

ความยืดหยุ่นและความเด่นโดยรอบจากแรงงอโค้งของท่อที่ต่อเชื่อมทำมุมกัน แก๊สของศา

005353

นาย สหัช บัณฑิตกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๑๖

FLEXIBILITY AND BENDING STRESSES AROUND
NINETY DEGREE MITERED PIPE BENDS

Mr. Sahas Bunditkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1973

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn
University in partial fulfilment of the requirements
for the Degree of Master of Engineering.

B. Tamthae

.....
Dean of the Graduate School

Thesis Committee

Piset Pattabonze

.....Chairman

Chan Kasipol

Pimai Sukhawarn



Thesis Supervisor

Pimai Sukhawarn

Date *25 April 1973*

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ความยืดหยุ่นและความเค้นโดยรอบจากแรงงอโค้งของท่อ
ที่ต่อเชื่อมท่อกัน แก๊สปิโตรเลียม

ชื่อ นายสหัส บัณฑิตกุล

แผนกวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา ๒๕๑๕

บทคัดย่อ

สิ่งสำคัญในการบังคับแนวทางการไหลของของเหลว สิ่งหนึ่งก็คือ ท่อ ในที่นี้ได้
ทำการทดลอง เกี่ยวกับท่อที่ต่อเชื่อมท่อกัน ท่อกันแก๊สปิโตรเลียมซึ่งกันและกัน เพราะเป็นแบบ
ที่เหมาะสมกับสถานที่ที่ติดตั้ง ท่อที่ไหลทดลองมีทั้งที่ตรงรอยต่อมีแผ่นเหล็กคั่น และไม่มี
การทดลองแบ่งเป็น ๒ ส่วนใหญ่ ๆ คือ

ส่วนแรก ไต่ทดลองหาความยืดหยุ่นของท่อค้ำกล่าวข้างต้น และหารัตินี้มีความโค้ง
ของท่อซึ่ง โค้ง เบนอย่างสม่ำเสมอ แก๊สปิโตรเลียม ที่มีความยืดหยุ่นเท่ากับท่อที่ต่อเชื่อมท่อกัน
แก๊สปิโตรเลียม เมื่อมีแรงในระนาบเดียวกับท่อกระทำที่ปลายทั้งสอง ผลที่ได้เป็นที่น่า
พอใจ คือ ได้พบว่าสำหรับท่อที่ต่อเชื่อมโดยไม่มีแผ่นเหล็กคั่นกลาง ไต่การวัดมีความโค้ง
ค้ำกล่าวเป็น ๕ เท่าของรตที่มีเฉลี่ยของตัวท่อ และสำหรับท่อที่ต่อเชื่อมโดยมีแผ่นเหล็กคั่น
กลาง ไต่การวัดมีความโค้งเป็น ๗ เท่าของรตที่มีเฉลี่ยของตัวท่อ

ส่วนที่สอง เป็นการทดลองเพื่อพิจารณาการกระจายความเค้นที่จุดต่าง ๆ โดยรอบท่อ บน
แนวหน้าตัดวงกลมเดียวกัน เมื่อมีแรงกระทำให้ท่อซึ่งต่อเชื่อมท่อกัน ท่อกันแก๊สปิโตรเลียม
โดยมีแผ่นเหล็กคั่นกลาง งอโค้งไป จากการทดลองพบว่า ค่าความเค้นในแนวตามความ
ยาวของตัวท่อ มีค่าประมาณ ๑.๘ เท่าของค่า ซึ่งได้จากทฤษฎีความเค้นบนหน้าตัดที่ถูก
กระทำให้งอโค้ง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการออกแบบ ในกรณีค้ำกล่าว ค่าตัวค้ำที่
ที่จะใช้คูณค่าที่ได้จากทฤษฎี ไม่ควรต่ำกว่า ๑.๘

Thesis Title Flexibility and Bending Stresses Around Ninety
Degree Mitered Pipe Bends

Name Mr. Sahas Bunditkul

Department Mechanical Engineering

Academic Year 1972

ABSTRACT

One of the most important things that control the direction of liquid flow is pipe. In this thesis ninety degree single mitered pipe bends with and without reinforcement at welded joint were tested. The experiments were seperated into two parts.

The first part was to find flexibility of the bends and equivalent radius of ninety degree smooth pipe bend that made the same flexibility as of mitered bends when subjected to in-plane bending load or moment. The results was very satisfactory because they were found that for reinforced and unreinforced ninety degree single mitered pipe bends, the equivalent radii had been **seven** and **five** times of the mean radii of pipes respectively.

The second part was to determine the stresses at each point around the same circular section on pipe leg of ninety degree reinforced mitered pipe bend when subjected to in-plane bending load or moment. From the experiment it was found that

the experimental value of longitudinal stress was approximately 1.4 time of the value from bending stress theory and the minimum value of safety factor used should not be less than 1.8 based on longitudinal stress.

ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to thank Dr. Pinai Sukhawarn for the supervision and many helpful discussions during the course of this work. He also wishes to thank Dr. Ittiphol Pan-ngum for the advices, suggestions, helpful discussion, and the correction of English.

Thanks are also due to Mr. Chana Kasipar for his kind help in giving valuable guidance and for the lending of his thesis without which this work cannot be completed. The author is grateful to Mr. Prateep Poonthrigpun of the Thai Steel Pipe Industry Co.,Ltd. who has provided many pieces of reinforced and unreinforced ninety degree mitered pipe bends. Thanks are also due to Mr. Withaya Yongchareon who is one of the author's colleagues in the department of Mechanical Engineering and Mr. Prateep Sirisuwarnkul from the Thai-Am Co.,Ltd. for repairing and modifying the strain gage bridge, selector switch and apex units. The author is also very grateful to Dr. Sawat Saengbangpla of the Electrical Engineering Department who gave an advice on computer program for the calculation of results in this thesis.

The English in this thesis has also been read through and corrected by Dr. Kulthorn Silapabanleng whom the author is deeply appreciated.

TABLE OF CONTENTS

CHAPTER	TITLE	PAGE
	Title Page	i
	Thesis Approval	iii
	Abstract	iv
	Acknowledgements	vii
	Table of Contents	viii
	List of Tables	x
	List of Figures	xi
	List of Symbols and Abbreviations	xv
1	INTRODUCTION	1
2	THEORY	7
3	EXPERIMENTAL WORK	13
	3.1 Object	14
	3.2 Test Specimens	15
	3.3 Equipments	18
	3.4 Calibration of Measuring Equipments	25
	3.4.1 Testing Machine Calibration	25
	3.4.2 Pressure Gage Calibration.....	32
	3.5 Experimental Program	35

CHAPTER	TITLE	PAGE
4	RESULTS	38
5	DISCUSSION	61
6	CONCLUSIONS	65
7	SUGGESTION FOR THE MODIFICATION OF THE APPARATUS	67
8	SUGGESTION FOR FURTHER WORK	68
	APPENDIX	70
	FIGURES	75
	REFERENCES	114
	VITA	117

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
3-1. PROPERTIES OF PIPE MATERIAL	15
3-2. DIMENSIONS OF TEST SPECIMENS	16
3-3. THE CALIBRATION OF "AVERY" TESTING MACHINE CAPACITY 15000LB, LOAD RANGE 0-3000LB AGAINST STANDARD PROVING RING NO. 56180	30
3-4. THE CALIBRATION OF "AMSLER" TESTING MACHINE CAPACITY 20 TONS, LOAD RANGE 0-2 TONS AGAINST STANDARD PROVING RING NO. 56180	31
3-5. THE CALIBRATION OF PRESSURE GAGE	34
4-1. DEFLECTIONS OF THE BENDS ALONG A LINE JOINING THE FREE ENDS OF THE PIPES	39
4-2. FLEXIBILITIES OF PIPE BENDS	42
4-3. THE COMPARISION OF CALCULATED AND THEORETICAL (VON KARMAN) FLEXIBILITY FACTORS AT EACH EQUIVALENT RADIUS	43
4-4. THE COMPARISON OF KELLOGG'S, CALCULATED AND THEORETICAL (VON KARMAN) FLEXIBILITY FACTORS FOR EQUIVALENT SMOOTH BEND OF UNREINFORCED MITERED PIPE BEND	50
4-5. PRINCIPAL STRAINS AND MAXIMUM SHEAR STRAINS AT ZERO DEGREE POSITION ON α - θ PLANE	51
4-6. STRESS-STRAIN DUE TO IN-PLANE BENDING MOMENT AROUND THE PIPE AT THE SAME CIRCULAR SECTION ..	52

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
1-1.	SINGLE AND DOUBLE MITERED BENDS AS DEFINED IN KASIPAR'S WORK	3
2-1.	MITERED PIPE BEND AND EQUIVALENT SMOOTH BEND	7
2-2.	VARIATION OF SHEAR STRAIN ON z-e PLANE ...	10
2-3.	MOHR'S CIRCLE	10
2-4.	POSITIONS OF STRAIN GAGES FOR THE MEASURING OF MAXIMUM AND MINIMUM STRAINS .	11
2-5.	VARIATION OF SHEAR STRESS ON e-r PLANE ...	12
2-6.	SHEAR STRESSES IN EACH PLANE	12
3-1.	REINFORCED MITERED PIPE BEND	17
3-2.	UNREINFORCED MITERED PIPE BEND	17
3-3.	COMPRESSION TYPE PROVING RING WITH CALIBRATING REED	26
3-4.	PROVING RING SUBJECTED TO LOAD	29
I	WIRE-WOUND STRAIN GAGE ELEMENT	70
II	VARIATION OF SHEAR STRAIN ON z-e PLANE ...	74
A1.	CALIBRATION CURVE OF PROVING RING NO. 56180	75
A2.	CALIBRATION CURVE OF "AVERY" TESTING MACHINE NO. E66110 CAPACITY 15000LB (6800KG), LOAD RANGE 0-3000LB (0-1360KG) .	76
A3.	CALIBRATION CURVE OF "AMSLER" TESTING MACHINE NO. 060355AK CAPACITY 20 TONS, LOAD RANGE 0-2 TONS	77

FIGURE	PAGE
A4. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 1a, 1b)	78
A5. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 2a, 2b)	79
A6. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 3a, 3b)	80
A7. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 4a, 4b)	81
A8. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 5a, 5b)	82
A9. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 6a, 6b)	83
A10. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 7a, 7b)	84
A11. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 8a, 8b)	85
A12. DEFLECTION UNDER IN-PLANE BENDING (PIPE BENDS NO. 9a, 9b)	86
A13. VARIATION OF EXPERIMENTAL LONGITUDINAL STRESS AROUND PIPE	87
A14. VARIATION OF THEORETICAL LONGITUDINAL STRESS AROUND PIPE	88

FIGURE	PAGE
A15. VARIATION OF CIRCUMPERENTIAL STRESS AROUND PIPE	89
A16. VARIATION OF RADIAL STRESS AROUND PIPE ...	90
A17. VARIATION OF SHEAR STRESS ON z- θ PLANE AROUND PIPE	91
A18. VARIATION OF SHEAR STRESSES ON θ -r AND r-z PLANES AROUND PIPE	92
A19. VARIATION OF BENDING AND SHEAR STRESSES AROUND PIPE (AT LOAD 360.0KG)	93
A20. VARIATION OF BENDING AND SHEAR STRESSES AROUND PIPE (AT LOAD 651.6KG)	94
A21. VARIATION OF BENDING AND SHEAR STRESSES AROUND PIPE (AT LOAD 927.7KG)	95
A22. SECTION DIAGRAM OF BUDENBERG DEAD WEIGHT PRESSURE TESTER	96
A23. STRAIN GAGE BRIDGE CONNECTIONS FOR TWO ARM BRIDGE	97
A24. SCHEMATIC DIAGRAM OF STRAIN MEASUREMENT ..	98
A25. STRAIN GAGE BRIDGE DIAGRAM	99
A26. PROVING RING NO. 56180	100
A27. THE CALIBRATION OF AVERY UNIVERSAL TESTING MACHINE BY PROVING RING	101
A28. THE CALIBRATION OF AMSLER UNIVERSAL TESTING MACHINE BY PROVING RING	102

FIGURE		PAGE
A29.	BUDENBERG PRESSURE GAGE TESTER	103
A30.	REINFORCED PIPE BEND	104
A31.	UNREINFORCED PIPE BEND	104
A32.	TEST SPECIMENS	105
A33.	END VIEW OF THE BENDS	105
A34.	PIPE BEND UNDER IN-PLANE BENDING LOAD OF AVERY TESTING MACHINE	106
A35.	PIPE BEND UNDER IN-PLANE BENDING LOAD OF AMSLER TESTING MACHINE	107
A36.	PIPE BEND UNDER IN-PLANE BENDING LOAD OF AMSLER TESTING MACHINE	108
A37.	PIPE BEND UNDER IN-PLANE BENDING LOAD OF SIGURD STENHØJ TESTING MACHINE	109
A38.	DIAL GAGE WITH MAGNETIC HOLDER	110
A39.	STRAIN GAGES AND CEMENT	110
A40.	STRAIN GAGE BRIDGE	111
A41.	SELECTOR SWITCH AND APEX UNITS	111
A42.	GAGE POSITIONS FOR THE MEASURING OF LONGITUDINAL AND CIRCUMFERENTIAL STRAINS ..	112
A43.	GAGE POSITION FOR THE MEASURING OF PRINCIPAL STRAIN AT ZERO DEGREE POSITION	112
A44.	THE MEASUREMENT OF STRAINS BY STRAIN-GAGE TECHNIQUE	113

LIST OF SYMBOLS

SYMBOL	QUANTITY	UNIT
a	Reinforced pipe bend	-
b	Unreinforced pipe bend	-
C	Length of equal tangent pipes to the smooth bend	cm
D_o	Outside diameter	cm
e_1	Maximum strain	cm/cm
e_2	Minimum strain	cm/cm
e_r	Radial strain	cm/cm
e_{rz}	Shear strain in r-z plane	cm/cm
e_z	Longitudinal strain or strain in z direction	cm/cm
e_{ze}	Shear strain in z-e plane	cm/cm
e_e	Circumferential strain or strain in e direction	cm/cm
e_{er}	Shear strain in e-r plane	cm/cm
E	Modulus of elasticity in tension or compression	ksc
f	Gage factor	-
F	Load acting along a line joining the free ends of the tangent pipes	kg
F_y	Load acting in cross axial direction	kg
F_z	Compressive load in axial direction pipe ..	kg
G	Modulus of elasticity in shear or torsion .	ksc

SYMBOL	QUANTITY	UNIT
I	Second moment of area of a section of the bend about a diameter	cm ⁴
K	Flexibility factor	-
L	Pipe length	cm
M	Bending moment	kg-cm
r	Mean radius	cm
	Radial direction	-
R	Equivalent radius	cm
	Resistance	ohm
S	Miter spacing	cm
	Span length	cm
S _r	Radial stress	ksc
S _{rz}	Shear stress in r-z plane	ksc
S _z	Longitudinal stress	ksc
S _{z_o}	Shear stress in z-o plane	ksc
S _o	Circumferential stress	ksc
S _{er}	Shear stress in e-r plane	ksc
t	Pipe wall thickness	cm
V	Shear force	kg
x	Distance from free end of pipe	cm
y	Distance from neutral plane of pipe	cm
Y	Observed deflection at corresponding load F ..	cm
z	Longitudinal direction	-
Z	Flexibility	cm/kg
α	Angular position around the circumference (0 at the top and 180 at the bottom)	degree

SYMBOL	QUANTITY	UNIT
β	Angle between load F and axial load F_z	degree
θ	Angular position around the circumference (+90 at the top and -90 at the bottom of circular section)	degree
	Circumferential direction	-
λ	Pipe factor	-
μ	Poisson's ratio	-
ϕ	Miter angle	degree



ABBREVIATIONS

cm	.....	Centimeter
gm	.....	Gram
in.	.....	Inch
kg	.....	Kilogram
ksc	.....	Kilogram per square centimeter
lb	.....	Pound
mm	.....	Millimeter
psi	.....	Pound per square inch