การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

นายสมชาย อัครารัตนพงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 Graduate School.

IMPROVEMENT OF ENERGY CONSUMPTION EFFICIENCY IN SOLVENT DEASPHALT PROCESS

Mr. Somchai Akararuttanapong

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 2011
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย
โดย	นายสมชาย อัคราวัฒนพงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษิดิศ หนูทอง)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประกร รามกุล)

สมชาย อัครารัตนพงศ์ : การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย (IMPROVEMENT OF ENERGY CONSUMPTION EFFICIENCY IN SOLVENT DEASPHALT PROCESS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. สุรเทพ เขียวหอม, 87 หน้า.

กระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น (Lube Base Oil) กระบวนการนี้จะใช้หลักการสกัดโดยมีโพรเพน (Propane) เป็นตัวทำละลายซึ่งอยู่ในสภาวะของไหลเหนือวิกฤต ผลิตภัณฑ์ที่ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ แอสฟัลต์ทีน (Asphaltene) และน้ำมันดีแอสฟัลต์ (Deasphalt Oil) ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ส่วนจะมีตัวทำละลายผสมอยู่ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์จึงต้องแยกตัวทำละลายออกจากผลิตภัณฑ์โดยการให้ความร้อน ซึ่งในกระบวนการให้ความร้อนนี้อาศัยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผา (Furnace) งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินการของเตาเผาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการใช้แบบจำลองข่ายงานประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มีตัวแปรที่ศึกษาคือ ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน, อุณหภูมิของแก๊สเสีย, และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ในส่วนที่ 2 คือการหาสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาเงื่อนไขสภาวะการดำเนินการที่จะสามารถแยกตัวทำละลายกลับมาให้มากที่สุดโดยที่มีการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด (Minimize Heat Duty)

แบบจำลองข่ายงานประสาทเทียมที่ได้จากการฝึกข่ายงานเพื่อคาดเดาประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการพบว่ามีค่าสมรรถนะความถูกต้อง 99.7 % ในส่วนของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยโปรแกรมสำเร็จรูปทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อแยกตัวทำละลายจากผลิตภัณฑ์ได้ 5.66 MM kcal/hr.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

ปีการศึกษา 2554

5071517221 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEYWORDS : NEURAL NETWORK / SOLVENT DEASPHALT / HYSYS

SOMCHAI AKARARUTTANAPONG : IMPROVEMENT OF ENERGY CONSUMPTION EFFICIENCY IN SOLVENT DEASPHALTS PROCESS. ADVISOR : ASST.PROF. SOORATHEP KHEAWHOM, 100 pp.

Solvent Deasphalting Process is first step in production of Lube Base Oil. The process uses propane as a solvent. Products of the process consist of Asphaltene as raffinate phase and Deasphalting oil as extract phase. In order to improve purity of products, the solvent used in extraction process must be removed. Both streams are then purified by methods of heating by furnace. The objective of this work is to improve energy consumption efficiency by using two approaches. In the first approach, we develop a process model by using neural network. The model develop can be used to optimize the process by adjust oxygen excess, temperature of flue gas and composition of fuel. In the second approach, the optimal operating condition of heat exchanger is determine by the model develop in commercial software.

Model of Neural Networks is used for predict efficiency of the furnace found that the accuracy performance was 99.7%. In the model of heat exchanger by Hysys Programming can be reduced energy consumption for separation of solvent from product by 5.66 MM kcal / hr.

Department : Chemical Engineering Student's Signature ....
Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature ....
Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุรเทพ เขียวหอม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา, แนะนำแนวทางการทำงานวิจัย แนวทางการแก้ปัญหา, ให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทั้ง 3 ท่าน ซึ่งประกอบไปด้วยประธานกรรมการ ผศ.ดร. มนตรี วงศ์ศรี, กรรมการ ผศ.ดร. กษิดิศ หนูทอง และ ผศ.ดร.ประกร รามกุล ซึ่งได้ให้ความสนใจและให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลต่าง, สถานที่ทำให้งานวิจัยของข้าพเจ้าสำเร็จลุล่วงไปได้

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา คุณอิสราภรณ์ ธรณธรรม และครอบครัวที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจข้าพเจ้าจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. จ

กิตติกรรมประกาศ... ฉ

สารบัญ... ช

สารบัญตาราง.. ณ

สารบัญภาพ... ฎ

บทที่

1 บทนำ ……………………………………………………………………………… 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……………………………………… 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย………………………………………………………… 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย……………………………………………………………… 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……………………………………………………… 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง …………………………………………………… 4

2.1 การดำเนินการในโรงงานสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน…………………………… 4

2.2 หลักการออกแบบกระบวนการ…………………………………………………… 4

2.3 รายละเอียดของกระบวนการ……………………………………………………… 6

2.3.1 ระบบแยกน้ำมันดีแอสฟัล……………………………………………… 6

2.3.2 ระบบให้ความร้อนแก่กระบวนการ……………………………………… 7

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของการเผาไหม้และการใช้งานของเชื้อเพลิง……………………… 8

2.4.1 ปัญหาทั่วๆไปเกี่ยวกับเตาเผาในอุตสาหกรรม…………………………… 8

2.4.2 ส่วนประกอบหลักของเตาเผา…………………………………………… 8

2.5 การเผาไหม้ในเตาเผา (Combustion in Furnace)……………………………… 10

2.5.1 หัวเผา (Burner)………………………………………………………… 11

2.5.2 ความดันภายในเตาเผา (Pressure Draft)……………………………… 12

2.5.3 การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน (Excess Air Control)……………… 13

2.5.4 น้ำมันเตา (Fuel Oil)…………………………………………………… 14

2.5.5 คุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว……………………………………… 17

บทที่ หน้า

2.5.6 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)……….…………….. 17

2.5.7 ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heat Of Combustion)…………………..….. 18

2.5.8 ค่าความร้อน (Heating Value or Calorific Value) …………..………..... 18

2.5.9 ประสิทธิภาพของเตาเผา (Furnace Efficiency)……………..……..…….... 19

2.5.10 การประมาณค่าควบคุมของกระบวนการ………….……………...……... 19

2.6 หลักการการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)……………..……. 19

2.6.1 การวางแผนการทดลอง (Experiment Planning)……......…..………….. 21

2.6.2 การคัดเลือกปัจจัย (Screening)………..…………………..……............ 21

2.6.3 การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)……..…………………......…..…... 23

2.7 การสร้างแบบจำลองจากข่ายงานนิวรัล (Artificial Neural Network)…………. 23

2.7.1 หน่วยประมวลผล………............………....………………………..... 24

2.7.2 แบบจำลองของข่ายงานนิวรัลในปัจจุบัน……....………….....…..……... 25

2.7.3 องค์ประกอบและหน้าที่ของนิวรัล……………………….……….…….... 25

2.7.4 พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของนิวรัล……...…...…... 26

2.7.5 โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม…………...……….... 29

2.8 การสร้างแบบจำลองกระบวนการ……………………………….…………..... 29

3. วิธีดำเนินการวิจัย…………………………………………………………………. 30

3.1 การใช้พลังงานในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย……………..…… 30

3.2 ประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการกำกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย…. 31

3.3 การคำนวนประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน……………………… 32

3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผา……………..….. 34

3.5 ขั้นตอนการทดลองข่ายงานนิวรัลสำหรับสร้างแบบจำลอง………..……..….. 37

3.6 การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประสิทธิภาพของเตาเผา...………..….. 37

3.6.1 การสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพของเตาเผาจากโครงข่ายแบบที่ 1....... 39

3.6.2 การสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพของเตาเผาจากโครงข่ายแบบที่ 2....... 40

4. ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผลงานวิจัย……………………………………… 53

4.1 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของเตาเผา…………………….............. 53

4.2 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการ...…………………….. 54

4.3 สรุปการอ๊อปติไมซ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำมันดีแอสฟัลต์............... 56

บทที่ หน้า

4.4 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของแอสฟัลต์ทีน.................. 57
4.5 สรุปการอ๊อปติไมซ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของแอสฟัลต์ทีน……………… 59
4.6 สรุปภาพรวมของการสร้างแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน…………… 60
5. สรุปผลการวิจัย……………………………………………………………………… 61
5.1 สรุปผลการวิจัย ……………………………………..…………………….. 61
5.1.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายประสิทธิภาพของเตาเผา.. 61
5.1.2 ผลของแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการ.............. 62

รายการอ้างอิง…………………………………………………………………………... 64
ภาคผนวก……………………………………………………………………….....….... 66
ภาคผนวก ก…………………….......…………….…………………………....... 67
ภาคผนวก ข……………....…………………..……………………………….…...... 82
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์………………………………………………………………… 86

สารบัญตาราง

		หน้า
2.1	แสดงคุณสมบัติของสารตั้งต้นของกระบวนการ..	5
2.2	คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (Product Specification)......................................	5
2.3	แสดงประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาโดยเทียบกับอุณหภูมิของแก๊สเสียและปริมาณออกซิเจนในแก๊สเสีย...	11
2.4	ค่าระดับอากาศส่วนเกินที่เหมาะสม..	14
2.5	แสดงคุณสมบัติทางด้านต่างๆ ของน้ำมันเตา..	16
3.1	องค์ประกอบเชื้อเพลิงแก๊สตั้งแต่เดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2553...	34
3.2	องค์ประกอบของแก๊สเสีย (Flue Gas) จากปล่องเตาเผาตั้งแต่เดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2553...	35
3.3	แสดงคุณสมบัติของน้ำมันเตาที่ใช้ตั้งแต่มกราคม 2553 ถึงธันวาคม 2553........	36
3.4	แสดงผลการคำนวนหาจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสม……..….	38
3.5	ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 1...	39
3.6	ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 2...	40
3.7	ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 3...	42
3.8	แสดงผลการทดสอบความผิดพลาดของแบบจำลองข่ายงานทั้ง 3 แบบ...........	43
3.9	คุณสมบัติของน้ำมันดีแอสฟัลและสารตัวกลาง (Hot Oil)	45
3.10	แสดงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ทีน...	46
3.11	ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำมันดีเอโอเทียบกับค่าจริง........	49
3.12	ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของแอสฟัลต์ทีนเทียบกับค่าจริง........	49
3.13	เปรียบเทียบอุณหภูมิของไหลก่อนและหลังการทำอ๊อปติไมซ์ของดีเอโอ............	52
3.14	เปรียบเทียบอุณหภูมิของไหลก่อน-หลังการทำอ๊อปติไมซ์ของแอสฟัลต์ทีน.........	52
4.1	แสดงผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยสรุปทั้ง 3 แบบ.........................	53
5.1	สรุปผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์......	63
5.2	สรุปผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของแอสฟัลต์ทีน...........	63

หน้า

ก-1 แสดงประสิทธิภาพของเตาเผาที่ ค่า O_2 เท่ากับ 2.5 - 3.0 %, เปอร์เซ็นต์ C_3 ใน Fuel Gas เท่ากับ 60, 40, 30, 20, 10 และอุณหภูมิของแก๊สเสียเท่ากับ 310 ^{o}C ถึง 330 ^{o}C…………………………………………………………………… 68

ก-2 แสดงประสิทธิภาพของเตาเผาที่ ค่า O_2 เท่ากับ 3.5 - 4.0 %, เปอร์เซ็นต์ C_3 ใน Fuel Gas เท่ากับ 60, 40, 30, 20, 10 และอุณหภูมิของแก๊สเสียเท่ากับ 310 ^{o}C ถึง 330 ^{o}C…………………………………………………………………… 69

ก-3 แสดงประสิทธิภาพของเตาเผาที่ ค่า O_2 เท่ากับ 4.5 - 5.0 %, เปอร์เซ็นต์ C_3 ใน Fuel Gas เท่ากับ 60, 40, 30, 20, 10 และอุณหภูมิของแก๊สเสียเท่ากับ 310 ^{o}C ถึง 330 ^{o}C……………………………………………………………..…… 70

ก-4 ผลการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 1…………………………….… 71

ก-5 ผลการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 2…………………………..…… 74

ก-6 ผลการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 3……………………………….. 77

ก-7 ผลการทดสอบชุดทดสอบความสามารถของข่ายงานนิวรัลแบบที่ 3………….. 80

ก-8 ผลการทดสอบกับชุดทดสอบข่ายงานในการใช้งานจริงของข่ายงานแบบที่ 3…. 81

ข-1 ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 1……………………….……… 82

ข-2 ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 2……………………….……… 83

ข-3 ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 3……………………….……… 83

ข-4 ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 4……………………….……… 84

ข-5 ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 5……………………….……… 85

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ระบบควบคุมหอแยกของน้ำมันดีแอสฟัลกับตัวทำละลายโพรเพน..................... 6
ภาพที่ 2.2 แสดงกระบวนการสกัดแยกน้ำมันหล่อลื่นของ ROSE Process........................ 7
ภาพที่ 2.3 แสดงภาพตัดขวางของเตาเผา Furnace Typical Horizontal Tube Heater.......... 9
ภาพที่ 2.4 เตาเผาชนิดต่างๆที่ ใช้ในอุตสาหกรรม.. 10
ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะของหัวเผา Burner 12
ภาพที่ 2.6 แสดงความดันภายในเตาเผา (Draft Pressure).. 13
ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอากาศส่วนเกินกับปริมาณออกซิเจนในแก๊สเสีย........ 14
ภาพที่ 2.8 ปัจจัยนำเข้าและผลลัพธ์ของกระบวนการ... 20
ภาพที่ 2.9 แสดงมุมมองเชิงเรขาคณิตสำหรับการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป................. 23
ภาพที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network)............ 24
ภาพที่ 3.1 การใช้พลังงานเฉลี่ยในหน่วยสกัดแยกแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายตั้งแต่เดือน
กรกฎาคม 2553 - กรกฎาคม 2554.. 30
ภาพที่ 3.2 ผลการคำนวณหาจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสมในโปรแกรม Pythia.. 38
ภาพที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพเตาเผาระหว่างผลการคำนวณเปรียบเทียบกับ
ค่าที่ได้จากแบบจำลองข่ายงานที่ 1.. 39
ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพเตาเผาระหว่างผลจากการคำนวณเปรียบเทียบกับ
ค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 2... 41
ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพเตาเผาระหว่างผลจากการคำนวณเปรียบเทียบกับ
ค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 3... 42
ภาพที่ 3.6 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำ
ละลายในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์.. 47
ภาพที่ 3.7 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำ
ละลายในส่วนของแอสฟัลต์ทีน.. 48
ภาพที่ 3.8 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำ
ละลายในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์หลังจากทำการอ๊อบติไมซ์................................... 50
ภาพที่ 3.9 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำ
ละลายในส่วนของแอสฟัลต์ทีนหลังจากทำการอ๊อบติไมซ์... 51

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นแบบหุ่น (Model) ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของเตาเผา………..………..................................……… 54

ภาพที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ในการนำสารละลายกลับมา (% Recovery) ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบก่อนและหลังจากทำการอ๊อปติไมซ์... 56

ภาพที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ Heat Duty ที่ตำแหน่งต่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เปรียบเทียบก่อนและหลังจากทำการอ๊อปติไมซ์………........................……….......... 57

ภาพที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ในการนำสารละลายกลับมา (% Recovery) ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบก่อนและหลังจากทำการอ๊อปติไมซ์………........................……….......... 59

ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ Heat Duty ที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เปรียบเทียบก่อนและหลังจากทำการอ๊อปติไมซ์………........................……….......... 60

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ธุรกิจอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมี เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 ผลิตภัณฑ์ถูกใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆ นำรายได้เข้าประเทศและลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปได้เป็นจำนวนมาก ธุรกิจโรงกลั่นนำมัน จึงจัดว่าเป็นธุรกิจปิโตรเลียมและปิโตรเคมีที่สำคัญประเภทหนึ่ง

ประเทศไทยมีโรงกลั่นน้ำมันหลายแห่ง โรงกลั่นน้ำมันไออาร์พีซี (IRPC Public Company Limited) ตั้งอยู่ที่จังหวัดระยอง เป็นบริษัทในกลุ่มของ บริษัท ปตท จำกัด (มหาชน) ทำการผลิตน้ำมันและผลิตภัณฑ์จากน้ำมันต่างๆ โดยเริ่มทำการผลิตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ซึ่งจะรับน้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆจากต่างประเทศ น้ำมันดิบจะถูกผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อกลั่นแยก กำจัดสารปนเปื้อนและปรับปรุงคุณภาพจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานที่ต้องการ โดยน้ำมันดิบจะถูกกลั่นแยกภายใต้ความดันบรรยากาศ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ในส่วนของกากที่เหลือจะถูกกลั่นแยกอีกครั้งที่ความดันสูญญากาศเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จำพวกน้ำมันหล่อลื่นและยางมะตอย โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นนั้นจะต้องผ่านหน่วยผลิตต่างๆ เพื่อที่จะกำจัดสารปนเปื้อนและปรับปรุงคุณภาพก่อนที่จะได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อจำหน่าย

การกลั่นภายใต้ความดันสูญญากาศนั้น จะแยกน้ำมันเบาออกทางด้านบนของหอกลั่น ส่วนผลิตภัณฑ์หนักจะแยกออกทางด้านล่างของหอกลั่นตามลำดับ ซึ่งเรียงลำดับ ดังนี้ ไลท์แก๊สออยล์ (Light Gas Oil) ดิสทิเลต 150(distillate 150) ดิสทิเลต 300 (distillate 300) ดิสทิเลต 500(distillate 500) เฮฟวี่แก๊สออยล์ (Heavy Gas Oil) และส่วนที่หนักที่สุดคือ วีอาร์ (Vacuum Residue, VR) ซึ่งจะออกทางด้านล่างของหอกลั่น (LG Engineering Co. Ltd. Seoul)

วีอาร์ หรือ Vacuum Residue เป็นส่วนของน้ำมันหนักที่ไม่สามารถกลั่นได้ต่อไปแต่สามารถนำมาสกัดแยกด้วยสารละลายอินทรีย์เพื่อแยกผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ยังมีคุณสมบัติในการเป็นน้ำมันหล่อลื่นออกมาโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า ROSE Process (ROSE; Residuum Oil Supercritical Extraction) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดแยกที่นำมาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเรียกว่า ดีเอโอ (DAO; Deasphalted Oil) และได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้คือ แอสฟัลทีน (Asphaltene) การสกัดแยกวีอาร์ในกระบวนการของ ROSE Process นั้นจะใช้โพรเพนเป็นตัวทำละลายโดยอาศัยคุณสมบัติในการละลายที่ไม่เท่ากันระหว่าง ดีเอโอและแอสฟัลทีน เมื่อนำสารตั้ง

ต้นวีอาร์ผ่านเข้าหอสกัดโดยใช้โพรเพนเป็นตัวทำละลายภายใต้การควบคุมความดันให้อยู่เหนือจุดวิกฤตของสารละลายโพรเพน ผลิตภัณฑ์ที่ออกทางด้านบนของหอ คือ ดีเอโอผสมกับโพรเพน (Extract) และผลิตภัณฑ์ที่ออกทางด้านล่างของหอ คือ แอสฟัลทีน (Raffinate) หลังจากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปแยกสารละลายที่เหลืออยู่ออกเพื่อทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นและนำตัวทำละลายที่แยกกลับมาได้นำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง

กระบวนการ ROSE Process นั้นเพื่อที่จะสกัดดีเอโอให้แยกออกจากแอสฟัลทีน จะต้องใช้โพรเพนเป็นตัวทำละลายเป็นจำนวนมากซึ่งในการบวนการแยกจะต้องมีการให้ความร้อนแก่กระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดการแยกที่ดียิ่งขึ้นหรือแม้แต่เพื่อนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งในระบวนการผลิต ซึ่งแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีรวมถึงในการบวนการแยกน้ำมันหล่อลื่น คือ เตาเผา (Furnace) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักที่จะถ่ายเทพลังงานให้แก่กระบวนการผลิต ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานอย่างมหาศาลในเตาเผาเพื่อทำให้เกิดพลังงานความร้อนมากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ดังนั้น ความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจโรงกลั่นนั้นจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดการที่ดี เริ่มตั้งแต่ การจัดการด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมถึงพลังงาน ที่ถูกใช้ในกระบวนการผลิต ล้วนหมายถึงต้นทุนของการผลิต ซึ่งหากไม่มีการจัดการในแง่ของพลังงานให้เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดย่อมหมายถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตย่อมสูงขึ้นและการใช้อย่างไม่รู้คุณค่าของพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ ได้แก่

1.2.1 ศึกษารายละเอียดการดำเนินการในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

1.2.2 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

1.2.3 ทำการศึกษาวิธีการลดการใช้พลังงานในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายโดยการหาสภาวะเงื่อนไขการดำเนินการที่ดีที่สุด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตครอบคลุม ดังนี้

1.3.1 ศึกษาข้อมูลสภาพปัจจุบันของการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่สภาวะการดำเนินการจริงของกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายเพื่อเป็นข้อมูลศึกษาในเบื้องต้น

1.3.2 ศึกษาสภาพการทำงานจริงของเตาเผา ปรับปรุงสภาวะการดำเนินการของเตาเผาเพื่อปรับค่าตัวแปรต่างๆ ทั้งหมดที่มีผลกับการใช้เชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3.3 ศึกษาสภาพปัจจุบันในการดำเนินการของกระบวนการในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานความร้อนที่ต้องอาศัยพลังงานจากเตาเผาเพื่อหาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงให้มีการใช้พลังงานที่ต่ำลงโดยที่ตัวแปรที่ต้องควบคุมเอาไว้ในจุดนั้นๆ ยังคงมีค่าคงที่

1.3.4 เปรียบเทียบผลการดำเนินการของงานวิจัยนี้เมื่อได้ปรับปรุงในส่วนต่างๆแล้วเทียบกับสภาวะก่อนที่จะทำการศึกษาโดยแสดงผลการเปรียบเทียบให้เห็นเป็นค่าที่วัดได้ชัดเจน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงในเรื่องของประสิทธิภาพการใช้งานเชื้อเพลิงในโรงงานสกัดน้ำมันหล่อลื่นซึ่งเมื่องานวิจัยนี้สำเร็จคาดว่าจะสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่เตาเผาลงซึ่งเป็นจุดสำคัญที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่นๆในกระบวนการ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดำเนินการในโรงงานสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

IRPC ได้รับลิขสิทธิ์จาก Kerr-McGee เพื่อทำการสกัดแยกน้ำมันหล่อลื่นขั้นพื้นฐานออกจาก Asphaltene ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการกลั่นสุญญากาศตามกระบวนการของ ROSE Process (Residuum Oil Supercritical Extraction) ซึ่งปัจจุบันลิขสิทธิ์อยู่ในความดูแลโดย THE M.W. Kellogg Technology Company สำหรับกระบวนการ ของ Rose Process จะช่วยประหยัด ค่าใช้จ่ายของระบบสาธารณูปโภค (Utility) ต่างๆ เมื่อเทียบกับกระบวนการสกัดแบบดั้งเดิม (Conventional Process)

พื้นฐานของการสกัดแยกคือความสัมพันธ์ระหว่างน้ำมันหล่อลื่นดีแอสฟัล (Deasphalted Oil หรือ DAO), Resin และ Asphaltene กับตัวทำละลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของสารตั้งต้นและชนิดของตัวทำละลายที่ใช้โดยอาจเป็นโพรเพนหรือบิวเทน สำหรับกระบวนการนี้จะใช้โพรเพนเป็นตัวทำละลาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้มี 2 ชนิด คือ น้ำมันดีแอสฟัล (DAO) และแอสฟัลทีน (Asphaltene)

กระบวนการของ ROSE Process นั้นสามารถแบ่งเป็นระบบย่อย ๆ ได้ 5 ระบบ คือ

2.1.1 ระบบป้อนสารตั้งต้น (Feed System)

2.1.2 ระบบแยกแอสฟัลทีน (Asphaltene Separators System)

2.1.3 ระบบแยกน้ำมันดีแอสฟัล (Deasphalted Oil Separator System)

2.1.4 ระบบนำกลับมาใช้ของสารละลาย (Solvent Recovery System)

2.1.5 ระบบให้ความร้อนแก่กระบวนการ (Hot Oil System)

2.2 หลักการออกแบบ

กระบวนการของ ROSE Process [3] ออกแบบเพื่อใช้สกัดแยกน้ำมันดีแอสฟัลและแอสฟัลทีน ออกจากวีอาร์ที่ได้จากหอกลั่นสุญญากาศ โดยการสกัดแยกด้วยโพรเพน กระบวนการนี้ถูกออกแบบให้สามารถรองรับปริมาณวีอาร์ได้ประมาณ 11,700 บาร์เรลต่อวันโดยสามารถทำการผลิตได้ 330 วันต่อปี

ตารางที่ 2.1 : แสดงคุณสมบัติของสารตั้งต้น (Feed Specification) ของกระบวนการ (วีอาร์)

Specification	Range
Gravity, API	7.2 - 8.4
Specific Gravity @ 15 $^{\circ}$C	1.013 - 1.020
Sulfur, WT %.	4.1 - 4.5
Conradson Carbon , WT %	0 - 20.4
NI + VA , wppm	0 - 108
Viscosity , cSt @ 99 $^{\circ}$C	660 - 740
cSt @ 135 $^{\circ}$C	100 - 180

ตารางที่ 2.2 : คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (Product Specification)

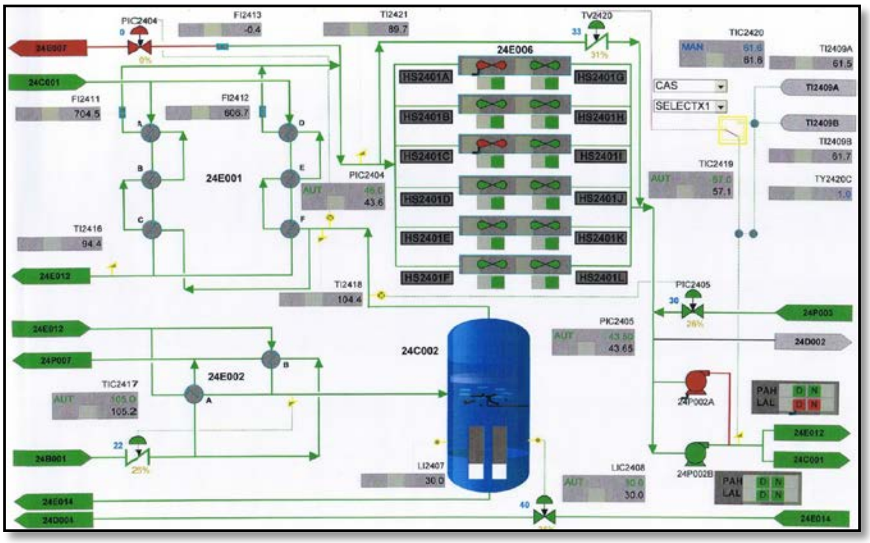
Specification	Asphaltene	DAO
Yields , WT%	65	35
LV%	62	39
Gravity , API	1.1	19.4
Specific Gravity @ 15 $^{\circ}$C	1.067	0.93
Sulfur , WT%	5.3	2.4
Conradson Carbon , WT%	30	1.7
Ni+Va , wppm	Balance	$<$ 1
Viscosity , cSt @ 99 $^{\circ}$C	12800	41
cSt @ 135 $^{\circ}$C	980	13
cSt @ 232 $^{\circ}$C	30	-
Ring&Ball Softening Point , $^{\circ}$C	64	-
Nitrogen , wppm	-	800
Asphaltene , WT%	-	0.1 Max
Wax , WT%	-	11.74

2.3 รายละเอียดของกระบวนการ

การสกัดแยกน้ำมันดีแอสฟัลออกจากวีอาร์นั้นทำได้โดยสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย ซึ่งในกระบวนการนี้จะใช้โพรเพน (C_3H_8) เป็นตัวทำละลาย ในอัตราส่วนของสารละลายต่อสารตั้งต้น (Solvent : Oil Ratio) ประมาณ 12 ต่อ 1 [5] กระบวนการสกัดแยกนี้เกิดขึ้นที่ หอสกัดแยกแอสฟัลทีน(Asphaltene Separator) โดยของผสมระหว่างโพรเพนกับดีเอโอจะออกจากหอสกัดทางด้านบนส่วนของผสมของโพรเพนกับแอสฟัลทีนจะออกทางด้านล่างของหอสกัดโดย โพรเพนส่วนใหญ่จะถูกแยกออกเพื่อนำกลับมาใช้ที่หอแยกดีเอโอซึ่งอยู่ในสภาวะเหนือจุดวิกฤต (Supercritical) ของสารละลาย ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการนั้นได้มาจากระบบน้ำมันร้อน (Hot Oil) หรือมาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารที่ต้องการทำให้เย็นลง

2.3.1 ระบบแยกน้ำมันดีแอสฟัล (Deasphalted Oil Separator System)

น้ำมันดีแอสฟัลจะออกทางด้านบนของหอสกัดแยกพร้อมกับสารละลายซึ่งเป็นส่วนใหญ่ในทำนองเดียวกันแอสฟัลทีนที่มีส่วนผสมของสารละลายเล็กน้อยก็จะออกทางด่านล่างของหอสกัดโดยของผสมระหว่างดีเอโอและโพรเพนจะถูกส่งต่อไปเพื่อทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงสภาวะวิกฤตของโพรเพนโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับตัวกลางเพื่อทำให้ดีเอโอสามารถแยกตัวออกจากโพรเพนได้ที่สภาวะนี้ในระบบหอแยกจะสามารถนำสารละลายกลับมาใช้ได้ใหม่ประมาณ 92% ของสารละลายที่ใช้หมุนเวียนอยู่ในกระบวนการที่เหลืออีก 8 % จะถูกนำกลับมาในระบบนำกลับมาใช้ของสารละลาย (Solvent Recovery System) ต่อไป

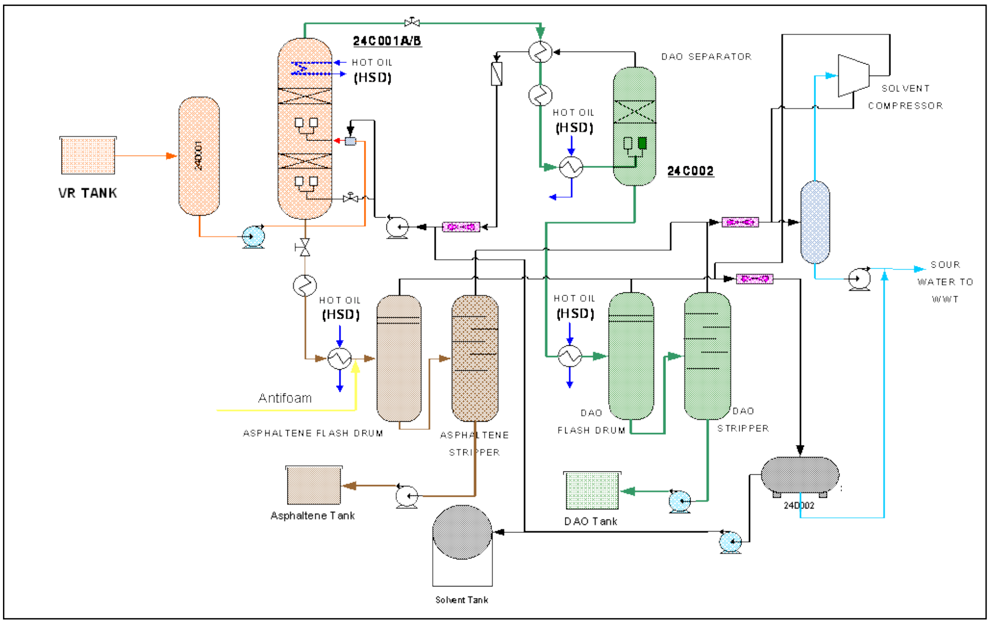


ภาพที่ 2.1 : ระบบควบคุมหอแยกของน้ำมันดีแอสฟัลกับตัวทำละลายโพรเพน

2.3.2 ระบบให้ความร้อนแก่กระบวนการ (Hot Oil System)

ระบบให้ความร้อนแก่กระบวนการนี้เป็นระบบปิดจึงไม่มีการสูญเสียไปตัวกลางออกไปสู่ภายนอกระบบ โดย Hot Oil จะนำไปใช้ให้ความร้อนตามส่วนต่างๆ ของกระบวนการดังนี้

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอแบบแฟลซ
   (DAO Flash Preheater ; E014)
2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบแฟลซชุดที่ 1
   (Asphaltene Flash Preheater No.1; E003/017)
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบแฟลซชุดที่ 2
   (Asphaltene Flash Preheater No.2; E013/018)
4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอแบบสติฟเปอร์
   (DAO Stripper Heater; E004)
5. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบสติฟเปอร์
   (Asphaltene Stripper Heater; E005)
6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอที่หอแยก
   (DAO Separator Preheater; E002A/B)



ภาพที่ 2.2 : แสดงกระบวนการสกัดแยกน้ำมันหล่อลื่นของ ROSE Process

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานของการเผาไหม้และการใช้งานของเชื้อเพลิงแบบต่าง ๆ

เตาเผาในอุตสาหกรรม (Fire Furnace) [1] เป็นอุปกรณ์หลักในโรงงานปิโตรเคมี มีหน้าที่ให้ความร้อนกับกระบวนการ เตาเผาจึงเป็นอุปกรณ์หลักในการให้พลังงานในกระบวนการทั้งหมด ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาเพียงเล็กน้อยจึงสามารถประหยัดรายจ่ายได้อย่างมาก

ตัวอย่างเช่นอุตสาหกรรมการกลั่นมีการใช้พลังงานรวม 0.44 MM BTU/BBL ในการกลั่นน้ำมันดิบหรือคิดเป็น 2,667 MM BTU/Hr สำหรับโรงกลั่นขนาด 200,000 บาร์เรลต่อวัน ถ้าหากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้ความร้อนได้มากขึ้นสัก 1% จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของเชื้อเพลิงได้ถึงประมาณ 600,000 ดอลลาร์ต่อปี

2.4.1 ปัญหาทั่ว ๆไปเกี่ยวกับเตาเผาในอุตสาหกรรม

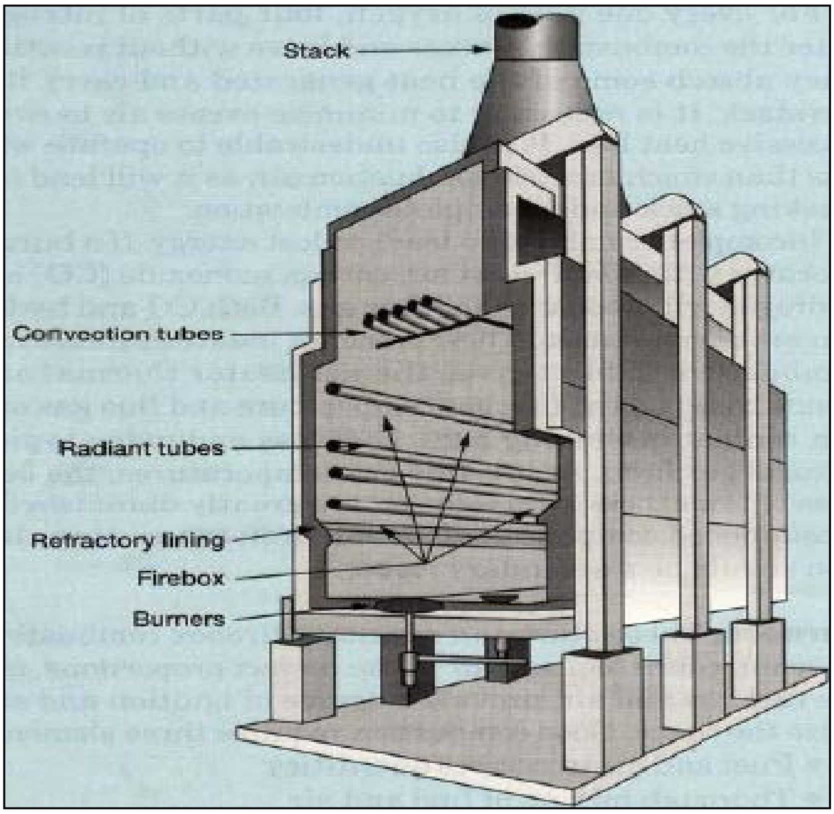
1. ปริมาณอากาศส่วนเกินสูงจนเกินไป (High Excess Air)
2. มีสิ่งสกปรกบริเวณส่วนบนของเตาเผา (Fouling ใน Convection Zone)
3. อุณหภูมิที่บริเวณปล่องสูงเกินไป (Temperature ของ Stack)
4. ให้ความร้อนมากเกินไป (Over Firing)
5. เปลวไฟไม่ได้รูปทรงหรือสัมผัสกับผิวท่อ

เตาเผาส่วนมากมักจะมีการดำเนินการกันจนมากกว่าค่าที่ออกแบบไว้ทำให้เตาเผาต้องรับภาระที่หนักขึ้นเพื่อส่งผ่านความร้อนให้กับกระบวนการ ในหลายกรณีเตาเผาสามารถหาสภาวะการดำเนินการที่จะทำให้ประหยัดต้นทุนในการดำเนินการได้ ซึ่งจะได้ศึกษาจากงานวิจัยนี้ ถ้าสามารถทำได้ตามงานวิจัยนี้ก็จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและยืดอายุการใช้งานของเตาเผาด้วย

2.4.2 ส่วนประกอบหลักของเตาเผา

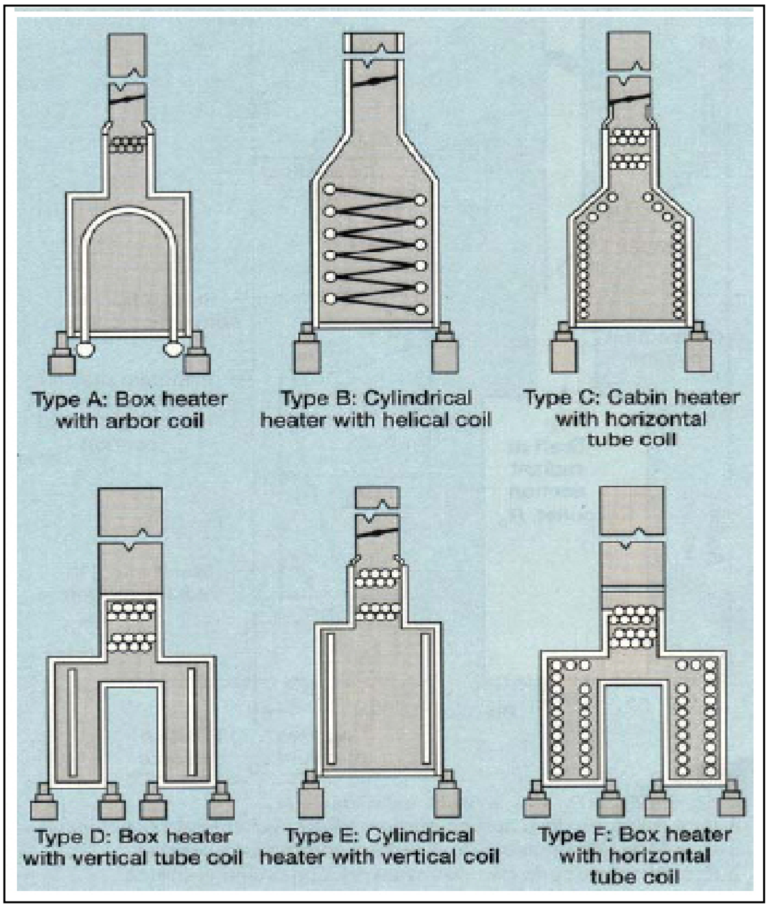
เตาเผาประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่

1. Heating Coil ประกอบไปด้วยท่อขดไปมา ความร้อนในเตาเผาจะส่งผ่านไปยังของไหลที่ไหลอยู่ภายในท่อ
2. Enclosure (Fire Box) หรือส่วนที่ห่อหุ้มเตาเผาเป็นโครงสร้างโลหะกับอิฐทนไฟ (Refractory) ซึ่งทำหน้าที่กักเก็บความร้อนที่เกิดในเตาเผา
3. Combustion Equipment หรือหัวเผา (Burner) จะสร้างความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สหรือเชื้อเพลิงเหลว



ภาพที่ 2.3 : แสดงภาพตัดขวางของเตาเผา Furnace Typical Horizontal Tube Heater

Heating Coil จะดูดซับความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนที่ส่วนล่างของเตาเผา (Radiant Zone) และการพาความร้อนของอากาศร้อน (Flue Gas) จะพาความร้อนไปที่ส่วนบน (Convection Zone) ของเตาเผาแล้วผ่านออกไปบรรยากาศผ่านทางปล่อง (Stack) ส่วนของหัวเผา (Burner) อาจถูกติดตั้งที่พื้นหรือผนังของเตาเผาก็ได้ ละอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะมาจากบรรยากาศผ่านเข้ามาทางด้านล่างของเตาเผา ในการเพิ่ม Heat Recovery ของเตาเผาจะมีการใช้ความร้อนของแก๊สเสียที่เหลืออยู่โดยการติดตั้งชุดอุ่นอากาศ (Air Preheater) เพื่อเป็นการใช้พลังงานให้คุ้มค่า



ภาพที่ 2.4 เตาเผาชนิดต่างๆที่ ใช้ในอุตสาหกรรม

2.5 **การเผาไหม้ในเตาเผา** (Combustion in Furnace)

เป็นปฏิกิริยาการคายความร้อนจากการรวมตัวกันอย่างเร็วของออกซิเจน (O_2) และเชื้อเพลิงซึ่งออกซิเจน นั้นจะอยู่ในอากาศ ส่วนเชื้อเพลิงนั้นจะเป็นไฮโดรคาร์บอน เมื่อการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์พอดีนั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องป้อนอากาศส่วนเกิน (Air Excess) เพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ Excess Air จะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณ Air ที่ต้องใช้ในการเผาไหม้ที่อุดมคติ (Ideal)

ทุกๆหนึ่งส่วนของออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาเผาไหม้จะมีไนโตรเจน 4 ส่วนที่เข้าไปดูดซับความร้อนจากปฏิกิริยาเผาไหม้และลอยออกไปโดยไม่ได้มีส่วนร่วมในปฏิกิริยา ไนโตรเจนที่เข้าไปจะไปดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นและพาขึ้นไปยังปล่องด้านบนและออกสู่บรรยากาศไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมให้มีอากาศส่วนเกินให้น้อยที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อน ในทางกลับกันถ้าควบคุมให้มีปริมาณออกซิเจนน้อยเกินไป(น้อยกว่า Stoichiometric) ก็จะทำให้เกิดควันมากและมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ถ้า

ไม่ควบคุมให้อากาศกับเตาเผาที่เพียงพอจะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรเจน (H_2) ปรากฏในแก๊สเสียที่ออกทางปล่องได้

การวัดความสามารถในการเผาไหม้ (Combustible Indicator) จะเป็นตัววัดประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเตาเผาได้

ตารางที่ 2.3 : แสดงประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเตาเผาโดยเทียบกับอุณหภูมิของแก๊สเสียและปริมาณออกซิเจนในแก๊สเสีย

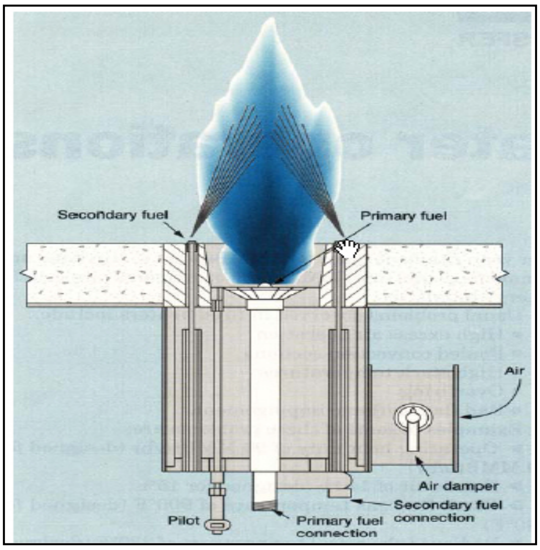
Excess Air (%)	O_2 in Flue Gas (%)	Temperature of Flue Gas (°C)/Heater Efficiency						
		300	350	400	450	500	550	600
15	3.00	91.76	90.44	89.11	87.77	86.42	85.06	83.60
20	3.82	91.52	90.15	88.77	87.39	85.98	84.57	83.15
25	4.56	91.29	89.87	88.44	87.01	85.55	84.09	82.62
30	5.24	91.05	89.58	88.10	86.61	85.11	83.62	82.07
40	6.46	90.58	89.01	87.43	85.84	84.24	82.60	81.00

2.5.1 **หัวเผา** (Burner)

เป็นตัวเริ่มต้นและรักษาปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเตาเผาซึ่งเชื้อเพลิงและอากาศจะเข้ามาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมและเผาไหม้ที่หัวเผาโดยจะมีหน้าที่รักษารูปทรงของเปลวไฟให้มีความเสถียร การเผาไหม้ที่ดีต้องมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. มีเชื้อเพลิงและอากาศในปริมาณที่เหมาะสม
2. เชื้อเพลิงและอากาศผสมกันดี
3. เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง

ผนังของเตาเผาจะเป็นแบบผิวทนไฟเพื่อรักษาสมดุลของเปลวให้มีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องของเปลวและมีรูปทรงของเปลวในแบบที่ต้องการ



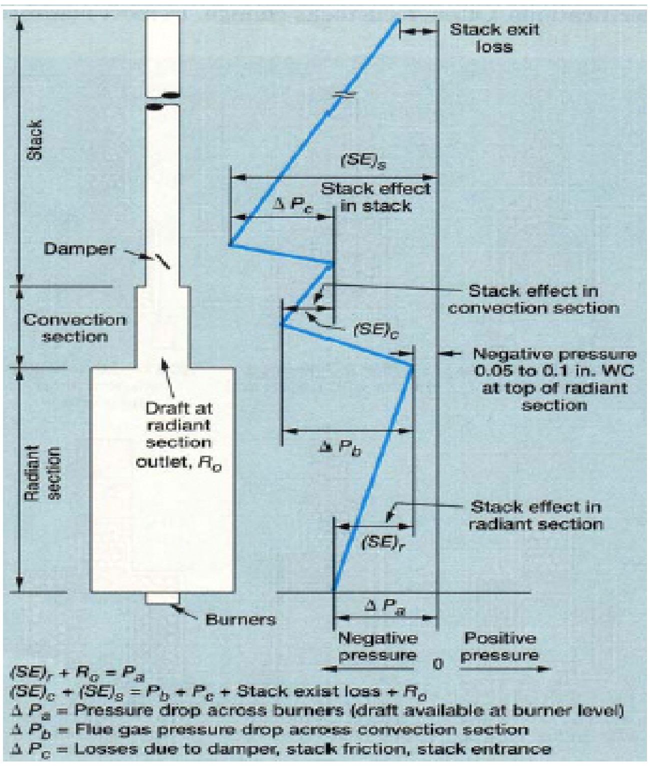
ภาพที่ 2.5 : แสดงลักษณะของหัวเผา Burner

2.5.2 **ความดันภายในเตาเผา** (Pressure Draft)

แก๊สเสียที่ร้อนภายในเตาเผาจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็นภายนอกเตาเผาทำให้ความดันภายในเตาเผาต่ำกว่าบรรยากาศข้างนอก อากาศจากข้างนอกจึงไหลเข้าสู่ภายในผ่านทางช่องเปิดของหัวเผาและแก๊สเสียจะไหลออกไปทางปล่องด้านบน เนื่องจากผลของความดันที่แตกต่างกัน

การควบคุมความดันภายในเตาเผาจะมี 4 แบบดังนี้

1. Natural Draft เตาเผาส่วนใหญ่จะเป็นชนิดนี้ โดยให้อากาศไหลผ่านด้านล่างและควบคุมความดันโดยใช้ความสูงของปล่องและอุปกรณ์ควบคุมช่องเปิดที่บริเวณปล่อง
2. Force Draft (FD) จะมีการใช้พัดลม (Centrifugal Fan) ในการเป่าอากาศเข้าในเตาเผาทำให้การผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงดีขึ้น
3. Induced Draft ถ้าความสูงของปล่องไม่เพียงพอที่จะทำให้ได้ความดันในเตาเผาที่ต้องการจะมีการติดตั้ง Induced Draft (ID) หรือพัดลมซึ่งจะดูดอากาศเสียออกจากปลายปล่องที่เตาเผาทำให้ความดันในเตาเผาได้ตามที่ต้องการ
4. Balance Draft มีการติดตั้งทั้ง Force Draft และ Induced Draft จะเรียกการควบคุมแบบนี้ว่า Balance Draft



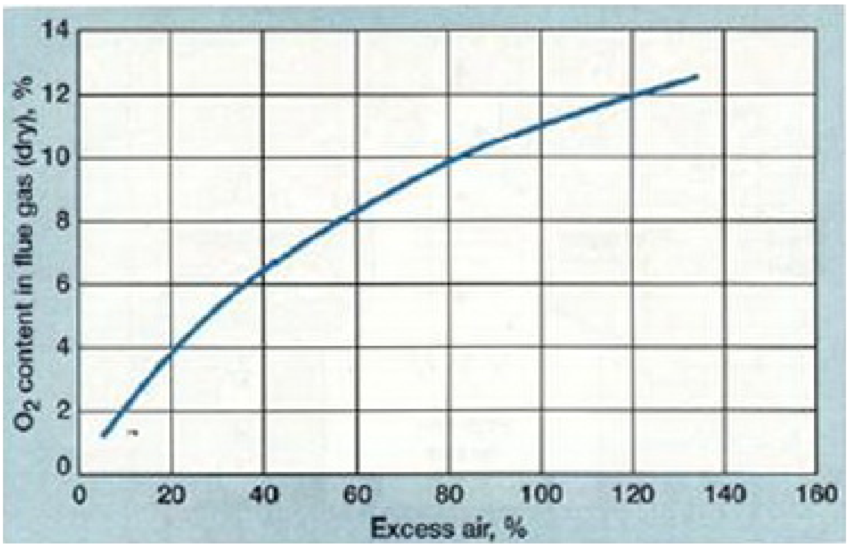
ภาพที่ 2.6 : แสดงความดันภายในเตาเผา (Draft Pressure) ที่จุดต่างๆ

2.5.3 **การควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกิน** (Excess Air Control)

หลักการในการดำเนินการของเตาเผาเกี่ยวกับปริมาณอากาศส่วนเกินจะมี 3 คำถามที่เกิดขึ้นดังนี้

1. มีปริมาณอากาศส่วนเกินอยู่เท่าใด
2. ปริมาณอากาศส่วนเกินควรเป็นเท่าใด
3. เตาเผามีประสิทธิภาพอย่างไร

การวิเคราะห์แก๊สเสียที่ปล่อยออกมา (Flue Gas Analysis) จะเป็นคำตอบในคำถามแรก ปริมาณออกซิเจนในแก๊สเสียจะบอกถึงปริมาณอากาศส่วนเกินที่เข้ามาทำปฏิกิริยาเผาไหม้ ดังภาพที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนในแก๊สเสียที่ระดับปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ สำหรับเชื้อเพลิงที่เป็นแก๊ส



ภาพที่ 2.7 : ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอากาศส่วนเกินกับปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในแก๊สเสีย

ควรรู้ว่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมของเตาเผาแต่ละชนิดเป็นเท่าใด เพราะปริมาณอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของเตาเผาและชนิดของเชื้อเพลิง, ปริมาณอากาศส่วนเกินควรมีปริมาณน้อยๆ ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับแก๊สเสียน้อย เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเตาเผา แต่ถ้ากรณีที่ปริมาณอากาศส่วนเกินมีปริมาณน้อยเกินไปจะเกิดเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด (Unburn Fuel) จนเกิดไปปรากฏที่องค์ประกอบของแก๊สเสีย

ตารางที่ 2.4 : แสดงค่าระดับอากาศสส่วนเกินที่เหมาะสม (Recommended Excess Air Levels)

Fuel/Draft	Natural Draft %	Forced Draft %
Fuel Gas	15 - 20	10 - 15
Light Fuel Oil	20 - 25	15 - 20
Heavy Fuel Oil	25 - 30	20 - 25

2.5.4 **น้ำมันเตา** (Fuel Oil)

น้ำมันเตาเป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบหนัก ที่ได้จากตอนล่างของหอกลั่น อันเป็นส่วนที่เหลือตกค้างอยู่ และไม่สามารถระเหยได้ในหอกลั่นบรรยากาศ แม้ว่าน้ำมันเตาจะเป็น

พวกกากน้ำมัน (Residues Fuel) ที่เหลือจากการกลั่นและมีสิ่งตกค้างต่าง ๆ ปนอยู่มากก็ตาม น้ำมันเตาก็ยังเป็นประโยชน์อย่าง มหาศาล ต่ออุตสาหกรรมรมการผลิตกระแสไฟฟ้า การคมนาคม ขนส่ง เนื่องจากเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาถูกที่สุด

น้ำมันเตาจะมีสีดำเข้ม คล้ายกับน้ำมันดิบ ประกอบด้วย คาร์บอน 86 - 87% , ไฮโดรเจน 11.5 - 12.0% , กำมะถัน 0.5 - 4.0% เถ้า 0.02 - 0.08 % โดยประมาณ ได้มีการจัดแบ่งเกรดและกำหนดคุณสมบัติที่สำคัญของแต่ละเกรดขึ้น โดยสถาบันหรือสมาคมที่ยอมรับกันทั่วโลกดังนี้

1. มาตรฐานอเมริกัน ASTM D-369 (1980)
2. มาตรฐานอังกฤษ BS-2869 for Engine & Burner
3. มาตรฐานญี่ปุ่น JIS K-2205 (1980)
4. กรมธุรกิจพลังงาน

เนื่องจากโรงานต่าง ๆ ต้องการใช้น้ำมันเตาในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่นบางโรงต้องการใช้น้ำมันเตากับหม้อน้ำขนาดเล็ก จึงต้องการน้ำมันที่ใส ไหลง่ายและเผาไหม้ได้หมดจด แต่โรงงานบางแห่งมีความต้องการใช้ในปริมาณมหาศาล จึงคำนึงในเรื่องราคาเป็นหลักโดยพร้อมจะเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถใช้กับน้ำมันเตาที่หนืดมีสิ่งสกปรกและกำมะถันสูง ฉะนั้นน้ำมันเตาจึงมีการแบ่งออกเป็นเกรดต่าง ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ซึ่ง หากพิจารณาถึงคุณสมบัติของน้ำมันเตาแต่ละเกรดแล้วจะพบว่าคุณสมบัติที่แตกต่างกันคือความหนืด จุดไหลเท น้ำและตะกอนและปริมาณกำมะถัน คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเตาจะมีดังนี้

2.5.4.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดคือคุณสมบัติในการต้านทานการไหลและสำคัญที่สุดสำหรับน้ำมันเตา เพราะความหนืดมีส่วนสัมพันธ์กับอัตราการไหลและความยากง่ายต่อการที่น้ำมันถูกฉีดเป็นฝอยละเอียดจากหัวเผา ความหนืดของน้ำมันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ฉะนั้นถ้าน้ำมันเตาได้รับการอุ่นให้ร้อนขึ้นพอเหมาะ การไหลหรือปั๊มก็จะเป็นไปโดยสะดวกรวมถึงการฉีดเป็นฝอยละเอียดที่หัวฉีดด้วย ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยตรง ในทางกลับกัน หากโรงงานไม่มีอุปกรณ์อุ่นที่เพียงพอ อาจมีปัญหาการไหล จุดติดยากเขม่าและก้อนโค้กจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 2.5 : แสดงคุณสมบัติทางด้านต่างๆ ของน้ำมันเตา

Characteristic	Unit	Test Method	Specification				
			FO No.1	FO No.2	FO No.3	FO No.4	FO No.5
Physical Properties							
Color, ASTM	-	ASTM D 1500	8.0 min	-	-	-	-
Volatility							
Specific Gravity @ 60 ^{O}F	-	ASTM D 1298/ D 4052	0.985 max	0.990 max	0.995 max	0.995 max	0.995 max
Flash Point , PMCC	0C	ASTM D 93	60 min	60 min	60 min	60 min	60 min
Cleanliness							
Sulfur Content	% wt	ASTM D 4294	2.0 max	2.0 max	2.0 max	2.0 max	0.5 max
Ash Content	% wt	ASTM D 482	0.1 max	0.1 max	0.1 max	0.1 max	0.1 max
Water and Sediment	% vol	ASTM D 1796	1.0 max	1.0 max	1.0 max	1.0 max	1.0 max
Combustion							
Gross Heat Combustion	cal/g	ASTM D 4868	10,000 min	9,900 min	9,900 min	9,900 min	9,900 min
Fluidity							
Kinematic Viscosity @50oC	cSt	ASTM D 445	7 - 80	81 - 180	181 - 230	231 - 280	-
Kinematic Viscosity @100oC	cSt	ASTM D 445	-	-	-	-	-
Pour Point	^{o}C	ASTM D 97	24 max	24 max	30 max	30 max	57 max

2.5.4.2 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur)

ปริมาณกำมะถันในน้ำมันเตาขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบและเกรดของน้ำมันเตา ซึ่งน้ำมันเตาเกรดที่หนักที่สุดอาจมีกำมะถันถึง 4.0%ความสำคัญของกำมะถันก็เนื่องมาจากความจริงที่ว่า กำมะถันเมื่อเผาไหม้จะกลายเป็นกำมะถันไดออกไซด์ (SO_2) จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศที่เหลือจากการเผาไหม้กลายเป็นกำมะถันไตรออกไซด์ (SO_3) ซึ่งอาจจะ

1.รวมตัวกับน้ำกลายเป็นกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ๆ ไอของกรดจะกลั่นตัวและทำให้เกิดอาการกัดกร่อน ชิ้นส่วนโลหะของเตาเผา
2.ทำปฏิกิริยากับขี้เถ้า (Ash) ที่อยู่ในน้ำมันเตาแล้วก่อตัวเป็น Slagging ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลง

ในกรณีที่ใช้น้ำมันเตาที่มีเปอร์เซ็นต์กำมะถันสูง ๆ เป็นเชื้อเพลิงทางที่จะช่วยลดปัญหาดังคือ พยายามให้น้ำมันเตาเผาไหม้ด้วยการใช้อากาศส่วนเกินน้อยที่สุด (Minimum Excess ir) ซึ่งจะให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับ SO_2 กลายเป็น ไอ SO_3 เป็นส่วนน้อยจะช่วยลดปัญหาได้

2.5.5 คุณสมบัติของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

2.5.5.1 คุณสมบัติทางเคมี

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่มีส่วนประกอบในกลุ่มดังต่อไปนี้

1. โพรเพน (Propane) = C3H8
2. โพรพิลิน (Propylene) = C3H6
3. บิวเทน (Butane) = C4H10
4. บิวทิลีน (Butylenes) = C4H8

ก. สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปรากฏอยู่ในส่วนผสมของก๊าซปิโตรเลียมเหลว อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พวกไฮโครคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) และพวกที่เป็นไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Hydrocarbon)

ข. กลุ่มไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) ได้แก่ โพรเพน (Propane) นอร์มัลบิวเทน (n-butane) ไอโซบิวเทน (iso-butane)

ค. กลุ่มไฮโครคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Unsaturatedhydrocarbon) ได้แก่ โพรพิลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (N-Butylene) ไอโซบิวทิลีน (Iso-Butylene)

ก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ได้มาจากกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วยโพรเพน (Propane) เป็นส่วนใหญ่สัดส่วนของ C_3 และC_4 ขึ้นอยู่กับแหล่งของก๊าซธรรมชาติหากได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบจะประกอบด้วยบิวเทน (Butane) เป็นส่วนใหญ่และอาจมีการผสม C_3 และC_4 ในรูปของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว (Un-Saturated Hydrocarbon) ซึ่งมักจะประกอบด้วยโพรพิลีน (Propylene) นอร์มัลบิวทิลีน (n-butylene) ไอโซบิวทิลีน (iso-butylene)

2.5.6 ปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ (Air Requirement)

ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีส่วนผสมอยู่ในอากาศ 21 % โดยปริมาตรและเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เกิดการเผาไหม้ ดังนั้นปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไปในห้องเผาไหม้จะต้องมีปริมาณที่

แน่นอนในกรณีที่ก๊าซแอลพีจีเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ทั้งหมดก็จะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและการเปลี่ยนแปลงนี้เขียนเป็นสมการเคมีได้ดังต่อไปนี้

$$C_3H_8 + 5O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$ สมการที่ 2.1

$$C_4H_{10} + 6.5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O$$ สมการที่ 2.2

ดังจะเห็นได้จากสมการเหล่านี้ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะเป็น 5 เท่าในกรณีของโพรเพนและ 6.5 เท่าในกรณีของบิวเทน เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในอากาศมีประมาณ 21% ฉะนั้นในการเผาไหม้โพรเพนอย่างสมบูรณ์ 1 ลูกบาศก์เมตรจะต้องใช้อากาศ 24 ลูกบาศก์เมตร ส่วนบิวเทน 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้อากาศ 31 ลูกบาศก์เมตร

2.5.7 **ค่าความร้อนของการเผาไหม้** (Heat Of Combustion)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของก๊าซแอลพีจี หมายถึงค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาก๊าซแอลพีจีหนึ่งหน่วยน้ำหนัก หรือหนึ่งหน่วยปริมาตรมาเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิปกติ (25 องศาเซลเซียส)

ค่าความร้อนของการเผาไหม้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผา

2.5.8 **ค่าความร้อน** (Heating Value or Calorific Value)

ค่าความร้อนของน้ำมันมีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม (Kcal / Kg) ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงหาได้จากเครื่องมือในห้องทดลองเรียกว่า Calorimeter ซึ่งจะให้ค่าความร้อนทั้งหมด (Gross Heating Value) ซึ่งหมายถึงค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้รวมกับค่าความร้อนแฝงที่ได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำซึ่งเกิดจากไฮโดรเจนในน้ำมันเผาไหม้กับออกซิเจนในอากาศ บางทีเรียกว่า Higher Heating Value (HHV)

ส่วน Net Heating Value หรือ Lower Heating Value (LHV) ไม่นับรวมความร้อนแฝงที่ได้จากการกลั่นตัวของไอน้ำเข้ามาด้วย แต่ทั่วไปแล้วการระบุความร้อนของน้ำมันไปคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหรืออื่น ๆ มักจะใช้ Gross Heating Value

2.5.9 **ประสิทธิภาพของเตาเผา** (Furnace Efficiency)

ประสิทธิภาพของเตาเผา หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่าการดูดซับของผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที่ต้องการถ่ายเทความร้อนให้เทียบกับปริมาณความร้อนที่มาจากเชื้อเพลิงที่ให้แก่เตาเผา

$$\text{FURNACE EFFICIENCY} = \frac{\text{AMOUNT OF HEAT ABSORBED}}{\text{AMOUNT OF HEAT INPUT}} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

ค่าประมาณของประสิทธิภาพของเตาเผาเมื่อทำการปรับค่าตัวแปรต่างๆ ประมาณได้ดังนี้ (Rules of Thumb for Chemical Engineers)

เมื่ออุณหภูมิของก๊าซที่เผาไหม้ (Flue Gas) ที่ถูกปล่อยออกบริเวณปล่องของเตาเผา (Stack) เพิ่มขึ้น 20^{o}C ประสิทธิภาพของเตาเผาจะลดลประมาณ 1%

เมื่อปริมาณออกซิเจนที่เป็นส่วนเกินเพิ่มขึ้น 2% ประสิทธิภาพของเตาเผาจะลดลง 1%

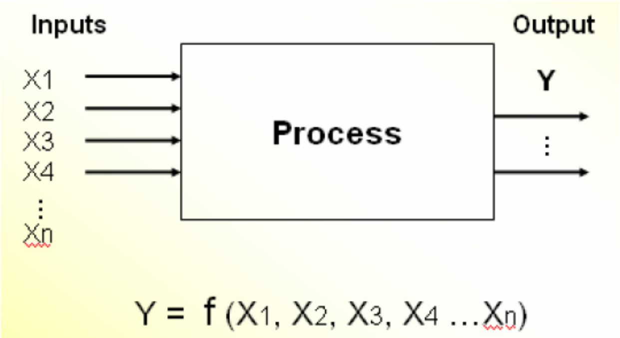
2.5.10 **การประมาณค่าควบคุมของกระบวนการ** (Optimization of Process)

ในทางปฏิบัติจริงพารามิเตอร์ต่างๆ มักจะถูกปรับเปลี่ยนไปตามสภาวะของกระบวนการโดยอิงกับสภาพการณ์ในขณะนั้น เช่น สารตั้งต้นที่เปลี่ยนไป (Feed Composition) สภาพอากาศในเวลานั้น ทำให้ตัวแปรที่ต้องควบคุมมีค่าต่างจากเดิมที่ออกแบบไว้ซึ่งทำให้มีการใช้พลังงานเกินความจำเป็นในบางจุดซึ่งงานวิจัยนี้จะคำนวณค่าที่เหมาะสมกับสภาวะการดำเนินการจริงที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างสูงสุด

2.6 **หลักการการออกแบบการทดลอง** (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลอง [2] คือการกระทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งอาจเป็นงานวิจัยหรืองานทดลองอย่างมีระบบ โดยมีการวางแผน มีสมมุติฐาน การสุ่มตัวอย่าง รวมทั้งสรุปผลโดยวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมและถูกต้อง การออกแบบการทดลองประกอบด้วยสิ่งทดลองที่กำหนดแน่นอนที่จะจัดให้แก่หน่วยทดลอง การออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคที่ใช้อย่างกว้างขวางกับงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ตลอดจนงานทางวิศวกรรม ผู้วิจัยจำเป็นที่ต้องทราบและเข้าใจเกี่ยวกับองค์ความรู้เบื้องต้น และเงื่อนไขของการวางแผนการทดลอง การออกแบบการทดลองได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการวิจัยและพัฒนาเพื่อการสร้างพัฒนาองค์ความรู้ที่น่าเชื่อถือและมีความมั่นใจสูงในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในงานภาคสนามหรือในสถานการณ์จริง ปัจจุบันในภาคอุตสาหกรรมได้ใช้งานวิจัยและพัฒนาเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยี

กิจกรรมดังกล่าวจำเป็นต้องใช้การวางแผนการทดลองที่ดี เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเป็นไปได้สูงในการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการเก็บข้อมูลโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัยนำเข้า (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) ที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.8 : ปัจจัยนำเข้าและผลลัพธ์ของกระบวนการ

จากภาพที่ 2.8 จะเห็นว่ากระบวนการมีปัจจัยนำเข้า (X1, X2, X3, X4) ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบ เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้ช่วยให้มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (Process knowledge) เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป การทดลองแต่ละครั้งจะต้องให้สาระข้อมูลที่สำคัญที่สุดเพราะทรัพยากรมีจำนวนจำกัด ซึ่งการทดลองที่ดี จะให้สาระข้อมูลที่สำคัญและมีคุณภาพมากกว่าการทดลองที่เกิดขึ้นจากงานที่ไม่มีการวางแผนมาก่อน และโดยเฉพาะการทดลองตามแผนที่วางไว้จะสามารถวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้ดีกว่า การทดลองที่มีการออกแบบที่ดีมี 4 ขั้นตอนคือ

1. การวางแผนการทดลอง (Experiment Planning)
2. การคัดเลือกปัจจัย (Screening or Process characterization)
3. การหาค่าที่ดีที่สุดจากผลการทดลอง (Optimization)
4. การทดสอบในกระบวนการจริง (Verification)

2.6.1 การวางแผนการทดลอง (Experiment Planning)

การวางแผนการทดลองที่ดีช่วยลดปัญหาระหว่างการทำการทดลองให้น้อยลง เช่น ลดการขาดแคลนบุคลากร อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง เงินทุน และเรื่องกรรมวิธีการผลิต ซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบถ้วนสมบูรณ์ การเตรียมการทดลองขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่พบขั้นตอนนี้ต้องทำการ

1. กำหนดปัญหา (Define the problem) คือการกำหนดปัญหาให้มีขอบเขตชัดเจจะช่วยให้การกำหนดตัวแปรถูกต้อง เพื่อสามารถตอบคำถามได้ตามที่ต้องการ
2. กำหนดวัตถุประสงค์ (Define the Objective) คือกำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดเจนทำให้มั่นใจว่าการทดลองสามารถตอบคำถามได้ตรง ข้อมูลที่ได้นำมาใช้ได้จริง
3. การสร้างแผนการทดลองเพื่อให้ได้สาระข้อมูลที่ถูกต้อง ในขั้นตอนนี้ควรมีการทบทวนถึงสิ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับหลักการทางทฤษฎีหรือข้อมูลในอดีต เช่น ถ้าต้องการหาว่าปัจจัยหรือเงื่อนไขใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพและความแปรปรวนของกระบวนการ หรือการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดของกระบวนการ
4. กระบวนการและระบบการวัดจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุม โดยหลักทางทฤษฎีทั้งกระบวนการและระบบการวัดควรจะอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ

2.6.2 การคัดเลือกปัจจัย (Screening)

สิ่งทดลอง (Treatment) คือสิ่งที่นำมาศึกษาวัดผล เช่น กระบวนการผลิต ชนิดของวัตถุดิบ การพิจารณาเลือกสิ่งทดลอง จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และชนิดของการวิจัยว่าต้องการวัดผลและเปรียบเทียบอย่างไรจะมีตัวเปรียบเทียบ (Standard หรือ Control) หรือไม่ และจะมีการแบ่งระดับ (Level) ในแตะละปัจจัยที่ศึกษาอย่างไร ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุง วิธีการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์การลดจำนวนตัวแปร ทำให้สามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้นหรือพิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย (Vital Few) การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (Optimal) ของตัวแปร รวมทั้งบอกถึงค่าตอบสนอง (Response) ที่มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ซึ่งมีวิธีที่ใช้ในการคัดเลือกคือ

1. แบบสองระดับ แบบแฟคทอเรียลเต็มรูป แบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน
2. แบบแพล็คเคท-เบอร์แมน มีผลสังเคราะห์น้อยแต่มีประโยชน์มในการคัดเลือก
3. แบบแฟคทอเรียลเต็มรูปทั่วไป ที่ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป ใช้เพื่อการคัดเลือกขนาดเล็ก

การกำหนดขนาดของการทดลองมีหลักช่วยในการตัดสินใจคือมีความเป็นไปได้ในการปฏิบัติจริง จำนวนสิ่งทดลองที่ใช้ ความแปรปรวนของวัตถุดิบหรือสิ่งทดลองที่ใช้ในแตะละหน่วยทดลอง ความแม่นยำ (Accuracy) ในการวัดผล รวมทั้งเงินทุนในการทดลอง ส่วนการเลือกวิธีการการทดลองต้องคำนึงถึงความแปรปรวนที่เกิดขึ้น เพราะในการศึกษาที่มีความละเอียดสูงอาจไม่ได้ผลตามวัตถุประสงค์ ตัวอย่างของความแปรปรวน เช่น ความแปรปรวนจากวัตถุดิบคุณสมบัติของวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการทดลอง ความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อมซึ่งควบคุมได้ยากอาจใช้การทำซ้ำในสถานที่เดียวกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการปฏิบัติการทดลอง

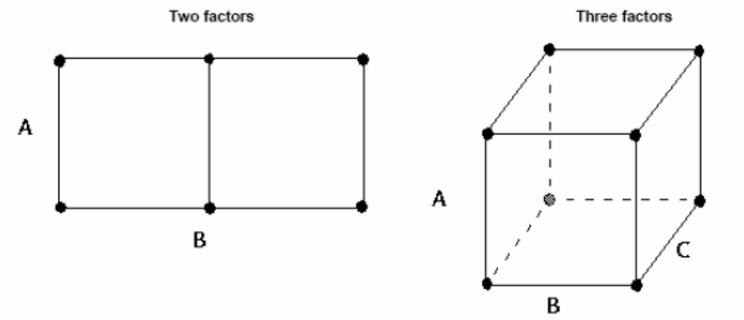
รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบการทดลอง

ก. การออกแบบการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Complete Randomized Design: CRD) ใช้สำหรับกรณีตัวแปรตามมีความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดียวที่มีหลายระดับ การเลือกระดับในการทดลองแต่ละครั้งจะทำแบบสุ่ม โดยข้อมูลในแต่ละระดับไม่ต้องมีจำนวนที่เท่ากัน

ข. การออกแบบการทดลองแบบสุ่มโดยกำจัดปัจจัยที่ไม่ต้องการออก (Randomized Complete Block Design: RCBD) ในการทดลองที่ใช้การจำลอง (Simulation) อาจมีปัจจัยบางตัวที่ควบคุมไม่ได้หรือไม่อยู่ในความสนใจของผู้วิเคราะห์ โดยคาดว่าอิทธิพลของปัจจัยเหล่านั้นส่งผลต่อความแปรปรวนของข้อมูลน้อย ซึ่งสามารถกำจัด (Block) อิทธิพลของปัจจัยเหล่านั้นออกไป

ค. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Designs : FD) สามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อมกันได้ เมื่อทำการทดลองควรเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆ กันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย โดยอิทธิพลร่วมคือผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลายกระบวนการ ถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วมได้ชัดเจน

ง. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial) จะวัดค่าตอบสนองที่ทุกเงื่อนไขของทุกค่าระดับปัจจัยที่มีในการทดลองเงื่อนไขการทดลอง (Combination of FactorLevels) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนอง โดยที่เงื่อนไขการทดลองแต่ละอันจะเรียกว่า รัน (Run) และมีการทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนองและชุดข้อมูลทั้งหมดในทุกรันจะเรียกว่า แบบการทดลอง (Design)



ภาพที่ 2.9 : มุมมองเชิงเรขาคณิต

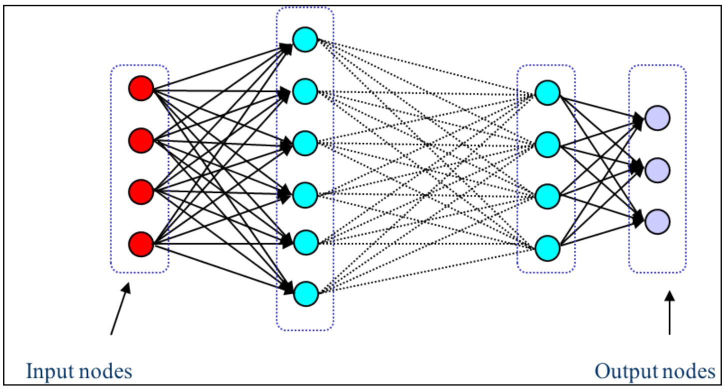
2.6.3 **การหาค่าที่ดีที่สุด** (Optimization)

หลังจากที่มีการคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญจำนวนน้อย จะต้องหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งค่าปัจจัยที่ดีที่สุดจะขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทดลองด้วย เช่น วัตถุประสงค์คือการหาค่าร้อยละของของดี (Yield) ของกระบวนการที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าความแปรปรวนของกระบวนการน้อยที่สุด ซึ่งในภาพรวม แฟคทอเรียล ดีไซน์ เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของแฟคทอเรียลสองระดับ แพล็คเคท-เบอร์แมน และแฟคทอเรียลเต็มรูปทั่วไป

2.7 **การสร้างแบบจำลองจากข่ายงานนิวรัล** (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) [10] หรือที่มักจะเรียกสั้นๆ ว่า โครงข่ายงานประสาท (Neural Network) คือโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถ ในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ และการทำนายอนาคตเช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ จากลักษณะและการทำงานของเซลล์ประสาทหรือนิวรอน ดังที่กล่าวมาข้างต้นได้ถูกนำมาสร้างทฤษฎีทางคณิตศาสตร์และจำลองการทำงานในรูปแบบพื้นฐานโดยใช้ชื่อว่าโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมแบบง่ายจะมีค่าอินพุตเป็นสเกลาร์หนึ่งอินพุต โดยค่าอินพุตสเกลาร์จะถูกป้อนเข้าผ่านจุดต่อและคูณกับค่าความแข็งแรง (Strength) ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักสเกลาร์ (Scalar Weight) และได้ผลคูณเป็นค่าสเกลาร์กลายเป็นค่าอินพุตที่ถูกจัดน้ำหนัก (Weighted Input) ส่งต่อไปยังฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ซึ่งเกิดเป็นค่าเอาต์พุตสเกลาร์ (Scalar Output) ในที่นี้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชันขั้นบันไดหรือฟังก์ชันซิกมอยด์ เป็นต้น ทำหน้าที่รับค่าอินพุตเพื่อเปลี่ยนเป็นค่าเอาต์พุตสำหรับค่าน้ำหนักเป็นค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับได้



ภาพที่ 2.10 : แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network)

2.7.1 **หน่วยประมวลผล**

โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยนิวรอนหรือหน่วยประมวลผลจำนวนมากซึ่งข้อมูลขาเข้าจะถูกกระตุ้นให้เกิดข้อมูลขาออกโดยจะแตกต่างกันขึ้นกับค่าที่ถ่วงน้ำหนักของการเชื่อมต่อภายในโครงข่าย หลักการทำงานเบื้องต้นของโครงข่ายดังแสดงในสมการ

$$yi(t+1) = a\sum_{j=1}^{\square} WijXi(t) - \theta i) \qquad \text{สมการที่ 2.3}$$

เมื่อ

$yi(t+1)$	คือ ค่าคงที่ของข้อมูลขาออก ณ เวลา t+1
Xi	คือ ค่าคงที่ของข้อมูลขาเข้า ณ เวลา t
Wij	คือ ค่าคงที่ถ่วงน้ำหนัก
θi	คือ ค่าคงที่ไบแอส
a(f)	คือ ฟังก์ชั่นการกระตุ้น
m	คือ จำนวนตัวแปรข้อมูลขาเข้าทั้งหมด

2.7.2 แบบจำลองของข่ายงานนิวรัลในปัจจุบัน (Artificial Neural Network)

แบบจำลองของข่ายงานนิวรัลในปัจจุบันประกอบด้วยชั้นของนิวรัลและส่วนเชื่อมโยงระหว่างนิวรัลหนึ่งไปอีกนิวรัลหนึ่งเรียกว่าน้ำหนัก (weight) อินพุทของนิวรัลจะถูกนำมารวมกันโดยฟังก์ชันมูลฐาน (basis function) และส่งเอาท์พุทที่ออกจากฟังก์ชันมูลฐานไปแปลงด้วยฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) ซึ่งจะได้เอาท์พุทของนิวรัล และส่งเอาท์พุทของนิวรัลนี้ไปเป็นอินพุทของนิวรัลในชั้นถัดไป ดังนั้นองค์ประกอบและหน้าที่ของนิวรัลที่เลียนแบบการทำงานของระบบประสาทมนุษย์จะมีดังต่อไปนี้

2.7.3 องค์ประกอบและหน้าที่ของนิวรัล

องค์ประกอบของนิวรัลประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญคือ

1. หน่วยประมวลผล (Processing Elements) เรียกว่า node
2. การเชื่อมต่อแบบซินแนพส์ (Synaptic Connection) เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างนิวรัลใน แต่ละชั้นสำหรับการส่งข้อมูลที่ประมวลผลได้จากนิวรัลหนึ่งไปยังอีกนิวรัลหนึ่ง
3. ค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าไบแอส (Bias) ทำหน้าที่ในการขยายหรือลดขนาดของสัญญาณที่เข้าสู่นิวรัลโดยผ่านการเชื่อมต่อแบบซินแนพส์

ข่ายงานนิวรัลแต่ละนิวรัลจะมีการเชื่อมโยงระหว่างชั้นจากนิวรัลหนึ่งไปสู่อีกนิวรัลหนึ่งโดยใช้ค่าน้ำหนัก และในนิวรัลหนึ่งๆจะมีสภาวะภายในการแปลงค่าอินพุทที่ได้รับเข้ามาให้เป็นเอาท์พุทโดยการใช้ฟังก์ชันมูลฐานและฟังก์ชันกระตุ้น ซึ่งค่าเอาท์พุทของนิวรัลนี้จะส่งเป็นอินพุทให้กับนิวรัลในชั้นถัดไปดังรายละเอียดต่อไปนี้

แต่ละนิวรัล y จะได้รับอินพุทที่ส่งมาจากชั้นก่อนหน้านี้ ซึ่งอินพุทคือ $x_1, x_2, \ldots, x_n$ และค่าน้ำหนักที่เชื่อมระหว่าง x_i กับ y คือ w_i วิธีการหาเอาท์พุทของนิวรัล y คือ ผลรวมของอินพุทคูณกับน้ำหนัก ถ้ามีเทอมไบแอส (b) ก็สามารถนำเทอมไบแอสรวมด้วยดังสมการที่ 3.2

$$y_{in} = b + w_1x_1 + w_2x_2 + w_nx_n \qquad \text{สมการที่ 2.4}$$

และนำค่า y_{in} คำนวณผ่านฟังก์ชันกระตุ้น เช่นฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์คือ logistic sigmoid function จะได้เอาท์พุทคือ

$$y = f(y_{in}) = \frac{1}{(1+\exp^{(-yin)})} \qquad \text{สมการที่ 2.5}$$

เอาท์พุท y นี้ก็จะส่งไปเป็นเป็นอินพุทให้กับนิวรัลในชั้นถัดไปสรุปหน้าที่ของนิวรัลแต่ละหน่วยซึ่งแสดงในภาพที่ 2.10 มีดังนี้

1. รับสัญญาณจากนิวรัลหน่วยอื่นๆ
2. รวมสัญญาณจากนิวรัลหน่วยอื่นเข้าด้วยกันโดยใช้ฟังก์ชันมูลฐาน
3. แปลงสัญญาณที่รวมได้โดยใช้ฟังก์ชันกระตุ้น
4. ส่งผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันกระตุ้นไปยังนิวรัลถัดไป

2.7.4 พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสำหรับการทำงานของนิวรัล

2.7.4.1 น้ำหนัก (Weight)

น้ำหนักหรือที่เรียกว่าสัญญาณเชื่อมโยงระหว่างนิวรัล จะถูกปรับเปลี่ยนค่าอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการเรียนรู้ข่ายงานสร้างแบบจำลองภายในขึ้นมาเพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับระบบที่สนใจแบบจำลองภายในที่สร้างขึ้นมาจะสามารถใช้แทนแบบจำลองของกระบวนการได้ก็ต่อเมื่อผลลัพธ์ที่ออกจากระบบมีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ออกจากข่ายงานนั่นคือความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ออกจากระบบกับผลลัพธ์ที่ออกจากข่ายงานต้องมีค่าน้อยที่สุดและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

2.7.4.2 ฟังก์ชันมูลฐาน (Basis Function)

ฟังก์ชันมูลฐานคือการแทนการแมพพิงก์ (Mapping) ทางคณิตศาสตร์ด้วยฟังก์ชัน u(w,x) เมื่อ w คือแมทริกซ์ของน้ำหนัก และ x คืออินพุทเวคเตอร์ ฟังก์ชันมูลฐานทำหน้าที่ในการรวมสัญญาณที่ได้รับมาจากนิวรัลหน่วยอื่นๆเข้าด้วยกันและฟังก์ชันกระตุ้นจึงแปลงสัญญาณนี้เป็นเอาท์พุทของนิวรัล ฟังก์ชันมูลฐานสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ฟังก์ชันมูลฐานเชิงเส้นและฟังก์ชันมูลฐานรัศมี

2.7.4.3 ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)

ค่า net ที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันมูลฐาน u(w,x) จะถูกแปลงค่าโดยใช้ฟังก์ชันกระตุ้นไม่เชิงเส้น (Nonlinear Activation Function) ฟังก์ชันที่ส่วนใหญ่นิยมใช้ทั่วไป เช่นฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function), ฟังก์ชันแรมป์ (Ramp Function), ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function),ฟังชันไบโพลาร์ (Bipolar Function), ฟังก์ชันเกาส์เสียน (Gaussian Function)

ก. ฟังก์ชันสเต็พ (Step function)

$$f(net) = \begin{cases} 1 \text{ if net} > 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

ข. ฟังก์ชันแรมพ์ (Ramp Function)

$$f(net) = \begin{cases} 1 \text{ if net } \geq 0 \\ \text{net if } |\text{net}| < 1 \\ -1 \text{ if net } \leq -1 \end{cases}$$

ค. ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid Function)

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net/\lambda}}$$

ส่วนใหญ่แล้วฟังก์ชันกระตุ้นที่นิยมคือฟังก์ชันซิกมอยด์ ซึ่งจะมีการแปลงค่าอินพุทที่มีค่าบวกมากๆให้เข้าใกล้ 1 หรือค่าลบมากๆให้ใกล้ 0 ดังสมการ 3.9 ดังนั้นช่วงของฟังก์ชันซิกมอยด์จะมีค่าระหว่าง [0,1]

ง. ฟังก์ชันเกาส์เสียน (Gaussian Function)

$$f(net) = ce^{-\frac{net^2}{\lambda^2}}$$

ฟังก์ชันเกาส์เสียนนี้มีค่ามากสุดอยู่ที่ 1 ส่วนใหญ่จะใช้กับอัลกอริธึมแบบข่ายงานรัศมี (Radial Basis Function Network) สำหรับฟังก์ชันอื่นที่ใช้กันแต่ไม่นิยมมากนักได้แก่ฟังก์ชันไบโพลาร์, ฟังก์ชันอารค์แทนเจนท์, ฟังก์ชันไบโพลาร์อารค์แทนแจนต์

ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multi-layer perceptron โดยมีการเรียนรู้แบบ Back-propagation ซึ่งมีโครงสร้างการทำงานมากกว่า 1 ชั้น แบบจำลองจะประกอบไปด้วยโครงสร้าง 3 ชั้นคือ ชั้นข้อมูลขาเข้า ชั้นแอบแฝง และชั้นข้อมูลขาออก ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ (Sigmoid Function) สำหรับการพิจารณาคัดเลือกข่ายงานที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้ได้นำดัชนีมาเปรียบเทียบเพื่อเป็นตัวตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ข่ายงานใด คือ ค่า Mean Square Error (MSE) และ ค่า Root Mean Square Error (RMS) ซึ่ง

พิจารณาจากความแตกต่างระหว่างผลจากการทำนายและผลจากการทดลองโดยเลือกข่ายงานที่สามารถให้ค่า MSE และ RMS นี้ต่ำสุด ดังนี้

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - p_i)^2 \qquad \text{สมการที่ 2.6}$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n}(y_i - p_i)^2\right)} \qquad \text{สมการที่ 2.7}$$

งานวิจัยนี้ได้นำค่าฟังก์ชันประสิทธิภาพ (Performance Function) ใช้สำหรับทดสอบซึ่งสามารถบอกเปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดระหว่างเอาท์พุทของข่ายงานกับค่าจากข้อมูลจริงได้แก่ Root Mean Square Percent Error Index (RMSP Error Index)

$$RMSP \text{ Error index} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} p_i^2}} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 2.7}$$

Maximum Percent Error Index (MP Error Index)

$$MP \text{ Error index} = \frac{\max\left|y_i - p_i\right|}{\max\left|p_i\right|} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 2.8}$$

การหาสมรรถนะความถูกต้องในการทำนาย (Accuracy Performance) ของข่ายงานเพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดหาจากสมการ

$$Accuracy\ performance = 100 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(RMSP_i \times MP_i)}{n} \qquad \text{สมการที่ 2.9}$$

2.7.5 โปรแกรมที่ใช้ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมได้ใช้โปรแกรม Pythia Version 1.02 [10] โดยใช้อัลกอริทึมแบบแบ็คพรอพาเกชั่น (Back Propagation Algorithm) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม (Weights) เป็นค่าแบบสุ่ม ซึ่งในระหว่างช่วงเรียนรู้ค่าผลลัพท์ที่ได้จากโครงช่ายประสาทเทียมจะถูกนำมาเปรียบเทียบค่าเอาท์พุทกับค่าเอาท์พุทเป้าหมายแล้วคำนวณค่าผิดพลาดเพื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักให้ได้เอาท์พุทที่ใกล้เคียงหรือเท่ากับเอาท์พุทเป้าหมาย

2.8 การสร้างแบบจำลองกระบวนการ

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวกรวดเร็วและมีความถูกต้องสูง โปรแกรมไฮซิส [13] เป็นโปรแกรมทางด้านวิศวกรรมเพื่อใช้จำลองแบบกระบวนการผลิตสำหรับใช้ในการแก้ปัญหาด้านต่างๆของกระบวนการ ในการสร้างแบบจำลองหน่วยการผลิตจะเป็นการจำลองในสภาวะคงตัว เพื่อลดความยุ่งยากของขั้นตอนในการผลิตต่างๆ แต่คงไว้และให้ความสำคัญกับอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่สำคัญของกระบวนการผลิตเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตรวจสอบกลับได้ง่าย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะต้องยังสามารถเป็นตัวแทนของกระบวนการผลิตได้จริง

สมการของสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่ถูกใช้ในการคำนวณและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง ผู้ออกแบบจำลองจึงต้องเลือกใช้สมการสภาวะ (Equation of State) ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตนั้นๆ

สำหรับขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองกระบวนการมีดังนี้

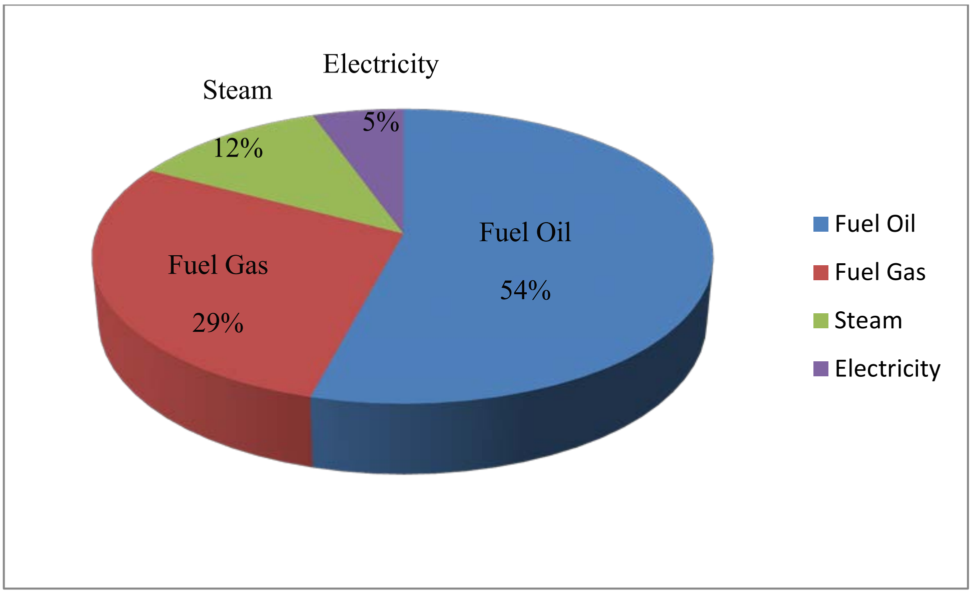
1. เลือกข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงในช่วงที่อยู่ในภาวะที่มีความเสถียร
2. ใช้โปรแกรมไฮซิสสร้างแบบจำลองจากแผนภาพกระบวนการผลิต
3. ใส่คุณสมบัติของสารป้อนในแบบจำลอง
4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลอง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะนำหลักการหรือทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานมาปรับปรุงกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แนวคิดคือการหาสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสม ควบคุมตัวแปรต่างในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานเพื่อเป็นการลดการใช้ลงและทำการคำนวณหาอัตราส่วนอากาศที่ป้อนให้แก่เตาเผาต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสูงสุด

3.1 การใช้พลังงานในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

ในการบวนการสกัดแยกแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายนี้จำเป็นต้องให้พลังงานในแก่กระบวนการเพื่อให้การแยกเอา Deasphalted Oil ออกจาก Asphaltene มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและใช้ในการนำสารละลายที่ใช้ในการสกัดแยกแล้วกลับมาใช้ในกระบวนการใหม่ (Recovery Solvent) และยังมีการใช้ไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการนี้ด้วย



ภาพที่ 3.1 : แผนภูมิการใช้พลังงานเฉลี่ยในหน่วยสกัดแยกแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2553 - กรกฎาคม 2554

จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานชนิดต่างๆในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายจะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้ Fuel Oil และ Fuel Gas มีมากถึง 83 % ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการซึ่งจะทำการศึกษาถึงกระบวนการใช้อย่างละเอียดต่อไป

3.2 ประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการกำกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

เตาเผา (Fired Furnace) ที่ใช้ในกระบวนการนี้ได้ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 85 % แต่จากการดำเนินการจริงพบว่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ออกแบบไว้โดยการคำนวณประสิทธิภาพนั้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

3.2.1 วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาเผาอุตสาหกรรมมีดังนี้

1. หา LHV_{avg} ของ Fuel Gas

$$MW_{avg} = \sum_{i=1}^{n} Y_i * MW_i \qquad \text{สมการที่ 3.1}$$

$$LHV_{avg} = \sum_{i=1}^{n} (Y_i * LHV_i) \qquad \text{สมการที่ 3.2}$$

Y_i = Mole Fraction ของก๊าซชนิดต่างๆ

MW_i = มวลโมเลกุลของก๊าซชนิดต่างๆ

LHV_i = ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value) ของก๊าซชนิดนั้นๆ

2. หาอัตราส่วนของก๊าซไฮโดรเจนต่อก๊าซคาร์บอนและเปอร์เซ็นต์ของอากาศที่เกินโดยรู้เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน

3. หาความชื้นในก๊าซเสียเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจากสมการ

$$(1+134C+\frac{B}{A})/(1.82\times(1+2.1C+0.92\frac{B}{A} \qquad \text{สมการที่ 3.3}$$

4. หาค่าความร้อนของก๊าซเสียโดยค่าอุณหภูมิของก๊าซเสียและความชื้นในก๊าซ

5. หาประสิทธิภาพของเตาเผาจากค่าความร้อนต่ำจากสมการ

$$1-((12.51E\times(1+2.84C+0.92\frac{B}{A}))/(D\times(C+1)-8.733C)) \qquad \text{สมการที่ 3.4}$$

6. ผลจากข้อ 4 ลบด้วยการสูญเสียจากการแผ่รังสีซึ่งมีค่า 2 %

สัญลักษณ์ A = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

B = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของก๊าซออกซิเจน

C = อัตราส่วนของก๊าซไฮโดรเจนต่อคาร์บอน

D = ค่าความร้อนสูงของก๊าซเชื้อเพลิง (Btu/lb)

E = ค่าความร้อนเสียของก๊าซเสีย (Btu/lb)

3.3 การคำนวนประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

ในกระบวนการนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ใช้ในการแยกสารละลายที่ใช้ในการสกัดเพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการใหม่อีกครั้งซึ่งจำเป็นต้องใช้ตัวกลางก็คือ Hot Oil ที่ถูกให้ความร้อนจากเตาเผามาแลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลในกระบวนการ

3.3.1การคำนวนประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

วิธีการคำนวณประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้ดังนี้

1) คำนวณพลังงานความร้อนที่ให้หรือรับของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

พลังงานที่ส่งเข้าหรือรับโดยมีการเปลี่ยนสถานะ

$$Q_L = M_L L_C \qquad \text{สมการที่ 3.5}$$

โดยที่ Q_L = พลังงานที่ส่งเข้าหรือรับโดยมีการเปลี่ยนสถานะ (kcal/hr)

M_L = อัตราการไหลเข้าหรือออกของสารที่เกิดการเปลี่ยนสถานะ (kg/hr)

L_C = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอหรือความร้อนแฝงของการควบแน่นของสารร้อนแล้วแต่กรณี (kcal/kg)

พลังงานที่ส่งเข้าหรือรับโดยมีการเปลี่ยนอุณหภูมิสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$Q_S = M_S C_P \Delta T \qquad \text{สมการที่ 3.6}$$

โดยที่ Q_S = พลังงานที่ส่งเข้าหรือรับโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (kcal/hr)

M_S = อัตราการไหลเข้าหรือออกของสาร (kg/hr)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิทางเข้ากับทางออกของสาร (^{O}C)

C_P = ค่าความร้อนจำเพาะของสาร (Kcal/kg-^{O}C)

พลังงานที่ส่งเข้าหรือรับทั้งหมด

$$Q_T = Q_L + Q_S \qquad \text{สมการที่ 3.7}$$

โดยที่ Q_T = พลังงานที่ส่งเข้าหรือรับทั้งหมด (kcal/hr)

2) คำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากสมการต่อไปนี้

$$Q = U \times A \times F \times LMTD \qquad \text{สมการที่ 3.8}$$

$$U = Q / (A \times F \times LMTD) \qquad \text{สมการที่ 3.9}$$

$$LMTD = \frac{(T1 - t0) - (T0 - t1)}{\ln \frac{(T1 - t0)}{(T0 - t1)}} \qquad \text{สมการที่ 3.10}$$

โดยที่

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (kcal)

A = พื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อน (m^2)

F = ค่าปรับแก้ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (หรือสามารถใช้ค่าเท่ากับ 1)

T_1 = อุณหภูมิทางเข้าของสารร้อน (^{O}C)

T_0 = อุณหภูมิทางออกของสารร้อน (^{O}C)

t_1 = อุณหภูมิทางเข้าของสารเย็น (^{O}C)

t_0 = อุณหภูมิทางออกของสารเย็น (^{O}C)

Q = พลังงานที่ส่งเข้าหรือรับทั้งหมด (kcal/hr)

3) คำนวณประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่ออกแบบไว้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน} = \frac{Ucal}{Udesign} \times 100 \qquad \text{สมการที่ 3.11}$$

3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผา

ในการทดลองนี้จะใช้การการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) ที่มีค่าปัจจัย (แฟคเตอร์) 3 ค่าและในแต่ละปัจจัยมีค่าระดับแตกต่างกันเพื่อสามารถศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อมกันได้ เมื่อทำการทดลองเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆ กันจะสามารถวิเคราะห์เรื่องของอิทธิพลร่วม (Interaction) ได้ด้วย

โดยการทดลองนี้จะใช้ปัจจัย 2 ค่าคือ

1. ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (Excess O_2)
2. อุณหภูมิของแก๊สเสีย (Flue Gas Temperature)
3. ชนิดของแก๊สเชื้อเพลิง (% C_3 in Compositions)

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองเก็บข้อมูลการดำเนินการในช่วงเวลาตั้งแต่มกราคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2553 โดยในส่วนของการคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการจำเป็นต้องทราบถึงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแก๊สและเชื้อเพลิงเหลวเพื่อคำนวนหาค่าความร้อนและองค์ประกอบของแก๊สเสียเพื่อวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบที่เหลือจากการเผาไหม้จากเตาเผา

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแก๊สตั้งแต่เดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2553

องค์ประกอบ	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน
C_1	0.52	4.75	5.68	0.56	0.57	0.63
C_2	1.52	1.95	2.54	2.12	1.6	2.62
C_3	26.42	23.4	19.92	34.89	35.19	30.06
$i\text{-}C_4$	5.19	2.88	4.97	7.14	6.93	8.33
$n\text{-}C_4$	4.77	1.93	3.24	4.18	3.3	12.79
$C_5=, C_6+$	0.35	0.58	0.56	0	0.27	0.64
$i\text{-}C_5$	0.3	0	0	0.4	0	0
$n\text{-}C_5$	0.2	0	0	0.4	0	0.4
H_2	50.92	53.1	49.66	34.89	30.7	35.97
$C_2=$	0.2	2.2	2.24	0.1	0.15	0.13
$C_3=$	0.17	0.18	0.12	0.93	0.4	0.37
$C_4=$	6.29	4.93	7.11	12.55	19.51	5.79
CO_2	1.89	1.68	1.72	1.1	1.4	1.39
N_2	1.27	2.45	2.24	0.73	0	0.87

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแก๊สตั้งแต่เดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2553

องค์ประกอบ	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
C_1	0.59	0.59	0.49	0.65	0.88	0.74
C_2	1.88	1.82	1.13	1.67	1.61	1.56
C_3	35.44	23.88	21.81	35.07	22.07	46.05
$i\text{-}C_4$	5.84	8.40	5.89	6.65	6.05	5.40
$n\text{-}C_4$	3.70	7.86	4.15	3.29	5.19	2.89
C_5=, C_6+	0.19	0.25	0.22	0.17	1.27	1.50
$i\text{-}C_5$	4.03	2.92	4.85	0.00	0.00	0.00
$n\text{-}C_5$	3.66	3.28	4.57	0.00	0.49	0.00
H_2	36.03	41.47	43.27	36.96	47.51	31.45
C_2=	0.19	0.17	0.21	0.22	0.34	0.17
C_3=	0.19	0.69	1.19	0.60	0.29	0.32
C_4=	6.23	5.90	9.28	12.07	7.74	7.94
CO_2	1.34	1.70	1.92	1.69	2.44	1.25
N_2	0.70	1.08	1.02	0.97	4.12	0.74
ผลรวม	100	100	100	100	100	100

ตารางที่ 3.2 : องค์ประกอบของแก๊สเสีย (Flue Gas) ที่ออกจากบริเวณปล่องของเตาเผาตั้งแต่เดือนมกราคม 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2553

Sample Name	Items	Temp.	O_2	CO_2	NO	NO_2	NOx	CO	SO_2
	Units	°C	%vol.	%vol.	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Flue Gas	มกราคม	311.6	3.1	10.2	115	N.D.	115	1	228
Flue Gas	กุมภาพันธ์	331.6	4.8	9.2	83	N.D.	83	N.D.	144
Flue Gas	มีนาคม	319	3.7	9.8	107	N.D.	107	1	170
Flue Gas	เมษายน	317.1	4	9.7	107	N.D.	107	1	215
Flue Gas	พฤษภาคม	315.1	3.3	10	76	N.D.	76	10	167
Flue Gas	มิถุนายน	311.7	3.7	9.8	101	N.D.	101	2	191
Flue Gas	กรกฎาคม	318.7	3.7	9.8	114	N.D.	114	N.D.	201
Flue Gas	สิงหาคม	312.2	3.5	9.9	130	N.D.	130	1	238
Flue Gas	กันยายน	329.3	5.3	8.9	123	N.D.	123	N.D.	133
Flue Gas	ตุลาคม	322.7	3.2	10.1	99	N.D.	99	N.D.	210
Flue Gas	พฤศจิกายน	314.3	3.3	10.1	100	N.D.	100	2	190
Flue Gas	ธันวาคม	316.7	4.1	9.6	105	N.D.	105	2	220

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันเตาที่ใช้ตั้งแต่ มกราคม 2553 ถึงธันวาคม 2553

DATE	SPECIFIC GRAVITY @ 60/60 °F	DENSITY@ 15 oC	KINEMATIC VISCOSITY	SULFUR CONTENT	HEAT OF COMBUSTION		ASH	WATER
					LHV	HHV		
		g/cm3	@ 50 °C cSt	%wt	Kcal/kg	Kcal/kg	% wt	%vol
มกราคม	0.938	0.9385	106.2	0.995	9,867	10,463	0.013	
กุมภาพันธ์	0.923	0.9224	89.40	0.58	9,948	10,558	0.014	0.05
มีนาคม	0.9228	0.9223	92.47	0.62	9,946	10,555	0.009	0.05
เมษายน	0.9222	0.9217	95.18	0.72	9,940	10,549	0.007	0.05
พฤษภาคม	0.9195	0.919	87.31	0.62	9,956	10,568		
มิถุนายน	0.9247	0.9242	113.10	0.56	9,945	10,554		0.05
กรกฎาคม	0.9333	0.9328	145.60	0.58	9,916	10,518	0.010	0.05
สิงหาคม	0.9331	0.9325	124.30	0.60	9,911	10,513	0.002	0.05
กันยายน	0.9245	0.924	97.98	0.78	9,928	10,536		
ตุลาคม	0.9235	0.923	116.60	0.57	9,947	10,556	0.012	0.05
พฤศจิกายน	0.932	0.931	160.60	0.59	9,916	10,522	0.001	0.05
ธันวาคม	0.936	0.9354	245.30	0.54	9,911	10,511		

สรุปขั้นตอนการคำนวนหาประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการสกัดแยกแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายที่สภาวะต่างๆ เพื่อทำการหาแบบจำลองของเตาเผา (Model)

1. ค่าออกซิเจนส่วนเกิน (O_2 Excess) ทดลองปรับค่าตั้งแต่ 2.5 – 5 %
2. อุณหภูมิของแก๊สเสีย (Flue Gas) ทดลองปรับค่าตั้งแต่ 310 – 330 °C
3. ค่าความร้อนของเชื้อเพลงแก๊สโดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบ C_3 ที่มีอยู่ในแก๊สเชื้อเพลิงนั้น ทดลองปรับค่าตั้งแต่ 50 % - 10 %

ผลการคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาเผาที่สภาวะต่างๆแสดงในภาคผนวก ก-1

3.5 ขั้นตอนการทดลองข่ายงานนิวรัลสำหรับสร้างแบบจำลอง

หลังจากที่ได้ข้อมูลจากการทดลองการคำนวนหาประสิทธิภาพของเตาเผามาแล้วจึงนำข้อมูลเหล่านี้มาแบ่งออกเป็น 3 ชุด โดยข้อมูลชุดที่ 1 (70% ของข้อมูลทั้งหมด) ใช้สำหรับฝึกข่ายงานนิวรัล, ข้อมูลชุดที่ 2 (20% ของข้อมูลทั้งหมด) ใช้สำหรับทดสอบความสามารถของข่ายงานนิวรัลและชุดที่ 3 (10% ของข้อมูลทั้งหมด) ใช้สำหรับทำสอบข่ายงานในการใช้งานจริงโดยกำหนดค่าอินพุท 3 ค่า และเอาท์พุท 1 ค่า

สรุปขั้นตอนการศึกษาแบบจำลองข่ายงานนิวรัล

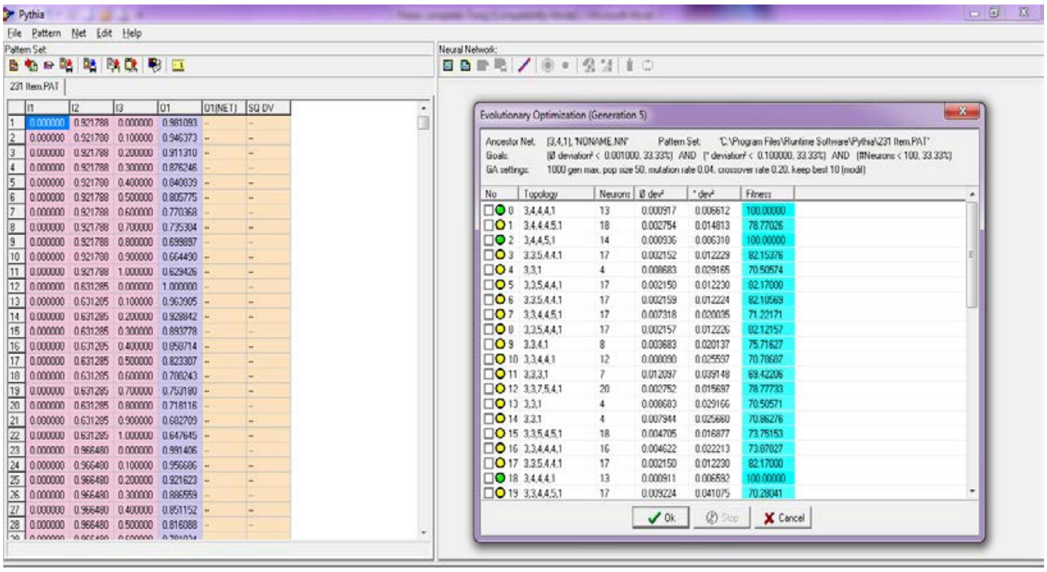
1. แบ่งข้อมูลที่ได้จากการคำนวนประสิทธิภาพของเตาเผาที่สภาวะต่างๆ 300 ข้อมูลออกเป็น 3 ชุดคือ ข้อมูลสำหรับฝึกข่ายงาน (70% ของข้อมูลทั้งหมด) ข้อมูลสำหรับทดสอบความสามารถของข่ายงาน (20% ของข้อมูลทั้งหมด) และข้อมูลสำหรับทดสอบข่ายงานในการใช้งานจริง (10% ของข้อมูลทั้งหมด)
2. ออกแบบโครงสร้างข่ายงานนิวรัล
3. ทำการฝึกและทดสอบข่ายงานพร้อมทั้งคัดเลือกข่ายงานเพื่อใช้เป็นแบบจำลอง
4. นำแบบจำลองที่ได้ไปทดสอบกับชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบข่ายงานในการใช้จริง

ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการทำนาย

1. เปรียบเทียบผลการทำนายโดยใช้ RMSP (Root Mean Square Percent Error) และ MP (Maximum Percent Error)
2. นำผลการทำนายที่ได้เปรียบเทียบระหว่างผลจากการทดลอง (Experiment) กับผลจากแบบจำลองข่ายงานนิวรัล (Neural Network Model)

3.6 การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการสกัดแยกแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

ผลจากการคำนวนหาประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการที่สภาวะต่างๆกัน นำมาจัดเตรียมเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับสำหรับการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมในขั้นต่อไป โดยขั้นแรกนำข้อมูลประสิทธิภาพของเตาเผาที่ได้มาใส่ในโปรแกรม Phythia เพื่อคำนวนหาจำนวนของชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสมซึ่งผลจากการคำนวนหาจำนวนชั้นของชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสมพบว่ามีโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมได้หลายรูปแบบดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 : ผลการคำนวนหาจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสมในโปรแกรม Pythia

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการคำนวนหาจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสม

รูปแบบที่	รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม (Topology)	จำนวนนิวรอน (Neurons)
1	3,4,1	5
2	3,4,3,5,1	13
3	3,7,5,3,4,1	20

ในขั้นต่อไปจะทำการทดสอบแบบจำลองทั้ง 4 แบบข้างต้นเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสม โดยทำการฝึกข่ายเรียนรู้และนำผลที่จำลองได้มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ได้จากการคำนวนหาประสิทธิภาพเมื่อฝึกครบทั้ง 3 ข่ายงานแล้วจึงพิจารณาเลือกข่ายงานที่แม่นยำที่สุดโดยการคำนวนหาค่า Mean Square Error (MSE) และ ค่า Root Mean Square Error (RMS) จากข่ายงานที่ให้ค่าผิดพลาดทั้ง 2 แบบน้อยที่สุด จากนั้นจึงทำการทดสอบความแม่นยำของตัวแบบด้วยการคำนวนหาค่า Root Mean Square Percent Error Index (RMSP Error Index) และค่า Maximum Percent Error Index (MP Error Index) เพื่อบอกเปอร์เซนต์ค่าความผิดพลาดระหว่างเอาท์พุทของข่ายงานกับค่าจากข้อมูลจริงจากนั้นจึงทดสอบความถูกต้องกับข้อมูลชุดสุดท้ายและคำนวนค่าสมรรถนะความถูกต้องในการทำนาย (Accuracy Performance) เพื่อพิสูจน์ความถูกต้องของข่ายงานที่ออกแบบ

3.6.1 การสร้างแบบจำลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาเผาจากโครงข่ายแบบที่ 1

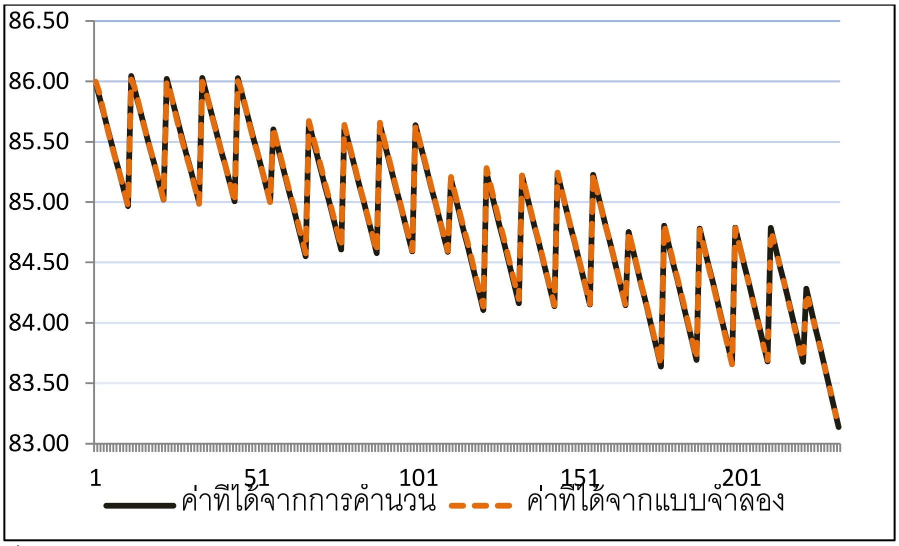
ทำการสร้างรูปแบบการพยากรณ์โดยโปรแกรม Pythia โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน	5 นิวรอน
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน	1×10^{-4}
ค่าอัตราการเรียนรู้ของชั้นซ่อน	0.5
ค่าอัตราการเรียนรู้ของชั้นเอาท์พุท	0.5
ค่าน้ำหนักเริ่มต้น	-0.1 – 0.1
จำนวนรอบของการเรียนรู้	10,000 รอบ

ค่าประสิทธิภาพของเตาเผาที่คำนวนได้เฉลี่ยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองโดยเฉลี่ยแสดงดังตาราง (ผลการทดลองทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก.1)

ตารางที่ 3.5 ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 1

ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวน % โดยเฉลี่ย	ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากแบบจำลอง % โดยเฉลี่ย
84.83	84.55



ภาพที่ 3.3 : ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพเตาเผาระหว่างผลการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองข่ายงานที่ 1

เมื่อทำการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการแยกแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายจากชุดการเรียนรู้โดยคำนวนจากค่า Mean Square Error (MSE) และ ค่า Root Mean Square Error (RMSE) จะได้ค่า MSE เท่ากับ 0.1543 และค่า RMSE เท่ากับ 0.3928

3.6.2 การสร้างแบบจำลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาเผาจากโครงข่ายแบบที่ 2

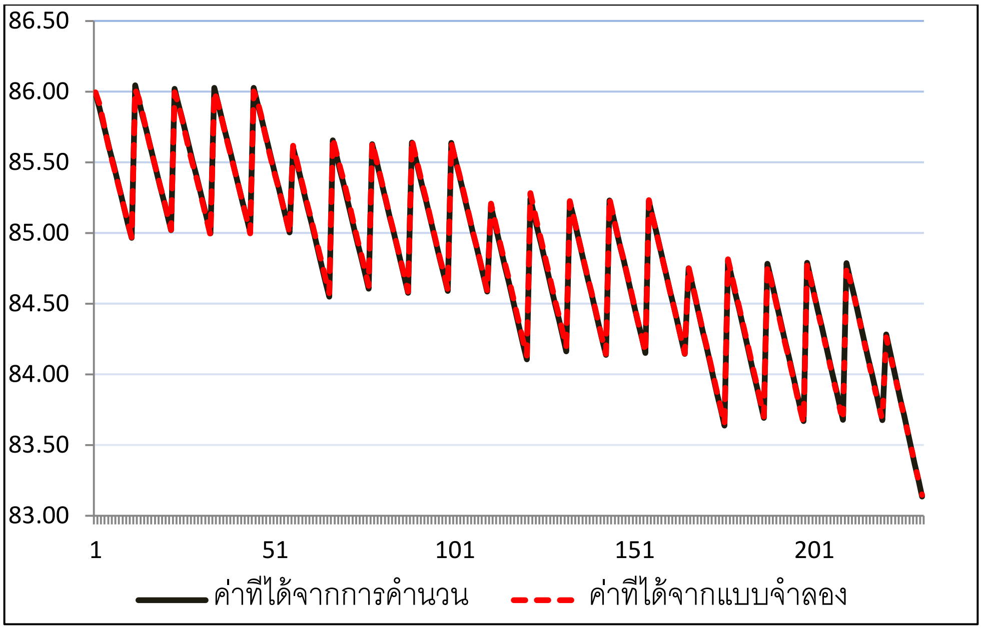
ทำการสร้างรูปแบบการพยากรณ์โดยโปรแกรม Pythia โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน	13	นิวรอน
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน	$1x10^{-4}$	
ค่าอัตราการเรียนรู้ของชั้นซ่อน	0.5	
ค่าอัตราการเรียนรู้ของชั้นเอาท์พุท	0.5	
ค่าน้ำหนักเริ่มต้น	-0.1 – 0.1	
จำนวนรอบของการเรียนรู้	10,000 รอบ	

ค่าประสิทธิภาพของเตาเผาที่คำนวนได้เฉลี่ยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองโดยเฉลี่ยแสดงดังตาราง (ผลการทดลองทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก-2)

ตารางที่ 3.6 ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 2

ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวน % โดยเฉลี่ย	ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากแบบจำลอง % โดยเฉลี่ย
84.83	84.82



ภาพที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพเตาเผาระหว่างผลจากการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 2

เมื่อทำการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการแยกแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายจากชุดการเรียนรู้โดยคำนวนจากค่า Mean Square Error (MSE) และ ค่า Root Mean Square Error (RMSE) จะได้ค่า MSE เท่ากับ 6.52×10^{-3} และค่า RMSE เท่ากับ 0.0255

3.6.3 การสร้างแบบจำลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเตาเผาจากโครงข่ายแบบที่ 3

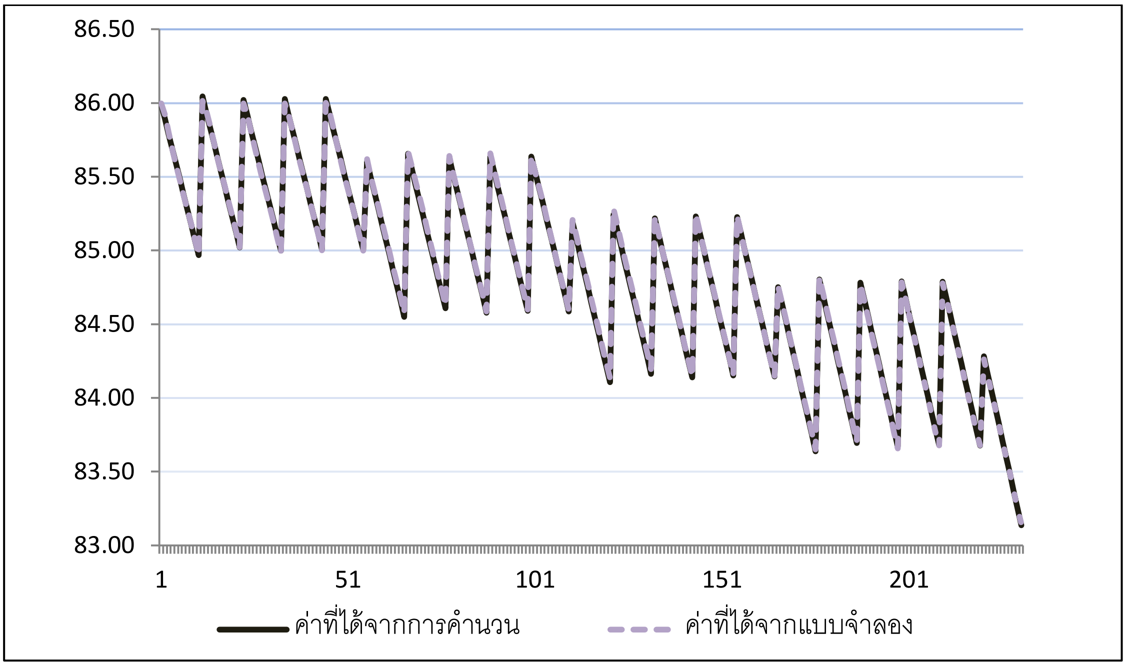
ทำการสร้างรูปแบบการพยากรณ์โดยโปรแกรม Pythia โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน	20 นิวรอน
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน	1×10^{-4}
ค่าอัตราการเรียนรู้ของชั้นซ่อน	0.5
ค่าอัตราการเรียนรู้ของชั้นเอาท์พุท	0.5
ค่าน้ำหนักเริ่มต้น	-0.1 – 0.1
จำนวนรอบของการเรียนรู้	10,000 รอบ

ค่าประสิทธิภาพของเตาเผาที่คำนวนได้เฉลี่ยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองโดยเฉลี่ยแสดงดังตาราง (ผลการทดลองทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก-3)

ตารางที่ 3.7 ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 3

ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากการคำนวน % โดยเฉลี่ย	ประสิทธิภาพเตาเผาที่ได้จากแบบจำลอง % โดยเฉลี่ย
84.83	84.83



ภาพที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพเตาเผาระหว่างผลจากการคำนวนเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 3

เมื่อทำการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการแยกแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายจากชุดการเรียนรู้โดยคำนวนจากค่า Mean Square Error (MSE) และ ค่า Root Mean Square Error (RMSE) จะได้ค่า MSE เท่ากับ 1.89×10^{-3} และค่า RMSE เท่ากับ 0.0137

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการทดสอบความผิดพลาดของแบบจำลองข่ายงานทั้ง 3 แบบ

รูปแบบที่	รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม (Topology)	จำนวนนิวรอน (Neurons)	MSE	RMSE
1	3,4,1	5	0.1543	0.3928
2	3,4,3,5,1	13	0.0065	0.0255
3	3,7,5,3,4,1	20	0.0019	0.0137

ดังนั้นรูปแบบของการจำลองที่เหมาะสมสำหรับเป็นตัวแทนแบบจำลองประสิทธิภาพเตาเผาในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายนั้นคือแบบจำลองที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดทั้งค่า Mean Square Error (MSE) และ ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ดังนั้นจากตารางสรุปผลการทดสอบความผิดพลาดของข่ายงานทั้ง 3 แบบพบว่ารูปแบบที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นแบบจำลองในงานวิจัยนี้คือรูปแบบที่ 3 ที่มีค่า MSE เท่ากับ 1.9×10^{-3} และมีค่า RMSE เท่ากับ 1.37×10^{-2}

3.7 การสร้างแบบจำลองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

การสร้างแบบจำลองนี้ได้ใช้โปรแกรม Hysys เวอร์ชั่น 3.2 เพื่อจำลองสภาวะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยแบ่งแบบการจำลองออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนทำการอ๊อบติไมซ์
2. แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหลังจากทำการอ๊อบติไมซ์

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายนี้ทั้งหมดมีหน้าที่ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลในกระบวนการเพื่อที่จะแยกสารละลายที่ใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการสกัดออกจากผลิตภัณฑ์หลังจากที่ออกจากหอสกัดแล้วซึ่งกระบวนการนี้จะมีผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดคือ น้ำมันดีแอสฟัลต์ (ดีเอโอ) และแอสฟัลต์ทีน ดังนั้นในส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิให้กับผลิตภัณฑ์เพื่อแยกสารละลายกลับมาใช้อีกครั้งใน

กระบวนการจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีหน้าที่เพื่ออุณหภูมิให้แก่น้ำมันดีแอสฟัลต์และส่วนที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิให้แก่แอสฟัลต์ทีน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้แก่น้ำมันดีแอสฟัลต์มีดังนี้

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอที่หอแยก
   (DAO Separator Preheater; E002A/B)
2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอแบบแฟลช
   (DAO Flash Preheater ; E014)
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอแบบสติฟเปอร์
   (DAO Stripper Heater; E004)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้แก่น้ำมันดีแอสฟัลต์มีดังนี้

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบแฟลชชุดที่ 1
   (Asphaltene Flash Preheater No.1; E003/017)
2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบแฟลชชุดที่ 2
   (Asphaltene Flash Preheater No.2; E013/018)
3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบสติฟเปอร์
   (Asphaltene Stripper Heater; E005)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทุกชุดมีหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำมันร้อน (Hot Oil) ที่ถูกทำให้ร้อนโดยเตาเผาไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลในกระบวนการและไหลเวียนกลับมาเพิ่มอุณหภูมิใหม่อีกครั้งที่เตาเผา ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานนี้มีเงื่อนไขว่าจะทำการลดอุณหภูมิที่ให้กับของไหลในกระบวนการจากเดิมลงเพื่อแยกสารละลายออกมาโดยต้องไม่กระทบกับปริมาณสารละลายที่เคยแยกได้ออกจากผลิตภัณฑ์หรือตามปริมาณที่ได้จากค่าที่ออกแบบไว้เดิม

การสร้างแบบจำลองกระบวนการในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการอ๊อปติไมซ์การใช้พลังงานในส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังนั้นเพื่อลดความยุ่งยากในแบบจำลองจึงได้สร้างแบบจำลองระบบทในสภาวะดำเนินการแบบคงตัว (Steady State) แต่ยังคงใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการได้จริงและใช้การอ๊อปติไมซ์ในแบบ Data Model Original ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือหนึ่งในชุดเลียนแบบกระบวนการไฮซิสโดยมีเงื่อนไขในการอ๊อปติไมซ์ให้สามารถแยกสารละลายออกจากผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุดโดยใช้พลังงานน้อยที่สุด (Minimize Duty)

ในการศึกษาระบบจากการจำลองจะต้องทำการเลือกสมการพื้นฐานทางด้านเทอร์โมไดนามิค คือ การเลือกสมการสภาวะ ตัวอย่างของสมการได้แก่ สมการสภาวะแบบ Kabadi Danner, RSV, SRK, Sour PR, Sour SRK , Zudketvitch Joffee สำหรับแบบจำลองในงานวิจัยนี้จะใช้แบบเพ็งโรบินสัน (PR, Peng Robinson) ซึ่งเหมาะสมกับอุตสาหกรรมทางด้านปิโตรเคมีและสามารถทำการศึกษาเงื่อนไขในช่วงกว้างๆ และมีความน่าเชื่อถือในการทำนายคุณสมบัติของระบบไฮโดรคาร์บอนเกือบทั้งหมด

ของไหลที่ใช้ในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดของกระบวนการนี้จะประกอบไปด้วย น้ำมันดีแอสฟัลต์ แอสฟัลต์ทีน ตัวทำละลาย (โพรเพน) และน้ำมันร้อน (Hot Oil) ซึ่งมีคุณสมบัติและองค์ประกอบที่ต้องใช้ในการจำลองโดยโปรแกรมไฮซิสดังนี้

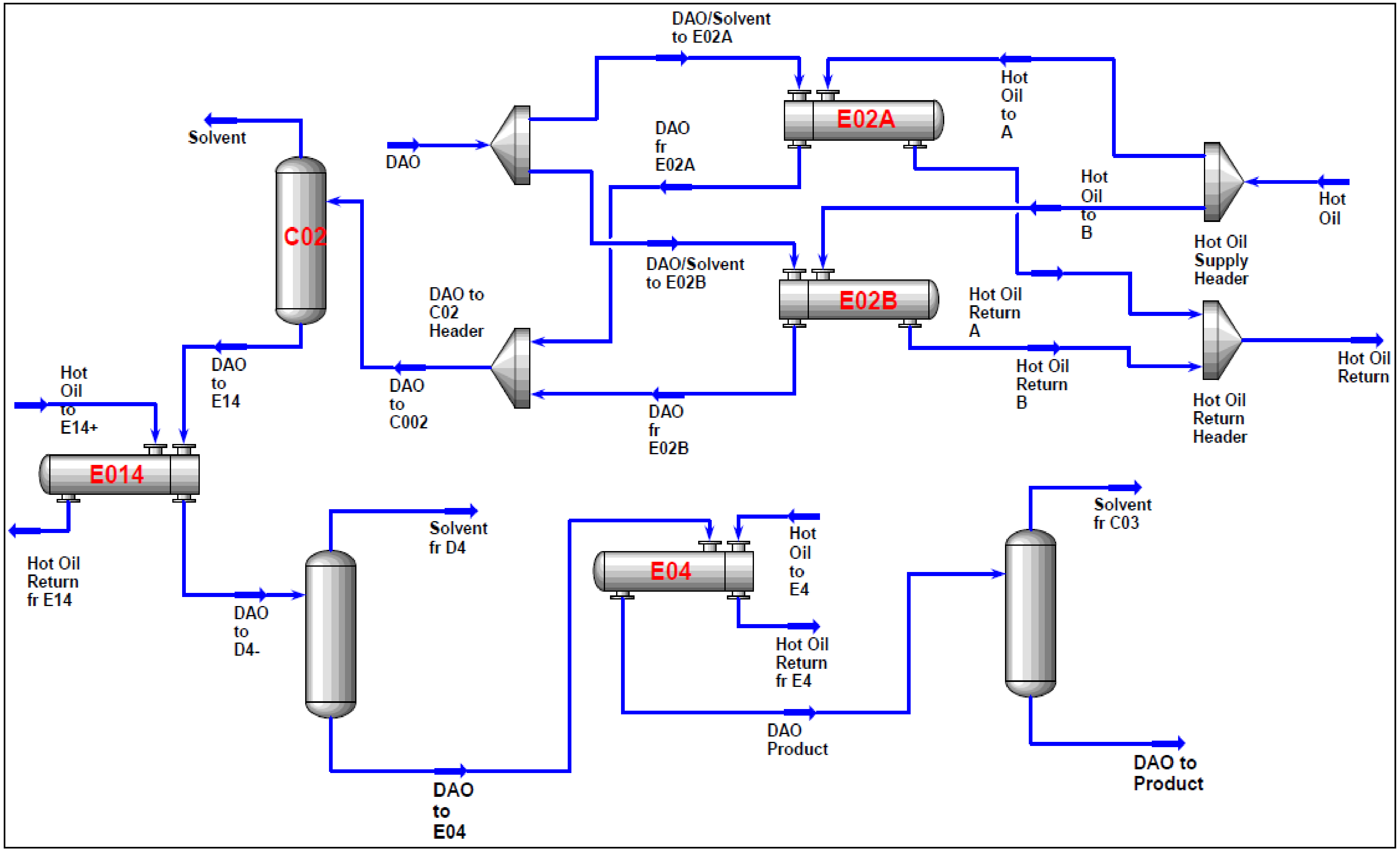
ตารางที่ 3.9 : คุณสมบัติของน้ำมันดีแอสฟัลและสารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน (Hot Oil)

สาร	น้ำมันดีแอสฟัลต์	สารตัวกลาง
Specific Gravity 60/60 ^{o}F	0.9278	-
Kinematic Viscosity (cSt) 100 ^{o}C	36.5	5.509
Distillation (D2887), (D86)	^{o}C	^{o}C
5%	479.1	260.7
10%	501.2	270.7
20%	525.7	-
30%	542.0	296.5
40%	555.5	-
50%	567.5	316.1
60%	579.4	-
70%	592.5	335.8
80%	610.9	-
90%	633.3	365.5
95%	654.2	379.2

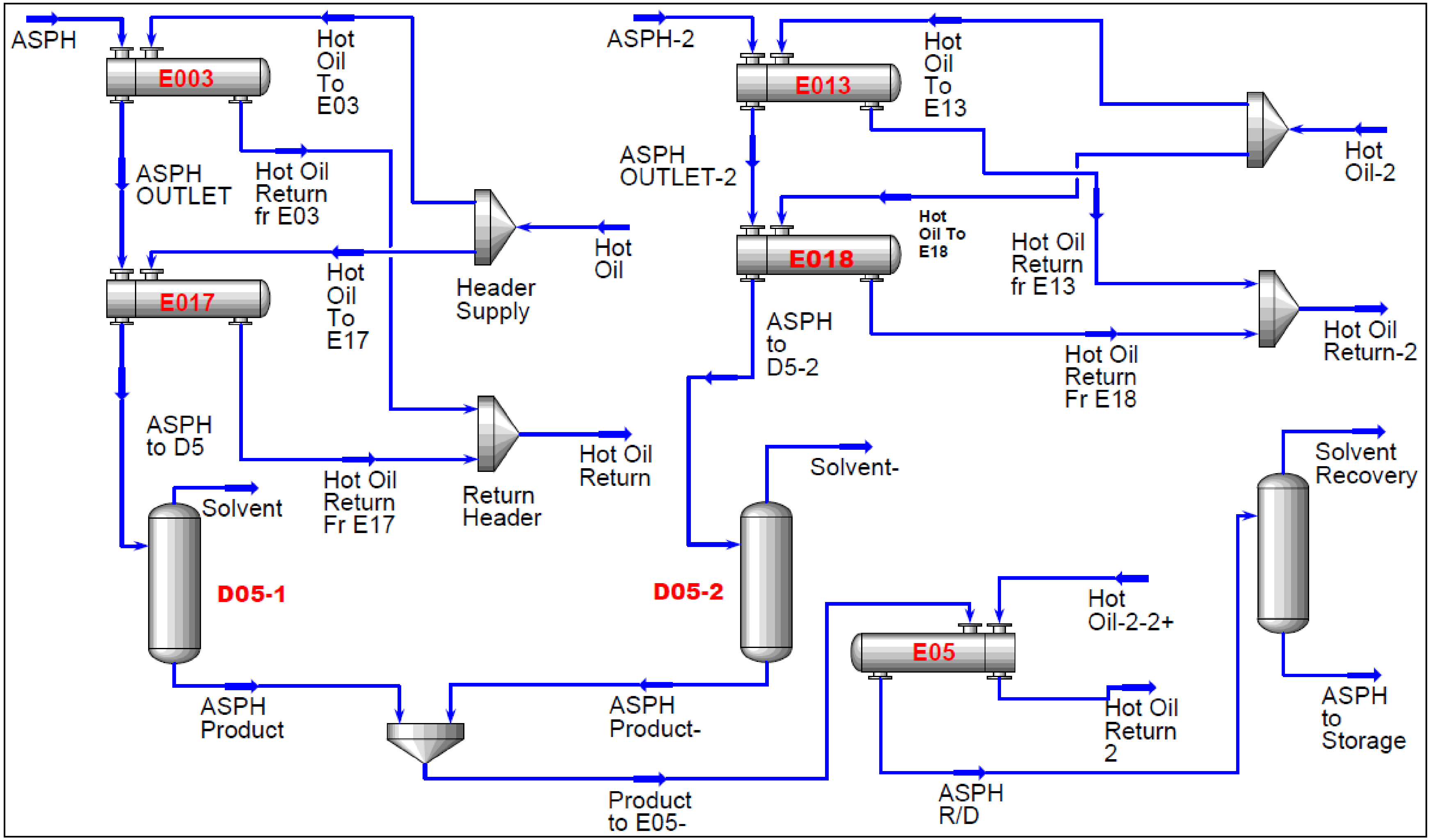
ตารางที่ 3.10 : แสดงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ทีน

แอสฟัลทีน (Asphaltene)		
Specific Gravity	15.5 °C	1.059
Viscosity (cSt)	135 °C	930
	232 °C	26

แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์และแอสฟัลต์ทีน แสดงดังภาพที่ 3.6 และภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.6 : แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์



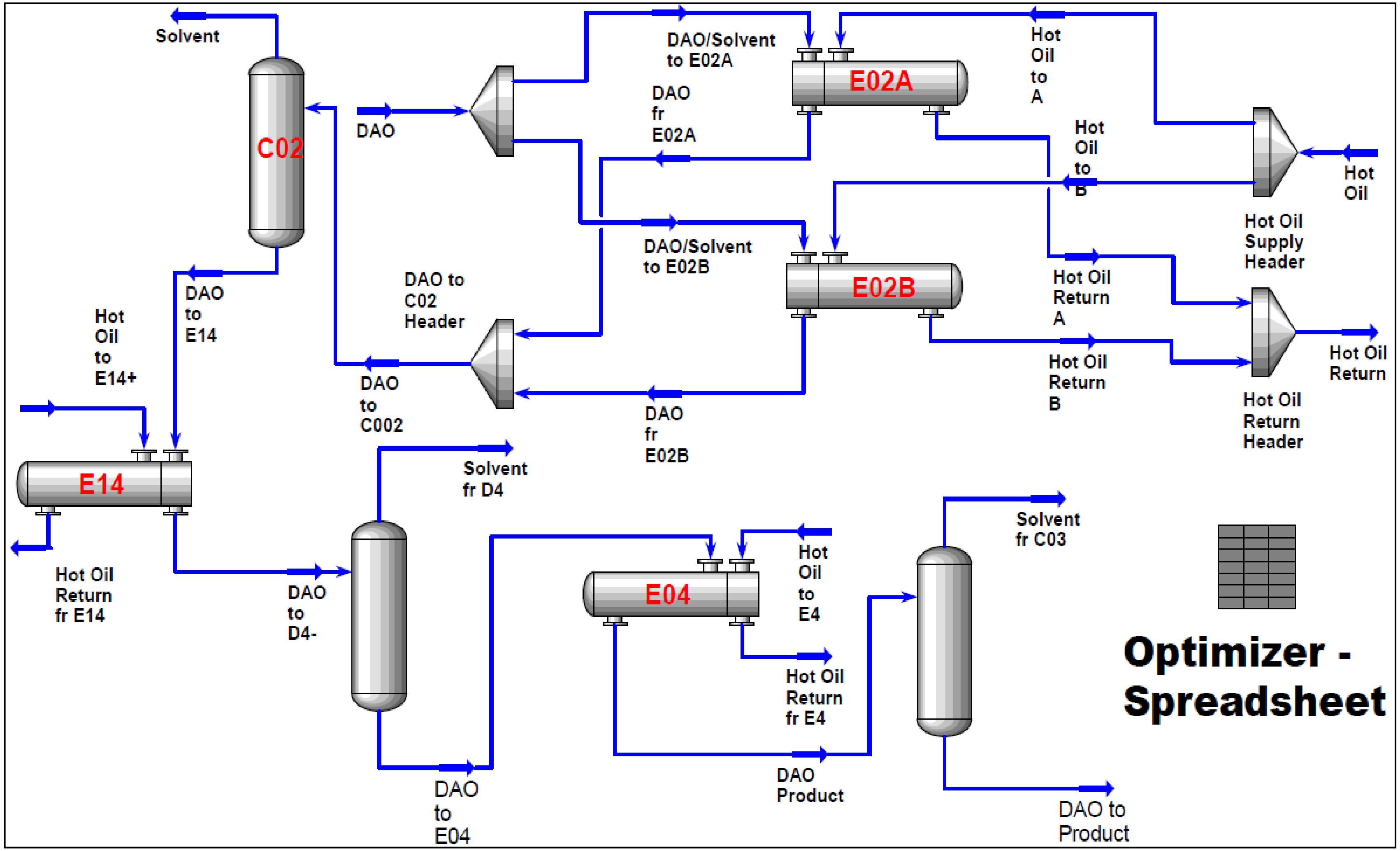
ภาพที่ 3.7 : แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายในส่วนของแอสฟัลต์ทีน

ตารางที่ 3.11 : ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนส่วนของน้ำมันดีเอโอเทียบกับค่าจริง

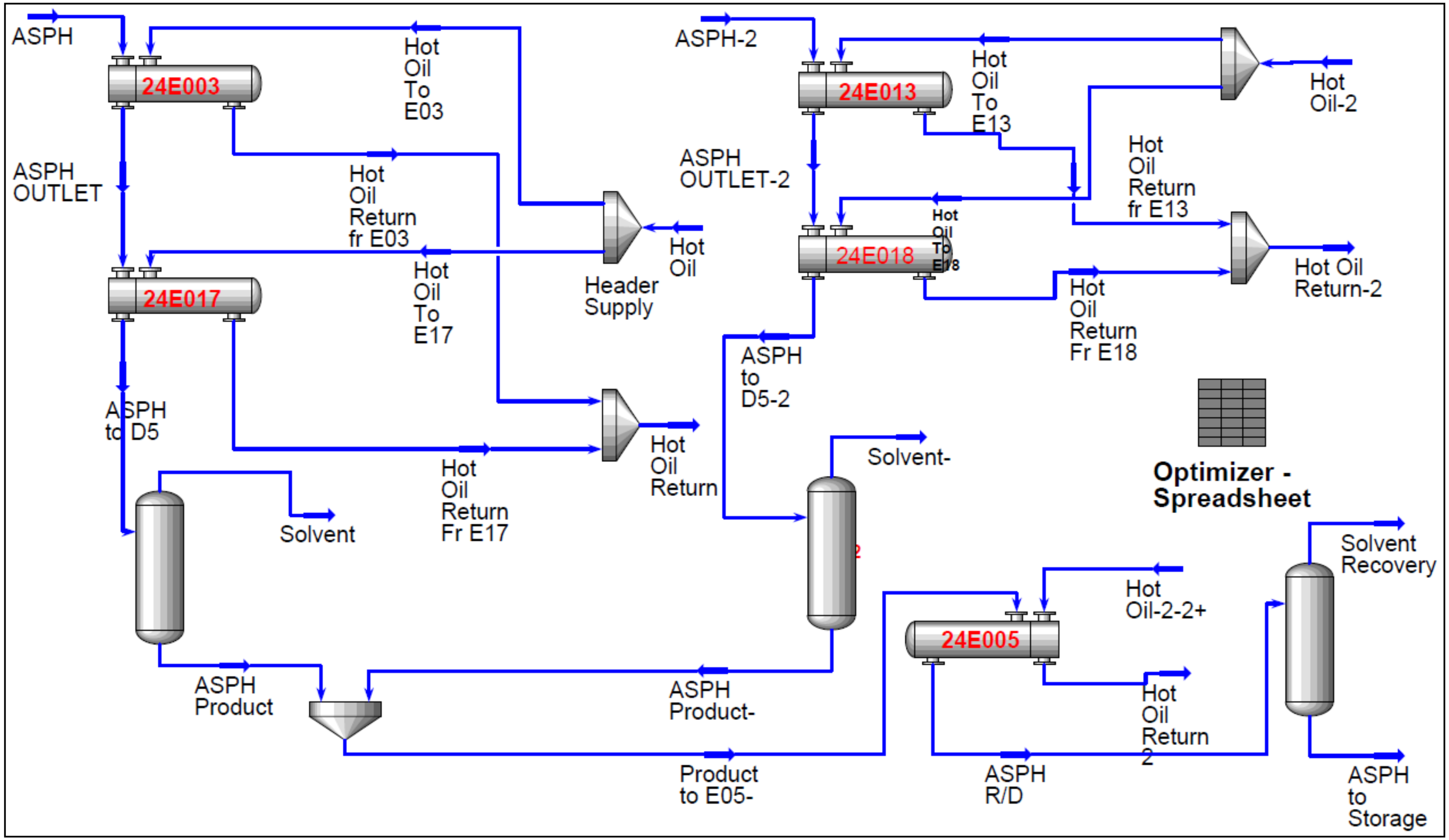
Equipment		Cold Side				Hot Side			
		inlet		Outlet		inlet		Outlet	
		อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)
E02A/B	Actual	96.20	44.50	105.00	43.60	282.00	5.30	247.40	5.10
	Hysys	96.00	44.60	105.00	43.60	282.00	5.20	247.60	5.10
	% Error	0.21	0.22	0.00	0.00	0.00	1.89	0.08	0.00
E04	Actual	220.00	18.20	237.00	17.90	282.00	5.20	247.40	5.10
	Hysys	219.70	18.20	235.00	17.90	282.00	5.20	259.40	5.00
	% Error	0.14	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	4.85	1.96
E014	Actual	104.00	43.15	220.00	42.75	282.00	5.20	249.50	5.10
	Hysys	104.40	43.15	220.00	42.75	282.00	5.20	251.20	5.07
	% Error	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.59

ตารางที่ 3.12 : ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของแอสฟัลต์ทีนเทียบกับค่าจริง

Equipment		Cold Side				Hot Side			
		inlet		Outlet		inlet		Outlet	
		อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)
E03/17	Actual	111.20	44.60	218.00	43.60	282.00	5.20	237.40	5.00
	Hysys	107.30	44.60	220.00	43.60	282.00	5.20	231.80	4.95
	% Error	3.51	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	2.36	1.00
E13/18	Actual	136.00	44.60	220.00	43.90	282.00	5.20	244.50	4.90
	Hysys	133.00	44.60	220.00	43.90	282.00	5.20	242.70	4.95
	% Error	2.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	1.02
E05	Actual	210.00	18.30	240.70	17.60	282.00	5.20	257.40	5.15
	Hysys	209.00	18.20	242.00	17.50	282.00	5.20	266.20	5.18
	% Error	0.48	0.55	0.54	0.57	0.00	0.00	3.42	0.58



ภาพที่ 3.8 : แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย ในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์หลังจากทำการอ๊อบติไมซ์



ภาพที่ 3.9 : แสดงแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

ในส่วนของแอสฟัลต์ที่นหลังจากทำการอ๊อบติไมซ์

ตารางที่ 3.13 : ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของไหลในกระบวนการก่อนและหลังการทำอ๊อปติไมซ์

Equipment (Deasphalt Oil)		Cold Side				Hot Side			
		inlet		Outlet		inlet		Outlet	
		อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)
E02A/B	Before	96.00	44.60	105.00	43.60	282.00	5.20	247.60	5.10
	After	96.00	44.60	97.00	43.60	282.00	5.20	268.70	5.00
	% Diff	0.00	0.00	7.62	0.00	0.00	0.00	8.52	1.96
E04	Before	219.70	18.20	235.00	17.90	282.00	5.20	259.40	5.00
	After	177.10	18.20	190.00	17.90	282.00	5.20	264.80	4.80
	% Diff	19.39	0.00	19.15	0.00	0.00	0.00	2.08	4.00
E014	Before	104.40	43.15	220.00	42.75	282.00	5.20	251.20	5.07
	After	96.50	43.15	184.00	42.75	282.00	5.20	202.70	5.07
	% Diff	7.57	0.00	16.36	0.00	0.00	0.00	19.31	0.00

ตารางที่ 3.14 : ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของไหลในกระบวนการก่อนและหลังการทำอ๊อปติไมซ์

Equipment (Asphaltene)		Cold Side				Hot Side			
		inlet		Outlet		inlet		Outlet	
		อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)	อุณหภูมิ (^{O}C)	ความดัน (Kg/cm^2)
E03/17	Before	107.30	44.60	220.00	43.60	282.00	5.20	231.80	4.95
	After	107.30	44.60	202.00	43.60	282.00	5.20	239.20	4.95
	% Diff	0.00	0.00	8.18	0.00	0.00	0.00	3.19	0.00
E13/18	Before	133.00	44.60	220.00	43.90	282.00	5.20	242.70	4.95
	After	133.00	44.60	200.00	43.90	282.00	5.20	251.80	4.95
	% Diff	0.00	0.00	9.09	0.00	0.00	0.00	3.75	0.00
E05	Before	209.00	18.20	242.00	17.50	282.00	5.20	266.20	5.18
	After	189.40	18.20	205.00	17.50	282.00	5.20	274.20	5.19
	% Diff	9.38	0.00	15.29	0.00	0.00	0.00	3.01	0.19

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผลงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานทั้งหมดโดยจะแบ่งผลการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 ผลการสร้างแบบหุ่น (Model) ของเตาเผาในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมและส่วนที่ 2 คือแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายโดยโปรแกรมไฮซิส

4.1 ผลการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของเตาเผา

ขั้นตอนในการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของเตาเผาเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถสรุปได้ดังนี้

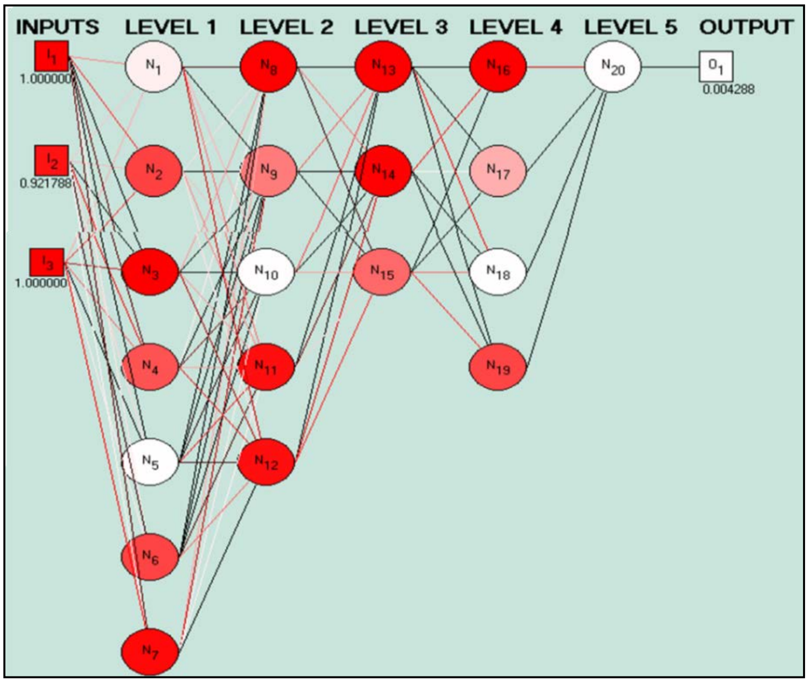
Training Algorithm	:	Back Propagation Algorithm
Basis Function	:	Linear Basis Function
Transfer Function	:	Log-Sigmoid Function
Input Signals Data	:	O_2 Excess, Flue Gas Temperature, LHV Fuel Gas
Output Signals Data	:	% Efficiency of Heater
To Predict	:	% Efficiency of Heater

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยสรุปทั้ง 3 แบบ

แบบที่	รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม (Topology)	จำนวนนิวรอน (Neurons)	ชั้นซ่อน	MSE	RMSE
1	3,4,1	5	2	0.154	0.3928
2	3,4,3,5,1	13	4	0.007	0.0255
3	3,7,5,3,4,1	20	5	0.002	0.0137

จากการทดลองฝึกข่ายงานทั้ง 3 แบบพบว่าข่ายงานที่ให้ความถูกต้องมากที่สุดคือข่ายงานที่ 3 โดยมีค่าคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดทั้งค่า Mean Square Error (MSE) และ ค่า Root Mean Square Error (RMSE) (ค่า MSE เท่ากับ 1.9×10^{-3} และมีค่า RMSE เท่ากับ 1.37×10^{-2}) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.2×10^{-5} ซึ่งน้อยกว่าค่าส่วนเบี่บงเบนมาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่ให้เกินที่ 1×10^{-4} และผลจากการทดสอบข่ายงานที่ 3 กับชุดสอบข่ายงานในการใช้งานจริงพบว่าข่ายงานที่ 3 มีค่า

สมรรถนะความถูกต้องในการทำนาย (Accuracy Performance) เท่ากับ 99.7 % (ผลการทดลองทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก-4)



ภาพที่ 4.1 : แสดงลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นแบบหุ่น (Model) ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการดำเนินการของเตาเผาที่ใช้ในงานวิจัยนี้

4.2 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

4.2.1 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์

ระบบการแยกสารละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์ซึ่งในระบบนี้จะประกอบไปด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 3 ชุดด้วยกันคือ

4.2.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอที่หอแยก (DAO Separator Preheater; E002A/B)

4.2.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอแบบแฟลซ (DAO Flash Preheater ; E014)

4.2.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกน้ำมันดีเอโอแบบสติฟเปอร์ (DAO Stripper Heater; E004)

4.2.1.4 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระบบแยกน้ำมันดีเอโอที่หอแยก (E002A/B)

ในชุดนี้จะเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำมันดีแอสฟัลต์ที่มีตัวทำละลายผสมอยู่กับน้ำมันร้อนที่ออกมาจากเตาเผาพบว่าอุณหภูมิสายร้อน (น้ำมันร้อน) เมื่อออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E02A/B อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก 247.60 ^{o}C เดิมไปเป็น 268.7 ^{o}C และอุณหภูมิของสายเย็น (น้ำมันดีแอสฟัลต์รวมกับตัวทำละลาย) จะลดลงจาก 105 ^{o}C เดิมเป็น 97 ^{o}C โดยตัวทำละลายจะแยกตัวออกจากผลิตภัณฑ์ที่บริเวณนี้ลดลงจาก 365,939 kg/hr เหลือ 338,521 kg/hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่นำกลับมาได้เท่ากับ 91.8 % ซึ่งก่อนการอ๊อปติไมซ์ในชุดนี้สามารถแยกสารละลายกลับมาได้ 365,939 kg/hr จากปริมาณสารละลายทั้งหมด 368,751 kg/hr หรือคิดเป็น 99.2 % ของสารละลายทั้งหมด (ความสามารถในการนำสารละลายกลับมาลดลง 7.5 % จากเดิม) ทั้งนี้อัตราการถ่ายเทพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้จะลดลงจากเดิม 7.86 MM Kcal/hr

4.2.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระบบแยกน้ำมันดีเอโอแบบแฟลซ (E014)

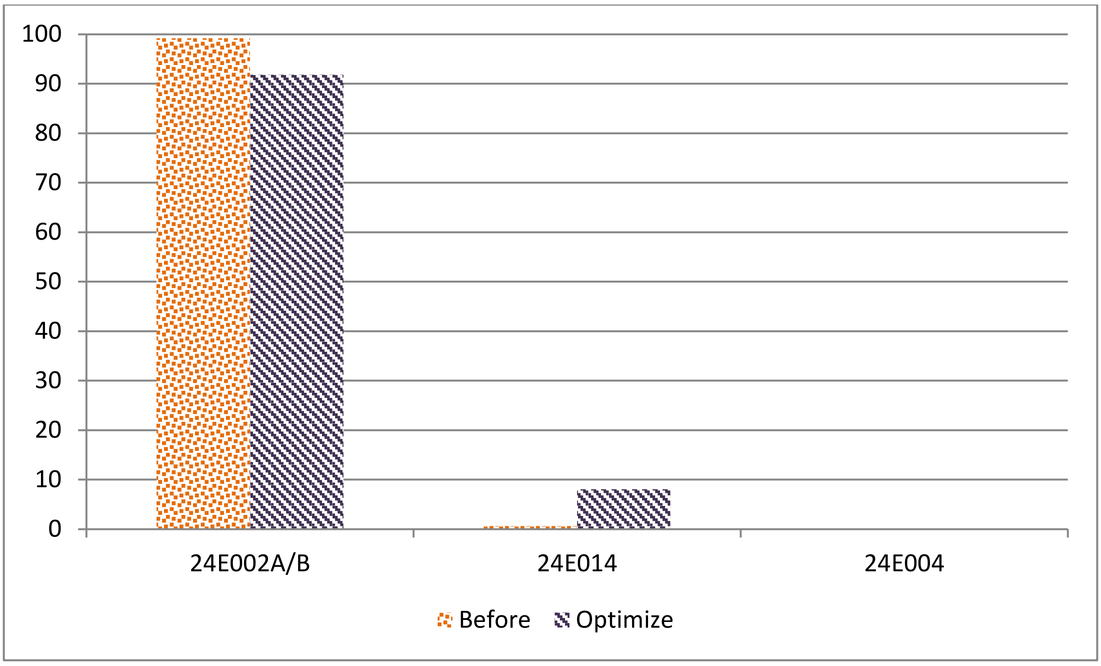
ในชุดนี้จะเป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำมันดีแอสฟัลต์รวมกับสารละลายเล็กน้อยที่ผ่านการแยกมาแล้ว 1 ครั้งที่บริเวณ E002A/B ในส่วนนี้พบว่าอุณหภูมิของสายร้อน (น้ำมันร้อน) เมื่อออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E0014 อุณหภูมิจะลดลงจาก 251.2 ^{o}C เป็น 202.7 ^{o}C และอุณหภูมิของสายเย็น (น้ำมันดีแอสฟัลต์รวมกับตัวทำละลาย) จะลดลงจาก 220 ^{o}C เป็น 184 ^{o}Cโดยตัวทำละลายจะแยกตัวออกจากผลิตภัณฑ์ที่บริเวณนี้เพิ่มขึ้นจาก 2415.6 kg/hr เป็น 29,751 kg/hr หรือคิดเป็นปริมาณ 8.07 % ของปริมาณสารละลายทั้งหมด (ความสามารถในการนำสาร ละลายกลับมาที่บริเวณนี้เพิ่มขึ้น 7.5 % จากเดิม) ทั้งนี้อัตราการถ่ายเทพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้จะเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.61 MM Kcal/hr

4.2.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระบบแยกน้ำมันดีเอโอแบบสติฟเปอร์ (E04)

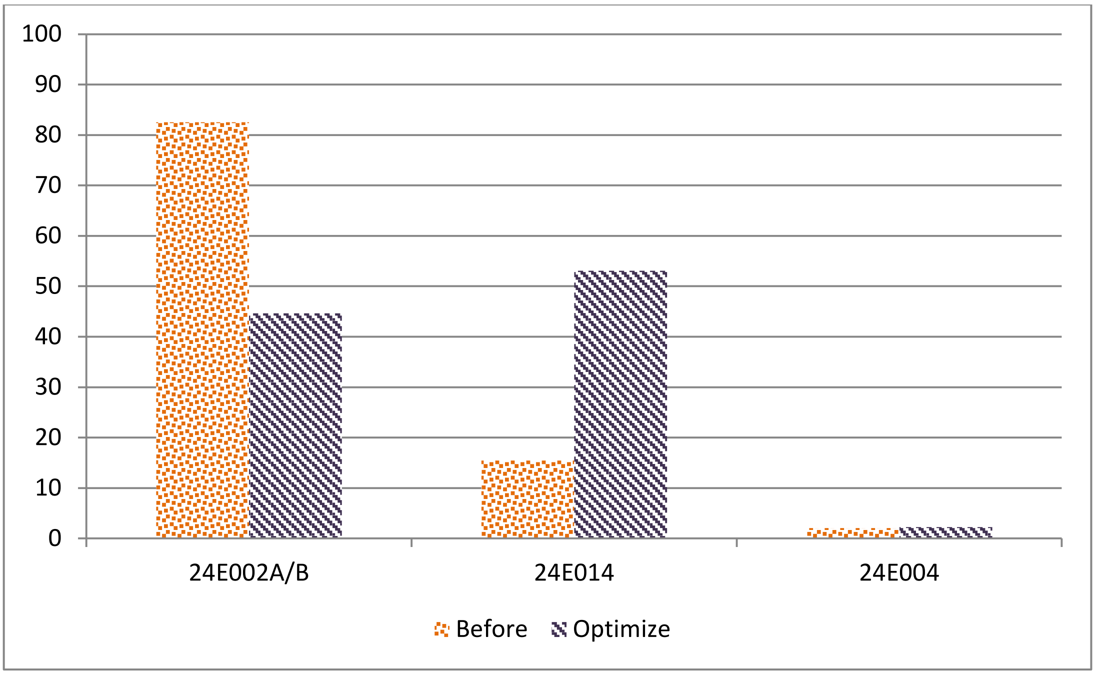
ในชุดนี้จะเป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำมันดีแอสฟัลต์รวมกับสารละลายที่เหลืออีกเพียงเล็กน้อยเนื่องจากผ่านการแยกมาแล้ว 2 ครั้งที่บริเวณ E002A/B และ E014 ในส่วนนี้พบว่าอุณหภูมิของสายร้อน (น้ำมันร้อน) เมื่อออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E004 อุณหภูมิจะลดลงจาก 264.1 ^{o}C เป็น 259.4 ^{o}C และอุณหภูมิของสายเย็น (น้ำมันดีแอสฟัลต์รวมกับตัวทำละลาย) จะลดลงจาก 235.0 ^{o}C เป็น 190.0 ^{o}C โดยตัวทำละลายจะแยกตัวออกจากผลิตภัณฑ์ที่บริเวณนี้เพิ่มขึ้นจาก 373.33 kg/hr เป็น 461.73 kg/hr (ความสามารถในการนำสาร ละลายกลับมาที่บริเวณนี้เพิ่มขึ้น 23.7 % จากเดิม) ทั้งนี้อัตราการถ่ายเทพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้จะลดลงจากเดิม 0.065 MM Kcal/hr

4.3 สรุปการอ๊อปติไมซ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 ชุดในส่วนของการแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันดีแอสฟัลต์

ในระบบนี้สามารถแยกสารละลายกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งจากก่อนทำการอ๊อปติไมซ์ได้ในปริมาณเท่ากับ 368,728.8 kg/hr เมื่อทำการอ๊อปติไมซ์แล้วสามารถแยกสารละลายกลับมาใช้ได้ใหม่ที่ 368,733.7 kg/hr หรือคิดเป็น 100 % จากเดิมแต่สามารถลดอัตราการถ่ายเทพลังงานรวมในระบบนี้เพื่อใช้ในการแยกสารละลายได้ลดลง 4.31 MM Kcal/hr



ภาพที่ 4.2 : แสดงเปอร์เซ็นต์ในการนำสารละลายกลับมา (% Recovery) ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบก่อนและหลังจากทำการอ๊อปติไมซ์



ภาพที่ 4.3 : แสดงเปอร์เซ็นต์ Heat Duty ที่ตำแหน่งต่างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เปรียบเทียบก่อนและหลังจากทำการอ๊อปติไมซ์

4.4 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของแอสฟัลต์ทีน

4.4.1 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์

ระบบการแยกสารละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในส่วนของแอสฟัลต์ทีนซึ่งในระบบนี้จะประกอบไปด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 3 ชุดด้วยกันคือ

4.4.1.1 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบแฟลซชุดที่ 1 (Asphaltene Flash Preheater No.1; E003/017)

4.4.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบแฟลซชุดที่ 2 (Asphaltene Flash Preheater No.2; E013/018)

4.4.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบสติฟเปอร์ (Asphaltene Stripper Heater; E005)

4.4.1.4 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบแฟลซชุดที่ 1 (E003/E017)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนกันระหว่างผลิตภัณฑ์แอสฟัลทีนซึ่งมีตัวทำละลายปนอยู่เล็กน้อยกับน้ำมันร้อนที่ผ่านออกมาจากเตาเผาพบว่าอุณหภูมิของสายร้อน (น้ำมันร้อน) เมื่อออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E003/E017 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก 231.8 ^{o}C เดิมไปเป็น 239.2 ^{o}C และอุณหภูมิของสายเย็น (แอสฟัลทีนรวมกับตัวทำละลายเล็กน้อย) จะลดลงจาก 220 ^{o}C เดิมเป็น 202 ^{o}C โดยตัวทำละลายจะแยกตัวออกจากผลิตภัณฑ์ที่บริเวณนี้ที่ปริมาณ 28,308 kg/hr ซึ่งเป็นปริมาณที่เท่ากับก่อนจะทำการอ๊อปติไมซ์หรือคิดเป็น 49.4 % ของปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ทีน แต่สามารถลดอัตราการถ่ายเทพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้จะลดลงจากเดิม 0.54 MM Kcal/hr

4.4.1.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบแยกแอสฟัลทีนแบบแฟลชชุดที่ 2 (E013/E018)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนกันระหว่างผลิตภัณฑ์แอสฟัลทีนซึ่งมีตัวทำละลายปนอยู่เล็กน้อยกับน้ำมันร้อนที่ผ่านออกมาจากเตาเผาพบว่าอุณหภูมิของสายร้อน (น้ำมันร้อน) เมื่อออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E013/E018 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก 242.7 ^{o}C เดิมไปเป็น 251.8 ^{o}C และอุณหภูมิของสายเย็น (แอสฟัลทีนรวมกับตัวทำละลายเล็กน้อย) จะลดลงจาก 220 ^{o}C เดิมเป็น 200 ^{o}C โดยตัวทำละลายจะแยกตัวออกจากผลิตภัณฑ์ที่บริเวณนี้ในปริมาณ 28,298 kg/hr ลดลงจากเดิมก่อนทำการอ๊อปติไมซ์ซึ่งสารละลายสามารถแยกตัวได้ที่ชุดนี้ในปริมาณ 28,379 kg/hr คิดเป็นการลดลงประมาณ 0.77 % จากปริมาณที่สามารถแยกได้จากสภาวะเดิมหรือคิดเป็นปริมาณการแยกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 49.4 % ของปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ทีนแต่สามารถลดอัตราการถ่ายเทพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้ลงได้จากเดิม 0.02 MM Kcal/hr

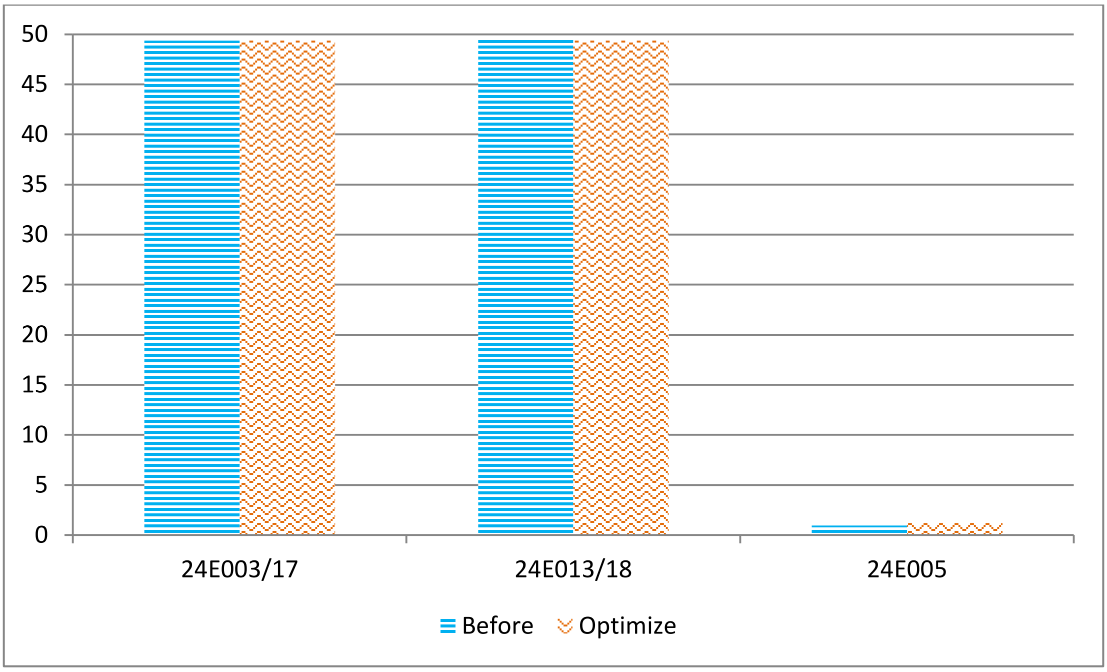
4.4.1.3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระบบแยกแอสฟัลทีนแบบสติฟเปอร์ (E005)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์แอสฟัลทีนซึ่งมีตัวทำละลายปนอยู่อีกเล็กน้อยเนื่องจากผ่านการแยกมาแล้ว 1 ครั้ง (แยกแบบแฟลช) กับน้ำมันร้อนที่ผ่านออกมาจากเตาเผาพบว่าอุณหภูมิของสายร้อน (น้ำมันร้อน) เมื่อออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E005 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก 266.2 ^{o}C เดิมไปเป็น 274.2 ^{o}C และอุณหภูมิของสายเย็น (แอสฟัลทีนรวมกับตัวทำละลายเล็กน้อย) จะลดลงจาก 242 ^{o}C เดิมเป็น

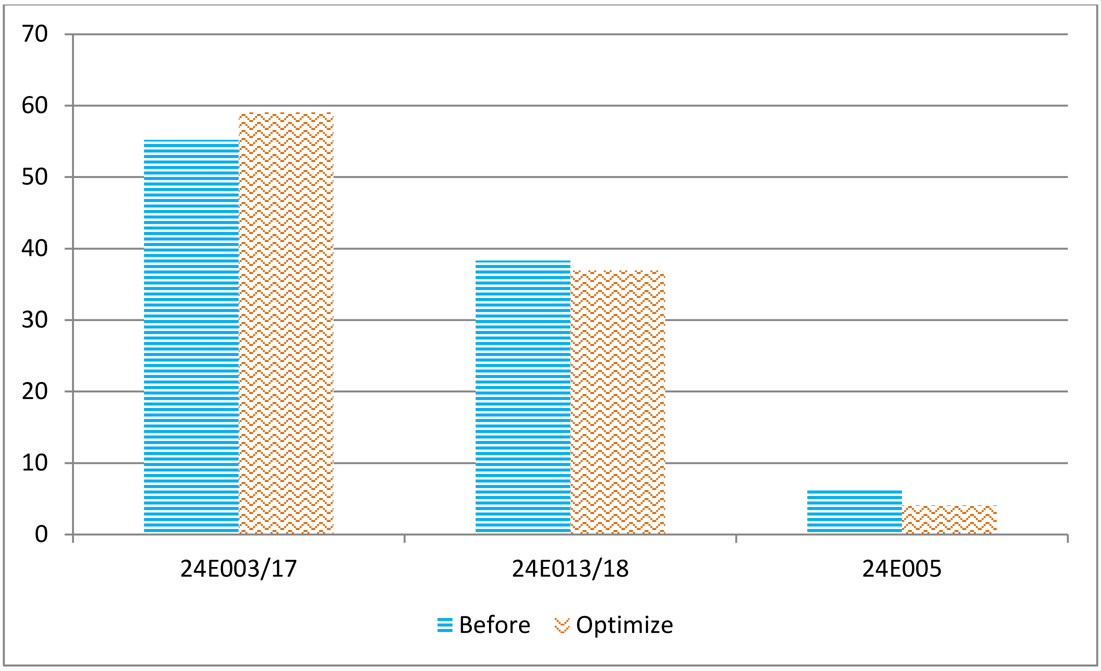
205 °C โดยตัวทำละลายจะแยกตัวออกจากผลิตภัณฑ์ที่บริเวณนี้เพิ่มขึ้นจาก 547.21 kg/hr เป็น 695.29 kg/hr หรือคิดเป็น 1.21 % ของปริมาณสารละลายที่ปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ทีนแต่สามารถลดอัตราการถ่ายเทพลังงานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชุดนี้ลงได้จากเดิม 0.22 MM Kcal/hr

4.5 สรุปการอ๊อปติไมซ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 3 ชุดในส่วนของการแยกตัวทำละลายออกจากแอสฟัลต์ทีน

ในระบบนี้สามารถแยกสารละลายกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งจากก่อนทำการอ๊อปติไมซ์ได้ในปริมาณเท่ากับ 57234.21 kg/hr เมื่อทำการอ๊อปติไมซ์แล้วสามารถแยกสารละลายกลับมาใช้ได้ใหม่ที่ 57301.29 kg/hr หรือคิดเป็น 100 % จากเดิมแต่สามารถลดอัตราการถ่ายเทพลังงานรวมในระบบนี้เพื่อใช้ในการแยกสารละลายได้ลดลง 1.35 MM Kcal/hr



ภาพที่ 4.4 : แสดงเปอร์เซ็นต์ในการนำสารละลายกลับมา (% Recovery) ที่ตำแหน่งต่างๆ เปรียบเทียบก่อนและหลังจากทำการอ๊อปติไมซ์



ภาพที่ 4.5 : กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ Heat Duty ที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เปรียบเทียบก่อนและหลังจากทำการอ๊อปติไมซ์

4.6 สรุปภาพรวมของการสร้างแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อแยกสารละลายกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการทั้งในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์และแอสฟัลต์ทีนพบว่าสามารถแยกสารละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมดจากเดิมที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ในปริมาณ 425,962.1 kg/hr สามารถเพิ่มปริมาณการแยกสารละลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้เป็น 426035 kg/hr หรือคิดเป็น 99.9 % ของสารละลายทั้งหมดที่สามารถแยกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ส่วนอัตราการถ่ายเทพลังงาน (Heat Duty) เมื่อทำการอ๊อปติไมซ์เสร็จแล้วพบว่าอัตราการถ่ายเทพลังงานลดลงจากเดิมที่ 22.52 MM Kcal/hr เหลือเพียง 16.86 MM Kcal/hr (ลดลงจากเดิม 5.66 MM Kcal/hr) หรือคิดเป็นลดลงจากเดิม 25.16 %

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

กระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมดใช้ไปกับการให้ความร้อนกับของไหลในกระบวนการเพื่อที่จะแยกตัวทำละลายโพรเพนออกจากผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้และสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานในส่วนของการให้ความร้อนกับกระบวนการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถลดค่าใช้จ่ายซึ่งเป็นต้นทุนส่วนใหญ่ในกระบวนการอีกด้วย

5.1.1 การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายประสิทธิภาพของเตา

การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการนี้พบว่าแบบจำลองที่ได้คือ ข่ายงานนิวรอนที่มีโครงสร้างแบบ 5 ชั้นซ่อน ซึ่งมีจำนวนนิวรัล 7 โนด ในชั้นซ่อนที่ 1, 5 โนดในชั้นซ่อนที่ 2, 3 โนดในชั้นซ่อนที่ 3, 4 โนดในชั้นซ่อนที่ 4 และ 1 โนดในชั้นซ่อนที่ 5 โดยมี Log-Sigmoid Function เป็นฟังก์ชันกระตุ้น ผลการออกแบบพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้มีค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ต่ำ คือมีค่า MSE เท่ากับ 1.9×10^{-3} และมีค่า RMSE เท่ากับ 1.37×10^{-2} ซึ่งเมื่อทดสอบกับชุดทดสอบข่ายงานในการใช้งานจริงพบว่ามีค่าสมรรถนะความถูกต้องในการทำนาย (Accuracy Performance) เท่ากับ 99.7 % ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกับการดำเนินการจริง ถือเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการของเตาเผาในระดับการใช้งานจริงอย่างมากเนื่องจากในการดำเนินการจริงในส่วนของเตาเผายังไม่มีการจัดการหรือควบคุมสภาวะการดำเนินการเพื่อคาดเดาประสิทธิภาพในการดำเนินการให้สูงที่สุดมาก่อน

อ้างอิงจากบทความของ Ashutosh Garg [1] หากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาสำหรับโรงกลั่นขนาด 200,000 บาร์เรลต่อวันขึ้นมา 1 % ก็จะสามารถประหยัดค่าใช่จ่ายในส่วนของเชื้อเพลิงได้ 600,000 ดอลลาร์ต่อปี ซึ่งในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายนี้มีในสภาวะการดำเนินการจริงจะมีขนาดอยู่ที่ 11,600 บาร์เรลต่อวัน หากคำนวนโดยเปรียบเทียบกับโรงกลั่นขนาด 200,000 บาร์เรลต่อวันแล้วก็นับว่าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของการดำเนินการของเตาเผาได้กว่าปีละ 35,000 ดอลลาร์เมื่อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาเพิ่มขึ้นอีก 1 เปอร์เซ็นต์

5.1.2 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย

แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการนี้ถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรมไฮซิสเวอร์ชั่น 3.2 ในการจำลองกระบวนการจะมีความถูกต้องหรือไม่ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สมการสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ถูกใช้ในการคำนวณและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองว่าจะตรงกับกระบวนการผลิตจริงเพียงใด ซึ่งการเลือกใช้จะต้องเลือกใช้สมการสภาวะ (Equation of State) ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตนั้น ๆ

สำหรับงานวิจัยกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายนี้ ได้เลือกใช้สมการของเพ็งโรบินสัน เนื่องจากมีความแม่นยำสำหรับการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในทุกๆ สภาวะ ในแบบจำลองนี้ได้เลือกใช้สมการสภาวะเป็งโรบินสัน โดยมีขั้นตอนการจำลองดังนี้

1. เลือกข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงในช่วงที่อยู่ในภาวะที่มีความเสถียร
2. ใช้โปรแกรมไฮซิสสร้างแบบจำลองจากแผนภาพกระบวนการผลิต
3. ใส่คุณสมบัติของสารป้อนในแบบจำลอง
4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลอง
5. ปรับแบบจำลองให้ได้ผลตามต้องการ โดยการใช้เครื่องมืออ๊อปติไมซ์เซอร์ (Optimozer) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

แบบจำลองในงานวิจัยนี้จะกำหนดเงื่อนไขในการอ๊อปติไมซ์ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณสารละลายที่แยกกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการต้องมากที่สุด
2. อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (Heat Duty) ต้องต่ำที่สุด

5.1.2.1 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของการแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันดีแอสฟัลต์

ในระบบนี้เมื่อทำการอ๊อปติไมซ์ตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้วพบว่าสามารถนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการได้ตามสภาวะเดิมก่อนที่จะทำการอ๊อปติไมซ์แต่สามารถลดอัตราการถ่ายเทความร้อนจากเดิมลงได้ 4.31 MM Kcal/hr

ตารางที่ 5.1 : สรุปผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของน้ำมันดีแอสฟัลต์

Equipment	Solvent Recovery (%)		Heat Duty (MM Kcal/hr)	
	Actual	Optimize	Actual	Optimize
E002A/B	99.20	91.80	12.93	5.07
E014	0.66	8.07	2.42	6.03
E004	0.10	0.13	0.32	0.25
Total	99.96	99.99	15.67	11.36

5.1.2.2 ผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของการแยกตัวทำละลายออกจากแอสฟัลต์ทีน

ในระบบนี้เมื่อทำการอ๊อปติไมซ์ตามเงื่อนไขที่กำหนดแล้วพบว่าสามารถนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการได้ตามสภาวะเดิมก่อนที่จะทำการอ๊อปติไมซ์แต่สามารถลดอัตราการถ่ายเทความร้อนจากเดิมลงได้ 1.35 MM Kcal/hr

ตารางที่ 5.2 : สรุปผลการจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของแอสฟัลต์ทีน

Equipment	Solvent Recovery (%)		Heat Duty (MM Kcal/hr)	
	Actual	Optimize	Actual	Optimize
E003/E017	49.38	49.38	3.78	3.25
E013/E018	49.51	49.37	2.62	2.03
E005	0.95	1.21	0.45	0.22
Total	99.84	99.96	6.85	5.50

การอ๊อปติไมซ์กระบวนการทั้งในส่วนของการแยกสารละลายออกจากน้ำมันดีแอสฟัลต์และการแยกสารละลายออกจากแอสฟัลต์ทีนทำให้สามารถลดการใช้พลังงานโดยรวมได้เท่ากับ 5.66 MM Kcal/hr ซึ่งปริมาณพลังงานดังกล่าวหากเทียบเป็นพลังงานเชื้อเพลิงแก๊สที่ใช้ในการเผาไหม้ที่เตาเผาในกระบวนการจะมีค่าเท่ากับเชื้อเพลิงแก๊ส 511.2 kg/hr หรือเท่ากับ 12.27 ตันต่อวัน

รายการอ้างอิง

[1] Ashutosh Garg., "*Optimized Fired Heater Operation Saves Money*", Hydrocarbon processing, (June 1997)

[2] Daniel LEPADATU., Xavier BAGUENARD., Abdessamad KOBI., Ridha HAMBLI and Luc - JAULIN. "*Process optimization using interval computation*."

[3] Frank H. Wu., "*Solvent Extraction Process for Asphaltenic Heavy Oil Slop Cleanup and Recovery*", Integral Energy and Environmental Engineering Calgary, Alberta, Canada, 1998

[4] Paul S. Wallace., M. Kay Anderson., Alma I. Rodarte and William E. Preston., "*Heavy Oil Upgrading by the Separation and Gasification of Asphaltenes*", Texaco Inc., Gasification Technologies Conference, October, 1998

[5] Edward J. Houde and Michael J. McGrath., "*When solvent deasphalting is the most appropriate technology for upgrading residue*", IDTC Conference London, England, February 2006.

[6] Angela Dean and Daniel Voss, "*Design and Analysis of Experiments*", Springer Text in Statistics, 1999

[7] The M.W. Kellogg Technology Company, "*Instruction Manual Introduction for Propane Deasphalting Unit*", August 1996

[8] The M.W. Kellogg Technology Company, "*Special Procedure for Heater Safe and Economical Firing*", August 1996

[9] Carl R. Branan, "*Rules Of Thumb for Chemical Engineers*", Third Edition, Elsevier's Science and Technology

[10] นพรัตน์ ศิริโชติ, *การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพัฒนารูปแบบพยากรณ์ความต้องการพลังงานของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย*, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2549.

[11] Niti Somboonpattanakul, *Modeling For the Prediction of Urea Concentration and Hemodialysis Adequacy Assessment by Artificial Neural Network*.

Master's Thesis. Department of Chemical Engineering. Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2007.

[12] LG International Corp. F*inal Basic Design Package for Propane Deasphalting Unit*, 1996. Rayong: August 1996. (Mimeographed)

[13] วชิระ เสาวภาคย์. *การสร้างแบบจำลองและการออปติไมซ์ของหน่วยการกลั่นความดันบรรยากาศและสุญญากาศ*, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544

[14] วิไลรัตน์ แซ่หยาง, *แบบจำลองของข่ายงานนิวรัลสำหรับทำนายเปอร์เซ็นต์ของแข็งของแชมพู*, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

[15] R.K. Johnson and Thomas J. Scheib. *Fired Process Heater Control Alternatives Include Microprocessor-Based Distributed Control*. Hydrocarbon Processing, Texas Gulf Publishing, 1997.

[16] How to Become Energy Efficient. *คู่มือการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรมของเอเชีย*, หน้า 23

[17] จรัล ทรัพย์เสรี. *The Productivity Solution*. 2547. http://www.trecon.th.com/ สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2552, จาก

[18] Baukal, Charles E., Schwartz, Robert E., Baukal, Charles E. Jr., *The John Zink Combustion Handbook,* CRC Press, Boca Raton, Fl., March 27, 2001

[19] Orladda Moolasartsatorn, *Optimization and Control of Pervaporative Membrane Reactor*. Master's Thesis. Department of Chemical Engineering. Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2002.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการคำนวนประสิทธิภาพของเตาเผาที่สภาวะต่างๆ

ข้อมูลดิบผลสำหรับการเตรียมข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

<u>ตารางที่ ก-1</u> แสดงประสิทธิภาพของเตาเผาที่ ค่า O_2 เท่ากับ 2.5 - 3.0 %, เปอร์เซ็นต์ C_3 ใน Fuel Gas เท่ากับ 60, 40, 30, 20, 10 และอุณหภูมิของแก๊สเสีย = 310 °C ถึง 330 °C

ปริมาณ Excees O2 (% Vol)	Type of Fuel Gas (% C3)	Temperature of Flue Gas (°C)	Efficiency (%)	ปริมาณ Excees O2 (% Vol)	Type of Fuel Gas (% C3)	Temperature of Flue Gas (°C)	Efficiency (%)
		310	85.99			310	85.60
		312	85.89			312	85.50
		314	85.79			314	85.39
		316	85.69			316	85.29
		318	85.58			318	85.18
	60	320	85.48		60	320	85.08
		322	85.38			322	84.97
		324	85.28			324	84.87
		326	85.17			326	84.76
		328	85.07			328	84.66
		330	84.97			330	84.55
		310	86.05			310	85.66
		312	85.94			312	85.55
		314	85.84			314	85.45
		316	85.74			316	85.34
		318	85.63			318	85.24
	40	320	85.53		40	320	85.13
		322	85.43			322	85.03
		324	85.33			324	84.92
		326	85.23			326	84.82
		328	85.12			328	84.71
		330	85.02			330	84.61
		310	86.02			310	85.63
		312	85.92			312	85.52
		314	85.82			314	85.42
		316	85.72			316	85.31
		318	85.61			318	85.21
2.5	30	320	85.51	3	30	320	85.10
		322	85.41			322	85.00
		324	85.31			324	84.89
		326	85.20			326	84.79
		328	85.10			328	84.68
		330	85.00			330	84.58
		310	86.03			310	85.64
		312	85.93			312	85.54
		314	85.82			314	85.43
		316	85.72			316	85.33
		318	85.62			318	85.22
	20	320	85.52		20	320	85.12
		322	85.42			322	85.01
		324	85.31			324	84.91
		326	85.21			326	84.80
		328	85.11			328	84.70
		330	85.01			330	84.59
		310	86.03			310	85.64
		312	85.93			312	85.53
		314	85.82			314	85.43
		316	85.72			316	85.32
		318	85.62			318	85.22
	10	320	85.52		10	320	85.11
		322	85.41			322	85.01
		324	85.31			324	84.90
		326	85.21			326	84.80
		328	85.11			328	84.69
		330	85.01			330	84.59

ตารางที่ ก-2 แสดงประสิทธิภาพของเตาเผาที่ ค่า O_2 เท่ากับ 3.5 - 4.0 %, เปอร์เซ็นต์ C_3 ใน Fuel Gas เท่ากับ 60, 40, 30, 20, 10 และอุณหภูมิของแก๊สเสีย = 310 ^{o}C ถึง 330 ^{o}C

ปริมาณ Excees O2 (% Vol)	Type of Fuel Gas (% C3)	Temperature of Flue Gas (^{o}C)	Efficiency (%)	ปริมาณ Excees O2 (% Vol)	Type of Fuel Gas (% C3)	Temperature of Flue Gas (^{o}C)	Efficiency (%)
3.5	60	310	85.19	4	60	310	84.75
		312	85.08			312	84.64
		314	84.97			314	84.53
		316	84.87			316	84.42
		318	84.76			318	84.31
		320	84.65			320	84.20
		322	84.54			322	84.08
		324	84.43			324	83.97
		326	84.32			326	83.86
		328	84.22			328	83.75
		330	84.11			330	83.64
	40	310	85.24		40	310	84.80
		312	85.14			312	84.69
		314	85.03			314	84.58
		316	84.92			316	84.47
		318	84.81			318	84.36
		320	84.70			320	84.25
		322	84.60			322	84.14
		324	84.49			324	84.03
		326	84.38			326	83.92
		328	84.27			328	83.80
		330	84.16			330	83.69
	30	310	85.22		30	310	84.78
		312	85.11			312	84.67
		314	85.00			314	84.56
		316	84.89			316	84.45
		318	84.79			318	84.34
		320	84.68			320	84.23
		322	84.57			322	84.12
		324	84.46			324	84.00
		326	84.35			326	83.89
		328	84.25			328	83.78
		330	84.14			330	83.67
	20	310	85.23		20	310	84.79
		312	85.12			312	84.68
		314	85.02			314	84.57
		316	84.91			316	84.46
		318	84.80			318	84.35
		320	84.69			320	84.24
		322	84.58			322	84.12
		324	84.48			324	84.01
		326	84.37			326	83.90
		328	84.26			328	83.79
		330	84.15			330	83.68
	10	310	85.23		10	310	84.79
		312	85.12			312	84.68
		314	85.01			314	84.57
		316	84.90			316	84.45
		318	84.80			318	84.34
		320	84.69			320	84.23
		322	84.58			322	84.12
		324	84.47			324	84.01
		326	84.36			326	83.90
		328	84.25			328	83.79
		330	84.15			330	83.68

<u>ตารางที่ ก-3</u> แสดงประสิทธิภาพของเตาเผาที่ ค่า O_2 เท่ากับ 4.5 - 5.0 %, เปอร์เซ็นต์ C_3 ใน Fuel Gas เท่ากับ 60, 40, 30, 20, 10 และอุณหภูมิของแก๊สเสีย = 310 °C ถึง 330 °C

ปริมาณ Excees O2 (% Vol)	Type of Fuel Gas (% C3)	Temperature of Flue Gas (°C)	Efficiency (%)	ปริมาณ Excees O2 (% Vol)	Type of Fuel Gas (% C3)	Temperature of Flue Gas (°C)	Efficiency (%)
4.5	60	310	84.28	5	60	310	83.79
		312	84.17			312	83.67
		314	84.05			314	83.55
		316	83.94			316	83.43
		318	83.83			318	83.31
		320	83.71			320	83.19
		322	83.60			322	83.08
		324	83.48			324	82.96
		326	83.37			326	82.84
		328	83.25			328	82.72
		330	83.14			330	82.60
	40	310	84.34		40	310	83.85
		312	84.23			312	83.73
		314	84.11			314	83.61
		316	84.00			316	83.49
		318	83.88			318	83.38
		320	83.77			320	83.26
		322	83.65			322	83.14
		324	83.54			324	83.02
		326	83.43			326	82.90
		328	83.31			328	82.79
		330	83.20			330	82.67
	30	310	84.31		30	310	83.82
		312	84.20			312	83.70
		314	84.08			314	83.58
		316	83.97			316	83.46
		318	83.86			318	83.34
		320	83.74			320	83.23
		322	83.63			322	83.11
		324	83.51			324	82.99
		326	83.40			326	82.87
		328	83.28			328	82.75
		330	83.17			330	82.63
	20	310	84.33		20	310	83.83
		312	84.21			312	83.71
		314	84.10			314	83.59
		316	84.00			316	83.48
		318	83.87			318	83.36
		320	83.76			320	83.24
		322	83.64			322	83.12
		324	83.53			324	83.00
		326	83.41			326	82.89
		328	83.30			328	82.77
		330	83.18			330	82.65
	10	310	84.32		10	310	83.82
		312	84.21			312	83.71
		314	84.10			314	83.59
		316	83.98			316	83.47
		318	83.87			318	83.35
		320	83.75			320	83.24
		322	83.64			322	83.12
		324	83.52			324	83.00
		326	83.41			326	82.88
		328	83.29			328	82.76
		330	83.18			330	82.64

ตารางที่ ก-4 ผลการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 1 (3,4,1 ; จำนวนชั้นซ่อน 2, 5 นิวรอน)

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
2.5	11053	310	85.99	86.00	2.5	11061	322	85.41	85.39
2.5	11053	312	85.89	85.92	2.5	11061	324	85.31	85.29
2.5	11053	314	85.79	85.80	2.5	11061	326	85.20	85.19
2.5	11053	316	85.69	85.68	2.5	11061	328	85.10	85.09
2.5	11053	318	85.58	85.57	2.5	11061	330	85.00	84.98
2.5	11053	320	85.48	85.47	2.5	11067	310	86.03	86.00
2.5	11053	322	85.38	85.37	2.5	11067	312	85.93	85.93
2.5	11053	324	85.28	85.27	2.5	11067	314	85.82	85.82
2.5	11053	326	85.17	85.17	2.5	11067	316	85.72	85.71
2.5	11053	328	85.07	85.07	2.5	11067	318	85.62	85.61
2.5	11053	330	84.97	84.97	2.5	11067	320	85.52	85.51
2.5	11001	310	86.05	86.01	2.5	11067	322	85.42	85.41
2.5	11001	312	85.94	85.95	2.5	11067	324	85.31	85.31
2.5	11001	314	85.84	85.85	2.5	11067	326	85.21	85.21
2.5	11001	316	85.74	85.74	2.5	11067	328	85.11	85.10
2.5	11001	318	85.63	85.63	2.5	11067	330	85.01	85.00
2.5	11001	320	85.53	85.53	2.5	10888	310	86.03	86.00
2.5	11001	322	85.43	85.43	2.5	10888	312	85.93	85.94
2.5	11001	324	85.33	85.33	2.5	10888	314	85.82	85.84
2.5	11001	326	85.23	85.23	2.5	10888	316	85.72	85.72
2.5	11001	328	85.12	85.13	2.5	10888	318	85.62	85.61
2.5	11001	330	85.02	85.02	2.5	10888	320	85.52	85.50
2.5	11061	310	86.02	86.00	2.5	10888	322	85.41	85.41
2.5	11061	312	85.92	85.92	2.5	10888	324	85.31	85.31
2.5	11061	314	85.82	85.81	2.5	10888	326	85.21	85.21
2.5	11061	316	85.72	85.70	2.5	10888	328	85.11	85.10
2.5	11061	318	85.61	85.59	2.5	10888	330	85.01	85.00
2.5	11061	320	85.51	85.49					

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
3	11053	310	85.60	85.62	3	11061	322	85.00	85.00
3	11053	312	85.50	85.51	3	11061	324	84.89	84.90
3	11053	314	85.39	85.40	3	11061	326	84.79	84.80
3	11053	316	85.29	85.30	3	11061	328	84.68	84.69
3	11053	318	85.18	85.20	3	11061	330	84.58	84.59
3	11053	320	85.08	85.09	3	11067	310	85.64	85.66
3	11053	322	84.97	84.99	3	11067	312	85.54	85.55
3	11053	324	84.87	84.89	3	11067	314	85.43	85.44
3	11053	326	84.76	84.78	3	11067	316	85.33	85.34
3	11053	328	84.66	84.68	3	11067	318	85.22	85.23
3	11053	330	84.55	84.57	3	11067	320	85.12	85.13
3	11001	310	85.66	85.67	3	11067	322	85.01	85.02
3	11001	312	85.55	85.57	3	11067	324	84.91	84.91
3	11001	314	85.45	85.47	3	11067	326	84.80	84.81
3	11001	316	85.34	85.37	3	11067	328	84.70	84.71
3	11001	318	85.24	85.27	3	11067	330	84.59	84.60
3	11001	320	85.13	85.16	3	10888	310	85.64	85.64
3	11001	322	85.03	85.05	3	10888	312	85.53	85.53
3	11001	324	84.92	84.94	3	10888	314	85.43	85.43
3	11001	326	84.82	84.84	3	10888	316	85.32	85.33
3	11001	328	84.71	84.73	3	10888	318	85.22	85.23
3	11001	330	84.61	84.63	3	10888	320	85.11	85.12
3	11061	310	85.63	85.64	3	10888	322	85.01	85.01
3	11061	312	85.52	85.53	3	10888	324	84.90	84.90
3	11061	314	85.42	85.42	3	10888	326	84.80	84.80
3	11061	316	85.31	85.32	3	10888	328	84.69	84.70
3	11061	318	85.21	85.22	3	10888	330	84.59	84.60
3	11061	320	85.10	85.11					

<u>ตารางที่ ก-4 (ต่อ)</u>

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
4	11053	310	84.75	84.76	4	11061	322	84.12	84.10
4	11053	312	84.64	84.65	4	11061	324	84.00	83.99
4	11053	314	84.53	84.54	4	11061	326	83.89	83.88
4	11053	316	84.42	84.42	4	11061	328	83.78	83.77
4	11053	318	84.31	84.31	4	11061	330	83.67	83.66
4	11053	320	84.20	84.20	4	11067	310	84.79	84.78
4	11053	322	84.08	84.09	4	11067	312	84.68	84.67
4	11053	324	83.97	83.98	4	11067	314	84.57	84.56
4	11053	326	83.86	83.87	4	11067	316	84.46	84.45
4	11053	328	83.75	83.76	4	11067	318	84.35	84.34
4	11053	330	83.64	83.65	4	11067	320	84.24	84.23
4	11001	310	84.80	84.82	4	11067	322	84.12	84.12
4	11001	312	84.69	84.71	4	11067	324	84.01	84.00
4	11001	314	84.58	84.60	4	11067	326	83.90	83.89
4	11001	316	84.47	84.49	4	11067	328	83.79	83.77
4	11001	318	84.36	84.37	4	11067	330	83.68	83.66
4	11001	320	84.25	84.27	4	10888	310	84.79	84.78
4	11001	322	84.14	84.16	4	10888	312	84.68	84.67
4	11001	324	84.03	84.04	4	10888	314	84.57	84.56
4	11001	326	83.92	83.93	4	10888	316	84.45	84.45
4	11001	328	83.80	83.81	4	10888	318	84.34	84.34
4	11001	330	83.69	83.70	4	10888	320	84.23	84.22
4	11061	310	84.78	84.77	4	10888	322	84.12	84.11
4	11061	312	84.67	84.66	4	10888	324	84.01	84.00
4	11061	314	84.56	84.55	4	10888	326	83.90	83.88
4	11061	316	84.45	84.44	4	10888	328	83.79	83.78
4	11061	318	84.34	84.32	4	10888	330	83.68	83.68
4	11061	320	84.23	84.21					

<u>ตารางที่ ก-5</u> ผลการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 2 (3,4,3 ,5,1; 4 ชั้นซ่อน, 13 นิวรอน)

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
2.5	11053	310	85.99	85.99	2.5	11061	322	85.41	85.40
2.5	11053	312	85.89	85.93	2.5	11061	324	85.31	85.30
2.5	11053	314	85.79	85.84	2.5	11061	326	85.20	85.20
2.5	11053	316	85.69	85.73	2.5	11061	328	85.10	85.11
2.5	11053	318	85.58	85.62	2.5	11061	330	85.00	85.01
2.5	11053	320	85.48	85.51	2.5	11067	310	86.03	85.99
2.5	11053	322	85.38	85.40	2.5	11067	312	85.93	85.93
2.5	11053	324	85.28	85.30	2.5	11067	314	85.82	85.84
2.5	11053	326	85.17	85.21	2.5	11067	316	85.72	85.73
2.5	11053	328	85.07	85.11	2.5	11067	318	85.62	85.62
2.5	11053	330	84.97	85.01	2.5	11067	320	85.52	85.51
2.5	11001	310	86.05	85.99	2.5	11067	322	85.42	85.40
2.5	11001	312	85.94	85.93	2.5	11067	324	85.31	85.30
2.5	11001	314	85.84	85.84	2.5	11067	326	85.21	85.20
2.5	11001	316	85.74	85.73	2.5	11067	328	85.11	85.11
2.5	11001	318	85.63	85.62	2.5	11067	330	85.01	85.01
2.5	11001	320	85.53	85.51	2.5	10888	310	86.03	86.00
2.5	11001	322	85.43	85.41	2.5	10888	312	85.93	85.94
2.5	11001	324	85.33	85.31	2.5	10888	314	85.82	85.85
2.5	11001	326	85.23	85.21	2.5	10888	316	85.72	85.74
2.5	11001	328	85.12	85.11	2.5	10888	318	85.62	85.63
2.5	11001	330	85.02	85.01	2.5	10888	320	85.52	85.52
2.5	11061	310	86.02	85.99	2.5	10888	322	85.41	85.41
2.5	11061	312	85.92	85.93	2.5	10888	324	85.31	85.31
2.5	11061	314	85.82	85.84	2.5	10888	326	85.21	85.21
2.5	11061	316	85.72	85.73	2.5	10888	328	85.11	85.11
2.5	11061	318	85.61	85.62	2.5	10888	330	85.01	85.02
2.5	11061	320	85.51	85.51					

<u>ตารางที่ ก-5 (ต่อ)</u>

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
3	11053	310	85.60	85.63	3	11061	322	85.00	85.01
3	11053	312	85.50	85.52	3	11061	324	84.89	84.91
3	11053	314	85.39	85.42	3	11061	326	84.79	84.80
3	11053	316	85.29	85.32	3	11061	328	84.68	84.69
3	11053	318	85.18	85.21	3	11061	330	84.58	84.59
3	11053	320	85.08	85.11	3	11067	310	85.64	85.63
3	11053	322	84.97	85.01	3	11067	312	85.54	85.52
3	11053	324	84.87	84.91	3	11067	314	85.43	85.42
3	11053	326	84.76	84.80	3	11067	316	85.33	85.32
3	11053	328	84.66	84.69	3	11067	318	85.22	85.21
3	11053	330	84.55	84.59	3	11067	320	85.12	85.11
3	11001	310	85.66	85.64	3	11067	322	85.01	85.01
3	11001	312	85.55	85.53	3	11067	324	84.91	84.91
3	11001	314	85.45	85.42	3	11067	326	84.80	84.80
3	11001	316	85.34	85.32	3	11067	328	84.70	84.69
3	11001	318	85.24	85.22	3	11067	330	84.59	84.59
3	11001	320	85.13	85.12	3	10888	310	85.64	85.65
3	11001	322	85.03	85.01	3	10888	312	85.53	85.54
3	11001	324	84.92	84.91	3	10888	314	85.43	85.43
3	11001	326	84.82	84.80	3	10888	316	85.32	85.32
3	11001	328	84.71	84.70	3	10888	318	85.22	85.22
3	11001	330	84.61	84.59	3	10888	320	85.11	85.12
3	11061	310	85.63	85.63	3	10888	322	85.01	85.02
3	11061	312	85.52	85.52	3	10888	324	84.90	84.92
3	11061	314	85.42	85.42	3	10888	326	84.80	84.81
3	11061	316	85.31	85.32	3	10888	328	84.69	84.70
3	11061	318	85.21	85.21	3	10888	330	84.59	84.59
3	11061	320	85.10	85.11					

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
3.5	11053	310	85.19	85.21	3.5	11061	322	84.57	84.56
3.5	11053	312	85.08	85.11	3.5	11061	324	84.46	84.45
3.5	11053	314	84.97	85.00	3.5	11061	326	84.35	84.34
3.5	11053	316	84.87	84.89	3.5	11061	328	84.25	84.24
3.5	11053	318	84.76	84.78	3.5	11061	330	84.14	84.14
3.5	11053	320	84.65	84.67	3.5	11067	310	85.23	85.21
3.5	11053	322	84.54	84.56	3.5	11067	312	85.12	85.11
3.5	11053	324	84.43	84.45	3.5	11067	314	85.02	85.00
3.5	11053	326	84.32	84.34	3.5	11067	316	84.91	84.89
3.5	11053	328	84.22	84.24	3.5	11067	318	84.80	84.78
3.5	11053	330	84.11	84.14	3.5	11067	320	84.69	84.67
3.5	11001	310	85.24	85.21	3.5	11067	322	84.58	84.56
3.5	11001	312	85.14	85.11	3.5	11067	324	84.48	84.45
3.5	11001	314	85.03	85.00	3.5	11067	326	84.37	84.34
3.5	11001	316	84.92	84.90	3.5	11067	328	84.26	84.24
3.5	11001	318	84.81	84.79	3.5	11067	330	84.15	84.14
3.5	11001	320	84.70	84.68	3.5	10888	310	85.23	85.22
3.5	11001	322	84.60	84.56	3.5	10888	312	85.12	85.12
3.5	11001	324	84.49	84.45	3.5	10888	314	85.01	85.01
3.5	11001	326	84.38	84.34	3.5	10888	316	84.90	84.90
3.5	11001	328	84.27	84.24	3.5	10888	318	84.80	84.79
3.5	11001	330	84.16	84.14	3.5	10888	320	84.69	84.68
3.5	11061	310	85.22	85.21	3.5	10888	322	84.58	84.57
3.5	11061	312	85.11	85.11	3.5	10888	324	84.47	84.46
3.5	11061	314	85.00	85.00	3.5	10888	326	84.36	84.35
3.5	11061	316	84.89	84.89	3.5	10888	328	84.25	84.25
3.5	11061	318	84.79	84.78	3.5	10888	330	84.15	84.15
3.5	11061	320	84.68	84.67					

<u>ตารางที่ ก-6</u> ผลการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 3 (3,7,5,3,4,1 ; 5 ชั้นซ่อน, 20 นิวรอน)

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
2.5	11053	310	85.99	86.00	2.5	11061	322	85.41	85.39
2.5	11053	312	85.89	85.92	2.5	11061	324	85.31	85.29
2.5	11053	314	85.79	85.80	2.5	11061	326	85.20	85.19
2.5	11053	316	85.69	85.68	2.5	11061	328	85.10	85.09
2.5	11053	318	85.58	85.57	2.5	11061	330	85.00	84.98
2.5	11053	320	85.48	85.47	2.5	11067	310	86.03	86.00
2.5	11053	322	85.38	85.37	2.5	11067	312	85.93	85.93
2.5	11053	324	85.28	85.27	2.5	11067	314	85.82	85.82
2.5	11053	326	85.17	85.17	2.5	11067	316	85.72	85.71
2.5	11053	328	85.07	85.07	2.5	11067	318	85.62	85.61
2.5	11053	330	84.97	84.97	2.5	11067	320	85.52	85.51
2.5	11001	310	86.05	86.01	2.5	11067	322	85.42	85.41
2.5	11001	312	85.94	85.95	2.5	11067	324	85.31	85.31
2.5	11001	314	85.84	85.85	2.5	11067	326	85.21	85.21
2.5	11001	316	85.74	85.74	2.5	11067	328	85.11	85.10
2.5	11001	318	85.63	85.63	2.5	11067	330	85.01	85.00
2.5	11001	320	85.53	85.53	2.5	10888	310	86.03	86.00
2.5	11001	322	85.43	85.43	2.5	10888	312	85.93	85.94
2.5	11001	324	85.33	85.33	2.5	10888	314	85.82	85.84
2.5	11001	326	85.23	85.23	2.5	10888	316	85.72	85.72
2.5	11001	328	85.12	85.13	2.5	10888	318	85.62	85.61
2.5	11001	330	85.02	85.02	2.5	10888	320	85.52	85.50
2.5	11061	310	86.02	86.00	2.5	10888	322	85.41	85.41
2.5	11061	312	85.92	85.92	2.5	10888	324	85.31	85.31
2.5	11061	314	85.82	85.81	2.5	10888	326	85.21	85.21
2.5	11061	316	85.72	85.70	2.5	10888	328	85.11	85.10
2.5	11061	318	85.61	85.59	2.5	10888	330	85.01	85.00
2.5	11061	320	85.51	85.49					

ตารางที่ ก-6 (ต่อ)

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
3	11053	310	85.60	85.62	3	11061	322	85.00	85.00
3	11053	312	85.50	85.51	3	11061	324	84.89	84.90
3	11053	314	85.39	85.40	3	11061	326	84.79	84.80
3	11053	316	85.29	85.30	3	11061	328	84.68	84.69
3	11053	318	85.18	85.20	3	11061	330	84.58	84.59
3	11053	320	85.08	85.09	3	11067	310	85.64	85.66
3	11053	322	84.97	84.99	3	11067	312	85.54	85.55
3	11053	324	84.87	84.89	3	11067	314	85.43	85.44
3	11053	326	84.76	84.78	3	11067	316	85.33	85.34
3	11053	328	84.66	84.68	3	11067	318	85.22	85.23
3	11053	330	84.55	84.57	3	11067	320	85.12	85.13
3	11001	310	85.66	85.67	3	11067	322	85.01	85.02
3	11001	312	85.55	85.57	3	11067	324	84.91	84.91
3	11001	314	85.45	85.47	3	11067	326	84.80	84.81
3	11001	316	85.34	85.37	3	11067	328	84.70	84.71
3	11001	318	85.24	85.27	3	11067	330	84.59	84.60
3	11001	320	85.13	85.16	3	10888	310	85.64	85.64
3	11001	322	85.03	85.05	3	10888	312	85.53	85.53
3	11001	324	84.92	84.94	3	10888	314	85.43	85.43
3	11001	326	84.82	84.84	3	10888	316	85.32	85.33
3	11001	328	84.71	84.73	3	10888	318	85.22	85.23
3	11001	330	84.61	84.63	3	10888	320	85.11	85.12
3	11061	310	85.63	85.64	3	10888	322	85.01	85.01
3	11061	312	85.52	85.53	3	10888	324	84.90	84.90
3	11061	314	85.42	85.42	3	10888	326	84.80	84.80
3	11061	316	85.31	85.32	3	10888	328	84.69	84.70
3	11061	318	85.21	85.22	3	10888	330	84.59	84.60
3	11061	320	85.10	85.11					

ตารางที่ ก-6 (ต่อ)

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
3.5	11053	310	85.19	85.21	3.5	11061	322	84.57	84.58
3.5	11053	312	85.08	85.10	3.5	11061	324	84.46	84.47
3.5	11053	314	84.97	84.99	3.5	11061	326	84.35	84.36
3.5	11053	316	84.87	84.88	3.5	11061	328	84.25	84.25
3.5	11053	318	84.76	84.78	3.5	11061	330	84.14	84.15
3.5	11053	320	84.65	84.67	3.5	11067	310	85.23	85.24
3.5	11053	322	84.54	84.57	3.5	11067	312	85.12	85.13
3.5	11053	324	84.43	84.46	3.5	11067	314	85.02	85.02
3.5	11053	326	84.32	84.35	3.5	11067	316	84.91	84.91
3.5	11053	328	84.22	84.24	3.5	11067	318	84.80	84.81
3.5	11053	330	84.11	84.13	3.5	11067	320	84.69	84.70
3.5	11001	310	85.24	85.28	3.5	11067	322	84.58	84.59
3.5	11001	312	85.14	85.17	3.5	11067	324	84.48	84.48
3.5	11001	314	85.03	85.06	3.5	11067	326	84.37	84.37
3.5	11001	316	84.92	84.94	3.5	11067	328	84.26	84.26
3.5	11001	318	84.81	84.84	3.5	11067	330	84.15	84.16
3.5	11001	320	84.70	84.73	3.5	10888	310	85.23	85.23
3.5	11001	322	84.60	84.62	3.5	10888	312	85.12	85.12
3.5	11001	324	84.49	84.51	3.5	10888	314	85.01	85.01
3.5	11001	326	84.38	84.41	3.5	10888	316	84.90	84.90
3.5	11001	328	84.27	84.30	3.5	10888	318	84.80	84.79
3.5	11001	330	84.16	84.20	3.5	10888	320	84.69	84.69
3.5	11061	310	85.22	85.23	3.5	10888	322	84.58	84.58
3.5	11061	312	85.11	85.11	3.5	10888	324	84.47	84.47
3.5	11061	314	85.00	85.00	3.5	10888	326	84.36	84.36
3.5	11061	316	84.89	84.90	3.5	10888	328	84.25	84.25
3.5	11061	318	84.79	84.79	3.5	10888	330	84.15	84.15
3.5	11061	320	84.68	84.69					

<u>ตารางที่ ก-7</u> ผลการทดสอบกับชุดทดสอบความสามารถของข่ายงานนิวรัลของข่ายงานแบบที่ 3

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
4.5	11001	310	84.34	84.32	4.5	11067	322	83.64	83.96
4.5	11001	312	84.23	84.29	4.5	11067	324	83.53	83.90
4.5	11001	314	84.11	84.22	4.5	11067	326	83.41	83.84
4.5	11001	316	84.00	84.16	4.5	11067	328	83.30	83.78
4.5	11001	318	83.88	84.09	4.5	11067	330	83.18	83.71
4.5	11001	320	83.77	84.03	4.5	10888	310	84.32	84.31
4.5	11001	322	83.65	83.97	4.5	10888	312	84.21	84.28
4.5	11001	324	83.54	83.91	4.5	10888	314	84.10	84.21
4.5	11001	326	83.43	83.85	4.5	10888	316	83.98	84.14
4.5	11001	328	83.31	83.79	4.5	10888	318	83.87	84.08
4.5	11001	330	83.20	83.73	4.5	10888	320	83.75	84.02
4.5	11061	310	84.31	84.31	4.5	10888	322	83.64	83.96
4.5	11061	312	84.20	84.27	4.5	10888	324	83.52	83.90
4.5	11061	314	84.08	84.20	4.5	10888	326	83.41	83.84
4.5	11061	316	83.97	84.13	4.5	10888	328	83.29	83.78
4.5	11061	318	83.86	84.07	4.5	10888	330	83.18	83.72
4.5	11061	320	83.74	84.01	5	11053	310	83.79	83.28
4.5	11061	322	83.63	83.95	5	11053	312	83.67	83.21
4.5	11061	324	83.51	83.89	5	11053	314	83.55	83.15
4.5	11061	326	83.40	83.83	5	11053	316	83.43	83.08
4.5	11061	328	83.28	83.77	5	11053	318	83.31	83.01
4.5	11061	330	83.17	83.71	5	11053	320	83.19	82.94
4.5	11067	310	84.33	84.31	5	11053	322	83.08	82.87
4.5	11067	312	84.21	84.27	5	11053	324	82.96	82.81
4.5	11067	314	84.10	84.21	5	11053	326	82.84	82.74
4.5	11067	316	84.00	84.14	5	11053	328	82.72	82.67
4.5	11067	318	83.87	84.08	5	11053	330	82.60	82.61
4.5	11067	320	83.76	84.02	5	11001	310	83.85	83.32

ตารางที่ ก-8 แสดงผลการทดสอบกับชุดทดสอบข่ายงานในการใช้งานจริงของข่ายงานแบบที่ 3 (3,7,5,3,4,1 ; 5 ชั้นซ่อน, 20 นิวรอน)

O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)	O_2	LHV Gas	Temp	% Eff	(Net)
5	11061	310	83.82	83.81	5	11067	322	83.12	83.57
5	11061	312	83.70	83.78	5	11067	324	83.00	83.53
5	11061	314	83.58	83.73	5	11067	326	82.89	83.49
5	11061	316	83.46	83.69	5	11067	328	82.77	83.44
5	11061	318	83.34	83.64	5	11067	330	82.65	83.40
5	11061	320	83.23	83.60	5	10888	310	83.82	83.81
5	11061	322	83.11	83.56	5	10888	312	83.71	83.78
5	11061	324	82.99	83.52	5	10888	314	83.59	83.74
5	11061	326	82.87	83.48	5	10888	316	83.47	83.69
5	11061	328	82.75	83.44	5	10888	318	83.35	83.65
5	11061	330	82.63	83.39	5	10888	320	83.24	83.61
5	11067	310	83.83	83.81	5	10888	322	83.12	83.57
5	11067	312	83.71	83.78	5	10888	324	83.00	83.53
5	11067	314	83.59	83.74	5	10888	326	82.88	83.48
5	11067	316	83.48	83.69	5	10888	328	82.76	83.44
5	11067	318	83.36	83.65	5	10888	330	82.64	83.40
5	11067	320	83.24	83.61					

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลโครงข่ายประสาทเทียมแบบจำลองที่ 3 (3,7,5,3,4,1 ; 5 ชั้นซ่อน, 20 นิวรอน)

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 1

Inputs Level 1	
Inputs	Weight
O2 Excess	1.0000
LHV Fuel Gas	0.9218
Temp. Flue Gas	1.0000

Node No.	Level 1		
	Weights Input 1	Weights Input 1	Weights Input 3
Node 1	-0.269824	-0.1636	0.145897
Node 2	0.425467	-0.110382	0.4229
Node 3	1.16587	1.010865	0.634718
Node 4	0.870184	-0.573231	0.338636
Node 5	-1.255698	0.04915	-1.18111
Node 6	-0.073231	0.923517	-0.036941
Node 7	0.9009	-0.006601	0.53809

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 2

Inputs	Weight
Node 1	0.0431
Node 2	0.7284
Node 3	0.9990
Node 4	0.672979
Node 5	0.672979
Node 6	0.00001
Node 7	0.724013

Node No.	Level 2					
	Weights 1	Weights 2	Weights 3	Weights 4	Weights 5	Weights 6
Node 8	0.84001	0.01439	0.13122	-0.00351	1.21608	2.07255
Node 9	-1.49171	1.39963	-2.74536	1.308	-1.0096	1.10683
Node 10	0.04554	-0.23054	-1.45647	-0.72387	0.98284	1.62519
Node 11	0.21919	0.2058	0.15616	0.11612	-0.50009	0.82622
Node 12	0.58749	0.09193	-0.73248	0.54746	-0.92052	0.34709

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 3

Inputs	Weight
Node 8	0.995809
Node 9	0.538319
Node 10	0.004355
Node 11	0.936479
Node 12	0.916122

<u>ตารางที่ ข-3 (ต่อ)</u> ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 3

Node No.	Level 3				
	Weights 1	Weights 2	Weights 3	Weights 4	Weights 5
Node 13	1.6037	0.35581	-0.36175	1.91025	1.41147
Node 14	-0.21558	1.28602	-1.48887	0.7442	0.55531
Node 15	-0.86317	2.23457	-0.23322	-0.11369	0.46337

<u>ตารางที่ ข-4</u> ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 4

Inputs	Weight
Node 13	1
Node 14	0.991
Node 15	0.65509

Node No.	Level 4		
	Weights 1	Weights 2	Weights 3
Node 16	1.67946	0.50198	1.13109
Node 17	-1.3837	-0.14304	2.8044
Node 18	0.49432	-1.62503	0.4401
Node 19	-1.42458	1.9392	0.52555

<u>ตารางที่ ข-5</u> ข้อมูลจำเพาะของโครงข่ายประสาทเทียมชั้นที่ 5

Inputs	Weight
Node 16	0.9999
Node 17	0.320113
Node 18	0.004912
Node 19	0.796795

Node No.	Level 5			
	Weights 1	Weights 2	Weights 3	Weights 4
Node 20	0.56759	-1.88281	3.3484	-1.08929

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสมชาย อัครารัตนพงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดนนทบุรี เข้าศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนเบญจมราชานุสรณ์ จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคนอกเวลาราชการ ในปีการศึกษา 2550 ปัจจุบันทำงานที่บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่งพนักงานควบคุมการผลิต