บทที่ 4

ผลการพัฒนาโปรแกรม

ผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการเลือกและการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นโปรแกรม HEXPERT หรือHEAT EXCHANGER EXPERT ภายใต้ระบบการทำงาน Microsoft Windows 3.11 Thai Edition สามารถแยกโปรแกรมเป็น 3 ส่วนหลัก คือ โปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม และโปรแกรมเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ และโปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล

โปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม

องค์ประกอบหลักของโปรแกรมส่วนนี้ คือ ฐานความรู้ของข้อกำหนดที่ใช้ในการเลือกชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งรวบรวมจากข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญหลายๆ ท่าน ประกอบกับลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละชนิด ดังจะกล่าวต่อไป

ฐานความรู้ของข้อกำหนด

จากการรวบรวมข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญหลายๆ ท่าน เพื่อใช้เลือกชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สรุปข้อกำหนดต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.1 โดยจำนวนของเครื่องหมาย * บอกถึงความสอดคล้องกับข้อกำหนด (Criteria) นั้น ว่ามีมากน้อยเพียงใด ถ้ามีจำนวนเครื่องหมาย * มาก แสดงว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีสมบัติที่สอดคล้องกับข้อกำหนดนั้นมาก เช่น สมบัติความกระทัดรัด (Compactness) สำหรับ PHE และ SHE มีจำนวน * เท่ากับ 4 แสดงว่ามีความกระทัดรัดมาก 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 คำนวนวิธีเดียวกับตาราง ที่ 2.6 โดยใช้อันดับของข้อกำหนดในตารางที่ 4.1

การคำนวณอุณหภูมิที่ไม่ทราบค่าและภาระทางความร้อน

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

ต้องการถ่ายโอน โดยกำหนดจุดมุ่งหมายการแลกเปลี่ยนความร้อนในกรอบ OBJECTIVE ของโปรแกรม HEXPERT ส่วนการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม

<u>การให้คะแนนและการจัดอันดับความสำคัญของข้อกำหนด</u>

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

<u>การคัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เหมาะสมออก</u>

แบ่งข้อกำหนดเป็นกลุ่มเพื่อการคัดเลือกได้ดังนี้

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

พิจารณาจากข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อน และพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่คำนวณได้ ข้อกำหนดกลุ่มนี้เป็นการพิจารณาขอบเขตการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

กลุ่มที่ 2 : Temp_Cross, Viscous flow และ Gases

พิจารณาได้จากข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อน และค่าความหนืดของของไหลที่คำนวณได้ ข้อกำหนดกลุ่มนี้จึงเป็นกลุ่มที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อนเป็นหลัก

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

ผู้ใช้สามารถเลือกอันดับความสำคัญได้ ดังที่กล่าวมาข้างต้น

กลุ่มที่ 4 : ข้อกำหนดที่เหลือทั้งหมด

เป็นข้อกำหนดในการหาค่าใช้งาน (U_f)

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

การคัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่เหมาะสมออกโดยข้อกำหนดกลุ่มที่ 2 และ 3 พิจารณาจากคะแนนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแต่ละชนิด ถ้าข้อกำหนดใดมีคะแนน 20 แสดงว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนั้นไม่เหมาะกับความต้องการของผู้ใช้ จึงทำการคัดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนั้นออก

โปรแกรม HEXPERT ส่วนเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 4.1 ผลจากการใช้โปรแกรม HEXPERT แยกเป็นกรณีศึกษาได้ดังนี้

<u>กรณีศึกษาที่ 1</u> ไม่ระบุเลือกข้อกำหนดใด ในกรอบ CRITERIA RANKING

ป้อนข้อมูลที่สภาวะของเหลวกับของเหลว ไม่มีการเลือกข้อกำหนดใด ดังรูปที่ 4.1 เมื่อกดปุ่ม RUN จะได้ผลการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.4

<u>กรณีศึกษาที่ 2</u> เลือกข้อกำหนด Compactness จากกรอบ CRITERIA RANKING

ป้อนข้อมูลที่สภาวะเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 เลือกข้อกำหนดความกระทัดรัด ดังรูปที่ 4.5 เมื่อกดปุ่ม RUN จะได้ผลดังรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.8

<u>กรณีศึกษาที่ 3</u> 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

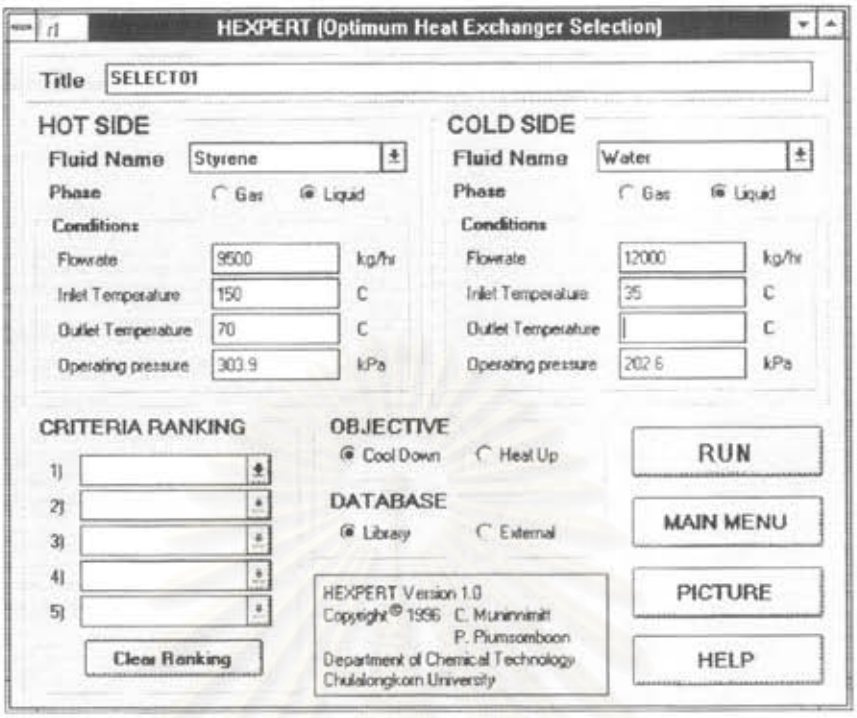
กรณีศึกษาที่ 4 ด้านเย็นมีสถานะแก๊ส ไม่เลือกข้อกำหนดใดจาก CRITERIA RANKING

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

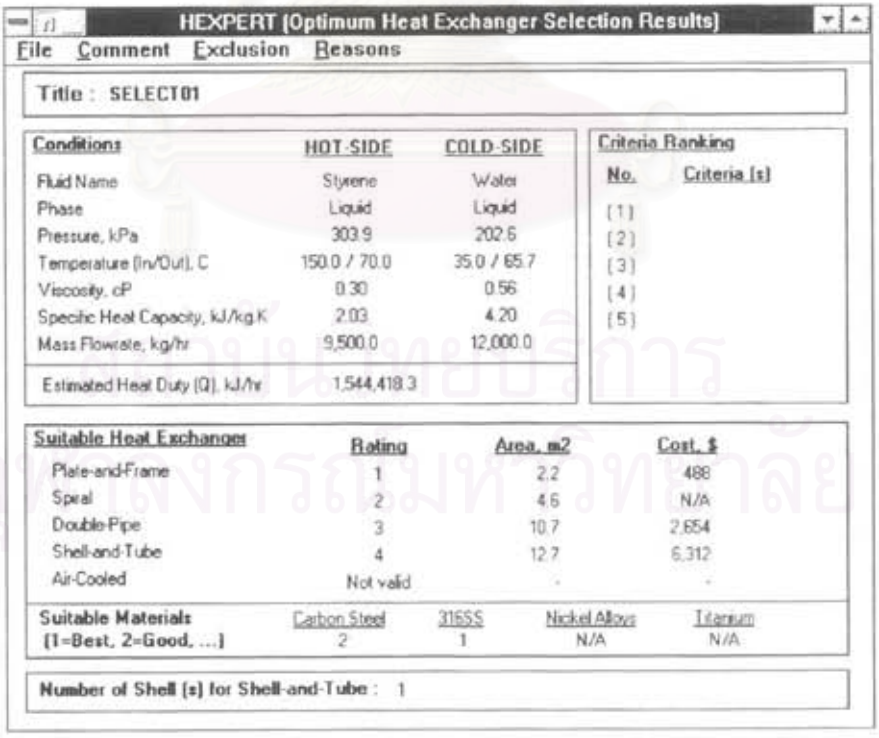
กรณีศึกษาที่ 5 เลือกข้อกำหนดทั้งหมด 5 ข้อจาก CRITERIA RANKING

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



รูปที่ 4.1 แสดงวินโดว์สโปรแกรมการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.2 ผลโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 1

REASONS FOR SUITABLE HEAT EXCHANGER(S)

There are score of each Heat Exchanges 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.

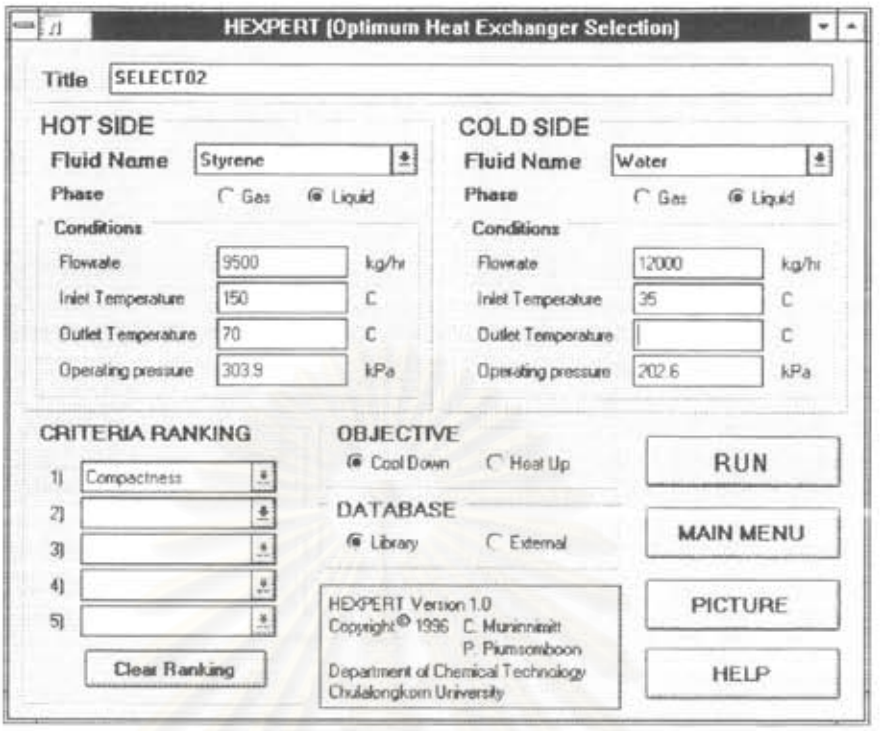
Type	Rating	Score	Exclusion No.	Remark
Plate-and-Frame	1	81		
Spiral	2	77		
Double-Pipe	3	47		
Shell-and-Tube	4	36		
Air-Cooled	Not valid		109	It is not cooled by Air.

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

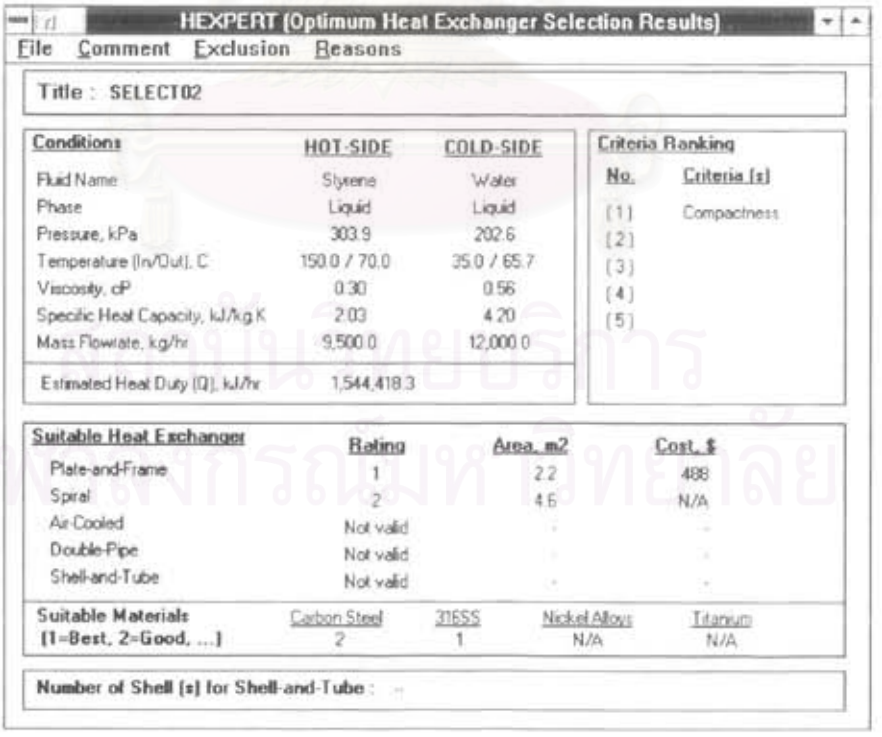
รูปที่ 4.3 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 1

	Criteria	Plate-and-Frame Wi Ui		Spiral Wi Ui		Double-Pipe Wi Ui		Shell-and-Tube Wi Ui	
1	Compactness	0.314 x 80	= 25.2	0.314x80	= 25.2	0.314x20	= 6.3	0.314x20	= 6.3
2	Cleanability	0.157 x 100	= 15.7	0.157x80	= 12.6	0.157x60	= 9.4	0.157x60	= 9.4
3	Maintenance	0.105 x 100	= 10.5	0.105x40	= 4.2	0.105x60	= 6.3	0.105x80	= 8.4
4	Corrosion risk	0.079x80	= 6.3	0.079x80	= 6.3	0.079x80	= 6.3	0.079x40	= 3.1
5	Fouling tendency	0.063x100	= 6.3	0.063x80	= 5.	0.063x60	= 3.8	0.063x20	= 1.3
6	Fouling effect	0.052x80	= 4.2	0.052x80	= 4.2	0.052x60	= 3.1	0.052x40	= 2.1
7	Leakage risk	0.045x20	= .9	0.045x80	= 3.6	0.045x60	= 2.7	0.045x40	= 1.8
8	Temp cross	0.039x80	= 3.1	0.039x100	= 3.9	0.039x60	= 2.4	0.039x40	= 1.6
9	Viscous flow	0.035x80	= 2.8	0.035x80	= 2.8	0.035x40	= 1.4	0.035x60	= 2.1
10	Ht sensitive fluid	0.031x80	= 2.5	0.031x40	= 1.3	0.031x40	= 1.3	0.031x20	= .6
11	Solid flow	0.029x40	= 1.1	0.029x80	= 2.3	0.029x60	= 1.7	0.029x20	= .6
12	Gas	0.026x20	= .5	0.026x60	= 1.6	0.026x80	= 2.1	0.026x80	= 2.1
13	Multi fluid exchange	0.024x60	= 1.5	0.024x20	= .5	0.024x20	= .5	0.024x40	= 1.
	Total		**80.6**		**73.4**		**47.2**		**40.3**

รูปที่ 4.4 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.5 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 2



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.

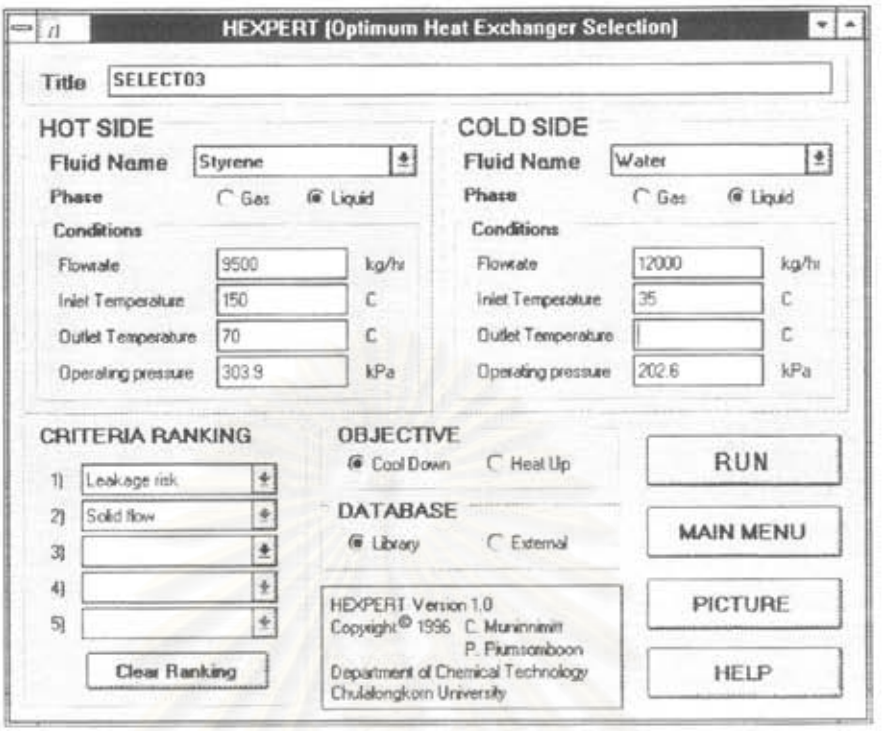
Type	Rating	Score	Exclusion No.	Remark
Plate-and-Frame	1	81		
Spiral	2	73		
Air-Cooled	Not valid		109	It is not cooled by Air.
Double-Pipe	Not valid		104	Compactness.
Shell-and-Tube	Not valid		104	Compactness.

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

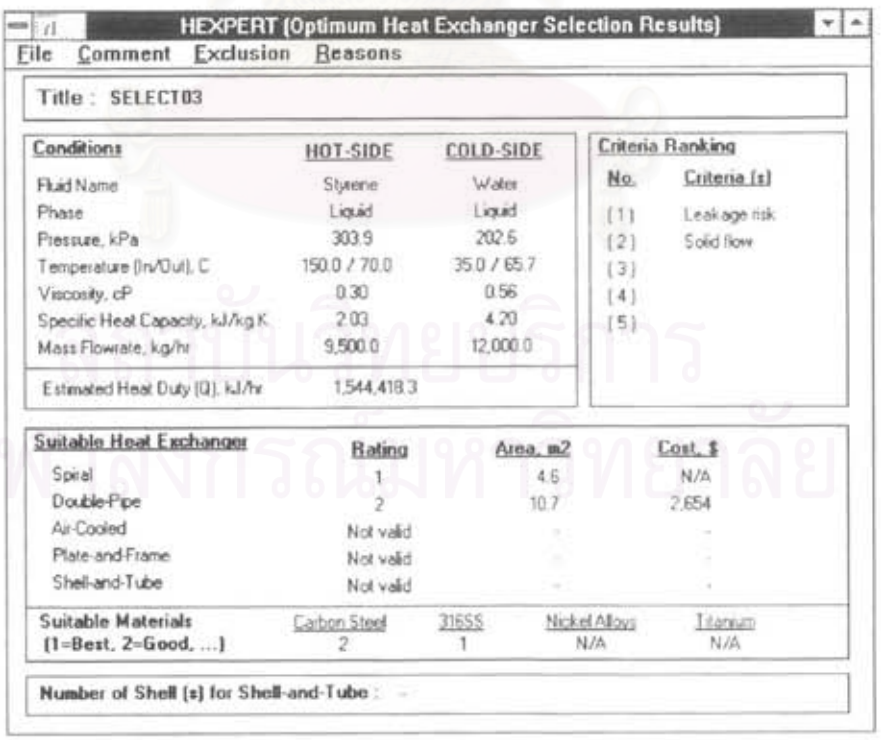
รูปที่ 4.7 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 2

	Criteria	Plate-and-Frame Wi	Ui		Spiral Wi	Ui	
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	Ht 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**

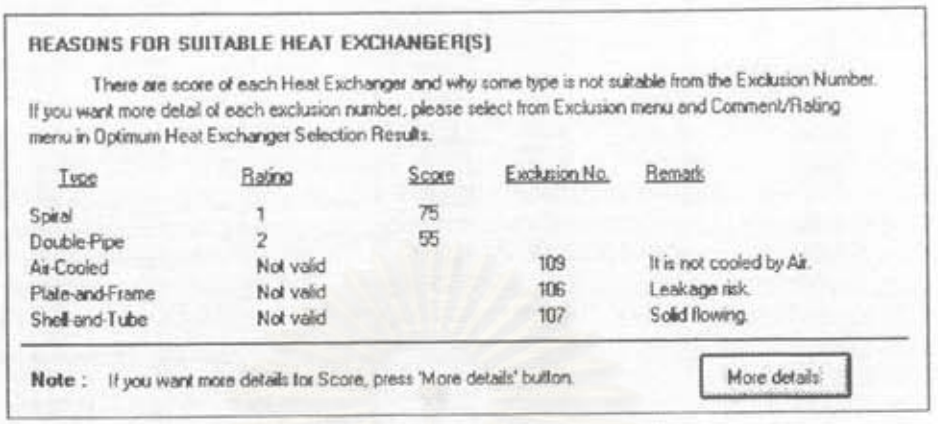
รูปที่ 4.8 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.9 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.10 ผลโปรแกรมเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม กรณีศึกษาที่ 3



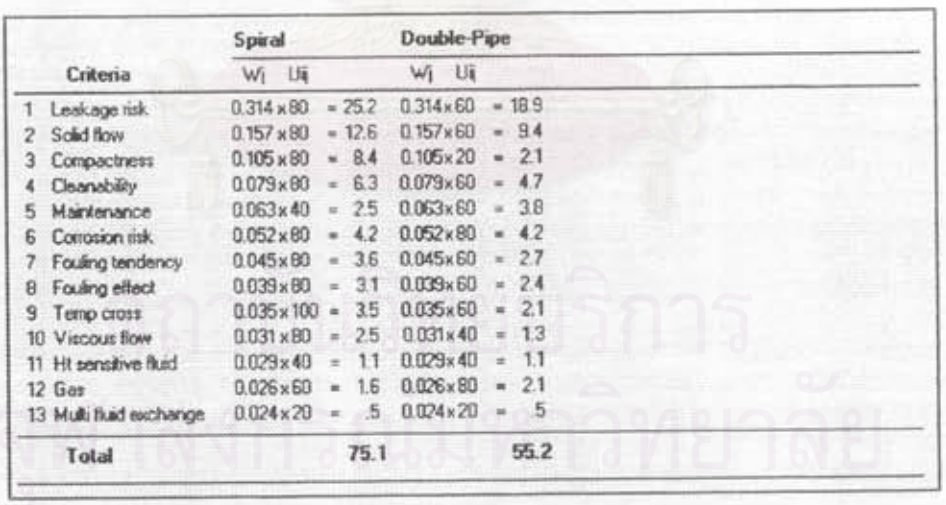
REASONS FOR SUITABLE HEAT EXCHANGER(S)

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.

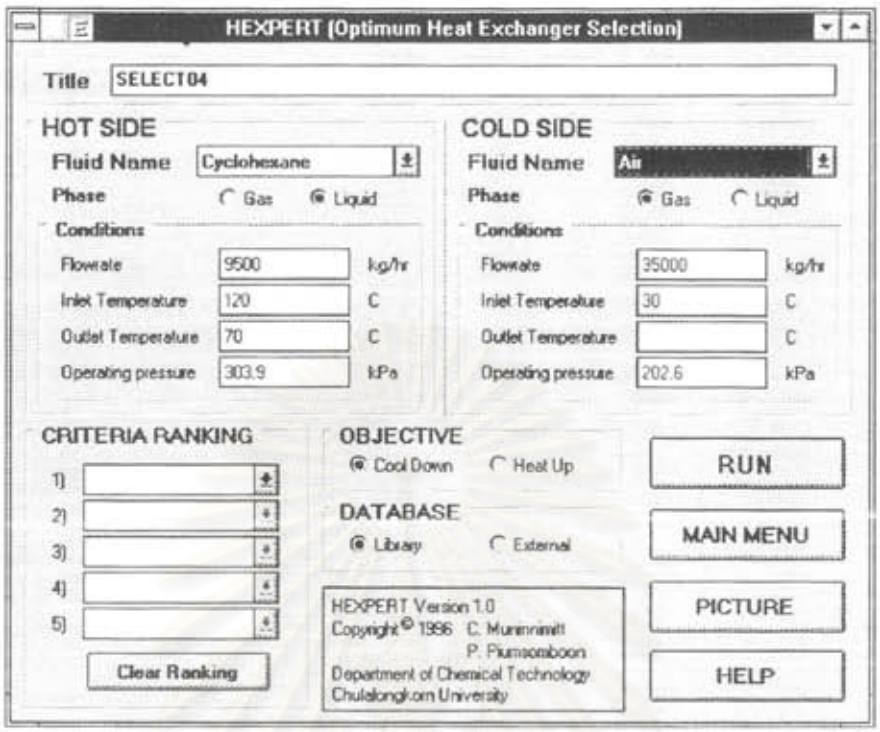
Note : If you want more details for Score, press 'More details' button. More details

รูปที่ 4.11 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 3

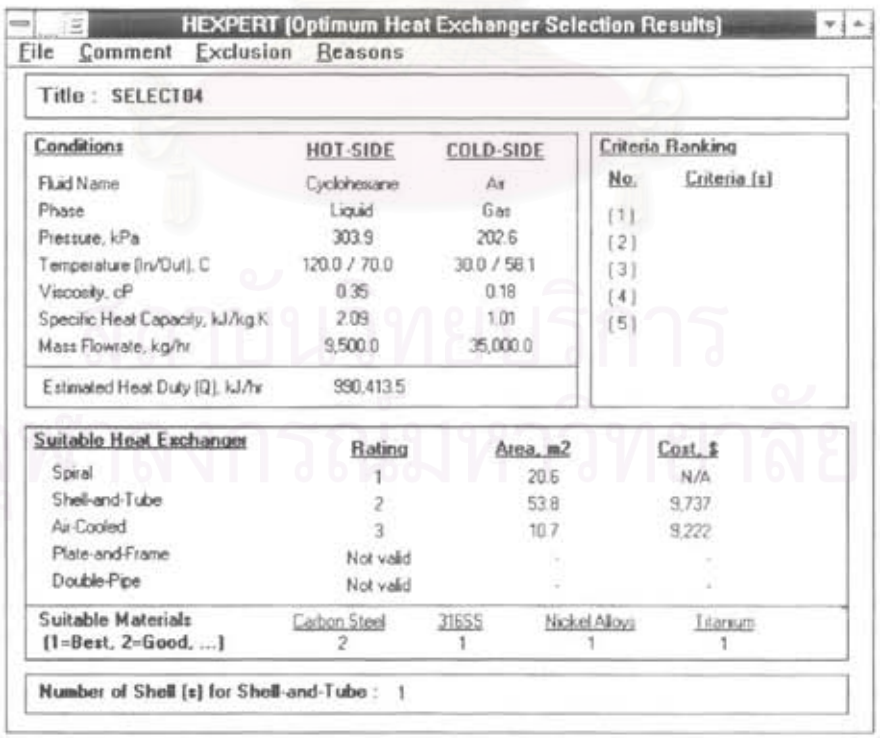


Criteria	Spiral Wj Uij		Double-Pipe Wj Uij	
1 Leakage risk	0.314 x 80	= 25.2	0.314 x 60	= 18.9
2 Solid flow	0.157 x 80	= 12.6	0.157 x 60	= 9.4
3 Compactness	0.105 x 80	= 8.4	0.105 x 20	= 2.1
4 Cleanability	0.079 x 80	= 6.3	0.079 x 60	= 4.7
5 Maintenance	0.063 x 40	= 2.5	0.063 x 60	= 3.8
6 Corrosion risk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

รูปที่ 4.12 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.13 วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการเลือกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาที่ 4



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.

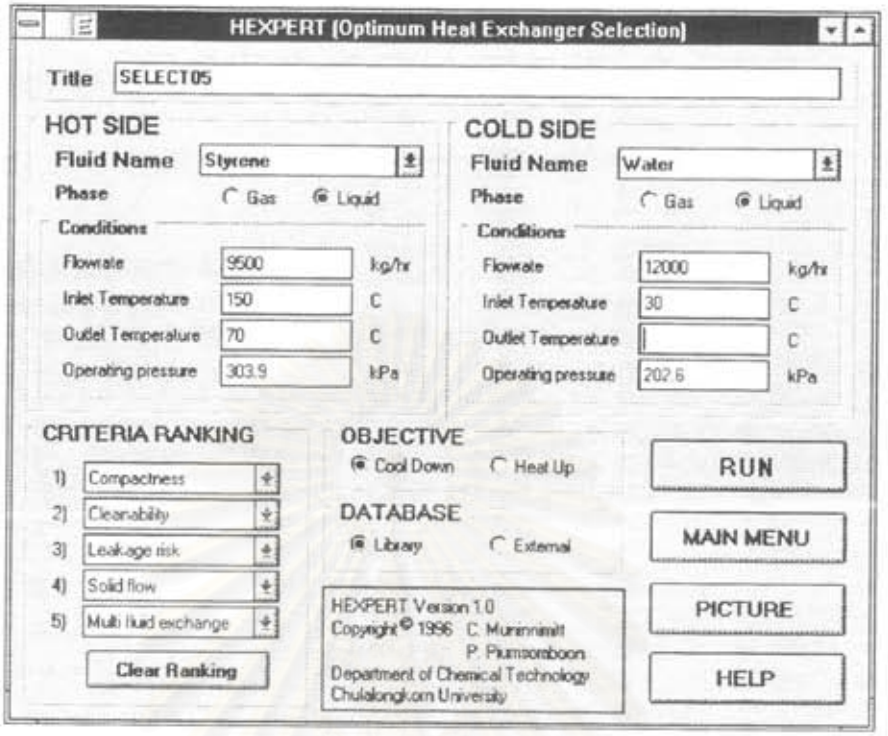
Type	Rating	Score	Exclusion No.	Remark
Spiral	1	73		
Shell-and-Tube	2	40		
Air-Cooled	3	39		
Plate-and-Frame	Not valid		102	Unsuitable with Gas phase.
Double-Pipe	Not valid		112	Heat Transfer Area out of range.

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

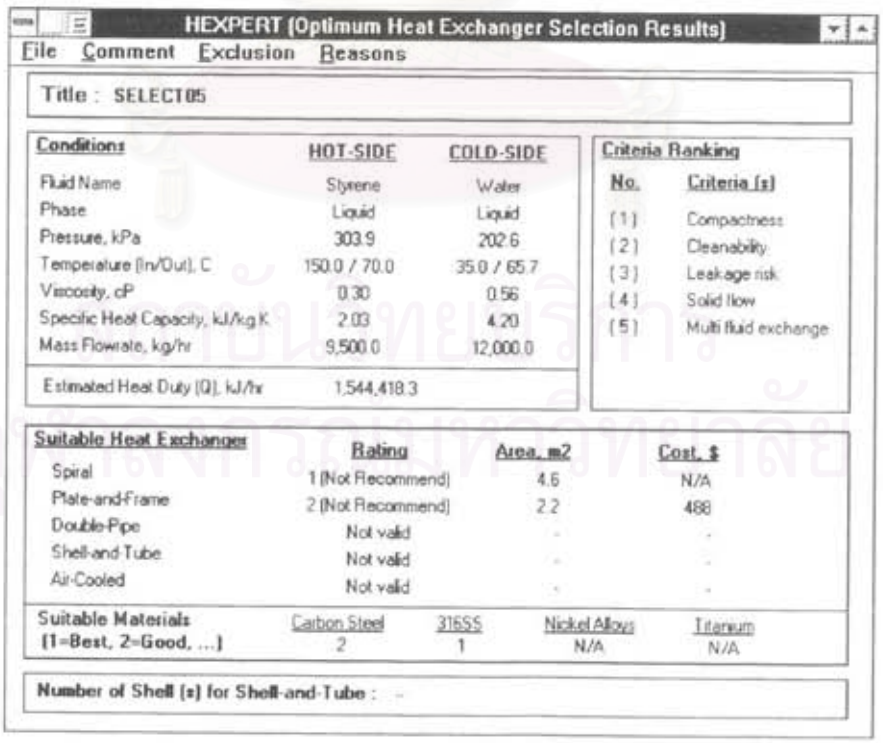
รูปที่ 4.15 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 4

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

รูปที่ 4.16 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม 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	108	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 วินโดว์สอธิบายเหตุผล กรณีศึกษาที่ 5

	Criteria	Spiral Wi	Ui		Plate-and-Frame Wi	Ui	
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.	0.026	x 80	= 2.1
13	Gas	0.024	x 60	= 1.5	0.024	x 20	= .5
	Total			**73.2**			**72.8**

รูปที่ 4.20 วินโดว์สแสดงรายละเอียดของคะแนนรวม กรณีศึกษาที่ 5

โปรแกรมเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

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

ตารางที่ 4.2 สภาพแวดล้อมของการคำนวณเพื่อการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

การคำนวณที่	สถานะของของไหล	จำนวนเที่ยวการไหลในท่อ (Number of Passes)	รูปแสดงข้อมูลป้อนเข้าและผล
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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

D01 : ต้องการลดอุณหภูมิของ Toluene เหลว ซึ่งไหลผ่านเชลล์ จากอุณหภูมิ 150°C เหลือ 80°C ที่อัตราการไหล 547,500 kg/hr โดยใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็น มีอุณหภูมิขาเข้า 35°C และขาออก 59.5°C ที่อัตราการไหล 750,000 kg/hr ความดันขาเข้าด้านเชลล์เท่ากับ 405.20 kPa และด้านท่อเท่ากับ 303.90 kPa ที่ความดันลดด้านเชลล์ไม่เกิน 81.04 kPa และด้านท่อไม่เกิน 101.30 kPa จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว Toluene และน้ำ มีค่าความต้านทานของตะกรัน 0.00026 และ 0.00034 m^2.C/W ตามลำดับ ใช้ท่อขนาด 19.05 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเชลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 862 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C ส่วนด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D02 : Styrene เหลวร้อน ไหลผ่านเชลล์ด้วยอัตรา 95,000 kg/hr มีอุณหภูมิขาเข้า 150°C และขาออก 70°C ใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งมีอุณหภูมิขาเข้า 35°C และขาออก 63.8°C ที่อัตราการไหล 120,000 kg/hr ความดันขาเข้าด้านเชลล์เท่ากับ 303.90 kPa และด้านท่อเท่ากับ 202.60 kPa ที่ความดันลดด้านเชลล์และด้านท่อไม่เกิน 151.95 kPa ใช้จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว Styrene และน้ำ มีค่าความต้านทานของตะกรัน 0.00026 และ 0.00026 m^2.C/W ตามลำดับ ท่อที่ใช้มีขนาด 19.05 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเชลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C ส่วนด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D03 : Naphthalene เหลวร้อน ไหลผ่านเชลล์ด้วยอัตรา 45,000 kg/hr มีอุณหภูมิขาเข้า 100°C และขาออก 50°C ใช้น้ำหล่อเย็น ซึ่งมีอุณหภูมิขาเข้า 35°C และขาออก 43.6°C ที่อัตราการไหล 100,000 kg/hr ความดันขาเข้าด้านเชลล์เท่ากับ 253.25 kPa และด้านท่อเท่ากับ 303.90 kPa ที่ความดันลดด้านเชลล์ไม่เกิน 50.65 kPa และด้านท่อไม่เกิน 103.42 kPa ใช้จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 4 เที่ยว Naphthalene และน้ำ มีค่าความต้านทานของตะกรัน 0.00026 และ 0.00034 m^2.C/W ตามลำดับ ท่อที่ใช้มีขนาด 19.05 mm และรูปแบบท่อ 30° วัสดุที่ใช้ด้านเชลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C ส่วนด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D04 : ต้องการลดอุณหภูมิน้ำร้อนที่มีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งไหลผ่านเชลล์ จากอุณหภูมิ 108°C เหลือ 60°C ที่อัตราการไหล 40,000 kg/hr โดยใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็น มีอุณหภูมิขาเข้า 35°C และขาออก 51.1°C ที่อัตราการไหล 120,000 kg/hr ความดันขาเข้าด้านเชลล์เท่ากับ 202.60 kPa และด้านท่อเท่ากับ 303.90 kPa ที่ความดันลดด้านเชลล์ไม่เกิน 101.30 kPa และด้านท่อไม่เกิน 151.95 kPa ใช้จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 4 เที่ยว Naphthalene และน้ำ มีค่าความต้านทานของตะกรัน 0.00026 และ 0.00034 m^2.C/W ตามลำดับ ท่อที่ใช้มีขนาด 19.05 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเชลล์คือ 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 ที่ไหลในด้านเชลล์ด้วยอัตรา 27,500 kg/hr อุณหภูมิแก๊สร้อน 150°C และปล่อยออกที่อุณหภูมิ 93.8°C ความดันขาเข้าของแก๊สร้อนและ Ethylene เท่ากับ 253.25 kPa และ 303.90 kPa ตามลำดับ ความดันลดด้านเชลล์ต้องไม่เกิน 101.30 kPa และด้านท่อไม่เกิน 131.69 kPa จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว ค่าความต้านทานของตะกรันของแก๊สร้อนและ Ethylene เท่ากับ 0.00018 และ 0.00031 m^2.C/W ตามลำดับ ใช้ท่อขนาด 25.40 mm และรูปแบบท่อ 30° วัสดุที่ใช้ด้านเชลล์คือ 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 54.8°C ที่อัตราการไหล 65,000 kg/hr อุณหภูมิแก๊ส Sulphur dioxide ขาเข้า 100°C และปล่อยออกที่อุณหภูมิ 70.0°C ความดันขาเข้าของอากาศและแก๊สร้อนเท่ากับ 354.55 kPa ความดันลดทั้งด้านเชลล์และด้านท่อต้องมีค่าไม่เกิน 151.95 kPa จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว ค่าความต้านทานของตะกรันของอากาศและแก๊สร้อนเท่ากับ 0.00019 และ 0.00018 m^2.C/W ตามลำดับ ใช้ท่อขนาด 31.75 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเชลล์และด้านท่อคือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 862 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 250°C

D07 : ต้องการลดอุณหภูมิ Toluene เหลวร้อนซึ่งไหลผ่านเชลล์ จากอุณหภูมิ 150°C เหลือ 96°C ที่อัตราการไหล 60,000 kg/hr หล่อเย็นด้วยอากาศ ที่มีอุณหภูมิขาเข้า 30°C และขาออก 90.0°C ที่อัตราการไหล 90,000 kg/hr ความดันขาเข้าด้านเชลล์เท่ากับ 303.90 kPa และด้านท่อเท่ากับ 405.20 kPa ที่ความดันลดด้านเชลล์ไม่เกิน 103.42 kPa และด้านท่อไม่เกิน 202.60 kPa ใช้จำนวนเที่ยวการไหลของท่อเท่ากับ 2 เที่ยว ค่าความต้านทานของตะกรันของ Toluene และอากาศเท่ากับ 0.00025 และ 0.00018 m^2.C/W ตามลำดับ ท่อที่ใช้มีขนาด 31.75 mm และรูปแบบท่อ 90° วัสดุที่ใช้ด้านเชลล์คือ Carbon steel ที่ความดันออกแบบ 689 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 260°C ด้านท่อใช้วัสดุ Stainless steel ที่ความดันออกแบบ 862 kPa และอุณหภูมิออกแบบ 260°C

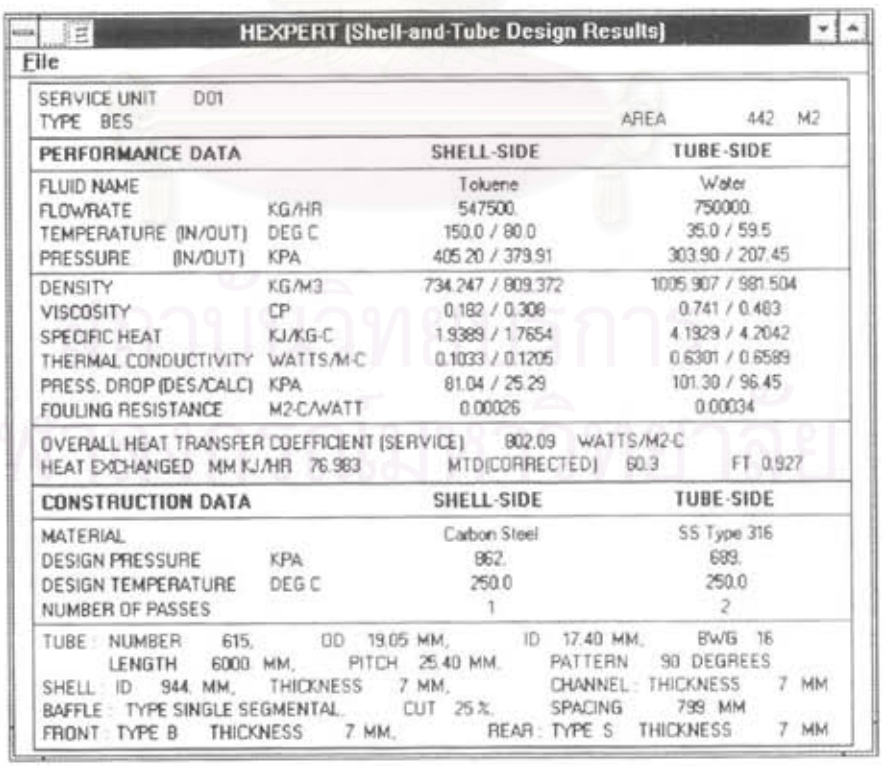
หมายเหตุ การคำนวณทุกกรณี ใช้เงื่อนไขดังนี้

- ส่วนหัว ส่วนเชลล์ และส่วนท้าย ตามมาตรฐานของ TEMA คือ BES
- แฟกเตอร์ F_s , B_i และ B_c/n_b ในส่วน Calculation factors มีค่าเท่ากับ 1
- คุณสมบัติสารคำนวณจากฐานข้อมูลของโปรแกรม HEXPERT ยกเว้นความหนาแน่นของของไหลที่มีสถานะแก๊สเท่านั้น ที่ผู้ใช้ต้องป้อนเข้า
- จำนวนเที่ยวการไหลในเชลล์เท่ากับ 1 เที่ยว

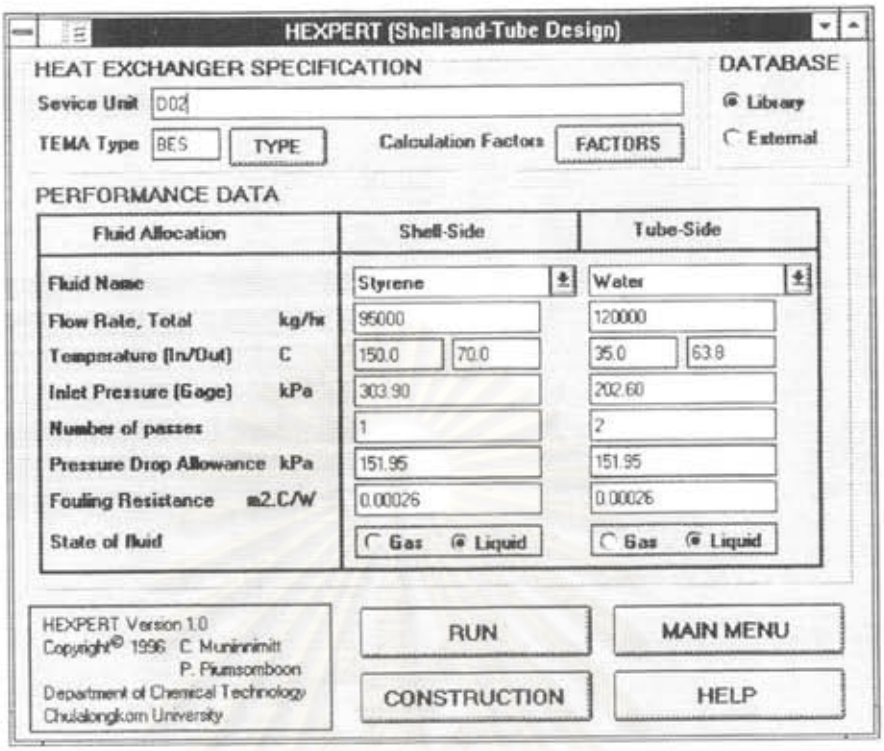
ข้อมูลป้อนเข้าและผลการคำนวณจากโปรแกรม HEXPERT แสดงดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

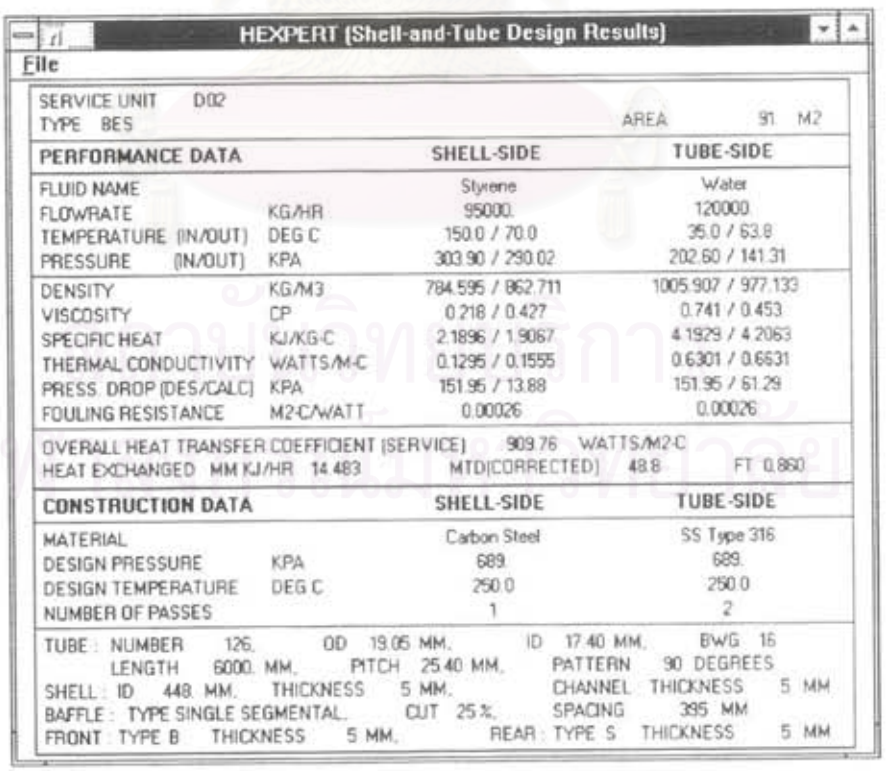
รูปที่ 4.21 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D01



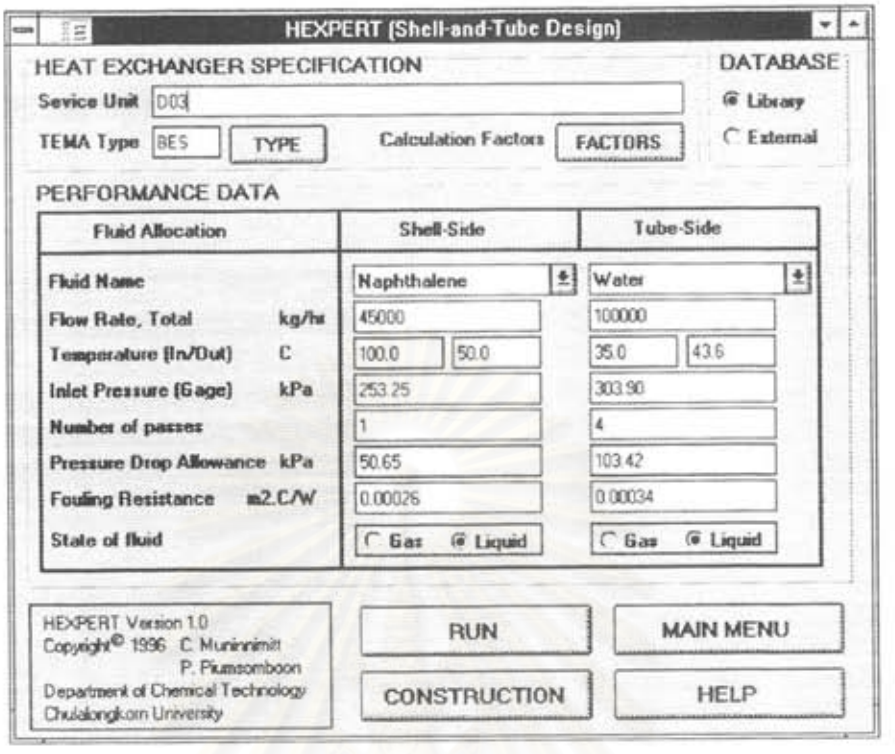
รูปที่ 4.22 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D01



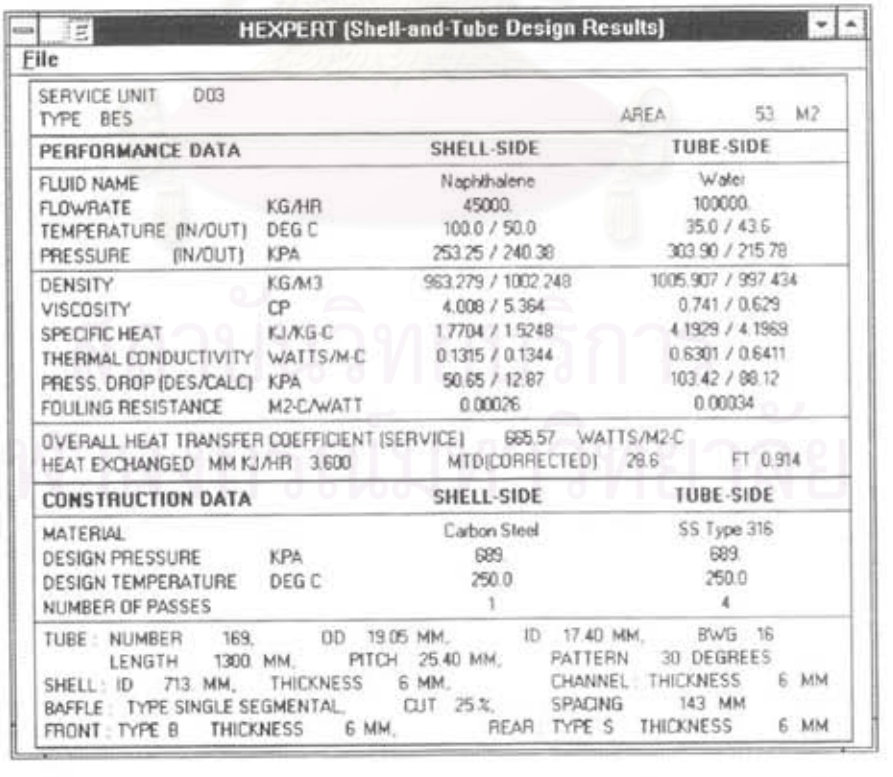
รูปที่ 4.23 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D02



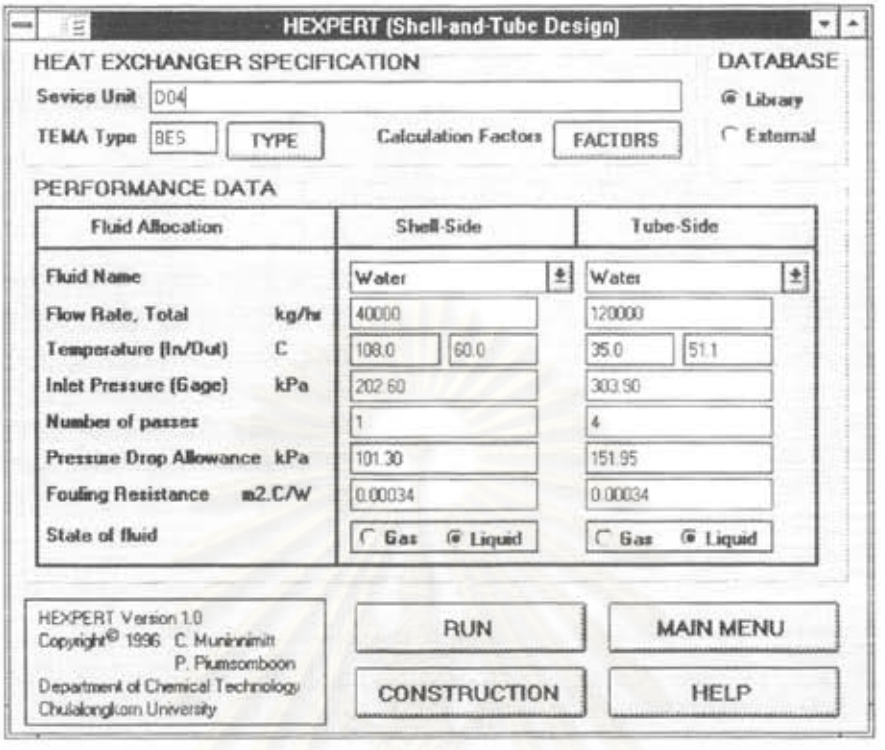
รูปที่ 4.24 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D02



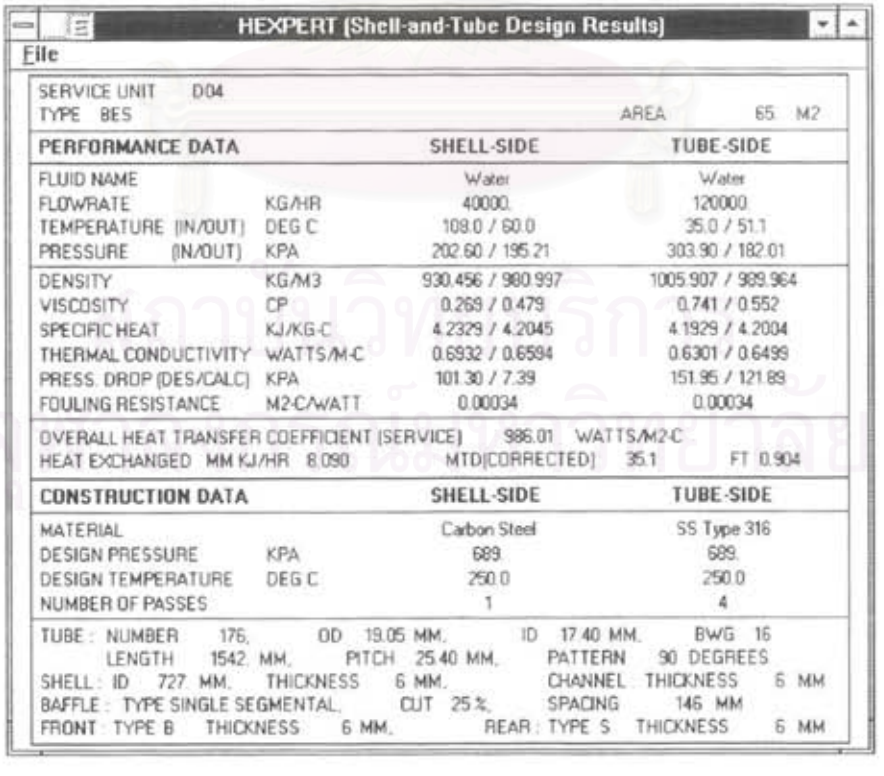
รูปที่ 4.25 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D03



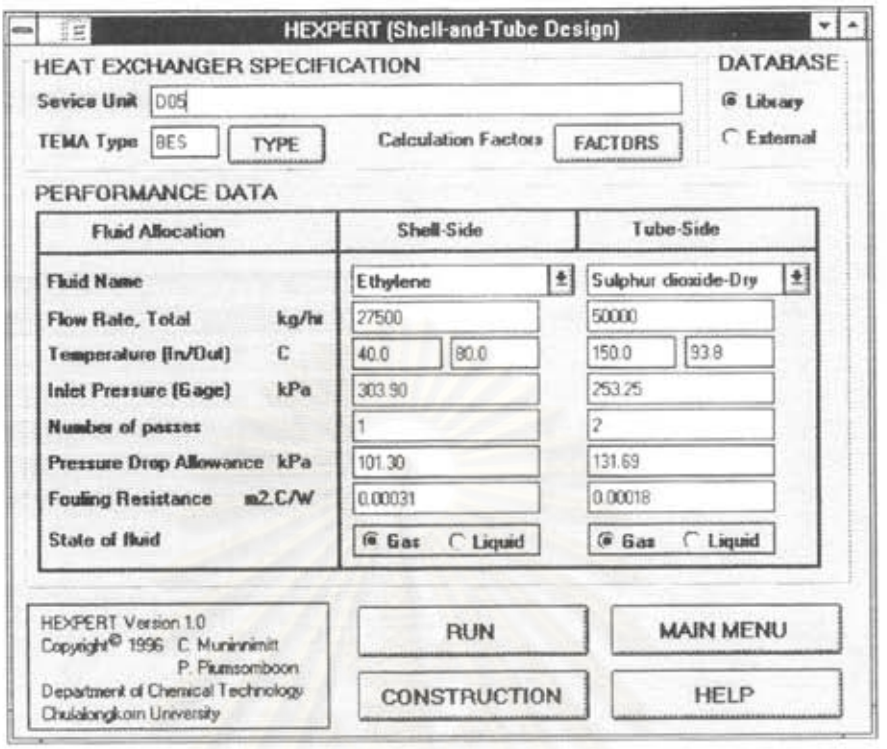
รูปที่ 4.26 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D03



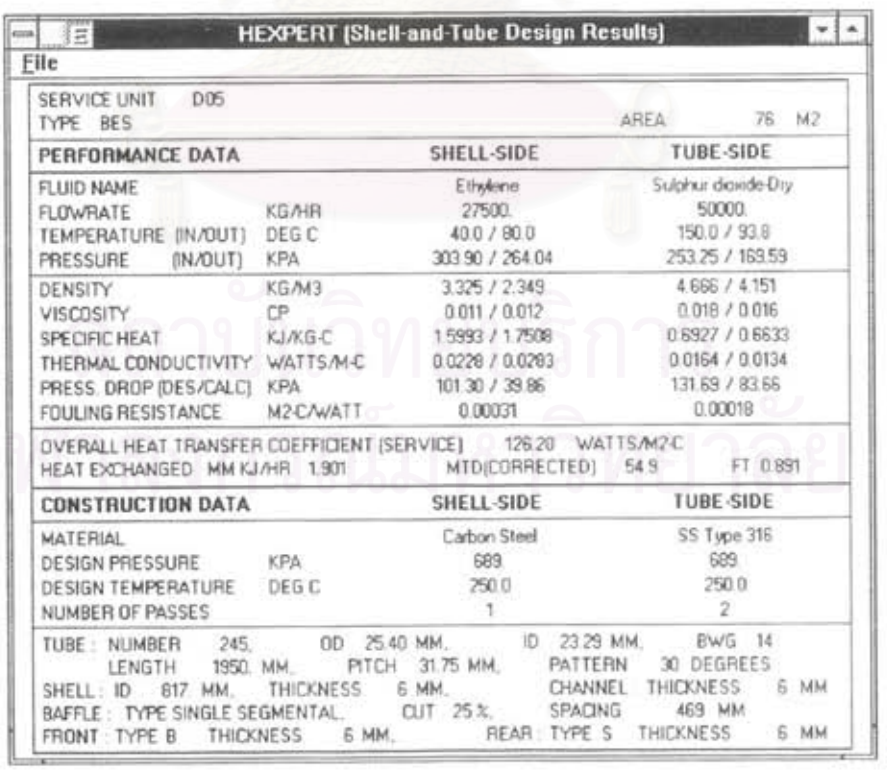
รูปที่ 4.27 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D04



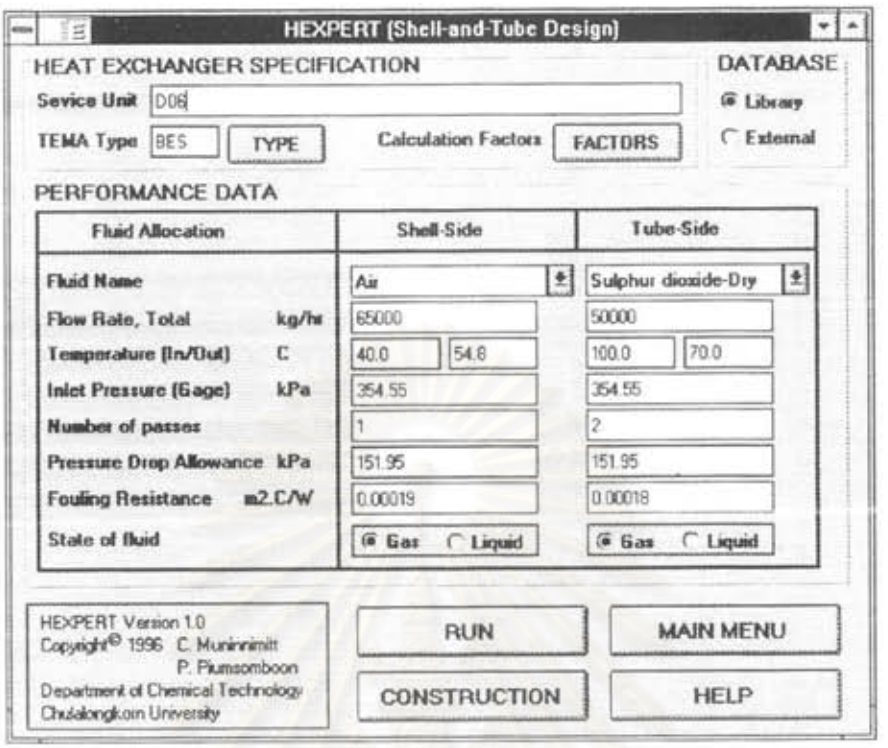
รูปที่ 4.28 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D04



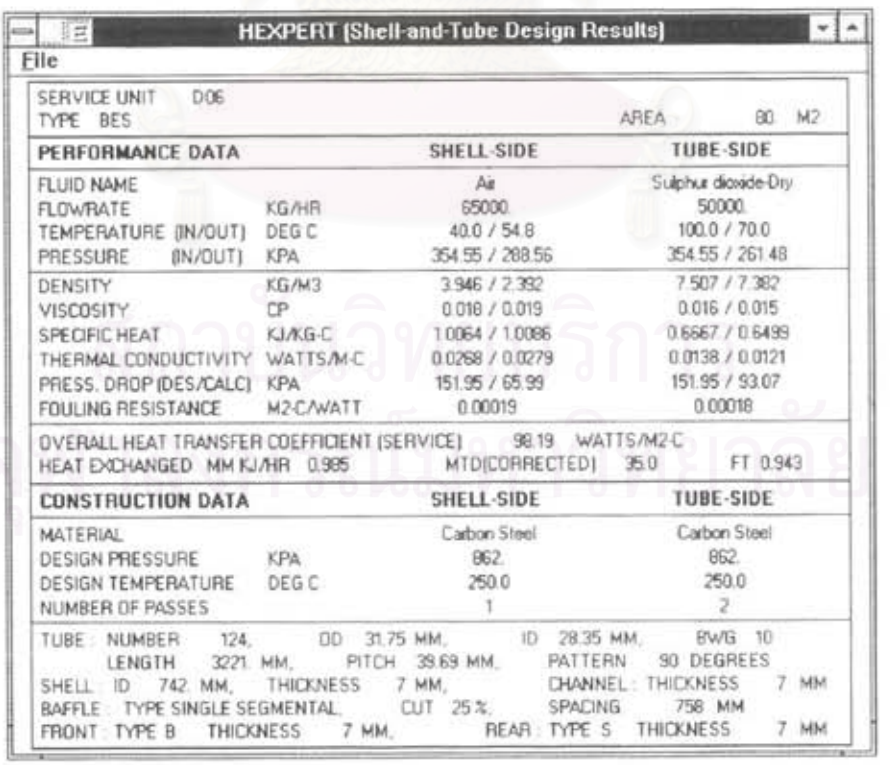
รูปที่ 4.29 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D05



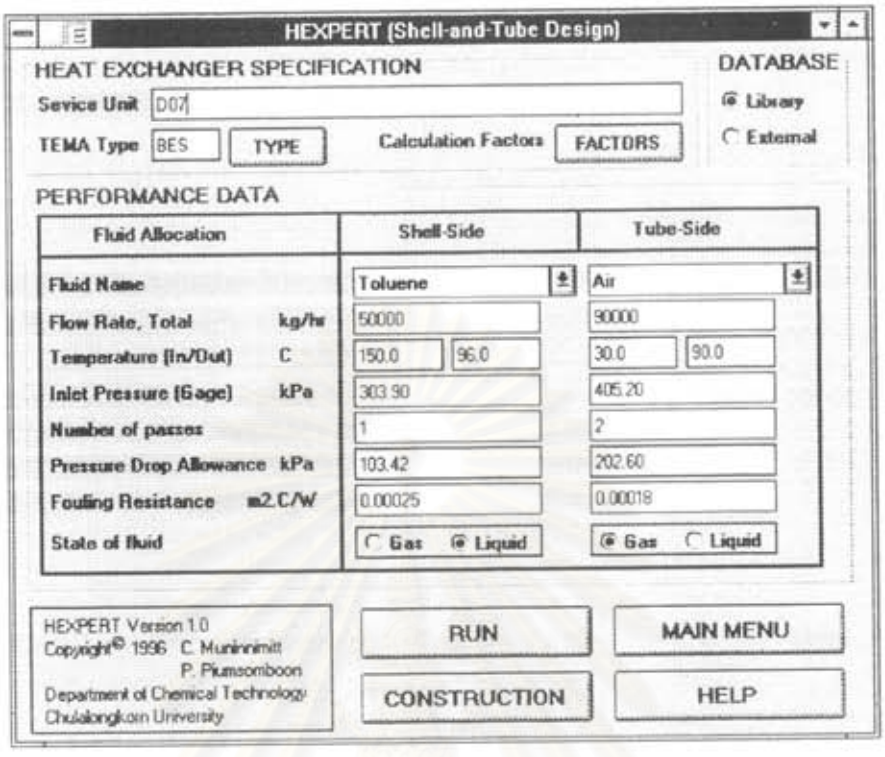
รูปที่ 4.30 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D05



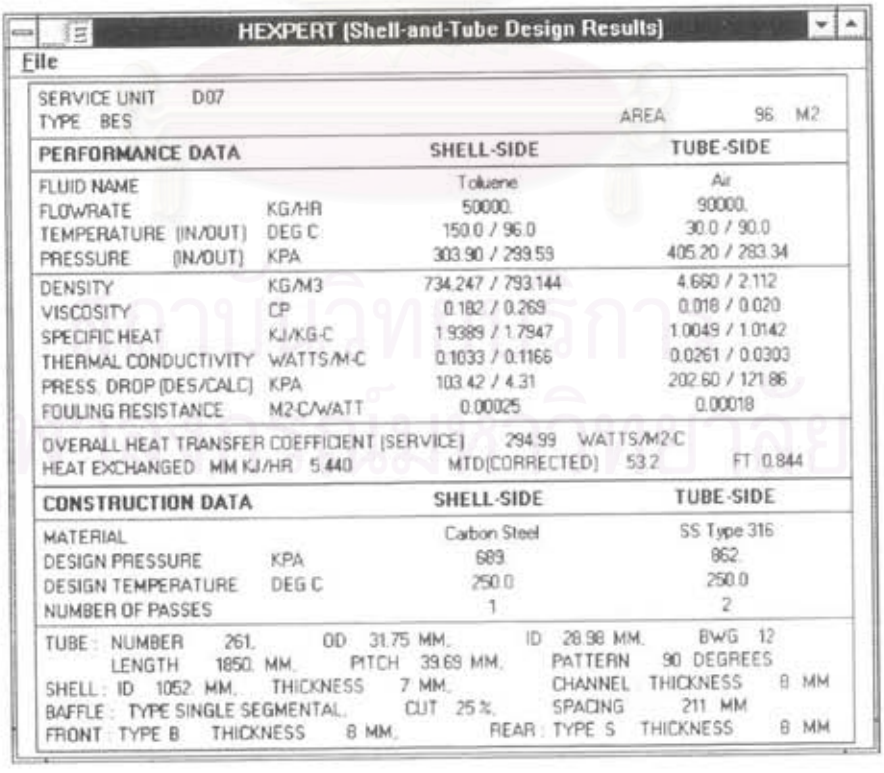
รูปที่ 4.31 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D06



รูปที่ 4.32 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D06



รูปที่ 4.33 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สป้อนข้อมูลเพื่อการออกแบบในการคำนวณที่ D07



รูปที่ 4.34 โปรแกรม HEXPERT วินโดว์สผลการออกแบบในการคำนวณที่ D07

เปรียบเทียบผลการออกแบบของโปรแกรม HEXPERT กับโปรแกรม HEXTRAN

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

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 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม ส่วนพารามิเตอร์หนึ่งๆ คือ ตัวแปรที่มีผลต่อการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม ดังนี้

- F_s (สมการ 2.22a) คือ ค่าความปลอดภัยของการไหลในทางเลี่ยง (bypassing) ในด้านเชลล์

- B_i (สมการ 2.21a) คือ ค่าแก้ไขการเสียดทานในด้านท่อ เนื่องจากช่องทางเข้าและออก และการกลับทิศทางการไหล

- B_o/n_b (สมการ 2.22a) คือ อัตราส่วนของค่าแก้ไขการเสียดทานในด้านเชลล์เนื่องจากการกลับทิศทางการไหล และการไหลผ่านกลุ่มท่อ ต่อระยะห่างของแผ่นกั้น (Baffle)

- แฟกเตอร์ความเสียดทาน (Friction Factor, f)

การหาอัตราส่วนเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวมต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลของตัวแปร F_s , B_i , B_o/n_b และแฟกเตอร์ความเสียดทาน 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	866.45	
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	

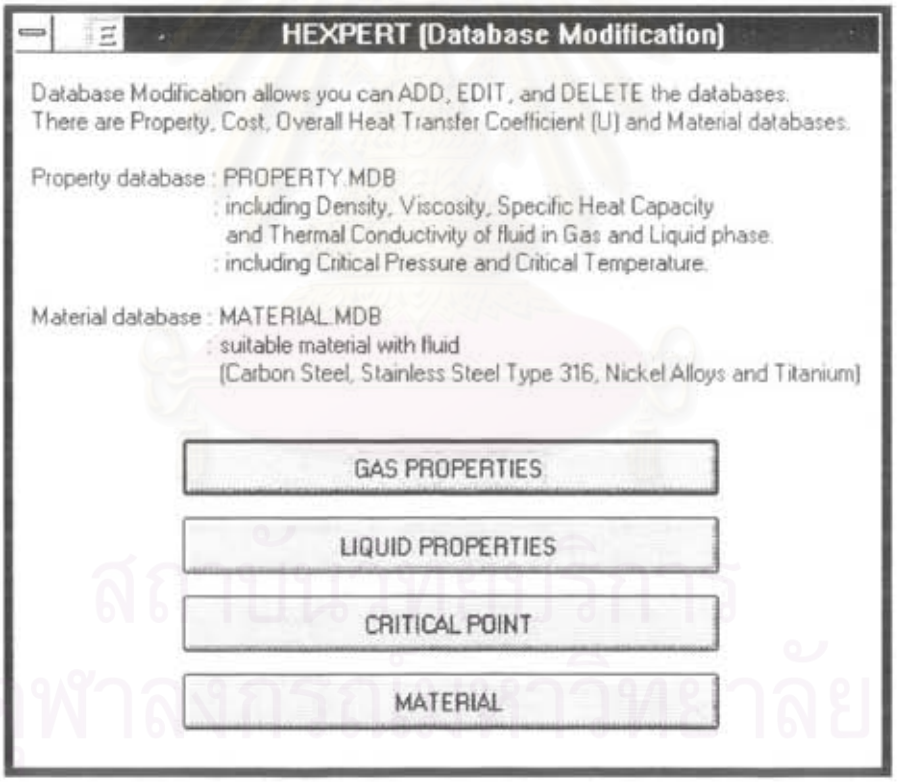
<u>โปรแกรมฐานข้อมูลสมบัติของของไหล</u>

โปรแกรม HEXPERT สามารถคำนวณสมบัติของของไหล จากข้อมูลที่ผู้ใช้ป้อน ฐานข้อมูลสมบัติของของไหลประกอบด้วยสมบัติต่อไปนี้

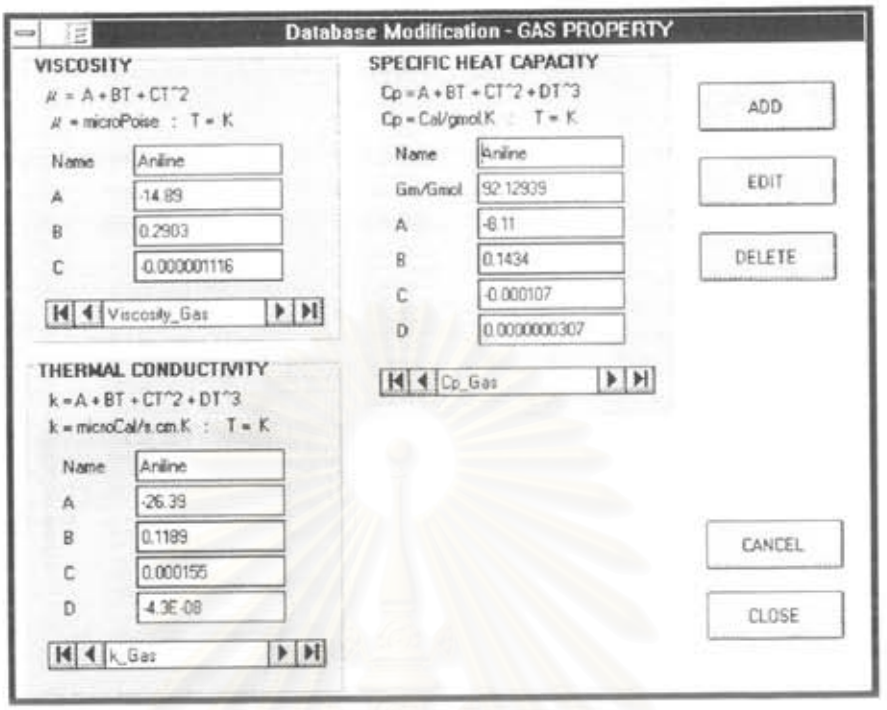
1. ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity)
2. ความหนาแน่น (Density)
3. การนำความร้อน (Thermal conductivity)
4. ความหนืด (Viscosity)
5. อุณหภูมิวิกฤต (Critical temperature) และความดันวิกฤต (Critical Pressure)

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

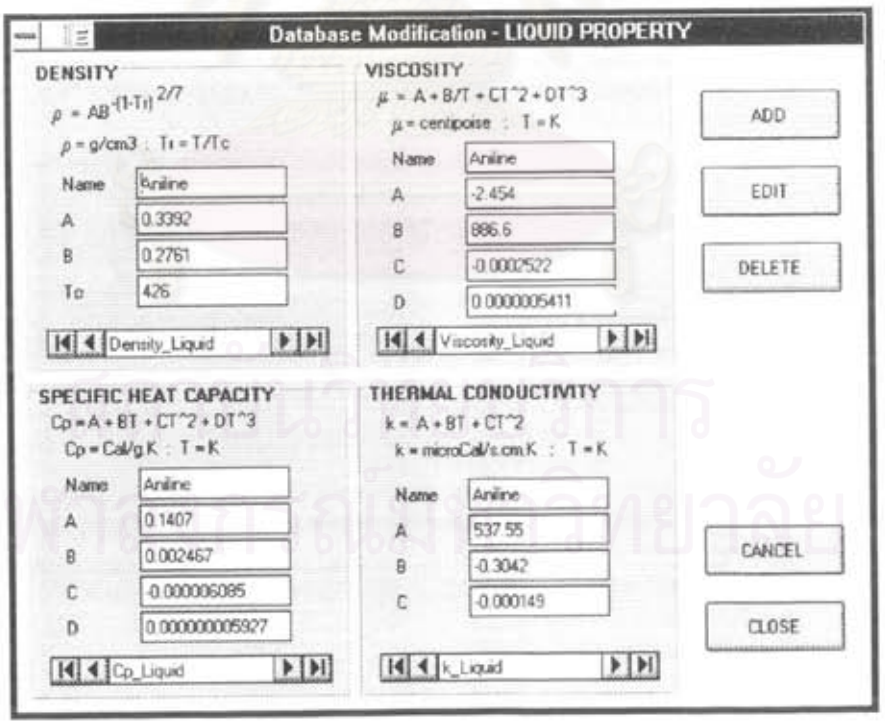
โปรแกรม HEXPERT ส่วนฐานข้อมูลสมบัติของของไหล และฐานข้อมูลความเหมาะสมของวัสดุกับของไหล แสดงดังรูปที่ 4.35 ถึง 4.39



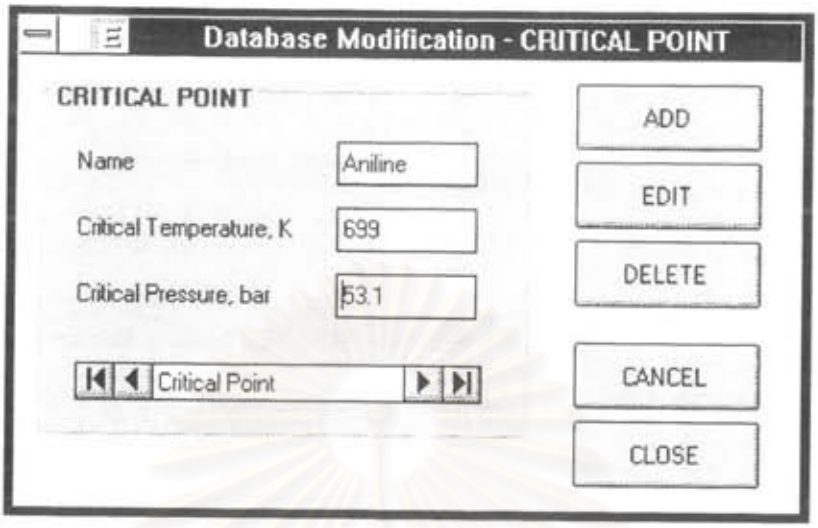
รูปที่ 4.35 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล



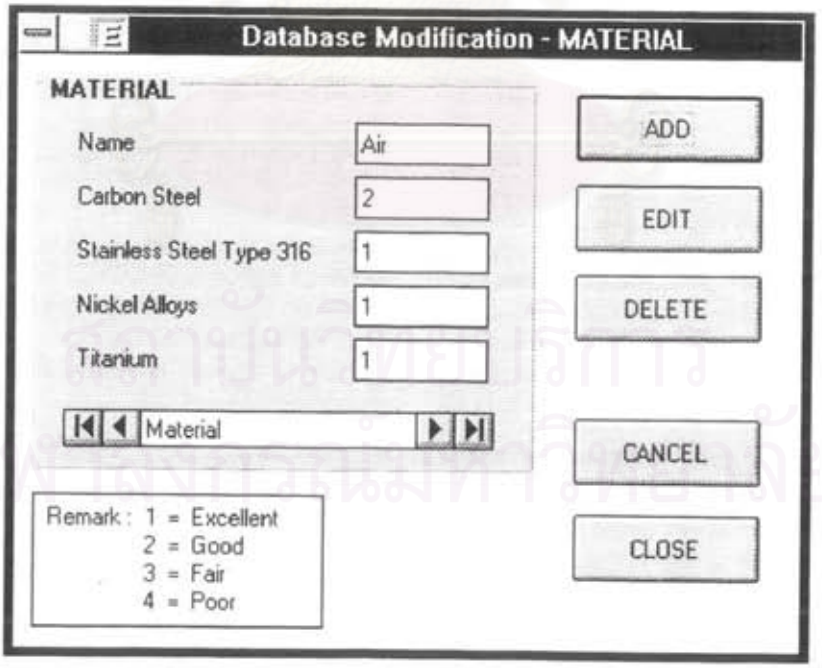
รูปที่ 4.36 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล ส่วนสมบัติสถานะแก๊ส



รูปที่ 4.37 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล ส่วนสมบัติสถานะของเหลว



รูปที่ 4.38 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล ส่วนสมบัติจุดวิกฤต



รูปที่ 4.39 วินโดว์สโปรแกรมฐานข้อมูลของของไหล ส่วนความเหมาะสมของวัสดุกับของไหล