

b

ความเสียดทานและการสูญเสียความดันของการไหลแบบลามินาร์ในท่อ
ที่มีขนาดลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างสลับกัน



นายพงษ์เจต พรหมวงศ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

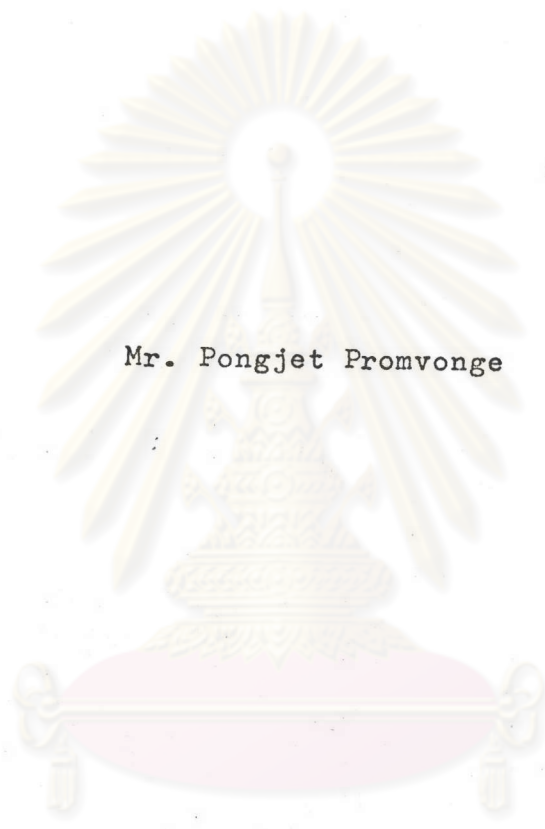
พ.ศ. 2527

ISBN 974-563-061-6

009760

116584545

LAMINAR FLOW FRICTION AND PRESSURE DROP IN PARALLEL
DUCTS WITH ABRUPT CONTRACTION AND EXPANSION



Mr. Pongjet Promvonge

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

ISBN 974-563-061-6

Thesis Title Laminar Flow Friction and Pressure Drop in Parallel
 Ducts with Abrupt Contraction and Expansion
By Mr. Pongjet Promvonge
Department Mechanical Engineering
Thesis Advisers Sahas Bunditkul, Ph.D
 Associate Professor Kulthorn Silapabanleng, Ph.D



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

S. J. Bunnag

.....Dean of Graduate School
(Associate Professor Supradit Bunnag, Ph.D.)

Thesis Committee

Dumrongsak Malila
.....Chairman
(Assistant Professor Dumrongsak Malila, M.Sc.)

P. Wibul
.....Member
(Professor Prida Wibulswas, Ph.D.)

Withaya Yongchareon
.....Member
(Associate Professor Withaya Yongchareon, Ph.D.)

K. Silapabanleng
.....Member
(Associate Professor Kulthorn Silapabanleng, Ph.D.)

Sahas Bunditkul
.....Member
(Sahas Bunditkul, Ph.D.)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความเสียดทานและการสูญเสียความดันของการไหลแบบลามินาร์ในท่อที่มีขนาดลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน
ชื่อนิสิต	นายพงษ์เจต พรหมวงค์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ลีหัลล์ ปัทมพิตกุล รองคณบดีตราจารย์ ดร. กุศลธร ศิลปบรรรเลง
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2526

บทคัดย่อ



งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของการไหลแบบลามินาร์ซึ่งมีผลกระทบมาจากขนาดความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ลดหน้าตัดจากกลางและเพิ่มหน้าตัดจากขึ้นอย่างฉับพลัน โดยใช้หน้าเป็นของไหลในท่อขนานที่มีอัตราส่วนด้านยาวต่อด้านสั้นในหน้าตัดเป็น 14:1 การไหลที่ทางเข้าเป็นแบบลามินาร์ในลักษณะที่ปรับตัวเต็มที่แล้ว ค่าเรโนลด์นัมเบอร์สูงถึง 4000. พื้นที่หน้าตัดของคอคอดเลือกเปลี่ยนไป 3 ครั้ง คือ $1/4$ และ $1/2$ และ $2/3$ เท่าของพื้นที่หน้าตัดก่อนถึงคอคอดซึ่งแต่ละครั้งมีความยาวของคอคอดเปลี่ยนไปต่าง ๆ เช่นกัน ผลการทดลองที่ได้มีตัวประกอบเสียดทานแพนนิ่ง สัมประสิทธิ์การลดขนาดหน้าตัดจาก และสัมประสิทธิ์การเพิ่มขนาดหน้าตัดจาก ผลที่ได้ก็นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้โดยวิธีวิเคราะห์ที่มีอยู่แล้ว พบว่าเกิดการเบี่ยงเบนโดยเฉพาะ ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มขนาดหน้าตัดจากเห็นได้ชัดมากในกรณีคอคอดสั้น ๆ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาทั้งหมด ผลที่ได้จากการหาทั้งสองวิธีนี้ถือว่าใกล้เคียงกันค่อนข้างดี

Thesis Title: Laminar Flow Friction and Pressure Drop in Parallel
Ducts with Abrupt Contraction and Expansion
Name Mr. Pongjet Promvonge
Thesis Advisers: Sahas Bunditkul, Ph.D.
Associate Professor Kulthorn Silapabanleng, Ph.D.
Department Mechanical Engineering
Academic Year 1983



ABSTRACT

A systematic experimental study was carried out to determine the characteristics of a laminar duct flow as affected by length and diameter of an abrupt constriction duct. Water was adopted as working fluid in rectangular duct with an aspect ratio of 14:1 under isothermal condition. The flow at the entrance section was fully developed laminar with the Reynolds number up to 4000. Three constriction areas were obtained in which the constrictions being $1/4$, $1/2$ and $2/3$ respectively of the duct cross-sectional area with various L/D_h . The results for Fanning friction factor, f , contraction coefficient, K_c , and expansion coefficient, K_e , at three σ 's and different Re 's were obtained and compared with those obtained from existing numerical studies. The discrepancy was noticeable especially for expansion coefficient, K_e^* , in case of short duct. However, the general agreement between this study and existing ones [1,2,3] is found to be reasonably good.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENTS



The author wishes to express his profound gratitude to his thesis advisers, Assoc. Prof. Dr. Kulthorn Silapabanleng and Dr. Sahas Bunditkul, for their kind encouragement, patient guidances, and invaluable suggestions throughout this research. He also would like to express his appreciation to Asst. Prof. Dumrongsak Malila, Prof. Dr. Prida Wibulswas, and Assoc. Prof. Dr. Withaya Yongchareon, for their valuable suggestions and for serving as chairman and members of the thesis committee.

Thanks are also due to the staff of Mechanical Engineering Laboratory, staff of Institute of Research and Development workshop, and friends for their helps in the experimental study and Miss Siripane Thongsuk for typing this manuscript.

Finally this whole work is dedicated to his parents for their encouragement during his study.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS



ABSTRACT(IN THAI)	iv
ABSTRACT	v
ACKNOWLEDGEMENT	vi
LIST OF TABLES	ix
LIST OF FIGURES	x
NOMENCLATURE	xii
CHAPTER	
I INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Objective of the Research	2
1.3 Scope of the Research	2
II LITERATURE SURVEY	3
2.1 Flow Problems	3
2.2 Theory and Calculation	5
III EXPERIMENTAL APPARATUS AND PROCEDURE	8
3.1 Apparatus	8
Flow System	9
Entrance Section and Exit Section	12
Hydrodynamic Development Section	12
Test Section	14
Head Tank, Reservoir, Curved Duct	16
Rectangular-to-Circular Transition Section	16
Multi-tube-manometer, Micromanometer	20
Other Components	20
3.2 Procedure	21
IV RESULTS AND DISCUSSION	23
4.1 Long Constriction	23
4.2 Short Constriction	26
4.3 Qualitative Comparison	28
4.4 Quantitative Comparison	29

CHAPTER	
V CONCLUSION	46
REFERENCES	48
APPENDICES	50
APPENDIX A	50
APPENDIX B	73
VITAE	76



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

Table	Page
3.1 Characteristics of constriction elements.....	15
A-1 Experimental results for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 100$	51
A-2 Experimental results for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 75$	52
A-3 Experimental results for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 50$	53
A-4 Experimental results for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 25$	54
A-5 Experimental results for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 10$	55
A-6 Experimental results for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 5$	56
A-7 Experimental results for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 2$	57
B-1 Experimental results for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 100$	58
B-2 Experimental results for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 75$	59
B-3 Experimental results for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 50$	60
B-4 Experimental results for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 25$	61
B-5 Experimental results for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 10$	62
B-6 Experimental results for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 5$	63
B-7 Experimental results for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 2$	64
C-1 Experimental results for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 100$	65
C-2 Experimental results for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 75$	66
C-3 Experimental results for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 50$	67
C-4 Experimental results for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 25$	68
C-5 Experimental results for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 10$	69
C-6 Experimental results for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 5$	70
C-7 Experimental results for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 2$	71

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Figure	Page
2.1 Sudden contraction and enlargement	6
3.1 General view of apparatus	9
3.1a Schematic diagram of the flow system	10
3.1b Schematic diagram of apparatus	11
3.2 Schematic of entrance section and exit section ..	13
3.3 Schematic of head tank	17
3.4 Schematic of reservoir	17
3.5 Schematic of curved duct	18
3.6 Rectangular-to-circular transition section	18
3.7 Multi-tube-manometer	19
3.8 Micromanometer	19
4.1 Flow through the constriction for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 5$, $Re = 1500$	31
4.2 Dividing curves of streamline before passing through the constriction for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 5$, and $Re = 1500$	31
4.3 Smooth curves of streamline through the constrict- ion for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 5$, and $Re = 1500$	32
4.4 Profile of streamline before facing the constrict- ion for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 5$ and $Re = 1500$	32
4.5 Recirculating region at back-corner for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 5$ and $Re = 1500$	33
4.6 Recirculating region on the constricted surface for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 5$ and $Re = 1000$	33
4.7 Streamline for $Re = 600$, $L/D_h = 1$, $\sigma = 0.5$ by numerical analysis	34
4.8 Diagram of a constricted duct configuration and coordinate system	35
4.9 Friction factor f versus Re (without constrict- ion)	35
4.10 Loss coefficients K_c and K_e versus area ratio ..	36
4.10a Loss coefficients K_c and K_e versus area ratio by numerical analysis	37
4.11 Pressure distribution along mid-channel for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 100$ and $Re = 1420$	38
4.12 Dimensionless axial pressure distribution for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 100$ and $Re = 1410$	39
4.13 Dimensionless axial pressure distribution for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 100$ and $Re = 1378$	39

LIST OF FIGURES (Continued)

Figure	Page
4.13a Pressure drop along mid-channel of long constricted parallel duct for $Re = 2000$, $L/D_h = 240$ and $\sigma = 0.5$	40
4.14 Correction factor for loss coefficients and Fanning friction factor for flow through constricted parallel duct	41
4.14a Correction factor for loss coefficients and Fanning friction factor for flow through constricted parallel duct with $Re = 1600$	42
4.15 Dimensionless axial pressure distribution for $\sigma = 1/4$, $L/D_h = 25$ and $Re = 1524$	43
4.16 Dimensionless axial pressure distribution for $\sigma = 1/2$, $L/D_h = 25$ and $Re = 1500$	43
4.17 Dimensionless axial pressure distribution for $\sigma = 2/3$, $L/D_h = 25$ and $Re = 1559$	44
4.18 Pressure drop along mid-channel for $Re = 500$, $L/D_h = 1$ and $\sigma = 0.5$, obtained by numerical analysis	45


 ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NOMENCLATURE

a	duct width, m
A	cross-sectional area, m^2
b	constriction width, m
B_F	defined as $(Re \cdot D_h / L)^{1/3} \cdot \sigma^{1/4}$
C_c	correction factor for contraction coefficient
C_e	correction factor for expansion coefficient
C_f	correction factor for Fanning friction factor
D	duct diameter, m
D_h	hydraulic diameter or equivalent diameter, $4A/p$
e	rough surface, m
f	Fanning friction factor
f^*	friction factor for short constriction
g_c	conversion factor
h	pressure head, m. of water
K_c	contraction coefficient
K_e	expansion coefficient
K_c^*	contraction coefficient for short constriction
K_e^*	expansion coefficient for short constriction
L	constriction length, m
L_c	critical constriction length
p	wetted perimeter, m.
P	$P^* g_c b^2 / \rho v^2$
P^*	static pressure, N/m^2
ΔP	$\Delta P^* g_c b^2 / \rho v^2$
ΔP^*	pressure drop, N/m^2
Re	Reynold number = $D_h \cdot V / \nu$
T	fluid temperature, $^{\circ}C$
V	average velocity in constriction, m/S
x	distance measured from duct entrance in flow direction, m

Greek Symbols

μ	absolute viscosity, $N \cdot S / m^2$
ν	kinematic viscosity, m^2 / S
ρ	fluid density, Kg / m^3
σ	ratio of constriction area to duct frontal area
ψ, ϕ	function

NOMENCLATURE (Continued)

Subscripts

c	contraction
e	expansion
f	inside the constriction

Superscript

*	dimensional quantity, short constriction
---	---

Note: Remaining nomenclature is defined locally.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย