นีย์ นีย์ อาย : การศึกษาเชิงตัวเลขของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวงจรพิมพ์ (PCHE) ประยุกต์ใช้กับงาน CRYOGENIC (NUMERICAL STUDY OF PRINTED CIRCUIT HEAT EXCHANGER (PCHE) APPLYING IN CRYOGENIC APPLICATION) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชโลธร ธรรมแท้, 146 หน้า.

คำสำคัญ: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบวงจรพิมพ์/ช่องการไหลขนาดเล็ก/ของไหลเย็นยิ่งยวด/ การทำให้ช่องการไหลซิกแซกเหมาะสมที่สุด/การระเหย.

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนวงจรพิมพ์ (PCHE) ได้รับการยอมรับในด้านประสิทธิภาพ ความกะทัดรัด ความน่าเชื่อถือ ความสามารถในการจัดการของไหลเย็นยิ่งยวด (cryogenic fluids) โดยเฉพาะในงานสำคัญอย่างการเปลี่ยนก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ให้กลับมาเป็นสถานะก๊าซ การศึกษานี้ ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เพื่อวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะของ PCHE

วัตถุประสงค์แรกคือ การประเมินสมรรถนะของ PCHE แบบช่องการไหลซิกแซก การวิเคราะห์ เน้นทั้งสมรรถนะการไหลและความร้อนภายใต้สภาวะการไหลคงตัว ตรวจสอบตัวแปรประสิทธิผล (effectiveness) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficients) และการสูญเสีย ความดัน ผลลัพธ์จากการเปลี่ยนมุมการดัด (bending angle) แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของช่อง การไหลซิกแซกเปลี่ยนแปลงอย่างสำคัญเมื่อมุมการดัดถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่ง เพื่อเข้าใจถึงปรากฏการณ์ นี้ดีขึ้น จึงได้นิยามตัวแปรไร้มิติตัวเลขการดัด (Bending number : β) ซึ่งนิยามด้วยอัตราส่วน ระหว่างความกว้างของช่องการไหลต่อความโตของการดัดโค้งของช่องการไหล ผลลัพธ์จากการแปร ผันค่ามุมและขนาดของช่องการไหลแสดงให้เห็นถึง ค่าอัตราส่วนระหว่าง ตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt number) ต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Nu/f) มีค่าสูงสุดที่ค่าตัวเลขการดัด β ประมาณ 0.5 จึงได้พัฒนาสมการความสัมพันธ์สำหรับ ตัวเลขนัสเซลท์ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ต่อ มุมการดัด และ ตัวเลขการดัด

วัตถุประสงค์ที่สองคือการประเมินตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการระเหยใน PCHE แบบช่องการไหลขนาดเล็ก ตรวจสอบการถ่ายเทความร้อนว่าส่งผลอย่างไรต่อคุณลักษณะการระเหยของก๊าซมีเทนในสภาวะเย็นยิ่งยวด การใช้ CFD ร่วมกับการจำลองการไหลด้วย volume of fluid (VOF) สามารถประเมินการทั้งการเดือดแบบพาความร้อน (convective boiling) และ การเดือดนิวคลีเอต (nucleate boiling) ศึกษาผลกระทบของความดันของไหล อุณหภูมิทางเข้า และเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องการไหลต่อการเพิ่มความสามารถของการระเหย ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าอัตราการระเหยเพิ่มขึ้นตามความดันของเหลวที่ลดลง อุณหภูมิขาเข้าที่ลดลง และเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องการไหลที่ใหญ่ขึ้น ได้ออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องการไหลซิกแซกขึ้นใหม่ บนพื้นฐานของการวิจัยก่อนหน้าซึ่งให้การระเหยที่มากขึ้น จากการปั่นป่วน การผสม และการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น

งานวิจัยนี้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าเกี่ยวกับสมรรถนะทางการไหลและความร้อน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน PCHE ชนิดช่องการไหลเล็ก (MHXs) ซึ่งใช้ในงานของไหลเย็นยิ่งยวด ผลลัพธ์จากการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับใช้ในการเปลี่ยนก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ให้กลับมาเป็นสถานะก๊าซ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ปีการศึกษา 2566 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

NYEIN NYEIN AYE : NUMERICAL STUDY OF PRINTED CIRCUIT HEAT EXCHANGER (PCHE) APPLYING IN CRYOGENIC APPLICATION.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. CHALOTHORN THUMTHAE, Ph.D., 146 PP.

Keywords: Printed circuit heat exchanger/Minichannels/Cryogenic fluids/Zigzag channel optimization/ Evaporation.

Printed Circuit Heat Exchangers (PCHEs) are prized for their efficiency, compactness, and reliability, especially in critical applications like LNG regasification and cryogenic fluid handling. This study employed Computational Fluid Dynamics (CFD) to analyze and evaluate the performance of PCHEs.

The first objective was to assess the performance of zigzag PCHEs, focusing on both thermal and hydraulic performance under steady-state conditions. Key parameters such as effectiveness, heat transfer coefficients, and pressure drop were examined. The analysis revealed that the performance of the zigzag channel varies significantly when the bending angle reaches a critical value. To better understand this phenomenon, a dimensionless parameter, the Bending Number (β) defined as the ratio of channel width to bending amplitude was introduced. Results indicated that the ratio of the Nusselt number to the friction factor (Nu/f) is maximized at bending numbers around 0.5. New correlations for the Nusselt number and friction factor were developed based on bending angles and Bending Numbers.

The second objective was to evaluate evaporation parameters in minichannel PCHEs. The study investigated how heat transfer affects the evaporation characteristics of cryogenic methane. Using CFD with volume of fluid (VOF) simulation, both convective and nucleate boiling were predicted. The study explored the effects of fluid pressure, inlet temperature, and channel diameter on evaporation enhancement. Results showed that the evaporation rate increases with decreasing fluid pressure, decreasing inlet temperature, and increasing channel diameter. Additionally, new zigzag channel designs, based on previous research, were proposed to enhance evaporation due to their higher turbulence, mixing, and heat transfer rates.

This research provides valuable insights into the thermal-hydraulic performance of PCHEs as mini heat exchangers (MHXs) in cryogenic applications, facilitating improved

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

predictions of both steady-state and transient performance for zigzag and straight channel designs.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2023

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....