

การชะลอการเกิดตะกัณบนผิวของหม้อต้มซ้ำของหน่วยกำจัดเพนเทน



นางสาวศลิษา พึ่งสุข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FOULING MITIGATION ON REBOILER SURFACE OF DE-PENTANIZER COLUMN

Miss Salisa Puengsuk



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การชะลอการเกิดตะกั้บนผิวของหม้อต้มซ้ำของหน่วย กำจัดเพนเทน |
| โดย | นางสาวศลิษา พึ่งสุข |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเคมี |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กษิติศ หนูทอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

.....กรรมการ
(ดร.พิมพ์พร พลเพชร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พรชัย บำรุงศรี)

ศลิษา พึ่งสุข : การชะลอการเกิดตะกรันบนผิวของหม้อต้มซ้ำของหน่วยกำจัดเพนเทน (FOULING MITIGATION ON REBOILER SURFACE OF DE-PENTANIZER COLUMN) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุรเทพ เขียวหอม, 75 หน้า.

ในปัจจุบันการชะลอการเกิดตะกรันในโรงงานปิโตรเคมีที่ผลิตสารอโรมาติกด้วยวิธีใช้สารเคมีถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะส่วนประกอบของวัสดุคอนเดนเสทในกระบวนการผลิตมีองค์ประกอบของสารเจือปนมากขึ้นอย่างเช่นปรอท (Hg) ซึ่งมีปัญหาใหญ่ทำให้เกิดตะกรันที่ผิวของหม้อต้มซ้ำของหน่วยกำจัดเพนเทนและนำไปสู่การลดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนทำให้สูญเสียผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจจากการหยุดระบบเพื่อทำความสะอาด ดังนั้นการเลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสมและปริมาณที่เหมาะสมเพื่อชะลอการเกิดตะกรันบนพื้นผิวหม้อต้มซ้ำมีความสนใจในการวิจัยนี้ สารเคมีที่เหมาะสมที่สุดได้รับเลือกโดยใช้แหล่งที่มาของวัสดุคอนเดนเสทเดียวกันซึ่งเป็นบงกซและเอราวัน ผลการทดลองพบว่าสารเคมีสารอนินทรีย์ชื่อ EC3021A ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของการทดสอบ สารเคมีลดการเกิดตะกรันและลดการสะสมของคอนเดนเสทและปริมาณที่เหมาะสม 25 ppm ถูกเลือกใช้เพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเช่นกัน โดยการทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีภายใต้ 2 สภาวะที่แตกต่างกันคือ สภาวะที่มีตะกรันเริ่มต้น และสภาวะที่ไร้ตะกรันของระบบหม้อต้มซ้ำจริง พบว่าสามารถชะลอการเกิดตะกรันได้จริงของทั้งสองสภาวะโดยสารเคมี EC3021A ที่ความเข้มข้น 25 ppm ที่ถูกป้อนเข้าไปในตำแหน่งขาเข้าของหม้อต้มซ้ำ และการสามารถชะลอการเกิดตะกรันในสภาวะที่มีตะกรันเริ่มต้นนั้นสามารถยืดอายุของหม้อต้มซ้ำให้ดำเนินการผลิตต่อไปได้ โดยจากการคำนวณและการพิจารณาชะลอการเกิดตะกรันด้วยสารเคมีสามารถสร้างกำไรให้กับโรงงานอะโรมาติกประมาณ 751, 244 USD เป็นผลมาจากประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นและสามารถลดเวลาสำหรับการหยุดกระบวนการผลิตเพื่อบำรุงรักษาหม้อต้มซ้ำ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5471010721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: FOULING MITIGATION / REBOILER SURFACE / DEPENTANIZER COLUMN / AROMATIC PLANT

SALISA PUENGSUK: FOULING MITIGATION ON REBOILER SURFACE OF DE-PENTANIZER COLUMN. ADVISOR: ASSOC. PROF.SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 75 pp.

Recently, fouling mitigation by chemicals was widely utilized in aromatic plants. This is because components of feedstock for production processes normally contain some elements such as Mercury (Hg) which contribute a major problem in fouling at re-boiler surfaces and subsequently lead a reducing of heat transfer efficiency at bottom of De-Pentanizer column. As a result, it can make the aromatic plant lose some economic benefits for this reason. Therefore, the selection of a suitable dispersant and its optimum dosage to prevent fouling occurred on re-boiler surface are interested in this study. This study intends to investigate a performance and effects of fouling dispersant chemicals on re-boiler surface fouling mitigation in order to improve its heat transfer efficiency. At the initial stage of this study, the most suitable dispersant chemical was selected by using of same main sources of condensate feedstock which are Bongkot and Erawan condensate. Base on experimental results, it obviously indicated that an inorganic dispersant chemical named EC3021A provides the best result of dispersant test without precipitation and accumulation of condensate scales and the optimum dosage of 25 ppm EC3021A were examined under 2 different conditions; un-clean and clean conditions, of real operating re-boiler systems. Finally, an economic benefit in feeding of 25 ppm EC3021A at a bottom feed flow to prevent fouling at re-boiler system in the aromatic plant was also calculated and considered. It appeared that this method can generate a profit to the aromatic plant at approximately 751, 244 USD as a result of improved heat transfer efficiency and reduced shutdown time for re-boiler maintenance.

Department: Chemical Engineering Student's Signature

Field of Study: Chemical Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ต้องขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์สำหรับการอบรมสั่งสอนในการปฏิบัติงาน คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยตอนแนวทางการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ รวมทั้งความกรุณาและช่วยเหลือข้าพเจ้ามาโดยตลอดจนงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษิติศ หนูทอง ประธานกรรมการ, อาจารย์ ดร. พิมพ์พร พลเพชร และอาจารย์ ดร. พรชัย บำรุงศรี ที่กรุณาสละเวลาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยของข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เป็นแหล่งให้การศึกษาวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะเอื้อเพื่อเอกสาร และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการให้แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บริษัท นาลโก อินดัสเทรียล เซอวิส(ประเทศไทย) จำกัด และพี่ๆ น้องๆ พนักงานทุกท่านสำหรับคำแนะนำข้อมูลและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านด้วยดีตลอดมา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณสุรศักดิ์ พวงเพชร และเพื่อนที่ร่วมเรียนมาด้วยกันซึ่งเป็นกำลังใจ และแรงผลักดันให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา-มารดา และพี่น้องในครอบครัวที่ครอบครัวให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญรูป | ฉ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | ฒ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 3 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย | 4 |
| 1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย | 4 |
| 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย | 5 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 6 |
| บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 11 |
| 3.1 กระบวนการผลิตอะโรมาติกส์..... | 11 |
| 3.1.1 ขั้นตอนการผลิตรีฟอร์มเมอร์ (Reformer Production) | 11 |
| 3.1.1.1 หน่วยการกลั่นแยกคอนเดนเสท (Feed Fractionation Unit, FFU) | 11 |
| 3.1.1.2 หน่วยการผลิตรีฟอร์มเมอร์..... | 12 |
| 3.1.2 ขั้นตอนการผลิตอะโรมาติกส์ (Aromatics Production) | 13 |
| 3.2 หม้อต้มซ้ำ (re-boiler)..... | 13 |
| 3.2.1 ชนิดของหม้อต้มซ้ำ (Type of Reboiler)..... | 14 |

| | |
|--|----|
| 3.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) | 16 |
| 3.3.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)..... | 17 |
| 3.3.2 การพาความร้อน (Convection heat transfer) | 19 |
| 3.3.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat-transfer coefficient).... | 21 |
| 3.3.4 ค่าความต้านทานอันเกิดจากสิ่งสกปรกที่ผนังหรือตะกรัน (Fouling Factor) | 25 |
| 3.3.5 การหาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | 26 |
| 3.3.6 การหาความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก (The log mean temperature difference, LMTD)..... | 27 |
| 3.4 ตะกรัน (Fouling)..... | 28 |
| 3.4.1 ประเภทตะกรัน | 29 |
| 3.4.2 ผลกระทบของตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน | 32 |
| 3.4.2.1 ผลกระทบของการถ่ายเทความร้อน..... | 33 |
| 3.4.2.2 ผลกระทบจากอุณหภูมิต่อการเกิดตะกรัน | 33 |
| 3.4.2.3 ผลกระทบจากความเร็วยิ่งของของไหล..... | 34 |
| 3.4.2.4 ผลกระทบจากวัสดุและโครงสร้างพื้นผิว | 34 |
| 3.4.3 การชะลอการเกิดตะกรัน (Mitigation of fouling)..... | 34 |
| 3.4.3.1 การชะลอการเกิดตะกรันโดยวิธีทางกล | 34 |
| 3.4.3.2 การชะลอการเกิดตะกรันโดยใช้สารเคมี | 35 |
| 3.5 แหล่งที่มาของคอนเดนเสท (feed source) | 36 |
| 3.5.1 ส่วนผสมของสารป้อนเข้าระบบหอกลั่นแยกเพนเทน (feed composition)..... | 38 |
| บทที่ 4 การออกแบบการทดลองและแผนการดำเนินงาน..... | 40 |
| 4.1 การออกแบบ | 40 |
| 4.2 การทำทดสอบเลือกสารเคมี | 41 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.2.1 | อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเลือกสารเคมีโดยวิธี dispersancy test..... | 41 |
| 4.2.2 | สารเคมีที่ใช้กับการทดลองเพื่อผสมกับสารตั้งต้น | 44 |
| 4.3 | การหาสารเคมีที่เหมาะสม | 44 |
| 4.4 | การเลือกความเข้มข้นของสารเคมี | 45 |
| 4.5 | ศึกษากระบวนการทำงานของหม้อต้มซ้ำที่หน่วยกำจัดเพนเทน | 47 |
| 4.6 | รวบรวมข้อมูลสถานะการดำเนินการผลิตของหม้อต้มซ้ำจากโรงงาน..... | 47 |
| 4.6.1 | โปรแกรมการคำนวณค่าความต้านทานการเกิดตะกรัน, fouling factor..... | 48 |
| 4.7 | การหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มซ้ำ (Q)..... | 50 |
| 4.8 | การวิเคราะห์และตรวจสอบตะกรัน | 51 |
| 4.8.1 | X-ray Fluorescence (XRF)..... | 52 |
| 4.8.2 | X-ray Diffraction (XRD) | 52 |
| 4.8.3 | CHNS analysis | 52 |
| 4.8.4 | LOI (loss of ignition at 800°C) | 52 |
| 4.8.5 | Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂) Solubility | 53 |
| 4.8 | แบบแผนการวิเคราะห์เลือกสารเคมีชะลอกการเกิดตะกรัน | 53 |
| บทที่ 5 | ผลการดำเนินงานวิจัย | 56 |
| 5.1 | การหาความเข้มข้นของเคมีที่เหมาะสมเพื่อชะลอกการเกิดตะกรันบนผิวหม้อต้มซ้ำ | 57 |
| 5.2 | สมการการหาค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน (fouling factor) ของระบบหม้อต้มซ้ำ..... | 61 |
| 5.2.1 | ก่อนป้อนสารเคมีชะลอกการเกิดตะกรันกับระบบจริง..... | 61 |
| 5.2.2 | หลังป้อนสารเคมีชะลอกการเกิดตะกรันเข้ากระบวนการผลิตจริง | 62 |
| 5.2.2.1 | หม้อต้มซ้ำ 2100-E3A | 62 |
| 5.2.2.2 | หม้อต้มซ้ำ 2100-E3B | 64 |
| บทที่ 6 | สรุปผลการวิจัย..... | 67 |

| | |
|---|----|
| 6.1 ข้อเสนอแนะ | 69 |
| รายการอ้างอิง | 71 |
| ภาคผนวก ก แสดงการคำนวณผลประโยชน์จากการใช้สารเคมี EC3021A ที่สามารถสร้างกำไร โดยมีระยะเวลาการคำนวณป้อนสารเคมีในสภาวะมีตะกอนเริ่มต้น | 73 |
| ภาคผนวก ข การประชุมวิชาการ | 74 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 75 |



สารบัญตาราง

| | |
|--|----|
| ตารางที่ 3.1 การชะลอการเกิดตะกรันโดยวิธีทางกล | 34 |
| ตารางที่ 3.2 การชะลอการเกิดตะกรันโดยวิธีใช้สารเคมี | 35 |
| ตารางที่ 3.3 แสดงค่าองค์ประกอบของแหล่งคอนเดนเสทที่ใช้ป้อนเข้าระบบหอกลิ้นแยกเพนเทน .. | 37 |
| ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณสารปรอทที่พบในน้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆ ในโลกในปี 2007 | 38 |
| ตารางที่ 4.1 สารเคมีที่ใช้การเลือกสารเคมีที่เหมาะสม | 40 |
| ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน | 46 |
| ตารางที่ 4.3 สภาวะดำเนินการของหม้อต้มน้ำ 2100-E3A กับ 2100-E3B | 48 |
| ตารางที่ 4.4 สามารถสรุปวิธีการวิเคราะห์ตะกรันและแปลผล | 53 |
| ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกรันที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน | 56 |
| ตารางที่ 5.2 องค์ประกอบหลักในตัวอย่างตะกรัน | 57 |
| ตารางที่ 5.3 แสดงค่า % dispersed จากการใช้ Dispersant test เพื่อเลือกเคมีชะลอการเกิด ตะกรันที่เหมาะสม | 58 |
| ตารางที่ 5.4 แสดงค่า % dispersed จากการใช้ Dispersancy test เพื่อเลือกความเข้มข้นของ สารเคมี EC3021A ที่เหมาะสม | 60 |

สารบัญรูป

| | |
|--|----|
| รูปที่ 1.1 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้ำจากค่าประสิทธิภาพทางความร้อน (thermal efficiency) ของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3..... | 2 |
| รูปที่ 1.2 การเกิดตะกรันบนผิวของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3..... | 2 |
| รูปที่ 1.3 ความหนาของตะกรันที่ผิวหม้อต้มซ้ำ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน | 3 |
| รูปที่ 2.1 แผนผังการทดลองหาค่าความต้านทานความร้อนจากตะกรัน | 7 |
| รูปที่ 2.2 ผลกระทบของพื้นผิวถ่ายเทความร้อนต่อค่าความต้านทานความร้อน | 7 |
| รูปที่ 2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิของของไหลต่อค่าความต้านทานความร้อน | 8 |
| รูปที่ 3.1 กระบวนการกลั่นแยกคอนเดนเสท (Feed Fractionation Unit)..... | 12 |
| รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตรีฟอร์มเมทโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reformer unit)..... | 12 |
| รูปที่ 3.3 กระบวนการผลิตสารกลุ่มอะโรติกส์ด้วยเทคโนโลยีเฉพาะ | 13 |
| รูปที่ 3.4 หม้อต้มซ้ำชนิด kettle reboiler | 14 |
| รูปที่ 3.5 หม้อต้มซ้ำชนิด thermosyphon reboiler แบบแนวนอน..... | 15 |
| รูปที่ 3.6 หม้อต้มซ้ำชนิด fired reboiler แบบ a forced recirculating fired heater reboiler.. | 15 |
| รูปที่ 3.7 หม้อต้มซ้ำชนิด forced circulation reboiler..... | 16 |
| รูปที่ 3.8 การถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆ | 17 |
| รูปที่ 3.9 การนำความร้อนผ่านผนังหนา ΔX รูปที่ 3.10 แสดงทิศทางการไหลของความร้อน... | 19 |
| รูปที่ 3.11 ชั้นขอบเขตความร้อนสำหรับการไหล | 20 |
| รูปที่ 3.12 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังท่อ [6]..... | 21 |
| รูปที่ 3.13 ลักษณะการเกิดตะกรันที่บริเวณผิวท่อทั้งด้านในและด้านนอก..... | 23 |
| รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลสวนทางกัน | 27 |
| รูปที่ 3.15 ค่า ΔT_1 และ ΔT_2 ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางกัน..... | 28 |
| รูปที่ 3.16 อัตราการก่อตัวความต้านทานตะกรันตามเวลา | 29 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 3.17 ตะกรันชนิดจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี..... | 29 |
| รูปที่ 3.18 พัฒนาการของความต้านทานตะกรันจากการตกตะกอนและการตกผลึกร่วมกัน | 30 |
| รูปที่ 3.19 ตะกรันชนิดจากการตกตะกอนและตกผลึก | 30 |
| รูปที่ 3.20 ตะกรันชนิดจากอนุภาคเล็กๆ..... | 31 |
| รูปที่ 3.21 ตะกรันที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา..... | 31 |
| 3.22 ตะกรันจากการแข็งตัวของของไหล | 32 |
| รูปที่ 3.23 ตะกรันทางชีววิทยา..... | 32 |
| รูปที่ 3.24 แสดงสัดส่วนการผสมของแหล่งคอนเดนเสทในสายป้อนเข้าหม้อต้มซ้ำ..... | 39 |
| รูปที่ 3.25 แสดงปริมาณปรอทในสายป้อนเข้าของหน่วยจำกัดเพนเทน..... | 39 |
| รูปที่ 4.1 หลอดทดลองเพื่อทดสอบสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน | 42 |
| รูปที่ 4.2 Centrifuge | 42 |
| รูปที่ 4.3 Bottle top pipette | 43 |
| รูปที่ 4.4 Vortex mixer | 43 |
| รูปที่ 4.5 Pipette | 44 |
| รูปที่ 4.6 แสดงความสามารถกระจายสิ่งเสียนเมื่อมีการเปลี่ยนความเข้มข้นของเคมี | 46 |
| รูปที่ 4.7 แผนภาพขยายงานหม้อต้มซ้ำเพื่อให้ความร้อนกับกระบวนการกำจัดเพนเทนในคอนเดนเสทที่นำมาศึกษา..... | 47 |
| รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงการดุลพลังงาน (Energy balance) ของหม้อต้มซ้ำ2100-E3A และ 2100-E3B..... | 50 |
| รูปที่ 4.9 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์เลือกสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน | 55 |
| รูปที่ 5.1 แสดงการทำการทดลองของการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมที่ความเข้มข้น 20 ppm | 58 |
| รูปที่ 5.2 แสดงผลการอ่าน % Dispersed ที่ความเข้มข้นของแต่ละสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน 20 ppm พบว่าสารเคมี EC3021A สามารถชะลอการตกของตะกอนด้านล่างหลอดทดลองได้ดีที่สุด..... | 59 |

รูปที่ 5.3 แสดงผลการอ่าน % dispersed ตกด้านล่างของหลอดทดลอง สารเคมี EC3021A ที่
ความเข้มข้นต่าง ๆ 60

รูปที่ 5.4 ตัวอย่างของค่าแพดเตอร์ของการเกิดตะกอนของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3A ที่ไม่มีการป้อน
เคมี..... 62

รูปที่ 5.5 ค่าแพดเตอร์ของการเกิดตะกอนของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3A ที่ป้อนเคมี EC3021A..... 63

รูปที่ 5.6 ค่าแพดเตอร์ของการเกิดตะกอนของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3A ที่ป้อนเคมี EC3021A ใน
สภาวะมีตะกอน(unclean condition) และไร้ตะกอน(clean condition) 64

รูปที่ 5.7 ค่าแพดเตอร์ของการเกิดตะกอนของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3B ที่ป้อนเคมี EC3021A..... 65

รูปที่ 5.8 ค่าแพดเตอร์ของการเกิดตะกอนของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3B ที่ป้อนเคมี EC3021A ใน
สภาวะมีตะกอน(unclean condition) และไร้ตะกอน(clean condition) 66



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ตัวแปร..... ความหมาย

| | | |
|-------------|---|------------------|
| A | พื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน | (m^2) |
| C_p | ค่าความจุความร้อน | (kJ/kgK) |
| R_f | ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตระกัน | (hrm^2K/kJ) |
| k | ค่าการนำความร้อนของตัวกลาง | (kJ/hrmK) |
| L | ความยาวของพื้นที่การถ่ายเทความร้อน | (m) |
| LMTD | ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยลอกกาลีทิมของของเหลว | (K) |
| P | ค่าความดันในระบบ | (kh/cm^2) |
| Pr | Prandtl number | |
| R | Universal gas constant | (kJ/kgmolK) |
| Re | Reynolds number | |
| T | เวลา | (s) |
| T_{film} | อุณหภูมิของชั้นฟิล์ม | (K) |
| T_w | อุณหภูมิของชั้นผิว | (K) |
| $T_{c,in}$ | อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเย็น | (K) |
| $T_{c,out}$ | อุณหภูมิทางออกของโพพิลีน | (K) |
| $T_{h,in}$ | อุณหภูมิทางเข้าของโพพิลีน | (K) |
| $T_{h,out}$ | อุณหภูมิออกของน้ำร้อน | (K) |
| u | ความเร็ว | (m/s) |
| U | ค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน | ($KJ/hr m^2K$) |
| U_c | ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อไม่มีตระกัน | ($KJ/hr m^2K$) |

| | | |
|----------------|--|--------------------------|
| Ud | ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสถานะที่ผิวท่อมีตะกรัน | (kJ/hr m ² K) |
| W | ความกว้างของพื้นที่ถ่ายเทความร้อน | (m) |
| x | ความหนาของการถ่ายเทความร้อน | (m) |
| cmd | การนำความร้อน | - |
| cnv | การพาความร้อน | - |
| f | ตะกรัน | - |
| r _i | รัศมีภายใน | - |
| r _o | รัศมีภายนอก | - |
| r | แนวแกนรัศมี | - |
| rad | การแผ่รังสีความร้อน | - |



บทที่ 1

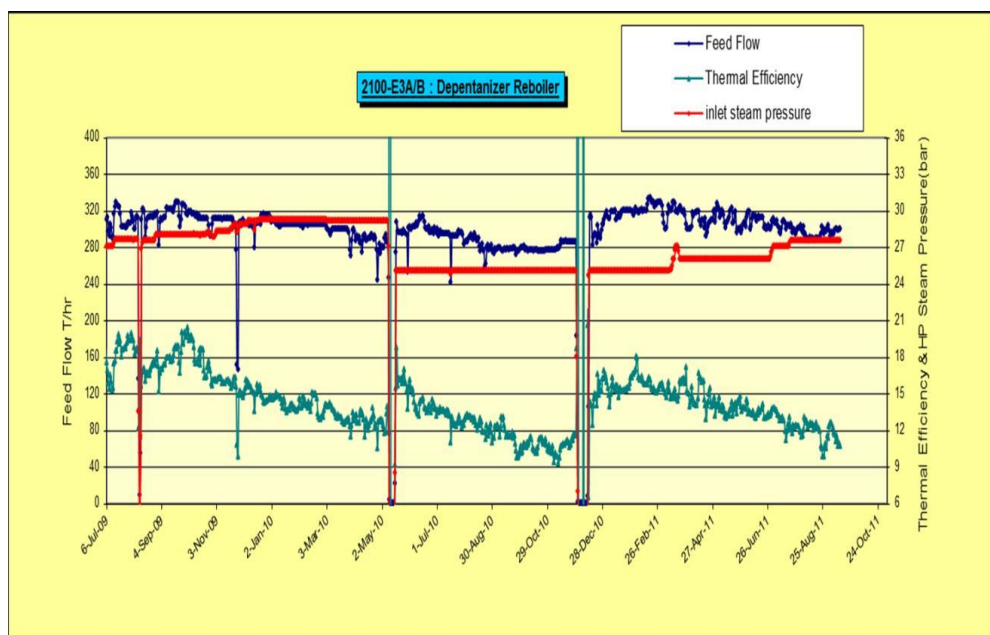
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

กระบวนการผลิตสารอะโรเมติกส์มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมีเพื่อผลิตเบนซีน โทลูอีน และไซลีน เพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งมีความต้องการเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันทำให้ต้องใช้วัตถุดิบที่นำมาป้อนในระบบการผลิตมากขึ้นและมีราคาถูกลงเพื่อความคุ้มค่าและมีกำไรสูงขึ้น วัตถุดิบ(Feed Stock)ที่นำมาผลิตสารอะโรเมติกส์ คือ คอนเดนเสท (Full range condensate) จะถูกป้อนเข้าระบบการกลั่นแยก(Feed Fractionation Unit) เพื่อแยกประเภทของสารตั้งต้นจำนวน 4 สารด้วยกันคือ แอลพีจี(LPG), แนฟทาเบา(light naphtha), แนฟทาหนัก(heavy naphtha) และกากคอนเดนเซท(residual condensate) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการกลั่นระบบการกลั่นแยกประกอบด้วย 4 หอกลั่น คือ หน่วยกำจัดเพนเทน(de-pentanizer column) , หน่วยกำจัดบิวเทน(de-butanizer column), หน่วยกำจัดเอเทน(de-ethanizer column) และหน่วยแยกแนฟทา(Naphtha splitter column) ซึ่งในกระบวนการผลิตจะต้องใช้ความร้อนจากไอน้ำ ความดันสูงเพื่อทำให้ระบบทำงานได้อย่างสมบูรณ์และกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด หม้อต้มต้มน้ำเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้คอนเดนเสทมีอุณหภูมิสูงขึ้นที่ด้านล่างของหน่วยแยกเพนเทนและเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบการผลิต พบว่ามีปัญหาส่วนใหญ่ที่พบและส่งผลกระทบต่อ การดำเนินการผลิต คือ การเกิดตะกอน(fouling) ของผิวหม้อต้มต้มน้ำ โดยตะกอนมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน(Heat transfer coefficient) ของหม้อต้มต้มน้ำลดลงจึงมีผลต่อกระบวนการผลิตอาจต้องลดปริมาณการผลิตหรือต้องการปริมาณไอน้ำความดันสูงทดแทนมากขึ้น และในที่สุดต้องหยุดการผลิตเพื่อทำความสะอาดผิวของหม้อต้มต้มน้ำเนื่องจากประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำและไม่คุ้มค่า ดังนั้นหม้อต้มต้มน้ำ(reboiler) จึงมีความสำคัญมากเพราะเป็นอุปกรณ์ซึ่งกำหนดระยะเวลาการดำเนินการหากลั่นหน่วยกำจัดเพนเทนและหากลั่นลำดับถัดไป

การถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มต้มน้ำ(Thermal Efficiency) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ปริมาณการใช้ไอน้ำความดันสูงมีแนวโน้มสูงขึ้นเพื่อการกลั่นคอนเดนเสทดำเนินต่อไปตามแผนการผลิต ดังนั้นปริมาณความต้องการไอน้ำความดันสูงที่นำมาชดเชยเนื่องจากการเกิดตะกอนที่ผิวของหม้อต้มต้มน้ำนั้นคือเงินที่ต้องจ่ายมากขึ้นด้วย โดยเมื่อประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อต้มต้มน้ำมีแนวโน้มลดลงและปริมาณการใช้ไอน้ำความดันมีแนวโน้มสูงขึ้นแสดงว่ามีตะกอนเกิดขึ้นและผิวของหม้อต้มต้มน้ำ ดังนั้นถ้าเราสามารถชะลอการเกิดตะกอนที่ผิวของหม้อต้มต้มน้ำได้จะเป็นการประหยัดเงินและผลกำไรจะมากขึ้นด้วย

จากรูปที่ 1.2 และ 1.3 แสดงตะกรันที่เกิดขึ้นที่ผิวของหม้อต้มไอน้ำระหว่างการหยุดการผลิต เพื่อตรวจสอบและทำความสะอาดผิวของหน่วยกำจัดเพนเทน พบว่ามีตะกรันหนาที่ผิวของหม้อต้มไอน้ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของหม้อต้มไอน้ำลดลงจนกระทั่งต้องหยุดระบบเพื่อทำความสะอาด



รูปที่ 1.1 กราฟแสดงแนวโน้มการเกิดตะกรันของหม้อต้มไอน้ำจากค่าประสิทธิภาพทางความร้อน (thermal efficiency) ของหม้อต้มไอน้ำ 2100-E3



รูปที่ 1.2 การเกิดตะกรันบนผิวของหม้อต้มไอน้ำ 2100-E3



รูปที่ 1.3 ความหนาของตะกรันที่ผิวหม้อต้มซ้ำ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน

การแก้ปัญหาของตะกรันที่เกิดขึ้นที่ผิวของหม้อต้มซ้ำสามารถทำได้โดยการล้างทำความสะอาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่ดีเพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนกลับมา แต่ต้องมีการหยุดกระบวนการผลิตเพื่อทำความสะอาดซึ่งเป็นการสูญเสียผลประโยชน์เพราะต้องมีการหยุดระบบเป็นจำนวนหลายวัน ดังนั้นการชะลอการเกิดตะกรันที่ผิวของหม้อต้มซ้ำจากการใช้สารเคมีชะลอการเกิดตะกรันและต้องใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้นจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการผลิตเพื่อยืดระยะเวลาการหยุดระบบเพื่อทำความสะอาดให้นานขึ้น

เป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้คือศึกษาความเข้มข้นของเคมีที่เป็นตัวชะลอการเกิดตะกรันที่เหมาะสมกับคอนเดนเสทที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต และศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีที่สามารถชะลอการเกิดตะกรันของคอนเดนเสทที่เปลี่ยนองค์ประกอบ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มซ้ำนั้น ได้ใช้ข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงในช่วงระยะเวลา 190 วัน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึงวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ซึ่งเป็นการดำเนินงานในขณะที่มีตะกรันแล้ว และใช้ข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงในช่วงระยะเวลา 485 วัน ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งเป็นการดำเนินงานในขณะที่ไร้ตะกรันเริ่มต้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาความเข้มข้นของเคมีที่เหมาะสมเพื่อชะลอการเกิดตะกรันบนผิวหม้อต้มซ้ำ
- 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีที่สามารถชะลอการเกิดตะกรันของคอนเดนเสทที่เปลี่ยนองค์ประกอบ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) ศึกษากระบวนการกลั่นแยกลำดับส่วนของคอนเดนเสท
- 2) ทำการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของเคมีชะลอการเกิดตะกรันที่เหมาะสมกับหม้อต้มซ้ำของหน่วยกำจัดเพนเทน โดยช่วงความเข้มข้นของเคมีที่ทำการศึกษายู่ระหว่าง 10-30 พีพีเอ็ม
- 3) ศึกษาความเหมาะสมของเคมีชะลอการเกิดตะกรันสามารถใช้ได้กับคอนเดนเสทที่มีการเปลี่ยนองค์ประกอบ โดยใช้ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มซ้ำเพื่อดูความเหมาะสมของสารเคมีที่เลือกใช้

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาทฤษฎีการแลกเปลี่ยนความร้อนและบทความวิจัยการชะลอการเกิดตะกรันในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
- 2) ศึกษากระบวนการกลั่นลำดับส่วนของหน่วยกำจัดเพนเทนที่มีสารป้อนเข้าระบบเป็นคอนเดนเสทและทำการรวบรวมข้อมูล เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการเลือกใช้สารเคมีชะลอการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้ำ
- 3) หาสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันที่เหมาะสมโดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความเข้มข้นของสารเคมีเพื่อชะลอการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้ำในหน่วยกำจัดเพนเทน
- 4) นำสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันที่เหมาะสมมาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มซ้ำในหน่วยกำจัดเพนเทน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเคมีที่เลือกใช้
- 5) ทำการทดสอบการประสิทธิภาพของเคมีกับคอนเดนเสทที่มีการเปลี่ยนองค์ประกอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเคมีที่เลือกใช้
- 6) ทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันที่ป้อนเพื่อให้เหมาะสมกับระยะเวลาที่ต้องการดำเนินการผลิต
- 7) สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย
- 8) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1) สามารถชะลอการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้ำได้ เพื่อขยายระยะเวลาหยุดระบบการ

ผลิตได้

2) สามารถใช้ได้ดีกับคอนเดนเสทที่มีการเปลี่ยนองค์ประกอบได้หลากหลายเพื่อผลกำไรจากการใช้คอนเดนเสทที่มีต้นทุนต่ำลง



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่ใช้เป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญสำหรับการศึกษา ทฤษฎีและแนวทางในการทำงานวิจัย โดยเอกสารและงานวิจัยที่ทำการศึกษามีดังต่อไปนี้

Thomas F. Droege (1995) [1] ได้สร้าง heat exchanger เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของ heat exchanger ที่ใช้ประเมิน fouling อันเนื่องมาจากการตกตะกอนสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โดยใช้ reference test block เพื่อวัด reference thermal relaxation time และเปรียบเทียบ reference thermal relaxation time กับ thermal relation time ที่วัดได้ โดยพบว่า thermal relaxation time เป็นตัวชี้วัดว่า fouling เพิ่มขึ้นในขณะที่เพิ่ม heater block temperature ซึ่งแสดงว่า fouling มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้านการถ่ายเทความร้อน

Muller-Steinhagen, H.; Branch, C.A (1997) [2] ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนที่เกิดจากตะกอน โดยใช้เครื่องทดสอบดังรูปที่ 2.1 โดยใช้ปั๊มดูดสารจากถังเก็บแล้วส่งเข้าไปยังชุดทดสอบที่บรรจุด้วยฮีทเตอร์ไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิโดยน้ำหล่อเย็น และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด plate heat exchanger โดยมีแผนภาพการทำงานตามรูปที่ 2.1 ซึ่งสมการที่นำมาใช้หาความต้านทาน คือ

$$R = \left(\frac{1}{U_t} \right) - \left(\frac{1}{U_0} \right) \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$U_t = \frac{Q}{A(T_w - T)} \quad (2.2)$$

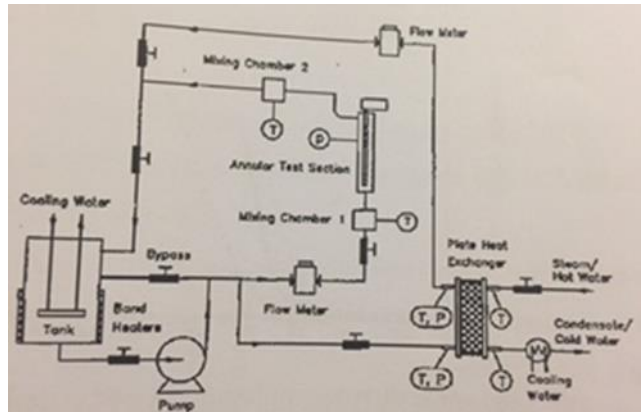
โดยที่

R_f คือ ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2 K/kW$)

U_f คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($kW/m^2 K$)

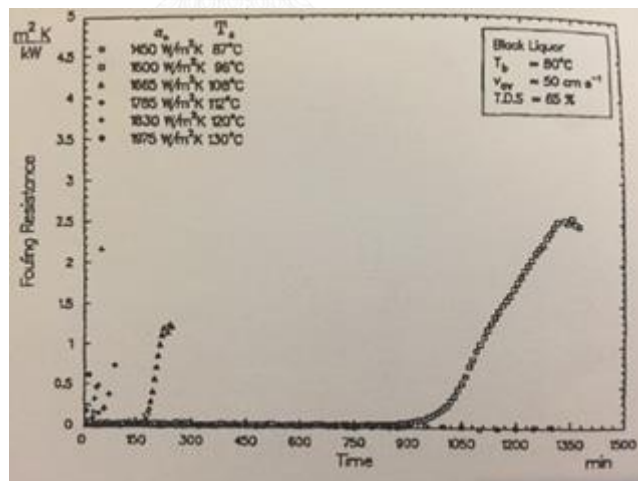
T_w คือ อุณหภูมิผิวถ่ายเทความร้อน (K)

T คือ อุณหภูมิของของเหลว (K)

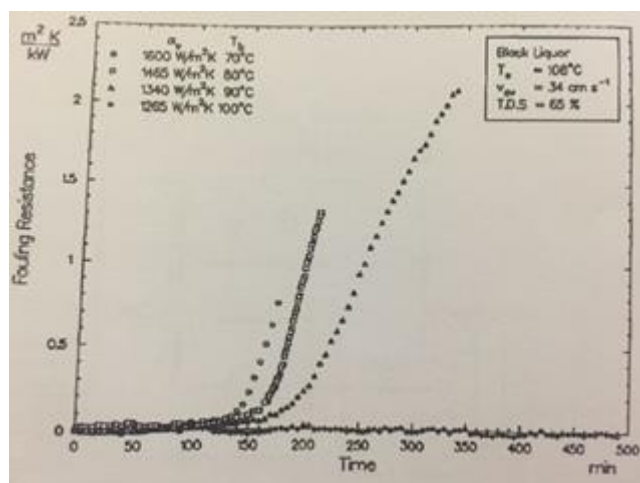


รูปที่ 2.1 แผนผังการทดลองหาค่าความต้านทานความร้อนจากตะกรัน [2]

เมื่อทำการทดสอบผลของอุณหภูมิที่ผิวถ่ายเทความร้อนต่อเวลา พบว่า ถ้าให้อุณหภูมิของของไหลคงที่แล้ว ทำการปรับอุณหภูมิที่ผิวถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้น ความต้านทานความร้อนจากตะกรันก็จะมากขึ้นไปด้วย ดังรูปที่ 2.2 ในกรณีที่ให้อุณหภูมิความร้อนคงที่ เมื่อให้ความร้อนของของไหลลดลง แต่ความต้านทานความร้อนจากตะกรันจะมากขึ้นเนื่องจากการละลายของของไหล ละลายได้น้ำได้ลดลง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 ผลกระทบของพื้นผิวถ่ายเทความร้อนต่อค่าความต้านทานความร้อน [2]



รูปที่ 2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิของของไหลต่อค่าความต้านทานความร้อน [2]

มารยาท วีรวิกรม, วารสารสิ่งแวดลอม [3] ศึกษาเรื่องเกี่ยวกับปรอท ที่มีแนวโน้มพบมากขึ้นในก๊าซธรรมชาติ ปรอทเป็นธาตุที่มีคุณอนันต์ ในขณะที่เดียวกันก็มีโทษมหันต์ ปรอทเป็นสารที่มีพิษร้ายแรงมาก สามารถดูดซึมผ่านระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และซึมผ่านทางผิวหนังถ้ามีแผลหรือรอยแตกและสะสมพิษเอาไว้ เนื่องจากปรอทเป็นธาตุที่ระเหยได้และสามารถอิมตัวในอากาศ จึงเป็นสารที่มีอันตรายมาก ได้มีมาตรฐานกำหนดปริมาณสารปรอทในอากาศหายใจ ซึ่งกำหนดโดย Environmental Protection Agency (EPA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาให้อากาศมีสารปรอทได้ไม่เกิน 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร สารประกอบปรอทที่มีพิษมากที่สุดได้แก่ เมทิลเมอร์คิวรี เมอร์คิวริกคลอไรด์ ซึ่งสามารถระเหิดได้และมีพิษก่อดกร่อนสูง ก๊าซธรรมชาติบางแหล่งในโลกพบว่ามีไอของปรอท และสารประกอบเจือปนมาด้วย เช่น ทีโพลแลนด์ รัสเซีย อัลจีเรีย และอินโดนีเซีย เป็นต้น โดยเฉพาะก๊าซธรรมชาติในแหล่งอูรณ ประเทศอินโดนีเซีย พบว่ามีปริมาณสูงถึง 300 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ปรอทที่พบในก๊าซธรรมชาติของไทย ตรวจพบครั้งแรกในสภาพของเหลวค่อนข้างบริสุทธิ์ เมื่อวันที่ 19 สิงหาคม 2528 บริเวณอ่าวไทย ที่แหล่งปลาทอง และพบที่แหล่งสตูล เมื่อวันที่ 3 กันยายน 2528 โดยเก็บได้ที่ Dew Point Control Unit ส่วนแหล่งเอราวัณ พบปรอทในสภาพเป็นของเหลว เมื่อเดือนสิงหาคม 2531 โดยเก็บได้ที่ Sample Line ของหัวสูบ (Wellhead) ก๊าซธรรมชาติที่มีปริมาณปรอทเจือปน จะมีผลต่อระบบท่อในโรงแยกก๊าซเพราะว่าปรอทมีคุณสมบัติที่จะรวมตัวกับโลหะได้เกือบทุกชนิดซึ่งเรียกว่า Amalgum ปฏิกริยานี้จะทำให้โครงสร้างของโลหะผสม

ของท่อในโรงแยกก๊าซเสียหาย ดังนั้นการวิเคราะห์ปรอทในก๊าซธรรมชาติ จึงเป็นสิ่งสำคัญมากเพราะปรอทมีผลทั้งต่อระบบท่ออุปกรณ์ และต่อสภาวะแวดล้อม

ปรอทที่พบในก๊าซธรรมชาติ จะอยู่ในรูปของไอปรอท และปะปนมากับก๊าซธรรมชาติจากแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม เมื่อขึ้นสู่ปากหลุมหรือผ่าน Dew Point Control Unit (DPCU คือ จุดลดอุณหภูมิของก๊าซ เพื่อแยกของเหลวออกจากก๊าซ อุณหภูมิที่ใช้ต้องคำนวณโดยอาศัย Equilibrium ของก๊าซ) ปรอทจะแยกตัวออก ไอปรอทที่พบในก๊าซธรรมชาติมีอยู่ 2 รูป คือ อยู่ในรูปของธาตุปรอท และสารประกอบของปรอท โดยสารประกอบของปรอทที่พบในก๊าซธรรมชาติส่วนมาก ได้แก่ dimethylmercury (ไดเมทิลเมอร์คิวรี) และ diethylmercury (ไดเอทิลเมอร์คิวรี)

การเกิดปรอทในก๊าซธรรมชาติ จากการศึกษโดย Arne Jernelov พบว่าปรอทเป็นธาตุที่หนัก เนื่องจากมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 13 และไม่ละลายในน้ำ ดังนั้นในการตกตะกอนซึ่งมักจะสะสมในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำหรือปากอ่าว ปรอทจะสามารถรวมเป็นสารประกอบ (Form Complex) ได้อย่างแข็งแกร่งกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ จากนั้นจึงตกตะกอนร่วมกับตะกอนอื่น ๆ โดยปรอทจะถูกออกซิไดส์ไปเป็น Bivalent Ion ($Hg+2$) และ $Hg+2$ จะถูก methylate ไปเป็น methylmercury และ dimethylmercury จะอยู่ในน้ำ และสะสมในปลา สาหร่าย ตลอดจนสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำ ในขณะที่ dimethylmercury มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไปกับก๊าซออกสู่อากาศภายนอก ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด และมีแสงอุลตราไวโอเล็ต dimethylmercury จะไม่คงตัวและถูกเปลี่ยนไปเป็น methylmercury ซึ่งอาจตกตะกอนหรือถูกเปลี่ยนไปเป็นธาตุปรอท ขบวนการต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับขบวนการทางเคมี ชีวะและฟิสิกส์ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง

ในสหรัฐอเมริกา รายงานว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอน จะเกิดร่วมกับปรอท ที่เมือง Mt. Idaho ในมลรัฐแคลิฟอร์เนียพบว่าปรอทเกิดร่วมกับน้ำมันดิบและก๊าซ ที่แหล่งปิโตรเลียม Cymric ใน Kern County มลรัฐแคลิฟอร์เนีย พบธาตุปรอทและสารประกอบของปรอท ในน้ำมันดิบ ก๊าซ และ Saline Oil field Water และ พบว่าก๊าซธรรมชาติที่แยกออกจากน้ำมันดิบจะอิมตัวด้วยไอปรอท ปัจจุบันการพบปรอทในก๊าซธรรมชาติไม่ใช่สิ่งแปลกใหม่ เพราะพบปรอทในก๊าซธรรมชาติหลายแห่งทั่วโลก และมีปริมาณปรอทสูง ดังนั้นถ้าหากมีการกำกับดูแลปริมาณปรอทในก๊าซให้เป็นไปตามมาตรฐาน และมี Mercury Absorber ติดตั้งก่อนเข้าโรงแยกก๊าซ รวมทั้งการกำจัดปรอทในน้ำซึ่งแยกออกจากก๊าซธรรมชาติในขบวนการผลิต ปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดขึ้นจากกิจการปิโตรเลียม จะลดน้อยลงมาก

Scott, S., (2005) [4] ได้ทำวิจัยเรื่อง “Fouling test apparatus and process for evaluation of anti-foulant” ซึ่งได้คิดค้นวิธีการและเครื่องมือเพื่อทดสอบผลลัพธ์ของ Anti-foulant additives ที่ใช้ในอุตสาหกรรมด้านการถ่ายเทความร้อนซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม

รมปีโตเคมี โดยเครื่องมือประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนอ้างอิง และส่วนในการทดสอบ โดยผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของ anti-foulant additives ทำให้อุณหภูมิของของไหล การถ่ายเทความร้อนที่ผิว และอัตราการไหลของของไหล มีผลทั้งหมด



บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอะโรมาติกส์ หม้อต้มซ้ำ การถ่ายเทความร้อน ชนิดของตะกรัน รูปแบบสมการการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และค่าความต้านทานอันเกิดจากสิ่งสกปรกที่ผนัง

3.1 กระบวนการผลิตอะโรมาติกส์

กระบวนการผลิตอะโรมาติกส์ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

- 1) ขั้นตอนการผลิตรีฟอร์มเมอร์ (Reformer Production)
- 2) ขั้นตอนการผลิตอะโรมาติก (Aromatic Production)

3.1.1 ขั้นตอนการผลิตรีฟอร์มเมอร์ (Reformer Production)

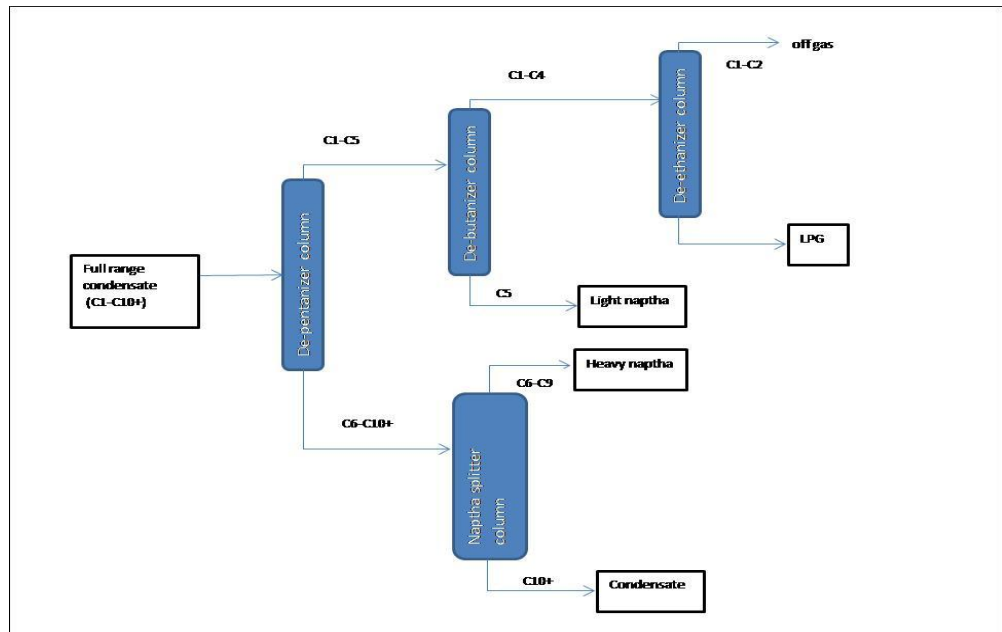
ขั้นตอนนี้จะทำการเตรียมรีฟอร์มเมทเพื่อนำไปป้อนแก่กระบวนการผลิตอะโรมาติกส์ในหน่วยผลิตต่อไป โดยผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิตอะโรมาติกส์ เช่น เบนซีน โทลูอิน และไซลีน ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป

ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

3.1.1.1 หน่วยการกลั่นแยกคอนเดนเสท (Feed Fractionation Unit, FFU)

จุดประสงค์เพื่อแยกเนฟทาเบาและหนักออกจากสารตั้งต้นคอนเดนเสท กระบวนการผลิตคือการป้อนสารตั้งต้นคอนเดนเสทเข้าหน่วยกำจัดเพนเทน (De-Pentanizer Column) เพื่อแยกเนฟทาเบาออกจากคอนเดนเสท และจะถูกแยกเนฟทาหนักออกจากคอนเดนเสทอีกครั้งโดยหอแยกเนฟทา (Naphtha splitter Column) ส่วนเนฟทาเบาที่ถูกแยกในหน่วยกำจัดเพนเทนนั้นจะส่งต่อไปหน่วยการกำจัดบิวเทน (De-Butanizer Column) เพื่อแยกสารที่เบากว่าเนฟทาเบาออก โดยเนฟทาเบาเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการกลั่นแยก และสารเบากว่าเนฟทาเบาจะถูกป้อนเข้าหน่วยกำจัดอีเทน (De-Ethanizer Column) เพื่อแยกสารมีเทนและอีเทนออกก๊าซหุงต้มหรือแอลพีจี ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการกลั่นแยกที่มีมูลค่า

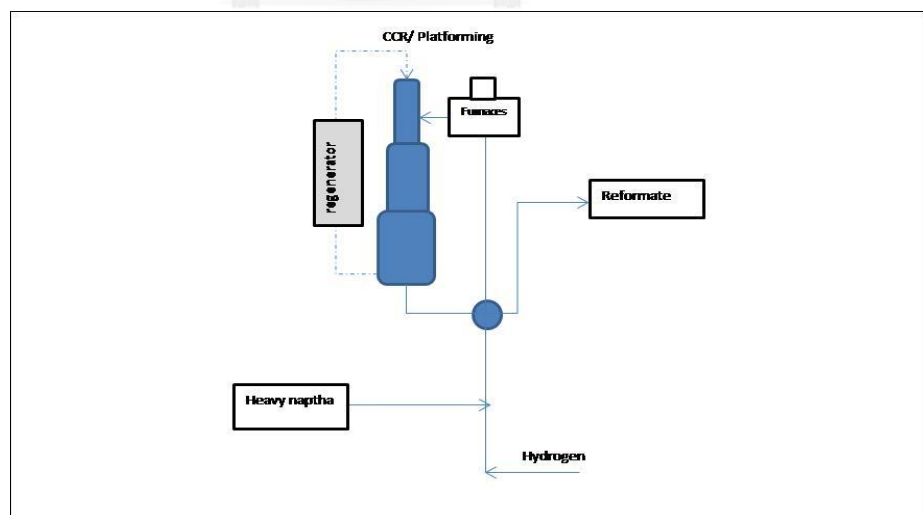
เนฟทาหนักซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักจะนำไปเป็นสารตั้งต้นการผลิตรีฟอร์มเมท โดยถูกป้อนเข้าหน่วยการผลิตรีฟอร์มเมท



รูปที่ 3.1 กระบวนการกลั่นแยกคอนเดนเสท (Feed Fractionation Unit)

3.1.1.2 หน่วยการผลิตรีฟอร์มเมอร์

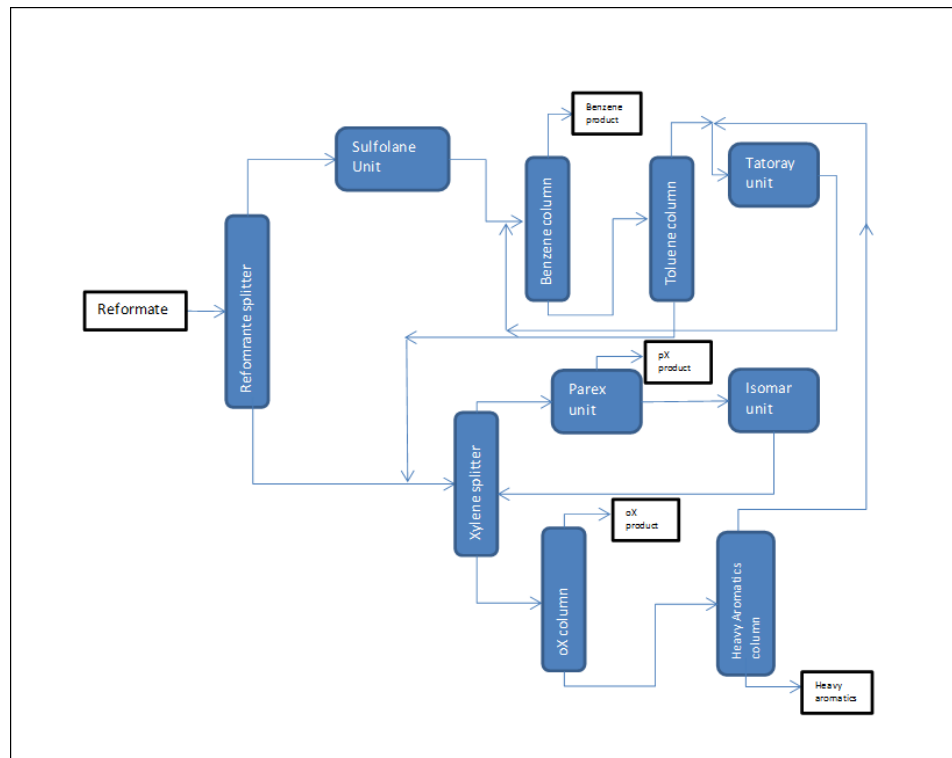
แนฟทาหนักคือสารตั้งต้นของหน่วยการผลิตนี้โดยประกอบด้วยไฮโดรเจนคาร์บอน ที่มีอะตอมคาร์บอนมากกว่า 6-9 จะถูกผ่านกระบวนการผลิตเฉพาะโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reformer unit) เพื่อให้ได้รีฟอร์มเมทที่มีคุณภาพและคุณสมบัติตามที่ต้องการสำหรับการผลิตอะโรมาติกส์



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตรีฟอร์มเมทโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reformer unit)

3.1.2 ขั้นตอนการผลิตอะโรมาติกส์ (Aromatics Production)

ขั้นตอนนี้จะใช้รีฟอร์มเมทที่ได้มาผ่านกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีเฉพาะเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กลุ่มอะโรมาติกส์ คือ เบนซีน โทลูอีน มิกซ์ไซลีน



รูปที่ 3.3 กระบวนการผลิตสารกลุ่มอะโรมาติกส์ด้วยเทคโนโลยีเฉพาะ

3.2 หม้อต้มซ้ำ (re-boiler)

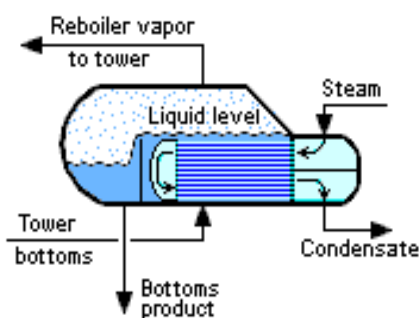
หม้อต้มซ้ำเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่ใช้ในการให้ความร้อนที่ตำแหน่งด้านล่างของหอกลั่นในอุตสาหกรรมโดยหม้อต้มซ้ำจะต้มของเหลวให้เป็นไอระเหยซึ่งจะถูกส่งกลับไปยังหอกลั่นเพื่อทำให้เกิดการกลั่นแยกของสาร ความร้อนนี้ที่ให้กับหอกลั่นมาจากหม้อต้มซ้ำที่ด้านล่างหน้าที่การให้ความร้อนกับของเหลวเพื่อให้สารกลายเป็นไอของหม้อต้มซ้ำมีความสำคัญต่อการกลั่นที่มีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปหม้อต้มซ้ำจะต้มของเหลวให้กลายเป็นไออาจจะบางส่วนหรือทั้งหมดขึ้นกับการออกแบบของหม้อต้มซ้ำ มีไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนกับของเหลวเพื่อการกลายเป็นไอ

3.2.1 ชนิดของหม้อต้มซ้ำ (Type of Reboiler)

สิ่งสำคัญที่สุดในการออกแบบหม้อต้มซ้ำ คือการเลือกประเภทของหม้อต้มซ้ำให้เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแหล่งความร้อนกับระบบการผลิต การถ่ายเทความร้อน ของเหลวที่นำมาให้ความร้อน อาจจะเป็น น้ำมันร้อน หรือไอน้ำความดันสูง ซึ่งมีความสำคัญทั้งชนิดของหม้อต้มซ้ำและแหล่งให้ความร้อนด้วยเช่นกัน

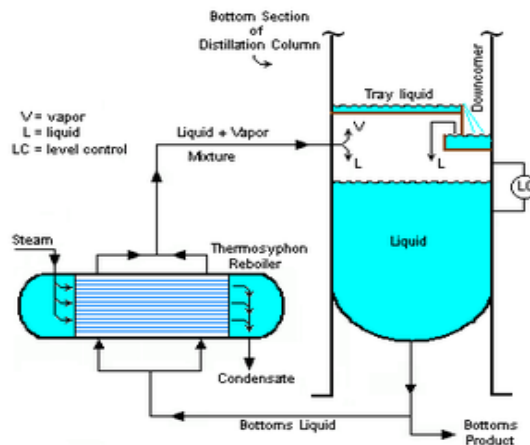
หม้อต้มซ้ำที่ใช้กันทั่วไปเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน มี 4 ชนิด คือ

Kettle reboiler เป็นหม้อต้มซ้ำที่ใช้งานง่ายและเชื่อถือได้ ต้องการเครื่องสูบล้างเพื่อสูบของเหลวที่ด้านล่างเข้าไปในหม้อต้มซ้ำและใช้ไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนกับของเหลวเหล่านั้นโดยไอน้ำจะวิ่งในฝั่งท่อที่ถูกมัดรวมกัน (tube bundle) โดยเมื่อมีการถ่ายความร้อนแล้วนั้นจะเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลว (condensate) โดยของเหลวที่มารับความร้อนมากพอจะถูกแยกออกจากของเหลวที่ยังได้รับความร้อนไม่มากพอด้วย weir เพื่อให้ของเหลวที่ต้องการถูกดึงออกไปยังกระบวนการต่อไป แต่ของเหลวที่ยังมีอยู่อุณหภูมิต่ำอยู่จะยังคงค้างที่ผิวรอบท่อที่ถูกมัดรวมกัน (tube bundle) เพื่อให้ได้รับความร้อนมากพอจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่พร้อมจะถูกดึงออกไปได้



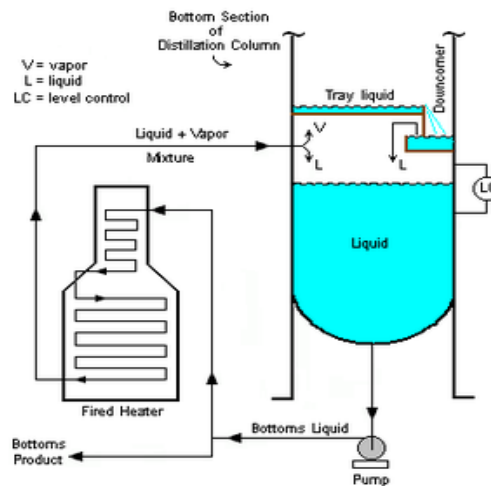
รูปที่ 3.4 หม้อต้มซ้ำชนิด kettle reboiler

Thermosyphon reboiler เป็นหม้อต้มซ้ำชนิดที่ไม่ต้องมีเครื่องสูบล้างเพื่อป้อนเขาสู่หม้อต้มซ้ำ เนื่องจากใช้หลักการการไหลเวียนของธรรมชาติโดยใช้ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของของเหลวที่ก่อนเข้าหม้อต้มซ้ำกับของเหลวที่ถูกให้ความร้อนเป็นส่วนผสมของเหลว และ ไอ ซึ่งทำให้เกิดการไหลเวียนกันไปเรื่อยๆ โดยหม้อต้มซ้ำชนิดนี้มีความซับซ้อนมากกว่าชนิดอื่นๆ และต้องให้ความสำคัญในกระบวนการผลิตจริง โดยมี 2 รูปแบบของหม้อต้มซ้ำ คือ แนวนอน และ แนวตั้ง



รูปที่ 3.5 หม้อต้มซ้ำชนิด thermosyphon reboiler แบบแนวนอน

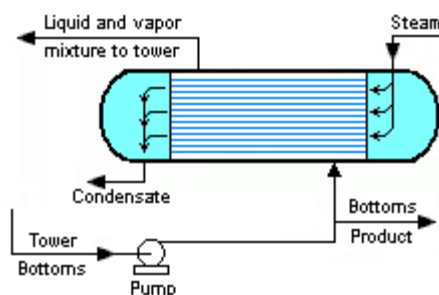
Fired reboiler เป็นหม้อต้มซ้ำชนิดที่ต้องเตาเผาเพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนกับของเหลว และมีเครื่องสูบของเหลวจากก้นของหอกลั่นเพื่อให้เกิดการไหลเวียนจากก้นของคอลัมน์คอกกลั่นผ่านเตาเผาให้รับการความร้อนให้เป็นของเหลวและไอและแยกไอออกจากของเหลวภายในหอกลั่น และของเหลวที่เป็นผลิตภัณฑ์จะถูกส่งออกผ่านเครื่องสูบเดียวกันกับของเหลวที่วนเข้าเตาเผา ส่วนแหล่งความร้อนอาจเป็นได้ทั้งก๊าซเชื้อเพลิงหรือน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.6 หม้อต้มซ้ำชนิด fired reboiler แบบ a forced recirculating fired heater reboiler

Forced circulation reboiler เป็นหม้อต้มซ้ำใช้เครื่องสูบจากก้นของคอลัมน์เพื่อให้ของเหลวหมุนเวียนไปยังหม้อต้มซ้ำเพื่อให้ความร้อนแล้วส่งผ่านกลับมายังคอลัมน์เพื่อแยกไอออกจากของเหลว การมีเครื่องสูบของเหลวและป้อนเข้าหม้อต้มซ้ำชนิดนี้มีประโยชน์มากเมื่อหม้อต้มซ้ำอยู่ไกล

หรือมีความหนืดมาก โดยของเหลวที่เกิดพอลิเมอร์ได้เมื่อได้รับความร้อนที่ผนังของท่อถ่ายเทความร้อน การมีอัตราการหมุนเวียนสูงสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผนังของท่อถ่ายเทความร้อนจึงช่วยลดพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของตะกรันได้ด้วย



รูปที่ 3.7 หม้อต้มซ้ำชนิด forced circulation reboiler

3.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อน คือ การที่ความร้อนมีการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยการเคลื่อนที่ของความร้อนนั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกันเกิดขึ้น แต่กลไกในการที่จะทำให้เกิดการเกิดที่ของความร้อนแต่ละวิธีแตกต่างกัน มี 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

การนำความร้อน (Conduction heat transfer) เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุที่เป็นของแข็งภายในวัตถุอันเดียวกันหรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพการนำความร้อนแตกต่างกัน โดยโลหะจะนำความร้อนได้ดีที่สุด

การพาความร้อน (Convection heat transfer) การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานระหว่างผิวของแข็งและของเหลวหรือก๊าซที่อยู่ติดกับพื้นผิวนั้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของของไหล อัตราการพาความร้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิ และสมการการพาความร้อนตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's Law of Cooling) การพาความร้อนแบ่งออกเป็น การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection) และการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free convection or Natural convection)

การแผ่รังสี (Radiation heat transfer) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์เดินทางผ่านสุญญากาศมายังโลก แต่เนื่องจากในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆ มักจะไม่นำการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสีมาคำนวณเนื่องจากมีผลน้อยมาก ดังนั้นจึงขอไม่กล่าวถึง



รูปที่ 3.8 การถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆ

3.3.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer)

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทอนุภาคของสารที่มีพลังงานสูงไปสู่อนุภาคใกล้เคียงที่มีพลังงานต่ำกว่า การนำความร้อนเกิดขึ้นได้ทั้งในของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยที่การนำความร้อนในของเหลวและก๊าซเกิดขึ้นเนื่องจากการชนกัน (Collisions) และการแพร่ (Diffusion) ของโมเลกุล ในขณะที่โมเลกุลเหล่านั้นมีการเคลื่อนที่ ส่วนการนำความร้อนในของแข็งเกิดจากการสั่นของโมเลกุล (Vibrations of Molecules) ในแลตทิซ (Lattice) และการขนถ่ายพลังงานโดยอิเล็กตรอนอิสระ (Free electrons) [5]

การนำความร้อนที่สภาวะคงที่ (Steady state heat conduction) คือการนำความร้อนที่อุณหภูมิทุก ๆ จุดของวัตถุที่นำความร้อนมีค่าคงที่โดยไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา โดยที่ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านวัตถุพื้นที่หนึ่งหน่วยในหนึ่งหน่วยเวลาจะมีค่าคงที่

การนำความร้อนในสภาวะไม่คงที่ (Unsteady state heat conduction) คืออัตราการนำความร้อนของวัตถุที่เปลี่ยนค่าตามเวลา ทวีไปการนำความร้อนของอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถือว่าการนำความร้อนที่สภาวะคงที่ และมีปัจจัยสำคัญที่มีส่วนกำหนดอัตราการนำความร้อน คือ ผลต่างของอุณหภูมิ รูปร่างของวัตถุและคุณสมบัติของวัตถุดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งแสดงการนำความร้อนในสภาวะคงตัวผ่านผนังเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบนำความร้อน จะพบว่าผนังด้าน X_1 มีค่าอุณหภูมิ T_1 และผนังด้าน X_2 มีค่าอุณหภูมิ T_2 โดยระยะห่างระหว่าง X_1 ไปยังด้าน X_2 นั้น ดังนั้น ที่ความหนาของผนัง $\Delta X = X_2 - X_1$ และพื้นที่ผิว A และผลต่างของอุณหภูมิตลอดความหนาของผนัง ΔX เป็น $\Delta T = T_2 - T_1$ เมื่อพิจารณาจากกฎการนำความร้อนของฟูเรียร์แสดงดังสมการที่ 3.1 ส่วนรูปที่ 3.9 แสดงทิศทางของความร้อนแบบนำความร้อน พบว่าอัตราการนำความร้อนผ่านผนังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิตลอดความหนาและพื้นที่การนำความร้อนเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของตัวกลางดังสมการว่า

$$Q_{conduction} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.1)$$

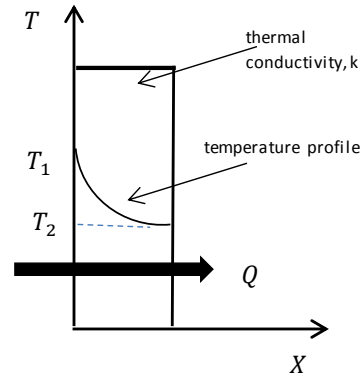
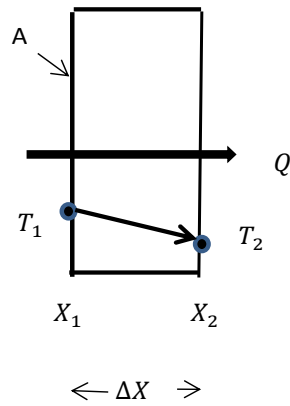
ในกรณีที่ $\Delta x \rightarrow 0$ จากสมการ (3.1) ทำให้อยู่ในรูปอนุพันธ์ย่อยได้ดังสมการที่ 3.2 เรียกว่า กฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's Law of Heat Conduction) ดังสมการว่า

$$Q_{conduction} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.2)$$

โดยที่

| | | |
|------------------|-----|---------------------------------------|
| $Q_{conduction}$ | คือ | อัตราการนำความร้อน (kJ/h) |
| k | คือ | ค่าการนำความร้อนของตัวกลาง (kJ/k m K) |
| A | คือ | พื้นที่ผิวของการนำความร้อน (m^2) |

$\frac{dT}{dx}$ คือ ค่าเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางการนำความร้อน (K/m)



รูปที่ 3.9 การนำความร้อนผ่านหน้า ΔX

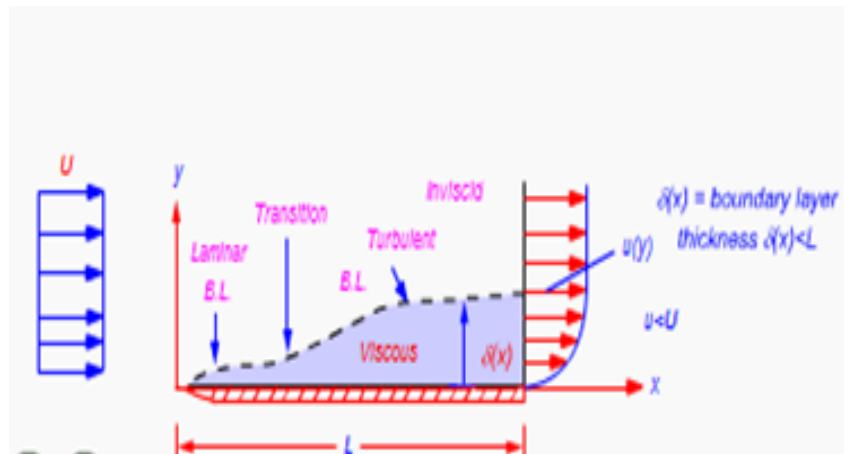
รูปที่ 3.10 แสดงทิศทางการไหลของความร้อน

3.3.2 การพาความร้อน (Convection heat transfer)

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของเหลวหรือก๊าซที่ติดอยู่กับพื้นผิวนั้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของของไหล การพาความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ การพาความร้อนแบบบังคับ(force convection) และการพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ(free convection or natural convection)

การพาความร้อนแบบบังคับ(forced convection) คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากผิวความร้อนไปยังของไหลที่กำลังเคลื่อนที่โดยการเคลื่อนที่ของไหลถูกทำโดยพัดลมหรือโบลเวอร์ กลุ่มตัวแปรไร้มิติของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, Nu_x จะเป็นฟังก์ชันของ Re_x และ Pr หรือเขียนได้ว่า $Nu_x = \text{function}(Re_x, Pr)$ โดยค่าความสัมพันธ์ที่ถูกต้องจะขึ้นอยู่กับสมมาตรของพื้นผิว ลักษณะการไหลไม่ว่าจะเป็นแบบราบเรียบ หรือแบบปั่นป่วน สภาพของชั้นขอบเขตความร้อนบนพื้นผิว ชั้นขอบเขตความร้อนโดยปกติจะใช้ที่อุณหภูมิผิวคงที่หรือปลั๊กความร้อนคงที่

อัตราการพาความร้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิ และสามารถแสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และสามารถเขียนสมการการพาความร้อนตามกฎการเย็นตัวของนิวตัน(Newton's law of cooling) ดังแสดงในสมการที่ 3.3



รูปที่ 3.11 ชั้นขอบเขตความร้อนสำหรับการไหล

$$Q_{convection} = h A (T_w - T_\infty) \quad (3.3)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

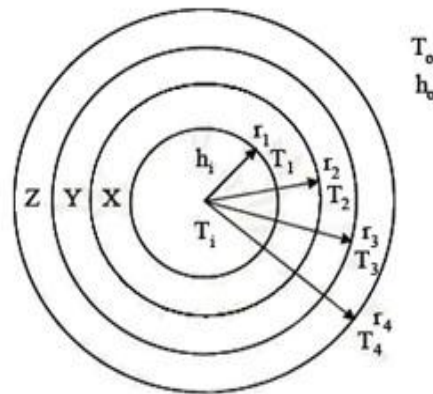
$$Q_{convection} = h A (T_\infty - T_w) \quad (3.4)$$

โดยที่

| | | |
|------------------|-----|---|
| $Q_{convection}$ | คือ | อัตราการพาความร้อน (kJ/h) |
| h | คือ | สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (kJ/k m ² K) |
| A | คือ | พื้นที่ผิวของการนำความร้อน (m ²) |
| T_∞ | คือ | อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างจากพื้นผิว (K) |
| T_w | คือ | อุณหภูมิของพื้นผิว (K) |

3.3.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (The overall heat-transfer coefficient)

ในการวิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกับเชลล์ในเชิงความร้อน คือ การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างของไหล 2 ชนิด ซึ่งตามนิยามของความหมายสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างของไหลที่มีอุณหภูมิสูงเป็น T_i กับของไหลเย็นที่มีอุณหภูมิเป็น T_o กันโดยผนังท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังท่อ [6]

เมื่อพิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ท่อด้านหนึ่งสัมผัสกับของไหลร้อนที่มีอุณหภูมิ T_i กับอีกด้านหนึ่งสัมผัสกับของไหลเย็นที่มีอุณหภูมิ T_o ค่าการถ่ายเทความร้อนสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$q = h_i A_i (T_i - T_1) + 2\pi k_x L \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)} + 2\pi k_y L \frac{T_2 - T_3}{\ln(r_3/r_2)} + 2\pi k_z L \frac{T_3 - T_4}{\ln(r_4/r_3)} + h_o A_o (T_o - T_4) \quad (3.5)$$

สามารถเขียนสมการ 3.5 เขียนสมการถ่ายเทความร้อนใหม่ได้เป็นดังสมการ

$$q = \frac{(T_i - T_o)}{\left(\frac{1}{h_i A_i}\right) + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_x L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_y L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_z L} + \left(\frac{1}{A_o h_o}\right)} \quad (3.6)$$

หรือ

$$q = \frac{(T_i - T_o)}{R} \quad (3.7)$$

จากสมการที่ 3.6 และสมการ 3.7 สามารถเขียนค่าความต้านทานรวมของระบบได้เป็น

$$R = \left(\frac{1}{h_i A_i} \right) + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \pi k_x L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2 \pi k_y L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2 \pi k_z L} + \left(\frac{1}{A_o h_o} \right) \quad (3.8)$$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการถ่ายเทความร้อนให้อยู่ในสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมได้เป็นดังสมการ

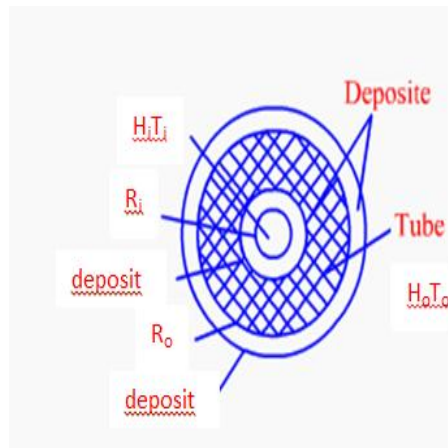
$$q = UA(T_i - T_o) = \frac{(T_i - T_o)}{R} \quad (3.9)$$

จากสมการที่ (3.7), (3.8) และ (3.9) พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของพื้นที่ผิวต่อต้านนอกพบว่าจะมีค่า

$$U_o = \frac{1}{\left(\frac{A_o}{h_i A_i} \right) + \frac{A_o \ln(r_2/r_1)}{2 \pi k_a L} + \frac{A_o \ln(r_3/r_2)}{2 \pi k_b L} + \frac{A_o \ln(r_4/r_3)}{2 \pi k_c L} + \left(\frac{1}{h_o} \right)} \quad (3.10)$$

ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_o) และค่าความต้านทานความร้อนรวม (R) ได้ดังนี้

$$R = \frac{1}{A_o U_o} \quad (3.11)$$



รูปที่ 3.13 ลักษณะการเกิดตะกรันที่บริเวณผิวท่อทั้งด้านในและด้านนอก

ในกรณีที่มีตะกรันเกิดขึ้นที่บริเวณผิวท่อทั้งด้านในและด้านนอกท่อ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ค่าความร้อนในกรณีที่มีตะกรันนี้สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$R_f = \left(\frac{1}{h_i A_i} \right) + \frac{R_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{2 \pi k L} + \frac{R_{f,o}}{A_o} + \left(\frac{1}{A_o h_o} \right) \quad (3.12)$$

โดยที่

i และ o คือ สภาวะที่เกิดตะกรันด้านในและด้านนอกตามลำดับ

$R_{f,i}$, $R_{f,o}$ คือ ค่าความต้านทานตะกรันที่ผิวด้านในและด้านนอกตามลำดับ

สมการแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในสภาวะอันเนื่องจากการเกิดตะกรันที่ผิวได้เป็นดังสมการ

$$\frac{1}{U_{f,0}} = \left(\frac{A_o}{h_i A_i} \right) + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2 \pi k L} + \left(\frac{1}{h_o} \right) + R_f \quad (3.13)$$

โดยที่

i และ o คือ สภาวะที่เกิดตะกอนด้านในและด้านนอกตามลำดับ

$R, R_{f,i}, R_{f,o}$ คือ ค่าความต้านทานตะกอนรวมและค่าความต้านทานตะกอนที่ผิวด้านในและด้านนอกตามลำดับ

เมื่อพิจารณาในสภาวะที่ไม่มีตะกอนเกิดขึ้นที่ผิวท่อจะพบว่า สมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะหาได้จากสมการ

$$U_{c,o} = \frac{1}{\left(\frac{A_o}{h_i A_i}\right) + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2 \pi k L} + \left(\frac{1}{h_o}\right)} \quad (3.14)$$

เขียนใหม่เป็น

$$\frac{1}{U_{c,o}} = \left(\frac{A_o}{h_i A_i}\right) + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2 \pi k L} + \left(\frac{1}{h_o}\right) \quad (3.15)$$

โดยที่

c,i และ c,o คือ สภาวะที่ไม่มีตะกอนด้านในและด้านนอกตามลำดับ

นำสมการที่ (3.15) - สมการที่ (3.13) จะได้สมการการหาค่าความต้านทานตะกอนรวมแสดงดังสมการ

$$R_f = \left(\frac{1}{U_f}\right) - \left(\frac{1}{U_c}\right) \quad (3.16)$$

โดยที่

R_f คือ ค่าความต้านทานตะกอนรวม, fouling factor ($m^2 h K/kJ$)

U_f คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อที่มีตะกรัน (kJ/h m² K)

U_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อที่ไม่มีตะกรัน (kJ/h m² K)

ค่าความต้านทานตะกรันรวมสามารถหาได้จากการนำส่วนกลับของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ผิวท่อที่มีตะกรันลบกับส่วนกลับของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ยังไม่เกิดตะกรันแสดงในสมการที่ 3.16

3.3.4 ค่าความต้านทานอันเกิดจากสิ่งสกปรกที่ผนังหรือตะกรัน (Fouling Factor)

เมื่อใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไประยะหนึ่ง สิ่งสกปรกจากของไหลจะเริ่มจับติดกับผิวของโลหะ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากผิวโลหะจากฝั่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังฝั่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่านั้นต่ำลง ปริมาณที่บ่งบอกถึงสิ่งสกปรกหรือตะกรันเหล่านี้ เรียกว่า Fouling Factor (R_f) [7] หมายถึง ค่าความต้านทานอันเกิดจากสิ่งสกปรกที่ผนัง (m² K/W) จากสมการ 3.6 เมื่อ U_f เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากเมื่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนถูกใช้ไปจะเกิดตะกรันที่ผิวจึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลานั่นเอง ดังนั้นจะได้ว่า

$$R_{f,i} = \left(\frac{1}{U_t} \right) - \left(\frac{1}{U_c} \right) \quad (3.17)$$

โดยที่

$R_{f,i}$ คือ ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน, fouling factor ที่ i (m² h K/kJ)

U_t คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (kJ/h m² K)

U_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อที่ไม่มีตะกรัน (kJ/h m² K)

3.3.5 การหาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างของของไหลร้อนและของไหลเย็นนั้น โดยทราบอัตราการไหลของมวลของของไหล จึงสามารถหาความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อกได้ (Log mean temperature difference, LMTD)

ตามกฎอนุรักษ์พลังงาน อัตราการถ่ายโอนความร้อนจากของไหลที่ร้อนเท่ากับอัตราการถ่ายโอนความร้อนของไหลเย็น ดังสมการ

$$Q = m_c C_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (3.19)$$

$$Q = m_h C_{ph} (T_{h,out} - T_{h,in}) \quad (3.20)$$

โดยที่

| | | |
|-----------------------|-----|--|
| c และ h | คือ | สภาวะของไหลเย็นและของไหลร้อนตามลำดับ |
| m_c และ m_h | คือ | อัตราการไหลของมวลของไหลเย็นและของไหลร้อนตามลำดับ |
| C_{pc} และ C_{ph} | คือ | ความร้อนจำเพาะของของไหลเย็นและของไหลร้อนตามลำดับ |

อัตราการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลของของไหลคูณกับความร้อนจำเพาะและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของไหล อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถเขียนได้ในรูปของความแตกต่างของอุณหภูมิ ΔT ระหว่างของไหลที่ร้อนและเย็น โดยที่

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (3.21)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนนี้หาจากกฎการเอ็นตัวของนิวตันโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, U แทนสัมประสิทธิ์การพาความร้อน h แต่เนื่องจาก ΔT อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามตำแหน่งต่างๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จึงมีสมการเป็น

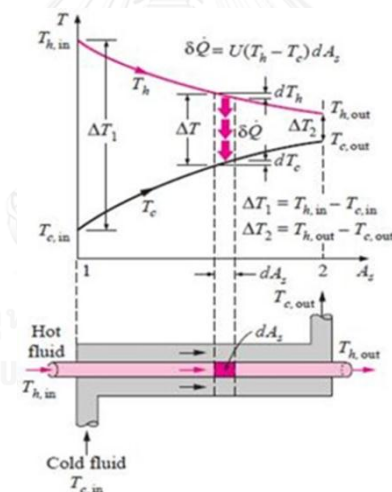
$$Q = U A_s \Delta T_m \quad (3.22)$$

โดยที่

A_s คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนและความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมระหว่างของไหลสองชนิด

3.3.6 การหาความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก (The log mean temperature difference, LMTD)

อุณหภูมิของของไหลต่าง ๆ ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนปกติแล้วจะมีค่าไม่คงที่แต่จะแปรค่าจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งเมื่อมีความร้อนไหลจากของของไหลที่ร้อนไปยังของไหลที่เย็นกว่า ดังนั้นถึงแม้ว่าความต้านทานความร้อนตามทางของไหลจะมีค่าคงที่ก็ตาม อัตราการถ่ายเทความร้อนจะแปรค่าตามเส้นการไหลในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทั้งนี้เพราะอัตราการถ่ายเทความร้อนจะแปรค่าตามความแตกต่างของอุณหภูมิของไหลร้อนและของไหลเย็นที่แต่ละหน้าตัด ดังรูปที่ 3.14 ระยะห่างระหว่างเส้นกราฟทั้งสองจะเป็นความแตกต่างของอุณหภูมิ ΔT ระหว่างของไหลทั้งสอง



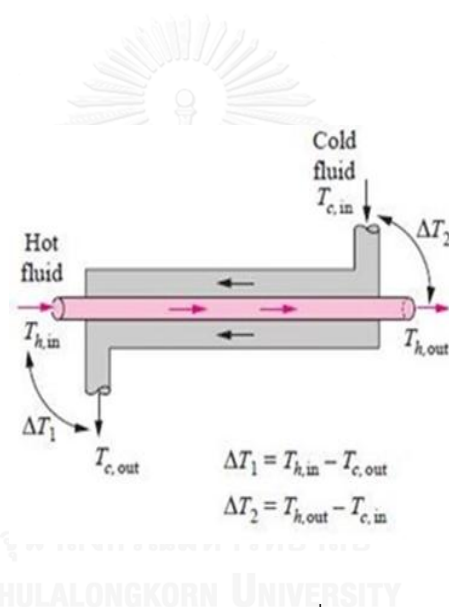
รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลสวนทางกัน

รูปที่ 3.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลสวนทางกัน เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิ ΔT ระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็นมีค่าสูงที่ทางเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละจุดจะลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลกับทางออก และอุณหภูมิของของไหลร้อนจะลดลงขณะที่อุณหภูมิของของไหลเย็นเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิของของไหลเย็นไม่สามารถเพิ่มสูงเกินอุณหภูมิของของไหลที่ร้อนได้ไม่ว่าจะอยู่ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนานแค่ไหนก็ตาม

ในการหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ ล้วนแต่ต้องหาโดยการอินทิเกรตจากอัตราการถ่ายเทความร้อน ที่ไหลผ่านพื้นที่ dA ซึ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ ให้ทั่วพื้นที่ A ที่ใช้การถ่ายเทความร้อนตลอดความยาวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจากสมการที่ 3.22

$$Q = U A_s \Delta T_m \quad (3.22)$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3.23)$$



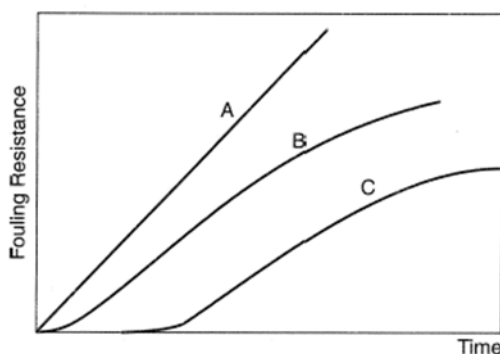
รูปที่ 3.15 ค่า ΔT_1 และ ΔT_2 ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทางกัน

3.4 ตะกรัน (Fouling)

ตะกรันเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(heat exchanger) หรืออุปกรณ์ใดก็ตามที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนเนื่องจากเมื่อเกิดตะกรันขึ้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน จะทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงโดยไปลดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน หรือใช้ปริมาณความร้อนมากขึ้นเพื่อให้ความร้อนของของไหลฝั่งเย็นให้มีอุณหภูมิตามที่ต้องการซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน

การสะสมของความต้านทานตะกรันอาจดำเนินไปในหลายลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยเส้นกราฟ A แสดงการเริ่มต้นจากผิวที่มีสภาพใหม่ไม่มีความต้านทานตะกรันเลย และเส้นกราฟ B

แสดงอัตราค่าความต้านทานพัฒนาไปด้วยอัตราถดถอยจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง และสำหรับเส้นกราฟ C แสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของความต้านทานเป็นแบบก้าวหน้าจนเข้าสู่ค่าคงที่



รูปที่ 3.16 อัตราการก่อตัวความต้านทานตะกรันตามเวลา

3.4.1 ประเภทตะกรัน

การเกิดตะกรันมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของของเหลว และองค์ประกอบที่อยู่ในของเหลว ซึ่งสามารถแบ่งกลไกการเกิดตะกรันได้ดังนี้

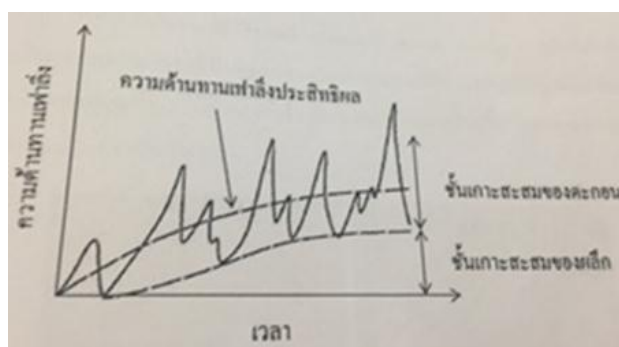
ตะกรันที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีภายในของของเหลว (Chemical reaction) เป็นปฏิกิริยาเกิด

กันเองภายในสารละลายที่เป็นของเหลว เกิดจากคุณสมบัติการรวมตัวกันทางเคมีส่งผลเกี่ยวข้องกับพื้นผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อน หรือได้รับความร้อนแล้วเกิดการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการรวมตัวกัน ซึ่งปฏิกิริยานั้นอาจจะเป็นที่ต้องการและไม่ต้องการ โดยปฏิกิริยาที่ไม่ต้องการอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดตะกรันได้ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี หรือ กระบวนการผลิตพอลิเมอร์ พบเป็นส่วนมาก



รูปที่ 3.17 ตะกรันชนิดจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ตะกรันจากการตกตะกอน (Precipitation fouling หรือ Crystallization fouling) คือ การตกตะกอนจะเกิดขึ้นบริเวณที่ของไหลที่มีสิ่งแขวนลอยปะปนอยู่ มันอาจจะปรากฏหลายลักษณะซึ่งตามปกติจะเกิดขึ้นร่วมกับตะกรันแบบอื่นๆ โดยมักจะรวมตัวกันอยู่ในบริเวณที่มีความเร็วต่ำซึ่งหากสิ่งอุดตันไม่ได้ติดกันแน่นมากนัก เศษอนุภาคอาจเป็นตัวเร่งให้เกิดการตกตะกอนร่วมกับกระบวนการตกผลึกให้ขึ้นพร้อม ๆ กัน โดยลักษณะของการตกตะกอนจะเป็นดังรูป 3.18 โดยอาจจะเกิดการสะสมจนเป็นสามารถขัดขวางการแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณพื้นที่ผิวสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.18 พัฒนาการของความต้านทานตะกรันจากการตกตะกอนและการตกผลึกร่วมกัน



รูปที่ 3.19 ตะกรันชนิดจากการตกตะกอนและตกผลึก

ตะกรันที่เกิดจากอนุภาคเล็ก ๆ (Particulate fouling) เป็นตะกรันที่เกิดจากของแข็งที่อยู่ใน

ของไหลและอยู่บนพื้นผิวการแลกเปลี่ยนความร้อน ตะกรันในกรณีนี้จะไม่จับเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวแต่ยังมีแรงในการยึดเกาะกันอยู่



รูปที่ 3.20 ตะกรันชนิดจากอนุภาคเล็กๆ

ตะกรันที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา (Corrosion fouling) ตะกรันประเภทมาจากการกัดกร่อน อุปกรณ์ภายในหม้อต้มน้ำจากปฏิกิริยาของสารป้อนเข้าหม้อต้มน้ำที่มีฤทธิ์กัดกร่อนทำให้เกิด stagnate zone และการสะสมของสารจนกลายเป็นตะกรันได้



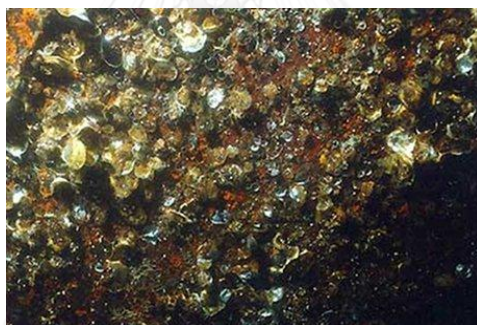
รูปที่ 3.21 ตะกรันที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา

ตะกรันจากการแข็งตัวของของไหล (Solidification fouling) ตะกรันจะเกิดเมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนในปริมาณน้อย การไหลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของของไหลจะแข็งตัวบริเวณที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อน ปรากฏการณ์นี้เกิดเมื่อของไหลเป็นก๊าซ



3.22 ตะกรันจากการแข็งตัวของของไหล

ตะกรันทางชีววิทยา (Biological fouling) เป็นตะกรันที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น เพรียง หอย และแบคทีเรียที่มีโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรีย ไปยึดติดและเจริญเติบโตที่บริเวณผิวเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 3.23 ตะกรันทางชีววิทยา

3.4.2 ผลกระทบของตะกรันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ผลกระทบของตะกรันเกิดจากการมีของแข็งเกาะบนผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือระบายความร้อนออกจากของเหลว ไอน้ำ และก๊าซ ในกระบวนการดังกล่าวอาจจะมีเกิดการเดือด การควบแน่น หรือเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ[8]

สาเหตุของการเกิดตะกรันมากที่สุดโดยส่วนใหญ่จะเกิดผลึกด้วยสภาพการละลายวกกลับและปฏิกิริยาทางเคมีนั้นเกิดขึ้นบนพื้นผิวในกระบวนการให้ความร้อนโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ

กระบวนการระบายความร้อนโดยไม่มี การเปลี่ยนสถานะก็นำไปสู่การเกิดตะกรันเช่นกันอันเป็นผล การเกาะสะสมของอนุภาค การตกตะกอน และปฏิกิริยาทางเคมี

กระบวนการถ่ายเทความร้อนพร้อมกับการเปลี่ยนสถานะจะเป็นจากการระบายความร้อนซึ่งของไหล มีการควบแน่น หรือการให้ความร้อนซึ่งของไหลเกิดการเดือด ตะกรันไม่ค่อยจะมีบทบาทสำคัญมาก นักในกระบวนการควบแน่น เนื่องจากปกติค่อนข้างสะอาดแต่การกัดกร่อนของพื้นผิวที่เกิดการ ควบแน่นก็อาจจะมีบ้าง นอกจากนี้ ความเร็วการไหลของคอนเดนเสท มักจะต่ำทำให้ตะกรันอาจจะมี ความสำคัญมากขึ้นในส่วนคอนเดนเสท

ตะกรันในกระบวนการเดือนหรือการระเหยนับเป็นปัญหาที่ร้ายแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน ระบบผลิตไอน้ำขนาดใหญ่

โดยผลกระทบที่มาจาก การเกิดตะกรัน เช่น การถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิ ความเร็วของของ ไหล วัสดุและโครงสร้างพื้นผิว

3.4.2.1 ผลกระทบของการถ่ายเทความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อใช้ไปอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานจะเริ่มมีตะกรันเกิดขึ้น ปัญหาที่พบคือการเกิดตะกรันขึ้นที่ตรงพื้นผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยตะกรันจะไปลด ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในระบบทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง ส่งผลต่อ พลังงานทดแทนที่ต้องถูกใช้สูงขึ้นเพื่อให้การผลิตยังคงได้ปริมาณเดิม โดยพบว่าการเกิดตะกรันใน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนส่งผลกระทบต่อ การถ่ายเทความร้อนมากที่สุด ในกระบวนการกลั่นของ หน่วยกำจัดเพนเทน

3.4.2.2 ผลกระทบจากอุณหภูมิต่อการเกิดตะกรัน

อุณหภูมิเป็นตัวเร่งอย่างหนึ่งให้อัตราการเกิดตะกรันและชั้นตะกรันที่มีแนวโน้มแปลผันตาม อุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิเป็นกลไกทำให้บริเวณพื้นผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงจน หนาแน่นทำให้ตะกรันเกิดการสะสม เกาะกันแน่นจนเป็นตัวกีดขวางการถ่ายเทความร้อนระหว่างของ ไหลที่ร้อนกับของไหลที่เย็น

3.4.2.3 ผลกระทบจากความเร็วยังของของไหล

ความเร็วของของไหลมีผลต่อการเกิดตะกรัน โดยการเพิ่มความเร็ว จะลดอัตราการเกิดตะกรันและไปเพิ่มประสิทธิภาพการพาความร้อนทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้นด้วย ทำให้ประหยัดลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้

3.4.2.4 ผลกระทบจากวัสดุและโครงสร้างพื้นผิว

วัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีผลมากในช่วงเวลาการเกิดตะกรันที่ผิว เนื่องจาก วัสดุต่างชนิดกันจะให้ผลการเร่งการเกิดปฏิกิริยากับของไหลต่างกัน ไม่เหมือนกัน ซึ่งอาจจะเร่งหรือยับยั้งการเกิดตะกรันก็ได้ รูปที่ แสดงพัฒนาการของตะกรันในช่วงเวลาการก่อตัวที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆ คือ เหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กกล้าไร้สนิม ทองเหลือง

3.4.3 การชะลอการเกิดตะกรัน (Mitigation of fouling)

เพื่อเป็นการชะลอและควบคุมอัตราการเกิดตะกรันที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งตะกรันที่เกิดขึ้นมีหลายหลายแบบและหลากหลายสาเหตุ โดยประโยชน์ของการที่สามารถชะลอการเกิดตะกรันได้คือ ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและคงอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ให้สามารถผลิตสินค้าได้ตามเป้าหมาย วิธีในการชะลอการเกิดตะกรันแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ วิธีการใช้สารเคมี(chemical additives) และวิธีกล(Mechanical method) หรือวิธีทางกายภาพ

3.4.3.1 การชะลอการเกิดตะกรันโดยวิธีทางกล

เป็นการใช้วิธีทางกายภาพช่วยลดหรือชะลอการก่อตัวของตะกรันที่ผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การชะลอการเกิดตะกรันโดยวิธีทางกล

| เทคนิค | กระบวนการผลิตที่นำไปใช้ |
|--------------------------|--|
| บอลยางเคลื่อนไหวแบบอิสระ | คอนเดนเซอร์ของโรงงานไฟฟ้า |
| ระบบครอบหรือกรง | อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและเปลือก |

| | |
|-------------------|---------------------------------------|
| เครื่องเป่า | บริเวณผิวภายนอกท่อของกระบวนการเผาไหม้ |
| เครื่องสันสะเทือน | อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ |
| ของไหลความเร็วสูง | บริเวณภายในท่อ |

3.4.3.2 การชะลอการเกิดตะกรันโดยใช้สารเคมี

สารเคมีชะลอการเกิดตะกรันสามารถช่วยให้แรงเฉือน (shear force) ที่ความเร็วของของไหลกระทำกับตะกรันบนผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้นทำให้ตะกรันสามารถหลุดออกไปกับของไหล ดังนั้นเมื่อชั้นตะกรันลดลงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้น โดยปริมาณการใช้สารเคมีได้ตั้งแต่ 1-100 ppm เคมีชะลอการเกิดตะกรันจะนิยมไหลเคมีแบบต่อเนื่องเพื่อป้องกันการตะกรันอย่างมีประสิทธิภาพ ความเข้มข้นของเคมีและวิธีการไหลเคมีจะขึ้นกับอัตราการเกิดตะกรันของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ปัจจัยที่โรงงานการผลิตจะพิจารณาคือ จำนวนเงินที่ต้องเสียตามปริมาณการใช้สารเคมีโดยที่ราคาเหมาะสม การใช้สารเคมีที่เหมาะสมกับสาเหตุการเกิดตะกรัน ดังแสดงตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การชะลอการเกิดตะกรันโดยวิธีใช้สารเคมี

| ชนิดตะกรัน | การเพิ่มประสิทธิภาพ |
|-----------------------------|---|
| ตะกอนการตกตะกอนและการตกผลึก | - เคมีชะลอการเกิดตะกรัน - การปรับปรุงโครงสร้างของผลึกให้อ่อนลง |
| ตะกรันจากอนุภาคเล็ก ๆ | - เคมีชะลอการเกิดตะกรัน - สารที่ช่วยจับกลุ่มอนุภาคสารที่ตกตะกอน - ลดความแข็งของตะกรัน |
| ตะกรันจากชีววิทยา | - ใช้สารเคมีฆ่าเชื้อ - ใช้สารเคมีลดการเจริญเติบโต |
| ตะกรันจากปฏิกิริยาเคมี | - เคมีดักการทำปฏิกิริยาของออกซิเจน - หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ |

| | |
|------------------------------|---|
| การเกิดสนิม | - เคมียับยั้งการเกิดสนิมการปฏิกิริยาเคมี - เคมิเพื่อชะลอการเกิดสนิม - เคมิทำปฏิกิริยากับกรดแก๊สในการเผาไหม้ |
| ตะกรันจากการแข็งตัวของของไหล | - การปรับปรุงโครงสร้างของผลึกให้อ่อนลง |

3.5 แหล่งที่มาของคอนเดนเสท (feed source)

เนื่องจากแพลนอะโรมาติกส์มีสารตั้งต้นในการผลิตคือแนฟทาหนัก ดังนั้นคอนเดนเสทที่ป้อนเข้าสู่หอกลั่นแยกเพนเทน จึงต้องเป็นคอนเดนเสทที่มีองค์ประกอบหลักเป็นแนฟทาหนักเป็นส่วนผสมหลัก และองค์ประกอบรองคือคอนเดนเสทที่มีองค์ประกอบเป็นแนฟทาเบาเนื่องจากแพลนสามารถผลิตเป็นสารโอเลฟิน(olefin) และผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่มีมูลค่า (by-product) เช่น ก๊าซธรรมชาติเหลว(LPG) หรือผสมคอนเดนเสทที่มีองค์ประกอบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากกว่า10 (C₁₀₊) เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้(by-product) ขายให้กับโรงกลั่นน้ำมันที่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการกลั่นน้ำมันโครซีน และน้ำมันดีเซล ได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นแหล่งของคอนเดนเสทที่ป้อนเข้าระบบจึงประกอบด้วยส่วนผสมหลักคือ บงกช และ เอราวัณ เนื่องจากมีองค์ประกอบหลักเป็นแนฟทาหนัก และคอนเดนเสทอื่นๆ ที่นำมาผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปผลิตสารอะโรมาติกส์เพิ่มและได้ผลิตภัณฑ์พลอยได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

เนื่องจากคอนเดนเสทที่ป้อนเข้าหม้อต้มซ้ำมีความหลากหลายของแหล่งที่มาและสัดส่วนของการผสมแต่ละแหล่งนั้น ๆ อยู่น้อยแตกต่างกันไป โดยแหล่งคอนเดนเสทหลักที่ใช้คือ บงกช และ เอราวัณ ซึ่งเป็นแหล่งจากอ่าวไทย เนื่องจากมีองค์ประกอบของแนฟทาหนักอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งนำไปผ่านกระบวนการผลิตให้เป็นสารอะโรมาติกส์ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มขึ้นได้ จึงมีความจำเป็นสำหรับกระบวนการผลิต และสิ่งเจือปนที่เป็นตะกรันสะสมภายในหม้อต้มซ้ำได้นั้น คือ พรอท เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารพรอทในสายป้อนมาก ส่วนแหล่งคอนเดนเสทอื่นๆ ที่นำมาผสมจะมีความหลากหลายขององค์ประกอบ

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าองค์ประกอบของแหล่งคอนเดนเสทที่ใช้ป้อนเข้าระบบหอกลั่นแยกเพนเทน

| คอนเดนเสท | ชื่อย่อ | แหล่งที่มา | องค์ประกอบหลัก | สิ่งเจือปนที่พบ มาก |
|------------------------------|---------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| BONGKOT CONDENSATE | BKT | Thai gulf | Aromatic, Heavy naphtha | Hg, As |
| ERAWAN CONDENSATE | ERW | Thai gulf | Aromatic, Heavy naphtha | Hg, As |
| NORTH WEST SHELF | NWS | Australia | Light Naphtha, LPG | - |
| CAKERAWALA JDA CONDENSATE | JDA | Malaysia- Thai gulf | Heavy naphtha | Hg, As |
| MALAMPAYA CONDENSATE | MCP | Philippine | Medium & Heavy naphtha | Sulfur |
| GERAKAI CONDENSATE | GER | Indonesia | Light naphtha, LPG | - |
| ALBA CONDENSATE | ALB | Africa | Heavier | Sulfur |
| BINTULU CONDENSATE | BIC | Malaysia | Heavy naphtha | - |
| BAYU UNDA CONDENSATE | BAX | Australia | Light Naphtha, LPG | - |
| TANGGUH CONDENSATE | TGC | Indonesia | Light naphtha, LPG | - |
| YETAKUN CONDENSATE | YET | Myanmar | Medium & Heavy naphtha | - |
| SHARJAH | SHJ | Middle east(UAE) | Light naphtha, LPG | Sulfur |
| PLUTO CONDENSATE | PLU | Australia | Light naphtha, LPG | - |

จากการเก็บข้อมูลขององค์ประกอบและสิ่งเจือปนของแต่ละแหล่งคอนเดนเสท เช่น บงกช และ เอราวัลด์ ซึ่งเป็นแหล่งจากอ่าวไทย เนื่องจากมีองค์ประกอบของแนฟทาหนักอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งนำไปผ่านกระบวนการผลิตให้เป็นสารอะโรมาติกส์ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มขึ้นได้ จึงมีความจำเป็นสำหรับกระบวนการผลิต และสิ่งเจือปนที่เกิดเป็นตะกักรันสะสมภายในหม้อต้มซ้ำได้นั้น คือ พรอท เนื่องจากมี

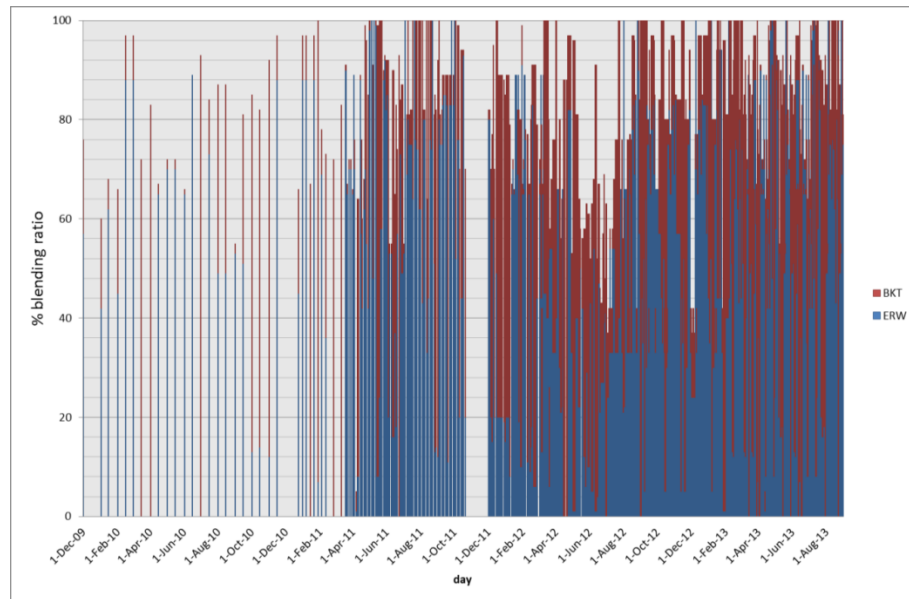
ความเข้มข้นของสารปรอทในสายป้อนมาก ซึ่งมีการเก็บข้อมูลปริมาณปรอทของที่พบในน้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆ ในโลก พบว่า ทวีปเอเชียมีปริมาณของปรอทเจือปนในน้ำมันดิบปริมาณมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณสารปรอทที่พบในน้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆ ในโลกในปี 2007

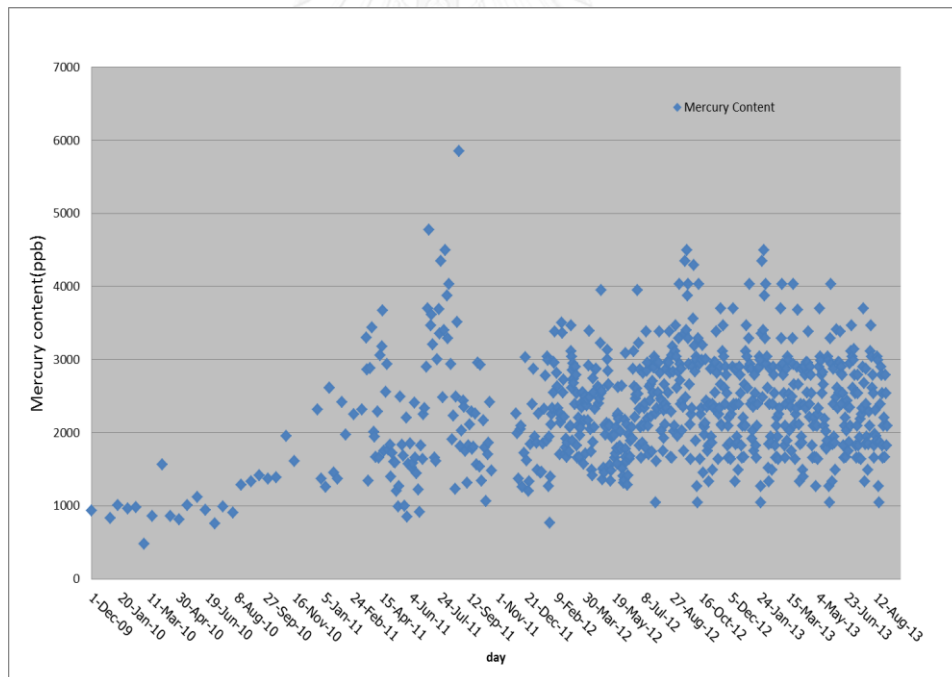
| แหล่งที่มา | ปริมาณ(บาเรล) | % ส่งเข้าอเมริกา | ปรอท(ppb) |
|--------------|---------------|------------------|-----------|
| แอฟริกา | 705,714,000 | 11.75 | 2.7 |
| เอเชีย | 50,333,000 | 0.84 | 220.1 |
| แคนาดา | 591,489,000 | 9.845 | 2.1 |
| ยุโรป | 198,389,000 | 3.3 | 8.7 |
| แม็กซิโก | 585,023,000 | 9.74 | 1.3 |
| ตะวันออกกลาง | 883,946,000 | 14.71 | 0.8 |
| อเมริกาใต้ | 677,169,000 | 11.27 | 5.3 |
| อเมริกา | 2,315,760 | 38.55 | 4.3 |

3.5.1 ส่วนผสมของสารป้อนเข้าระบบหอกลิ้นแยกเพนเทน (feed composition)

เนื่องจากแพลนอะโรมาติกส์มีสารตั้งต้นในการผลิตคือแนฟทาหนัก ดังนั้นคอนเดนเสทที่ป้อนเข้าสู่หอกลิ้นแยกเพนเทน จึงต้องเป็นคอนเดนเสทที่มีองค์ประกอบหลักเป็นแนฟทาหนักเป็นส่วนผสมหลัก และองค์ประกอบรองคือคอนเดนเสทที่มีองค์ประกอบเป็นแนฟทาเบาเนื่องจากแพลนสามารถผลิตเป็นสารโอเลฟิน(olefin) และผลิตเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่มีมูลค่า (by-product) เช่น ก๊าซธรรมชาติเหลว(LPG) หรือผสมคอนเดนเสทที่มีองค์ประกอบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมากกว่า10 (C₁₀₊) เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้(by-product) ขายให้กับโรงกลั่นน้ำมันที่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการกลั่นน้ำมันเคโรซีน และน้ำมันดีเซล ได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นแหล่งของคอนเดนเสทที่ป้อนเข้าระบบจึงประกอบด้วยส่วนผสมหลักคือ บงกช และ เอราวิ้น เนื่องจากมีองค์ประกอบหลักเป็นแนฟทาหนัก และคอนเดนเสทอื่นๆ ที่นำมาผสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปผลิตสารอะโรมาติกส์เพิ่มและได้ผลิตภัณฑ์พลอยได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงสัดส่วนการผสมของแหล่งคอนเดนเสทในสารป้อนเข้าหม้อต้มซ้ำ



รูปที่ 3.25 แสดงปริมาณปรอทในสายป้อนเข้าของหน่วยจำกัดเพนเทน

บทที่ 4

การออกแบบการทดลองและแผนการดำเนินงาน

4.1 การออกแบบ

การออกแบบเลือกสารเคมีที่เหมาะสมเพื่อชะลอการเกิดตะกรัน และการนำไปทดลองป้อนจริงกับระบบการผลิตจริง การชะลอการเกิดตะกรันที่ผิวของหม้อต้มซ้ำได้ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากฝั่งไอน้ำความดันสูงไปสู่คอนเดนเสทที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า อาศัยหลักการยับยั้งการเกิดตะกรันใหม่ของคอนเดนเสทที่ถูกป้อนเข้ามาในกระบวนการผลิต องค์ประกอบของคอนเดนเสทที่ป้อนเข้ามาในระบบจะมาจากหลายแหล่งด้วยกัน แต่จะมีองค์ประกอบหลักที่มาจากหลุมบงกชและหลุมเอราวัณ อยู่ในอัตราร้อยละ 80 และมีองค์ประกอบที่เหลือเป็นแหล่งอื่น ๆ ที่นำมาผสมเพื่อลดต้นทุนการผลิต

เนื่องจากองค์ประกอบของคอนเดนเสทที่นำมาจากแหล่งชุดเจาะภายในอ่าวไทย มีแนวโน้มของสารปรอทเจือปนหรือสารประกอบอินทรีย์มากขึ้นเมื่อมีการเจาะที่ลึกลงไป ดังนั้นคอนเดนเสทตัวอย่างที่นำมาทดสอบเลือกสารเคมีนั้นจึงใช้คอนเดนเสทจาก 2 แหล่งใหญ่ แหล่งละเท่า ๆ กัน คือบงกช และ เอราวัณ ผู้ออกแบบการทดลองได้เลือกสารเคมีจำนวน 6 ตัวเพื่อหาสารเคมีที่สามารถชะลอการเกิดตะกรันดีที่สุด โดยดูการกระจายตัวของคอนเดนเสท (dispersant) โดยสารเคมีที่นำมาเลือกเพื่อชะลอการเกิดตะกรัน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สารเคมีที่ใช้การเลือกสารเคมีที่เหมาะสม

| เคมี | ปริมาณควบคุม(ppm) |
|---------|-------------------|
| Blank | - |
| EC3019A | 20 |
| EC3038A | 20 |
| EC3236A | 20 |
| EC3089A | 20 |
| EC3051A | 20 |
| EC3021A | 20 |

4.2 การทำทดสอบเลือกสารเคมี

เป็นวิธีการที่อ้างอิงจากการวิเคราะห์ Asphaltene Dispersant Test(ADT) การผสมสารละลายด้วยปริมาตรที่คงที่ของตัวอย่างคอนเดนเสทในปริมาตรที่คงที่ของสารเจือจาง (diluent) เพื่อดูผลการทำทดสอบของการตกตะกอนด้านล่างของหลอดทดลอง

Dispersancy Test ใช้ประโยชน์จากการดูผลการตกตะกอนของสิ่งเจือปน (deposit) ในสารเจือจาง โดยการผสมในสัดส่วนของปริมาณที่คงที่ของคอนเดนเสทอย่างถูกต้องกับสารเจือจางในปริมาณที่คงที่เดียวกันโดยสารที่มีประสิทธิภาพจะช่วยป้องกันการรวมตัวกันและในที่สุดป้องกันการตกตะกอนที่ตกของสิ่งเจือปน ทำให้ความเป็นคอนเดนเสทยังเป็นเนื้อเดียวกันกับสารเจือจางในระหว่างการทดสอบต้องควบคุมระยะเวลาเพื่อให้เป็นตัวแปรควบคุม เนื่องจากปริมาณการตกตะกอนขึ้นกับเวลาด้วย

วิธีในการทำ dispersant test สามารถเป็นที่ยอมรับได้เมื่อใช้ความเข้มข้นของคอนเดนเสทเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบสารเคมีชะลอการเกิดตะกอน ผลการดำเนินงานในการทดสอบให้ใช้วิธีเดียวกันกับแต่ละหลอดการทดลองและให้อยู่ในลักษณะเดียวกันในเพื่อเปรียบเทียบได้อย่างถูกต้อง

4.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเลือกสารเคมีโดยวิธี dispersancy test

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเลือกสารเคมีที่เหมาะสมด้วยวิธี dispersancy test ดังนี้

หลอดรูปกรวยสามารถหมุนเหวี่ยงได้โดยเฉพาะและ stopper



หลอดทดลองรูปกรวย

รูปที่ 4.1 หลอดทดลองเพื่อทดสอบสารเคมีชะลอการเกิดตะกอน

เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)



รูปที่ 4.2 Centrifuge

Bottle top pipette

ใช้ในการตวงปริมาตรของสารเจือจาง (diluent) โดยปริมาตรครอบคลุมช่วง 0.5 – 50 ml

เพื่อไม่ให้เกิดการผิดพลาดเรื่องปริมาตรเนื่องจากใช้ในปริมาตรที่น้อย



รูปที่ 4.3 Bottle top pipette

Vortex mixer

เป็นเครื่องเขย่าสารละลายให้เข้ากัน เพื่อให้ความเป็นเนื้อเดียวกันสารที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 4.4 Vortex mixer

Pipette

ใช้ในการตวงปริมาตรสาร โดยปริมาตรครอบคลุมช่วง 1-100 uL และ 100-1,000 uL



รูปที่ 4.5 Pipette

ไฟฉายหรือตู้ไฟ

เพื่อให้เห็นระดับของตะกอนที่ตกด้านล่างของหลอดรูปกรวยได้ง่ายขึ้น ทำให้การอ่านแม่นยำขึ้น และวิเคราะห์ผลของตะกอนที่ตกได้ง่ายขึ้น

4.2.2 สารเคมีที่ใช้กับการทดลองเพื่อผสมกับสารตั้งต้น

- 1) เฮกเซน ใช้เป็นสารเจือสารของสารเคมีชะลอการเกิดตะกอน
- 2) โทลูอีน ใช้เป็นสารทำลายของสารละลาย
- 3) เตรียม 1% dilution ของสารเคมีชะลอการเกิดตะกอน

4.3 การหาสารเคมีที่เหมาะสม

การหาสารเคมีที่เหมาะสมสำหรับการชะลอการเกิดตะกอน ทำโดยการเตรียมสารเคมีแต่ละชนิดที่เลือกใช้ที่ความเข้มข้นเท่ากัน และวัดระดับตะกอนเพื่อนำมาคำนวณหาความสามารถการกระจายสิ่งเจือปนในคอนเดนเสทได้มากที่สุดในระยะเวลาที่ควบคุม โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณความสามารถกระจายสิ่งเจือปนดังแสดงในสมการ 4.1

$$\text{percent dispersed} = \left(1 - \frac{S_d}{S_0}\right) \times 100\% \quad (4.1)$$

โดยที่

S_d คือ ระดับตะกอนที่ตกด้านล่างของหลอดทดลองที่มีสารเคมีอยู่

S_0 คือ ระดับตะกอนที่ตกด้านล่างของหลอดทดลองที่ไม่มีสารเคมี (blank)

ระดับตะกอนที่ตกด้านล่างของหลอดทดลองที่มีสารเคมีอยู่ต่ำหรือเท่ากับศูนย์หมายความว่าประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดตะกอนของสารเคมีนั้นสูง เพราะระดับตอนที่ตกด้านล่างของหลอดทดลองที่ไม่มีสารเคมีจะมีค่าสูงกว่าระดับตะกอนในสถานะที่มีสารเคมี ทำให้สัดส่วนระหว่างระดับตะกอนในสถานะมีสารเคมีกับไม่มีสารเคมีเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นจากสมการ ที่ 4.1 จะได้ว่า

$$\text{percent dispersed} = (1 - 0) \times 100\% \quad (4.2)$$

$$\text{percent dispersed} = 100\% \quad (4.3)$$

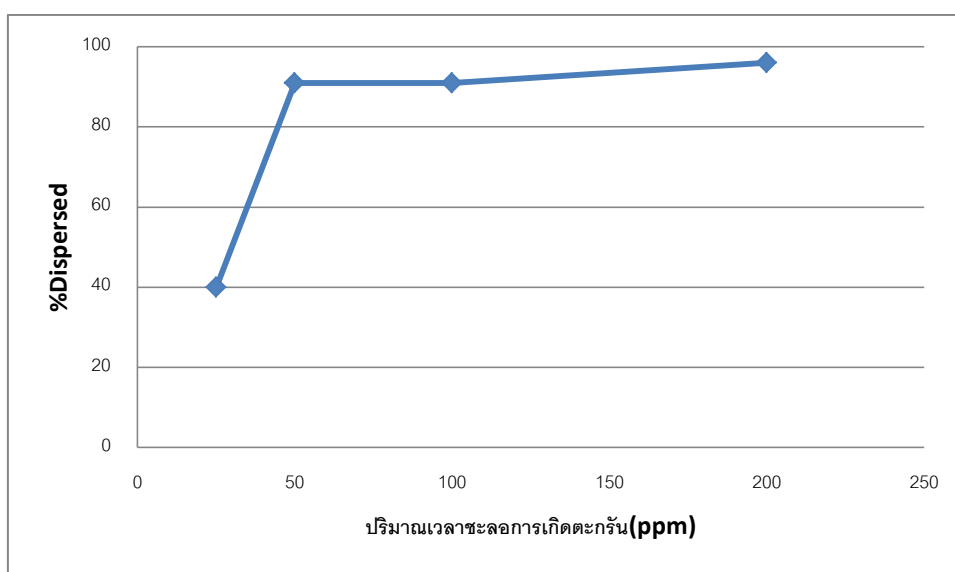
จากสมการ 4.3 แสดงว่าสารเคมีนั้นมีประสิทธิภาพในการชะลอการเกิดตะกอนมากที่สุด เนื่องจากเมื่อนำไปใช้ที่ระบบจริง ซึ่งเป็นการสร้างความน่าเชื่อถือที่ดีที่สุด

4.4 การเลือกความเข้มข้นของสารเคมี

ในการเลือกสารเคมีชะลอการเกิดตะกอนที่ดีที่สุดแล้ว จึงจำเป็นต้องหาความเข้มข้นของสารเคมีชะลอการเกิดตะกอน โดยทำการทดลองแบบเดียวกับการเลือกสารเคมีที่เหมาะสม โดยเลือกความเข้มข้นของสารเคมี และนำมาหาคำนวนความสามารถกระจายสิ่งเจือปน โดยใช้สมการที่ 4.1 โดยปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่เหมาะสมที่สุด คือ ความชันที่เปลี่ยนแปลงมากที่สุดของค่าความสามารถการกระจายสิ่งเจือปนมีเมื่อมีการเพิ่มปริมาณสารเคมี

รูปที่ 37 แสดงความสามารถในการกระจายสิ่งเจือปนในหลอดทดลองหลังจากตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง เมื่อข้อมูลมาพล็อตกราฟพบว่า ที่ความเข้มข้น 25 ppm, % dispersed มีค่า 40% และที่

ความเข้มข้น 50 ppm, % dispersed มีค่า 91% และที่ความเข้มข้น 100 ppm, % dispersed มีค่า 91% แสดงว่า % dispersed มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อการเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีจาก 50 ppm เป็น 100 ppm และ % dispersed มีค่าเพิ่มขึ้นมาอย่างชัดเจนเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีจาก 25 ppm เป็น 50 ppm ดังนั้นที่ความเข้มข้น 50 ppm เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองเลือกความเข้มข้นสารเคมีชะลอกการเกิดตะกอน



รูปที่ 4.6 แสดงความสามารถกระจายสิ่งเสื่อปนเมื่อมีการเปลี่ยนความเข้มข้นของเคมี

โดยความเข้มข้นของสารชะลอกการเกิดตะกอนที่เลือกใช้ทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยแต่ละความเข้มข้นที่เลือกใช้จะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ

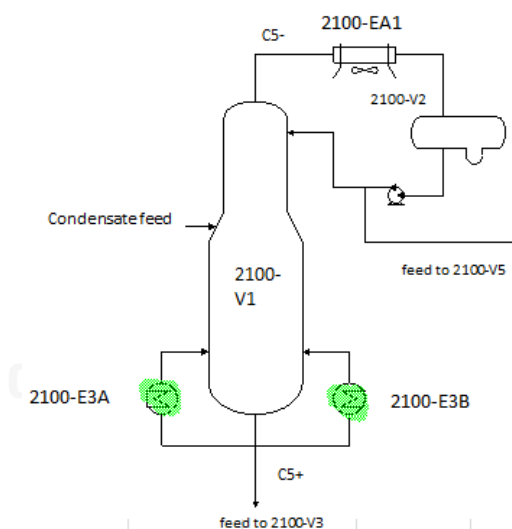
ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารเคมีชะลอกการเกิดตะกอน

| เคมี | ปริมาณการใช้ (ppm) |
|---------|--------------------|
| Blank | 0 |
| EC3021A | 10 |
| EC3021A | 15 |
| EC3021A | 20 |

| | |
|---------|----|
| EC3021A | 25 |
| EC3021A | 30 |

4.5 ศึกษากระบวนการทำงานของหม้อต้มซ้ำที่หน่วยกำจัดเพนเทน

หน่วยกำจัดเพนเทน (De-pentanizer column) มีขั้นตอนการดำเนินงานโดยเริ่มจากการรับคอนเดนเสท (condensate) ซึ่งเป็นคอนเดนเสทที่ถูกเก็บภายในถังเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและองค์ประกอบ และสิ่งเจอปน ก่อนที่จะนำเข้ามาในกระบวนการกลั่นแยกเพนเทนออกที่ยอดหอ โดยมีหม้อต้มซ้ำเป็นเครื่องให้ความร้อนกับระบบด้านล่างเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการจนทำให้สามารถองค์ประกอบน้อยกว่าเพนเทนออกยอดหอซึ่งเป็นการดำเนินการตามที่ออกแบบไว้ ทั้งนี้ในอุปกรณ์หม้อต้มซ้ำมีจำนวน 2 เครื่องที่นำมาศึกษาประกอบด้วยหม้อต้มซ้ำหมายเลข 2100-E3A และ 2100-E3B ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนภาพขายงานหม้อต้มซ้ำเพื่อให้ความร้อนกับกระบวนการกำจัดเพนเทนในคอนเดนเสทที่นำมาศึกษา

4.6 รวบรวมข้อมูลสถานะการดำเนินการผลิตของหม้อต้มซ้ำจากโรงงาน

การศึกษาขายงานหม้อต้มซ้ำในกระบวนการกำจัดเพนเทน เพื่อนำมาใช้ป้อนข้อมูลลงในโปรแกรมของบริษัท ชื่อว่า monitor ใช้ข้อมูลค่าคงที่ต่างๆ จากหม้อต้มซ้ำของกระบวนการกำจัดเพนเทน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เป็นค่าสถานะการดำเนินการผลิตจริงที่โรงงานได้ออกแบบไว้ใช้สำหรับ

การปฏิบัติจริงกับหม้อต้มซ้ำ ได้แก่ A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มซ้ำ, U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เริ่มต้นดำเนินการของหม้อต้มซ้ำ

ตารางที่ 4.3 สภาวะดำเนินการของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3A กับ 2100-E3B

| ตัวแปร | ค่า | หน่วย |
|---------------------|------------|--------------------------|
| A | 1317.29051 | m ² |
| U _{design} | 4790.4793 | KJ/ m ² hr °C |

4.6.1 โปรแกรมการคำนวณค่าความต้านทานการเกิดตะกรัน, fouling factor

โปรแกรมนี้เป็นของบริษัทนาลโก อินดัสเทรียล ซึ่งจะใช้ข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงในการคำนวณ fouling factor โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเก็บข้อมูลทุกวันป้อนเข้าโปรแกรม โดยพารามิเตอร์ที่นำมาคำนวณ fouling factor คือ อัตราของของไหลที่ป้อนเข้าหม้อต้มซ้ำ, อัตราของไอน้ำแรงดันสูง(high pressure steam)ที่ป้อนเข้าในท่อเพื่อให้ความร้อนกับของไหล, อุณหภูมิของของไหลที่ป้อนเข้าและออกหม้อต้มซ้ำ และอุณหภูมิของไอน้ำแรงดันสูงที่ป้อนเข้าและออกจากท่อเพื่อให้ความร้อน โดยพารามิเตอร์ที่นำมาป้อนมีผลต่อการเกิดตะกรันเกาะอยู่ที่เกาะผิวบริเวณมีการแลกเปลี่ยนความร้อนหากมีการดำเนินการระยะยหนึ่ง และทำให้การนำความร้อนลดลงและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะลดลง(overall heat transfer coefficient) ลดลง และค่าแฟคเตอร์การเกิดตะกรัน(fouling factor) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดความต้านทานในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น การติดตามการแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อต้มซ้ำและติดตามค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันร่วมกัน จึงมีความสำคัญมากในการประเมินประสิทธิภาพของสารเคมีเพื่อชะลอการเกิดตะกรันที่เลือกใช้ โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันเมื่อมีการป้อนสารเคมีเข้าหม้อต้มซ้ำในสภาวะมีตะกรันแล้ว เนื่องจากระบบที่ใช้จริงเป็นการแก้ปัญหาตะกรันที่เกิดขึ้นภายในหม้อต้มซ้ำซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง ส่งผลต่อกระบวนการผลิตที่ไม่เป็นตามแผนการผลิต เพื่อยืดอายุการผลิต และเปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันในสภาวะที่มีตะกรันเริ่มต้นและสภาวะไร้ตะกรันเริ่มต้นโดยใช้สารเคมีเดิม

การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เวลาใด ๆ (overall heat transfer, U_{actual}) นั้นเพื่อนำไปแทนในสมการการหาค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน(fouling factor) ของระบบหม้อต้มซ้ำ

เลือกใช้โปรแกรมการคำนวณค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันของบริษัท ดังแสดงในสมการที่ 4.4

$$R_f = \frac{1}{U_{actual}} - \frac{1}{U_{clean}} \quad (4.4)$$

โดยที่

R_f คือ ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน ($\text{hrm}^2\text{K/kJ}$)

U_{actual} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อมีตะกรัน ($\text{kJ/ hrm}^2\text{K}$)

U_{clean} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อไม่มีตะกรัน ($\text{kJ/ hrm}^2\text{K}$)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อไม่มีตะกรัน (U_{clean}) เป็นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากสภาวะที่มีความร้อนมากกว่าไปยังสภาวะที่มีความร้อนน้อยกว่าด้วยสภาวะที่ผิวท่อไม่มีตะกรันติดอยู่ โดยได้จากค่าเริ่มต้นก่อนการผลิต หรือออกแบบไว้ของอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นๆ

โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อมีตะกรัน (U_{actual}) หรือที่สามารถเรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในสภาวะที่เกิดขึ้นจริงจากระบบที่เราสามารถอ่านค่าอุณหภูมิและอัตราการถ่ายเทมวลจากระบบ โดยใช้คำนวณในสมการที่ 4.5

$$Q = U_{actual} \cdot A \cdot MTD \quad (4.5)$$

โดยที่

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ/hr)

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($\text{kJ/ hrm}^2\text{K}$)

A คือ พื้นที่ผิวของการพาความร้อน (m^2)

MTD คือ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของของเหลว (mean temperature difference) (K)

ค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของของเหลว (MTD) คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้าและออกของทั้งสองฝั่งร้อนและเย็น โดยค่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยมาจาก สมการแสดงด้านล่างที่ 4.6

$$MTD = F_T \cdot LMTD \quad (4.6)$$

เมื่อ F_T คือค่า factor ที่ขึ้นกับการรูปแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยในการวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจะได้ว่า

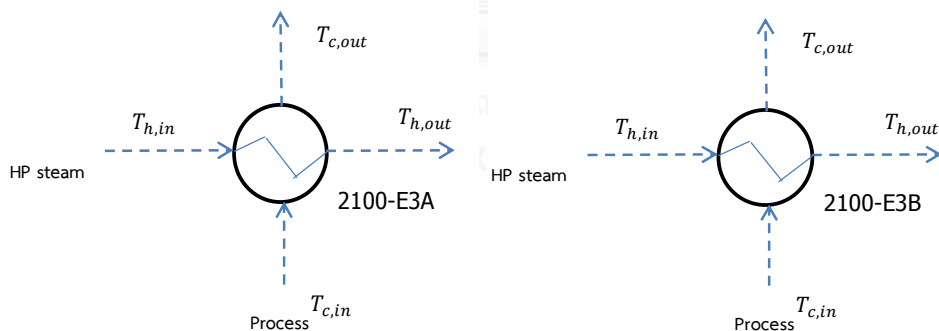
$$MTD = LMTD = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln\left(\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}\right)} \quad (4.7)$$

โดยที่

Δt_1 คือ อุณหภูมิขาออกของฝั่งร้อน - อุณหภูมิขาเข้าของฝั่งเย็น (K)

Δt_2 คือ อุณหภูมิขาเข้าของฝั่งร้อน - อุณหภูมิขาออกของฝั่งเย็น (K)

4.7 การหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มซ้ำ (Q)



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงการดุลพลังงาน (Energy balance) ของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3A และ 2100-E3B

อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) ได้จากผลรวมทั้งหมดของการเปลี่ยนของไอน้ำความดันสูง เพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับของของไหลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยตรงผิวที่เกิดการถ่ายเทความร้อนนั้น สามารถหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จากการทำ Energy balance สำหรับการคำนวณเมื่อเราทราบค่าอัตราการไหลของของไหลและอุณหภูมิขาออกของด้านหนึ่ง โดยใช้กับอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำความดันสูงจากไอน้ำเป็นของเหลว สมการคือ

$$Q = m_h \Delta H \quad (4.8)$$

โดยที่

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ/hr)

m_h คือ อัตราการไหลของของไหล (kg/hr)

ΔH คือ เอนทัลปีที่ความดันคงที่ แต่อุณหภูมิเปลี่ยน

$H = \int C_p dT$ เมื่อ C_p คือค่าความจุความร้อนจำเพาะ และ dT คือ อุณหภูมิ

การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อไม่มีการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำความดันสูงจากไอน้ำยังคงสถานะของเหลวหรือไอน้ำ สมการคือ

$$Q = m_h C_{ph} (T_{h,out} - T_{h,in}) \quad (4.9)$$

โดยที่

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ/hr)

m_h คือ อัตราการไหลของของไหล (kg/hr)

C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (Kcal/kg °C)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิขาออกกับขาเข้า (°C)

4.8 การวิเคราะห์และตรวจสอบตะกรัน

การตรวจสอบองค์ประกอบของตะกรันที่เก็บจากผิวของท่อบริเวณถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลฝั่งร้อนและของไหลฝั่งเย็น เพื่อวิเคราะห์ให้ทราบชนิดของตะกรันที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปสู่การเลือกสารเคมีชะลอกการเกิดตะกรันที่เหมาะสมและความเข้มข้นของสารเคมีต่อไป โดยปกติการวิเคราะห์สำหรับโรงงานปิโตรเคมีนั้น ตะกรันจะเก็บได้เมื่อมีการหยุดระบบ หรือมีการบำรุงรักษาประจำปี ซึ่งการเก็บตะกรันให้ถูกต้องและปริมาณมากพอกับการวิเคราะห์ได้ครบนั้น ผู้ที่ทำการเก็บตัวอย่างตะกรันควรที่จะสุ่มเก็บให้ทั่วของผิวของท่อที่ให้ความร้อนกับของของไหลที่เย็นกว่า โดยวิธีที่ใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์ตะกรัน มีดังนี้ คือ

4.8.1 X-ray Fluorescence (XRF)

XRF เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้ปฏิสัมพันธ์ของรังสีเอกซ์เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุ โดยที่ XRF นี้เหมาะสมสำหรับของแข็ง, ของเหลว และผง โดยส่วนใหญ่คือไม่ทำลายตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

XRF ใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นเครื่องมือในลักษณะที่รวดเร็วในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์จำนวนมากทั่วโลกสำหรับการใช้งานที่มีความหลากหลายที่สุดเท่าที่เป็นโลหะ, นิต, โพลีเมอร์, อิเล็กทรอนิกส์, โบราณคดี, การวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมธรณีวิทยาและเหมืองแร่ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีล่าสุดในการเอ็กซ์เรย์ได้นำไปสู่การพัฒนา โดย XRF ความสามารถในการวิเคราะห์ความละเอียดเชิงพื้นที่สูงซึ่งได้รับการนิยมในขณะนี้โดยนักวิจัยและนักวิเคราะห์

4.8.2 X-ray Diffraction (XRD)

XRD เป็นเทคนิควิเคราะห์วัสดุ โครงสร้าง ผลึก รวมทั้งการจัดเรียงอะตอมขนาดผลึกและความไม่สมบูรณ์ได้ด้วย โดยการวิเคราะห์ XRD สามารถวิเคราะห์ของแข็ง ผง และ ของเหลว การสะท้อน การส่ง หรือ เรขาคณิตในแหล่งกำเนิดอนุกรมสูงและสิ่งแวดล้อม

4.8.3 CHNS analysis

การวิเคราะห์ ธาตุ ไนโตรเจน คาร์บอน และไฮโดรเจน จะดำเนินการเพื่อให้คาร์บอนและคาร์บอนอินทรีย์ เพื่อทำปฏิกิริยาวิเคราะห์หาสัดส่วน สารอินทรีย์คาร์บอน ทั้งหมด / ไนโตรเจนทั้งหมด [C / N] ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในตะกอน ซึ่งอาจจะมาจากการปฏิกริยาเคมีก็ได้ อัตราส่วน อินทรีย์ C / N นำมาใช้เพื่อช่วยในการระบุแหล่งที่มา ของ สารอินทรีย์ในตัวอย่างตะกอน

4.8.4 LOI (loss of ignition at 800°C)

เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน เพื่อหาปริมาณที่สามารถถูกเผาไหม้หมดที่ 800 oC และ สามารถสรุปได้ว่า องค์ประกอบที่ถูกเผาไหม้ไปนั้นคือ สารอินทรีย์ที่อยู่ในตัวอย่าง โดยสรุปว่า % LOI = % Organics

4.8.5 Methylene Chloride (CH₂Cl₂) Solubility

การสกัดคลอไรด์เมทิลีนให้ข้อมูลเกี่ยวกับการละลายส่วนประกอบของตัวอย่างที่ละลายน้ำได้ มีโมเลกุลขนาดเล็ก และมีความเป็นพอลิเมอริคต่ำ ตัวอย่างที่ไม่ละลายน้ำ โมเลกุล ขนาดใหญ่ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีความเป็นพอลิเมอริคสูง เช่น ถ่านหิน

ตารางที่ 4.4 สามารถสรุปวิธีการวิเคราะห์ตะกอนและแปลผล

| ชนิดของตะกอน | ผลวิเคราะห์ที่นำมาพิจารณา |
|--------------|--|
| อินทรีย์ | % LOI $\sum CHNS$ CH ₂ Cl ₂ soluble C/H ratio |
| อนินทรีย์ | % XRF |

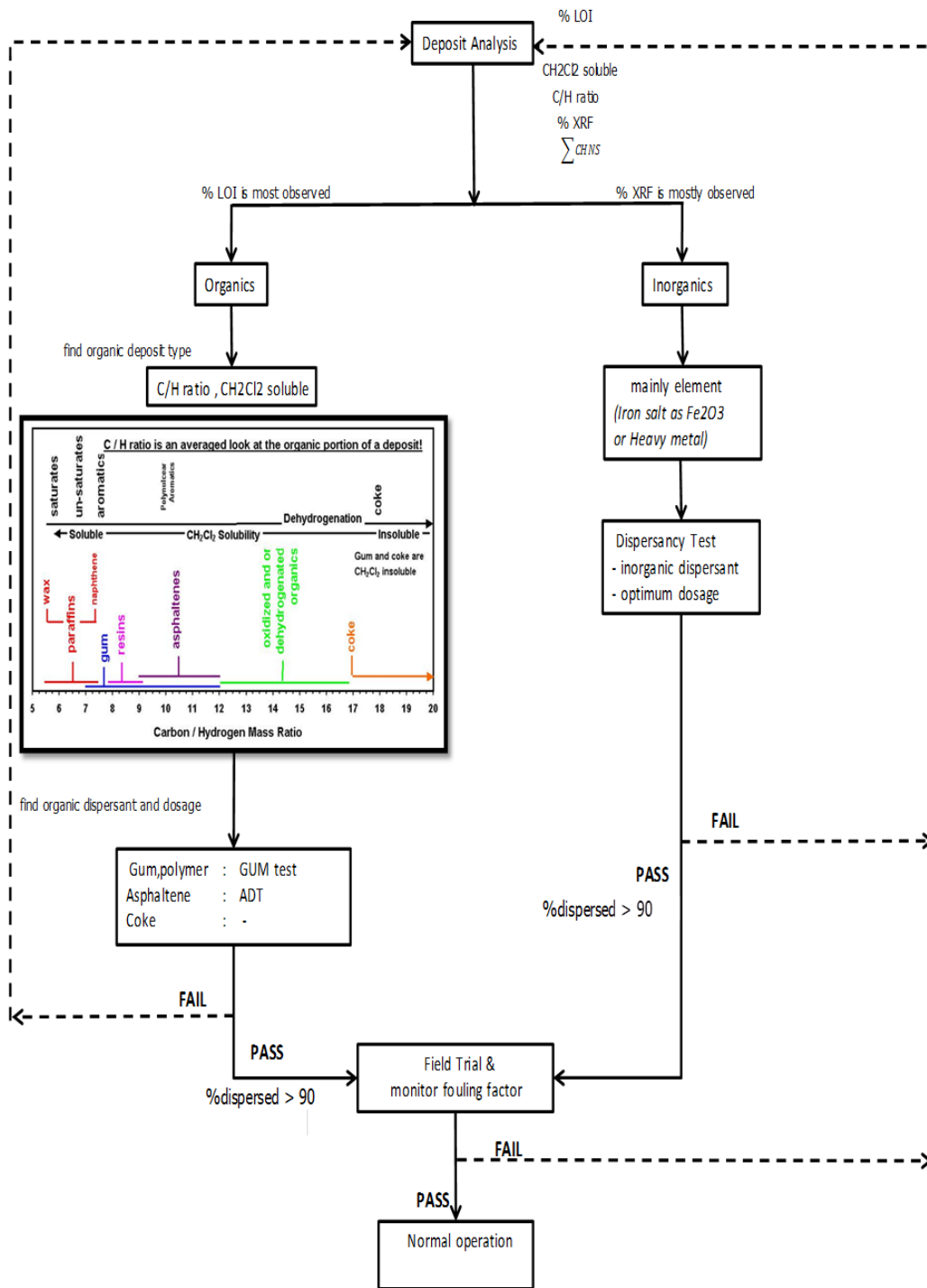
4.8 แบบแผนการวิเคราะห์เลือกสารเคมีชะลอการเกิดตะกอน

การทำแผนผังขั้นตอนการเลือกสารเคมีเพื่อชะลอการเกิดตะกอนโดยวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างตะกอน เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการที่ศึกษาช่วยให้สามารถยืดอายุอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและสามารถประเมินประสิทธิภาพในการเลือกสารเคมีที่เหมาะสม เพื่อให้คุ้มค่ากับการลงทุนในการป้องกันสารเคมีเข้าระบบจริง โดยแบบแผนการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมนั้น เริ่มจากการวิเคราะห์ตะกอนว่าองค์ประกอบหลักคือ สารอินทรีย์ หรือ สารอนินทรีย์ และวิเคราะห์ประเภทของตะกอนว่าเป็นแบบใด โดยพบมาก 4 ประเภท หลักที่พบในโรงปิโตรเคมี คือ การตกตะกอน การเกิดปฏิกิริยาเคมีของของเหลว การเกิดจากอนุภาคเล็ก ๆ การเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นใช้แบบแผน 6 กระบวนการดังนี้

- 1) วิเคราะห์ปัญหาสาเหตุของประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ลดลง
- 2) วิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนที่อาจจะเป็นสาเหตุ
- 3) ระบุองค์ประกอบหลักในตัวอย่างตะกอนว่าเป็น อินทรีย์ หรือ อนินทรีย์

- 4) หาประเภทของตะกรัน เพื่อนำไปเลือกสารเคมีและความเข้มข้นที่เหมาะสมและทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Dispersancy test)
- 5) ป้อนสารเคมีและความเข้มข้นที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตจริง
- 6) ประเมินแนวโน้มค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน(Fouling factor)





รูปที่ 4.9 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์เลือกสารเคมีชะลอการเกิดตะกอน

บทที่ 5

ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการดำเนินการดำเนินการวิจัย แบ่งได้เป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือ การความเข้มข้นของเคมีที่เหมาะสมเพื่อชะลอการเกิดตะกรันบนผิวหม้อต้มซ้ำ และส่วนที่สองคือ ประสิทธิภาพของสารเคมีที่สามารถชะลอการเกิดตะกรันของคอนเดนเสทที่เปลี่ยนองค์ประกอบ จากการศึกษาผลวิเคราะห์ตัวอย่างตะกรันที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3A เพื่อหาโอกาสการเกิดตะกรันมาจากการทำปฏิกิริยาของไฮโดรคาร์บอนเมื่อได้รับความร้อนหรือโอกาสจากสิ่งเจือปนสะสมเป็นตะกรันเมื่อมีปริมาณมากพอและที่ความเร็วลดลง ทำให้เกิดการขัดขวางการแลกเปลี่ยนความร้อนจากผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากผลการวิเคราะห์ปริมาณปรอท(อนินทรีย์)ในสายป้อนเข้าของหน่วยกำจัดเพนเทนพบว่ามีปริมาณปรอทเจือปนอยู่มาก ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกรันที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนดังตำแหน่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการเพิ่มความร้อนก่อนเข้าหน่วยกำจัดเพนเทน(feed preheater), ถาดรับสารป้อนเข้าหน่วยกำจัดเพนเทน(feed tray) และหม้อต้มซ้ำ(reboiler) ของหน่วยกำจัดเพนเทน ดังแสดงในตาราง 5.1 และตาราง 5.2

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกรันที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน

| ตะกรัน ตัวอย่าง | องค์ประกอบตะกรันจาก อนินทรีย์วัตถุ(inorganic compound), % wt | | | | | | | | | | | | | | องค์ประกอบ ตะกรันจาก อินทรีย์วัตถุ (organic compound) | |
|------------------------------------|---|----|----|--------|----|----|----|----|---|----|----|----|----|---|---|--------------|
| | Hg | S | Fe | A s | Mn | Si | Al | Ca | K | Ni | Na | Cl | Ba | P | %LOI | C/H ratio |
| Feed Preheater | 30 | 18 | 28 | 7 | - | 5 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | - | - |
| zFeed tray of De- Pentimizer | 62 | 34 | 1 | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 | - |
| Reboiler of De- Pentimizer | 62 | 19 | 7 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | - | 3 | - |

ตารางที่ 5.2 องค์ประกอบหลักในตัวอย่างตะกรัน

| วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกรัน | Feed Preheater | Feed tray of De-Pentanizer Column | Reboiler of De-Pentanizer Column |
|--|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| % LOI = | 0 | 2 | 3 |
| $\sum CHNS$ | - | - | - |
| CH ₂ Cl ₂ solubles | - | - | - |
| C/H ratio | - | - | - |
| % XRF | 100 | 98 | 97 |

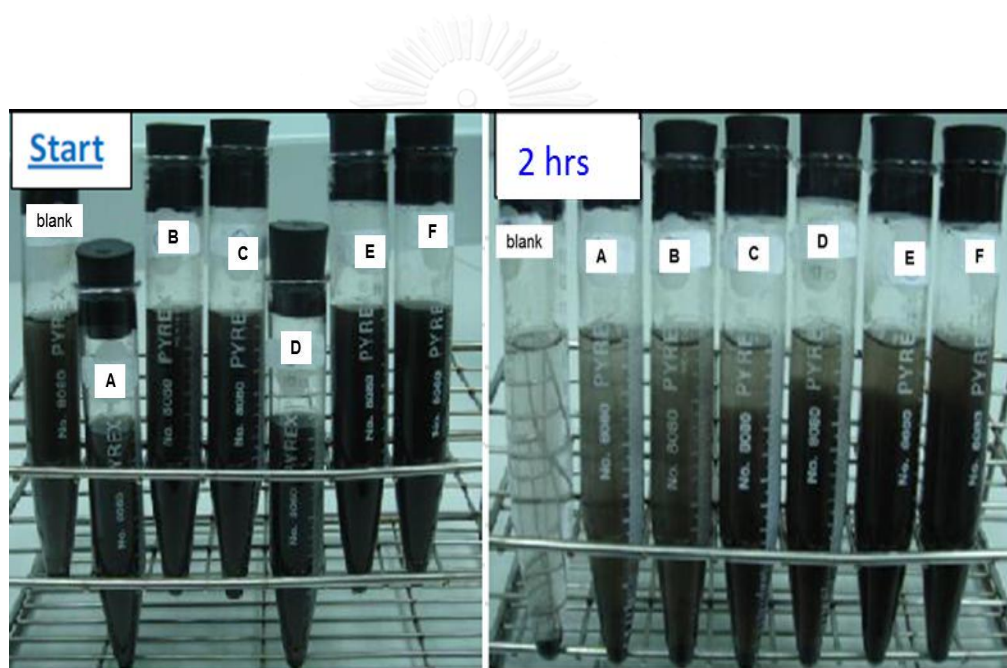
ต้องใช้วิธี Dispersancy test โดยใช้เคมีที่มีองค์ประกอบหลักเหมาะกับคอนเดนเสทที่มีอินทรีย์อยู่มาก และเมื่อหาสารเคมีที่เหมาะสมได้แล้ว นำไปป้อนเข้ากระบวนการผลิตจริงเพื่อดูผลประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน เพื่อเป็นการประเมินประสิทธิภาพของเคมี

5.1 การหาความเข้มข้นของเคมีที่เหมาะสมเพื่อชะลอการเกิดตะกรันบนผิวหม้อต้มซ้ำ

ทำการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของเคมี โดยดูการกระจายตัวของเนื้อสารคอนเดนเสทภายในหลอดทดลอง Dispersancy Test (DT) หลังจากเติมเคมีที่ความเข้มข้น 20 ppm ดูการเปลี่ยนแปลงของตะกอนที่ด้านล่างของหลอด การพบว่ามีตะกอนจำนวนมากตกด้านล่างนั้นเพราะเคมีไม่สามารถพุงโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดตะกรันอยู่ในไฮโดรคาร์บอนได้ และไม่มีตะกอนหรือตะกอนน้อยตกที่ด้านล่างคือเคมีสามารถช่วยพุงโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดตะกรันให้อยู่ภายในสารไฮโดรคาร์บอนนั้นได้ โดยเคมี EC3019A, EC3038A, EC3236A, EC3089A และ EC3051A แสดงให้เห็นตะกอนที่ตกด้านล่างหลังจากผสมเคมีและตั้งทิ้งไว้ดูการเปลี่ยนแปลง 2 ชั่วโมง แต่สารเคมี EC3021A ที่มีการกระจายตัวของสารไฮโดรคาร์บอนเป็นสีดำเหมือนกับตอนเริ่มทำการทดลอง ซึ่งสรุปได้ว่าสารเคมี EC3021A มีประสิทธิภาพในการลดการตกตะกอนของโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดตะกรันในหม้อต้มซ้ำได้ ผลการอ่านค่าความสูงของตะกอนในหลอดทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.3

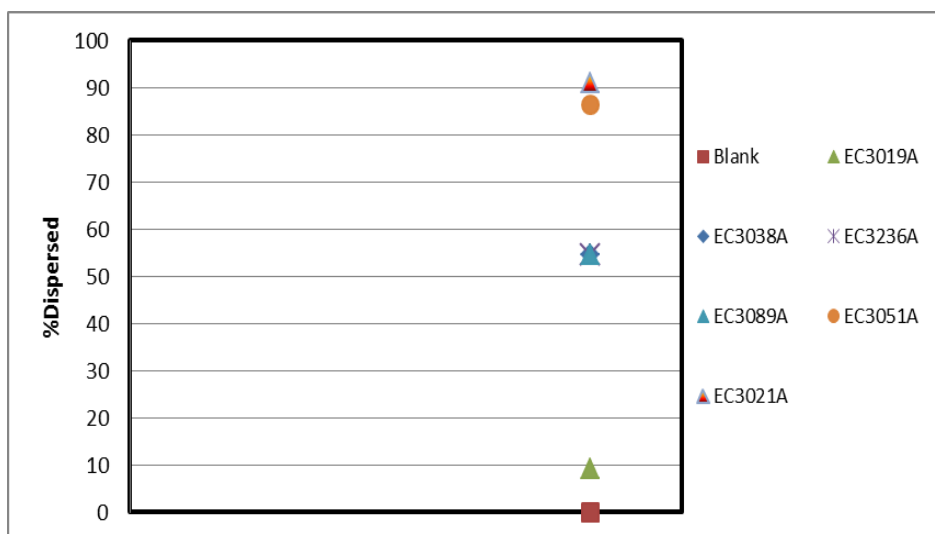
ตารางที่ 5.3 แสดงค่า % dispersed จากการใช้ Dispersant test เพื่อเลือกเคมีชะลอการเกิดตะกอนที่เหมาะสม

| หมายเลข | เคมี | ปริมาณที่ใช้(ppm) | ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการกระจายตัวของคอนเดนเสท(2 hr) | | |
|---------|---------|--|---|-------------|--------------|
| | | | Sediment | % Dispersed | Liquid color |
| Blank | Blank | - | 2.2 | 0 | Clear |
| a | EC3019A | 20 | 2 | 9.1 | Clear |
| b | EC3038A | 20 | 1 | 54.5 | Grey |
| c | EC3236A | 20 | 1 | 54.5 | Grey |
| d | EC3089A | 20 | 1 | 54.5 | Grey |
| e | EC3051A | 20 <td>0.3</td> <td>86.4</td> <td>Dark-Grey</td> | 0.3 | 86.4 | Dark-Grey |
| f | EC3021A | 20 | 0.2 | 90.9 | Black |



รูปที่ 5.1 แสดงการทำการทดลองของการเลือกสารเคมีที่เหมาะสมที่ความเข้มข้น 20 ppm

จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 พบว่า % dispersed ของสารเคมี EC3021A มีประสิทธิภาพการกระจายสิ่งเจือปนในคอนเดนเสทได้ดีที่สุด โดยประสิทธิภาพการกระจายได้มากกว่า 90 % แสดงว่าสารเคมีทำให้การก่อตัวของตะกอนได้ ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่เมื่อนำไปใช้กับระบบจริง ตะกอนที่พื้นผิวบริเวณถ่ายเทความร้อนลดลง ทำให้สิ่งเจือปนไม่ได้เกาะกันแน่นและสามารถหลุดออกไปพร้อมกับคอนเดนเสท



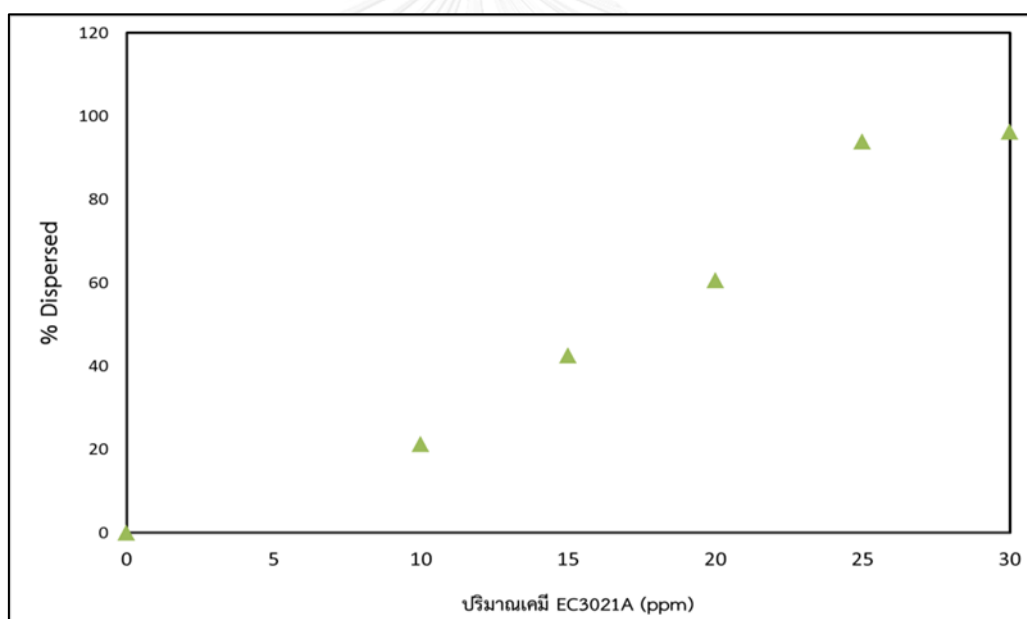
รูปที่ 5.2 แสดงผลการอ่าน % Dispersed ที่ความเข้มข้นของแต่ละสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน 20 ppm พบว่าสารเคมี EC3021A สามารถชะลอการตกของตะกอนด้านล่างหลอดทดลองได้ดีที่สุด

การทดลองเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของเคมี EC3021A โดยดูการกระจายตัวของเนื้อสารคอนเดนเสทภายในหลอดทดลอง Dispersion Test (DT) หลังจากเติมเคมีที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ดังนี้ 10, 15, 20, 25, 30 ppm ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง vortex mixer และตั้งดูการเปลี่ยนแปลงของตะกอนที่ด้านล่างของหลอด การพบว่ามีตะกอนจำนวนมากกด้านล่างนั้น เพราะเคมีไม่สามารถพองโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดตะกรันอยู่ในไฮโดรคาร์บอนได้ แต่การพบที่ไม่มีตะกอนหรือตะกอนตกน้อยหรือไม่ตกเลยที่ด้านล่างคือเคมีสามารถช่วยพองโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดตะกรันให้อยู่ภายในสารไฮโดรคาร์บอนนั้นได้

โดยความเข้มข้นของเคมีที่ 10, 15, 20 ppm พบตะกอนตกด้านล่างหลังจากผสมเคมีและตั้งทิ้งไว้ดูการเปลี่ยนแปลง 2 ชั่วโมง ยกเว้นสารเคมี EC3021A ที่ความเข้มข้น 20 และ 25 ppm ที่ทำให้การกระจายตัวของคอนเดนเสทเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเคมีที่เหมาะสม คือ ปริมาณสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันที่ 25 ppm มีผลต่อการกระจายตัวของคอนเดนเสทได้ดี แต่เมื่อพิจารณาปริมาณสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันที่ 30 ppm พบว่าประสิทธิภาพการกระจายตัวของคอนเดนเสทได้ดีเช่นเดียวกันแต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกระจายตัวเพิ่มขึ้นอีก 2% ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารเคมี EC3021A ที่ความเข้มข้น 25 ppm มีประสิทธิภาพในการกระจายตัวคอนเดนเสทและลดการตกตะกอนของโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดตะกรันในหม้อต้มข้าได้ ผลการอ่านค่า % dispersed ในหลอดทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงค่า % dispersed จากการใช้ Dispersancy test เพื่อเลือกความเข้มข้นของ สารเคมี EC3021A ที่เหมาะสม

| หมายเลข | เคมี | ปริมาณที่ใช้(ppm) | ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพการจ่ายตัวของคอนเดนเสท(2 hr) | | | |
|---------|---------|-------------------|---|-------------|-------------|---------|
| | | | % dispersed | % dispersed | % dispersed | Average |
| 1 | Blank | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | EC3021A | 10 | 22.7 | 18.2 | 22.7 | 21.2 |
| 3 | EC3021A | 15 | 40.9 | 45.5 | 40.9 | 42.4 |
| 4 | EC3021A | 20 | 59.1 | 59.1 | 63.6 | 60.6 |
| 5 | EC3021A | 25 | 90.9 | 95.0 | 95.5 | 93.8 |
| 6 | EC3021A | 30 | 95.5 | 97.7 | 95.5 | 96.2 |



รูปที่ 5.3 แสดงผลการอ่าน % dispersed ตกด้านล่างของหลอดทดลอง สารเคมี EC3021A ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ผลการทดลองประสิทธิภาพของสารเคมี EC3021A ที่ 25 ppm สามารถชะลอการเกิด ตะกรันของคอนเดนเสทที่เปลี่ยนองค์ประกอบ โดยเราจะเทียบจากค่าความต้านทานตะกรัน เนื่องจากหม้อต้มชำเมื่อใช้ไประยะหนึ่ง สิ่งสกปรกจากของไฮโดรคาร์บอนในระบบจะเริ่มจับติดไปกับผิวของหม้อต้มชำ ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำลง ดังนั้นเคมีที่มีประสิทธิภาพจะต้อง

ต้านทานการเกิดตะกรันจากสิ่งเจอปนในคอนเดนเสทที่เข้ามาในระบบได้ ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนนั้นคงที่หรือดีขึ้น

5.2 สมการการหาค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน (fouling factor) ของระบบหม้อต้มซ้ำ

เลือกใช้โปรแกรมการคำนวณค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันของบริษัทดังแสดงในสมการที่

5.1

$$R_f = \frac{1}{U_{actual}} - \frac{1}{U_{clean}} \quad (5.1)$$

โดยที่

R_f คือ ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน ($\text{hrm}^2\text{K/kJ}$)

U_{actual} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสถานะที่ผิวท่อมีตะกรัน ($\text{kJ/hrm}^2\text{K}$)

U_{clean} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสถานะที่ผิวท่อไม่มีตะกรัน ($\text{kJ/hrm}^2\text{K}$)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสถานะที่ผิวท่อไม่มีตะกรันเป็นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากสถานะที่มีความร้อนมากกว่าไปยังสถานะที่มีความร้อนน้อยกว่าด้วยสถานะที่ผิวท่อไม่มีตะกรันติดอยู่ โดยได้จากค่าเริ่มต้นก่อนการผลิต หรือออกแบบไว้ของอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นๆ

5.2.1 ก่อนป้อนสารเคมีชะลอกการเกิดตะกรันกับระบบจริง

ค่าความต้านทานการเกิดตะกรันของระบบก่อนป้อนสารเคมี EC3021A เข้าไปในระบบพบว่า อัตราการเกิดก่อตัวของตะกรันภายในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นด้วยแนวโน้มความชื้นที่ 0.000034 ดังแสดงในรูปที่ 5.2

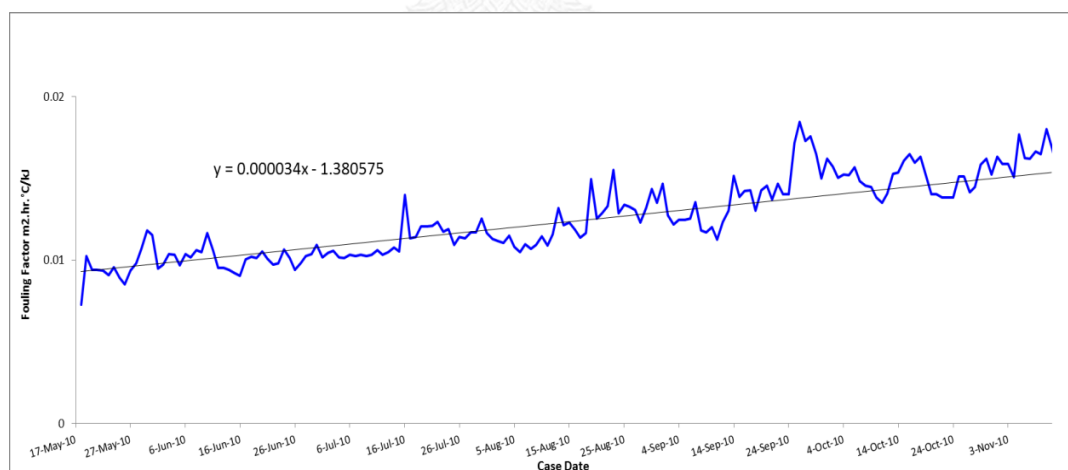
ในระบบที่ไม่มีสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันป้อนเข้าสู่ระบบ จะมีแนวโน้มของการเกิดตะกรันมากขึ้น เนื่องจากตะกรันและขีดขวางการถ่ายเทความร้อน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากฝั่งไอน้ำความดันสูงไปยังคอนเดนเตสลดลง ทำให้ค่า U_{actual} มีค่าลดลง ดังแสดงในสมการที่ 5.2

$$Q = U_{actual} A \cdot MTD$$

เมื่อนำมาคิดเป็นค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันตามสมการ 5.1

$$R_f = \frac{1}{U_{actual}} - \frac{1}{U_{clean}}$$

พบว่า ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันจะแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสถานะที่ผิวท่อมีตะกรัน (U_{actual}) โดยแนวโน้มของค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันของหม้อต้มชำหมายเลข 2100-E3A มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานความร้อนมากขึ้น



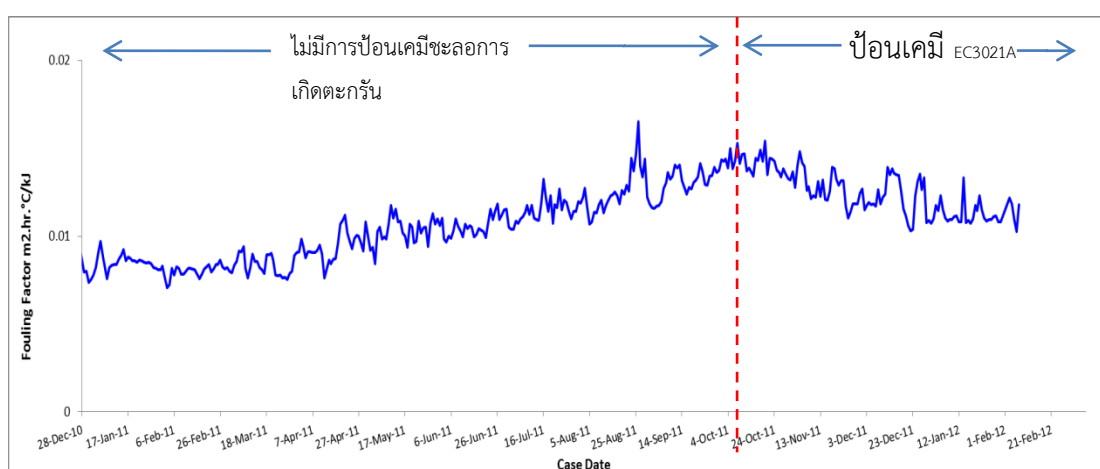
รูปที่ 5.4 ตัวอย่างของค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันของหม้อต้มชำ 2100-E3A ที่ไม่มีการป้อนเคมี

5.2.2 หลังป้อนสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันเข้ากระบวนการผลิตจริง

5.2.2.1 หม้อต้มชำ 2100-E3A

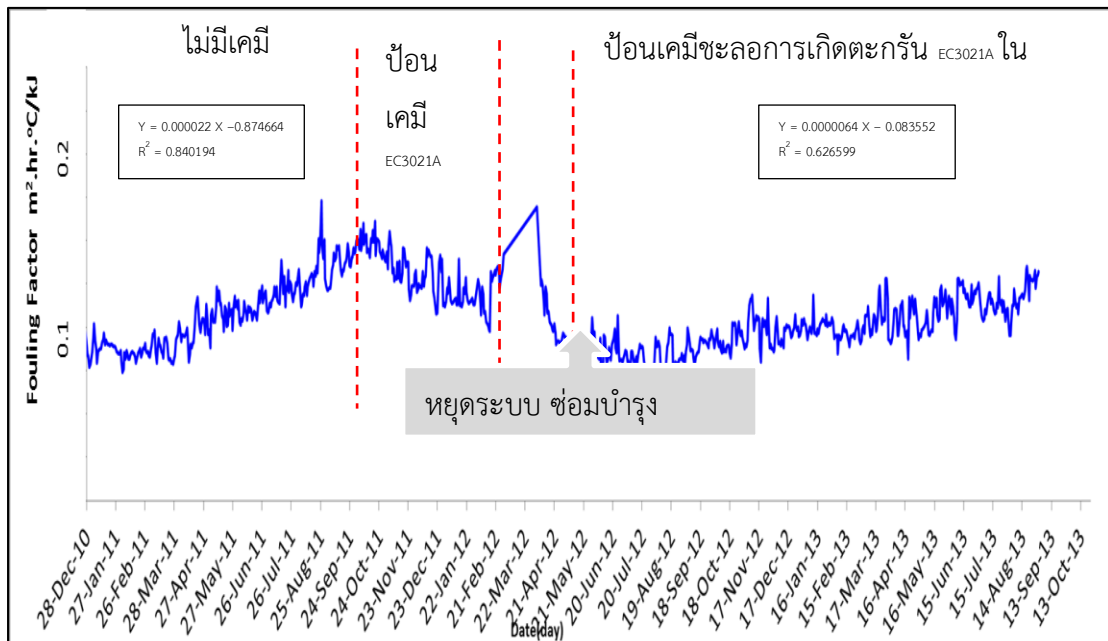
จากผลการเลือกเคมีชะลอการเกิดตะกรันและความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยป้อนเข้าสู่ระบบ

ในตำแหน่งขาเข้าของคอนเดนเสทเพื่อให้เกิดการผสมที่ดีที่สุดเนื่องจากเกิดการแปรปรวนภายในท่อ การผสมของสารเคมีกับคอนเดนเสทจะเป็นเนื้อเดียวกันและมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยผลการป้อน สารเคมี EC3021A ที่ความเข้มข้น 25 ppm ในสภาวะที่มีตะกรันเกิดขึ้นมาก่อนแล้ว พบว่า สารเคมี EC3021A สามารถชะลอกการเกิดตะกรันได้ และลดการเกิดตะกรันใหม่ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อมีตะกรัน (U_{actual}) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าแพดเตอร์ของการเกิดตะกรันจึงมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ค่าแพดเตอร์ของการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้่า 2100-E3A ที่ป้อนเคมี EC3021A

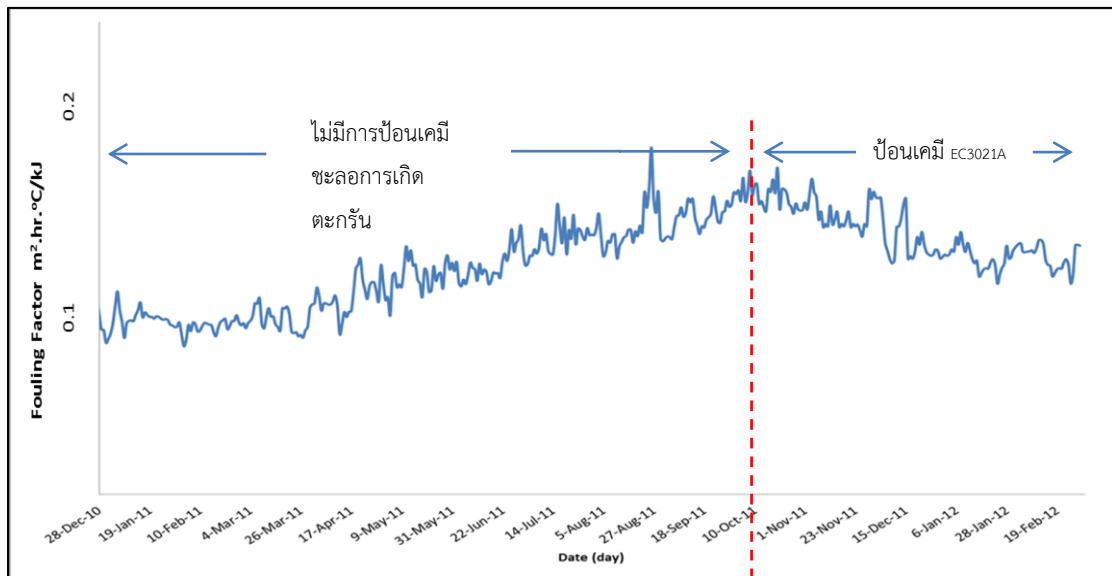
เมื่อทำเก็บข้อมูลผลการทดลองป้อนเคมีเข้าไปในระบบจริงเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าแพดเตอร์ของเกิดตะกรันในสภาวะที่มีตะกรันแล้ว (unclean condition) และสภาวะไร้ตะกรัน (clean condition) พบว่าแนวโน้มของค่าแพดเตอร์ของการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้่าหมายเลข 2100-E3A ที่สภาวะไร้ตะกรันมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ช้ากว่าสภาวะที่ไม่มีการป้อนสารเคมีชะลอกการเกิดตะกรัน ดังนั้นสรุปได้ว่าการป้อนเคมีชะลอกการเกิดตะกรัน EC3021A ในสภาวะที่ไร้ตะกรัน สามารถชะลอกการเกิดตะกรันภายในระบบได้จริง เมื่อพิจารณาค่าความชันของ fouling factor พบว่า ค่าความชันที่สภาวะไร้ตะกรัน คือ $y = 0.0000064X - 0.083552$ มีค่าลดลงจากสภาวะที่ไม่มีการป้อนสารเคมีเลย คือ $y = 0.000022X - 0.874664$ แสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้่า 2100-E3A ที่ป้อนเคมี EC3021A ในสภาวะมีตะกรัน(unclean condition) และไร้ตะกรัน(clean condition)

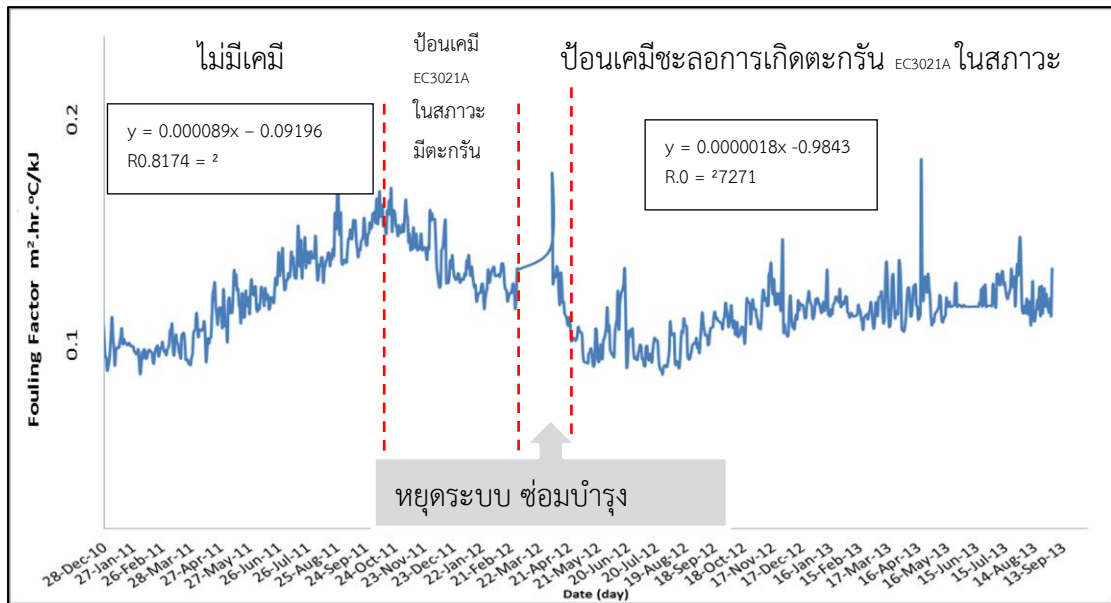
5.2.2.2 หม้อต้มซ้่า 2100-E3B

ป้อนสารเคมีเข้าสู่ระบบในตำแหน่งขาเข้าของคอนเดนเสทเพื่อให้เกิดการผสมที่ดีที่สุด เนื่องจากเกิดการแปรปรวนภายในท่อ การผสมของสารเคมีกับคอนเดนเสทจะเป็นเนื้อเดียวกันและมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยผลการป้อนสารเคมี EC3021A ที่ความเข้มข้น 25 พีพีเอ็ม ในสภาวะที่มีตะกรันเกิดขึ้นมาก่อนแล้ว พบว่า สารเคมี EC3021A สามารถชะลอการเกิดตะกรันได้ และลดการเกิดตะกรันใหม่ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของสภาวะที่ผิวท่อมีตะกรัน (U_{actual}) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันจึงมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3B ที่ปนเปื้อน EC3021A

เมื่อทำการปนเปื้อนเข้าไปในระบบจริง 2100-E3B เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์ของเกิดตะกรันในสถานะที่มีตะกรันแล้ว (unclean condition) และสถานะไร้ตะกรัน (clean condition) พบว่าแนวโน้มของค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้ำหมายเลข 2100-E3B ที่สถานะไร้ตะกรันมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ช้ากว่าสถานะที่ไม่มีสารปนเปื้อนชะลอการเกิดตะกรัน ดังนั้นสรุปได้ว่าการปนเปื้อนชะลอการเกิดตะกรัน EC3021A ในสถานะที่ไร้ตะกรัน สามารถชะลอการเกิดตะกรันภายในระบบได้จริง เมื่อพิจารณาค่าความชันของ fouling factor พบว่า ค่าความชันที่สถานะไร้ตะกรัน คือ $y = 0.0000018X - 0.9843$ มีค่าลดลงจากสถานะที่ไม่มีสารปนเปื้อนเลย คือ $y = 0.000089X - 0.09196$ แสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันของหม้อต้มซ้ำ 2100-E3B ที่ป้อนเคมี EC3021A ในสภาวะ มีตะกรัน(unclean condition) และไร้ตะกรัน(clean condition)

จากผลการทดสอบป้อนสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันกับหม้อต้มซ้ำในสภาวะมีตะกรัน (unclean condition) ของทั้งหม้อต้มซ้ำ 2100-E3A และ 2100-E3B ที่ทำการศึกษาพบว่า มีค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันในระบบมีแนวโน้มลดลง คือตะกรันใหม่หรือตะกรันจากปรอทจะถูกผลักให้ร่วงลอยอยู่ในของไหลโดยจะไม่สามารถรวมกันเกิดเป็นตะกรันที่พื้นผิวการแลกเปลี่ยนความร้อน และตะกรันเก่าจะหลุดเนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตะกรันด้วยกันเองหรือตะกรันที่พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยกว่าแรงตัดเฉือนของของไหล (shear force) ที่ผ่านเข้ามาทำให้ตะกรันละลายกลับไปยังของไหลด้วยจะค่อย ๆ หลุดออกจากพื้นผิวการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากผลการทดสอบป้อนสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันกับหม้อต้มซ้ำในสภาวะไร้ตะกรัน (clean condition) ของทั้งหม้อต้มซ้ำ 2100-E3A และ 2100-E3B ที่ทำการศึกษาพบว่า ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันในระบบมีแบบก้าวหน้าอย่างช้า คือตะกรันจะถูกขัดขวางไม่ให้ยึดเกาะที่พื้นผิวการแลกเปลี่ยนความร้อน จึงทำให้ตะกรันถูกพัดพาออกไปจากหม้อต้มซ้ำไปยังปลายทางของกระบวนการผลิต

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อศึกษาความเข้มข้นของเคมีที่เหมาะสมเพื่อชะลอการเกิดตะกรันบนผิวหม้อต้มข้าว และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารเคมีที่สามารถชะลอการเกิดตะกรันของคอนเดนเสทที่เปลี่ยนองค์ประกอบไปจากเดิมในกระบวนการผลิตหน่วยกำจัดเพนเทน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง หรือค่าแฟคเตอร์การเกิดตะกรันที่พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของหม้อต้มข้าวมากขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้การทำแบบแผนการเลือกสารเคมีที่เหมาะสม โดยเริ่มจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกรันที่เป็นสาเหตุของการประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง ซึ่งนำไปสู่การใช้พลังงานจากไอน้ำแรงดันสูงที่เพิ่มขึ้น หรืออาจจะกระทบกับกำลังการผลิตที่ลดลงไม่ปฏิบัติตามแผนการผลิต โดยเมื่อมีการสรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบตะกรันทำให้ทราบว่าประเภทของตะกรันว่าเป็นอินทรีย์ หรือ อนินทรีย์ เพื่อเป็นแนวทางต่อไปในการเลือกชนิดสารเคมีเพื่อนำมาทำ dispersancy test เพื่อได้สารเคมีและความเข้มข้นที่เหมาะสมจริง ๆ แล้วจึงสามารถนำไปยื่นเข้าสู่กระบวนการผลิตจริง

โดยจากการทำ dispersancy test พบว่าเคมี EC3021A ที่ความเข้มข้น 25 ppm เป็นสารเคมีและความเข้มข้นมากที่สุด และเมื่อทำการป้อนสารเคมี EC3021A เข้าระบบจริง โดยแบ่งออกเป็น 2 สภาวะที่มีการป้อนสารเคมีจริง คือ 1. สภาวะที่มีตะกรันอยู่แล้ว และ 2. สภาวะที่ไร้ตะกรันเริ่มต้น โดยจากผลการคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรัน(fouling factor) พบว่า ค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันมีแนวโน้มลดลงในสภาวะที่มีตะกรันอยู่แล้ว และค่าแฟคเตอร์ของการเกิดตะกรันในสภาวะที่ไร้ตะกรันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าความชันของช่วงการผลิตแบบไม่มีการป้อนสารเคมี และมีการป้อนสารเคมี

- หม้อต้มข้าวหมายเลข 2100-E3A

สมการเส้นตรง $y = 0.000022X - 0.874664$: ไม่มีการป้อนสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน

สมการเส้นตรง $y = 0.0000064X - 0.083552$: มีการป้อนสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน

- หม้อต้มข้าวหมายเลข 2100-E3B

สมการเส้นตรง $y = 0.000089X - 0.09196$: ไม่มีการป้อนสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน

สมการเส้นตรง $y = 0.0000018X - 0.9843$: มีการป้อนสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน

พบว่าค่าความชื้นของช่วงที่มีการป้อนสารเคมีมีค่าต่ำกว่า นั่นเพราะว่า ตะกรันในระบบจะถูก

ขัดขวางไม่ให้ยัดเกาะที่พื้นผิวการแลกเปลี่ยนความร้อน จึงทำให้ตะกรันถูกพัดพาออกไปจากหม้อต้ม
เข้าไปยังปลายทางของกระบวนการผลิต

คอนเดนเสทที่นำมาป้อนเข้าสู่ระบบการผลิต มาจากแหล่งจุดเจาะในอ่าวไทยเป็นส่วนใหญ่ จึงมีสิ่งเจือปนที่เป็นปรอทมากกว่าคอนเดนเสทจากแหล่งอื่น ดังนั้นสารเคมี EC3021A ซึ่งเป็นสาร
ชะลอตะกรันประเภทเดียวกับอนินทรีย์ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแหล่งคอนเดนเสท หรือ มีการผสมคอน
เดนเสทจากแหล่งอื่นมากขึ้น เพราะองค์ประกอบจะเปลี่ยนไปมีโอกาสที่เป็นสารอินทรีย์มากขึ้น ดังนั้น
การหาสารเคมีชะลอการเกิดตะกรันและความเข้มข้นที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องทำตามแบบแผนผัง
ขั้นตอนการวิเคราะห์ที่เลือกสารเคมีชะลอการเกิดตะกรัน ซึ่งถ้าเราป้อนสารเคมีชะลอตะกรันที่
เหมาะสมได้กับกระบวนการผลิตจริงและเริ่มต้นป้อนสารเคมีกับกระบวนการผลิตจริงตั้งแต่สภาวะไร้
ตะกรันจะช่วยทำให้ระยะเวลาในการผลิตอย่างต่อเนื่องนั้นได้เป็นตามแผนที่ออกแบบไว้ ลดการ
สูญเสียผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการลดกำลังการผลิต ลดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากประสิทธิภาพการ
ถ่ายเทความร้อนลดลง ดังนั้น ผู้ประกอบการสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสำหรับการหยุด
ระบบเพื่อทำการล้างทำความสะอาด หรือสูญเสียรายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ถ้าผลิตภัณฑ์เป็นที่
ต้องการของตลาด

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายการป้อนกันการเกิดตะกรันภายในหม้อต้มซ้ำด้วยการใช้สารเคมี อาจจะมีราคา
สูงเมื่อยิ่งความเข้มข้นที่เหมาะสมสูงขึ้น แต่มีผลประโยชน์เพิ่มเติมที่ทางผู้ประกอบการจะได้รับคือ

1. ช่วยยืดอายุของอุปกรณ์สำคัญ
2. ยืดอายุช่วงการซ่อมบำรุงและลดค่าซ่อมบำรุงรักษา
3. สามารถคืนทุนในระยะเวลาในการผลิตนานขึ้น
4. ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (Energy Saving)
5. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (Productivity)
6. ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม (Environmentally Friendly) เนื่องจากไม่ต้องหยุดระบบเพื่อล้างอุปกรณ์

6.1 ข้อเสนอแนะ

การเกิดตะกรันในหม้อต้ม้ำเกิดจากการตกตะกอน(precipitation fouling) เป็นสาเหตุหลัก ได้แก่ ปะรอต สนิทเหล็ก หรืออนินทรีย์อื่น ๆ ที่ปะปนมารวมตัวกัน แล้วจับตัวกันที่พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน จนนำไปสู่ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง

โดยการตกตะกอนที่สะสมจนเป็นตะกรันนั้น การที่อุณหภูมิตรงบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงขึ้น จะยิ่งเพิ่มอัตราการเกิดตะกรันได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นการสามารถรักษาอุณหภูมิตรงบริเวณแลกเปลี่ยนความร้อนได้คงที่และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนยังคงที่หรือมากขึ้นได้ จำเป็นต้องมีการปรับความเข้มข้นของสารเคมีชะลอกการเกิดตะกรันให้เพียงพอ โดยสามารถดูแนวโน้มของค่าแฟคเตอร์การเกิดตะกรันได้ทุกวันเนื่องจากโปรแกรมการคำนวณจาก monitor ที่ใช้งานง่าย





รายการอ้างอิง

1. Tjap, a.F.D., *Method and apparatus for evaluating heat exchanger efficiency*. 1995.
2. Muller, H. and C.A. Branch, *Heat transfer and heat transfer fouling in kraft black liquor evaporators*, Elsevier, Editor. 1997.
3. วีรวิกรม, ม., วิจัยเรื่อง ปรอทในก๊าซธรรมชาติ. ดร.ชิวารสาร. วารสารสิ่งแวดล้อม, (ตุลาคม – ธันวาคม 2541). 2(11): หน้า 21-25.
4. Scott, S., *Fouling test apparatus and process for evaluation of anti-foulant*, U.S. patent, Editor. 2005.
5. Lienhard, J.H. Third ed. *A Heat Transfer Textbook*. Jun 2002, Cambridge Massachusetts.
6. Prapitpan, T., *The impact of heat exchanger fouling in Hydrotreating unit on the optimum operation and maintenance*, in *Department of Chemical Engineering*. 2008, Chulalongkorn University.
7. Muller-Steinhagen, H., M.R. Malayeri, and A.P. Watkinson, *Fouling monitoring and cleaning optimization in a heat exchanger network of a crude distillation unit*. Proceeding of 7th International Conference of ECI symposium series 2007: p. 455-464. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. ศรีสุขเจริญปัญญา, ว., การศึกษาการเกิดฟาวลิงและผลกระทบต่อสมรรถนะทางความร้อนของข่ายงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในการอุ่นน้ำมันดิบ, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

แสดงการคำนวณผลประโยชน์จากการใช้สารเคมี EC3021A ที่สามารถสร้างกำไร โดย
มีระยะเวลาการคำนวณป้อนสารเคมีในสภาวะมีตะกอนเริ่มต้น

| รายละเอียด | ตัวเลขการ | |
|---|-----------|-------------|
| | จำนวน | หน่วย |
| - ปริมาณคอนเดนเสทที่สามารถเพิ่มขึ้นจากแผนการผลิต (Tons) | 22,800 | Ton |
| - ราคาขายของผลิตภัณฑ์จากหน่วยการผลิตที่ทำการศึกษา (USD/tons) | 40.00 | USD/To n |
| - ผลประโยชน์จากการยืดอายุอุปกรณ์การผลิตจำนวน 4 เดือน | 912,000 | USD |
| - เคมีชะลอกการเกิดตะกอน EC3021A ที่ใช้ไปทั้งหมด | 22,176 | kg |
| - ราคาเคมี EC3021A | 7.25 | USD/kg |
| - เงินได้จากผลประโยชน์เมื่อหักค่าเคมีที่ใช้ไป | 912,000 | USD |
| ดังนั้น ผลประโยชน์ทั้งสิ้น | 751,224 | USD |

ภาคผนวก ข
การประชุมวิชาการ

ศลิษา พึ่งสุข และ สุรเทพ เขียวหอม. ทำการศึกษาการชะลอการเกิดตะกรันบนผิวของหม้อต้มซ้ำในหน่วยกำจัดเพนเทน. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยสร้างสรรค์ระดับชาติ PETROMAT PPC SYMPOSIUM 2014 ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิต, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, 22 เมษายน 2557



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

| | |
|------------------|--|
| ชื่อ - สกุล | นางสาว ศลิษา พึ่งสุข |
| วัน เดือน ปีเกิด | 21 เมษายน พ.ศ. 2527 |
| สถานที่เกิด | จ.พระนครศรีอยุธยา |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 31 หมู่ 3 ต. ภูเขาทอง อ. พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000 |
| โทรศัพท์ | 080-5664375 |
| ประวัติการศึกษา | |
| พ.ศ. 2539 | มัธยมศึกษา โรงเรียนจอมสุรางค์อุปถัมภ์ สำเร็จ |
| การศึกษา | ปีการศึกษา 2544 |
| พ.ศ. 2545 | ศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เกรดเฉลี่ย 2.84 สำเร็จการศึกษาปีการศึกษา |
| 2549 | |
| พ.ศ. 2554 | ศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เกรดเฉลี่ย 3.26 สำเร็จการศึกษาปีการศึกษา |
| 2557 | |