การทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการประยุกต์ ในการถ่ายโอนความร้อน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2564 ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREDICTION OF HYDRID NANOFLUID PROPERTIES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND HEAT TRANSFER APPLICATION



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Petrochemistry and Polymer Science Field of Study of Petrochemistry and Polymer Science FACULTY OF SCIENCE Chulalongkorn University Academic Year 2021 Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนโดยใช้โครงข่าย	
	ประสาทเทียมและการประยุกต์ ในการถ่ายโอนความร้อน	
โดย	นายสหัสวัต แซวรัมย์	
สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ	

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

		คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
	(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)	
คณะกรรมเ	าารสอบวิทยานิพนธ์	
		ประธานกรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร.คเณศ วงษ์ระวี)	
		อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
	(รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ)	
		กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ เสมา)	
	Cum a onekona Handres	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร สรรพ่อค้า)	

สหัสวัต แซวรัมย์ : การทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนโดยใช้โครงข่ายประสาท เทียมและการประยุกต์ ในการถ่ายโอนความร้อน. (PREDICTION OF HYDRID NANOFLUID PROPERTIES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND HEAT TRANSFER APPLICATION) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ

ปัจจุบันหลายอุตสาหกรรมต้องการปรับปรุงการประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนเพื่อ ลดค่าใช้จ่ายและการปลดปล่อยคาร์บอน การปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไปที่ใช้น้ำ เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถใช้ของไหลไฮบริดนาโนแทนได้ ของไหลไฮบริดนา โน คือ ของผสมระหว่างอนุภาคนาโนมากกว่าสองชนิดและของไหลพื้นฐาน เพื่อปรับปรุงสมบัติของ ของไหลพื้นฐาน โดยทั่วไปชนิดของอนุภาคนาโนและของไหลพื้นฐานที่ต่างกันย่อมส่งผลต่อสมบัติ ทางความร้อนและสมบัติการไหล ในงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ ทำนายค่าการนำความร้อน ความจุความร้อนจำเพาะ ความหนิด และความหนาแน่น โดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งไปข้างหน้า และ แบบส่งไปข้างหน้าและด้านข้าง ใช้รูปแบบการ เรียนรู้แบบ Levenbreg-Marquard จากการพัฒนาได้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการ นำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น และความหนิดของไหลไฮบริดนาโนได้ค่า R มากกว่า 0.90 สำหรับการสอน การตรวจสอบ และการทดสอบ เมื่อนำค่าสมบัติการนำความร้อน ไปประยุกต์ใช้ในกรณีศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ พบว่า ของไหลไฮบริดนาโน (CuO และ MgO) มีประสิทธิภาพการนำความร้อนดีที่สุด ในการนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อกำหนดให้กระบวนการมีความเข้มข้น ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์สูงสุด

Chulalongkorn University

สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิ	ลายมือชื่อนิสิต
	เมอร์	
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370029823 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORD: Hybrid nanofluid artificial neural network

Sahatsawat Seawram : PREDICTION OF HYDRID NANOFLUID PROPERTIES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND HEAT TRANSFER APPLICATION. Advisor: Assoc. Prof. BENJAPON CHALERMSINSUWAN, Ph.D.

Currently, many industries aim to improve the heat transfer system to reduce cost and carbon emission. For improving heat exchanger apparatus, the conventional working fluid such as water can be replaced by hybrid nanofluid. The hybrid nanofluid is a suspension of two or more nanoparticles into conventional base fluids to improve its properties. Generally, different combinations of nanoparticle and base fluid can variably effect the thermal properties and dynamic properties. In this study, the artificial neural network was thus employed to develop the prediction model for predicting thermal conductivity, specific heat capacity, viscosity, and density using feedforward and cascade forward propagation networks with Levenbreg-Marquardt learning algorithm. The best artificial neural network (ANN) model topology was selected to predict thermal conductivity, specific heat capacity, viscosity, and density of hybrid nanofluid with R value >0.90 for training, validating and testing, respectively. Then, the thermal properties of hybrid nanofluid value from ANN model was applied as heat transfer agent in heat exchanger of isopropyl alcohol process. The hybrid nanofluid with CuO and MgO in water exhibited the best heat removing medium in heat exchanger application to obtain highest concentration of isopropyl alcohol.

Field of Study:Petrochemistry and
Polymer ScienceStudent's SignatureAcademic Year:2021Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและ การประยุกต์ใช้ในการถ่ายโอนความร้อน สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์และ ช่วยเหลืออย่างสูงจากบุคคลหลายท่าน จึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำการทำงานวิจัย และข้อเสนอแนะที่ เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปรับปรุงงานวิจัย เพื่อให้วิทยานิพจนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. คเณศ วงษ์ระวี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรวัฒน์ เสมา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร สรรพ่อค้า กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบ และให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นที่ เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และ เจ้าหน้าที่ทุกท่านในสหสาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์ พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำงานวิจัย นี้และอำนวยความสะดวก ในการวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.ปรารถนา นิมมานเทอดวงศ์ และ ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง ที่ถ่ายทอด ความรู้และให้คำปรึกษาเกี่ยวข้องกับ การดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณ ตลอดจน พี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่อยู่เบื้องหลังและได้ให้ กำลังใจ คำปรึกษา และสนับสนุนในด้านต่าง ๆ แก่ผู้ทำวิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

สหัสวัต แซวรัมย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ዋ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	۹۹
กิตติกรรมประกาศ	ຈ
สารบัญ	ຊ
สารบัญตาราง	ູູ
สารบัญรูปภาพ	şĩ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ข้อจำกัดงานวิจัย	3
1.5 คำจำกัดความของงานวิจัย	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยรักษณฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑฑ	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ONGKORN UNIVERSITY	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ของไหลไฮบริดนาโน	9
2.2 คุณสมบัติของของไหลไฮบริด	9
2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks)	10
2.2.1 นิยาม	10
2.2.2 ส่วนประกอบ	10
2.2.3 ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function)	10

		2.5.4 ประเภทโครงข่ายประสาทเทียม	. 12
	2.4	การจำลองกระบวนการในการถ่ายโอนความร้อน	. 14
		2.4.1 หลักการคำนวณ	. 14
		2.4.2 ขั้นตอนการใช้งาน	. 16
	2.5	การเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนในโปรแกรม Aspen plus	. 17
	2.6	การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรในกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์	. 18
	2.7	การออกแบบการทดลอง	. 19
		2.7.1. แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยว (Singer factor design)	. 19
		2.7.2 แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design)	. 19
	2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	. 20
บ	ทที่ 3	5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	. 22
	3.1	ศึกษาคุณสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน	. 22
		3.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความร้อนและสมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโน	. 22
	3.2	การเก็บข้อมูลคุณสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน	. 23
		3.2.1 การเก็บข้อมูลค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน	. 23
		3.2.2 การเก็บข้อมูลความจุความร้อนจำเพาะของของไหลไฮบริดนาโน	. 25
		3.2.3 การเก็บข้อมูลความหนืดของไหลไฮบริดนาโน	. 27
		3.2.4 การเก็บข้อมูลความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน	. 29
	3.3	ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม	. 30
	3.4	การประเมินโครงข่ายประสาทเทียม	. 32
		3.4.1 ค่า R	. 33
		3.4.2 ค่า MSE	. 33
		3.4.3 ค่า MAE	. 34
	3.5	การใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน	. 35

3.6 การประยุกต์ใช้การถ่ายโอนความร้อนในโปรแกรม Aspen plus	
3.6.1 การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม	39
3.6.2 การเพิ่มคุณสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน	
3.7 การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรในกระบวนการผลิต	43
3.7.1 การทดสอบความอ่อนไหวด้วยโปรแกรม Aspen plus	
3.7.2 การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Design expert	45
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง	47
4.1 ผลการหาจำนวนนิวรอน ที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม	47
4.2 ผลการหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม	50
4.3 ผลการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สมบัติทางความร้อนของไหลไฮบริดนาโนในโปรแกรม	Aspen
plus	59
4.4 ผลการประยุกต์ใช้การถ่ายโอนความร้อนในโปรแกรม Aspen plus	61
4.5 ผลการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Design expert	64
4.5.1. ผลการวิเคราะห์ (Analysis) ทางสถิติ	64
4.5.2. ผลการหาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization)	85
4.6 การหาความดันลดภายในท่อรถในหาวิทยาลัย	101
4.6.1 การหาจำนวนเรย์โนลด์ (Re number)ยายกรากท	101
4.6.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction loss)	102
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	105
5.1 สรุปผลการวิจัย	105
บรรณานุกรม	107
ประวัติผู้เขียน	115
ภาคผนวก ก	116
1. การเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนในโปรแกรม Aspen Plus	116

2. การทดสอบความอ่อนไหวในโปรแกรม Aspen plus	
ภาคผนวก ข	
1. ค่า W _i และ b ของโครงข่ายประสาทเทียมของค่าการนำความร้อน	
2. ค่า W _i และ b ของโครงข่ายประสาทเทียมของค่าความร้อนจำเพาะ	
3. ค่า W _i และ b ของโครงข่ายประสาทเทียมของค่าความหนืด	
4. ค่า W _i และ b ของโครงข่ายประสาทเทียมของค่าความหนาแน่น	



CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ູ້	
หนา	

ตารางที่ 1.1 ช่วงข้อมูลตัวแปรป้อน ตัวแปรส่งออก ของการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน 3
ตารางที่ 1.2 ช่วงข้อมูลตัวแปรป้อน ตัวแปรส่งออก ของความจุความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน 4
ตารางที่ 1.3 ช่วงข้อมูลตัวแปรป้อน ตัวแปรส่งออก ของความหนืดของของไหลไฮบริดนาโน
ตารางที่ 1.4 ช่วงข้อมูลตัวแปรป้อน ตัวแปรส่งออกของ ความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน 6
ตารางที่ 1.5 ข้อกำหนดของโครงข่ายประสาทเทียม7
ตารางที่ 1.6 ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ณ หอกลั่น
ตารางที่ 2.1 ตัวแปรต้นสำหรับทดสอบความอ่อนไหว
ตารางที่ 2.2 ตัวแปรตอบสนองสำหรับทดสอบความอ่อนไหว18
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลค่าการนำความร้อน23
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลความจุความร้อนร้อนจำเพาะ
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลความหนืด
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลความหนาแน่น
ตารางที่ 3.5 ส่วนประกอบของไหลไฮบริดนาโน นาวิกายาวอัย
ตารางที่ 3.6 ค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดYERSITY
ตารางที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์ได้จากโปรแกรม Microsoft Excel
ตารางที่ 3.8 ปัจจัยที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ IPA และปริมาณมาณความร้อนที่ (Q) ที่เครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อน
ตารางที่ 3.9 ตัวแปรตอบสนองสำหรับทดสอบความอ่อนไหว44
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการนำความร้อนของ ของไหล
ไฮบริดนาโน
ตารางที่ 4.2 สรุปผลของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการนำความร้อนของของไหลไฮบริด -
นาโน52

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับนำนายความจุความร้อนจำเพาะของ ของไหลไฮบริดนาโน
ตารางที่ 4.4 สรุปผลของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความจุความร้อนของของไหลไฮบริด นาโน
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนืดของ ของไหลไฮบริด นาโน
ตารางที่ 4.6 สรุปผลของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนืดของ ของไหลไฮบริดนาโน
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนาแน่นของ ของไหล ไฮบริดนาโน
ตารางที่ 4.8 สรุปผลของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนาแน่น ของของไหลไฮบริดนา โน
ตารางที่ 4.9 ค่าควบคุมของสายป้อน และผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิต IPA
ตารางที่ 4.10 ค่าควบคุมของหอกลั่นลำดับส่วน (DISTIL-1) ของกระบวนการผลิต IPA
ตารางที่ 4.11 ค่าควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HEATX-1) ของกระบวนการผลิต IPA63
ตารางที่ 4.12 ค่าควบคุมเครื่องแยก (SP2) ของกระบวนการผลิต IPA
ตารางที่ 4.13 ค่ามาตรฐานสำหรับกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ 99.948%63
ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลพื้นฐาน ต่อความบริสุทธิ์ IPA
ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลพื้นฐานสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ต่อ ปริมาณ ความร้อน (Q) ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน ต่อความบริสุทธิ์ IPA
ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่อปริมาณความร้อน (Q) ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe ₃ O ₄) สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนต่อความบริสุทธิ์ IPA72

ฎ

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe ₃ O ₄) สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนต่อปริมาณความร้อน (Q) ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ IPA76
ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe ₃ O ₄) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ นความร้อนที่มีผลต่อปริมาณความร้อน Q ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
ตารางที่ ข.1 ค่า W _i และ b ของชั้นซ่อนที่ 1 ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าการนำความร้อน122
ตารางที่ ข.2 ค่า W ₂ และ b ของชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นส่งออก ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าการนำ ความร้อน
ตารางที่ ข.3 ค่า W _i และ b ของชั้นซ่อนที่ 1 ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าความร้อนจำเพาะ 124
ตารางที่ ข.4 ค่า W ₂ และ b ของชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นส่งออก ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าความร้อน จำเพาะ
ตารางที่ ข.5 ค่า W1 และ b ของชั้นซ่อนที่ 1 ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าความหนืด126
ตารางที่ ข.6 ค่า W ₂ และ b ของชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นส่งออก ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าความหนืด
ตารางที่ ข.7 ค่า W ₁ และ b ของชั้นซ่อนที่ 1 ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าความหนาแน่น
ตารางที่ ข.8 ค่า W ₂ และ b ของชั้นซ่อนที่ 2 ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าความหนาแน่น
GHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม	6
รูปที่ 1.2 รูปแบบกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์	8
รูปที่ 2.1 ลักษณะของฟังก์ชันกระตุ้น	
รูปที่ 2.2 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเส้นตรง	11
รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบซิกมอยด์	11
รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทนชิกมอยด์	12
รูปที่ 2.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งข้อมูลไปข้างหน้า	13
รูปที่ 2.6 โครงข่ายประสาทข้างหน้าและด้านข้างแพร่ย้อนกลับ	13
รูปที่ 3.1 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการนำความร้อน	
รูปที่ 3.2โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความจุความร้อนจำเพาะ	
รูปที่ 3.3 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนาแน่น	
รูปที่ 3.4 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนืด	
รูปที่ 3.5 ลักษณะ Linear regression	
รูปที่ 3.6 การสร้างสารประกอบใหม่GKORN UNIVERSITY	40
รูปที่ 3.7การใส่ค่าตัวแปร	41
รูปที่ 3.8 การใส่น้ำหนักโมเลกุล	41
รูปที่ 3.9 ผลของค่าการนำความร้อนเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ	42
รูปที่ 4.1 กราฟค่า R ต่อจำนวนนิวรอนของการ Train Validate และ Test ของชั้นซ่อนที่	หนึ่ง 47
รูปที่ 4.2 กราฟค่า MSE ต่อจำนวนนิวรอนของการ Train Validate และ Test ของชั้นช่อ	นที่หนึ่ง 48
รูปที่ 4.3 กราฟค่า R ต่อจำนวนนิวรอนของการ Train Validate และ Test ของชั้นซ่อนที่	สอง 49
รูปที่ 4.4 ค่า MSE ต่อจำนวนนิวรอนของการ Train Validate และ Test ของชั้นซ่อนที่สอ	۹49

รูปที่ 4.5 กราฟค่า R ² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ของการนำความร้อน
รูปที่ 4.6 กราฟค่า R ² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ของความจุความร้อน จำเพาะ
รูปที่ 4.7 กราฟค่า R ² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ของความหนืด 56
รูปที่ 4.8 กราฟค่า R ² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ของความหนาแน่น 58
รูปที่ 4.9 กราฟวิเคราะห์ค่า R² ค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากสมการของ ของไหลไฮบริดนา โนที่ 1 (MWCNT+ CuO)
รูปที่ 4.10 กราฟวิเคราะห์ค่า R² ค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากสมการของ ของไหลไฮบริดนา โนที่ 2 (MWCNT+ Fe ₃ O ₄)
รูปที่ 4.11 กราฟวิเคราะห์ค่า R² ค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากสมการของ ของไหลไฮบริดนา โนที่ 3 (CuO+ MgO)
รูปที่ 4.12 กระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอร์61
รูปที่ 4.13 อัตราการไหลผลิตภัณฑ์ส่วนล่างส่งผลต่อความบริสุทธิ์ IPA
รูปที่ 4.14 การไหลวัตถุดิบป้อนที่ 2 ที่ส่งผลต่อความบริสุทธิ์ IPA81
รูปที่ 4.15 Reflux ratio ที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
รูปที่ 4.16 Bottom rate ที่ส่งผลต่อความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
รูปที่ 4.17 Interaction AB ที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
รูปที่ 4.18 ผลของตัวแปร B และ E ที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ของไหลพื้นฐานสำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน
รูปที่ 4.19 Interaction BE ที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ IPA86
รูปที่ 4.20 ผลของตัวแปร B และ E ต่อความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน87
รูปที่ 4.21 Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) เป็นของไหลสำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของ IPA
รูปที่ 4.22 ผลของตัวแปร B และ E ต่อ IPA เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe ₃ O ₄)89

รูปที่ 4.23 Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe ₃ O ₄) เป็นของไหลสำหรับ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของ IPA9	0
รูปที่ 4.24 ผลของตัวแปร B และ E ต่อความบริสุทธิ์ของ IPA เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน9	1
รูปที่ 4.25 Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) เป็นของไหลสำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของ IPA	2
รูปที่ 4.26 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน (Q) เมื่อใช้ของไหลพื้นฐาน สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน	3
รูปที่ 4.27 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน(Q) ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuC สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน)) 4
รูปที่ 4.28 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน (Q) เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe ₃ O ₄) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน9	5
รูปที่ 4.29 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน (Q) เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	6
รูปที่ 4.30 ผลของตัวแปร B และ E ต่อปริมาณ (Q) และความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ของไหลพื้นฐาน สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน9	7
รูปที่ 4.31 ผลของตัวแปร B และ E ต่อปริมาณความร้อน (Q) และ ความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ ของไหล ไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO)	ิล 8
รูปที่ 4.32 ผลของตัวแปร B และ E ต่อปริมาณความร้อน (Q) และ ความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ ของไหล ไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe ₃ O ₄)9	ิจ 9
รูปที่ 4.33 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน (Q) และ ความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ ของไห ไฮบริดนาโน (CuO+ MgO)	ิล 0
รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบความดันลดระหว่างของไหลพื้นฐาน และของไหลไฮบริดนาโนที่ 84 kg/sec 	3
รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบความดันลดระหว่างของไหลพื้นฐาน และของไหลไฮบริดนาโนที่ 92 kg/sec 	4
รูปที่ ก.1 การสร้างสารประกอบใหม่11	6

รูปที่ ก.2 การใส่ค่าตัวแปร	.116
รูปที่ ก.3 การระบุองค์ประกอบสารประกอบใหม่	.117
รูปที่ ก.4 แสดงการใส่น้ำหนักโมเลกุล	.117
รูปที่ ก.5 การตรวจสอบคุณสมบัติของสารประกอบ	.118
รูปที่ ก.6 ค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน	.118
รูปที่ ก.7 การเพิ่มไฮบริดนาโนสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	.119
รูปที่ ก.8 การใส่ค่าอุณหภูมิและความดันของของไหลไฮบริดนาโน	.119
รูปที่ ก.9 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร	.120
รูปที่ ก.10 การเพิ่มตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ความอ่อนไหว	.120
รูปที่ ก.11 การเพิ่มตัวแปรตอบสนอง	.121
รูปที่ ก.12 การใส่ค่าตัวแปร	. 121



ณ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบอุตสาหกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ อุตสาหกรรม [1] เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้า โดยต้องการออกแบบระบบ นิเวศทางธุรกิจให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มุ่งเน้นลดการใช้พลังงานและลดการปลดปล่อยคาร์บอน ซึ่ง เป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อน โดยระบบอุตสาหกรรมที่กล่าวมาข้างต้นจะมีระบบแลกเปลี่ยนความ ร้อนซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ดีขึ้น จะสามารถลดการใช้พลังงานของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน หนึ่งในปัจจัยที่ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพ การแลกเปลี่ยนความร้อน คือ การใช้ตัวกลางที่มีสมบัติทางความร้อนที่ดีขึ้น ช่วยลดการใช้พลังงาน ของปั้มที่ใช้สำหรับหมุนเวียนตัวกลางกับการใช้ตัวกลางที่มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อ ประสิทธิภาพการนำความร้อนที่แตกต่างกัน

กระบวนการปัจจุบันใช้ของไหลเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน คือ น้ำ และน้ำผสม น้ำมันเอทิลีนไกลคอล ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำ [2] การเติมอนุภาคนาโนที่มีค่าการนำความร้อนสูง กว่า ได้แก่ กลุ่มโลหะ อลูมิเนียม (Al) เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) กลุ่มโลหะออกไซต์ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ไททาเนียมออกไซด์ (TiO₂) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO₂) กลุ่มพอลิเมอร์ ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น (MWCNT) และ แกรฟัน (Graphene) ซึ่งสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนจะขึ้นกับตัวแปรหลายตัวแปร เช่น ชนิดของอนุภาคนาโน ขนาดของ อนุภาคนาโน การนำความร้อนของอนุภาคนาโน ปริมาณของอนุภาคนาโนที่ใช้ และชนิดของของไหล พื้นฐานที่ใช้ เป็นต้น การเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนให้สูงขึ้น ส่งผลให้ การใช้ระบบหล่อเย็นและขนาดของเครื่องสูบของเหลวลง ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการ ลงได้ ต่อมาการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของไหลเลยนาโน มีการพัฒนาโดยการเพิ่มอนุภาคนา โนมากกว่าสองชนิดลงในของไหลพื้นฐาน เรียกว่า ของไหลไฮบริดนาโน เริ่มจากการเตรียมตัวอย่าง ของไหลไฮบริดนาโน โดย Sajid และคณะ [3] ได้ศึกษาการเตรียมของไหลไฮบริดนาโนประเภทต่าง ๆ ด้วย กลุ่มโลหะออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) คอปเปอร์โดออกไซด์ (CuO₂) ท่อคาร์บอนนาโน (CNTs) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) อลูมิเนียม ไนไตรด์ (AIN) และ กลุ่มโลหะ ได้แก่ อลูมิเนียม (Al) เงิน (Ag) และทองแดง (Cu) โดยศึกษา เสถียรภาพของของไหลไฮบริดนาโนจากการเตรียม หลังจากนั้นจึงนำของไหลไฮบริดนาโนไปวัดสมบัติ ทางความร้อนของของไหลที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยคุณสมบัติที่สนใจคือ การนำความร้อน (Thermal conductivity) หรือ ค่าที่แสดงความสามารถในการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความ ร้อนของวัสดุ สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ k มีหน่วยเป็น W/(m.K) ความหนาแน่น (Density) ซึ่งแสดงถึง น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ **p** มีหน่วยคือ g/cm³ ความหนืด (Viscosity) โดยมี สัญลักษณ์ที่ใช้ คือ **n** ในระบบ SI มีหน่วยเป็น mPa.s และ ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ใช้ สัญลักษณ์ คือ C_p มีหน่วยเป็น kJ/ (kg K)

งานวิจัยนี้ต้องการนำค่าการไหลและสมบัติความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนที่ได้จาก โครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรมจำลองกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีเพื่อทราบถึง ประสิทธิภาพของของไหลไฮบริดนาโนที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านบนหอกลั่นของ กระบวนการกลั่นไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความอ่อนไหวของการนำค่า การนำสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ค่าความเข้มข้นของไฮโซโพรพิล แอลกอฮอล์และค่าความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์

- สร้างสหสัมพันธ์สำหรับการทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนโดยใช้ โครงข่ายประสาทเทียม
- ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนใน การถ่ายโอนความร้อน

Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- สร้างสหสัมพันธ์ที่สามารถใช้ทำนายสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของ ของไหลไฮบริดนาโนได้
- ศึกษาผลของชนิดและสัดส่วนของอนุภาคนาโนที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติการ ใหลของของไหลไฮบริดนาโน
- นำสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโนไปประยุกต์ใช้ ในการถ่ายโอนความร้อน

1.4 ข้อจำกัดงานวิจัย

- 1) ช่วงข้อมูลที่ป้อนอยู่ในช่วงตามตารางที่ 1.1
- สามารถทำนายสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโนเกินในช่วงค่า จำกัดตามตารางที่ 1.1

1.5 คำจำกัดความของงานวิจัย

- 1) อนุภาคนาโน (Nanoparticle) ของแข็งที่มีขนาดไม่เกิน 100 ไมโครเมตร
- ของไหลไฮบริดนาโน (Hybrid nanofluid) ของไหลพื้นฐานหนึ่งหรือสองชนิด ผสมกับ อนุภาคขนาดนาโนมากกว่าสองชนิด

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของ ของไหลไฮบริดนาโน การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายสมบัติทางความร้อน และสมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโน การประยุกต์ใช้ในการถ่ายโอนความร้อน
- 2) วางแผนงานวิจัย จัดเก็บข้อมูลการนำความร้อน ความจุความร้อน ความหนืด และ ความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ แปลงหน่วยให้อยู่ใน หน่วยเดียวกัน ตามตารางที่ 1.1 ตารางที่ 1.2 ตารางที่ 1.3 ตารางที่ 1.4

ตัวแปรป้อน จุฬาสงการณส	ช่วงข้อมูล	หน่วย
อัตราส่วนของน้ำ	0.00, 0.50, 0.60, 0.70, 1.00	Fraction
การนำความร้อนของน้ำ	0.60	W/(m.K)
อัตราส่วนน้ำมันเอธิลีนไกลคอล	0.00, 0.30, 0.40, 0.50, 1.00	Fraction
การนำความร้อนของน้ำมันเอธิลีนไกลคอล	0.26	W/(m.K)
อุณหภูมิ	288.15-363.15	К
ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน	0.00-10.00	% Vol
อนุภาคนาโนที่ 1	Ag, Al ₂ O ₃ , Cu, CuO, Fe ₂ O ₃ , GO, MgO,	-
	MWCNT, SWCNT, SiO ₂ , SnO ₂ , TiN,	
	TiO ₂ , ZnO	
สัดส่วนอนุภาคนาโนที่ 1	0.20, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 0.90, 1.00	Fraction
การนำความร้อนอนุภาคนาโนที่ 1	1.42- 3500	W/(m.K)
อนุภาคนาโนที่ 2	MWCNT, SiO ₂ , Ag, Al ₂ O ₃ , Cu, CuO,	-
	Fe ₃ O ₄ , MgO	

ตารางที่ 1.1 ช่วงข้อมูลตัวแปรป้อน ตัวแปรส่งออก ของการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน

ตัวแปรป้อน	ช่วงข้อมูล	หน่วย
สัดส่วนของอนุภาคนาโน 2	0.20, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 0.90, 1.00,	Fraction
	0.66, 0.80, 0.90, 1.00	-
การนำความร้อนอนุภาคนาโนที่ 2	1.4- 3000	W/(m.K)
ตัวแปรส่งออก		
การนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน	0.25-1.07	W/(m.K)

ตารางที่ 1.2 ช่วงข้อมูลตัวแปรป้อน ตัวแปรส่งออก ของความจุความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน

ตัวแปรป้อน	ช่วงข้อมูล	หน่วย
อัตราส่วนของน้ำ	0.00, 0.60, 0.70, 1.00	Fraction
ความจุความร้อนของน้ำ	4.18	kJ/ (kg K)
อัตราส่วนน้ำมันเอธิลีนไกลคอล	0.00, 0.30, 0.40, 1.00	Fraction
ความจุความร้อนของน้ำมันเอธิลีนไกลคอล	3.14	kJ/ (kg K)
อุณหภูมิ	288.15-353.15	К
ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน	0.00-10.00	% Vol
สัดส่วนอนุภาคนาโนที่ 1	0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60,0.70,	
	0.80, 0.90, 1.00	
อนุภาคนาโนที่ 1	Al ₂ O ₃ , CuO, Fe ₃ O ₄ , GO, MgO, MWCNT,	-
A Shirt	SWCNT, SiO ₂ , SnO ₂ , TiN, TiO ₂ , GNP	
ความจุความร้อนอนุภาคนาโนที่ 1	6.95- 877.00	kJ/ (kg K)
อนุภาคนาโนที่ 2	Al ₂ O ₃ , Cu, CuO, MWCNT, TiO ₂	
สัดส่วนของอนุภาคนาโน 2 อาหาลงกรณ์เ	0.10, 0.20,.30, 0.40, 0.50, 0.60,0.70,	fraction
Chulalongko	0.80, 0.90, 1.00	
ความจุความร้อนอนุภาคนาโนที่ 2	531.00- 877.00	kJ/ (kg K)
ตัวแปรส่งออก		
ความจุความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน	0.25-1.07	kJ/ (kg K)

ตัวแปรป้อน	ช่วงข้อมูล	หน่วย
อัตราส่วนของน้ำ	0.00, 0.60, 0.70, 1.00	Fraction
ความหนืดของน้ำ	0.89	mPa.s
อัตราส่วนน้ำมันเอธิลีนไกลคอล	0.00, 0.30, 0.40, 1.00	Fraction
ความหนึดของน้ำมันเอธิลีนไกลคอล	16.1	mPa.s
อุณหภูมิ	273.15-353.15	К
ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน	0.00-10.00	% Vol
อนุภาคนาโนที่ 1	Ag, Al ₂ O ₃ , Cu, CuO, Fe ₂ O ₃ , GO, MgO,	-
	MWCNT, SWCNT, SiO ₂ , TiN, TiO ₂ ,	
lie.	ZnO, GNP	
สัดส่วนอนุภาคนาโนที่ 1	0.20, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 0.90,	
	1.00	
ความหนาแน่นอนุภาคนาโนที่ 1	1.31- 10.05	g/cm ³
อนุภาคนาโนที่ 2	Ag, Al ₂ O ₃ , Cu, CuO, Fe ₂ O ₃ , MgO,	
	MWCNT, SiO ₂ , TiO ₂	
สัดส่วนของอนุภาคนาโน 2	0.15, 0.2, 0.25, 0.26, 0.33, 0.40, 0.50,	fraction
1 Street	0.66, 0.80, 0.90, 1.00	-
ความหนาแน่นอนุภาคนาโนที่ 2	2.10- 10.50	g/cm ³
ตัวแปรส่งออก		
ความหนืดของของไหลไฮบริดนาโน	0.25-1.07	mPa.s

ตารางที่ 1.3 ช่วงข้อมูลตัวแปรป้อน ตัวแปรส่งออก ของความหนืดของของไหลไฮบริดนาโน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

ตัวแปรป้อน	ช่วงข้อมูล	หน่วย
อัตราส่วนของน้ำ	0.00, 0.60, 0.70, 1.00	-
ความหนาแน่นของน้ำ	1.00	g/cm ³
อัตราส่วนน้ำมันเอธิลีนไกลคอล	0.00, 0.30, 0.40, 1.00	-
ความหนาแน่นของน้ำมันเอธิลีนไกลคอล	1.11	g/cm ³
อุณหภูมิ	273.15-353.15	К
ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน	0.00-10.00	% Vol
อนุภาคนาโนที่ 1	Ag, Al ₂ O ₃ , Cu, CuO, Fe ₂ O ₃ , GO, MgO,	
	MWCNT, SWCNT, SiO ₂ , TiN, TiO ₂ , ZnO,	
	GNP	
สัดส่วนอนุภาคนาโนที่ 1	0.20, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 0.90, 1.00	-
ความหนาแน่นอนุภาคนาโนที่ 1	1.31- 10.05	g/cm ³
อนุภาคนาโนที่ 2	Ag, Al ₂ O ₃ , Cu, CuO, Fe ₂ O ₃ , MgO,	
	MWCNT, SiO ₂ , TiO ₂	
สัดส่วนของอนุภาคนาโน 2	0.20, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 0.90, 1.00	fraction
ความหนาแน่นอนุภาคนาโนที่ 2 🖉 🖊	2.10- 8.96	g/cm ³
ตัวแปรส่งออก		
ความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน	0.25-1.07	g/cm ³

ตารางที่ 1.4 ช่วงข้อมูลตัวแปรป้อน ตัวแปรส่งออกของ ความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน

 3) ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม ออกแบบจำนวนข้อมูลป้อนเข้าและผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยข้อมูล ป้อนประกอบไปด้วยตัวแปรป้อนเข้า 12 ตัวแปร และ ตัวแปรส่งออก 1 ตัวแปร ดังแสดงในรูปที่
 1.1 และ ทำการออกแบบรูปแบบการสอนโครงข่ายประสาทเทียม ตามตารางที่ 1.2



รูปที่ 1.1 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 1.5 ข้อกำหนดของโครงข่ายประสาทเทียม

ลำดับ	รายการ	รายละเอียด		
1	ประเภทโครงข่าย	ส่งข้อมูลเชื่อมต่อกันไปข้างหน้าและแพร่ย้อนกลับ		
		(Cascade froward backpropagation)		
		ส่งข้อมูลเชื่อมต่อกันไปข้างหน้าและแพร่ย้อนกลับ		
		(Cascade froward backpropagation)		
2	รูปแบบการฝึก	Levenberg-Marquardt (LM) backpropagation		
3	รูปแบบการปรับตัวการเรียน	gradient descent with momentum weight		
		and bias (LEARNGDM)		
4	การวัดประสิทธิภาพ	Mean square error (MSE), R		
5	รูปแบบการส่งข้อมูล	Hyperbolic tangent sigmoid (TANSIG)		
		Logarithmic sigmoid (LOGSIG) และ Linear (PURELIN)		
6	การแบ่งข้อมูล	แบบสุ่ม		
7	จำนวนข้อมูลป้อนเข้า	12		
8	จำนวนข้อมูลส่งออก			
9	จำนวนชั้นประมวลผลที่ซ่อนอยู่	1 และ 2		

- ตรวจสอบความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเฉลี่ย (MSE) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)
- 5) นำค่าสมบัติความร้อนและสมบัติการไหลของของไหลผสมนาโนที่ได้ ไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรม จำลองกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนบนหอกลั่นของ กระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ของไหลพื้นฐานและ การใช้ของไหลไฮบริดนาโน โดยค่าตัวแปรแสดงในตารางที่ 1.3 และ รูปแบบกระบวนการกลั่น ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์แสดงในรูปที่ 1.2 ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ถูกใช้เป็นตัวทำละลายในหลาย อุตสาหกรรมซึ่งทั่วไปมี 2 เกรด คือ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 99.8 wt.% และ 87.4 wt.% โดย กระบวนการผลิตที่นิยมใช้ คือ Direct hydration of propylene จะได้ไอไซโพรพิลแอลกอฮอล์ 46.7 wt.% และนำไปเพิ่มความบริสุทธิ์กระบวนการกลั่น โดยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จากส่วนบนของหอกลั่น ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีของไหลพื้นฐานสำหรับใช้ในการหล่อ เย็นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และ ได้ผลิตภัณฑ์ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์นำไปเก็บที่ถัง ผลิตภัณฑ์ และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์บางส่วนจะถูกป้อนกลับเข้าหอกลั่นเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ ของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ งานวิจัยนี้ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำความร้อน

ระหว่างการใช้ของไหลพื้นฐานกับการใช้ของไหลไฮบริดนาโน เมื่อกำหนดความบริสุทธิ์ของ ผลิตภัณฑ์และความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องการ

ตัวแปร	วัตถุดิบ	วัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์	หน่วย
	ป้อน 1	ป้อน 2	ส่วนบน	ส่วนล่าง	
อุณหภูมิ	98.8	190.0	81.7	144.5	°C
ความดัน	2.0	1.0	1.0.	1.2	bar
อัตราการไหลเชิงโมล	778.10	673.00	372.74	1078.40	kmol/hr
อัตราส่วนเชิงโมลไอโซไพรพิลแอลกอฮอล์	0.4790	0.0000	0.9990	0.0000	mole fraction
อัตราส่วนเชิงโมลน้ำ	0.5205	0.0010	0.0008	0.3759	mole fraction
อัตราส่วนเชิงโมลไดไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์	0.0005	0.0000	0.0001	0.0000	mole fraction
อัตราส่วนเชิงโมลไดเมททิลซัลฟอกไซต์	0.0000	0.9990	0.0001	0.6241	mole fraction

ตารางที่ 1.6 ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ณ หอกลั่น



รูปที่ 1.2 รูปแบบกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

Chulalongkorn University

6) รวมรวม วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลอง เขียนและนำเสนอวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ทำนายสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของของไหล ไฮบริดนาโน
- 2) สามารถนำสมบัติทางความร้อนไปประยุกต์ในการถ่ายโอนความร้อนได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ของไหลไฮบริดนาโน

นักวิจัยคนแรกที่ศึกษาการเติมอนุภาคนาโนลงในของไหลพื้นฐานได้แก่ Choi และคณะ [5] โดยเป็นของผสมระหว่างของไหลพื้นฐาน เช่น น้ำ และน้ำมันเอทิลีนไกลคอล ซึ่งมีค่าการนำความร้อน ต่ำ ผสมกับอนุภาคนาโนที่มีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่า เช่น อลูมิเนียม (Al) เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) และนิกเกิล (Ni) โดยผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันที่มีความเสถียรเรียกของผสมนี้ว่า ของไหลนาโน Turcu และคณะ [6] ได้มีการพัฒนาเติมอนุภาคนาโนมากกว่าหนึ่งชนิด ลงในของไหลพื้นฐานเดียวหรือผสม จึงเรียกว่าของไหลไฮบริดนาโน

2.2 คุณสมบัติของของไหลไฮบริด

การศึกษาสมบัติของของไหลผสมจำแนกออกเป็นสมบัติทางความร้อน คือ การนำความร้อน (Thermal conductivity) ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) และสมบัติการไหล คือ ความหนาแน่น (Density) และความหนืด (Viscosity)

การนำความร้อนของของไหลผสม (Thermal conductivity) คือ ค่าที่บอกความสามารถใน การถ่ายโอนความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และหนึ่งหน่วยอุณหภูมิ ใช้สัญลักษณ์คือ k มีหน่วย คือ W/m K ซึ่งของไหลที่มีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่า สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนความ ร้อนได้ดีกว่า

ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) คือค่าความสามารถในการดูดซับความ ร้อน ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักและหนึ่งหน่วยอุณหภูมิ ใช้สัญลักษณ์ C_p มีหน่วยคือ kJ/ (kg K)

ความหนาแน่น (Density) คือสัดส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ใช้สัญลักษณ์คือ **ρ** หน่วยตามมาตรฐาน SI คือ kg/cm³ ซึ่งค่าความหนาแน่นของของไหลไฮบริดส่งผลต่อความดันลด ค่าความเสียดทาน เลขเรย์โนลด์ (Re-number) ของของไหลภายในท่อ

ความหนืด (Viscosity) ความสามารถในการต้านทางการไหลแต่ละชั้นของของเหลว ใช้ สัญลักษณ์คือ **ท** ในระบบ SI มีหน่วยเป็น mPa.s ในทางทฤษฎีของไหลที่มีค่าความหนืดสูงย่อมต้อง ใช้พลังงานของปั้มที่สูงตามด้วย

การศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโน ต้องใช้ทรัพยากร บุคคลและเครื่องมืออุปรกรณ์มากมาย ดังนั้นจึงได้มีนักวิจัยจำนวนมากนำโครงข่ายประสาทเทียมมา ช่วยในการทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks)

2.2.1 นิยาม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks) เป็นการจำลองทาง คณิตศาสตร์ที่หลักการทำงานคล้ายกับสมองของมนุษย์ โดยสามารถเรียนรู้ข้อมูลที่ป้อนและจดจำ ลักษณะความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างข้อมูล เพื่อสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ สามารถทำนาย ข้อมูลได้ โดยจะมีชั้นรับข้อมูล ชั้นประมวลผล และชั้นส่งผล ในช่วงแรกการเกิดขึ้นของโครงข่าย ประสาทเทียมอาจยังไม่เป็นที่รู้จักมากนัก ต่อมามีการพัฒนาและประยุกต์ใช้โดยผู้เชี่ยวชาญ ในหลาย ๆ งาน เช่น งานทางด้านตลาดหุ้น [7] การจัดการพลังงาน [8] และทางการแพทย์ [9] เป็น ต้น

2.2.2 ส่วนประกอบ

โดยทั่วไปโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นรับข้อมูล (Input layer) ชั้น และชั้นซ่อน (Hidden layer) ชั้นส่งออก (Output layer) โดยชั้นรับข้อมูล (Input layer) ทำหน้าที่ รับข้อมูลที่เราป้อนตามจำนวนที่เรากำหนด เพื่อส่งต่อไปยังชั้นถัดไป คือชั้นซ่อน (Hidden layer) จะ มีการถ่วงน้ำหนัก (W_i) ของค่าที่ป้อนเข้า บวกด้วยค่าไบอัส (b) ก่อน โดยเริ่มต้นจะสุ่มมาก่อน หลังจากนั้นจะค่อยๆ ปรับค่าน้ำหนัก (W_i) และค่าไบอัส (b) เพื่อให้ได้ค่าส่งออกที่ตรงกับค่าจริงมาก ขึ้น และส่งข้อมูลออกไปยังชั้นส่งออก (Output layer) โดยการส่งข้อมูลแต่ละชั้นจะมีการใช้ฟังก์ชัน กระตุ้น (Activation function)

2.2.3 ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function)

หน้าที่ของฟังก์ชันกระตุ้นเปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในตัวเซลล์ประสาท เพื่อส่งเป็น สัญญาณขาออก ส่งออกไปให้แก่นิวรอนตัวอื่น ๆ ดังรูปที่ 2.1 โดยก่อนส่งต่อไปยังนิวรอนอื่น ๆ จะต้องมีการปรับให้ได้ค่าที่เหมาะสมก่อน ผ่านการใช้ฟงก์ชันกระตุ้น (Activation function) โดย ฟังก์ชันกระตุ้น (Active function) [10] นิยมนำมาใช้งานคือ



รูปที่ 2.1 ลักษณะของฟังก์ชันกระตุ้น

$$A = \sum_{i=1}^{m} W_i X_i + b \tag{2.1}$$

เมื่อ

- A คือ ข้อมูลส่งออก
- X_i คือ ข้อมูลที่ป้อน
- *ith* คือ จำนวนข้อมูลที่ป้อน
- W_i คือ น้ำหนักของนิวรอนที่ i^{th}
- *b* คือ ค่าไบอัส
- *m* คือ จำนวนข้อมูลที่ป้อน

purelin(n) = n

 1) ฟังก์ชันเส้นตรง (Linear) ใช้ประมาณค่าแบบเชิงเส้นสำหรับส่งข้อมูลไปยัง นิวรอนอื่น ๆ เซลล์ประสาทที่ใช้ฟังก์ชันเส้นตรงจะใช้ในการประมาณค่าเป็นส่วนใหญ่ ดังรูปที่
 2.2 และมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.2)

(2.2)

เมื่อ n คือผลลัพธ์ที่ได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลที่นำเข้ากับค่าถ่วงน้ำหนักที่ชั้นนั้นได้รับ



รูปที่ 2.2 ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเส้นตรง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

 2) ฟังก์ชันลอกซิกมอยด์ (Log-Sigmoid) ใช้แปลงข้อมูลส่งออกระหว่างนิวรอน โดย เปลี่ยนรูปของข้อมูลขาเข้าที่มีค่าตั้งแต่บวกอนันต์ถึงลบอนันต์ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ดัง รูปที่ 2.3 และมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.3) ฟังก์ชันนี้จะใช้เมื่อต้องการทำนายความน่าจะ เป็น (Probability) ของข้อมูลออก



รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบซิกมอยด์

3) ฟังก์ชันแทนซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid) เป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะคล้าย ลอกซิกมอยด์ ข้อดี คือ ช่วยลดการหายไปของค่าระหว่างการทำแกรเดียนท์ (Gradient decent) ใช้ประมาณค่าฟังก์ชันสำหรับชั้นแอบแฝงให้มีค่าอยู่ระหว่าง -1 กับ 1 ดังรูปที่ 2.4 และมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.4) ข้อดีคือ สามารถแปลงค่าข้อมูลเข้าที่มีค่าเป็นลบมาก ๆ ให้เป็นข้อมูลออกที่ติดลบได้ และข้อมูลที่ค่าเป็นศูนย์จะถูกแปลงเป็นข้อมูลออกที่มีค่าใกล้ ศูนย์ (near-zero output)



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทนซิกมอยด์

2.5.4 ประเภทโครงข่ายประสาทเทียม

 โครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งไปข้างหน้าแพร่ย้อนกลับ (Feedforward Backpropagation network) สามารถแก้ปัญหาในลักษณะเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นได้ โดยมี กระบวนการ เรียนรู้ข้อมูลที่ป้อน และเริ่มคำนวณหาผลรวมที่ได้ในแต่ละนิวรอน แล้วส่ง ผลลัพธ์ ไปยังขั้นต่อไปโดยผ่านฟังก์ชันกระตุ้น โดยนำผลข้อมูลส่งออก ดังรูปที่ 2.5 ในแต่ละ ครั้งของชุดข้อมูลที่ป้อนให้กับโครงข่ายนั้น เพื่อหาค่า ความผิดพลาดในแต่ละครั้ง แล้วนำค่า ความผิดพลาดที่ได้นั้นย้อนกลับไปยังชั้นขาออก และต่อไปยังนิวรอนต่าง ๆ ของชั้นภายใน โครงข่าย และนำค่าผิดพลาดที่ได้ มาใช้ในการคำนวณปรับค่าถ่วงน้ำหนัก โดยที่การปรับค่าถ่วง น้ำหนักจะมีการ คำนวณในทิศทางย้อนกลับจากทางด้านข้อมูลขาออก จนปรับค่าถ่วงน้ำหนัก มาถึงชั้นแรก จากนั้นคำนวณหาค่าข้อมูลขาออกใหม่ กระบวนการเรียนรู้จะมีการคำนวณวนซ้ำ จนกระทั่งค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับค่าเป้าหมายที่ต้องการ [10]



รูปที่ 2.5 โครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งข้อมูลไปข้างหน้า

 2. โครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งไปข้างหน้าและด้านข้างแพร่ย้อนกลับ (Cascade forward Back-propagation network) หลักการทำงานก็จะคล้ายๆ กับโครงข่ายประสาท แบบส่งไปข้างหน้าแพร่ย้อนกลับ แตกต่างที่จะมีการส่งค่าจากชั้นป้อนไปชั้นซ่อนที่ 2 และชั้น ส่งออกควบคู่กันด้วย



เมื่อได้โครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถทำนายค่าการไหลและสมบัติความร้อนของของไหล ไฮบริดนาโนที่แล้ว จึงนำไปประยุกต์ใช้ในโปรแกรมจำลองกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีเพื่อทราบถึง ประสิทธิภาพของของไหลไฮบริดนาโนที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านบนหอกลั่นของกระบวน กลั่นไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ก่อนการนำสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลไปประยุกต์ใช้ใน โปรแกรมจำลองกระบวนการจะต้องทราบหลักการทำงานและการใช้งานโปรแกรม จึงสร้าง แบบจำลองและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเทียบจากกรณีศึกษากระบวนการผลิตไอ โซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] แล้วจึงแบบจำลองที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องไปออกจะแบบการ ทดลองเพื่อศึกษาความอ่อนไหวของการนำค่าการนำสมบัติของของไหลไฮบริดนาโนที่มีผลต่อ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ค่าความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และ ปริมาณความร้อนที่เครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน

2.4 การจำลองกระบวนการในการถ่ายโอนความร้อน

กระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ จำเป็นต้องปรับค่าควบคุมที่เกี่ยวข้องหลายตัว แปรเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ดี การจำลองกระบวนการผลิตโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทอย่าง มากในกระบวนการทางวิศวกรรม ในการจำลองสภาวะที่แตกต่างกันในกระบวนการอุตสาหกรรม โปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง กระบวนเหล่านี้ได้แก่ ASPEN Plus เพื่อจำลองกระบวนการผลิตที่ ภาวะ ที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถช่วยคำนวณ ผลลัพธ์ของกระบวนการผลิตได้ สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบของแต่ละภาวะได้ ยังช่วยลด ค่าใช้จ่ายในการทดลองหลายภาวะได้ โปรแกรม Aspen Plus จัดเป็นหนึ่งในโปรแกรมที่นิยมใช้กัน มากทั่วโลก โดยบริษัท AspenTech, Inc

2.4.1 หลักการคำนวณ

การคำนวณของโปรแกรม Aspen Plus เป็นการใช้หลักของการดุลมวล (Material balance) พื้นฐานเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic fundamentals) ในภาวะคงตัว (Steady state)

2.4.1.1. พื้นฐานของเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic fundamentals) สมการที่ (2.5) แสดงสมดุลทั่วไปสำหรับการวิเคราะห์ระบบ [11]

Input + Generation - Output - Consumption = Accunulation (2.5)

1) กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (The first law of thermodynamics) กฎข้อที่หนึ่ง กล่าวถึงการอนุรักษ์พลังงาน หลักการคือ พลังงานจะไม่มีการสูญหายหรือ ถูกทำลายได้ แต่ เพียงเกิดการเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปของพลังงานอื่น เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนพลังงานระหว่าง ระบบ (System) และ สิ่งแวดล้อม (Surrounding) พบว่าพลังงานรวมของระบบกับ สิ่งแวดล้อมจะมีค่าคงที่

$$Q - W = \Delta U + \Delta E_k + \Delta E_p \tag{2.6}$$

เมื่อ Q คือ พลังงานที่สามารถถ่ายโอนผ่านขอบเขตของระบบได้

- W คือ พลังงานที่สามารถถ่ายเทผ่านขอบเขตของระบบได้
- **U** คือ พลังงานภายในระบบ
- E_k คือ พลังงานจลน์ของระบบ
- E_p คือ พลังงานศักย์ของระบบ

ในทางเทอร์โมไดนามิกส์พลังงานที่ได้จากการรวมพจน์ของพลังงานภายใน และ พลังงานที่ได้จากผลคูณของความดัน (Pressure; P) และปริมาตร (Volume; V) คือ ค่าเอ็นทัลปี (Enthalpy; H) ดังสมการ (2.7)

$$H = U + PV \tag{2.7}$$

ที่ระบบเปิดแบบควบคุมปริมาตรจึงสามารถเขียนสมการดุลมวล และ พลังงานได้ดังสมการที่ (2.8) และ (2.9)

$$\sum \dot{m_l} = \sum \dot{m_o} \tag{2.8}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m_o} H_o - \sum \dot{m_i} H_i \tag{2.9}$$

- เมื่อ $\dot{m_l}$ คือ อัตราการไหลโดยมวลขาเข้า
 - $\dot{m_o}$ คือ อัตราการไหลโดยมวลขาออก
 - \dot{Q} คือ อัตราความร้อน
 - *W*่ คือ อัตราการทำงาน

2) กฎข้อที่สองขอเทอร์ไดนามิกส์ (The second law of thermodynamics) จากกฎข้อที่ หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ กล่าวว่า กระบวนการที่สามารถเกิดขึ้นได้เอง เอ็นโทรปีของระบบ และสิ่งแวดล้อมรวมกันจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าทุกกระบวนการที่เป็นไป ตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์อาจจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริง เช่น การวางแก้วน้ำ ร้อนที่มีอุณหภูมิสูงไว้ภายในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำ ความร้อนจากน้ำร้อนเกิดการถ่ายเทให้แก่ ห้องทำให้ปริมาณความร้อนของน้ำที่ลดลง จะเท่ากับปริมาณของความร้อนภายในห้องที่ เพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่ากระบวนการนี้ ไม่ละเมิดกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ จากตัวอย่าง จะพบว่ากระบวนการนี้ มีทิศทางเกิดที่แน่นอนและไม่เกิดในทิศย์อนกลับ หรือเรียกว่า กระบวนการผันกลับไม่ได้ (Irreversible processes) แต่กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ ไม่สามารถอธิบายทิศทางของกระบวนการนี้ได้ ดังนั้นจึงต้องมีกฎข้อที่สองของเทอร์โม ใดนามิกส์ เพื่อใช้พิจารณา กระบวนการนั้น ๆ ว่าสามารถเกิดขึ้นได้จริงหรือไม่

3. การคำนวณประสิทธิภาพการนำความร้อนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อใช้กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ สามารถคำนวณหาค่าอัตราความร้อนที่เครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถดึงออกได้ (Heat power absorbed) หาได้จากสมการ (2.10)

$$\dot{Q} = UA\Delta T_{lm} \tag{2.10}$$

เมื่อ \dot{Q} คือ อัตราความร้อน

U คือ พลังงานภายในระบบ

A คือ พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน

 ΔT_{lm} คือ ผลต่างอุณหภูมิแบบล็อก

โดยผลต่างอุณหภูมิแบบล็อกThe Log mean temperature difference method (LMTD) สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.11)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$
(2.11)

เมื่อ ΔT_1 คือ ผลต่างอุณหภูมิสายร้อนเข้าและอุณหภูมิสายเย็นออก

 ΔT_2 คือ ผลต่างอุณหภูมิสายร้อนออกและอุณหภูมิสายเย็นเข้า

2.4.2 ขั้นตอนการใช้งาน

2.4.2.1. ระบุองค์ประกอบ (Chemical components) ทำการเพิ่มสารเคมีทั้งหมดที่ ใช้ในกระบวนการจำลอง โดยเลือกจาก Aspen Plus databanks

2.4.2.2. ระบุวิธีการในการคำนวณหาคุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) ขององค์ประกอบที่ผสมอยู่ในกระบวนการ

2.4.2.3. สร้าง Process flowsheet โดยมีวิธีการ ดังนี้

- กำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมด
- เลือกแบบจำลองของอุปกรณ์จาก Aspen Plus Model Library แล้ววางบน
 Process flowsheet KORN UNIVERSITY
- กำหนดกระแสการไหล (Streams) และ ตั้งชื่อกระแสการไหล
- เชื่อมกระแสการไหลเข้าไปยังอุปกรณ์ในกระบวนการที่อยู่บน Process flowsheet

2.4.2.4. ตั้งค่าองค์ประกอบ อัตราการไหล อุณหภูมิ และความดัน ของกระแสการ ไหลที่ป้อนเข้า กระบวนการ (Feed)

2.4.2.5. กำหนดค่าตัวแปร สำหรับอุปกรณ์ในกระบวนการเสร็จแล้ว จึงทำการ คำนวณโดยโปรแกรม (RUN) เพื่อให้ระบบคำนวณผลลัพธ์ของกระบวนการจำลองออกมา และตรวจสอบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยได้ค่าตัวแปรที่ผ่านการตรวจสอบความ ถูกต้องและกำหนดเป็นค่ามาตรฐาน

2.5 การเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนในโปรแกรม Aspen plus

เมื่อได้ค่าตัวแปรมาตรฐานที่ใช้ในกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์แล้ว จึงทำการ เพิ่มคุณสมบัติของสารบริสุทธิ์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ (Pure component temperature-dependent properties) เนื่องจากในฐานข้อมูลของโปรแกรม Aspen Plus ไม่มีของไหลไฮบริดนาโน ดังนั้นจึง ต้องเพิ่มค่าการนำความร้อนของไหลไฮบริดนาโนที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมของของไหลไฮบริด นาโนทั้ง 3 ชนิดในช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ โดยของไหลไฮบริดนาโนมีสถานะเป็นของเหลว จึงเลือกใช้ สมการที่คิดค้นโดย DIPPR (Design Institude for Physical Property Research) [12]สำหรับใช้ หาค่าสัมประสิทธิ์ที่มีผลต่อคุณสมบัติของสารประกอบ เช่น การหาความร้อนจำเพาะของของเหลว หรือของแข็ง และค่าการนำความร้อนสำหรับของเหลว สามารถหาได้จากสมการ (2.12)

$$Y = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$
(2.12)

- เมื่อ Y คือ คุณสมบัติของสารประกอบ
 - *A-E* คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ
 - T คือ อุณหภูมิ

การหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ **A-E** สำหรับสมการสามารถหาได้โดย Microsoft Excel โดยใช้ ฟังก์ชัน คือ =LINEST(known_ys, known_xs^(1,2,3,4))

ในงานวิจัยนี้ทราบค่า Y และค่า T คือค่าการนำความร้อนและอุณหภูมิของสารประกอบที่ได้ จากโครงข่ายประสาทเทียม จึงคำนวณเพื่อหาสัมประสิทธิ์ที่ A-E หลังจากนั้นทำการตรวจสอบค่า สัมประสิทธิ์ที่ A-E ที่ได้จากสมการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์ จึงนำไปแทนที่ใน โปรแกรม Aspen Plus

2.6 การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรในกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

เมื่อทราบค่ามาตรฐานของตัวแปรของกระบวนการผลิตไอไซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] จึงทำ การเพิ่มของไหลไฮบริดนาโนในโปรแกรม Aspen Plus เสร็จแล้ว ต่อไปจึงทำการกำหนดตัวแปรเพื่อ ทดลองหาความอ่อนไหวของตัวแปร เพื่อต้องการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และค่าความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยตัวแปรต้นและตัวแปร ตอบสนองแสดงใน ตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2 การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. เลือกที่ Model Analysis เลือก Sensitivity กดเลือก New เลือก OK

2. กำหนดตัวแปรต้น (Vary) ดังตารางที่ 2.1

3. กำหนดตัวแปรตาม (Define) ดังตารางที่ 2.2

4. กดเลือกที่ Cases และใส่ค่าตัวแปรต้นให้ครบตามค่าที่ได้จาก โปรแกรมออกแบบการ ทดลอง โดยค่า 1 คือค่าสูงสุด และ ค่า -1 คือ ค่าต่ำสุด หลังจากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณ (Run)

5. ตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลอง เมื่อไม่มีข้อผิดพลาด จึงผลการทดลองที่ได้ไป วิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรต่อไป

No	parameter	Unit
1	Reflux ratio of the column	kmol/sec
2	Bottom rate	kmol/sec
3 🧃	Temperature Feed2	°C
⁴ CHI	Pressure Feed2	bar
5	Mole flowrate Feed2	kmol/sec
6	Temperature In	°C
7	Pressure In	bar
8	Mass Flow In	kg/sec
9	Area Heat exchanger	sqm

ตารางที่ 2.1 ตัวแปรต้นสำหรับทดสอบความอ่อนไหว

ตารางที่ 2.2 ตัวแปรตอบสนองสำหรับทดสอบความอ่อนไหว

No	parameter	Unit
1	Outlet product (IPA)	%
2	Heat at heat exchanger	KW

2.7 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์เป็นวิธีการทางสถิติที่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองหลาย ๆ ตัวแปร และนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และ สรุปผลการทดลอง โดยโปรแกรมสามารถช่วยสร้างแบบจำลองการทำนาย (Predict model) เลือก จุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization) แบบจำลองที่ถูกเลือกจะมีการทดสอบความเหมาะสม ทางสถิติและวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) โดยพิจารณาจากค่า Sequential p-value (<0.05) การทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการทำนาย (Lack of fit p-value) และ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ Coefficient of determination R² (>0.80) ทั้งยัง สามารถสร้างพื้นผิวตอบสนอง (Respond surface plot) ซึ่งสามารถมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรต้นที่มีผลกับตัวแปรตอบสนองอย่างชัดเจน หลังจากนั้นนำค่าตัวแปรที่ได้ไปทดลองเพื่อ ตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำผลไปใช้งานจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตที่มีความ หลากหลายตัวแปร โปรแกรมที่สามารถทำได้ คือ Design expert และ Minitab เป็นต้น[14] การ ออกแบบการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น ดังนี้

2.7.1. แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดี่ยว (Singer factor design)

เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว เพื่อทดสอบว่าระดับของปัจจัยต่าง ๆ มีผลต่อตัวแปร ตอบสนองหรือไม่ สามารถแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อใหญ่ ๆ คือ

 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จัดเป็นแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ง่าย เป็นแผนการทดลองที่มีปัจจัยเดียวแต่จะทำการ เปรียบเทียบระดับของปัจจัย ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น ๆ มีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้แต่ส่งผลกระทบน้อย และไม่มีปัจจัยรบกวน

 2) การทดลองบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Block Design: CRB) เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว บางการทดลองอาจได้ผลการทดลองไม่สม่ำเสมอ หรือไม่สามารถ ควบคุมปัจจัยรบกวนได้ ซึ่งส่งผลกระทบกับตัวแปรตอบสนอง อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง จึง ใช้วิธีการบล็อก (Blocking) ในการกำจัดผลของปัจจัยรบกวนออกได้ เพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดลองมา จากปัจจัยที่ศึกษาเท่านั้น

2.7.2 แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่มีปัจจัยที่มีหลายปัจจัย โดยในการ ทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าระดับปัจจัย ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองจากปัจจัยด้วยตัวมันเอง และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ ผล จากการเปลี่ยนแปลงค่าระดับปัจจัยหนึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหนึ่ง ความแปรปรวน
ในการทดลองประกอบด้วย ความแปรปรวนจากอิทธิพลหลัก ความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลร่วม และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง โดยมีรูปแบบย่อย ดังนี้

 การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน ทั้งหมด k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจำกัดระดับ 2 ระดับ ตัวอย่างเช่น ในการทดลองมี 9 ปัจจัย จะได้การ ทดลองทั้งหมด 512 การทดลอง

 2) การออกแบบการทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียลปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน ทั้งหมด k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจำกัดระดับ 3 ระดับ ตัวอย่างเช่น ในการทดลองมี 9 ปัจจัย จะได้การ ทดลองทั้งหมด 19683 การทดลอง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนด้วยการทดลองจริง จะมีขั้นตอนที่ ซับซ้อนและต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ดังนั้น จึงมีนักวิจัยจำนวนมากนำโครงข่ายประสาท เทียมมาช่วยในการทำนายสมบัติทางความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน โดย Aduna และคณะ [15] ใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน โดยทำการเก็บข้อมูล จากการทดลอง แล้วนำข้อมูลมาสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ตัวแปรป้อน 7 ตัวแปรด้วยกัน ได้แก่ ความเข้มข้นโดยปริมาตร ระหว่าง 0-35 อุณหภูมิระหว่าง 20-70 องศาเซลเซียส ค่าอะเซนตริก ของของไหลพื้นฐานระหว่าง 0.6343 – 0.6959 ความหนาแน่นของอนุภาคนาโนระหว่าง 1.0 -1.05 g/cm³ สัดส่วนการผสมกันของอนุภาคนาโนระหว่าง 0.15-0.85 % Vol ค่าการนำความร้อนของ อนุภาคนาโนระหว่าง 1.36-3,007.4 W/(m.K) และขนาดของอนุภาคนาโนที่ใช้ระหว่าง 1.5 -70 นาโนเมตร โดยได้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่า Coefficient of determination (R²) 0.9997 ของ ค่าการนำความร้อน W/(m.K) ซึ่งแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการ ทำนายค่าการนำความร้อนของของไหลผสมนาโน

Ahmadloo และคณะ [16] ทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน ต่างชนิดกันโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้ตัวแปรป้อน 5 ตัวแปร อนุภาคนาโนที่สนใจ ได้แก่ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ (Mg(OH)₂) เซอร์โคเนียไดออกไซด์ (ZrO₂) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) คอปเปอร์ (Cu) อะลูมิเนียม (Al) โดยเก็บ ข้อมูลจาก 20 งานวิจัย และ ได้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่า Coefficient of determination (R²) จากการสอนโครงข่ายประสาทเทียม เท่ากับ 0.995 และ จากการทดสอบชุดข้อมูล เท่ากับ 0.993 ของค่าการนำความร้อน W/(m.K) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนาย ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนได้ Tian และคณะ [17] ใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ แกรฟีนออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์ผสมกับน้ำและเอทิลีนไกลคอล โดยใช้ความเข้มข้นอนุภาคนา โน ระหว่าง 0.1-1.6 โดยปริมาตร อุณหภูมิที่ใช้ทดลอง ระหว่าง 25-55 องศาเซลเซียส โดยใช้ รูปแบบของโครงข่ายประสาทแบบส่งข้อมูลไปข้างหน้า (Perceptron feed-forward ANN) ผลลัพธ์ที่ ได้จากการสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะได้ค่า Coefficient of determination (R²) เท่ากับ 0.995 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1.67 x10⁻⁶ ของค่าการนำความร้อน W/(m.K) ทั้งนี้ จากการ ทดลอง พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าการเพิ่มปริมาณ ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น นักวิจัยได้พัฒนาค่าการนำความร้อนของของไหลผสมนาโนให้ ดีขึ้น แต่ก็ยังไม่ได้ศึกษาการนำของไหลไฮบริดนาโนไปใช้ในกระบวนการผลิต จึงได้มีนักวิจัยศึกษา ผลกระทบของการใช้ของไหลไฮบริดนาโนในกระบวนการผลิต โดย Tora และคณะ [7] ใช้โปรแกรม จำลองกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีจำลองผลกระทบของกระบวนการผลิตที่ใช้ของไหลไฮบริดนาโน ตัวแปรที่ใช้ คือ ความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน ซึ่งแสดงให้เห็นการ ประยุกต์ใช้งานร่วมกับโปรแกรมจำลองกระบวนการทางวิศวกรรมเคมี งานวิจัยนี้ต้องการนำค่าการ ไหลและสมบัติความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ใน โปรแกรมจำลองกระบวนการทางวิศวกรรมเคมีเพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของของไหลไฮบริดนาโนที่ ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านบนหอกลั่นของกระบวนกลั่นไอโซโพรพิลแอลกลอฮอล์ ที่มีค่า การไหลและสมบัติการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าของไหลพื้นฐาน ที่จะส่งผลต่อการใช้พลังงานของ เครื่องสูบของไหลเพื่อส่งเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

> จุฬาลงกรณีมหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าตัวแปรที่มีผลกับสมบัติการไหลและสมบัติทางความร้อนของ ของไหลไฮบริดนาโน ได้แก่ ชนิดของของไหลพื้นฐาน ค่าการนำความร้อนของของไหลพื้นฐาน อุณหภูมิ ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคนาโน ค่าการนำความร้อนของนุภาคนาโน เมื่อทราบถึงตัว แปรที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำความร้อนของของไหลผสมอนุภาคนาโนแล้ว จึงนำไปสู่การ เก็บข้อมูลงานวิจัยที่ทำการศึกษาค่าการนำความร้อนของของไหลผสมอนุภาคนาโน ที่ค่าควบคุม ต่าง ๆ กัน

3.1 ศึกษาคุณสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน

- 3.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติความร้อนและสมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโน จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อคุณสมบิตของของไหลนาโน ได้แก่
- 1. ชนิดของไหลพื้นฐาน
- 2. อัตราส่วนของของไหลพื้นฐาน
- คุณสมบัติของของไหลพื้นฐาน คือค่าการนำความร้อนของของไหลพื้นฐาน และความเข้มข้น ของอนุภาคนาโน
- 4. อัตราส่วนของอนุภาคนาโน
- 5. ชนิดของอนุภาคนาโนาสงกรณ์มหาวิทยาลัย
- คุณสมบัติของอนุภาคนาโนค่าการนำความร้อนของอนุภาคนาโน ค่าความจุความร้อนร้อน ของอนุภาคนาโน ค่าความหนาแน่นของอนุภาคนาโน
- 7. อุณหภูมิที่ทำการทดลอง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติทางความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน พบว่ามีขั้นตอนและค่าใช้จ่ายในการศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของของไหลไฮบริด นาโน และยังไม่ได้นำค่าการสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลไปประยุกต์ใช้ ในระบบ อุตสาหกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการ ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายสมบัติทางความ ร้อนและสมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโน และนำค่าที่ได้ไปประยุกต์ใช้ การถ่ายโอนความร้อน ในกระบวนการผลิตไอไซโพรพิลแอลกอฮอล์เป็นกรณีศึกษา

3.2 การเก็บข้อมูลคุณสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน

3.2.1 การเก็บข้อมูลค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน

ข้อมูลมาจากงานวิจัย 26 งานวิจัย จำนวน 863 ข้อมูลนำไปเปลี่ยนแปลงหน่วยให้ อยู่ในหน่วยเดียวกันดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลค่าการนำความร้อน

No	Base fluid	Temperature	φ	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Thermal
		(K)	(Vol%)	1	1 (Fraction)	2	2 (Fraction)	conductivity
								(W/m.K)
1	Water-EG	298.15- 323.15	0.00- 1.60	GO	0.50	Al ₂ O ₃	0.50	0.3693- 0.5350
	(50:50)				122			[17]
2	Water-EG	298.15- 323.15	0.00- 0.40	MWCNT,	1.00, 0.53,	-	-	0.4960- 0.6150
	(80:20)		10001	TiO ₂ , ZnO	0.37			[18]
3	Water-EG	303.15- 353.15	1.00	TiO ₂	0.20, 0.40,	SiO ₂	0.20, 0.40,	0.4120- 0.5100
	(60:40)				0.60, 0.80		0.60, 0.80	[19]
4	Water	293.15- 333.15	0.00- 0.30	MWCNT	0.26	-	0.74	0.6000- 0.8400
				1635	INN N			[20]
5	Water-EG	303.15- 353.15	0.00- 0.10	TiO ₂	0.80	Al ₂ O ₃	0.20	0.4150- 0.6200
	(60:40)				6			[21]
6	Water-EG	293.15- 333.15	0.25- 1.00	TiN	1.00	-	-	0.3300- 0.5250
	(60:40)		1	Trees Door				[22]
7	Water	293.15- 333.15	0.00- 0.50	SWCNT	1.00	-	-	0.6000- 1.0700
			0	27720/083	and the	0		[23]
8	Water	293.15- 333.15	0.00- 0.25	SWCNT	1.00	-	-	0.6000- 0.8800
								[24]
9	Water-EG	303.15- 353.15	0.00- 3.00	TiO ₂	0.50	SiO ₂	0.50	0.4100- 0.5500
	(60:40)	จ	หาลง	กรณ์มห	าวิทยาล่	2		[25]
10	Water	298.15- 323.15	0.125	ZnO	0.50	Ag	0.50	0.6100- 0.7880
		GH	ULALO	NGKORN	UNIVER	SITY		[26]
11	Water	320.15	0.00- 4.00	Al_2O_3	1.00	-	-	0.6150- 0.6620
								[27]
12	Water	320.15	1.00	CuO	1.00	-	-	0.6200- 0.6380
								[28]
13	Water	303.15	0.10	Al_2O_3	0.20,0.40,	MWCNT	0.20, 0.40,	0. 6170-
					0.60, 0.80		0.60, 0.80	0.6207 [29]
14	Water	298.15	0.10- 0.30	Al_2O_3	0.90	Cu, MWCNT	0.10	0.6280- 0.6480
								[30]
15	Water	298.15- 323.15	0.25- 1.50	CuO, MgO	0.80	MWCNT	0.20	0.6200- 0.7140
								[31]
16	Water	300.15	0.99- 4.35	Al ₂ O ₃ , TiO ₂	1.00	-	-	0.6100- 0.8100
								[32]
17	Water	298.15	0.00- 8.00	CuO	1.00	-	-	0.6070- 0.7200
								[33]
18	Water	288.15- 333.15	0.00- 0.50	CuO	0.60	MgO	0.40	0.5800- 0.9400
								[34]

No	Base fluid	Temperature	φ	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Thermal
		(K)	(Vol%)	1	1 (Fraction)	2	2 (Fraction)	conductivity
								(W/m.K)
19	Water	293.15- 353.15	0.00- 1.00	Ag, MWCNT	1.00		0.00	0.5760- 0.8000
								[35]
20	Water-EG	303.15- 343.15	0.00- 0.60	Al ₂ O ₃	0.50	CuO	0.50	0.4160- 0.4900
	(60:40)							[36]
21	Water-EG	303.15- 353.15	0.00- 3.00	TiO ₂	0.50	SiO ₂	0.50	0.4150- 0.5470
	(60:40)							[37]
22	Water	298.15	0.00-	Al ₂ O ₃	1.00	-	-	0.5984- 0.7895
			10.00					[38]
23	Water, EG	298.15- 323.15	3.70- 9.30	Al ₂ O ₃	1.00	-	-	0.6436- 0.7637
								[39]
24	Water, EG	298.15- 338.15	0.40- 2.00	CuO	1.00	-	-	0.6233- 0.6972
			3		120			[40]
25	Water-EG	303.15	0.01- 0.45	GO	1.00	-	-	0.4650- 0.5450
	(70:30)		10001					[41]
26	Water	321.15	0.25- 2.00	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ,	1.00	-	-	0.6400- 0.8200
				SiO ₂ , GNP,				[42]
				CuO, MWCNT				



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University 3.2.2 การเก็บข้อมูลความจุความร้อนจำเพาะของของไหลไฮบริดนาโน

ข้อมูลมาจากงานวิจัย 28 งานวิจัย จำนวน 1158 ข้อมูลนำไปเปลี่ยนแปลงหน่วยให้ อยู่ในหน่วยเดียวกันดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลความจุความร้อนร้อนจำเพาะ

No	Base fluid	Temperature	φ	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Specific heat
		(K)	(Vol%)	1	1 (Fraction)	2	2 (Fraction)	kJ/kg.K
1	Water	298.15-	0.50- 1.00	Fe ₃ O ₄	0.33	Al ₂ O ₃	0.33	3.6200- 4.0700
		338.15						[13]
2	Water	293.15-	0.00- 0.50	SWCNT	1.00	-	0.00	2.5000- 4.2000
		333.15						[23]
3	Water	293.15-	0.00- 2.50	SWCNT	1.00	-	0.00	3.0000- 4.2000
		333.15			12			[24]
4	Water-EG	278.15-	0.00	MWCNT	1.00	-	0.00	3.4500- 3.8600
	(70:30)	313.15		1111				[43]
6	Water	298.15-	0.33- 1.67	Al ₂ O ₃	0.50	ZnO	0.50	2.9000- 8.4000
		338.15		AGA				[44]
7	Water	300.15	0.00- 4.00	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	3.4300- 4.1800
			-///	/A OK				[27]
8	Water	300.15	1.00	CuO	1.00	-	0.00	3.7600- 3.9600
				10000	A II A			[28]
9	Water	303.15	0.10	Al ₂ O ₃	0-1	MWCNT	0-1	4.1700- 4.1800
				- Shenenasiyani				[29]
10	Water	298.15	0.10- 0.30	Al ₂ O ₃	0.90	Cu, MWCNT	0.10	4.1700- 4.1800
			13		18			[30]
11	Water	293.15-	0.25- 2.00	CuO, MgO,	0.80	MWCNT	0.20	3.5000- 4.4300
		323.15	1011	MWCNT	C. C			[31]
12	Water	300.15	0.99- 3.16	Al ₂ O ₃	1.00 g a	٤	0.00	4.0700- 4.9800
								[32]
13	Water	298.15 GH	2.00- 8.00	CuO	0.00 V E R	SITY	0.00	2.7000- 4.1800
								[33]
14	Water	288.15-	0.10- 0.50	CuO	0.60	MgO	0.30	4.0700- 4.6800
		333.15						[34]
15	Water	298.15-	0.13- 0.39	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	4.0000- 4.2500
		338.15						[45]
16	Water	293.15-	0.00	0	0.00	-	0.00	4.1800- 4.2000
		353.15						[35]
17	Water	293.15-	0.00- 0.03	MWCNT	0.40	CuO	0.60	4.1700- 4.1800
		313.15						[46]
18	Water-EG	303.15	0.00- 0.60	Al ₂ O ₃	0.50	CuO	0.50	2.2400- 3.0900
	(60:40)							[36]
19	Water	298.15	0-10	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	3.1300- 4.1800
								[38]
20	Water	296.15-	3.70- 9.30	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	3.2700- 3.7900
		336.15						[39]
No	Base fluid	Temperature	φ	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Specific heat

		(K)	(Vol%)	1	1 (Fraction)	2	2 (Fraction)	kJ/kg.K
21	Water	298.15-	0.40- 2.00	CuO	1.00	-		3.7500- 4.0900
		338.15						[40]
22	Water-EG	303.15	0.01- 0.05	GO	1.00	-		3.1800- 3.4400
	(70:30)							[41]
23	Water	298.15-	0.25- 1.50	CuO, MgO,	0.80	MWCNT	0.20	3.6500- 4.0700
		323.15		SnO ₂				[47]
24	Water	298.15	0.01	TiO ₂	1.00	-	0.00	4.1600- 4.1700
								[48]
25	Water	303.15-	0.25-2.0	TiO ₂	1.00	-	0.00	3.6300- 4.1500
		333.15						[49]
26	Water	321.15	0.25- 2.0	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ,	1.00	-	0.00	3.5500- 4.3100
				SiO ₂ ,				[42]
				CuO, GNP,	3			
			Sec. Sec. Sec. Sec. Sec. Sec. Sec. Sec.	MWCNT	12.			
27	Water	298.15-	4.00	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ,	1.00	-		4.0400- 4.1800
		323.15	lanar	SiO ₂				[50]
28	Water	303.13-	0.00- 0.39	Al ₂ O ₃	1.00	-		4.0000- 4.2500
		333.15						[51]



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

3.2.3 การเก็บข้อมูลความหนืดของไหลไฮบริดนาโน

ข้อมูลมาจากงานวิจัย 32 งานวิจัย จำนวน 1566 ข้อมูลนำไปเปลี่ยนแปลงหน่วยให้ อยู่ในหน่วยเดียวกันดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลความหนืด

No	Base fluid	Temperature	φ	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Viscosity
		(K)	(Vol%)	1	1 (Fraction)	2	2 (Fraction)	(mPa/s)
1	Water	293.15-	0.00- 0.40	Fe ₂ O ₃	0.20	MWCNT	0.80	0.6500- 1.2000
		313.15						[52]
2	Water-EG	303.15-	0.00- 1.00	TiO ₂	0.20, 0.40,	SiO ₂	0.20, 0.40,	0.9000- 3.0000
	(60:40)	353.15		5333.	0.5, 0.6, 0.80		0.50, 0.60,	[19]
			\ \	$\langle i = 1$	12		0.80	
3	Water-EG	273.15-	0.14- 0.71	MWCNT	1.00	-		1.1000- 2.2500
	(50:50)	313.15	Letter a					[53]
4	Water	293.15-	0.01	Al ₂ O ₃	0.40	TiO ₂	0.40	1.0100- 1.5100
		333.15						[54]
5	Water	293.15-	0.00- 3.00	MWCNT	0.26	Fe ₃ O ₄	0.74	0.3000- 1.0000
		333.15			INN NO.			[20]
6	Water-EG	283.2	0.00	MWCNT	0.20	TIO ₂	0.80	0.8000- 6.5000
	(70:30)			A COMPANY				[55]
7	Water	293.15-	0.00- 2.00	ZnO	0.50	Ag	0.50	0.8000- 1.7800
		323.15	1	PRECOVERS				[56]
8	Water-EG	303.15-	0.02- 0.10	TiO ₂	0.80	Al ₂ O ₃	0.20	0.8000- 4.2000
	(60:40)	353.15			Star 1	\		[21]
9	Water	298.15-	0.02- 0.80	MgO	0.50	MWCNT	0.50	1.0000 -4.5000
		333.15	45					[57]
10	Water	293.15-	0.25- 1.00	TiN	1.00	-	0.00	1.2000- 9.0000
		333.15	หาลง	ารณ์มห	าวิทยาล้	, El		[22]
11	Water	293.15-	0.00- 0.50	SWCNT	1.00	-	0.00	0.4500- 1.3800
		333.15	ULALOI	IGKORN	UNIVER	SITY		[23]
12	Water	293.15-	0.00- 0.25	SWCNT	1.00	-	1.00	0.5000- 1.3000
		333.15						[24]
13	Water-EG	278.15-	0.00- 0.45	MWCNT	1.00	-		1.2000- 7.8000
	(70:30)	313.15						[43]
14	Water-EG	303.15-	0.00-3.00	TiO ₂	0.50	SiO ₂	0.50	2.3500 [25]
	(60:40)	353.15						
15	Water	298.15-	0.33-1.67	Al ₂ O ₃	0.50	ZnO	0.50	1.5000- 1.800
		338.15						[44]
16	Water	293.15-	1.00- 0.40	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	0.35-7.8000
		333.15						[58]
17	Water	293.15-	1.00- 9.40	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	0.50-4.300
		333.15						[59]
18	Water-EG	303.15-	0.00- 2.00	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	1.0000-
	(60:40)	343.15						16.0000 [60]
19	Water	300.15	0.00- 4.00	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	0.7900 -7.5000
								[27]

No	Base fluid	Temperature	φ	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Viscosity
		(K)	(Vol%)	1	1 (Fraction)	2	2 (Fraction)	(mPa/s)
20	Water	300.15	1.00	CuO	1.00	-	0.00	1.4770- 1.4800
								[28]
21	Water	303.2	0.00	Al ₂ O ₃	0.2, 0.4, 0.6,	MWCNT	0.2, 0.4, 0.6,	0.9100- 0.9900
					0.8, 1		0.8, 1	[29]
22	Water	298.2	0.10	Al ₂ O ₃	0.90	Cu, MWCNT	0.10	0.9500- 1.0100
								[30]
23	Water	298.15-	0.25-2.00	CuO, MgO	0.80	MWCNT	0.20	0.5500- 1.2700
		323.15						[31]
24	Water	298.15	0.00- 8.00	CuO	0.00	-	0.00	1.0000 -5.6000
								[61]
25	Water	288.15-	0.00 -0.50	CuO	0.60	MgO	0.40	0.4800- 1.6800
		353.15		16000	3			[34]
26	Water	293.15-	0.00- 1.00	Ag, MWCNT	0.00	-	0.00	0.6100- 2.6900
		353.15	20					[35]
27	Water-EG	303.15-	0.00- 0.60	Al ₂ O ₃	0.50	CuO	0.50	0.9800- 4.7300
	(60:40)	343.15	1	////				[36]
28	Water-EG	303.15-	0.00- 3.00	TiO ₂	0.50	SiO ₂	0.50	0.9500- 3.1500
	(60:40)	353.15		//b@4				[37]
29	Water	298.2	0.0- 10.0	Al ₂ O ₃	0.00	-	0.00	1.0200- 2.9600
				/ Arasa				[38]
30	Water	278.15-	0.00- 4.0	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	0.6500- 2.0800
		313.15		<u>686666</u>				[62]
31	Water	321.15	0.25	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ,	1.00	-	0.00	0.5500- 0.8200
			4	SiO2, CuO,				[42]
			0	GNP, MWCNT		0		
32	Water	303.2	0.00-0.38	Al ₂ O ₃	0.00	- (0.00	0.5300-0.8800
								[51]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

3.2.4 การเก็บข้อมูลความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน

ข้อมูลมาจากงานวิจัย 30 งานวิจัย จำนวน 866 ข้อมูลนำไปเปลี่ยนแปลงหน่วยให้ อยู่ในหน่วยเดียวกันดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลความหนาแน่น

No	Base fluid	Temperature	φ	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Density
		(K)	(Vol%)	1	1 (Fraction)	2	2 (Fraction)	(g/cm ³)
1	Water	293.15- 313.15	0.00- 0.30	MWCNT	0.26	Fe ₃ O ₄	0.74	0.9985- 1.0360 [20]
2	Water-EG	273.15- 323.15	0.00-	Al ₂ O ₃ , ZnO	1.00	-	0.00	1.0743- 1.3586 [63]
	(60:40)		10.00					
3	Water-EG	293.15- 333.15	0.25- 1.00	TiN	1.00	-	0.00	1.064- 1.1180 [22]
	(60:40),				1120	×		
	(40:60)		N.					
4	Water	294.15- 309.15	0.00- 0.30	Al ₂ O ₃	0.00	-	0.00	0.9930- 1.1000 [64]
5	Water	300.15	2.00- 4.00	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	1.005- 1.1000 [27]
6	Water	300.15	1.00- 2.00	CuO	1.00	-	0.00	1.1049- 1.9510 [28]
7	Water	303.15	0.10	Al ₂ O ₃	0.20, 0.40,	MWCNT	0.20, 0.40,	0.9973- 0.9988 [29]
			~//	AO	0.60, 0.80,		0.60, 0.80,	
					1.00	1	1.00	
8	Water	298.15	0.10- 0.30	Al ₂ O ₃	0.90	Cu, MWCNT	0.10	1.0011- 1.0047 [30]
10	Water	298.15	0.00- 8.00	CuO	1.00	-	0.00	1.000- 1.5100 [33]
11	Water	288.15- 333.15	0.00- 0.50	CuO	0.60	MgO	0.40	0.9840- 1.0180 [34]
12	Water	283.15- 313.15	0.13- 0.39	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	0.9998- 1.0110 [45]
13	Water	293.15- 353.15	0.00 -1.00	0	1.00	-	0.00	0.9718- 0.9982 [35]
14	Water	293.15- 313.15	0.00	MWCNT	0.40	CuO	0.60	0.9920-0.9982 [46]
15	Water-EG	303.15	0.20- 0.60	Al ₂ O ₃	0.50	CuO	0.50	1.0435-1.0962 [36]
	(60:40)							
16	Water	298.15 CF	0.00-	Al ₂ O ₃	0.00	RSITY	0.00	0.9980 [38]
17	Water-EG	298.15	0.00 -4.00	ZnO	1.00	-	0.00	1.1078-1.3194 [65]
	(60:40)							
18	Water	278.15- 313.15	0.00- 4.00	Al ₂ O ₃	0.00	-	0.00	0.9900-1.1100 [62]
19	Water	293.15- 313.15	0.10- 2.00	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	0.9970-1.0520 [66]
20	EG	283.15- 333.15	0.12- 0.48	MWCNT	1.00	-	0.00	1.0849- 1.1272 [67]
21	Water	298.15	0.01	TiO ₂	1.00	-	0.00	0.9957- 1.0043 [48]
22	Water	298.15- 313.15	0.20- 1.04	Fe3O4	1.00	-	0.00	1.0488- 1.0565 [68]
23	Water	303.15- 333.15	0.25- 2.00	TiO ₂	1.00	-	0.00	1.0280- 1.0820 [49]
24	Water	321.15	0.25- 2.00	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ,	1.00	-	0.00	0.9850- 1.1500 [42]
				SiO2, CuO,				
				GNP,				
				MWCNT				
No	Base fluid	Temperature	φ (Vol%)	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Nanoparticle	Density

		(K)		1	1 (Fraction)	2	2 (Fraction)	(g/cm ³)
25	Water	298.15- 313.15	0.05- 4.00	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ,	1.00	-	0.00	0.9980- 1.1600 [69]
				SiO ₂				
26	Water	300.15- 350.15	44713.000	Al2O3	1.00	-	0.00	0.9750- 1.1750 [70]
27	Water	298.15- 323.15	4.00	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ,	1.00	-	0.00	0.9980- 1.0260 [50]
				SiO ₂				
28	Water	303.15- 333.15	0.00- 0.39	Al ₂ O ₃	1.00	-	0.00	0.9810- 1.0187 [51]
29	EG	303.15- 323.15	0.00- 1.00	Ag	1.00	-	0.00	1.1060- 1.1360 [71]
30	Water	303.15- 363.15	0.00- 1.00	Al ₂ O ₃	0.00	-	0.00	0.9680- 1.0400 [72]

3.3 ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม

โปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างโครงข่ายประสาทเทียมคือ Matlab2021a ก่อนจะออกแบบ โครงข่ายประสาทเทียม ต้องทำการหาจำนวนนิวรอน ที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม ระหว่าง 1- 20 หลังจากนั้นจึงหาจำนวนชั้นซ่อน (hidden layer) ที่เหมาะสมสำหรับสร้างโครงข่าย ประสาทเทียม 1-2 เมื่อได้จำนวนนิวรอน และจำนวนชั้นซ่อน (hidden layer) จึงนำไปสร้างโครงข่าย ประสาทเทียม

3.3.1 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน
 เมื่อได้จำนวนนิวรอนที่เหมาะสมสำหรับชั้นซ่อนแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจึงทำการ
 ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมตามรูปภาพที่ 3.1 และทำการหาโครงข่ายประสาทเทียมที่



รูปที่ 3.1 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการนำความร้อน

 3.3.2 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับค่าความร้อนจำเพาะของของไหลไฮบริดนาโน เมื่อได้จำนวนนิวรอนที่เหมาะสมสำหรับชั้นซ่อนแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจึงทำการ ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมตามรูปภาพที่ 3.2 และทำการหาโครงข่ายประสาทเทียมที่ เหมาะสมสำหรับทำนายความจุความร้อนจำเพาะของของไหลไฮบริดนาโน



รูปที่ 3.2โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความจุความร้อนจำเพาะ

3.3.3 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับค่าความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน เมื่อได้จำนวนนิวรอนที่เหมาะสมสำหรับชั้นซ่อนแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจึงทำการ ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมตามรูปภาพที่ 3.3 และทำการหาโครงข่ายประสาทเทียมที่ เหมาะสมสำหรับทำนายความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน



รูปที่ 3.3 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนาแน่น 3.3.1 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับค่าความหนืดของของไหลไฮบริดนาโน เมื่อได้จำนวนนิวรอนที่เหมาะสมสำหรับชั้นซ่อนแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจึงทำการ ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมตามรูปภาพที่ 3.4 และทำการหาโครงข่ายประสาทเทียมที่ เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความหนืดของของไหลไฮบริดนาโน



รูปที่ 3.4 โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนืด

3.4 การประเมินโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อสร้างโครงข่ายประสาทเทียม ลำดับถัดมาคือการประเมินโครงข่ายประสาทเทียมที่มี ประสิทธิภาพและสามารถไปใช้งานได้หรือไม่ โดยดูจากค่าคลาดเคลื่อน โดยใช้ Error function หรือ "Loss function" เริ่มจากการสร้างโมเดล โดยเป้าหมายของโมเดลคือต้องการค่า Loss ให้มีค่าต่ำ ที่ สุด จากรูป ที่ 3.5 เส้นสีเหลือง คือ Linear regression ส่วนจุดสีเขียวและสีแดง คือ prediction ที่ได้จากการ train Linear regression ระยะห่างของ prediction และ actual คือ ค่า Loss function ที่เราต้องการค่าน้อยที่สุด

> $Error = y_i - \hat{y}$ (3.1) เมื่อ y_i คือ ค่าจริง และ \hat{y} คือค่าที่ได้จากการทำนาย



3.4.1 ค่า R

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร ค่าจากการ ทดลองและค่าที่ได้จากการทำนาย ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 ซึ่งหากมีค่าใกล้ -1.0 นั้น หมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงตรงกันข้าม หากมีค่าใกล้ +1.0 นั้น หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมาก และหากมีค่าเป็น 0 นั้นหมายความ ว่า ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}$$
(3.2)

3.4.2 ค่า MSE

MSE ย่อมาจาก "Mean squared error" คือ ค่า (Error) ยกกำลังสองแล้วนำมาหารด้วย ข้อมูลทั้งหมด เพื่อหาค่าเฉลี่ยหาได้จากสมการ (3.3) โดยค่าที่เข้าใกล้ 0 แสดงถึงความใกล้เคียงของค่า จริงและค่าที่ได้จากการทำนาย เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้รูปแบบปรับตัวการเรียนรู้ แบบ Gradient Descent with Momentum Weight and Bias (LEARNGDM) ซึ่งทำให้หาค่า Function loss ได้ไว ส่งผลให้ใช้เวลาในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมน้อยลง

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$
(3.3)

3.4.3 ค่า MAE

MAE ย่อมาจาก "Mean absolute error" คือค่าผลรวมของค่า (Error) สมบูรณ์ ที่หารด้วย จำนวนข้อมูลทั้งหมด เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าเฉลี่ย หาได้จากสมการ (3.4) โดยค่า (Error) สมบูรณ์ อยู่ระหว่าง 0 -1 ซึ่งผลการทำนายที่ได้ค่า (Error) สมบูรณ์ที่เข้าใกล้ 0 แสดงถึงความใกล้เคียงของค่า จริงและค่าที่ได้จากการทำนาย

 $\sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|$

$$MAE = \frac{1}{n}$$

$$j_{i}$$

$$\tilde{y}$$

$$\tilde{p}$$

l

(3.4)

3.5 การใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน

เมื่อได้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีความถูกต้องแล้ว จึงทำการใช้โครงข่ายประสาทเพื่อทำนาย สมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโน โดยต้องเลือกองค์ประกอบของ ของไหลไฮบริดนาโน ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ทั้งนี้ตั้งแต่มีการค้นพบของไหลไฮบริดนาโน นักวิจัย จำนวนพยายามวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้ ของไหลไฮบริดนาโนมีค่าการนำความร้อนที่สูงขึ้น โดย Lee และคณะ[73] และ Wang และคณะ [74] ทำการใช้กลุ่มโลหะ เช่น Cu และ Ag ซึ่งส่งผลเหมือนกับใช้ กลุ่มโลหะออกไซด์ CuO และ Ag₂O และพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลโดยตรงต่อค่าการนำความร้อนของ ของไหลไฮบริดนาโน คือ ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน ค่าการนำความร้อนของอนุภาคนาโน ดังนั้น งานวิจัยจึงเลือกองค์ประกอบของไฮบริดนาโน โดยมีส่วนประกอบ ดังนี้

- 1. ของไหลพื้นฐาน คือ น้ำ
- 2. ของแข็งอนุภาคนาโน แบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน ได้แก่
 - 1. กลุ่มโลหะออกไซด์ เช่น Fe_3O_4 MgO และ CuO
 - กลุ่มพอลิเมอร์ที่มีค่าการนำความร้อนที่สูง คือ MWCNT ท่อคาร์บอนนาโนผนัง หลายชั้น (Multiwall carbon nanotube)

จากกำหนดส่วนประกอบของของไหลไฮบริดนาโนจึงนำอนุภาคนาโนทั้ง 2 กลุ่ม ละลายใน ของไหลพื้นฐานคือ น้ำ จะได้ของไหลไฮบริดนาโน 6 ชนิด และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มี จะได้ของไหลของไฮบริดนาโน 4 ชนิด ซึ่งจะได้ของไหลไฮบริดนาโนที่มีในฐานข้อมูลที่ปรากฏใน ตารางที่ 3.5 โดยใช้ความเข้มข้นที่ 1% vol และอัตราส่วนของอนุภาคนาโน 0.5 เท่ากัน หลังจากนั้น จึงใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายค่าการนำความร้อน และเลือกของไหลไฮบริดนาโนที่มีค่าการนำ ความร้อนที่ดีไปประยุกต์ใช้การถ่ายโอนความร้อน

Chulalongkorn University

นาโน	
ฮบริด'	
ใหลไ	
บของไ	
ັະຄອ	
ส่วนป'	
3.5 (
ตารางที่	

particle 2 parti fraction frac	conductivity particle 2 part Nano particle fraction frac 1	particle 1 conductivity particle 2 parti fraction Nano particle fraction frac 1	particle particle 1 conductivity particle 2 parti 1 fraction Nano particle fraction frac 1	particle particle 1 conductivity particle 2 parti (%vol) 1 fraction Nano particle fraction frac 1	(K) particle particle particle particle particle (%vol) 1 fraction Nano particle fraction fraction	fraction (K) particle particle particle particle particle particle (%vol) 1 fraction Nano particle fraction fraction 1 1 fraction 1 fraction fraction
fraction	Nano particle fraction fra 1	fraction Nano particle fraction fra	1 fraction Nano particle fraction fra 1	(%vol) 1 fraction Nano particle fraction fractin fraction fraction fraction fraction fraction	(%vol) 1 fraction Nano particle fraction fractin fraction fraction fraction fraction fraction	(%vol) 1 fraction Nano particle fraction fraction 1 1 1 1 1
	1				1	
MgO 0.50	77 MgO 0.50	0.50 0.50 0.50	CuO 0.50 77 MgO 0.50	1.000 CuO 0.50 77 MgO 0.50	303.0 1.000 CuO 0.50 77 MgO 0.50	0.00 305.0 1.000 CuO 0.50 1 17 MgO 0.50
MWCNT 0.50	77 MWCNT 0.50	0.50 77 MWCNT 0.50	CuO 0.50 77 MWCNT 0.50	1.000 CuO 0.50 77 MWCNT 0.50	303.0 1.000 CuO 0.50 77 MWCNT 0.50	0.00 303.0 1.000 CuO 0.50 77 MWCNT 0.50
MWCNT 0.50	18 MWCNT 0.50	0.50 18 MWCNT 0.50	Fe ₃ O ₄ 0.50 18 MWCNT 0.50	1.000 Fe ₃ O ₄ 0.50 18 MWCNT 0.50	303.0 1.000 Fe ₃ O ₄ 0.50 18 MWCNT 0.50	0.00 303.0 1.000 Fe ₃ O ₄ 0.50 18 MWCNT 0.50
MWCNT	42 MWCNT	0.50 10 MWCNI 0.50 42 MWCNT	MgO 0.50 42 MWCNT	1.000 MgO 0.50 42 MWCNT 1.000 MgO 0.50 42	303.0 1.000 MgO 0.50 42 MWCNT	0.00 303.0 1.000 MgO 0.50 42 MWCNT
	77 77 18 42	0.50 77 0.50 77 0.50 18 0.50 42 0.50 42	CuO 0.50 77 CuO 0.50 77 Fe ₃ O ₄ 0.50 18 MgO 0.50 42	1.000 CuO 0.50 77 1.000 CuO 0.50 77 1.000 Fe ₃ O ₄ 0.50 18 1.000 MgO 0.50 42	303.0 1.000 CuO 0.50 77 303.0 1.000 CuO 0.50 77 303.0 1.000 CuO 0.50 77 303.0 1.000 Fe ₃ O ₄ 0.50 18 303.0 1.000 MgO 0.50 18	0.00 503.0 1.000 CuO 0.50 77 0.00 303.0 1.000 CuO 0.50 77 0.00 303.0 1.000 Fe ₃ O ₄ 0.50 18 0.00 303.0 1.000 MgO 0.50 18

Y

36

จากตารางที่ 3.5 พบว่าของไหลไฮบริดนาโนที่มีค่าการนำความร้อนที่ดีสามลำดับแรกนำไป หาค่าการนำความร้อนโดยโครงข่ายประสาทเทียม จากอุณหภูมิ 293.15-348.15 K โดยจะได้ผลค่า การนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนแสดงในตารางที่ 3.6 ตารางที่ 3.6 ค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริด

Tomporature (K)	Hybrid nanofluid 1	Hybrid nanofluid 2	Hybrid nanofluid
remperature (K)	(MWCNT+CuO)	(MWCNT+Fe ₃ O ₄)	(CuO+MgO)
293.15	0.6142	0.4494	0.7457
294.15	0.6151	0.4547	0.7468
295.15	0.6161	0.4600	0.7479
296.15	0.6171	0.4655	0.7493
297.15	0.6181	0.4710	0.7507
298.15	0.6191	0.4766	0.7522
299.15	0.6202	0.4823	0.7538
300.15	0.6213	0.4880	0.7556
301.15	0.6225	0.4937	0.7575
302.15	0.6237	0.4995	0.7596
303.15	0.6249	0.5054	0.7617
304.15	0.6262	0.5112	0.7641
305.15	0.6276	0.5170	0.7665
306.15	0.6290	0.5229	0.7692
307.15	0.6305	0.5287	0.7720
308.15	0.6320	0.5345	0.7749
309.15 C HL	0.6337	0.5403	0.7781
310.15	0.6354	0.5461	0.7814
311.15	0.6371	0.5519	0.7849
312.15	0.6390	0.5576	0.7887
313.15	0.6409	0.5633	0.7926
314.15	0.6429	0.5690	0.7967
315.15	0.6449	0.5746	0.8010
316.15	0.6471	0.5802	0.8056
317.15	0.6493	0.5857	0.8104
318.15	0.6516	0.5912	0.8154
319.15	0.6540	0.5967	0.8206
320.15	0.6564	0.6021	0.8261

Tama aratura (1/)	Hybrid nanofluid 1	Hybrid nanofluid 2	Hybrid nanofluid
Temperature (K)	(MWCNT+CuO)	(MWCNT+Fe ₃ O ₄)	(CuO+MgO)
321.15	0.6589	0.6075	0.8318
322.15	0.6616	0.6128	0.8377
323.15	0.6643	0.6181	0.8438
324.15	0.6670	0.6233	0.8502
325.15	0.6699	0.6286	0.8568
326.15	0.6728	0.6337	0.8636
327.15	0.6759	0.6389	0.8706
328.15	0.6789	0.6440	0.8778
329.15	0.6821	0.6492	0.8852
330.15	0.6854	0.6542	0.8928
331.15	0.6887	0.6593	0.9005
332.15	0.6921	0.6644	0.9084
333.15	0.6956	0.6695	0.9165
334.15	0.6992	0.6745	0.9246
335.15	0.7028	0.6796	0.9329
336.15	0.7065	0.6847	0.9412
337.15	0.7103	0.6898	0.9496
338.15	0.7141	0.6949	0.9581
339.15	0.7180	0.7000	0.9665
340.15	0.7220	0.7052	0.9750
341.15	0.7261	0.7104	0.9834
342.15	0.7302	0.7156	0.9918
343.15	0.7343	0.7209	1.0000
344.15	0.7386	0.7262	1.0082
345.15	0.7428	0.7316	1.0162
346.15	0.7472	0.7370	1.0241
347.15	0.7515	0.7424	1.0317
348.15	0.7560	0.7479	1.0392

3.6 การประยุกต์ใช้การถ่ายโอนความร้อนในโปรแกรม Aspen plus

3.6.1 การหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม

ในกรณีศึกษากระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] นั้นมีอุปกรณ์และค่าควบคุม หลายตัว เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ จำเป็นต้องกำหนดอุปกรณ์และหาค่าควบคุมที่ทำให้ได้ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ตามกรณีศึกษา โดยมีอุปกรณ์และค่าควบคุมมาตรฐานที่ต้องควบคุมเพื่อหาค่า มาตรฐาน ดังนี้

- 1. หอกลั่น
- ประเภทของหอกลั่น จำนวนถาด
- อัตราการไหล อุณหภูมิ ความดัน ชั้นที่ป้อนของวัตถุดิบเข้าหอกลั่น
- 2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- ประเภทเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- พื้นที่
- ลักษณะการไหลของสาร
- 3. เครื่องแยก
- อัตราการแยก

3.6.2 การเพิ่มคุณสมบัติของของไหลไฮบริดนาโน

เมื่อได้โครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถทำนายค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน แล้ว จึงนำค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนมาเพิ่มในฐานข้อมูลของโปรแกรม Aspen Plus ทำให้ได้ของไหลไฮบริดนาโนตามที่ต้องการ จากนั้นของไหลไฮบริดนาโนไปใช้เป็น ตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกรณีศึกษากระบวนการผลิต ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] โดยต้องเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน โดยมีขั้นตอน ดังนี้

File Home View	Custom	nize Resource	5											Search Exch	ange
S Cut SH Cut Copy Copy Unit Sets Cupboard Units	Setup Compon	Na [®] Chemist ents <u>2</u> [®] Customi s <u>9</u> Prop Set Navigate	ry Q ze Dre S Struct	Wet Clea Wure Retr Tool	nods Assistant n Parameters eve Parameters	DECHEMA	Analysis Estimation Regression Run Mode	Next	Run	Reset o	Control Panel	Input History Report Summary	Pure Binary	Solubility	A Ternary Diag
Properties	< _ P	arameters × PL	JRE-3 (Pure	- K - Plot ×	Pure Compor	ents × Binary	Interaction ×	PURE-3	(PURE) >	Met	hods - S	pecifications	× +		
All Items	-				-						Y-54				
Setup	*	New	Сору	Paste	New Pure	Component Par	ameters				×				
Components		Name		Type	Select type	of pure compor	ent parameter					Descrip	ation	Del	ete
Specifications		KIDIP-1	T.DER	ENDENT	O Scalar									3	2 C
Assay/Blend		INCONT	2541	D	I T-deper	ident correlation									
Light End Properties		USRDEP	SCALA	UK	O Noncor	wentional						<u> </u>			•
Preudecomponent Component Attribu Henry Comps UNIFAC Groups By Polymers Methods Specifications Selected Methods Selected Methods Polymerters Poly	tes Ŧ			t	> Ideal g > Liquid > Liquid & Liquid KLF KLF KLF	as heat capacity heat capacity molar volume thermal conduct 0P-1 0DS-1 PDS-1 MLP-1	5wty				E				
Binary Interactio Bictrolyte Pair Electrolyte Pair UNIFAC Groups UNIFAC Groups WINFAC Groups Routes Routes Iff Properties	n ry Bin *				Paramete	ns for PPDS2 liqu Defa	id thermal condu ult name : KLPD OK Car	ctivity m	odel						

1. กำหนด สารใหม่ (Pure component) เลือก KLPDS-1 หลังจากนั้นกด OK ดัง

รูปที่ 3.6 การสร้างสารประกอบใหม่

 2. นำค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน ทั้ง 3 ชนิดจากตารางที่ 3.6 ที่ได้ จากโครงข่ายประสาทเทียม มาเก็บในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อเป็นฐานข้อมูล จากนั้นทำการหาค่าตัวสำหรับค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน โดยใช้ฟังก์ชัน = LINEST(F20:F75,D20:D75^(1,2,3,4)) โดยค่า F20:F75 ค่าอุณหภูมิ, D20:D75 ค่าการนำความร้อนจากอุณหภูมิ F20:F75 จะได้สัมประสิทธิ์ A-E

ตารางที่ 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์ได้จากโปรแกรม Microsoft Excel

No	Aจุ หาร	เงกรณ์มห	าวิทยาลัย	D	E
1	-5.52E+01	7.08E-01	-3.35E-03	7.00E-06	-5.41E-09
2	1.62E+02	-2.04E+00	9.65E-03	-2.02E-05	1.58E-08
3	-3.78E+02	4.84E+00	-2.31E-02	4.87E-05	-3.84E-08

3. ใส่ตัวแปรที่ 1-5 จากตารางที่ 3.5 ลงในโปรแกรม Aspen plus เพื่อเพิ่มตัวแปร สำหรับค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน ที่ได้จากโปรแกรม Microsoft Excel หลังจากนั้นจะได้ค่าคงที่ลำดับที่ A-E และเติมลงที่ช่องที่ 1-5 ส่วนค่าคงที่ที่ 6 คือค่าอุณหภูมิ ต่ำสุด ตัวแปรที่ 7 คือค่าอุณหภูมิสูงสุด ดังรูปที่ 3.7

4. ตรวจสอบความถูกต้องของค่าคงที่ P1-P5 โดยแทนค่าในสมการ และตรวจสอบ ค่าการนำความร้อนที่ได้ ต้องตรงกับค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

rie Plome view Customic	e Resources							5	earch Exchange	6	🔎 🌣
Cut SH Copy Unit Sets Compone Paste Doard Units N	Na Chemistry The Customize Prop Sets avigate	Methods Ass Clean Parame Retrieve Para Tools	istant INIST eters DECHEM meters DIPPR Data Source	Analysis A Estimati Regress Run Mod	on Next Ri e	un Reset Contro Panel Run	Input Input	ure Si linary D P Akture	olubility A T Envelope A Analysis	Ternary Diag Residue Curves	
operties c Zra	ameters A PORC-S (Pure) - A	- Plot A / Pure C	omponents - KLUIP-	enary in	seraction A [P	ORE-3 (PORE) A T	methods - specificat	ons A T			
tems •	Input Comments										
Setup Para	meter KLDIP	Hel	Data set	1							
Components	the second se										
> Molecular Structure	imperature-dependent correlat	ion parameters				1	1				
Assay/Blend	Componentia Source Vi	Temperature	Property units 16	1 %	2 1	6 3 1	6 4	¥6 5	¥ 6	76 7	16
Light End Properties		und B									
Petro Characterization	NF USER	ĸ	Watt/m-K	-55.1529	0.708459	-0.00335475	6.99998e-0	6 -5.41177	e-09 273	.15 1273.1	5
Pseudocomponents	NF2 USER	K	Watt/m-K	161.62	-2.04337	0.00965107	-2.01635e-0	5 1.57648	e-08 273	.15 1273.1	IS
Component Attributer	NF3 USER	ĸ	Watt/m-K	-378.169	4.83682	-0.0230773	4.87389e-0	5 -3.84087	e-08 273	.15 1273.1	5
Henry Comps											
Dobmar											
2 Methods	SUM V	1 × ✓	=LINEST(F2	0:F75,D	20:D75	^{1,2,3,4})					
Specifications											
E Selected Methods	13	_		_	-						
🔺 🚵 Parameters 💷	14		NP	25	24	P3	82	P1			
Pure Components	15		1	12340	75.06	.0.003354753	0.708458602	.65 1530			
G KLDIP-1	16			1 585.00	-16-05	0.000651065	-2 042366814	161 6304			
O USRDER	17			3 95 04	4 975.05	0.003031003	4 936916331	378 160			
Electrolyte Pair	10			-3.05-50	4.076-03	-4-04-3-6777348	4.8.7081.71.71	-370.803			
Electrolyte Ternary	10				NDS	cal.	N02	al la	N03	cal.	
UNIFAC Groups	20		1 202.00	20.00	0.614160	0.614244317	0.449413057	0.449104	0 745673	0 744849	
🛄 UNIFAC Groups Bir 🖕	21		2 204.1	21.00	0.616100	0.615151307	0.454652047	0.454540	0.745759	0.746345	
	12		2 204.1	12.00	0.616007	0.616084044	0.460003733	0.450024	0.740/38	0.740395	
	22		4 205.1	22.00	0.61702	0.613046305	0.465453031	0.445.403	0.747949	0.747526	
Bronnetler	14		290.1	14.00	0.618077	0.619041635	0.4300432331	0.471068	0.749725	0.751037	
Properties			6 207.1	24.00	0.610077	0.010041625	0.476504545	0.472055	0.750005	0.752627	
Properties Simulation	25			1 12100	2013116	0.0130/3515	0.470394581	0.4767	0.752190	0.732633	
Properties	25		7 300.11	36.00	0.630185	0.230142302	A 403323327		A 75 36 42		
Properties Simulation Safety Analysis	25 26		7 299.1	26.00	0.620185	0.620145305	0.482263257	0.48238	0.753846	0.754306	
Properties Simulation Safety Analysis Penergy Analysis	25 26 27		7 299.1 8 300.1	26.00	0.620185	0.620145305	0.482263257	0.48238	0.753846	0.754906	

รูปที่ 3.7การใส่ค่าตัวแปร

5.ระบุองค์ประกอบของสาร โดยกดเลือก Component เลือกสารที่ต้องการระบุ องค์ประกอบ กดเลือก User identifine กด Next ใส่ Molecular weight 18.05 และกด Finish ดังรูปที่ 3.8

Home	View	Customize	Resources											Search Ercha	inge	-
SH	. 23	Setup	No" Chemistry	01.3	Methods A	nistard 38 1	IST.	Analysis	Ma	b 14	100	input	Pure	2 Solubility	A Ternary Diag	
17 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	- Defined Co	imponent Wio	and."					×imition	Next	Run Benef	Control	History	Binery	D PT Envelope	A Residue Curves	
User-C	Defined Com	ponent Wizan	4					gression			Panal	Report	C. Minture			
								Plane Plane	X (0) (05)	Fun		Summary .	1	Analysis		
s letup	Welcome to t component user defined	he User Defin This second will component be	ed Component V II lead you throu ased on its type.	Attand, the quicks ph the steps to en	it way to ente ter the requir	r properties for u ed physical prope	er-defined rises for the				a apro					
Com Spec	ponent ID:	NF	Terre	Conventional ?				_				-				
Mole	Ales	Linin .	01-		-			efined Co	reponent	Witard					×	
Acsa		NUU						for com	entional e	component						
Patro Rei	quired prope	rties for conve	intenal compon	nts include												
Pieu	Mulecular se	right, normal l	boiling point, mo	ecular structure.	abor pressus	e and ideal gas he	at capacity	onerst ID:	NF					Alias H	20	
Harv								r molecul	lar structu							
UNIF								ram/lenpo	srt/Edit str	ucture						
Palys								eline mol	lecule by i	ts connective	w.					
Spec																
Sele								r availabi	e property	r data						
Cick Cick	Next> to zz	ritimue or Finis	it to accept the r	comploment and a	a			ecular we	ight		18.05					
3				Cancal	- their	Nexts	linat	nal boile	g point		100	6	•			
Electrolyt	teraction te Pair							Specific gravi	ty at 60 de	rg. F.						
Electrolyt	te Ternary							Ideal gas entit	helpy of fe	mution		4	kmel.			
LINIFAC O	Groups Groups Bir											107				
***								Ideal gas Gibi	bs energy	of formation	ę.,	14	kmol			
parties																
ulation												Carrol	10	k Ments	[Detth]	
inter Analysia												-				
ery susseying																
ergy Analysis																

รูปที่ 3.8 การใส่น้ำหนักโมเลกุล

6. การตรวจสอบผลการเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนา ตรวจสอบ คุณสมบัติของของไหล โดยเลือก Analysis กดเลือก Pure ทำการเลือกไฮบริดนาโนที่ ต้องการวิเคราะห์ ใส่อุณหภูมิ และกดเลือก Run analysis ผลของการเพิ่มค่า การนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน หลังจากนั้นทำการเพิ่มของไหลไฮบริดนาโนเพื่อใช้ เป็นตัวกลางสำหรับแลกเปลี่ยนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ครบทั้ง 3 ชนิดดังแสดงใน รูปที่ 3.9



3.7 การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรในกระบวนการผลิต

การออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Design Expert .ใช้วิธี two-level factorial design และ การตอบสนองแบบพื้นผิว (Respond surface) โดยมีปัจจัย 9 ปัจจัย ที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด และสูงสุด ดังตารางที่ 3.8 จะได้การทดลองทั้งหมด 512 และ 2 ตัวแปรตอบสนอง ดังตารางที่ 3.9 เป็นตัวแปรในกระบวนการผลิตไฮโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] จะทำการทดสอบโดยโปรแกรม Aspen Plus และนำผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Aspen Plus และนำผลการทดลองที่ได้ทำการ วิเคราะห์ความอ่อนไหวของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยโปรแกรม Design expert และหา ค่าที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization) ในโปรแกรม Design expert

ตารางที่ 3.8 ปัจจัยที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ IPA และปริมาณมาณความร้อนที่ (Q) ที่เครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน

Parameter	Name	Туре	Minimum	Maximum	Coded	Coded	Mean	Std.
					Low	High		Dev.
А	Reflux ratio	Numeric	0.66	0.74	-1 ↔	$+1 \leftrightarrow$	0.6998	0.04
			1 PAR		0.66	0.74		
В	Bottom rate	Numeric	0.285	0.315	-1 ↔	$+1 \leftrightarrow$	0.3000	0.015
					0.28	0.32		
С	Temperature	Numeric	171	189	$-1 \leftrightarrow$	$+1 \leftrightarrow$	180.04	9.01
	feed2	R		6	171.00	189.00		
D	Pressure	Numeric	1.05	1.12	-1 ↔	$+1 \leftrightarrow$	1.08	0.035
	feed2		~		1.05	1.12		
E	Mole	Numeric	0.168	0.185	$-1 \leftrightarrow$	$+1 \leftrightarrow$	0.1765	0.0085
	flowrate 🔓	HULALO	IGKORN	Univer	0.17	0.18		
	feed2							
F	Temperature	Numeric	22.5	27.5	-1 ↔	$+1 \leftrightarrow$	25.00	2.5
	cooling in				22.50	27.50		
G	Pressure	Numeric	4.75	5.25	-1 ↔	$+1 \leftrightarrow$	5.00	0.2502
	cooling in				4.75	5.25		
Н	Mass flow in	Numeric	84	92	-1 ↔	$+1 \leftrightarrow$	88.00	4
					84.00	92.00		
J	Area Heat	Numeric	459	507	-1 ↔	$+1 \leftrightarrow$	483.09	24.02
	exchanger				459.00	507.00		

Response	Name	Number of	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Ratio
		observations					
R1	Outlet	512	0.887418	0.999486	0.9715	0.0483	1.13
	product (IPA)						
R2	Heat duty at	512	10325.6	15370.4	13180.8	1271.74	1.49
	heat						
	exchanger						

ตารางที่ 3.9 ตัวแปรตอบสนองสำหรับทดสอบความอ่อนไหว

3.7.1 การทดสอบความอ่อนไหวด้วยโปรแกรม Aspen plus

การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรในกรณีศึกษากระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] เพื่อต้องการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต้น ดังตารางที่ 3.8 ที่ส่งผลต่อการ เปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และค่าความร้อนที่เครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน ดังตารางที่ 3.9 โดยสามารถทำได้ ดังนี้

1. เลือกที่ Model Analysis เลือก Sensitivity กดเลือก New เลือก S1 เลือก OK

2. กำหนดตัวแปรต้น (Vary) มีทั้งหมด 9 ตัวแปร ป้อนค่าตัวแปรและหน่วยให้ถูกต้อง ประกอบด้วย

- 1. อัตราการป้อนกลับ Reflux ratio
- 2. อัตราการการไหลผลิตภัณฑ์ด้านล่าง (Bottom rate) หน่วย kg/sec
- 3. อุณหภูมิสายป้อนที่ 2 (Temperature feed 2) หน่วย °C
- 4. ความดันสายป้อนที่ 2 (Pressure feed 2) หน่วย bar
- 5. อัตราการไหลสายป้อนที่ 2 (Flowrate feed 2) หน่วย kg/sec
- 6. อุณหภูมิสารแลกเปลี่ยนความร้อน (Temperature cooling) หน่วย °C
- 7. ความดันสารแลกเปลี่ยนความร้อน (Pressure cooling) หน่วย bar
- 8. อัตราการไหลสารแลกเปลี่ยนความร้อน (Mass flowrate) หน่วย kg/sec
- 9. พื้นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger area) หน่วย sqm
- 3. กำหนดตัวแปรตาม (Define) ป้อนค่าตัวแปรและหน่วยให้ถูกต้อง ประกอบด้วย
 - 1. อัตราส่วนโดยโมลของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Mole fraction)
 - 2. ความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat duty at heat exchanger) W

 4. กดเลือกที่ Cases และใส่ค่าตัวแปรต้น 1-9 จากตารางที่ 3.8 ให้ครบ โดยค่า 1 คือ ค่าสูงสุด และ ค่า -1 คือ ค่าต่ำสุด ให้ครบทั้ง 512 การทดลองที่ได้จากโปรแกรม Design expert หลังจากนั้นสั่งให้โปรแกรมคำนวณ (Run)

5. ตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลอง ค่าตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง เมื่อไม่มี ข้อผิดพลาด จึงนำผลการทดลองทั้ง 512 การทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรใน โปรแกรม Design expert ต่อไป

3.7.2 การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Design expert

ทดสอบตัวแปรต้นที่สงผลต่อตัวแปรตอบสนองในกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] ที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความอ่อนไหวของตัวแปร โดยมีขั้นตอนการ ดำเนินการ ดังนี้

1. การเพิ่มข้อมูล ทำการเพิ่มผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Aspen plus ทั้ง 512 การ ทดลอง ลงในโปรแกรม Design expert

1. เปิดโปรแกรม Design expert เลือก New design

2. ไปที่แถบ Custom design กดเลือก Import data set

3. ไปคัดลอกข้อมูลการทดลอง 512 การทดลอง กดเลือก Paste platform clipboard

4. กดเลือกที่แทบด้านบนสุดตาราง (ชื่อตัวแปร) คลิกขวา เลือก Roll as name

 5. กดเลือกที่หน่วย คลิกขวา เลือก Set column เลือก Numeric factor ทำให้ ครบทั้ง 9 ตัวแปรต้น
 6. กดเลือกที่ตัวแปรตอบสนอง IPA คลิกขวา เลือก Set column type เลือก

 6. กดเลือกที่ตัวแปรตอบสนอง IPA คลิกขวา เลือก Set column type เลือก Responds ค่า Heat at heat exchanger ทำเหมือนกัน

7. เมื่อทำครบแล้วกด Finish

 เลือกวิเคราะห์ (Analysis) กดเลือก ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (IPA) เลือกที่แถบ ANOVA ดูค่า P-value ถ้าค่าน้อยกว่า ค่าความเชื่อมั่นที่กำหนด ตัวแปรต้นนั้นจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ Heat exchanger ด้วยเช่นกัน

3. การหาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization) เลือก Numerical เลือกตัวแปรต้น ทั้งหมด และตั้งค่าตัวแปรตอบสนองที่ต้องการที่จะศึกษาดังนี้

1) เลือก ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ที่แถบ Goal เลือก Maximize

2) เลือก ความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่แถบ Goal เลือก Maximize

3) เลือก ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ แถบ Goal เลือก Maximize

4. เลือกสร้างกราฟพื้นที่ผิวตอบสนอง (Respond surface plot) เพื่อดู ความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นที่มีผลต่อไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

ทำการนำค่าตัวแปรต้นที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 การทดลองที่ได้ไปทดสอบในโปรแกรม
 Aspen plus เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่า ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และค่าความร้อนที่เครื่อง
 แลกเปลี่ยนความร้อน

ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบความอ่อนไหวของตัวต้นของการใช้ของไหลไฮบริดนาโนทั้ง 3 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบผลค่าไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการหาจำนวนนิวรอน ที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

สำหรับการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมนั้นแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือการหา จำนวนนิวรอนที่เหมาะสมสำหรับชั้นซ่อนที่หนึ่ง และชั้นซ่อนที่สอง ขั้นตอนต่อมาคือการนำจำนวน นิวรอนที่ได้ไปหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าการนำความร้อน ค่าความร้อน จำเพาะ ค่าความหนืด และค่าความหนาแน่น

ผลการหาจำนวนนิวรอนที่เหมาะสมสำหรับชั้นซ่อนที่หนึ่ง โดยใช้ข้อมูลจากความจุความร้อน สำหรับ Train Validate และ Test จะทำการทดสอบจาก 1- 20 นิวรอนเพื่อหาจำนวนนิวรอนที่ เหมาะสม โดยดูจากค่า R ที่เข้าใกล้ 1 และค่า MSE เข้าใกล้ 0 เมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟ ระหว่างการ Train Validate และ Test สำหรับค่า R จะได้ดังรูปที่ 4.1 และเมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟ ระหว่าง การ Train Validate และ Test สำหรับค่า MSE จะได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟค่า R ต่อจำนวนนิวรอนของการ Train Validate และ Test ของชั้นซ่อนที่หนึ่ง

บทที่ 4



Number of neurons in hidden layer

รูปที่ 4.2 กราฟค่า MSE ต่อจำนวนนิวรอนของการ Train Validate และ Test ของชั้นซ่อนที่หนึ่ง

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าว่าเมื่อจำนวนนิวรอนจาก 1- 6 นิวรอน มีลักษณะการเพิ่มขึ้น ของค่า R และค่า MSE ลดลง จากการ Train Validate และ Test อย่างชัดเจน เมือจำนวนนิวรอนที่ 7-8 ผลของค่า R ลดลง และค่า MSE เพิ่มขึ้น โดยค่า R จากการ Train Validate ยังสูงกว่าค่า R จาก การ Test หลังจากนิวรอนที่ 9 ค่า R เริ่มเพิ่มขึ้นตามค่า MSE ที่ค่อย ๆ ลดลง และมีแนวโน้มเดียวกัน ทั้งการ Train Validate และ Test จนถึงนิวรอนที่ 15 หลังจากนิวรอนที่ 15 ผลของค่า R และค่า MSE เริ่มไม่คงที่ และจะเห็นว่าจำนวนนิวรอนที่ 20 ผลของค่า R ลดลงและค่า MSE เพิ่มขึ้นจากการ Test แสดงถึงการฟิตกับข้อมูลชุด Train มากเกินไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกนิวรอนจำนวน 15 นิวรอนสำหรับชั้นซ่อนที่หนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อไม่ให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความ ซับซ้อนมากเกินไป

เมื่อได้นิวรอนที่เหมาะสมสำหรับชั้นซ่อนที่หนึ่งคือ 15 นิวรอน หลังจากนั้นทำการหาจำนวน นิวรอนที่เหมาะสมสำหรับชั้นซ่อนที่สอง โดยใช้จำนวนนิวรอน จาก 1- 20 นิวรอน โดยต้องการค่า R ที่เข้าใกล้ 1 และค่า MSE เข้าใกล้ 0 เมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟ ระหว่างการ Train Validate และ Test สำหรับค่า R จะได้ดังรูปที่ 4.3 และเมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟ ระหว่างการ Train Validate และ Test สำหรับค่า MSE จะได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 กราฟค่า R ต่อจำนวนนิวรอนของการ Train Validate และ Test ของชั้นช่อนที่สอง



รูปที่ 4.4 ค่า MSE ต่อจำนวนนิวรอนของการ Train Validate และ Test ของชั้นซ่อนที่สอง

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าว่าเมื่อจำนวนนิวรอนจาก 1- 8 นิวรอน มีลักษณะการเพิ่มขึ้น ของค่า R และค่า MSE ลดลง จากการ Train และ Validate ค่า R ต่ำและ MSE สูงของการ Test เมื่อจำนวนนิวรอนที่ 10-15 ผลของค่า R และค่า MSE เริ่มคงที่ มีแนวโน้มเดียวกันทั้งการ Train Validate และ Test หลังจากนิวรอนที่ 15 ผลของค่า R และค่า MSE เริ่มไม่คงที่ และผลของค่า R มีแนวโน้มลดลงและค่า MSE เพิ่มขึ้นจากการ Train Validate และ Test เนื่องจากจำนวนนิวรอนที่ มากเกินไปทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความซับซ้อนมากเกินไป ซึ่งถ้าหากมีการใช้จำนวนชั้นซ่อนที่ มากขึ้นทำให้ได้โครงข่ายประสาทเทียมที่ฟิตเฉพาะกับข้อมูลชุดที่ Train ทำให้ได้ค่า R ที่ต่ำและ MSE ที่สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกนิวรอนจำนวน 15 นิวรอนสำหรับชั้นซ่อนที่สองของโครงข่ายประสาท เทียม เพื่อไม่ให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความซับซ้อนมากเกินไป

4.2 ผลการหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม

หลังจากได้จำนวนนิวรอนที่เหมาะสมสำแล้ว หลังจากนั้นจึงทำการทดลองเพื่อหาโครงข่าย ประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าการนำความร้อน, ค่าความร้อนจำเพาะ, ค่าความหนืด และค่าความหนาแน่นโดยประกอบไปด้วย

1.ประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม (Network type) ระหว่าง โครงข่ายประสาทเทียม แบบส่งข้อมูลไปข้างหน้าและส่งย้อนกลับ (FFBP) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งข้อมูลไป ข้างหน้าและด้านข้าง (CFBP) พบว่า ประเภทโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือ โครงข่าย ประสาทเทียมแบบส่งข้อมูลไปข้างหน้าและส่งย้อนกลับ (FFB) เพราะโครงข่ายประสาทเทียมแบบส่ง ข้อมูลไปข้างหน้าและด้านข้าง (CFBP) มีการส่งข้อมูลไปยังหลายชั้นจึงใช้เวลาในการสอนนาน และ โครงข่ายมีความซับซ้อนมากเกินไป จึงเลือกใช้โครงข่ายแบบส่งข้อมูลไปข้างหน้าและส่งย้อนกลับ (FFB) เพื่อช่วยลดเวลาในการสอนและความซับซ้อนของโครงข่ายประสาทเทียม

 จำนวนขั้นซ่อน (Hidden layer) โดยพบว่าชั้นซ่อนที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายประสาท เทียมคือ คือ 2 ชั้นซ่อน เมื่อจำนวนขั้นซ่อน มากกว่า 2 ชั้น จะได้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีความ ซับซ้อนเกินไปเกินไปจนเกิดการฟิตกับข้อมูลชุด Train ทำให้ได้ผลการทำนายไม่ดีเมื่อนำไปใช้งานจริง

 3. ฟังก์ชันกระตุ้น (Active function) โดยพบว่าฟังก์ชันกระตุ้นที่เหมาะกับโครงข่าย ประสาทเทียมคือ Tansig function เพราะเหมาะกับโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้รูปแบบการปรับตัว การเรียนแบบแกร์เดียนท์ (Gradient decent)

การหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายค่าการนำความร้อน โดยทำการทดสอบประเภท โครงข่ายประสาทเทียม จำนวนชั้นของชั้น และประเภทของฟังก์ชันกระตุ้น หลังจากนั้นทำการเลือก โครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่า R เข้าใกล้ 1 และค่า MSE เข้าใกล้ 0

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการนำความร้อนของ ของไหลไฮบริดนาโน

NET	Number	Transfer	Tapalagy		R			MSE	
INEI	of layers	function	горогоду	TRAIN	VALIDATE	TEST	TRAIN	VALIDATE	TEST
FFBP	1	Tansig	12-1	0.8599	0.8317	0.8862	0.0054	0.0051	0.0049
FFBP	2	Tansig-	12-15-1	0.9765	0.9741	0.9673	0.0005	0.0006	0.0004
		Tansig							
		Tansig-							
FFBP	3	Tansig-	12-15-15-1	0.9874	0.9877	0.9796	0.0005	0.0005	0.0008
		Tansig	Ma.	11/20					
FFBP	1	Logsig	12-1	0.0610	0.6064	0.4625	0.0226	0.0212	0.0230
FFBP	2	Logsig- Logsig	12-15-1	0.2199	0.1747	0.2506	0.0252	0.0251	0.0260
		Logsig-							
FFBP	3	Logsig -	12-15-15-1	0.6651	0.7161	0.6887	0.0233	0.0216	0.0158
		Logsig		OA	W Constanting				
FFBP	1	Puerlin	12-1	0.8525	0.8755	0.8461	0.0055	0.0048	0.0057
FEDD	0	Puerlin -	10.15.1	0.0524	0.0717	0.0200	0.0054	0.0054	0.0057
FFRF	2	Puerlin	12-15-1	0.8536	0.8717	0.8388	0.0054	0.0056	0.0057
		Puerlin -							
FFBP	3	Puerlin -	12-15-15-1	0.8592	0.8144	0.8642	0.0052	0.0056	0.0065
		Puerlin	5						
CERP	2	Tansig-	12-15-1	0 9618	0.9130	0.9/12	0 0009	0.0035	0.0021
СГБГ	۷	Tansig 🚺	าส่งกรถ	0.7010	N 81130 E	0.7412	0.0007	0.0055	0.0021
		Tansig-	ALONGK	orn U	NIVERSI	ТҮ			
CFBP	3	Tansig-	12-15-15-1	0.9779	0.9779	0.9707	0.0006	0.0010	0.0010
		Tansig							
CEBP	2	Logsig-	12-15-1	0 6851	0 6098	0 7412	0 0222	0 0228	0.0196
0.01	-	Logsig	12 10 1	010001	0.0070	0.1.12	010222	010220	010170
		Logsig-							
CFBP	3	Logsig -	12-15-15-1	0.7015	0.6091	0.6432	0.0212	0.0238	0.0231
		Logsig							
CERP	2	Puerlin -	12-15-1	0 8587	0.8621	0 8207	0.0054	0.0056	0.0056
	<u></u>	Puerlin	12 13 1	0.0501	0.0021	0.0201	0.0004	0.0050	0.0000
		Puerlin -							
CFBP	3	Puerlin -	12-15-15-1	0.8612	0.8531	0.8282	0.0053	0.0060	0.0060
		Puerlin							

	R	R-square	MSE	MAE
Train	0.9874	0.9751	0.0005	0.0134
Validate	0.9877	0.9756	0.0005	0.0156
Test	0.9796	0.9597	0.0008	0.0189

ตารางที่ 4.2 สรุปผลของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการนำความร้อนของ ของไหลไฮบริดนาโน

จากการทดลองหาโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน จะได้โครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่า R เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่า MSE เข้าใกล้ 0 แสดงในตารางที่ 4.2 เลือก ที่ได้ค่า R เท่ากับ 0.9874 0.9877 และ0.9796 และค่า MSE เท่ากับ 0.0005 0.0005 และ 0.0008 ค่า MAE เท่ากับ 0.0134 0.0156 และ0.0189 จากการ Train Validate และ Test ตามลำดับ และสร้างเป็นกราฟวิเคราะห์ค่า R² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ดังรูปที่ 4.3



NET	Number	Transfer	Tanalami		R			MSE	
NEI	of layer	function	Topology	TRAIN	VALIDATE	TEST	TRAIN	VALIDATE	TEST
FFBP	1	Tansig	12- 1	0.9465	0.9664	0.9350	0.0390	0.0286	0.0445
FFBP	2	Tansig- Tansig	12- 15-1	0.9846	0.9529	0.9051	0.0085	0.0328	0.0754
FFBP	3	Tansig- Tansig- Tansig	12-15-15-1	0.9886	0.9775	0.9728	0.0084	0.0170	0.0230
FFBP	1	Logsig	12- 1	0.7661	0.7849	0.7734	0.2756	0.2891	0.2254
FFBP	2	Logsig- Logsig	12- 15-1	0.8060	0.8198	0.7957	0.2381	0.2709	0.2660
FFBP	3	Logsig- Logsig - Logsig	12-15-15-1	0.7717	0.7989	0.8325	0.2674	0.2378	0.1873
FFBP	1	Puerlin	12-1	0.9504	0.9304	0.9555	0.0370	0.0476	0.0347
FFBP	2	Puerlin - Puerlin	12-15-1	0.9482	0.9593	0.9363	0.0372	0.0320	0.0502
FFBP	3	Puerlin - Puerlin - Puerlin	12-15-15-1	0.9511	0.9424	0.9393	0.0354	0.0429	0.0485
CFBP	2	Tansig- Tansig	12- 15-1	0.9746	0.9891	0.9885	0.0410	0.00670	0.0700
CFBP	3	Tansig- Tansig- Tansig	12-15-15-1	0.9631	0.9744	0.9741	0.0450	0.0450	0.0380
CFBP	2	Logsig- Logsig	12- 15-1	0.8219	0.8263	0.7811	0.2287	0.3316	0.2456
CFBP	3	Logsig- Logsig - Logsig	12-15-15-1	0.8084	0.8056	0.7731	0.2483	0.2401	0.2692
CFBP	2	Puerlin - Puerlin	12- 15-1	0.9438	0.9648	0.9538	0.0422	0.0253	0.0328
CFBP	3	Puerlin - Puerlin - Puerlin	12-15-15-1	0.9481	0.9459	0.9519	0.0389	0.0370	0.0367

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับนำนายความจุความร้อนจำเพาะของ ของไหลไฮบริดนาโน

	R	R-square	MSE	MAE
Train	0.9886	0.9775	0.0084	0.0503
Validate	0.9775	0.9551	0.0179	0.0672
Test	0.9728	0.9464	0.0230	0.0596

ตารางที่ 4.4 สรุปผลของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความจุความร้อนของ ของไหลไฮบริดนาโน

จากการทดลองหาโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับค่าความร้อนจำเพาะของของไหลไฮบริดนาโน จะได้โครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่า R เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่า MSE เข้าใกล้ 0 แสดงในตารางที่ 4.4 ได้ค่า R เท่ากับ 0.9886 0.9775 และ 0.9728 และค่า MSE เท่ากับ 0.0084 0.0179 และ 0.0230 ค่า MAE เท่ากับ 0.0503 0.0672 และ 0.0596 จากการ Train Validate และ Test ตามลำดับ และสร้างกราฟค่า R² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.6 กราฟค่า R² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ของความจุความร้อนจำเพาะ

R Transfer MSE NET. Topology Layer function Validate Train Test Train Validate Test FFBP 1 Tansig 12-**1** 0.7753 0.7553 0.6624 0.3266 0.3280 0.4420 Tansig-FFBP 2 12-**15-1** 0.9270 0.9078 0.8913 0.1068 0.1195 0.1420 Tansig Tansig-FFBP 3 12-15-15-1 0.9461 0.9409 0.9219 0.0841 0.0958 0.1150 Tansig-Tansig FFBP Logsig 12-**1** 0.3945 0.3860 0.2613 1.5680 1.5690 1.5720 1 Logsig-2 0.3488 FFBP 0.2284 12-15-1 0.1302 1.5740 1.5590 1.6810 Logsig Logsig-FFBP 3 Logsig -12-15-15-1 0.7095 0.7126 0.7451 1.4750 1.5390 1.5250 Logsig FFBP Puerlin 12-1 0.7465 0.7195 0.6422 0.3653 0.3346 0.4795 1 Puerlin -2 12-15-1 0.6910 0.7343 FFBP 0.7345 0.3743 0.4171 0.3475 Puerlin Puerlin -FFBP Puerlin -12-15-15-1 0.7250 0.6834 0.7089 0.3466 3 0.3667 0.4332 Puerlin Tansig-CFBP 2 12-15-1 0.9431 0.9062 0.8929 0.0723 0.1693 0.1572 Tansig Tansig-12-15-15-1 0.9414 CFBP 3 0.9479 0.9347 0.1217 Tansig-0.0611 0.1052 RSITY Tansig Logsig-CFBP 2 12-**15-1** 0.7413 0.7506 0.7350 1.5130 1.4660 1.4630 Logsig Logsig-CFBP 3 12-15-15-1 0.7312 0.6885 0.6045 1.4710 1.4620 1.6120 Logsig -Logsig Puerlin -0.7345 0.7380 0.6898 0.4073 CFBP 2 12-**15-1** 0.3737 0.3514 Puerlin Puerlin -CFBP 3 Puerlin -12-15-15-1 0.7293 0.7400 0.7134 0.3913 0.2992 0.3758 Puerlin

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนืดของ ของไหลไฮบริดนาโน
	R	R-square	MSE	MAE
Train	0.9461	0.8951	0.0841	0.1685
Validate	0.9409	0.8853	0.0958	0.1839
Test	0.9219	0.8500	0.1150	0.1936

ตารางที่ 4.6 สรุปผลของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนืดของ ของไหลไฮบริดนาโน

จากการทดลองหาโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับความหนืดของบของไหลไฮบริดนาโน จะได้ โครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่า R เข้าใกล้ 1 มากที่สุด และค่า MSE เข้าใกล้ 0 แสดงในตารางที่ 4.6 ได้ค่า R เท่ากับ 0.9461 0.9409 และ 0.9219 และค่า MSE เท่ากับ 0.0841 0.0958 และ 0.1150 ค่า MAE เท่ากับ 0.1685 0.1839 และ 0.1936 จากการ Train Validate และ Test ตามลำดับ และ สร้างกราฟค่า R² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.7 กราฟค่า R² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ของความหนืด

NET	Layer	Transfer	Topology		R		MSE			
		function		Train	Validate	TEST	Train	Validate	Test	
FFBP	1	Tansig	12- 1	0.8858	0.9243	0.9415	0.0014	0.0007	0.0005	
FFBP	2	Tansig- Tansig	12- 15-1	0.9314	0.9390	0.9600	0.0007	0.0010	0.0004	
FFBP	3	Tansig- Tansig- Tansig	12-15-15-1	0.9676	0.9728	0.9526	0.0003	0.0004	0.0004	
FFBP	1	Logsig	12- 1	0.5301	0.3984	0.5044	0.0467	0.0453	0.0450	
FFBP	2	Logsig- Logsig	12- 15-1	0.4576	0.5424	0.6188	0.0461	0.0467	0.0475	
FFBP	3	Logsig- Logsig - Logsig	12-15-15-1	0.1954	0.1712	0.1546	0.0472	0.0435	0.0451	
FFBP	1	Puerlin	12- 1	0.9197	0.8821	0.7942	0.0010	0.0007	0.0031	
FFBP	2	Puerlin - Puerlin	12- 15-1	0.8870	0.9065	0.9230	0.0014	0.0009	0.0007	
FFBP	3	Puerlin - Puerlin - Puerlin	12-15-15-1	0.8947	0.9121	0.8579	0.0013	0.0009	0.0011	
CFBP	2	Tansig- Tansig	12- 15-1	0.9720	0.9637	0.8812	0.0003	0.0004	0.0018	
CFBP	3	Tansig- Tansig- Tansig	12-15-15-1	0.9445	0.9623	0.9621	0.0006	0.0004	0.0005	
CFBP	2	Logsig- Logsig	12- 15-1	-0.0894	-0.0898	-0.0935	0.0464	0.0454	0.0471	
CFBP	3	Logsig- Logsig - Logsig	12-15-15-1	0.4313	0.4819	0.4557	0.0458	0.0473	0.0473	
CFBP	2	Puerlin - Puerlin	12- 15-1	0.9096	0.8835	0.8367	0.0011	0.0009	0.0024	
CFBP	3	Puerlin - Puerlin - Puerlin	12-15-15-1	0.8735	0.9088	0.9608	0.0015	0.0010	0.0005	

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนาแน่นของ ของไหลไฮบริดนาโน

	R	R-square	MSE	MAE
Train	0.9728	0.9464	0.0003	0.0112
Validate	0.9676	0.9364	0.0004	0.0113
Test	0.9526	0.9076	0.0004	0.0128

ตารางที่ 4.8 สรุปผลของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายความหนาแน่น ของของไหลไฮบริดนาโน

จากการทดลองหาโครงข่ายที่เหมาะสมสำหรับความหนาแน่นของของไหลไฮบริดนาโน จะ ได้ผลของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่า R สูงที่สุด และค่า MSE ต่ำที่สุด แสดงในตารางที่ 4.8 เลือก โครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ค่า R เท่ากับ 0.9728 0.9676 และ 0.9526 และค่า MSE เท่ากับ 0.0003 0.0004 และ 0.0004 ค่า MAE เท่ากับ 0.0112 0.0113 และ 0.0128 จากการ Train Validate และ Test ตามลำดับ และสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.8 กราฟค่า R² ของกระบวนการ (a) train (b) validate และ (c) test ของความหนาแน่น

4.3 ผลการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์สมบัติทางความร้อนของไหลไฮบริดนาโนในโปรแกรม Aspen plus

หลังจากใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) (MWCNT+ Fe₃O₄) และ (CuO+MgO) ในช่วงอุณหภูมิ 293.15-348.15 K ซึ่งเป็น ช่วงที่ใช้งานสำหรับตัวกลางถ่ายโอนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิต ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] และนำค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนทั้ง 3ชนิดหาค่า สัมประสิทธิ์สำหรับสมบัติทางความร้อน A-E โดยโปรแกรม Microsoft excel เมื่อนำมาสร้างเป็น กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการนำความของของของไหลไฮบริดนาโนที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม และการนำความร้อนที่ได้จากสมการสมบัติทางความร้อน A-E แสดงดังรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 กราฟวิเคราะห์ค่า R² ค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากสมการของ ของไหลไฮบริดนาโนที่ 1 (MWCNT+ CuO)



รูปที่ 4.10 กราฟวิเคราะห์ค่า R² ค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากสมการของ ของไหลไฮบริดนาโนที่ 2 (MWCNT+ Fe₃O₄)



รูปที่ 4.11 กราฟวิเคราะห์ค่า R² ค่าที่ได้จากการทำนายและค่าที่ได้จากสมการของ ของไหลไฮบริดนาโนที่ 3 (CuO+ MgO)

จากกรสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการนำความของของของไหลไฮบริดนาโนที่ได้จาก โครงข่ายประสาทเทียมและการนำความร้อนที่ได้จากสมการสมบัติทางความร้อน A-E ของของไหล ไฮบริดนาโนทั้ง 3 ชนิดพบว่า จะได้ค่า R² เท่า 1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนที่ ได้จากการทำนายและค่าการนำความร้อนที่ได้จากสมการสมบัติทางความร้อน A-E มีความสัมพันธ์ โดยตรง จึงสามารถนำค่าสัมประสิทธิ์ A-E ไปใช้ในสมการสมบัติทางความร้อนในโปรแกรม Aspen Plus ได้



4.4 ผลการประยุกต์ใช้การถ่ายโอนความร้อนในโปรแกรม Aspen plus

ในกรณีศึกษากระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] นั้นมีอุปกรณ์และค่าควบคุม หลายตัว เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ จำเป็นต้องกำหนดอุปกรณ์และหาค่าควบคุมที่ทำให้ได้ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ตามกรณีศึกษา โดยใช้ค่าการนำความร้อนของไฮบริดนาโนที่ได้จากโครงข่าย ประสาทเทียม ในกระบวนการผลิตไฮโซโพรพิลแอลกอฮอล์ แผนภาพการไหลถูกจำลองด้วย โปรแกรม Aspen plus V11.0 แสดงในรูป 4.7 ประกอบด้วย หอกลั่นลำดับส่วน เครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน เครื่องแยกสัดส่วน โดยค่าควบคุมที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อความเข้มข้นของ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตามตารางที่ 4.9 4.10 และ 4.11 และจะได้ค่าควบคุมสำหรับกระบวนการผลิต ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ความบริสุทธิ์ที่ 99.948% ดังตารางที่ 4.12 ซึ่งใกล้เคียงกับผลงานของ Chua และคณะ [4] ที่ได้ความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 99.99 % ต่างกัน 0.05%



รูปที่ 4.12 กระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอร์

Stream	F1	F2	BT	Product	Unit		
Parameter							
Temperature	98.8	190.0	81.7	144.5	°C		
Pressure	2.0	1.0	1.0.	1.2	bar		
Mole flowrate	778.10	673.00	372.74	1078.40	kmol/hr		
Mole fraction IPA	0.4790	0.0000	0.9990	0.0000	mole		
Mole fraction water	0.5205	0.0010	0.0008	0.3759	mole		
Mole fraction DIPA	0.0005	0.0000	0.0001	0.0000	mole		
Mole fraction DMSO	0.0000	0.9990	0.0001	0.6241	mole		

ตารางที่ 4.9 ค่าควบคุมของสายป้อน และผลิตภัณฑ์ของกระบวนการผลิต IPA

ตารางที่ 4.10 ค่าควบคุมของหอกลั่นลำดับส่วน (DISTIL-1) ของกระบวนการผลิต IPA

Configuration			
Calculation type	Equilibrium		
Number of stages	25-40		
Condenser	None		
Reboiler	Kettle		
Valid phases	Vapor-liquid		
Convergence	standard		
Operating specification			
Bottom rate	Mole	0.285	
Feed streams	้มหาวิทย	ยาลัย	
Name CHULALONGKO	Stage	Convention	
RF	1	Above-Stage	
F1	20	Above-Stage	
F2	6	Above-Stage	

Specification	
Model fidelity	Shortcut
Hot fluid	Tube
shortcut direction	Counter current
Calculation mode	Simulation
Exchanger specification	
Exchanger area	507 sqm
Constant UA	-
Minimum temperature	1 °C
approach	
Utility	U1

ตารางที่ 4.11 ค่าควบคุมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (HEATX-1) ของกระบวนการผลิต IPA

ตารางที่ 4.12 ค่าควบคุมเครื่องแยก (SP2) ของกระบวนการผลิต IPA

Flow split specification for outlet streams					
Stream	Specification Basis	Value			
RF	Split fraction	0.7			

ตารางที่ 4.13 ค่ามาตรฐานสำหรับกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ 99.948%

No	Parameter	Value	Unit
1	Reflux ratio to column (RF)	0.70	kmol/sec
2	Bottom rate (BT)	0.285	kmol/sec
3	Temperature Feed2 (F2)	171	°C
4	Pressure Feed2 (F2)	1.10	bar
5	Mole flowrate Feed2 (F2)	0.168	kmol/sec
6	Temperature In (CW)	25	°C
7	Pressure In (CW)	5.0	bar
8	Mass Flow In (CW)	88.0	kg/sce
9	Area Heat exchanger (HEATX-1)	507	sqm

4.5 ผลการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Design expert

4.5.1. ผลการวิเคราะห์ (Analysis) ทางสถิติ

ผลของตัวแปรที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และปริมาณความร้อนที่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากการใช้ของไหลไฮบริดนาโนที่แตกต่างกันได้ผลการทดลองดังนี้

จากตารางที่ 4.14 พบว่าตัวแปรต้นที่มีค่า p-value <0.0001 ได้แก่ B-Bottom rate และ E-Flowrate feed 2 และ Interaction BE จึงนำทั้ง 3 ตัวแปรไปวิเคราะห์หาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ ข้อจำกัด (Optimization)

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
Model	1.18E+00	4.50E+01	2.63E-02	1.07E+03	< 0.0001	significant
A-Reflux	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.55E+00	2.14E-01	
B-Bottom rate	3.98E-01	1.00E+00	3.98E-01	1.62E+04	< 0.0001	significant
C-Temperature feed 2	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.04E-01	3.42E-01	
D-Pressure feed 2	0.00E+00	1.00E+00	< 0.0001	9.59E-01	3.28E-01	
E- Flow rate feed 2	3.91E-01	1.00E+00	3.91E-01	1.60E+04	< 0.0001	significant
F-Temperature cooling	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	7.51E-01	3.87E-01	
G-Pressure cooling	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.43E-01	3.32E-01	
H-Mass flow cooling	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.04E+00	3.10E-01	
J-Area heat exchanger	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	8.34E-01	3.62E-01	
AB	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.55E-01	3.29E-01	
AC	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.15E+00	2.85E-01	
AD	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.43E-01	3.32E-01	
AE	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	7.73E-01	3.80E-01	
AF	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.10E+00	2.94E-01	
AG	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.58E-01	3.28E-01	
АН	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	8.93E-01	3.45E-01	
AJ	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.03E+00	3.10E-01	
BC	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.01E+00	3.16E-01	
BD	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.58E-01	3.28E-01	
BE	3.91E-01	1.00E+00	3.91E-01	1.60E+04	< 0.0001	
BF	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	8.67E-01	3.52E-01	

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลพื้นฐาน ต่อความบริสุทธิ์ IPA

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
BG	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.43E-01	3.32E-01	
ВН	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.81E-01	3.22E-01	
BJ	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.08E-01	3.41E-01	
CD	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.06E+00	3.05E-01	
CE	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.04E+00	3.09E-01	
CF	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.01E+00	3.15E-01	
CG	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.04E+00	3.08E-01	
СН	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.05E+00	3.05E-01	
CJ	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.04E+00	3.09E-01	
DE	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.04E+00	3.08E-01	
DF	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.58E-01	3.28E-01	
DG	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.58E-01	3.28E-01	
DH	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.59E-01	3.28E-01	
DJ	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.42E-01	3.32E-01	
EF	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.19E+00	2.77E-01	
EG	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.06E+00	3.04E-01	
EH	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.00E+00	3.17E-01	
EJ	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	1.12E+00	2.90E-01	
FG	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.43E-01	3.32E-01	
FH	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.59E-01	3.28E-01	
FJ	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.36E-01	3.34E-01	
GH	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.43E-01	3.32E-01	
GJ	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.57E-01	3.28E-01	
HJ	< 0.0001	1.00E+00	< 0.0001	9.71E-01	3.25E-01	
Residual	1.14E-02	4.66E+02	< 0.0001			
Lack of Fit	1.14E-02	4.65E+02	< 0.0001			
Pure Error	0.00E+00	1.00E+00	< 0.0001			
Cor Total	1.19E+00	5.11E+02				

จากตารงที่ 4.15 พบว่าตัวแปรที่มีค่า p-value <0.0001 ได้แก่ A-Reflux B-Bottom rate E-Flow rate feed 2 F-Temperature cooling H-Mass flow cooling J-Area และ Interaction AB Interaction AE Interaction AF Interaction AH Interaction AJ Interaction BE Interaction BF Interaction BH Interaction BJ Interaction EF Interaction EH แ ล ะ Interaction EJ แต่เมื่อดูค่า F-value พบว่า A-Reflux และ B-Bottom rate มีค่าสูงกว่า E-Flow rate feed 2 และ F-Temperature cooling ดังนั้นจึงเลือกแค่ 2 ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือ ตัวแปร A-Reflux และ B-Bottom rate ไปวิเคราะห์หาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization) ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลพื้นฐานสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ต่อ ปริมาณ ความร้อน (Q) ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares	. 8	Square			
Model	8.12E+08	45	1.80E+07	582.49	< 0.0001	significant
A-Reflux	1.55E+08	1	1.55E+08	4995.16	< 0.0001	
B-Bottom rate	2.07E+08	100	2.07E+08	6681.05	< 0.0001	
C-Temperature feed 2	4782.04	1	4782.04	0.1544	0.6946	
D-Pressure feed 2	4354.75	1	4354.75	0.1406	0.7079	
E-Flow rate feed 2	7.31E+07	1	7.31E+07	2360.96	< 0.0001	
F-Temperature cooling	8.99E+07	100	8.99E+07	2900.6	< 0.0001	
G-Pressure cooling	2695.85	1	2695.85	0.087	0.7681	
H-Mass flow cooling	1.69E+07	1	1.69E+07	544.24	< 0.0001	
J-Area heat exchanger 🧃	3.19E+07	ณ์มห	3.19E+07	1030.62	< 0.0001	
AB CH	1.00E+08	K brn	1.00E+08	3236.96	< 0.0001	
AC	6854.08	1	6854.08	0.2212	0.6383	
AD	2568.9	1	2568.9	0.0829	0.7735	
AE	2.25E+07	1	2.25E+07	727	< 0.0001	
AF	4.68E+06	1	4.68E+06	150.99	< 0.0001	
AG	4228.35	1	4228.35	0.1365	0.712	
АН	1.24E+06	1	1.24E+06	39.89	< 0.0001	
AJ	2.49E+06	1	2.49E+06	80.23	< 0.0001	
ВС	4655.15	1	4655.15	0.1503	0.6985	
BD	4345.93	1	4345.93	0.1403	0.7082	
BE	8.63E+07	1	8.63E+07	2785.35	< 0.0001	
BF	8.91E+06	1	8.91E+06	287.68	< 0.0001	

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
BG	2547.84	1	2547.84	0.0822	0.7744	
ВН	3.04E+06	1	3.04E+06	98.15	< 0.0001	
BJ	4.30E+06	1	4.30E+06	138.64	< 0.0001	
CD	7055.24	1	7055.24	0.2277	0.6334	
CE	4285.53	1	4285.53	0.1383	0.7101	
CF	4910.11	1	4910.11	0.1585	0.6907	
CG	4810.58	1	4810.58	0.1553	0.6937	
СН	4681.33	1	4681.33	0.1511	0.6977	
CJ	6951.46		6951.46	0.2244	0.6359	
DE	4554.85	1	4554.85	0.147	0.7016	
DF	4223.17	1	4223.17	0.1363	0.7121	
DG	4469.63	1	4469.63	0.1443	0.7042	
DH	4283.57	1	4283.57	0.1383	0.7102	
DJ	2425.84	1	2425.84	0.0783	0.7797	
EF	2.50E+06	1	2.50E+06	80.78	< 0.0001	
EG	7166.57	1	7166.57	0.2313	0.6308	
EH	9.65E+05	1	9.65E+05	31.14	< 0.0001	
EJ	1.17E+06	1	1.17E+06	37.59	< 0.0001	
FG	2557.47	1	2557.47	0.0826	0.774	
FH 🧃	6647.15	ณ์มห	6647.15	0.2146	0.6434	
FJ CHI	44564.09	K¹DRN	44564.09	1.44	0.231	
GH	2471.8	1	2471.8	0.0798	0.7777	
GJ	4192.87	1	4192.87	0.1353	0.7131	
HJ	11692.08	1	11692.08	0.3774	0.5393	
Residual	1.44E+07	466	30979.08			
Lack of Fit	1.44E+07	465	31045.7	33698.91	0.0043	significant
Pure Error	0.9213	1	0.9213			
Cor Total	8.27E+08	511				

จากตารงที่ 4.16 พบว่าตัวแปรที่มีค่า p-value <0.0001 ได้แก่ A-Reflux B-Bottom rate C-Temperature feed 2 E-Flow rate feed 2 F-Temperature cooling H-Mass flow cooling J-Area heat exchanger Interaction AC Interaction AE Interaction AF Interaction AJ Interaction BE Interaction BF Interaction CE Interaction EF Interaction EJ แต่ เมื่อดูค่า F-value ที่มีค่าสูงได้แก่ B-Bottom rate E-Flow rate feed 2 และ Interaction BE ดังนั้นจึงเลือก แค่ 3 ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดไปหาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization)

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square	×		
Model	1.2	45	0.0267	1.38E+07	< 0.0001	significant
A-Reflux	1.70E-06	1	1.70E-06	880.96	< 0.0001	
B-Bottom rate	0.4045	10	0.4045	2.10E+08	< 0.0001	
C-Temperature feed 2	1.19E-07	10	1.19E-07	61.67	< 0.0001	
D-Pressure feed 2	5.80E-13	1.0	5.80E-13	0.0003	0.9862	
E-Flow rate feed 2	0.3978	1	0.3978	2.06E+08	< 0.0001	
F-Temperature cooling	2.64E-07	1	2.64E-07	137.09	< 0.0001	
G-Pressure cooling	3.92E-12	1	3.92E-12	0.002	0.964	
H-Mass flow cooling	5.47E-08	1	5.47E-08	28.39	< 0.0001	
J-Area heat exchanger	1.04E-07	1	1.04E-07	53.97	< 0.0001	
AB	5.48E-11	1	5.48E-11	0.0284	0.8662	
AC	4.22E-08	1	4.22E-08	21.88	< 0.0001	
AD	5.83E-12	1	5.83E-12	0.003	0.9562	
AE	4.85E-07	1	4.85E-07	251.59	< 0.0001	
AF	1.24E-07	1	1.24E-07	64.41	< 0.0001	
AG	1.05E-12	1	1.05E-12	0.0005	0.9814	
AH	2.77E-08	1	2.77E-08	14.36	0.0002	
AJ	5.12E-08	1	5.12E-08	26.55	< 0.0001	
BC	7.02E-09	1	7.02E-09	3.64	0.057	
BD	6.65E-13	1	6.65E-13	0.0003	0.9852	
BE	0.3978	1	0.3978	2.06E+08	< 0.0001	

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน ต่อความบริสุทธิ์ IPA

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
	Squares		Square		
BF	3.72E-08	1	3.72E-08	19.28	< 0.0001
BG	3.14E-12	1	3.14E-12	0.0016	0.9678
ВН	1.01E-08	1	1.01E-08	5.26	0.0223
BJ	1.61E-08	1	1.61E-08	8.37	0.004
CD	1.03E-11	1	1.03E-11	0.0054	0.9417
CE	4.01E-08	1	4.01E-08	20.79	< 0.0001
CF	5.42E-09	1	5.42E-09	2.81	0.0943
CG	6.66E-16	1	6.66E-16	3.46E-07	0.9995
СН	1.00E-09	1	1.00E-09	0.519	0.4716
CJ	2.30E-09	1	2.30E-09	1.19	0.2755
DE	1.77E-13	13	1.77E-13	0.0001	0.9923
DF	1.61E-13	10	1.61E-13	0.0001	0.9927
DG	2.34E-12	1	2.34E-12	0.0012	0.9722
DH	7.16E-13	1	7.16E-13	0.0004	0.9846
DJ	1.79E-12	1	1.79E-12	0.0009	0.9757
EF	8.90E-08	1	8.90E-08	46.17	< 0.0001
EG	7.91E-12	1	7.91E-12	0.0041	0.949
EH	1.86E-08	ส์เมา	1.86E-08	9.66	0.002
EJ C HI	3.55E-08		3.55E-08	18.43	< 0.0001
FG	1.04E-11	1	1.04E-11	0.0054	0.9414
FH	1.76E-09	1	1.76E-09	0.912	0.3401
FJ	3.19E-09	1	3.19E-09	1.66	0.1986
GH	3.56E-12	1	3.56E-12	0.0018	0.9657
GJ	6.89E-13	1	6.89E-13	0.0004	0.9849
HJ	1.09E-09	1	1.09E-09	0.5669	0.4519
Residual	8.98E-07	466	1.93E-09		
Lack of Fit	8.98E-07	465	1.93E-09		
Pure Error	0	1	0		
Cor Total	1.2	511			

จากตารงที่ 4.17 พบว่าตัวแปรที่มีค่า p-value <0.0001 ได้แก่ A-Reflux B-Bottom rate E-Flow rate feed 2 F-Temperature cooling H-Mass flow cooling J- Area heat exchanger Interaction AB Interaction AE Interaction AF Interaction AH Interaction AJ Interaction AE Interaction BE Interaction BF Interaction BH Interaction BJ Interaction EF Interaction EH และ Interaction EJ แต่เมื่อดูค่า F-value ที่มีค่าสูงได้แก่ A-Reflux และ B-Bottom rate ดังนั้นจึงเลือกแค่ 2 ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดเพื่อหาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization)

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares	11	Square			
Model	8.11E+08	45	1.80E+07	685.08	< 0.0001	significant
A-Reflux	1.52E+08	10	1.52E+08	5771.33	< 0.0001	
B-Bottom rate	2.07E+08	1	2.07E+08	7858.59	< 0.0001	
C-Temperature feed 2	3.07	1	3.07	0.0001	0.9914	
D-Pressure feed 2	7.33	1	7.33	0.0003	0.9867	
E-Flow rate feed 2	7.37E+07	1	7.37E+07	2799.61	< 0.0001	
F-Temperature cooling	9.12E+07	1	9.12E+07	3465.63	< 0.0001	
G-Pressure cooling	208.23	ส์มห	208.23	0.0079	0.9292	
H-Mass flow cooling	1.64E+07		1.64E+07	623.66	< 0.0001	
J-Area heat exchanger	3.27E+07	1	3.27E+07	1242.01	< 0.0001	
AB	1.01E+08	1	1.01E+08	3843.32	< 0.0001	
AC	264.99	1	264.99	0.0101	0.9201	
AD	149.14	1	149.14	0.0057	0.94	
AE	2.32E+07	1	2.32E+07	881.84	< 0.0001	
AF	4.38E+06	1	4.38E+06	166.37	< 0.0001	
AG	1.03	1	1.03	0	0.995	
АН	1.39E+06	1	1.39E+06	52.79	< 0.0001	
AJ	2.26E+06	1	2.26E+06	86	< 0.0001	
BC	11.53	1	11.53	0.0004	0.9833	

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่อปริมาณความร้อน (Q) ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
BD	0.0011	1	0.0011	4.35E-08	0.9998	
BE	8.47E+07	1	8.47E+07	3217	< 0.0001	
BF	9.27E+06	1	9.27E+06	352.08	< 0.0001	
BG	225.49	1	225.49	0.0086	0.9263	
ВН	2.81E+06	1	2.81E+06	106.78	< 0.0001	
BJ	4.55E+06	1	4.55E+06	173.02	< 0.0001	
CD	252.73	1	252.73	0.0096	0.922	
CE	0.5174	<u>_</u> 1]]//	0.5174	0	0.9965	
CF	1.08	1	1.08	0	0.9949	
CG	4.63	1	4.63	0.0002	0.9894	
СН	1.39	1	1.39	0.0001	0.9942	
CJ	185.76	1	185.76	0.0071	0.9331	
DE	4.56	1	4.56	0.0002	0.9895	
DF	1.33	1	1.33	0.0001	0.9943	
DG	1.25	1	1.25	0	0.9945	
DH	0.0193	1	0.0193	7.34E-07	0.9993	
DJ	307.37	1	307.37	0.0117	0.914	
EF ຈູາ	2.72E+06	ส์มห	2.72E+06	103.34	< 0.0001	
EG CHU	189.22	(¹ 0RN	189.22	0.0072	0.9325	
EH	8.34E+05	1	8.34E+05	31.68	< 0.0001	
EJ	1.31E+06	1	1.31E+06	49.69	< 0.0001	
FG	367.51	1	367.51	0.014	0.906	
FH	21246.11	1	21246.11	0.8073	0.3694	
FJ	20536.07	1	20536.07	0.7803	0.3775	
GH	207.67	1	207.67	0.0079	0.9293	
GJ	0.3761	1	0.3761	0	0.997	
HJ	1748.43	1	1748.43	0.0664	0.7967	
Residual	1.23E+07	466	26318.83			
Lack of Fit	1.23E+07	465	26375.43	6.43E+06	0.0003	significant

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
Pure Error	0.0041	1	0.0041			
Cor Total	8.24E+08	511				

จากตารงที่ 4.18 พบว่าตัวแปรที่มีค่า p-value <0.0001 ได้แก่ A-Reflux B-Bottom rate C-Temperature feed 2 E-Flow rate feed 2 F-Temperature cooling H-Mass flow cooling และ J-Area heat exchanger Interaction AC Interaction AE Interaction AF Interaction AJ Interaction BE Interaction BF Interaction CE Interaction EF และ Interaction EJ แต่เมื่อดูค่า F-value มีค่าสูงได้แก่ B-Bottom rate E-Flow rate feed 2 และ Interaction BE ดังนั้น จึงเลือก แค่ 3 ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดไปวิเคราะห์หาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization) ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนต่อความบริสุทธิ์ IPA

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
Model	1.2	45	0.0267	1.38E+07	< 0.0001	significant
A-Reflux	1.70E-06	1	1.70E-06	879.03	< 0.0001	
B-Bottom rate	0.4045	1	0.4045	2.10E+08	< 0.0001	
C-Temperature feed 2	1.18E-07	1	1.18E-07	61.38	< 0.0001	
D-Pressure feed 2	1.89E-12	1	1.89E-12	0.001	0.975	
E-Flow rate feed 2	0.3978	นหม	0.3978	2.06E+08	< 0.0001	
F-Temperature cooling	2.63E-07	K1ORN	2.63E-07	136.56	< 0.0001	
G-Pressure cooling	6.98E-12	1	6.98E-12	0.0036	0.9521	
H-Mass flow cooling	5.44E-08	1	5.44E-08	28.22	< 0.0001	
J-Area heat exchanger	1.04E-07	1	1.04E-07	53.66	< 0.0001	
АВ	6.76E-11	1	6.76E-11	0.0351	0.8516	
AC	4.25E-08	1	4.25E-08	22.03	< 0.0001	
AD	9.22E-12	1	9.22E-12	0.0048	0.9449	
AE	4.86E-07	1	4.86E-07	251.99	< 0.0001	
AF	1.25E-07	1	1.25E-07	64.68	< 0.0001	
AG	3.44E-12	1	3.44E-12	0.0018	0.9664	
АН	2.80E-08	1	2.80E-08	14.5	0.0002	
AJ	5.15E-08	1	5.15E-08	26.68	< 0.0001	

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
	Squares		Square		
BC	6.91E-09	1	6.91E-09	3.58	0.0591
BD	2.23E-12	1	2.23E-12	0.0012	0.9729
BE	0.3978	1	0.3978	2.06E+08	< 0.0001
BF	3.68E-08	1	3.68E-08	19.1	< 0.0001
BG	6.18E-12	1	6.18E-12	0.0032	0.9549
ВН	1.00E-08	1	1.00E-08	5.19	0.0232
BJ	1.59E-08	1	1.59E-08	8.25	0.0043
CD	1.49E-11	1	1.49E-11	0.0077	0.9301
CE	4.04E-08	1	4.04E-08	20.92	< 0.0001
CF	5.52E-09	1	5.52E-09	2.86	0.0914
CG	4.80E-13	1	4.80E-13	0.0002	0.9874
СН	1.04E-09	1	1.04E-09	0.5401	0.4628
CJ	2.38E-09	10	2.38E-09	1.23	0.2677
DE	1.40E-12	1	1.40E-12	0.0007	0.9785
DF	1.42E-12	1	1.42E-12	0.0007	0.9783
DG	6.59E-13	1	6.59E-13	0.0003	0.9853
DH	2.02E-12	1	2.02E-12	0.001	0.9742
DJ	6.63E-13	1	6.63E-13	0.0003	0.9852
EF	8.94E-08	1	8.94E-08	46.32	< 0.0001
EG 🧃	4.39E-12	ณ์มา	4.39E-12	0.0023	0.962
ен Сні	1.88E-08	K¹ORN	1.88E-08	9.75	0.0019
EJ	3.59E-08	1	3.59E-08	18.59	< 0.0001
FG	6.39E-12	1	6.39E-12	0.0033	0.9541
FH	1.82E-09	1	1.82E-09	0.9438	0.3318
FJ	3.29E-09	1	3.29E-09	1.7	0.1923
GH	6.41E-12	1	6.41E-12	0.0033	0.9541
GJ	0	1	0	0	1
HJ	1.15E-09	1	1.15E-09	0.5934	0.4415
Residual	8.99E-07	466	1.93E-09		
Lack of Fit	8.99E-07	465	1.93E-09		
Pure Error	0	1	0		
Cor Total	1.2	511			

จากตารงที่ 4.19 พบว่าตัวแปรที่มีค่า p-value <0.0001 ได้แก่ A-Reflux B-Bottom rate E-Flow rate feed 2 F-Temperature cooling H-Mass flow cooling J-Area heat exchanger Interaction AB Interaction AE Interaction AF Interaction AH Interaction AJ Interaction BE Interaction BF Interaction BH และ Interaction BJ แต่เมื่อดูค่า F-value มีค่าสูงได้แก่ A- Reflux และ B-Bottom rate ดังนั้นจึงเลือกแค่ 2 ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดไปวิเคราะห์หาจุดที่ดีที่สุด ภายใต้ข้อจำกัด (Optimization)

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
Model	8.11E+08	45	1.80E+07	684.91	< 0.0001	significant
A-Reflux	1.52E+08	1	1.52E+08	5770.42	< 0.0001	
B-Bottom rate	2.07E+08	1	2.07E+08	7855.91	< 0.0001	
C-Temperature feed 2	0.4106	1	0.4106	0	0.9969	
D-Pressure feed 2	15.26	1	15.26	0.0006	0.9808	
E-Flow rate feed 2	7.37E+07	1	7.37E+07	2798.69	< 0.0001	
F-Temperature cooling	9.12E+07	1 🕬	9.12E+07	3465.07	< 0.0001	
G-Pressure cooling	235.58	1	235.58	0.0089	0.9247	
H-Mass flow cooling	1.64E+07	1	1.64E+07	623.72	< 0.0001	
J-Area heat exchanger	3.27E+07	1	3.27E+07	1241.38	< 0.0001	
AB	1.01E+08	ณ้มห	1.01E+08	3842.19	< 0.0001	
АССНІ	237.31	K¹ORN	237.31	0.009	0.9244	
AD	146.97	1	146.97	0.0056	0.9405	
AE	2.32E+07	1	2.32E+07	881.54	< 0.0001	
AF	4.38E+06	1	4.38E+06	166.41	< 0.0001	
AG	1.66	1	1.66	0.0001	0.9937	
АН	1.39E+06	1	1.39E+06	52.76	< 0.0001	
AJ	2.26E+06	1	2.26E+06	85.99	< 0.0001	
ВС	4.91	1	4.91	0.0002	0.9891	
BD	0.1145	1	0.1145	4.35E-06	0.9983	
BE	8.47E+07	1	8.47E+07	3216.38	< 0.0001	
BF	9.26E+06	1	9.26E+06	351.91	< 0.0001	
BG	241.25	1	241.25	0.0092	0.9238	

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) สำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนต่อปริมาณความร้อน (Q) ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
ВН	2.81E+06	1	2.81E+06	106.75	< 0.0001	
BJ	4.55E+06	1	4.55E+06	172.95	< 0.0001	
CD	230.89	1	230.89	0.0088	0.9254	
CE	1.33	1	1.33	0.0001	0.9943	
CF	13.57	1	13.57	0.0005	0.9819	
CG	0.8302	1	0.8302	0	0.9955	
СН	2.19	1	2.19	0.0001	0.9927	
CJ	240.03	1	240.03	0.0091	0.924	
DE	2.29		2.29	0.0001	0.9926	
DF	0.5355	1	0.5355	0	0.9964	
DG	0.1194	1	0.1194	4.54E-06	0.9983	
DH	0.0921	1	0.0921	3.50E-06	0.9985	
DJ	348.28	1	348.28	0.0132	0.9085	
EF	2.72E+06	1	2.72E+06	103.37	< 0.0001	
EG	169.39	1	169.39	0.0064	0.9361	
EH	8.35E+05	1 ⁽¹⁾	8.35E+05	31.7	< 0.0001	
EJ	1.31E+06	1	1.31E+06	49.61	< 0.0001	
FG	297.33	1	297.33	0.0113	0.9154	
FH	21804.58	1	21804.58	0.8283	0.3632	
FJ 🧃	20582.41	ณ์มห	20582.41	0.7819	0.377	
GH С н	210.07		210.07	0.008	0.9289	
GJ	1.47	1	1.47	0.0001	0.994	
HJ	1628.69	1	1628.69	0.0619	0.8037	
Residual	1.23E+07	466	26324			
Lack of Fit	1.23E+07	465	26380.61	1.12E+05	0.0024	significant
Pure Error	0.2362	1	0.2362			
Cor Total	8.24E+08	511				

จากตารงที่ 4.20 พบว่าตัวแปรที่มีค่า p-value <0.0001 ได้แก่ B-Bottom rate E-Flow rate feed 2 Interaction BE และ Interaction BH แต่เมื่อดูค่า F-value มีค่าสูงได้แก่ B-Bottom rate E-Flow rate feed 2 และ Interaction BE ดังนั้นจึงเลือกแค่ 3 ปัจจัยที่มีผลมาก ที่สุดไปวิเคราะห์หาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization)

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
Model	0.8628	45	0.0192	38.72	< 0.0001	significant
A-Reflux	0.0008	1	0.0008	1.6	0.206	
B-Bottom rate	0.2317	10	0.2317	468.02	< 0.0001	
C-Temperature feed 2	0.0008	1	0.0008	1.54	0.2157	
D-Pressure feed 2	0.0008	1	0.0008	1.67	0.1966	
E-Flow rate feed 2	0.2535	1	0.2535	512.05	< 0.0001	
F-Temperature cooling	0.0005	1	0.0005	1.04	0.3085	
G-Pressure cooling	0.0017	1	0.0017	3.33	0.0685	
H-Mass flow cooling	0.0009	1.000	0.0009	1.84	0.176	
J-Area heat exchanger	0.0001	1	0.0001	0.164	0.6857	
AB	5.49E-06	1	5.49E-06	0.0111	0.9162	
AC	0	1	0	0.0364	0.8488	
AD	0.0001	าเมื	0.0001	0.2036	0.6521	
AE	0.0001	1	0.0001	0.1707	0.6797	
AF	0.0002	1	0.0002	0.4523	0.5016	
AG	0	1	0	0.0387	0.8442	
АН	0.0007	1	0.0007	1.45	0.2288	
AJ	0.0012	1	0.0012	2.48	0.1161	
BC	0.0014	1	0.0014	2.87	0.0909	
BD	4.94E-06	1	4.94E-06	0.01	0.9205	
BE	0.2937	1	0.2937	593.22	< 0.0001	
BF	0	1	0	0.0439	0.8342	
BG	0.0008	1	0.0008	1.57	0.2103	
ВН	0.0144	1	0.0144	29.06	< 0.0001	
BJ	0.0009	1	0.0009	1.86	0.1738	

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ IPA

76

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value
	Squares		Square		
CD	0.0002	1	0.0002	0.464	0.4961
CE	0.0009	1	0.0009	1.74	0.1875
CF	0	1	0	0.0612	0.8048
CG	0.0001	1	0.0001	0.194	0.6598
СН	0.0008	1	0.0008	1.6	0.2062
CJ	0.0001	1	0.0001	0.1487	0.7
DE	0.0002	1	0.0002	0.3517	0.5535
DF	9.32E-07	1	9.32E-07	0.0019	0.9654
DG	0.0001	10000	0.0001	0.2207	0.6388
DH	0.0008	1	0.0008	1.64	0.2013
DJ	0.001	1	0.001	1.99	0.1595
EF	0	1	0	0.0597	0.807
EG	7.56E-08	1	7.56E-08	0.0002	0.9902
EH	0.0086	1	0.0086	17.35	< 0.0001
EJ	0.0006	1	0.0006	1.2	0.2739
FG	0.0003	1 000	0.0003	0.627	0.4289
FH	0.0006	1	0.0006	1.11	0.292
FJ	0.0009	1	0.0009	1.77	0.184
GH	0.0017	1	0.0017	3.38	0.0666
GJ	0.001	ข้มห	0.001 81	2.06	0.1519
нл Сн	0.0001	KORN	0.0001	0.1649	0.6848
Residual	0.2085	421	0.0005		
Lack of Fit	0.2085	420	0.0005		
Pure Error	0	1	0		
Cor Total	1.07	466			

จากตารงที่ 4.20 พบว่าตัวแปรที่มีค่า p-value <0.0001 ได้แก่ A-Reflux B-Bottom rate E-Flow rate feed 2 F-Temperature cooling J-Area heat exchanger Interaction AB Interaction AE Interaction BE แต่เมื่อดูค่า F-value มีค่าสูงได้แก่ A- Reflux และ B-Bottom rate ดังนั้นเลือกแค่ 2 ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดไปวิเคราะห์หาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization)

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares	COM!	Square	\[
Model	5.56E+08	45	1.24E+07	26.28	< 0.0001	significant
A-Reflux	1.13E+08	1/	1.13E+08	240.98	< 0.0001	
B-Bottom rate	1.06E+08	1	1.06E+08	224.99	< 0.0001	
C-Temperature feed 2	73528.71	1	73528.71	0.1564	0.6927	
D-Pressure feed 2	79223.24	1	79223.24	0.1685	0.6816	
E-Mole flow feed 2	6.30E+07	1	6.30E+07	133.91	< 0.0001	
F-Temperature cooling	5.38E+07	1000	5.38E+07	114.37	< 0.0001	
G-Pressure cooling	13195.96	1000	13195.96	0.0281	0.867	
H-Mass flow cooling	6.27E+06	1	6.27E+06	13.33	0.0003	
J-Area heat exchanger	1.27E+07	1	1.27E+07	27.1	< 0.0001	
AB	7.84E+07	น้มา	7.84E+07	166.74	< 0.0001	
AC CH	2.05E+05	KORN	2.05E+05	0.435	0.5099	
AD	2215.38	1	2215.38	0.0047	0.9453	
AE	1.71E+07	1	1.71E+07	36.32	< 0.0001	
AF	1.79E+06	1	1.79E+06	3.81	0.0516	
AG	1.31E+06	1	1.31E+06	2.78	0.0963	
АН	63321.17	1	63321.17	0.1347	0.7138	
AJ	4.16E+06	1	4.16E+06	8.86	0.0031	
BC	58321.86	1	58321.86	0.1241	0.7248	
BD	72578.37	1	72578.37	0.1544	0.6946	
BE	6.54E+07	1	6.54E+07	139.19	< 0.0001	
BF	3.27E+06	1	3.27E+06	6.96	0.0086	
BG	1.84E+05	1	1.84E+05	0.3914	0.5319	

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ นความร้อนที่มีผลต่อปริมาณความร้อน Q ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Source	Sum of	df	Mean	F-value	p-value	
	Squares		Square			
ВН	2.70E+06	1	2.70E+06	5.74	0.017	
BJ	28026.55	1	28026.55	0.0596	0.8072	
CD	3.24E+05	1	3.24E+05	0.6887	0.4071	
CE	1.21E+06	1	1.21E+06	2.56	0.1101	
CF	9.20E+05	1	9.20E+05	1.96	0.1627	
CG	6703.93	1	6703.93	0.0143	0.905	
СН	1.50E+05	1	1.50E+05	0.3181	0.573	
CJ	3.42E+05	1	3.42E+05	0.7272	0.3943	
DE	2.92E+05	1,000,0	2.92E+05	0.6218	0.4308	
DF	1474.36	1	1474.36	0.0031	0.9554	
DG	14207.82	1	14207.82	0.0302	0.8621	
DH	1.59E+05	1	1.59E+05	0.3382	0.5612	
DJ	18353.39	1	18353.39	0.039	0.8435	
EF	8.86E+05	1	8.86E+05	1.89	0.1704	
EG	1.27E+05	1	1.27E+05	0.2707	0.6031	
EH	3.56E+05	1.00	3.56E+05	0.7582	0.3844	
EJ	5.87E+05	1	5.87E+05	1.25	0.2644	
FG	5154.71	1	5154.71	0.011	0.9167	
FH	3.82E+06	1	3.82E+06	8.12	0.0046	
FJ	1.88E+06	าม์มา	1.88E+06	48	0.0462	
GH CH	28998.36	K ORN	28998.36	0.0617	0.804	
GJ	43746.44	1	43746.44	0.0931	0.7605	
HJ	2.94E+06	1	2.94E+06	6.24	0.0128	
Residual	1.98E+08	421	4.70E+05			
Lack of Fit	1.98E+08	420	4.71E+05	1.15E+08	< 0.0001	significant
Pure Error	0.0041	1	0.0041			
Cor Total	7.54E+08	466				

จากผลของ ANOVA พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของ IPA คือ B Bottom flowrate E Flow rate feed 2 และ Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโนสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนที่แตกต่างกัน สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Q) คือ A Reflux ratio Bottom rate และ Interaction AB

 1. ค่าอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ด้านล่าง B Bottom rate mole flow โดยจาก รูปที่ 4.13 พบว่า ปัจจัย B Bottom rate mole flow มีผลในทางบวกต่อความบริสุทธิ์ของ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ซึ่งตรงกับทฤษฎี [75] เมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลผลิตภัณฑ์ ด้านล่าง จะส่งผลให้ความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อมีอัตราการ ไหลผลิตภัณฑ์ด้านล่างมากขึ้น ซึ่งเป็นส่วนของสารที่มีจุดเดือดสูงไหลออกมาก ส่งผลให้ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีจุดเดือดต่ำมีความเข้มข้นมากขึ้น



รูปที่ 4.13 อัตราการไหลผลิตภัณฑ์ส่วนล่างส่งผลต่อความบริสุทธิ์ IPA

2. อัตราการไหลวัตถุดิบ 2 E Flow rate feed ดังรูปที่ 4.14 พบว่า ปัจจัย E Flow rate feed 2 มีผลในทิศทางลบต่อความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 2 เมื่อต้องการ ความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่มากขึ้น ต้องลดอัตราการไหลวัตถุดิบป้อนที่ 2 ไป ในทิศทางที่น้อยลง เมื่อ Flow rate feed 2 เป็นสารที่มีจุดเดือดที่สูง [70] ทำให้ในหอกลั่นมี สารที่มีจุดเดือดสูงมากเกิน ส่งผลต่อความเข้มข้นของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ได้ลดลง โดย มีสารที่มีจุดเดือดสูงปนเปื้อนมาด้วย



จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองในโปรแกรมออกแบบการทดลอง Design expert เมื่อใช้ ของไหลไฮบริดนาโนสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 4.10- 4.17 เมื่อดู ผลของตัวแปรต้นที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุด เมื่อตัวแปรหลักเปลี่ยนจะส่งผลดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 4.15 แสดงผลการตัวแปร Reflux ratio มีผลในทิศทางบวกต่อปริมาณความร้อนที่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ด้วย ดังนั้นถ้าต้องการปริมาณความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงขึ้นต้องปรับค่า Reflux ratio ให้สูงขึ้น [70] ทำให้ในระบบมีความร้อนเยอะขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลของสารผลิตภัณฑ์ ด้านบนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้นและมีความร้อนสูงขึ้น



รูปที่ 4.15 Reflux ratio ที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จากรูปที่ 4.16 แสดง Bottom rate เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลทิศทางลบต่อปริมาณความ ร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดย Bottom rate มีลดลงจะส่งผลต่อค่าความร้อนที่เครื่อง แลกเปลี่ยนลดลงด้วย [70] เพราะเมื่อ Bottom rate ส่งผลต่อระดับของเหลวในหอกลั่น เมื่อ Bottom rate ลดน้อยส่งผลต่อระดับของเหลวในหอกลั่นที่สูงขึ้น ส่งผลให้สารออกด้านบนหอกลั่น เยอะขึ้น ส่งผลให้ความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น



รูปที่ 4.16 Bottom rate ที่ส่งผลต่อความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อพิจารณา Interaction AB เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จากรูป 4.17 พบว่า ปัจจัย A Reflux และปัจจัย B Bottom rate มีผลร่วมกันต่อปริมาณความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และเมื่อปรับค่า ปัจจัย A Reflux Ratio ที่ค่าต่ำ และค่า B Bottom rate ที่ค่าสูง จะได้ปริมาณความ ร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำ และเมื่อปรับปัจจัย A Reflux Ratio ค่าสูง และค่า B Bottom rate ค่าสูง จะส่งต่อปริมาณความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสูงขึ้น แต่เมื่อปรับค่า ปัจจัย B Bottom rate ที่ค่าต่ำ ปัจจัย A Reflux Ratio ที่สูงขึ้นจะส่งผลน้อยต่อปริมาณความร้อนที่เครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 4.17 Interaction AB ที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อทราบตัวแปรต้นที่มีผลต่อไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อนแล้ว จึงนำตัวแปรต้นที่ได้ในแต่ละแบบจำลองไปหาจุดที่ดีที่สุด (Optimization) เพื่อศึกษาค่าของ ตัวแปรต้นที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองดีที่สุด 4.5.2. ผลการหาจุดที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด (Optimization)

จากการวิเคราะห์แบบจำลองทำให้ทราบตัวแปรต้นที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จากนั้นจึง ทำการศึกษาการหาจุดที่ดีที่สุด ที่แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อดังต่อไปนี้

4.5.2.1. ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่อค่าความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ พบว่าตัวแปร ที่มีค่า P-value <0.0001 นั้น คือ ค่า B -Bottom flowrate E-Flowrate feed 2 และ Interaction BE หลังจากนั้นทำการสร้างพื้นที่ผิวตอบสนอง Response surface

เมื่อใช้ของไหลพื้นฐานเป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อัตราการไหลของเมื่อ ใช้ค่าผลิตภัณฑ์ด้านล่าง B-Bottom flow ค่ากลาง และ E-Flow rate feed 2 ค่าต่ำ จะได้ค่าความ บริสุทธิ์ของ IPA 99.9486 % และสามารถปรับตัวแปรต้นเพื่อให้ได้ตัวแปรตอบสนองตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ผลของตัวแปร B และ E ที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ของไหลพื้นฐานสำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อพิจารณา Interaction BE สำหรับการใช้ของไหลพื้นฐานเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยน ความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จากรูป 4.19 พบว่า เมื่อทำการปรับค่า ปัจจัย E Feed flowrate 2 ที่ค่าต่ำ และปัจจัย B Bottom rate mole flow จะไม่ส่งผลค่าความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์อีกต่อไป



เมื่อใช้ ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) เป็นของไหลเพื่อใช้แลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้ อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ด้านล่าง B-Bottom flow ค่าต่ำ และ E-Flow rate feed 2 ค่าสูง จะได้ค่าตัวแปรตอบสนอง IPA 99.9486 % และสามารถ ปรับตัวแปรต้นเพื่อให้ได้ตัวแปรตอบสนองตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ผลของตัวแปร B และ E ต่อความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อพิจารณา Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) เป็นตัวกลางใน การแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ จากรูป 4.21 พบว่า พบว่า เมื่อทำการปรับค่า ปัจจัย E Feed flowrate 2 ที่ค่าต่ำ ทำให้ ปัจจัย B Bottom rate mole flow จะไม่ส่งผลค่าความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์อีกต่อไป



รูปที่ 4.21 Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) เป็นของไหลสำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของ IPA

เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) เป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อน เมื่อใช้ค่าอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ด้านล่าง B-Bottom flow ค่าสูง และ E-Flow rate feed 2 ค่าต่ำ จะได้ตัวแปรตอบสนอง IPA 99.9486 % และสามารถปรับตัวแปรต้นเพื่อให้ได้ตัวแปร ตอบสนองตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ผลของตัวแปร B และ E ต่อ IPA เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄)

เมื่อพิจารณา Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) เป็นตัวกลาง ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ จากรูป 4.21 พบว่า พบว่า เมื่อทำการปรับค่า ปัจจัย E Feed flowrate 2 ที่ค่าต่ำ ทำให้ ปัจจัย B Bottom rate mole flow จะไม่ส่งผลค่าความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์อีกต่อไป



รูปที่ 4.23 Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) เป็นของไหลสำหรับ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของ IPA

เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) เป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อใช้อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ด้านล่าง (Bottom flowrate) B-Bottom flow ค่าสูง และ E-Flow rate feed 2 ค่าต่ำ จะได้ตัวแปรตอบสนอง IPA 99.9486 % และสามารถปรับตัวแปรต้น เพื่อให้ได้ตัวแปรตอบสนองตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ผลของตัวแปร B และ E ต่อความบริสุทธิ์ของ IPA เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
เมื่อพิจารณา Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) เป็นตัวกลางในการ แลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จากรูป 4.25 พบว่า พบว่า เมื่อทำการปรับค่า ปัจจัย E Feed flowrate 2 ที่ค่าต่ำ ทำให้ปัจจัย B Bottom rate mole flow จะไม่ส่งผลค่าความบริสุทธิ์ของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์อีกต่อไป



รูปที่ 4.25 Interaction BE เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) เป็นของไหลสำหรับเครื่อง แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของ IPA

2. ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต้นต่อความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าตัวแปรที่มีค่า P-value <0.0001 นั้น และมีค่า F- value ที่สูง เมื่อมีการใช้ของไหลไฮบริดนาโนที่แตกต่างกันจะได้ ตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อค่าความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมากที่สุด และหาค่า LMTD (The log mean temperature difference) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบล็อก จากโปรแกรม Aspen plus เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำความร้อน

เมื่อใช้ของไหลพื้นฐานเป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ต้องปรับตัวแปร A-Reflux ratio ค่าสูง B-Bottom flowrate ค่าต่ำ มีค่าความร้อนที่เกิดขึ้น 15346 KW ที่ความบริสุทธิ์ IPA 99.9486 % และได้ค่า LMTD 35.583 °C ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน (Q) เมื่อใช้ของไหลพื้นฐาน สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) เป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ต้องปรับตัวแปร A-Reflux ratio ค่าสูง และ B-Bottom flowrate ค่าต่ำ ความร้อนที่เกิดขึ้น 14819 KW ที่ความบริสุทธิ์ PA 99.881 % และได้ค่า LMTD 34.1458 °C ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน(Q) ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) เป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อนเมื่อปรับตัวแปร A-Reflux ratio ค่าสูง และ B-Bottom flowrate ค่าต่ำ ความร้อนที่เกิดขึ้น 14828 KW ที่ความบริสุทธิ์ IPA 99.881 % และได้ค่า LMTD 34.1448 ℃ ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน (Q) เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) เป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน A-Reflux ratio ค่าสูง B-Bottom flowrate ค่าต่ำ มีค่าความร้อนที่เกิดขึ้น 14784 KW ที่ความบริสุทธิ์ IPA 99.957 และได้ค่า LMTD 33.9703 °C ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ผลของตัวแปร A และ B ต่อปริมาณความร้อน (Q) เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จากการทดลองที่ต้องการดูประสิทธิภาพการนำความร้อนของของไหลพื้นฐานและของไหล ไฮบริดนาโน พบว่าของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) มีค่า LMTD น้อยกว่าของไหลพื้นฐาน และ เมื่อเปรียบเทียบของไหลไฮบริดนาโน พบว่าของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) มีค่า LMTD น้อย ที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) มีค่าการนำความร้อนที่มากที่สุด เรียง ตามลำดับไปจนถึงของไหลพื้นฐาน ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่ค่าพลังงานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยตัวแปรตอบสนอง ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และค่าความร้อน เมื่อต้องการความเข้มข้นของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ค่า สูง และความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนค่าสูง เมื่อมีการใช้ของไหลที่แตกต่างกันจะได้ผลดังนี้

เมื่อใช้ ของไหลพื้นฐานเป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะได้ค่า desirability 0.993851 แสดงถึงความง่ายต่อการปรับค่าตัวแปร B-Bottom flowrate และ E-Flow rate feed 2 จะได้ความบริสุทธิ์ของ IPA และปริมารณความร้อน (Q) สูงสุด โดยตั้งปรับค่า B-Bottom flowrate ค่าสูง และ E-Flow rate feed 2 ต่ำสุด จะได้ค่าตัวแปรตอบสนอง ปริมาณความ ร้อน (Q) 15343 KW ค่า LMTD 35.583 °C และความบริสุทธิ์ IPA 99.9486 % ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 ผลของตัวแปร B และ E ต่อปริมาณ (Q) และความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ของไหลพื้นฐาน สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) เป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อน ต้องปรับค่าตัวแปร B-Bottom flowrate ค่าต่ำ และ E-Flow rate feed 2 ค่าสูง มีค่าความ ร้อน (Q) 14812 KW ค่า LMTD 34.1458 °C และความบริสุทธิ์ IPA 99.883 % ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ผลของตัวแปร B และ E ต่อปริมาณความร้อน (Q) และ ความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ CuO) CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อใช้ (MWCNT+ Fe₃O₄) เป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความ ต้องปรับค่าตัวแปร B-Bottom flowrate ค่าสูง และ E-Flow rate feed 2 ค่าต่ำ มีค่าความร้อนที่เกิดขึ้น 14822 KW ค่า LMTD 34.1448 ℃ และความบริสุทธิ์ IPA 99.873 % ดังรูป 4.32



รูปที่ 4.32 ผลของตัวแปร B และ E ต่อปริมาณความร้อน (Q) และ ความบริสุทธิ์ IPA เมื่อใช้ ของไหลไฮบริดนาโน (MWCNT+ Fe₃O₄) CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) เป็นของไหลสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ต้องปรับค่าตัวแปร B-Bottom flowrate ค่าสูง และ E-Flow rate feed 2 ค่าสูง และมีค่าความร้อน ที่เกิดขึ้น 14756 KW ค่า LMTD 33.9703 °C และความบริสุทธิ์ IPA 99.857 % ดังรูปที่ 4.33





จากการทดลองที่ต้องการดูประสิทธิภาพการนำความร้อนของของไหลพื้นฐานและของไหล ไฮบริดนาโน โดยตัวแปรตอบสนองไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และค่าความร้อน เมื่อต้องการความ เข้มข้นของไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ที่ค่าสูง และความร้อนที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนค่าสูง พบว่า เมื่อใช้ของไหลพื้นฐานจะได้ค่า IPA สูงสุด แต่ใช้อัตราการไหลของของไหลพื้นฐานที่ 92 kg/sec ซึ่งมากกว่าของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) ที่ใช้อัตราการไหลของของไหลที่ 84 kg/sec และเมื่อ ดูค่าประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อน LMTD พบว่า ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) มีค่า LMTD น้อยกว่าของไหลพื้นฐาน และเมื่อเปรียบเทียบของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) มีค่า isoริดนาโน (CuO+ MgO) มีค่า LMTD น้อยที่สุด หรือของไหลไฮบริดนาโน (CuO+MgO) สามารถ ถ่ายโอนความร้อนจากสารในระบบได้ดี และจากนั้นจึงนำสมบัติการไหลของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) ไปศึกษาหาค่าความดันนลด เมื่ออัตราการไหลที่เท่ากับที่ใช้ในการทดลองความ อ่อนไหว คือ 84 kg/sec และ 92 kg/sec

4.6 การหาความดันลดภายในท่อ

การไหลของของไหลที่ใช้เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ ้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึง สมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลด้วย ดังนั้น เมื่อมีการนำของไหลไฮบริดนาโนประยุกต์ใช้การถ่ายโอนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว หลังจากนั้นจึงประยุกต์ใช้สมบัติการไหลของของไหลไฮบริดนาโนที่มีประสิทธิภาพการนำความร้อนดี ์ ที่สุดคือ ไฮบริดนาโน (CuO+MgO) มาศึกษาสมบัติการไหลโดยใช้ค่าความหนาแน่น และค่าความหนืด ของของไหลไฮบริดนาโน เพื่อศึกษาถึงความดันลดภายในท่อ เมื่อนำของไหลไฮบริดนาโนไปใช้ใน ้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเปรียบเทียบกับการใช้ของไหลพื้นฐาน โดยใช้ขนาดท่อเท่ากับขนาด ภายในท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ [4] โดยมี ขั้นตอนดังนี้

4.6.1 การหาจำนวนเรย์โนลด์ (Re number)

การหาค่า Re- number สามารถหาได้จากสมการที่ (4.1) นำค่าที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน (Friction loss)

สูตร
$$\operatorname{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D_h}{\upsilon} = \frac{Q D}{\upsilon A}$$
 (4.1)

ม	อ

	V SHV
ρ	คือ ความหนาแน่นของของไหล
V	คือ ความเร็วของของไหล
D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายในท่อ
μ	คือ ความหนึดพลวัต (Dynamic viscosity)
υ	คือ ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity)
Q	คือ อัตราการไหลโดยปริมาตร
А	คือ พื้นที่หน้าตัดภายในของท่อ

4.6.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction loss)

โดยแบ่งออกเป็น 2 จากค่าการไหลแบบราบเรียบค่า Laminar flow (Re number ≤ 2300) และการไหลแบบปั่นป่วน Turbulent flow (Re number >2300)

การหาค่า fiction loss ของการไหลแบบราบเรียบ Laminar flow ตามสมการที่ (4.2)

$$f = \frac{64}{Re}$$
(4.2)

การหาค่า fiction loss ของการไหลแบบปั่นป่วน Turbulent flow ตามสมการที่ (4.3)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}}\right) \tag{4.3}$$

โดย **E** คือความขรุขระเฉลี่ยของท่อ, 🥥

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแล้วจึงนำไปหาค่าความดันลดภายในท่อโดยสมการ (4.4) โดยให้ขนาดของท่อเท่ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฮโซโพรพิล แอลกอฮอล์ [4] เพื่อศึกษาค่าความดันลดเมื่อใช้ของไหลไฮบริดนาโนแทนของไหลพื้นฐาน

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2}$$
(4.4)

เมื่อ

คือ ความหนาแน่นของของไหล ρ V คือ ความเร็วของของไหล f คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (friction loss) L

จากการคำนวณหาความดันลดภายในท่อ จากการใช้ของไหลไฮบริดนาโน (CuO+MgO) ที่ อุณหภูมิที่แตกต่างกันเปรียบเทียบกับของไหลพื้นฐานคือน้ำ จากรูปภาพที่ 4.15 แสดงอัตราการไหลที่ 84 kg/sec และรูปภาพที่ 4.16 อัตราการไหล 92 kg/sec พบว่าของไหลไฮบริดนาโน มีความดันลด ค่อนข้างคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้น ส่วนของไหลพื้นฐานคือมีความดันลดสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเมื่อ อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ความหนืดลดลงส่งผลให้อัตราการไหลมากขึ้น ทำให้ความดันลดเพิ่มขึ้น และ ในอัตราการไหลที่เท่ากันของไหลพื้นฐานมีความดันลดมากกว่าของไหลไฮบริดนาโน เนื่องจากของไหล พื้นฐานมีความหนืดและและความหนาแน่นมากกว่า และส่งผลคำนวณอัตราการไหลต่ำกว่า และทำ ให้ได้ค่า ความดันลดต่ำกว่า



รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบความดันลดระหว่างของไหลพื้นฐาน และของไหลไฮบริดนาโนที่ 84 kg/sec

Chulalongkorn University



รูปที่ 4.35 เปรียบเทียบความดันลดระหว่างของไหลพื้นฐาน และของไหลไฮบริดนาโนที่ 92 kg/sec



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลสมบัติทางความร้อนและสมบัติของของไหลไฮบริด และนำข้อมูล ที่ได้มาทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมโดยเลือกโครงข่ายประสาทที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อน น้อยที่สุด และนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ไปทำนายสมบิตทางความร้อนและสมบัติทางการไหล นำค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมไปจำลองการถ่ายโอน ความร้อนของกระบวนการผลิตไฮโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการประเมินความเป็นได้ของ กรณีศึกษาความร้อนที่เกิดขึ้นที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิต ต่อปริมาณการใช้ของ ไหลไฮบริดนาโน สรุปผลได้ดังต่อไปนี้

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับทำนายค่าการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนืด และความหนาแน่น ทั้งหมดใช้โครงข่ายประเภทส่งข้อมูลไปข้างหน้าและย้อนกลับ (FFB) ใช้จำนวน นิวรอนในชั้นซ่อน 15 นิวรอน และใช้ฟังก์ชันกระตุ้น (Active function) Tansig

การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของ ของไหลไฮบริด พบว่าจำนวนนิวรอนที่เหมาะสมของชั้นซ่อนคือ 15 นิวรอน โดยให้ค่า R เท่ากับ 0.999 และค่า MSE เท่ากับ 0.022 ค่า MAE เท่ากับ 0.04 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ 15 นิวรอน สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายสมบัติทางความร้อนและสมบัติการไหลของของไหล ไฮบริด

การทำนายค่าการนำความร้อน พบว่าโครงสร้างที่เหมาะสมคือ 12-15-15-1 โดยจำนวน นิวรอนชั้นซ่อนที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นส่งออก ตามลำดับ และได้ค่า R เท่ากับ 0.9874, 0.9877 และ 0.9796 และค่า MSE เท่ากับ 0.0005, 0.0005 และ 0.0008 ค่า MAE เท่ากับ 0.0134, 0.0156 และ 0.0189 จากการ Train, Validate และTest ตามลำดับ

การทำนายค่าความร้อนจำเพาะ พบว่าโครงสร้างที่เหมาะสมคือ 12-15-15-1 โดยจำนวน นิวรอนชั้นซ่อนที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นส่งออก ตามลำดับ และให้ค่า R เท่ากับ 0.9886, 0.9775 และ0.9728, ค่า MSE เท่ากับ 0.0084, 0.0179 และ 0.0230 และค่า MAE เท่ากับ 0.0503, 0.0672 และ 0.0596 จากการ Train, Validate และ Test ตามลำดับ

การทำทำนายค่าความหนาแน่น พบว่าโครงสร้างที่เหมาะสมคือ 12-15-15-1 โดยจำนวน นิวรอนชั้นซ่อนที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นส่งออก ตามลำดับ และให้ค่า R เท่ากับ 0.9676, 0.9728 และ 0.9526ค่า MSE เท่ากับ 0.0003, 0.0004 และ 0.0005 ค่า MAE เท่ากับ 0.0112, 0.0114 และ 0.0128 จากการ Train, Validate และ Test ตามลำดับ

การทำทำนายค่าความหนืด พบว่าโครงสร้างที่เหมาะสมคือ 12-15-15-1 โดยจำนวนนิวรอน ชั้นซ่อนที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นส่งออก ตามลำดับ และให้ค่า R เท่ากับ 0.9461, 0.9409 และ 0.9219 และค่า MSE เท่ากับ 0.0841, 0.0958 และ 0.1150 ค่า MAE เท่ากับ 0.1685, 0.1839 และ 0.1936 จากการ Train, Validate และTest ตามลำดับ

นำโครงข่ายประสาทเทียมที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว ไปทำนายค่าการนำความร้อนของของ ไหลไฮบริดนาโนที่มีในฐานข้อมูล 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 293.15- 348.15 K และนำค่าการนำความร้อน ของของไหลไฮบริดนาโนไปหาค่าคงที่ P1-P5 เพื่อใช้เป็นค่าคงที่สำหรับการเพิ่มของไหลไฮบริดนาโน ในโปรแกรม Aspen plus และทำการตรวจสอบค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน พบว่า ของไหลไฮบริดนาโนมีค่าสูงมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และของไหลไฮบริดนาโนที่มีค่าการนำความ ร้อนสูงที่สุดคือ CuO และ MgO

ผลจากการนำค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนประยุกต์ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อนของกระบวนการผลิตไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ และทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัว แปรพบว่า ค่าอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ด้านล่าง และ Reflux ratio มีผลต่อ ความเข้มข้นของ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ จากการทดลองประสิทธิภาพการนำความร้อนของของไหลพื้นฐานและของ ไหลไฮบริดนาโน พบว่าของไหลไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) มีประสิทธิภาพการนำความร้อนดีที่สุด เมื่อเทียบกับของไหลไฮบริดนาโนด้วยกันและของไหลพื้นฐาน

ผลจากการจำลองหาค่าความดันลดโดยใช้ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของของไหล ไฮบริดนาโน (CuO+ MgO) พบว่า ที่อัตราการไหลของของไหลที่ใช้สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความ ร้อนเท่ากัน ของไหลไฮบริดนาโนมีความดันลดน้อยกว่าของไหลพื้นฐานในอัตราการไหลที่เท่ากัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 เพื่อการใช้งานที่ง่ายขึ้น ควรมีการเพิ่มโครงข่ายประสาทเทียมในโปรแกรม Aspen plus 5.2 เพื่อการศึกษาที่สมบูรณ์ควรเพิ่มคุณสมบัติของของไหลไฮบริดให้ครบ เพื่อที่จะได้ทราบ ถึงประสิทธิภาพระบบแลกเปลี่ยนความร้อนที่ครอบคลุม

บรรณานุกรม

- Tutak, M. and J. Brodny, *Renewable energy consumption in economic sectors in the EU-27. The impact on economics, environment and conventional energy sources. A 20-year perspective.* Journal of Cleaner Production, 2022. 345: p. 131076.
- Hemmat Esfe, M., S. Esfandeh, and M.H. Kamyab, *Chapter 1 History and introduction*, in *Hybrid Nanofluids for Convection Heat Transfer*, H.M. Ali, Editor. 2020, Academic Press. p. 1-48.
- 3. Sajid, M.U. and H.M. Ali, *Thermal conductivity of hybrid nanofluids: A critical review.* International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018. **126**: p. 211-234.
- 4. Chua, W., G. Rangaiah, and K. Hidajat, *Design and optimization of isopropanol process based on two alternatives for reactive distillation.* Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2017. **118**: p. 108-116.
- 5. Choi, S.U. and J.A. Eastman, *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*. 1995, Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- Turcu, R., et al., *New polypyrrole-multiwall carbon nanotubes hybrid materials.* Journal of optoelectronics and advanced materials, 2006. 8(2): p. 643-647.
- Pokhrel, N.R., et al., *Predicting NEPSE index price using deep learning models*.
 Machine Learning with Applications, 2022: p. 100385.
- Mostafa, N., H.S.M. Ramadan, and O. Elfarouk, *Renewable energy management* in smart grids by using big data analytics and machine learning. Machine Learning with Applications, 2022. 9: p. 100363.
- Yadav, R.K. and Anubhav, PSO-GA based hybrid with Adam Optimization for ANN training with application in Medical Diagnosis. Cognitive Systems Research, 2020. 64: p. 191-199.
- Tadesse, M.G., et al., *Tactile Comfort Prediction of Functional Fabrics from Instrumental Data Using Intelligence Systems*. Fibers and Polymers, 2019. 20(1): p. 199-209.
- 11. Dai, C., et al., Chapter 1 Thermodynamic fundamentals, in Special Distillation

Processes (Second Edition), Z. Lei, et al., Editors. 2022, Elsevier. p. 1-63.

- 12. Wilding, W.V., R.L. Rowley, and J.L. Oscarson, *DIPPR® Project 801 evaluated* process design data. Fluid Phase Equilibria, 1998. **150-151**: p. 413-420.
- 13. Adun, H., et al., Synthesis of Fe3O4-Al2O3-ZnO/water ternary hybrid nanofluid: Investigating the effects of temperature, volume concentration and mixture ratio on Specific heat capacity, and development of Hybrid machine learning for prediction. Journal of Energy Storage, 2021. **41**: p. 102947.
- Weissman, S.A. and N.G. Anderson, *Design of Experiments (DoE) and Process* Optimization. A Review of Recent Publications. Organic Process Research & Development, 2015. 19(11): p. 1605-1633.
- Adun, H., et al., A neural network-based predictive model for the thermal conductivity of hybrid nanofluids. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2020. 119: p. 104930.
- Ahmadloo, E. and S. Azizi, Prediction of thermal conductivity of various nanofluids using artificial neural network. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2016. 74: p. 69-75.
- Tian, S., et al., Using perceptron feed-forward Artificial Neural Network (ANN) for predicting the thermal conductivity of graphene oxide-Al2O3/water-ethylene glycol hybrid nanofluid. Case Studies in Thermal Engineering, 2021. 26: p. 101055.
- Boroomandpour, A., D. Toghraie, and M. Hashemian, A comprehensive experimental investigation of thermal conductivity of a ternary hybrid nanofluid containing MWCNTs- titania-zinc oxide/water-ethylene glycol (80:20) as well as binary and mono nanofluids. Synthetic Metals, 2020. 268: p. 116501.
- Hamid, K.A., et al., Experimental investigation of thermal conductivity and dynamic viscosity on nanoparticle mixture ratios of TiO2-SiO2 nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018. 116: p. 1143-1152.
- Sundar, L.S., M.K. Singh, and A.C.M. Sousa, Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT-Fe3O4/water hybrid nanofluids. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2014. 52: p. 73-83.
- 21. Urmi, W., M.M. Rahman, and W.A.W. Hamzah, An experimental investigation on

the thermophysical properties of 40% ethylene glycol based TiO2-Al2O3 hybrid nanofluids. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2020. **116**: p. 104663.

- 22. Akilu, S., A.T. Baheta, and K.V. Sharma, *Characterization and modelling of density, thermal conductivity, and viscosity of TiN–W/EG nanofluids.* Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2020. **140**(4): p. 1999-2010.
- 23. Said, Z., *Thermophysical and optical properties of SWCNTs nanofluids.*International Communications in Heat and Mass Transfer, 2016. **78**: p. 207-213.
- 24. Sabiha, M.A., et al., *Experimental investigation on thermo physical properties of single walled carbon nanotube nanofluids.* International Journal of Heat and Mass Transfer, 2016. **93**: p. 862-871.
- 25. Nabil, M.F., et al., An experimental study on the thermal conductivity and dynamic viscosity of TiO2-SiO2 nanofluids in water: Ethylene glycol mixture.
 International Communications in Heat and Mass Transfer, 2017. 86: p. 181-189.
- Esfahani, N.N., D. Toghraie, and M. Afrand, A new correlation for predicting the thermal conductivity of ZnO-Ag (50%-50%)/water hybrid nanofluid: An experimental study. Powder Technology, 2018. 323: p. 367-373.
- Pandey, S.D. and V.K. Nema, Experimental analysis of heat transfer and friction factor of nanofluid as a coolant in a corrugated plate heat exchanger.
 Experimental Thermal and Fluid Science, 2012. 38: p. 248-256.
- Agarwal, A., R. Marumo, and M.T. Letsatsi, Numerical analysis of tube flow with helical insert using nano fluid to enhance heat transfer. Materials Today: Proceedings, 2021. 47: p. 5093-5097.
- 29. Kumar, V. and J. Sarkar, *Particle ratio optimization of Al2O3-MWCNT hybrid nanofluid in minichannel heat sink for best hydrothermal performance.* Applied Thermal Engineering, 2020. **165**: p. 114546.
- 30. Shahul Hameed, M., S. Suresh, and R.K. Singh, *Comparative study of heat transfer and friction characteristics of water-based Alumina–copper and Alumina–CNT hybrid nanofluids in laminar flow through pipes.* Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2019. **136**(1): p. 243-253.
- 31. Verma, S.K., et al., *Performance analysis of hybrid nanofluids in flat plate solar*

collector as an advanced working fluid. Solar Energy, 2018. 167: p. 231-241.

- Pak, B.C. and Y.I. Cho, HYDRODYNAMIC AND HEAT TRANSFER STUDY OF DISPERSED FLUIDS WITH SUBMICRON METALLIC OXIDE PARTICLES. Experimental Heat Transfer, 1998. 11(2): p. 151-170.
- 33. Pantzali, M., et al., *Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface.* International Journal of Heat and Fluid Flow, 2009. **30**(4): p. 691-699.
- 34. Mousavi, S.M., F. Esmaeilzadeh, and X.P. Wang, Effects of temperature and particles volume concentration on the thermophysical properties and the rheological behavior of CuO/MgO/TiO2 aqueous ternary hybrid nanofluid. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2019. 137(3): p. 879-901.
- Goodarzi, M., et al., Investigation of heat transfer and pressure drop of a counter flow corrugated plate heat exchanger using MWCNT based nanofluids.
 International Communications in Heat and Mass Transfer, 2015. 66: p. 172-179.
- 36. Wanatasanappan, V.V., M.Z. Abdullah, and P. Gunnasegaran, *Thermophysical* properties of Al2O3-CuO hybrid nanofluid at different nanoparticle mixture ratio: An experimental approach. Journal of Molecular Liquids, 2020. **313**: p. 113458.
- 37. Rahimi, A., et al., Natural convection analysis employing entropy generation and heatline visualization in a hollow L-shaped cavity filled with nanofluid using lattice Boltzmann method- experimental thermo-physical properties.
 Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, 2018. 97: p. 82-97.
- 38. Giwa, S.O., M. Sharifpur, and J.P. Meyer, *Experimental study of thermoconvection performance of hybrid nanofluids of Al2O3-MWCNT/water in a differentially heated square cavity.* International Journal of Heat and Mass Transfer, 2020. **148**: p. 119072.
- Barbés, B., et al., *Thermal conductivity and specific heat capacity* measurements of Al2O3 nanofluids. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2013. 111(2): p. 1615-1625.
- 40. Barbés, B., et al., *Thermal conductivity and specific heat capacity measurements of CuO nanofluids.* Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,

2014. **115**(2): p. 1883-1891.

- 41. Selvam, C., D. Mohan Lal, and S. Harish, *Thermal conductivity and specific heat capacity of water–ethylene glycol mixture-based nanofluids with graphene nanoplatelets.* Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2017. **129**(2): p. 947-955.
- 42. Verma, S.K., A.K. Tiwari, and D.S. Chauhan, *Experimental evaluation of flat plate solar collector using nanofluids.* Energy Conversion and Management, 2017.
 134: p. 103-115.
- 43. Kumaresan, V. and R. Velraj, Experimental investigation of the thermo-physical properties of water-ethylene glycol mixture based CNT nanofluids.
 Thermochimica Acta, 2012. 545: p. 180-186.
- 44. Wole-Osho, I., et al., An experimental investigation into the effect of particle mixture ratio on specific heat capacity and dynamic viscosity of Al2O3-ZnO hybrid nanofluids. Powder Technology, 2020. **363**: p. 699-716.
- 45. Teng, T.-P. and Y.-H. Hung, *Estimation and experimental study of the density and specific heat for alumina nanofluid.* Journal of Experimental Nanoscience, 2014. **9**(7): p. 707-718.
- 46. Fazeli, I., M.R. Sarmasti Emami, and A. Rashidi, *Investigation and optimization of the behavior of heat transfer and flow of MWCNT-CuO hybrid nanofluid in a brazed plate heat exchanger using response surface methodology.*International Communications in Heat and Mass Transfer, 2021. **122**: p. 105175.
- 47. Tiwari, A.K., et al., *Experimental comparison of specific heat capacity of three different metal oxides with MWCNT/ water-based hybrid nanofluids: proposing a new correlation.* Applied Nanoscience, 2020.
- Pattanayak, B., et al., Synthesis, Characterisation and Heat Transfer Analysis of TiO2-Water Nanofluid 1. Mechanics, Materials Science & Engineering Journal, 2018.
 2018.
- 49. Gupta, N.K., et al., A review of thermo physical properties of nanofluids.Materials Today: Proceedings, 2019. 18: p. 968-978.
- 50. Hussein, A.M., et al., *Experimental measurement of nanofluids thermal properties.* International Journal of Automotive and Mechanical Engineering,

2013. **7**: p. 850.

- 51. Hung, Y.-H., J.-H. Chen, and T.-P. Teng, *Feasibility Assessment of Thermal Management System for Green Power Sources Using Nanofluid.* Journal of Nanomaterials, 2013. **2013**: p. 321261.
- 52. Giwa, S.O., M. Sharifpur, and J.P. Meyer, Experimental investigation into heat transfer performance of water-based magnetic hybrid nanofluids in a rectangular cavity exposed to magnetic excitation. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2020. 116: p. 104698.
- 53. Ganeshkumar, J., et al., *Experimental study on density, thermal conductivity, specific heat, and viscosity of water-ethylene glycol mixture dispersed with carbon nanotubes.* Thermal Science, 2017. **21**: p. 255-265.
- 54. Xuan, Z., et al., *Thermo-economic performance and sensitivity analysis of ternary hybrid nanofluids.* Journal of Molecular Liquids, 2021. **323**: p. 114889.
- 55. Hemmat Esfe, M., et al., *Viscosity and rheological properties of antifreeze based nanofluid containing hybrid nano-powders of MWCNTs and TiO2 under different temperature conditions.* Powder Technology, 2019. **342**: p. 808-816.
- Ruhani, B., et al., Statistical investigation for developing a new model for rheological behavior of ZnO-Ag (50%-50%)/Water hybrid Newtonian nanofluid using experimental data. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2019. 525: p. 741-751.
- 57. Zareie, A. and M. Akbari, *Hybrid nanoparticles effects on rheological behavior of water-EG coolant under different temperatures: An experimental study.* Journal of Molecular Liquids, 2017. **230**: p. 408-414.
- 58. Nguyen, C.T., et al., *Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nanofluids – Hysteresis phenomenon.* International Journal of Heat and Fluid Flow, 2007. **28**(6): p. 1492-1506.
- 59. Nguyen, C.T., et al., *Viscosity data for Al2O3–water nanofluid—hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable?* International Journal of Thermal Sciences, 2008. **47**(2): p. 103-111.
- 60. Hamid, K.A., et al., *Investigation of Al2O3 Nanofluid Viscosity for Different Water/EG Mixture Based.* Energy Procedia, 2015. **79**: p. 354-359.

- 61. Pantzali, M.N., et al., *Effect of nanofluids on the performance of a miniature plate heat exchanger with modulated surface.* International Journal of Heat and Fluid Flow, 2009. **30**(4): p. 691-699.
- 62. Ho, C.J., et al., *Natural convection heat transfer of alumina-water nanofluid in vertical square enclosures: An experimental study.* International Journal of Thermal Sciences, 2010. **49**(8): p. 1345-1353.
- 63. Vajjha, R.S., D.K. Das, and B.M. Mahagaonkar, *Density Measurement of Different Nanofluids and Their Comparison With Theory.* Petroleum Science and Technology, 2009. **27**(6): p. 612-624.
- 64. Hwang, K.S., S.P. Jang, and S.U.S. Choi, Flow and convective heat transfer characteristics of water-based Al2O3 nanofluids in fully developed laminar flow regime. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2009. **52**(1): p. 193-199.
- Mahian, O., A. Kianifar, and S. Wongwises, Dispersion of ZnO Nanoparticles in a Mixture of Ethylene Glycol–Water, Exploration of Temperature-Dependent Density, and Sensitivity Analysis. Journal of Cluster Science, 2013. 24(4): p. 1103-1114.
- 66. Heyhat, M.M., et al., *Experimental investigation of turbulent flow and convective heat transfer characteristics of alumina water nanofluids in fully developed flow regime.* International Communications in Heat and Mass Transfer, 2012. **39**(8): p. 1272-1278.
- 67. Brzóska, K., et al., Thermophysical Properties of Nanofluids Composed of
 Ethylene Glycol and Long Multi-Walled Carbon Nanotubes. Fluids, 2020. 5(4): p.
 241.
- YOUSAF, A.B., et al., INFLUENCE OF PARTICLE SIZE ON DENSITY, ULTRASONIC VELOCITY AND VISCOSITY OF MAGNETITE NANOFLUIDS AT DIFFERENT TEMPERATURES. Nano, 2014. 09(08): p. 1450089.
- 69. Said, Z. and R. Saidur, *Thermophysical properties of metal oxides nanofluids*.Nanofluid heat and mass transfer in engineering problems, 2017: p. 39.
- 70. Bendaraa, A., M.M. Charafi, and A. Hasnaoui, *Numerical and experimental investigation of alumina-based nanofluid effects on double-pipe heat*

exchanger thermal performances. SN Applied Sciences, 2021. 3(2): p. 172.

- 71. Selvam, C., D. Mohan Lal, and S. Harish, *Heat transport and pressure drop characteristics of ethylene Glycol-based Nano fluid containing silver nanoparticles.* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.
 402: p. 012005.
- 72. Solairajan, A.S., S. Alexraj, and P.V. Rajan, *Experimental Investigation on Thermophysical Properties of Nanofluids.* Journal of emerging technologies and innovative research, 2015.
- 73. Lee, S., et al., *Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles.* 1999.
- 74. Wang, X., X. Xu, and S.U. Choi, *Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture.* Journal of thermophysics and heat transfer, 1999. **13**(4): p. 474-480.
- 75. Arifin, S. and I.-L. Chien, Design and control of an isopropyl alcohol dehydration process via extractive distillation using dimethyl sulfoxide as an entrainer.
 Industrial & engineering chemistry research, 2008. 47(3): p. 790-803.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล วัน เดือน ปี เกิด สถานที่เกิด วุฒิการศึกษา ที่อยู่ปัจจุบัน

สหัสวัต แซวรัมย์ 14 กรกฎาคม 2532 จังหวัดขอนแก่น มหาวิทยาลัยบูรพา เทคโนโนโลยีเคมี ทล.บ. เคมี 119/122 หมู่บ้านกัลปพฤกษ์รีเจน ตำบลทับมา อำเภอเมือง จังหวัดระยอง 21000



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

1. การเพิ่มค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโนในโปรแกรม Aspen Plus

1. กำหนด สารใหม่ (Pure component) เลือก KLPDS-1 หลังจากนั้นกด OK ดังรูปที่ ก 2

Ø		Simulation 5.apwz - Aspen Plus V11 - aspenONE	- d	\times
File Home View Customize Resources			Search Exchange 😥 🙃	¥ 8
I Cut SH ■ Zetup Na Chemistry Copy → Unit Sets Ø Components Z Customize Paste Ipboard Units Navigate	Clean Draw Structure Tools	ods Assistant BINIST CAnadysis Parameters BOECHEMA BEstimation ve Parameters BUPPR Data Source Run Mode Data Source Run Mode	input IPure I Solubility A Ternary Diag A History IC Binary ID PT Envelope A Residue Curves IReport ID Mixture Analysis	
roperties c Parameters × PUI	RE-3 (Pure) - K - Plot 兴	Pure Components Binary Interaction X PURE-3 (PURE) X Methods - Sp	ecifications × +	
i Items	Copy Paste	New Pure Component Parameters X		
Components Sociations Molecular Structure Assay/Blend USRDLF	T-DEPENDENT SCALAR	Select type of pure component parameter © Scalar ® T-dependent correlation © Nonconventional	Description Delete X X	
Comparison C		Head of vaporization Head of vaporization Head of vaporization Kingel gas head capacity Liquid meal conductivity Liquid meal conductivity Liquid meal conductivity KIDP-1 KIDP-5-1 KIDP-5		
Results		Default name : KUPD5.1 OK Cancel		

รูปที่ ก.1 การสร้างสารประกอบใหม่

 2. โปรแกรมจะให้ใส่ตัวแปรที่ 1-5 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอบเอ็กเซล์หาตัวแปรที่ 1-5 โดย ใช้ฟังซ์ชัน =LINEST(F20:F75,D20:D75^(1,2,3,4)) โดยค่า F20:F75 ค่าอุณหภูมิ, D20:D75 ค่าการ นำความร้อนจากอุณหภูมิ F20:F75 หลังจากนั้นจะได้ค่าตัวแปร P1-P5 ให้ส่งในช่วงตัวแปรที่ 1-5 ส่วนตัวแปรที่ 6 คือค่าอุณหภูมิต่ำสุด ตัวแปรที่ 7 คือค่าอุณหภูมิสูงสุด ดังรูปที่ ก 2

t SH · Setup											Search Exchang	e	
tta Method and Units	Na [®] Chemi sents 2 [®] Custor s 2 [®] Prop S Navigate	nize ets Structur	Methods A Clean Parar Ratriava Parar Tools	neters (rameters 1	DECHEMA	C Analysia C Estimatio C Regressio Run Mode	n Next Ru	n Reset Control Panel Run 0	Input III History III Report III Summary	Pure 63 Binary 10 P Mixture	iolubility / T Envelope / Analysis	A Ternary Diag	
rties (🖉	arameters × 1	URE-3 (Pure) -	K - Plot × Pure	Componen	ts - KLDIP-1	× Binary Inte	eraction × P	URE-3 (PURE) × 1	Methods - Specifica	tions × +			
ns •	Input Com	nents											
Setup P	rameter KLDI	p	H	elp	Data set	1							
Components													
Molecular Structure	Componen	Source 1	Temperature	Propert	ty units 😽	1 %	2 V			76 5	74 6	76 7	76
G Light End Properties	-		units	Mark for A			0 708450		6 00000		- 00		
Petro Characterization	NET.	UKER	2	Wate /m		161.62	-2 04227	0.00005107	201635-		- 08 27	3 15 137	
Component Attributer	NET	INCO	0	Watt/m.W		.378 168	4 83683	0.0230773	4.87389-		- 08 27		
Henry Comps			-	The second		-376.107							
G UNIFAC Groups				_				1	_			-	1
Methods	SU	м	/ I X 🗸	=LIN	EST(F20	0:F75,D	20:D75	{1,2,3,4})					
Specifications		A											
Selected Methods	13				-		-			-			
Perameters	14				NP	P5	P4	P3.	P2	P1			
KLDIP-1	15				1	1,2,3,4])	7E-06	-0.003354753	0.708458602	-55.1529			
USRDEF	16				2	1.58E-08	-2E-05	0.009651065	-2.043366814	161.6204			
Binary Interaction	17				3	-3.8E-08	4.87E-05	-0.023077318	4.836815231	-378.169			
Bectrolyte Pair	18												
Electrolyte Ternary	19						NP1	cal	NP2	cel	NP3	cal	
UNIFAC Groups	20			1	293.15	20.00	0.614169	0.614244317	0.449413057	0.449198	0.745673	0.744849	
a create a copy of	21			2	294.15	21.00	0.615122	0.615151307	0.454652047	0.454549	0.746758	0.746395	
	22			3	295.15	22.00	0.616087	0.616084056	0.460003433	0.459984	0.747949	0.747926	
roperties	23			4	296.15	23.00	0.61707	0.617046295	0.465452931	0.465493	0.74925	0.749464	
imulation	24			5	297.15	24.00	0.618077	0.618041625	0.470987373	0.471068	0.750665	0.751027	
	25			6	298.15	25.00	0.619114	0.619073515	0.476594581	0.4767	0.752195	0.752635	
afety Analysis	26			7	299.15	26.00	0.620185	0.620145305	0.482263257	0.48238	0.753846	0.754306	
2002201	27			8	300.15	27,00	0.621296	0.621260205	0.487982888	0.4881	0.755621	0.756056	

รูปที่ ก.2 การใส่ค่าตัวแปร

3.ระบุองค์ประกอบของสารกดเลือก Component เลือกสารที่ต้องการระบุองค์ประกอบ กด เลือก User identifine กด Next ดังรูปที่ ก 3ใส่ Molecular weight 18.05 และกด finish ดังรูปที่ ก 4

	File Home View Cu	istomize Resources										Search Excha	inge	۵ 🔍
	Cut SH · Set	up Na [*] Chemistry	CA 1	Methods Assistant	THE NIST	Analysis	MA B	14	Times.	Input	Pure	- Solubility	A Ternary Diag	
	Copy 🐈 Unit Sets 🖉 Con	nponents 🔐 Customize	0	Clean Parameters	DECHEMA	C Estimation			Ale	History	2 Binary	PT Envelope	A Residue Curves	
	Paste A Met	thods AP Prop Sets	Draw Structure	Retrieve Parameters	ST DIPPR	Repression	Next R	un Reset	t Control Panel	Report	EL Mixture		Contract of the second s	
<pre>reme:</pre>	iboard Units	Navigate		Tools	Data Source	Run Mode		Run	15	Summary		Analysis		
	porties ¢	Components PUR	RE-3 (Pure) - K -	Plot × Pure Comp	onents × Bina	ary Interaction ×	PURE-3 (P	URE) × (Methods -	Specification	ns × +			
	tems 🔹	Selection Petrole	eum Noncor	ventional Enterprise	e Database Co	omments								
	Setup	-												
	Components	Select components												
	Specifications	Component ID	2	Type		Component	name		Alias					
The section of the	Molecular Structure	IDA	Commission	4	IFO			C3140	~ 1	-				
The second se	Assay/Blend Light End Properties		Conventione	и	130	-KOPTL-ALCON	~	Carto	0.2					
In the second	Petro Characterization	WATER	Conventiond	21	WA	TER		HZO		_				
Both State Stat	Pseudocomponents	DIPE	Conventiona	al	DIIS	OPROPYL-ETHE	R	C6H1	40-3					
<pre>in the second in the seco</pre>	Component Attributes	DMSO	Conventione	aí	DIM	ETHYL-SULFOX	DE	C2H6	os					
In the second	Henry Comps	▶ cw	Convention	al	WAT	TER		HZO						
	ONIFAC Groups	F NF	Conventione	al	WAT	TER		H2O						
■ Compare to make the maximum of	Methods	E NF2	Conventione	ส	WAT	TER		HZO						
<pre>in the interview inte</pre>	Chemistry	> NF3	Conventiono	al	WAT	TER		HZO						
<pre>in a contract in the intermed and inter</pre>	Property Sets	5												
<pre>in the interview inte</pre>	🔁 Data							_						
Territor Sinchica Sinch	Estimation	Find Elec V	Wizard SF	E Assistant User	Defined Re	eorder Rev	6ew							
Control of the set of the s	4 R PURE-3													
a data B dat	2 Input													
Reserve Securitaries Securi	Customize													
reverse Story Angoin The and Note Note Note Note Note Note Note Note	Besults													
Termination in the second s														
Twenter Services Servic														
Tendentie Sind Analysis Sind Anal														
standardine Serger Anapita Toreger Anapita An anality Serger Anapita Ana anality Serger Anapita Anapit	Properties													
The series where w	Simulation													
Is strety Anaphile Toregy Anaphile The New New York Constra States Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Strety Stret	, shine and shi													
	Safety Analysis													
An walk Casala Standard Data Data Data Data Data Data Data Dat	Energy Analysis													
de kandel e de														
<complex-block></complex-block>														
Image: Apper Plant: Deaded to space: Apper Plant: Image: App		åU	VI (I	2 11 1 9 9 9	ะบุอง	คํประ	กอเ	าสา	ารป'	ระก	อบใเ	าม่		
Very Very Cutation Texture		្ទូប		5 III33	ะบุอง	คํประ	กอเ	าสา	ารป'	ระก	อบให	าม่		
Image: State of the composent Ward Image: State of	BorerN≽≣ ► K	3U			ะบุอง ระกมโต	ค์ประ tion 5.apwz - Aq	กอง pen Plus V11	มสา • aspen0	ารป'	ระก	อบใเ	าม่		- 0
Constant Component Ward Constant in the User Official Component Ward Cons	R o · c · N ⊡ ► H Home View Custor	a U T mize Resources			ะบุอง ระกมจ	ค์ประ tion 5.apwz - Aq	กอเ	ิ)สา	ารป'	ระก	อบให	ใน Search Exchan	nge	
<pre>very during to the set of the component Wardd very during to the set of the component Wardd very during to the set of the component Wardd, the set date may to mater properties for use difference on point to be during to point to the set of the maximum properties for use difference on point to be during to point to the set of the maximum properties for use difference on point to be during to point the set of the maximum properties for use during to point the set of the maximum properties for use during to point the set of the maximum properties for use during to point the set of the maximum properties for use during to point the set of the maximum properties for use during to point the set of the maximum properties for use during to point the set of the maximum properties for use during to point molecular structures the during to be set of the maximum properties for use during to be set of the maximum properties during to be set of the maximum properties during to be set of the maximum properties during to be set of the maximum properiment during to be set</pre>	Home View Custo BH 27 Stup	a U		Vethods Assistant	ะบุอง simula	ค์ประ ^{tion 5.apwz} Asp เ <u>ริ.Aquiysis</u>	กอเ >en Plus V11	Jar espence	ารป'	ຈະກ) ⊇Input	อบใง ≅Pure	รearch Exchan	nge A Ternary Diag	- 0
Interference Interference Interference Interference Interference Interference Interference Interference Interference Interference <td< td=""><td>① ○ ○ N> > I I Home View Custor St - I</td><td>a U mize Resources No² Chemistry ret Vitzerd</td><td></td><td>O []]]]</td><td>ะบุอง Simula St NIST</td><td>ค์ประ tion 5 apwz Aq Z Anatysis X imation</td><td>กอง sen Plus V11 Next Rus</td><td>Jan aspenC I aspenC</td><td>ารป' โล</td><td>ຈິະກ) ⊇ Input Mistory</td><td>อบใง อบใง ⊮^{Pure} ⊮ Binary</td><td>Search Exchan</td><td>nge A Termary Diag Residue Curves</td><td>0</td></td<>	① ○ ○ N> > I I Home View Custor St - I	a U mize Resources No ² Chemistry ret Vitzerd		O []]]]	ะบุอง Simula St NIST	ค์ประ tion 5 apwz Aq Z Anatysis X imation	กอง sen Plus V11 Next Rus	Jan aspenC I aspenC	ารป' โล	ຈິະກ) ⊇ Input Mistory	อบใง อบใง ⊮ ^{Pure} ⊮ Binary	Search Exchan	nge A Termary Diag Residue Curves	0
History bit low	Home View Cuttor St - Zetue Wiew Cuttor St - Zetue Wiew Defined Company	a U		Vethods Assistant	ะบุอง simula	ค์ประ tion Sapwz Aq <mark>เวิลาatysis</mark> × imation gression	กอง pen Flus V11 Next Run	Ja∩ aspen0	ISU' NE Control Panel	ິສະກາ ⊇ Input Mistory ■ Report	อบใเ อบใเ ∠ Binary L Mature	Search Erchai	nge A Ternary Diag A Residue Curves	- 0 2 A
a component. This studie and last jou through the target to test of the neglined physical projecties for the component. This studie and last jou through the target to test of the neglined physical projecties for the component. This studies is to be component and is the journer of the target the	Home View Custo 54 · 27 Setue 7 Wer-Defined Component User-Defined Component	The securces	// /l.2	Vethods Assistant	ะบุอง Simula	ค์ประ tion Sapwz Aq <mark>(3 Analysis</mark> >> Immation gression Mode	กอง sen Plus V11 Next Run	Ja∩ aspen0 Reset Run	いてい Ne Control Panel	Sごわ Sごわ Input History Report Summary	อบใเ ⊇บใเ ⊻ Binary ⊌ Misture	Search Enchar Solubility C PT Envelope Analysis	nge A Ternary Diag A Residue Curves	- 0
terry Analysis terry Analysis terry Analysis	Home View Cutato State State User-Defined Component User-Defined Component	A U	rd, the quickest	Methods Assistant	รักมระ	ค์ประ tion Sapwz Aq <mark>(3 Analysis</mark> X prostion gression Mode Y PURE 3	en Plus V11 Next Run R (PURE) ×	aspenC Reset Run Method	トマント NHE Control Panel s - Specifica	Sぞれ Niput Mistory Report Summary ations × +	DUli Pure Ø Binary Minture	Search Enchau Solubility C PT Envelope Analysis	nge A Ternary Diag A Residue Curves	- 0
Image: Specified in the specified in the component include: Compared: UP: IP: IP: IP: IP: IP: IP: IP: IP: IP: I	Home View Custo Status	Conford Component Water	rd, the quickest	Anthropy to enter properties the required physical p	รเทนla Simula Market MIST	ค์ประ tion 5 apwz Aq (Analysis > Imation gression gression (PURE 1	חסו een Plus V11 Nex Run 8 (PURE) × 1	aspenC Reset Run Method	トマリイ NNE Control Panel s - Specifica	Sぞれ ・ Input History Report Summary ations × +	DUli Pure ⊘Binary Moture	Search Erchau Solubility Analysis	nge A Ternary Diag A Residue Curves	- 0
Alse in20 Alse in20	Home View Carbon Status Carbon	The second secon	VI (I	Verhack Asseture	Simula Simula for user-defined for user-defined	ค์ประ tion 5.apwz Asg X Analysis gression Mode FURE 3	אפר אפן אין אין אין אין אין אין אין אין אין אי	aspend Reset Run Method	NE Control Panol s Specifica	Sぞれi Input History Report Summary ations × +	ຍບໃນ Pure ຂອກ Moture	Search Erchau Solubility D FT Envelope Analysis	nge 🛕 Ternary Diag 🏯 Residue Curves	- 0
A res For carcentificational component: A rest or carcentificational component: <	Horse Vew Cutas Horse Vew Cutas Provide Cutas Here Vew Cutas Here Vew Cutas Ver Overnet Component Ver Overnet Overgoorent Ver Overnet Overgoorent Ver Overnet Overgoorent Ver Overnet Overgoorent Ver Overnet Overgoorent Ver Overnet Overgoorent Ver Overgoor	Parsures	VI II	A contract of the required physical p	Simula Simula	らしてい やしてま tion 5.apwz Aq tion 5.apwz Aq	אפא איז איז איז איז איז איז איז איז איז אי	aspend Reset Run Method	いてし NHE Control Panel S Specifics	Sぞれi Input History Report Summary +	DUli Pure Ø Binary ↓ Mixture	ริสภาค Excha ∑ Solubility PT Envelope 	nge A Ternary Diag A Residue Curves	- D
Allow Registres for standarding point, molecular structure, super pressure and load gas had capacity. 	Home View Cutato Home View Cutato Status Wellowers to Physical Component User Outlined Component Outlined Component User Outlined Component Outlined Component Ou	The Resources Resources Without Head Strength Head You Head He	VI II.	Attivities Assistant	Simula	やしてま tion Suppur - Asp tion Suppur - Asp mation geside く PURE 1 fined Com	oen Plus V11 Next Run R (PURE) × 1	ard	NE Control Panel 5 Specifica	ີວະກາ input ⊮History Report Summary attors × +	Pure ∠ Binary Mixture	ระงาร Evena Satubility ฏิ.ศ. Envelope Analysis	nge A Ternary Dieg A Residue Curves	
Image: Intervention Molecular weight, normal bolding point, molecular thoutans, wepor pressure and ideal gas heat capacity Image: Intervention Image:	Home View Catalo Home View Catalo State Compared Compared Watcome to the Use Comparent. The Wat Comparent. The Watcome to the Use Comparent. The Watcome to the Use Comparent. The Watcome to the Use Comparent. The Watcome to the Use State St	The Descurses 162 Chemistry 162 Ch	VI II	Anthropy Assistant	Simula	คํประ tion Sapor - Arg tion Sapor - Arg tion Sapor - Arg sestion fired Con for conve	en Plus V11 Next Run R (PURE) ×	A aspend Reset Run Method	いてい SNE Control Panel s Specifica	S℃Ni) Niput Report Summary +	DUli Pure ⊘Binary Mature	ริษาร์ก Ecohol (Search Ecohol (Salubility) (การ์ Ervelope Analysis	nge A Ternary Diag A Residue Curves ×	
Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the component and exit. Image: Control in the control in the component and exit. Image: Control in the cont	Home View Catal Home View Catal State Catal State Catal State Catal Weither Catal User Defined Component User Defined Component User Defined Component User Catel Component Catal User Catel Component Catal User Catel Catal	Norman N	Include	Anthropy Association	Simula Simula	やしてま tion 3.apvz Aq だんratyus X Investion Mode (「PURE : forcerve	en Plus V11 Next Run R (PURE) ×	and porsent	ISU Me Control Specifica	うどれ) input Mistory Summary ations × +	eulı ₽ure ØBinay	ริยารร Exchai Search Exchai Solubility () PT Envelope Analysis	nge A Ternary Diag A Residue Curves	
try Analysis try Ana	Porter View Curton Porter Porter	The second seco	VI II.	O TI I I I I I I I I I I I I I I I I I I	Simula Simula	やしてい for Sapuz - Arg c Zenation yession Mode 「「URE : for conve	Constant of the second	and ponent	NE Control Panel s Specifica	Sぞれi Input History Report Summary ations × +	DUll Pure	ດີ Search Exchar Satubility PT Envelope 	nge A Ternsey Dieg A Residue Curves	
Image: Second	Horne Veer Casta Horne Veer Casta Port C	Alignment	VI II	dethods Assistent	Simula Simula The NET	やしてま tion 5 aprix: Arg CA Analysis X greation Mode C F PLRE : for conver orent ID: 1	Ren Plus V11 Next Run Next Run Notent Wat Intional com	I - espenC Run Method	ISU DNE Control Partel s Specifica	TENI Input History Report Summary attors × +	Pure ∠ Binary Mature	สิมิมี Search Exchai ⊵ Sciubility Arasiysis Allas H2	nge A Temary Diag A Residue Curves	
And a register of the component and wait. Cancel the componen	And A a	The American Street Water Street Stre	rd, the quickest rd, the quickest he steps to enter Conventional * include lar structure, veg	Anthone Annuter I we be note proportion	Simula Simula Struct for user-defined roperties for the as heat capacity	คืปวะ tion 5.apvz - Age institut source fined Con for conve overt (D: 1 r molecular	Constructions Constr	Jan spence Reset Run Method ponent	NE Control Particl s Specifica	ີວະກາ input ⊮ History Report Summary atoms × +	ຍນໃນ ຂPure ຂອກay ເງິ	ໃນ Starch Enthal Solubility ∭ PT Envelope Analysis Alias H2	nger A Temary Diag ▲ Residue Curves	
a back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b back b ba	Hanne View Cutato Hanne View Cu	The American Strength of Stren	ref. the quickest the steps to enter Cenventional * include lar structure, veg	Notified Assess	Simula Simula The NIST	やしつてい やしつてい tion 3 aprix - Aquition tion 3 aprix - Aquition mode for a convert or molecular any/mport	Constant Consta	Jan spenC Reset Run Method ponent	NE Control Specifica Specifica	ີວະກາ input History Summary ations × +	eulı ₽ure 2 Binay 1 Mature	Search Ecohou Salubility C PT Envelope Analysis	nyer A Transvy Dieg Kesidue Curres X 10	
	Horn View Cutata Horn View Cutata Horn View Cutata Horn View Cutata Software Company Horn View Cutata Welcome to the year	The second secon	Include	dethads Assister 3	Simula Simula Simula Si NIST	ค่ำประ tion Sapor - Ag tion Sapor - Ag pression Kode creation for conver- for conver- f	Ren Plus V111 Next Run b (PURE) × b (PURE) × s (PURE) ×	Jan - espenC - espe	NE Control Parol s Specifica	ົວະກາ input History History Seport Summary ations >> +	Pure ∠ Binary Minture	Search Erchau Stability Stability Analysis	nge A Ternary Diag ▲ Residue Curves ×	
Bit Control to control to screept the composed and ext. Buddar weight BLOS Bit Controls to control to screept the composed and ext. Buddar weight BLOS Bit Controls to control to screept the composed and ext. Buddar weight BLOS Bit Controls to control to screept the composed and ext. Specific gravity at 60 deg. F: Buddar weight Bit Controls to control to screept the composed and ext. Specific gravity at 60 deg. F: Media gas enthality of formation: Bit Controls to control to screept the composed and ext. Media gas enthality of formation: Media gas weight Cancel Ktrad rags Cancel strady formation:	Annual Constant of the Cardinal Company of the Ca	Ansences	rf, the quickest the steps to enter convertional = include alar structure, veg	Authors Annue C	Simula	やしつてい やしつてい tion 5.aper Arg metion yestion yestion final Con final Con for conve const ID: rendocular construction	ADDI Seen Plus V111 Next Plus V11 Next Runner Ponent W2 V2 Starture V2 Starture V2 Starture	I spenC Run Reset re mentivity	ISU'	າຍ Sະກາ Input Paper Paper Summery stors × +	Pure ∠ Binay Minture	Saurch Erchau Saurch Erchau C PT Envelope Analysis	nge A Ternary Diag A Ternary Diag Relidue Curves	
Cancel Table Neets Trins Andrée Service Cancel Canc	Hornw View Cutata Hornw View Cutata Hornw View Cutata Software Cutata	moze	VI II.	Artholi Asster	Simula	ค่ำประ tion Sapor - Ago tion Sapor - Ago yession yession fired Con for conver power UD: 1 rendecular and/mode fire molecular fired converting fired converting f	neer Plus VII Net Runn Net Runn openeer Wet stancture refused atructure Ne	and ponent	ISU'	າ Swn1 Mistory Report Summary attors × +	Pure Binay	Sterich Erchal Sterich Erchalt Soldbilty △ PT Envelope Analysis Alias H2	rye A Ternary Dag A Residue Curves ×	
s very Analysis	And A a	The second seco	Include all structure, we ponent and wait.	Anthony Antister	Simula Simula The Aust	やしてい たいの Sagnez Age にの Sagnez Age いのでの ののでの たいの Sagnez Age ののでの たいの Sagnez Age ののでの たいの たいの たいの たいの たいの たいの たいの たい	Next Run Next Run POREY X POREY X POREY X POREY X POREY V States Property del het	and ponent re ta	ISU'	「hutu 」 hutu 留 Report Summary メート	פירו פירוי ש Mature	Search Exchai Search Exchai Salubility ∴ Stalubility Analysis Alias H2	nger A Ternæry Dieg A Residue Curves X 10	
specific gravity at 60 deg 5. Specific gravity at 60 deg 5. Second gravi	Horne Vee Cata Horne Vee Cata Port Cata P	Conserve the second the component the second the s	vi (the quicket rd, the quicket be staps to artic include include porsent and exit.	Anthone of the second s	Simula Simula Sinuta Sinuta for user-defined for user-defined as heat capacity	ค่ำประ tion 5.apve - Age tion 5.apve - Age resultion for a conv for a conv for a conv for a conv for a conv for a conv and (mgar and (mgar and (mgar) and (mgar)	nen Plus VII Net Rur Net Rur Ponent Wa VF starture VF starture VF starture property delay	I spenC Run Nethodo	NE Control Con Control	5¥11 Proput Mathema Papenari Sabora × ++	DUll Pure Binay	Sarch Echa Sarch Echa Satubility ∩ FT Professor Analysis Alass H2	nys À Ternary Diag À Residue Curves × 10	
B Betchylo Temary U MIRAC Groups Bar m s separatise terg Analysis terg Analysis	And A a	Convertion of a component Water Convention of a component to component convention of a component convention conventi conventi convent	VI II	Active of the second se	Servia Servia for user -defined for user -defined as heat capacity	やりしてい tion 3 aprix - Aqu into 3 aprix - Aqu into 3 aprix - Aqu into 3 aprix - Aqu into 4 aprix - Aq	NOUL STATES	I - espenC Reset Res Res Res Res Res Res Res Res Res Res		Stand Input Mittay Senort Senort Senort Senort	evl: ₽Pvre ⊘Brnary Monture	Search Eechal Search Eechal Salubility Ω PT Envelope Analysis Alias H2	nge A Temary Diag A Temary Diag A Tensary Diag A Tesidue Curves	
L Wattk Coopse Wattk Coopse spectrace regy Analysis regy Analysis	Annu Annu Annu Annu Annu Annu Annu	Constants	rd, the quickett ind, the quickett he steps to exten conventional * include far structure, very ponent and exit. Center	Noting of Association of Section 2014	Simula Simula Simula Simula Simula Simula Simula Simula Simula Simula Simula Simula	作りしてい tion Super: Aquestion a transformer Control Control Control Control Control Control Control Control Control C	POPULA VII Nett Rur POPULA VII Nett Rur POPULA VII POPULA VII	ard ponent ta	ISU:	5¥n1 → Input → History Support Support Support → History →	evlu 2 Pore 2 Bray 3 Mature	Sarch Echn Sarch Echn Saldshy Analysis Alias H2	nys À ternary Diag À Rendue Curves × 10	- 0
listen gas Gibbs energy of formation:	Hore: No: No: Lista Hore: View Custan Hore: View Cust	The second seco	Include and structure, we poment and exit. Cencent	Anthone Assister	Simula Simula Secure defined or user defined as heat capacity to Finish	作してい A してい A protection A	POPULA VII Next Run Next Run (PURE) C POPULA (PURE) C (PURE) C POPULA (PURE) C POPULA (PURE) C POPULA (PURE) C POPULA (PURE) C (PURE) C (PUR	and ponent	ISU'	Senit	ovlı Pve ZBny Mutur	ABJ Search £cchai ∑ Statubility Artalyzis Analyzis Alas H2	nge A Ternary Diag A Ternary Diag A Ternary Diag A Ternary Diag X Ternary Di Ternary Diag X Ternary Diag X Ternary Diag X Ternary Diag X Ter	
ergy Analysis	An and a second se	The second seco	VI II.	Authority Annues	Simula Si	作りしてい たいの Super: Are restore メートーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー		and ponent ition:	ISU'	Senti	eve ⊘Bury Mature	Ally Servich Evene Sotubility PT Envelope Analysis	pre À tensor Diag À Resolve Curves × 10	
exercises and addition addition and addition and addition a addition addition addita addition addition addition addition add	Horn View Cutato Horn View Cutato Horn View Cutato Software Cutato Software Cutato Software Cutato Horn View Cutato Software Cutato Software Cutato Horn View Cutato Software Cutato Horn View Cutato Software Cutato Horn View Cutato Software Cutato Software Cutato Horn View Cutato Software Cuta	The second secon	VI II	Anthrop Anister 3 Anthrop Anis	Simula Simula Simula Simula as heat capacity to Finish	作してい A and a space A age A and A age A age	nen Pus VII Nea Rue Poner Vus VII Nea Rue Poner Vus VII stantal com Vif stantal com Vif stantal com property data at 60 degi, F, by for ponerty data stantal com property data stantal	and ponent is tition: ormation:	ISU'	SEN1	DULL Pure Bany Bany Mature	Albi Search Echar Satubility Analysis Alas H2	rge A Ternary Diag A Residue Curves × 10	
nalation Cancel «Bock Next» Finals fety Analysis ergy Analysis	Anno View Cutter	The second seco	VIII	Active of Actives	Simula Simula Binst for user-defined as heat capacity to Finals	AUCONSTRUCTION	ROOL VII Net Plus VII Net Rur PONED X PONED	and ponent internetions there is	ISU'	Stand	Prove 2 Prove 2 Brocky 2 Markure 2 mark	Alli Sorth Enduality Solubility Arabysis Allass H2	99 Berlin State Curves	
erg Analysis		The second seco	VI II	Anthone of the second s	Simula Simula Struct as heat capacity to Freak	やりしてい たいの 3 aper2 Age 「Age Age Age Age Age Age Age Age Age Age	NOUL	I - aspenC I - as		SENT	● Dulls	Ali Saurch £ochai Satubility Satubility Aradysis Alias H2	rye A Ternary Dag ▲ Residue Curves ×	
ergy Analysis	Component ID: Ne Comp	The interventional component Water The interventional component with the accept the component interventional component intervention and point mode and	VIII	Activation Activities	Simula Si	AUCE tion Sapor Age internation Sector Sapor Age internation Automatic	NOUL VII Not Plus VII Not Plus VII POURD = POURD = P	Rest Rest Rest Arethod ard ponent res constitution	ISU:	SENI	DULI Pree 2 Decy 2 Dec	All Search Ecchol Salubility Artervope Analysis Allas H2	nge A Temary Diag A Temary Diag A Temary Diag X Tender Curves	
rrgy Analysis	Annow Vees Catas Anon	The second seco	VIII	Noting of Asianaet	Simula Si	作りしてい にの Saper: Age CARAGE Saper: Age Carage Ca	ADDI	I aspend Rest Rest Rest Rest Rest Rest Rest Rest	ISU'	SENI	PAre C Bany Mature	Alaj Sarch Echa Satubility Alas H2 Alas H2	nys A Ternary Diag ▲ Residue Curves × NO	
	Horn Were Cutan Horn Were Cutan Horn Were Cutan Horn Were Cutan Horn Were Cutan Weitersteine Component Weitersteine Component Weitersteine Component Here Weitersteine Component Here Horn Weitersteine Component ID: set Als: Hold Als: Hold Here Cutan Here Cutan Molecutar weight, n Horn Weitersteine Berney Interaction Cutan Here Terminal Here Cutan Here Terminal Here Cutan Here Terminal Here Cutan Here Terminal Here Cutan Here Terminal Here Termi	composed to accept the composed to accept to acce	VIII		Simula Si	n d d sever a severa constantion severa constantion	NOOL VII CONTRACTOR CO	and ponent inter-	15 U ·	SENI Physics Physic	DUUI	Albi Search £cchai Satubility Arastyris Alass H2	nge A Ternary Diag A Ternary Diag A Ternary Diag X A Tern	

รูปที่ ก.4 แสดงการใส่น้ำหนักโมเลกุล

4. ตรวจสอบคุณสมบัติของของไหล โดยเลือก Analysis กดเลือก Pure ทำการเลือกไฮบริด นาโนที่ต้องการวิเคราะห์ ใส่อุณหภูมิ และกดเลือก Run analysis ดังรูปที่ ก 5 และได้ผลดังรูปที่ ก 6



รูปที่ ก.6 ค่าการนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน

5. หลังจากตรวจสอบคุณสมบัติค่า การนำความร้อนของของไหลไฮบริดนาโน ตรงกับค่าที่ได้ จากโครงข่ายประสาทเทียม หลังจากนั้นทำการเพิ่มของไหลไฮบริดนาโนเพื่อใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน เริ่มจาก Utility กดเลือก New Copy form เลือก Blank กด OK ตามรูปที่ ก.7

🔞 : 🖬 🤊 · ୯ · 🖑 🕪 🗐	Id = 1	Simulation 5.apwz - Aspen Plus V11 - aspenONE		- a x
File Home Economics	Batch Dynamics Plant Data Equation Oriented	View Customize Resources	Search E	xchange 🚺 🛆 😰 🖾
X Cut SH ■ Copy ■ Paste Clipboard Units	Run Step Stop Reset	mary input Stream Analysis* in Heat Exchanger mary * in History is Sensitivity in Azeotrope Search Report in Data Fit in Data Fit in Data Stream mmary Analysis	AF Pressure Relief PRD Rating Sis Plare System Safety Analysis	
Simulation	Capital:USD Utilities:USD/Year O Energy	r Savings:MW (%) OD Exchangers - Ur	nknown: 1 OK: 0 Risk: 0 💽	0 12
All Items	Main Flowsheet × Flowsheeting Options × 86 - Input ×	Utilities × U-1 (UTILITY) - Results × Flowsheet × B2 (R	RadFrac) × F1 (MATERIAL) × +	-
2 2 3 TF 3 TP 3 TP 3 TP 3 TP 3 TP 3 ST 3 ST 3 ST 3 ST 3 ST 3 ST 4 St 4 St 5 Routist 4 St 5 Routist 4 St 5 Strommay 8 Results 5 Routister 5 Routister 5 Routister 5 Stromatic 5 Stromatic 5 Stromatic 5 Stromatic 5 Stromatic 5 Stromatic 5 Stromatic	New Export Edit Input Copy Require utility specifications for all utility heat exchangers Name Type Input Cognitian U-1 GENERAL Input Cognitian (Cognitian)	Status Status Caceling Cacelin	Description	Dolete X
Properties	Model Palette			÷ 9 ×
	Mixers/Splitters Separators Exchan	gers Columns Reactors Pressure Changers N	Anipulators Solids Solids Separ	ators Batch Models User Mode • •
🔄 Safety Analysis 🚯 Energy Analysis	→ MATERIAL Mixer - Fspit - Sspit]-		
Input Changed Check Status				durhel 1991 Win Dave tok
		ADDRESS ADDRES		

รูปที่ ก.7 การเพิ่มไฮบริดนาโนสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

6. ใส่ค่าอุณหภูมิและความดันขาเข้าของของไหลไฮบริดนาโน ตามค่าที่ต้องการดังรูปที่ ก.8

🔞 : 🔚 つ - @ - 💖 N> 📰	H = 14 = 1	Simulation 5.apwz - A	spen Plus V11 - aspenONE		- 🛛 🗙
File Home Economics	Batch Dynamics Plant Data Equat	ion Oriented View Customize Reso	urces	Search Exchange	P 🛛 😢 🖾
Copy - Hunit Sets Next	Run Step Stop Reset	Model Summary Input Stream Anu Stream Summary & History Sensitivity Utility Costs Report Summary	Alysis* 🚠 Hent Exchanger 🥵 Pressure Relief Azeotrope Search 🖓 PRD Rating Distillation Synthesis Analysis Safety Analysis	Datasheets	
Simulation <	Capital:USD_Utilities:USD/Year	Energy Savings:MW (%)	Exchangers Unknown: 1 OK: 0 Risl	c 0 🕘.	0 23
All Items 🔹	Main Flowsheet × Flowsheeting Options ×	86 Input × U-1 (UTILITY) - Input × U-1 (U	TILITY) - Results × Flowsheet × B2 (RadFrac) ×	F1 (MATERIAL) × +	
 D2 P2 RF TP TPUT 	OSpecifications Oinlet/Outlet OProper Inlet state variables	ties Flash Options Diagnostics EO Opt Composition Basis Mass	ons Carbon Tracking Comments		
🔺 😂 Blocks	27.207 C +				
> 100 81 > 100 82 > 100 SP2	Pressure • 4.75 bar •	Component Value			
▲ 🔯 Utilities ▲ 🔯 U-1 🛛 🕹	Outlet state variables	DIPE			
o Input	Temperature •	OWSO			
Results	59.9 C -	NF NF			
EO variables	Pressure *	NF2			
Summary Reactions Sorregence	5.25 bar •	NF3 84			
Flowsheeting Options Second Specs Bo Bo Input Cresults EO Variables					
EO Input Summary					
Properties	Model Palette				* 8 ×
Safety Analysis	Miver/Splitters Separato	rs Exchangers Columns Reactors	Pressure Changers Manipulators Solids	Solids Separators Batch Model	s User Mode • •
Input Changed Check Status				distribution and	

รูปที่ ก.8 การใส่ค่าอุณหภูมิและความดันของของไหลไฮบริดนาโน

2. การทดสอบความอ่อนไหวในโปรแกรม Aspen plus

1. โดยเริ่มจาก Model Analysis เลือก Sensitivity กดเลือก New เลือก OK ดังรูปที่ ก 9



รูปที่ ก.9 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

8. ทำการเลือกตัวแปรต้น (Vary)ตัวแปรตอบสนอง (Define) โดยใส่หน่วยให้ถูกต้อง ดังรูปที่

	11										
Image: Second	b = 14 -			Contraction of the local division of the loc							
File Home Economics	P = 14 + 1				Simulation	5.apwz - Aspe	en Plus V11 - aspenONE			- 0	
	Batch Dynami	cs Plant Data	Equation	Oriented V	iew Customize	Resource	es		Search Exchange	P 🖓	
Cut SH Cut SH Cupy - Unit Sets Next Clipboard Units	Run Step Stop	Reset Settings	nel 💌 M 🔂 Si	todel Summary tream Summary tility Costs Summary	Input SS History SS Report S	Stream Analys Sensitivity Data Fit	is* 🚜 Heat Exchanger Mark Azeotrope Search Distillation Synthesis Analysis	Pressure Relief	Datasheets		
Simulation <	Capital:USD Ut	tilities:USD/Year		Energy Savi	ng::MW (_%) (Exchangers Unk	nown: 1 OK: 0 Ris	k 0 🕘.		Ø
All Items	Main Flowsheet ×	Flowsheeting Optio	ns × B6	Input × S-1	× U 1 (UTILITY)	Results ×	Flowsheet × B2 (RadFrad) × F1 (MATERIAL)	x +		
Reactions -					le i i	1					
Design Specs B6 Jonut Creater Results	Manipulated v	Case study ariables (drag and dro Active	p variables	from form to th Manipu	e grid below) lated variable		Units				
EO Variables	F 1	1	Block-W	ar Block=SP2 Va	riable=FLOW/FRAC S	Sentenc					
EO Input	2		Block M	ar Block=82 Vari	ablashi E E Conto	areas 1	mal/sec				
Summary		12	Chock-W	in Diock-De Vall	able-mole-b serve	had a half a	cinoyse.				
Calculator	- 3		stream-	var stream=F2 :	ubstream=MIXED V	anabie					
Stream Library	1 4		Stream-	Var Stream=F2 5	iubstream=MIXED V	ariable	bar 👚				
Balance	F 5	1	Stream-	Var Stream=F2 5	ubstream=MIXED V	ariable	cmol/sec				
🔄 Measurement	F 6	1	Utility-V	ar Block=U-1 Va	riable=T-IN Sentenc	ce=PAR	c				
📴 Pres Relief	F 7	1	Utility-V	ar Block=U-1 Va	riable=PRES-IN Sent	tence=P	bar				
Add Input	8		Utility-V	ar Block=U-1 Va	riable=FRAC Senten	ce=CO					
Model Analysis Tools	1 0	121	Block W	er Block-R1 Vari	able= AREA Septence	-DARA					
A g sensitivity			DIOCK	a block-bit van	sole-ArcA Sentend	E=PARAL	adau				
Optimization Constraint Data Fit Book EO Configuration Data Results Summary Datacheate	Edit selected v Manipulated v Variable	ariable ariable		Copy	Paste						
T Properties	Туре	Block-Var	•								
G Simulation	Block: Variable:	SP2 FLOW/FRAC	• #								
Safety Analysis	Sentence:	FLOW/FRAC									
69 Energy Analysis	ID1:	RF	•								

รูปที่ ก.10 การเพิ่มตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ความอ่อนไหว

◎:日の・で・年№回	▶ == 14 = :	Simulation 5.apwz - Aspen Plus V11 - aspenONE	- a x
File Home Economics	Batch Dynamics Plant Data	Equation Oriented View Customize Resources	Search Exchange 🛛 😥 🙃 👽 🛛
Cut SH Name Copy - Unit Sets New Clipboard Units	Run Step Stop Reset	nal ZModel Summary input Stream Analysis in Heat Exchanger in Hatory Semilivity Azeotope Search in Hulty Costs in Report Matrix Analysis Analysis Summary Analysis	A ^{ga} Pressure Relief Ap PRD Raing Datasheets Safety Analysis
Simulation <	Capital:USD_Utilities:USD/Year	Energy Savings:MW (%) Exchangers Unkn	own: 1 OK: 0 Risk: 0 💽
All Items	Main Flowsheet × Flowsheeting Optio	ns × B6 - Input × S-1 × U-1 (UTILITY) - Results × Flowsheet × B2 (RadFrac)	× F1 (MATERIAL) × +
Convergence	Vary ODefine OTabulate O	otions Cases Fortran Declarations Comments	
Flowsheeting Options			
🔺 🚵 Design Specs	Sampled variables (drag and drop variables)	riables from form to the grid below)	
🔺 🏹 B6	Variable	Definition	
input			
Results	Mole-Frac Str	eam=IPOUT Substream=MIXED Component=IPA	
EO Input	P Q Block-Var Blo	:k=B1 Variable=QCALC Sentence=RESULTS Units=kW	
Summary	TNFOUT Utility-Var Blo	ck=U-1 Variable=T-OUT Sentence=PARAM Units=C	
Calculator	FNF Utility-Var Blo	ck=U-1 Variable=REQUIREMENT Sentence=RESULTS Units=kg/sec	
🗀 Transfer	+		
Stream Library			
Balance	New Delete Co	y Paste Move Up Move Down View Variables	
Measurement Dres Palia	Edit selected variable		
Add Input	Variable OIPA -	Reference	
A Contraction Model Analysis Tools	Catanana	Type Mole-Frac +	
4 Sensitivity	Category	Stream: TPOUT ·	
Þ 65-1	III O All	Substream: MIXED *	
Optimization	O Blocks	Component IPA	
Constraint	(i) Streams	component. Inv	
P Data Fit	Jucanis		
Results Summary	O Model Utility		
III Datasheats *	Property Parameters		
	Reactions		
Simulation			
Safety Analysis			
69 Energy Analysis			
	Model Palette		÷ 9
neut Changed Chack Status	•		1000
riput changed Check Status	17		100% () ()

รูปที่ ก.11 การเพิ่มตัวแปรตอบสนอง

9.ใส่ค่าตัวแปรที่ได้จากโปรแกรม Design expert หลังจากนั้นกด Run สอบผลที่ได้ และนำ ผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยโปรแกรม Design expert ดังรูปที่ ก 12

Home Economi	cs	Batch	h Dyr	amics Pla	ant Data	Equation Ori	ented Viev	Customize	Resource	:05					Search	Exchange		🔎 🙃	
opy = H Unit Sets	lext	Run	Step St	op Reset	Control Par Reconcile Settings	nel Mod	el Summary Im Summary * y Costs Summary	Input History Report	Stream Analy Sensitivity Data Fit	sis* 🖓 Heat Mazeot Distill Analysis	Exchanger trope Sear lation Synt	ch 🕅	Pressure Relie PRD Rating Flare System Safety Analysis	Dat	asheets	Custom	Parametric = Plot	Add Curve -	
Ilation	•	Capital	USE	Utilities:	USD/Year		Energy Saving	:MW (%)	Excl	hangers -	Unknown	1 OK: 0	Risk: O	٠.				0
ims	•	Main	Flowshee	t × Flowshe	eting Option	ns × 86 - In	put × S-1 ×	U-1 (UTILITY)	- Results ×	Flowsheet	B2 (Ra	adFrac) ×	F1 (MATERIA	Û×1	÷				
Reactions	•							1	1	3									
Convergence		0	/ary	Define 1	abulate 0	iptions	ases Fortran	Declarations	Comments										
Flowsheeting Options		Valu	ues for var	ied variable -															
Design Specs			Case	Use	Case	Vary 1	Vary 2	Vary 3	Vary 4	Vary 5		Vary 6	Vary 7		Vary 8	Vary 9	-		
@ Input					Descript	tic													
Results		•		1 🗸		0.7	4 0.3	15 1	89	1.05	0.185		27.5	4.75		92	507		
2 EO Variables				2 🗸		0.6	6 0.2	85 1	89	1.12	0.185		22.5	4.75		92	507		
O Input				3		0.6	6 0.3	15 1	89	1.05	0.185		22.5	4.75		92	459		
Summary				4 🗸		0.6	6 0.2	85 1	71	1.12	0.168		27.5	5.25		92	459		
Calculator				5 🗵		0.6	6 0.2	85 1	89	1.05	0.185		27.5	5.25		92	459		
Transfer				6 🔽		0.7	4 0.3	15 1	71	1.05	0.168		27.5	5.25		92	507		
Stream Library				7 🗵		0.7	4 0.2	85 1	71	1.05	0,168		22.5	4.75		92	507		
Moscurament				8 17		0.6	6 0.3	15 1	89	1.05	0.168		22.5	5.25		92	459		
Pres Relief				9 2		0.7	4 0.3	15 1	71	1.05	0.185		22.5	5.25		92	459		
Add Input				0 17		0.7	4 0.2		89	1.12	0.185		22.5	4.75		92	459		
Model Analysis Tools				1 [2]		0.7	4 0.2		71	1.05	0.169		27.5	5 25		07	450		
@ Sensitivity				2 17		0.7	6 0.2		00	1.05	0.160		22.5	4.75		02	450		
@S-1				2 [9]		0.0	0 0.2		07	1.05	0.100		22.5	4.75		76	455		
Optimization				3 1		0.6	6 0.2	15 1	89	1.05	0.168		21.5	5.25		92	507		
Constraint				4 🗹		0.6	0 0.2	55 1	89	1.12	0.168		22.5	4.75		92	507		
Data Fit			1	5 12		0.7	4 0.2	85 1	89	1.12	0.185		27.5	4.75		92	507		
Perulte Summary			1	6		0.6	6 0.3	15 1	89	1.05	0.168		27.5	4.75		92	459		
Datashaats	•		1	7 🔽		0.7	4 0.3	15 1	89	1.12	0.168		27.5	4.75		92	459		
ropartias			1	8		0.6	6 0.2	85 1	71	1.05	0.168		22.5	5.25		92	507		
oper ner			1	9 🔽		0.6	6 0.3	15 1	89	1.05	0.185		27.5	5.25		92	507		
imulation			2	0		0.7	4 0.3	15 1	89	1.12	0.185		22.5	5.25		92	459		
data tanta la			2	1 🗹		0.6	6 0.2	85 1	71	1.12	0.168		22.5	5.25		92	459 💌		
atety Analysis		V	iew varied	variables															
nergy Analysis																			
	N	Aodel P	alette																

รูปที่ ก.12 การใส่ค่าตัวแปร

		-0.16941	-0.26897	0.209147	-0.79285	0.082182	0.979894	-1.09681	0.427003	0.774235	-0.00177	0.397055	-0.69496	-0.30964	-0.58272	-0.31214
		0.848084	-0.92137	-0.83523	-0.98633	0.501557	0.817757	0.181299	-1.45828	0.009925	-0.2206	-0.73319	-0.10201	0.835612	0.21323	-0.95118
		0.598881	0.336669	-0.45683	-0.59633	0.126069	-0.80099	-0.55335	-0.43197	-0.13382	0.270731	0.60751	0.758366	1.097514	0.970825	-0.53499
ามร้อน		0.513146	0.747002	-0.66564	-0.19547	0.037788	1.197878	-0.07946	-0.43494	0.276394	-0.98416	-0.94581	-0.09795	0.699252	0.335853	0.787853
มค่าการน้ำคว		-0.058461	0.193306	-1.004776	-0.379134	0.281147	-0.621993	0.918328	-0.621984	-0.940504	0.068973	-0.240317	0.741224	0.297878	0.489731	0.207036
ประสาทเทีย		-0.08684	-0.32821	-0.78406	-1.15675	0.13692	-0.07955	-0.45296	0.355893	-0.24046	0.29334	0.80824	0.290857	0.302493	0.633063	0.181182
องโครงข่าย		1.061431	-0.98257	-0.28439	-0.47588	-1.76842	-1.00107	1.900051	0.094223	0.728821	1.038444	-0.02791	-0.39765	-1.04454	-0.26605	-0.46096
เซ่อนที่ 1 ข		-0.59442	-0.42836	0.225939	0.44053	-0.46642	0.042256	0.467402	0.522838	0.945635	-1.08814	-0.06491	0.456327	-0.00081	1.198907	0.941949
าะ b ของชั้เ		1.185536	0.218125	-1.36453	-0.13997	1.003691	0.011955	0.296605	0.656118	-0.26343	0.042752	-0.96939	-0.93559	1.161791	-0.94682	-0.19439
.1 ค่า W _i แล	IW1_1	-0.74439	-0.72739	0.736593	-0.02438	0.360103	-0.50102	-0.50965	-0.35427	-0.51586	0.955524	0.938108	-0.39612	-0.12003	0.570994	0.685238
ตารางที่ ข.	b1	2.22173	1.715114	-1.29447	-1.39628	-0.77844	0.54215	0.367343	-0.01163	-0.05112	0.994649	0.867448	-1.32866	1.407316	1.430103	1.875083

1. ค่า W_i และ b ของโครงข่ายประสาทเทียมของค่าการนำความร้อน

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.2 ค่า W₂ และ b ของชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นส่งออก ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าการนำความร้อน

b2	IW2_1														
1.55805	-0.45001	0.89564	-0.30985	-0.39850	0.51816	-0.65797	-0.11628	0.42585	0.87710	-0.34111	-0.49040	-0.42929	0.20633	0.58504	-0.79117
1.54652	-0.36743	0.32047	-0.27397	-0.39569	-0.59235	-0.76300	0.48078	0.40695	-0.31762	0.24990	-0.33915	-0.63295	0.47002	-0.51136	-0.04975
-1.04767	0.48339	-0.02397	-0.77093	0.42351	-0.56115	-0.52150	-0.70648	-0.77907	-0.32716	0.56419	-0.30915	-0.52391	0.67289	0.32167	0.19374
0.78847	-0.19384	-0.42327	0.36196	0.56535	-0.64656	0.36774	0.06193	-0.36916	0.62456	0.36053	0.37233	0.55820	-0.86652	-0.31012	0.25628
-0.80220	0.52417	0.53462	-0.46964	-0.62839	0.34134	-0.37263	0.56350	1.13026	0.12576	-0.25456	-0.21223	-0.11864	0.14556	0.02409	-0.33264
-0.38248	0.38811	0.59574	0.35581	0.46981	0.49528	-0.50181	-0.04693	0.60447	0.24906	-0.52048	0.38404	0.49855	-0.13394	-0.34709	0.46411
0.24777	-0.60366	-0.18389	-0.29456	-0.42006	-0.15058	0.42361	0.58460	0.22739	-0.72622	-0.66731	0.29629	0.18487	-0.20069	0.09542	0.03799
-0.24272	-1.05100	-0.70577	0.01708	0.92875	1.62342	-0.19450	-1.43308	0.46161	-0.04784	-1.28410	0.17480	0.64793	0.25402	-0.87579	-0.84566
-0.22229	-0.85948	-0.41786	0.36345	0.70460	-0.29960	0.39195	0.16323	0.53333	-0.67551	-0.35399	0.34117	-0.13943	-0.21619	-0.38056	-0.34123
0.52997	0.27910	0.17955	0.50481	0.02719	-0.75544	0.24074	-0.72830	0.32354	0.32414	0.35658	0.80108	-0.66833	0.18753	-0.50236	0.30450
-0.87366	-0.41115	-0.51739	-1.10842	0.09745	-0.14857	0.49137	0.84071	-0.27885	0.23401	-0.88709	0.78171	-0.83002	1.02258	0.05744	-0.19700
1.10521	0.73980	-0.27763	-1.11087	0.28879	0.32980	-0.19319	0.38351	-0.44196	0.68863	0.36189	-0.40766	-0.23627	-0.27510	0.16146	-0.39593
-1.11286	-0.01135	0.01659	-0.68587	-0.84612	0.31987	0.50510	0.76601	-0.15365	0.21721	0.42377	0.54358	-0.45242	0.01967	-0.26766	-0.43277
-1.45566	-0.78742	-0.32664	0.26216	-0.06430	0.09319	0.08228	-0.23196	0.17866	0.53873	-0.71312	-0.48772	-0.44753	-0.84600	0.65329	0.48737
1.61171	0.04491	-0.19255	0.76675	0.29656	-0.06059	0.17022	-0.30504	0.16682	0.52654	-0.44221	-1.02330	-0.82242	-0.19360	-0.24289	0.28605
b3	IW3_1														
0.3605	-1.3777	0.1548	-0.5459	0.2439	0.6317	-0.1013	-1.1224	-1.6365	-0.4555	0.5377	1.6916	-0.8950	-0.3454	0.3769	-0.7422

b1	IW1_1									
1.849164	-0.78078	-0.55123	-0.18344	-0.87181	0.880628	-0.769219	0.15364	0.617059	-0.30431	-0.23632
1.372185	0.046142	-1.09942	-0.66279	0.326194	0.123599	-0.804105	-1.12248	0.697054	-0.76817	0.620261
1.428139	-0.49578	1.01121	-0.38977	0.832378	-1.5895	0.32888	-0.90333	-0.37258	-1.00637	-0.43452
-1.21781	0.476812	0.086816	-0.07693	-0.43826	1.036316	0.124884	-0.84625	1.201758	-0.82599	-0.49953
-0.82069	0.000649	0.113706	0.906959	-0.78159	-0.03397	0.499062	-1.41913	0.371686	0.07664	-1.01599
0.688851	-0.66005	0.654669	-0.48647	0.843618	-1.01693	0.322241	-0.65644	0.241975	-0.96949	-0.52448
0.153081	-0.93154	0.306498	-0.30631	-1.0738	0.072615	-0.667622	1.085335	-0.56539	1.274192	-0.758
0.200211	-0.61129	-0.24658	-0.60444	1.452859	0.881194	0.417882	-0.42908	-0.19126	0.066793	-0.22129
0.797661	0.477544	0.255132	0.19739	1.124446	0.767263	0.327359	0.347592	1.015641	-0.6701	0.116327
0.956716	-0.3015	1.106361	0.3797	-0.05116	0.418909	-0.410685	0.141473	0.610413	-0.62928	0.614805
-0.99789	-0.49415	-0.41393	-0.3943	-0.46568	1.251103	0.240681	0.658454	-0.9213	-0.33751	0.221564
-1.06907	-0.73772	0.328188	0.386362	0.074179	0.881976	-0.85493	-0.07888	0.465759	0.034449	0.915506
-1.52066	-0.52939	1.524293	0.14228	0.150109	0.239278	-0.143745	0.427631	0.580063	-0.74646	-0.29807
1.129901	0.685493	-0.71118	0.302468	1.201564	0.671809	-0.66724	0.077427	0.604437	-0.54027	-0.96712
1.999366	0.11547	0.259167	-0.12241	1.865911	-1.13902	-0.347353	0.008437	-0.58013	0.975952	-0.82562

ตารางที่ ข.3 ค่า Wi และ b ของชั้นช่อนที่ 1 ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าความร้อนจำเพาะ

2. ค่า W_i และ b ของโครงข่ายประสาทเทียมของค่าความร้อนจำเพาะ

20	2
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	:
	-
าจ	2
ي ا	)
***	2
é	
- 6	
5	S
n N	
U L	2
Ĵ	
33	)
<u>~</u>	)
	)
-6-	5
ېر ۲	
, Č	5
ر م	-
66	5
لم ا	
6	)
-27	ź
ar S	2
کے وہ	2
ů	5
1	5
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	1
- <u>8</u> 2	-
6)
Jey	2
?? ??	5
6)
6)
2	2
30)
rrø	ŝ
Š	
-È	
4	
9	2
<u>م</u> .	
ć	-
ຳ,	
ප	•

b2	IW2_1														
-1.6412	0.0839	-0.3783	0.6698	-0.3934	-0.2053	-0.4532	0.6146	0.3319	-0.3671	0.4892	0.7525	0.2766	-0.2893	0.3058	-0.3482
-1.3423	0.4460	0.4724	-0.8443	-0.2097	0.3585	-0.4671	-0.2688	0.3125	-0.8527	-0.4356	-0.5376	0.5099	-0.0156	-0.8443	-0.1070
1.3978	-0.0938	0.8257	0.1051	-0.8106	0.3137	-0.1707	-0.1181	-0.5961	0.2325	0.3929	0.2402	-0.2966	0.4496	0.4945	0.3954
1.1137	0.1155	0.7163	0.7673	0.4160	0.4319	0.0464	0.2302	0.0543	0.3335	-0.7410	-0.3687	0.4222	-0.3855	0.6495	0.7472
-0.6219	0.3554	-0.1338	-0.6717	0.5755	0.1426	0.4033	-0.8863	-0.2589	-0.6388	0.0570	0.7022	-0.7234	-0.3566	-0.2222	-0.9895
-0.3587	0.8932	-0.4066	0.3939	0.0858	-0.4251	0.0521	0.9194	0.2908	-0.4359	0.4513	-0.7139	0.1013	0.3609	-0.1960	0.1887
0.2744	-0.3856	-0.3482	0.8550	-0.0541	0.4926	-0.7558	0.4713	0.1135	0.1302	0.5364	0.2479	0.4127	0.0403	0.4782	-0.5464
-0.0948	0.0627	0.4662	-0.5038	-0.3037	-0.1466	-0.7709	0.2113	0.9068	-0.0244	-0.1536	0.3135	-0.3161	0.7504	0.8648	-0.8268
0.5039	0.3565	-0.5175	-1.0736	0.3780	-0.0651	-0.8976	-0.4943	0.9563	0.7774	-0.3750	0.1507	0.3704	-0.5409	0.3650	1.0635
-0.3553	0.1389	-0.2243	0.3688	0.0182	-0.1385	-0.1468	0.2043	0.5515	0.1685	1.0589	-1.0419	0.3648	0.3962	-0.0102	0.3418
0.7856	0.6324	0.8224	0.5191	0.4950	-0.4582	0.3502	-0.4782	-0.1074	-0.1156	-0.3525	-0.7140	0.4334	0.1773	0.0107	-0.1894
-0.7774	-0.0564	0.0210	0.3379	0.0743	0.5764	-0.5357	-0.0291	-0.8714	0.3182	-0.9858	0.0993	-0.0521	-0.5767	0.2322	0.8199
-1.3594	-0.6051	-0.1274	0.6484	0.7831	-0.1890	0.4320	-0.2493	-0.0477	-0.4665	-0.6113	-0.1216	0.5995	-0.0041	0.8576	-1.1429
1.4763	0.4164	-0.7925	-0.7947	-0.7616	-1.0058	-0.1596	0.7952	-0.9621	0.1052	-0.0032	-0.5499	-0.3335	-0.2516	0.2509	-0.3627
1.7072	0.2314	-0.0662	0.3696	-0.1076	0.1256	0.4756	0.7880	-0.4911	0.4025	-0.3597	0.7265	-0.4741	0.1246	0.5316	-0.3789
b3	IW3_1														
0.7109	-0.0821	1.0459	-0.3621	-0.4673	-1.0817	-1.0527	0.7961	1.0007	-1.0304	-0.4629	0.4175	0.1431	1.3521	1.5872	0.2157

		-0.52147	-0.2359	1.23304	-0.78828	0.604645	0.825457	-0.50879	1.013525	-0.023	0.033671	-0.2216	-0.80358	-0.86778	-0.25597	0.219688
		0.102831	0.512415	0.21559	-1.03677	-0.73111	-1.01987	-0.06089	0.450844	-0.29562	0.122354	-0.24172	-0.55189	-0.05571	1.334775	0.721158
		0.087197	-1.00289	-0.81108	-0.78505	-0.45226	-0.04984	0.770867	0.766066	-0.2962	1.819725	1.322538	-0.4566	-0.0871	0.789235	0.821137
		1.007116	-0.92322	-0.37245	0.078651	0.360996	0.167825	0.638925	-0.85042	1.216775	-0.33898	-1.02744	0.636596	-0.02323	0.067378	-0.47199
่ำความหนึด		-0.619767	0.723287	0.220892	0.002868	1.528837	0.543908	0.406225	-0.763219	-0.491757	-0.449508	-0.662761	0.32197	1.447128	-0.315819	-0.388188
ระสาทเทียมค		0.232088	0.075997	0.761663	1.183825	0.159667	0.020819	1.25378	-0.92017	0.058814	0.390202	0.424193	-0.50869	0.170338	-0.67423	-0.81719
งโครงข่ายปร		0.78633	0.655338	-0.82808	0.972757	-0.38131	1.59629	0.070248	-0.76897	-0.66694	-0.5258	-1.16921	0.574834	0.001194	-1.00481	-1.29649
ซ่อนที่ 1 ขอ		0.080319	-0.10948	-0.65538	-0.72596	0.027951	-1.38571	-0.46669	-0.4276	-0.89208	-1.15636	-0.12823	0.604678	0.883816	0.865014	1.560434
าะ b ของชั้น		0.807394	0.829558	-0.20966	-0.59163	0.648286	-0.60476	-0.76656	-0.16875	1.033597	0.850925	-0.41519	0.254366	0.559126	-1.5653	0.112316
.5 ค่า W ₁ แถ	IW1_1	0.359292	-0.14058	-0.79921	-0.29318	-0.5353	-0.8001	0.344336	-0.06591	-0.42477	-1.35879	1.505486	1.075085	-0.89136	0.762105	1.007346
ตารางที่ ข.	b1	-1.90338	1.606744	1.535435	1.044486	0.847645	1.043394	0.097385	-0.11239	-0.15812	-0.53444	0.603633	1.207942	-1.84003	1.139092	1.549454

3. ค่า W_i และ b ของโครงข่ายประสาทเทียมของค่าความหนืด

e E
พ
าม
ີ (
2
Ъ
ے ت
ື່ມເງິ
λL
23
ۍ ۲
ີລ
<u>ا</u> م-
کو
ي آ
<u>م</u>
ീ
L) L
ເວ
<u>3</u> -
2
్టి
ູຍ
\sim
-75-
ູໃ
-0 0
3 2 2
J.
96
Ω
<u></u>
9n
\sim
2
-6
9
ී.
1 Mai
Ľ,
ין'
Ś

		0.5434	-0.4480	-0.6788	-0.7081	0.4300	-0.6475	-0.7451	0.3319	0.2815	0.8850	-0.7959	0.0535	0.9275	0.0969	0.6985		0.3923
		-0.5295	-0.2304	0.7204	-0.3428	0.4121	-0.0501	0.4567	0.6796	-0.7699	1.0019	-0.1406	0.8574	-0.8352	-0.1815	-0.4237		0.4717
		0.0266	-0.5776	-0.9203	-0.5454	0.3953	0.3773	0.1042	-0.1399	0.7258	0.3058	0.1942	-0.3366	-0.2401	0.3545	-0.3968		1.3357
		0.7719	0.6065	0.2414	0.0409	0.5824	0.5907	0.3897	0.0987	0.8158	0.1845	-0.4017	0.4157	0.0040	0.2246	0.2343		0.7199
		1.0089	0.2195	0.7256	0.3554	0.2450	-0.8172	0.6262	0.4033	-0.0644	0.4469	-0.5469	-0.7545	-0.0315	-0.7038	-0.2097		-1.1878
		1.6381	-0.4825	-0.2262	-0.5246	-0.8720	-0.7888	-1.1187	0.0374	-0.8484	0.6287	-0.0691	0.6375	0.5381	-0.0285	-0.5850		-0.3624
		0.1945	0.4318	-0.8794	-0.0834	0.5801	0.2030	-0.5421	0.6747	-0.5718	-0.3621	0.3461	-0.0808	-1.0868	-0.3417	-0.1887		-1.0624
		-0.3557	-0.1126	0.3641	-0.2318	-0.1879	-0.4538	-0.8139	0.6900	0.5804	0.1937	0.8142	0.3713	0.6098	-0.2962	-0.0691		0.2806
		0.1147	-0.7216	0.7144	0.7622	0.7680	0.3490	0.6462	-0.3561	-0.6734	0.2029	-0.9047	-0.2293	-0.1065	-0.6170	0.1402		-0.8302
		-0.3765	0.1481	0.1589	1.0148	0.2033	0.4649	0.2647	0.7645	0.9277	-0.7851	-0.9445	-0.7548	0.8759	-0.6646	0.4300		0.7082
		0.3240	-0.2230	-0.0087	-0.5401	0.3563	-0.1576	-0.3453	0.5759	-0.4413	0.7095	0.4398	0.4033	-0.5290	-0.1462	0.1080		0.4563
		-0.8577	0.2426	0.0627	-1.3562	0.4851	-0.4028	-0.3060	0.4381	0.3399	0.3416	-0.3389	-0.0089	0.0912	0.3852	0.0743		1.6012
		-0.1563	-0.3215	-0.8888	0.3126	0.4035	0.6421	0.6466	-0.0216	-0.3613	0.2695	0.7117	0.3587	-0.6773	-0.0097	-0.7195		-1.5177
٢		0.7121	0.3750	-0.1832	0.2814	0.5981	-0.8461	0.3395	0.2812	-0.6270	0.3102	-0.4575	-0.5530	0.2654	0.7349	-0.3754		-0.0857
	IW2_1	0.2835	-0.6120	0.2580	0.6364	-0.2269	-0.4277	0.2358	-0.1014	-0.7046	0.5723	0.3277	-0.4178	0.5760	-0.8131	-0.4302	IW3_1	-1.1897
	b2	-1.3357	1.5273	-1.0472	-0.9627	0.9010	0.3872	0.0620	0.0561	-0.1247	0.5339	0.5805	-1.0660	1.1966	-1.5761	-1.8531	b3	0.6527
ตารางท ข.	./	18 D JOJU	ชอนท 1 ของ	เครงขายปร	ะสาทเทยมค	าความหนาเ	ู่ในใ											
-----------	----------	-----------	------------	-----------	-----------	-----------	----------	----------	----------	----------								
b1	IW1_1																	
-1.8284	0.793893	-0.67687	0.098797	-0.79463	0.218384	-0.849222	-0.41373	-0.4431	-0.20444	-0.91218								
1.672157	-0.33762	-0.96117	0.7508	0.643726	0.482828	0.625423	-0.22366	-0.29863	0.151094	0.166727								
1.25594	-0.88387	0.740975	0.045459	0.501679	0.350545	-0.742645	0.635515	-0.62555	0.877979	0.752712								
1.141952	-0.44391	-0.80574	-0.30688	0.461609	0.89538	-0.833043	-0.18312	0.692114	-0.25966	0.156782								
0.737708	-0.44671	1.049232	0.748093	0.279728	0.181656	-0.020325	-1.0487	-0.68834	0.797326	-0.61314								
-0.46554	0.130089	0.46089	-0.8721	0.680131	-0.70518	-0.683681	-0.44879	-0.83718	-0.50844	-0.34786								
0.194192	-0.61178	0.019792	0.733806	0.796946	-0.4453	0.758498	-0.18119	-0.25774	0.542158	-0.00636								
-0.02244	0.334595	0.011363	0.765057	-0.18238	0.779844	0.610502	0.557021	-0.60274	0.294546	0.944946								
0.168153	0.370597	-0.48167	0.361414	0.652441	-1.03936	0.410694	1.036115	0.063264	0.14582	-0.56429								
-0.39226	-0.5979	-0.04222	-0.51187	-0.70246	-0.15474	-0.666609	-1.03371	-0.5148	0.276105	0.572866								
-0.92468	-0.74365	0.888787	-0.76626	-1.16773	-0.62555	0.087798	0.2619	0.705391	0.336671	0.342288								
-1.08704	-0.32648	-0.02821	-0.25914	0.332991	1.16589	0.023032	-0.02625	0.963607	-0.71454	-0.24815								
-1.44228	-0.29857	-0.03509	0.155971	0.206212	0.783604	0.823007	-0.25906	-0.82503	-0.6229	-0.5267								
-1.54448	-0.10772	-0.7307	-0.7652	0.263932	0.008148	0.332801	0.370902	0.598565	1.24554	-0.15152								
1.767474	-0.06172	0.053143	0.706132	1.121872	-0.16085	0.642796	0.442955	-0.49056	-0.67859	-0.12388								

เงที่ ข.7 ค่า W1 และ b ของชั้นซ่อนที่ 1 ของโครงข่ายประสาทเทียมค่าความหนาเ

_

Г

-23
ll
È
ž
5
Ľ
ے ا
3
ಕ್
u ⊇≣
ll,
2
7
22
2
ຼ
ц Ц
-,
5
ě
<u>ل</u> ل ال
á
ව
\sim
-70
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
6
<u>ਫ</u> '-
್ಷ
~~ 2
á
۵ ژ
0
~~~
6
699
2
~
_
- 🤄
Š
ω <u>.</u>
ి
77
2
Š
Ę
2

	-0.1597	0.3759	0.6951	0.4414	-0.2940	0.0379	-0.8034	-0.5249	-0.6692	0.3318	0.0125	-0.3180	-0.0023	-0.6092	-0.8088		0.7976
	0.4705	0.6357	-0.3686	0.3499	-0.0741	0.5170	0.5518	-0.5452	0.6720	0.5405	0.0066	0.4704	0.1953	-0.5832	-0.5828		-0.3420
	-0.8015	-0.2498	-0.1209	-0.3438	-0.4691	0.5438	-0.2867	0.6402	-0.1848	0.3254	-0.1222	0.6806	0.6459	-0.2949	-0.4861		0.3181
	-0.0899	-0.5037	0.2463	-0.2211	-0.7215	0.3619	-0.3420	0.1370	0.2780	-0.2317	0.5275	0.0752	0.4429	0.3506	-0.0665		0.7196
	0.4188	0.5866	0.6884	-0.4678	-0.5033	0.3219	-0.7251	-0.2174	0.3493	0.2605	-0.2233	-0.3852	0.3158	0.4195	-0.1607		0.6484
	0.2225	0.2239	0.2290	0.4555	0.1478	0.8632	-0.2773	-0.6457	-0.7389	-0.4389	-0.2286	0.1363	-0.3237	0.4203	0.3511		0.3115
	-0.1638	0.4982	0.4362	-0.5791	0.1357	0.0818	-0.1544	0.3975	-0.1976	-0.2699	-0.7084	0.7728	0.2122	-0.0187	0.1110		-0.7692
	0.3853	0.2680	0.2867	0.7350	-0.6601	0.2723	-0.3124	-0.5719	0.1798	-0.3208	0.0184	0.6144	0.6160	-0.1573	0.3683		0.8172
	0.0598	-0.4423	0.3786	-0.3797	0.8348	-0.1572	0.4522	-0.6066	-0.1065	-0.8823	0.0706	0.0137	0.1020	-0.0539	0.3061		0.8798
	0.4074	-0.6829	0.1559	-0.0195	0.1125	0.4855	-0.5051	0.7119	-0.1407	-0.4399	-0.6747	0.3820	-0.0773	-0.6318	-0.1414		0.6446
	0.4040	-0.3185	0.2631	0.2911	-0.7111	-0.2690	-0.7587	0.2143	0.5068	-0.3210	0.6279	0.2410	-1.0681	0.1617	-0.2372		0.4978
	0.1028	-0.1373	-0.6033	-0.3582	-0.7379	-0.3375	0.2105	-0.0548	-0.1222	0.3484	-0.1068	0.6316	0.4102	0.8845	-0.5060		0.2136
	0.3305	0.1982	-0.6381	-0.5884	-0.2087	-0.0350	0.6834	-0.0193	0.5518	0.1314	0.9376	0.4360	-0.4147	-0.6109	0.3689		0.7709
	0.6961	0.5742	0.5521	-0.4211	0.1543	-0.5404	0.0200	-0.2425	-0.6141	-0.2491	-0.0468	-0.5217	0.2554	-0.0832	0.4388		-0.1804
IW2_1	-0.7234	0.1224	-0.4829	-0.4085	-0.0440	-0.2692	-0.8108	0.0807	-0.4190	0.1682	0.7823	0.3344	-0.4289	0.2459	-0.7971	IW3_1	0.4066
b2	1.6445	-1.4396	1.1242	0.8288	-0.7473	0.4544	0.1609	-0.1451	-0.2569	0.5817	0.6851	0.8931	-1.1930	1.4328	-1.7185	b3	-0.7449