บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

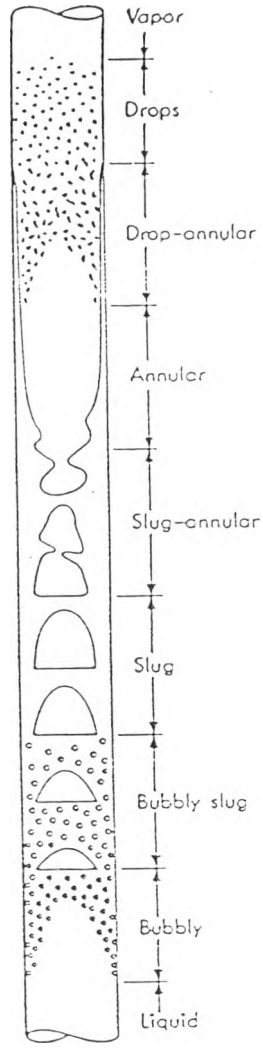
การศึกษาวิจัยในเรื่องของของไหลสถานะเดี่ยว (single-phase flow) ได้รับความสนใจกันเป็นอย่างมาก ตั้งแต่ในอดีต จนถึงปัจจุบัน ซึ่งมีผู้ศึกษาวิจัยในแง่มุมต่างๆ ไว้อย่างมากมาย ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากความสำคัญที่มีเป็นอย่างมากของของไหลสถานะเดี่ยวที่เข้ามามีส่วนในกระบวนการผลิตในงานด้านอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม การศึกษาในเรื่องของของไหลสองสถานะ (two-phase flow) กับได้รับความสนใจน้อยมาก ทั้งๆที่ ของไหลสองสถานะก็มีบทบาทในงานด้านอุตสาหกรรมไม่น้อยไปกว่าของไหลสถานะเดี่ยวเลย ซึ่งมักจะเห็นกันอยู่เสมอ ตัวอย่างเช่น ลักษณะของน้ำยาทำความเย็นใน evaporator ลักษณะของของไหลในเตาปฏิกรณ์ของโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้ระบบหล่อเย็นแบบฉีดพ่น (spray cooling system) และลักษณะของของไหลในเครื่องกำเนิดไอน้ำที่ใช้ระบบ de-superheating system เป็นต้น จากที่ได้กล่าวมา จะเห็นว่า ของไหลสองสถานะมีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากในงานอุตสาหกรรมไม่น้อยไปกว่าของไหลสถานะเดี่ยว แต่ที่มีผู้ให้ความสนใจกันน้อยมาก อาจเป็นเพราะความซับซ้อนของลักษณะทางกายภาพของของไหลสองสถานะ ที่ยากต่อการคาดเดา และเป็นเรื่องยากที่จะศึกษาและ วิเคราะห์ของไหลสองสถานะในด้านต่างๆ เพื่อที่จะให้ผลตรงกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติ แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีผู้นำเสนอวิธีที่จะใช้ในการศึกษาการไหลของของไหลสองสถานะเอาไว้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งวิธีหนึ่งที่พบว่ามีความเหมาะสม และได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ก็คือ วิธีที่เรียกว่า simple analysis model วิธีดังกล่าวนี้เป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ของไหลสองสถานะที่ไม่ยุ่งยาก ซึ่งเริ่มต้นด้วยการกำหนดรูปแบบจำลองของปัญหา โดยอาศัยการตัดรายละเอียดบางอย่างของของไหลสองสถานะที่เห็นว่าไม่มีความสำคัญ หรือ มีความสำคัญน้อยมากออกไป เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ซึ่งจากการใช้วิธีดังกล่าวนี้พบว่าผลที่ได้สามารถนำมาใช้ได้ในทางปฏิบัติ

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของของไหลสองสถานะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงเกิดงานวิจัยนี้ขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาและ

วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของของไหลสองสถานะ ภายใน thermal entrance region ของท่อกลม ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และกำหนดให้ลักษณะทางกายภาพของการไหลมีลักษณะที่เรียกว่า droplet flow โดยผลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำมาพัฒนาในงานด้านอุตสาหกรรมที่มีความเกี่ยวข้อง และเป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัย ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลสองสถานะต่อไป

ความหมายของของไหลสองสถานะ

ของไหลสองสถานะ หมายถึง ของไหลที่ประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีสถานะแตกต่างกันสองสถานะ ซึ่งได้แก่ สถานะของเหลวกับสถานะไอ , สถานะของเหลวกับสถานะของแข็ง และสถานะไอกับสถานะของเหลว อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยองค์ประกอบทั้งสองจะมีคุณสมบัติทางเคมี เช่นเดียวกันหรือไม่ ก็ได้ และโดยส่วนใหญ่ได้แบ่งลักษณะขององค์ประกอบดังกล่าวตามลักษณะทางกายภาพออกเป็นสองลักษณะด้วยกันคือ 1. องค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง และ 2. องค์ประกอบที่ไม่มีความต่อเนื่อง นอกจากนี้ ของไหลสองสถานะ ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสถานะไอ และองค์ประกอบสถานะของเหลว สามารถแบ่งออกตามลักษณะทางกายภาพของการไหล ได้ 7 ลักษณะด้วยกันคือ 1. Bubbly flow, 2. Bubbly-slug flow , 3. Slug flow, 4. Slug-annular flow, 5. Annular flow, 6. Droplet-annular flow และ 7. Droplet flow โดยในแต่ละลักษณะจะมีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะเห็นตัวอย่างได้อย่างชัดเจนจากลักษณะของไหลใน evaporator ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ลักษณะทางกายภาพของของไหลใน evaporator

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้พิจารณาของไหลสองสถานะที่มีลักษณะทางกายภาพแบบ droplet flow ซึ่งการไหลของของไหลสองสถานะในลักษณะนี้จะประกอบด้วยองค์ประกอบที่มีสถานะไอ และสถานะของเหลว โดยองค์ประกอบที่มีสถานะไอจะเป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง และองค์ประกอบที่มีสถานะของเหลวเป็นองค์ประกอบที่ไม่มีความต่อเนื่อง ซึ่งองค์ประกอบที่มีสถานะของเหลวจะมีลักษณะเป็นละอองน้ำขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในองค์ประกอบที่มีสถานะไอที่มีลักษณะเป็นไอน้ำร้อนยิ่งยวด นอกจากนี้ ในการไหลของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะแบบ droplet flow จะมีค่า void fraction (α) หรืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรขององค์ประกอบที่มีสถานะไอต่อปริมาตรของพื้นที่การไหลจะมีค่าสูงมาก หรืออาจ

กล่าวได้ว่ามีค่าเข้าใกล้หนึ่ง นั่นหมายความว่า ปริมาตรขององค์ประกอบที่มีสถานะไอจะมีค่ามากกว่าปริมาตรของละอองน้ำมาก ซึ่งค่า void fraction จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ (1.1)

$$\alpha = \frac{\vartheta_v}{area \times length} \tag{1.1}$$

โดย ϑ_v แทนปริมาตรขององค์ประกอบที่มีสถานะไอ ส่วน *area* แทนพื้นที่หน้าตัดของการไหล ซึ่งถ้าเป็นการไหลในท่อกลม ก็จะมีค่าเท่ากับ πr_0^2 และ *length* แทนระยะทางตามทิศการไหล ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็คือความยาวของท่อกลมนั้นเอง

ข้อจำกัดที่สำคัญของงานวิจัยนี้ คือ การศึกษาและวิเคราะห์ในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนภายในระบบของการไหลของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet flow ภายใน thermal entrance region ของท่อกลมเท่านั้น โดยการพิจารณาองค์ประกอบที่มีสถานะของเหลวหรือละอองน้ำ ให้เสมือนเป็น heat sink หรือแหล่งรับความร้อนที่กระจายตัวอยู่ในองค์ประกอบที่มีสถานะไอที่อยู่ในสภาพไอน้ำร้อนยิ่งยวด โดยละอองน้ำจะอยู่ในสภาวะของเหลวอิ่มตัวเสมอ และจะระเหยตัวกลายเป็นไอที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งไอน้ำที่ระเหยตัวออกมาจากละอองน้ำจะเข้าผสมกับไอน้ำร้อนยิ่งยวด นอกจากนี้ได้กำหนดให้ velocity profile ของการไหล เป็นแบบ parabolic velocity profile และ Langhaar velocity profile โดยพิจารณาให้โมเมนตัมละอองน้ำไม่มีผลต่อค่าโมเมนตัมของไอน้ำร้อนยิ่งยวด และกำหนดให้ผลของการระเหยตัวของละอองน้ำ ไม่กระทบต่อ velocity profile ของการไหล

ในการหาความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนในงานวิจัยนี้ จะต้องสร้างสมการพลังงาน และสมการที่เกี่ยวข้องขึ้นมา โดยอาศัยรูปแบบจำลอง และข้อกำหนดที่กำหนดขึ้น และเมื่อได้สมการพลังงานและสมการที่เกี่ยวข้องแล้ว ในการแก้สมการเพื่อหาผลลัพธ์ ได้อาศัยวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์ (finite difference method) มาใช้ในการแก้ปัญหาสมการ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ และความเปลี่ยนแปลงอันมีผลมาจากการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำ , การเปลี่ยนแปลงของความเร็วของไอน้ำร้อนยิ่งยวด และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยิ่งยวด และ เพื่อให้การคำนวณนั้น เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรง จึงได้อาศัยการเขียน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในงานวิจัยนี้ โดยเขียนด้วยโปรแกรม ภาษาฟอร์แทรน เนื่องจากเป็นภาษาที่ง่ายต่อความเข้าใจ และ มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการคำนวณ

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 **Lee and Ryley (1968)** ได้ศึกษา และทดลองปรากฏการณ์การระเหยตัวของละอองน้ำที่ไหลในไอน้ำร้อนยิ่งยวด สำหรับละอองน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 230-1130μ โดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่า droplet reynolds number ในช่วง 64-250 ที่ความดันไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 14.7-29 psia อุณหภูมิไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 5-61 degF° และความเร็วไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 9-39 fps ทำให้ได้ความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนของละอองน้ำในไอน้ำร้อนยิ่งยวดในรูปของค่า Nusselt number มีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Nu = 2 + 0.74Re^{0.5}Pr^{0.33} \qquad (1.2)$$

1.2.2 **Sun ,Santalo และ Tien (1976)** ได้นำเสนอวิธีคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับละอองน้ำที่ไหลภายในไอน้ำร้อนยิ่งยวดผ่านแผงท่อ (tube bundle) โดยได้สร้างสมการพลังงานขึ้นมาโดยพิจารณาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนไว้ในสมการพลังงาน และศึกษาการถ่ายเทความร้อนของการไหลของของไหลสองสถานะ ในช่วง fully-developed velocity profile ซึ่งได้กำหนดให้ velocity profile ของไอน้ำเป็นแบบ parabolic velocity profile และ กำหนดให้ค่า temperature gradient ของไอน้ำที่แกนกลางของท่อมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งได้สมมุติให้แผงท่อ เปรียบเสมือนเป็นช่องที่วางตัวในแนวขนาน (parallel subchannel) โดยช่องแต่ละช่องถือว่าเป็น หนึ่งยูนิตเซล โดยผลที่ได้พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับแผงท่อ ที่เปรียบเสมือนช่องในแนวขนานกันนั้นจะให้ค่าเหมือนกับท่อกลมเดี่ยวที่มีค่า hydraulic diameter เท่ากัน

1.2.3 **Yao (1979)** ได้นำ the heat sink concept มาใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับละอองน้ำที่ไหลผ่านเข้าไปในไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ไหลภายในท่อกลม ซึ่งได้

กำหนดให้ละอองน้ำมีขนาดเล็กมากจนไม่ต้องคิดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำตลอดตามแนวยาวของท่อ โดยกำหนด droplet parameter (B) โดยมีค่าเท่ากับ $\beta r_0^2/k$ ซึ่งเป็นกลุ่มตัวแปร ที่แสดงถึงขนาดของละอองน้ำ และศึกษาอิทธิพลของ droplet parameter (B) ที่มีต่อค่า local Nusselt number ซึ่งพบว่า ค่า droplet parameter(B) ที่มีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า local Nusselt number มีค่ามากขึ้นด้วย

1.2.4 **Wong และ Hochreiter (1980)** ได้ทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับละอองน้ำที่ไหลผ่านเข้าไปในไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ไหลอยู่ภายนอกท่อสำหรับท่อที่เรียงตัวกันเป็นสี่เหลี่ยม และที่ไหลภายในท่อวงแหวนเดี่ยวและท่อกลมเดี่ยว โดยทั้ง 3 ลักษณะจะมีค่า hydraulic diameter เท่ากัน และจากการนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ทำให้ทราบว่า ความสัมพันธ์ในการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อเรียงตัวเป็นสี่เหลี่ยมจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับกรณีของท่อวงแหวนเดี่ยว มาก ส่วนท่อกลม จะมีความแตกต่างจากลักษณะอื่นมาก

1.2.5 **Rane และ Yao (1980)** ได้ทำการศึกษาการพาความร้อนของการไหลของของไหลสองสถานะแบบราบเรียบ ภายในท่อกลม ในสภาวะที่มีความดันต่ำ ซึ่งค่า latent heat และ ค่า void fraction ที่ความดันต่ำนั้น จะมีค่าสูง ดังนั้นจึงได้พิจารณาให้ละอองน้ำมีขนาดคงที่ แต่ความเร็วของไอน้ำจะเพิ่มขึ้นตลอดแนวยาวท่อ อันเนื่องมาจากการลดลงของความหนาแน่นของละอองน้ำ

1.2.6 **Hwang (1990)** ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อน สำหรับการไหลแบบ droplet flow ภายใน thermal entrance region ของแผงท่อ โดยการใช้ free surface model มาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อน และผลกระทบที่ได้รับจากการถ่ายเทความร้อน ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำ และ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของไอน้ำร้อนยิ่งยวดด้วย โดยทำการวิเคราะห์ในกรณีที่แตกต่างกันคือ 1. กำหนดให้อุณหภูมิผนังท่อมีค่าคงที่ และ 2.กำหนดให้ heat flux ที่ผนังท่อมีค่าคงที่ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลที่ได้รับจาก liquid loading parameter(A) ,heat sink parameter(S) และ wall superheat parameter(C) โดย parameter แต่ละตัวมีค่าดังต่อไปนี้

1. $A = n_0\pi d_0^3(\rho_l/\rho_v)/6$. เป็น parameter ที่บ่งบอกถึง จำนวนของละอองน้ำในไอน้ำร้อนยิ่งยวด
2. $S = n_0\pi d_0^2 h_{p0} r_0^2/k$ เป็น parameter ที่บ่งบอกถึง ระดับเชิงการกระจายตัวของละอองน้ำในไอน้ำร้อนยิ่งยวด
3. $C = C_p(T_w-T_s)/h_{fg}$ เป็น parameter ที่บ่งบอกถึง ระดับของอุณหภูมิผนังท่อที่สูงเกินกว่าอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัว

1.2.7 **Ganic และ Rohsenow (1979)** ได้ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของละอองน้ำ ในการไหลสองสถานะ ในลักษณะ disperse flow โดยพบว่าในสภาวะการไหลแบบราบเรียบละอองน้ำจะมีการเคลื่อนที่ในแนวรัศมี อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในแนวรัศมี และความแตกต่างของความเร็ว และละอองน้ำจะเคลื่อนตัวในทิศทางออกจากผนังท่อ เมื่ออัตราการระเหยตัวของละอองน้ำที่ติดกับผนังท่อไม่คงที่ ดังนั้นละอองน้ำที่เคลื่อนตัวในแนวรัศมี จะมีบางส่วนเคลื่อนที่เข้าหาผนังท่อ และบางส่วนเคลื่อนที่ออกจากผนังท่อ ทำให้เกิดการผสมผสานกันในแนวรัศมี ทำให้ประมาณได้ว่าอัตราการระเหยตัวของละอองน้ำมีค่าเท่ากันที่หน้าตัดหนึ่งๆของท่อ จึงสรุปได้ว่าขนาดของละอองน้ำจะมีค่าเท่ากันที่หน้าตัดหนึ่งๆของท่อ ถ้ากำหนดให้ขนาดละอองน้ำที่ทางเข้าขนาดเท่ากัน

1.2.8 **Langhaar** (1942) ได้ศึกษา velocity profile ของของไหลสถานะไอ ภายในท่อกลม โดยอาศัยสมการ Navier Stokes equation พบว่า การไหลของของไหลสถานะไอภายในท่อกลมจากตำแหน่งทางเข้าของท่อ จนถึงจุดที่ velocity boundary layer ของของไหลถึงจุดกึ่งกลางท่อ ซึ่งเรียกช่วงดังกล่าวนี้ว่า hydrodynamic entry length พบว่า velocity profile ในช่วงดังกล่าวจะเป็นฟังก์ชันของระยะตามแนวแกนท่อ และแนวรัศมีของท่อ โดยมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$u = \left(\frac{I_0(\gamma) - I_0(R\gamma)}{I_2(\gamma)}\right)V \qquad (1.3)$$

โดย

$$I_n(P)=\frac{P^n}{2^n}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{P^{2m}}{4^m m!(m+n)!} \qquad (1.3.1)$$

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ก็เพื่อหาความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet flow ภายใน thermal entrance region ของท่อกลม ภายใต้สภาวะการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาการถ่ายเทความร้อนนี้จะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายในระบบ ดังต่อไปนี้

1.3.1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของไอน้ำร้อนยิ่งยวดในแนวตามยาวของท่อ อันเนื่องมาจากการระเหยตัวของละอองน้ำกลายเป็นไอ จนถึงจุดที่ละอองน้ำระเหยตัวหมด

1.3.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำ ในทิศตามแนวยาวท่อ

1.3.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยิ่งยวด

1.3.4 ทำนายการเปลี่ยนแปลงของค่า local Nusselt number ในทิศตามแนวยาวท่อ

1.3.5 อิทธิพลของ velocity profile ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ระหว่าง Langhaar velocity profile กับ parabolic velocity profile

ในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดกลุ่มตัวแปรขึ้นมา 3 ตัวด้วยกัน ซึ่งได้แก่ 1. Heat sink parameter (S) 2. Liquid loading parameter (A) และ3. Wall superheat parameter (C) ตามที่ได้แสดงไว้ในงานวิจัยของ Hwang (1990) ซึ่งกลุ่มตัวแปรทั้งสามตัวนี้ จะถูกวิเคราะห์ว่าจะมีอิทธิผลต่อการถ่ายเทความร้อนของระบบหรือไม่อย่างไร

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้ จะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและผลที่เกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนของการไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet

flow ภายใน thermal entrance region ของท่อกลม ภายใต้สภาวะการไหลแบบราบเรียบเท่านั้น โดยกำหนดให้ผนังท่อมีอุณหภูมิคงที่ นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลระหว่างการพิจารณา velocity profile ในช่วง hydrodynamic region กับ การกำหนดให้ การไหลอยู่ในช่วง fully developed velocity profile ตลอดการไหล โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำอันเนื่องมาจากผลของการระเหยตัว ซึ่งก็คือการกำหนดให้ขนาดของละอองน้ำมีค่าไม่คงที่ตลอดตามแนวยาวท่อ จนระเหยตัวหมด

นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาอิทธิที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนที่ได้รับจากกลุ่มตัวแปรที่กำหนดขึ้นคือ 1. Heat sink parameter (S) 2. Liquid loading parameter (A) และ 3. Wall superheat parameter (C) โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากกลุ่มตัวแปรดังกล่าวขนาดต่างๆกัน ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. Heat sink parameter (S) ในช่วง 0-120
2. Liquid loading parameter (A) ในช่วง 0.2-1.0
3. Wall superheat parameter (C) ในช่วง 0.1-10

ช่วงของค่า parameter ทั้งสามตัวได้จากข้อกำหนดที่กำหนดไว้ในงานวิจัยนี้ โดยได้พิจารณาที่ค่าความดันระหว่าง 0.1 MPa – 60 MPa อุณหภูมิผนังท่อที่ 220-1200 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไม่ทำให้เกิดฟิมล์เหลวที่ผนังท่อ สำหรับขนาดของละอองน้ำจะมีค่าไม่เกิน 200 μm เพื่อที่จะมีผลต่อ โมเมนตัมของไอน้ำร้อนยิ่งยวด น้อยมาก และ ต้องมีค่า reynolds number น้อยกว่า 1000 นอกจากนี้ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของละอองน้ำ และ ไอน้ำร้อนยิ่งยวดต้องมีค่าน้อยกว่า 1

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีจากตำราวิชาการหรือเอกสารต่างๆ

1.5.2 กำหนดรูปแบบจำลอง และข้อกำหนดของปัญหา

1.5.3 สร้างสมการพลังงานของการไหลของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet flow ภายใน thermal entrance region ของท่อกลม

1.5.4 สร้างสมการการเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำ และ สมการแสดงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง

1.5.5 แก้ปัญหาโดยใช้วิธีไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์

1.5.6 เขียนโปรแกรมการคำนวณ ด้วยภาษาฟอร์แทรน

1.5.7 ทำการวิเคราะห์ และ เปรียบเทียบผลที่ได้กับผลจากงานวิจัยของ Shi-chune Yao (1979) ในกรณีที่มีข้อกำหนดเช่นเดียวกัน เพื่อยืนยันความถูกต้องของงานวิจัยนี้

1.5.8 สรุปผลของงานวิจัย และ อธิบายข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์

1.6 ความสำคัญ หรือ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. มีความเข้าใจในเรื่องของการถ่ายเทความร้อน ของการไหลของของไหลสองสถานะที่มีลักษณะการไหลแบบ droplet flow ภายใน Thermal entrance region ของท่อกลม ภายใต้สภาวะการไหลแบบราบเรียบ

2. ทำให้เข้าใจถึงอิทธิพลที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน ที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของขนาด และความหนาแน่นของละอองน้ำ เพื่อนำไปพัฒนาการทำงานของระบบ spray cooling system และในงานที่เกี่ยวข้อง

3. ทำให้ทราบปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลง ที่เกิดขึ้นในระบบ ได้แก่ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงขนาดของละอองน้ำ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยของไอน้ำร้อนยิ่งยวด ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบ spray cooling system ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ