

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจำลองระบบท่อของสารเย็นเยือก

นาย กิตติพงษ์ จรุงจิตต์



วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-713-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF CRYOGENIC PIPING SYSTEMS SIMULATION PROGRAMME

Mr. Kittipong Charoongchit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

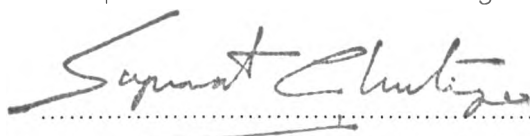
Chulalongkorn University

Academic Year 1997


ISBN 974-637-713-2

Thesis Title Development of Cryogenic Piping Systems Simulation Programme
By Mr. Kittipong Charoongchit
Department Chemical Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Tawatchai Charinpanitkul, Dr. Eng.
Thesis Co-Advisor Mr. Christopher Day

Accepted by Graduate School, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.


.....Dean of Graduate School
(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

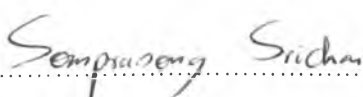
Thesis Committee

.....Chairman
(Professor Piyasan Prasertdam, Dr. Ing.)

.....Thesis Advisor
(Assistant Professor Tawatchai Charinpanitkul, Dr. Eng.)

.....Thesis Co-Advisor
(Mr. Christopher Day, Group Manager- Operations and Engineering)

.....Member
(Deacha Chatsiriwech, Ph. D.)

.....Member
(Somprasong Srichai, Ph. D.)

กิตติพงษ์ จรุงจิตต์ : การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจำลองระบบท่อของสารเย็นเยือก
(DEVELOPMENT OF CRYOGENIC PIPING SYSTEMS SIMULATION PROGRAMME)

อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล, อ. ที่ปรึกษาร่วม : Mr. Christopher Day, 111
หน้า. ISBN 974-637-713-2.

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมจำลองการออกแบบท่อ ของสารเย็นเยือก โดยใช้ภาษาซี พลัส พลัส (C++) สำหรับการไหลแบบสองวัฏภาคองค์ประกอบเดียว และแบบวัฏภาคเดียวขององค์ประกอบเดียว โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้รวบรวมและจัดทำระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติการขนถ่าย และคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของสารเย็นเยือกที่เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบท่อ โดยสามารถใช้ในการคำนวณความดันลด, ขนาดของท่อ และความยาวที่เหมาะสมสำหรับระบบท่อเหล่านั้น โดยคำนึงถึงแนวการติดตั้ง และค่าการถ่ายเทความร้อนของฉนวนที่เลือกใช้ ซึ่งผู้ใช้สามารถจำลองเงื่อนไขของการออกแบบผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก และป้อนข้อมูลผ่านหน้าต่างของโปรแกรมซึ่งทำงานร่วมกับโปรแกรมวินโดวส์ ผลการคำนวณสามารถแสดงและพิมพ์ผ่านเครื่องพิมพ์ในรูปแบบของตาราง ข้อมูลที่ถูกบันทึกอยู่ในแฟ้มฐานข้อมูล และแฟ้มปฏิบัติงานสามารถเพิ่มเติมและแก้ไขได้

การตรวจสอบผลการคำนวณของโปรแกรมทำได้โดยการตรวจสอบค่าการถ่ายเทความร้อนเปรียบเทียบกับข้อมูลในเอกสารอ้างอิง พบว่าค่าความผิดพลาดไม่เกิน 62.42% สำหรับฉนวนแบบโพลียูรีเทน และมีค่าไม่เกิน 0.89 % สำหรับฉนวนแบบสแตนดาร์ด ส่วนค่าความแตกต่างของความดันลด มีค่าไม่เกิน 20 % เมื่อเปรียบเทียบกับ โปรแกรมพีดีรอป (PDROP) ค่าความแตกต่างของผลการประเมินคุณสมบัติของสารเย็นเยือกมีค่าไม่เกิน ± 1.36 %

ภาควิชา วิศวกรรม เคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบ
ปีการศึกษา 2540.....

ลายมือชื่อนิติต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C717364 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: CRYOGEN / THERMODYNAMIC PROPERTIES / SIMULATION / PIPING SYSTEM

KITTIPONG CHAROONGCHIT : DEVELOPMENT OF CRYOGENIC PIPING SYSTEMS
SIMULATION PROGRAMME. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TAWATCHAI
CHARINPANITKUL, Dr. Eng., THESIS CO-ADVISOR : Mr. CHRISTOPHER DAY, GROUP
MANAGER-OPERATIONS AND ENGINEERING, THAI INDUSTRIAL GASES PLC. 111 pp.
ISBN 974-637-713-2

In this work, the cryogenic piping simulation programme was developed by using C++ language. It could be implemented to solve the problem of two-phase single-component flow and single phase single-component flow. This developed programme has database managerial part of transport and thermodynamic properties that support the operation of piping design. These properties can be used to calculate the proper value of pressure drop, pipe size and length of pipe by considering piping configuration and heat inleak through different insulation as user specified. The developed programme had to be run on Microsoft Windows 95 or later in order to provide many convenient Graphic User Interfaces. Users had to enter data into dialogs or windows of this developed programme. The results of calculation were displayed and printed through printer in tabular form. The recorded data in database file and operating file can be added or changed.

The results of calculation were investigated by checking the heat inleak value and pressure drop compared to reference data and result obtained from a commercial simulator named PDROP. It was found that the difference was about 62.42% for heat inleak of polyurethane insulation, 0.89% for heat inleak of vacuum insulated pipe and 20% for pressure drop from PDROP. The difference of estimated cryogen properties are less than $\pm 1.36\%$.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....

ปีการศึกษา..... 2540.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to express his gratitude to Assistant Professor Tawatchai Charinpanitkul, Dr. Eng, for his greatest guidance, suggestions and encouragement. He is grateful to Thai Industrial Gases PLC. for the financial and equipment support of this project. He wishes to give his gratitude to Mr. Christopher Day for his guidance, his helpful suggestion, discussion and encouragement. He acknowledges the help of all personnel in various departments who helped in recommendation and operation of performance test and wish to thank Thai Industrial Gases PLC. for permission to study this work. He would like to give his gratitude to Dr. Deacha Chatsiriwech and Dr. Somprasong Srichai for their suggestion and helpful discussion. Furthermore, he is also grateful to Professor Piyasan Praserttham, Dr. Ing., for serving as Chairman of the thesis evaluating committees.

This work has been supported via Graduate School, Chulalongkorn University. The author would like to express his deep appreciation herein.

Finally, the author would like to contribute his sincere thanks to his parents, everyone in his family, his friends and Process System Engineering Laboratory members for their encouragement throughout this study.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT(THAI).....	iv
ABSTRACT(ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENT.....	vi
LIST OF TABLES.....	viii
LIST OF FIGURES.....	ix
NOMENCLATURE.....	xi
CHAPTER	
I INTRODUCTION.....	1
II LITERATURE REVIEW.....	5
III CALCULATION BASIS.....	9
IV PROGRAMME DEVELOPMENT.....	43
V PROGRAMME VERIFICATION AND DISCUSSION.....	53
VI SUMMARY AND RECOMMENDATIONS.....	77
REFERENCES.....	79
APPENDIX A.....	82
APPENDIX B.....	90
APPENDIX C.....	99
APPENDIX D.....	103
APPENDIX E.....	105
VITA.....	111

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
3.1	Thermophysical Properties of Cryogen.....	14
3.2	Recommended Formulations for Selected Cryogenic Fluids.....	17
3.3	Thermal Conductivity for Foam Insulations.....	25
3.4	Equations for Armand coefficient.....	34
3.5	The value of absolute roughness (ϵ).....	38
3.6	Value of B_F for smooth tubes.....	39
5.1	The comparison of calculated properties to GASPAK.....	59
5.2	Comparison of total pressure drop of pipe work in case 4.....	75
A-1	The results of case 1.1.....	83
A-2	The results of case 1.2.....	84
A-3	The results of case 1.3.....	84
A-4	The results of case 2.....	85
A-5	The results of case 3.....	86
A-6	The results of case 5.....	87
B-1	Pipe Schedules and Nominal Pipe Diameters.....	91
B-2	Dimensions of Copper and Brass Pipe.....	97
B-3	Constants for two-K method.....	98
C-1	Liquid-gas Equilibrium of Nitrogen.....	100
C-2	Liquid-gas Equilibrium of Oxygen.....	101
C-3	Liquid-gas Equilibrium of Argon.....	102

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
3.1 The cryogenic temperature range.....	9
3.2 Flow patterns and map for horizontal flow.....	27
3.3 Generalized flow pattern map for horizontal flow.....	28
3.4 Flow patterns and map for vertical flow.....	29
3.5 Flow patterns and map for vertical downflow.....	30
3.6 Fluid bulk temperature and mean void-fraction distributions in subcooled flow boiling.....	31
3.7 Variation of C_A with β and influence of critical R key to relevant – equations.....	37
3.8 Friction factor λ to a base of Reynolds number.....	38
4.1 The main window of CryoSim.....	43
4.2 Gas encyclopedia database managerial part.....	45
4.3 Display of PDROP window.....	47
4.4 Display of Draw Pipe window.....	47
4.5 Display of Pipe Properties window.....	48
4.6 Display of Pipe Summary window.....	48
4.7 Calculation report for two-phase flow calculation.....	49
4.8 Calculation report for gas piping system calculation.....	50
5.1 Piping isometric sketch of Case 1.....	54
5.2 Piping isometric sketch of Case 2.....	55
5.3 Piping isometric sketch of Case 3.....	56
5.4 Piping isometric sketch of suction pipeline of Case 4.....	57

FIGURE	PAGE
5.5 Piping isometric sketch of discharge pipeline of Case 4.....	57
5.6 Summary of the relative error for outlet dryness fraction.....	63
5.7 The results of outlet dryness fraction for case 1.1.....	64
5.8 The result of heat inleak for case 1.1.....	65
5.9 The results of outlet dryness fraction and heat inleak for case 1.2.....	66
5.10 The results of outlet dryness fraction and heat inleak for case 1.3.....	67
5.11 The results of outlet dryness fraction and heat inleak for case 2.1.....	68
5.12 The results of outlet dryness fraction and heat inleak for case 2.2.....	69
5.13 The results of outlet dryness fraction and heat inleak for case 2.3.....	70
5.14 The results of outlet dryness fraction and heat inleak for case 3.....	71
5.15 Summary of relative error for heat inleak.....	72
5.16 Summary of relative error for total pressure drop of case 1.....	73
5.17 Summary of relative error for total pressure drop of case 2.....	73
5.18 Summary of relative error for total pressure drop of case 3.....	74

NOMENCLATURE

A	Surface area (m^2)
A_o	Outside heat transfer area of insulation (m^2)
C_A	Armand coefficient
C_o	Distribution parameter
D	Pipe internal diameter (inch)
D_o	Outside insulation layer diameters
D_i	Inside insulation layer diameters
e	Emissivity of the surface
e	The natural logarithmic base
e_f	Emissivity of the frost
e^5	Elevation correction factor
F_e	Emissivity factor
F_{1-2}	Configuration factor relating the two surface
G	Gas specific gravity
G	Mass velocity ($kg/s/m^2$)
Gr	Grashof number
H	Elevation difference over the segment (feet)
\bar{h}_c	Mean convective heat transfer coefficient
K	Velocity heads
\bar{k}_t	Mean thermal conductivity of the insulation ($kJ/s/mK$)
k_f	Mean thermal conductivity of the frost
L	Length of the pipe (m)
L_e	Effective length
M	Total mass flow rate (kg/s)
N	Coefficients in various functions
NU	Nusselt number

P	Pressure (bara)
Pr	Prandtl number
P_1	Upstream pressure (psia)
P_2	Downstream pressure (psia)
Q	Gas flow rate (thousand of cubic feet per hour)
R	Ideal gas constant
Re	Reynold's number
T	Temperature (K)
T_a	Ambient temperature (K)
T_f	Absolute temperatures of the frost surface (K)
T_f	Fluid temperature (K)
T_1	Inner (colder) surfaces (K)
T_2	Outer (warmer) surfaces (K)
u	Velocity (m/s)
v	Specific volume ($1/\rho$)
W	Velocity of sound
X	Lockhart-Martinelli parameter
x	Gas quality
Z	Compressibility factor
α°	Dimensionless Helmholtz energy for the ideal gas
$\bar{\alpha}$	Real fluid contribution to the dimensionless Helmholtz energy
δ	Reduced density
σ	Stefan-Boltzmann constant
λ	Friction factor is given by the Churchill's equation
λ	Thermal conductivity
ε	Absolute roughness (ft)
ρ	Density (kg/m^3)
$\bar{\rho}_H$	Homogeneous density (kg/m^3)
ρ_m	Effective density of mixture (kg/m^3)
η	Viscosity

β	Volume flow ratio
θ	Angle of pipe to horizontal
φ^2	Two-phase multiplier
τ	Reduced temperature
Γ^2	Physical property parameter
Δ	Difference
ΔH	Latent heat of vaporization (kcal/kg)
Δp	Pressure drop (mbar)

Subscripts

a	ambient air
c	Critical
e	Effective
F	Friction
f	Fitting
G	Gas
GO	All-gas
g	Gravity
H	Homogeneous
h	Horizontal
i	Inlet
L	Liquid
LO	All-liquid
M	Momentum
m	Mixture
o	outlet or exit
r	Radiation
S	Superficial; phase flows alone
sat	Saturated Condition
v	Vertical

- 1 Inner (Colder) or Inlet
- 2 Outer (Warmer) or Outlet

Superscripts

- i, j, k, l exponents in various functions
- o Ideal gas