



สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ประชุมวิชาการ
การถ่ายเทพลังงาน
ความร้อนและมวลในอุปกรณ์
ด้านความร้อนและกระบวนการ
(ครั้งที่ 22)

วันที่ 9-10 มีนาคม 2566
ณ โรงแรม เดอะ มินทรีนี
จังหวัดเชียงราย

คณะกรรมการและคณะกรรมการจัดการประชุมวิชาการ
เรื่อง “การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ” (ครั้งที่ 22)
ระหว่างวันที่ 9-10 มีนาคม 2566
ณ โรงแรม เดอะ ม้านทรี จังหวัดเชียงราย

ที่ปรึกษาคณะกรรมการจัดการประชุม

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ประธานที่ปรึกษา สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

คณะกรรมการจัดการประชุม

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะกรรมการ
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรณศิริ	ดีทาท	อนุกรรมการ
3. รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร	อาสนคำ	อนุกรรมการ
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ	วรยศ	อนุกรรมการ
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนี	วรยศ	อนุกรรมการ

คณะกรรมการฝ่ายพิจารณาบทความ

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะกรรมการ
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรณศิริ	ดีทาท	อนุกรรมการ
3. รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร	อาสนคำ	อนุกรรมการ

คณะกรรมการฝ่ายติดต่อประสานงาน/ต้อนรับ

1. รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรณศิริ	ดีทาท	ประธานคณะกรรมการ
2. ดร.วาสนา	คำโสภาส	อนุกรรมการ
3. ดร.เหนือพล	ดวงเบ๊	อนุกรรมการ
4. นายวันรบ	กิตินัน	อนุกรรมการ

คณะกรรมการฝ่ายลงทะเบียน/การเงิน

1. รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร	อาสนคำ	ประธานคณะกรรมการ
2. ดร.วาสนา	คำโสภาส	อนุกรรมการ
3. นายวันรบ	กิตินัน	อนุกรรมการ

คณะกรรมการฝ่ายเอกสาร

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	ประธานคณะกรรมการ
2. รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร	อาสนคำ	อนุกรรมการ
3. ดร.วาสนา	คำโสภาส	อนุกรรมการ
4. ดร.เหนือพล	ดวงเบ๊	อนุกรรมการ
5. นายวันรบ	กิตินัน	อนุกรรมการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
เรื่อง “การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ” (ครั้งที่ 22)
ระหว่างวันที่ 9-10 มีนาคม 2566
ณ โรงแรม เดอะ ม้านทรี จังหวัดเชียงราย

- | | |
|---|--|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 2. ศาสตราจารย์ ดร.ฐานิตย์ เมธิยานนท์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วงศ์วัฒนาเสถียร | มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 4. ศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ไชยประพัฒน์ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 5. รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนพานโต | สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน |
| 6. รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| 7. รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาน สถิตเรืองศักดิ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| 8. รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ จตุรงค์กล้าเลิศ | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 9. รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 10. รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| 11. รองศาสตราจารย์ ดร.ชยุต นันทคุสิติ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 12. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษ สมนึก | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 13. รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรณิศจ์ ดีทายาท | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 14. รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร อาสนคำ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 15. รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โธมรินทร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 16. รองศาสตราจารย์ ดร.กษมา ศิริสมบูรณ์ | มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| 17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ วรรณ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรพรรณ เตียรุสสุวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| 19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิปไตยนทร์ แสงสว่าง | มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| 20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิธ พลวงษ์ศรี | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันยาพร ไชยวงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน |
| 22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก |
| 23. ดร.อดิพงษ์ นันทพันธ์ | การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย |
| 24. ดร.ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์ | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| 25. ดร.วาสนา คำโอภาส | สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |

สารบัญ

ลำดับ	เรื่อง	หน้า
A1	การจำลองและปรับปรุงสถานีจัดเรียงสินค้าแบบอัตโนมัติ SIMULATION AND IMPROVEMENT OF THE AUTONOMOUS PALLETING STATION	18
A2	สภาวะที่เหมาะสมในการหลอมละลายพลาสติกกรีไฮเคิลพอลิโอที่สิ้นความหนาแน่นสูง เพื่อผลิตภาชนะบรรจุไข่กับการจำลองทางความร้อน APPROPRIATE MELTING CONDITION OF RECYCLED HIGH-DENSITY POLYETHYLENE FOR PRODUCING RAW EGG PACKAGING USING THERMAL SIMULATION	24
A3	การประเมินการใช้พลังงานในสวนปาล์มน้ำมัน (ภาคเหนือของประเทศไทย) ENERGY CONSUMPTION ASSESSMENT IN OIL PALM PLANTATION AREA (NORTHERN THAILAND)	33
A4	การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิनाด้วยถังปิดอัจฉริยะภายใต้เงื่อนไข นาฬิกาชีวภาพของการควบคุมการเลี้ยง DEVELOPMENT OF A SPIRULINA SMART CLOSED TANK SYSTEM UNDER THE BIOLOGICAL CLOCK FOR CULTIVATION	39
A5	อิทธิพลของความชื้นในกาบกล้วยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ EFFECT OF MOISTURE CONTENT IN BANANA SHEATH ON MECHANICAL PROPERTIES DURING MOLD FORMING	46
A6	วัสดุผสมปูนซีเมนต์จากเฟอร์รัสคาร์บอนที่เกิดจากการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยผงเหล็กเหลือทิ้ง CEMENT MIXING MATERIAL WITH FERROUS CARBONATE DERIVED FROM CARBON DIOXIDE SEQUESTRATION BY WASTE IRON POWDER	50
B1	ผลของอุณหภูมิห้องอบเตาอบถ่านไร้ควันที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพผลิตภัณฑ์ น้ำส้มควันไม้จากไม้ลำไยและแกลบภายใต้กระบวนการทอรรีฟิเคชัน EFFECT OF BIOCHAR KILN CHAMBER TEMPERATURE ON PHYSICAL CHARACTERISTICS OF WOOD VINEGAR PRODUCT FROM LONGAN WOOD AND RICE HUSK UNDER TORREFACTION	55
B2	การศึกษาการทำงานของห้องเผาไหม้แบบพัลส์ชนิดไร้วาล์ว STUDY ON OPERATION OF A VALVELESS PULSE JET COMBUSTOR	62
B3	การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบดชนิดหมุนวนแบบทรงกรวย GRID INDEPENDENCE TEST IN A CONICAL SWIRLING FLUIDIZED-BED COMBUSTOR	70
B4	การศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม้สับโดยใช้เตาเผาแบบขั้นบันได STUDY OF WOODCHIP COMBUSTION USING A STEP GRATE FURNACE	76

ลำดับ	เรื่อง	หน้า
B5	ผลกระทบของอัตราการป้อนโพแทสเซียมจำเพาะต่อการเกิดฟอสลิ่งบนผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างการเผาไหม้ทะเลาะลายปาล์มเปล้าร่วมกับทะเลาะลายปาล์มในเตาเผาไหม้ฟลูอิดไคซ์เบดแบบหมุนเวียน EFFECT OF SPECIFIC POTASSIUM INPUT ON FOULING FORMATION ON HEAT TRANSFER SURFACE DURING CO-FIRING PALM OIL EMPTY FRUIT BUNCH WITH PLAM KERNEL SHELL IN A CIRULATING FLUIDIZED BED COMBUSTOR	81
B6	ผลกระทบของอัตราการผสมดินฟอกสีใช้แล้วในการเผาไหม้ร่วมกับทะเลาะลายปาล์มเปล้าเพื่อลดปัญหาฟอสลิ่งบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเตาเผาไหม้ทะเลาะลายปาล์มเปล้า EFFECT OF SPENT BEACHING EARTH (SBE) BLENDING RATIO IN CO-FIRING WITH PALM OIL EMPTY FRUIT BUNCH (EFB) FOR REDUCTION OF FOULING ON HEAT TRANSFER SURFACE IN A STEP-GRATE FIRED COMBUSTOR	88
B7	การออกแบบสัดส่วนผสมของชีวมวลภายในโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า DESIGN OF THE BIOMASS MIXTURE USED IN THE BIOMASS POWER PLANT TO GENERATE ELECTRICITY	97
B8	ผลของอุณหภูมิการให้ความร้อนถ่านหินที่มีต่อคุณภาพแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อจำลองระบบแก๊สซิฟิเคชันถ่านหินใต้ดิน EFFECT OF HEATING COAL TEMPERATURE ON SYNGAS QUALITY FOR SIMULATING UNDERGROUND COAL GASIFICATION SYSTEM	103
B9	การศึกษาขนาดของเตาเผาถ่านในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ THE STUDY OF KILN SIZE FOR ACTIVATED CHARCOAL PRODUCTION FROM BAMBOO	109
C1	การทำนายสมรรถนะทางความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นบิดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม THERMAL PERFORMANCE PREDICTION OF TUBE HEAT EXCHANGER INSERTED WITH TWISTED TAPE BY ARTIFICIAL NEURON NETWORK	114
C2	การศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศภายในท่อที่สอดใส่แผ่นกั้นรูพรุน STUDY OF TURBULENT AIR FLOW BEHAVIOR IN TUBE INSERTED WITH PERFORATED BAFFLES	122
C3	ผลของมุมเอียงพินต่อสมรรถนะเชิงความร้อนสำหรับกลุ่มพินรูปตัววีในช่องการไหล EFFECT OF PIN INCLINATION ANGLE ON THERMAL PERFORMANCE FOR V-SHAPED PIN ARRAYS IN A FLOW CHANNEL	128
C4	การศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดกรวยหลากหลายรูปแบบ INVESTIGATION OF FLOW BEHAVIOR IN TUBULAR HEAT EXCHANGER FITTED WITH DIFFERENT CONICALS TURBULATOR	136
C5	การศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อขนานที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีจะรู้ THE STUDY ON FLOW AND HEAT TRANSFER BEHAVIORS IN A RECTANGULAR CHANNEL WITH PUNCHED V-BAFFLES	142

ลำดับ	เรื่อง	หน้า
C6	RIB APPLIED SURROGATE MODEL: THERMAL ENHANCEMENT FACTOR OF TRIPLE-CHANNEL TWISTED TAPE HEAT EXCHANGER	149
C7	การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดตั้งปีกสามเหลี่ยมเจาะรู THERMAL PERFORMANCE ENHANCEMENT IN A HEAT EXCHANGER WITH PUNCHED DELTA-WING	159
C8	อิทธิพลของรูปแบบรูเปิดบนแผ่นขวางการไหลต่อลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหล EFFECT OF OPENED HOLE PATTERNS ON FLOW BLOCKAGE FOR FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS IN FLOW CHANNEL	167
C9	การจำลองการไหลของกลุ่มเจ็ตพุ่งชนสำหรับการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลที่หมุนด้วยโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหล NUMERICAL SIMULATION OF JET ARRAY IMPINGEMENT FOR HEAT TRANSFER IN ROTATING CHANNEL USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS	178
C10	ผลของการเติมฟองอากาศที่มีต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวติดครีมน้ำในช่องการไหล EFFECT OF ENTRAINED AIR BUBBLES ON HEAT TRANSFER ENHANCEMENT ON RIBBED SURFACE IN WATER CHANNEL FLOW	186
C11	อิทธิพลของแผ่นกั้นตัววีเจาะรูต่อพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม THE EFFECT OF PERFORATED V-SHAPED BAFFLE ON FLOW AND HEAT TRANSFER BEHAVIORS IN A CIRCULAR TUBE	195
C12	การตรวจสอบเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนจากแถวของลำการไหลปะทะโดยใช้ช่องลำการไหลยืดตัว NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER FROM AN ARRAY OF IMPINGING JETS USING EXTENDED SLOT JETS	203
C13	การประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อหน้าตัดรูปวงรีบิดเกลียวในช่วงการไหลแบบราบเรียบ THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF A TWIST OVAL TUBE IN LAMINAR FLOW REGION	209
C14	การศึกษาเชิงทดลองของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องการไหลที่มีแผ่นกั้นตรงปรับแต่ง EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT TRANSFER AND PRESSURE LOSS IN A FLOW CHANNEL WITH MODIFIED TRANSVERSE BAFFLES	215
C15	ผลกระทบของร่องสี่เหลี่ยมแบบคว่ำและหงายของแผ่นกั้นต่อสมรรถนะเชิงความร้อนภายในช่องขนาน EFFECT OF NOTCHED-BAFFLES WITH UPPER AND LOWER ARRANGEMENTS ON HEAT TRANSFER PERFORMANCE IN A RECTANGULAR CHANNEL	222
C16	การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีแผ่นกั้นรูปตัววี NUMERICAL STUDY OF TURBULENT CONVECTION IN A ROUND TUBE WITH V-SHAPED BAFFLES	229

ลำดับ	เรื่อง	หน้า
C17	สมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นรูปตัววีปรับเปลี่ยน THERMAL PERFORMANCE IN A SQUARE DUCT WITH MODIFIED V-BAFFLES	236
C18	ผลกระทบของแผ่นกั้นตรงปรับเปลี่ยนที่มีต่อสมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่ออุ่นอากาศ พลังงานแสงอาทิตย์ EFFECTS OF MODIFIED TRANSVERSE BAFFLES ON THERMAL PERFORMANCE IN SOLAR-HEATED AIR DUCT	242
C19	การประเมินสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นบิดคู่ THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF A HEAT EXCHANGE INSERTED WITH DUAL TWISTED TEPESES	249
C20	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นตัดขอบ HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS IN A HEAT EXCHANGER TUBE INSTALLED WITH EDGE-TRIMMED TWISTED TAPE	254
C21	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อกลมที่ติดตั้งวงแหวนบิดเอียง HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP CHARACTERISTICS IN A ROUND TUBE FITTED WITH INCLINED TWISTED-RING	259
C22	ผลของอัตราการไหลที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ แบบท่อสามศูนย์กลางร่วม THE EFFECT OF FLOW RATE ON HEAT TRANSFER IN A PASTEURIZATION PROCESS USING A TRIPLE CONCENTRIC TUBE HEAT EXCHANGER	264
C23	อิทธิพลของการติดครีบบนท่อที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของแถวเจ็ทเอียงพุ่งชน EFFECT OF RIB ATTACHMENT ON HEAT TRANSFER FOR A ROW OF IMPINGING OBLIQUED JETS	268
C24	ผลของอัตราส่วนการไหลของน้ำที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อรับความร้อนพลังงาน แสงอาทิตย์แบบหมุนควง EFFECT OF WATER FLOW RATE RATION ON HEAT TRANSFER OF A SOLAR COLLECTOR PIPE WITH SWIRLING FLOW	275
C25	ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่มีผลต่อค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนแบบท่อร่องเกลียว EFFECT OF INTERNAL DIAMETER ON HEAT TRANSFER RATE OF HELICAL CORRUGATED THERMOSYPHON	280
C26	ลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทพุ่งชนแบบกวาด FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF SWEEPING IMPINGING JET	284
D1	การประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านหลังคาโปร่งแสงของ อาคารโกดังสินค้าในประเทศไทย LIGHTING ENERGY SAVING FROM DAYLIGHTING THROUGH SKYLIGHTS FOR A WAREHOUSE IN THAILAND	290

ลำดับ	เรื่อง	หน้า
D2	การศึกษาศักยภาพต้นแบบโรงเรือนพาสานเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง สำหรับเพาะปลูกพืช POTENTIAL STUDY OF SEMI-TRANSPARENT SOLAR CELL GREENHOUSE PROTOTYPE FOR PLANT CULTURE	296
D3	การศึกษาเชิงทดลองและการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการ ระบายความร้อนด้วยอากาศร่วมกับตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน EXPERIMENTAL STUDY AND EFFICIENCY ENHANCEMENT OF PV MODULE USING FORCED AIR-COOLING TECHNIQUE WITH VORTEX GENERATOR	304
D4	ศักยภาพการผลิตน้ำกลั่นจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนแบบระเหย POTENTIAL ON DISTILLED WATER PRODUCTION BY SOLAR CELL MODULE WITH EVAPORATIVE COOLING	311
E1	สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตชาผักเชียงดา OPTIMIZATION OF GYMNEMA INODORUM TEA PRODUCTION PROCESS	316
E2	การออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับควบคุมความชื้นในระบบหมุนเวียนอากาศอบแห้ง DESIGN OF PI CONTROLLER FOR HUMIDITY CONTROL IN DRYING AIR CIRCULATION SYSTEM	324
E3	การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมปั๊มความร้อนสำหรับใบตาลโตนด DEVELOPMENT OF HEAT PUMP ASSISTED SOLAR DRYER FOR PALMYRA PALM LEAVES	332
E4	การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยท่อลมร้อนร่วมกับตัวรับรังสี ดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิกสำหรับกระบวนการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร DEVELOPMENT OF HOT-AIR DUCT COMBINED WITH SOLAR PARABOLIC TROUGH FOR AGRI-FOODS DRYING PROCESS	339
E5	ศักยภาพในการใช้ปั๊มความร้อนแบบคาสเคดพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการอบแห้ง และทำความเย็นสมุนไพร POTENTIAL ON A USE OF SOLAR CASCADE HEAT PUMP FOR HERBS DRYING AND COOLING	346
F1	สมรรถนะของโรงไฟฟ้าโออาร์ซีขนาด 1 กิโลวัตต์ที่ใช้เครื่องขยายไอแบบสโครล ซึ่งดัดแปลงจากสโครลคอมเพรสเซอร์ PERFORMANCE OF A 1 KW ORC POWER PLANT WITH SCROLL EXPANDER BASED ON MODIFIED SCROLL COMPRESSOR	352
F2	ผลกระทบของอัตราการไหลเชิงมวล ความเข้มข้นของแอมโมเนียและความดันในการระเหย ต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้าวัฏจักรคาลินา EFFECTS OF THE MASS FLOW RATE AMMONIA MASS FRACTION AND EVAPORATION PRESSURE ON THE PERFORMANCE OF A KALINA-CYCLE POWER PLANT	362

ลำดับ	เรื่อง	หน้า
F3	การผสมผสานการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน INTEGRATION OF EVAPORATIVE COOLER WITH SPLIT SYSTEM AIR CONDITIONER	370
F4	การศึกษาเชิงทดลองของระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมชนิดอากาศไหลย้อนกลับ EXPERIMENTAL STUDY OF REGENERATIVE INDIRECT EVAPORATIVE COOLER	378
F5	สมรรถนะการลดความชื้นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวเคลือบด้วยสารดูดความชื้นที่ต่อกัน DEHUMIDIFICATION PERFORMANCE OF DESICCANT-COATED HEAT EXCHANGERS IN DOUBLE CONNECTION	387
F6	อิทธิพลของความหนาชั้นสารดูดความชื้นต่อสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เคลือบด้วยสารดูดความชื้น EFFECTS OF DESICCANT LAYER THICKNESS ON THE PERFORMANCE OF A DESICCANT-COATED HEAT EXCHANGER	394
F7	สมรรถนะของโรงไฟฟ้าโออาร์ซีที่ใช้สารผสมซีโอทรอปิกเป็นสารทำงาน PERFORMANCE INVESTIGATION OF AN ORC USING ZEOTROPIC MIXTURES AS ITS WORKING FLUID	402
F8	การวัดอุณหภูมิที่เชื่อถือได้สำหรับอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่เคลือบผิวด้วยสารดูดความชื้น A RELIABLE TEMPERATURE MEASUREMENT FOR DESICCANT-COATED HEAT EXCHANGER	409
F9	การประเมินต้นทุนการผลิตหญ้า 4190 เพื่อกำหนดราคาซื้อขายของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในพื้นที่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง COST ESTIMATION OF 4190 GRASS PRODUCTION FOR PURCHASING PRICE SETTING OF BIOGAS POWER PLANT IN MAE MOH, LAMPANG PROVINCE	416
F10	การวิเคราะห์ขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานใกล้เคียงศูนย์ กรณีศึกษา ศูนย์ฝึกอบรมแม่เมาะ กฟผ. PV OPTIMIZATION FOR NEAR ZERO ENERGY BUILDING: A CASE STUDY OF MAE MOH TRAINING CENTER EGAT	423

กำหนดการประชุมวิชาการ
เรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 22)
วันที่ 9-10 มีนาคม 2566
ณ โรงแรม เดอะ ม้านทรีนิ จังหวัดเชียงราย

วันที่ 9 มีนาคม 2566

08.00 – 09.00 น.	ลงทะเบียนหน้าห้องประชุมพร้อม upload file present ห้องประชุม M-Grand
09.00 – 09.45 น.	พิธีเปิดการประชุม โดย ศ.ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (ประธานคณะกรรมการจัดประชุมวิชาการ) บรรยายพิเศษโดย ศ.ดร.ไพศาล นาผล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เรื่อง Nanofluids & Heat Transfer Enhancements
09.45 – 10.00 น.	รับประทานอาหารว่าง น้ำชา – กาแฟ (รับประทานอาหารระหว่างประชุม)
10.00 – 12.00 น.	การเสนอบทความ (แบ่งช่วงเวลาคำถามและตอบ 15 นาที) ห้องประชุม M-Grand และ ห้องประชุม The Lobby café
12.00 – 13.30 น.	รับประทานอาหารกลางวัน
13.30 – 14.45 น.	การเสนอบทความ (ต่อ) ห้องประชุม M-Grand และ ห้องประชุม The Lobby café
14.45 – 15.00 น.	รับประทานอาหารว่าง น้ำชา – กาแฟ
15.00 – 16.30 น.	การเสนอบทความ (ต่อ) ห้องประชุม M-Grand และ ห้องประชุม The Lobby café
18.00 น.	รับประทานอาหารเย็น พิธีมอบรางวัลบทความดีเด่น

วันที่ 10 มีนาคม 2566

09.00 – 10.15 น.	การเสนอบทความ (ต่อ) ห้องประชุม M-Grand และ ห้องประชุม The Lobby café
10.15 – 10.30 น.	รับประทานอาหารว่าง น้ำชา – กาแฟ
10.30 – 11.45 น.	การเสนอบทความ (ต่อ) ห้องประชุม M-Grand และ ห้องประชุม The Lobby café
11.45 – 12.00 น.	ประชุมสรุปงานวิจัยและปิดการประชุม พิธีมอบรางวัลบทความดีเด่น ณ ห้องประชุม M-Grand
12.00 – 13.30 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน

กำหนดการนำเสนอบทความทางวิชาการ วันที่ 9 มีนาคม 2566

วันที่ 9 มีนาคม 2566 (10.00-11.00 น.)		
ห้อง M-Grand		Chairman: ศ.ดร.พรหมเจต พรหมวงศ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เวลา	รหัสบทความ	บทความ
10.00-10.15 น.	C-1	การทำนายสมรรถนะทางความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นบิดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
10.15-10.30 น.	C-2	การศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศภายในท่อที่สอดใส่แผ่นกั้นรูพรุน
10.30-10.45 น.	C-3	ผลของมุมเอียงพินต่อสมรรถนะเชิงความร้อนสำหรับกลุ่มพินรูปตัววีในช่องการไหล
10.45-11.00 น.	C-4	การศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งตัวสร้างการไหลปั่นป่วนชนิดกรวยหลากหลายรูปแบบ

วันที่ 9 มีนาคม 2566 (11.00-12.00 น.)		
ห้อง M-Grand		Chairman: ศ.ดร.ไพศาล นามผล, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เวลา	รหัสบทความ	บทความ
11.00-11.15 น.	C-5	การศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อนานที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีเจาะรู
11.15-11.30 น.	C-6	rib Applied Surrogate Model: Thermal Enhancement Factor of Triple-channel Twisted Tape Heat Exchanger
11.30-11.45 น.	C-7	การเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการติดตั้งปีกสามเหลี่ยมเจาะรู
11.45-12.00 น.	C-8	อิทธิพลของรูปแบบรูเปิดบนแผ่นขวางการไหลต่อลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหล

วันที่ 9 มีนาคม 2566 (13.30-14.45 น.)		
ห้อง M-Grand		Chairman: รศ.ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เวลา	รหัสบทความ	บทความ
13.30-13.45 น.	C-13	การประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อหน้าตัดรูปวงรีบิดเกลียวในช่วงการไหลแบบราบเรียบ
13.45-14.00 น.	C-14	การศึกษาเชิงทดลองของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องการไหลที่มีแผ่นกั้นตรงปรับแต่ง
14.00-14.15 น.	C-15	ผลกระทบของร่องสี่เหลี่ยมแบบคว่ำและหางของแผ่นกั้น ต่อสมรรถนะเชิงความร้อนภายในช่องขนาน
14.15-14.30 น.	C-16	การศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีแผ่นกั้นรูปตัววี
14.30-14.45 น.	C-17	สมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่ง
14.45-15.00 น.	C-18	ผลกระทบของแผ่นกั้นตรงปรับแต่งที่มีต่อสมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
พักรับประทานอาหารว่าง		

วันที่ 9 มีนาคม 2566 (15.00-16.30 น.)		
ห้อง M-Grand		Chairman: ศ.ดร.ฐานิตย์ เมธิยานนท์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
15.15-15.30 น.	A-1	การจำลองและปรับปรุงสถานีจัดเรียงสินค้าแบบอัตโนมัติ
15.30-15.45 น.	A-2	สภาวะที่เหมาะสมในการหลอมละลายพลาสติกกรีซเคลฟอไลโอที่สิ้นความหนาแน่นสูงเพื่อผลิตภาชนะบรรจุ ไซติบด้วยการจำลองทางความร้อน
15.45-16.00 น.	A-3	การประเมินการใช้พลังงานในสวนปาล์มน้ำมัน (ภาคเหนือของประเทศไทย)
16.00-16.15 น.	A-4	การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาด้วยถังปิดอัจฉริยะภายใต้เงื่อนไขการชีวภาพของการ ควบคุมการเลี้ยง
16.15-16.30 น.	A-5	อิทธิพลของความชื้นในกาบกล้วยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลในการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์
16.30-16.45 น.	A-6	วัสดุผสมปูนซีเมนต์จากเฟอร์ริสคาร์บอนที่เกิดจากการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยผงเหล็กเหลือทิ้ง

วันที่ 9 มีนาคม 2566 (10.00-11.00 น.)		
ห้อง The Lobby café		Chairman: รศ.ดร.สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
10.00-10.15 น.	D-1	การประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านหลังคาโปร่งแสงของอาคารโกดังสินค้าใน ประเทศไทย
10.15-10.30 น.	D-2	การศึกษาศักยภาพต้นแบบโรงเรือนผสานเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสงสำหรับเพาะปลูกพืช
10.30-10.45 น.	D-3	การศึกษาเชิงทดลองและการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการระบายความร้อนด้วย อากาศร่วมกับตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน
10.45-11.00 น.	D-4	ศักยภาพการผลิตน้ำกลั่นจากโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนแบบระเหย

วันที่ 9 มีนาคม 2566 (11.00-12.00 น.)		
ห้อง The Lobby café		Chairman: รศ.ดร.สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ, มหาวิทยาลัยแม่โจ้
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
11.00-11.15 น.	C-9	การจำลองการไหลของกลุ่มเจ็ทพุ่งชนสำหรับการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลที่หมุนด้วยโปรแกรมทาง พลศาสตร์ของไหล
11.15-11.30 น.	C-10	ผลของการเติมฟองอากาศที่มีต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวติดครีปในช่องการไหลน้ำ
11.30-11.45 น.	C-11	อิทธิพลของแผ่นกั้นตัววีเจาะรูต่อพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม
11.45-12.00 น.	C-12	การตรวจสอบเชิงตัวเลขของการถ่ายโอนความร้อนจากแถวของลำการไหลปะทะโดยใช้ช่องลำการไหลยึด ตัว

วันที่ 9 มีนาคม 2566 (13.30-14.45 น.)		
ห้อง The Lobby café		Chairman: รศ.ดร.กษมา ศิริสมบุรณ์, มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
13.30-13.45 น.	C-19	การประเมินสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอติสแผ่นบิตคู่
13.45-14.00 น.	C-20	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นดัดขอบ
14.00-14.15 น.	C-21	คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อกลมที่ติดตั้งวงแหวนบิตเอียง
14.15-14.30 น.	C-22	ผลของอัตราการไหลที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการพลาสมาเจอร์ไรส์แบบท่อสามศูนย์กลางร่วม
14.30-14.45 น.	C-23	อิทธิพลของการติดตั้งที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของแถวเจ็ทเอียงพุ่งชน
14.45-15.00 น.	C-24	ผลของอัตราส่วนการไหลของน้ำที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนของท่อรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนควง
พักรับประทานอาหารว่าง		

วันที่ 9 มีนาคม 2566 (15.00-16.30 น.)		
ห้อง The Lobby café		Chairman: รศ.ดร.ชยุต นันทดุสิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
15.15-15.30 น.	C-25	ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่มีผลต่อค่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนของเทอร์โมไซฟอนแบบท่อร่องเกลียว
15.30-15.45 น.	C-26	ลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทพุ่งชนแบบกวาด
15.45-16.00 น.	B-1	ผลของอุณหภูมิห้องอบเตาอบถ่านไร้ควันที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้จากไม้ลำไยและกลบภายใต้กระบวนการทอรีแฟคชัน
16.00-16.15 น.	B-2	การศึกษาการทำงานของห้องเผาไหม้แบบพัลส์ชนิดไร้วาล์ว
16.15-16.30 น.	B-3	การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดภายในเตาฟลูอิดไดซ์เบดชนิดหมุนวนแบบทรงกรวย
16.30-16.45 น.	B-4	การศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม้สับโดยใช้เตาเผาแบบขั้นบันได

กำหนดการนำเสนอบทความทางวิชาการ วันที่ 10 มีนาคม 2566

วันที่ 10 มีนาคม 2566 (09.00-10.15 น.)		
ห้อง M-Grand		Chairman: ศ.ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
09.00-09.15 น.	F-1	สมรรถนะของโรงไฟฟ้าโออาร์ซีขนาด 1 กิโลวัตต์ที่ใช้เครื่องขยายไอแบบสโครลซึ่งดัดแปลงจากสโครลคอมเพรสเซอร์
09.15-09.30 น.	F-2	ผลกระทบของอัตราการไหลเชิงมวล ความเข้มข้นของแอมโมเนีย และความดันในการระเหย ต่อสมรรถนะของโรงไฟฟ้าวัฏจักรคาลินา
09.30-09.45 น.	F-3	การผสมผสานการทำงานระหว่างเครื่องทำความเย็นแบบน้ำระเหยกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
09.45-10.00 น.	F-4	การศึกษาเชิงทดลองของระบบทำความเย็นแบบน้ำระเหยโดยอ้อมชนิดอากาศไหลย้อนกลับ
10.00-10.15 น.	F-5	สมรรถนะการลดความชื้นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวเคลือบด้วยสารดูดความชื้นที่ต่อกัน
พักรับประทานอาหารว่าง		

วันที่ 10 มีนาคม 2566 (10.30-11.45 น.)		
ห้อง M-Grand		Chairman: รศ.ดร.วิรัชย์ โยहनรินทร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
10.30-10.45 น.	F-6	อิทธิพลของความหนาแน่นสารดูดความชื้นต่อสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เคลือบด้วยสารดูดความชื้น
10.45-11.00 น.	F-7	สมรรถนะของโรงไฟฟ้าโออาร์ซีที่ใช้สารผสมซีโอทรอปิกเป็นสารทำงาน
11.00-11.15 น.	F-8	การวัดอุณหภูมิที่เชื่อถือได้สำหรับอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่เคลือบผิวด้วยสารดูดความชื้น
11.15-11.30 น.	F-9	การประเมินต้นทุนการผลิตหญ้า 4190 เพื่อกำหนดราคารับซื้อของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ ในพื้นที่ อ.แม่เมะ จ.ลำปาง
11.30-11.45 น.	F-10	การวิเคราะห์ขนาดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานใกล้เคียงศูนย์กรณีศึกษา ศูนย์ฝึกอบรมแม่เมะ กฟผ.

วันที่ 10 มีนาคม 2566 (09.00-10.15 น.)		
ห้อง The Lobby café		Chairman: รศ.ดร.ธรณิศวร์ ดีทายาท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
09.00-09.15 น.	B-5	ผลกระทบของอัตราการป้อนโพแทสเซียมจำเพาะต่อการเกิดฟาส์ลิงบนผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างการเผาไหม้ทะเลาปาล์มเปล้าร่วมกับกะลาปาล์มในเตาเผาไหม้ฟลูอิดซ์เบดแบบหมุนเวียน
09.15-09.30 น.	B-6	ผลกระทบของอัตราการผสมดินฟอกสีใช้แล้วในการเผาไหม้ร่วมกับทะเลาปาล์มเปล้าเพื่อลดปัญหาฟาส์ลิงบนพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเตาเผาไหม้ตะกรับแบบขั้นบันได
09.30-09.45 น.	B-7	การออกแบบสัดส่วนผสมของชีวมวลภายในโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า
09.45-10.00 น.	B-8	ผลของอุณหภูมิการให้ความร้อนถ่านหินที่มีต่อคุณภาพแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อจำลองระบบแก๊สซิฟิเคชันถ่านหินใต้ดิน
10.00-10.15 น.	B-9	การศึกษาขนาดของเตาเผาถ่านในการผลิตถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่
พักรับประทานอาหารว่าง		

วันที่ 10 มีนาคม 2566 (10.30-11.45 น.)		
ห้อง The Lobby café		Chairman: รศ.ดร.อรรถกร อาสนคำ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เวลา	รหัส บทความ	บทความ
10.30-10.45 น.	E-1	สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตชาผักเชียงดา
10.45-11.00 น.	E-2	การออกแบบตัวควบคุมพีไอสำหรับควบคุมความชื้นในระบบหมุนเวียนอากาศอบแห้ง
11.00-11.15 น.	E-3	การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมบีบความร้อนสำหรับใบตาลโตนด
11.15-11.30 น.	E-4	การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยท่อลมร้อนร่วมกับตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลีสำหรับกระบวนการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร
11.30-11.45 น.	E-5	ศักยภาพในการใช้บีบความร้อนแบบคาสเคดพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการอบแห้งและทำคามเย็นสมุนไพร

การทำนายสมรรถนะทางความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นบิด ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

THERMAL PERFORMANCE PREDICTION OF TUBE HEAT EXCHANGER INSERTED WITH TWISTED TAPE BY ARTIFICIAL NEURON NETWORK

อมร ดอนเมือง¹

สุริยา โชคเพิ่มพูน¹

วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง²

ศุภมา โชคเพิ่มพูน³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตสกลนคร 199 หมู่ที่ 3

ตำบลพังโคน อำเภอพังโคน

จังหวัดสกลนคร 47160

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

321 ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง

จังหวัดลพบุรี 15000

³ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ 59 หมู่ 1

ตำบลเขียงเครือ อำเภอเมือง

จังหวัดสกลนคร 47000

Email: budsama.s@ku.th

บทคัดย่อ แผ่นบิดเป็นหนึ่งในอุปกรณ์สร้างการไหลแบบปั่นป่วนที่ได้รับความนิยมสำหรับใช้ในการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยพารามิเตอร์ที่หลากหลาย งานวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดในการรวบรวมข้อมูลผลการศึกษาค้นคว้าการใช้แผ่นบิดในส่วนของการถ่ายโอนความร้อน การสูญเสียความดันและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนในกรณีที่สารทำงานเป็นอากาศและน้ำ โดยการวิเคราะห์และทำนายผลจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมภายใต้อิทธิพลของพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ เลขเรย์โนลด์ส อัตราส่วนการบิดและจำนวนแผ่นบิด โครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาทดสอบความแม่นยำในการทำนายนั้นพัฒนาขึ้นจากสถาปัตยกรรมที่หลากหลายด้วยจำนวนชั้นซ่อน จำนวนโหนดชั้นซ่อนและจำนวนรอบที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาค้นคว้าสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดเกิดในกรณีที่โครงข่ายเป็น 3-32-32-32-1 ภายใต้ฟังก์ชันการกระตุ้น แบบ Tanh ที่จำนวนรอบ 3000 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.6854

คำสำคัญ: สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน, แผ่นบิด, โครงข่ายประสาทเทียม, การทำนาย

Abstract Twisted tape is one of the popular turbulent flow generators used to enhance the thermal performance of heat exchangers by a wide range of parameters. This research aims to collect the results data of the use of twisted tape in the previous work in terms of heat transfer, pressure loss, and thermal performance enhancement in the case of working fluids as air and water only. The analysis and prediction were performed by applying the artificial neural networks (ANN) under the influence of 3 parameters, namely Reynolds number, twist ratio, and number of twisted tapes. The neural networks used to test the predictive accuracy were developed from various architectures with different number of hidden layers, neuron in hidden layers and epoch number. It was found that the best ANN model was at 3-32-32-32-1 structure with Tanh activation function at epoch of 3000. The coefficient of determination was at 0.68.

Keywords: thermal performance enhancement, twisted tape, ANN, prediction

1. บทนำ

การเพิ่มสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการสอดใส่อุปกรณ์สร้างการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์สร้างการไหลแบบปั่นป่วนที่นำเสนอมีลักษณะโครงสร้างที่หลากหลายแตกต่างกันไป เช่น แผ่นบิด ลวดขด ปีก ครีและแผ่นกันการไหล โดยแผ่นบิดคือรูปแบบหนึ่งของอุปกรณ์สร้างการไหลแบบปั่นป่วนที่ได้รับการนิยมในการศึกษา พัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้งาน

Eiamsa-ard และคณะ [1] นำเสนอผลการศึกษาค้นคว้าอิทธิพลของแผ่นบิดใบคู่แบบเต็มแผ่นและแบบแยกส่วน ภายใต้อิทธิพลของอัตราส่วนการบิด (3, 4 และ 5) และอัตราส่วนการแยกส่วน (0.75, 1.5 และ

2.25) ที่แตกต่างกัน เปรียบกับแผ่นบิดใบเดี่ยวแบบเต็มแผ่น พบว่าแผ่นบิดใบคู่แบบเต็มแผ่นให้สมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนที่สูงกว่าแผ่นบิดใบเดี่ยวแบบเต็มแผ่นและแผ่นบิดใบคู่แบบแยกส่วน ค่าสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนการแยกส่วนมีค่าเพิ่มมากขึ้น Hong และคณะ [2] ประยุกต์ใช้แผ่นบิดและชุดแผ่นบิด (2, 3 และ 4 ใบ) ที่มีการจัดเรียงและทิศทางการบิดแตกต่างกันภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบผิวครีสำหรับช่วยเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการทำความร้อนกลับ พบว่าจำนวนแผ่นบิดการจัดเรียงและทิศทางการบิดแตกต่างกันมีผลต่อสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน Hong และคณะ [3] นำเสนอการใช้แผ่นบิดที่มีความกว้างแผ่นและอัตราส่วนการบิดที่แตกต่างกันมา

รวมเป็นชุดแผ่นบิตสำหรับเป็นอุปกรณ์สร้างไหลปั่นป่วนที่มีผลกระทบต่อการถ่ายโอนความร้อน ตัวประกอบความเสียดทานและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน Bahiraei และคณะ [4] ศึกษาถึงคุณลักษณะทางความร้อนและการไหลภายในท่อที่มีการสอดแผ่นบิตเดี่ยว แผ่นบิตคู่ที่มีทิศทางการบิตแบบทางเดียวกันและแตกต่างกัน และมีสารทำงานเป็นสารนาโน (graphene-platinum) ผลการศึกษาพบว่าการใช้แผ่นบิตคู่ที่มีทิศทางการบิตแบบแตกต่างกันที่อัตราส่วนการบิตที่สูงขึ้นจะช่วยปรับปรุงการถ่ายโอนความร้อนได้ดีภายใต้การใช้พลังงานที่น้อยกว่า Ferroni และคณะ [5] นำเสนอสมสัมพันธ์ของตัวประกอบความต้านทานของการใช้แผ่นบิตแบบความยาวไม่เต็มแนวท่อที่มีอัตราส่วนการบิต อัตราส่วนช่องว่างและช่วงความเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน Bhuiya และคณะ [6] ดำเนินการศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้ชุดแผ่นบิตจำนวน 3 ใบ ที่อัตราส่วนการบิตแตกต่างกันจำนวน 4 ค่า ได้แก่ 1.92, 2.88, 4.81 และ 6.79 พบว่าสมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนแปรผกผันกับอัตราส่วนการบิต ภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้สมรรถนะในการถ่ายโอนความร้อนมีสูงสุดค่าเท่ากับ 1.4 Vashistha และคณะ [7] ทดลองใช้แผ่นบิตและชุดแผ่นบิต (2 และ 4 ใบ) ที่มีอัตราส่วนการบิตที่แตกต่างกัน (2.5, 3.0 และ 3.5) และมีการจัดเรียงตัวด้วยทิศทางการบิตแตกต่างกัน พบว่าการจัดเรียงตัวแบบทิศทางการบิตแตกต่างกันให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนที่สูงกว่าการจัดเรียงตัวแบบทิศทางการบิตเดียวกัน Eiamsa-ard และคณะ [8] นำเสนอการใช้แผ่นบิตคู่ที่มีการจัดเรียงตัวด้วยทิศทางการบิตแตกต่างกัน ภายใต้อัตราส่วนการบิตที่แตกต่างกันจำนวน 4 ค่า ได้แก่ 2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0 สำหรับการเปรียบเทียบการถ่ายโอนความร้อนและการสูญเสียความดันกับกรณีแผ่นบิตเดี่ยวภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน พบว่าแผ่นบิตคู่ที่มีการจัดเรียงตัวแบบทิศทางการบิตแตกต่างกันให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนที่สูงกว่าการจัดเรียงตัวแบบทิศทางการบิตเดียวกันและแผ่นบิตเดี่ยว ตามลำดับ Chokphoemphun และคณะ [9] ศึกษาอิทธิพลของการใช้ชุดแผ่นบิตที่ประกอบด้วยแผ่นบิตจำนวน 1, 2, 3 และ 4 ใบ ที่มีการจัดเรียงตัวด้วยทิศทางการบิตแตกต่างกัน ที่อัตราส่วนการบิตเท่ากับ 4 รวมทั้งสิ้นจำนวน 9 กรณีศึกษา ที่มีต่อสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนที่พบว่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.33 ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีการใช้ชุดแผ่นบิตจำนวน 4 ใบที่มีการจัดเรียงตัวด้วยทิศทางการบิตแตกต่างกัน Ponnada และคณะ [10] ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนระหว่างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นบิต แผ่นบิตเจาะรูและแผ่นบิตเจาะรูที่บิตสลับทาง ที่มีอัตราส่วนการบิตแตกต่างกันจำนวน 3 ค่า (3, 4 และ 5) พบว่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนสูงสุดของแผ่นแต่ละรูปแบบมีค่าเท่ากับ 1.24, 1.396 และ 1.433 ตามลำดับ

นอกจากการสร้างสมสัมพันธ์โดยอาศัยผลลัพธ์การศึกษาภายใต้แต่ละขอบเขตของงานวิจัยสำหรับทำนายแนวโน้มผลลัพธ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นภายใต้ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปภายในขอบเขตการวิจัยนั้น ๆ การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมสำหรับทำนายแนวโน้มผลลัพธ์เนื่องจากมีความแม่นยำที่สูง โดยโครงข่ายประสาทเทียมภายใต้โครงสร้างของสถาปัตยกรรมรูปแบบต่าง ๆ ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับทำนายเกี่ยวกับกระบวนการทางความ

ร้อน Esfe [11] ทำการออกแบบและนำเสนอโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการถ่ายโอนความร้อนและการสูญเสียความดันของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ที่ใช้สารนาโน (Ag/water) เป็นสารทำงาน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าสูงกว่า 99.50% Chokphoemphun และคณะ [12] นำเสนอการศึกษาสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนของช่องขนานเซาะร่องและทำการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายผลลัพธ์ พบว่าความแม่นยำในการทำนายในรูปของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าสูงถึง 99.88% Maddah และคณะ [13] ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนซึ่งมีค่าความแม่นยำประมาณ 99.38% Naphon และคณะ [14] นำเสนอการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมด้วยสถาปัตยกรรมที่หลากหลายสำหรับทำนายการถ่ายโอนความร้อนและการสูญเสียความดันของสารนาโน (TiO_2 /water) ภายในท่อขดที่อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็ก Promvong และคณะ [15] ประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนของช่องขนานที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นการไหลแบบโค้งด้วยมุมปะทะและระยะพิตต์ที่หลากหลาย พบว่าค่าความแม่นยำในการทำนายมีค่าประมาณ 99.84% Moya-Rico และคณะ [16] นำเสนอการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายการถ่ายโอนความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อลูกฟูกที่มีระยะพิตต์และความความลึกที่แตกต่างกัน Ghritlahre and Prasad [17] นำเสนอเทคนิคการทำนายการถ่ายโอนความร้อนของชุดอุณหอากาศด้วยโครงข่ายประสาทเทียมพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าประมาณ 99.79% Verma และคณะ [18] ทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ผิวเรียบกับท่อลูกฟูก ผลการศึกษาพบว่าค่าความแม่นยำในการทำนายมีค่าประมาณ 99.99%

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่าการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้แผ่นบิตสำหรับเป็นอุปกรณ์สร้างการไหลแบบปั่นป่วนนั้นมีปัจจัยประกอบรวมที่หลากหลาย ได้แก่ อัตราส่วนการบิต จำนวนแผ่นบิต ทิศทางการจัดเรียง ลักษณะพื้นผิวของแผ่นบิต สารทำงาน และความเร็วในการไหลของสารทำงาน เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เกิดแนวคิดในการรวบรวมผลลัพธ์การศึกษาจากงานวิจัยที่มีการนำเสนอไว้ก่อนหน้านี้ซึ่งอยู่ภายใต้ปัจจัยร่วมเดียวกันมาใช้สำหรับเป็นชุดข้อมูลในการทำนายแนวโน้มอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวที่ผลกระทบต่อสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF) การถ่ายโอนความร้อน (Nu) และการสูญเสียความดัน (f) แบบองค์รวม โดยการใช้วิธีการทำนายด้วยโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพการทำนายที่แม่นยำ โครงข่ายประสาทเทียมถูกทดสอบบนโปรแกรม Rapid-Miner Studio ในกระบวนการทดสอบความยากในการทำนายมีการนำเสนอด้วยโครงสร้างที่หลากหลายโดยการปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นซ่อน จำนวนโหนดชั้นซ่อนและจำนวนรอบเพื่อหาโครงสร้างและเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการทำนาย

2. การประเมินสมรรถนะทางความร้อน

ข้อมูลผลลัพธ์จากงานวิจัยที่นำมาก่อนหน้านี้ที่นำมาใช้สำหรับการทำนายผลด้วยโครงข่ายประสาทเทียมภายใต้ขอบเขตงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยการถ่ายโอนความร้อนและการสูญเสียความดันซึ่งนำเสนอในพจน์ของเลขนัสเซิลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (f) รวมทั้งพารามิเตอร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของการถ่ายโอนความร้อนและการสูญเสียความดันของกรณีท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นบิตต่อท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่มีการสอดใส่แผ่นบิตโดยแสดงในพจน์ของสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF) การประเมินข้อมูลแต่ละพจน์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number, Nu) เป็นตัวแปรไร้มิติของการพาความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$Nu = hD / k \quad (1)$$

เมื่อ h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)
 D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
 k คือสภาพนำความร้อนสารทำงาน ($W/m \cdot K$)

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนพิจารณาจากสมมติฐานการเพิ่มขึ้นของพลังงานของสารทำงานที่ไหลอยู่ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้สภาวะพลั๊กความร้อนคงที่ด้วยกลไกการพาความร้อน ตามสมการที่ (2)

$$h = \dot{m} C_p (T_o - T_i) / A (\bar{T}_w - T_b) \quad (2)$$

เมื่อ $\dot{m}$ คืออัตราการไหลเชิงมวลสารทำงาน (kg/s)
 C_p คือความจุความร้อนจำเพาะสารทำงาน (J/kg K)
 T_o คืออุณหภูมิสารทำงานที่ทางออก (K)
 T_i คืออุณหภูมิที่สารทำงานที่ทางเข้า (K)
 A คือพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน (m^2)
 $\bar{T}_w$ คืออุณหภูมิที่ผิวท่อเฉลี่ย (K)
 T_b คืออุณหภูมิสารทำงานเฉลี่ย (K)

ตัวประกอบความเสียดทาน (friction factor, f) เป็นตัวแปรไร้มิติของความดันตกคร่อมตลอดความยาวของท่อทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$f = (2D\Delta P) / (\rho L U^2) \quad (3)$$

เมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
 ΔP คือความดันตกคร่อม (Pa)
 ρ คือความหนาแน่นสารทำงาน (kg/m^3)
 L คือความยาวท่อทดสอบ (m)
 U คือความเร็วเฉลี่ยสารทำงาน (m/s)

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (thermal enhancement factor, TEF) ประเมินจากสมการที่ (4)

$$TEF = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3} \quad (4)$$

เมื่อ Nu คือเลขนัสเซิลท์กรณีท่อที่มีการสอดใส่แผ่นบิต
 Nu_0 คือเลขนัสเซิลท์กรณีท่อที่ไม่มีการสอดใส่แผ่นบิต

f คือตัวประกอบความเสียดทานกรณีท่อที่มีการสอดใส่แผ่นบิต

f_0 คือตัวประกอบความเสียดทานกรณีท่อที่ไม่มีการสอดใส่แผ่นบิต

ความเร็วของสารทำงานที่ไหลภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในระหว่างการทดสอบนั้นมีการนำเสนอในรูปของตัวแปรไร้มิติเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number, Re) ตามสมการที่ (5)

$$Re = \rho D U / \mu \quad (5)$$

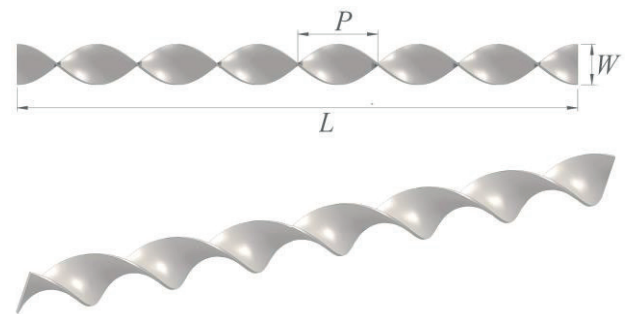
เมื่อ ρ คือความหนาแน่นสารทำงาน (kg/m^3)
 D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
 U คือความเร็วเฉลี่ยสารทำงาน (m/s)
 μ คือความหนืดสัมบูรณ์ ($kg/m \cdot s$)

สมบัติของสารทำงานทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณนั้นพิจารณาที่สภาวะอุณหภูมิสารทำงานเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

3. ลักษณะแผ่นบิต

แผ่นบิตที่ใช้สำหรับการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายโอนความร้อนมีลักษณะโครงสร้างทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นแผ่นที่มีผิวเรียบความกว้างของแผ่นเท่ากับ W ผ่านกระบวนการบิดทำเกลียวด้วยระยะการบิดเท่ากับ P ตลอดความยาวในการบิดเท่ากับ L ที่อัตราส่วนระหว่างระยะการบิดกับความกว้างของแผ่นถูกนิยามเป็นอัตราส่วนการบิดตามสมการที่ (6)

$$Y = P / W \quad (6)$$

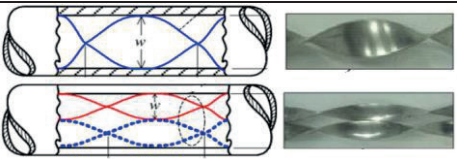
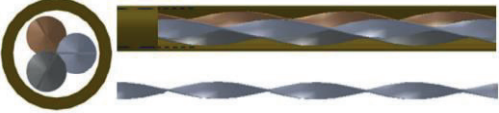
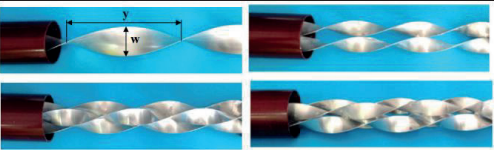
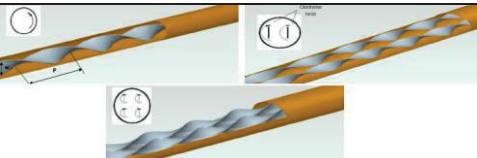
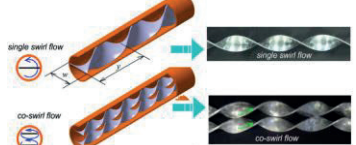
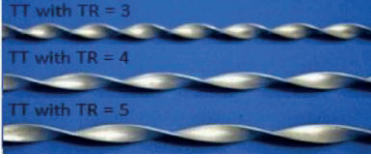


รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นบิต

ข้อมูลการศึกษาผลกระทบของการใช้แผ่นบิตสำหรับการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนที่รวบรวมมาจากการวิจัยที่มีการนำเสนอมาก่อนหน้านี้สำหรับใช้เป็นชุดข้อมูลขาเข้าและชุดขาออกของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นอยู่ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ใช้แผ่นบิตที่มีลักษณะพื้นผิวเป็นแบบพื้นผิวเรียบ อัตราส่วนการบิดที่แตกต่างกัน (Y) จำนวนของแผ่นบิตที่แตกต่างกัน (N) แต่มีขนาดความกว้างของแผ่นบิตที่เท่ากันสำหรับในแต่ละชุดแผ่นบิตที่ทำการทดสอบ การจัดเรียงของชุดแผ่นบิตในแต่ละการทดสอบมีทิศทางการจัดเรียงทิศทางการบิดแบบทางเดียวกัน (co-twisted) ในช่วงความเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน (Re) สำหรับกรณีที่สารทำงานเป็นอากาศและน้ำ ลักษณะโครงสร้าง

และเงื่อนไขการทดสอบของแผ่นบิตและชุดแผ่นบิตที่นำมาใช้งานวิจัยนี้ ได้แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

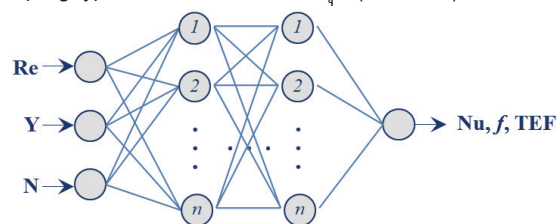
ตารางที่ 1 ลักษณะโครงสร้างแผ่นบิตและขอบเขตการศึกษาสำหรับชุดข้อมูลของการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

นักวิจัย	ลักษณะโครงสร้าง	ขอบเขตการศึกษา
[1]		สารทำงาน: อากาศ Re=4,000–19,000 N=1 และ 2 Y=3, 4 และ 5
[6]		สารทำงาน: อากาศ Re=7,200–50,200 N=3 Y=1.92, 2.88, 4.81 และ 6.79
[9]		สารทำงาน: อากาศ Re=5,300–24,000 N=1, 2, 3 และ 4 Y=4 และ 5
[7]		สารทำงาน: น้ำ Re=4,000–14,000 N=1, 2 และ 4 Y=2.5, 3.0 และ 3.5
[8]		สารทำงาน: น้ำ Re=3,700–21,000 N=1 และ 2 Y=2.5, 3.0, 3.5 และ 4.0
[10]		สารทำงาน: น้ำ Re=3,000–16,000 N=1 Y=3.0, 4.0 และ 5.0

4. โครงข่ายประสาทเทียม

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network, ANN) สำหรับทำนายการถ่ายโอนความร้อน การสูญเสียความดันและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สอดใส่แผ่นบิต การทดสอบการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมดำเนินการบนโปรแกรม Rapid-Miner Studio ด้วย deep learning model ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยชั้นข้อมูลขาเข้า ชั้นซ่อนและชั้นข้อมูลขาออกดังแสดงในรูปที่ 2 ชั้นข้อมูลขาเข้าประกอบด้วยพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ เลขเรย์โนลด์ส (Re) อัตราส่วนการบิต (Y) และจำนวนแผ่นบิต (N) ข้อมูลขาออกที่ใช้ในการทำนายประกอบด้วย การถ่ายโอนความร้อน (Nu) การสูญเสียความดัน (f) และสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF) ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยนี้อาศัยชุดข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยที่มีการเผยแพร่มาก่อนหน้านี้ [1, 6–10] โครงข่ายประสาทเทียมถูกพัฒนาขึ้นมาทดสอบความแม่นยำในการทำนายด้วยสถาปัตยกรรมที่หลากหลายตามที่นำเสนอในตารางที่ 2 ร่วมกับการกำหนดรูปแบบการแบ่งข้อมูล (split type) แบบ relative ด้วยอัตราส่วนการแบ่งข้อมูล (split

ratio) เท่ากับ 0.8 และการสุ่มตัวอย่าง (sampling type) แบบ linear sampling type ภายใต้ฟังก์ชันการกระตุ้น (activation) แบบ Tanh



รูปที่ 2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

การประเมินสมรรถนะการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมพิจารณาในพจน์ของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ตามสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{t} - y_i)^2} \right] \quad (7)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2 \quad (8)$$

- เมื่อ N คือจำนวนข้อมูล
 t คือข้อมูลผลการทดลอง (ผลลัพธ์เป้าหมาย)
 y คือข้อมูลผลการทำนาย
 $\bar{t}$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์และขอบเขตของโครงข่ายประสาทเทียม

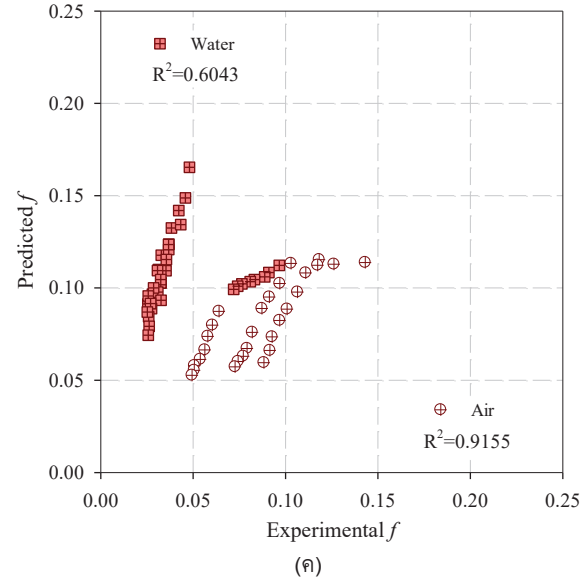
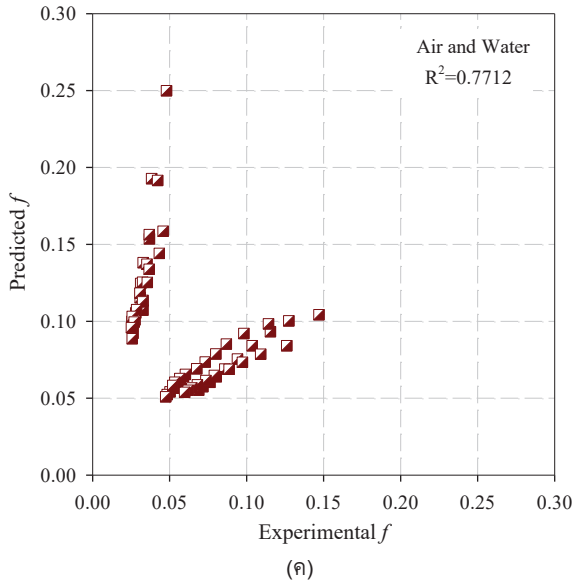
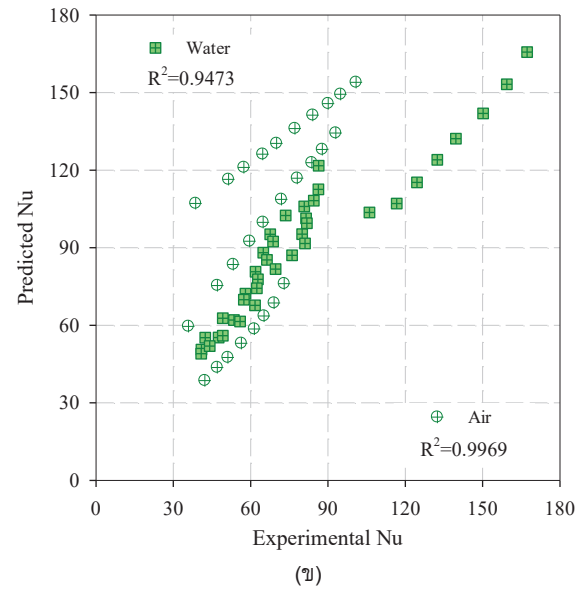
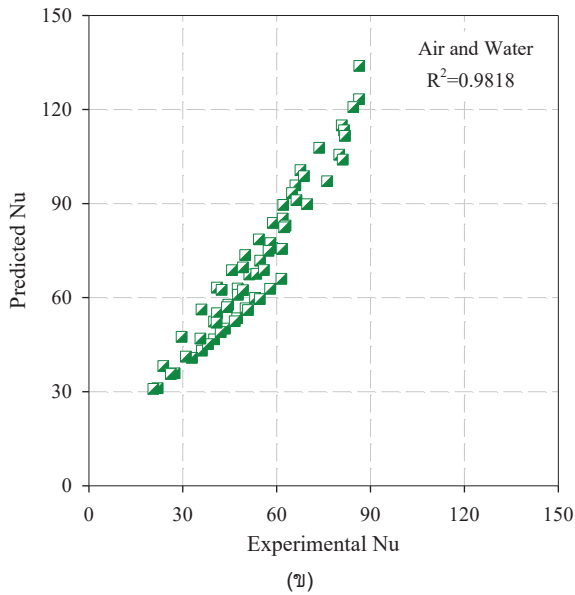
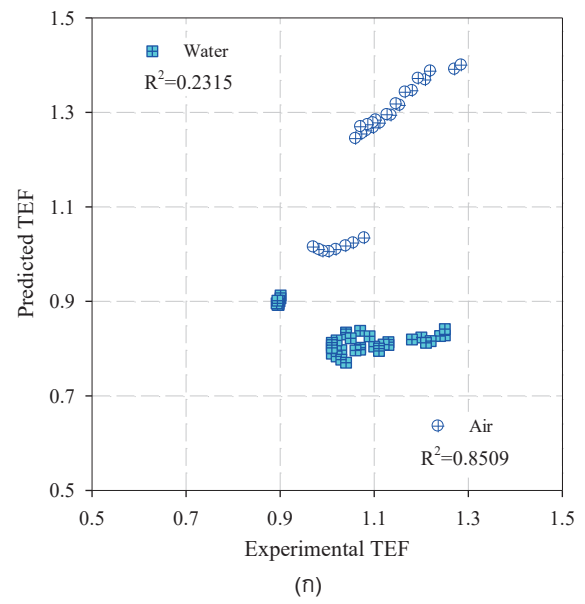
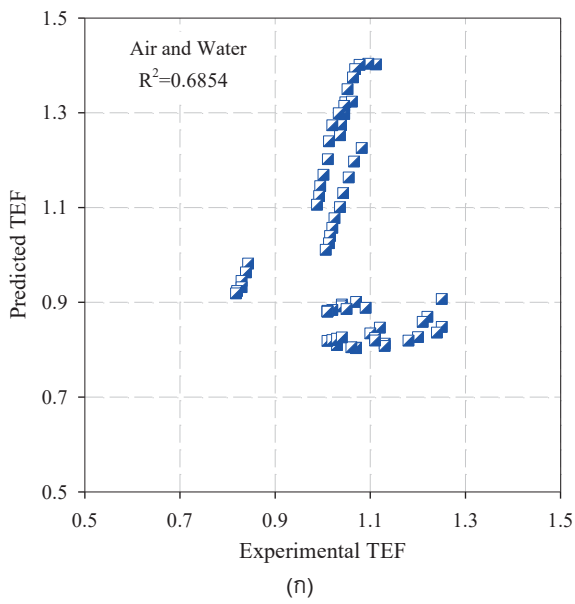
พารามิเตอร์	ขอบเขต
ข้อมูลขาเข้า	เลขเรย์โนลด์ส (Re) อัตราส่วนการบิด (Y) จำนวนแผ่นบิด (N)
ข้อมูลขาออก	การถ่ายโอนความร้อน (Nu) การสูญเสียความดัน (f) สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF)
จำนวนชั้นซ่อน	32, 64 และ 128
จำนวนโหนดชั้นซ่อน	3, 4, และ 5
จำนวนรอบ	1000, 3000 และ 5000

ตารางที่ 3 สมรรถนะของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน กรณีสารทำงานเป็นทั้งอากาศและน้ำ

โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม			สมรรถนะการทำนาย	
จำนวนชั้นซ่อน	จำนวนโหนดชั้นซ่อน	จำนวนรอบ	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)	ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (MSE)
3	32	1000	0.5721	0.0075
		3000	0.6854	0.0055
		5000	0.6173	0.0067
	64	1000	0.5572	0.0078
		3000	0.6362	0.0064
		5000	0.6466	0.0062
	128	1000	0.6497	0.0062
		3000	0.6378	0.0064
		5000	0.6367	0.0064
4	32	1000	0.6301	0.0065
		3000	0.6385	0.0064
		5000	0.6278	0.0066
	64	1000	0.6045	0.0070
		3000	0.6175	0.0067
		5000	0.6290	0.0065
	128	1000	0.6137	0.0068
		3000	0.6266	0.0066
		5000	0.6051	0.0070
5	32	1000	0.6336	0.0065
		3000	0.6468	0.0062
		5000	0.6362	0.0064
	64	1000	0.6117	0.0068
		3000	0.6461	0.0062
		5000	0.6513	0.0061
	128	1000	0.5871	0.0073
		3000	0.6023	0.0070
		5000	0.6494	0.0062

5. ผลการทดลอง

ค่าสมรรถนะการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF) ในกรณีการทำนายด้วยชุดข้อมูลรวมของสารทำงานที่เป็นทั้งอากาศและน้ำแสดงในตารางที่ 3 พบว่าภายใต้ขอบเขตของปรับเปลี่ยนโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (MSE) มีค่าระหว่าง 0.5572–0.6854 และ 0.0055–0.0075 โครงสร้างที่ให้สมรรถนะการทำนายที่ดีที่สุดเกิดขึ้นในกรณีที่จำนวนชั้นซ่อนมีจำนวน 3 ชั้น จำนวนโหนดในแต่ละชั้นซ่อนเท่ากับ 32 โหนด ที่จำนวนรอบการประมวลผลเท่ากับ 3000 รอบ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเพียง 0.6854 เนื่องจากข้อมูลมีความหลากหลายจากสภาวะเงื่อนไขการทดลองของแต่ละงานวิจัยซึ่งทำให้ข้อมูลขาดแนวโน้มที่ชัดเจน



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบผลการทำนาย (ก) สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (ข) การถ่ายโอนความร้อน และ (ค) ตัวประกอบความเสียดทาน กรณีสารทำงานเป็นทั้งน้ำและอากาศ

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบผลการทำนาย (ก) สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (ข) การถ่ายโอนความร้อน และ (ค) ตัวประกอบความเสียดทาน กรณีแยกสารทำงาน

ผลลัพธ์การเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายกับผลการทดลองที่รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่นำเสนอมาก่อนหน้านี้สำหรับค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF) การถ่ายโอนความร้อน (Nu) และตัวประกอบความเสียหาย (f) กรณีที่ใช้ชุดข้อมูลรวมของสารทำงานที่เป็นทั้งอากาศและน้ำในการทำนาย นำเสนอรูปที่ 3 (ก)–(ค) ตามลำดับ พบว่าการทำนายการถ่ายโอนความร้อนมีความแม่นยำที่ดีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงถึง 0.9818 ในขณะที่การทำนายค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนและตัวประกอบความเสียหายค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเพียง 0.6854 และ 0.7712 ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงผลลัพธ์การเปรียบเทียบระหว่างผลการทำนายกับผลการทดลองที่รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่นำเสนอมาก่อนหน้านี้สำหรับค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF) การถ่ายโอนความร้อน (Nu) และตัวประกอบความเสียหาย (f) กรณีการใช้ชุดข้อมูลแบบแยกสารทำงานระหว่างน้ำกับอากาศ พบว่าสำหรับการทำนายในส่วนของคุณสมบัติที่ได้จากการทดลองที่ใช้สารทำงานเป็นอากาศมีความแม่นยำในการทำนายที่ดีกว่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ใช้สารทำงานเป็นน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับการทำนายการถ่ายโอนความร้อน (Nu) ตัวประกอบความเสียหาย (f) และค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF) ในกรณีที่สารทำงานเป็นอากาศมีค่าเท่ากับ 0.9969, 0.9155 และ 0.8509 ตามลำดับ ในขณะที่กรณีที่สารทำงานเป็นน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในเท่ากับ 0.9473, 0.6043 และ 0.2315 ตามลำดับ

จากผลการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมที่ทำการพัฒนาขึ้นภายใต้ขอบเขตการศึกษาที่พบว่าสมรรถนะการทำนายอยู่ในระดับต่ำกว่าสมรรถนะของโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกพัฒนาและนำเสนอในการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น เนื่องในงานวิจัยที่มีการนำเสนอมาก่อนนี้เป็นนำเสนอการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายผลลัพธ์เฉพาะภายใต้ขอบเขตที่งานวิจัยนั้นได้ดำเนินการทดสอบ ในขณะที่งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายผลลัพธ์ที่รวบรวมข้อมูลที่เกิดจากปัจจัยร่วมจากงานวิจัยที่มีความหลากหลายซึ่งดำเนินการภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ในรูปเลขเรย์โนลด์ส (Re) อัตราส่วนการบิด (Y) และจำนวนแผ่นบิด (N) เท่านั้นมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการทำนาย โดยไม่ได้ดำเนินการใช้ข้อมูลในส่วนของคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทำงานชนิดของวัสดุ ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งชุดแผ่นบิดและปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมในกระบวนการการเรียนรู้และการทำนาย

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน (TEF) การถ่ายโอนความร้อน (Nu) และการสูญเสียความดัน (f) สำหรับการทดสอบการถ่ายโอนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการสอดใส่แผ่นบิด โครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการทดสอบความแม่นยำในการทำนายมีโครงสร้างที่หลากหลายโดยการปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นซ่อน จำนวนโหนดชั้นซ่อนและจำนวนรอบ ซึ่งอาศัยข้อมูล

ขาเข้าและขาออกจากการรวบรวมผลลัพธ์การศึกษาของงานวิจัยที่ผ่านมาภายใต้เงื่อนไขแผ่นบิดแบบพื้นผิวเรียบที่มีอัตราส่วนการบิดที่แตกต่างกัน จำนวนแผ่นบิดที่แตกต่างกันแต่มีการจัดเรียงด้วยทิศทางการบิดแบบทางเดียวกันในช่วงความเร็วในการไหลที่แตกต่างกันสำหรับกรณีที่สารทำงานเป็นอากาศและน้ำ การนำเสนอผลการทำนายได้แบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่สารทำงานเป็นทั้งอากาศและน้ำ กรณีที่สารทำงานเป็นเฉพาะอากาศ และกรณีที่สารทำงานเป็นเฉพาะน้ำ พบว่าผลลัพธ์การทำนายมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ระหว่าง 0.5572–0.6854 สำหรับการทำนายค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายโอนความร้อน กรณีที่ใช้ชุดข้อมูลรวมของสารทำงานที่เป็นทั้งอากาศและน้ำ แนวทางในการพัฒนาการศึกษาวิจัยต่อไปคือการรวบรวมข้อมูลรายในส่วนอื่น ๆ เช่น คุณสมบัติต่าง ๆ ของสารทำงาน ชนิดของวัสดุ ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งชุดแผ่นบิด มาเป็นข้อมูลขาเข้าโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้โครงข่ายมีกระบวนการการเรียนรู้และการทำนายที่มีสมรรถนะที่ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Eiamsa-ard, C. Thianpong, P. Eiamsa-ard and P. Promvonge, Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with dual twisted tape elements in tandem, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37 (2010) 39–46.
- [2] Y. Hong, J. Du, Q. Li, T. Xu and W. Li, Thermal-hydraulic performances in multiple twisted tapes inserted sinusoidal rib tube heat exchangers for exhaust gas heat recovery applications, *Energy Conversion and Management*, 185 (2019) 271–290.
- [3] Y. Hong, J. Du and S. Wang, Turbulent thermal, fluid flow and thermodynamic characteristics in a plain tube fitted with overlapped multiple twisted tapes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115 (2017) 551–565.
- [4] Y. Bahiraei, N. Mazaheri, S.M. Hassanzamani, Efficacy of a new graphene–platinum nanofluid in tubes fitted with single and twin twisted tapes regarding counter and co-swirling flows for efficient use of energy, *International Journal of Mechanical Sciences*, 150 (2019) 290–303.
- [5] P. Ferroni, R.E. Block, N.E. Todreas and A.E. Bergles, Experimental evaluation of pressure drop in round tubes provided with physically separated, multiple, short-length twisted tapes, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35 (2011) 1357–1369.
- [6] M.M.K. Bhuiya, M.S.U. Chowdhury, M. Shahabuddin, M. Saha and L.A. Memon, Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with triple twisted tape inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 48 (2013) 124–132.

- [7] C. Vashistha, A.K. Patil and M. Kumar, Experimental investigation of heat transfer and pressure drop in a circular tube with multiple inserts, *Applied Thermal Engineering*, 96 (2016) 117–129.
- [8] S. Eiamsa-ard, C. Thianpong and P. Eiamsa-ard, Turbulent heat transfer enhancement by counter/co-swirling flow in a tube fitted with twin twisted tapes, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34 (2016) 53–62.
- [9] S. Chokphoemphun, M. Pimsarn, C. Thianpong and P. Promvonge, Thermal performance of tubular heat exchanger with multiple twisted-tape inserts, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 23 (2015) 755–762.
- [10] S. Ponnada, T. Subrahmanyam and S.V. Naidu, A comparative study on the thermal performance of water in a circular tube with twisted tapes, perforated twisted tapes and perforated twisted tapes with alternate axis, *International Journal of Thermal Sciences*, 136 (2019) 530–538.
- [11] M.H. Esfe, Designing a neural network for predicting the heat transfer and pressure drop characteristics of Ag/water nanofluids in a heat exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 126 (2017) 559–565.
- [12] S. Chokphoemphun, S. Hongkong, S. Thongdaeng and S. Chokphoemphun, Experimental study and neural networks prediction on thermal performance assessment of grooved channel air heater, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 163 (2020) 120397.
- [13] H. Maddah, M. Ghazvini, M.H. Ahmadi, Predicting the efficiency of CuO/water nanofluid in heat pipe heat exchanger using neural network, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 104 (2019) 33–40.
- [14] P. Naphon, S. Wiriyaart and T. Arisariyawong, Artificial neural network analysis the pulsating Nusselt number and friction factor of TiO₂/water nanofluids in the spirally coiled tube with magnetic field, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118 (2018) 1152–1159.
- [15] P. Promvonge, S. Eiamsa-ard, K. Wongcharee, V. Chuwattanakul, P. Samruaisin, S. Chokphoemphun, K. Nanan and P. Eiamsa-ard, Characterization of heat transfer and artificial neural networks prediction on overall performance index of a channel installed with arc-shaped baffle turbulators, *Case Studies in Thermal Engineering*, 26 (2021) 101067.
- [16] J.D. Moya-Rico, A.E. Molina, J.F. Belmonte, J.I. Corcoles Tintero and J.A. Almendros-Ibanez, Characterization of a triple concentric-tube heat exchanger with corrugated tubes using Artificial Neural Networks (ANN), *Applied Thermal Engineering*, 147 (2019) 1036–1046.
- [17] H.K. Ghritlahre and R.K. Prasad, Prediction of heat transfer of two different types of roughened solar air heater using artificial neural network technique, *Thermal Science and Engineering Progress*, 8 (2018) 145–153.
- [18] T.N. Verma, P. Nashine, D.V. Singh, T.S. Singh and D. Panwar, ANN: prediction of an experimental heat transfer analysis of concentric tube heat exchanger with corrugated inner tubes, *Applied Thermal Engineering*, 120 (2017) 219–227.