

**A GENERAL FLUID NETWORK SIMULATOR  
PART I : SINGLE PHASE**

Mr. Patikom Saelee

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
The Petroleum and Petrochemical College  
Chulalongkorn University  
in Academic Partnership with  
The University Of Michigan, The University of Oklahoma  
and Case Western Reserve University**

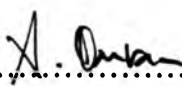
1998

ISBN 974-638-545-3


**Thesis Title** : A General Fluid Network Simulator  
Part I : Single Phase  
**By** : Mr. Patikom Saelee  
**Program** : Petrochemical Technology  
**Thesis Advisor** : Prof. James O. Wilkes  
: Dr. Pornpote Piumsomboon  
: Dr. Thirasak Rirksoomboon


---

Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science.

  
..... Director of the College  
( Prof. Somchai Osuwan )

**Thesis Committee**

  
.....  
( Prof. James O. Wilkes )

  
.....  
( Dr. Pornpote Piumsomboon )

  
.....  
( Dr. Thirasak Rirksoomboon )

## ABSTRACT

**# # 961016 : PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PROGRAM**  
**KEY WORDS : Fluid Network / Simulation / Liquid and Gas Flow Rate**  
**Equation / Newton Raphson method.**

**Patikom Saelee : A General Fluid Network Simulator, Part I : Single Phase. Thesis Advisors : Prof. James O. Wilkes, Dr. Pornpote Piumsomboon and Dr. Thirasak Rirksoomboon, 133 pp. ISBN 974-638-545-3**

A computer program for analyzing n-node networks of single-phase fluids at steady state, where nodes may be connected by pipeline segments or equipment such as compressors or pumps was developed. Solution is achieved by generating the simultaneous nonlinear nodal material balance equations at every node in the whole network and by solving them for the unknown nodal pressures using the Newton-Raphson iterative technique. The associated coefficient matrix is banded because the nodal numbers go in clusters. A special Gaussian elimination method for banded systems is implemented by the normalization and reduction scheme with partial pivot strategy to solve the linear equations generated at each new iteration of the Newton-Raphson method. Data specified for the network are elevation of each node, internal diameter, length, and roughness of each pipeline, parameters for characteristic curves of pumps, fluid properties, compression power and compressor inlet temperature, desired or fixed pressures, and injection or withdrawal rates at specified nodes. The program output consists of nodal pressures, internodal flow rates, and Fanning friction factors in all pipeline segments.

## บทคัดย่อ

ปฏิคม แชนท์ลี : การศึกษาระบบโครงข่ายการไหลของท่อทั่วไป ส่วนที่ 1 : ของไหลรูปเดียวในสภาวะคงที่ (A General Fluid Network Simulator, Part I : Single Phase at Steady State)  
 อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร. เจมส์ โอ วิลด์ (Prof. James O. Wilkes) ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ และ ดร. ชีรศักดิ์ ฤกษ์สมบูรณ์ 133 หน้า ISBN 974-638-545-3

โปรแกรมวิเคราะห์ระบบการไหลของท่อในลักษณะปมต่อกันเป็นโครงข่ายถูกพัฒนาขึ้นโดยพิจารณาของไหลในภูมิภาคเดียวที่สภาวะคงที่ การต่อกันของปมในระบบ อาจเป็นการต่อกันระหว่างท่อ หรือต่อกับอุปกรณ์ที่เป็นปั๊มหรือเครื่องอัดอากาศ การแก้ไขปัญหาระบบการไหล ทำโดยกำหนดสมการสมดุลของมวลที่ปมทุกๆปมในระบบโครงข่าย โดยพิจารณาให้อยู่ในรูปสมการของความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของๆไหลโดยปริมาตรกับความดัน โดยทั่วไประบบสมการดังกล่าว จะหาคำตอบได้ยาก เนื่องจากไม่ใช่สมการเชิงเส้น ต้องใช้วิธีการพิเศษ เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องตามที่ต้องการ วิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการแก้สมการของระบบคือ เทคนิคการปฏิบัติซ้ำของ นิวตัน-ราฟสัน เทคนิควิธีนี้ จะใช้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ และสมการทางพีชคณิตจัดการแก้ไขระบบสมการใหม่ ให้อยู่ในรูปสมการเมตริก ซึ่งการจัดเรียงตัวสัมประสิทธิ์ของสมการจะอยู่ในรูปแถบทะแยงมุมในเมตริกจัตุรัส การปฏิบัติซ้ำเพื่อหาคำตอบ เริ่มต้นโดยวิธีหาค่าสูงสุดของแถบแต่ละแถวในแนวตั้งที่กำหนดของเมตริก แล้วดำเนินการทางพีชคณิตด้วยการตัดและลดค่าโดยวิธีการของเกาส์ จนกระทั่งสัมประสิทธิ์ในแนวทะแยงมุมจากด้านซ้ายลงไปทางด้านขวาล่างเป็น 1 ทุกค่า และสัมประสิทธิ์อื่นๆเป็นศูนย์ วิธีการ นิวตัน-ราฟสัน จะกระทำซ้ำจนกระทั่ง ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องเหมาะสมตามที่กำหนด

ข้อมูลที่จำเป็น สำหรับการแก้สมการ ประกอบด้วย ระดับยกของแต่ละปมจากฐานอ้างอิง เส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของท่อระหว่างปม ความหยาบของผิวภายในท่อ สมบัติทางกายภาพของของไหล กราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม (ถ้ามี) เป็นต้น

โปรแกรมจะแสดงคำตอบของระบบสมการในรูปของตัวแปรคือ ความดันและอัตราการไหลของของไหลโดยปริมาตร ตลอดจนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานภายในท่อ ที่ตำแหน่งต่างๆ

## ACKNOWLEDGMENTS

It has been my good fortune to have had close association with some people who aided in the completion of this work. The author thanks to Prof. James O. Wilkes who acted as my advisor, for his enthusiastic interest, comments, and suggestions throughout this research work. The author also thanks Dr. Pornpote Piumsomboon for his advice and helpful suggestions especially giving some useful software. The author would like to extend his sincere appreciation to Mr. Tauntong Suwannahong for his kindness and suggestions about the computer programs and to acknowledge the Petroleum Authority of Thailand for providing a scholarship to study this program. Finally, the moral support from my family has been of great value in the moments of frustration during this work.

## TABLE OF CONTENTS

	<b>PAGE</b>
Title Page	i
Abstract	iii
Acknowledgments	v
List of Tables	ix
List of Figures	xi
Notation	xiii
 <b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
1.1 Formulation of Design Strategy	2
1.2 Process Simulator	3
 <b>II MATHEMATICAL MODEL</b>	 <b>5</b>
2.1 Liquid Flow in Pipelines	5
2.2 Liquid Flow across a Pump with Elevation change	7
2.3 Compressible Gas Flow in Pipelines	8
2.4 Compressible Gas Flow across a Compressor with Elevation change	16
 <b>III PRINCIPLES FOR ANALYZING GENERAL FLUID NETWORKS</b>	 <b>19</b>
3.1 Introduction	19
3.2 Flow in Pipelines	20

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
3.3 Flow in Equipment	22
3.4 Pipeline Flow with Partial Derivatives	24
3.5 Equipment Flow with Partial Derivatives	27
3.6 Conversion Units	29
3.7 Nodal Material Balance Equations	32
3.8 Newton-Raphson Method	33
3.9 Terminal Node with Specified Injection Rate	41
3.10 FORTRAN Language	44
3.11 Program Description	44
<b>IV PROGRAM TESTING</b>	<b>46</b>
4.1 Gas Network	46
4.2 Liquid Network	56
<b>V RESULTS AND DISCUSSION</b>	<b>68</b>
5.1 Effects of Assumptions	73
5.2 Computational Aspects	75
5.3 Simulation Approach	76
<b>VI CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS FOR FUTURE WORK</b>	<b>78</b>
6.1 Conclusions	78
6.2 Recommendations for Future Work	80
<b>REFERENCES</b>	<b>81</b>

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
<b>APPENDICES</b>	
<b>APPENDIX A: FANNING FRICTION FACTOR</b>	<b>83</b>
<b>APPENDIX B: BANDWIDTH SETTING</b>	<b>84</b>
<b>APPENDIX C: GAS CODE</b>	<b>87</b>
<b>CURRICULUM VITAE</b>	<b>133</b>



## LIST OF TABLES

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
3.1	Liquid flow rate with partial derivatives	24
3.2	Inclined flow rate with partial derivatives	25
3.3	Horizontal flow rate with partial derivatives	26
3.4	Non-zero liquid flow rate across a pump with partial derivatives	27
3.5	Gas flow rate across a compressor with partial derivatives	28
3.6	British and SI units	29
3.7	Conversion units for $\alpha_{ji}$ , $\beta$ and $Re_{ji}$	30
3.8	Conversion units for $\lambda_{ji}$ , $\delta_{ji}$ and $\phi_{ji}$	30
3.9	Conversion units for $A_{ji}$ , $\xi_{ji}$ and $\psi_{sc}$	31
4.1	Data for gas transmission pipeline connections	51
4.2	Initial guesses and specified pressures for gas transmission system	52
4.3	Node-type for gas transmission system	53
4.4	Gas transmission system with specified withdrawal rates	53
4.5	Converged pressures for gas transmission system	54
4.6	The flow rates distribution for gas transmission system	54
4.7	The Fanning friction factors for gas transmission system	54
4.8	Data for water transmission pipeline connections	62

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
4.9	Initial estimate and fixed pressures for water transmission system	64
4.10	Node-types for water transmission tunnel system	64
4.11	Water transmission tunnel system with specified withdrawal rates	65
4.12	Nodal elevations for water transmission tunnel system	65
4.13	Converged pressures for water transmission tunnel system	66
4.14	The flow rates distribution for water transmission tunnel system	66
4.15	The Fanning friction factors for water transmission tunnel system	67
5.1	Comparison of the results of GAS code with TGNET code for flow distribution of gas transmission system	68
5.2	Comparison of the results of LIQUID code with PICCOLO code for flow distribution of water transmission tunnel system	70
B.1	Determination of bandwidth	86

## LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
2.1	Pressure drop in an inclined pipeline for flow from node j to node i	5
2.2	Centrifugal pump and performance curve	7
2.3	Inclined compressible gas flow from node j to node i	8
2.4	Horizontal compressible gas flow from node j to node i	14
3.1	A general flow diagram for the fluid network analysis program	45
4.1	Sketch of topological representation of the gas transmission system	46
4.2	Topological representation with demand rates to industries	47
4.3	Gas transmission network with internodal distances	48
4.4	Gas transmission network with pipeline sizes	49
4.5	Sketch of the branched network of water transmission tunnel system	56
4.6	Topological representation with demand rates to customers	57
4.7	Water transmission tunnel network with internodal distances	58
4.8	Water transmission tunnel network with pipeline sizes	59
4.9	Water transmission tunnel network with nodal elevations	60

<b>FIGURE</b>		<b>PAGE</b>
5.1	Topological representation of gas transmission network with flow rates and nodal pressures distribution	69
5.2	Topological representation of water transmission tunnel network with flow rates and nodal pressures distribution	72
5.3	Two topological descriptions of the same network resulting in different bandwidths	76
A.1	Fanning friction factor for flow in pipelines	83
B.1	Topological descriptions of a network whose bandwidth is to be computed	85

## NOTATION

<b>Symbol</b>	<b>Definition</b>
a	Pump coefficient
b	Pump coefficient
$c_v$	Specific heat capacity at constant volume
$c_p$	Specific heat capacity at constant pressure
C	Nodal connection
D	Pipeline diameter
$f_F$	Fanning friction factor
g	Gravitational acceleration
i	Subscript for upstream node
j	Subscript for downstream node
k	Ratio of $c_p$ to $c_v$
L	Pipeline length
m	Mass flow rate
M	Molecular weight of gas
n	Number of nodes
p	Nodal pressure
$p_{sc}$	Nodal pressure at standard conditions
$p_{avg}$	Average pressure
Q	Volume flow rate
$Q_{sc}$	Volume flow rate at standard conditions
R	Universal gas constant
Re	Reynolds number

$T$	Temperature
$T_{sc}$	Temperature at standard conditions
$u$	Velocity
$W_c$	Compression power
$z$	Elevation
$Z_{avg}$	Average compressibility factor
$Z_{sc}$	Compressibility factor at standard conditions
$\varepsilon$	Pipeline roughness
$\tau_w$	Shear stress at wall
$\mu$	Viscosity
$\rho$	Density

---

Table of Greek Letters

---

$\alpha$	alpha	$\mu$	mu
$\beta$	beta	$\xi$	xi
$\gamma$	gamma	$\pi$	pi
$\delta$	delta	$\sigma$	sigma
$\varepsilon$	epsilon	$\tau$	tau
$\zeta$	zeta	$\phi$	phi
$\theta$	theta	$\psi$	psi
$\lambda$	lambda	$\omega$	omega
$\rho$	rho		

---