สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นต้นแบบ

(Evaluation of overall heat transfer coefficient for double pipe heat exchanger model)

นาย อัฉริยะวัฒน์ พงษ์เมธา รหัสนักศึกษา 47040900

นาย พีรภัสสร์ เมืองนก รหัสนักศึกษา 47040818

นาย จิระพงษ์ พุทธนากิจชัย รหัสนักศึกษา 45040887

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สน.
ว513ก
ส550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....85375.....
วัน,เดือน,ปี.....11 พ.ย. 2551

b.....12010807.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นต้นแบบ

(Evaluation of overall heat transfer coefficient for double pipe heat exchanger model)

เรื่อง

จัดทำโดย

นาย อัฉริยะวัฒน์ พงษ์เมธา รหัสนักศึกษา 47040900

นาย พีรภัสสร์ เมืองนก รหัสนักศึกษา 47040818

นาย จิระพงษ์ พุทธนากิจชัย รหัสนักศึกษา 45040887

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 23/05/2551 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(ดร. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาย อัฉริยะวัฒน์ พงษ์เมธา,นาย พีรภัสสร์ เมืองนก,นาย จิระพงษ์ พุทธนากิจชัย. 2550:
การศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นต้นแบบ(Evaluation of overall heat transfer coefficient for double pipe heat exchanger model)
สาขาวิศวกรรมแปรรูป โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ

บทคัดย่อ

สำหรับทางด้านอุตสาหกรรมเกษตร เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถือเป็นระบบปฏิบัติการเฉพาะหน่วยที่มีความสำคัญอย่างสูง เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชั้นเป็นตัวอย่างอันดีในการแสดงถึงหลักการของการถ่ายเทความร้อนผ่านอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนมากนักด้วยวัสดุพื้นฐาน

ความรู้ทางด้านการออกแบบ การคำนวณ กระบวนการทางความร้อนและการถ่ายเทมวลซึ่งนับว่าเป็นพื้นฐานสำคัญในการสร้างเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชั้นและทำการทดลองที่อัตราการไหลที่ 3,5 และ 7 ลิตรต่อนาที เพื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนกับทางทฤษฎี จึงเห็นได้ว่าปัญหาพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจและต้องการศึกษาโดยสามารถนำประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ภายใต้สภาวะความเป็นจริงในงานอุสาหกรรมต่อไป

อัฉริยะวัฒน์ พงษ์เมธา 23/05/2551

(นาย อัฉริยะวัฒน์ พงษ์เมธา) (ดร. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ) วัน/เดือน/ปี

พีรภัสสร์ เมืองนก

(นาย พีรภัสสร์ เมืองนก)

จิระพงษ์ พุทธนากิจชัย

(นาย จิระพงษ์ พุทธนากิจชัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกล่าวขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณครูและอาจารย์ ผู้ให้ชีวิต ความรู้ ปลูกฝังแนวคิดเพื่อเป็นคนดีของสังคม ผู้จัดทำมีความสำนึกบุญคุณเป็นอย่างสูง ขอบคุณ อ. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ ที่คอยให้คำปรึกษาและสนับสนุนอย่างเต็มเปี่ยม และนอกจากนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ผู้ซึ่งให้การช่วยเหลือด้านอุปกรณ์และให้คำแนะนำ

คุณค่าและความดีทั้งหมดของปัญหาพิเศษฉบับนี้ขออนุญาตมอบไว้ให้ผู้ซึ่งได้กล่าวนามไว้ข้างต้น ด้วยความเคารพอย่างสูง

นาย อัฉริยะวัฒน์ พงษ์เมธา
นาย พีรภัสสร์ เมืองนก
นาย จิระพงษ์ พุทธนากิจชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์ความร้อน 10
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 13
ตารางที่ 3.1 แสดงรายการวัสดุอุปกรณ์ 29
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง กรณีที่ 1 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดย
ให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 3 lit/min 39
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า ΔTm กับ U กรณีที่ 1 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดย
ให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 3 lit/min 39
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลอง กรณีที่ 2 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดย
ให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 3 lit/min 40
ตารางที่ 4.4 แสดงค่า ΔTm กับ U กรณีที่ 2 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดย
ให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 3 lit/min 41
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลอง กรณีที่ 3 ทิศทางการไหลแบบตามกันโดย
ให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 3 lit/min 42
ตารางที่ 4.6 แสดงค่า ΔTm กับค่า U กรณีที่ 3 ทิศทางการไหลแบบตามกันโดย
ให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 3 lit/min 42
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลอง กรณีที่ 4 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดย
ให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 3 lit/min 43
ตารางที่ 4.8 แสดงค่า ΔTm กับ U กรณีที่ 4 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดย
ให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 3 lit/min 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่2.1 การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีเจนเนอร์เรเตอร์ 3

รูปที่ 2.2 การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีคูเพอเรเตอร์ 4

รูปที่ 2.3 การนำความร้อน 6

รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ถูกกั้น
โดยผนังเทียบกับวงจรไฟฟ้า 13

รูปที่ 2.5 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น 17

รูปที่ 2.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นต่อกันเป็นชุด 18

รูปที่ 2.7 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ 21

รูปที่ 2.8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยน
ความร้อนแบบท่อสองชั้น ภายใต้สภาวะต่างๆ 23

รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
ที่ไม่เกิดอุณหภูมิตัดข้าม 24

รูปที่ 3.1 การจัดเส้นทางการไหล 28

รูปที่ 3.2 นำท่อที่ได้เตรียมการไว้แล้วมาพันเกลียวเพื่อป้องกันการรั่วซึม 29

รูปที่ 3.3 นำท่อขนาด 1.5 นิ้ว ที่พันเกลียวเรียบร้อยแล้วมาต่อกับท่อสามทาง 30

รูปที่ 3.4 สอดท่อ 0.5 นิ้ว ไว้ภายในท่อ 1.5 นิ้ว แล้วจึงนำข้อลดเหลี่ยมมาต่อกับท่อ 1.5 นิ้ว 30

รูปที่ 3.5 เมื่อต่อท่าลดเหลี่ยมจนแน่นแล้วจาได้ออกมาดังรูป 31

รูปที่ 3.6 นำข้อลดเหลี่ยม ¾ - 0.5นิ้ว มาต่อกับท่อ 0.5 นิ้ว 31

รูปที่ 3.7 เมื่อต่อกันจนแน่นจะได้ดังรูป 32

รูปที่ 3.8 นำ Nipple มาต่อเข้ากับข้อลดเหลี่ยม ¾ - 0.5 นิ้ว 32

รูปที่ 3.9 นำ Union มาต่อระหว่าง Nipple กับท่อ 0.5 นิ้ว 33

รูปที่ 3.10 นำข้องอ 0.5 นิ้ว มาต่อเข้ากับท่อ 0.5 นิ้ว 33

รูปที่ 3.11 นำ Nipple และ Union มาต่อเข้ากับข้องอ 0.5 นิ้ว 34

รูปที่ 3.12 นำ Nipple มาต่อกับเข้ากับ Union 34

รูปที่ 3.13 นำข้องอ 0.5 นิ้ว มาต่อกับ Nipple 35

รูปที่j 3.14 นำท่อ 0.5 นิ้ว มาต่อระหว่าง Union กับข้องอ 0.5 นิ้ว 35

รูปที่ 3.15 เมื่อต่อเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจะได้ออกมาลักษณะดังรูป 36

รูปที่ 3.16 ภาพการติดตั้งชุดอุปกรณ์เครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะทำการทดลอง 36
รูปที่ 4.1 การติดตั้งเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบการไหลสวนทาง 38
รูปที่ 4.2 การติดตั้งเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบการไหลตามกัน 38
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เมื่อให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ในทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน 40
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เมื่อให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ในทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน 41
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เมื่อให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ในทิศทางการไหลแบบตามกัน 43
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เมื่อให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ในทิศทางการไหลปบบตามกัน 44
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 45
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยอัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยยกระดับหรืออำนวยความสะดวกต่อการไหลของความร้อน มีตัวอย่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมากมายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมากมายที่ค่อนข้างซับซ้อน ตัวอย่างแรกก็คือปอด ซึ่งนอกจากระบายความร้อนออกจากร่างกายโดยการปล่อยไอน้ำพร้อมกับลมหายใจแล้วยังทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนมวลที่แสนจะสลับซับซ้อน มีการแลกเปลี่ยนเอาออกซิเจนออกจากอากาศแล้วที่หายใจเข้าไปแล้วเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากเลือด ผิวหนังจะทำหน้าที่ในการเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเสริมโดยการเปลี่ยนสภาพของมันเพื่อช่วยส่งเสริมหรือลดทอนการถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกาย โดยให้สอดคล้องกับอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลมของอากาศ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนน้อยกว่าในร่างกายมนุษย์มาก แต่ความสำคัญของมันไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากันเลย สำหรับเทคโนโลยีสมัยใหม่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนพบได้ทุกหนแห่งไม่ว่าจะเป็นในครัวเรือนหรือในโรงงานอุตสาหกรรม การต้มน้ำและการหุงข้าวล้วนต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตู้เย็นแบบวัฏจักรอัดไอที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสองชุด ชุดที่หนึ่งทำหน้าที่ให้ความเย็นแก่ภายในตู้เย็น ส่วนชุดที่สองทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนที่รับมาจากชุดที่หนึ่งไปสู่อากาศภายนอก ระบบปรับอากาศในอาคารก็ต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเช่นกัน โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนก็ต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (หม้อน้ำ) ในการผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนกังหันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลากหลายรูปแบบ โรงงานอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมแช่แข็งล้วนต้องใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ไม่รูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีมากมายหลายรูปแบบและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์ มีกำลังการถ่ายเทความร้อนทุกขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็กสุด (ต่ำกว่า 1 GW) ที่ใช้ตัวระบายความร้อนขนาดจิ๋วสำหรับอุปกรณ์สร้างภาพอินฟราเรด ระบบจรวดนำวิถี ไปจนถึงขนาดใหญ่สุด (เกินกว่า 1 GW) เช่นหม้อไอน้ำ คอนเดนเซอร์ และชุดระบายความร้อนจากระบบน้ำหล่อเย็นความหลากหลายของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนครอบคลุมทั้งชนิด รูปทรง และการจัดวางทางเรขาคณิต อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งทั่วไปแล้วจะทำหน้าที่ให้ความสะดวกแก่การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลสองชนิดซึ่งมีอุณหภูมิต่างกันโดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นก็เป็นตัวอย่างหนึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเป็นท่อมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางยิ่งกว่าชิดอื่นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้มีการสร้างขึ้นหลากหลายขนาดและรูปแบบตั้งแต่ที่ใช้งานกับระบบทำความเย็นขนาดเล็กจนถึงระบบขนาดยักษ์ที่ใช้กับโรงงานไฟฟ้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลากหลายขนาดและรูปแบบตั้งแต่ที่ใช้งานกับระบบทำความเย็นขนาดเล็กจนถึงระบบขนาดยักษ์ที่ใช้กับโรงงานไฟฟ้า เป็นต้น

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นประกอบด้วยท่อสองท่อสวมซ้อนกันอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้เคยได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีราคาถูก ผลิตง่าย และมีความยืดหยุ่นสูงเพราะสามารถสร้างให้มีความยาวตามต้องการได้เทบทุกขนาดและมีขนาดท่อและวัสดุให้เลือกใช้ได้อย่างกว้างขวาง ข้อปฏิบัติทั่วไปจะให้ของไหลที่ความดันสูง อุณหภูมิสูง ความหนาแน่นสูง หรือความกัดกร่อนสูง อยู่ในท่อชั้นใน ซึ่งจะประหยัดและปลอดภัยกว่า

<u>วัตถุประสงค์</u>

1. เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์เพื่อประเมินสัมประสิทธิ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ2ชั้น
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิ์ภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างการไหลแบบสวนทางกับการไหลตามกัน

<u>ขอบเขตของโครงงานเมื่อสมบูรณ์แล้ว</u>

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชั้นจะสร้างขึ้นใหม่โดยเริ่มจากการออกแบบและประกอบอุปกรณ์ให้ใช้งานได้ พร้อมทั้งยังสามารถนำไปทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน โดยติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและทำความร้อนรวมถึงการใช้ท่อและวาล์วอย่างเหมาะสมจากนั้นทำการทดลองเก็บข้อมูลซึ่งจะมีการปรับค่าอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำร้อน ณ.จุดทางเข้าที่สภาวะต่างๆ ถัดมาจะทำการประมวลผลการทดลองที่ได้นำไปวิเคราะห์สรุปผลเพื่อจัดทำรูปเล่มต่อไป

<u>ความสำคัญหรือประโยชน์ของโครงงาน</u>

โครงงานนี้เป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ ระบบท่อและอุปกรณ์ต่างๆ และทำการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิทางออกทั้งน้ำร้อนและน้ำเย็นเทียบกับอัตราการไหนของน้ำเย็นที่ป้อนเข้ามา ณ.อัตราการไหลต่างกัน โดยคงอุณหภูมิทางเข้าของน้ำร้อนและน้ำเย็นให้คงที่ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สามารถนำไปวิเคราะห์อัตราการไหลอันมีความสัมพันธ์โดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

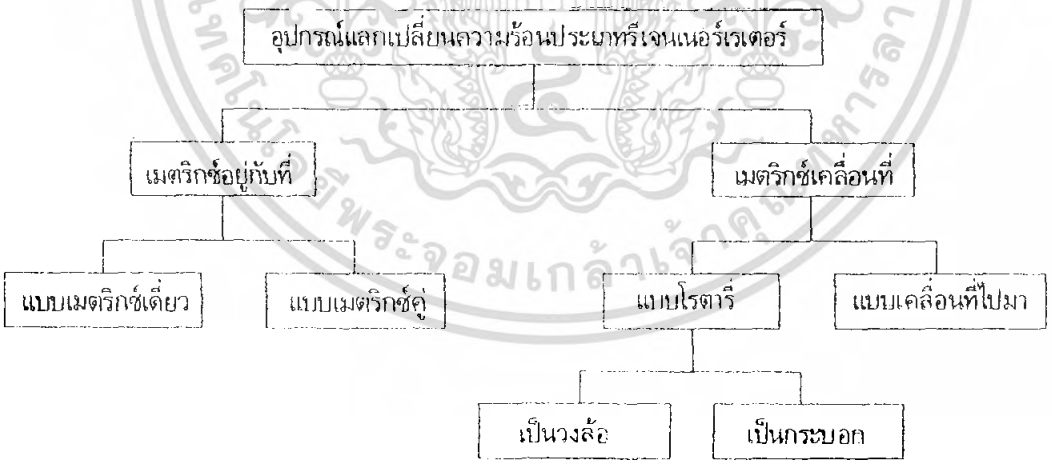
2.1 การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระแสของไหลสองสายหรือมากกว่าอาจจะจำแนกออกกว้างๆเป็นกลุ่มใหญ่ คือ

- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีคูเพอเรเตอร์
- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีเจนเนอร์เรเตอร์

2.1.1 รีคูเพอเรเตอร์ (Recuperator)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีคูเพอเรเตอร์จะมีเส้นทางการไหลสำหรับของไหลแต่ละตัวแยกจากกัน ของไหลจะไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีคูเพอเรเตอร์พร้อมๆกันในช่องทางการไหลของตัวเอง ความร้อนจะถูกถ่ายเทความร้อนจากของไหลที่ร้อนไปสู่ของไหลที่เย็นกว่าผ่านผนังกั้นแบ่งช่องทางการไหล



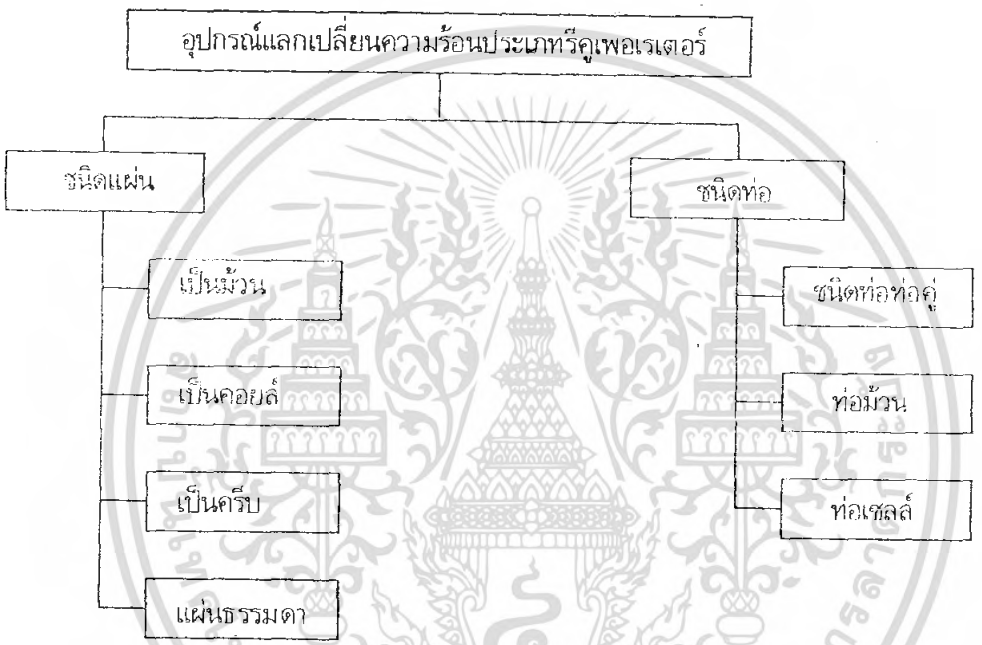
รูปที่2.1 การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีเจนเนอร์เรเตอร์

2.1.2 รีเจนเนอร์เรเตอร์ (Regenerator)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีเจนเนอร์เรเตอร์จะมีช่องทางการไหลเพียงช่องทางเดียวโดยมีของแข็งในรูปเมตริกซ์อยู่ภายในช่องทางการไหล ของไหลร้อนและของไหลเย็นจะไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านเมตริกซ์สลับกัน เมื่อของไหลร้อนไหลผ่าน (เรียกว่า เป่าร้อน) ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากของไหลไปสู่เมตริกซ์ทำให้เมตริกซ์ร้อนขึ้น ต่อมาเมื่อของไหลเย็นไหลผ่าน (เรียกว่า เป่าเย็น) ความร้อนจะถูกถ่ายเทของไหลทำให้เมตริกซ์เย็นลง ในรูปแบบอย่างง่ายของรีเจนเนอเรเตอร์นั้น จะมีอุปกรณ์ควบคุมเปิดปิดการไหลแต่ละตัวให้ไหลผ่านเมตริกซ์สลับกันเป็นจังหวะ จะเห็นได้ว่าของไหลแต่ละตัวจะไหลและหยุดสลับกันหากต้องการให้ของไหลทั้งสองมีการไหลอย่างต่อเนื่องก็อาจจะใช้ชุดเมเตริกซ์สองชุด โดยให้เมตริกซ์ชุดหนึ่งทำงานสลับกับอีกชุดหนึ่งหรือใช้เมตริกซ์ที่มีการเคลื่อนที่เช่นเป็นวงล้อหมุนเป็นต้น โดยรูปที่ 2.1 แสดงการจำแนกแยกย่อยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีเจนเนอร์เรเตอร์



รูปที่ 2.2 การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีคูเพอเรเตอร์

รีคูเพอร์เรเตอร์มีมากมายหลายรูปแบบ แต่อาจแบ่งออกได้เป็นหลายรูปแบบ คือ แบบที่เป็นแผ่นและแบบที่เป็นท่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 รีคูเพอเรเตอร์ประกอบด้วยแบบท่อประกอบด้วยท่อซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องมีหน้าตัดกลมเสมอไป สำหรับเป็นเส้นทางการไหลของของไหลตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสอง

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจำนวนมากต้องทำงานในกระบวนการที่ของไหลมีการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นไอหรือในทางกลับกัน ซึ่งเรียกว่าการถ่ายเทความร้อนแฝง ส่วนกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน ซึ่งทำให้อุณหภูมิของของไหลเปลี่ยนโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะเรียกว่าการถ่ายเทความร้อนสัมผัส อัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงมาก อาจบรรลุได้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลเกิดการเดือดหรือควบแน่น สภาวะการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ตัวแปรสำคัญในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ขบวนการที่เป็นการถ่ายเทความร้อนจากของไหลตัวหนึ่งไปยังของไหลอีกตัวหนึ่งจะต้องมีผลต่างสุทธิของอุณหภูมิเสมอ ในขณะที่การถ่ายเทความร้อนนั้นของไหลที่ร้อนจะมีอุณหภูมิที่ลดลง ส่วนของไหลเย็นจะมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันอุณหภูมิต่ำสุดของของไหลร้อนจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิต่ำสุดของของไหลเย็นเสมอกล่าวคือต้องมีความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลทั้งสอง เพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนการถ่ายเทความร้อนจากของไหลร้อนไปสู่ของไหลเย็น ในทำนองเดียวกันจะต้องมีพลังงานส่วนหนึ่งถูกใช้ไปในการทำให้ของไหลผ่านตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ การเสื่อมสภาพของพลังงานความดันอันเนื่องมาจากความเสียดทานในระหว่างการไหลจะทำให้ความดันของไหลที่ทางต่ำกว่าที่ทางเข้าซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ต้องคำนึงถึง

นอกจากนี้ การใช้ความระมัดระวังและพิถีพิถันในการเลือกวัสดุให้เหมาะกับการใช้กับของไหลที่เกี่ยวข้องเป็นสำคัญอย่างยิ่ง ปัญหาของการเลือกใช้วัสดุร่วมกับเทคโนโลยีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของวัสดุจะนำไปสู่ความเสียหายของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจนไม่สามารถกักกันของไหลได้ การกัดกร่อนเกิดขึ้นในหลายลักษณะซึ่งจะเป็นต่อการเรียนรู้และทำความเข้าใจให้ดีพอที่จะช่วยในการเลือกวัสดุอย่างเหมาะสมและประหยัด

2.3 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

กฎข้อที่หนึ่ง คือ หลักการอนุรักษ์พลังงานคือ พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้น หรือ ทำลายได้ ตามกฎข้อที่หนึ่งนั้นเป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ที่สร้าง กล่องดำ ที่สามารถดึงเอาพลังงานออกมาได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีการเติมพลังงานใหม่ ซึ่งจะต้องมีการเติมพลัง ไม่รูปใดก็รูปแบบหนึ่งถ้าต้องการให้มันสามารถจ่ายพลังงานออกมาได้อย่างต่อเนื่องก็ต้องป้อนพลังงานชดเชยเข้าไป

กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์นั้นกล่าวว่า ความร้อนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีความร้อนสูงไปสู่วัตถุที่ความร้อนต่ำเสมอ กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ใช้บังคับได้กับระบบแปลงพลังงานความร้อนทุกระบบในระบบการผลิตกำลัง กฎข้อที่สองเป็นตัวบอกว่าจากพลังงานความร้อนที่ป้อนให้แก่เบบที่อุณหภูมิสูงนั้นจะแปลงรูปออกมาเป็นงานได้สูงที่สุดเท่าไหร่ ส่วนที่เหลือของพลังงานซึ่งเป็นผลต่างของพลังงานที่ป้อนกับงานที่ได้จะต้องถูกปล่อยทิ้งเป็นความร้อนปล่อยทิ้งที่อุณหภูมิต่ำ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนของความร้อนที่ป้อนให้ถูกแปลงให้จ่ายออกเป็นงานสามารถเขียนได้ในรูป

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน = งานที่ได้ / ความร้อนที่ป้อน (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ธรรมชาติของความร้อน

อุณหภูมิระบบเป็นสิ่งที่บอกระดับพลังงานของโมเลกุลของระบบอันเกิดจากการเลื่อนไหล การหมุนและการสั่น ระบบที่มีอุณหภูมิสูงแสดงว่าโมเลกุลของระบบมีการเคลื่อนที่อย่างคึกคักส่วนระบบที่มีอุณหภูมิต่ำแสดงว่าโมเลกุลของมันมีพลังงานในการเคลื่อนที่ไม่มากนัก เมื่อนำระบบที่มีอุณหภูมิสูงเข้ามาติดกับระบบที่อุณหภูมิต่ำ โมเลกุลที่มีการเคลื่อนที่อย่างคึกคักด้วยพลังงานที่สูงของระบบที่มีอุณหภูมิสูงจะปะทะกับโมเลกุลที่ค่อนข้างเชื่องช้าของระบบที่มีอุณหภูมิต่ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นในขณะที่โมเลกุลของระบบที่มีอุณหภูมิสูงจะมีอุณหภูมิลดลงเนื่องจากสูญเสียพลังงานบางส่วนออกไป เป็นผลให้ระบบที่มีอุณหภูมิสูงมีอุณหภูมิลดลง

การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกได้เป็นสามรูปแบบได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีเพื่อความสะดวกในการคำนวณทางวิศวกรรมเรามักจะพิจารณารูปแบบของการถ่ายเทความร้อนแต่ละรูปแบบแยกกันจากนั้นจึงนำมารวมกันเป็นผลสุดท้าย

2.5 การนำความร้อน

รูปที่ 2.3 ลักษณะการนำความร้อน

การนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ (อยู่นิ่ง) การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไป สู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความร้อนยังเคลื่อนที่ไปได้โดยการสั่นสะเทือนของโมเลกุลภายในของแข็งในลักษณะของพลังงานของความสั่นสะเทือน (Vibration energy) จากสมการทางความร้อน ตามทฤษฎีของ Fourier Law สำหรับการนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนจะถูกถ่ายเทโดยการสั่นสะเทือนโมเลกุลของของแข็ง ของแข็งที่ได้รับความร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้แก่โมเลกุลในชั้นถัดไป ในลักษณะพลังงานความสั่นสะเทือน พลังงานความร้อนก็จะเคลื่อนที่เริ่มลึกเข้าไปในเนื้อของแข็ง เมื่ออิเล็กตรอนได้รับความร้อนก็จะมีพลังงานมากขึ้นและเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านของแข็ง รวมทั้งการถ่ายเทความร้อนในของเหลวหรือแก๊สไม่มีการเคลื่อนที่ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนสามารถหาได้โดยอาศัยกฎ (Fourier's law) ซึ่งเขียนรูปสมการได้เป็น

$$\dot{Q}_x = -KA\frac{dT}{dx}$$

$\dot{Q}_x$ = อัตราการนำความร้อนในทิศทาง x

A = พื้นที่ของการนำความร้อนในทิศทางตั้งฉากกับ x

$\frac{dT}{dx}$ = เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ณ จุดพิจารณา

สภาพนำความร้อนเป็นสมบัติของวัสดุซึ่งสามารถหาค่าได้จากตารางหรือแผนภาพในกรณีที่ไม่รู้รายละเอียดของวัสดุโดยครบถ้วน ก็อาจจะต้องหาค่าสภาพการนำความร้อนจากการทดลอง โดยทั่วไปโลหะจะมีสภาพการนำความร้อนสูงกว่าอโลหะ

อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่มีความหนาเป็น L และมีอุณหภูมิพื้นผิวคงที่ทั้งสองเป็น T และ T_B ตามลำดับ สามารถคำนวณโดยหาได้จากสมการ ซึ่งเขียนในรูปดังนี้

$$\dot{Q}_x = \frac{-kA(T_B-T_A)}{dx}$$

ในการเขียนสมการเราอาศัยความสัมพันธ์

$$\frac{dT}{dx} = (T_B-T_A)/L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราอาจเขียนสมการเสียใหม่ให้อยู่ในรูปที่เทียบเคียงได้กับกฎของโอห์มทางไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

$$\dot{Q}_x = \frac{T_A - T_B}{R_W}$$

เมื่อ R_w = ความต้านทานทางความร้อน

$R_w = L/AK$

ซึ่งจะเห็นความคล้ายคลึงกับกฎของโอห์มอย่างชัดเจนจากสมการต่อไปนี้

$$I = \frac{V}{R}$$

เมื่อ I = กระแสไฟฟ้า (เทียบได้กับอัตราการถ่ายเทความร้อน)

V = ความต่างศักย์ (เทียบได้กับผลต่างอุณหภูมิ)

R = ความต้านทานทางไฟฟ้า(เทียบได้กับค่าความต้านทานทางความร้อน)

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อกลมความยาว L สามารถคำนวณหาได้โดยอาศัยลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ให้รัศมีภายในและภายนอกของท่อเป็น r , และ R_o ตามลำดับ และอุณหภูมิของผิวภายในและภายนอกเป็น T , และ T_o ตามลำดับ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการเทียบเคียงกับกฎของโอห์มในทำนองเดียวกันกับสมการ คือ

$$\dot{Q}_x = \frac{T_1 - T_0}{R_w}$$

เมื่อ $R = \ln(r_o / r_i) 2\P kL$

<u>2.6 การพาความร้อน</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนพาของของไหล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งกับของไหลที่พัดผ่านไปบนพื้นผิวของแข็งเท่านั้น การถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นที่ผิวของแข็งกับของไหลอาจจะเป็นการนำความร้อนอย่างเดียว ในกรณีที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของของไหลเทียบกับพื้นที่ผิวของแข็ง อัตราการพาความร้อนจะคำนวณโดยใช้กฎการระบายความร้อนของนิวตัน คือ

$$\dot{Q} = Ah(T_W - T_F)$$

เมื่อ $\dot{Q}$ = อัตราการพาความร้อน

A = พื้นที่ของการพาความร้อน

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

T_W = อุณหภูมิของพื้นผิวของแข็ง

T_F = อุณหภูมิของของไหล

ค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h แปรผันได้กว้างมาก ค่าที่ถือว่าเป็นแบบอย่างของ h ถูกแสดงในตารางที่ 2.1 จะสังเกตได้ว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยบังคับมีค่าสูงกว่าสัมประสิทธิ์ผลโดยตรงของความหนาแน่น นอกจากนี้การถ่ายเทความร้อนในขณะที่มีการในขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะเช่นจากของเหลวกลายเป็นไอ (การเดือด) จะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงมากเมื่อเทียบในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

ในการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับนั้น ของไหลจะถูกขับดัน (ด้วยปั๊ม เป็นต้น) ให้ไหลด้วยความเร็วสูงกว่าการขับดันด้วยแรงลอยตัวตามธรรมชาติ ค่า h แปรผันตามความเร็ว v ของของไหลตามความสัมพันธ์โดยประมาณดังต่อไปนี้

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (laminar) ในท่อ : $h \alpha \Delta T^{1/3}$

สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent) ในท่อ : $h \alpha \Delta v^{3/4}$

สำหรับการไหลแบบนอกท่อ : $h \alpha \Delta T^{2/3}$

เมื่อการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดยหลักใหญ่การพาความร้อนอิสระ การเคลื่อนที่ของของไหลเนื่องมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล อันเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิค่าของ h จะขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิของไหล/ผนังตามความสัมพันธ์โดยประมาณดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลต่างของอุณหภูมิมาก : $h \alpha \Delta^{1/3}$

ผลต่างของอุณหภูมิน้อย : $h \alpha \Delta^{3/4}$

ตารางที่ 2.1 พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์ความร้อน

การถ่ายเทโดย	ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อน
การพาความร้อนอิสระ(อากาศ)	5-25
การพาความร้อนบังคับ(อากาศ)	10-500
การพาความร้อนบังคับ(น้ำ)	100-15000
น้ำเดือด	2500-25000
ไอน้ำควบแน่น	5000-10000

เราอาจนำหลักการของความต้านทานทางความร้อนมาใช้ในการหาการพาความร้อนก็ได้ โดยการจัดรูปสมการใหม่ดังต่อไปนี้

$$\dot{Q} = \frac{T_w - T_F}{1/Ah}$$

$$= \frac{T_w - T_F}{R_c}$$

เมื่อ $R_c = 1/Ah$ (ความต้านทานทางความร้อนในการพาความร้อน)

2.7 การแผ่รังสีความร้อน

ในการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนนั้น เป็นการส่งความร้อนไปในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนไปด้วยความเร็วของเสียง การแผ่รังสีความร้อนสามารถผ่านสุญญากาศได้ซึ่งต่างจากการนำความร้อนและการพาความร้อนซึ่งต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนซึ่งต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

พลังงานการแผ่รังสีที่ปลดปล่อยจากวัตถุสามารถคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{Q}_{rad} = A\varepsilon\sigma T^4$$

เมื่อ $\dot{Q}_{rad}$ = อัตราการเปล่งพลังงานรังสี

A = พื้นผิวที่เปล่างพลังงานรังสี

ε = สภาพการเปล่งรังสีความร้อน

σ = ตัวคงค่าสเตฟาน-โบลตซ์มัน เท่ากับ 5.7×10^{-8} W/(m –k^4)

ตามปกติแล้วการแผ่รังสีความร้อนจะมีค่าน้อยตัดทิ้งได้เวนแต่เมื่อพื้นผิวมีอุณหภูมิสูงมาก การแผ่รังสีความร้อนมีความสำคัญเช่นกันในระบบที่มีอุณหภูมิต่ำมากๆซึ่งได้มีการทำให้เป็นสุญญากาศเพื่อขจัดการนำความร้อนและการพาความร้อน เมื่อวัตถุที่เปล่งรังสีถูกปิดล้อมโดยสมบูรณ์ อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิโดยการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุไปสู่พื้นผิวปิดล้อมสามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{Q} = A_1\varepsilon_1\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

เมื่อ: ตัวห้อย 1 และ 2 หมายถึงพื้นผิววัตถุและพื้นผิวปิดล้อมตามลำดับ

ในกรณีของการแลกเปลี่ยนการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุ 1 กับวัตถุ 2 โดยที่พื้นที่ผิวของวัตถุ 2 ไม่ได้ปิดล้อมด้วยวัตถุ 1 โดยสมบูรณ์นั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิโดยการแผ่รังสีจากวัตถุ 1 ไป 2 สามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{Q}_{r(1-2)} = \alpha_2 A_2 F_{(1-2)} A_1 \varepsilon_1 \sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

เมื่อ: α_2 = สภาพการดูดกลืนรังสีของพื้นผิวของวัตถุ 2 มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

A_2 = พื้นผิวของวัตถุ 2

$F_{(1-2)}$ = สัดส่วนของรังสีที่ปลดปล่อยออกจากวัตถุ 1 และตกกระทบลงบนวัตถุ 2 มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแผ่รังสีความร้อนจะประกอบรวมกับการถ่ายเทความร้อนโดยการนำและการพาในงานวิศวกรรมทุกชนิด ดังนั้นวิธีการหนึ่งในการคำนวณเกี่ยวกับการแผ่รังสีความร้อนก็คือการใช้หลักการทางความต้านทานความร้อน นั่นคืออาจจัดรูปสมการเสียใหม่ดังต่อไปนี้

$$\dot{Q}_{r(1-2)} = \alpha_2 A_2 F_{(1-2)} A_1 \varepsilon_1 \sigma (T_1^2+T_2^2)(T_1+T_2)(T_1-T_2)$$

$$= \frac{T_1-T_2}{R_1}$$

เมื่อ $$R_1 = \frac{1}{\alpha_2 A_2 F_{(1-2)} A_1 \varepsilon_1 \sigma (T_1^2-T_2^2)(T_1+T_2)}$$

2.8 การถ่ายเทความร้อน

โดยปกติเราจะไม่พิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแยกย่อยโดยละเอียด แต่มักจะพิจารณารวมกันในรูปของสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งถูกนิยามเพื่อใช้ในการหาการถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากสมการ

$$\alpha = AU\Delta T$$

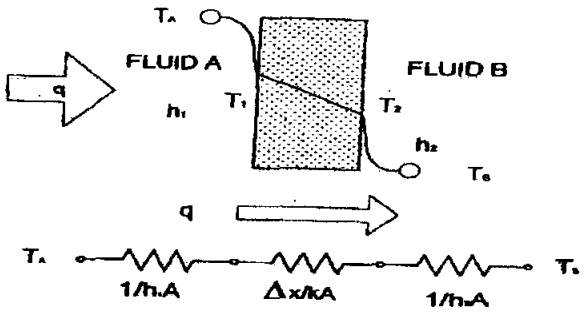
เมื่อ α = อัตรการถ่ายเทความร้อนจากของไหล 1 ไปสู่ของไหล 2

A = พื้นผิวถ่ายเทความร้อน

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิของของไหล 1 และของไหล 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ถูกกั้นโดยผนังเทียบกับวงจรไฟฟ้า

รูปที่ 2.4 แสดงความหมายของสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนรวมให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ของไหล A ที่อุณหภูมิ T_A ถูกกั้นแบ่งโดยผนังโลหะออกจากของไหล B ที่อุณหภูมิ T_B ที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ T_A จะมีการถ่ายเทความร้อนจากของไหล A ไปสู่ของไหล B โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้องคือ การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากของไหล A ไปสู่ผนัง การนำความร้อนผ่านผนังและการพาความร้อนจากพื้นผิวผนังไปสู่ของไหล B การแจกแจงอุณหภูมิจะมีลักษณะดังรูป กล่าวคือของไหลที่อยู่ใกล้ผนังจะมีอุณหภูมิลดลงจาก T_A ไปเป็น T_1 บนพื้นผิวของผนังในผนังโลหะอุณหภูมิจะลดลงจาก T_1 บนพื้นผิวด้านหนึ่งไปเป็น T_2 บนพื้นผิวอีกด้านหนึ่งส่วนของไหล B ที่อยู่ใกล้กับพื้นผิวผนังจะมีอุณหภูมิลดลงจาก T_A ที่ติดอยู่กับพื้นผิวไปเป็น T_B ของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากพื้นผิว

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ของไหล	U($W/m^2.K$)
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อในเชลล์,น้ำ/น้ำ	1220-2440
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบระบายความร้อนด้วย,อากาศน้ำ	680-740
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นเพลต,น้ำ/น้ำ	3000-7000

2.9 การไหลของของไหล

ของไหลที่กำลังเคลื่อนที่เป็นพลังงานรูปหนึ่งเช่นกันเราต้องใส่งานให้แก่ของไหลในการเร่งของไหลจนมีความเร็ว U ในการเคลื่อนย้ายของไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง , หรือในการอัดของไหล ในทางกลับกันของไหลจะให้งานออกมาในขณะถูกทำให้ลดความเร็วลง ในขณะที่ตกลงจากระดับหนึ่งไปยังระดับที่ต่ำกว่า หรือในขณะที่เกิดการขยายตัวให้ความดันลดลง ตัวอย่างหนึ่งได้แก่กังหันน้ำซึ่งพลังงานศักย์ของน้ำถูกแปลงเป็นงาน (ในรูปของการหมุนของกังหัน) อักตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งได้แก่กังหันลม ซึ่งถูกขับให้หมุนโดยลมเพื่อใช้สูบน้ำ เป็นต้น ในกรณีนี้พลังงานจลน์ของลมจะถูกแปลงไปเป็นงาน ในทำนองเดียวกันพลังงานความดันของของไหลสามารถแปลงไปเป็นงานโดยการให้ของไหลขยายตัวไปสู่ความดันต่ำลง

ของไหลอาจแบ่งเป็นของไหลอัดไม่ได้ กับของไหลอัดได้ ของไหลอัดไม่ได้เมื่อถูกอัดให้มีความดันเพิ่มขึ้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยปกติเราถือว่าของเหลวเป็นของไหลที่ไม่สามารถอัดตัวได้ ในความเป็นจริงนั้นการเพิ่มความดันอัดของเหลวนั้นจะทำให้ความหนาแน่นของมันเพิ่มบ้าง แต่น้อยมากจนสามารถตัดผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นได้ ในสถานการณ์ของการไหลส่วนใหญ่นอกจากนี้แม้แต่กรณีของแก๊สและไอถ้าความเร็วการไหลต่ำและการเปลี่ยนแปลงของความดันและอุณหภูมิมีค่าน้อย เราก็อาจสมมุติให้เป็นการไหลแบบอัดไม่ได้ก็ได้

2.10 ความเสียดทานการไหล

ค่าตัวประกอบความเสียดทานเป็นฟังก์ชั่นของตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number , Re) และความขรุขระของผิวท่อ นอกจากนี้ตัวประกอบความเสียดทานยังขึ้นอยู่กับค่าสภาพการไหลอีกด้วยว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ (laminar)ค่า Re < 2300หรือแบบปั่นป่วน(turbulent) ค่าRe > 2300

คริสต์ศตวรรษที่ 18 Osborne Reynolds วิศวกรชาวอังกฤษได้ทำการศึกษาการไหลของของไหล และการเปลี่ยนแปลงสภาพจากการไหลบแบบราบเรียบไปเป็นปั่นป่วน เขาพบว่าการเปลี่ยนสภาพการไหลขึ้นอยู่กับ ตัวเลขเรย์โนลย์ Re (Reynolds number) ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของของไหล

v = ความเร็วของของไหล

μ = ความหนืดของของไหล

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

สำหรับค่าReที่มีค่ามากกว่า2300จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งจะใช่สูตรในหาตัวเลขนัสเซิลต์สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนจะได้สมการดังนี้

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะหาค่าhโดยใช้สมการ

$$h = \frac{Nu\ K}{d}$$

เมื่อ

Nu = Nussult number

Re = Reynolds number

Pr = Prandtl number

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

K = สภาพการนำความร้อน

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

2.11 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเป็นท่อมีการใช้งานอย่างกว้างขวางมากยิ่งกว่าชนิดอื่นใด อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้มีการสร้างขึ้นหลากหลายขนาดและรูปแบบ ตั้งแต่ขนาดจิ๋วที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กไปจนถึงระบบขนาดยักษ์ซึ่งประกอบด้วยท่อเป็นพันๆ ท่อ ดังเช่นคอนแดนเซอร์ที่ใช้ในโรงงานไฟฟ้าเป็นต้น

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเป็นท่อได้รับความนิยมนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายมากก็เพราะว่าเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องได้รับการพัฒนาจนเข้าที่ เช่น การสร้างท่อโลหะที่มีความเที่ยงตรงซึ่งสามารถทนต่อความดันสูงได้แทบจะกล่าวได้ว่า ไม่มีขีดจำกัดของความดันและอุณหภูมิที่จะรองรับได้ นอกจากนี้รูสำหรับท่อบนแผ่นยึดท่า (tube shell) สามารถทำได้อย่างสะดวกโดยการเจาะ ความง่ายในการผลิตเป็นเหตุให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้มีรากฐานที่มั่นคงตั้งแต่อดีตนำไปสู่การเจริญเติบโตของผู้ผลิตรายใหญ่ๆ และการพัฒนามาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับการผลิต การที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเป็นท่อมีการใช้งานอย่างแพร่หรลายมีราคาค่อนข้างถูกมีการให้บริการที่น่าพึงพอใจเป็นเวลายาวนานและความคุ้นเคยในหมู่ผู้ใช้จึงทำให้มักจะถูกเลือกใช้หรือนึกถึงอันดับแรกในระบบที่ติดตั้งขึ้นใหม่ กลายเป็นวัฏจักรที่ขับดันให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้นำห่างออกไปข้างหน้ายิ่งๆขึ้น

2.11.1 การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเป็นท่อ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเป็นท่อจะจำแนกอย่างกว้างๆ โดยพิจารณาของไหลที่เกี่ยงข้องดังต่อไปนี้

1. ของเหลว/ของเหลว นับว่าเป็นแบบที่พบมากที่สุดในบรรดาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเป็นท่อ โดยทั่วไปน้ำระบายความร้อนจะไหลอยู่ในช่องทางการไหลด้านหนึ่ง เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบายความร้อนออกจากกระแสของเหลวที่ร้อน เช่น น้ำมันเครื่อง เป็นต้น ของเหลวทั้งสองจะถูกปั๊มให้ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การถ่ายเทความร้อนหลักที่เกิดขึ้นจึงเป็นการพาความร้อนโดยบังคับ ความหนาแน่นที่ค่อนข้างสูงของของเหลวนำไปสู่การถ่ายเทความร้อนในอัตราที่สูงมาก ดังนั้นในสถานการณ์โดยทั่วไปจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ครีบ หรืออุปกรณ์อื่นเพื่อช่วยเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

2. ของเหลว/แก๊ส เป็นแบบที่พบกันมากเช่นกัน โดยทั่วไปจะเป็นการใช้อากาศเพื่อการระบายความร้อนให้แก่ของเหลวร้อนที่ปลดปล่อยออกมา ของเหลวจะถูกปั๊มให้ไหลผ่านท่อโดยมีอัตราการพาความร้อนสูงมาก ส่วนอากาศจะไหลขวางอยู่นอกท่อซึ่งอาจจะเป็นการไหลโดยธรรมชาติ (ไม่ใช้พัดลมช่วย) หรือการไหลโดยใช้พัดลมช่วย สัมประสิทธิ์การพาความร้อนทางด้านอากาศจะต่ำเมื่อเทียบกับทางด้านของเหลว ดังนั้นจึงมักจะเสริมครีบที่ด้านนอก (ด้านอากาศ) ของท่อเพื่อเป็นการชดเชย

3. แก๊ส/แก๊ส เป็นแบบที่พบในรีคูเพอร์เรเตอร์ (recuperator) ซึ่งจะใช้ในการอุ่นอากาศด้วยแก๊สปล่อยทิ้งของระบบกังหันแก๊ส เตาเผาเหล็ก และระบบแยกแก๊ส-ของเหลว เป็นต้น หลายกรณีแก๊สตัวหนึ่งจะถูกอัดเพื่อเพิ่มความหนาแน่น ในขณะที่แก๊สอีกตัวหนึ่งจะอยู่ที่ความดันและความหนาแน่นต่ำ ตามปกติแก๊สมีความหนาแน่นสูงจะถูกจัดให้ไหลในท่อบางครั้งอาจจะมีการเสริมครีบภายในและภายนอกเพื่อสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

4. เครื่องควบแน่น หรือคอนแดนเซอร์ (Condenser) ของไหลที่ใช้ในการระบายความร้อนออกจากของไหลที่ควบแน่น หรือกลั่นตัวอาจจะเป็นของเหลวเช่นน้ำหรือแก๊สเช่นอากาศก็ได้ ของไหลควบแน่นมักจะถูกจัดให้ไหลอยู่นอกท่อสำหรับในกรณีที่ระบายความร้อนด้วยของเหลว และในกรณีนี้ไม่มีความจำเป็นต้องเสริมครีบทั้งภายในและภายนอกท่อ ส่วนในกรณีที่เป็นการระบายความร้อนด้วยแก๊สของไหลควบแน่นมักถูกจัดให้ไหลอยู่ในท่อและมักจะมีการเสริมครีบบนด้านนอก (ด้านแก๊ส) ของท่อ

5. เครื่องระเหยและหม้อไอน้ำ (Evaporator and Boiler) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในกลุ่มนี้อาจจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ดังต่อไปนี้

5.1 ชนิดการเผาไหม้ แก๊สที่เกิดจากการสันดาปเชื้อเพลงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน เป็นต้น ที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดันบรรยากาศ จะถูกใช้ในการผลิตไอน้ำที่ความดันสูงในระบบขนาดเล็ก แก๊สสันดาปมักจะไหลผ่านไปในท่อ ส่วนในระยะที่ใหญ่ขึ้นน้ำหรือไอน้ำมักจะไหลอยู่ในท่อและโดยทั่วไปจะเสริมครีบบนด้านนอกของท่อ

5.2 ชนิดที่ไม่มีการเผาไหม้ ครอบคลุมอุปกรณ์ต่างๆอย่างกว้างขวางตั้งแต่อุณหภูมิสูงมาก เช่น เครื่องกำเนิดไอน้ำพลังงานนิวเคลียร์ จนถึงอุณหภูมิต่ำ เช่น ในหอกลั่น เป็นต้น ในอุตสาหกรรมเคมีหรืออาหารอาจจะใช้ไอน้ำหรือไฟฟ้าในการระเหยสารละลายหรือเคี่ยวแห้งเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การจำแนกอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดเป็นท่อจำแนกตามลักษณะโครงสร้างได้ดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อเดี่ยว นับว่าเป็นแบบที่มีโครงสร้างง่ายที่สุดกล่าวคือ ประกอบด้วยท่อเปลือยเพียงท่อเดียวเพื่อให้ของไหลไหลผ่าน ระบบทำความร้อนอาคารเป็นจำนวนมากเป็นแบบนี้ท่อให้ความร้อนจะถูกติดตั้งในแนวนอนที่ระดับพื้นและมีน้ำร้อนหรือไอน้ำไหลเวียนในท่อ ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้อากาศในห้องด้วยการพาโดยธรรมชาติ

- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบมัดท่อ เป็นพัฒนาการมาจากแบบท่อเดี่ยว ประกอบด้วยท่อหลายท่อมาเชื่อมเกาะกันด้วยวัสดุที่เป็นตัวนำความร้อน เพื่อให้มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ไหลในท่อ

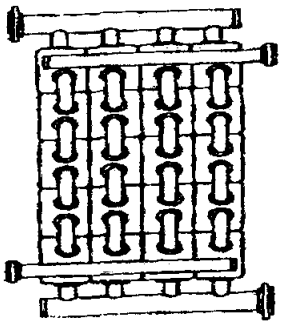
- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นประกอบด้วยท่อสองท่อสวมซ้อนกัน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้เคยได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีราคาถูกผลิตง่ายและมีความยืดหยุ่นสูงเพราสามารถสร้างให้มีความยาวตามต้องการได้แทบทุกขนาดและมีขนาดท่อและวัสดุให้เลือกใช้ได้อย่างกว้างขวาง ข้อปฏิบัติทั่วไปจะให้ของไหลที่ความดันสูง อุณหภูมิสูง ความหนาแน่นสูง หรือ ความกัดกร่อนสูงอยู่ในท่อชั้นใน ซึ่งจะประหยัดและปลอดภัยกว่า

รูปที่ 2.5 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

ในบางครั้งอาจจะนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นมาต่อกันหลายๆชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งในการต่อแบบขนาน หรืออนุกรมก็ได้

85375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นต่อกันเป็นชุด

2.12 หลักเกณฑ์การเลือกของไหลที่อยู่ในท่อ

ในการกำหนดว่าของไหลตัวใดควรอยู่ทางด้านท่อตัวใด การเลือกจึงมักจะต้องทำการชั่งน้ำหนักหรือประนีประนอมระหว่างปัจจัยเหล่านี้ ข้อควรพิจารณาหลักได้แก่

1. ความดัน ความหนาของผนัง ซึ่งหมายถึง น้ำหนักและค่าใช้จ่ายของวัสดุ ที่จำเป็นในการเก็บกักความดันที่กำหนดให้จะแปรผันโดยตรงกับเส้นผ่าศูนย์กลางดังนั้นของไหลที่มีความดันสูงจึงควรให้อยู่ท่อใน

2. อุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงความแข็งแรงของวัสดุจะลดลงทำให้ต้องใช้ผนังที่หนาขึ้น ดังนั้นผลกระทบในกรณีนี้จึงคล้ายคลึงกับความดันและของไหลอุณหภูมิสูงควรจะอยู่ในท่อ นอกจากนี้ถ้าให้ของไหลอุณหภูมิสูงอยู่ในเซลล์อาจจะต้องเสริมฉนวนหุ้มเซลล์เพื่อลดการสูญเสียความร้อนหรือความปลอดภัย

3. ความกัดกร่อนของของไหล ของไหลที่กัดกร่อนจำเป็นจะต้องใช้วัสดุพิเศษ ซึ่งแน่นอนว่าจะต้องมีราคาแพง ถ้าของไหลเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่กัดกร่อน การจัดให้ของไหลนั้นอยู่ภายในท่อ เราก็จะสามารถหลีกเลี่ยงความจำเป็นในการทำเซลล์ด้วยโลหะพิเศษที่มีราคาแพงได้ แต่ถ้าให้ของไหลกัดกร่อนอยู่ด้านเซลล์ ทั้งเซลล์และท่อจะต้องทำด้วยวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนได้

4. ความสะอาดของไหล กระบวนการผลิตที่ความสะอาดของของไหลเป็นเรื่องสำคัญมาก ก็อาจจะจำเป็นต้องใช้วัสดุพิเศษในการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในทำนองเดียงกันกับข้อ 3 การใช้วัสดุพิเศษในการทำท่ออย่างเดียวย่อมจะประหยัดกว่า การใช้วัสดุพิเศษทำทั้งท่อและเซลล์

5. อันตรายหรือราคาของไหล ของไหลที่อาจจะเป็นพิษหรืออันตรายหรือที่มีราคาแพงควรอยู่ด้านท่อเนื่องจากโอกาสที่ของไหลจะรั่วออกจากท่อจะน้อยกว่าการรั่วออกจากเซลล์

6. ความดันตก ความดันตกหรือการสูญเสียความดันภายในท่อสามารถคำนวณได้เที่ยงตรงกว่าในเซลล์ ซึ่งค่าความดันตกที่คำนวณได้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนสูงอันเป็นผลจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไม่แน่นอนของช่องว่างของการรั่วไหลทางด้านเซลล์ซึ่งเกิดขึ้นในการสร้าง ดังนั้นในของไหลที่ความดันตกมีความสำคัญมาก และจำเป็นจะต้องหาค่าให้ได้ถูกต้องที่สุด ควรให้ของไหลนั้นอยู่ในท่อ

7. ความหนืดของของไหล เพื่อให้การพาความร้อนระหว่างของไหลกับพื้นผิวของแข็งเช่นผิวท่อหรือผิวเซลล์ เป็นไปอย่างดีที่สุด ของไหลควรจะไหลอย่างปั่นป่วน (turbulent) ของไหลที่มีความหนืดสูง อาจจะไหลแบบราบเรียบ (laminar) ถ้าให้ไหลอยู่ในท่อแต่อาจจะไหลแบบปั่นป่วนได้ ถ้าให้ไหลทางด้านเซลล์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่องว่างระหว่างท่อ แต่ถ้าเป็นการไหลแบบราบเรียบทั้งด้านท่อและเซลล์ก็ควรให้ของไหลที่หนืดอยู่ในท่อ ซึ่งการทำนายการถ่ายเทความร้อนและการกระจายการไหลสามารถทำได้ด้วยความมั่นใจมากกว่า

8. อัตราการไหล โดยทั่วไปเรามักจะให้ของไหลที่มีอัตราไหลต่ำกว่าอยู่ทางด้านเซลล์ ทางด้านเซลล์จะเกิดอัตราการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเรย์โนลด์ต่ำกว่าในท่อ นอกจากนี้เราอาจจะหลีกเลี่ยงความซับซ้อนของโครงสร้างแบบหลายกลับได้ ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้ดี

9. การทำความสะอาดพื้นผิวภายในของเซลล์และพื้นผิวภายนอกท่อ จะทำความสะอาดได้ยากกว่าพื้นผิวภายในท่อ ดังนั้นของไหลที่สะอาดกว่าควรจะให้อยู่ทางด้านเซลล์

2.13 การจัดเส้นการไหล

การจัดการเส้นการไหลทั้งทางด้านท่อและด้านเซลล์มีให้เลือกได้หลายรูปแบบ ในการเลือกจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง ส่วนใหญ่มักจะต้องทำการประนีประนอมกันระหว่างข้อดีและข้อเสียของแต่ละรูปแบบ เพื่อให้ได้สิ่งที่เหมาะสมที่สุด ปัจจัยดังกล่าวได้แก่ ความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลทั้งสอง (LMTD,ผลต่างอุณหภูมิเชิงล็อก) เทคนิคและค่าใช้จ่ายในการผลิต,ความดันตก,ผลกระทบทางด้านความเสียดทาน,และการเกินคราบสกปรกบนพื้นผิวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การไหลสวนทางตามแนวแกนจัดว่าเป็นรูปลักษณ์ทางอุดมคติเมื่อพิจารณาในแง่ความร้อน ของไหลทางด้านเซลล์จะไหลตามยาวไปบนท่อในทิศทางตรงข้ามกับการไหลของไหลภายในท่อ ในการไหลแบบนี้ผลต่างอุณหภูมิของของไหลจะมีค่าต่ำสุด จึงสามารถบรรลุประสิทธิผลทางความร้อนที่สูงมาก

2.14 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนพร้อมเครื่องขูดผิว

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เมื่อเครื่องขูดผิวเหมาะสำหรับใช้งานในกระบวนการที่มีแนวโน้มจะเกิดการเกาะสะสมของสิ่งสกปรกบนพื้นผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น การตกผลึกและการเกาะตัวของไขในงานทำความเย็นเป็นต้น การใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีเครื่องขูดผิวจะช่วยป้องกันไม่ให้มีการเกาะสะสมของของแข็งบนพื้นผิว

2.15 หลักการออกแบบทางความร้อนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอาจจะแบ่งภารกิจออกเป็นสองส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน ได้แก่

- การออกแบบทางความร้อน
- การออกแบบทางกล

การออกแบบทางความร้อนจะเกี่ยวข้องกับสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้หลักประกันว่า อุปกรณ์ที่ออกแบบมีพื้นผิวเพียงพอสำหรับการทำหน้าที่ทางความร้อนงานในส่วนนี้รวมไปถึงการประเมินการเสื่อมถอยลงของสมรรถนะซึ่งมีแนวโน้มจะเกิดขึ้นในขณะใช้งาน อันเป็นผลจากเกาะสะสมของคราบสกปรกบนพื้นผิวถ่ายเทความร้อน ผู้ที่จะทำหน้าที่ออกแบบทางความร้อนจะต้องพิจารณาถึงเทคนิค หรือวิธีการในการลดทอนผลกระทบจากการเกิดคราบสกปรกหรือเฟาลิ่ง ด้วย

ผลกระทบในแง่ของการไหลก็นับว่ามีความสำคัญเช่นกัน การถ่ายเทความร้อนระหว่างการไหลที่เคลื่อนที่จะต้องเกี่ยวข้องกับความเสียดทานของของไหลเสมอ อันเป็นผลจากความหนืดของของไหลผลของความหนืดดังกล่าวนี้จะปรากฏออกมาในรูปของการสูญเสียความดันจากทางเข้าถึงทางออก เพื่อที่จะเอาชนะความดันตกจากการสูญเสียความดัน ของไหลจะต้องถูกปั๊มหรืออัด ซึ่งจะต้องใช้กำลังทางกลในการเอาชนะความดันตกจากการสูญเสียความดัน ของไหลจะต้องถูกปั๊มหรืออัด ซึ่งจะต้องใช้กำลังในการขับเคลื่อน ซึ่งอาจจะได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องยนต์หรือจากแหล่งอื่น สำหรับแก๊สและไอซึ่งเป็นของไหลที่อัดได้นั้น ค่าใช้จ่ายในการปั๊มหรืออัดเพื่อขับดันของไหลในบางกรณีอาจจะสูงกว่ามูลค่าของการถ่ายเทความร้อนเอง ดังนั้นในการออกแบบทางความร้อนจึงครอบคลุมไปถึงการจัดรูปทรงและรูปแบบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อลดทอนการสูญเสียความดันให้เหลือน้อยที่สุดสำหรับภาระทางความร้อนที่ต้องการ

นอกจากนี้การออกแบบทางความร้อนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะปล่อยทิ้งสู่แหล่งน้ำหรือบรรยากาศก็ตาม ผู้ออกแบบจะต้องให้ความสนใจปัญหาที่เกิดจากการปล่อยสารออกสู่บรรยากาศ และการรั่วซึมของของไหลชนิดหนึ่งไปสู่ของไหลอีกชนิดหนึ่งจะต้องมีการคาดการณ์ถึงอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นเกี่ยวกับของไหลที่อันตรายและเตรียมมาตรการที่จะรับมือกับผลที่จะเกิดตามมา การออกแบบทางกลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเกี่ยวข้องกับการให้หลักประกันว่าอุปกรณ์นั้นมีความแข็งแรงเพียงพอ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับซีลและรองลื่น (bearings) ผลกระทบการสั่น การกัดกร่อน วิธีในการประกอบขึ้นรูป การเตรียมการเพื่อการเคลื่อนย้าย ติดตั้ง วิธีการในการทำความสะอาด การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมอุปกรณ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15.1 การกำหนดการไหล

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเกือบทั้งหมดทำงานในลักษณะที่ของไหลร้อนและของไหลเย็นซึ่งถูกกั้นแยกจากกันด้วยผนังร่วมจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยกลไกการพาความร้อนและการนำความร้อนร่วมกัน ประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลที่เกิดขึ้น การไหลของของไหลมีทางเป็นไปได้ สามลักษณะคือ

1. ของไหลทั้งสองมีแกนของการไหลร่วมกัน เมื่อของไหลทั้งคู่ไหลไปในทิศทางเดียวกันเราเรียกว่า การไหลตามกัน ถ้าไหลไปในทิศทางตรงข้ามกันเราเรียกว่า การไหลสวนกัน
2. แกนของการไหลของของไหลทั้งสองตั้งฉากกับเราเรียกว่า การไหลขวาง
3. การไหลของของไหลทั้งสองมีทั้งในส่วนที่ไหลอยู่ในแกนเดียวกัน และส่วนที่ไหลขวางกันเราเรียกว่า การไหลประสม

2.15.2 การแจกแจงอุณหภูมิ

การแจกแจงอุณหภูมิของของไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นอยู่กับการจัดการการไหลอย่างมาก เพื่อให้เข้าใจจุดนี้ชัดเจนขึ้นขอให้พิจารณาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่อย่างง่ายเราจะเรียกของไหลที่ไหลอยู่ในท่อว่า ของไหลด้านท่อ และแทนอุณหภูมิของมันด้วยตัว t ส่วนของไหลในช่องว่างวงแหวนเราเรียกว่า ของไหลด้านเชลล์ และแทนอุณหภูมิของมันด้วยตัว T ในของทั้งสองอักษรห้อย 1 หมายถึงสภาวะด้านเข้าและ 2 หมายถึงสภาวะด้านออก

รูปที่ 2.7 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่

ในอุปกรณ์และสถานการณ์ที่ดูเหมือนจะเรียบง่ายมากขึ้น มีลักษณะการไหลที่อาจจะเกิดขึ้นได้มากมายหลายแบบอย่างน่าทึ่ง

ความเป็นไปได้อันดับแรกที่จะพิจารณาถูกแสดงในรูปที่2.8 (ก) เป็นกรณีที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้ทำงานเป็นคอนแดนเซอร์ ซึ่งของไหลทั้งสองตัวต่างก็มีการเปลี่ยนสถานะของไหลร้อนที่เป็นไอจะควบแน่นเป็นของเหลวและของเหลวเย็นจะระเหยกลายเป็นไอ แม้ว่าการเดือดและการควบแน่นจะเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน แต่การแจกแจงอุณหภูมิที่เดี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับค่อนข้างง่าย นั่นคืออุณหภูมิมีค่าคงที่ตลอดกระบวนการดังกล่าว ผลต่างอุณหภูมิที่เป็นตัวขับเคลื่อนการถ่ายเทความร้อนคือ $\Delta T = t\text{-}T$ และมีค่าคงที่ทั้งระบบ

ความเป็นไปได้ลำดับต่อไปได้แก่แบบที่แสดงในรูปที่2.8 (ข) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลร้อนที่เป็นไอเกิดการควบแน่น ที่อุณหภูมิที่ และความร้อนถูกถ่ายเทให้แก่ของไหลเย็น ทำให้ของไหลเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นในขณะที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ผลต่างอุณหภูมิที่เป็นตัวขับเคลื่อนการถ่ายเทความร้อนมีค่าไม่คงที่ กล่าวคือ มีค่าแปรเปลี่ยนจาก $\Delta T_1 = t\text{-}T_1$ ที่ทางเข้าไปเป็น $\Delta T_1 = t\text{-}T_2$ ที่ทางออก

รูปที่ 2.8 (ค) แสดงอีกกรณีหนึ่งที่คล้ายกับกรณีที่แล้วกล่าวคือ มีของไหลหนึ่งมีการเปลี่ยนสถานะในขณะที่เกิดการถ่ายเทความร้อน ในที่นี้ของเหลวเย็นจะเกิดระเหยที่อุณหภูมิคงที่ T ในขณะที่รับการถ่ายเทความร้อนจากของไหลร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิลดลงในขณะที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในทำนองเดียวกันกับข้างต้น ผลต่างอุณหภูมิที่เป็นตัวขับเคลื่อนการถ่ายเทความร้อนมีค่าแปรเปลี่ยนจาก $\Delta T_1 = t\text{-}T_1$ ที่ทางเข้าไปเป็น $\Delta T_1 = t\text{-}T_2$ ที่ทางออก

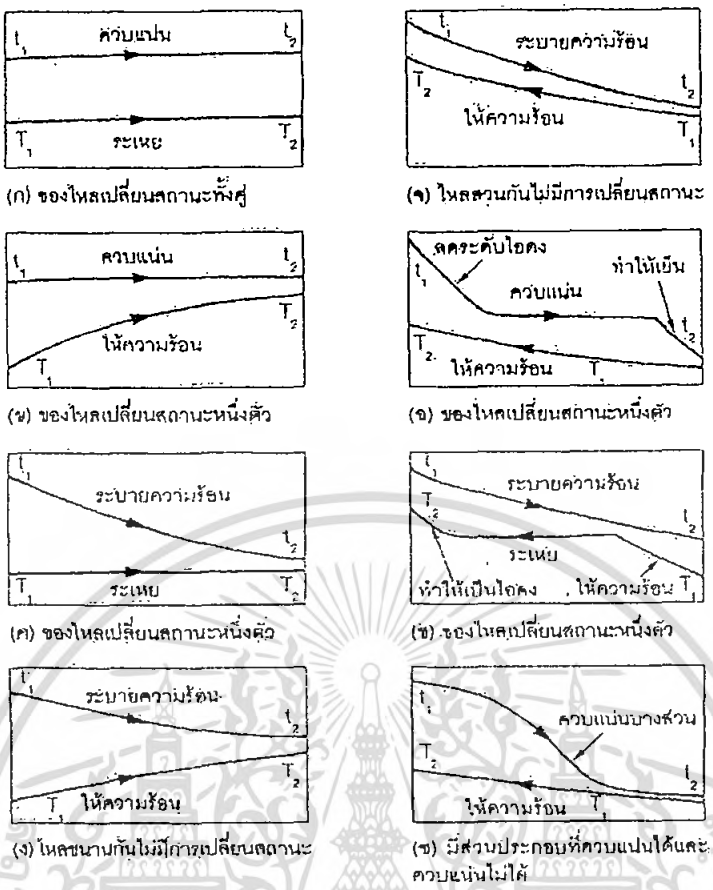
ลักษณะการ ทำงานที่พบมากที่สุดในทางปฏิบัติคือ การที่ของไหลทั้งสองไม่มีการเปลี่ยนสถานะ ดังนั้นจึงมีอุณหภูมิแปรเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องทั้งคู่จากทางเข้าสู่ทางออก แบ่งย่อยออกไปเป็นสองกรณี คือ ของไหลทั้งสองไหลตามกันและไหลสวนกัน

ในกรณีที่ของไหลไหลตามกันถูกแสดงในรูปที่ 2.8 (ง) ในกรณีนี้ของทั้งสองไหลเข้ามาจากทางด้านซ้ายและไหลออกไปทางด้านขวาของรูป ของไหลเย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนของไหลร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำลง ผลต่างอุณหภูมิที่เป็นตัวขับเคลื่อนการถ่ายเทความร้อนมีค่าแปรเปลี่ยนจาก $\Delta T_1 = t\text{-}T_1$ ที่ทางเข้าไปเป็น $\Delta T_1 = t\text{-}T_2$ ที่ทางออก อุณหภูมิทางออก T_2 ของของไหลเย็นไม่สามารถสูงกว่าอุณหภูมิทางออก t_2 ของของไหลร้อนได้ไม่เช่นนั้นจะเกิดการขัดแย้งกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิก ซึ่งบังคับว่าความร้อนไม่สามารถถ่ายเทจากที่อุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิสูงได้

ในกรณีพิเศษที่ของไหลชนิดเดียวกันเช่น น้ำและมีอัตราไหลเท่ากัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลทั้งสองจะเท่ากันกล่าวคือ $T_2 - T_1 = t_1 - t_2$ เป็นการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่จะเป็นไปได้เกิดขึ้นเมื่อ $T_2 = t_1$ ของไหลทั้งสองจะมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเท่ากัน ซึ่งเท่ากับครึ่งหนึ่งของผลต่างอุณหภูมิที่ทางเข้า กล่าวคือ

$$(T_2 - T_1)_{max} = (t_1 - t_2)_{max} = 0.5(t_1\text{-}T_1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ของไหลเปลี่ยนสถานะทั้งคู่ (จ) ไหลสวนกันไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

(ข) ของไหลเปลี่ยนสถานะหนึ่งตัว (ฉ) ของไหลเปลี่ยนสถานะหนึ่งตัว

(ค) ของไหลเปลี่ยนสถานะหนึ่งตัว (ช) ของไหลเปลี่ยนสถานะหนึ่งตัว

(ง) ไหลขนานกันไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (ซ) มีส่วนประกอบที่ควบแน่นได้และควบแน่นไม่ได้

รูปที่ 2.8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น ภายใต้สภาวะต่างๆ

รูปที่2.8 (จ) แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกรณีที่เป็นการไหลสวน ในกรณีนี้ของไหลทั้งสองไหลในทิศทางตรงข้าม ซึ่งมีข้อดีเหนือกว่าการไหลตามกันมาก จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทางออก T2 ของของไหลเย็นอาจจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิทางออก t_2 ของของไหลร้อนได้ โดยไม่ขัดกับกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ผลต่างอุณหภูมิที่เป็นตัวขับเคลื่อนการถ่ายเทความร้อนมีค่าแปรเปลี่ยนจาก $\Delta T_1 = t\text{-}T_2$ ที่ปลายข้างหนึ่งไปเป็น $\Delta T_1 = t\text{-}T_1$ ที่ปลายอีกข้างหนึ่ง ถ้าของไหลทั้งสองเป็นของไหลชนิดเดียวกันมีอัตราไหลเท่ากันและคุณสมบัติของของไหลไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ผลต่างอุณหภูมิ t-T จะมีค่าที่โดยตลอดจากปลายข้างหนึ่งไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่ง

ในทางทฤษฎีมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้อุณหภูมิทางออกของของไหลตัวหนึ่งเข้าใกล้หรือ "เท่ากับ"อุณหภูมิทางเข้าของของไหลอีกตัวหนึ่งนั่นคือ t2 T1 และ T2 t1 ดังนั้นเราจึงสามารถทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของของไหลเย็นและการลดลงของอุณหภูมิของของไหลร้อน มีค่าเท่ากับและเท่ากับ $t_2 - T_1$ ซึ่งเป็นสองเท่าของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ทางทฤษฎีสำหรับกรณีของการไหลตามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการไหลสวนที่กล่าวถึงข้างต้นเมื่อเทียบกับการไหลตามกันเป็นข้อดีที่สำคัญอย่างปราศจากข้อเคลือบแคลงสงสัย ในการเปรียบเทียบการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสองตัวที่เหมือนกันจะพิสูจน์ให้เห็นได้ว่ากำลังความจุทางความร้อนของตัวที่ทำงานแบบไหลสวนจะเป็นสองเท่าของตัวที่ทำงานแบบไหลตามกัน ดังนั้นถ้าสามารถทำได้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องทำงานแบบไหลสวนเสมอ ไม่ควรให้ทำงานแบบไหลตามกัน

สภาวะการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่แสดงในรูปที่ 2.8 (ฉ) คล้ายกับรูปที่ 2.9 (ข) ในแง่ที่ว่ามีของไหลตัวหนึ่งเกิดการควบแน่นในขณะที่ทำงานแต่ในกรณีนี้สภาวะที่เกิดขึ้นจริงมากกว่ากล่าวคือ ของไหลที่ให้ความร้อนเข้าสู่อุปกรณ์ในสภาวะที่เป็นไอ ในขณะที่ให้ความร้อนแก่ของไหลอีกตัวหนึ่ง อุณหภูมิของมันจะลดลงจนกลายเป็นของเหลวหมดแล้ว ก็อาจจะมีการคายความร้อนต่อไปจนเป็นของเหลวอัดซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว และไหลออกจากอุปกรณ์ในรูปของของเหลวอัด การไหลอาจจะจัดให้ไหลสวนกันดังแสดงในรูปหรือให้ไหลตามกันก็ได้

รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เกิดอุณหภูมิตัดข้าม (รูป ก) และที่เกิดอุณหภูมิตัดข้าม (รูป ข และ ค)

การทำงานของรูปที่ 2.8 (ช) เป็นไปในทางที่กลับกันกับรูปที่2.8 (ฉ) นั่นคือ ของไหลเย็นเข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในสภาพที่เป็นของเหลว (ของเหลวอัด) จากนั้นจะรับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัว ซึ่งการถ่ายเทความร้อนให้แก่ของเหลวต่อไป จะทำให้เกิดการระเหยขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ จนกว่าของเหลวจะระเหยเป็นไออิ่มตัวจนหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้ความร้อนต่อไปจะทำให้ไออิ่มตัวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว นั่นคือกลายเป็นไอดงและออกจากอุปกรณ์ในสภาพที่เป็นไอดง

ในกรณีของไหลร้อนประกอบด้วยทั้งไอที่ควบแน่นได้และก๊าซที่ไม่ควบแน่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเป็นไปในรูปที่ค่อนข้างจะซับซ้อน ดังแสดงเป็นลักษณะทั่วไปในรูปที่ 2.8 (ข)

เราจะเห็นได้จากรูปที่ 2.8 (จ) ว่าในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนนั้นมีความเป็นไปได้ที่อุณหภูมิทางออก T_2 ของของไหลเย็นจะมีค่ามากกว่าอุณหภูมิออก T_2 ของของไหลนั้นลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่าอุณหภูมิตัดข้าม (temperature cross) รูปที่2.9 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในสามกรณีคือ

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของของไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นโดยไม่เกิดอุณหภูมิตัดข้าม

2. เช่นเดียวกับข้อ 1 แต่เกิดอุณหภูมิตัดข้าม

3. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อในเชลล์โดยมีการไหลในท่อสองเที่ยวและการไหลในเชลล์หนึ่งเที่ยว พร้อมทั้งเกิดอุณหภูมิตัดข้าม

การเกิดอุณหภูมิตัดข้ามมีความสำคัญในฐานะที่เป็นตัวบ่งบอกถึงผลต่างอุณหภูมิที่ค่อนข้างน้อย ดังนั้นเพื่อให้มีอัตราการถ่ายเทไม่ต่ำจนเกินไป เราจำเป็นจะต้องใช้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนค่อนข้างมากและให้ของไหลไหลด้วยความเร็วสูงเพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียความดันสูงตามมา

จะเห็นได้ว่าจากรูปที่2.8 และ2.9 ว่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็นน้อยครั้งที่จะมีค่าคงที่ดังเส้นที่แสดงในรูปที่2.9 (ก) โดยทั่วไปผลต่างอุณหภูมิจะแปรเปลี่ยนจากปลายข้างหนึ่งไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่งของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ผลต่างอุณหภูมิต่ำสุดของของไหลเรียกว่า อุณหภูมิแอพโพรช (temperature approach) หลักการง่ายๆ ที่มีประโยชน์เกี่ยวกับผลต่างอุณหภูมิและอุณหภูมิแอพโพรช

1. อุณหภูมิแอพโพรชควรมีค่าอย่างน้อย 5-7 °C สำหรับระบบทำความเย็นบางครั้งอาจจะให้มีค่าน้อยกว่านี้ก็ได้

2. ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทรีคูเพอเรเตอร์ ควรให้อุณหภูมิแอพโพรชมีค่าน้อย 20 °C

3. ที่ผลต่างอุณหภูมิ (MTD) ต่ำ (น้อยกว่า 40 °C) น้ำระบายความร้อนควรมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 10°C ส่วนที่ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (MTD) สูง (มากกว่า 40 °C) น้ำระบายความร้อนควรมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในระหว่าง 10-20 °C

4. อุณหภูมิทางออกและน้ำระบายความร้อนควรมีค่าไม่เกิน 50 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. อุณหภูมิทางเข้าของน้ำระบายความร้อนควรให้มีค่าสูงกว่าจุดเยือกแข็งของของไหลกระบวนการผลิตไม่น้อยกว่า 5 °C

6. ในระบบที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนและการเดือด ควรหลีกเลี่ยงผลต่างอุณหภูมิที่สูงเกินขีด (มากกว่า 60 °C)

2.15.3 ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอก (LMTD)

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สมการใช้รูป $q = AU\Delta T$ มีเหตุจูงใจสำคัญคือความเรียบง่ายและความสะดวก อย่างไรก็ตามดังได้เห็นจากข้อสังเกตก่อนหน้าที่แล้วว่า ผลต่างอุณหภูมิการเปลี่ยนอย่างกว้างขวางและหลากหลายรูปแบบ นับจากปลายข้างหนึ่งถึงปลายอีกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อจักการกับความยุ่งยากนี้จึงได้นำเอาแนวคิดของผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย มาใช้ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยที่ใช้กันทั่วไปคือผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอก (logarithm mean temperature difference, LMTD)

ซึ่งผลต่างอุณหภูมิเชิงลอก ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ ΔT_{lm} ถูกนิยามตามสมการข้างล่างนี้

$$\Delta T_{lm} = \frac{\text{maximum}\Delta T - \text{minimum}\,\Delta T}{\text{Ln}\,(\text{maximum}\Delta T \,/\, \text{minimum}\,\Delta T)}$$

โดยทั่วไปผลต่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด จะใช้ค่าผลต่างอุณหภูมิส่วนปลายของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ยกเว้นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีความซับซ้อนเป็นพิเศษอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอาจจะเกิดขึ้นที่จุดอื่น ซึ่งเรามักจะไม่รู้ค่าและวัดได้ยาก ดังนั้นสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่การทำงานตามรูปที่ 2.8 (จ)

$$\Delta T_{lm} = \frac{(t_1 - T_2) - (t_2 - T_1)}{\ln(t_1 - T_2)/(t_2 - T_1)}$$

2.16 <u>การออกแบบทางกล</u>

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแทบทั้งหมดทำหน้าที่ทั้งเป็นตัวถ่ายเทพลังงานความร้อนจากของไหลตัวหนึ่งไปสู่ของไหลอีกตัวหนึ่งและเป็นภาชนะเก็บกักของไหลภายใต้ความดัน โดยส่วนใหญ่จะมีภาชนะความดันดังกล่าวสองส่วนประกอบเข้าด้วยกัน

ภาระหน้าที่ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสะท้อนออกที่การออกแบบ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การออกแบบทางความร้อนและการออกแบบทางกล การออกแบบทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวข้องกับการจัดให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนอย่างพอเพียงสำหรับภาระทางความร้อน และมีช่องทางการไหลอย่างเหมาะสมในการส่งถ่ายของเหลวในระดับที่ยอมรับได้ ในส่วนของการออกแบบทางกลเกี่ยวข้องกับการออกแบบให้มีความแข็งแรงทนทานสามารถรองรับความดันและสภาวะทางเคมีของของเหลวได้

กิจกรรมการออกแบบทั้งสองส่วน ในบางครั้งอาจจะกระทำโดยคนออกแบบคนเดียวกัน อย่างไรก็ตามบ่อยครั้งที่มักจะมีกลุ่มผู้เชี่ยวชาญทำหน้าที่ออกแบบแต่ละส่วนแยกจากกัน ในกรณีหลังนี้มีข้อดีคือ บุคลากรในแต่ละกลุ่มสามารถที่จะสะสมความรู้ความสามารถเฉพาะด้านได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น และสามารถติดตามพัฒนาการความก้าวหน้าทางวิทยาการที่เกี่ยวข้องได้ใกล้ชิดมากขึ้น แต่หากการประสานงานไม่ดีพอ อาจจะทำให้เกิดปัญหาจากการที่แต่ละฝ่ายมุ่งไปที่งานของตัวเองอย่างอิสระ จนก่อให้เกิดข้อจำกัดต่ออีกฝ่ายหนึ่งเกิดค่าใช้จ่ายและเกิดความล่าช้าโดยไม่จำเป็น

2.16.1 ขอบเขตของการออกแบบทางกลสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

กระบวนการออกแบบทางกลครอบคลุมความรู้และกิจกรรมทางเทคนิคกว้างขวางมากซึ่งล้วนมุ่งไปที่การให้หลักประกันการทำงานอย่างปลอดภัยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตลอดอายุขัยการใช้งานของมัน ด้วยค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ราคาซื้อและติดตั้งเริ่มต้น และค่าใช้จ่ายในการใช้งาน รวมทั้งค่าตรวจสอบค่าบำรุงรักษา และการซ่อมแซม

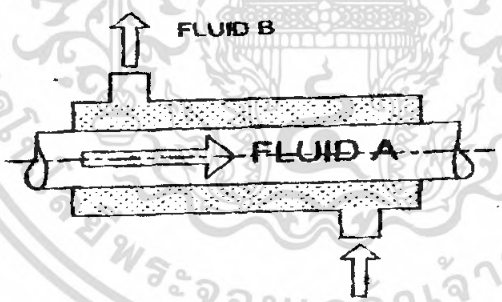
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้างเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อน

ในส่วนแรกจะดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของโครงงานระยะที่1 เป็นหลัก โดยมีขั้นตอนเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน การคำนวณกระบวนการทางความร้อนและการถ่ายเทมวลถัดมาก็จะเริ่มออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชั้น ซึ่งเป็นการคำนวณขนาดความยาวของท่อให้สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ทั้งหมดนี้จะมีการรวบรวมรายการอุปกรณ์ทั้งหมดเพื่อการจัดซื้อจัดหาต่อไป ส่วนที่สองจะดำเนินการตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้เช่นกัน ซึ่งเริ่มติดตั้งระบบวาล์วปรับอัตราการไหลทั้งขาเข้าและขาออก

เมื่อดำเนินการมาถึงจุดนี้ก็จะสามารถเดินเครื่องเพื่อทดลองเก็บข้อมูล โดยออกแบบชุดทดลองภายใต้ภาวะที่มีการปรับอัตราการไหลต่างกัน เพื่อศึกษาอุณหภูมิทางออกของน้ำร้อนและน้ำเย็นถัดมาเป็นผลการคำนวณ และผลการทดลองมาเทียบเคียงกัน หาประสิทธิภาพและแสดงกราฟประกอบการดำเนินงานดังข้างต้นมีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

1. การออกแบบโดยคำนึงถึงตัวกลางที่มีความสามารถรับและถ่ายเทความร้อนได้ดี รวมถึงสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสมร่วมกับวัสดุ



รูปที่ 3.1 การจัดเส้นทางการไหล ของไหลที่ส่งผ่านความร้อน (FLUID A) ถ่ายเทความร้อนสู่ของไหลที่รับความร้อน (FLUID B)

การเลือกใช้ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจึงใช้น้ำประปา ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมโดยการออกแบบจะให้ของไหลร้อนไหลอยู่ภายนอก ส่วนของไหลเย็นให้ไหลอยู่ท่อด้านใน ลักษณะการทำงานเริ่มจากการต้มน้ำประปาโดยใช้ฮีตเตอร์ ขนาดกำลัง 1000 W จนน้ำได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ น้ำร้อนก็จะถูกขับเคลื่อนโดยใช้ปั๊มเข้าสู่ระบบท่อตามลำดับ ส่วนของไหลที่ทำหน้าที่รับความร้อน ผ่านตัวกลาง (ท่อใน) ลักษณะการออกแบบเป็นไปตามรูปที่ 3.1 ด้วยลักษณะการจัดเส้นทางการไหลดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จัดทำรายการวัสดุอุปกรณ์

ตารางที่ 3.1 แสดงรายการวัสดุอุปกรณ์

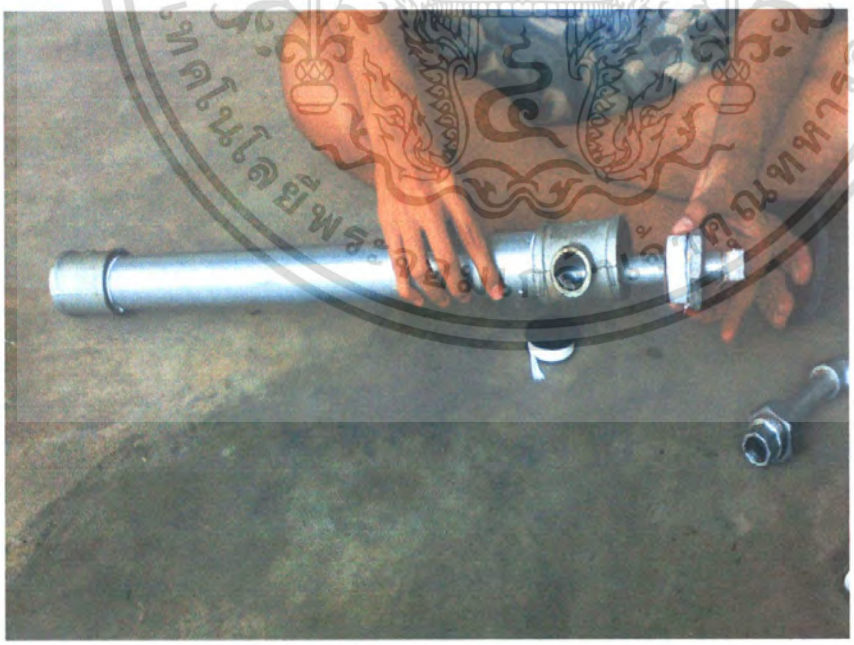
วัสดุอุปกรณ์	ขนาด	จำนวน
1. หม้อต้มน้ำ	50 ลิตร	2 ใบ
2. เทอร์โมคัปเปิล		1 ชุด
3. โรตามิเตอร์	(0-7 lit/min)	2 ตัว
4. Heater	1000 W	1 ตัว
5. ท่อเหล็กเคลือบกัลป์วาไนด์	1.5 นิ้ว ยาว 50 cm	4 ท่อน
6. ท่อเหล็กเคลือบกัลป์วาไนด์	0.5 นิ้ว ยาว 65 cm	4 ท่อน
7. ข้อลดเหลี่ยม	1.5 นิ้ว- 3/4 นิ้ว	8 ตัว
8. สามทาง	1.5นิ้ว- 3/4 นิ้ว	8 ตัว
9. ข้อลดเหลี่ยม	3/4นิ้ว – 1/2 นิ้ว	8 ตัว
10. NIPPLE	1/2นิ้ว	12 ตัว
11. UNION	1/2นิ้ว	9 ตัว
12. ข้องอ	1/2นิ้ว	8 ตัว
13. เครื่องปั๊มน้ำ	2000 lit/hr	2 ตัว

3. ในขั้นตอนประกอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นมีดังนี้

รูปที่ 3.2 นำท่อที่ได้เตรียมการไว้แล้วมาพันเกลียวเพื่อป้องกันการรั่วซึม

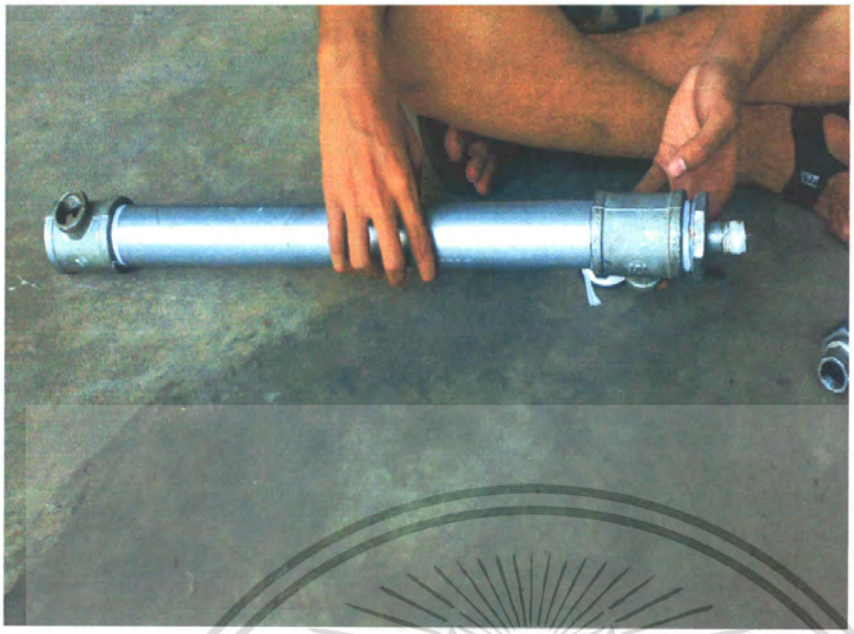
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 นำท่อขนาด 1.5 นิ้ว ที่พันเกลียวเรียบร้อยแล้วมาต่อกับท่อสามทาง



รูปที่ 3.4 สอดท่อ 0.5 นิ้ว ไว้ภายในท่อ 1.5 นิ้ว แล้วจึงนำข้อลดเหลี่ยมมาต่อกับท่อ 1.5 นิ้ว

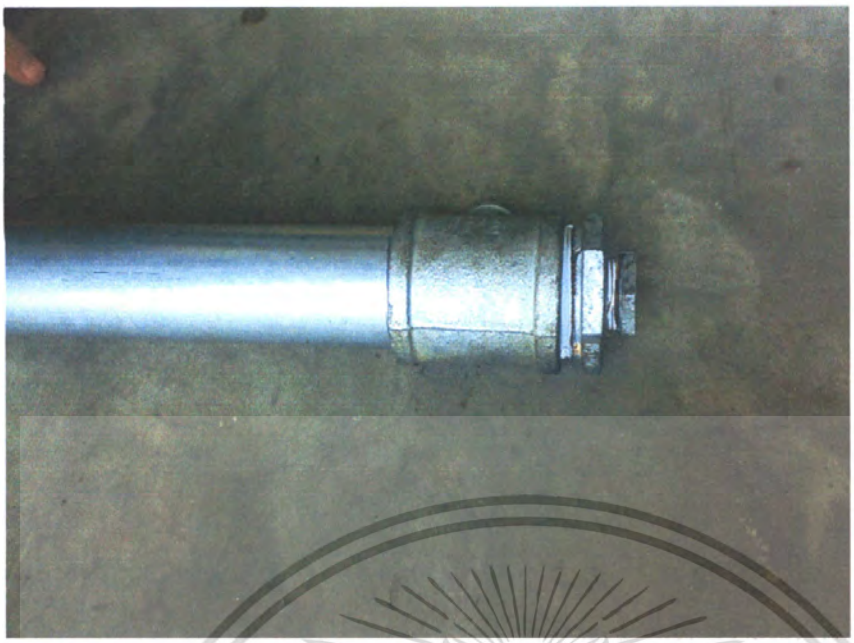
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



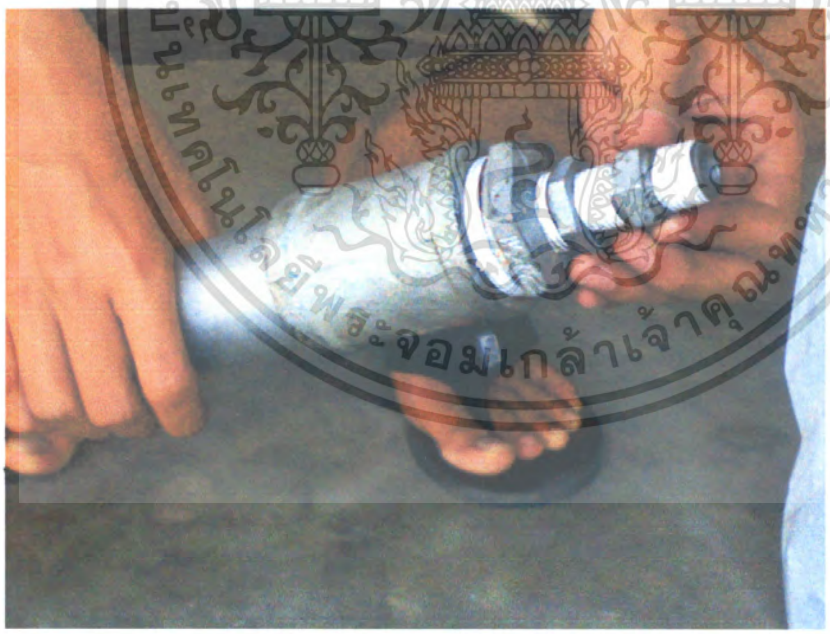
รูปที่ 3.5 เมื่อต่อท่าลดเหลี่ยมจนแน่นแล้วจาได้ออกมาดังรูป

รูปที่ 3.6 นำข้อลดเหลี่ยม ¾ - 0.5นิ้ว มาต่อกับท่อ 0.5 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

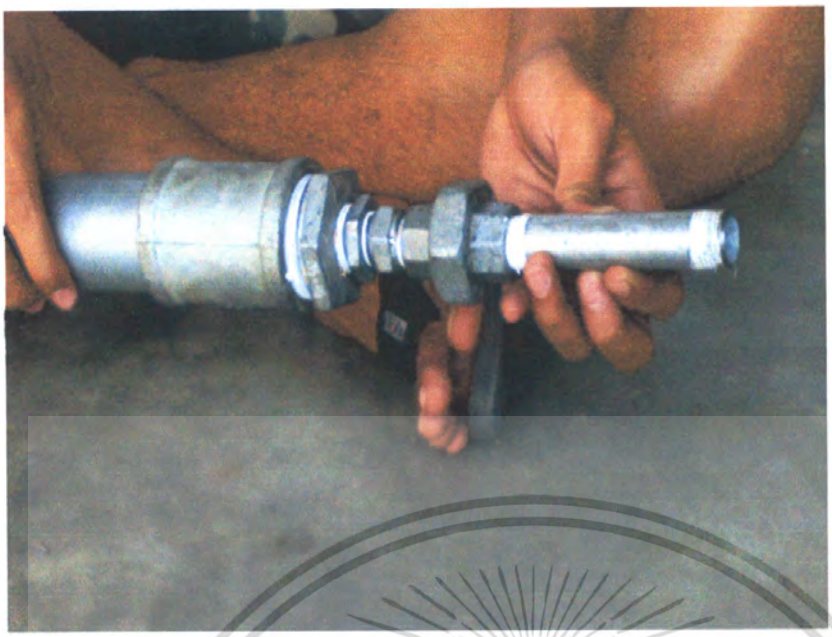


รูปที่ 3.7 เมื่อต่อกันจนแน่นจะได้ดังรูป

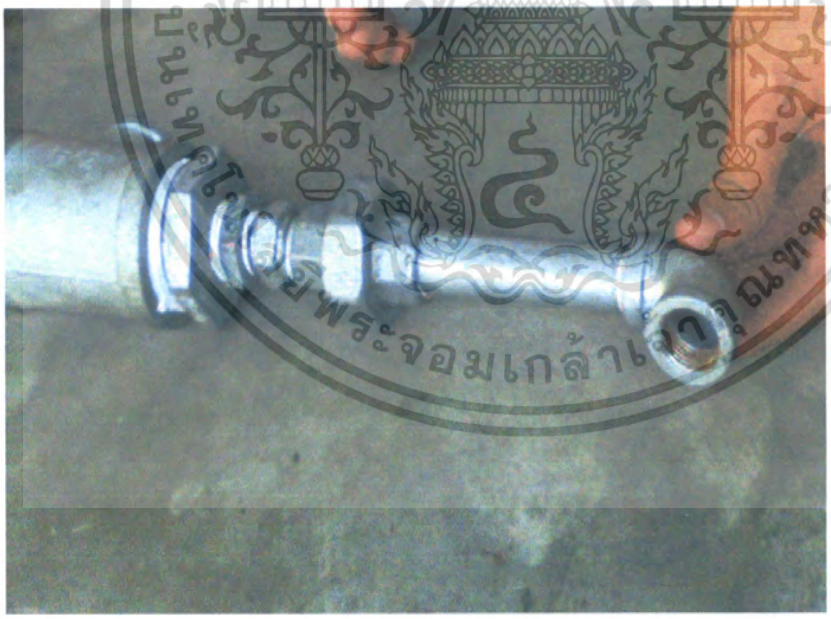


รูปที่ 3.8 นำ Nipple มาต่อเข้ากับข้อลดเหลี่ยม ¾ - 0.5 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

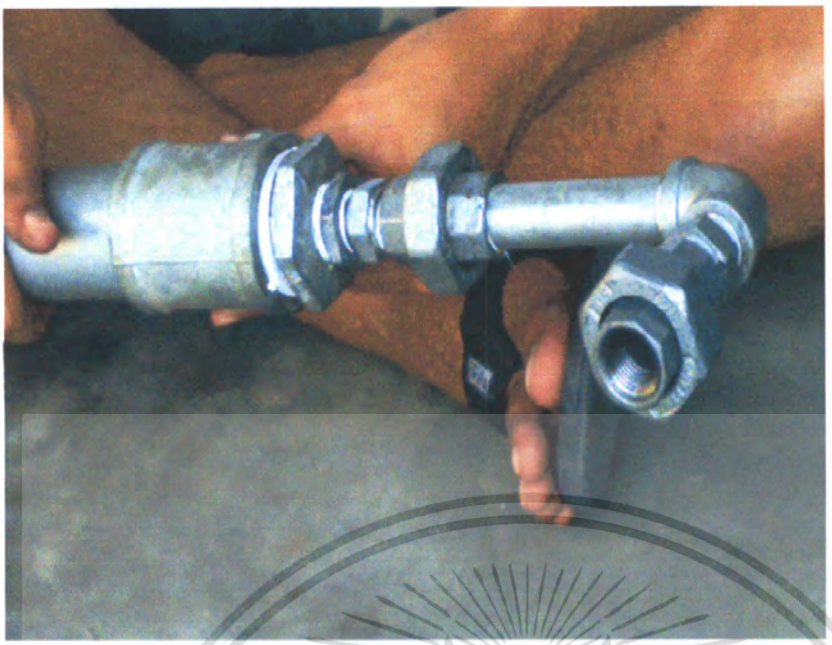


รูปที่ 3.9 นำ Union มาต่อระหว่าง Nipple กับท่อ 0.5 นิ้ว



รูปที่ 3.10 นำข้องอ 0.5 นิ้ว มาต่อเข้ากับท่อ 0.5 นิ้ว

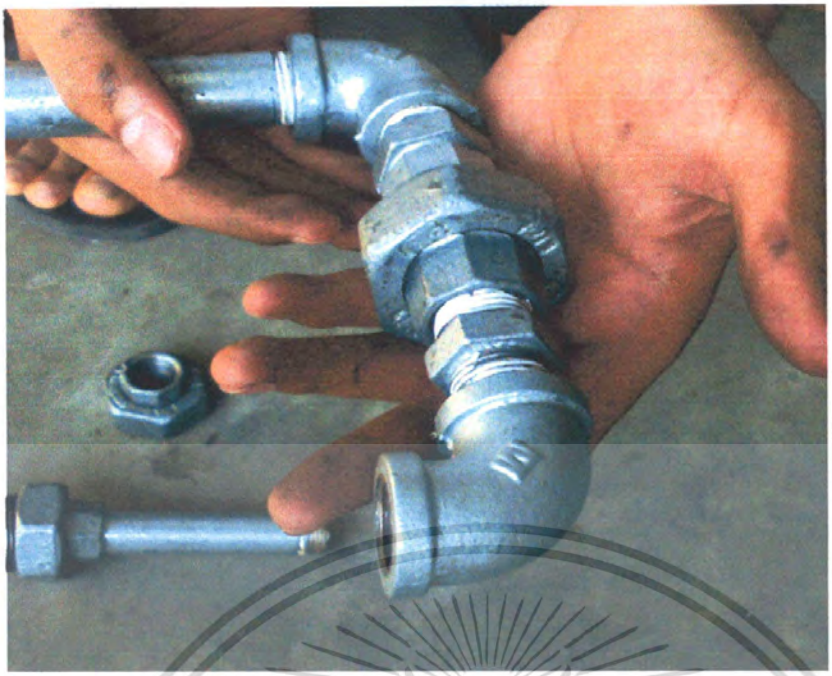
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



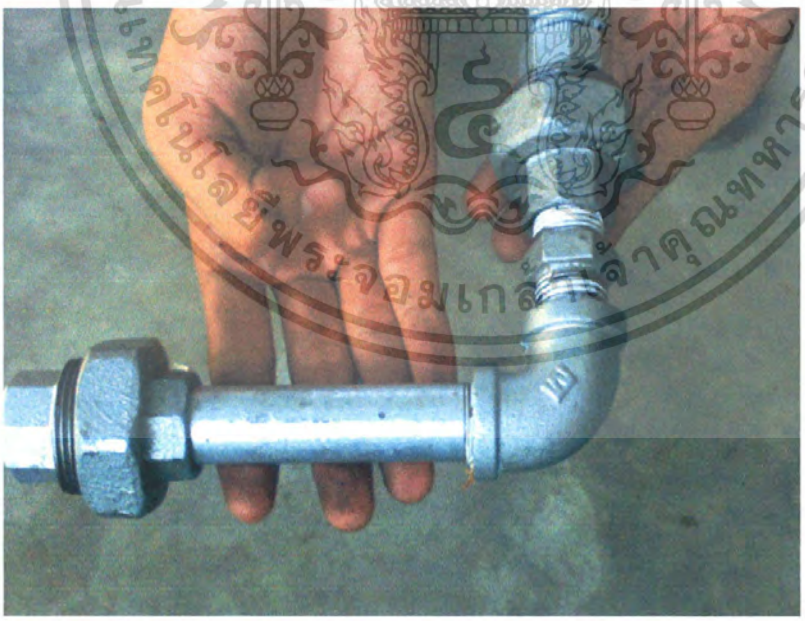
รูปที่ 3.11 นำ Nipple และ Union มาต่อเข้ากับข้องอ 0.5 นิ้ว

รูปที่ 3.12 นำ Nipple มาต่อกับเข้ากับ Union

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

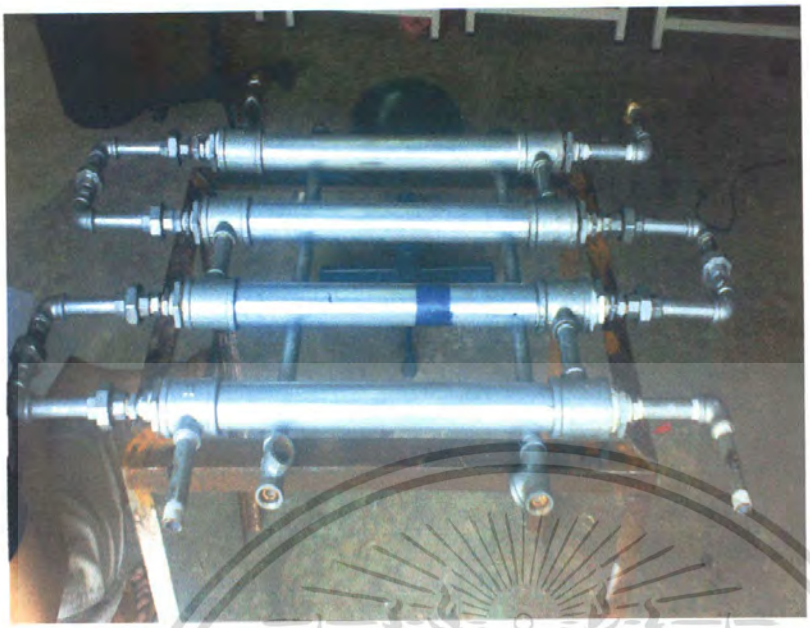


รูปที่ 3.13 นำข้องอ 0.5 นิ้ว มาต่อกับ Nipple



รูปที่j 3.14 นำท่อ 0.5 นิ้ว มาต่อระหว่าง Union กับข้องอ 0.5 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 เมื่อต่อเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจะได้ออกมาลักษณะดังรูป

รูปที่ 3.16 ภาพการติดตั้งชุดอุปกรณ์เครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ตอนที่ 1

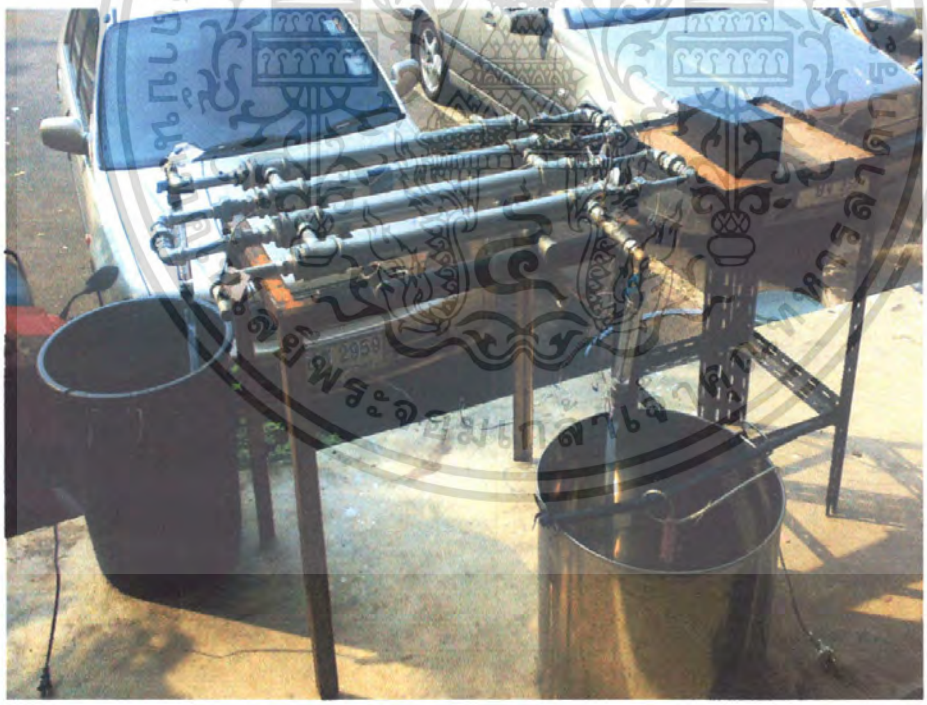
1. ปรับ control valve ของน้ำร้อนให้อัตราการไหลที่ Rotameter คงที่ ที่ 3 lit/min
2. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ให้เป็นการไหลแบบตามกัน เปิดน้ำให้ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจนการไหลอยู่สภาวะคงที่
3. ปรับ control valve ของน้ำเย็นให้อัตราการไหลที่ Rotameter เท่ากับ 3,5และ7 lit/min
4. บันทึกอุณหภูมิของน้ำร้อนกับน้ำเย็นที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอ่านค่าหลังจากที่อุณหภูมิของน้ำคงที่
5. คำนวณค่า U , power emitted , power absorbed , power lost , η และ ΔTm
6. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ1-5 แต่เปลี่ยนให้เป็นการไหลแบบสวนทางกัน

ตอนที่ 2

1. ปรับ control valve ของน้ำเย็นให้อัตราการไหลที่ Rotameter คงที่ ที่ 3 lit/min
2. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ให้เป็นการไหลแบบตามกัน เปิดน้ำให้ไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจนการไหลอยู่สภาวะคงที่
3. ปรับ control valve ของน้ำร้อนให้อัตราการไหลที่ Rotameter เท่ากับ 3,5และ7 lit/min
4. บันทึกอุณหภูมิของน้ำร้อนกับน้ำเย็นที่ทางเข้าและทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยอ่านค่าหลังจากที่อุณหภูมิของน้ำคงที่
5. คำนวณค่า U , power emitted , power absorbed , power lost , η และ ΔTm
6. ทำการทดลองเหมือนกับข้อ1-5 แต่เปลี่ยนให้เป็นการไหลแบบสวนทางกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1การติดตั้งเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบการไหลสวนทาง



รูปที่ 4.2 การติดตั้งเครื่องต้นแบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบการไหลตามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

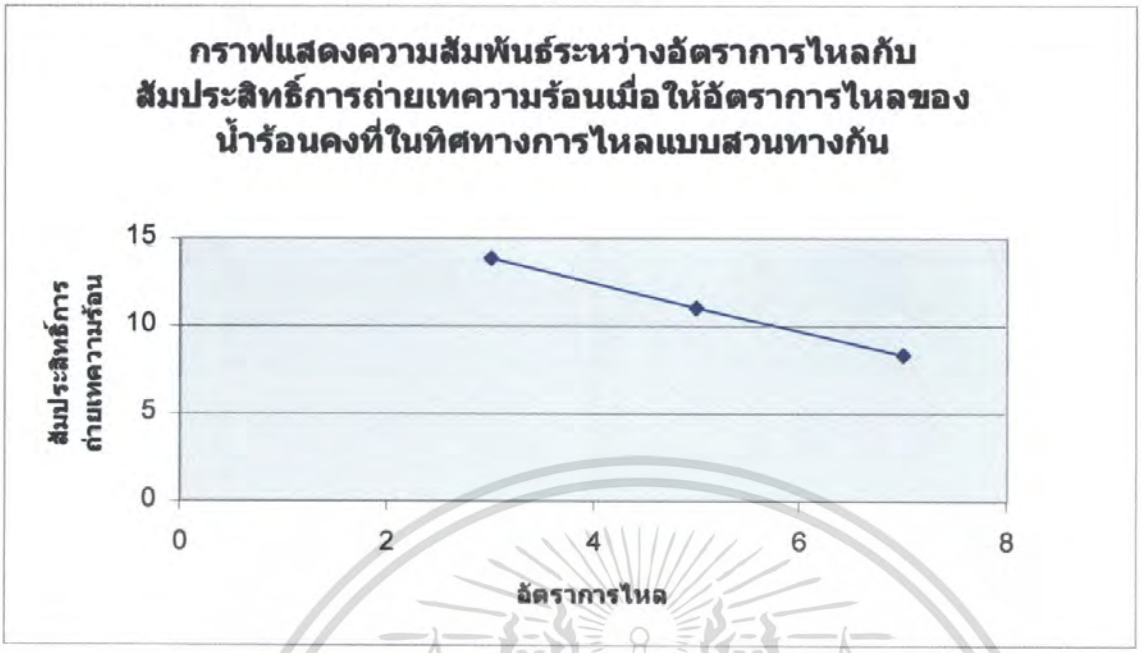
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง กรณีที่ 1 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดยให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 3 lit/min

น้ำเย็น	T1 (K)	T2 (K)	T3 (K)	T4 (K)
3	305	316	333	318
5	305	312	333	316
7	305	309	333	315

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า ΔTm กับ U กรณีที่ 1 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดยให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 3 lit/min

น้ำเย็น (Lit/min)	ΔTm (C^{o})	U ($w/m^{2}.K$)
3	9.852	1381.35
5	12.33	1171.13
7	14.28	831.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเมื่อให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ในทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลอง กรณีที่ 2 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดยให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 3 lit/min

น้ำร้อน	T1 (K)	T2 (K)	T3 (K)	T4 (K)
3	305	316	333	318
5	305	319	333	322
7	305	322	333	324

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า ΔTm กับ U กรณีที่ 2 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดยให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 3 lit/min

น้ำร้อน (Lit/min)	ΔTm (K)	U ($w/m^2.K$)
3	9.85	1381.35
5	11.21	1544.16
7	9.66	2173.78

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเมื่อให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ในทิศทางการไหลแบบสวนทางกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

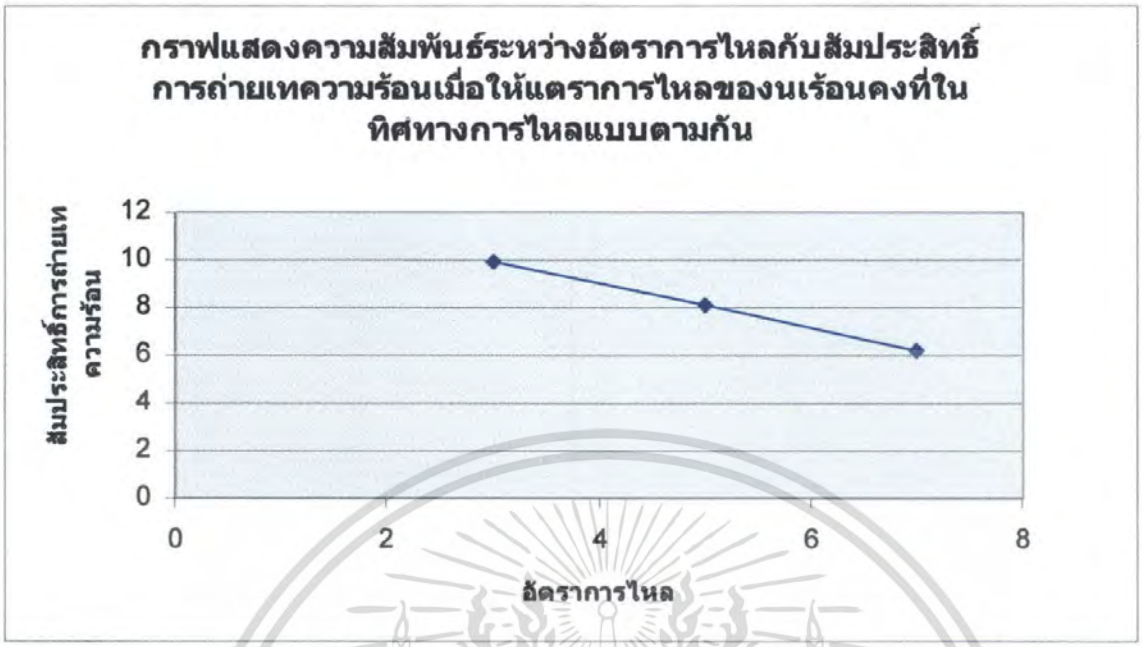
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลอง กรณีที่ 3 ทิศทางการไหลแบบตามกันโดยให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 3 lit/min

น้ำเย็น	T1 (K)	T2 (K)	T3 (K)	T4 (K)
3	305	314	333	317
5	305	310	333	315
7	305	308	333	314

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า ΔTm กับค่า U กรณีที่ 3 ทิศทางการไหลแบบตามกันโดยให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ 3 lit/min

น้ำเย็น (Lit/min)	ΔTm (C°)	U ($w/m^2.K$)
3	11.21	993.18
5	14.28	741.90
7	14.28	623.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเมื่อให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ในทิศทางการไหลแบบตามกัน

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลอง กรณีที่ 4 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดยให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 3 lit/min

น้ำร้อน	T1 (K)	T2 (K)	T3 (K)	T4 (K)
3	305	314	333	317
5	305	317	333	321
7	305	320	333	323

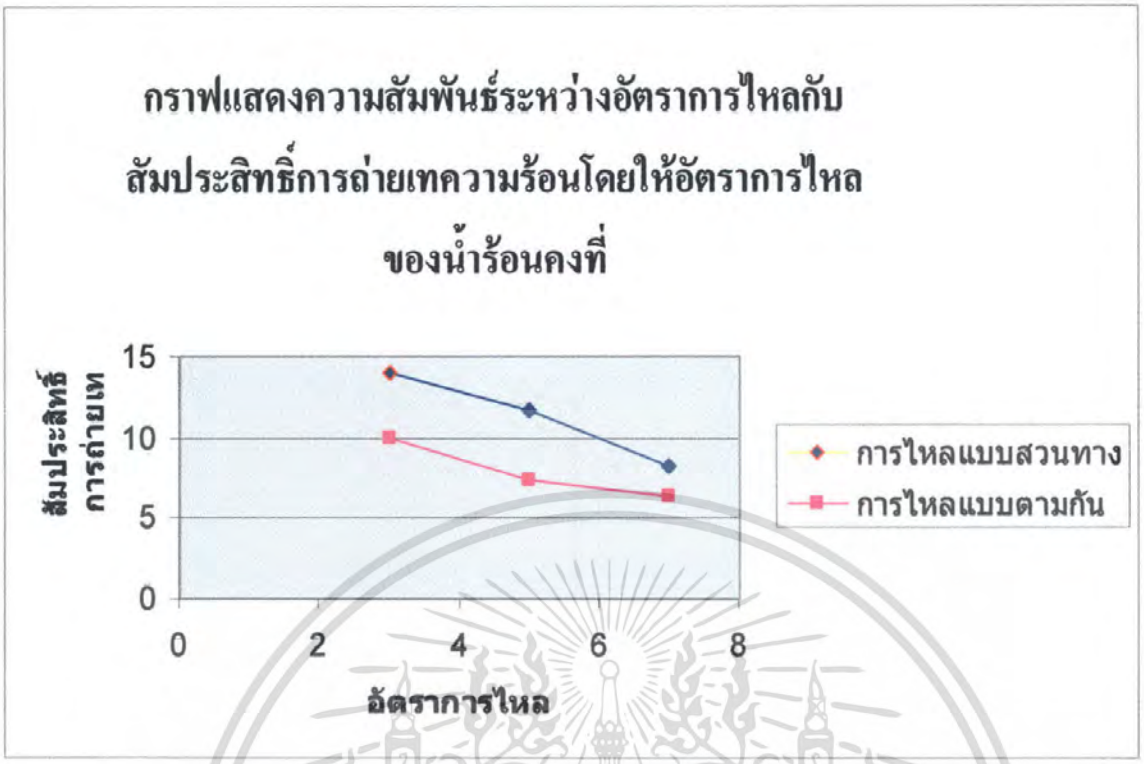
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า ΔT_m กับ U กรณีที่ 4 ทิศทางการไหลแบบสวนทางโดยให้อัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ 3 lit/min

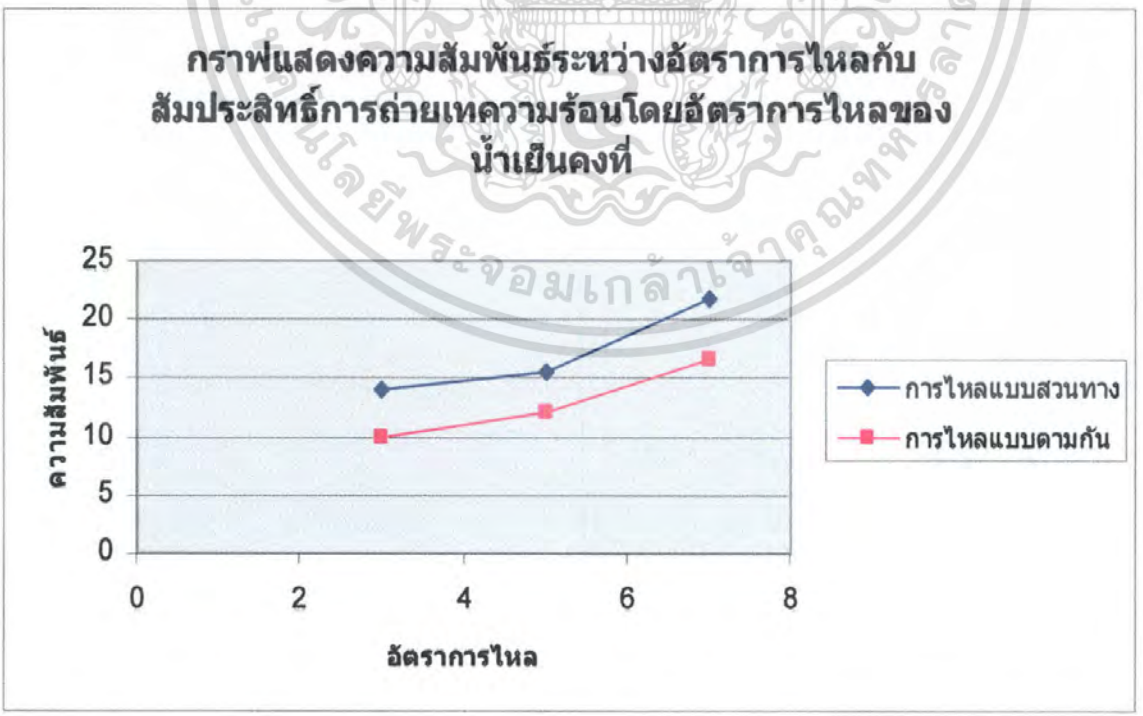
น้ำเย็น (Lit/min)	ΔT_m (C^o)	U ($w/m^2.K$)
3	11.21	993.18
5	14.28	741.90
7	14.28	623.47

รูปที่ 4.6กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเมื่อให้อัตราการไหลของน้ำร้อนคงที่ในทิศทางการไหลตามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยให้อัตราการไหลของน้ำ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยให้อัตราของน้ำเย็นคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณจากผลการทดลอง

การแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางโดยที่น้ำร้อนมีอัตราไหลคงที่ที่ (5x10-5 m3/s) และอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ (1.167x10-4 m3/s)

Heat power emitted = $Q_H \rho_H C_{PC}(T_{Hin}-T_{Hout})$

$=(5x10^{-5}$ m3/s)(9.872x102 Kg/m3)(4.066x103 J/Kg K)(333-315 K)

=3.612 kW

Heat power absorbed = $Q_H \rho_H C_{PC}(T_{Cin}-T_{Cout})$

$=(1.167x10^{-4}$ m3/s)(9.927x102 Kg/m3)(4.068x103 J/Kg K)(309-305 K)

=1.938 kW

Heat power lost = Heat power emitted - Heat power absorbed

=3.612 kw – 1.938 kW

=1.674 kW

Efficiency,η = (Heat power absorbed/Heat power emitted) x 100

=(1.938 kW / 3.612 kW) x 100

=53.65%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Log mean temperature difference ΔTm = $(\Delta T1 - \Delta T2) / \ln (\Delta T1 - \Delta T2)$

=(28K-6K) / ln (28K/6K)

=14.28 K

Overall heat transfer coefficient , U = Heat power absorbed / (heat transmission area xΔTm)

={1.938 kW / (16.32x10-2 m2)} x 14.28 K

=831.6 w/m2 K

Heat transfer rate, QT = $UA\Delta Tm$

=(831.6 w/m2 K)(16.32x10-2 m2)(14.28 K)

=1.938 kW

<u>การคำนวณทางทฤษฎี</u>

อุณหภูมิทางเข้าน้ำเย็น T1=32 °C อุณหภูมิทางออก T2= 36 °C
อุณหภูมิทางเข้าน้ำร้อน T3=60 °C อุณหภูมิทางออก T4= 42 °C
อัตราการไหลน้ำเย็น 7 lit/min = 0.12 kg/s
อัตราการไหลน้ำร้อน3 lit/min = 0.05 kg/s

อุณหภูมิเฉลี่ยด้านน้ำเย็น
(อุณหภูมิเข้าด้านน้ำเย็น + อุณหภูมิออกด้านน้ำเย็น)/2 = (32+36)/2 = 34 °C

อุณหภูมิเฉลี่ยด้านน้ำร้อน
(อุณหภูมิเข้าด้านน้ำร้อน + อุณหภูมิออกด้านน้ำร้อน)/2 = (60+42)/2 = 51 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าคุณสมบัติน้ำเย็นที่ Tc = 34 °C

อัตราการไหล 3/60 = 0.05 kg/s

Cp = 4069 J/kg.K

μ = 7.149x 10-4 N.s/m2

K = 0.6248w/m2.K

Pr = 4.655

หาคุณสมบัติน้ำร้อนที่ Tc = 51 °C

Cp = 4066 J/kg.K

μ = 5.231 x 10-4 N.s/m2

K = 0.6451 w/m2.K

Pr = 3.297

โดยจะหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จากสมการ

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{\frac{h_i d_i}{d_o}} + \frac{x}{\frac{k\, d_{ln}}{d_o}} + \frac{1}{h_o}$$

สำหรับน้ำเย็นที่ไหลในท่อ

$$Re = \frac{4\, m_c}{\P d_i \mu}$$

$$Re = \frac{4x0.12\ kg/s}{\P(0.015m)(7.149x10\text{-}4\ N.s/m2)}$$

Re = 14,248.02

เป็นการไหลแบบ Terbulant

Nu = 0.023 Re4/5 Pr0.4

Nu = 0.023 x 14,2484/5 x 4.6550.4

Nu = 89.467

$$h_i = Nu \frac{K}{d_i}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h_i = 89.467 x 0.6248

0.015

h_i = 3726.59 w/m2.K

สำหรับการไหลในท่อใหญ่

หา ho เราต้องหาเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิก Dh = $D_i - d_o$

Dh = 0.04-0.02

= 0.02

หาค่า Reynolds number

$$Re = \frac{4\,m_h}{\P(D_i-d_o)\mu}$$

$$Re = \frac{4 \times 0.05\ kg/s}{\P(0.04-0.02)(5.231x10-4)}$$

Re = 6088.15

เป็น แบบ Terbulant

$Nu = 0.023\ Re^{4/5}\ Pr^{0.4}$

$Nu = 0.023 \times 6{,}088.15^{4/5} \times 3.297^{0.4}$

Nu = 39.46

$$h_o = Nu\ \frac{K}{di}$$

$$h_o = 39.46 \times \frac{0.6451}{0.02}$$

h_o = 1,272.78 w/m2.K

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_i\ d_i/d_o} + \frac{x}{k\ d_{ln}/d_o} + \frac{1}{h_o}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{3{,}726.59x\ (0.015/0.02)} + \frac{0.005x0.02}{148.77(0.2-0.015)} + \frac{1}{1272.78}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\ln(00.2\text{-}0.015)$$

$$\frac{1}{U_o} = 3.6 \times 10^{-4} + 3.7 \times 10^{-5} + 7.9 \times 10^{-4}$$

$$\frac{1}{U_o} = 10^{-4}(3.6 + 0.37 + 7.9)$$

$$U_o = \frac{1}{11.87 \times 10\text{-}4}$$

$$U_o = 842.46 \text{ w/m2.k}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การจัดทำปัญหาพิเศษได้ทำการวางแผนอย่างเป็นขั้นตอน ซึ่งในส่วนแรกจะทำการศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน กระบวนการทางความร้อนและการถ่ายเทมวล โดยเน้นเป็นพิเศษในส่วนที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชั้น ประกอบด้วยรายละเอียดทางด้านการออกแบบ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อสองชั้นที่สร้างขึ้น สามารถปรับเส้นทางการไหลได้ทั้งสองแบบคือแบบไหลตามและไหลสวนได้ หลักเกณฑ์ในการเลือกสื่อในการนำความร้อนโดยคำนึงถึงปัจจัยด้านการถ่ายเทความร้อน การที่เลือกใช้ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจึงใช้น้ำประปา ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมโดยการออกแบบจะให้ของไหลร้อนอยู่ภายนอกส่วนของไหลเย็นให้อยู่ในท่อเล็กโดยเครื่องสามารถดูแลรักษาได้ง่ายเนื่องจากเป็นข้อต่อสามารถถอดประกอบหรือทำความสะอาดคราบสกปรกหรือตะกรัน ได้

ในส่วนที่สอง เป็นการทดลองเมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับU จะพบว่าระหว่างการไหลแบบสวนทางกันกับการไหลแบบทางเดียวกันจะสังเกตได้ว่า ค่าUของอัตราการไหลแบบสวนทางกันจะมากกว่าอัตราการไหลแบบทางเดียวกัน

จากการคำนวณหาค่า U ของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการคำนวณจากทางทฤษฎีและการคำนวณทางปฏิบัติ จะเห็นได้ว่า ค่า U ของการคำนวณทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันมากแสดงว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพที่ดีเหมาะแก่การนำไปใช้ในการทดลอง

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าUที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าU ที่ทำการคำนวณทางทฤษฎี โดยมีแนวโน้มของข้อมูลเป็นไปทางเดียวกันและมีความสอดคล้องกับทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน จึงวิเคราะห์หาสาเหตุความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าไม่แน่นอน ในการทดลองจะทำในช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจากหากทดลองที่ช่วงเวลาต่างกันน้ำจากระบบท่อย่อยมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน

2. เนื่องจากเป็นการทดลองที่ต้องการลักษณะการไหลของน้ำที่ไหลเต็มท่อตลอดเวลา แต่ในบางครั้งก็มีฟองอากาศไหลเข้ามาพร้อมกระแสน้ำ ในการทดลองตอนเริ่มต้นจึงต้องทำการไล่อากาศออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความผิดพลาดส่วนหนึ่งเกิดจากการติดตั้งตำแหน่งของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ โดยตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์มิได้อยู่ในตำแหน่งต้องการวัดอย่างแท้จริง เช่น อุณหภูมิของน้ำร้อนขาเข้าต้องวัดให้อยู่ใกล้ถังน้ำร้อนมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. การสูญเสียความร้อนจากตัวเครื่องเนื่องจากท่อที่ใช้ในการประกอบเครื่อง ไม่มีฉนวนในการห่อหุ้มท่อไว้จึงทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน ดังนั้นควรมีฉนวนหุ้มท่อเหล็กไว้เพื่อลดการสูญเสียความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2. โรตามิเตอร์ มีระดับอัตราการไหล 1-7 lit/min ทำให้มีข้อจำกัดในการทดลองและมีผลกระทบต่อการคำนวณทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

นายธีรยุทธ น้อยดา ,2543, เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น,กรุงเทพฯ,
ห้องสมุดกลางสถาบันเทคโนโรยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ หน้า 1-48

http://mte.kmutt.ac.th/mte_learning/heat%20transfer(heat%20exchanger)/topicm 7 7.h tml

http://www.eng.su.ac.th/me/eLearning/HeatTransfer/Chapter9.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้