400000 ขึ้นไปค่า Nu เปลี่ยนแปลงน้อยมาก น้อยกว่า 0.8% เมื่อเทียบกับ 800000 ส่วนค่า f เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.09% ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดที่ 600000 ไปใช้ในการคำนวณ

3 ผลการคำนวณและวิจารณ์

3.2 การพิสูจน์ความถูกต้องของผลการคำนวณ

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมทำได้โดยการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อผนังเรียบแล้วทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลเฉลยแม่นยำตรงภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน [9] พบว่า Nu ที่ได้จากการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรงประมาณ 4% ส่วน ค่า f มีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรงประมาณ 8% ซึ่ง

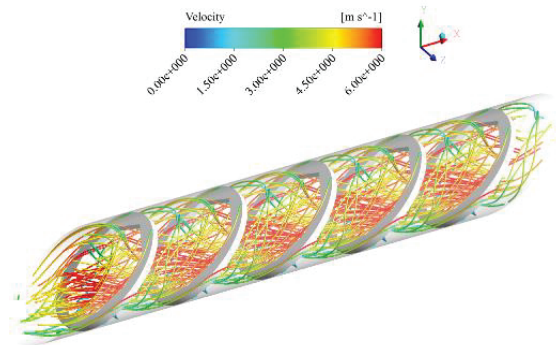
ผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิงตัวเลขทั้งค่า Nu และ f มีความสอดคล้องกับผลเฉลยแม่นยำตรงเป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตรวจสอบผลคำนวณ ของค่า Nu และ f

3.3 โครงสร้างการไหล

จากการคำนวณหาผลเฉลยเชิงตัวเลข พบว่าการไหลผ่านวงแหวนจะมีลักษณะหมุนควงตามแนวยาว โดยลักษณะการไหลหมุนควงเกิดจากการไหลไหลปะทะกับวงแหวนที่วางเอียงทำมุม 45° ทำให้เกิดการไหลเป็นลักษณะวอร์เทกบริเวณด้านข้างของท่อที่มีการหมุนของวอร์เทกเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 3 จากพฤติกรรมการไหลดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดความดันแตกต่างบริเวณด้านบนและด้านล่างของวอร์เทก โดยบริเวณด้านบนจะมีความดันสูงและด้านล่างมีความดันต่ำ ส่งผลให้ของไหลจากด้านบนของวอร์เทกถูกดูดลงไปกระทบกับบริเวณผนังด้านล่างของท่อในลักษณะเป็นช่วงตามจำนวนของวงแหวน จากลักษณะการไหลดังกล่าวจะทำให้บริเวณด้านล่างของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ และบริเวณผนังท่อด้านบนจะมีการถ่ายเทความร้อนต่ำสุด

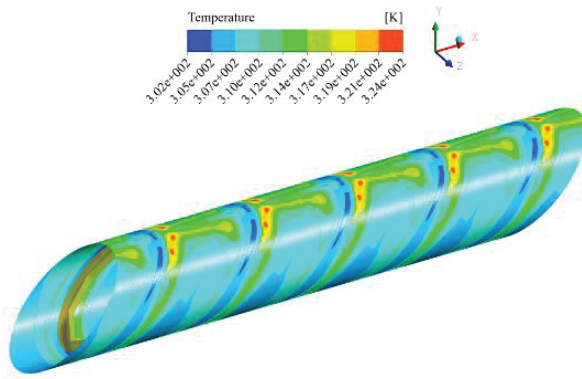


รูปที่ 3 โครงสร้างการไหลผ่านวงแหวน

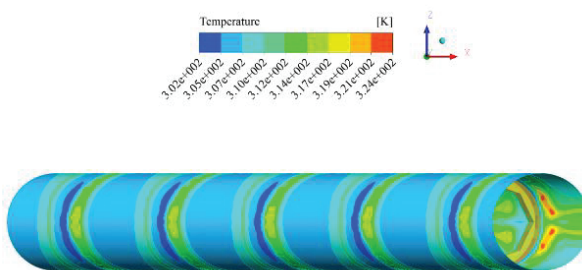
3.4 การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิที่ผนังท่อติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยมเอียงวางทำมุมปะทะการไหล 45° ภายในที่ค่า $Re=12,000$, $PR=1.0$ ที่ค่า $Re=12,000$ จากรูปแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการหมุนควงตามแนวยาว (วอร์เทก) ที่เกิดจากการไหลปะทะวงแหวนแปดเหลี่ยมทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นสูงกว่าท่อผนังเรียบอย่างมากโดยเฉพาะผนังด้านล่างของท่อ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) และจะเกิดการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำในบริเวณผนังด้านบนที่อยู่ระหว่างวงแหวนรูปแปดเหลี่ยม และผลของของไหลที่หมุนควงตามแนวยาวที่ไหลกระทบผิวท่อจะส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณอื่น แสดงว่าบริเวณดังกล่าวเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลกับอากาศสูงกว่าบริเวณอื่น ดังแสดงในรูปที่ 4

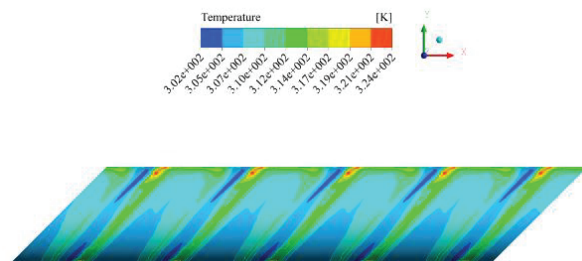
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ (Nu/Nu_0) กับค่า Re ของท่อติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยม ทำมุมปะทะการไหล 45° แต่ค่า PR พบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นจาก 4,000 ถึง 20,000 จะส่งผลต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในทุกกรณีที่มีการติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยม โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น โดยอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิทช์ พบว่าที่ค่า PR น้อยจะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าที่ค่า PR มากเนื่องจากที่ค่า PR น้อยจะสามารถสร้างกระแสการไหลแบบวอร์เทกได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่ค่า $PR = 0.5$ สามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 6.9 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีท่อผนังเรียบ



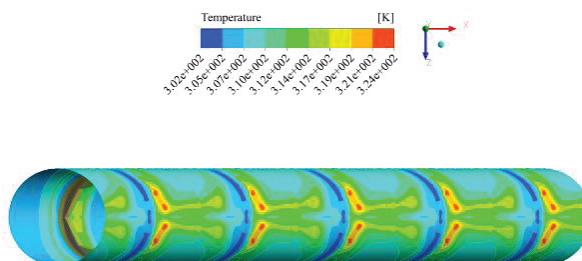
(ก) คอนทัวร์อุณหภูมิบริเวณผนังท่อ



(ข) คอนทัวร์อุณหภูมิบริเวณผนังท่อด้านล่าง

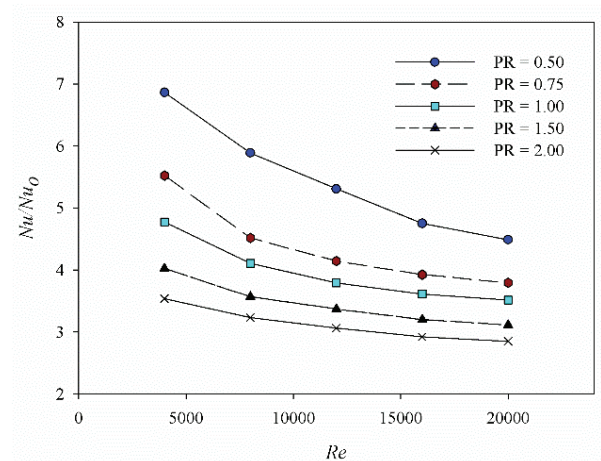


(ค) คอนทัวร์อุณหภูมิบริเวณผนังท่อด้านบน



(ง) คอนทัวร์อุณหภูมิบริเวณผนังท่อด้านบน

รูปที่ 4 คอนทัวร์อุณหภูมิมบนผิวท่อที่ค่า $PR = 1.0$

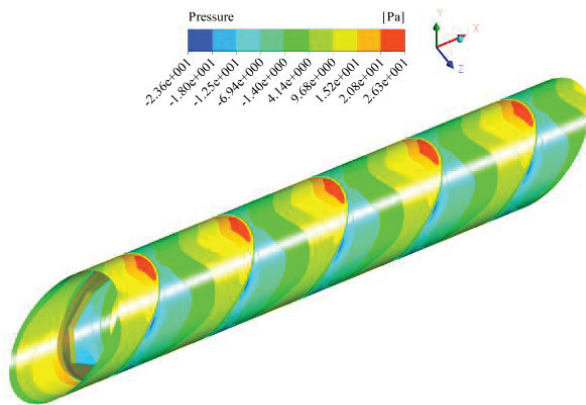


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nu/Nu_0 กับค่า Re ของท่อที่ติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยม

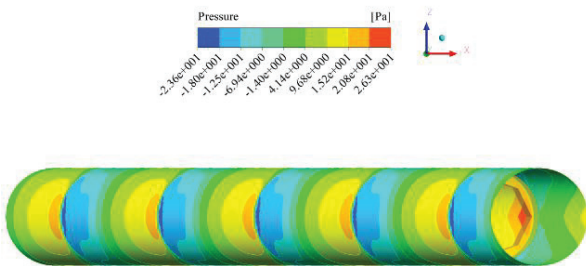
3.5 ความเสียดทาน

รูปที่ 6 แสดงการกระจายความดันที่ผนังท่อติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยม ทำมุมปะทะการไหล 45° ที่ค่า $R_B = 0.10$, $PR = 1.0$ ที่ค่า $Re = 12000$ พบว่าเมื่ออากาศปะทะกับวงแหวนแปดเหลี่ยมจะเกิดความดันสูงบริเวณด้านบนส่วนหน้าของวงแหวนแปดเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) และเกิดความดันต่ำบริเวณด้านล่างส่วนหลังของวงแหวนแปดเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) ซึ่งบริเวณด้านบนส่วนหน้าของวงแหวนแปดเหลี่ยมจะเกิดความดันสูงสุด ทำให้เกิดการสูญเสียความดันมากบริเวณนี้

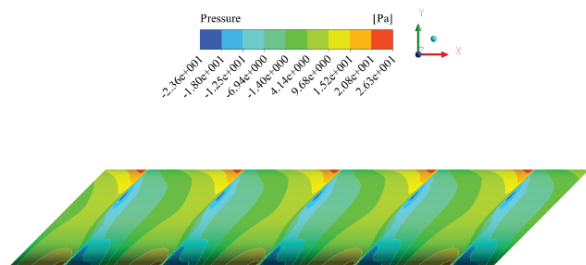
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า f/f_0 กับ Re ของท่อติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยมทำมุมปะทะการไหล 45° ที่ค่า Re ต่าง ๆ พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า f/f_0 เพิ่มขึ้น และยังพบว่าอิทธิพลของค่า PR กับค่า f/f_0 นั้นแปรผกผัน เมื่อค่า PR น้อยจะทำให้ค่า f/f_0 มีค่ามากกว่ากรณีที่ค่า PR มีค่ามาก ผลของ f/f_0 มีสูงเกิดจากกรณีที่ค่า PR น้อยนั้นจะมีจำนวนวงแหวนมากกว่ากรณีที่ค่า PR มาก ทำให้เกิดการสูญเสียความดันในท่อมากกว่า



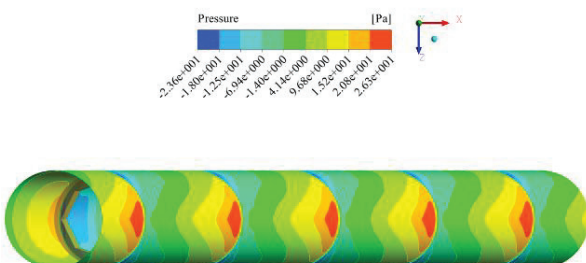
(ก) ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผนังท่อ



(ข) ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผนังท่อด้านล่าง

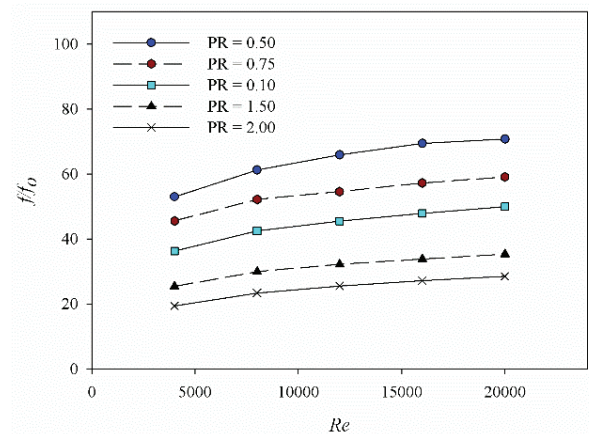


(ค) ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผนังท่อด้านข้าง



(ง) ความดันที่เกิดขึ้นบริเวณผนังท่อด้านบน

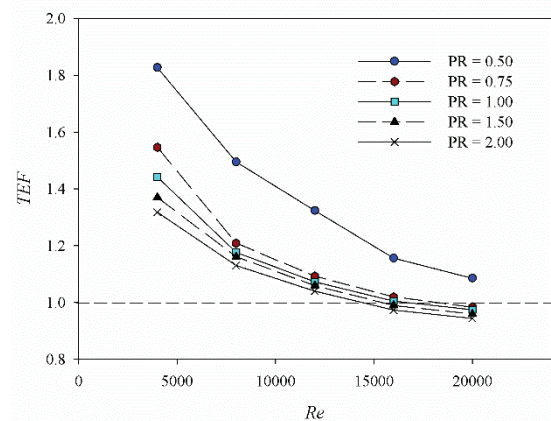
รูปที่ 6 การกระจายความดันบนผนังท่อที่ติดตั้งวงแหวน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ff_0 กับ Re ของท่อที่ติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยม

3.5 ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า TEF กับ Re ของท่อที่ติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยมทำมุมปะทะการไหล 45° ที่ค่า PR ต่าง ๆ พบว่าที่ค่า $PR=0.5$ สามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้สูงที่สุด โดยในช่วงที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำ ($Re=4,000$) สามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้สูงถึง 1.83 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TEF กับ Re ของท่อที่ติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยม

4 สรุปผลการคำนวณ

ผลการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน โดยติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยมวางเอียงทำมุมปะทะการไหล 45° ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน โดยการออกแบบให้มีวงแหวนแปดเหลี่ยมในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

ที่ค่า $R_B = 0.10$ และทำการปรับเปลี่ยนค่า PR ต่าง ๆ พบว่าการติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยมจะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดที่ค่า $PR=0.5$ และมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (TEF) มากกว่าท่อผนังเรียบทุกกรณีและยังพบว่าการติดตั้งวงแหวนแปดเหลี่ยมในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่า $PR=0.5$ สามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้มากที่สุดเท่ากับ 1.83 ที่ค่า $Re = 4,000$

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์และมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการงานวิจัยนี้ รวมทั้งทุนในการนำเสนองานวิจัย และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์ สถานที่ในการวิจัยนี้

6 เอกสารอ้างอิง

[1] Promvonge. P. and Thianpong. C. Thermal performance assessment of turbulent channel flow over different shape ribs, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 2008; 35 (10): 1327-1334.

[2] Ridouane. E.H. and Campo. A. Heat transfer enhancement of air flowing across grooved channels: joint effects of channel height and groove depth. *J. Heat Transfer*, 2008; 130(2):021901.

[3] Chompookham. T., Thianpong. C., wankaomeng. S. and Promvonge. P. Heat transfer augmentation in a wedge-ribbed channel using winglet vortex generators. *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 2010; 37 (2): 163-169.

[4] Sripattanapipat. S. and Promvonge. P. Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles. *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 2009; 36 (1): 32-38.

[5] Promvonge P., Koolnapadol N., Pimsarn M. and Thianpong C. (2014). Thermal performance enhancement in a heat exchanger tube fitted with inclined vortex rings. *Applied Thermal Engineering*. Vol.62, pp. 285-292.

[6] Chingtuaythong W., Promvonge P., Thianpong C. and Pimsarn M. (2017). Heat transfer characterization in a tubular heat exchanger with V-shaped rings. *Applied Thermal Engineering*. Vol.110, pp. 1164-1171.

[7] Hans. V.S., Saini. R.P. and Saini. J.S. Performance of artificially roughened solar air heaters-A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009; 13: 1854-1869.

[8] Varun, Saini. R.P. and Singal. S.K. A review on roughness geometry used in solar air heaters. *Solar Energy*, 2007; 81: 1340-1350.

[9] S.V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York, 1980.

[10] Webb. B.W. and Ramadhyani. S. Conjugate heat transfer in a channel with staggered rib. *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1985; 28: 1679-1687.

[11] Kelkar. K.M. and Patankar. S.V. Numerical prediction of flow and heat transfer in a parallel plate channel with staggered fins. *ASME J. Heat Transfer*, 1987; 109: 25-30.