

บทที่ 4

การทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการทดลองนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดที่ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนทำระเหย และชุดที่ศึกษารูปแบบการไหลในส่วนควบแน่น โดยทั้ง 2 ชุดจะมีอัตราการเดินสาร 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย ควบคุมอุณหภูมิน้ำเข้าส่วนทำระเหยที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80°C และทำการทดลองเปลี่ยนมุมเอียงท่อเทอร์โมไซฟอนจาก 30 องศา จนถึง 90 องศา จากแนวระดับ โดยมีผลการทดลอง ดังนี้

ลักษณะการไหลของสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนขณะทำงาน

เมื่อให้ความร้อนที่ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนจนสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือด สารทำงานจะเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอลอยขึ้นด้านบน ผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนไปควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ส่วนควบแน่นและไหลย้อนกลับลงมาเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนอีกครั้ง และถ้าอุณหภูมิส่วนที่ ทำระเหยสูงขึ้นเรื่อยๆ ความเร็วของไอเนื่องจากการเดือดภายในท่อเทอร์โมไซฟอนก็จะมากขึ้นเรื่อยๆ จนสามารถเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานในลักษณะต่างๆ โดยรูปแบบการไหลในแนวตั้งและแนวเอียงจะมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้เช่น รูปแบบการไหลของ Slug flow คือ ที่แนวตั้งเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ฟองไอลอยขึ้นจะเริ่มจับตัวกันเป็นลักษณะของหัวลูกกระสุนปืน แล้วพุ่งขึ้นสู่ด้านบนตามแนวแกนของท่อเทอร์โมไซฟอนเนื่องจากผลกระทบแรงลอยตัวจากแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวเอียงรูปแบบการไหลมีลักษณะคล้ายหัวกระสุน แต่ฟองไอจะมีลักษณะไม่สมมาตร โดยแกนของฟองไอจะไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเทอร์โมไซฟอนแล้วลอยขึ้นสู่ด้านบนตามแนวแกนของท่อเทอร์โมไซฟอน ส่วนรูปแบบการไหลของ Churn flow คือเนื่องจากความเร็วในการไหลเพิ่มมากขึ้นอีกทำให้ไอส่วนที่เป็นลักษณะกระสุนเกิดการแตกออก นำมาซึ่งความไม่เสถียรภายในท่ออาจจะทำให้ท่อเกิดการสั่นได้ แต่ในกรณีที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ก การสั่นนี้อาจไม่เกิดขึ้น โดยในแนวตั้งลักษณะของฟองไอจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนโดยมีลักษณะที่เท่ากัน แต่ในแนวเอียงจะมีลักษณะของฟองไอเกาะที่ผิวด้านบนโดยที่ผิวด้านล่างจะเป็นการไหลของสารทำงาน และในรูปแบบการไหลของ Annular flow คือ การไหลในช่วงนี้มีความเร็วจนกระทั่งของเหลวจะไหลขึ้นไปตามผิวท่อเป็นฟิล์มของเหลวส่วนที่เป็น ไอจะ

ไหลอยู่ตรงกลางของท่อ โดยในแนวตั้งลักษณะของฟิล์มของเหลวรอบผิวท่อเทอร์โมไซฟอนจะมีความหนาที่เท่ากัน แต่ในแนวเอียงลักษณะจะแตกต่างออกไปคือ ฟิล์มของเหลวด้านล่างจะหนากว่าที่ผิวด้านบน และจะมี mass flux สูงมาก มีผลทำให้ค่าความต้านทานความร้อนภายในเทอร์โมไซฟอน (Z_3 ถึง Z_7 ในรูปที่ 2.2) มีค่าน้อยลง ทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนนั้นส่งผ่านความร้อนได้ดีขึ้นด้วย

4.1 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในท่อเทอร์โมไซฟอน และค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

4.1.1 กรณีที่อัตราการเดินสาร 30%

- มุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับ

ในช่วงอุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นยัง ไม่มีการเดือด แต่เกิดการระเหยของสารทำงานทำให้สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.1 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน เริ่มมีการทำงานแล้ว โดยจะสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.1 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลสารทำงานยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.1 (ณ) (ญ) (ฎ) และ (ฏ)

- มุมเอียง 50 องศา จากแนวระดับ

ในช่วงอุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นยัง ไม่มีการเดือด แต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.2 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นสารทำงานเป็นน้ำกลั่นสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้ว โดยจะสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.2 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลสารทำงานยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ยกเว้นที่อุณหภูมิ 60 °C สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ดังรูปที่ 4.2 (ณ) (ญ) (ฎ) และ (ฏ) จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนได้

(ก) $T_e = 50^\circ\text{C}$

(ข) $T_e = 60^\circ\text{C}$

(ค) $T_e = 70^\circ\text{C}$

(ง) $T_e = 80^\circ\text{C}$

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

(จ) $T_e = 50^\circ\text{C}$

(ฉ) $T_e = 60^\circ\text{C}$

(ช) $T_e = 70^\circ\text{C}$

(ซ) $T_e = 80^\circ\text{C}$

(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

(ฉ) $T_c = 50^\circ\text{C}$

(ฅ) $T_c = 60^\circ\text{C}$

(ฉ) $T_c = 70^\circ\text{C}$

(ญ) $T_c = 80^\circ\text{C}$

(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.1 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มี อัตราการเติม 30% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 30 องศา

$T_c = 50^\circ\text{C}$

(ก)

$T_c = 60^\circ\text{C}$

(ข)

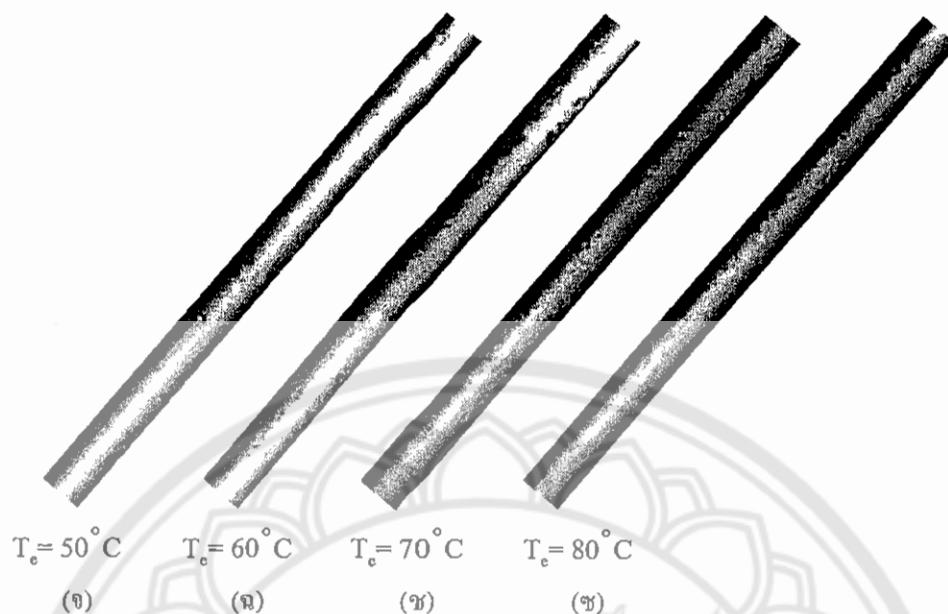
$T_c = 70^\circ\text{C}$

(ค)

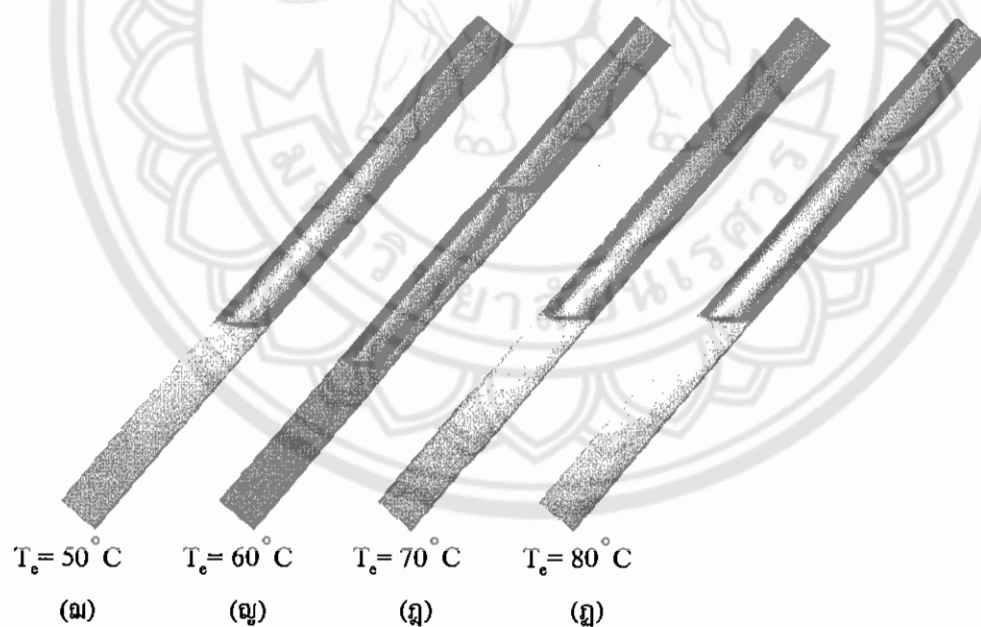
$T_c = 80^\circ\text{C}$

(ง)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

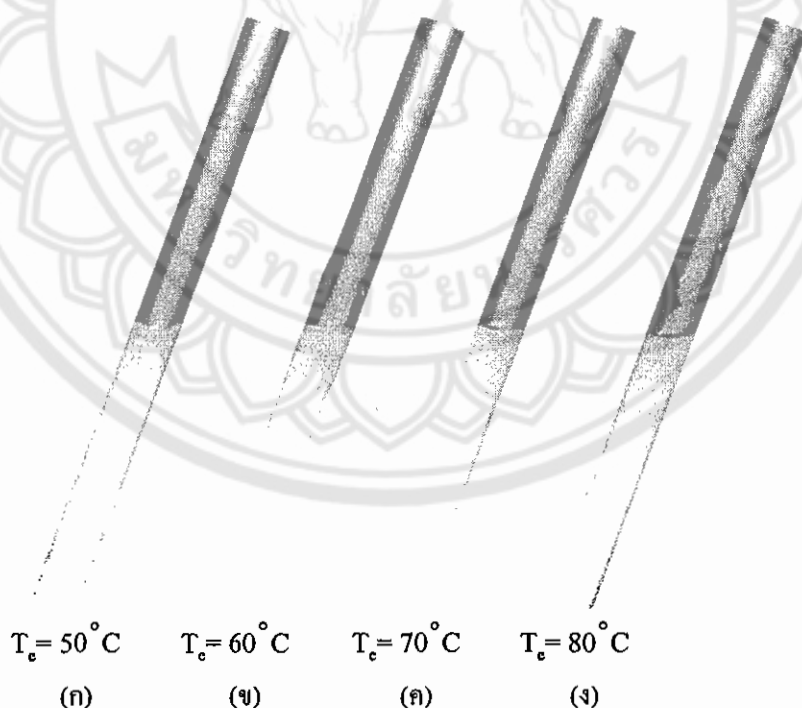


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

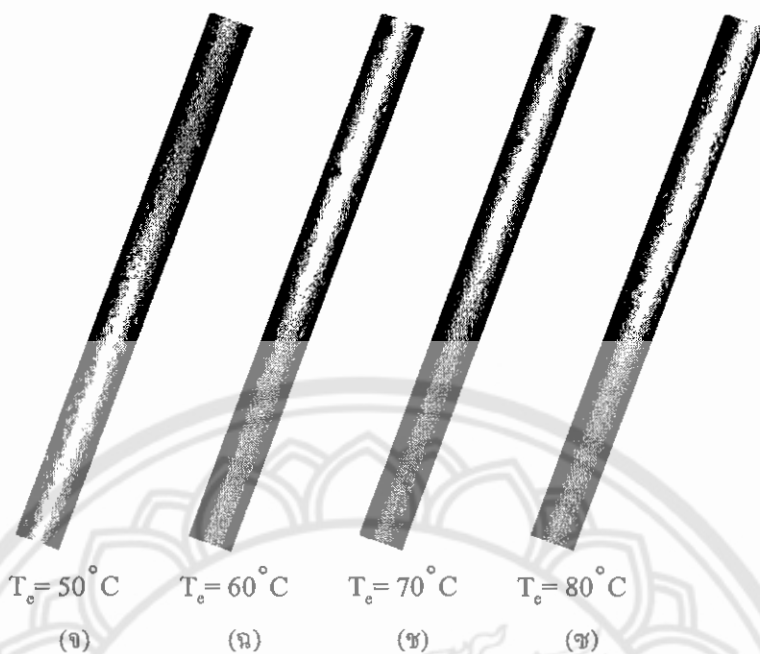
รูปที่ 4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 50 องศา

- มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับ

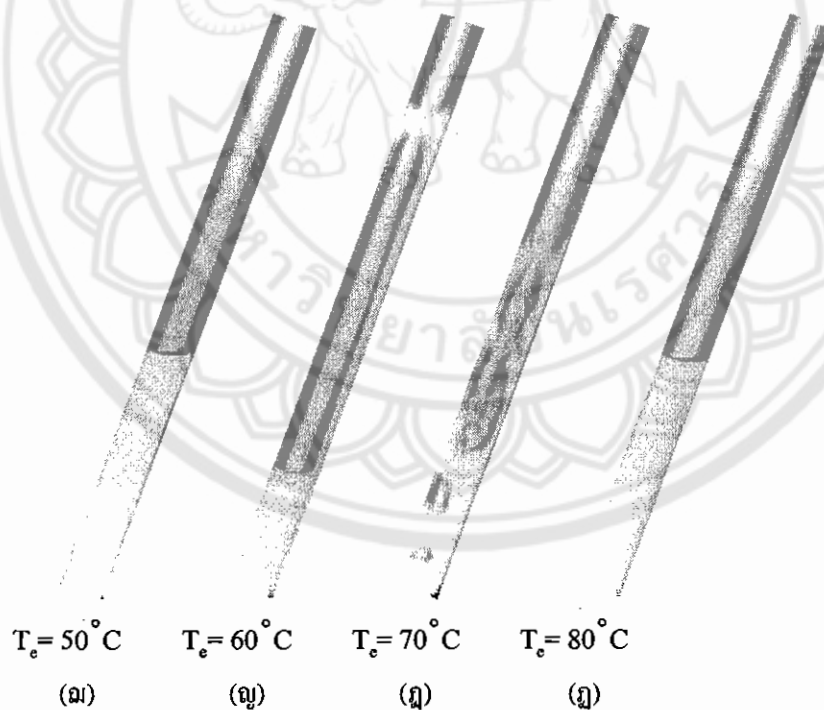
ที่ช่วงอุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด แต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ยกเว้นที่อุณหภูมิ 50 °C ไม่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำที่เกาะผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 4.3 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในกรณีส่วนควบแน่นสารทำงานเป็นน้ำกลั่นสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.3 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลสารทำงานยังไม่มีเกิดการเดือด ยกเว้นที่อุณหภูมิ 60 °C สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับหัวกระสุนพุ่งด้านบน และที่อุณหภูมิ 70 °C สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Bubble flow แล้วจึงเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ดังรูปที่ 4.3 (ณ) (ญ) (ฎ) และ (ฏ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

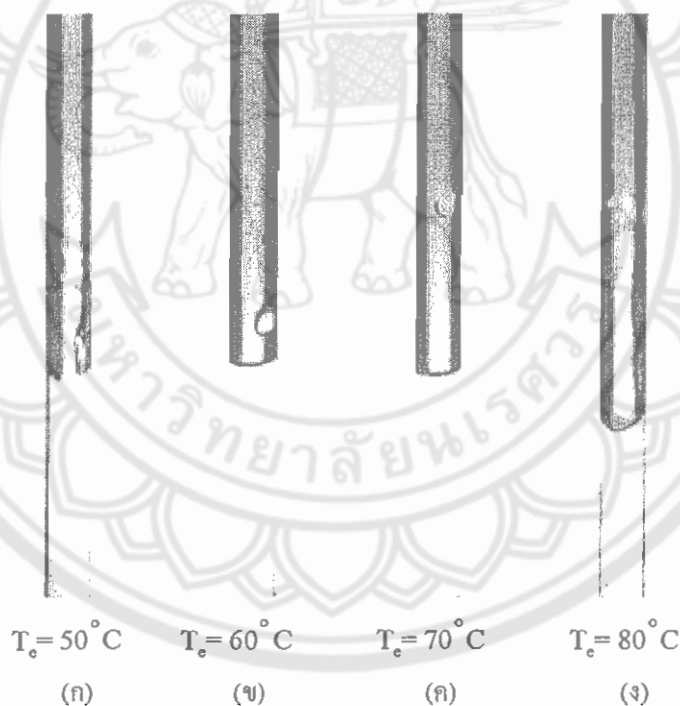


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

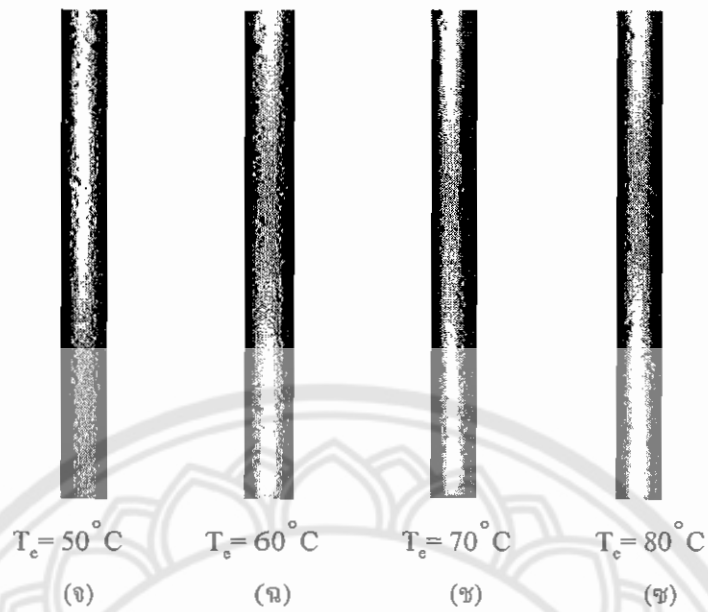
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา

- มุมเอียง 90 องศา จากแนวระดับ

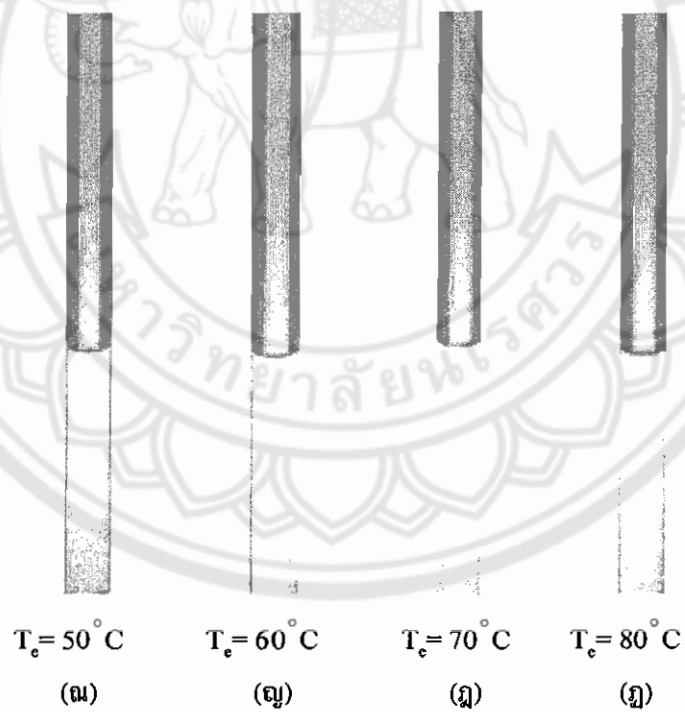
ในช่วงอุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด แต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.4 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.4 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลสารทำงานยังไม่มีเกิดการเดือดหรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 4.4 (ณ) (ญ) (ฉ) และ (ฎ) จึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนได้



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.4 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มีอัตราการเติม 30% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 90 องศา

4.1.2 กรณีที่อัตราการเติมสาร 50%

- มุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับ

ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด ดังรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข) แต่ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow เพียงช่วงเวลาเล็กน้อยในตอนต้นๆต่อนั้นจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นการไหลแบบปั่นป่วนไม่มีความเสถียรดังรูปที่ 4.5 (ค) และ (ง) ในกรณีส่วนควบแน่นสารทำงานเป็นน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.5 (จ) ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C เริ่มมีการเดือดของสารทำงานแล้วโดยจะสังเกตเห็นการไหลของสารทำงานที่เกิดจากการควบแน่นไหลกลับลงมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.5 (ฉ) และ (ช) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C ยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ยกเว้นที่อุณหภูมิ 70 °C โดยในตอนเริ่มต้น จะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ค่อยๆเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow โดยในบางช่วงเวลาอาจจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.5 (ซ) (ฌ) (ญ) และ (ฎ)

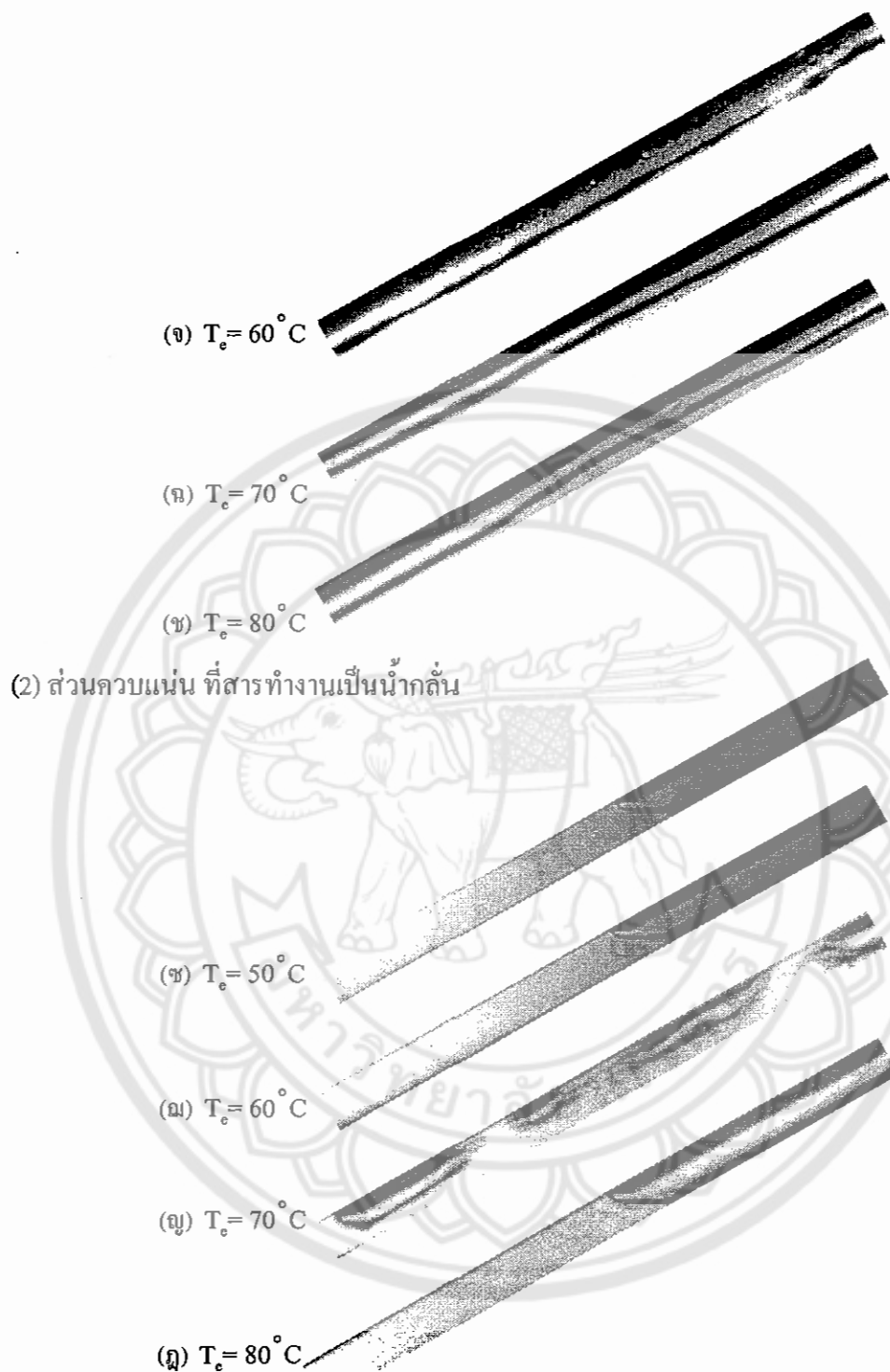
(ก) $T_c = 50^\circ\text{C}$

(ข) $T_c = 60^\circ\text{C}$

(ค) $T_c = 70^\circ\text{C}$

(ง) $T_c = 80^\circ\text{C}$

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

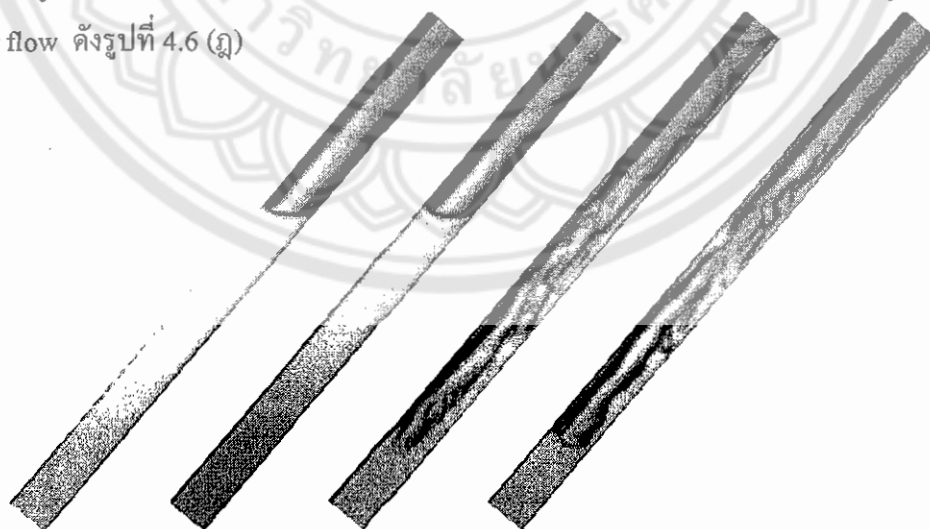


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.5 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมโซโฟนที่มีอัตราการเติม 50% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 30 องศา

- มุมเอียง 50 องศา จากแนวระดับ

ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด ดังรูปที่ 4.6 (ก) และ (ข) แต่ที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C จะเริ่มมี การทำงานแล้ว โดยจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่ โดยใน บางช่วงเวลาจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.6 (ค) และ (ง) ใน กรณีส่วนควบแน่นสารทำงานเป็นน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.6 (จ) (ฉ) และ (ช) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อุณหภูมิ 50 °C สารทำงานภายใน ท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 4.6 (ซ) ในขณะที่อุณหภูมิ 60 °C สารทำงานทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มทำงานแล้ว โดยจะ สังเกตเห็นการเดือดของสารทำงาน ซึ่งจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow โดยจะมีการ เติบโตให้เห็นอย่างชัดเจนแต่เพียงรูปแบบเดียว ดังรูปที่ 4.6 (ณ) ที่อุณหภูมิ 70 °C สารทำงานภายใน ท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือดอย่างชัดเจนและบ่อยครั้งขึ้น โดยจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการ ไหลของ Slug flow ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่โดย ในบางช่วงเวลาอาจจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.6 (ญ) ส่วนที่ อุณหภูมิ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือดอย่างชัดเจน โดยจะสามารถ สังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ต่อจากนั้นการไหลจะเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Annular flow ดังรูปที่ 4.6 (ฎ)



$T_c = 50^\circ\text{C}$

(ก)

$T_c = 60^\circ\text{C}$

(ข)

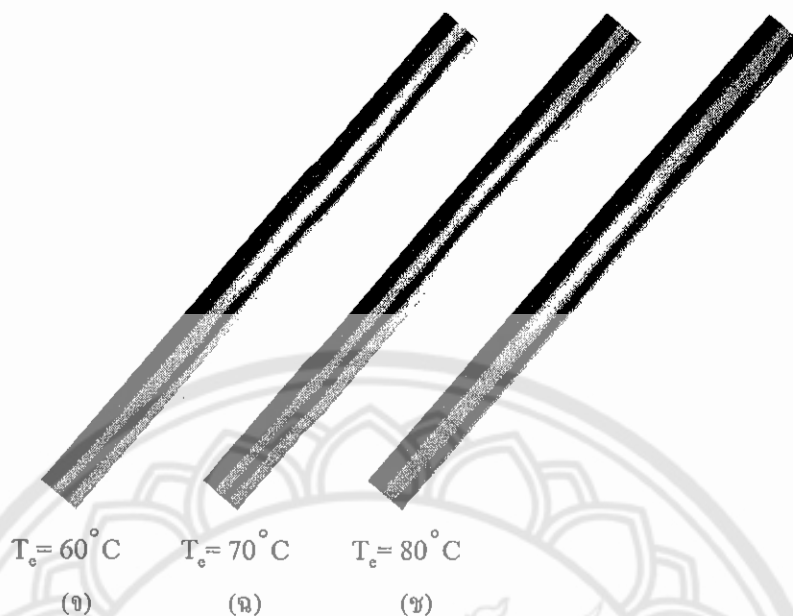
$T_c = 70^\circ\text{C}$

(ค)

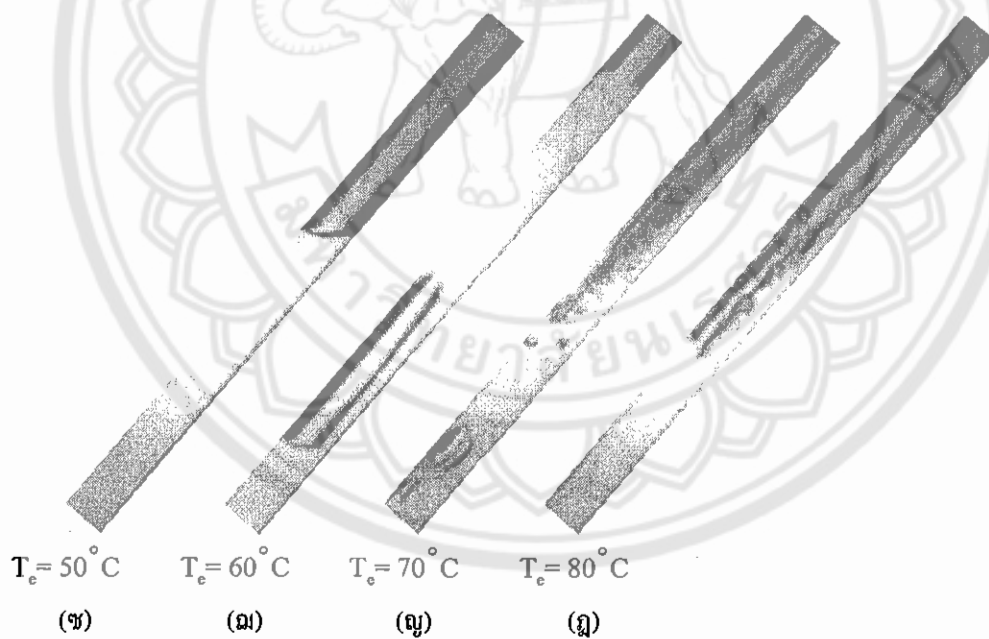
$T_c = 80^\circ\text{C}$

(ง)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.6 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มี อัตราการเติม 50% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 50 องศา

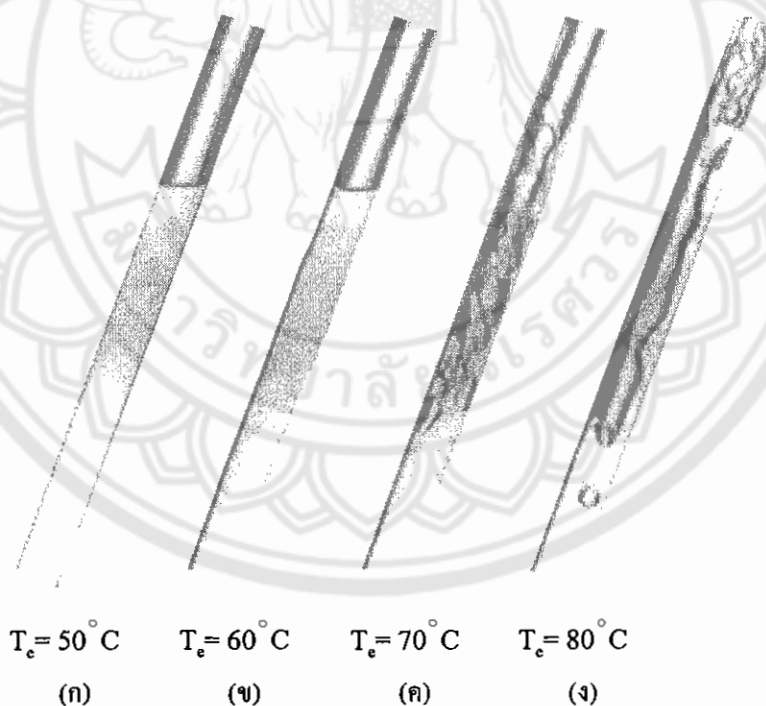
- มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับ

ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย เนื่องจากความดันไอยังไม่เพียงพอที่จะพาไอลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่น ดังรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) ในขณะที่อุณหภูมิ 70 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดแล้วจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยช่วงแรกจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในตอนต้น จากนั้นจะเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.7 (ค) ส่วนที่อุณหภูมิ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow ก่อน จากนั้นจึงจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow และจะมีรูปแบบการไหลของ Slug flow เกิดขึ้นในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.7 (ง)) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นสารทำงานเป็นน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนขึ้นมาถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.7 (จ) (ฉ) และ (ช) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อุณหภูมิ 50 และ 80 °C ยังไม่มีการเดือดให้เห็น ดังรูปที่ 4.7 (ซ) และ (ญ) แต่ที่อุณหภูมิ 60 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีรูปแบบการไหลของ Slug flow โดยกลุ่มฟองไอล้วนจะเคลื่อนฟุ้งขึ้นด้านบนของท่อ ซึ่งจะเริ่มจากเล็กๆ แล้วขยายตัวใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 4.7 (ฉ) ส่วนที่อุณหภูมิ 70 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือดอย่างชัดเจนและบ่อยครั้งขึ้น โดยจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ต่อจากนั้นการไหลเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่ โดยที่อาจจะมีการไหลของ Annular flow เกิดผสมกันเป็นบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.7 (ญ)

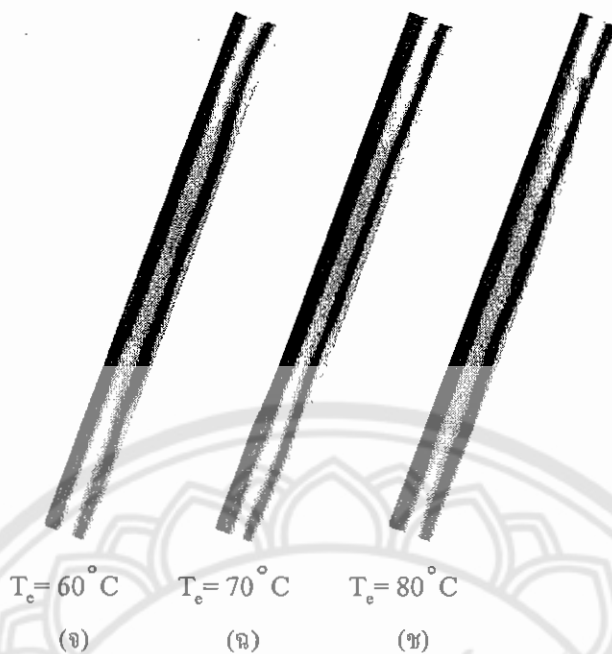
- มุมเอียง 90 องศา จากแนวระดับ

ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ความดันไอยังไม่เพียงพอที่จะพาไอลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่น เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนนี้ทำงาน ดังรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) ในขณะที่อุณหภูมิ 70 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยช่วงแรกจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในตอนต้น ต่อจากนั้นจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.8 (ค) ส่วนที่อุณหภูมิ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนจะเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Annular flow ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็น

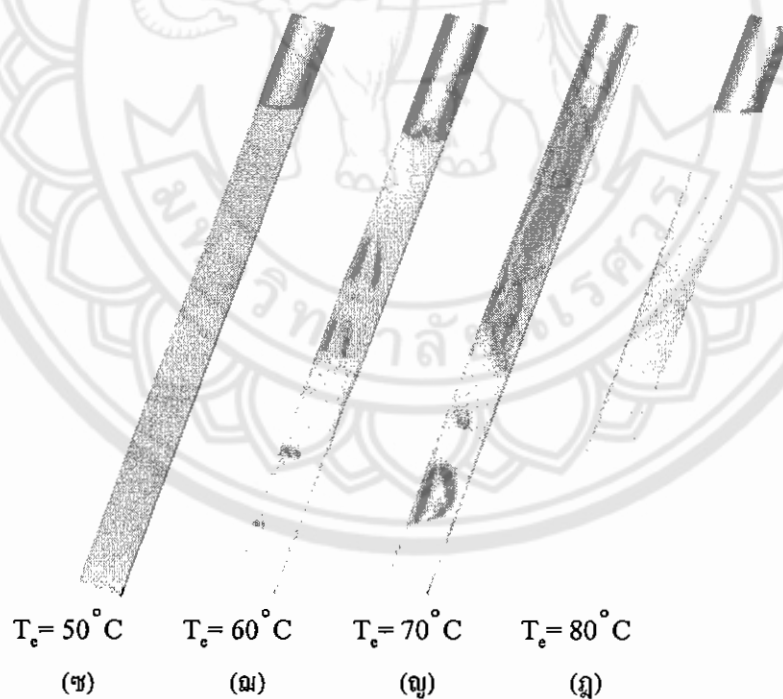
รูปแบบการไหลของ Churn flow ในช่วงเวลาเล็กน้อยก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow อีกครั้ง ดังรูปที่ 4.8 (ง) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นสารทำงานเป็นน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 50°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแล้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.8 (จ) ส่วนที่ช่วงอุณหภูมิ $60\ 70$ และ 80°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.8 (ฉ) (ช) และ (ซ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่ช่วงอุณหภูมิ $50\ 60\ 70$ และ 80°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนไม่มีการเดือด หรือ เกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 4.8 (ณ) (ญ) (ฎ) และ (ฏ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

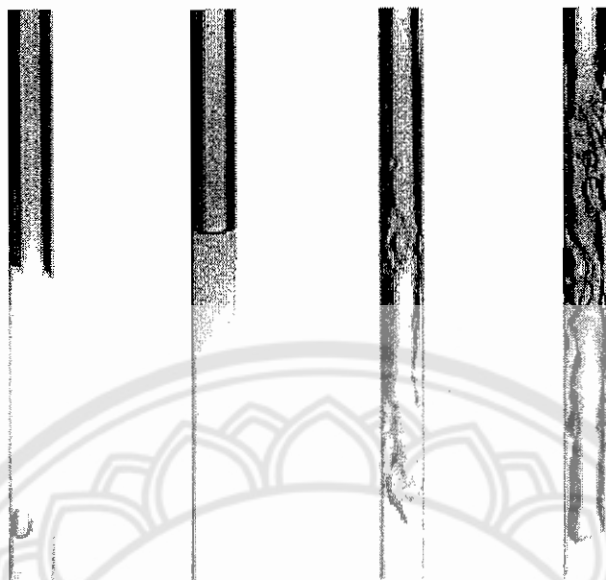


(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.7 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มี อัตราการเติม 50% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา


 $T_c = 50^\circ\text{C}$

(ก)

 $T_c = 60^\circ\text{C}$

(ข)

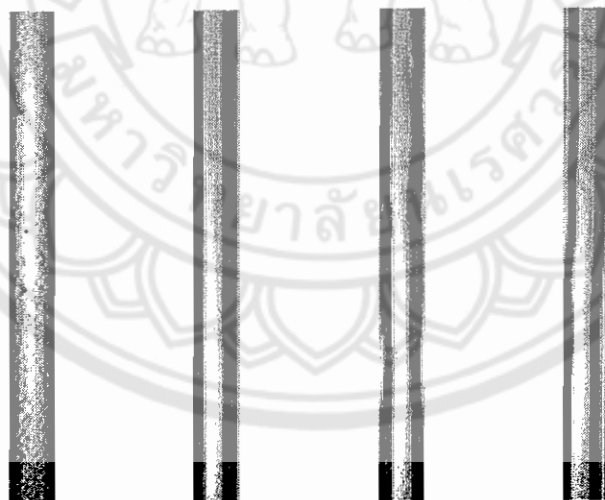
 $T_c = 70^\circ\text{C}$

(ค)

 $T_c = 80^\circ\text{C}$

(ง)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น


 $T_c = 50^\circ\text{C}$

(จ)

 $T_c = 60^\circ\text{C}$

(ฉ)

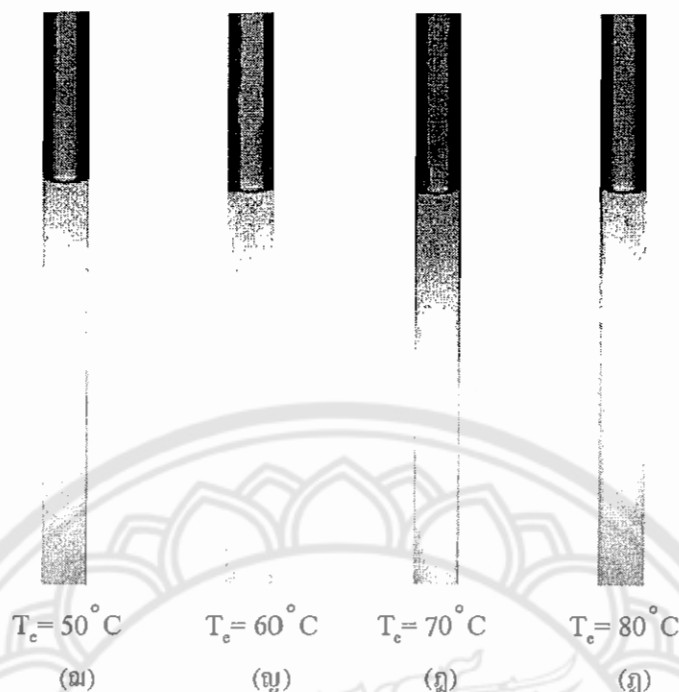
 $T_c = 70^\circ\text{C}$

(ช)

 $T_c = 80^\circ\text{C}$

(ซ)

(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มี อัตราการเติม 50% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 90 องศา

4.1.3 กรณีที่อัตราการเติมสาร 70%

- มุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับ

ที่อุณหภูมิ 50 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็น น้ำกลั่น ยังไม่มีการเดือด ดังรูป 4.9 (ก) ที่อุณหภูมิ 60 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมี การเดือดแล้ว โดยจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ได้อย่างชัดเจนเพียง รูปแบบเดียว ดังรูปที่ 4.9 (ข) ในขณะที่ช่วงอุณหภูมิ 70 และ 80 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซ ฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยจะสังเกตเห็นรูปแบบ การไหลของ Annular flow เป็นรูปแบบการไหลเพียงรูปแบบเดียว โดยการไหลในช่วงนี้จะมี ความเร็วจนกระทั่งของเหลวจะไหลไปตามผิวท่อเป็นแผ่นฟิล์ม ส่วนที่เป็นก๊าซจะอยู่ตรงกลางของ ท่อ ดังรูปที่ 4.9 (ค) และ (ง) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 °C สาร ทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนขึ้นมาถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูด ของโลก ดังรูปที่ 4.9 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทา นอล ที่มุมเอียง 50 และ 60 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยัง ไม่มีการเดือด หรือเกิดไอ

น้ำเกาะที่ผิวด้านใน ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ดังรูปที่ 4.9 (ฉ) และ (ญ) ส่วนที่อุณหภูมิ 70 และ 80 °C ใช้น้ำส่วนที่ระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้กาวแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้จึงไม่สามารถนำภาพมาแสดงในที่นี้ได้

(ก) $T_c = 50^\circ\text{C}$

(ข) $T_c = 60^\circ\text{C}$

(ค) $T_c = 70^\circ\text{C}$

(ง) $T_c = 80^\circ\text{C}$

(1) ส่วนที่ระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

(จ) $T_c = 50^\circ\text{C}$

(ฉ) $T_c = 60^\circ\text{C}$

(ช) $T_c = 70^\circ\text{C}$

(๓) $T_c = 80^\circ\text{C}$

(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

(ฉ) $T_c = 50^\circ\text{C}$

(ฅ) $T_c = 60^\circ\text{C}$

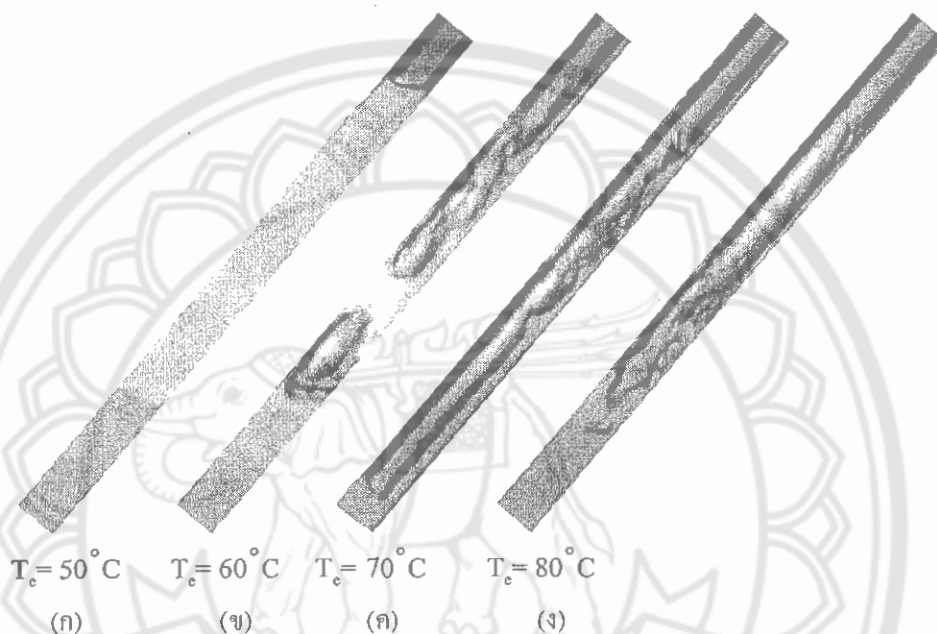
(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.9 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มี อัตราการเดิม 70% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 30 องศา

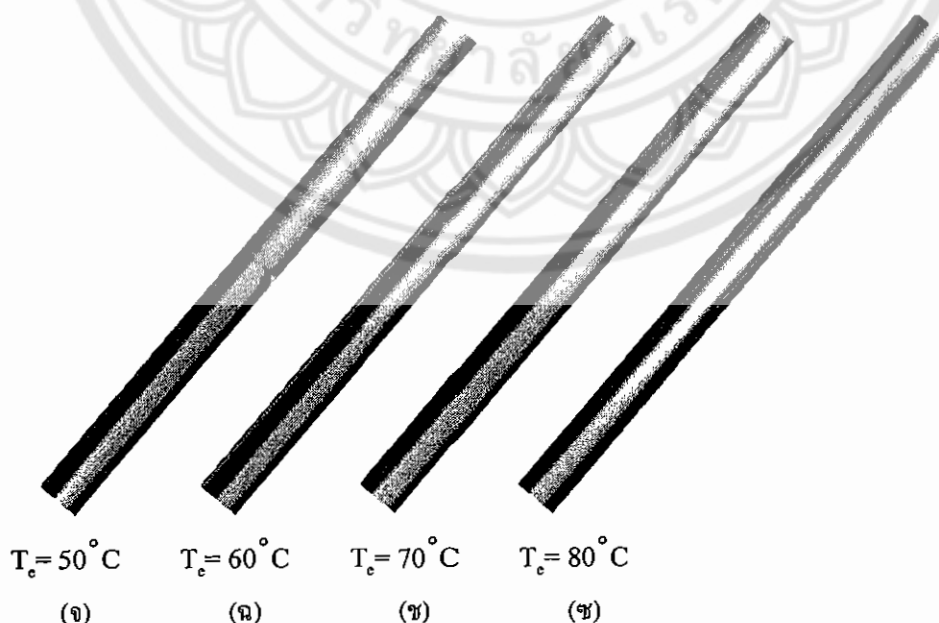
- มุมเอียง 50 องศา จากแนวระดับ

ที่อุณหภูมิ 50°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็น น้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด ดังรูปที่ 4.10 (ก) ในขณะที่อุณหภูมิ 60°C เริ่มมีการเดือดของสารทำงาน ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนโดยเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Slug flow ก่อต่อจากนั้นจึงเปลี่ยนเป็น รูปแบบการไหลของ Churn flow และจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow เกิดขึ้นมาเป็นบาง ช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.10 (ข) ที่อุณหภูมิ 70°C รูปแบบการไหลของสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซ ฟอนจะเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Annular flow ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในช่วงเวลาเล็กน้อยก่อนที่จะเปลี่ยนกลับมาเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow อีก ครั้งหนึ่ง ดังรูปที่ 4.10 (ค) และที่อุณหภูมิ 80°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือด อย่างชัดเจน โดยช่วงแรกจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในตอนต้น จากนั้นจะ สังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.10 (ง) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นสาร ทำงานเป็นน้ำกลั่นในช่วงอุณหภูมิ 60 70 และ 80°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการ เดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจากจนถึงส่วน ควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.10 (ฉ) (ฅ) และ (ซ) ส่วนที่อุณหภูมิ 50°C จะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ที่เกิดจากการเดือด ของสารทำงานไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไหลมาจนถึงส่วนควบแน่นแล้วไหล กลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.10 (จ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำ

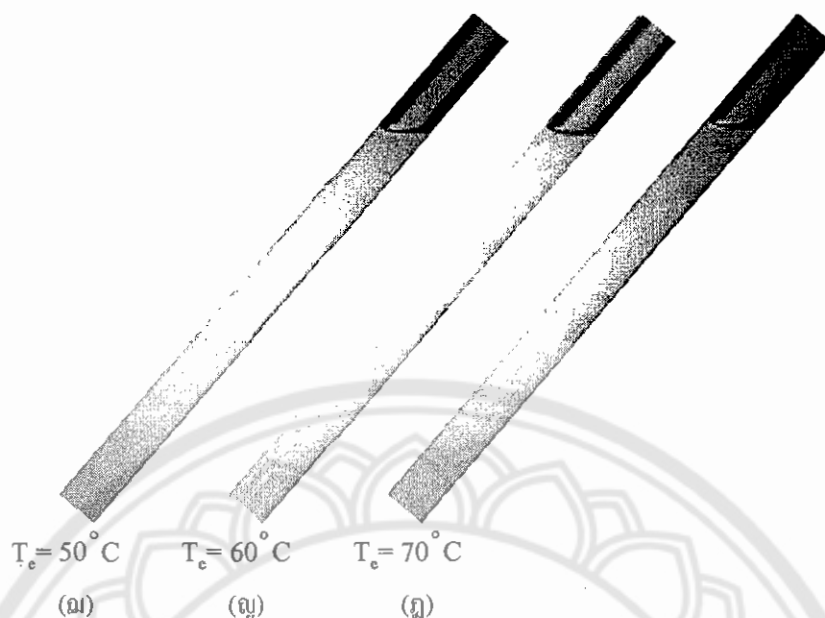
กลั่นผสมเอทานอล ที่ช่วงอุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนไม่มีการเดือด หรือ เกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 4.10 (ฉ) (ญ) และ (ฎ) และที่อุณหภูมิ 80 °C ตัวนำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้กาวแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้จึงไม่สามารถนำภาพมาแสดงในที่นี้ได้



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

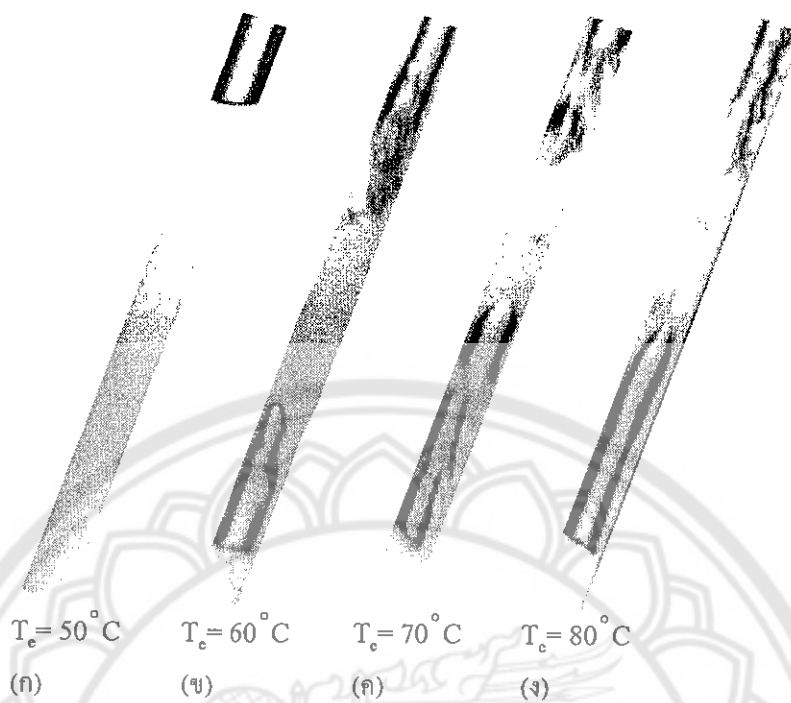


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

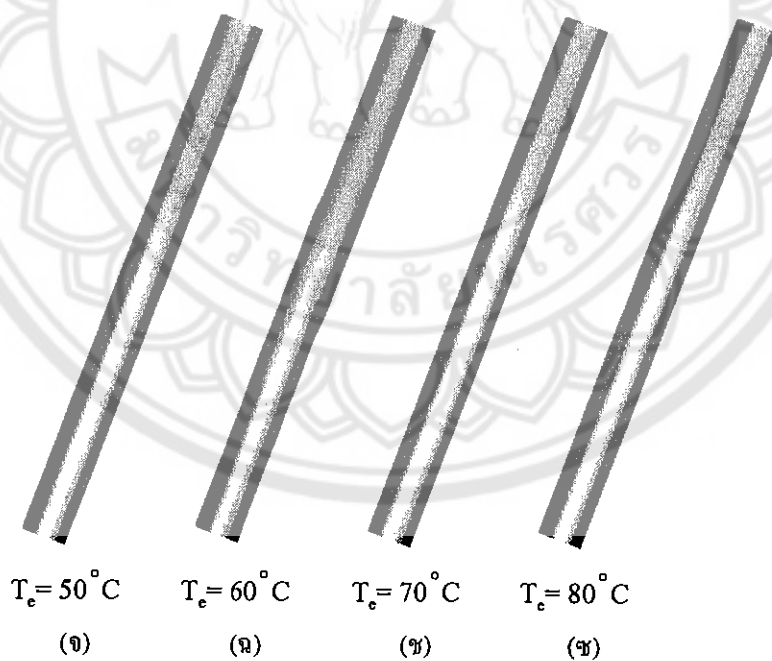
รูปที่ 4.10 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มี อัตราการเดิม 70% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 50 องศา

- มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับ

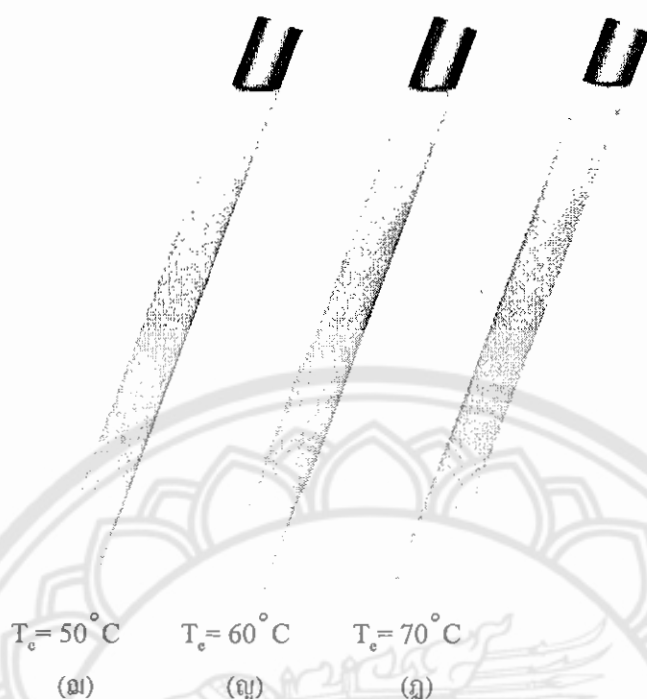
ที่อุณหภูมิ 50°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็น น้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด ดังรูปที่ 4.11 (ก) ส่วนในช่วงอุณหภูมิ 60 70 และ 80°C จะสังเกตเห็น รูปแบบการไหลของสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน โดยเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Slug flow ก่อนจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow และจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow เกิดขึ้นในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.11 (ข) (ค) และ (ง) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นสารทำงาน เป็นน้ำกลั่นในช่วงอุณหภูมิ 50 60 70 และ 80°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือด เนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.11 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) ส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลในช่วงอุณหภูมิ 50 60 และ 70°C สาร ทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการทำงาน หรือการเดือดให้เห็น ดังรูปที่ 4.11 (ณ) (ญ) และ (ฎ) และที่อุณหภูมิ 80°C ตัวน้ำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และ อุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้กาาแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้จึงไม่สามารถนำภาพ มาแสดงในที่นี้ได้



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



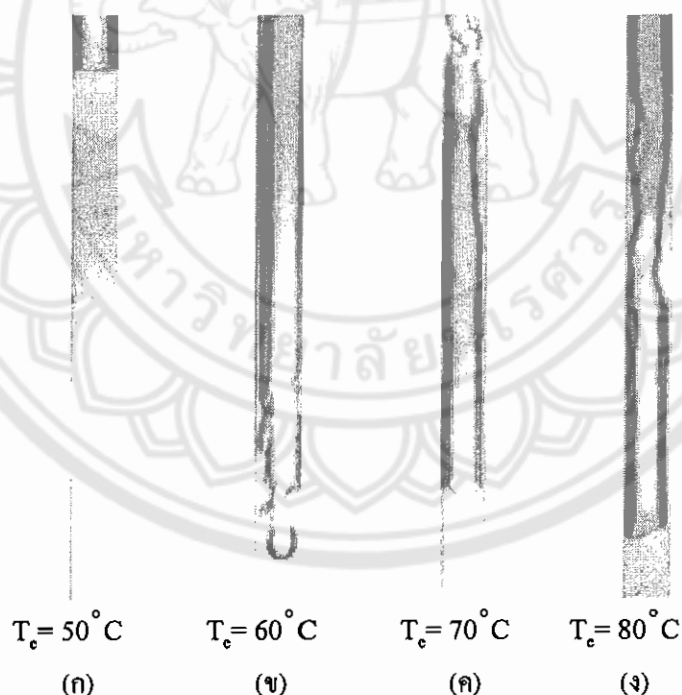
(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.11 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่มี อัตราการเติม 70% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา

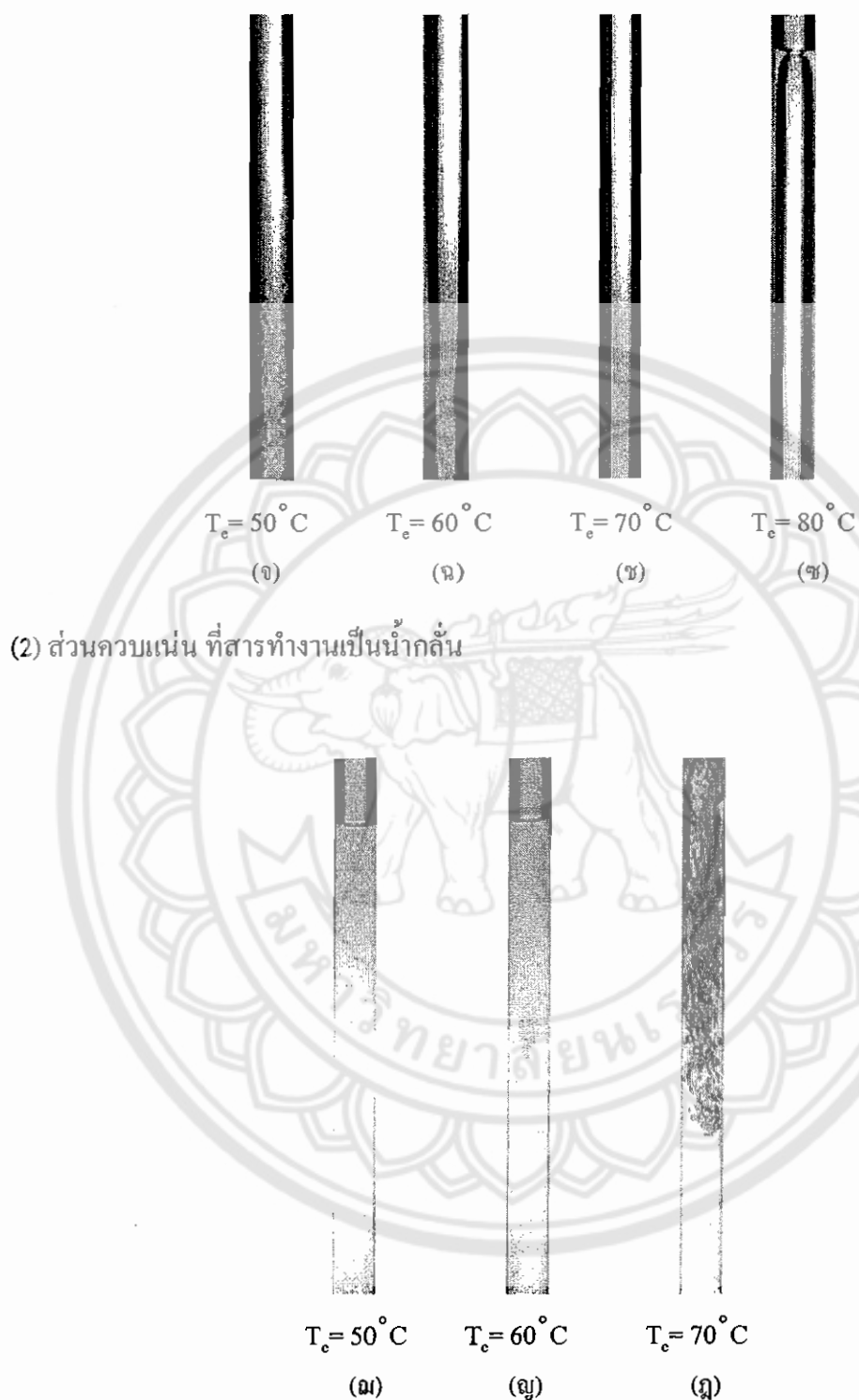
- มุมเอียง 90 องศา จากแนวระดับ

ที่อุณหภูมิ 50°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็น น้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 4.12 (ก) ในขณะที่อุณหภูมิ 60°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็น รูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยเริ่มเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ในส่วนด้านล่างของท่อ และรูปแบบการไหลของ Churn flow สามารถสังเกตเห็นได้น้อยมาก ซึ่งจะสังเกตเห็นรูปแบบการ ไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.12 (ข) ส่วนที่อุณหภูมิ 70 และ 80°C จะ สังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่โดยอาจจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหล ของ Churn flow ในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.12 (ค) และ (ง) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่น ที่ อุณหภูมิ 50°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่ม หยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงาน ให้ เห็น 4.12 (จ) ที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจาก เกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหล

กลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.12 (ฉ) และ (ช) ในขณะที่อุณหภูมิ 80°C ไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวจากการควบแน่น เนื่องจากมีรูปแบบการไหลของ Slug flow ที่เกิดจากการเดือดของสารทำงานไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไหลมาจนถึงส่วนควบแน่นแล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกดังรูปที่ 4.12 (ซ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่ช่วงอุณหภูมิ 50 และ 60°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยัง ไม่มีการทำงาน หรือการเดือดให้เห็น ดังรูปที่ 4.12 (ณ) และ (ญ) ส่วนที่อุณหภูมิ 70°C สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือดแล้ว โดยจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนไม่มีความเสถียร ดังรูปที่ 4.12 (ข) และที่อุณหภูมิ 80°C ตัวน้ำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้กาวแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้จึงไม่สามารถนำภาพมาแสดงในที่นี้ได้



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

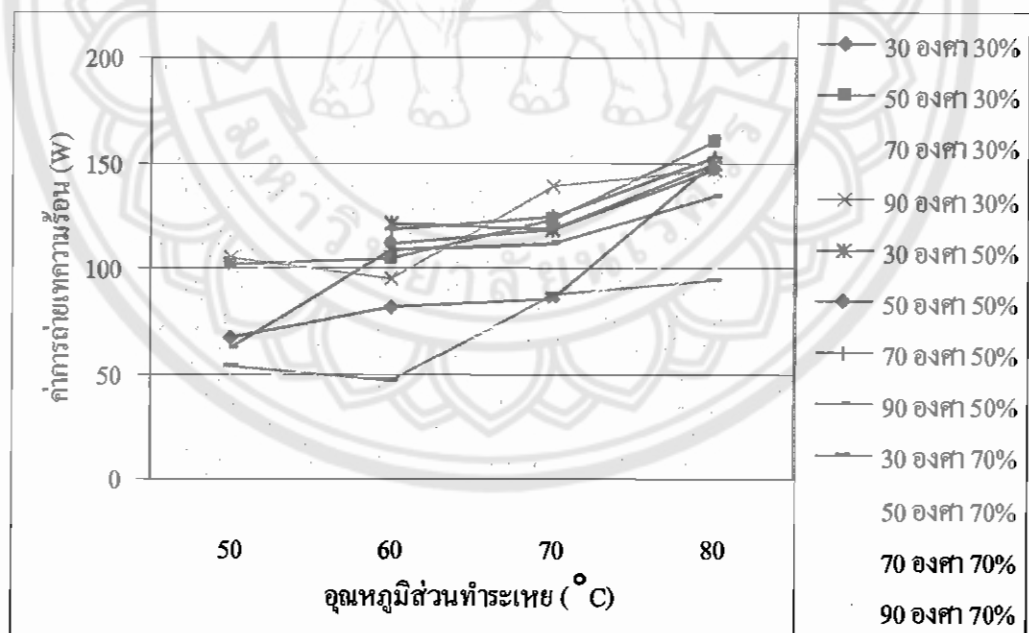
รูปที่ 4.12 ผลกระทบของอุณหภูมิของส่วนทำระเหยที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมพลาสติกที่มีอัตราการเติม 70% ของส่วนทำระเหย และวางตัวในแนวเอียง 90 องศา

4.1.4 ผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหยที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

- สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

จากรูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่ออุณหภูมิของส่วนทำระเหยมีค่าสูงขึ้น โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 50°C มีค่าการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุดเฉลี่ยประมาณ 71.51 W และค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดจะอยู่ที่อุณหภูมิ 80°C เฉลี่ยประมาณ 135.25 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยมีค่าสูงขึ้นสารทำงานจะเกิดการเดือดและเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นไอและรูปแบบการไหลต่างๆ ที่รูปแบบการไหลนั้นเปลี่ยนไปเพราะความเร็วและความดันของไอนี้มีค่าสูงขึ้น ความดันนี้จะพาไอร้อนผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นได้มากขึ้น โดยจะสังเกตได้จากค่าการถ่ายเทความร้อนที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ

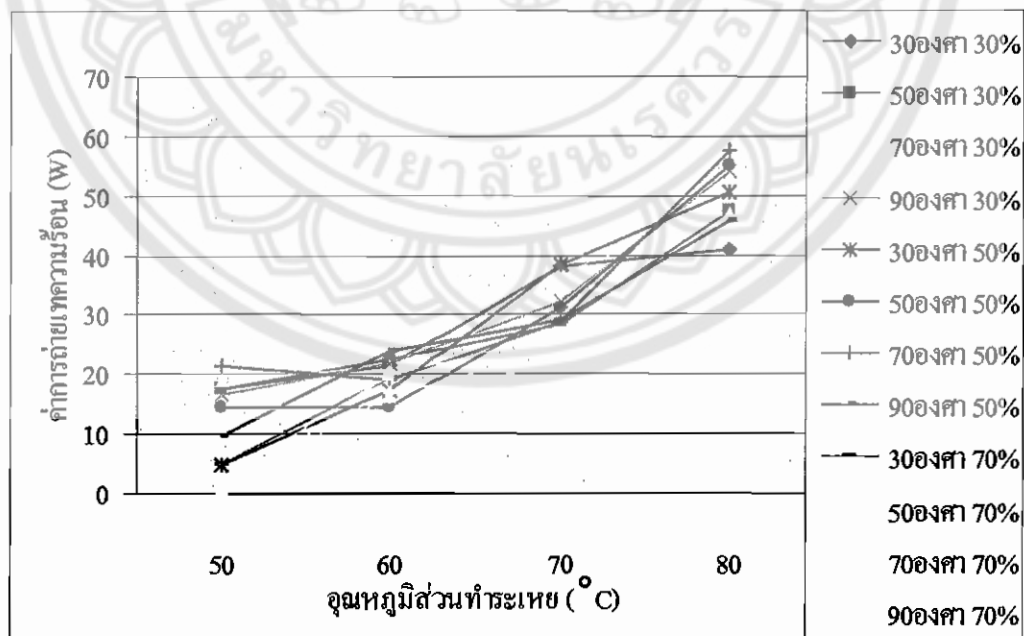


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่สารทำงานเป็นน้ำ

- สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

จากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆเมื่ออุณหภูมิของส่วนทำระเหยมีค่าสูงขึ้น โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 50°C มีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 11.03 W และค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยที่มากที่สุดจะอยู่ที่อุณหภูมิ 80°C ประมาณ 49.82 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิส่วนทำระเหยมีค่าสูงขึ้นสารทำงานจะเกิดการเดือดและเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นไอและรูปแบบการไหลต่างๆ ที่รูปแบบการไหลนั้นเปลี่ยนไปเพราะความเร็วและความดันของไอนี้มีค่าสูงขึ้น ความดันนี้จะพาไอร้อนผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นได้มากขึ้น โดยจะสังเกตได้จากค่าการถ่ายเทความร้อนที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ แต่ในการทดลองจริงที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C ส่วนมากจะไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอน ซึ่งอาจจะเกิดจากขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน เนื่องจากความเร็วของไอสองมากเกินไปจนถึงความเร็วเสียง จึงเกิดปรากฏการณ์คลื่นช็อก (Shock wave) ไอิจจึงไม่สามารถไหลไปยังส่วนควบแน่นได้ ทำให้ท่อความร้อนไม่สามารถส่งผ่านความร้อนได้ หรือ อาจจะกล่าวได้ว่าเกิดจากขีดจำกัดความเร็วเสียง (Sonic limit)



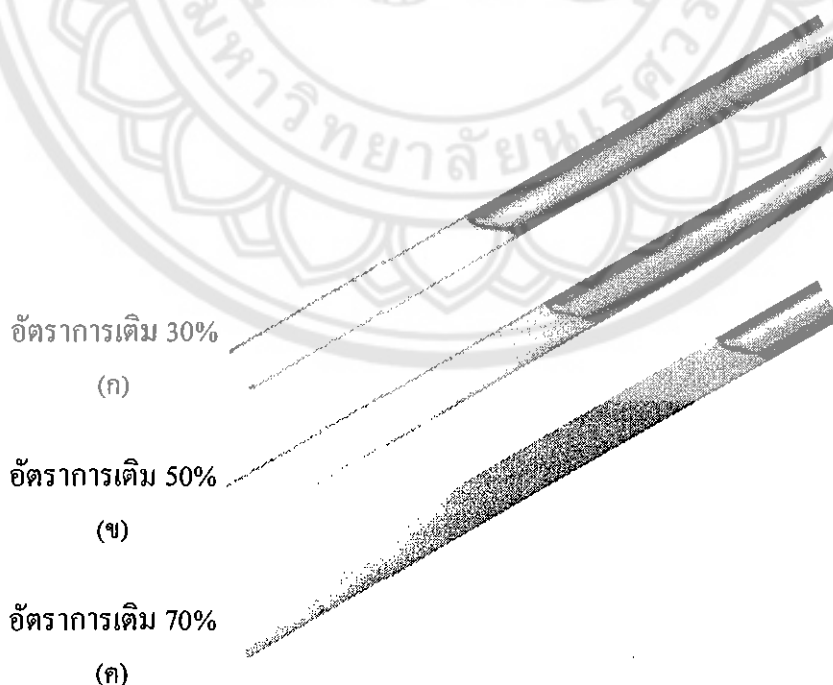
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเดินสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมกับเอทานอล

4.2 ผลกระทบของอัตราการเติมที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในท่อเทอร์โมไซฟอน และค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

4.2.1 กรณีที่อุณหภูมิ 50 °C

- มุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ความดันไอยังไม่เพียงพอที่จะพาไอลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่น เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.15 (ก) (ข) และ (ค) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีเกิดการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูป 4.15 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.15 (จ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเติม 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือการทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.15 (ฉ) (ช) และ (ซ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

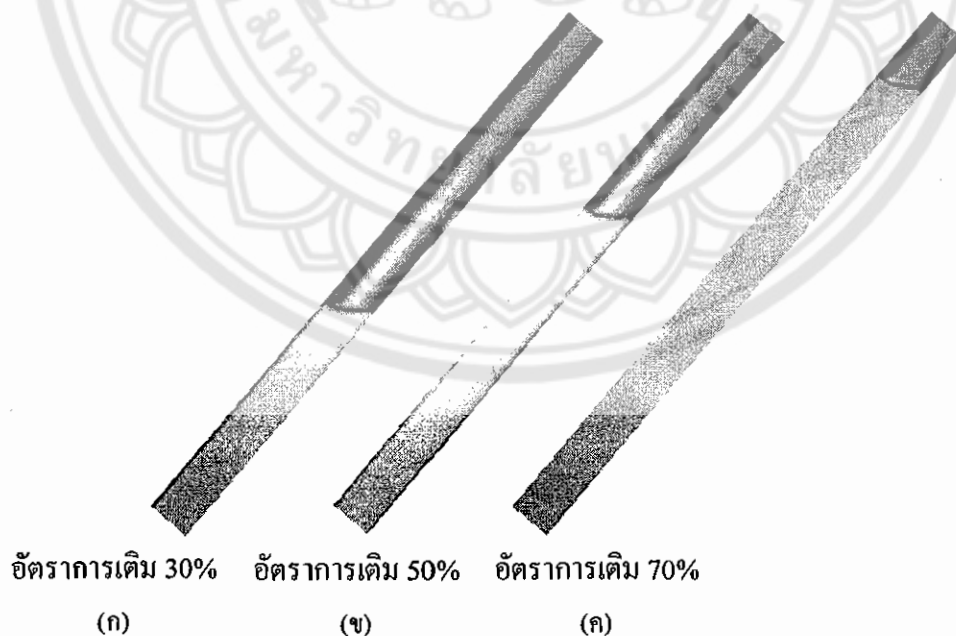


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.15 ผลกระทบของอัตราการใช้สารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C และวางตัวในแนวเอียง 30 องศา

- มุมเอียง 50 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ความดันไอยังไม่เพียงพอที่จะพาไอลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่น เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.16 (ก) (ข) และ (ค) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้ว โดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีเกิดการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูป 4.16 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย ไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวจากการควบแน่น เนื่องจากมีรูปแบบการไหลของ Slug flow ที่เกิดจากการเดือดของสารทำงานไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนไหลมาจนถึงส่วนควบแน่นแล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.16 (จ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเติม 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือการทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.16 (ฉ) (ช) และ (ซ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

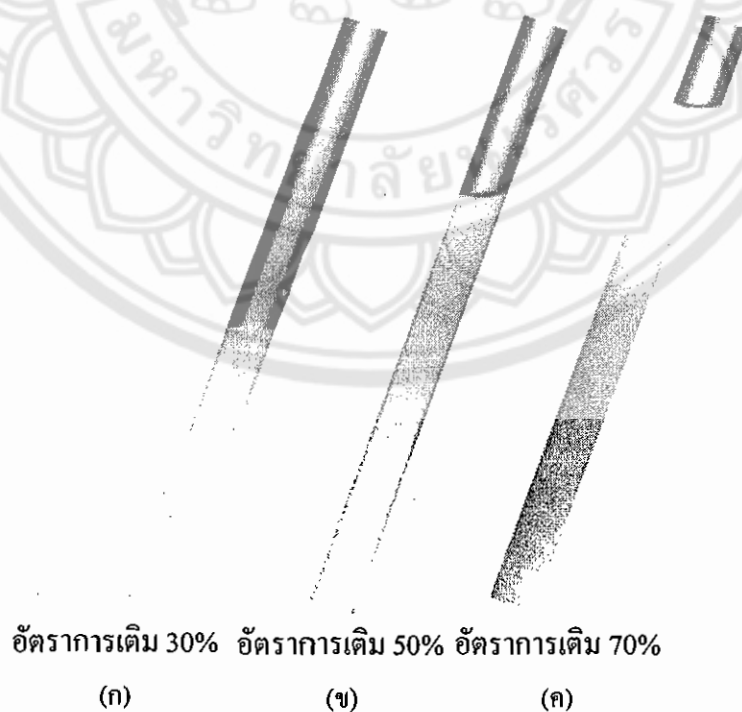


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.16 ผลกระทบของอัตราการผลิตสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมพลาสติกที่อุณหภูมิ 50 °C และวางตัวในแนวเอียง 50 องศา

- มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 4.17 (ก) และ (ข) ยกเว้นที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย จะสามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.17 (ค) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูป 4.17 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.17 (จ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเติม 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือการทำงานให้เห็น เนื่องจากอุณหภูมิของคูล์น้ำส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.17 (ฉ) (ช) และ (ซ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

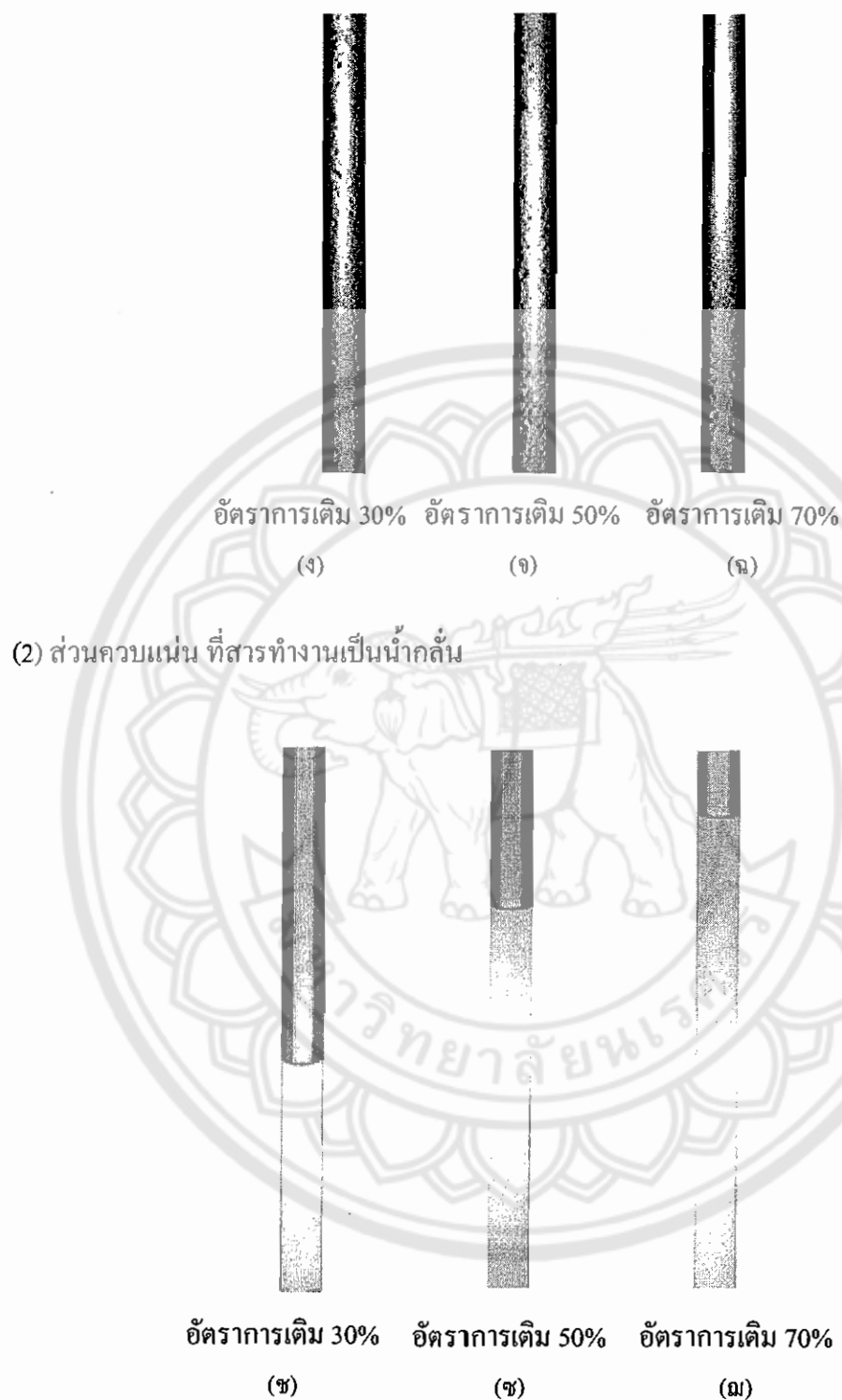
รูปที่ 4.17 ผลกระทบของอัตราการผลิตสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา

- มุมเอียง 90 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือดแต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.18 (ก) ส่วนที่อัตราการเติม 50% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดโดยจะสังเกตเห็นการทำงานของท่อเทอร์โมไซฟอนในรูปแบบของ Bubble flow ซึ่งเป็นรูปแบบการไหลรูปแบบเดียวที่เกิดขึ้นซึ่งมีลักษณะเป็นฟองอากาศขนาดเล็กๆ พุ่งขึ้นสู่ด้านบนของท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.18 (ข) และที่อัตราการเติม 70% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อส่วนทำระเหย ดังรูปที่ 4.18 (ค) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.18 (ง) (จ) และ (ฉ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเติม 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือการทำงานให้เห็น เนื่องจากอุณหภูมิของตัวนำส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.18 (ซ) (ฅ) และ (ฉ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำละลาย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.18 ผลกระทบของอัตราการใช้สารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไคฟอนที่อุณหภูมิ 50 °C และวางตัวในแนวเอียง 90 องศา

4.2.2 กรณีที่อุณหภูมิ 60 °C

- มุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด แต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.19 (ก) และ (ข) ส่วนที่อัตราการเติม 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการของ Slug flow และ รูปแบบของ Churn flow จะสามารถสังเกตเห็นได้น้อยมาก จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.19 (ค) ในกรณีสังเกตที่ส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.19 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.19 (จ) และ (ฉ) ในส่วนสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลที่อัตรา 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหยสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนไม่มีการทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.19 (ซ) (ซ) และ (ฅ)

อัตราการเติม 30%

(ก)

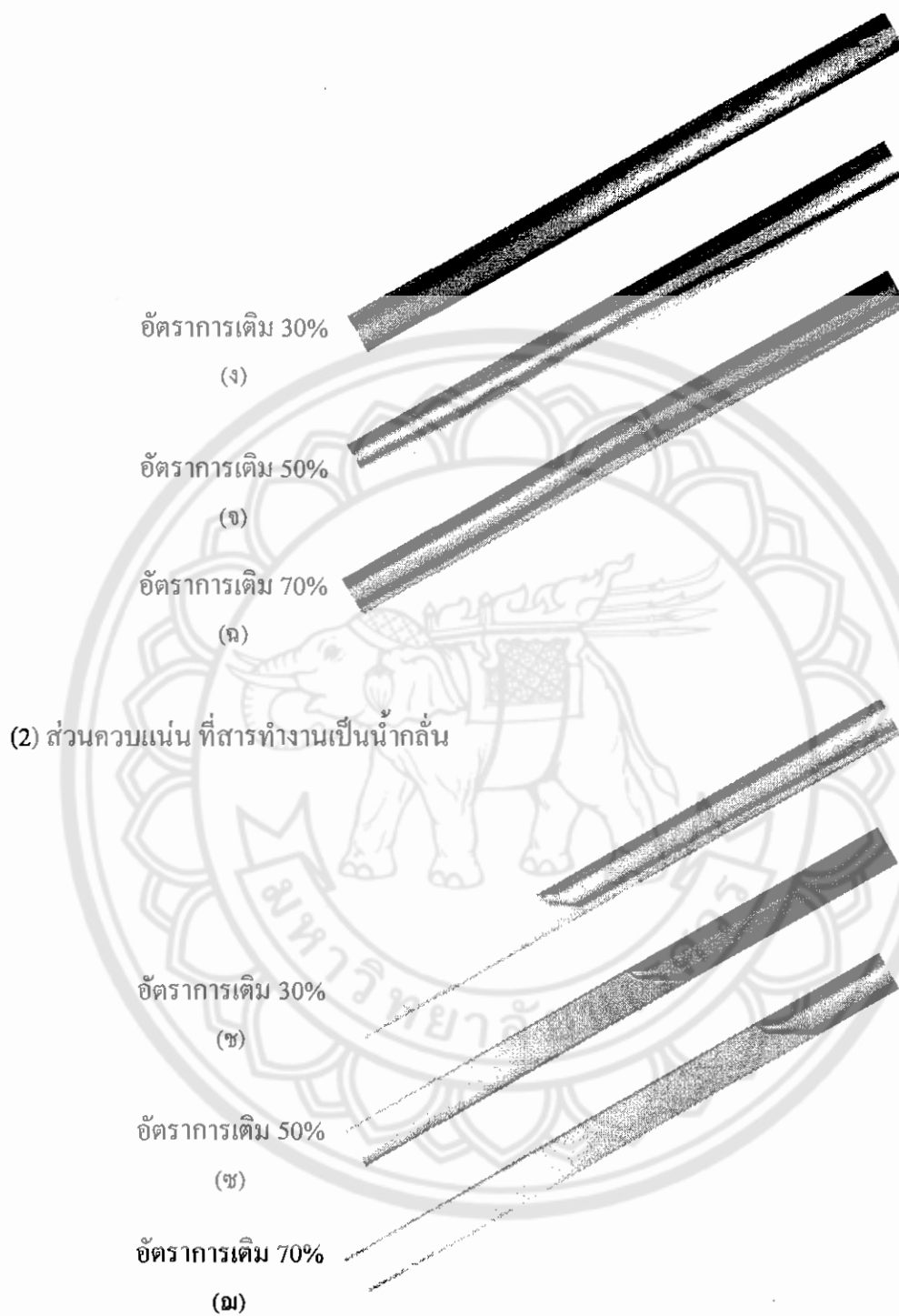
อัตราการเติม 50%

(ข)

อัตราการเติม 70%

(ค)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

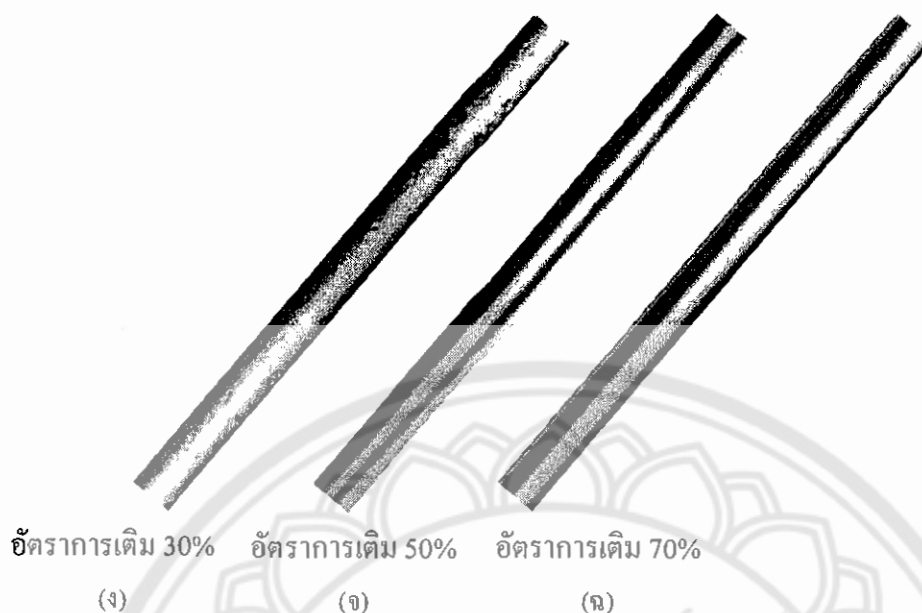
รูปที่ 4.19 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C และวางตัวในแนวเอียง 30 องศา

- มุมเอียง 50 องศา จากแนวระดับ

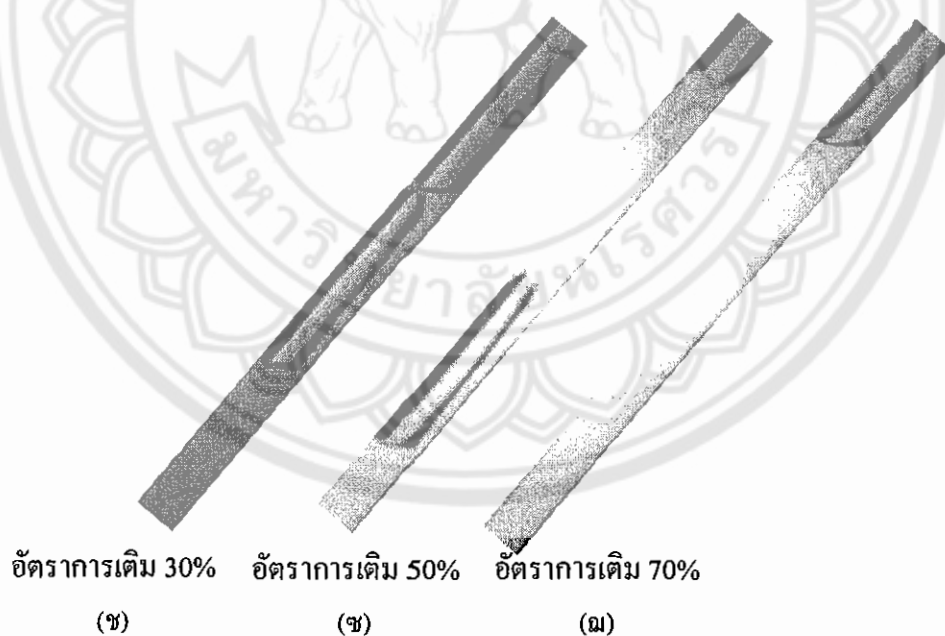
ที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือดหรือการทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.20 (ก) และ (ข) ส่วนที่อัตราการเติม 70% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน รูปแบบการไหลของ Slug flow และรูปแบบการไหลของ Churn flow สามารถสังเกตเห็นได้น้อยมาก จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.20 (ค) ในกรณีสังเกตที่ส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้ว โดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.20 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.20 (จ) และ (ฉ) ในส่วนสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดแล้วโดยจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow เป็นส่วนใหญ่แต่ที่อัตราการเติม 50% อาจจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.20 (ซ) และ (ซ) ส่วนที่อัตราการเติม 70% นั้นไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ได้ดังรูปที่ 4.20 (ฉ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.20 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C และวางตัวในแนวเอียง 50 องศา

- มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารงานภายในเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด ดังรูปที่ 4.21 (ก) และ (ข) ส่วนที่อัตราการเติม 70% จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน โดยเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Slug flow ก่อนจะเปลี่ยนรูปเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow และอาจจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ที่ด้านบนของท่อในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.21 (ค) ในกรณีสังเกตที่ส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% สารทำงานเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.21 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50 และ 70% สารทำงานเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีมีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.21 (จ) และ (ฉ) ในส่วนสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลที่อัตราการเติม 30% จะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.21 (ซ) ส่วนที่อัตราการเติม 50% จะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Bubble flow จนเป็นรูปแบบการไหลของ Slug flow และในบางช่วงเวลาอาจจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ดังรูปที่ 4.21 (ซ) ในขณะที่อัตราการเติม 70% ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆภายในท่อเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.21 (ฉ)



อัตราการเติม 30% อัตราการเติม 50% อัตราการเติม 70%

(ก)

(ข)

(ค)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.21 ผลกระทบของอัตราการเดิมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา

- มุมเอียง 90 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้ว แต่ยังไม่มีการเดือดให้เห็น แต่ที่อัตราการเติม 50% จะสามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นได้อย่างชัดเจน ซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.22 (ก) และ (ข) ส่วนที่อัตราการเติม 70% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยจะเริ่มเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ในส่วนล่างของท่อและรูปแบบการไหลของ Churn flow สามารถสังเกตเห็นได้น้อยมาก โดยจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.22 (ค) ในกรณีสังเกตที่ส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้ว โดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแล้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.22 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.22 (จ) และ (ฉ) ในส่วนสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลที่อัตราการเติม 30 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหยสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือดให้เห็น ดังรูปที่ 4.22 (ซ) (ฅ) และ (ณ)



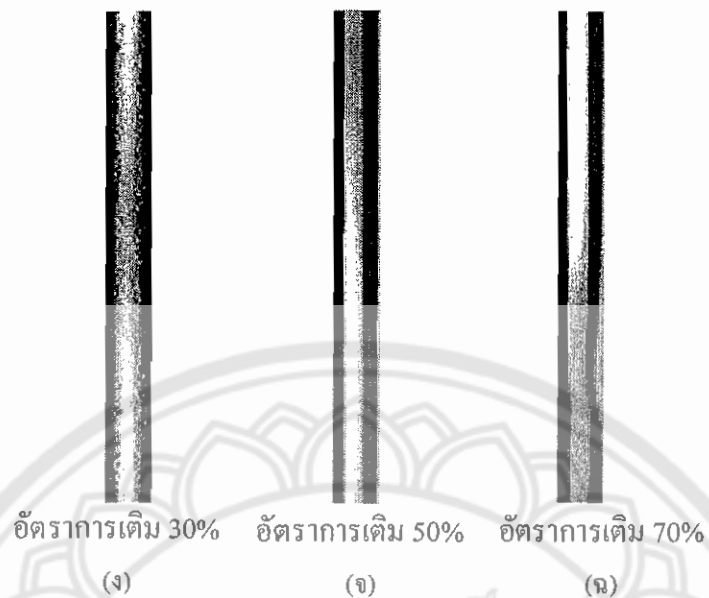
อัตราการเติม 30% อัตราการเติม 50% อัตราการเติม 70%

(ก)

(ข)

(ค)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.22 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C และวางตัวในแนวเอียง 90 องศา

4.2.3 กรณีที่อุณหภูมิ 70 °C

- มุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 4.23 (ก) ส่วนที่อัตราการเติม 50% สารทำงานเริ่มมีการเดือดจึงสามารถเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow และ Churn flow เพียงช่วงเวลาเล็กน้อยในตอนต้นๆ จากนั้นจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.23 (ข) และที่อัตราการเติม 70% สารทำงานเริ่มมีการเดือดอย่างชัดเจน โดยจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เพียงรูปแบบเดียว ดังรูปที่ 4.23 (ค) ในกรณีสังเกตที่ส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30 และ 50% สารทำงานเริ่มมีทำงานแล้ว โดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.23 (ง) และ (จ) ส่วนที่อัตราการเติม 70% สารทำงานเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจากจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.23 (ฉ) ในส่วนสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลที่อัตราการเติม 30% ยังไม่มีการทำงานหรือการเดือดให้เห็นดังรูป 4.23 (ซ) ส่วนที่อัตราการเติม 50% มีการเดือดอย่างชัดเจนและต่อเนื่อง โดยจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow แล้วเปลี่ยนเป็น Churn flow หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.23 (ฌ)

อัตราการเติม 30%

(ก)

อัตราการเติม 50%

(ข)

อัตราการเติม 70%

(ค)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

อัตราการเติม 30%

(ง)

อัตราการเติม 50%

(จ)

อัตราการเติม 70%

(ฉ)

(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

อัตราการเติม 30%

(ช)

อัตราการเติม 50%

(ซ)

(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.23 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70°C และวางตัวในแนวเอียง 30 องศา

- มุมเอียง 50 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเดิน 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยัง ไม่มีการเดือดแต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.24 (ก) ในขณะที่อัตราการเดิน 50% สารทำงานเริ่มมีการเดือดจึง สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยช่วงแรกจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในช่วงต้นๆ จากนั้นจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.24 (ข) และที่อัตราการเดิน 70% รูปแบบการไหลของสารทำงานจะเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Annular flow ก่อน ต่อจากนั้นจึงเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในช่วงเวลาสั้นๆก่อนจะเป็น รูปแบบการไหลของ Annular flow โดยการไหลในช่วงนี้จะมีความเร็วจนกระทั่งของเหลวจะ ไหลไปตามผิวท่อเป็นแผ่นฟิล์ม ส่วนที่เป็นก๊าซจะอยู่ตรงกลางของท่อ ดังรูปที่ 4.24 (ค) ในกรณี สังเกตที่ส่วนควบแน่นที่อัตราการเดิน 30% สารทำงานเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็น กลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงาน ให้เห็น ดังรูปที่ 4.24 (ง) ส่วนที่อัตราการเดิน 50 และ 70% สารทำงานเกิดการเดือดเนื่องจากเกิด รูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหล กลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.24 (จ) และ (ฉ) ในส่วนสารทำงานที่เป็น น้ำกลั่นผสมเอทานอลที่อัตราการเดิน 30 และ 70% สารทำงานยังไม่มีการเดือด ยกเว้นที่อัตรา การเดิน 50% จะมีการเดือดแล้วโดยจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ต่อจากนั้นจึง เปลี่ยนเป็น Churn flow และ Annular flow ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.24 (ซ) (ช) และ (ฉ)



อัตราการเดิน 30% อัตราการเดิน 50% อัตราการเดิน 70%

(ก)

(ข)

(ค)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.24 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70 °C และวางตัวในแนวเอียง 50 องศา

- มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนยังไม่มี การเดือด แต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.25 (ก) ที่อัตราการเติม 50% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึง สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยช่วงแรกจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในตอนต้น จากนั้นจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.25 (ข) ที่ อัตราการเติม 70% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็น รูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยช่วงแรกจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ใน ตอนต้น จากนั้นจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.25 (ค) ในกรณีสังเกตที่ ส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดย จะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการ เดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.25 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำ ระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่าน ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหย เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.25 (จ) และ (ฉ) ในส่วนสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการ ทำงาน โดยจะมีรูปแบบการไหลของ Slug flow ที่ด้านล่างของท่อ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเหมือน กระสุนเคลื่อนที่ขึ้นไปบริเวณส่วนกลางของท่อ ต่อจากนั้นจะเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow โดยจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ ต่อจากนั้น รูปแบบการไหลของ Churn flow จะเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ที่ด้านบนของท่อ ดังรูปที่ 4.25 (ซ) และ ที่อัตราการเติม 50% ในผลเช่นเดียวกับที่อัตราการเติม 60% แต่จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.25 (ซ) ในขณะที่อัตราการเติม 70% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนไม่มีการเดือดให้เห็น ดังรูปที่ 4.25 (ฌ)

- มุมเอียง 90 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการ ควบแน่นได้อย่างชัดเจน ซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน แต่ไม่สามารถสังเกตเห็น การเดือดของสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.26 (ก) ในขณะที่อัตราการเติม 50% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่าง ชัดเจน โดยช่วงแรกจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในตอนต้น จากนั้นจะ

สังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.26 (ข) และที่อัตราการเติม 70% จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน เริ่มจากรูปแบบการไหลของ Annular flow ก่อนจะเปลี่ยนรูปแบบการไหลเป็นแบบของ Churn flow และจะมีรูปแบบการไหลของ Slug flow เกิดขึ้นมาเป็นบางช่วงเวลา หรือ อาจสรุปได้ว่า รูปแบบการไหลของ Annular flow แล้วเปลี่ยนเป็น Churn flow ดังรูปที่ 4.26 (ค) ในกรณีสังเกตที่ส่วนควบแน่น ที่อัตราการเติม 30% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแล้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.26 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.26 (จ) และ (ฉ) ในส่วนสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหย ยังไม่มีการเดือดให้เห็นยกเว้นที่อัตราการเติม 70% จะมีการเดือดของ Churn flow ให้เห็นเป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่ 4.26 (ซ) (ซ) และ (ฅ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.25 ผลกระทบของอัตราการเดิมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70 °C และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา



อัตราการเดิม 30% อัตราการเดิม 50% อัตราการเดิม 70%

(ก) (ข) (ค)

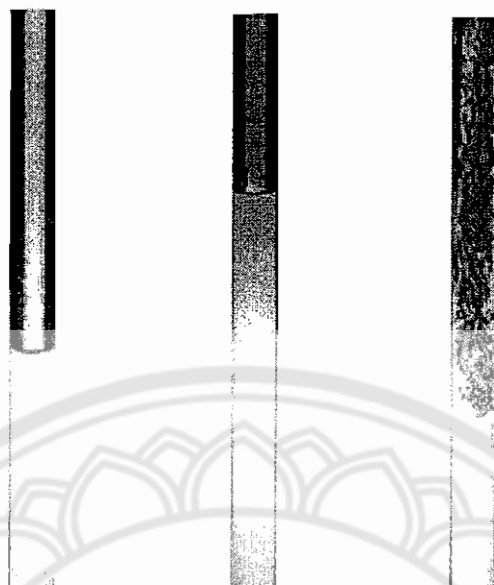
(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



อัตราการเดิม 30% อัตราการเดิม 50% อัตราการเดิม 70%

(ง) (จ) (ฉ)

(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



อัตราการเติม 30% อัตราการเติม 50% อัตราการเติม 70%

(ข)

(ง)

(ฉ)

(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.26 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70 °C และวางตัวในแนวเอียง 90 องศา

4.2.4 กรณีที่อุณหภูมิ 80 °C

- มุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือดแต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.27 (ก) ส่วนที่อัตราการเติม 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow เพียงช่วงเวลาเล็กน้อยในคอนดันซ์ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นการไหลแบบปั่นป่วนไม่มีความเสถียร ดังรูปที่ 4.27 (ข) และที่อัตราการเติม 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นรูปแบบการไหลเพียงรูปแบบเดียว โดยการไหลในช่วงนี้จะมีความเร็วจนกระทั่งของเหลวจะไหลไปตามผิวท่อเป็นแผ่นฟิล์ม ส่วนที่เป็นก๊าซจะอยู่ตรงกลางของท่อ ดังรูปที่ 4.27 (ค) ในกรณีที่สังเกตส่วน

ความแน่นที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้ว โดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ความแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแล้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.27 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50 และ 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนความแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.27 (จ) และ (ฉ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด หรือการทำงานให้เห็น เนื่องจากอุณหภูมิของดุน้ำส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.27 (ช) และ (ซ) ที่อัตราการเติม 70% ดุน้ำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้กาวแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้ จึงไม่สามารถนำภาพมาแสดงในที่นี้ได้

อัตราการเติม 30%

(ก)

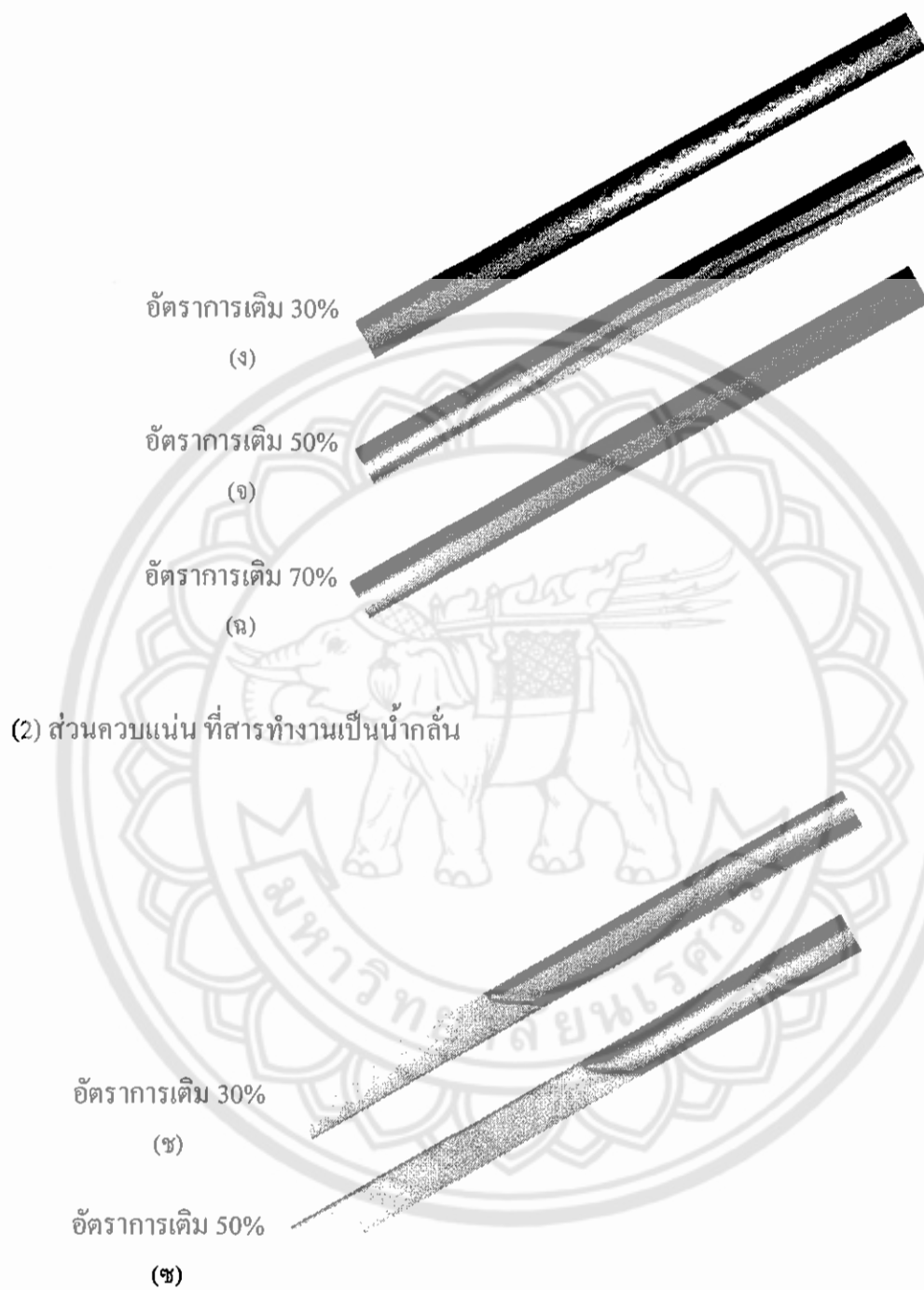
อัตราการเติม 50%

(ข)

อัตราการเติม 70%

(ค)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.27 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมโซลฟอนที่อุณหภูมิ 80°C และวางตัวในแนวเอียง 30 องศา

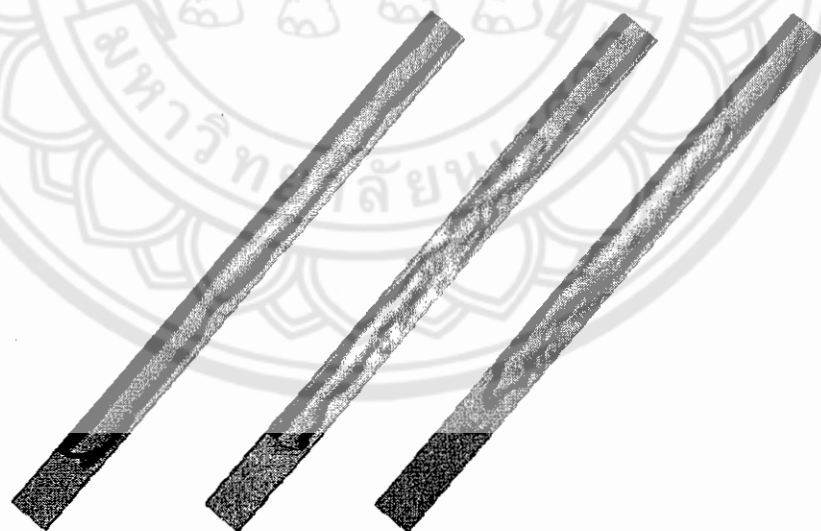
- มุมเอียง 50 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเดิม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่ สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือดจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลได้อย่างชัดเจน โดยจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นรูปแบบการไหลเพียงรูปแบบเดียว โดยการไหลในช่วงนี้จะมีความเร็วจนกระทั่งของเหลวจะไหลไปตามผิวท่อเป็นแผ่นฟิล์ม ส่วนที่เป็นก๊าซจะอยู่ตรงกลางของท่อ ดังรูปที่ 4.28 (ก) ส่วนที่อัตราการเดิม 50% มีการทำงานแล้ว โดยจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow เป็นส่วนใหญ่ โดยในบางช่วงเวลาก็จะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.28 (ข) และที่อัตราการเดิม 70% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือดอย่างชัดเจน โดยช่วงแรกจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในคอนตัน จากนั้นจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.28 (ค) ในกรณีที่สังเกตส่วนควบแน่นที่อัตราการเดิม 30% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้ว โดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.28 (ง) ส่วนที่อัตราการเดิม 50 และ 70% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนขึ้นมาถึงส่วนควบแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.28 (จ) และ (ฉ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเดิม 30% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด หรือไม่มีการทำงานให้เห็น เนื่องจาก อุณหภูมิของตัวนำส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.28 (ซ) ส่วนที่อัตราการเดิม 50% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนมีการเดือดอย่างชัดเจน โดยจะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ต่อจากนั้นการไหลจะเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปแบบของ Annular flow ดังรูปที่ 4.28 (ซ) และที่อัตราการเดิม 70% ตัวนำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมี รอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้แก้วแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้จึงไม่สามารถนำภาพมาแสดงในที่นี้ได้

- มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเดิม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่ สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือดแต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจาก ส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำภายในส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.29 (ก) ส่วนที่อัตราการเดิม 50% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow ก่อน จากนั้นจึงจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ

Churn flow และจะมีรูปแบบการไหลของ Slug flow เกิดขึ้นในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.29 (ข) และที่ อัตราการเติม 70% จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน โดยเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Slug flow ก่อนจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow และจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow เกิดขึ้นในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.29 (ค) ในกรณีที่เกิดขึ้นส่วน ความแน่นที่อัตราการเติม 30% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่ม สังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ความแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่มีการเดือดของ สารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.29 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50 และ 70% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมา จนถึงส่วนความแน่น แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.29 (จ) และ (ฉ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเติม 30 และ 50% สารทำงาน ภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด หรือการทำงานให้เห็น เนื่องจากอุณหภูมิของตัวน้ำส่วน ทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้ท่อเทอร์โมไซฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.29 (ซ) และ (ซ) ที่อัตราการเติม 70% ตัวน้ำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่า สูงทำให้กาาแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้จึงไม่สามารถนำภาพมาแสดงในที่นี้ได้



อัตราการเติม 30% อัตราการเติม 50% อัตราการเติม 70%

(ก)

(ข)

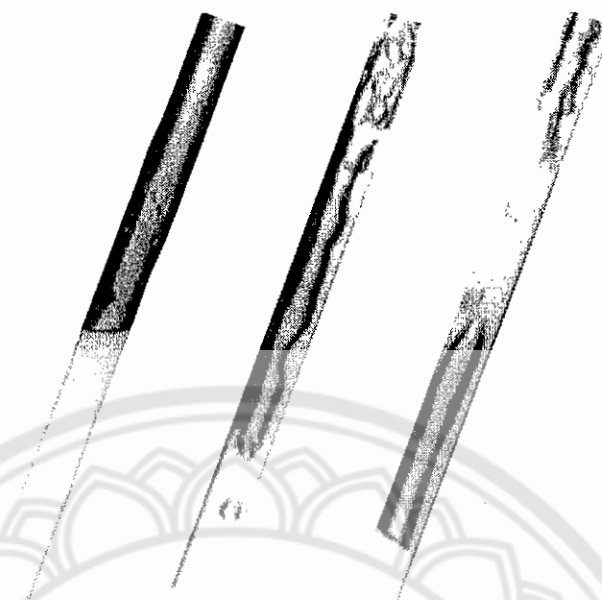
(ค)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.28 ผลกระทบของอัตราการผลิตสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C และวางตัวในแนวเอียง 50 องศา



อัตราการเดิม 30% อัตราการเดิม 50% อัตราการเดิม 70%

(ก)

(ข)

(ค)

(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



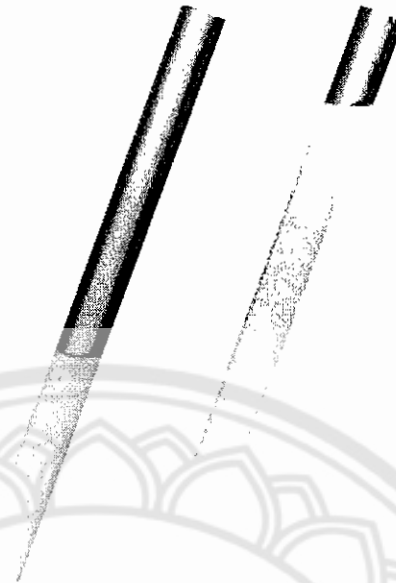
อัตราการเดิม 30% อัตราการเดิม 50% อัตราการเดิม 70%

(ง)

(จ)

(ฉ)

(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



อัตราการเติม 30% อัตราการเติม 50%

(ข) (ง)

(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.29 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80 °C และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา

- มุมเอียง 90 องศา จากแนวระดับ

ที่อัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยยังไม่มีเกิดการเดือด แต่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นซึ่งไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.30 (ก) ส่วนที่อัตราการเติม 50% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนจะเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Annular flow ต่อจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในช่วงเวลาเล็กน้อยก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow อีกครั้ง ดังรูปที่ 4.30 (ข) และที่อัตราการเติม 70% จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่โดยอาจจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในบางช่วงเวลา ดังรูปที่ 4.30 (ค) ในกรณีที่เกิดส่วนควบแน่นที่อัตราการเติม 30% สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการทำงานแล้วโดยจะเริ่มสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะตามผนังท่อแก้ว แต่ยังไม่เกิดการเดือดของสารทำงานให้เห็น ดังรูปที่ 4.30 (ง) ส่วนที่อัตราการเติม 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเกิดการเดือดเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น

แล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.30 (จ) ส่วนที่อัตราการเติม 70% ของปริมาตรส่วนทำระเหย ไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดของเหลวจากการควบแน่น เนื่องจากมีรูปแบบการไหลของ Slug flow ที่เกิดจากการเดือดของสารทำงานไหลผ่านส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อนไหลมาจนถึงส่วนควบแน่นแล้วไหลกลับมายังส่วนทำระเหยเนื่องจากแรง ดึงดูดของโลก ดังรูปที่ 4.30 (ฉ) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของปริมาตรส่วนทำระเหย สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มี การเดือด หรือ การทำงานให้เห็น เนื่องจากอุณหภูมิของตัวนำส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอที่จะทำให้เทอร์โมไซ ฟอนทำงาน ดังรูปที่ 4.30 (ช) และ (ซ) ที่อัตราการเติม 70% ตัวนำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้แก้วแตกไม่สามารถทนความ ร้อน และความดันได้จึงไม่สามารถนำภาพมาแสดงในที่นี้ได้



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

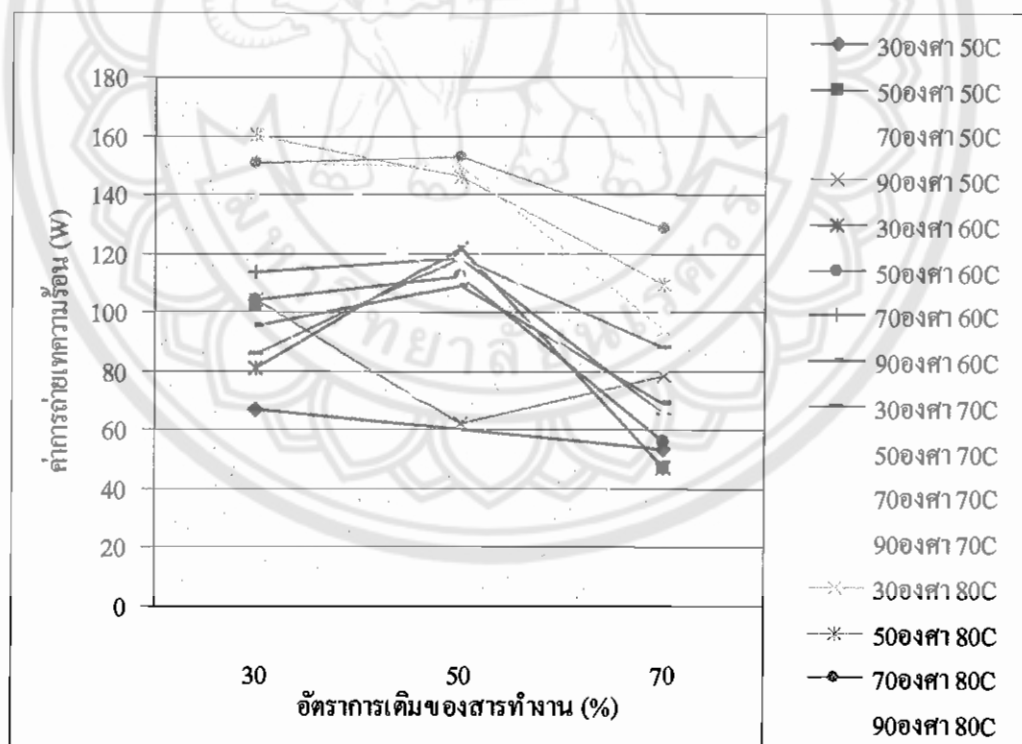
รูปที่ 4.30 ผลกระทบของอัตราการเติมสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C และวางตัวในแนวเอียง 90 องศา

4.2.5 ผลกระทบของอัตราการเติมที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

- สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

จากรูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมของสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการเติม 30 และ 70% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยน้อยกว่าที่อัตราการเติม 50% โดยมีค่า 115.87 W และ 74.27 W ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการเติม 50% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงถึง 121.47W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่อัตราการเติม 30% ของส่วนทำระเหยยังมีปริมาณสารทำงานที่น้อยเกินไปทำให้เกิดการเดือดของสารทำงานมาก แต่การเดือดของสารทำงานยังไม่ถึงส่วนควบแน่น ในขณะที่อัตราการเติม 70% ของส่วนทำระเหยมีปริมาณสารทำงานที่มากเกินไปทำให้เกิดการเดือดน้อย จึงทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าน้อยมาก ส่วนที่อัตราการเติม 50% ของส่วนทำระเหยเทอร์โมไซฟอนมีการทำงานดี ซึ่งส่วนมากจะเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow และ Annular flow

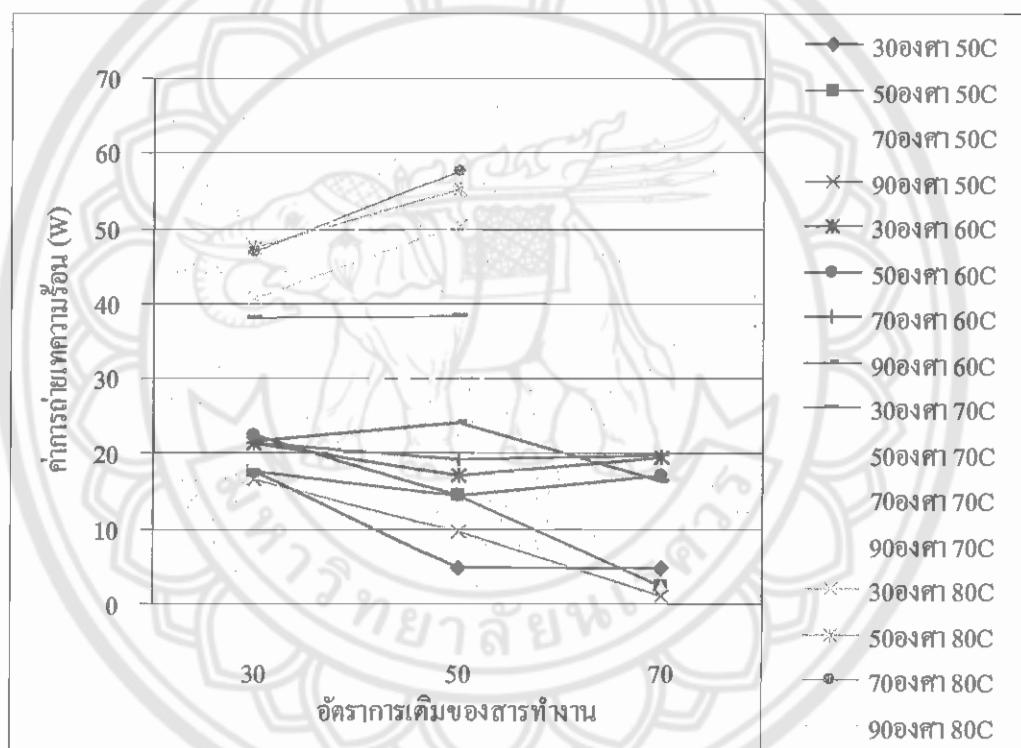


รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่สารทำงานเป็นน้ำ

- สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

จากรูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมของสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน จะเห็นว่าที่อัตราการเติม 30% มีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมากที่สุด คือ 30.23 W ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่อัตราการเติม 50% ซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย คือ 28.88 W ในขณะที่อัตราการเติม 70% จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 14.25 W

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากที่อัตราการเติม 30 และ 50% ของส่วนทำระเหยมีปริมาณสารทำงานที่เหมาะสมกว่าให้สารทำงานเกิดการเดือดมากกว่า ในขณะที่อัตราการเติม 70% ของส่วนทำระเหยมีปริมาณสารทำงานมากเกินไปทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดีพอ



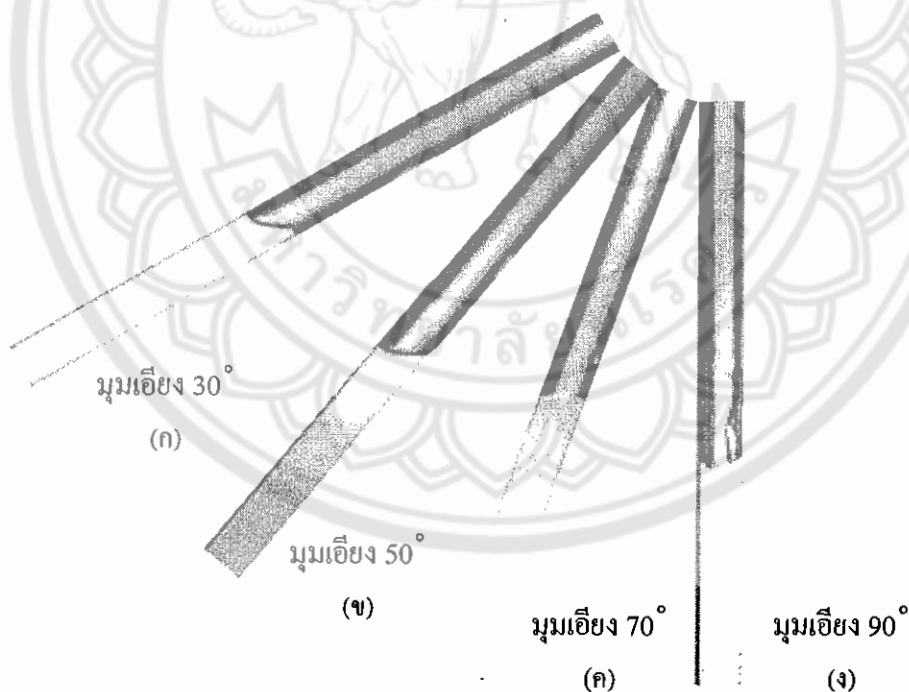
รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิส่วนทำระเหยและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมกับเอทานอล

4.3 ผลกระทบของมุมเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลภายในท่อเทอร์โมไซฟอน และค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน

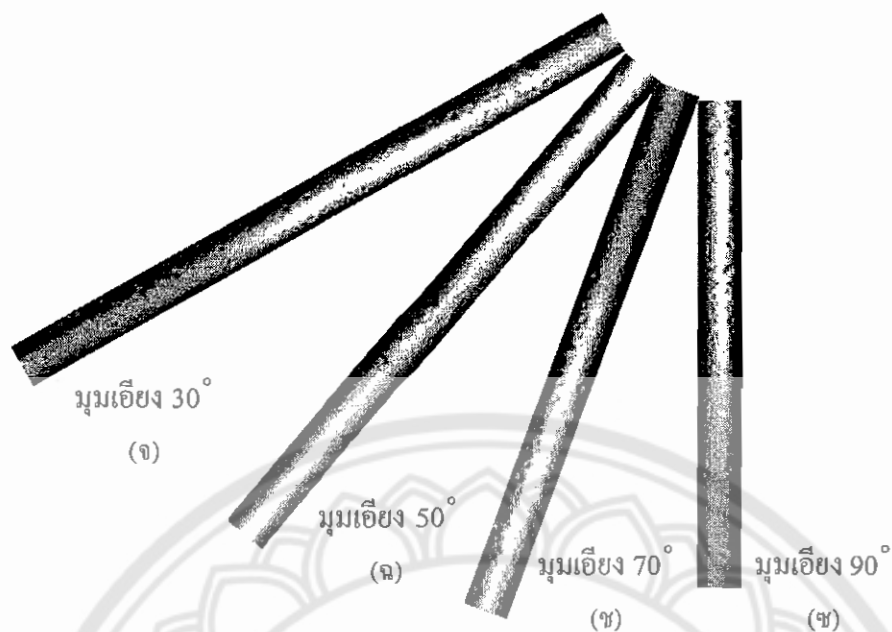
4.3.1 กรณีที่อัตราการเติมสาร 30%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50°C

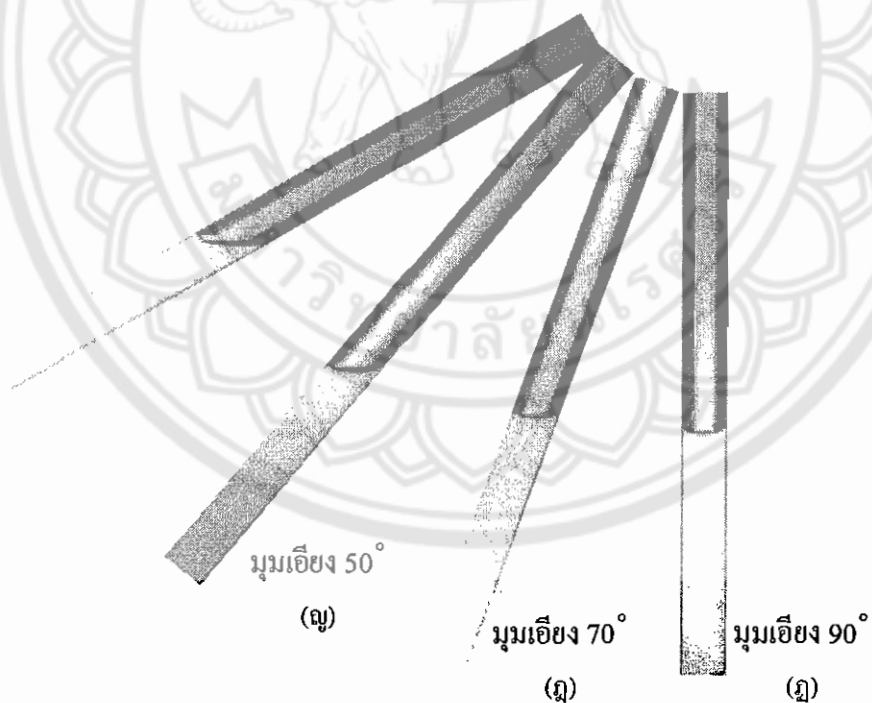
ที่มุมเอียง 30° 50° 70° และ 90° องศา สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนยังไม่เกิดการเดือด ที่ส่วนทำระเหยของสารทำงานเป็นน้ำกลั่น สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นที่ไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.33 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในขณะเดียวกันที่ส่วนควบแน่นก็สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านใน ดังรูปที่ 4.33 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล จะไม่สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำ หรือไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.33 (ณ) (ญ) (ฎ) และ (ฏ) ดังนั้นจึงไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C และอัตราการเติม 30% ของปริมาตรส่วนทำระเหยได้



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

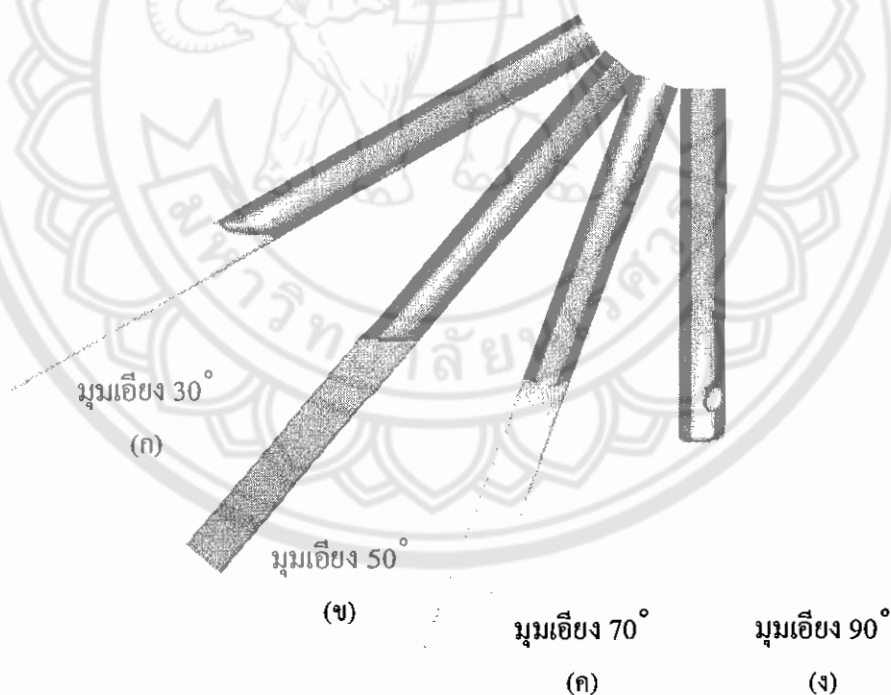


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

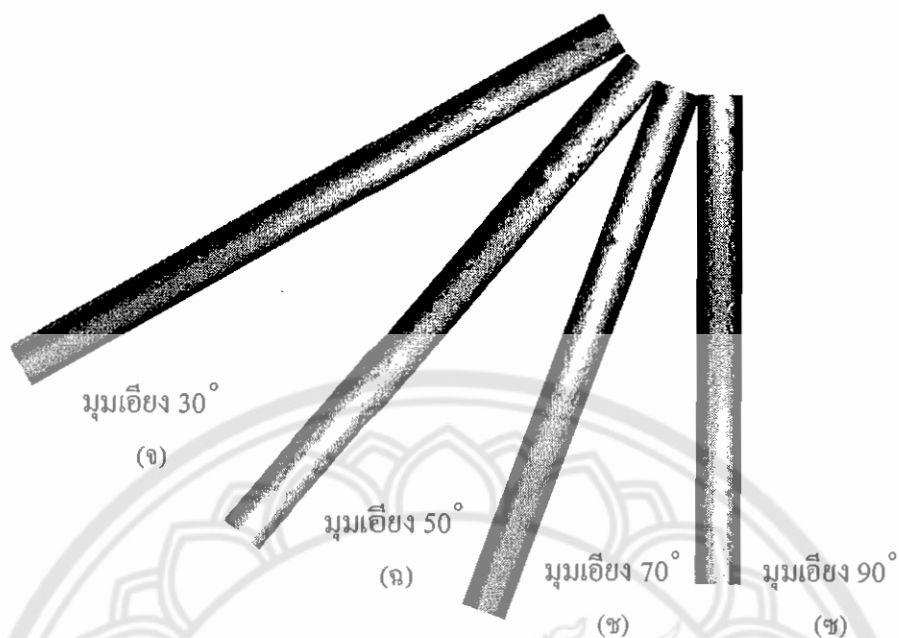
รูปที่ 4.33 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50 °C และอัตราการเติม 30%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60°C

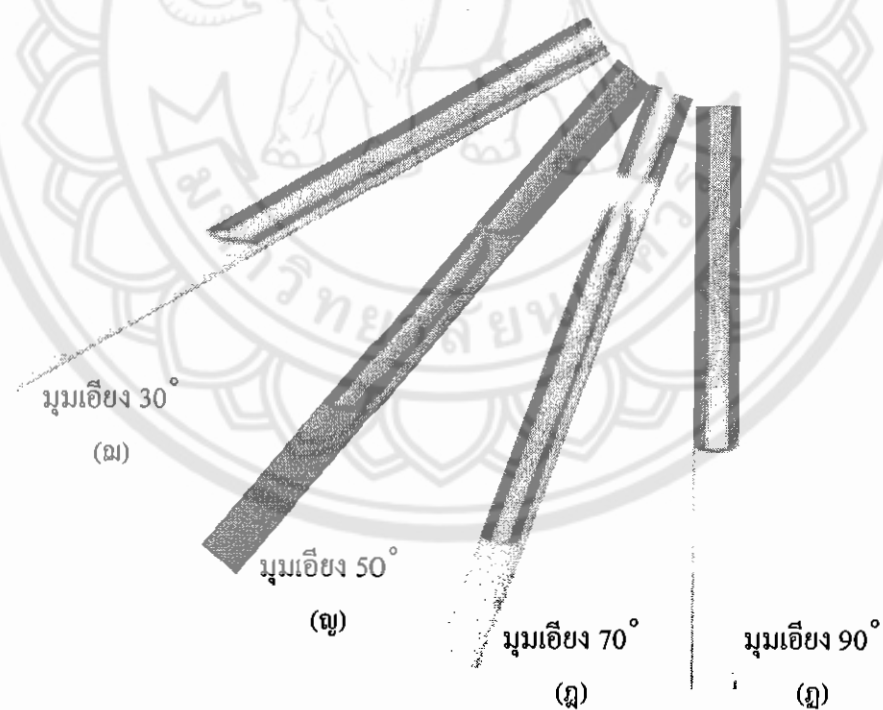
ที่มุมเอียง 30 50 70 และ 90 องศา สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนยังไม่เกิดการเดือด ที่ส่วนทำระเหยของสารทำงานเป็นน้ำกลั่น สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นที่ไหลมาจาก ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ยกเว้นที่มุมเอียง 70 องศา ที่ไม่สามารถสังเกตเห็นไอน้ำที่เกาะผนังได้ เลย ดังรูปที่ 4.34 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในขณะเดียวกันที่ส่วนควบแน่นก็สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยด น้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อค้ำใน ดังรูปที่ 4.34 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของ สารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่มุมเอียง 30 และ 90 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซ ฟอนยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านในดังรูปที่ 4.34 (ณ) และ (ญ) ส่วนที่มุมเอียง 50 และ 70 องศา จะสามารถสังเกตเห็นการเดือดของสารทำงานในลักษณะรูปแบบการไหลของ Slug flow ซึ่งเป็นฟองไอน้ำลักษณะคล้ายลูกกระสุนพุ่งขึ้นสู่ด้านบน ดังรูปที่ 4.34 (อ) และ (อุ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

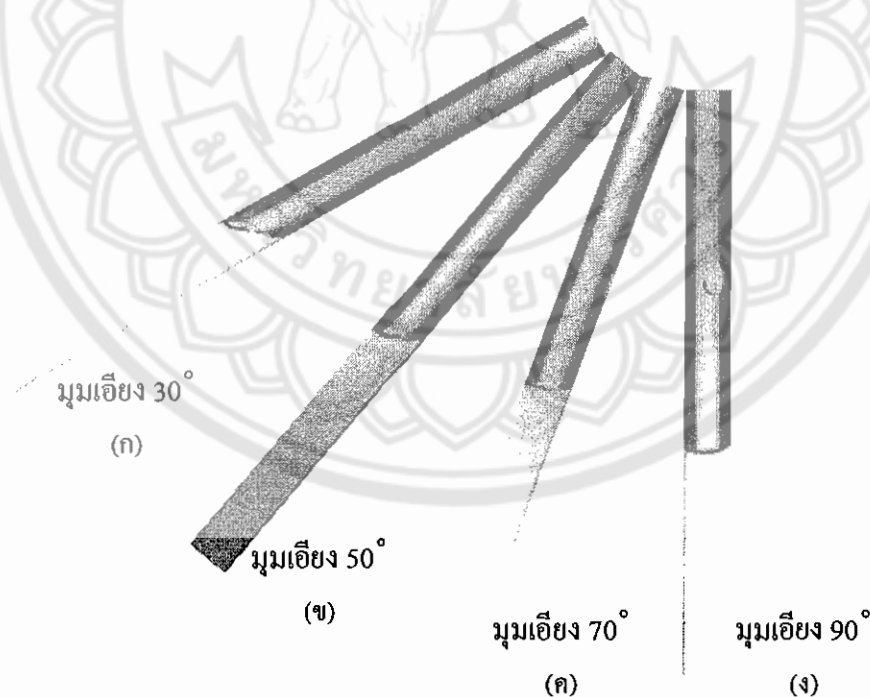


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

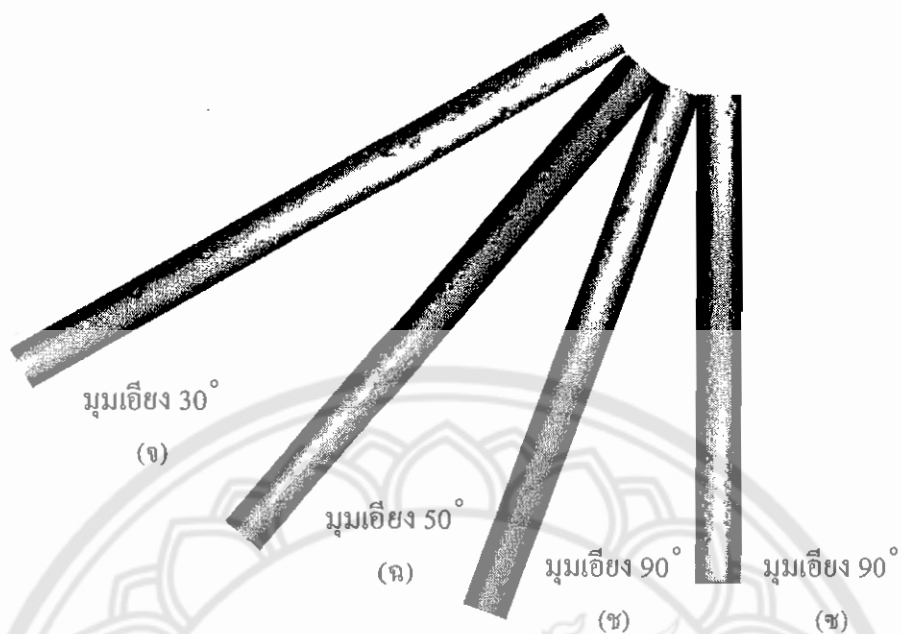
รูปที่ 4.34 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C และอัตราการเติม 30%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70°C

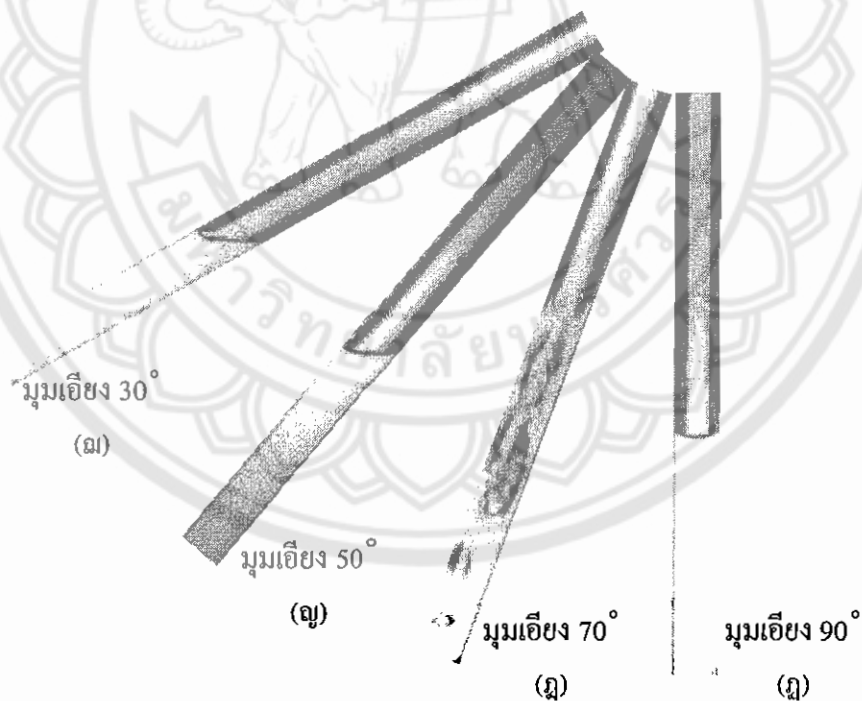
ที่มุมเอียง $30\ 50\ 70$ และ 90 องศา สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนยังไม่เกิดการเดือด ที่ส่วนทำระเหยของสารทำงานเป็นน้ำกลั่น สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นที่ไหลมาจาก ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 4.35 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในขณะเดียวกันที่ส่วนควบแน่นก็สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านใน ดังรูปที่ 4.35 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่มุมเอียง $30\ 50$ และ 90 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.35 (ณ) (ญ) และ (ฎ) แต่ที่มุมเอียง 70 องศา สามารถสังเกตเห็นการเดือดของสารทำงานในลักษณะรูปแบบการไหลของ Slug flow ในช่วงแรกๆ ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow และมีลักษณะรูปแบบการไหลของ Annular flow บางในช่วงด้านบนของท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.35 (ฏ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนทวนแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

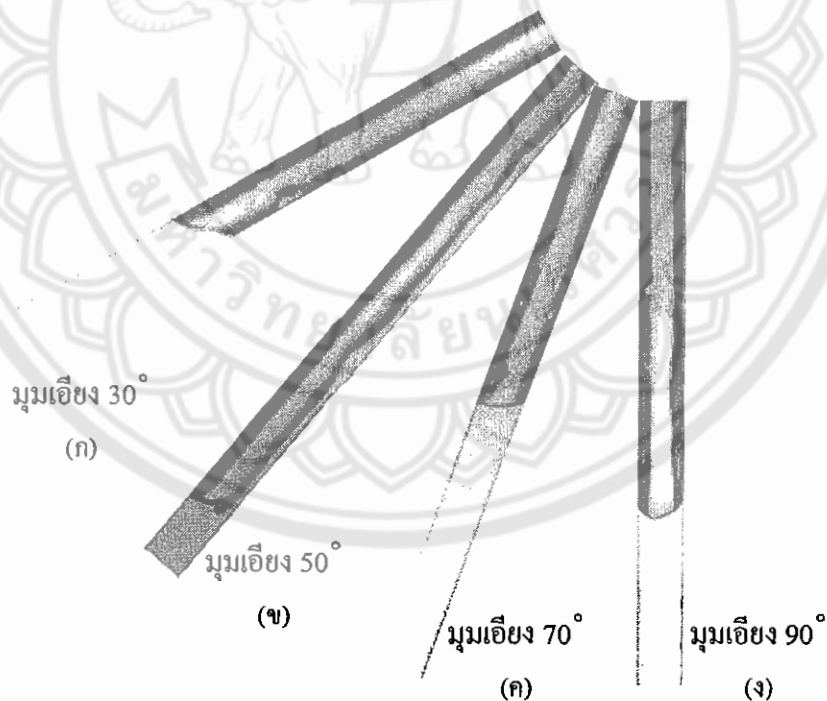


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

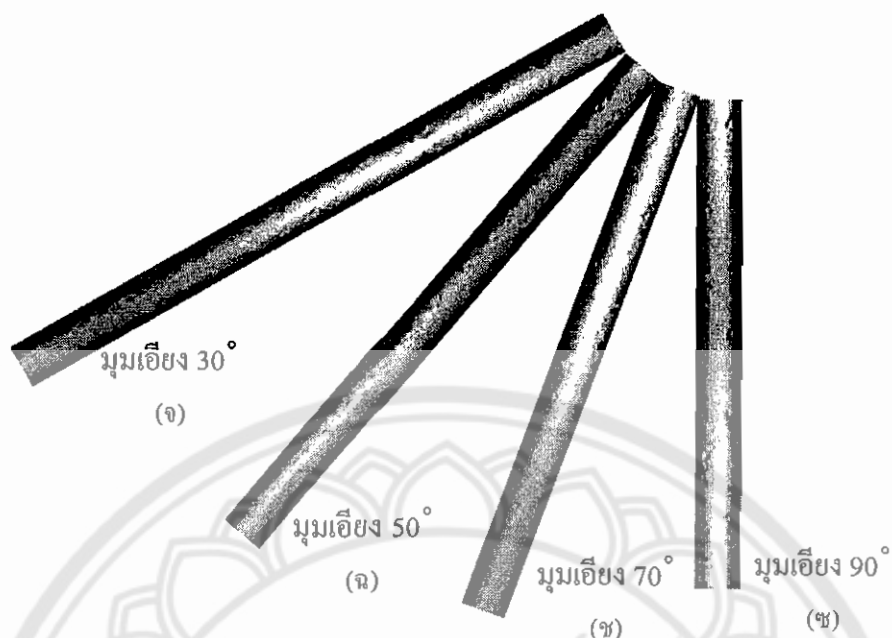
รูปที่ 4.35 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70°C และอัตราการเติม 30%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C

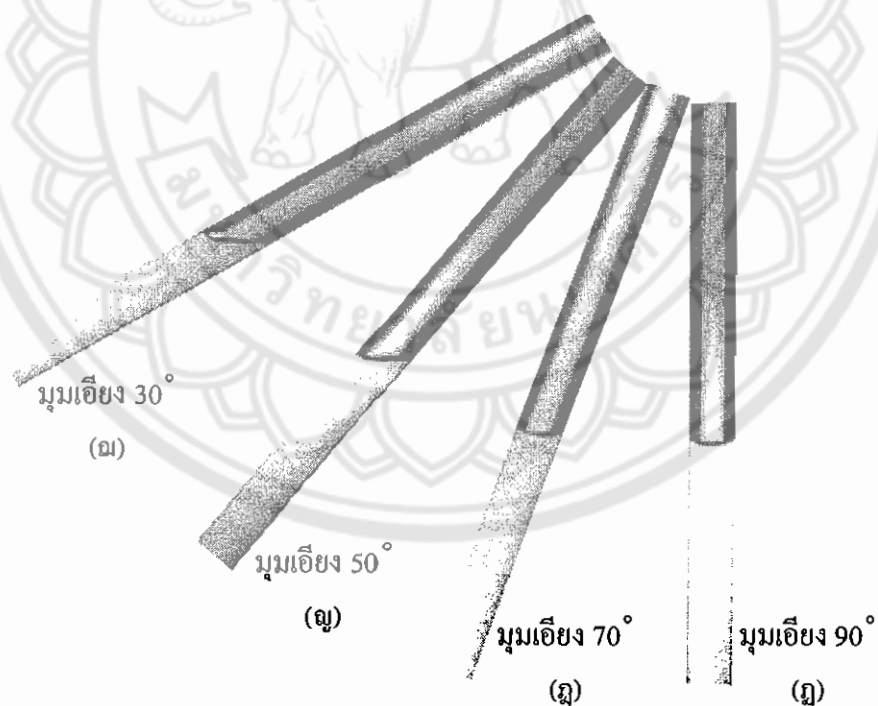
สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนที่ส่วนทำระเหยของสารทำงานเป็นน้ำกลั่น สามารถสังเกตเห็นหยดน้ำจากการควบแน่นที่ไหลมาจากส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนได้อย่างชัดเจนที่มุมเอียง 30° 70° และ 90° องศา ดังรูปที่ 4.36 (ก) (ค) และ (ง) และที่มุมเอียง 50° องศา จะเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มน้ำเคลือบผิวด้านในท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.36 (ข) ในขณะเดียวกันที่ส่วนควบแน่นก็สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านใน ดังรูปที่ 4.36 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.36 (ณ) (ญ) (ฎ) และ (ฏ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



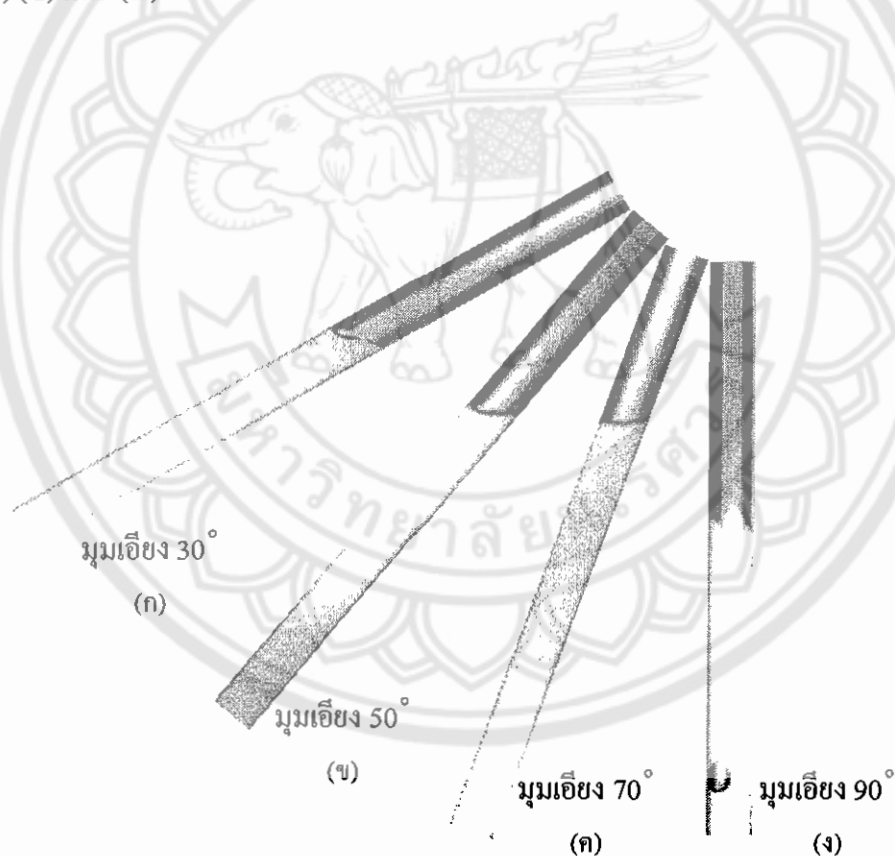
(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.36 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C และอัตราการเติม 30%

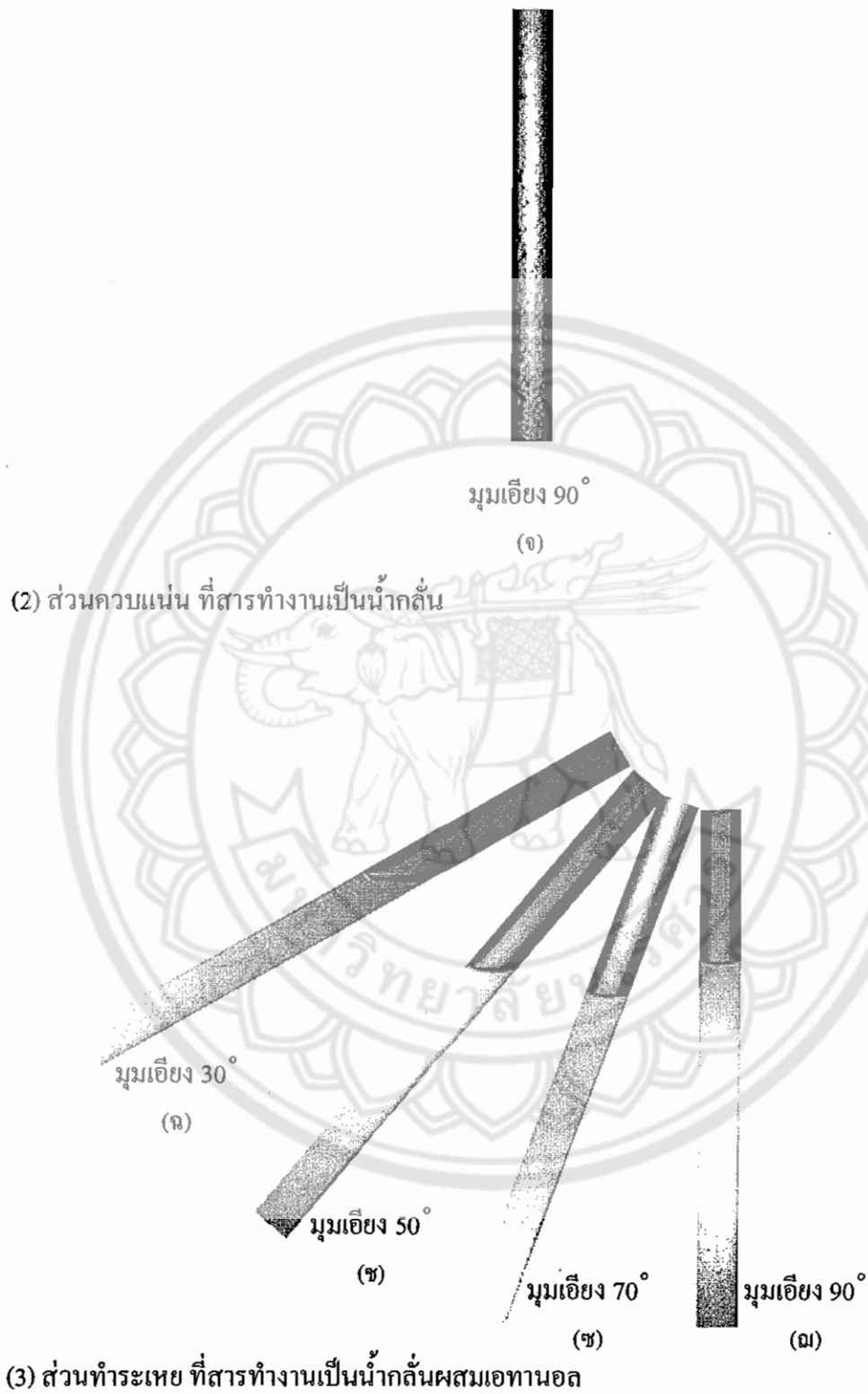
4.3.2 กรณีที่อัตราการเติมสาร 50%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C

ที่มุมเอียง 30 50 และ 70 องศา ในส่วนทำระเหยของสารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ดังรูปที่ 4.37 (ก) (ข) และ (ค) และที่มุมเอียง 90 องศา สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Bubby flow ซึ่งมีลักษณะเป็นฟองอากาศขนาดเล็กๆ ลอยขึ้นสู่ด้านบน ดังรูปที่ 4.37 (ง) ในขณะที่เดียวกันที่ส่วนควบแน่นก็สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านใน ดังรูปที่ 4.37 (จ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.37 (ฉ) (ช) (ซ) และ (ฌ)



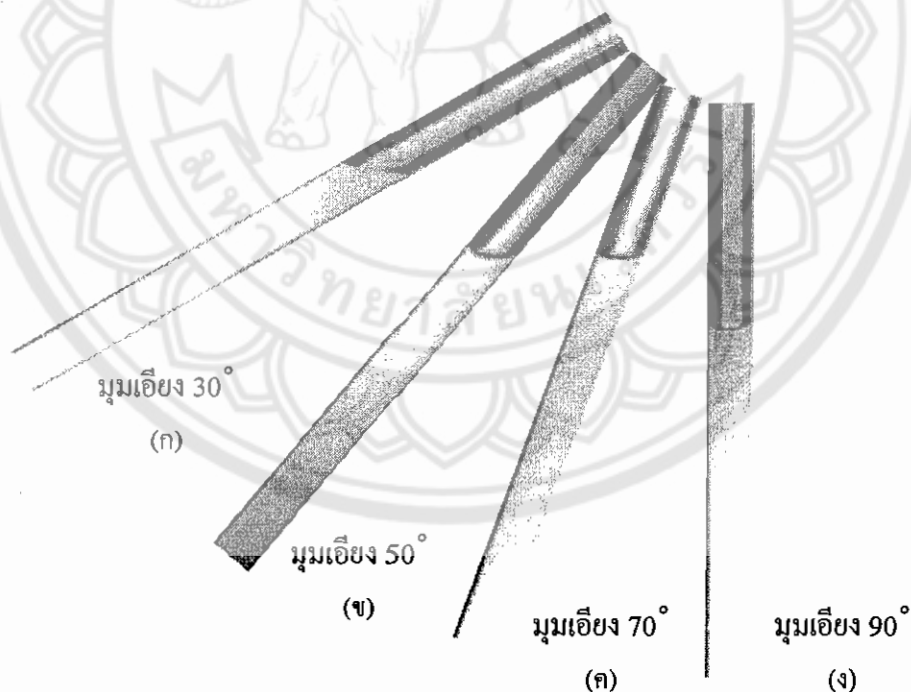
(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



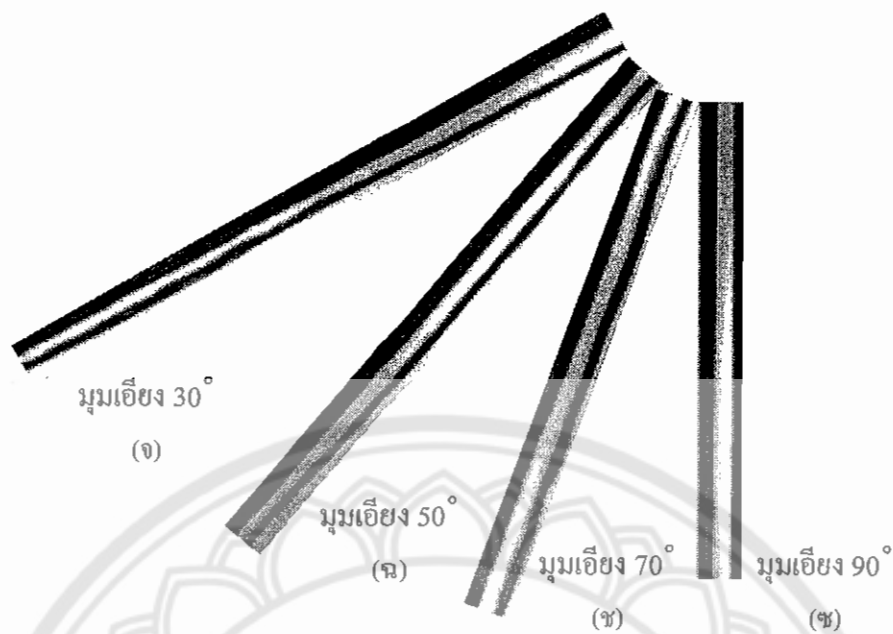
รูปที่ 4.37 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C และอัตราการเติม 50%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60°C

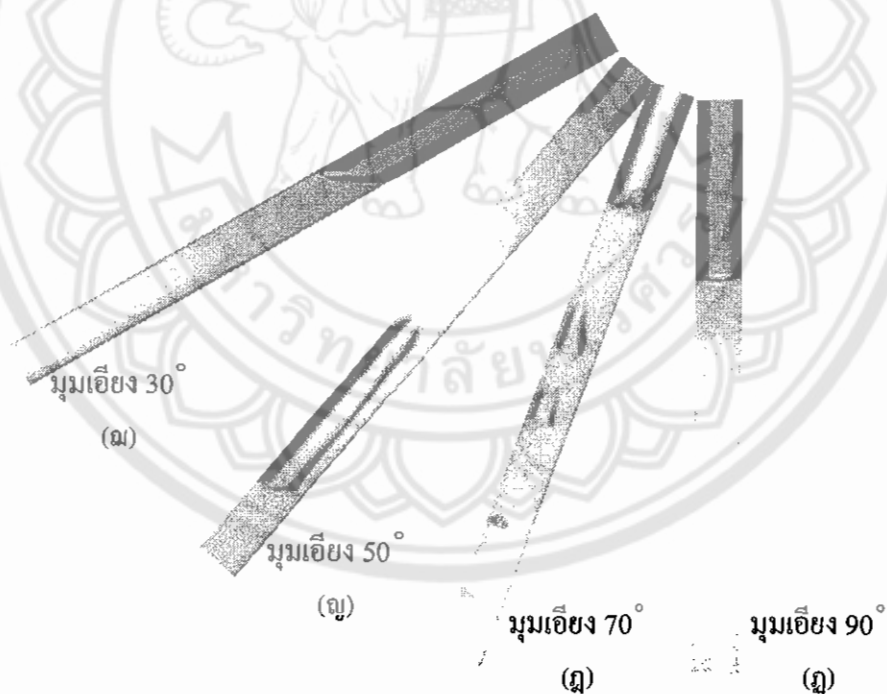
ที่มุมเอียง 30 50 70 และ 90 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยของสารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ดังรูปที่ 4.38 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในขณะเดียวกันที่ส่วนควบแน่นไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านใน เนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น และนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ ลงไปสู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 4.38 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่มุมเอียง 30 และ 90 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ดังรูปที่ 4.38 (ณ) และ (ญ) แต่ที่มุมเอียง 50 องศา สามารถสังเกตเห็นการเดือดของสารทำงานในลักษณะรูปแบบการไหลของ Slug flow ดังรูปที่ 4.38 (ฎ) และที่มุมเอียง 70 องศา สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Bubbly flow ดังรูปที่ 4.38 (ฏ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

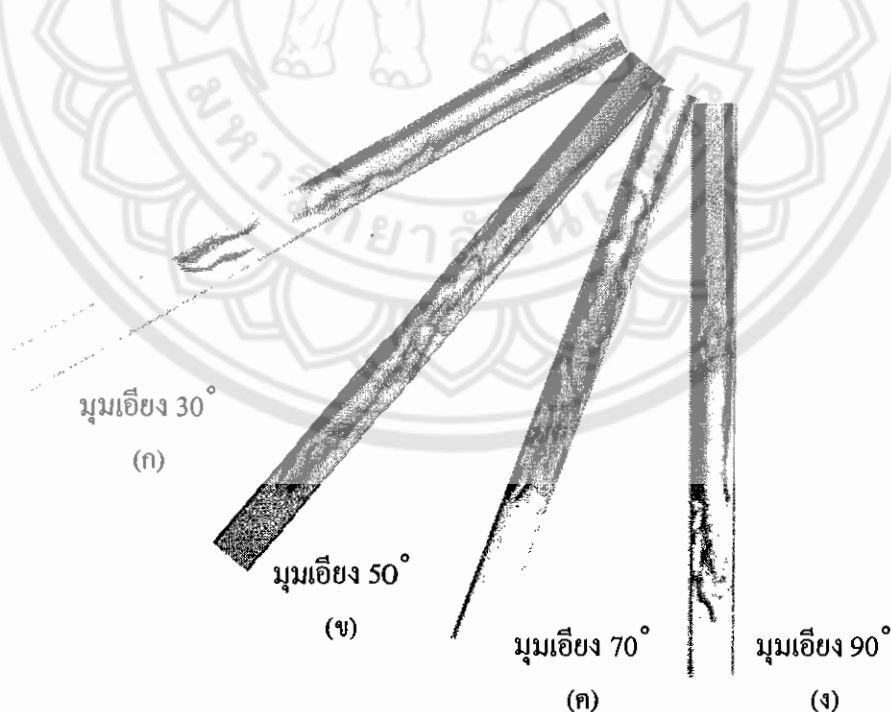


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

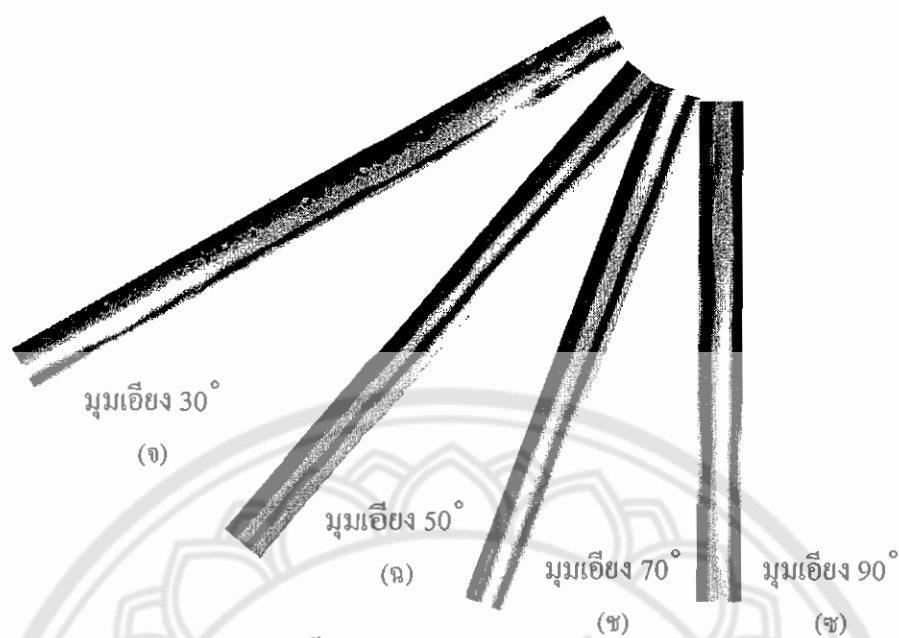
รูปที่ 4.38 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C และอัตราการเติม 50%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70°C

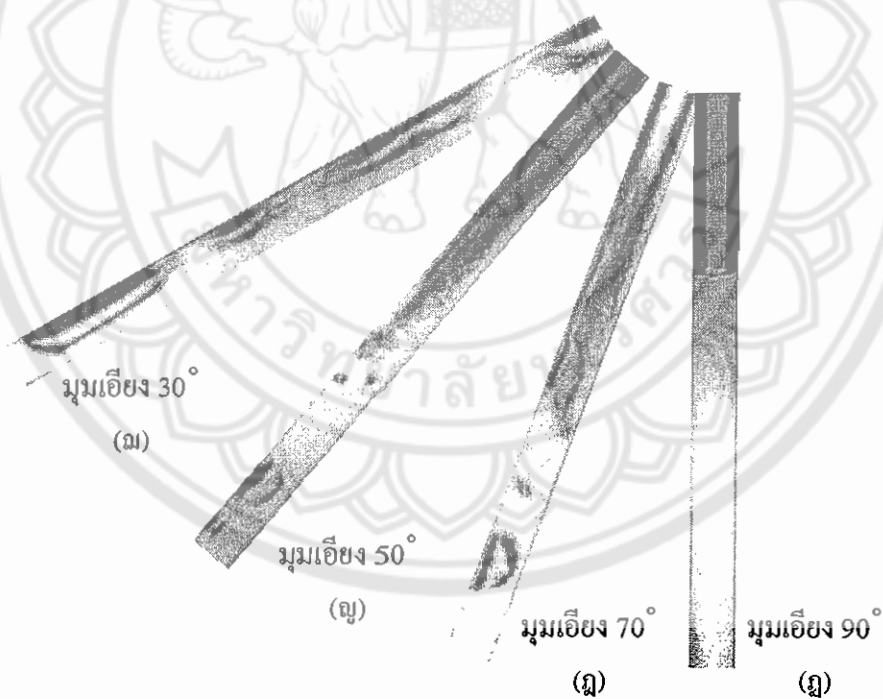
ที่มุมเอียง 30 50 70 และ 90 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นเริ่มมีการเดือด ซึ่งมีลักษณะรูปแบบการไหลที่คล้ายๆ กันทุกมุมเอียงจึงสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow เพียงช่วงเวลาเล็กน้อยในตอนต้นๆ จากนั้นจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในช่วงกลางของท่อเทอร์โมไซฟอน และช่วงท้ายด้านบนจะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.39 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในขณะที่เดียวกันที่ส่วนควบแน่นไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านในเนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่นและนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ลงไปสู่ด้านล่าง ยกเว้นที่มุมเอียง 30 องศา จะยังสามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.39 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่มุมเอียง 30 50 และ 70 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนเริ่มมีการเดือด โดยสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow และรูปแบบการไหล Churn flow ดังรูปที่ 4.39 (ฉ) (ญ) และ (ฎ) แต่ที่มุมเอียง 90 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีมีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ดังรูปที่ 4.39 (ฎ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควมแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

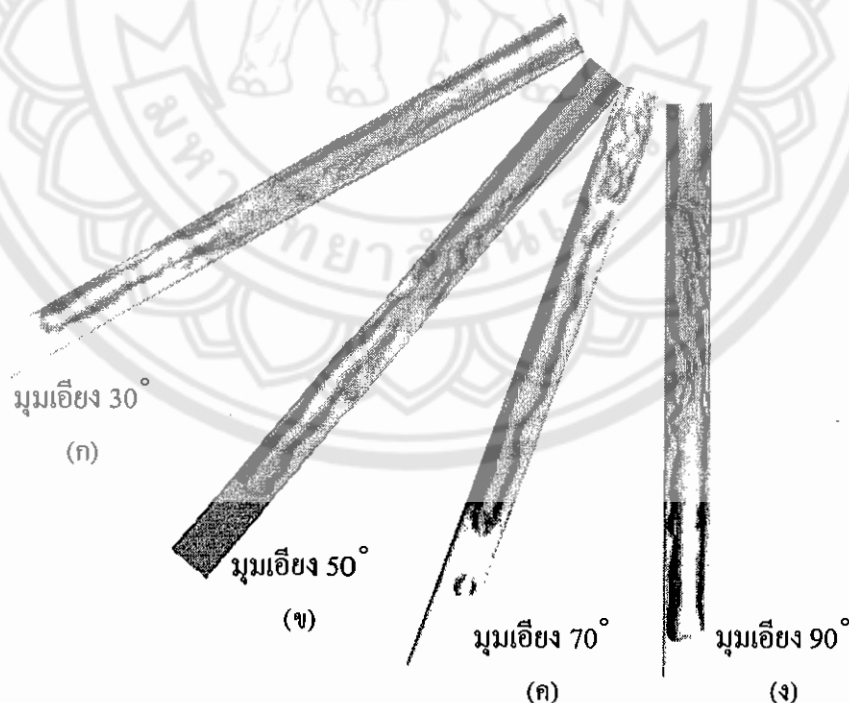


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

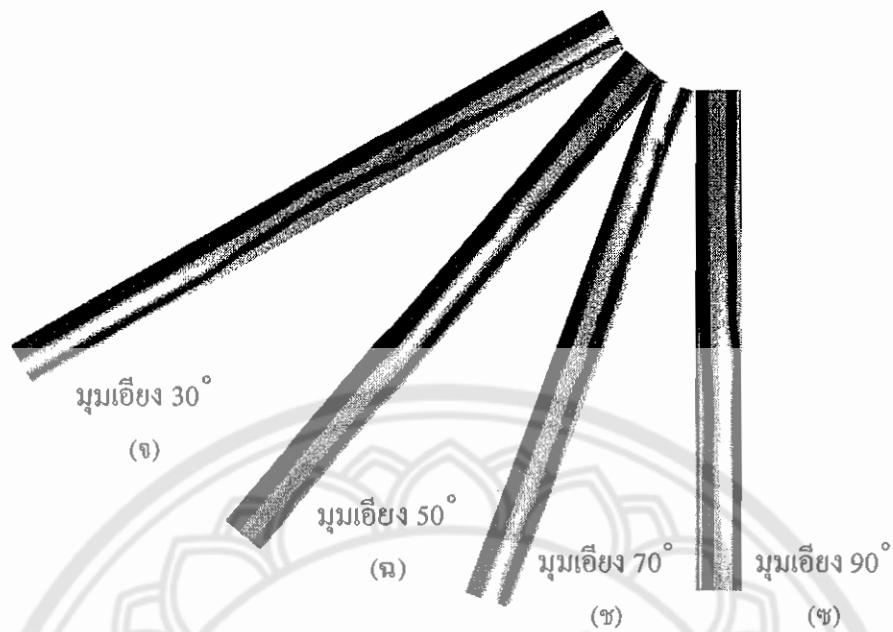
รูปที่ 4.39 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70°C และอัตราการเติม 50%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C

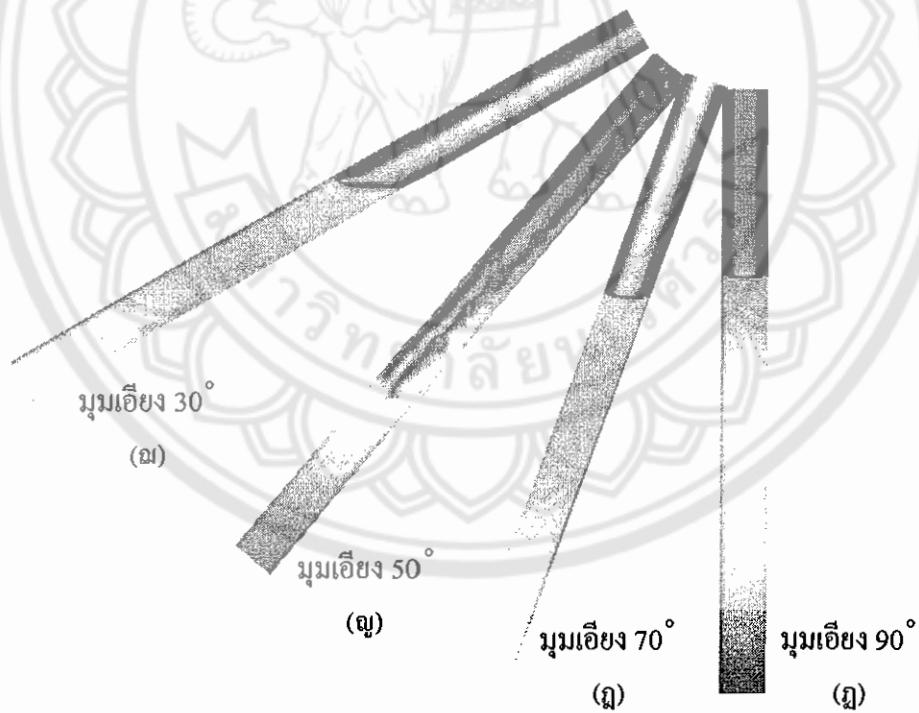
ที่มุมเอียง 30 50 70 และ 90 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนในส่วนทำระเหยที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นเริ่มมีการเดือด ซึ่งมีลักษณะรูปแบบการไหลที่คล้ายๆ กันทุกมุมเอียง คือ ในช่วงด้านล่างจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow ก่อน แล้วจึงเปลี่ยนเป็นการไหลแบบ Churn flow ในช่วงกลาง แล้วเปลี่ยนรูปแบบการไหลเป็นแบบ Annular flow อีกครั้ง ดังรูปที่ 4.40 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในขณะเดียวกันที่ส่วนควบแน่นไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านใน เนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น และนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ ลงไปสู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 4.40 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่มุมเอียง 30 70 และ 90 องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยัง ไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.40 (ณ) (ญ) และ (ฎ) แต่ที่มุมเอียง 70 องศา สามารถสังเกตเห็นการเดือดของสารทำงานในลักษณะรูปแบบการไหลของ Churn flow และรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.40 (ฏ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนความแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



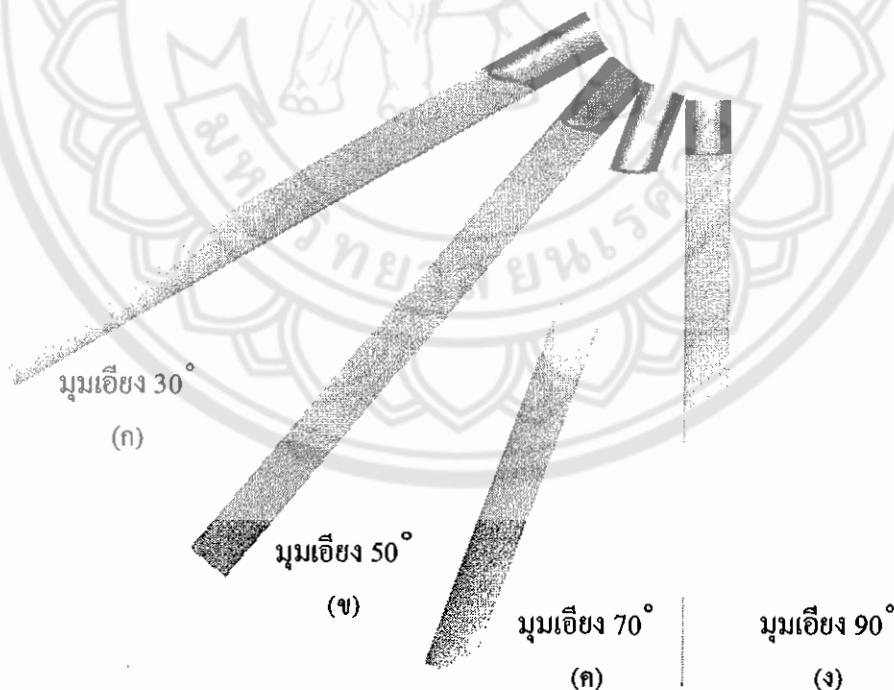
(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.40 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C และอัตราการเค็ม 50%

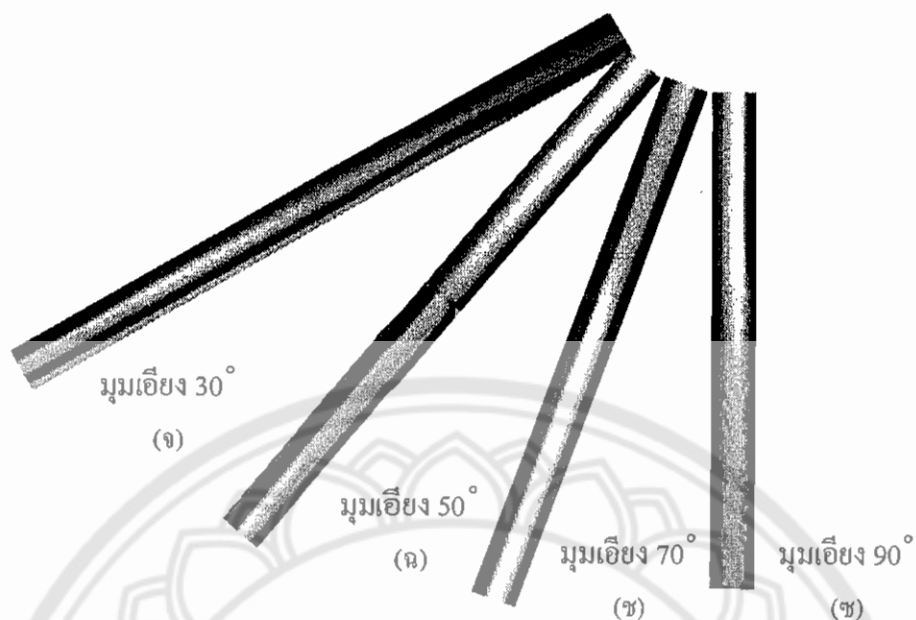
4.3.3 กรณีที่อัตราการเติมสาร 70%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 50 °C

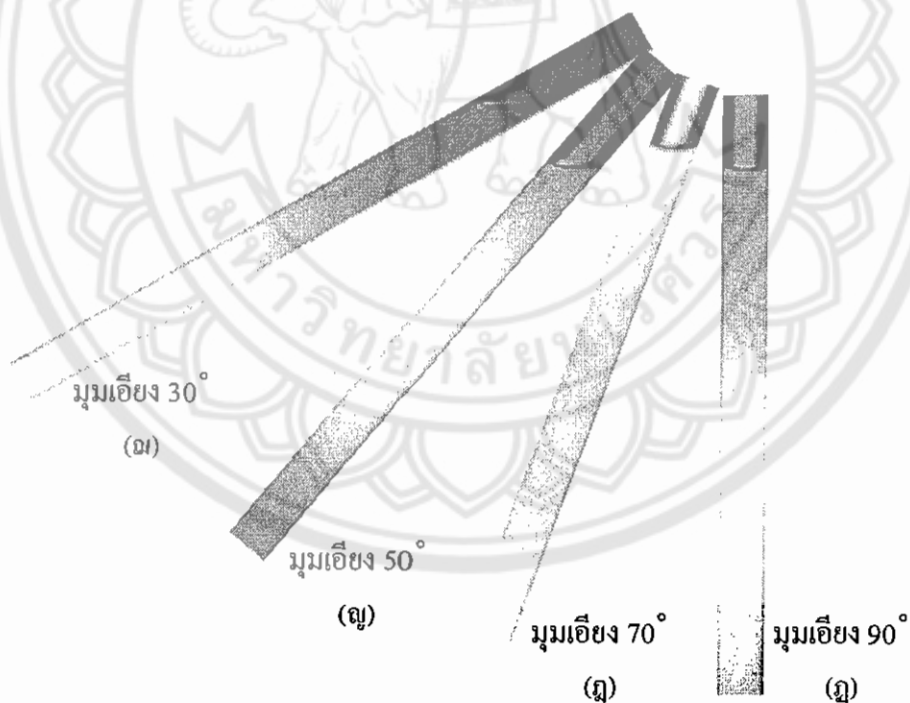
ที่มุมเอียง 30 50 70 และ 90 องศา ในส่วนทำระเหยของสารทำงานเป็นน้ำกลั่นยังไม่มี การเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ดังรูปที่ 4.41 (ก) (ข) (ค) และ (ง) ในกรณีที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 30 และ 70 องศา จะไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่เกาะอยู่ตามผนังท่อด้านในได้ เนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น และนำพา กลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ ลงไปสู่ด้านล่าง โดยเฉพาะที่มุมเอียง 50 องศา จะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ขึ้นมาถึงส่วนควบแน่น ดังรูปที่ 4.41 (จ) และ (ช) แต่ที่มุมเอียง 30 องศา จะยังสามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำเกาะที่ผิวด้านในของท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.37 (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มี การเดือดเกิดขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิส่วนทำระเหยยังไม่สูงพอ ดังรูปที่ 4.41 (ฉ) (ญ) (ฉ) และ (ญ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

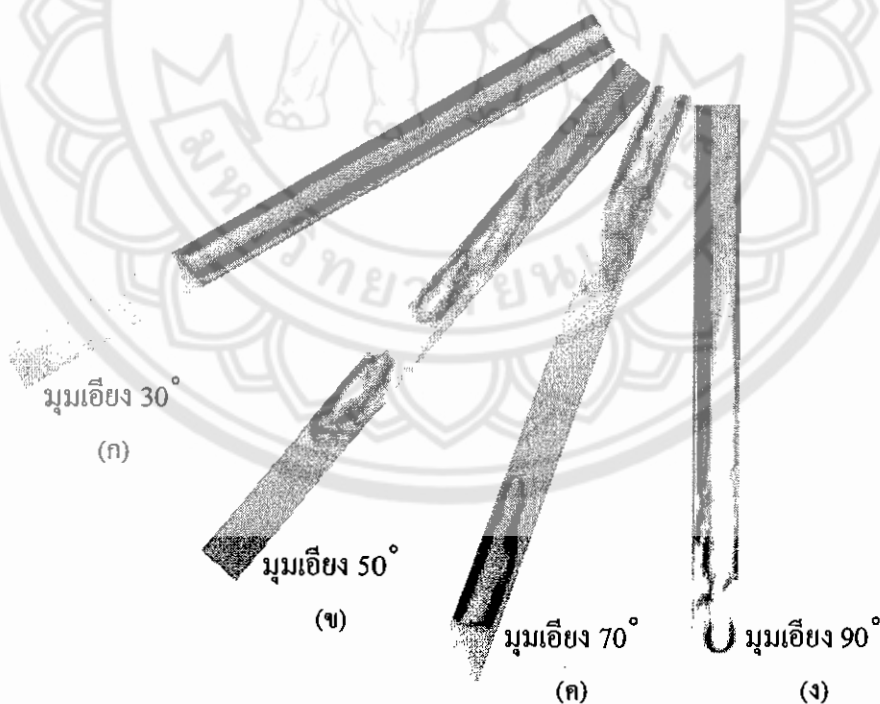


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

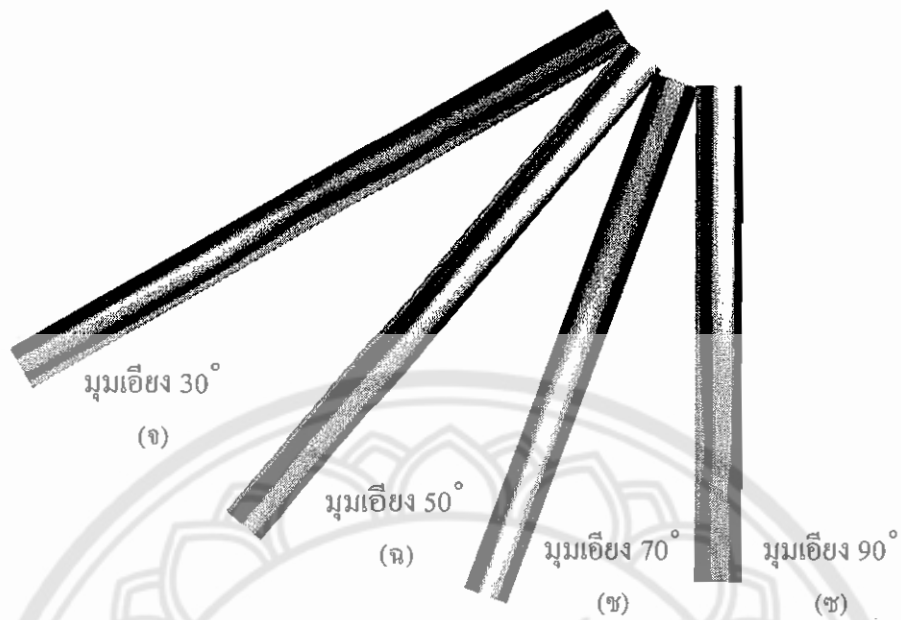
รูปที่ 4.41 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 50°C และอัตราการเติม 70%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 60°C

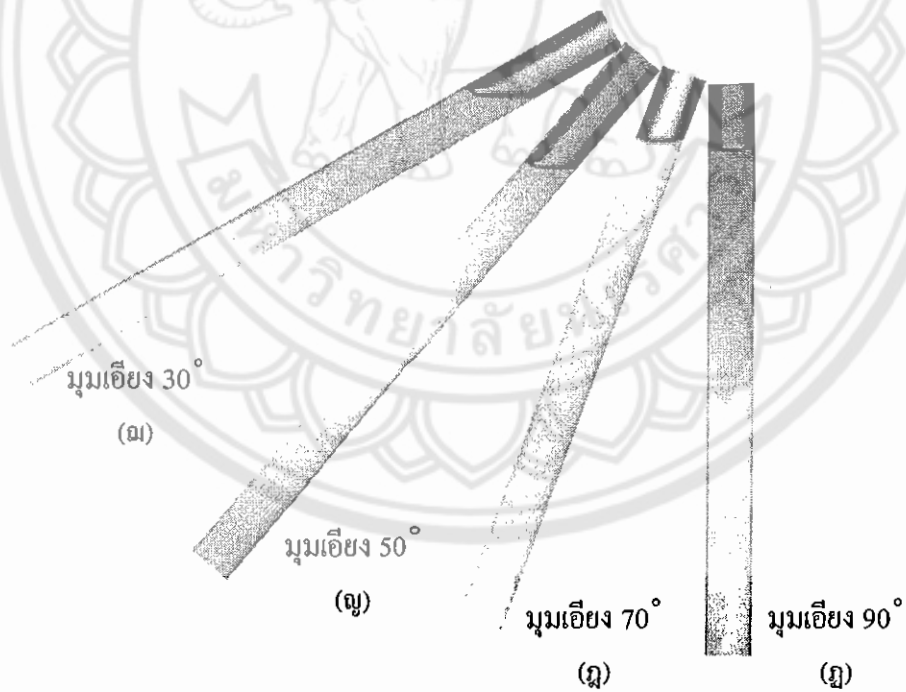
สังเกตที่ส่วนทำระเหยของสารทำงานเป็นน้ำกลั่นที่มุมเอียง 30 องศา จะสามารถสังเกตเห็นการทำงานของสารทำงานในรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.42 (ก) ที่มุมเอียง 50 และ 70 องศา จะมีลักษณะการทำงานของสารทำงานที่คล้ายกัน คือ ในช่วงแรกจะเริ่มจากรูปแบบการไหลของ Slug flow แล้วจึงเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลเป็น Churn flow และอาจจะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow บางเล็กน้อย ในช่วงท้ายๆ ดังรูปที่ 4.42 (ข) และ (ค) ส่วนที่มุมเอียง 90 องศา จะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow แล้วเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 4.42 (ง) ในขณะเดียวกันที่ส่วนควบแน่นไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านใน เนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น และนำพา กลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ ลงไปสู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 4.42 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยัง ไม่มีการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.42 (ณ) (ญ) (ฎ) และ (ฏ)



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

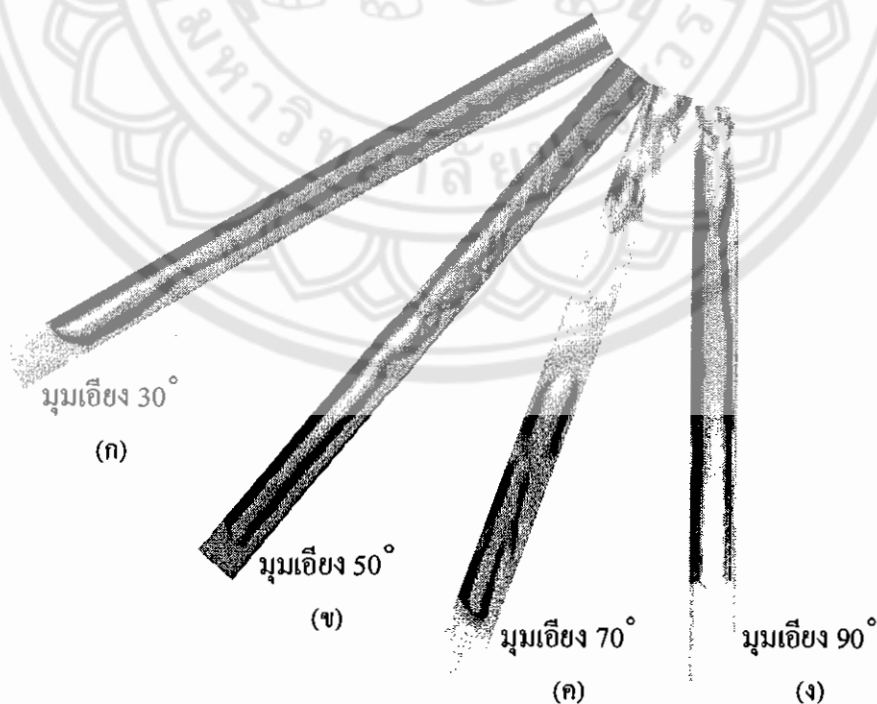


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

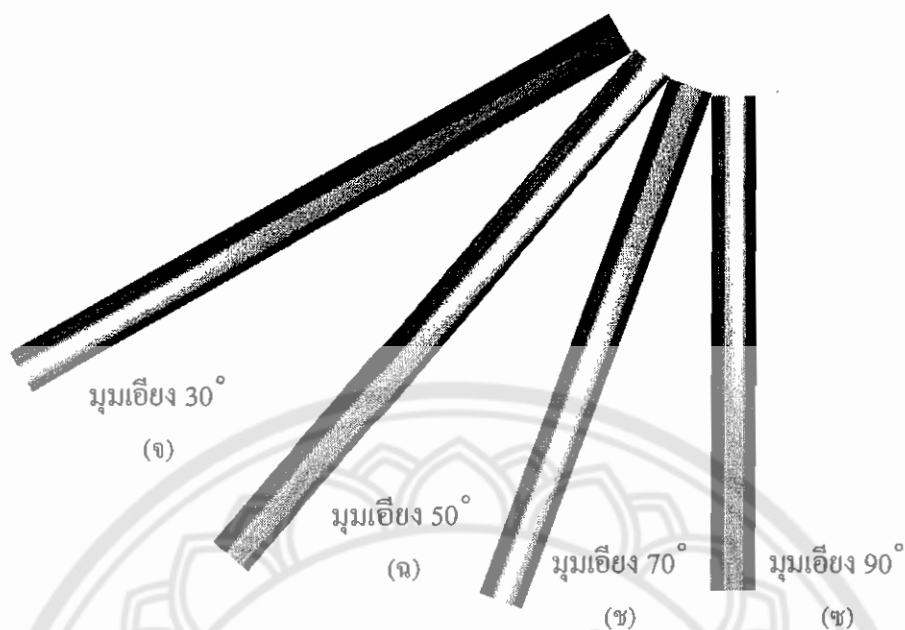
รูปที่ 4.42 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 60°C และอัตราการเดิน 70%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 70°C

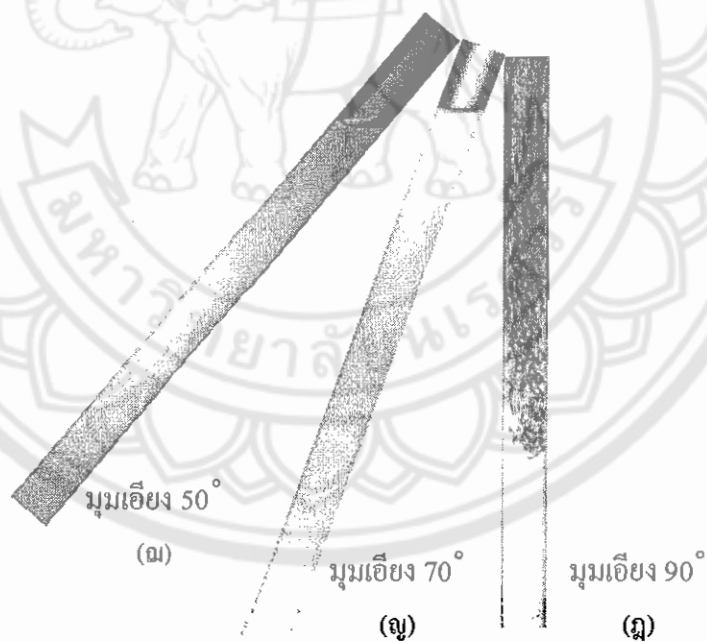
ที่ส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่น มุมเอียง 30° 50° และ 90° องศา สารทำงานจะมีการเดือดที่มีลักษณะคล้ายๆ กัน คือ จะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นส่วนใหญ่ และจะมีรูปแบบการไหลของ Churn flow บ้างเล็กน้อย ในช่วงกลางถึงช่วงบนของท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.43 (ก) (ข) และ (ง) แต่ที่มุมเอียง 70° องศา สารทำงานจะมีลักษณะของรูปแบบการไหลของ Slug flow ในช่วงแรก แล้วเปลี่ยนรูปแบบการไหลเป็น Churn flow ดังรูปที่ 4.43 (ค) ในขณะเดียวกันที่ส่วนควบแน่นไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่ควบแน่นเกาะอยู่ตามผนังท่อด้านใน เนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น และนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ ลงไปสู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 4.43 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) แต่ในส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่มุมเอียง 50° และ 70° องศา สารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอนยังไม่มีเกิดการเดือด หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.43 (ฉ) และ (ญ) ที่มุมเอียง 90° องศา จะสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Churn flow อย่างชัดเจนแต่เพียงรูปแบบเดียว ดังรูปที่ 4.43 (ฎ) ที่มุมเอียง 30° องศา ตัวน้ำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยร้าวบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้กาาแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น



(2) ส่วนควบแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

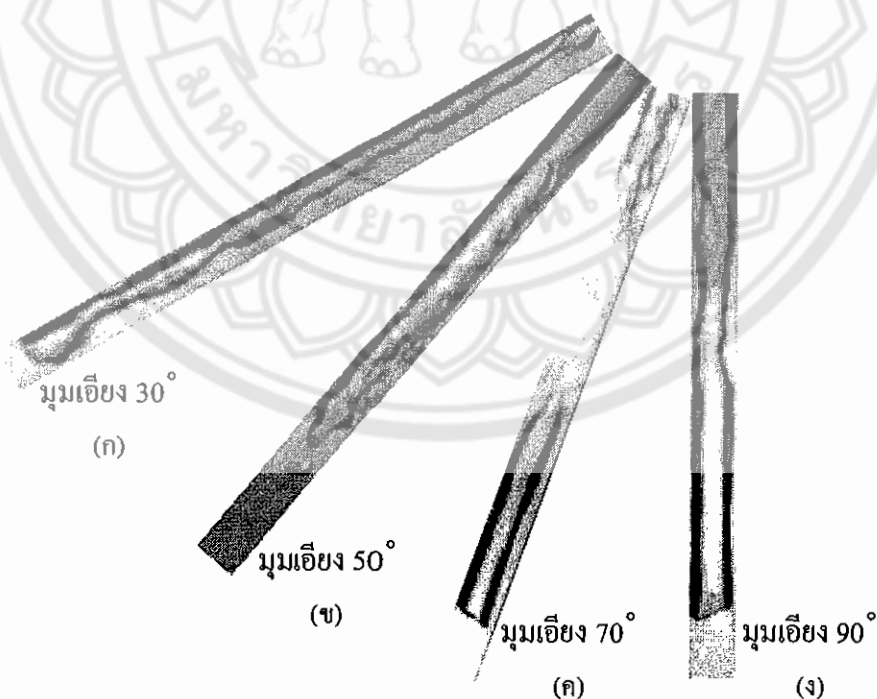


(3) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

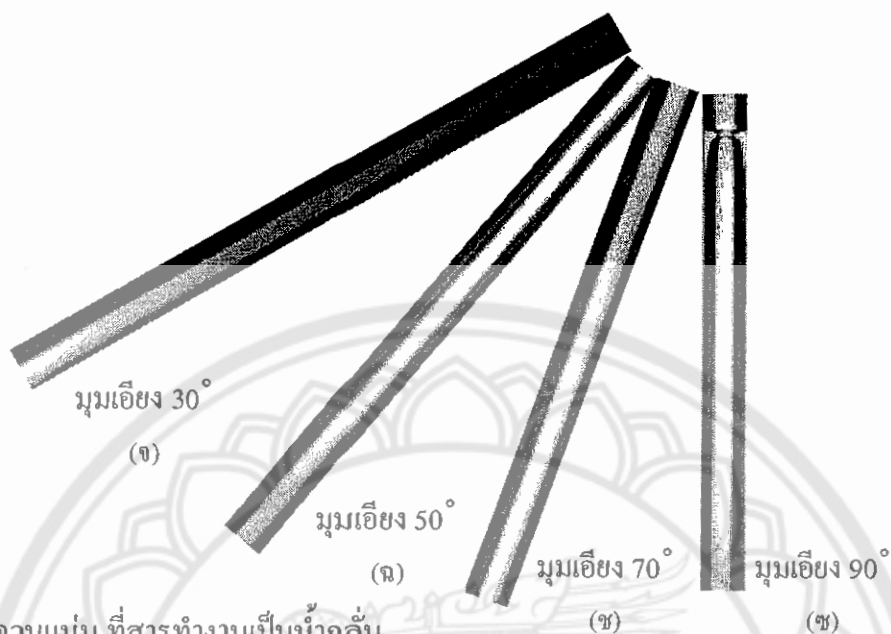
รูปที่ 4.43 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 70 °C และอัตราการเติม 70%

- อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C

ที่ส่วนทำระเหยของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่น มุมเอียง 30° และ 90° องศา สารทำงานจะมีการเดือดที่มีลักษณะคล้ายๆ กัน คือ จะมีรูปแบบการไหลของ Annular flow อย่างชัดเจนแต่เพียงรูปแบบเดียว ดังรูปที่ 4.44 (ก) และ (ง) ที่มุมเอียง 50° องศา รูปแบบการไหลจะเป็นลักษณะของ Churn flow แล้วจึงเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Annular flow ดังรูปที่ 4.44 (ข) และที่มุมเอียง 70° องศา สารทำงานจะมีลักษณะของรูปแบบการไหลของ Slug flow แล้วเปลี่ยนรูปแบบการไหลเป็น Churn flow ดังรูปที่ 4.44 (ค) ในขณะเดียวกัน ที่ส่วนควบแน่น มุมเอียง 30° 50° และ 70° องศา จะไม่สามารถสังเกตเห็นกลุ่มหยดน้ำที่เกาะอยู่ตามผนังท่อด้านในได้ เนื่องจากเกิดรูปแบบการไหลที่ไหลผ่านส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนขึ้นมาจนถึงส่วนควบแน่น และนำพากลุ่มหยดน้ำเหล่านี้ลงไปสู่ด้านล่าง โดยเฉพาะที่มุมเอียง 90° องศา จะสามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลของ Slug flow ขึ้นมาถึงส่วนควบแน่น ดังรูปที่ 4.44 (จ) (ฉ) (ช) และ (ซ) สำหรับสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอลไม่มีรูปแสดงรูปแบบการไหล เพราะดูน้ำส่วนทำระเหยเกิดการแตก เนื่องจากมีรอยรบกวนบริเวณขอบอยู่แล้ว และอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงทำให้แก้วแดงไม่สามารถทนความร้อน และความดันได้จึงไม่สามารถนำภาพมาแสดงในที่นี้ได้



(1) ส่วนทำระเหย ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

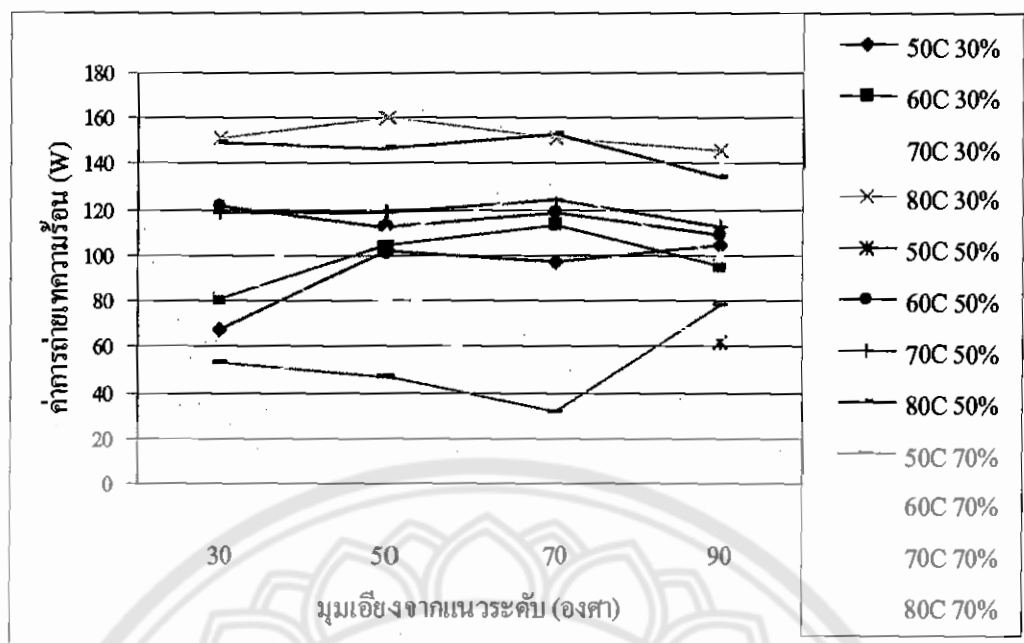


(2) ส่วนควมแน่น ที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

รูปที่ 4.44 ผลกระทบของการวางตัวในแนวเอียงที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C และอัตราการเติม 70%

4.2.4 ผลกระทบของมุมเอียงที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอน - สารทำงานเป็นน้ำกลั่น

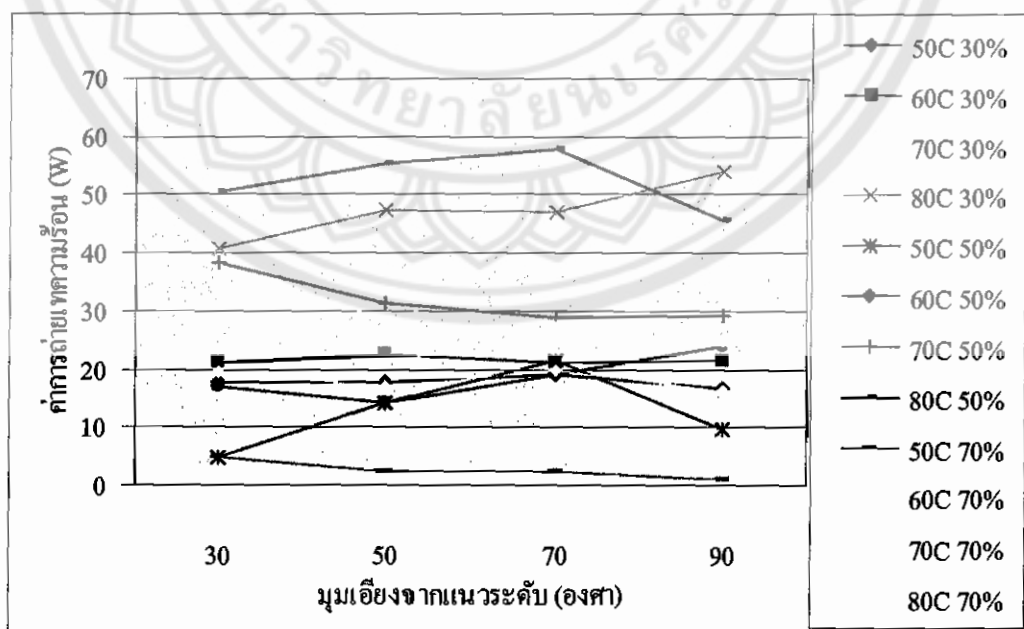
จากรูปที่ 4.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงจากแนวระดับและค่าการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับ มีค่ามากที่สุด โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าที่มุมเอียง 50 และ 70 องศา จากแนวระดับมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน คือ 105.56 W และ 107.97 W ตามลำดับ ส่วนที่มุมเอียง 30 องศา จากแนวระดับมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยที่น้อยที่สุด คือ 96.06 W และที่มุมเอียง 90 องศา จากแนวระดับมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย คือ 101.32 W



รูปที่ 4.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงจากแนวระดับและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่สารทำงานเป็นน้ำ

- สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

จากรูปที่ 4.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงจากแนวระดับและค่าการถ่ายเทความร้อนของสารทำงาน จะเห็นว่าที่มุมเอียง 70 องศา จากแนวระดับมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมากที่สุด คือ 27.37 W และที่มุมเอียง 30 50 และ 90 องศา จากแนวระดับมีค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 25.32 W, 24.78 W และ 25.06 W ตามลำดับ



รูปที่ 4.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงจากแนวระดับและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมกับเอทานอล

4.4 ผลกระทบของชนิดสารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนที่มีต่อรูปแบบการไหลและค่าการถ่ายเทความร้อนภายในท่อเทอร์โมไซฟอน

4.4.1 ผลกระทบของชนิดสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของสารทำงานภายในท่อเทอร์โมไซฟอน

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองถึงผลกระทบของอุณหภูมิส่วนทำระเหย อัตราการเติมสารทำงาน และมุมเอียงของท่อเทอร์โมไซฟอนจากแนวระดับ จึงขอยกตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของชนิดสารทำงาน ที่อุณหภูมิส่วนทำระเหย 80°C และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา จากแนวระดับ และจากทฤษฎีของท่อเทอร์โมไซฟอนที่วางตัวในแนวเอียง อัตราการเติมสารที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง $40 - 80\%$ ของปริมาตรภายในส่วนทำระเหย จึงไม่นำ ที่อัตราการเติมสาร 30% มาวิเคราะห์ด้วย เนื่องจากค่าการถ่ายเทความร้อนมีความคลาดเคลื่อนสูง โดยสารทำงานเป็นน้ำกลั่น ที่อัตราการเติม 50% รูปแบบการไหลของสารทำงานจะมีลักษณะเป็น Annular flow เป็นส่วนใหญ่ และมีรูปแบบการไหลของ Churn flow เป็นบางช่วงเวลา หรืออาจสรุปได้ว่ารูปแบบการไหลของ Annular flow เป็นรูปแบบการไหลหลัก และที่อัตราการเติม 70% สารทำงานจะมีการเดือดเป็นลักษณะรูปแบบการไหลของ Slug flow ในช่วงเริ่มต้น และเปลี่ยนเป็นรูปแบบการไหลของ Churn flow ในช่วงด้านบนของท่อเทอร์โมไซฟอน ดังรูปที่ 4.47 (ก) และ (ข) ส่วนในสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล ที่อัตราการเติม 50 และ 70% สารทำงานภายในเทอร์โมไซฟอนไม่มีการเดือดเกิดขึ้น หรือเกิดไอน้ำเกาะที่ผิวด้านใน ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นรูปแบบการไหลใดๆ ภายในเทอร์โมไซฟอนได้ ดังรูปที่ 4.47 (ค) และ (ง)

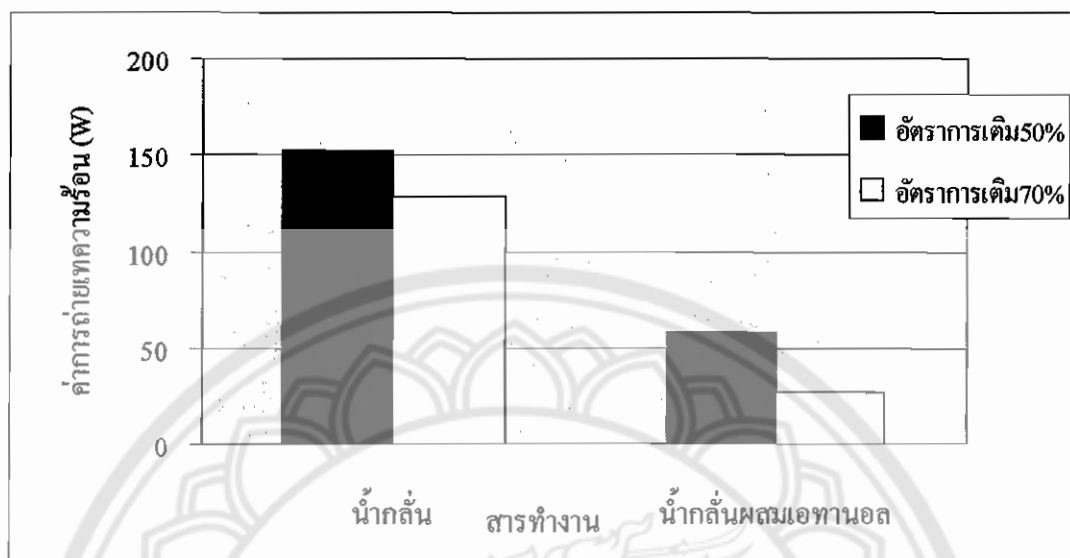
4.4.2 ผลกระทบของชนิดสารทำงานที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนภายในท่อเทอร์โมไซฟอน

จากรูปที่ 4.48 จะเห็นได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นจะมีค่าที่สูงกว่าสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมกับเอทานอลอย่างเห็นได้ชัด และที่อัตราการเติม 50% มีค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด รองลงมา คือ อัตราการเติม 30% และที่อัตราการเติม 70% มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่น้อยที่สุด หรืออาจสรุปได้ว่าสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นสามารถถ่ายเทความร้อนได้มากกว่า 3 เท่าของค่าการถ่ายเทความร้อนของสารทำงานที่เป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล



(2) สารทำงานเป็นน้ำกลั่นผสมเอทานอล

รูปที่ 4.47 ผลกระทบของชนิดสารทำงานที่มีต่อรูปแบบการไหลของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C และวางตัวในแนวเอียง 70 องศา



รูปที่ 4.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารทำงานและค่าการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมไซฟอนที่อุณหภูมิ 80°C มุมเอียง 70° องศา