บรรณานุกรม

ภาษาไทย

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. "ก๊าซธรรมชาติจากพื้นผิวสู่ชนบทไทย." กรุงเทพมหานคร: การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย.

____. กองปฏิบัติการระบบท่อเขต 3. "รายงานการซ่อมท่อ NGL และ Propane ที่ระยอง." ระยอง: การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2523

____. สรุปปัญหาและการแก้ไขท่อส่งก๊าซที่วางในชั้นดินอ่อน. กรุงเทพมหานคร: กองปฏิบัติการระบบท่อ เขต 1 การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. การศึกษาผลกระทบอันจะมีผลต่อแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบก. 3 เล่ม. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พฤศจิกายน 2527

ชิโนไทยคอนสตรัคชั่นเซอร์วิสจำกัด, บริษัท. "รายละเอียดค่าเคลือบผิวท่อ." กรุงเทพมหานคร: บริษัทชิโนไทยคอนสตรัคชั่นเซอร์วิสจำกัด, 22 กันยายน 2529

ณรงค์ รังสิมันตศิริ, ลือชัย สุดสาคร, สุรชัย เจนสมบูรณ์. ความรู้เกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติ. กรุงเทพมหานคร: ด้านปฏิบัติการก๊าซธรรมชาติ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2531

สยามราชธานีจำกัด, บริษัท. "การเสนอราคา Fitting." กรุงเทพมหานคร: บริษัท สยามราชธานี จำกัด, 30 พฤษภาคม 2533

ภาษาอังกฤษ

American National Standard Code For Pressure Piping. Gas Transmission And Distribution Piping Systems. New York: ANSI B31.8-1989

Associated Corrosion Consultants Ltd.. Cathodic Protection Seminar, Prepare for Pretroleum Authority of Thailand. Canada: Associated Corrrosion Consultants Ltd., 1990

Asian Corrosion Control Trading Co.,Ltd.. "Products For Corrosion Protection and For Sealing." Asian Corrosion Control Trading Co., Ltd. (Mimemographed)

Bechtel,Inc.. Industry Fuel Product Pipeline Project Feasibility Study. Sanfrancisco : Bechtel,Inc., 1989

Cimaron Engineering Ltd.. Pipeline Practice Standards. 3 Vols., Canada: Cimaron Engineering Ltd.

Fluor Ocean Services International. National Gas Development Program, Job manual Vol. 24. Fluor Ocean Services International, 1981

International Gas and Fuel Corporation of Victoria. Feasibility Study of Small Scale Natural Gas Users (Thailand). 2 Vols., Australia: Gafcor Consulting, August 1986

Marshall E. Parker, Edward G. Peattie. Pipeline Corrosion and Cathodic Protection, 3 rd ed., Houston, London, Paris,Tokyo: Gulf Publishing Co., 1984

NKK Engineering (Thailand) Co., Ltd.. "Repairing Work at DPCU, BV 6 and BV 12 ." NKK Engineering (Thailand) Co.,Ltd., March 22, 1989 (Typewritten)

Pipeline Industry. Pipeline Rule of Thumb Handbook. Houston, Texas: Gulf Publishing Co., 1978

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผนวก ก.

ข้อกำหนดของ POLYETHYLENE COATING

จุดประสงค์

เพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับ POLYETHYLENE COATING และการใช้งานในการพันท่อก๊าซสำหรับระบบท่อย่อย ๆ

ขอบข่ายของข้อกำหนด

ต้องการให้ท่อส่งก๊าซที่ฝังดิน มีการห่อหุ้มป้องกันสนิม โดยมีความแข็งแรง ทนทาน และเหมาะสมสอดคล้องกับระบบป้องกันสนิมด้วยวิธี CATHODIC PROTECTION ดังนั้น ข้อกำหนดใดๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในแบบ ให้ยึดถือข้อกำหนดฉบับนี้ เป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน

มาตรฐานของงาน

ข้อกำหนดใด ๆ ที่เกี่ยวกับ PE. COATING และการพันท่อที่ไม่ได้ระบุไว้ในแบบและไม่ได้ระบุไว้ในข้อกำหนดฉบับนี้ ให้ถือปฏิบัติตาม DIN 30670 STANDARD (POLYETHYLENE COATING OF STEEL)

ข้อกำหนดโดยทั่วไปสำหรับ PE.COATING และการพันท่อ

1. การเตรียมผิว ผิวท่อที่จะพันด้วย POLYETHYLENE จะต้องขัดสนิมด้วยวิธี SAND BLAST มาตรฐาน SA. 2.5 (NEAR WHITE) และจะต้องสะอาดปราศจากฝุ่นผงความชื้น และรอยเปรอะเปื้อนใด ๆ

2. ชนิดของ PE. TAPE INNERWRAP เป็นชนิด 3 PLY (BUTLY-PE-BUTYL)
OUTERWRAP เป็นชนิด 2 PLY (BUTLY-PE)

3. PRIMER ควรเป็นผลิตภัณฑ์เฉพาะของบริษัทเดียวกับผู้ผลิต PE. TAPE เพื่อให้สามารถยึดกับ TAPE ที่ใช้พันได้ดี

4. การพันท่อ

4.1 ก่อนการพันท่อด้วย PE. TAPE จะต้องเตรียมผิวให้สะอาดแล้วจึงทาด้วย PRIMER ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที เพื่อให้ TAPE สามารถยึดกับผิวท่อได้ดี

4.2 ท่อที่พันจากโรงงาน จะต้องพันให้ชายตาและพันด้วยเครื่องพันท่อเฉพาะ

4.3 การเว้นระยะที่พันปลายท่อ ปลายท่อ ทั้งสองด้านของท่อแต่ละท่อนให้เว้นการพันประมาณ 150 มม.

5. ลักษณะการพัน การพัน PE. TAPE ให้พันเกยทับกัน(OVERLAP)ประมาณ 50% ถึง 55% ของความกว้างของ TAPE ซึ่งเมื่อพัน TAPE รอบท่อแล้ว ความกว้างระหว่างเทปที่เหลือจะไม่เกินครึ่งหนึ่งของความกว้างของเทป และการพันเทปนี้จะต้องไม่มีฟองอากาศอยู่ภายในใต้เทปหรือรอยย่นรอยปูดนูนแต่ประการใด

6. ตำแหน่ง FIELD JOINT ก่อนการพันเทปที่ FIELD JOINT ให้เล็มปลาย TAPE เดิมที่พันท่อมาจากโรงงานทิ้งออกเสียประมาณ 50 MM. และพันเกยทับเทปเดิมไม่น้อยกว่า 2 รอบ และทำความสะอาดบริเวณที่พันเทปด้วยเช่นกัน

7. การพันเทปท่อเหนือดิน ปลายเทปจะต้องพันเรียบเสมอได้ฉากกับตัวท่อที่พัน

8. การซ่อม COATING ให้พันซ้อนเกยทับกัน เลยจากตำแหน่งที่เทปเสียหายทั้งสองด้านไม่น้อยกว่า 2 รอบ

การตรวจสอบสภาพ COATING

ให้ตรวจสอบว่า COATING เสียหายหรือไม่ ทั้งจากโรงงาน และก่อนการวางท่อในสนามตรวจสอบด้วย HOLIDAY DETECTOR ซึ่งเป็น AC หรือ DC HIGH VOLTAGE ที่ค่า 5 KV + 5 KV/MM. โดยใช้ HOLIDAY DETECTOR ที่มีขนาดแรงดันประมาณ 25 KV.

ความหนาต่ำสุดในการพันท่อด้วย POLYETHYLENE COATING

1. กำหนดให้ความหนาต่ำสุดสำหรับการพันท่อก๊าซด้วย PE.COATING คือ 2.0 MM.

2. กำหนดให้การฝังท่อในส่วนที่ลอดถนน,ลอดทางรถไฟ และที่ตำแหน่งซึ่งท่อเสียหายได้ง่าย เช่น บริเวณคอคิน มีความหนาของ COATING ไม่ต่ำกว่า 3.0 MM.
3. ความหนาต่ำสุดของ PE. COATING (ตามตาราง) ที่เป็นแนวทางนำมาใช้

NORMINAL PIPE SIZE (ϕ MM.)	MINIMUM COATING THICKNESS(MM.)	
	NORMAL	INCREASED
ขนาดท่อไม่เกิน 100	1.8	2.5
ขนาดท่อ 100-> 250	2.0	2.5
ขนาดท่อ 250-> 500	2.2	3.0
ขนาดท่อ 500-> 800	2.5	3.5
ขนาดท่อ 800-> ขึ้นไป	3.0	3.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผนวก ข.

ทฤษฎีเกี่ยวกับกำลังของท่อก๊าซ

ท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบกของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ได้รับการออกแบบตามมาตรฐานของ ANSI B 31.8-1975 โดยใช้สูตรในการออกแบบขนาดของท่อดังนี้

$$P = \frac{2 f_y t}{D_o} F.E.T \qquad .....(1)$$

P = ความดันภายในท่อ

f_y = กำลังคลากของเหล็กที่ใช้ทำท่อ

D_o = เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ

t = ความหนาของผนังท่อ

F = แฟคเตอร์สำหรับชนิดของการก่อสร้าง (= 0.50)

E = แฟคเตอร์สำหรับข้อต่อความยาว (= 1.00)

T = แฟคเตอร์สำหรับการลดอุณหภูมิลง (= 1.00)

ในสภาวะการใช้งานปัจจุบัน สำหรับท่อขนาด O 28" ซึ่งมีความดันภายใน 450 psig และมีกำลังคลากของเหล็กที่ทำท่อเป็น 42,000 psi นั้น จะมีอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 2.32

ในกรณีที่ ดินซึ่งรองรับท่อ เกิดการทรุดตัวต่างกันขึ้น เนื่องจากการถมดินการพังทะลายของท่ออาจเกิดได้ในสองลักษณะได้แก่

1. การพังทะลายแบบโค้งตัด (Local Bending Failure) อันเนื่องมาจากท่อ

ทรุดตัวตามดินลงไปโดยเกิดความโค้งดัด (Curvature) เกินกว่าพิกัดกำลังของท่อ ซึ่งเป็นลักษณะการพังทะลายคล้ายกับคานรับโมเมนต์ดัด

2. การพังทะลายแบบดึงขาด (Tension Failure) อันเนื่องมาจากการที่ท่อต้องยืดออกเมื่อทรุดตัวตามดินลงไป ซึ่งเป็นลักษณะการพังทะลายคล้ายกับเส้น Perfectly Flexible Cable ขาดเมื่อรับแรงดึง

การคำนวณหาค่าพิกัดกำลัง ของท่อสำหรับการพังทะลายในสองลักษณะข้างต้น มีรายละเอียดดังนี้

การคำนวณหาค่าพิกัดความโค้งดัดของท่อก๊าซ (Limiting Curvature for Pipelines)

โดยที่หน่วยแรงสูงสุดในแนวแกนของท่อก๊าซอันเนื่องจากโมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกนรวมกันมีค่าเป็น

$$\sigma_x = \frac{\left[(i_y M_y)^2+(i_z M_z)^2\right]^{1/2}}{Z} \pm \frac{F}{A} \qquad \text{.....(2)}$$

เมื่อ σ_x = หน่วยแรงตามแกน (Longitudinal Stress) ในกรณีนี้กำหนดให้มีค่ามากที่สุดเท่ากับหน่วยแรงที่จุดคลาก, f_y ของเหล็กที่ใช้ทำท่อก๊าซ

i_y, i_z = สัมประสิทธิ์สำหรับความเข้มของหน่วยแรงรอบแกน y และ z (Stress Intensity factors) ตามลำดับ ในกรณีของท่อก๊าซตรงมีค่าเท่ากับหนึ่ง

M_y, M_z = โมเมนต์รอบแกน Y และ Z

Z = ค่าโมดูลัสของหน้าตัดท่อ (Section Modulus)

F = แรงตามแนวแกนเนื่องจากความดันภายในท่อก๊าซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A = พื้นที่หน้าตัดของผนังท่อก๊าซ

แรงตามแนวแกนเนื่องจากความดัน P ภายในท่อก๊าซคำนวณได้จาก

$$F = P \frac{\pi D_i^2}{4}$$

D_i = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อก๊าซ

ดังนั้นเมื่อกำหนดกำลังคลากของ เหล็กที่ใช้, σ_x และความดันภายในท่อก๊าซ, pให้ก็จะคำนวณแรงปลอดภัย, σ_b. ที่เหลือสำหรับส่วนของโมเมนต์ดัด M_Y และ M_Z จากสมการที่ (2) ได้เป็น

$$\sigma_b = \sigma_x - \frac{F}{A} \qquad \ldots\ldots\ldots(3)$$

โดยที่ความโค้งดัดสัมพันธ์โดยตรงกับโมเมนต์ดัด จะได้ว่า

$$\sigma_b = k\,Ey \quad \text{หรือ} \quad k = \frac{\sigma_b}{Ey} \qquad \ldots\ldots\ldots(4)$$

เมื่อ E = ค่าอิลัสติคโมดูลัสของเหล็กที่ใช้ทำท่อก๊าซ

k = ความโค้งดัดของท่อก๊าซ

จากสมการที่ (3) และ (4) ก็จะสามารถคำนวณหาค่าพิกัดความโค้งดัดของท่อก๊าซได้

การคำนวณหาค่าพิกัดรับแรงดึงเมื่อท่อทรุดตัวลงตามดิน

ปริมาณการยืดตัวของท่อก๊าซเมื่อทรุดตัวตามดินลงไปนั้น คำนวณได้จากสูตรเรขาคณิต

ของรูปสามเหลี่ยม (Pythagorous Rule) ดังนี้

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2 \qquad \text{.....(5)}$$

โดยที่

dx = ความยาวเดิมของท่อในแนวแกน

dy = ระยะเคลื่อนตัวออกทางด้านข้างของท่อก๊าซจากแนวท่อ

dz = ระยะทรุดตัวลงของท่อก๊าซ

ds = ความยาวยืดออกของท่อก๊าซ

เมื่อสามารถวิเคราะห์รูปลักษณะการทรุดตัวของดินที่รองรับท่อ(Settlement Profile) ได้ ก็จะนำมาคำนวณหาความยาวยืดออกของท่อที่ทรุดตัวลงจากสูตรข้างต้น โดยการแบ่งระยะตามแนวท่อเป็นช่วงๆละเท่าๆกัน ที่ระยะช่วงก็อ่านค่าการทรุดตัวและ/หรือการเคลื่อนตัวออกทางด้านข้างได้โดยตรง ผลรวมของระยะยืดออกก็จะเป็นความยาวยืดออกทั้งหมดของท่อก๊าซในช่วงที่มีการทรุดตัวลง ดังนั้นจะคำนวณหาความเครียดที่เกิดในท่อ ε_x ได้เป็น

$$\varepsilon_x = \frac{ds-dx}{dx} \qquad \text{.....(6)}$$

ซึ่งคิดเป็นหน่วยแรงเท่ากับ

$$\sigma_x = E\,\varepsilon_x \qquad \text{.....(7)}$$

เมื่อ E คือค่าโมดูลัสของเหล็กที่ใช้ทำท่อก๊าซ

เนื่องจากความดันภายในท่อก๊าซมีค่า P ดังนั้นจะเกิดหน่วยแรงตามแนวแกนของท่อเท่ากับ

$$\sigma_a = P\frac{\pi D_i^2}{4A} \qquad \text{.....(8)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลรวมของหน่วยแรงตามแนวแกนของท่อจากการทรุดตัว σ_x และจากความดันภายใน σ_ϕ จะต้องมีค่าไม่เกินกว่ากำลังคลาก f_y ของเหล็กที่ใช้ทำท่อ

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพิกัดด้านกำลังของท่อก๊าซขนาด 28" OD.xO.344" W.T. API 5LX-X42 ซึ่งมีความดันภายใน 31.5 กก./ซม^2 แสดงไว้ในตารางที่ ข.1 และ ข.2 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- อัตราส่วนความปลอดภัย 2.32
- พิกัดความเครียดจากแรงดึงของท่อเมื่อมีการทรุดตัวตามดินลงไป 0.0011
- พิกัดความโค้งของท่อเมื่อมีการทรุดตัวตามดินลงไป 3.11 $(10)^{-5}$/ซม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพิกัดความเครียดจากแรงดึงเมื่อท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 28" ทรุดตัวตามดินลงไป (Limiting tensile strain)

D_o = 28" = 71.12 ซม. r_m = 13.828" = 35.123 ซม.

D_i = 27.312" = 69.372ซม. f_y = 2940 กก/ซม^2

t = 0.344" = 0.874 ซม. p = 44.1 ถึง 31.5 กก/ซม^2

$A = 2 \pi r_m t$ $E = 2.1(10)^6$

$= 2 \pi (35.123)(0.344)(2.54) = 192.825$ ซม^2

$$\sigma_a = p \frac{\pi D_i^2}{4A}$$

$$= \frac{(31.5)\ \pi\ (69.372)^2}{(4)\ (192.825)} = 617.455 \text{ กก/ซม}^2$$

$\sigma_x = f_y - \sigma_a$ = 2940-617.455 = 2322.545 กก/ซม^2

คิดเป็นพิกัดความเครียดจากแรงดึง = $2322.545/(2.1)(10)^6$

= 0.0011

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพิกัดความโค้งดัดของท่อก๊าซขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง O 28"

D_o = 28" = 71.12 ซม. r_m = 13.828" = 35.123 ซม.

D_i = 27.312" = 69.372 ซม. f_y = 2940 กก/ซม.^{2}

t = 0.344" = 0.874 ซม. p = 44.1 to 31.5 กก/ซม.^{2}.

$A = 2 \pi r_m t$

$= 2\pi(35.123)(0.344)(2.54) = 192.825$ ซม.^{2}.

$F = p\frac{\pi D_i^2}{4} = (31.5)\ \frac{(3.14)\ (59.372)^2}{4} = 119060.82$ กก.

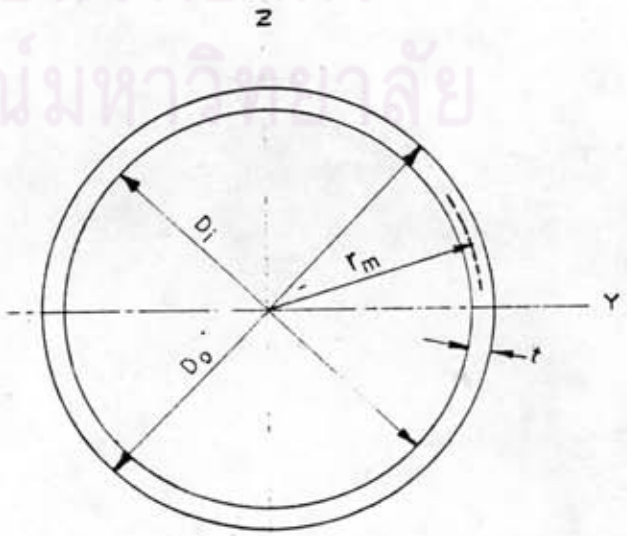
$\frac{F}{A} = \frac{119060.82}{192.825} = 617.455$ กก/ซม.^{2}.

$\sigma_b = 2940 - 617.455 = 2322.545$ กก/ซม.^{2}.

$k = \frac{\sigma_b}{Ey} = \frac{2322.545}{(2.1)\ (10)^6\ (35.56)} = 3.110(10)^{-5}$/ ซม

Radius of Curvature = 321.543 ม.

รูปหน้าตัดของท่อก๊าซ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผนวก ค

การหา Stress ของท่อเนื่องจากการถมทับของดินและการจราจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PETROLEUM AUTHORITY OF THAILAND

TITLE : STRESSES IN BURIED PIPE UNDER PRESSURE (INPUT DATA)

LOCATION : _____ DATE : _____

CALCULATED BY : _____ CHECKED BY : _____ SHEET : 1

SYMBOL	UNIT	REPRESENTS	REMARK
D =	inch	Outside Diameter of Pipe	1 m = 39.37 inch
t =	inch	Pipe Wall Thickness	1 mm = 3.937×10^{-2} inch
P =	psi	Pipe Internal Pressure	1 bar = 14.50 psi
$E = 30 \times 10^6$	psi	Pipe Elastic Modulus	1 ksc = 14.22 psi
$E_c = 3 \times 10^6$	psi	Conc. Pavement Elastic Modulus	
$E_s = 1 \times 10^4$	psi	Sand Elastic Modulus	
H	inch	Depth of Buried Pipe	1 m = 39.37 inch
h =	inch	Pavement Thickness	1 cm = 0.3937 inch
F = (38,350)*	lb	Equivalent Tendem Wheel Load	1 Ton = 2,204 lb
p = (80)	psi	Tire Pressure (Heavy Truck)	1 ksc = 14.22 psi
R = (12.32)	inch	Tire Contacted Radius	1 cm = 0.3937 inch
$\gamma = 7.58 \times 10^{-2}$	lb/in^3	Density of Soil over the pipe	1 T/m^3 = 3.61×10^{-2} lb/in^3
μ =	-	Conc. Pavement Poisson's Ratio	
K_b =	-	Bending Parameter/See Table 1	0.126 for Dense Sand
K_z =	-	Deflection Parameter/See Table 1	0.085 for Dense Sand
R_g =	inch	Pavement Structure Parameter	$= \sqrt[4]{E_c h^3 / 12(1-\mu^2)E_s}$
C =	-	Load Coefficient	See Table 2
C_d =	-	Load Coefficient (H/D =)	See Table 3
I_z =	-	Influent Coefficient	See Figure 1
W_1 = Unknown	lb/in	Load on Pipe due to soil wt.	
W_2 = Unknown	lb/in	Load on Pipe due to traffic	
W = Unknown	lb/in	Total External Load on Pipe	$W = W_1 + W_2$
S_1 = Unknown	psi	Primary Stress in Pipe	
S_2 = Unknown	psi	Secondary Stress in Pipe	
S = Unknown	psi	Total Stress	$S = S_1 + S_2$

NOTE : 1. Mark * indicates the values for 10-wheel truck with 50 % impacted.

2.

3.

PETROLEUM AUTHORITY OF THAILAND

TIELE : STRESSES IN BURIED PIPE UNDER FRESSURE (RESULT SHEET)

LOCATION : _____ DATE : _____

CALCULATED BY : _____ CHECKED BY : _____ SHEET : 1

1. PRIMARY STRESS

$$S_1 = \frac{P}{2t}(D-2t)$$

$$=$$

$S_1 =$. psi

2. SECONDARY STRESS

2.1 Load on pipe due to soil cover

$$W_1 = C_d \gamma D^2$$

$W_1 =$ lb/in

2.2 Load on pipe due to traffic

If Flexible pavement ;

$$W_2 = pDI_f$$

$$=$$

If Rigid pavement ;

$$W_2 = \frac{CFD}{R_s^2}$$

$$= _____$$

$W_2 =$ lb/in

$$W = W_1 + W_2$$

$$=$$

$W =$ lb/in

$$S_2 = \frac{3KbWEDt}{Et^3 + 3K_z PD^3}$$

$$= _____$$

$$= _____$$

$S_2 =$ psi

3. TOTAL STRESS

$$S = S_1 + S_2$$

$$=$$

$S =$ psi

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Laying conditions (1)	Description (2)	E' (3)	Bedding angle (4)	K_b (5)	K_z (6)
Type 1[a]	Flat-bottom trench.[b] Loose backfill.	150	30°	0.235	0.108
Type 2	Flat-bottom trench.[b] Backfill lightly consolidated to centerline of pipe	300	45°	0.210	0.105
Type 3	Pipe bedded in 4-in. minimum loose soil.[c] Backfill lightly consolidated to top of pipe.	400	60°	0.189	0.103
Type 4	Pipe bedded in sand, gravel or crushed stone to depth of 1/8 pipe diameter, 4-in. minimum. Backfill compacted to top of pipe. (Approximately 80% Standard Proctor, AASHO T-99.)	500	90°	0.157	0.096
Type 5	Pipe bedded in compacted granular material to centerline of pipe. Compacted granular or select[c] material to top of pipe. (Approximately 90% Standard Proctor, AASHO T-99.)	700	150°	0.128	0.085

[a] For 30-in. and larger pipe, consideration should be given to the use of laying conditions other than Type 1.

[b] "Flat-bottom" is defined as undisturbed earth.

[c] "Loose soil" or "select material" is defined as native soil excavated from the trench, free of rocks, foreign materials and frozen earth.

Table 1 K_b and K_z for various types of trench and backfill.

H/R,	Load Coefficient, X/R,										
	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
0.0	0.113	0.105	0.089	0.068	0.048	0.032	0.020	0.011	0.006	0.002	0.000
0.4	0.101	0.095	0.082	0.065	0.047	0.033	0.021	0.011	0.004	0.001	0.000
0.8	0.089	0.084	0.074	0.061	0.045	0.033	0.022	0.012	0.005	0.002	0.001
1.2	0.076	0.072	0.065	0.054	0.043	0.032	0.022	0.014	0.008	0.005	0.003
1.6	0.062	0.059	0.054	0.047	0.039	0.030	0.022	0.016	0.011	0.007	0.005
2.0	0.051	0.049	0.046	0.042	0.035	0.028	0.022	0.016	0.011	0.008	0.006
2.4	0.043	0.041	0.039	0.036	0.030	0.026	0.021	0.016	0.011	0.008	0.006
2.8	0.037	0.036	0.033	0.031	0.027	0.023	0.019	0.015	0.011	0.009	0.006
3.2	0.032	0.030	0.029	0.026	0.024	0.021	0.018	0.014	0.011	0.009	0.007
3.6	0.027	0.026	0.025	0.023	0.021	0.019	0.016	0.014	0.011	0.009	0.007
4.0	0.024	0.023	0.022	0.020	0.019	0.018	0.015	0.013	0.011	0.009	0.007
4.4	0.020	0.020	0.019	0.018	0.017	0.015	0.014	0.012	0.010	0.009	0.007
4.8	0.018	0.017	0.017	0.016	0.015	0.013	0.012	0.011	0.009	0.008	0.007
5.2	0.015	0.015	0.014	0.014	0.013	0.012	0.011	0.010	0.008	0.007	0.006
5.6	0.014	0.013	0.013	0.012	0.011	0.010	0.010	0.009	0.008	0.007	0.006
6.0	0.012	0.012	0.011	0.011	0.010	0.009	0.009	0.008	0.007	0.007	0.006

Table 2 Pressure Coeffient (C) for Rigid Pavement.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Safe Working Values for the Coefficient Cd for Calculating Loads on Pipes in Trenches					
Ratio H/B = height of fill above top of pipe to breadth of ditch a little below the top of the pipe (1)	Minimum possible without cohesion. These values give the loads generally imposed by granular filling materials before tamping or settling (2)	Maximum for ordinary sand. Use these values as safe for all ordinary cases of sand filling. (3)	Completely saturated topsoil (4)	Ordinary maximum for clay (thoroughly wet). Use these values as safe for all ordinary cases of clay filling. (5)	Extreme maximum for clay (completely saturated). Use these values only for extremely unfavorable conditions (6)
0.5	0.455	0.461	0.464	0.469	0.474
1.0	0.830	0.852	0.864	0.881	0.898
1.5	1.140	1.183	1.206	1.242	1.278
2.0	1.395	1.464	1.504	1.560	1.618
2.5	1.606	1.702	1.764	1.838	1.923
3.0	1.780	1.904	1.978	2.083	2.196
3.5	1.923	2.075	2.167	2.298	2.441
4.0	2.041	2.221	2.329	2.487	2.660
4.5	2.136	2.344	2.469	2.650	2.856
5.0	2.219	2.448	2.590	2.798	3.032
5.5	2.286	2.537	2.693	2.926	3.190
6.0	2.340	2.612	2.782	3.038	3.331
6.5	2.386	2.675	2.859	3.137	3.458
7.0	2.423	2.729	2.925	3.223	3.571
7.5	2.454	2.775	2.982	3.299	3.673
8.0	2.479	2.814	3.031	3.366	3.764
8.5	2.500	2.847	3.073	3.424	3.845
9.0	2.518	2.875	3.109	3.576	3.918
9.5	2.532	2.898	3.141	3.521	3.983
10.0	2.543	2.918	3.167	3.560	4.042
11.0	2.561	2.950	3.210	3.626	4.141
12.0	2.573	2.972	3.242	3.676	4.221
13.0	2.581	2.989	3.266	3.715	4.285
14.0	2.587	3.000	3.283	3.745	4.336
15.0	2.591	3.009	3.296	3.768	4.378
Very great	2.599	3.030	3.333	3.846	4.545

Note: Use data from column (5) unless highway subsoil is known to be material specified in columns (2), (3), (4) or (6).

Table 3 Load Coefficient (Cd) for Marston's Formula.

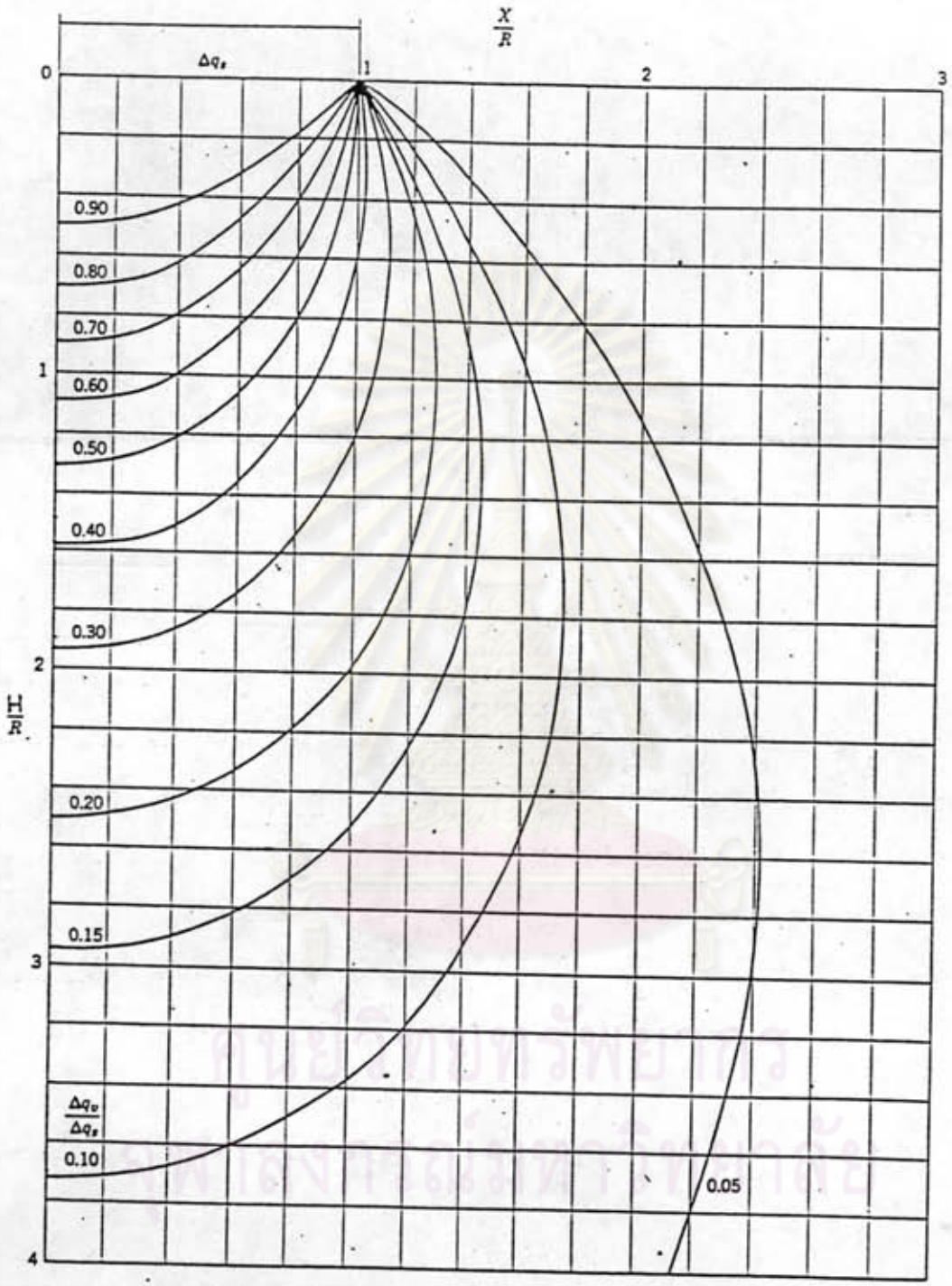


Fig. 1 Vertical stresses induced by uniform load on circular area.

API 5L Plain-End Line Pipe

STD : Standard
XS : Extra Strong
XXA : Double Extra Strong

※Special Sizes

Nominal Size	Outside Diameter		Wall Thickness			Weight			Test Pressure psi			
									Grade A		Grade B	
in.	in.	mm	in.	mm	Sch No.	lbs/ft	kg/m	kg/ft	Std	Alt	Std	Alt
⅛	0.405	10.3	0.068	1.73	40 (STD)	0.24	0.36	0.11	700	—	700	—
			0.095	2.41	80 (XS)	0.31	0.46	0.14	850	—	850	—
¼	0.540	13.7	0.088	2.24	40 (STD)	0.42	0.62	0.19	700	—	700	—
			0.119	3.02	80 (XS)	0.54	0.80	0.25	850	—	850	—
⅜	0.675	17.1	0.091	2.31	40 (STD)	0.57	0.85	0.26	700	—	700	—
			0.126	3.20	80 (XS)	0.74	1.10	0.34	850	—	850	—
½	0.840	21.3	0.109	2.77	40(STD)	0.85	1.27	0.39	700	—	700	—
			0.147	3.73	80 (XS)	1.09	1.62	0.49	850	—	850	—
			0.294	7.47	(XXS)	1.71	2.55	0.78	1000	—	1000	—
¾	1.050	26.7	0.113	2.87	40 (STD)	1.13	1.68	0.51	700	—	700	—
			0.154	3.91	80 (XS)	1.47	2.19	0.67	850	—	850	—
			0.308	7.82	(XXS)	2.44	3.63	1.11	1000	—	1000	—
1	1.315	33.4	0.133	3.38	40 (STD)	1.68	2.50	0.76	700	—	700	—
			0.179	4.55	80 (XS)	2.17	3.23	0.99	850	—	850	—
			0.358	9.09	(XXS)	3.66	5.45	1.66	1000	—	1000	—
1¼	1.660	42.2	0.140	3.56	40 (STD)	2.27	3.38	1.03	1200	—	1300	—
			0.191	4.85	80 (XS)	3.00	4.46	1.36	1800	—	1900	—
			0.382	9.70	(XXS)	5.21	7.76	2.37	2200	—	2300	—
1½	1.900	48.3	0.145	3.68	40 (STD)	2.72	4.05	1.23	1200	—	1300	—
			0.200	5.08	80 (XS)	3.63	5.40	1.65	1800	—	1900	—
			0.400	10.16	(XXS)	6.41	9.55	2.91	2200	—	2300	—
2	2⅜	60.3	0.154	3.91	40(STD)	3.65	5.44	1.66	2300	—	2500	—
			0.218	5.54	80 (XS)	5.02	7.47	2.28	2500	—	2500	—
			0.436	11.07	(XXS)	9.03	13.45	4.10	2500	—	2500	—
2½	2⅞	73.0	0.203	5.16	40 (STD)	5.79	8.62	2.63	2500	—	2500	—
			0.276	7.01	80 (XS)	7.66	11.40	3.48	2500	—	2500	—
			0.552	14.02	(XXS)	13.70	20.41	6.22	2500	—	2500	—

(Continued)

Nominal Size	Outside Diameter		Wall Thickness			Weight			Test Pressure psi			
									Grade A		Grade B	
in.	in.	mm	in.	mm	Sch No.	lbs/ft	kg/m	kg/ft	Std	Alt	Std	Alt
3	3½	88.9	※ 0.125	3.18		4.51	6.72	2.05	1290	—	1500	—
			※ 0.156	3.96		5.57	8.30	2.53	1600	—	1870	—
			0.188	4.78		6.65	9.91	3.02	1930	—	2260	—
			0.216	5.49	40(STD)	7.58	11.29	3.44	2220	—	2500	—
			0.250	6.35		8.68	12.93	3.94	2500	—	2500	—
			0.281	7.14		9.66	14.39	4.39	2500	—	2500	—
			0.300	7.62	80(XS)	10.25	15.27	4.65	2500	—	2500	—
			0.600	15.24	(XXS)	18.58	27.67	8.44	2500	—	2500	—
3½	4	101.6	※ 0.125	3.18		5.17	7.70	2.35	1120	—	1310	—
			※ 0.156	3.96		6.40	9.53	2.91	1400	—	1640	—
			※ 0.188	4.78		7.65	11.39	3.47	1690	—	1970	—
			※ 0.226	5.74	40(STD)	9.11	13.57	4.14	2030	—	2370	—
			※ 0.250	6.35		10.01	14.91	4.54	2250	—	2620	—
			※ 0.281	7.14		11.16	16.62	5.07	2530	—	2800	—
			0.318	8.08	80(XS)	12.50	18.62	5.68	2800	—	2800	—
4	4½	114.3	※ 0.125	3.18		5.84	8.70	2.65	1000	—	1170	—
			※ 0.141	3.58		6.56	9.77	2.98	1130	—	1320	—
			※ 0.156	3.96		7.24	10.78	3.29	1250	—	1460	—
			0.172	4.37		7.95	11.84	3.61	1380	—	1610	—
			0.188	4.78		8.66	12.90	3.93	1500	—	1750	—
			0.203	5.16		9.32	13.88	4.23	1620	—	1890	—
			0.219	5.56		10.01	14.91	4.54	1750	—	2040	—
			0.237	6.02	40(STD)	10.79	16.07	4.90	1900	—	2210	—
			0.250	6.35		11.35	16.91	5.15	2000	—	2330	—
			0.281	7.14	60	12.66	18.86	5.75	2250	—	2620	—
			0.312	7.92		13.96	20.79	6.34	2500	—	2800	—
			0.337	8.56	80(XS)	14.98	22.31	6.80	2700	—	2800	—
			0.438	11.13	120	19.00	28.30	8.63	2800	—	2800	—
			0.531	13.49	160	22.51	33.53	10.22	2800	—	2800	—
			0.674	17.12	(XXS)	27.54	41.02	12.50	2800	—	2800	—

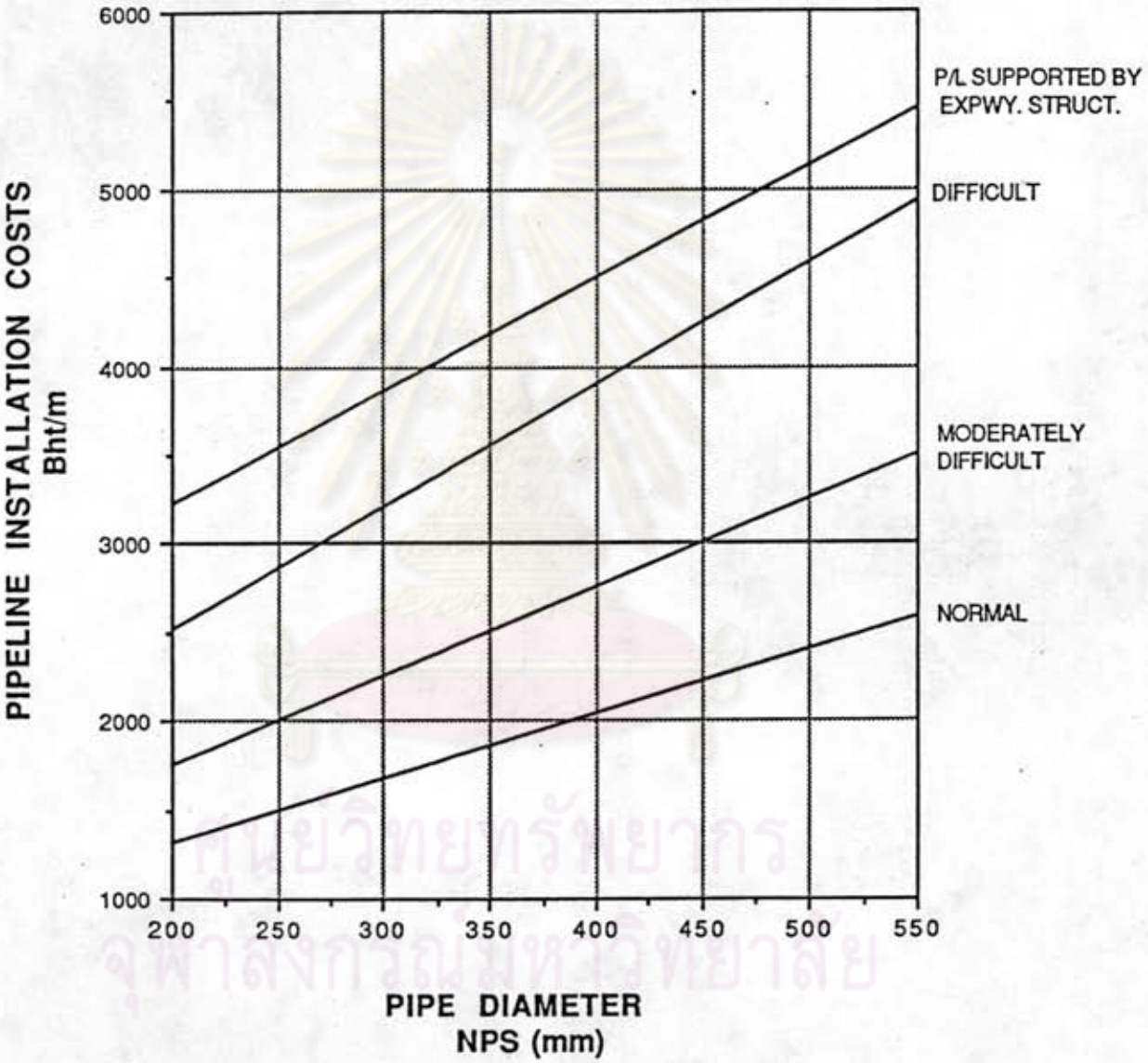
API 5L Plain – End Line Pipe (Continued)

Nominal Size	Outside Diameter		Wall Thickness			Weight			Test Pressure psi			
									Grade A		Grade B	
in.	in.	mm	in.	mm	Sch No.	lbs/ft	kg/m	kg/ft	Std	Alt	Std	Alt
5	5 9/16	141.3	※ 0.125	3.18		7.26	10.81	3.29	810	—	940	—
			※ 0.156	3.96		9.01	13.42	4.09	1010	—	1180	—
			※ 0.188	4.78		10.79	16.07	4.90	1220	—	1420	—
			※ 0.219	5.56		12.50	18.62	5.68	1420	—	1650	—
			※ 0.258	6.55	40(STD)	14.62	21.78	6.64	1670	—	1950	—
			※ 0.281	7.14		15.85	23.61	7.20	1820	—	2120	—
			※ 0.312	7.92		17.50	26.07	7.95	2020	—	2360	—
			※ 0.344	8.74		19.17	28.55	8.70	2230	—	2600	—
			0.375	9.52	80(XS)	20.78	30.95	9.43	2430	—	2800	—
			※ 0.500	12.70	120	27.04	40.28	12.28	2800	—	2800	—
			※ 0.625	15.88	160	32.96	49.09	14.96	2800	—	2800	—
			0.750	19.05	(XXS)	38.55	57.42	17.50	2800	—	2800	—
6	6 5/8	168.3	※ 0.141	3.58		9.76	14.54	4.43	770	960	890	1120
			※ 0.156	3.96		10.78	16.06	4.89	850	1060	990	1240
			0.172	4.37		11.85	17.65	5.38	930	1170	1090	1360
			0.188	4.78		12.92	19.24	5.87	1020	1280	1190	1490
			0.203	5.16		13.92	20.73	6.32	1100	1380	1290	1610
			0.219	5.56		14.98	22.31	6.80	1190	1490	1390	1740
			0.250	6.35	30	17.02	25.35	7.73	1360	1700	1580	1980
			0.280	7.11	40(STD)	18.97	28.26	8.61	1520	1900	1780	2220
			0.312	7.92		21.04	31.34	9.55	1700	2120	1980	2470
			0.344	8.74		23.08	34.38	10.48	1870	2340	2180	2730
			0.375	9.52		25.03	37.28	11.36	2040	2550	2380	2800
			0.432	10.97	80(XS)	28.57	42.56	12.97	2350	2800	2740	2800
			0.500	12.70		32.71	48.72	14.85	2720	2800	2800	2800
			0.562	14.27	120	36.39	54.20	16.52	2800	2800	2800	2800
			0.625	15.88		40.05	59.65	18.18	2800	2800	2800	2800
			0.719	18.26	160	45.35	67.55	20.59	2800	2800	2800	2800
			0.864	21.95	(XXS)	53.16	79.18	24.13	2800	2800	2800	2800

(Continued)

Nominal Size	Ostside Diameter		Wall Thickness			Weight			Test Pressure psi			
									Grade A		Grade B	
in.	in.	mm	in.	mm	Sch No.	lbs/ft	kg/m	kg/ft	Std	Alt	Std	Alt
			※ 0.156	3.96		14.11	21.02	6.41	650	810	760	950
			0.188	4.78		16.94	25.23	7.69	780	980	920	1140
			0.219	5.56		19.66	29.28	8.93	910	1140	1070	1330
			0.250	6.35	20	22.36	33.31	10.15	1040	1300	1220	1520
			0.277	7.04	30	24.70	36.79	11.21	1160	1450	1350	1690
			0.312	7.92		27.70	41.26	12.58	1300	1630	1520	1900
			0.322	8.18	40(STD)	28.55	42.53	12.96	1340	1680	1570	1960
8	8⅝	219.1	0.344	8.74		30.42	45.31	13.81	1440	1790	1680	2090
			0.375	9.52		33.04	49.21	15.00	1570	1960	1830	2280
			0.438	11.13		38.30	57.05	17.39	1830	2290	2130	2670
			0.500	12.70	80(XS)	43.39	64.63	19.70	2090	2610	2430	2800
			0.562	14.27		48.40	72.09	21.97	2350	2800	2740	2800
			0.625	15.88		53.40	79.54	24.24	2610	2800	2800	2800
			0.719	18.26	120	60.71	90.43	27.56	2800	2800	2800	2800
			0.875	22.22	(XXS)	72.42	107.87	32.88	2800	2800	2800	2800
			※ 0.188	4.78		21.21	31.59	9.63	630	790	730	920
			0.219	5.56		24.63	36.69	11.18	730	920	860	1070
			0.250	6.35	20	28.04	41.77	12.73	840	1050	980	1220
			0.279	7.09		31.20	46.47	14.16	930	1170	1090	1360
			0.307	7.80	30	34.24	51.00	15.54	1030	1290	1200	1500
			0.344	8.74		38.23	56.94	17.36	1150	1440	1340	1680
10	10¾	273.0	0.365	9.27	40(STD)	40.48	60.29	18.38	1220	1530	1430	1780
			0.438	11.13		48.24	71.85	21.90	1470	1830	1710	2140
			0.500	12.70	60(XS)	54.74	81.54	24.85	1670	2090	1950	2440
			0.562	14.27		61.15	91.08	27.76	1880	2350	2200	2740
			0.625	15.88		67.58	100.66	30.68	2090	2620	2440	2800
			0.719	18.26	100	77.03	114.74	34.97	2410	2800	2800	2800
			0.812	20.62		86.18	128.37	39.13	2720	2800	2800	2800

PIPELINE INSTALLATION COST VS. PIPE DIAMETER



แหล่งที่มา : Bechtel, Inc., Industry Fuel Product Pipeline Project Feasibility Study. (1989)

5-Jun-89

PIPELINE CAPITAL COST ESTIMATE BASIS

Pipe Diameter	NPS	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Outside Dia.	mm	219	273	324	356	406	457	508	559	610
For D.F. =50% : W.T.	mm	5.4	6.7	7.9	8.7	9.9	11.1	12.3	12.7	13.5
Weight	kg/m	36	44.2	62	75.4	97.4	122.3	152.8	171.1	181.6
COST:										
Steel @ 750 $/t	Bht/m	760	850	1175	1425	1825	2300	2875	3200	3405
Shop Coating @ 10 $/m2 .0314 x O.D.	Bht/m	175	225	275	300	325	350	375	440	475
Transport & Stockpile Allowance	Bht/m	65	75	100	100	125	125	150	150	175
Subtotal w/o Import Duty	Bht/m	1000	1150	1550	1825	2275	2775	3400	3790	4055
Add Import Duty @ 45%	Bht/m	450	525	700	825	1025	1250	1525	1700	1825
TOTAL (HEAVY)	**Bht/m**	**1450**	**1675**	**2250**	**2650**	**3300**	**4025**	**4925**	**5490**	**5880**

For D.F. =72% : W.T.	mm	4.6	4.6	5.5	6	6.9	7.7	8.6	9.5	10.3
Weight	kg/m	25	31	44	52	68	85	107	129.5	151.8
COST:										
Steel @ 750$/t	Bht/m	560	600	850	1000	1275	1600	2000	2428	2846
Shop Coating @ 10 $/m2 .0314 x O.D.	Bht/m	175	225	275	300	325	350	375	439	479
Transport & Stockpile Allowance	Bht/m	65	75	100	100	125	125	150	150	175
Subtotal w/o Import Duty	Bht/m	800	900	1225	1400	1725	2075	2525	3017	3500
Add Import Duty @ 45%	Bht/m	360	400	550	625	775	925	1125	1350	1575
TOTAL (LIGHT)	**Bht/m**	**1160**	**1300**	**1775**	**2025**	**2500**	**3000**	**3650**	**4367**	**5075**

แหล่งที่มา : Bechtel,Inc., Industry Fuel Product Pipeline Project Feasibility Study. (1989)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายโกญจา สนิทนราทร

เกิด 8 เมษายน 2503

วุฒิการศึกษา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2524

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย