

บทที่ 4

ผลการพัฒนาโปรแกรม

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการเลือกและการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นโปรแกรม HEXPERT หรือ HEAT EXCHANGER EXPERT ภายใต้ระบบการทำงาน Microsoft Windows 3.11 Thai Edition สามารถแยกโปรแกรมเป็น 3 ส่วนหลัก คือ โปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม และโปรแกรมเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ และโปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล

โปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม

องค์ประกอบหลักของโปรแกรมส่วนนี้ คือ ฐานความรู้ของข้อกำหนดที่ใช้ในการเลือกชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งรวบรวมจากข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญหลายๆ ท่าน ประกอบกับลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละชนิด ดังจะกล่าวต่อไป

ฐานความรู้ของข้อกำหนด

จากการรวบรวมข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญหลายๆ ท่าน เพื่อให้เลือกชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สรุปข้อกำหนดต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.1 โดยจำนวนของเครื่องหมาย * บอกระดับความสอดคล้องกับข้อกำหนด (Criteria) นั้น ว่ามีมากน้อยเพียงใด ถ้ามีจำนวนเครื่องหมาย * มาก แสดงว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีสมบัติที่สอดคล้องกับข้อกำหนดนั้นมาก เช่น สมบัติความกะทัดรัด (Compactness) สำหรับ PHE และ SHE มีจำนวน * เท่ากับ 4 แสดงว่ามีความกะทัดรัดมาก แต่ ACHE, DP และ S&T มีจำนวน * เพียงหนึ่ง แสดงว่าต้องการพื้นที่ติดตั้งมาก เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 สรุปข้อกำหนดของการเลือกชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ข้อกำหนด (Criteria)	ประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน				
	ACHE	PHE	SHE	DP	S&T
1. Pressure, kPa	41,370	2,500	2,100	4,140	55,160
2. Temperature, °C	ξ	175	815	540	540
3. Max m ² /unit	none	1500	280	28	2790
4. Compactness	*	****	****	*	*
5. Cleanability	***	*****	****	***	***
6. Maintenance ease	***	*****	**	***	****
7. Corrosion risk	***	****	****	****	**
8. Fouling tendency	**	*****	****	***	*
9. Fouling effect	*	****	****	***	**
10. Leakage risk	**	*	****	***	**
11. Temperature cross	*	****	*****	***	**
12. Viscous flow	*	****	****	**	***
13. Heat sensitive	**	****	**	**	*
14. Solid flowing	*	**	****	***	*
15. Gases	****	*	***	****	****
16. Multi fluid exchange	***	***	*	*	**

หมายเหตุ ξ ข้อจำกัดทางอุณหภูมิของ ACHE คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมไม่เกิน 160°C (300°F)

ค่า U_{ij} สามารถเทียบเป็นเชิงตัวเลข โดยแทนจำนวนเครื่องหมาย * หนึ่งจำนวนด้วยค่า 20 หรือ 20% ดังนั้นเครื่องหมาย ***** จึงมีค่าเท่ากับ 100 ส่วนค่า W_j คำนวนวิธีเดียวกับตารางที่ 2.6 โดยใช้อันดับของข้อกำหนดในตารางที่ 4.1

การคำนวณอุณหภูมิที่ไม่ทราบค่าและภาระทางความร้อน

ใช้ดุลทางพลังงาน (Energy balance) หาค่าอุณหภูมิที่ไม่ทราบค่าด้วยวิธี Newton-Raphson และคำนวณภาระทางความร้อนที่ต้องการแลกเปลี่ยน (Duty) จากปริมาณความร้อนที่

ต้องการถ่ายโอน โดยกำหนดจุดมุ่งหมายการแลกเปลี่ยนความร้อนในกรอบ OBJECTIVE ของโปรแกรม HEXPERT ส่วนการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม

การให้คะแนนและการจัดอันดับความสำคัญของข้อกำหนด

อันดับความสำคัญของข้อกำหนด จะเรียงตามตารางที่ 2.2 (Larowski และ Taylor [12]) เริ่มจากอันดับที่ 1 คือ Compactness อันดับที่ 2 คือ Cleanability เรียงลงมาจนอันดับสุดท้ายคือ Multi fluid exchange เป็นอันดับที่ 13

อันดับความสำคัญสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยผู้ใช้สามารถเลือกลำดับความสำคัญของข้อกำหนดจากกรอบ CRITERIA RANKING ของโปรแกรม HEXPERT ในส่วนการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม ผู้ใช้สามารถเลือกข้อกำหนดได้ 5 ข้อ คือ Compactness, Cleanability, Leakage risk, Solid flowing และ Multi fluid exchange ถ้าผู้ใช้เลือกข้อกำหนดใดใน 5 ข้อ ไว้ในอันดับที่ 1 ข้อกำหนดอื่นจะถูกเลื่อนอันดับลงไปหนึ่งลำดับ สำหรับข้อกำหนดที่อยู่ก่อนหน้าข้อกำหนดที่เลือกเป็นอันดับที่หนึ่ง

การคัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เหมาะสมออก แบ่งข้อกำหนดเป็นกลุ่มเพื่อการคัดเลือกได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 : Pressure, Temperature และ Max m^2 /unit

พิจารณาจากข้อมูลที่ใช้บ่อย และพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่คำนวณได้ ข้อกำหนดกลุ่มนี้เป็นการพิจารณาขอบเขตการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

กลุ่มที่ 2 : Temp_Cross, Viscous flow และ Gases

พิจารณาได้จากข้อมูลที่ใช้บ่อย และค่าความหนืดของของไหลที่คำนวณได้ ข้อกำหนดกลุ่มนี้จึงเป็นกลุ่มที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใช้บ่อยเป็นหลัก

กลุ่มที่ 3 : Compactness, Cleanability, Leakage risk, Solid flowing และ Multi fluid exchange

ผู้ใช้สามารถเลือกอันดับความสำคัญได้ ดังที่กล่าวมาข้างต้น

กลุ่มที่ 4 : ข้อกำหนดที่เหลือทั้งหมด

เป็นข้อกำหนดในการหาค่าใช้งาน (U_i)

การตัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เหมาะสมออก พิจารณาจากข้อกำหนดกลุ่มที่ 1 เป็นอันดับแรก ถัดมาเป็นกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่ 4 เป็นข้อกำหนดทางลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละชนิด คือ Maintenance ease, Corrosion risk, Fouling tendency, Fouling effect และ Heat sensitive

การตัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เหมาะสมออกโดยข้อกำหนดกลุ่มที่ 2 และ 3 พิจารณาจากคะแนนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละชนิด ถ้าข้อกำหนดใดมีคะแนน 20 แสดงว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนั้นไม่เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ จึงทำการตัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนั้นออก

โปรแกรม HEXPERT ส่วนเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 4.1 ผลจากการใช้โปรแกรม HEXPERT แยกเป็นกรณีศึกษาได้ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 ไม่ระบุเลือกข้อกำหนดใด ในกรอบ CRITERIA RANKING

ป้อนข้อมูลที่สภาวะของเหลวกับของเหลว ไม่มีการเลือกข้อกำหนดใด ดังรูปที่ 4.1 เมื่อกดปุ่ม RUN จะได้ผลการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.4

กรณีศึกษาที่ 2 เลือกข้อกำหนด Compactness จากกรอบ CRITERIA RANKING

ป้อนข้อมูลที่สภาวะเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 เลือกข้อกำหนดความกระตัดรัด ดังรูปที่ 4.5 เมื่อกดปุ่ม RUN จะได้ผลดังรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.8

กรณีศึกษาที่ 3 เลือกข้อกำหนด Leakage risk และ Solid flow จากกรอบ CRITERIA RANKING

ป้อนข้อมูลและเลือกข้อกำหนดความเสี่ยงต่อการรั่วไหล และข้อกำหนดการใช้งานกับของไหลที่มีของแข็งหรือเยื่อปน ในอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9 เมื่อกดปุ่ม RUN จะได้ผลดังรูปที่ 4.10 ถึงรูปที่ 4.12

กรณีศึกษาที่ 4 ด้านเยนมีสถานะแก๊ส ไม่เลือกข้อกำหนดใดจาก CRITERIA RANKING

ป้อนข้อมูลและกำหนดของไหลด้านเยนมีสถานะแก๊ส ดังรูปที่ 4.13 ไม่เลือกข้อกำหนดใดจาก CRITERIA RANKING เมื่อกดปุ่ม RUN จะได้ผลดังรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.16

กรณีศึกษาที่ 5 เลือกข้อกำหนดทั้งหมด 5 ข้อจาก CRITERIA RANKING

ป้อนข้อมูลของของไหลเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 และเลือกข้อกำหนด Compactness, Cleanability, Leakage risk, Solid flow และ Multi fluid exchange ตามลำดับดังรูปที่ 4.17 เมื่อกดปุ่ม RUN จะได้ผลดังรูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.20



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEXPERT (Optimum Heat Exchanger Selection)

Title: SELECT01

HOT SIDE		COLD SIDE	
Fluid Name	Styrene	Fluid Name	Water
Phase	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid	Phase	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid
Conditions		Conditions	
Flowrate	9500 kg/hr	Flowrate	12000 kg/hr
Inlet Temperature	150 C	Inlet Temperature	35 C
Outlet Temperature	70 C	Outlet Temperature	C
Operating pressure	303.9 kPa	Operating pressure	202.6 kPa

CRITERIA RANKING

1)

2)

3)

4)

5)

OBJECTIVE

Cool Down Heat Up

DATABASE

Library External

HEXPERT Version 1.0
Copyright © 1996 C. Munimratt
P. Plumsomboon
Department of Chemical Technology
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.1 แสดงวินโดวส์โปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม
สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

HEXPERT (Optimum Heat Exchanger Selection Results)

File Comment Exclusion Reasons

Title: SELECT01

Conditions	HOT-SIDE	COLD-SIDE	Criteria Ranking
Fluid Name	Styrene	Water	No. Criteria (s)
Phase	Liquid	Liquid	(1)
Pressure, kPa	303.9	202.6	(2)
Temperature (In/Out), C	150.0 / 70.0	35.0 / 65.7	(3)
Viscosity, cP	0.30	0.56	(4)
Specific Heat Capacity, kJ/kg K	2.03	4.20	(5)
Mass Flowrate, kg/hr	9,500.0	12,000.0	
Estimated Heat Duty (Q), kJ/hr	1,544,419.3		

Suitable Heat Exchangers	Rating	Area, m ²	Cost, \$
Plate-and-Frame	1	2.2	488
Spiral	2	4.6	N/A
Double-Pipe	3	10.7	2,654
Shell-and-Tube	4	12.7	6,312
Air-Cooled	Not valid	-	-

Suitable Materials	Carbon Steel	316SS	Nickel Alloys	Titanium
[1=Best, 2=Good, ...]	2	1	N/A	N/A

Number of Shell (s) for Shell-and-Tube: 1

รูปที่ 4.2 ผลโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 1

REASONS FOR SUITABLE HEAT EXCHANGER(S)

These are score of each Heat Exchanger and why some type is not suitable from the Exclusion Number. If you want more detail of each exclusion number, please select from Exclusion menu and Comment/Rating menu in Optimum Heat Exchanger Selection Results.

Type	Rating	Score	Exclusion No.	Remark
Plate-and-Frame	1	61		
Spiral	2	77		
Double-Pipe	3	47		
Shell-and-Tube	4	36		
Air-Cooled	Not valid		109	It is not cooled by Air.

Note : If you want more details for Score, press 'More details' button. More details

รูปที่ 4.3 วินโดว์อธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 1

Criteria	Plate-and-Frame		Spiral		Double-Pipe		Shell-and-Tube	
	W _i	U _{ij}	W _i	U _{ij}	W _i	U _{ij}	W _i	U _{ij}
1 Compactness	0.314	80 = 25.2	0.314	80 = 25.2	0.314	20 = 6.3	0.314	20 = 6.3
2 Cleanability	0.157	100 = 15.7	0.157	80 = 12.6	0.157	60 = 9.4	0.157	60 = 9.4
3 Maintenance	0.105	100 = 10.5	0.105	40 = 4.2	0.105	60 = 6.3	0.105	80 = 8.4
4 Corrosion risk	0.079	80 = 6.3	0.079	80 = 6.3	0.079	80 = 6.3	0.079	40 = 3.1
5 Fouling tendency	0.063	100 = 6.3	0.063	80 = 5	0.063	60 = 3.8	0.063	20 = 1.3
6 Fouling effect	0.052	80 = 4.2	0.052	80 = 4.2	0.052	60 = 3.1	0.052	40 = 2.1
7 Leakage risk	0.045	20 = .9	0.045	80 = 3.6	0.045	60 = 2.7	0.045	40 = 1.8
8 Temp cross	0.039	80 = 3.1	0.039	100 = 3.9	0.039	60 = 2.4	0.039	40 = 1.6
9 Viscous flow	0.035	80 = 2.8	0.035	80 = 2.8	0.035	40 = 1.4	0.035	60 = 2.1
10 Ht sensitive fluid	0.031	80 = 2.5	0.031	40 = 1.3	0.031	40 = 1.3	0.031	20 = .6
11 Solid flow	0.029	40 = 1.1	0.029	80 = 2.3	0.029	60 = 1.7	0.029	20 = .6
12 Gas	0.026	20 = .5	0.026	60 = 1.6	0.026	80 = 2.1	0.026	80 = 2.1
13 Multi fluid exchange	0.024	60 = 1.5	0.024	20 = .5	0.024	20 = .5	0.024	40 = 1.
Total		80.6		73.4		47.2		40.3

รูปที่ 4.4 วินโดว์แสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 1

HEXPERT (Optimum Heat Exchanger Selection)

Title: SELECT02

HOT SIDE
 Fluid Name: Styrene
 Phase: Gas Liquid
 Conditions:
 Flowrate: 9500 kg/hr
 Inlet Temperature: 150 C
 Outlet Temperature: 70 C
 Operating pressure: 303.9 kPa

COLD SIDE
 Fluid Name: Water
 Phase: Gas Liquid
 Conditions:
 Flowrate: 12000 kg/hr
 Inlet Temperature: 35 C
 Outlet Temperature: C
 Operating pressure: 202.6 kPa

CRITERIA RANKING
 1) Compactness
 2)
 3)
 4)
 5)
 Clear Ranking

OBJECTIVE
 Cool Down Heat Up

DATABASE
 Library External

HEXPERT Version 1.0
 Copyright © 1996 C. Muninnitt
 P. Plumsomboon
 Department of Chemical Technology
 Chulalongkorn University

RUN
 MAIN MENU
 PICTURE
 HELP

รูปที่ 4.5 วินโดวส์ป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม
สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

HEXPERT (Optimum Heat Exchanger Selection Results)

Title: SELECT02

Conditions	HOT-SIDE	COLD-SIDE	Criteria Ranking	
Fluid Name	Styrene	Water	No.	Criteria (s)
Phase	Liquid	Liquid	(1)	Compactness
Pressure, kPa	303.9	202.6	(2)	
Temperature (In/Out), C	150.0 / 70.0	35.0 / 65.7	(3)	
Viscosity, cP	0.30	0.56	(4)	
Specific Heat Capacity, kJ/kg.K	2.03	4.20	(5)	
Mass Flowrate, kg/hr	9,500.0	12,000.0		
Estimated Heat Duty (Q), kJ/hr	1,544,418.3			

Suitable Heat Exchanger	Rating	Area, m ²	Cost, \$
Plate-and-Frame	1	2.2	488
Spiral	2	4.6	N/A
Air-Cooled	Not valid	-	-
Double-Pipe	Not valid	-	-
Shell-and-Tube	Not valid	-	-

Suitable Materials	Carbon Steel	316SS	Nickel Alloys	Titanium
[1=Best, 2=Good, ...]	2	1	N/A	N/A

Number of Shell (s) for Shell-and-Tube: --

รูปที่ 4.6 ผลโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 2

REASONS FOR SUITABLE HEAT EXCHANGER(S)

There are score of each Heat Exchanger and why some type is not suitable from the Exclusion Number. If you want more detail of each exclusion number, please select from Exclusion menu and Comment/Rating menu in Optimum Heat Exchanger Selection Results.

Type	Rating	Score	Exclusion No.	Remark
Plate-and-Frame	1	81		
Spiral	2	73		
Air-Cooled	Not valid		103	It is not cooled by Air.
Double-Pipe	Not valid		104	Compactness.
Shell-and-Tube	Not valid		104	Compactness.

Note : If you want more details for Score, press 'More details' button.

[More details](#)

รูปที่ 4.7 วินโดว์อธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 2

Criteria	Plate-and-Frame		Spiral	
	W_f	U_f	W_f	U_f
1 Compactness	0.314 x 80	= 25.2	0.314 x 80	= 25.2
2 Cleanability	0.157 x 100	= 15.7	0.157 x 80	= 12.6
3 Maintenance	0.105 x 100	= 10.5	0.105 x 40	= 4.2
4 Corrosion risk	0.079 x 80	= 6.3	0.079 x 80	= 6.3
5 Fouling tendency	0.063 x 100	= 6.3	0.063 x 80	= 5.
6 Fouling effect	0.052 x 80	= 4.2	0.052 x 80	= 4.2
7 Leakage risk	0.045 x 20	= .9	0.045 x 80	= 3.6
8 Temp cross	0.039 x 80	= 3.1	0.039 x 100	= 3.9
9 Viscous flow	0.035 x 80	= 2.8	0.035 x 80	= 2.8
10 Hit sensitive fluid	0.031 x 80	= 2.5	0.031 x 40	= 1.3
11 Solid flow	0.029 x 40	= 1.1	0.029 x 80	= 2.3
12 Gas	0.026 x 20	= .5	0.026 x 60	= 1.6
13 Multi fluid exchange	0.024 x 60	= 1.5	0.024 x 20	= .5
Total		80.6		73.4

รูปที่ 4.8 วินโดว์แสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 2

HEXPERT (Optimum Heat Exchanger Selection)

Title: SELECT03

HOT SIDE		COLD SIDE	
Fluid Name	Styrene	Fluid Name	Water
Phase	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid	Phase	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid
Conditions		Conditions	
Flowrate	9500 kg/hr	Flowrate	12000 kg/hr
Inlet Temperature	150 C	Inlet Temperature	35 C
Outlet Temperature	70 C	Outlet Temperature	C
Operating pressure	303.9 kPa	Operating pressure	202.6 kPa

CRITERIA RANKING

- Leakage risk
- Solid flow
-
-
-

Clear Ranking

OBJECTIVE

Cool Down Heat Up

DATABASE

Library External

HEXPERT Version 1.0
Copyright © 1995 C. Muninnimit
P. Plumsomboon
Department of Chemical Technology
Chulalongkorn University

RUN

MAIN MENU

PICTURE

HELP

รูปที่ 4.9 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม
สำหรับกรณีศึกษาที่ 3

HEXPERT (Optimum Heat Exchanger Selection Results)

File Comment Exclusion Reasons

Title: SELECT03

Conditions	HOT-SIDE	COLD-SIDE	Criteria Ranking
Fluid Name	Styrene	Water	No. Criteria (s)
Phase	Liquid	Liquid	(1) Leakage risk
Pressure, kPa	303.9	202.6	(2) Solid flow
Temperature (In/Out), C	150.0 / 70.0	35.0 / 65.7	(3)
Viscosity, cP	0.30	0.56	(4)
Specific Heat Capacity, kJ/kg.K	2.03	4.20	(5)
Mass Flowrate, kg/hr	9,500.0	12,000.0	
Estimated Heat Duty (Q), kJ/hr	1,544,418.3		

Suitable Heat Exchangers	Rating	Area, m ²	Cost, \$
Spiral	1	4.6	N/A
Double-Pipe	2	10.7	2,654
Air-Cooled	Not valid	-	-
Plate-and-Frame	Not valid	-	-
Shell-and-Tube	Not valid	-	-

Suitable Materials	Carbon Steel	316SS	Nickel Alloys	Titanium
[1=Best, 2=Good, ...]	2	1	N/A	N/A

Number of Shell (s) for Shell-and-Tube: -

รูปที่ 4.10 ผลโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 3

REASONS FOR SUITABLE HEAT EXCHANGER(S)

There are score of each Heat Exchanger and why some type is not suitable from the Exclusion Number. If you want more detail of each exclusion number, please select from Exclusion menu and Comment/Rating menu in Optimum Heat Exchanger Selection Results.

Type	Rating	Score	Exclusion No.	Remark
Spiral	1	75		
Double-Pipe	2	55		
Air-Cooled	Not valid		109	It is not cooled by Air.
Plate-and-Frame	Not valid		106	Leakage risk.
Shell-and-Tube	Not valid		107	Solid flowing.

Note : If you want more details for Score, press 'More details' button.

[More details](#)

รูปที่ 4.11 วินโดว์อธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 3

Criteria	Spiral		Double-Pipe	
	W _i	U _i	W _i	U _i
1 Leakage risk	0.314	80 = 25.2	0.314	60 = 18.9
2 Solid flow	0.157	80 = 12.6	0.157	60 = 9.4
3 Compactness	0.105	80 = 8.4	0.105	20 = 2.1
4 Cleanability	0.079	80 = 6.3	0.079	60 = 4.7
5 Maintenance	0.063	40 = 2.5	0.063	60 = 3.8
6 Corrosion risk	0.052	80 = 4.2	0.052	80 = 4.2
7 Fouling tendency	0.045	80 = 3.6	0.045	60 = 2.7
8 Fouling effect	0.039	80 = 3.1	0.039	60 = 2.4
9 Temp cross	0.035	100 = 3.5	0.035	60 = 2.1
10 Viscous flow	0.031	80 = 2.5	0.031	40 = 1.3
11 Ht sensitive fluid	0.029	40 = 1.1	0.029	40 = 1.1
12 Gas	0.026	60 = 1.6	0.026	80 = 2.1
13 Multi fluid exchange	0.024	20 = .5	0.024	20 = .5
Total		75.1		55.2

รูปที่ 4.12 วินโดว์แสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 3

HEXPERT (Optimum Heat Exchanger Selection)

Title: SELECT04

HOT SIDE
 Fluid Name: Cyclohexane
 Phase: Gas Liquid
 Conditions:
 Flowrate: 9500 kg/hr
 Inlet Temperature: 120 C
 Outlet Temperature: 70 C
 Operating pressure: 303.9 kPa

COLD SIDE
 Fluid Name: Air
 Phase: Gas Liquid
 Conditions:
 Flowrate: 35000 kg/hr
 Inlet Temperature: 30 C
 Outlet Temperature: C
 Operating pressure: 202.6 kPa

CRITERIA RANKING
 1)
 2)
 3)
 4)
 5)
 Clear Ranking

OBJECTIVE
 Cool Down Heat Up

DATABASE
 Library External

HEXPERT Version 1.0
 Copyright © 1996 C. Muninnitt
 P. Piumsomboon
 Department of Chemical Technology
 Chulalongkorn University

RUN
 MAIN MENU
 PICTURE
 HELP

รูปที่ 4.13 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม
 สำหรับกรณีศึกษาที่ 4

HEXPERT (Optimum Heat Exchanger Selection Results)

File Comment Exclusion Reasons

Title: SELECT04

Conditions	HOT-SIDE	COLD-SIDE	Criteria Ranking
Fluid Name	Cyclohexane	Air	No. Criteria (s)
Phase	Liquid	Gas	(1)
Pressure, kPa	303.9	202.6	(2)
Temperature (In/Out), C	120.0 / 70.0	30.0 / 58.1	(3)
Viscosity, cP	0.35	0.18	(4)
Specific Heat Capacity, kJ/kg.K	2.09	1.01	(5)
Mass Flowrate, kg/hr	9,500.0	35,000.0	
Estimated Heat Duty (Q), kJ/hr	990,413.5		

Suitable Heat Exchangers	Rating	Area, m ²	Cost, \$
Spiral	1	20.6	N/A
Shell-and-Tube	2	53.8	9,737
Air-Cooled	3	10.7	9,222
Plate-and-Frame	Not valid	-	-
Double-Pipe	Not valid	-	-

Suitable Materials	Carbon Steel	316SS	Nickel Alloys	Titanium
(1=Best, 2=Good, ...)	2	1	1	1

Number of Shell (s) for Shell-and-Tube: 1

รูปที่ 4.14 ผลโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 4

REASONS FOR SUITABLE HEAT EXCHANGER(S)

There are score of each Heat Exchanger and why some type is not suitable from the Exclusion Number. If you want more detail of each exclusion number, please select from Exclusion menu and Comment/Rating menu in Optimum Heat Exchanger Selection Results.

Type	Rating	Score	Exclusion No.	Remarks
Spiral	1	73		
Shell-and-Tube	2	40		
Air-Cooled	3	39		
Plate-and-Frame	Not valid		102	Unsuitable with Gas phase.
Double-Pipe	Not valid		112	Heat Transfer Area out of range.

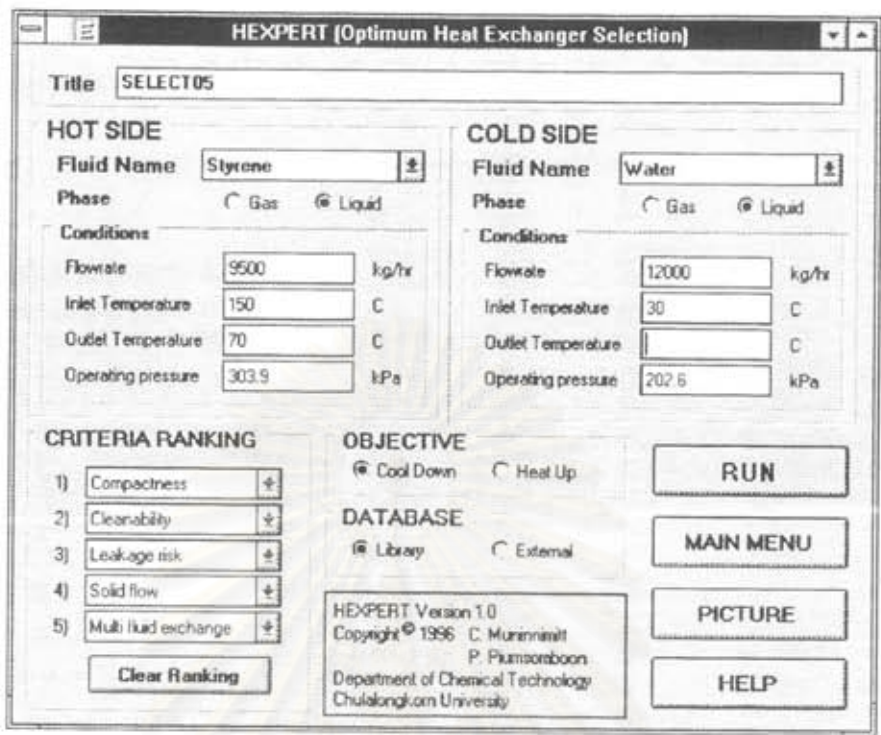
Note : If you want more details for Score, press 'More details' button.

[More details](#)

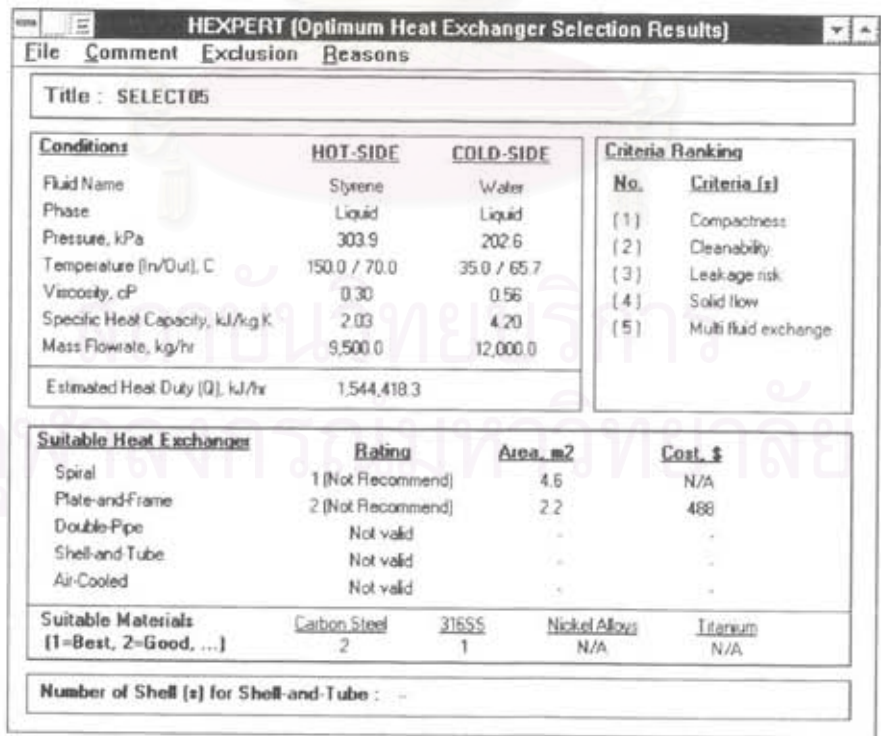
รูปที่ 4.15 วินโดว์อธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 4

Criteria	Spiral		Shell-and-Tube		Air-Cooled	
	W_j	U_{ij}	W_j	U_{ij}	W_j	U_{ij}
1 Compactness	0.314	$\times 80 = 25.2$	0.314	$\times 20 = 6.3$	0.314	$\times 20 = 6.3$
2 Cleanability	0.157	$\times 80 = 12.6$	0.157	$\times 60 = 9.4$	0.157	$\times 60 = 9.4$
3 Maintainability	0.105	$\times 40 = 4.2$	0.105	$\times 80 = 8.4$	0.105	$\times 60 = 6.3$
4 Corrosion risk	0.079	$\times 80 = 6.3$	0.079	$\times 40 = 3.1$	0.079	$\times 60 = 4.7$
5 Fouling tendency	0.063	$\times 80 = 5.$	0.063	$\times 20 = 1.3$	0.063	$\times 40 = 2.5$
6 Fouling effect	0.052	$\times 80 = 4.2$	0.052	$\times 40 = 2.1$	0.052	$\times 20 = 1.$
7 Leakage risk	0.045	$\times 80 = 3.6$	0.045	$\times 40 = 1.8$	0.045	$\times 40 = 1.8$
8 Temp cross	0.039	$\times 100 = 3.9$	0.039	$\times 40 = 1.6$	0.039	$\times 20 = .8$
9 Viscous flow	0.035	$\times 80 = 2.8$	0.035	$\times 60 = 2.1$	0.035	$\times 20 = .7$
10 Ht sensitive fluid	0.031	$\times 40 = 1.3$	0.031	$\times 20 = .6$	0.031	$\times 40 = 1.3$
11 Solid flow	0.029	$\times 80 = 2.3$	0.029	$\times 20 = .6$	0.029	$\times 20 = .6$
12 Gas	0.026	$\times 60 = 1.6$	0.026	$\times 80 = 2.1$	0.026	$\times 80 = 2.1$
13 Multi fluid exchange	0.024	$\times 20 = .5$	0.024	$\times 40 = 1.$	0.024	$\times 60 = 1.5$
Total		73.4		40.3		39.

รูปที่ 4.16 วินโดว์แสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 4.17 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 5



รูปที่ 4.18 ผลโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 5

REASONS FOR SUITABLE HEAT EXCHANGER(S)				
There are score of each Heat Exchanger and why some type is not suitable from the Exclusion Number. If you want more detail of each exclusion number, please select from Exclusion menu and Comment/Rating menu in Optimum Heat Exchanger Selection Results.				
Type	Rating	Score	Exclusion No.	Remark
Spiral	Not Recommend	73	100	Multi fluid exchange.
Plate-and-Frame	Not Recommend	73	106	Leakage risk.
Double Pipe	Not valid		104	Compactness.
Shell-and-Tube	Not valid		104	Compactness.
Air-Cooled	Not valid		109	It is not Cooled by Air.
Note : If you want more details for Score, press 'More details' button.				More details

รูปที่ 4.19 วินโดว์อธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 5

Criteria	Spiral		Plate-and-Frame	
	W_f	U_f	W_f	U_f
1 Compactness	0.314 x 80 =	25.2	0.314 x 80 =	25.2
2 Cleanability	0.157 x 80 =	12.6	0.157 x 100 =	15.7
3 Leakage risk	0.105 x 80 =	8.4	0.105 x 20 =	2.1
4 Solid flow	0.079 x 80 =	6.3	0.079 x 40 =	3.1
5 Multi fluid exchange	0.063 x 20 =	1.3	0.063 x 60 =	3.8
6 Maintenance	0.052 x 40 =	2.1	0.052 x 100 =	5.2
7 Corrosion risk	0.045 x 80 =	3.6	0.045 x 80 =	3.6
8 Fouling tendency	0.039 x 80 =	3.1	0.039 x 100 =	3.9
9 Fouling effect	0.035 x 80 =	2.8	0.035 x 80 =	2.8
10 Temp cross	0.031 x 100 =	3.1	0.031 x 80 =	2.5
11 Viscous flow	0.029 x 80 =	2.3	0.029 x 80 =	2.3
12 Ht sensitive fluid	0.026 x 40 =	1.0	0.026 x 80 =	2.1
13 Gas	0.024 x 60 =	1.5	0.024 x 20 =	0.5
Total		73.2		72.8

รูปที่ 4.20 วินโดว์แสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 5

โปรแกรมเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

โปรแกรม HEXPERT ในส่วนเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ แสดงดังรูปที่ 4.21 การทดสอบผลการคำนวณการออกแบบจากโปรแกรม HEXPERT เทียบกับผลการคำนวณจากโปรแกรม HEXTRAN ของบริษัท Simulation Sciences โดยแยกเป็นกรณีดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สภาพแวดล้อมของการคำนวณเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ

การคำนวณที่	สถานะของของไหล	จำนวนเที่ยวการไหลในท่อ (Number of Passes)	รูปแสดงข้อมูลป้อนเข้า และผล
D01	ของเหลว/ของเหลว	2	4.21, 4.22
D02	ของเหลว/ของเหลว	2	4.23, 4.24
D03	ของเหลว/ของเหลว	4	4.25, 4.26
D04	ของเหลว/ของเหลว	4	4.27, 4.28
D05	แก๊ส/แก๊ส	2	4.29, 4.30
D06	แก๊ส/แก๊ส	2	4.31, 4.32
D07	ของเหลว/แก๊ส	2	4.33, 4.34

โจทย์อธิบายข้อมูลป้อนเข้าของการคำนวณที่ D01 ถึง D07 มีดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

D01 : ต้องการลดอุณหภูมิของ Toluene เหลว ซึ่งไหลผ่านเซลล์ จากอุณหภูมิ 150°C เหลือ 80°C ที่อัตราการไหล $547,500\text{ kg/hr}$ โดยใช้ น้ำ เป็นตัวหล่อเย็น มีอุณหภูมิขาเข้า 35°C และขาออก 59.5°C ที่อัตราการไหล $750,000\text{ kg/hr}$ ความดันขาเข้าด้านเซลล์เท่ากับ 406.20 kPa และด้านท่อเท่ากับ 303.90 kPa ที่ความดันลดด้านเซลล์ไม่เกิน 81.04 kPa และด้านท่อไม่เกิน 101.30 kPa จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว Toluene และน้ำ มีค่าความต้านทานของตะกัน 0.00026 และ $0.00034\text{ m}^2\cdot\text{C/W}$ ตามลำดับ ใช้ท่อขนาด 19.05 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเซลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 862 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C ส่วนด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D02 : Styrene เหนียวร้อน ไหลผ่านเซลล์ด้วยอัตรา $95,000\text{ kg/hr}$ มีอุณหภูมิขาเข้า 150°C และขาออก 70°C ใช้ น้ำหล่อเย็น ซึ่งมีอุณหภูมิขาเข้า 35°C และขาออก 63.8°C ที่อัตราการไหล $120,000\text{ kg/hr}$ ความดันขาเข้าด้านเซลล์เท่ากับ 303.90 kPa และด้านท่อเท่ากับ 202.60 kPa ที่ความดันลดด้านเซลล์และด้านท่อไม่เกิน 151.95 kPa ใช้จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว Styrene และน้ำ มีค่าความต้านทานของตะกัน 0.00026 และ $0.00026\text{ m}^2\cdot\text{C/W}$ ตามลำดับ ท่อที่ใช้มีขนาด 19.05 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเซลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C ส่วนด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D03 : Naphthalene เหนียวร้อน ไหลผ่านเซลล์ด้วยอัตรา $45,000\text{ kg/hr}$ มีอุณหภูมิขาเข้า 100°C และขาออก 50°C ใช้ น้ำหล่อเย็น ซึ่งมีอุณหภูมิขาเข้า 35°C และขาออก 43.6°C ที่อัตราการไหล $100,000\text{ kg/hr}$ ความดันขาเข้าด้านเซลล์เท่ากับ 253.25 kPa และด้านท่อเท่ากับ 303.90 kPa ที่ความดันลดด้านเซลล์ไม่เกิน 50.65 kPa และด้านท่อไม่เกิน 103.42 kPa ใช้จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 4 เที่ยว Naphthalene และน้ำ มีค่าความต้านทานของตะกัน 0.00026 และ $0.00034\text{ m}^2\cdot\text{C/W}$ ตามลำดับ ท่อที่ใช้มีขนาด 19.05 mm และรูปแบบท่อ 30° วัสดุที่ใช้ด้านเซลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C ส่วนด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D04 : ต้องการลดอุณหภูมิน้ำร้อนที่มีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งไหลผ่านเซลล์ จากอุณหภูมิ 108°C เหลือ 60°C ที่อัตราการไหล $40,000\text{ kg/hr}$ โดยใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็น มีอุณหภูมิขาเข้า 35°C และขาออก 51.1°C ที่อัตราการไหล $120,000\text{ kg/hr}$ ความดันขาเข้าด้านเซลล์เท่ากับ 202.60 kPa และด้านท่อเท่ากับ 303.90 kPa ที่ความดันลดด้านเซลล์ไม่เกิน 101.30 kPa และด้านท่อไม่เกิน 151.95 kPa ใช้จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 4 เที่ยว Naphthalene และน้ำ มีค่าความต้านทานของตะกรัน 0.00026 และ $0.00034\text{ m}^2\cdot\text{C/W}$ ตามลำดับ ท่อที่ใช้มีขนาด 19.05 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเซลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C ด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D05 : แก๊ส Sulphur dioxide ร้อน ที่ปล่อยทิ้ง สามารถนำความร้อนมาเพิ่มอุณหภูมิของ Ethylene จาก 40°C เป็น 80°C ที่ไหลในด้านเซลล์ด้วยอัตรา $27,500\text{ kg/hr}$ อุณหภูมิแก๊สร้อน 150°C และปล่อยออกที่อุณหภูมิ 93.8°C ความดันขาเข้าของแก๊สร้อนและ Ethylene เท่ากับ 253.25 kPa และ 303.90 kPa ตามลำดับ ความดันลดด้านเซลล์ต้องไม่เกิน 101.30 kPa และด้านท่อไม่เกิน 131.69 kPa จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว ค่าความต้านทานของตะกรันของแก๊สร้อนและ Ethylene เท่ากับ 0.00018 และ $0.00031\text{ m}^2\cdot\text{C/W}$ ตามลำดับ ใช้ท่อขนาด 25.40 mm และรูปแบบท่อ 30° วัสดุที่ใช้ด้านเซลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C ด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D06 : ต้องการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเตาเผา โดยใช้ความร้อนที่ได้จากแก๊ส Sulphur dioxide ร้อนที่ปล่อยทิ้ง อากาศมีอุณหภูมิขาเข้า 40°C ขาออก 64.8°C ที่อัตราการไหล $65,000\text{ kg/hr}$ อุณหภูมิแก๊ส Sulphur dioxide ขาเข้า 100°C และปล่อยออกที่อุณหภูมิ 70.0°C ความดันขาเข้าของอากาศและแก๊สร้อนเท่ากับ 354.55 kPa ความดันลดทั้งด้านเซลล์และด้านท่อต้องมีค่าไม่เกิน 151.95 kPa จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว ค่าความต้านทานของตะกรันของอากาศและแก๊สร้อนเท่ากับ 0.00019 และ $0.00018\text{ m}^2\cdot\text{C/W}$ ตามลำดับ ใช้ท่อขนาด 31.75 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเซลล์และด้านท่อคือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 862 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D07 : ต้องการลดอุณหภูมิ Toluene เพลวร้อนซึ่งไหลผ่านเซลล์ จากอุณหภูมิ 150°C เหลือ 96°C ที่อัตราการไหล $50,000 \text{ kg/hr}$ หล่อเย็นด้วยอากาศ ที่มีอุณหภูมิขาเข้า 30°C และขาออก 90.0°C ที่อัตราการไหล $90,000 \text{ kg/hr}$ ความดันขาเข้าด้านเซลล์เท่ากับ 303.90 kPa และด้านท่อเท่ากับ 405.20 kPa ที่ความดันลดด้านเซลล์ไม่เกิน 103.42 kPa และด้านท่อไม่เกิน 202.60 kPa ใช้จำนวนเทียบการไหลของท่อเท่ากับ 2 เทียบ ค่าความต้านทานของตะกรันของ Toluene และอากาศเท่ากับ 0.00026 และ $0.00018 \text{ m}^2/\text{CW}$ ตามลำดับ ท่อที่ใช้มีขนาด 31.75 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเซลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 260°C ด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 862 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 260°C

หมายเหตุ การคำนวณทุกกรณี ให้เงื่อนไขดังนี้

- ส่วนหัว ส่วนเซลล์ และส่วนท้าย ตามมาตรฐานของ TEMA คือ BES
- แฟกเตอร์ F_s , B_1 และ B_2/n_2 ในส่วน Calculation factors มีค่าเท่ากับ 1
- คุณสมบัติสารคำนวณจากฐานข้อมูลของโปรแกรม HEXPERT ยกเว้นความหนาแน่นของของไหลที่มีสถานะแก๊สเท่านั้น ที่ผู้ใช้ต้องป้อนเข้า
- จำนวนเทียบการไหลในเซลล์เท่ากับ 1 เทียบ

ข้อมูลป้อนเข้าและผลการคำนวณจากโปรแกรม HEXPERT แสดงดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEXPERT (Shell-and-Tube Design)

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION

Service Unit: DATABASE: Library External

TEMA Type: TYPE Calculation Factors: FACTDRS

PERFORMANCE DATA

Fluid Allocation	Shell-Side	Tube-Side
Fluid Name	<input type="text" value="Toluene"/> ±	<input type="text" value="Water"/> ±
Flow Rate, Total kg/hr	<input type="text" value="547500"/>	<input type="text" value="750000"/>
Temperature (In/Out) C	<input type="text" value="150.0"/> / <input type="text" value="80.0"/>	<input type="text" value="35.0"/> / <input type="text" value="59.5"/>
Inlet Pressure (Gage) kPa	<input type="text" value="405.20"/>	<input type="text" value="303.90"/>
Number of passes	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>
Pressure Drop Allowance kPa	<input type="text" value="81.04"/>	<input type="text" value="101.30"/>
Fouling Resistance m ² .C/W	<input type="text" value="0.00026"/>	<input type="text" value="0.00034"/>
State of fluid	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid

HEXPERT Version 1.0
Copyright © 1996 C. Muninimit
P. Plumsomboon
Department of Chemical Technology
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.21 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D01

HEXPERT (Shell-and-Tube Design Results)

File

SERVICE UNIT: D01
TYPE: BES AREA: 442 M²

PERFORMANCE DATA

	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
FLUID NAME	Toluene	Water
FLOWRATE KG/HR	547500	750000
TEMPERATURE (IN/OUT) DEG C	150.0 / 80.0	35.0 / 59.5
PRESSURE (IN/OUT) KPA	405.20 / 379.91	303.90 / 207.45
DENSITY KG/M ³	734.247 / 809.372	1005.907 / 981.504
VISCOSITY CP	0.182 / 0.308	0.741 / 0.483
SPECIFIC HEAT KJ/KG-C	1.9389 / 1.7654	4.1929 / 4.2042
THERMAL CONDUCTIVITY WATTS/M-C	0.1033 / 0.1205	0.6301 / 0.6589
PRESS. DROP (DES/CALC) KPA	81.04 / 25.29	101.30 / 96.45
FOULING RESISTANCE M ² .C/WATT	0.00026	0.00034

OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT (SERVICE) 802.09 WATTS/M².C
HEAT EXCHANGED MM KJ/HR 76.983 MTD(CORRECTED) 60.3 FT 0.927

CONSTRUCTION DATA

	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
MATERIAL	Carbon Steel	SS Type 316
DESIGN PRESSURE KPA	862	689
DESIGN TEMPERATURE DEG C	250.0	250.0
NUMBER OF PASSES	1	2

TUBE: NUMBER 615, OD 19.05 MM, ID 17.40 MM, BWG 16
LENGTH 6000 MM, PITCH 25.40 MM, PATTERN 90 DEGREES
SHELL: ID 944 MM, THICKNESS 7 MM, CHANNEL: THICKNESS 7 MM
BAFFLE: TYPE SINGLE SEGMENTAL, CUT 25%, SPACING 799 MM
FRONT: TYPE B THICKNESS 7 MM, REAR: TYPE S THICKNESS 7 MM

รูปที่ 4.22 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์แสดงผลการออกแบบในการคำนวณที่ D01

HEXPERT (Shell-and-Tube Design)

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION

Service Unit: D02

TEMA Type: BES TYPE Calculation Factors: FACTORS

Database: Library External

PERFORMANCE DATA

Fluid Allocation	Shell-Side	Tube-Side
Fluid Name	Styrene ±	Water ±
Flow Rate, Total kg/hr	95000	120000
Temperature (In/Out) C	150.0 70.0	35.0 63.8
Inlet Pressure (Gage) kPa	303.90	202.60
Number of passes	1	2
Pressure Drop Allowance kPa	151.95	151.95
Fouling Resistance m ² .C/W	0.00026	0.00026
State of fluid	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid

HEXPERT Version 1.0
Copyright © 1996 C. Munirunnitt
P. Piumsomboon
Department of Chemical Technology
Chulalongkorn University.

รูปที่ 4.23 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D02

HEXPERT (Shell-and-Tube Design Results)

File

SERVICE UNIT: D02
TYPE: BES AREA: 91 M²

PERFORMANCE DATA	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
FLUID NAME	Styrene	Water
FLOWRATE KG/HR	95000	120000
TEMPERATURE (IN/OUT) DEG C	150.0 / 70.0	35.0 / 63.8
PRESSURE (IN/OUT) KPA	303.90 / 290.02	202.60 / 141.31
DENSITY KG/M ³	784.595 / 862.711	1005.907 / 977.133
VISCOSITY CP	0.218 / 0.427	0.741 / 0.453
SPECIFIC HEAT KJ/KG-C	2.1896 / 1.9067	4.1929 / 4.2063
THERMAL CONDUCTIVITY WATTS/M-C	0.1295 / 0.1555	0.6301 / 0.6631
PRESS. DROP (DES/CALC) KPA	151.95 / 13.88	151.95 / 61.29
FOULING RESISTANCE M ² .C/WATT	0.00026	0.00026
OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT (SERVICE) WATTS/M ² .C	909.76	
HEAT EXCHANGED MM KJ/HR	14.483	MTD(CORRECTED) FT 0.860

CONSTRUCTION DATA	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
MATERIAL	Carbon Steel	SS Type 316
DESIGN PRESSURE KPA	689	689
DESIGN TEMPERATURE DEG C	250.0	250.0
NUMBER OF PASSES	1	2

TUBE: NUMBER 126 OD 19.05 MM. ID 17.40 MM. BWG 16
LENGTH 6000. MM. PITCH 25.40 MM. PATTERN 90 DEGREES
SHELL: ID 448 MM. THICKNESS 5 MM. CHANNEL THICKNESS 5 MM
BAFFLE: TYPE SINGLE SEGMENTAL. CUT 25%. SPACING 395 MM
FRONT: TYPE B THICKNESS 5 MM. REAR: TYPE S THICKNESS 5 MM

รูปที่ 4.24 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์แสดงผลการออกแบบในการคำนวณที่ D02

HEXPERT (Shell-and-Tube Design)

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION

Service Unit:

TEMA Type: Calculation Factors:

DATABASE:
 Library
 External

PERFORMANCE DATA

Fluid Allocation	Shell-Side	Tube-Side
Fluid Name	Naphthalene	Water
Flow Rate, Total kg/hr	45000	100000
Temperature (In/Out) C	100.0 / 50.0	35.0 / 43.6
Inlet Pressure (Gage) kPa	253.25	303.90
Number of passes	1	4
Pressure Drop Allowance kPa	50.65	103.42
Fouling Resistance m ² .C/W	0.00026	0.00034
State of fluid	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid

HEXPERT Version 1.0
 Copyright © 1996 C. Muninimit
 P. Piumsomboon
 Department of Chemical Technology
 Chulalongkorn University

รูปที่ 4.25 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์ใส่ข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D03

HEXPERT (Shell-and-Tube Design Results)

File

SERVICE UNIT: D03
 TYPE: BES
 AREA: 53 M²

PERFORMANCE DATA	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
FLUID NAME	Naphthalene	Water
FLOWRATE KG/HR	45000	100000
TEMPERATURE (IN/OUT) DEG C	100.0 / 50.0	35.0 / 43.6
PRESSURE (IN/OUT) KPA	253.25 / 240.30	303.90 / 215.78
DENSITY KG/M3	963.279 / 1002.248	1005.907 / 997.434
VISCOSITY CP	4.008 / 5.364	0.741 / 0.629
SPECIFIC HEAT KJ/KG.C	1.7704 / 1.9248	4.1929 / 4.1963
THERMAL CONDUCTIVITY WATTS/M.C	0.1315 / 0.1344	0.6301 / 0.6411
PRESS. DROP (DES/CALC) KPA	50.65 / 12.87	103.42 / 88.12
FOULING RESISTANCE M ² .C/WATT	0.00026	0.00034
OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT (SERVICE) WATTS/M ² .C	685.57	
HEAT EXCHANGED MM KJ/HR	3.600	MTD(CORRECTED) 29.6 FT 0.914

CONSTRUCTION DATA	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
MATERIAL	Carbon Steel	SS Type 316
DESIGN PRESSURE KPA	689	689
DESIGN TEMPERATURE DEG C	250.0	250.0
NUMBER OF PASSES	1	4

TUBE: NUMBER 169, DD 19.05 MM, ID 17.40 MM, BWG 16
 LENGTH 1300 MM, PITCH 25.40 MM, PATTERN 30 DEGREES
 SHELL: ID 713 MM, THICKNESS 6 MM, CHANNEL THICKNESS 6 MM
 BAFFLE: TYPE SINGLE SEGMENTAL, CUT 25%, SPACING 143 MM
 FRONT: TYPE B THICKNESS 6 MM, REAR TYPE S THICKNESS 6 MM

รูปที่ 4.26 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์แสดงผลการออกแบบในการคำนวณที่ D03

HEXPERT (Shell-and-Tube Design)

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION DATABASE

Service Unit: Library

TEMA Type: Calculation Factors: External

PERFORMANCE DATA

Fluid Allocation	Shell-Side	Tube-Side
Fluid Name	Water <input type="checkbox"/>	Water <input type="checkbox"/>
Flow Rate, Total kg/hr	40000	120000
Temperature (In/Out) C	108.0 / 60.0	35.0 / 51.1
Inlet Pressure (Gage) kPa	202.60	303.90
Number of passes	1	4
Pressure Drop Allowance kPa	101.30	151.95
Fouling Resistance m ² .C/W	0.00034	0.00034
State of fluid	<input type="checkbox"/> Gas <input checked="" type="checkbox"/> Liquid	<input type="checkbox"/> Gas <input checked="" type="checkbox"/> Liquid

HEXPERT Version 1.0
Copyright © 1996 C. Munirunnitt
P. Plumsomboon
Department of Chemical Technology
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.27 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D04

HEXPERT (Shell-and-Tube Design Results)

File

SERVICE UNIT: D04
TYPE: BES AREA: 65 M²

PERFORMANCE DATA

	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
FLUID NAME	Water	Water
FLOWRATE KG/HR	40000	120000
TEMPERATURE (IN/OUT) DEG C	108.0 / 60.0	35.0 / 51.1
PRESSURE (IN/OUT) KPA	202.60 / 195.21	303.90 / 182.01
DENSITY KG/M ³	930.456 / 980.997	1005.907 / 989.964
VISCOSITY CP	0.269 / 0.479	0.741 / 0.552
SPECIFIC HEAT KJ/KG-C	4.2329 / 4.2045	4.1929 / 4.2004
THERMAL CONDUCTIVITY WATTS/M-C	0.6932 / 0.6594	0.6301 / 0.6499
PRESS. DRDP (DES/CALC) KPA	101.30 / 7.39	151.95 / 121.89
FOULING RESISTANCE M ² -C/WATT	0.00034	0.00034
OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT (SERVICE) WATTS/M ² -C	986.01	
HEAT EXCHANGED MM KJ/HR 8,090	MTD(CORRECTED) 35.1	FT 0.904

CONSTRUCTION DATA

	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
MATERIAL	Carbon Steel	SS Type 316
DESIGN PRESSURE KPA	689	689
DESIGN TEMPERATURE DEG C	250.0	250.0
NUMBER OF PASSES	1	4
TUBE : NUMBER 176, OD 19.05 MM, ID 17.40 MM, BWG 16		
LENGTH 1542 MM, PITCH 25.40 MM, PATTERN 90 DEGREES		
SHELL : ID 727 MM, THICKNESS 6 MM, CHANNEL THICKNESS 6 MM		
BAFFLE : TYPE SINGLE SEGMENTAL, CUT 25%, SPACING 146 MM		
FRONT : TYPE B THICKNESS 6 MM, REAR : TYPE S THICKNESS 6 MM		

รูปที่ 4.28 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์แสดงผลการออกแบบในการคำนวณที่ D04

HEXPERT (Shell-and-Tube Design)

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION

Service Unit: DATABASE: Library External

TEMA Type: TYPE Calculation Factors:

PERFORMANCE DATA

Fluid Allocation	Shell-Side	Tube-Side
Fluid Name	Ethylene <input type="checkbox"/>	Sulphur dioxide-Dry <input type="checkbox"/>
Flow Rate, Total kg/hr	<input type="text" value="27500"/>	<input type="text" value="50000"/>
Temperature (In/Out) C	<input type="text" value="40.0"/> / <input type="text" value="80.0"/>	<input type="text" value="150.0"/> / <input type="text" value="93.8"/>
Inlet Pressure (Gage) kPa	<input type="text" value="303.90"/>	<input type="text" value="253.25"/>
Number of passes	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>
Pressure Drop Allowance kPa	<input type="text" value="101.30"/>	<input type="text" value="131.69"/>
Fouling Resistance m ² .C/W	<input type="text" value="0.00031"/>	<input type="text" value="0.00018"/>
State of fluid	<input checked="" type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Liquid	<input checked="" type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Liquid

HEXPERT Version 1.0
Copyright © 1996 C. Muninnimit
P. Plumsomboon
Department of Chemical Technology
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.29 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D05

HEXPERT (Shell-and-Tube Design Results)

File

SERVICE UNIT: D05
TYPE: BES AREA: 76 M²

PERFORMANCE DATA	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
FLUID NAME	Ethylene	Sulphur dioxide-Dry
FLOWRATE KG/HR	27500	50000
TEMPERATURE (IN/OUT) DEG C	40.0 / 80.0	150.0 / 93.8
PRESSURE (IN/OUT) KPA	303.90 / 264.04	253.25 / 169.59
DENSITY KG/M ³	3.325 / 2.349	4.666 / 4.151
VISCOSITY CP	0.011 / 0.012	0.018 / 0.016
SPECIFIC HEAT KJ/KG-C	1.5993 / 1.7508	0.6927 / 0.6633
THERMAL CONDUCTIVITY WATTS/M-C	0.0228 / 0.0283	0.0164 / 0.0134
PRESS. DROP (DES/CALC) KPA	101.30 / 39.86	131.69 / 83.66
FOULING RESISTANCE M ² .C/WATT	0.00031	0.00018
OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT (SERVICE) WATTS/M ² .C	126.20	
HEAT EXCHANGED MM KJ/HR	1.901	MTD(CORRECTED) 54.9 FT 0.891

CONSTRUCTION DATA	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
MATERIAL	Carbon Steel	SS Type 316
DESIGN PRESSURE KPA	689	689
DESIGN TEMPERATURE DEG C	250.0	250.0
NUMBER OF PASSES	1	2
TUBE : NUMBER 245, OD 25.40 MM, ID 23.29 MM, BWG 14		
LENGTH 1950. MM, PITCH 31.75 MM, PATTERN 30 DEGREES		
SHELL : ID 617 MM, THICKNESS 6 MM, CHANNEL THICKNESS 6 MM		
BAFFLE : TYPE SINGLE SEGMENTAL, CUT 25%, SPACING 469 MM		
FRONT : TYPE B THICKNESS 6 MM, REAR : TYPE S THICKNESS 6 MM		

รูปที่ 4.30 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์แสดงผลการออกแบบในการคำนวณที่ D05

HEXPERT (Shell-and-Tube Design)

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION

Service Unit: D06

TEMA Type: BES TYPE Calculation Factors: FACTORS

DATABASE: Library External

PERFORMANCE DATA

Fluid Allocation	Shell-Side	Tube-Side
Fluid Name	Air <input checked="" type="radio"/>	Sulphur dioxide-Dry <input checked="" type="radio"/>
Flow Rate, Total kg/hr	65000	50000
Temperature (In/Out) C	40.0 / 54.8	100.0 / 70.0
Inlet Pressure (Gage) kPa	354.55	354.55
Number of passes	1	2
Pressure Drop Allowance kPa	151.95	151.95
Fouling Resistance m ² .C/W	0.00019	0.00018
State of fluid	<input checked="" type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Liquid	<input checked="" type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Liquid

HEXPERT Version 1.0
Copyright © 1996 C. Munirimit
P. Plumsomboon
Department of Chemical Technology/
Chulalongkorn University

RUN MAIN MENU
CONSTRUCTION HELP

รูปที่ 4.31 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D06

HEXPERT (Shell-and-Tube Design Results)

File

SERVICE UNIT D06

TYPE BES AREA 80 M2

PERFORMANCE DATA

	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
FLUID NAME	Air	Sulphur dioxide-Dry
FLOWRATE KG/HR	65000	50000
TEMPERATURE (IN/OUT) DEG C	40.0 / 54.8	100.0 / 70.0
PRESSURE (IN/OUT) KPA	354.55 / 288.56	354.55 / 261.48
DENSITY KG/M3	3.946 / 2.392	7.507 / 7.382
VISCOSITY CP	0.018 / 0.019	0.016 / 0.015
SPECIFIC HEAT KJ/KG-C	1.0064 / 1.0086	0.6667 / 0.6499
THERMAL CONDUCTIVITY WATTS/M-C	0.0268 / 0.0279	0.0138 / 0.0121
PRESS. DROP (DES/CALC) KPA	151.95 / 65.99	151.95 / 93.07
FOULING RESISTANCE M2-C/WATT	0.00019	0.00018

OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT (SERVICE) 98.19 WATTS/M2-C
HEAT EXCHANGED MM KJ/HR 0.985 MTD(CORRECTED) 35.0 FT 0.943

CONSTRUCTION DATA

	SHELL-SIDE	TUBE-SIDE
MATERIAL	Carbon Steel	Carbon Steel
DESIGN PRESSURE KPA	862	862
DESIGN TEMPERATURE DEG C	250.0	250.0
NUMBER OF PASSES	1	2

TUBE : NUMBER 124, OD 31.75 MM, ID 28.35 MM, BWG 10
LENGTH 3221. MM, PITCH 38.69 MM, PATTERN 90 DEGREES
SHELL ID 742 MM, THICKNESS 7 MM, CHANNEL THICKNESS 7 MM
BAFFLE : TYPE SINGLE SEGMENTAL, CUT 25%, SPACING 758 MM
FRONT : TYPE B THICKNESS 7 MM, REAR : TYPE S THICKNESS 7 MM

รูปที่ 4.32 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์แสดงผลการออกแบบในการคำนวณที่ D06

HEXPERT (Shell-and-Tube Design)

HEAT EXCHANGER SPECIFICATION

Service Unit:

TEMA Type: Calculation Factors:

DATABASE: Library External

PERFORMANCE DATA

Fluid Allocation	Shell-Side	Tube-Side
Fluid Name	Toluene	Air
Flow Rate, Total kg/hr	50000	90000
Temperature (In/Out) C	150.0 / 96.0	30.0 / 90.0
Inlet Pressure (Gage) kPa	303.90	405.20
Number of passes	1	2
Pressure Drop Allowance kPa	103.42	202.60
Fouling Resistance m ² C/W	0.00025	0.00018
State of fluid	<input type="radio"/> Gas <input checked="" type="radio"/> Liquid	<input checked="" type="radio"/> Gas <input type="radio"/> Liquid

HEXPERT Version 1.0
Copyright © 1996 C. Muninnmitt
P. Plumsomboon
Department of Chemical Technology
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.33 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์ใส่ข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D07

HEXPERT (Shell-and-Tube Design Results)

File

SERVICE UNIT	D07	
TYPE	BES	AREA 96 M2
PERFORMANCE DATA		
FLUID NAME	Toluene	Air
FLOWRATE	50000 KG/HR	90000
TEMPERATURE (IN/OUT)	150.0 / 96.0 DEG C	30.0 / 90.0
PRESSURE (IN/OUT)	303.90 / 299.59 KPA	405.20 / 283.34
DENSITY	734.247 / 793.144 KG/M3	4.660 / 2.112
VISCOSITY	0.182 / 0.269 CP	0.018 / 0.020
SPECIFIC HEAT	1.9389 / 1.7947 KJ/KG-C	1.0049 / 1.0142
THERMAL CONDUCTIVITY	0.1033 / 0.1166 WATTS/M-C	0.0261 / 0.0303
PRESS. DROP (DES/CALC)	103.42 / 4.31 KPA	202.60 / 121.86
FOULING RESISTANCE	0.00025 M2-C/WATT	0.00018
OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT (SERVICE)	294.99 WATTS/M2-C	
HEAT EXCHANGED	MM KJ/HR 5.440	MTD(CORRECTED) 53.2 FT 0.844
CONSTRUCTION DATA		
MATERIAL	Carbon Steel	SS Type 316
DESIGN PRESSURE	689 KPA	862
DESIGN TEMPERATURE	250.0 DEG C	250.0
NUMBER OF PASSES	1	2
TUBE: NUMBER	261	OD 31.75 MM. ID 28.98 MM. BWG 12
LENGTH	1850. MM.	PITCH 39.69 MM. PATTERN 90 DEGREES
SHELL: ID	1052. MM.	THICKNESS 7 MM. CHANNEL THICKNESS 8 MM
BAFFLE: TYPE	SINGLE SEGMENTAL.	CUT 25 %. SPACING 211 MM
FRONT: TYPE	B THICKNESS 8 MM.	REAR: TYPE S THICKNESS 8 MM

รูปที่ 4.34 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์แสดงผลการออกแบบในการคำนวณที่ D07

เปรียบเทียบผลการออกแบบของโปรแกรม HEXPERT กับโปรแกรม HEXTRAN

การเปรียบเทียบผลการออกแบบ พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient, U_o) และพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Transfer Area) ที่คำนวณได้ และหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด โดยอ้างอิงจากผลการคำนวณของโปรแกรม HEXTRAN สำหรับผลการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อจากโปรแกรม HEXTRAN แสดงไว้ที่ภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลของโปรแกรม HEXPERT กับโปรแกรม SimSci HEXTRAN

การคำนวณ	สภาพแวดล้อม	$U_o, W/m^2.K$		Area, m^2	
		HEXPERT	SimSci.	HEXPERT	SimSci.
D01	ของเหลว/ของเหลว, 2 Passes	802.09	754.84	442.	468.
D02	ของเหลว/ของเหลว, 2 Passes	909.76	785.44	91.	105.
D03	ของเหลว/ของเหลว, 4 Passes	665.57	561.16	53.	63.
D04	ของเหลว/ของเหลว, 4 Passes	986.01	889.61	65.	72.
D05	แก๊ส/แก๊ส, 2 Passes	126.20	175.68	76.	53.
D06	แก๊ส/แก๊ส, 2 Passes	98.19	182.16	80.	45.
D07	ของเหลว/แก๊ส, 2 Passes	294.99	359.08	96.	79.

ตารางที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดของผลการคำนวณจากโปรแกรม HEXPERT

การคำนวณ	% U_o Error	% Area Error	ค่าเฉลี่ย % U_o Error	ค่าเฉลี่ย % Area Error
D01	+ 6.26	- 5.56	+ 11.0	- 9.4
D02	+ 15.83	- 13.33		
D03	+ 18.61	- 15.87	+ 14.7	- 12.8
D04	+ 10.84	- 9.72		
D05	- 28.16	+ 43.40	- 37.1	+ 60.6
D06	- 46.10	+ 77.78		
D07	- 17.85	+ 21.52	- 17.8	+ 21.5

การวิเคราะห์ความไวของตัวแปรผลลัพธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ (Sensitivity Analysis)

เนื่องจากผลการออกแบบในบางกรณี (การคำนวณที่ D05 ถึง D07) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม (U_o) ที่คำนวณได้จากโปรแกรม HEXPERT มีความแตกต่างจากโปรแกรม HEXTRAN จึงทำการหาสาเหตุว่าตัวแปรใดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า U_o โดยการวิเคราะห์ความไวของตัวแปรที่สนใจต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์หนึ่งๆ ตัวแปรผลลัพธ์ที่สนใจคือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ส่วนพารามิเตอร์หนึ่งๆ คือ ตัวแปรที่มีผลต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ดังนี้

- F_s (สมการ 2.22a) คือ ค่าความปลอดภัยของการไหลในทางเลี้ยว (bypassing) ในด้านเซลล์
- B_i (สมการ 2.21a) คือ ค่าแก้ไขการเสียดทานในด้านท่อ เนื่องจากช่องทางเข้าและออก และการกลับทิศทางการไหล
- B_o/n_b (สมการ 2.22a) คือ อัตราส่วนของค่าแก้ไขการเสียดทานในด้านเซลล์ เนื่องจากการกลับทิศทางการไหล และการไหลผ่านกลุ่มท่อ ต่อระยะห่างของแผ่นกัน (Baffle)
- แฟกเตอร์ความเสียดทาน (Friction Factor, f)

การหาอัตราส่วนเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลของตัวแปร F_s , B_i , B_o/n_b และแฟกเตอร์ความเสียหาย ที่มีต่อค่า U_o .

ตัวแปร	ค่าของตัวแปร	U_o , $W/m^2.K$	ค่าเฉลี่ย $\Delta U_o/\Delta$ ตัวแปร
F_s	0.8	971.44	290.
	1.0	909.76	
	1.2	855.45	
B_i	0.8	909.76	0.
	1.0	909.76	
	1.2	909.76	
B_o/n_b	0.8	924.43	55.
	1.0	909.76	
	1.2	902.60	
f	0.00017	909.76	11,326.
	0.00408	851.74	
	0.00867	797.42	

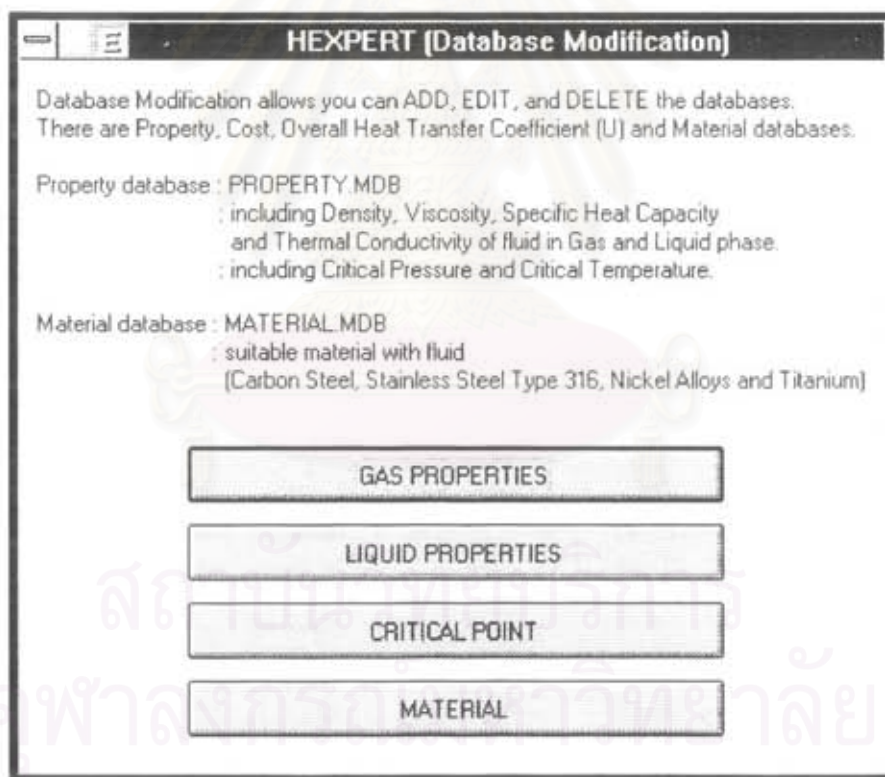
โปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล

โปรแกรม HEXPERT สามารถคำนวณสมบัติของของไหล จากข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อน ฐานข้อมูลสมบัติของของไหลประกอบด้วยสมบัติต่อไปนี้

1. ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity)
2. ความหนาแน่น (Density)
3. การนำความร้อน (Thermal conductivity)
4. ความหนืด (Viscosity)
5. อุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature) และความดันวิกฤต (Critical Pressure)

ในส่วนของโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม โปรแกรมสามารถแนะนำวัสดุที่เหมาะสมกับชนิดของของไหล ดังนั้นจึงต้องมีฐานข้อมูลความเหมาะสมของวัสดุกับของไหลด้วย วัสดุที่นำมาพิจารณาคือ Carbon steel, Stainless steel Type 316, Nickel Alloys และ Titanium ข้อมูลสมบัติของของไหลและข้อมูลความเหมาะสมของวัสดุกับของไหลแสดงในภาคผนวก ค และภาคผนวก ง ตามลำดับ

โปรแกรม HEXPERT ส่วนฐานข้อมูลสมบัติของของไหล และฐานข้อมูลความเหมาะสมของวัสดุกับของไหล แสดงดังรูปที่ 4.35 ถึง 4.39



รูปที่ 4.35 วินโดว์โปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล

Database Modification - GAS PROPERTY

VISCOSITY

$$\mu = A + BT + CT^2$$

$$\mu = \text{microPoise} : T = K$$

Name:

A:

B:

C:

◀◀ Viscosity_Gas ▶▶

SPECIFIC HEAT CAPACITY

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

$$C_p = \text{Cal/gmol.K} : T = K$$

Name:

Gas/Gmol:

A:

B:

C:

D:

◀◀ Cp_Gas ▶▶

ADD

EDIT

DELETE

CANCEL

CLOSE

THERMAL CONDUCTIVITY

$$k = A + BT + CT^2 + DT^3$$

$$k = \text{microCal/s.cm.K} : T = K$$

Name:

A:

B:

C:

D:

◀◀ k_Gas ▶▶

รูปที่ 4.36 วินโดว์โปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล ส่วนสมบัติสถานะแก๊ส

Database Modification - LIQUID PROPERTY

DENSITY

$$\rho = AB^{-1}(T-T_0)^{2/7}$$

$$\rho = \text{g/cm}^3 : T_0 = T/T_0$$

Name:

A:

B:

T₀:

◀◀ Density_Liquid ▶▶

VISCOSITY

$$\mu = A + B/T + CT^2 + DT^3$$

$$\mu = \text{centipoise} : T = K$$

Name:

A:

B:

C:

D:

◀◀ Viscosity_Liquid ▶▶

ADD

EDIT

DELETE

CANCEL

CLOSE

SPECIFIC HEAT CAPACITY

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

$$C_p = \text{Cal/g.K} : T = K$$

Name:

A:

B:

C:

D:

◀◀ Cp_Liquid ▶▶

THERMAL CONDUCTIVITY

$$k = A + BT + CT^2$$

$$k = \text{microCal/s.cm.K} : T = K$$

Name:

A:

B:

C:

◀◀ k_Liquid ▶▶

รูปที่ 4.37 วินโดว์โปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล ส่วนสมบัติสถานะของเหลว

Database Modification - CRITICAL POINT

CRITICAL POINT

Name: Aniline

Critical Temperature, K: 699

Critical Pressure, bar: 53.1

Navigation: Critical Point

Buttons: ADD, EDIT, DELETE, CANCEL, CLOSE

รูปที่ 4.38 วินโดว์โปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล ส่วนสมบัติจุดวิกฤต

Database Modification - MATERIAL

MATERIAL

Name: Air

Carbon Steel: 2

Stainless Steel Type 316: 1

Nickel Alloys: 1

Titanium: 1

Navigation: Material

Buttons: ADD, EDIT, DELETE, CANCEL, CLOSE

Remark : 1 = Excellent
2 = Good
3 = Fair
4 = Poor

รูปที่ 4.39 วินโดว์โปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล ส่วนความเหมาะสมของวัสดุกับของไหล