

การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายโดยใช้แบบจำลองข่ายงานประสาทเทียมและแบบจำลองกระบวนการ

Improvement of Energy Consumption Efficiency in Solvent Deasphalt Process by Artificial Neural Network and Process Modeling

สมชาย อัครรัตน์พงศ์ สุรเทพ เขียวหอม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทรศัพท์ 085-5599001

E-mail: Somchai.A@Student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

กระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายเป็นขั้นตอนหนึ่งในการผลิตน้ำมันหล่อลื่น (Lube Base Oil) กระบวนการนี้จะใช้หลักการสกัดโดยมีโพรเพน (Propane) เป็นตัวทำละลายซึ่งอยู่ในสถานะของไหลเหนือวิกฤต ผลิตภัณฑ์ที่ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ แอสฟัลต์ที่กักตัวแอสฟัลต์ออยล์ซึ่งผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ส่วนจะมีตัวทำละลายผสมอยู่ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์จึงต้องแยกตัวทำละลายออกจากผลิตภัณฑ์โดยการให้ความร้อน ซึ่งในกระบวนการให้ความร้อนนี้อาศัยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเตาเผา (Furnace) งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการโดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ (1) ปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินการของเตาเผาโดยการสร้างแบบจำลอง (Model) โดยใช้แบบจำลองข่ายงานประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคือ ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน, อุณหภูมิของแก๊สเสีย และ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (2) คือการหาสภาวะการดำเนินการที่เหมาะสมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาเงื่อนไขในการดำเนินการที่สามารถแยกตัวทำละลายกลับมาให้มากที่สุดโดยที่มีการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด (Minimize Heat Duty) ซึ่งการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 5.66 MMKcal/hr. หรือประมาณ 25 % ของปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการแบบเดิม

คำสำคัญ: การปรับปรุงประสิทธิภาพ ข่ายงานประสาทเทียม กระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ ของไหลเหนือวิกฤต

ABSTRACT

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 developed model 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 determined by the developed model in commercial software. The optimization was found that the developed model can be reduced energy consumption into 5.66 MMKcal/hr. representing a 25 % of the total energy are used in conventional processes.

Keyword: improvement efficiency, artificial neural networks, deasphalt process, supercritical fluid

1. บทนำ

กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบเริ่มต้นจากการรับน้ำมันดิบจากแหล่งต่างๆ น้ำมันดิบจะผ่านกระบวนการเพื่อทำการกลั่นแยกกำจัดสารปนเปื้อนและปรับปรุงคุณภาพจนได้ผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานที่ต้องการ โดยน้ำมันดิบจะถูกกลั่นแยกภายใต้ความดันบรรยากาศก่อนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ เช่น แนฟธา เคโรซีน เป็นต้น ในส่วนของกากที่เหลือจะถูกกลั่นแยกอีกครั้งที่สภาวะความดันสุญญากาศเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำมันหล่อลื่นและยางมะตอย โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นนั้นจะต้องผ่านหน่วยผลิตต่างๆ เช่น กระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลาย กระบวนการแยกไข เป็นต้น เพื่อจะกำจัดสารปนเปื้อนและปรับปรุงคุณภาพก่อนที่จะได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายเพื่อจำหน่ายต่อไป

การกลั่นภายใต้ความดันสุญญากาศนั้นจะแยกน้ำมันเบาออกทางด้านบนของหอกกลั่น ส่วนผลิตภัณฑ์หนักจะแยกออกทางด้านล่างของหอกกลั่นตามลำดับ ส่วนที่หนักที่สุดซึ่งจะออกทางด้านล่างของหอกกลั่นคือวีอาร์ (Vacuum Residue, VR) ซึ่งเป็นส่วนของน้ำมันหนักที่ไม่สามารถกลั่นได้ต่อไปแต่สามารถนำมาสกัดแยกด้วยสารละลายอินทรีย์เพื่อแยกผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ยังมีคุณสมบัติในการเป็นน้ำมันหล่อลื่นออกมาโดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า ROSE Process (Residuum Oil Supercritical Extraction) ได้ผลิตภัณฑ์ 2 ประเภทคือ ดีแอสฟัลต์ออยล์ (Deasphalt Oil) และผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้คือ แอสฟัลทีน (Asphaltene)

การที่จะสกัดดีแอสฟัลต์ออยล์ให้แยกตัวออกจากแอสฟัลทีนได้นั้นจะต้องใช้โพรเพนเป็นตัวทำละลายเป็นจำนวนมาก ซึ่งในกระบวนการแยกจะต้องมีการให้ความร้อนแก่ของไหลในกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดการแยกที่ดียิ่งขึ้นหรือนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งในกระบวนการผลิต แหล่งพลังงานส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีรวมถึงในกระบวนการสกัดแยกน้ำมันหล่อลื่นนี้จะอาศัยเตาเผา (Furnace) เป็นแหล่งพลังงานหลักที่จะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้แก่กระบวนการผลิต ส่งผลให้มีการใช้พลังงานอย่างมหาศาลในเตาเผาเพื่อทำให้เกิดพลังงานความร้อนมากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

ผลงานวิจัยของ Houde และ McGrath [1] ได้เสนอรูปแบบการดำเนินการเรียกว่า “การสกัดที่สภาวะของไหลเหนือวิกฤต” (Supercritical Fluid Extraction) ดังรูปที่ 1 แทนกระบวนการแบบดั้งเดิมที่เรียกว่า “Conventional Process” โดยอาศัยหลักการดำเนินการที่สภาวะเหนือจุดวิกฤตของตัวทำละลายเพื่อสามารถแยกสารละลายออกจากผลิตภัณฑ์ได้โดยใช้พลังงานที่น้อยกว่ากระบวนการดั้งเดิม ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานความร้อนลงได้กว่า 33 %

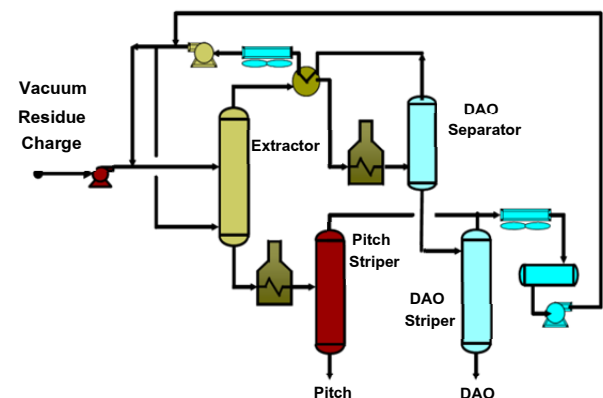
งานวิจัย Daniel และ Van Tine [2] ได้อธิบายถึงกระบวนการสกัดที่สภาวะเหนือวิกฤตโดยกล่าวถึงข้อดีกว่ากระบวนการแบบดั้งเดิมคือสามารถใช้ปริมาณตัวทำละลายที่ต่ำกว่าได้ทำให้สามารถประหยัดพลังงานในส่วนของการให้ความร้อนและไอน้ำได้กว่า 30 %

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพในส่วนของการดำเนินการของเตาเผาซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในกระบวนการและการหาเงื่อนไขสภาวะการทำงานของชุดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายภายใต้สภาวะของไหลเหนือวิกฤตเพื่อปรับปรุงการใช้พลังงานในกระบวนการให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

2. กระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายภายใต้สภาวะของไหลเหนือวิกฤต

2.1 รายละเอียดของกระบวนการ

กระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายนั้นทำได้โดยวิธีการสกัดแยกโดยใช้ตัวทำละลายโพรเพน



รูปที่ 1 กระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายแบบสภาวะเหนือจุดวิกฤตของตัวทำละลาย [1]

ซึ่งกำหนดอัตราส่วนการไหลภายในหอสกัดของสารละลายต่อสารตั้งต้นประมาณ 12.5:1 โดยปริมาตร กระบวนการสกัดแยกนี้จะดำเนินการภายในหอสกัดที่มีสถานะเหนือจุดวิกฤตของสารละลายโพรเพน คือที่ความดันเท่ากับ 42.6 kg/cm^2 และมีอุณหภูมิเท่ากับ $96.7 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยที่ตัวทำละลายโพรเพนจะสามารถละลายดีแอสฟัลต์ออยล์ได้ดีแต่จะละลายแอสฟัลท์ทินได้น้อย ผลิตรัตน์ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างตัวทำละลายกับดีแอสฟัลต์ออยล์จะออกจากหอสกัดทางด้านบนส่วนผลิตรัตน์ที่เป็นของผสมระหว่างแอสฟัลท์ทินกับตัวทำละลายอีกเล็กน้อยจะออกทางด้านล่างของหอสกัด จากนั้นจึงทำการแยกตัวทำละลายออกจากผลิตรัตน์ โดยการให้ความร้อนเพื่อให้ตัวทำละลายเปลี่ยนสถานะและแยกตัวออกจากผลิตรัตน์ ตัวทำละลายส่วนใหญ่จะถูกแยกออกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการสกัดที่หอสกัดแยก ซึ่งตัวทำละลายกับดีแอสฟัลต์ออยล์จะอยู่ในสถานะที่เรียกว่า “ของไหลเหนือจุดวิกฤต” (Supercritical Fluid) ส่วนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการนั้นจะได้อาจมาจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เตาเผา (Furnace) โดยให้ความร้อนผ่านสารตัวกลาง (LGO; Light Gas Oil) ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งเพื่อนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลในกระบวนการก่อนที่จะไหลเวียนกลับสู่เตาเผาใหม่อีกครั้ง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

3.1 การเผาไหม้ในเตาเผา

(Combustion in Furnace)

Ashutosh Garg [3] ได้ทำการศึกษาถึงการขั้นตอนดำเนินการของเตาเผากล่าวคือ กระบวนการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการคายความร้อนจากการรวมตัวกันอย่างรวดเร็วของออกซิเจนและเชื้อเพลิงซึ่งออกซิเจนนั้นจะอยู่ในอากาศ ส่วนเชื้อเพลิงนั้นจะเป็นสารประกอบของไฮโดรคาร์บอนและซัลเฟอร์บางส่วน หากส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงในระหว่างเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ไม่เหมาะสมโดยที่มีอากาศไม่เพียงพอจะทำให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องป้อนอากาศให้มีปริมาณเกินพอ (Excess Air) เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ดังนั้นตัวแปรที่จำเป็นต้อง

ควบคุมในการดำเนินการเผาไหม้สำหรับเตาเผาจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

- ความดันของเชื้อเพลิงเหลวและแก๊ส
- ปริมาณอากาศเกินพอ (Excess Air)
- ความดันภายในเตาเผา (Pressure Draft)

3.2 หลักการออกแบบการทดลอง

(Design of Experiment)

วิธีการออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคที่ใช้อย่างกว้างขวางในงานวิจัยและพัฒนาผลิตรัตน์ตลอดจนงานทางวิศวกรรม [4] การออกแบบการทดลองนั้นอาศัยหลักการปรับค่าของปัจจัยนำเข้า (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองที่เกิดขึ้น (Response)

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป (General Full Factorial) โดยการทดลองในแต่ละครั้งในแต่ละปัจจัยจะมีค่าระดับหลายค่า เช่น ปัจจัย A มี 2 ระดับ B มี 3 ระดับ และ C มี 5 ระดับ การทดลองจะทำการทดลองจนครบทุกค่าระดับของทุกปัจจัยเพราะจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือและยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยได้โดยอิทธิพลร่วมคือ ผลของการที่มีหลายปัจจัยอยู่ร่วมกันในกระบวนการ ซึ่งหากไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วมได้อย่างชัดเจน การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบเหมาะสำหรับการทดลองที่มีขนาดเล็กเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยหรือเพื่อทำการหาค่าที่ดีที่สุด

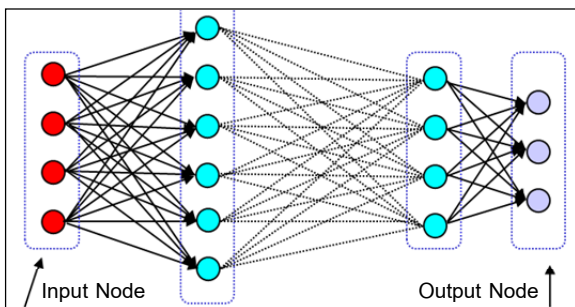
3.3 การสร้างแบบจำลองจากข่ายงานประสาท

เทียม (Artificial Neural Network)

แบบจำลองข่ายงานประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [5] คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบและการทำนายอนาคตเช่นเดียวกันกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ จากลักษณะและการทำงานของเซลล์ประสาทหรือนิวรอนตั้งที่กล่าวมาข้างต้นได้ถูกนำมาสร้างทฤษฎีทาง

คณิตศาสตร์และจำลองการทำงานในรูปแบบพื้นฐาน โดยใช้ชื่อว่า “โครงข่ายประสาทเทียม” ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบง่ายนี้จะมีค่าอินพุต (Input) ซึ่งเป็นค่าสเกลาร์หนึ่งค่า โดยค่าอินพุตนี้จะถูกป้อนผ่านจุดต่อและคูณกับค่าความแข็งแรง (Strength) ซึ่งจะเป็นค่าน้ำหนักสเกลาร์ (Scalar Weight) ได้ผลคูณเป็นค่าน้ำหนัก (Weighted Input) จากนั้นจะส่งค่าต่อไปยังฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าสเกลาร์เอาต์พุต (Scalar Output) ตัวอย่างของฟังก์ชันถ่ายโอนนี้ เช่น ฟังก์ชันขั้นบันไดหรือฟังก์ชันซิกมอยด์ เป็นต้น ฟังก์ชันถ่ายโอนนี้มีหน้าที่รับค่าอินพุตเพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่าเอาต์พุต ส่วนค่าน้ำหนัก (Weight) จะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ รูปแบบทั่วไปของข่ายงานประสาทเทียมแสดงดังรูปที่ 2

งานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองข่ายงานประสาทเทียมแบบ Multi-Layer Perceptron โดยมีการเรียนรู้แบบ Back-Propagation ซึ่งมีโครงสร้างการทำงานมากกว่า 1 ชั้น แบบจำลองประกอบไปด้วยโครงสร้าง 3 ชั้นคือ ชั้นข้อมูลอินพุต ชั้นแอบแฝง (Hidden) และชั้นข้อมูลเอาต์พุต (Output) ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ (Sigmoid Function) ในการพิจารณาคัดเลือกข่ายงานที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นแบบจำลองในงานวิจัยนี้ได้นำ



รูปที่ 2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม [5]

เมื่อ n = จำนวนของชุดข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง
 y_i = ค่าเอาต์พุต (Output) ที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง
 p_i = ค่าเอาต์พุต (Output) จริงที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองข่ายงานประสาทเทียม

ค่าดัชนีมาเปรียบเทียบเพื่อเป็นตัวตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ข่ายงานใดคือ ค่า Mean Square Error (MSE) และค่า Root Mean Square Error (RMS) ซึ่งพิจารณาจากความแตกต่างระหว่างผลจากการทำนายและผลจากการทดลองโดยเลือกข่ายงานที่สามารถให้ค่า MSE และ RMS ต่ำที่สุด

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - p_i)^2 \quad (1)$$

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

ค่าฟังก์ชันสมรรถนะ (Performance Function) เป็นค่าที่ใช้บอกร้อยละความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตของข่ายงานกับค่าจากข้อมูลจริงโดยใช้ค่าของ Mean Square Percent Error Index (RMSP Error Index) และค่า Maximum Percent Error Index (MP Error Index) แสดงตามสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

$$RMSP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^n p_i^2}} \times 100 \quad (3)$$

$$MP \text{ Error} = \frac{\max |y_i - p_i|}{\max |p_i|} \times 100 \quad (4)$$

การหาค่าสมรรถนะความถูกต้องในการทำนาย (Accuracy Performance) ของข่ายงานเพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดคำนวณจากสมการ (5)

$$Accuracy = 100 - \frac{\sum_{i=1}^n (RMSP_i \times MP_i)}{n} \quad (5)$$

3.4 โปรแกรมที่ใช้สร้างข่ายงานประสาทเทียม

โปรแกรม Pythia Version 1.02 [6] เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์และสร้างข่ายงานประสาทเทียมโดยการใช้อัลกอริทึมแบบแบ็คพรอพาเกชัน (Back Propagation Algorithm) ซึ่งค่าพารามิเตอร์นำหน้าที่ใช้ในข่ายงานประสาทเทียมจะเป็นค่าแบบสุ่ม ซึ่งในระหว่างช่วงเรียนรู้ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากข่ายงานประสาทเทียมจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าเอาท์พุทกับค่าเอาท์พุทของเป้าหมายแล้วคำนวณค่าผิดพลาดเพื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักให้ได้เอาท์พุทที่ใกล้เคียงหรือเท่ากับเอาท์พุทเป้าหมาย

3.5 การสร้างแบบจำลองกระบวนการ

เพื่อสร้างแบบจำลองกระบวนการสำหรับหาสถานะที่เหมาะสมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป HYSYS Version 3.2 [7] ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองทางด้านวิศวกรรมสำหรับจำลองกระบวนการผลิตเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ของกระบวนการ ในการสร้างแบบจำลองหน่วยการผลิตจะเป็นการจำลองในสถานะคงตัว เพื่อลดความยุ่งยากของขั้นตอนในการผลิตต่าง ๆ แต่คงไว้และให้ความสำคัญกับอุปกรณ์หลักที่กำหนดที่สำคัญของกระบวนการผลิตเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้สามารถตรวจสอบกลับได้ง่าย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะต้องยังสามารถเป็นตัวแทนของกระบวนการผลิตได้จริง

สมการสถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ใช้ในการคำนวณและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อผลลัพธ์ที่ได้ของแบบจำลอง ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองจะต้องเลือกใช้สมการสถานะ (Equation of State) ให้เหมาะสมกับกระบวนการนั้นๆ สำหรับแบบจำลองในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้สมการของเพ็งโรบินสัน (PR, Peng Robinson Equation) ซึ่งเป็นสมการที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมทางด้านปิโตรเคมี และมีความน่าเชื่อถือในการทำนายคุณสมบัติของระบบสารไฮโดรคาร์บอน

สำหรับขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองกระบวนการมีดังนี้

- เลือกข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงในช่วงที่อยู่ในภาวะที่มีความเสถียร (อุณหภูมิ, ความดันและอัตราการไหล)
- ใช้โปรแกรม HYSYS Version 3.2 สร้างแบบจำลองกระบวนการ
- ป้อนข้อมูลคุณสมบัติของสารป้อนในแบบจำลอง
- วิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลอง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยจะประกอบด้วย การเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้คำนวณประสิทธิภาพของเตาเผา ขั้นตอนการสร้างและทดลองข่ายงานประสาทเทียมสำหรับการสร้างแบบจำลองเตาเผา การสร้างแบบจำลองการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อปรับปรุงการใช้พลังงานและทำการเปรียบเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริงสำหรับข้อมูลที่เป็นในการคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาเผาแสดงดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแก๊สที่ใช้ในเตาเผา (Vol %) ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2554

Compo.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
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	26.4	23.4	19.9	34.8	35.2	30.1
i-C ₄	5.19	2.88	4.9	7.14	6.93	8.33
n-C ₄	4.77	1.93	3.24	4.18	3.3	12.8
C ₅ =	0.35	0.58	0.56	0	0.27	0.64
n-C ₅	0.5	0	0	0.8	0	0.4
H ₂	50.9	53.1	49.7	34.9	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	12.6	19.5	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 2 แสดงองค์ประกอบของแก๊สเสีย (Vol %) จากเตาเผาตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2554

เดือน Sample	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
Temp (°C)	311.6	313.8	319	317.1	315.1	311.7
O ₂ (%vol)	3.1	2.6	3.7	4	3.3	3.7
CO ₂ (%vol)	10.2	10.4	9.8	9.7	10	9.8
NO (ppm)	115	117	107	107	76	101
NO _x (ppm)	115	117	107	107	76	101
CO (ppm)	1	1	1	1	10	2
SO ₂ (ppm)	228	252	170	215	167	191

4.1 การคำนวณประสิทธิภาพเตาเผาที่สภาวะต่างๆ

จากวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสามารถกำหนดช่วงของค่าปัจจัยเพื่อคำนวณและเก็บข้อมูลประสิทธิภาพของเตาเผาที่สภาวะต่างๆ กันโดยมีค่าปัจจัยอินพุต (Input Parameters) ดังนี้

- ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (ที่ 2.5 – 5 % Vol.)
- อุณหภูมิของแก๊สเสีย (ช่วง 310 – 330 °C)
- ปริมาณ C₃ ในเชื้อเพลิง (ช่วง 10 - 60 % Vol.)

4.2 ขั้นตอนการสร้างและทดลองข่ายงานนิวรัล

สำหรับสร้างแบบจำลองข่ายงานประสาทเทียม

เมื่อได้ข้อมูลจากการคำนวณมาแล้วจึงนำข้อมูลเหล่านี้มาแบ่งออกเป็น 3 ชุด โดยข้อมูลชุดที่ 1 (70 % ของข้อมูลทั้งหมด) ใช้สำหรับฝึกข่ายงานประสาทเทียม ข้อมูลชุดที่ 2 (20 % ของข้อมูลทั้งหมด) ใช้สำหรับทำการทดสอบความสามารถของข่ายงานประสาทเทียม และชุดที่ 3 (10 % ของข้อมูลทั้งหมด) ใช้สำหรับสอบทานข่ายงานประสาทเทียมในการใช้จริง

4.3 การสร้างแบบจำลองกระบวนการในส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

คุณสมบัติของสารในกระบวนการที่ต้องกำหนดในโปรแกรมสำเร็จรูป HYSYS ส่วนของดีแอสฟัลด์ออยล์, สารตัวกลางและแอสฟัลท์ทินจะแสดงในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 การกระจายช่วงจุดเดือดการกลั่นตามมาตรฐาน ASTM (D2887) ของดีแอสฟัลด์ออยล์และสารตัวกลาง

สาร	ดีแอสฟัลด์ออยล์	สารตัวกลาง
ASTM (D2887)	°C	°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 4 แสดงคุณสมบัติของดีแอสฟัลด์ออยล์, แอสฟัลท์ทินและสารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

สาร	ดีแอสฟัลด์ออยล์	สารตัวกลาง	แอสฟัลท์ทิน
คุณสมบัติ			
ความถ่วงจำเพาะ	0.9278	-	1.059
ความหนืด (cSt)	36.5	5.509	930

5. ผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 ผลการฝึกและทดสอบข่ายงาน

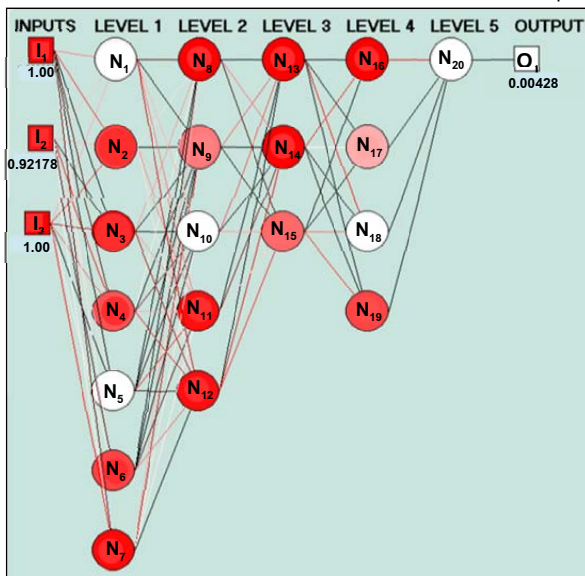
จากการออกแบบข่ายงานโดยใช้โปรแกรม Pythia Version 1.02 พบว่าข่ายงานที่เหมาะสมที่ให้ค่า MSE และ RMS ต่ำที่สุด (MSE=2.6x10⁻⁴, RMS=1.6x10⁻²) คือข่ายงานที่ประกอบด้วย 5 ชั้นซ่อน 20 โหนด (Node) โครงสร้างที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 3

ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเตาเผาจากแบบจำลองกับค่าที่คำนวณได้จริงแสดงพบว่าแบบจำลองสามารถทำนายประสิทธิภาพเตาเผาได้ใกล้เคียงกับประสิทธิภาพจริงที่ได้จากการคำนวณซึ่งแสดงดังรูปที่ 4

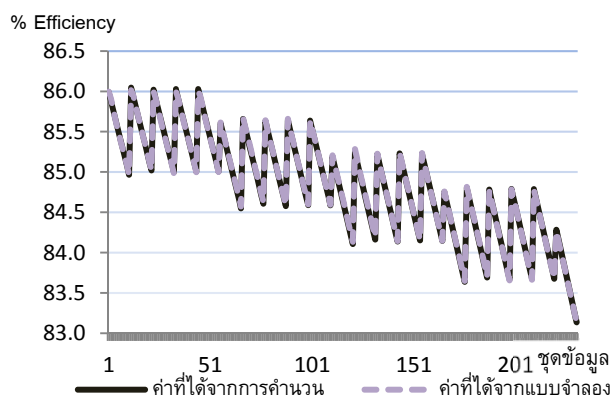
เมื่อพิจารณาผลการทำนายของแบบจำลองที่ได้รับ การคัดเลือกในงานวิจัยนี้โดยใช้ค่าฟังก์ชันสมรรถนะ (Performance Function) เพื่อทดสอบค่าความผิดพลาด ระหว่างเอาต์พุตของข่ายงานกับค่าจากข้อมูลจริงพบว่า มีค่า RMSP เท่ากับ 0.38 และมีค่า MP Error เท่ากับ 0.64 และเมื่อทดสอบกับชุดทดสอบข่ายงานจริงพบว่ามี ค่าสมรรถนะความถูกต้องเท่ากับ 99.9 %

5.2 ผลการจำลองกระบวนการส่วนหนึ่งของเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน

ผลการจำลองกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัว ทำละลายในส่วนหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของ ดีแอสฟัลต์ออยล์ซึ่งมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 3 ชุด



รูปที่ 3 แสดงรูปแบบข่ายงานประสาทเทียมที่ได้จาก โปรแกรม Pythia ในขั้นตอนการเรียนรู้



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพเตาเผาระหว่าง ผลที่ได้การคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก แบบจำลองข่ายงานประสาทเทียม

ได้แก่ E002A/B, E0014 และ E004 ดังรูปที่ 5 และ แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของแอสฟัลท์ทึน ซึ่งมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 3 ชุดคือ E003/17, E013/18 และ E05 ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการก่อนที่จะทำการหาค่าสภาวะที่เหมาะสม ที่สุด (Optimization) โดยพิจารณาจากปริมาณของตัว ทำละลายที่นำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการที่ตำแหน่ง ต่างๆ และปริมาณความร้อนที่ใช้ในการให้ความร้อน เพื่อแยกสารละลายกลับมาในส่วนที่ดีแอสฟัลต์ออยล์ และแอสฟัลท์ทึนจะแสดงดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6

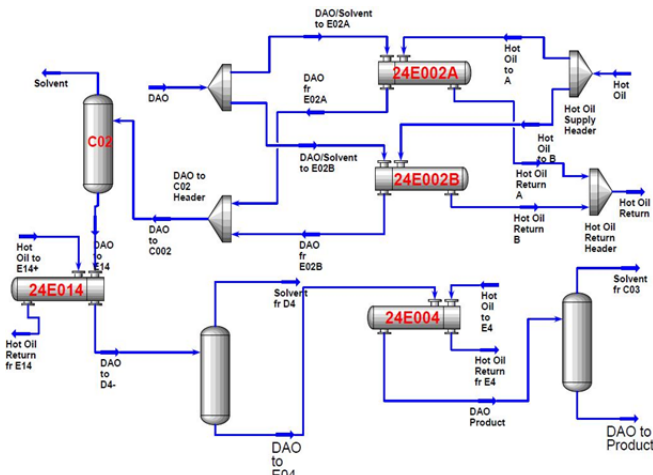
จากแบบจำลองของกระบวนการในส่วนหนึ่งของเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 2 ส่วน พบว่าเมื่อทำการหา สภาวะที่ดีที่สุด โดยคำนึงถึงตัวแปรที่ต้องควบคุมเช่น ปริมาณสารละลายที่ต้องนำกลับมาและปริมาณ สารละลายที่ปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์ออกไปพบว่า สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 5.4 MMKcal/hr. หรือ ประมาณ 24.6 %

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณ Solvent Recovery และ Heat Duty ในส่วนที่ดีแอสฟัลต์ออยล์

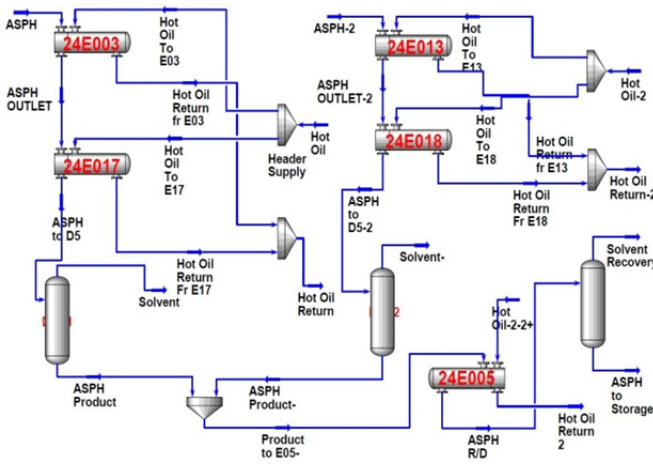
Equipment	Solvent Recovery		Heat Duty	
	(%)		(MMKcal/hr.)	
	Current	Optimize	Current	Optimize
E002A/B	99.20	91.80	12.93	5.07
E014	0.66	8.07	2.42	6.03
E004	0.10	0.13	0.32	0.25
Total	99.96	99.99	15.67	11.36

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณ Solvent Recovery และ Heat Duty ในส่วนที่ดีแอสฟัลท์ทึน

Equipment	Solvent Recovery		Heat Duty	
	(%)		(MMKcal/hr.)	
	Current	Optimize	Current	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



รูปที่ 5 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วน
ของดีแอสฟัลต์ออยล์



รูปที่ 6 แบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วน
ของแอสฟัลท์หิน

6. วิเคราะห์ผลงานวิจัย

6.1 ผลการสร้างแบบจำลองข่ายงานประสาทเทียม
ของเตาเผา

การสร้างแบบจำลองข่ายงานประสาทเทียมเพื่อทำนายประสิทธิภาพของเตาเผาในกระบวนการนี้พบว่าแบบจำลองที่ได้คือ ข่ายงานประสาทเทียมที่มีโครงสร้างแบบ 5 ชั้นซ่อน ซึ่งมีจำนวนนิวรัล 7 โหนด ในชั้นซ่อนที่ 1, 5 โหนดในชั้นซ่อนที่ 2, 3 โหนดในชั้นซ่อนที่ 3, 4 โหนดในชั้นซ่อนที่ 4, 1 โหนดในชั้นซ่อนที่ 5 โดยมีฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Log-Sigmoid Function ผลการออกแบบพบว่าข่ายงานประสาทเทียมที่ได้มีค่าความ

ผิดพลาดอยู่ในระดับต่ำ คือมีค่า MSE เท่ากับ 1.9×10^{-3} และค่า RMSE เท่ากับ 1.37×10^{-2} ซึ่งเมื่อทดสอบกับชุดทดสอบข่ายงานในการใช้งานจริงพบว่ามีค่าสมรรถนะความถูกต้องในการทำนาย (Accuracy Performance) เท่ากับ 99.9 % ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกับการดำเนินการจริง ถือเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการของเตาเผาในระดับการใช้งานจริงอย่างมากเนื่องจากการดำเนินการจริงในส่วนของเตาเผายังไม่มีมีการจัดการหรือควบคุมสภาวะการดำเนินการเพื่อคาดเดาประสิทธิภาพในการดำเนินการให้สูงที่สุดมาก่อนและแบบจำลองที่ได้จากข่ายงานประสาทเทียมนี้ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติขั้นสูง (Advance Process Control) [8] เพื่อควบคุมการดำเนินการของเตาเผาให้มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมได้

6.2 ผลการสร้างแบบจำลองเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อนในกระบวนการ

การหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) ของสภาวะการดำเนินการสำหรับกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายในส่วนของการแยกสารละลายออกจากดีแอสฟัลต์ออยล์และจากแอสฟัลท์หิน ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงเหลือ 16.86 MMKcal/hr. จากเดิมที่มีปริมาณการใช้พลังงานเท่ากับ 22.52 MMKcal/hr. ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 25.1 % โดยเมื่อพิจารณาที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนของดีแอสฟัลต์ออยล์จะพบว่าการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E02A/B และ E014 เพียง 2 ชุด ทำให้การใช้พลังงานลดลงถึง 4.25 MMKcal/hr. หรือประมาณ 78.7 % ของพลังงานที่ลดลงได้ทั้งหมด ทั้งนี้แบบจำลองของกระบวนการในส่วนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในแง่ของการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือการศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มกำลังการผลิตในอนาคตต่อไปได้

หลังจากทำการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับสภาวะการดำเนินการของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานที่ลดลงทั้งหมดหากเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงแก๊สที่ใช้ในการเผาไหม้ที่เตาเผาในกระบวนการกำจัด

แอสฟัลต์ด้วยตัวทำละลายนี้จะมีค่าเท่ากับปริมาณ
เชื้อเพลิงแก๊ส 511.2 Kg/hr. หรือเท่ากับ 12.27 ตัน/วัน
[9] ซึ่งถือว่าเป็นประโยชน์อย่างมากในเชิงของการ
อนุรักษ์พลังงาน

7. สรุปผลการวิจัย

ผลการสร้างแบบจำลองขบวนการประสาทเทียมเพื่อ
หาประสิทธิภาพของเตาเผา พบว่าแบบจำลองที่ได้มีค่า
สมรรถนะความถูกต้องเท่ากับ 99.9 % ซึ่งแบบจำลองนี้
สามารถใช้เป็นตัวแทนของเตาเผาที่ใช้ในกระบวนการ
จริงสำหรับหาสภาวะที่เหมาะสมในเชิงของการ
ดำเนินการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและในการ
สร้างแบบจำลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง
แลกเปลี่ยนความร้อนพบว่า สามารถลดการใช้พลังงาน
ลงได้ถึง 5.66 MMKcal/hr. ซึ่งแบบจำลองในงานวิจัยนี้
สามารถใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการกำจัดแอสฟัลต์
ด้วยตัวทำละลายเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในส่วน
ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ในอนาคตเมื่อมีการ
ดำเนินการที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Edward J. Houde, Michael J. McGrath. "When Solvent Deasphalting Is the Most Appropriate Technology for Upgrading Residue". IDTC Conference London. 19th Feb 2006. England: pp. 31-34 (2006)
- [2] Daniel B. Gillis, Fred Van Tine. "What 'S New in Solvent Deasphalting" Foster Wheeler International Corporation Heavy Oils Conference Houston June 1998 pp. 16-1 – 16-3
- [3] Ashutosh Garg., "Optimized Fired Heater Operation Saves Money", 1st Ed., Gulf Publishing Texas, (1997)
- [4] Angela Dean, Daniel Voss., "Design and Analysis of Experiment." Springer texts in statistics, 1st Ed., New York., pp. 461-482, 1999

- [5] I.A. Basheer, M. Hajmeer. "Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application". Journal of Microbiological Methods, 31/3/2000, Sacramento: pp. 3-31 (2000)
- [6] นพรัตน์ ศิริโชติ. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพัฒนารูปแบบการพยากรณ์ความต้องการทางพลังงานของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย.วิทยานิพนธ์.วิศวกรรมอุตสาหกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549
- [7] William L. Luyben, "Plant wide Dynamic Simulation in Chemical Processing and Control." Marcel Dekker, 1st Ed., pp. 227-271, 2002
- [8] Chemical Engineering Department of King Saud University. "Process Control in the Chemical Industries" 1st Ed, Saud University, pp. 110-114, 2002
- [9] บ.ปตท.จำกัด. (2554, สิงหาคม 18) ค่าความร้อนเฉลี่ยของเชื้อเพลิงต่างๆ, <http://www.pttplc.com>