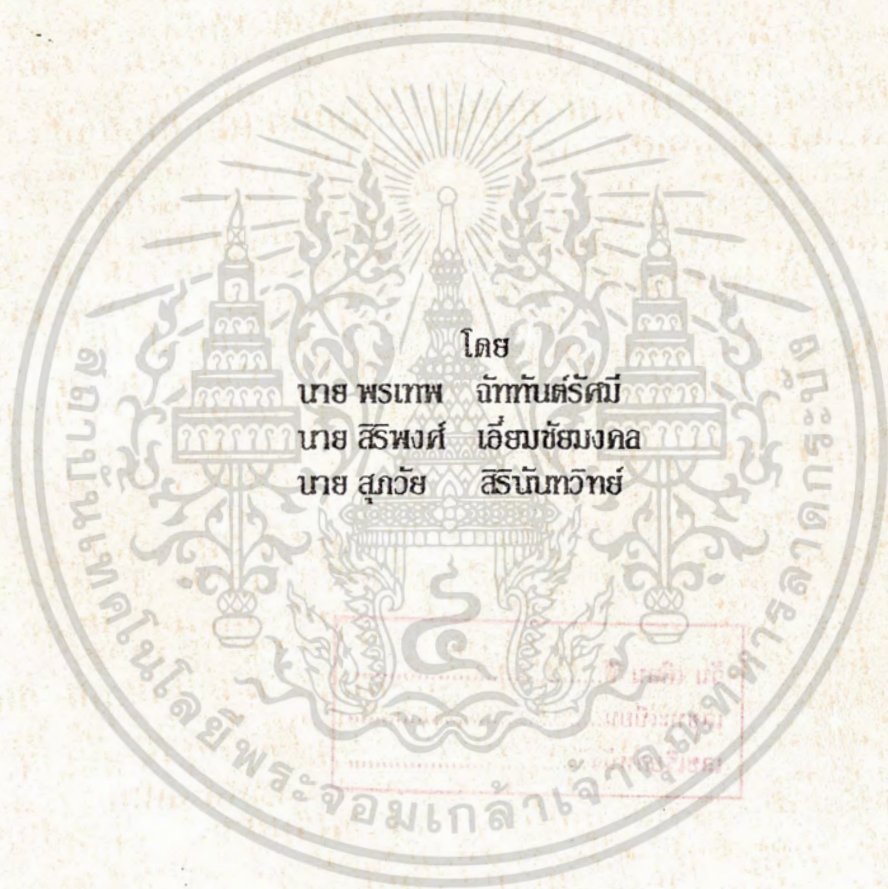




การศึกษาเชิงตัวแปรของการไหลในท่อ  
PARAMETRIC STUDY OF THE FLOW IN PIPES



ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 034905

ปริญญาโทบริหารการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเชิงตัวแปรของการไหลในท่อ

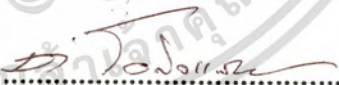
ผู้จัดทำ

นาย พรเทพ ฉัททันต์รัมย์

นาย สิริพงศ์ เอี่ยมชัยมงคล

นาย สุภวัช สิริบัณฑิตวิทย์



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ มิ่ง ไกกิจนสงทอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษาเชิงตัวแปรของการไหลในท่อ

นาย พรเทพ จันทันต์รัมย์ 34104229

นาย สิริพงศ์ เอี่ยมชัยมงคล 34108425

นาย สุภชัย สิรินันโทวิทย 34108444

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.มิ่ง โลกิจแสงทอง

ปีการศึกษา 2537

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้รายงานการศึกษาเรื่องการไหลในท่อ ในบทที่ 1 นั้นจะศึกษาการไหลในท่อรูปทรงเรขาคณิตต่าง ๆ เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม วงกลม ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ในช่วง Reynolds Number ต่ำ ๆ ที่มีการไหลแบบ Laminar โดยจะศึกษาเกี่ยวกับ ความเร็วที่จุดต่าง ๆ และ Friction constant ในบทที่ 2 จะศึกษาเกี่ยวกับระบบการไหลในท่อที่มีความสลับซับซ้อนมากโดยลักษณะการไหลเป็นแบบ Turbulent ที่มีการต่อกันเป็นระบบแบบ Branching Networks โดยการคำนวณอัตราการไหล ในแต่ละท่อ และ Head ที่จุดต่าง ๆ ของท่อเพื่อที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบของท่อ ในบทที่ 3 จะศึกษาปรากฏการณ์ ของ Waterhammer ที่มีผลต่อการออกแบบระบบท่อ โดยจะศึกษาถึงผลของการเกิด Waterhammer กับ Head สูงสุดที่จุดต่าง ๆ ของท่อในระบบ นอกจากนี้ยังมี โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการคำนวณหาอัตราการไหลในแต่ละท่อของระบบท่อที่ต่อกันเป็น Networks เพื่อสะดวก ในการคำนวณอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PARAMETRIC STUDY OF THE FLOW IN PIPES

Phonthep Chattanrasamee 34104229

Siripong Eamchaimongkol 34108425

Supavai Sirinuntawit 34108444

Advisor

Ming Lokitsangtong

Academic Year 1994

## Abstract

This thesis reports a study of the parameters which affect the flow in pipes. In chapter 1 it describes the flow in simple geometrical pipes such as rectangular, triangular and circular ducts that has been analysed for low range Reynolds Number (Laminar Flow). In chapter 2 it concerns about the more complex flow in pipe system which is turbulent and pipes are connected in "Branching Networks". Flow rate and head in various parts of the pipe has been calculated for design of pipe system. In chapter 3 waterhammer phenomena which affects the pipe design was studied by calculating the maximum head at different points in pipe system. Besides, there are user-friendly computer programs for calculating the flow rate in each pipe of the pipe network.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	1
ABSTRACT	2
สารบัญ	3
บทที่ 1 การศึกษาการไหลในท่อรูปทรงเรขาคณิต	4
บทที่ 2 TUBULENT FLOW IN PIPES	21
บทที่ 3 การศึกษา UNSTEADY FLOW IN PIPES	59
ภาคผนวก	86
กิตติกรรมประกาศ	156
เอกสารอ้างอิง	159



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### การศึกษาการไหลในท่อทรงเรขาคณิต

#### การวิเคราะห์การไหลในท่อ

ในการวิเคราะห์ การไหลในท่อในบทนี้ จะศึกษา และวิเคราะห์ การไหลในท่อ รูปทรงเรขาคณิต เช่น รูปสี่เหลี่ยม รูปสามเหลี่ยม รูปวงกลม เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลของของไหล แบบ Newtonian Fluid และจะอาศัยสมการ Navier-Stokes ใช้ในการวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์ รูปสี่เหลี่ยม (Rectangular duct) ท่อรูปสามเหลี่ยม (Triangular duct) และท่อรูปวงกลม (Circular duct) การพิจารณาในบทนี้ จะต้องอาศัย การแก้สมการ โดยใช้ Finite-difference เข้ามาช่วยในการแก้สมการ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยใช้การเขียน โปรแกรม เข้าช่วยในการคำนวณ

#### พิจารณา Navier-Stokes equations

สมการ Navier-Stokes สำหรับ Cartesian Coordinate

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right)$$

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right)$$

การวิเคราะห์ จะมี เงื่อนไข ดังนี้คือ

1. เป็นการไหลแบบ Laminar
2. เป็นการไหลแบบ Incompressible
3. การไหลจะวิเคราะห์ เป็นแบบ 2 มิติ
4. เป็นการไหลแบบ Steady
5. เป็นการไหลที่สมมติ main flow ให้เป็นไปในทิศทางเดียว

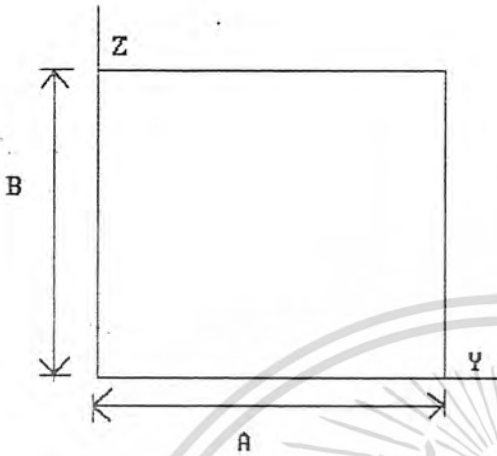
จาก เงื่อนไข ดังกล่าวข้างต้น เราจะพบว่า เราจะสมมติการไหล โดยพิจารณา ช่วงที่ เป็น Laminar Flow คือพิจารณา ในช่วงที่ Reynolds Number มีค่า ต่ำๆ และจากเงื่อนไขดังกล่าวจะทำให้

$$\rho = \text{CONSTANT}$$

$$v = w = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial w}{\partial t} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 เรขาคณิตของภาคตัดขวางสำหรับท่อรูป สี่เหลี่ยม

การวิเคราะห์เราสามารถที่จะหาสมการการไหลในท่อรูป สี่เหลี่ยม (Rectangular duct) ได้ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่สมมติไว้ โดยเราสมมติว่าการไหลในท่อจะไหลไปในทิศทางในแนวแกน X โดยที่ทิศทางในแนวแกน Y และ Z จะเป็นมิติที่เรากำลังจะพิจารณา ในเงื่อนไขการไหลที่เป็นแบบ 2 มิติ

ดังนั้นจากรูปที่เรากำลังที่จะพิจารณาเป็นรูปทอที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ที่มีความกว้างในแนวแกน Y เท่ากับ A และในแนวแกน Z เท่ากับ B เราจะได้สมการที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่เราสมมติคือ

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = 0 \dots\dots\dots(1.1)$$

ภาพหน้าตัดของรูปสี่เหลี่ยม ขนาด AxB ซึ่งจะแก้สมการนี้ โดยใช้วิธี การเชิงตัวเลข โดยการพิจารณาจากเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เราได้สมมติเอาไว้เราจะจัดรูปสมการได้ดังสมการที่ 1.1 และจะสังเกตได้ว่าสมการที่ได้ ในสมการที่ 1.1 เป็นลักษณะของสมการ poisson ซึ่งเป็นสมการที่ใช้การวิเคราะห์เมื่อเราพิจารณารูปหน้าตัด และกระจายให้อยู่ในรูปของ finite difference เพื่อที่จะหาความเร็วที่จุดต่าง ๆ

การวิเคราะห์จะเริ่มจาก การสมมติให้ค่า  $-\frac{\partial p}{\partial x}$  เป็นค่า คงที่ และ ความเร็ว ที่ boundary มีค่าเท่ากับศูนย์ ทั้งสี่ด้าน BC = 0. จากนั้น จัดสมการให้อยู่ในรูปของ Dimensionless ได้ดังนี้ คือ

$$y^* = \frac{y}{A} \dots\dots\dots(1.2)$$

$$z^* = \frac{z}{A} \dots\dots\dots(1.3)$$

$$u^* = \left[ \frac{\mu}{A^2 \left( \frac{-dp}{dx} \right)} \right] u \dots\dots\dots(1.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราแทนค่าเงื่อนไขต่าง ๆ ลงในสมการที่ 1.1 แล้วจะได้

$$\frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial z^{*2}} = -1 \dots \dots \dots (1.5)$$

โดยที่

$$0 \leq y^* \leq 1$$

$$0 \leq z^* \leq \frac{B}{A}$$

และให้ค่า  $\beta = \frac{\Delta y^*}{\Delta z^*} \dots \dots \dots (1.6)$

กระจายให้อยู่ในรูป Finite difference จะได้

$$\frac{u^*_{i+1,j} - 2u^*_{i,j} + u^*_{i-1,j}}{\Delta y^{*2}} + \frac{u^*_{i,j+1} - 2u^*_{i,j} + u^*_{i,j-1}}{\Delta z^{*2}} = -1 \dots \dots (1.7)$$

แทนค่า สมการ 1.6 ในสมการที่ 1.7 และจัดรูปใหม่จะได้ รูปสมการดังนี้

$$u^*_{i,j} = \frac{1}{(2 + 2\beta^2)} [u^*_{i+1,j} + u^*_{i-1,j} + \beta^2 u^*_{i,j+1} + \beta^2 u^*_{i,j-1} + \Delta y^{*2}] \dots \dots (1.8)$$

เมื่อกำหนด  $\Delta y^* = \Delta z^*$  และจะได้ค่า  $\beta = 1$  จะได้สมการ ดังนี้

$$u^*_{i,j} = \frac{1}{4} [u^*_{i+1,j} + u^*_{i-1,j} + u^*_{i,j+1} + u^*_{i,j-1} + \Delta y^{*2}] \dots \dots (1.9)$$

ตัวอย่างที่ 1.1 การวิเคราะห์จะยกตัวอย่างการแบ่ง grid แบบง่าย ๆ เพื่อจะได้สะดวกในการแก้สมการ Finite difference โดยพิจารณาการแบ่ง grid ดังในรูป

	7	8	9
	4	5	6
	1	2	3

รูปที่ 1.2 การแบ่ง Grid โดยให้  $\Delta y^* = \Delta z^* = 0.25$

เราสามารถที่จะตั้งสมการ ตาม node ต่าง ๆ ทั้ง 9 node ได้ดังนี้ คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราได้ ค่า ความเร็ว ที่จุดต่าง ๆ แล้วเนื่องจาก ค่า ความเร็วไร้มิติ นั้น เป็นค่าที่จุดต่าง ๆ  
 ดังนั้น เราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาค่า  $\bar{u}^*$  เพื่อที่จะเป็นค่าเฉลี่ยในการที่จะนำไปวิเคราะห์หาค่า  
 Head Losses ในท่อรูปสี่เหลี่ยมที่มีการไหลแบบ Laminar โดยที่มีนิยามของค่าความเร็วไร้มิติเฉลี่ย  
 ดังนี้คือ

$$\bar{u}^* = \frac{\int_0^B \int_0^1 u^* dy^* dz^*}{\left(\frac{B}{A}\right) * 1} \dots\dots\dots (1.10)$$

ส่วนค่า  $\bar{u}$  จริง ๆ หาได้จาก ความสัมพันธ์  $\frac{Q}{Area}$   
 จากสมการที่ 1.4 เราสามารถจัดรูปสมการได้อีกรูปหนึ่งดังนี้คือ

$$\bar{u} = -\frac{dp}{dx} \frac{A^2 \bar{u}^*}{\mu}$$

เมื่อเราตั้งสมมติฐานให้ ค่า  $-\frac{dp}{dx}$  (Pressure Gradient) มีค่าที่ เราสามารถเขียน ในรูป  
 สมการดังนี้คือ

$$\frac{p_1 - p_2}{L} = \frac{\bar{u} \mu}{\bar{u}^* A^2} \dots\dots\dots (1.11)$$

จากสมการการหา Head Losses ทั้งหมดสำหรับท่อที่เป็นรูปวงกลมที่มี ค่ารัศมีที่วัดได้อย่างแน่นอน

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

จากสมการที่ 1.11 คือแสดงค่า Head Losses ของท่อการไหลแบบสี่เหลี่ยม เพื่อเปรียบเทียบให้เข้ากับ  
 สมการการหา Head Losses ทั่ว ๆ ไปในท่อบรรจกแล้ว ใช้  $D_h$  (Hydraulic Diameter) จะสามารถ  
 เขียนให้อยู่ในรูปสมการ ดังนี้คือ

$$h_f = f_c \frac{v^2 L}{Re D_h g} \dots\dots\dots (1.12)$$

โดยที่  $f_c$  = ค่า Friction Constant

$D_h$  = ค่า Hydraulic Diameter

Re = ค่า Reynolds Number มีค่าเท่ากับ  $\frac{\rho v D_h}{\mu}$

ในการหาค่า Friction Constant นั้นเราจะใช้การหาโดยใช้ โปรแกรม เพื่อช่วยในการคำนวณ

หลังจากที่หา ความเร็วที่จุดต่าง ๆ แล้วก็จะนำมาหาค่า  $\bar{u}^*$  โดยใช้ นิยามการ Integration แบบ Numerical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดอยู่ในรูปสมการที่ 1.12 หลังจากนั้นก็จะได้อีกค่า Friction Constant  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u^*_2 + u^*_4 - 4u^*_1 = -0.0625$$

$$u^*_1 + u^*_3 + u^*_3 - 4u^*_2 = -0.0625$$

$$u^*_2 + u^*_6 - 4u^*_3 = -0.0625$$

$$u^*_7 + u^*_1 + u^*_5 - 4u^*_4 = -0.0625$$

$$u^*_4 + u^*_8 + u^*_2 + u^*_6 - 4u^*_5 = -0.0625$$

$$u^*_5 + u^*_3 + u^*_9 - 4u^*_6 = -0.0625$$

$$u^*_4 + u^*_8 - 4u^*_7 = -0.0625$$

$$u^*_5 + u^*_7 + u^*_3 - 4u^*_8 = -0.0625$$

$$u^*_8 + u^*_6 - 4u^*_9 = -0.0625$$

$$\begin{bmatrix} -4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -4 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u^*_1 \\ u^*_2 \\ u^*_3 \\ u^*_4 \\ u^*_5 \\ u^*_6 \\ u^*_7 \\ u^*_8 \\ u^*_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0625 \\ -0.0625 \\ -0.0625 \\ -0.0625 \\ -0.0625 \\ -0.0625 \\ -0.0625 \\ -0.0625 \\ -0.0625 \end{bmatrix}$$

จากนั้นแก้ระบบสมการ โดยใช้ Gaussian Elimination ก็จะได้คำตอบ

$$u^*_1 = 0.042969, u^*_2 = 0.054688, u^*_3 = 0.042969$$

$$u^*_4 = 0.054688, u^*_5 = 0.070313, u^*_6 = 0.054688$$

$$u^*_7 = 0.042969, u^*_8 = 0.054688, u^*_9 = 0.042969$$

จากคำตอบที่ได้จากการแก้สมการโดยใช้วิธี Gaussian Elimination เราจะสังเกตเห็นว่า ระบบสมการจะมีความสมมาตร และคำตอบก็จะมีค่าความสมมาตร เช่นเดียวกัน โดยที่ความเร็วสูงสุดจะอยู่ที่ตรงกลางของท่อ ในขณะที่ขอบท่อนั้นของไหลจะมีค่าความเร็วไร้มิติ เป็นศูนย์ คือ No Slip Condition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แต่เนื่องจากในการวิเคราะห์ เราต้องการที่จะได้ค่า ความเร็วที่จุดต่าง ๆ ที่มีค่าที่ถูกต้องดังนั้นเราจะต้องเลือกที่จะแบ่ง Grid ให้ละเอียด โดยใช้การเขียน โปรแกรม คำนวณค่าการแก้สมการอย่างง่าย โดยโปรแกรม ที่ใช้ในการหา ความเร็วที่จุดต่าง ๆ นั้น ในที่นี้ใช้การแก้สมการ แบบ Iteration คือแทนค่า ไปเรื่อย ๆ จนกว่า จะได้ค่า Error น้อยเท่าที่ ต้องการได้ จากผลการ คำนวณ โดยการ แบ่ง Grid ให้เล็ก ๆ จำนวน 20 ช่อง จะได้ ค่า ความเร็วที่จุดต่าง ๆ ดังนี้

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.004	0.007	0.010	0.011	0.013	0.014	0.015	0.015	0.016	0.016
0.000	0.007	0.013	0.017	0.021	0.024	0.026	0.027	0.028	0.029	0.029
0.000	0.010	0.017	0.024	0.028	0.032	0.035	0.038	0.039	0.040	0.040
0.000	0.011	0.021	0.028	0.035	0.040	0.043	0.046	0.048	0.049	0.050
0.000	0.013	0.024	0.032	0.040	0.045	0.050	0.053	0.055	0.057	0.057
0.000	0.014	0.026	0.035	0.043	0.050	0.055	0.059	0.061	0.063	0.063
0.000	0.015	0.027	0.038	0.046	0.053	0.059	0.063	0.066	0.067	0.068
0.000	0.015	0.028	0.039	0.048	0.055	0.061	0.066	0.069	0.071	0.071
0.000	0.016	0.029	0.040	0.049	0.057	0.063	0.067	0.071	0.072	0.073
0.000	0.016	0.029	0.040	0.050	0.057	0.063	0.068	0.071	0.073	0.074

จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นถึงความเร็วที่จุดต่าง ๆ ของ ท่อรูปสี่เหลี่ยม ความยาว เท่ากับ ความกว้าง มีค่าเท่ากับ หนึ่งหน่วย โดยการวิเคราะห์ แบ่ง Grid ออกเป็น ด้านละ 20 Grid เท่า ๆ กัน ผลการคำนวณ เนื่องจาก ความเร็วที่จุดต่าง ๆ ของท่อจะสมมาตรกันเสมอ ดังนั้น ในที่นี้ จึงแสดงผลเพียง 1/4 ท่อ โดย ความเร็วที่จุดต่าง ๆ ที่แสดงให้เห็นในรูป เป็น Quadrant ที่ 3

ในการแบ่งจำนวน Grid นั้นอันที่จริงแล้วไม่จำเป็นที่จะต้องให้  $\Delta y^* = \Delta z^*$  เสมอ ก็ได้ แต่การแบ่ง Grid ละเอียดมากเท่าใดก็จะได้ ความเร็วที่จุดต่าง ๆ ที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น และเมื่อเราได้ ความเร็วที่ จุดต่าง ๆ แล้วก็จะนำเอามาหาค่าเฉลี่ยเพื่อที่จะนำไปหาค่า Head Losses และค่า Friction Constant ของการไหลที่ เป็นแบบ Laminar

#### HYDRAULIC DIAMETER

เนื่องจาก ท่อที่เรากำลังพิจารณานั้นมีไซทอที่เป็นรูปทรงกระบอก แต่ว่าเป็น รูปสี่เหลี่ยมดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ Hydraulic Diameter เพื่อใช้เป็นค่า เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

$$\text{โดยที่ มีนิยามว่า } D_h = \frac{4A}{P}$$

$D_h$  = Hydraulic Diameter

$A$  = พื้นที่หน้าตัด

$P$  = เส้นรอบรูป

จากผลการคำนวณที่ได้ จากโปรแกรมจะได้ผลดังค่าในตารางข้างล่างนี้

$\frac{B}{A}$	$\bar{u}^*$	$\frac{1}{\bar{u}^*}$	$D_h$	$f_c$
0.05	0.000198	5051.87	0.09523	45.822
0.1	0.000768	1301.86	0.18181	43.037
0.2	0.002878	347.42	0.33333	38.603
0.3	0.006021	166.09	0.46153	35.381
0.4	0.009884	101.17	0.57142	33.037
0.5	0.014170	70.57	0.66666	31.364
0.6	0.018620	53.70	0.75000	30.208
0.7	0.023030	43.42	0.82352	29.448
0.8	0.027258	36.69	0.88888	28.986
0.9	0.031218	32.03	0.94736	28.750
1.0	0.034866	28.68	1.00000	28.681

ตารางที่ 1.1 ค่า Friction Constant ที่ได้จากการคำนวณ

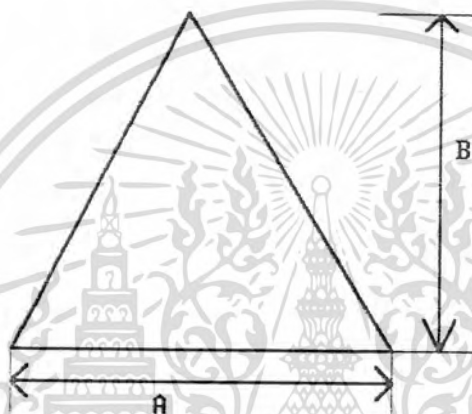
- $\frac{B}{A}$  คือ ค่า ความสูง ต่อ ความกว้างของท่อรูปสี่เหลี่ยม
- $\bar{u}^*$  คือ ค่า ความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากการ Integration
- $f_c$  คือ ค่า Friction Constant ที่ได้จากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การวิเคราะห์ท่อรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว**

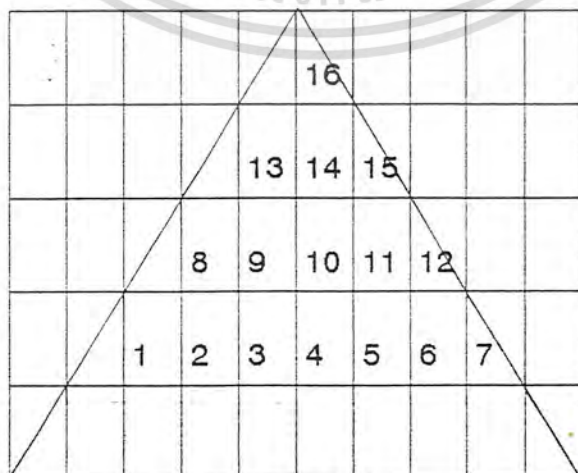
ในหัวข้อที่แล้วได้ พิจารณาการวิเคราะห์ ท่อรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด  $A \times B$  ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ท่อรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ซึ่งเป็นท่อรูปทรงเรขาคณิตชนิดหนึ่ง

โดยจะพิจารณาท่อรูปสามเหลี่ยม หน้าจั่ว กว้าง  $A$  สูง  $B$  ดังรูป



รูป 1.3 หน้าตัดขวางของท่อรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว

การวิเคราะห์จะทำได้ในลักษณะ คล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ในท่อรูปสี่เหลี่ยม แต่จะแตกต่างกันในลักษณะของการแบ่ง Grid โดยการแบ่ง Grid ในแนวแกน Y คือด้านสูง จะต้องมีย่าน Grid เป็นสองเท่าของการแบ่ง Grid ในแนวแกน Z ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการที่จะเขียนสมการ และการแก้สมการ อันมีเงื่อนไขขอบเขต ที่ ขอบทอมมีค่าความเร็วเป็น ศูนย์ คือ (No Slip) ที่ขอบของท่อการแบ่ง Grid สามารถที่จะแบ่งได้ดังแสดงในรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น **รูป 1.4 การแบ่ง Grid ของท่อรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว** ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 1.9 ใช้หลักการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในท่อรูปสี่เหลี่ยม ในที่นี้จะแบ่ง Grid ในแนวแกน X 10 ช่อง ส่วนในแนวแกน Y 5 ช่อง จากรูปเราจะเห็นว่า มี Node ที่เป็น Unknown อยู่ทั้งหมด 16 Node

โดยการพิจารณา สามเหลี่ยมหน้าจั่ว ความกว้าง A = 1 หน่วย ความสูง B = 1 หน่วยเช่นกัน การแบ่ง Grid ในแนวแกน Y เป็น 10 ช่อง ดังนั้น ความกว้างแต่ละช่องมีขนาด  $\Delta y^* = 0.1$

ในแนวแกน Z มีการแบ่ง Grid เป็น 5 ช่อง ดังนั้น แต่ละช่องมีความกว้าง ขนาด  $\Delta z^* = 0.2$  โดยการวิเคราะห์เช่นเดียวกับ การวิเคราะห์ท่อรูปสี่เหลี่ยม

$$0 \leq y^* \leq 1$$

$$0 \leq z^* \leq \frac{B}{A}$$

และให้ค่า  $\beta = \frac{\Delta y^*}{\Delta z^*}$

ในที่นี้ ค่า  $\beta = 0.5$

พิจารณา สมการที่ 1.8

$$u^*_{i,j} = \frac{1}{(2 + 2\beta^2)} [u^*_{i+1,j} + u^*_{i-1,j} + \beta^2 u^*_{i,j+1} + \beta^2 u^*_{i,j-1} + \Delta y^{*2}]$$

แทนค่า  $\beta = 0.5$

จะได้สมการดังนี้

$$u^*_{i,j} = \frac{1}{(2.5)} [u^*_{i+1,j} + u^*_{i-1,j} + 0.25u^*_{i,j+1} + 0.25u^*_{i,j-1} + \Delta y^{*2}]$$

เมื่อให้ค่า  $\Delta y^* = 0.1$

$$u^*_{i-1,j} + u^*_{i+1,j} - 2.5u^*_{i,j} + 0.25u^*_{i,j+1} + 0.25u^*_{i,j-1} = -0.01 \dots \dots \dots (1.13)$$

สมการที่ 1.13 จะเป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ท่อรูปสามเหลี่ยม หน้าจั่ว

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ที่ขอบเขตของท่อ เมื่อของไหลไม่มีการไหล ดังนั้น Node ต่าง ๆ ที่อยู่ขอบท่อจะมีค่าความเร็วเป็นศูนย์

ที่ Node ต่าง ๆ เรา สามารถที่จะตั้งสมการดัง ที่ 1.13 หลังจากการตั้งสมการ แล้ว ก็จะได้ระบบสมการ ดังที่จะได้แสดงให้เห็นต่อไป หลังจากนั้นก็จะแก้ระบบสมการ โดยใช้วิธี Gaussian Elimination หรือวิธี Gauss Siedel เพื่อที่จะหา ความเร็ว ใน Node ต่าง ๆ ในหน้าตัดของท่อรูปสามเหลี่ยม

การตั้งสมการและการแก้สมการก็จะใช้ โปรแกรม เข้าช่วยเพื่อความสะดวกในการคำนวณเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในท่อรูปสี่เหลี่ยม

**ตัวอย่างที่ 1.2** แสดงการหา ความเร็วที่จุดต่าง ๆ ของท่อรูปสามเหลี่ยม ขนาด ความกว้าง A ความสูง B

โดยแบ่ง Grid ในแนวแกน Y 10 ช่อง และในแนวแกน Z 5 ช่อง

การตั้งสมการ ที่ Node ต่าง ๆ ทั้ง 16 Node

$$-2.5u^*_1 + u^*_2 = -0.01$$

$$u^*_1 - 2.5u^*_2 + u^*_3 + 0.25u^*_8 = -0.01$$

$$u^*_2 - 2.5u^*_3 + u^*_4 + 0.25u^*_9 = -0.01$$

$$u^*_3 - 2.5u^*_4 + u^*_5 + 0.25u^*_{10} = -0.01$$

$$u^*_4 - 2.5u^*_5 + u^*_6 + 0.25u^*_{11} = -0.01$$

$$u^*_5 - 2.5u^*_6 + u^*_7 + 0.25u^*_{12} = -0.01$$

$$u^*_6 - 2.5u^*_7 = -0.01$$

$$0.25u^*_2 - 2.5u^*_8 + u^*_9 = -0.01$$

$$0.25u^*_3 + u^*_8 - 2.5u^*_9 + u^*_{10} + 0.25u^*_{13} = -0.01$$

$$0.25u^*_4 + u^*_9 - 2.5u^*_{10} + u^*_{11} + 0.25u^*_{14} = -0.01$$

$$0.25u^*_5 + u^*_{10} - 2.5u^*_{11} + u^*_{12} + 0.25u^*_{15} = -0.01$$

$$0.25u^*_6 - 2.5u^*_{12} + u^*_{11} = -0.01$$

$$0.25u^*_9 - 2.5u^*_{13} = -0.01$$

$$0.25u^*_{10} + u^*_{13} - 2.5u^*_{14} + u^*_{15} + 0.25u^*_{16} = -0.01$$

$$0.25u^*_{11} + u^*_{14} - 2.5u^*_{15} = -0.01$$

$$0.25u^*_{14} - 2.5u^*_{16} = -0.01$$

จากสมการ ของ Node ต่าง ๆ ทั้ง 16 Node เราสามารถ ที่จะเขียนให้อยู่ในรูปของ Matrix แล้วแก้สมการหาค่าความเร็ว ที่ Node ต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix}
 -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0.25 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 & 1 & 0 & 0 & 0.25 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & -2.5 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 & 0.25 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2.5 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & -2.5
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix}
 u^*_1 \\
 u^*_2 \\
 u^*_3 \\
 u^*_4 \\
 u^*_5 \\
 u^*_6 \\
 u^*_7 \\
 u^*_8 \\
 u^*_9 \\
 u^*_{10} \\
 u^*_{11} \\
 u^*_{12} \\
 u^*_{13} \\
 u^*_{14} \\
 u^*_{15} \\
 u^*_{16}
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01 \\
 -0.01
 \end{matrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำตอบที่ได้จากการแก้ระบบสมการตาม node ต่าง ๆ ของท่อรูปสามเหลี่ยม

$$u^*_1 = 0.013; u^*_2 = 0.021; u^*_3 = 0.027; u^*_4 = 0.028;$$

$$u^*_5 = 0.027; u^*_6 = 0.021; u^*_7 = 0.013; u^*_8 = 0.017;$$

$$u^*_9 = 0.027; u^*_{10} = 0.030; u^*_{11} = 0.027; u^*_{12} = 0.017;$$

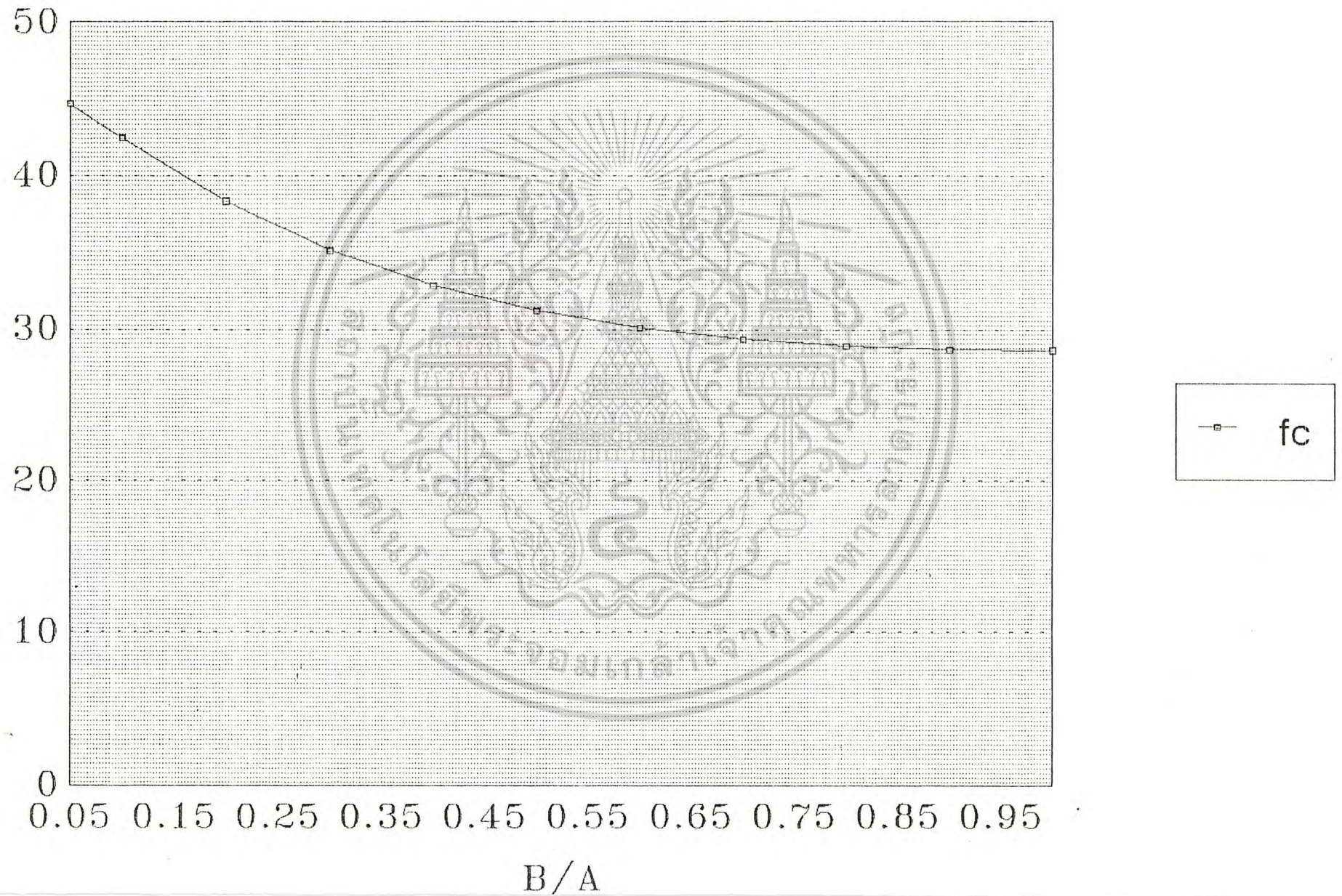
$$u^*_{13} = 0.014; u^*_{14} = 0.019; u^*_{15} = 0.014; u^*_{16} = 0.06;$$

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ท่อรูปสามเหลี่ยม ดังนั้นจะทำการเขียนโปรแกรม เพื่อความสะดวกในการคำนวณ และการแบ่ง Grid ที่มากขึ้น จะได้ค่า Velocity Profile ที่ละเอียด ยิ่งขึ้น จากนั้นใช้วิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์ของท่อสี่เหลี่ยม เหมือนกับสมการที่ 1.10 แต่การหารด้วยพื้นที่นั้นจะต้องหารด้วยพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยม แทนรูปสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นก็ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ของท่อสี่เหลี่ยม ก็จะได้ค่าจากการ คำนวณที่ได้จาก โปรแกรมตามตารางด้านล่างนี้

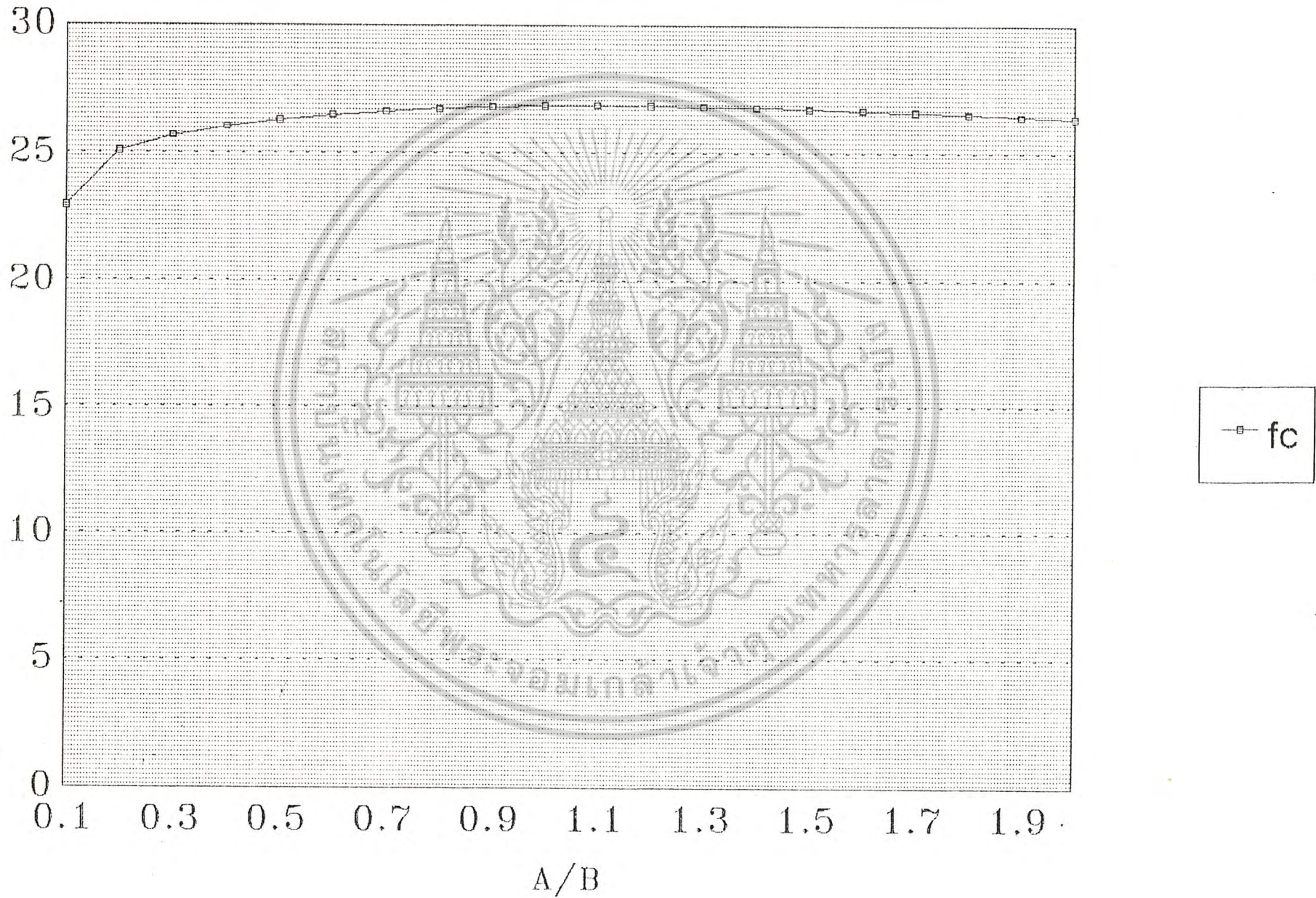
$\frac{A}{B}$	$\bar{u}^*$	$\frac{1}{\bar{u}^*}$	$D_h$	$f_c$
2.0	0.026005	38.45	0.828427	26.39
1.9	0.025142	39.77	0.815692	26.46
1.8	0.024216	41.30	0.801652	26.54
1.7	0.023229	43.05	0.786149	26.61
1.6	0.022177	45.09	0.769000	26.67
1.5	0.021046	47.51	0.750000	26.73
1.4	0.019844	50.39	0.728918	26.78
1.3	0.018562	53.87	0.705492	26.81
1.2	0.017200	58.14	0.679428	26.84
1.1	0.015758	63.46	0.650398	26.85
1.0	0.014235	70.25	0.618034	26.83
0.9	0.012637	79.13	0.581927	26.80
0.8	0.010974	91.13	0.541626	26.73
0.7	0.009261	107.98	0.496637	26.63
0.6	0.007524	132.91	0.446418	26.49
0.5	0.005797	172.51	0.390388	26.29
0.4	0.004130	242.10	0.327922	26.03
0.3	0.002600	384.62	0.258356	25.67
0.2	0.001305	766.43	0.180998	25.11
0.1	0.000395	2533.17	0.095125	22.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 1.2 ค่า Friction constant ของท่อรูปสามเหลี่ยม กว้าง A สูง B ใช้ประโยชน์ในการคำนวณ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# FRICTION CONSTANT OF RECTANGULAR DUCTS GRAPH



# FRICTION CONSTANT OF TRIANGLE DUCTS GRAPH



การวิเคราะห์การไหลในท่อรูปวงกลม

การวิเคราะห์จะอาศัยสมการ Navier-Stokes ในรูปพิกัดเชิงทรงกระบอก (Cylindrical Coordinates)

r component

$$\rho \left( \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta \partial v_r}{r \partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = \rho g_r - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r v_\theta] \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right\}$$

θ component

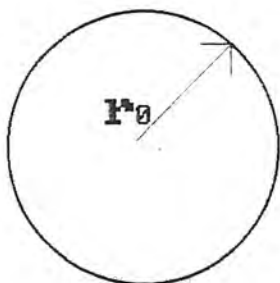
$$\rho \left( \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta \partial v_\theta}{r \partial \theta} + \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z \frac{\partial v_\theta}{\partial z} \right) = \rho g_\theta - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r v_\theta] \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2} \right\}$$

z component

$$\rho \left( \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta \partial v_z}{r \partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right\}$$

ในการวิเคราะห์ท่อรูปทรงกลม เพื่อนิยามเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ ในท่อรูปสี่เหลี่ยมจะได้รูปสมการเพียงสั้น ๆ ดังสมการ ที่ 1.14

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = 0 \dots\dots\dots(1.14)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 1.5 ภาพหน้าตัดของท่อรูปวงกลม เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 1.14 เมื่อกำหนด ให้  $r_0 =$  รัศมีของท่อรูปวงกลม

$$r^* = \frac{r}{r_0}$$

$$dr = r_0 dr^*$$

$$v_z^* = \frac{\mu v_z}{r_0^2 \left( -\frac{\partial p}{\partial z} \right)}$$

เขียนให้อยู่ในรูป Dimensionless ได้ดังนี้คือ

$$\frac{d^2 v_z^*}{dr^{*2}} + \frac{1}{r^*} \left( \frac{dv_z^*}{dr^*} \right) = -1 \dots \dots \dots (1.15)$$

เขียนให้อยู่ในรูปของ finite difference ได้ดังนี้

$$\frac{v_{z(i-1)}^* - 2v_{z(i)}^* + v_{z(i+1)}^*}{r^{*2}} + \frac{1}{r^*} \left( \frac{v_{z(i+1)}^* - v_{z(i-1)}^*}{2\Delta r^*} \right) = -1 \dots \dots \dots (1.16)$$

แก้สมการที่ 1.16 โดยใช้วิธี finite difference จะได้ค่าของ ความเร็วตาม รัศมีต่าง ๆ ของท่อ จากนั้น จึงทำการ หาค่า  $\bar{v}_z^*$  โดยวิธีเดียวกับ วิธีของการหาในท่อสี่เหลี่ยมโดยอาศัยสมการ

$$\bar{v}_z^* = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^1 v_{z(i)}^* r^* dr^* d\theta}{\pi r_0^2} \dots \dots \dots (1.17)$$

จากผลการ คำนวณที่ได้จากโปรแกรม จะพบว่า ค่า friction constant มีค่า คงที่ คือ 0.125 และจะได้สมการของ head losses ในท่อบรรจุของเหลวไม่ว่า ขนาดใดก็จะเป็นไปตามสมการ

$$h_f = \frac{8\mu v_z L}{r_0^2 \rho} \dots \dots \dots (1.18)$$

สำหรับ ค่า Friction constant นี้หาได้จาก Moody Diagram ในช่วงการไหลที่เป็นแบบ Laminar ซึ่ง จะเห็นได้ว่า ค่า ของ Friction constant นั้นไม่ขึ้นอยู่กับค่าความหนืดของท่อแต่จะขึ้นอยู่กับค่า Reynolds Number แต่เพียงอย่างเดียว โดยจะไม่ขึ้นกับรูปร่างหรือค่าความหนืดของท่อ

### สรุปผลจากการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม

1. จากผลการ คำนวณที่ได้จากโปรแกรม ของท่อรูปสี่เหลี่ยมจะได้ค่า Friction constant นั้นมีลดลงเมื่อค่า  $B/A$  เพิ่มขึ้น โดยจะลดได้น้อยสุดเมื่อค่า  $B/A$  มีค่า = 1 จะพบว่าค่า Friction constant นั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับค่า Reynolds Number แล้ว รูปร่างของท่อยังมีผลต่อค่า Friction constant อีกด้วย โดยท่อที่มีขนาดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส คือ  $B/A = 1$  นั้นมีค่า Friction constant ต่ำที่สุด

2. สำหรับท่อรูปสามเหลี่ยม ค่า Friction constant นอกจากจะขึ้นอยู่กับค่าของ Reynolds Number แล้วยังขึ้นอยู่กับรูปทรงของสามเหลี่ยมหน้าจั่วเช่นเดียวกัน

3. สำหรับท่อรูปวงกลมนั้นค่า Friction constant นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของ Reynolds Number เท่านั้น จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อดังจะเห็นได้จาก Moody Diagram ของท่อรูปวงกลมในช่วงการไหลที่เป็น แบบ Laminar



## บทที่ 2

### TURBULENT FLOW IN PIPES

Head loss due to friction

$$h_f = f \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

สมการข้างบนคือ สมการ Darcy-Weisbach สำหรับการไหลแบบ ลามินาร์

$f$  = friction factor ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ Reynolds Number เท่ากับ  $64/R$  ( $R$  = Reynolds Number )

$V$  = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล

$L$  = ความยาวท่อ

$D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

นอกจากนี้ยังมีสูตรที่ได้จากการทดลองอีกคือ

$$\frac{h_f}{L} = \frac{RQ^n}{D^m} \dots \dots \dots (2.2)$$

$Q$  = อัตราการไหล

$R$  = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหล

$n, m$  = ค่าคงที่จากการทดลอง

หรือ สูตรของ Hazen-Williams

$$h_f = \frac{ALQ^n}{C^n D^m} \dots \dots \dots (2.3)$$

$C$  = ค่าคงที่ Hazen-Williams ดูได้จากตาราง 2.1

$n = 1.852$  ,  $m = 4.8704$

$A = 4.442$  สำหรับหน่วย FPS หรือเท่ากับ  $10.675$  สำหรับหน่วย SI

Minor Head Losses

นอกจาก friction head losses แล้วของไหลที่ไหลยังเกิด

losses เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของท่อ, ข้ออ, วาล์วชนิดต่างๆ อีก losses เหล่านี้เรียกว่า

minor head losses สูตรทั่วไปคือ

$$h_m = \frac{KV^2}{2g} \dots \dots \dots (2.4)$$

$h_m$  = minor head losses

$K$  = สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลอง ดูค่า  $K$  จากตาราง 2.2

ซึ่งในระบบท่อเล็กๆ ค่า minor head losses นี้อาจมากกว่า friction losses แต่ในท่อยาวๆ minor losses จะน้อยกว่า

friction losses

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ตารางที่ 2.1 NOMINAL VALUES OF THE HAZEN-WILLIAMS COEFFICIENT C

Type of pipe	C
Extremely smooth, asbestos-cement	140
New or smooth cast iron; concrete	130
Wood stave; newly welded steel;	120
Average cast iron; newly riveted steel;	110
vitrified clay	
Cast iron or riveted steel after some	95-110
Deteriorated old pipes	60-80



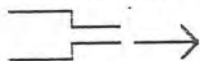
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.2 NORMAL LOSS COEFFICIENT K (TURBULENT FLOW)

Type of Fitting	Screwed			Flanged			
	Diameter	1 in.	2 in.	4 in.	2 in.	4 in.	8 in.
Globe valve ( fully open )		8.2	6.9	5.7	8.5	6.0	5.8
( half open )		20	17	14	21	15	14
( one quarter open )		57	48	40	60	42	41
Angle valve (fully open )		4.7	2.0	1.0	2.4	2.0	2.0
Swing check valve (fully open )		2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0
Gate valve (fully open )		0.24	0.16	0.11	0.35	0.16	0.07
Return bend		1.5	0.95	0.64	0.35	0.30	0.25
Tee (branch )		1.8	1.4	1.1	0.80	0.64	0.58
Tee ( line )		0.9	0.9	0.9	0.19	0.14	0.10
Standard elbow		1.5	0.95	0.64	0.39	0.30	0.26
Long sweep elbow		0.72	0.41	0.23	0.30	0.19	0.15
45° elbow		0.32	0.30	0.29			
Square - edged entrance							0.5
Reentrant entrance							0.8
Well-rounded entrance							0.03
Pipe exit							1.0

Area ratio

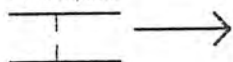
Suden contraction



2:1	0.25
5:1	0.41
10:1	0.46

Area ratio  $A_1/A_2$

Orifice plate



1.5:1	0.85
2:1	3.4
4:1	29

$\geq 6:1$   $2.78(A_1/A_2 - 0.6)^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.2 ( ต่อ )

Type of Fitting	Screwed			Flanged			
	Diameter	1 in.	2 in.	4 in.	2 in.	4 in.	8 in.
Sudden enlargement							$(1 - A_1/A_2)^2$
90° miter bend (without vanes)							1.1
(with vanes)							0.2
General contraction (30° included angle)							0.02
(70° included angle)							0.07



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ท่อต่อแบบอนุกรม (Pipe in series)

คือ ท่อสองท่อหรือมากกว่านำมาเรียงต่อกันในลักษณะต่อกันไปเรื่อยๆ

ลักษณะที่สำคัญของท่อที่ต่อกันแบบอนุกรม คือ

1. Total head losses เท่ากับผลรวม head losses ในแต่ละท่อ
2. อัตราการไหลในแต่ละท่อเท่ากันหมด

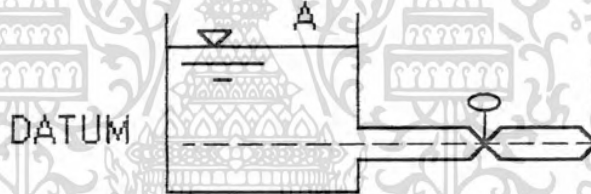
ปัญหาที่พบในกรณีท่อต่อแบบอนุกรม คือ

- (i) กำหนดอัตราการไหลมาและให้ total losses
- (ii) กำหนด head losses มาให้หา flow rates

การคำนวณได้จาก Bernoulli equation

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g} + HL_{(A-B)}$$

โดยที่  $HL_{(A-B)}$  คือ head losses ทั้งหมด ระหว่างจุด A กับจุด B



รูปที่ 2.1 การไหลในท่อต่ออนุกรม

### ท่อสมมูล (Equivalent Pipes)

ระบบท่อ 2 แบบสามารถเสมือนแทนกันได้ก็ต่อเมื่อ

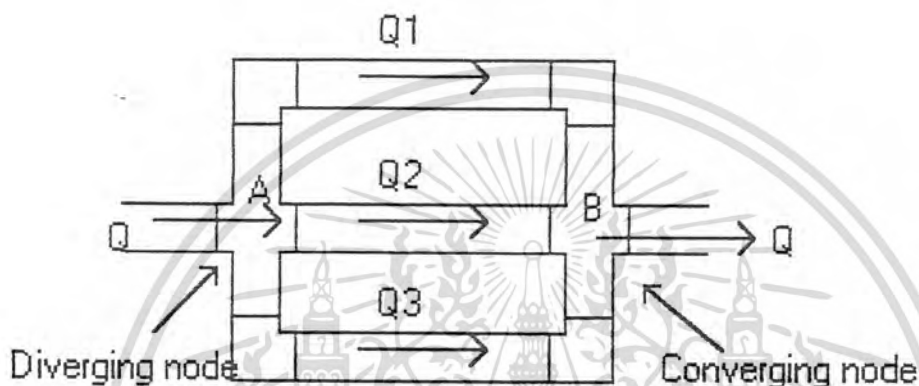
- 1)  $(h_f)_1 = (h_f)_2$  ;  $h_f$  = Total head losses
- 2)  $Q_1 = Q_2$

แนวความคิดของระบบท่อสมมูลคือ

เราสามารถแทนท่อโค้งหรือท่อที่มีวาล์วต่างๆด้วยท่อเดี่ยวที่มีขนาดที่ต้องการได้โดยใช้เงื่อนไขทั้งสองข้างบน

### ท่อต่อแบบขนาน (Pipe in parallel)

ระบบท่อที่ต่อในแนวขนานประกอบด้วยท่อสองท่อหรือมากกว่านำมาวางต่อกันโดยมีจุดเชื่อมท่อสองจุด จุดที่ท่อแตกออกเป็นสาขาเรียกว่า diverging node และจุดที่ท่อสาขามารวมกันเรียกว่า converging node



รูปที่ 2.2 การไหลในท่อต่อแบบขนาน

ลักษณะที่สำคัญของท่อต่อในแนวขนานคือ

1) Head losses ในแต่ละท่อสาขามีค่าเท่ากันและเท่ากับผลต่างของ total energy ระหว่าง node ทั้งสอง

2) Flow ของท่อหลักเท่ากับผลรวมของท่อย่อยหรือ 
$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i$$

ในปัญหาโดยทั่วไปควรแทนทุกท่อสาขาย่อยให้อยู่ในรูป equivalent pipe ก่อนเพื่อให้เหลือแต่ friction head losses ซึ่งจะง่ายต่อการแก้ปัญหา

ปัญหาที่พบในกรณีท่อต่อแบบขนาน

(i) กำหนด head losses ระหว่าง A กับ B ให้หา flow rate ในแต่ละท่อสาขา

(ii) กำหนด flow rate ที่ A มาให้หา flow rate ในแต่ละท่อสาขาและหา head losses

กรณีนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) สมมติ discharge  $Q'_1$  ในท่อ 1

2) หาค่า head losses  $(h_f)_1$  ในท่อ 1

3) จากคุณสมบัติที่ว่า  $(h_f)_1 = (h_f)_2 = \dots = (h_f)_n$  หา  $Q'_2, Q'_3, \dots, Q'_n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) หาค่า flow จริงๆ โดยให้

$$Q_1 = \frac{Q'_1}{\sum_{i=1}^n Q'_i} Q, \quad Q_2 = \frac{Q'_2}{\sum_{i=1}^n Q'_i} Q, \quad \dots, \quad Q_n = \frac{Q'_n}{\sum_{i=1}^n Q'_i} Q$$

5) ตรวจสอบค่าความถูกต้องโดยลองคำนวณค่า

ซึ่งต้องเท่ากัน

ท่อต่อแบบแขนง (Branching Pipes)

คือระบบท่อที่นำของไหลจากอ่างเก็บ (reservoir) แต่ละแห่งมาพบกันที่จุดร่วม (junction)

ลักษณะที่สำคัญของ branching pipes คือ

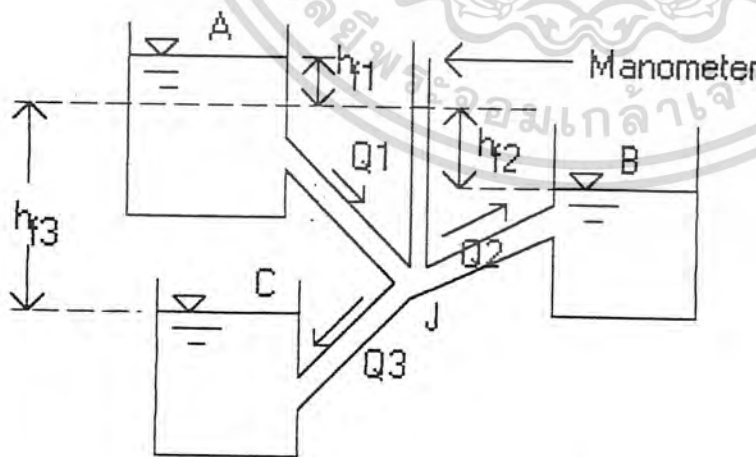
- 1) อัตราการไหลของของไหลเข้าสู่จุดร่วมเท่ากับที่ออกจากจุดร่วมหรือ  $\sum Q = 0$  ที่จุดร่วม
- 2) ท่อทุกท่อที่จุดร่วมมีความดันเท่ากันหมด

ทิศทางการไหลในแต่ละท่อจากตำแหน่งสัมพัทธ์ของ พลังงานทั้งหมด ที่ปลายทั้งสองของท่อ เช่นในรูปที่ 2.3 พลังงานทั้งหมด ที่จุดร่วม J กำหนดโดยมาโนมิเตอร์และ พลังงานทั้งหมดที่มีของแต่ละอ่างเก็บน้ำกำหนดโดยระดับของของไหลในอ่างเก็บน้ำ ดังนั้น จากรูป ของไหลจะไหลจาก A ไป J, J ไป B และ J ไป C

โดยที่ไปปัญหาที่พบคือ ต้องการหาอัตราการไหลในแต่ละท่อ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) สมมติความสูงของ total energy ที่ J
- 2) คำนวณ  $h'_{f1}, h'_{f2}, h'_{f3}, \dots, h'_n$
- 3) คำนวณ  $Q'_1, Q'_2, Q'_3, \dots, Q'_n$
- 4) ตรวจสอบ  $\sum_{i=1}^n Q'_i$  ซึ่งต้องสอดคล้องกันที่จุดร่วม J ถ้าไม่ ให้กลับไปเริ่มที่ขั้นตอนที่ 1) ใหม่

จนกว่าจะยอมรับได้



รูปที่ 2.3 การไหลในท่อต่อแบบ branching pipe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายท่อ (Pipe Network)

คือระบบท่อที่ต่อกันเป็นวง(loop) และสาขา จุดที่แต่ละท่อมาพบกันเรียกว่า node

ลักษณะที่สำคัญของระบบ net work คือ

1. ผลรวมทางพีชคณิตของอัตราการไหลเข้าและออกจาก node เป็นศูนย์หรือ  $\sum Q = 0$

2. ผลรวมทางพีชคณิตของ total head loss ใน loop เป็นศูนย์หรือ  $\sum h_f = 0$

ปัญหาที่พบใน pipe network คือต้องหาอัตราการไหลในแต่ละท่อเมื่อทราบค่าอัตราการไหลเข้าและออกจาก network วิธีที่ใช้แก้ปัญหาคือ Hardy-Cross Method ซึ่งใช้การประมาณค่าจากหลักการทั้งสองโดยใช้สมการของ Hazen-William หรือสมการของ Darcy-Weibach แบบแรกเหมาะสำหรับของไหลที่เป็นน้ำเท่านั้น

Minor losses ใน network ควรรวมอยู่ใน equivalent pipe ในแต่ละท่อก่อนซึ่งจะทำให้การคำนวณง่ายขึ้น ในที่นี้จะใช้สูตรของ Hazen- William

$$\text{จาก } h_f = \frac{ALQ^n}{C^n D^m} \quad \text{หรือ} \quad h_f = RQ^n$$

เมื่อ  $R = \frac{AL}{C^n D^m}$  = ค่าคงที่ของท่อ

ให้  $Q_0$  = อัตราการไหลที่สมมติในท่อ และ  $\Delta Q$  เป็น correction ซึ่งเมื่อรวมค่า  $Q_0$  เข้าไปแล้วจะต้องเข้าใกล้ค่าอัตราการไหลจริง  $Q$  ในท่อหรือ  $Q = Q_0 + \Delta Q$

ในท่อ เพราะฉะนั้น  $h_f = R(Q_0 + \Delta Q)^n = R(Q_0^n + nQ_0^{n-1}\Delta Q + \dots)$

ถ้า  $\Delta Q$  มีค่าน้อยมากในการกระจายสูตรของอนุกรม Taylor สามารถตัดได้

ใน loop 
$$\sum h_f = \sum R(Q_0^n + nQ_0^{n-1}\Delta Q) = 0$$

สมมติค่า  $\Delta Q$  มีค่าเท่ากันในแต่ละท่อใน loop เพราะฉะนั้นแยก  $Q_0^n$  เป็น  $Q_0|Q_0|^{n-1}$

$$\sum RQ_0|Q_0|^{n-1} + \Delta Q \sum Rn|Q_0|^{n-1} = 0$$

จะได้

$$\Delta Q = - \frac{\sum RQ_0|Q_0|^{n-1}}{\sum Rn|Q_0|^{n-1}} \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

ต่อไปนี้เป็นขั้นตอนในการแก้ปัญหา

- 1) เปลี่ยนค่า minor losses ให้อยู่ในรูป equivalent length และรวมเข้ากับ pipe length(ดูหมายเหตุ)
- 2) คำนวณค่า R ในแต่ละท่อโดยใช้สูตร  $R = \frac{AL}{C^n D^m}$  ซึ่ง L= ความยาวท่อ , D= เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ  
C= Hazen-William constant n=1.852 m=4.8704 และ A=4.727 (FPS unit) หรือเท่ากับ 10.675 (SI unit)

3) สมมติอัตราการไหลใน network ซึ่งต้องสอดคล้องกับ  $\sum Q = 0$  ที่แต่ละ node

4) คำนวณ  $\sum RQ_0|Q_0|^{n-1}$  และ  $\sum Rn|Q_0|^{n-1}$  ในแต่ละ loop ในทิศตามเข็มนาฬิกา

และคำนวณค่า  $\Delta Q$  จากสมการ (2.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5) บวกค่า  $\Delta Q$  เข้าไปในแต่ละ loop ถ้า  $\Delta Q$  เป็นบวกก็ให้บวกเข้ากับอัตราการไหลเดิมที่มีทิศตามเข็มนาฬิกา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และลบออกจาก อัตราการไหลเดิมที่มีทิศทวนเข็มนาฬิกา

ถ้า  $\Delta Q$  เป็นลบก็ให้ลบออกจากอัตราการไหลเดิมที่มีทิศตามเข็มนาฬิกาและบวกเข้ากับอัตราการไหลเดิมที่มีทิศทวนเข็มนาฬิกา  
 ในกรณีที่ loop ใดมีปั๊มและ reservoir ใช้การกระจายอนุกรม Taylor ของ nonlinear term จากสมการ (2.5) จะได้

$$\Delta Q = - \frac{\sum RQ_0|Q_0|^{n-1} - (H_p) + \Delta H}{\sum G}$$

เมื่อ  $H_p(Q) = a_0 + a_1Q + a_2Q^2$  = pump head

$\Delta H$  = elevation difference ของ reservoir

$$G = Rn|Q_0|^{n-1} - \frac{dH_p}{dQ}$$

\* หมายเหตุ pipe element frictional loss in the exponential form

$$h_f = RQ^n$$

จากสมการ Darcy-Weisbach

$$h_f = f \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

จาก  $Q=VA$

ได้  $h_f = fLQ^2 / 2gDA^2$

ดังนั้น  $R = fL / 2gDA^2$

เมื่อเป็นท่อหน้าตัดวงกลม  $A = \pi D^2 / 4$

$$R = 8fL / g\pi^2 D^5$$

สำหรับค่า  $f$  ได้จากสมการที่พัฒนาขึ้นโดย Swamee และ Jain

$$f = 1.325 \left\{ \ln \left[ 0.27 \left( \frac{e}{D} \right) + 5.74 \left( \frac{1}{Re} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \dots \dots \dots (2.6)$$

ดังนั้น

$$R = 1.07 \left( \frac{L}{gD^5} \right) \left\{ \ln \left[ 0.27 \left( \frac{e}{D} \right) + 5.74 \left( \frac{1}{Re} \right)^{0.9} \right] \right\}^{-2} \dots \dots \dots (2.7)$$

สองสมการดังกล่าว ให้ค่าที่ยอมรับได้ในช่วง  $0.01 > e/d > 10^{-6}$  และ  $10^8 > Re > 5000$

กรณีที่คิดค่า minor losses ด้วย ต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูป equivalent length ก่อน

สำหรับสมการ Darcy-Weisbach

total head losses,  $h_f = R'Q^n$  (แนะนำให้ใช้ค่า  $n=2$ )

$$R' = 8f(L+L_e) / g\pi^2 D^5$$

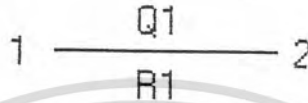
$$L_e = \frac{D}{f} \sum h_m \quad ; \quad \sum h_m = \text{minor losses ทั้งหมด}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับสมการ Hazen- William

$$L_e = 0.8106 \frac{\sum h_m}{A} D^{0.87} C^{1.35} Q^{0.15}$$

สำหรับ Hydraulic grade line สมมติมีท่อต่อกันดังรูป



รูปที่ 2.4 ท่อต่อกันจากจุด 1 ไปยังจุด 2

จะได้ค่า Head ที่ node 2  $H_2 = H_1 - R_1 Q_1^2$

ในการนำไปเขียนโปรแกรมสามารถกล่าวหลักการโดยย่อได้ว่า

- 1) หา flow ในแต่ละท่อ โดยวิธี iterative linear analysis
- 2) นำ flow ที่ได้จากข้อแรกไปหา head ในแต่ละ node

### ผังงานและวิธีการใช้โปรแกรมออกแบบโดยวิธี HARDY CROSS

ในบทนี้จะกล่าวถึงผังงานและวิธีการใช้โปรแกรมออกแบบโดยวิธีHardyCrossโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาใช้สำหรับออกแบบท่อซึ่งนำมาต่อกันเป็น network เพื่อใช้คำนวณค่าอัตราการไหล ในแต่ละท่อ และค่า head ที่แต่ละ node ที่เป็นจุดเชื่อมต่อกันระหว่างท่อ ตัวโปรแกรมจะแบ่งเป็นส่วนที่สำคัญๆด้วยกัน 3 ส่วนคือ

1 ส่วนของ input เป็นการใส่ค่าข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณอันประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับท่อ บั้ม และ reservoir

2 การประมวลผลข้อมูล ทำการคำนวณค่าของข้อมูลที่ได้จากส่วนแรก

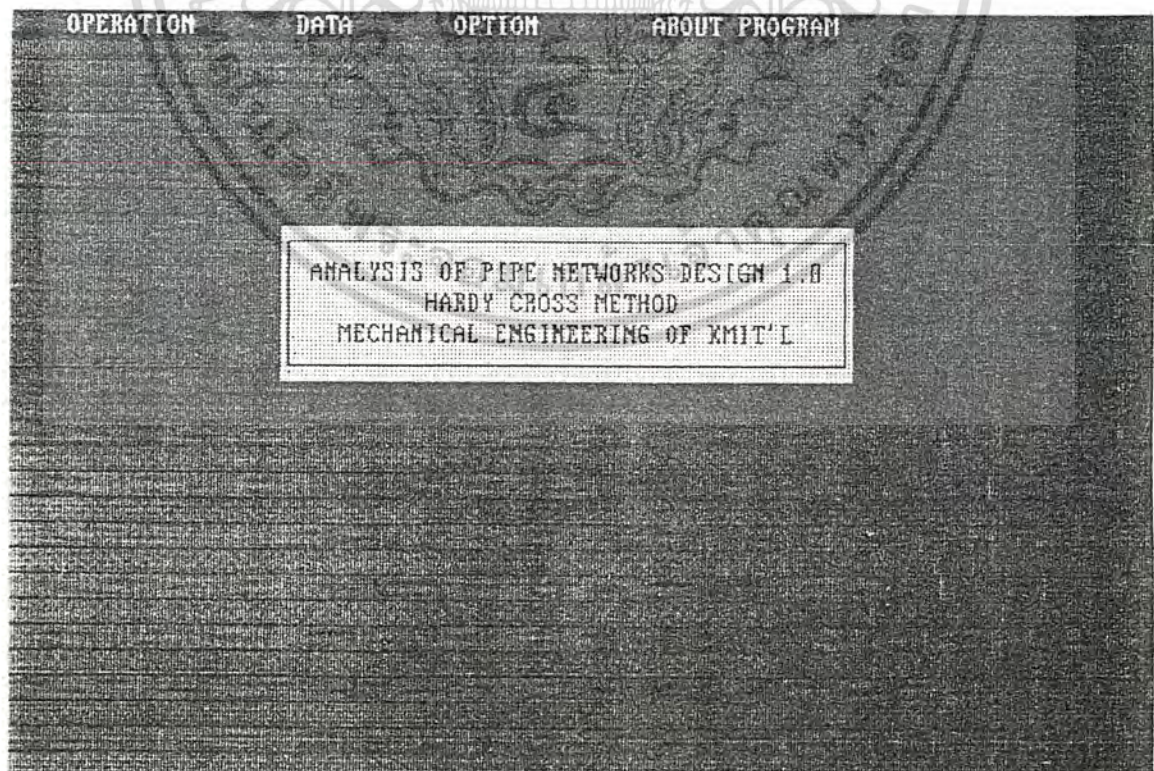
3 การแสดงผล ให้แสดงผลการคำนวณจากการประมวลผลข้อมูล

นอกจากนี้เป็นส่วนประกอบปลีกย่อยซึ่งช่วยทำให้การใช้งานโปรแกรมสะดวกขึ้น ดังเช่น การบันทึกข้อมูลผลการคำนวณครั้งล่าสุดเอาไว้ และยังมีกราฟแสดงภาพโดยคร่าวๆของที่ต่อกันเป็นระบบเป็นต้น

### วิธีการใช้โปรแกรม

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรมออกแบบระบบท่ออันประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆในการใส่ค่าข้อมูลการแสดงผลจากการคำนวณ

- 1 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ นำแผ่น source code ใส่ใน drive A หรือ B
- 2 เมื่อมีเครื่องหมาย prompt เป็น A > พิมพ์ชื่อโปรแกรม hardy แล้วกด enter
- 3 เมื่อเครื่อง load โปรแกรม hardy ขึ้นแล้วจะมีการแสดงไตเติลดังรูปที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.5 ไตเติล  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 กด enter บนจอจะปรากฏ menu ดังรูปที่ 2.6

OPERATION		DATA					OPTION					ABOUT PROGRAM	
RUN													
DISPLAY													
PICTURE													
SAVE													
QUIT													

	M	L	D	R	M	Q	M	L	D	R	M	Q
1	195.0	100.0	130.00	0.0	40.0	13	127.0	50.0	130.00	23.0	5.0	
2	150.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0	50.0	130.00	23.0	3.0	
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	70.0	100.0	130.00	0.0	7.0	
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5	
5	180.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5	
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0							
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0							
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5							
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5							
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0							
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0							
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0							

รูปที่ 2.6 รายการส่วน operation

5 จะเห็นได้ว่า menu หลักจะประกอบด้วย สามส่วนคือ operation , data และ option ต่อไปจะเป็นการเริ่มต้นออกแบบโดยเลื่อนคีย์ลูกศรไปที่ data

6 เลื่อนคีย์ลูกศรให้แถบสว่างไปที่ pipe กด enter ใส่ค่าจำนวนท่อ แล้วทำการเลือกข้อมูลจนครบทุกท่อเครื่องจะปรากฏให้เห็นดังรูปที่ 2.7

OPERATION		DATA					OPTION					ABOUT PROGRAM	
PIPE													
Old-Number=> 17													
New-Number=> 17													
1.L 2.D 3.R 4.M 5.Q													
Your choice is=>1													
M L													
1 195													

	M	L	D	R	M	Q	M	L	D	R	M	Q
1	195.0	100.0	130.00	0.0	40.0	13	127.0	50.0	130.00	23.0	5.0	
2	150.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0	50.0	130.00	23.0	3.0	
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	70.0	100.0	130.00	0.0	7.0	
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5	
5	180.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5	
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0							
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0							
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5							
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5							
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0							
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0							
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0							

รูปที่ 2.7 การป้อนข้อมูลของท่อ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 ปฏิบัติในทำนองเดียวกันสำหรับการป้อนข้อมูลของ pump,node,loop และ pic

ซึ่งเครื่องจะปรากฏดังรูป 2.8, 2.9, 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ

OPERATION			DATA	OPTION	ABOUT PROGRAM						
			PIPE								
			PUMP								
			Old-Num=> 1								
			New-Num=> 1								
			1.Head-Discharge 2.Power								
			Your choice is=>2								
			Pump-Unit=>1								
			Power=>40.40								
N	L	D									Q
1	195.0	100.									3.8 5.0
2	158.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0	50.0	130.00	23.0	3.0
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	70.0	100.0	130.00	0.0	7.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
5	100.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0						
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0						
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0						
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0						
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0						

รูปที่ 2.8 การป้อนข้อมูลของปั๊ม

OPERATION			DATA	OPTION	ABOUT PROGRAM						
			PIPE								
			PUMP								
			NODE								
			G2=>30.00								
			Old-Junction-Num=> 8								
			New-Junction-Num=> 8								
			1 1								
			1 2								
			2 -2 5								
			1 7								
			2 -7 6								
			1 10								
			2 -10 11								
			1 15								
N	L	D									
1	195.0	100.	1	7							
2	158.0	50.0	2	-7	6						
3	115.0	50.0	1	10							
4	155.0	50.0	2	-10	11						
5	100.0	100.	1	15							
6	130.0	100.									
7	117.0	100.									
8	59.0	50.0									
9	82.0	50.0									
10	165.0	100.									
11	102.0	100.0									
12	64.0	50.0									

รูปที่ 2.9 การป้อนข้อมูลของ node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION			DATA	OPTION	ABOUT PROGRAM	
			PIPE			
			PUMP			
			MODE			
			LOOP			
			Energy	Mum	Pipe with sign	
			-7.00	3	1	2 3
			-3.00	3	1	2 4
			6.00	4	1	5 7 8
			4.00	4	1	5 7 9
			6.00	5	1	5 6 10 13
			4.00	5	1	5 6 10 12
			-5.00	5	1	5 6 11 14
			-10.00	6	1	5 6 11 15 16
			-8.00	6	1	5 6 11 15 17
M	L	D				
1	195.0	100.				
2	150.0	50.0				
3	115.0	50.0				
4	155.0	50.0				
5	100.0	100.				
6	130.0	100.				
7	117.0	100.				
8	59.0	50.0				
9	82.0	50.0				
10	165.0	100.				
11	102.0	100.				
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0	

รูปที่ 2.10 การป้อนข้อมูลของ loop

OPERATION			DATA	OPTION	ABOUT PROGRAM	
			PIPE			
			PUMP			
			MODE			
			LOOP			
			PIC			
			Write Line ->1			
			From Point	X	Y	
			To Point	160	180	
			X<0-639> Y<0-479>			
M	L	D				
1	195.0	100.				
2	150.0	50.0				
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15 70.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16 55.0
5	100.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17 55.0
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0	
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0	
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5	
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5	
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0	
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0	
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0	

รูปที่ 2.11 การป้อนข้อมูลเพื่อเขียนรูปต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑ เมื่อทำการใส่ข้อมูลในส่วนของ data เรียบร้อยแล้ว ก็เลื่อนคีย์ดูกรให้แถบสว่างไปยัง option เพื่อทำการป้อนข้อมูล อาทิเช่น ค่า viscosity , SG , C-1, C-2, tolerance, HW/DW และ unit ซึ่งเครื่องจะปรากฏให้เห็นดังรูป 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17 และ 2.18 ตามลำดับ

OPERATION	DATA	OPTION	ABOUT PROGRAM								
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">           VISCOSITY            Old value is 1.00e-06            New value is -&gt;         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">           UNIT         </div>											
M	L	D	R	M	D	M	L	D	R	M	D
1	195.0	100.0	130.00	0.0	40.0	13	127.0	50.0	130.00	23.0	5.0
2	150.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0	50.0	130.00	23.0	3.0
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	70.0	100.0	130.00	0.0	7.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
5	180.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0						
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0						
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0						
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0						
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0						

รูปที่ 2.12 การป้อนค่าความหนืด

OPERATION	DATA	OPTION	ABOUT PROGRAM								
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: fit-content;">           VISCOSITY            SG            Old value is 1.000            New value is -&gt;         </div>											
M	L	D	R	M	D	M	L	D	R	M	D
1	195.0	100.0	130.00	0.0	40.0	13	127.0	50.0	130.00	23.0	5.0
2	150.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0	50.0	130.00	23.0	3.0
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	70.0	100.0	130.00	0.0	7.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
5	180.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0						
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0						
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0						
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0						
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0						

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นใบเซอร์เวชันนี้ กรุณา

ไม่ว่ากรณิดังที่อื่น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION		DATA		GETION		ABOUT PROGRAM					
				VISCOSITY S6 C-1		Old value is 1000.000 New value is ->					
M	L	D	R	M	Q	N	L	D	R	M	Q
1	195.0	100.0	130.00	0.0	40.0	13	127.0	50.0	130.00	23.0	5.0
2	150.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0	50.0	130.00	23.0	3.0
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	78.0	100.0	130.00	0.0	7.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
5	100.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0						
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0						
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0						
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0						
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0						

รูปที่ 2.14 การป้อนค่าคงที่สำหรับอัตราการไหล

OPERATION		DATA		GETION		ABOUT PROGRAM					
				VISCOSITY S6 C-1 C-2		Old value is 1000.000 New value is ->					
M	L	D	R	M	Q	N	L	D	R	M	Q
1	195.0	100.0	130.00	0.0	40.0	13	127.0	50.0	130.00	23.0	5.0
2	150.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0	50.0	130.00	23.0	3.0
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	78.0	100.0	130.00	0.0	7.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
5	100.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0	50.0	130.00	23.0	3.5
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0						
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0						
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5						
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0						
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0						
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0						

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 รูปที่ 2.15 การป้อนค่าคงที่สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนืด  
 ไม่สามารถใส่ค่าที่เกินขีดจำกัดได้ และต้องใส่ชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION		DATA		SECTION		ABOUT PROGRAM	
				VISCOSITY SG C-1 C-2 TOLERANCE			
				Old value is 1.00e-03 New value is ->			
h	L	D	R	B	M	Q	
1	195.0	100.0	130.00	0.0	10.0	13	177.0
2	150.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	70.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0
5	160.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0		
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0		
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5		
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5		
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0		
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0		
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0		

รูปที่ 2.16 การป้อนค่าความคลาดเคลื่อน

OPERATION		DATA		SECTION		ABOUT PROGRAM	
				VISCOSITY SG C-1 C-2 TOLERANCE HW/DW			
				1. HW 2. DW ->1			
h	L	D	R	B	M	Q	
1	195.0	100.0	130.00				130.00
2	150.0	50.0	130.00	5.0	7.0	14	114.0
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	70.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0
5	160.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0		
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0		
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5		
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5		
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0		
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0		
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้เฝ้าเห็นใบเขียวระเบียนดำเนินการค่า  
รูปที่ 2.17 การเลือกสมการสำหรับความเสียดทาน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION		DATA		OPTION		ABOUT PROGRAM		
				VISCOSITY S6 C-1 C-2 TOLERANCE HW/DW UNIT				
				1. EN 2. S1 ->2				
M	L	D	R			R	M	D
1	195.0	100.0	130.00			130.00	23.0	5.0
2	150.0	50.0	130.00			130.00	23.0	3.0
3	115.0	50.0	130.00	23.0	3.5	15	70.0	100.0
4	155.0	50.0	130.00	23.0	3.5	16	55.0	50.0
5	100.0	100.0	130.00	0.0	33.0	17	55.0	50.0
6	130.0	100.0	130.00	0.0	20.0			
7	117.0	100.0	130.00	10.0	13.0			
8	59.0	50.0	130.00	23.0	6.5			
9	82.0	50.0	130.00	23.0	6.5			
10	165.0	100.0	130.00	2.0	10.0			
11	102.0	100.0	130.00	0.0	10.0			
12	64.0	50.0	130.00	23.0	5.0			

รูปที่ 2.18 การเลือกหน่วย

9 ทำการประมวลผลโดยเลื่อนคีย์ลูกศรให้แถบสว่างไปยัง operation แล้วเลื่อนไปยัง run กด enter

ซึ่งจะให้ผลการคำนวณออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 สำหรับรายการ display เป็นการแสดงผลการคำนวณค่าสุดท้ายที่เก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล เมื่อเลิกใช้งานโปรแกรมไปแล้วผลนั้นจะยังคงอยู่

ส่วนรายการ picture เป็นรูปการต่อท่อของระบบโดยคร่าวๆ และในรายการ save เป็นการบันทึกข้อมูลทั้งหมดก่อนออกจากโปรแกรม

### คำอธิบายเพิ่มเติมสำหรับการใช้โปรแกรม

#### PIPE

N หมายถึง หมายเลขของท่อ

L หมายถึง ความยาวท่อ

D หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

R หมายถึง Hazen-William Coefficient (HW) หรือ Absolute roughness (DW)

M หมายถึง minor loss coefficient ของท่อ

Q หมายถึง flowrate

PUMP ชนิดข้อมูลป้อนให้ เป็น

power (kw) หรือ

Head- discharge X0= shut off head , X1= intermediate head , Y1= intermediate discharge

X2= final head , Y2= final discharge ( จาก pump performance curve )

NODE G2=Hydraulic grade line at a reference fixed-grade node

การป้อนข้อมูลให้ไปตามเส้นทอไปให้ครบทุก node โดยเริ่มจาก node แรกโดยเมื่อ flow ในท่อเส้นใดตรงข้ามกับทิศทางที่โลกก็ให้มีเครื่องหมายตรงกันข้าม ( node แรกนั้นจะอยู่ใกล้กับ reference fixed-grade node ซึ่งต้องทราบ hydraulic grade line )

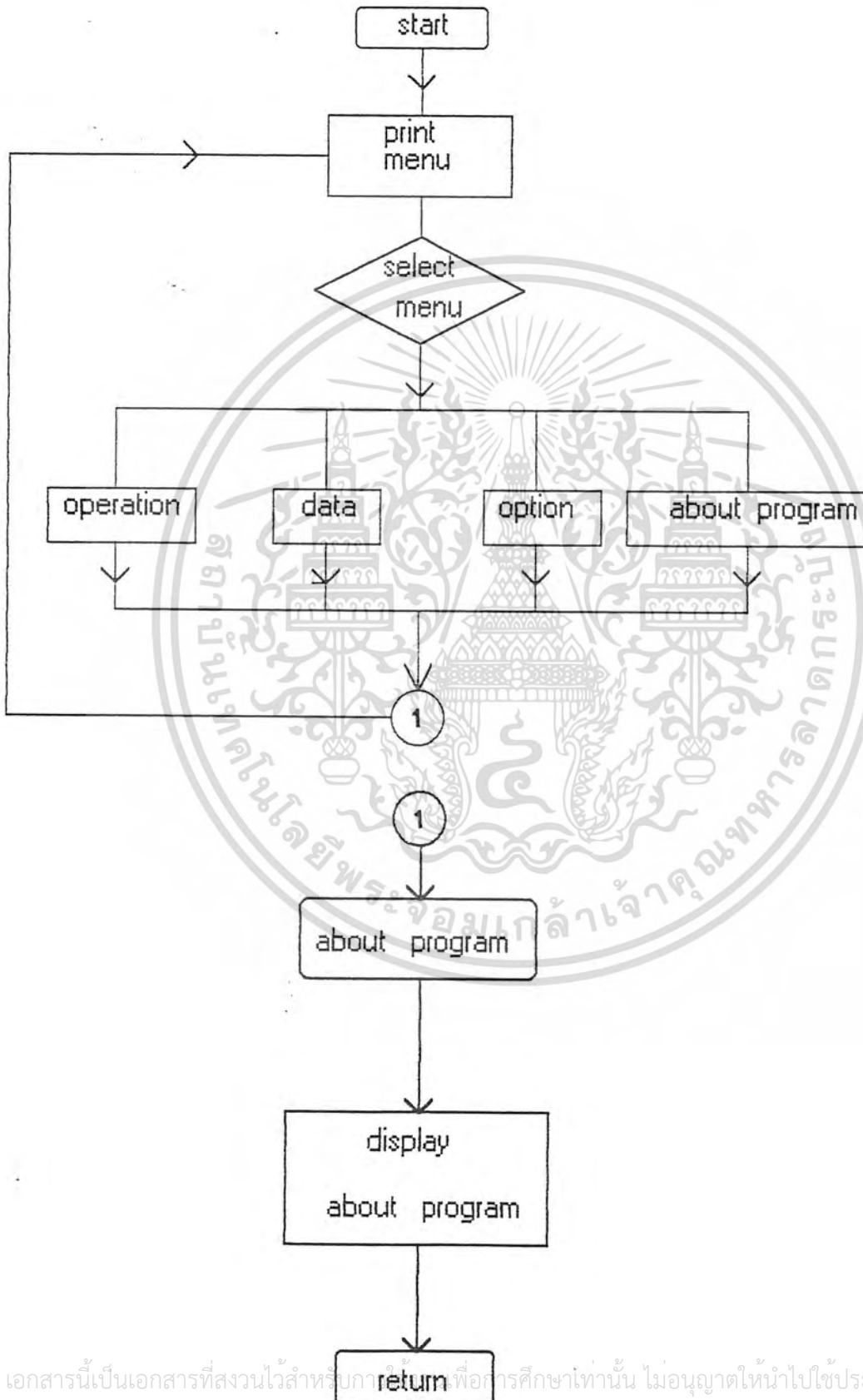
LOOP การป้อนข้อมูลให้ได้ path ให้เป็น loop ซึ่งมีทั้ง closed loop ( energy difference =0 ) และ pseudo

loop โดยถ้า flow ในทอที่ตรงข้ามกับ path direction ก็ให้มีเครื่องหมายตรงกันข้าม

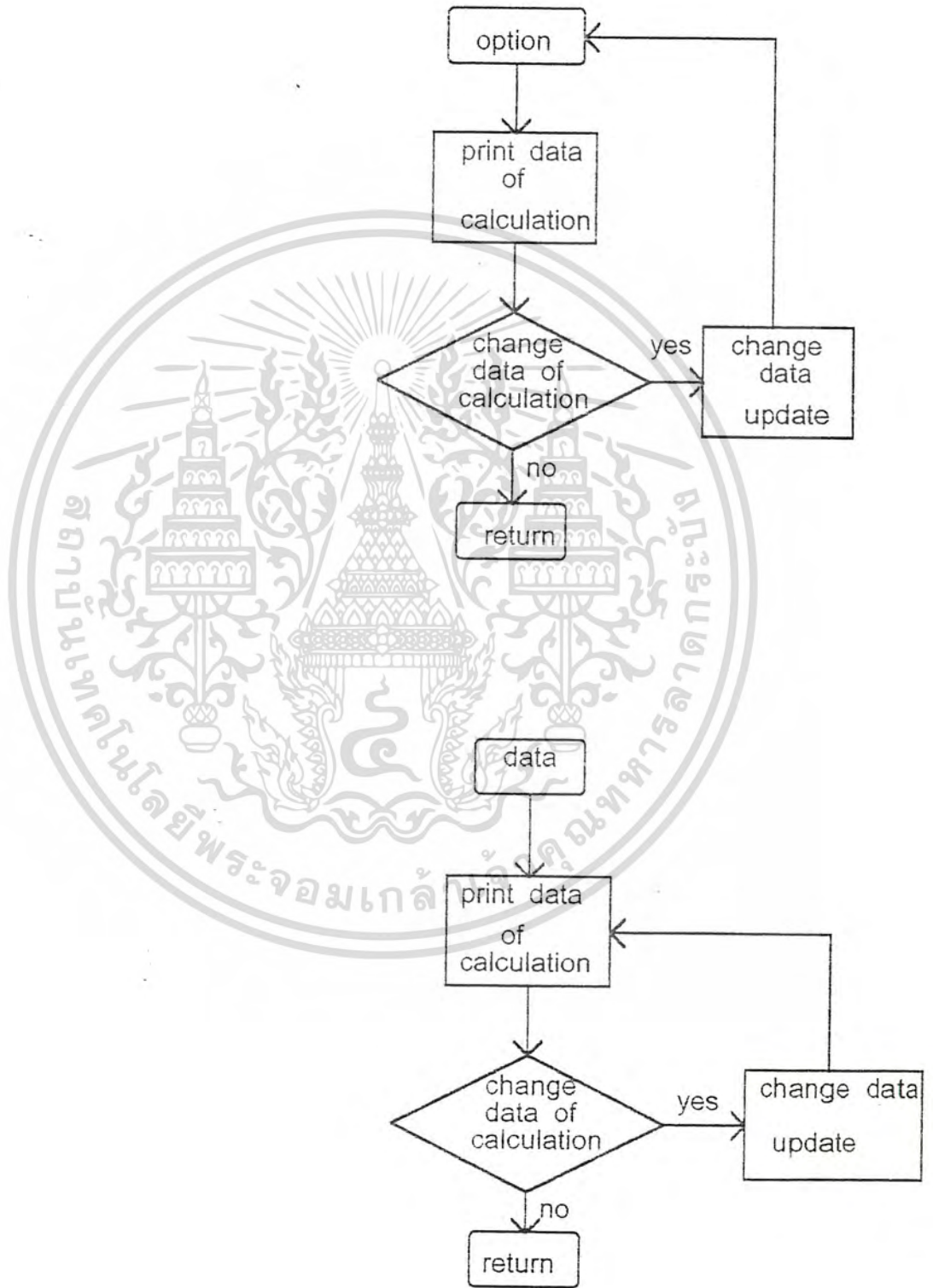
PIQ ป้อนค่าพิกัด x,y ของต้นทอและปลายทอที่ต้องการแต่ละทอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

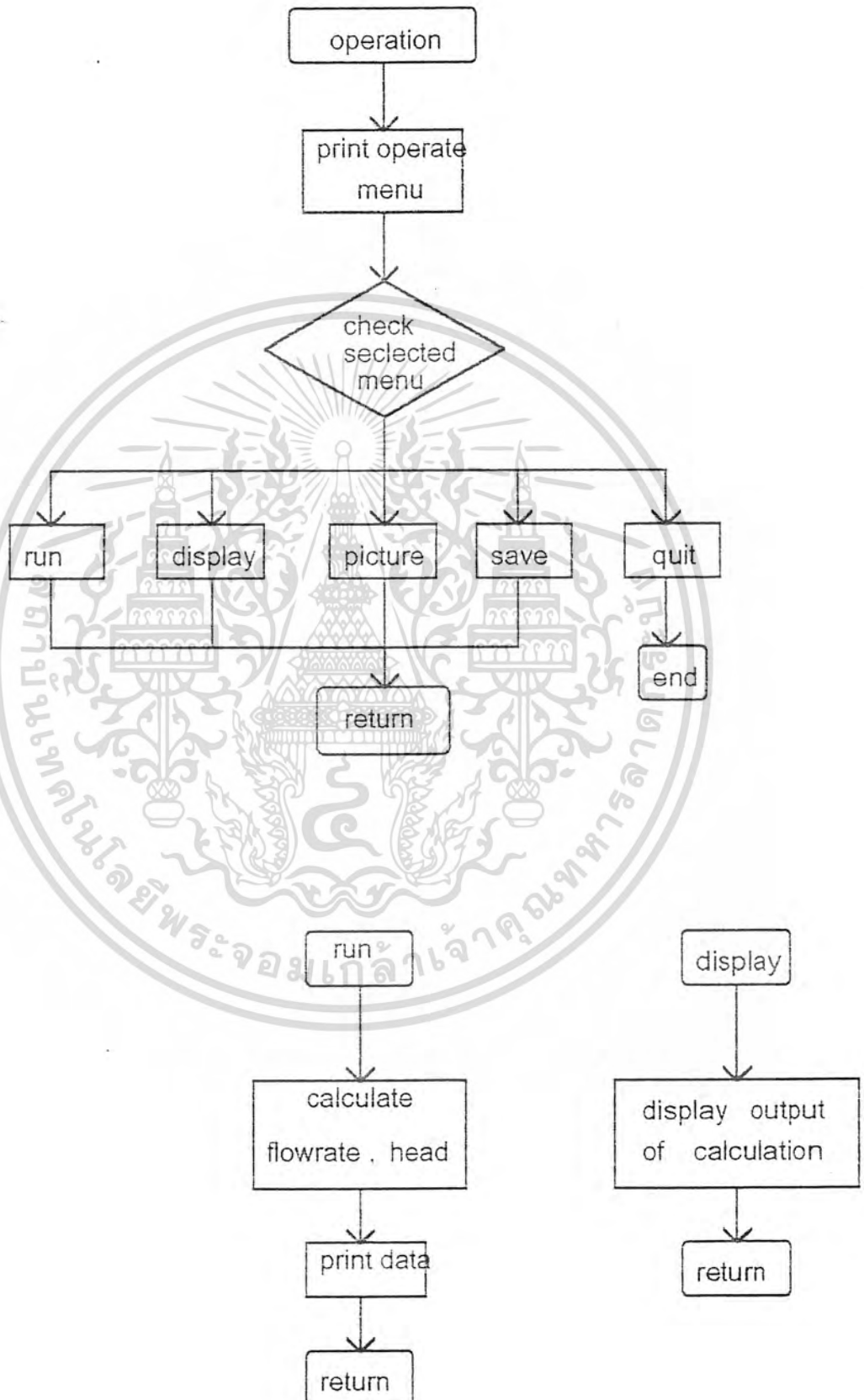
ผังงาน( FLOW CHART ) ต่อไปนี้แสดงการทำงานของโปรแกรม



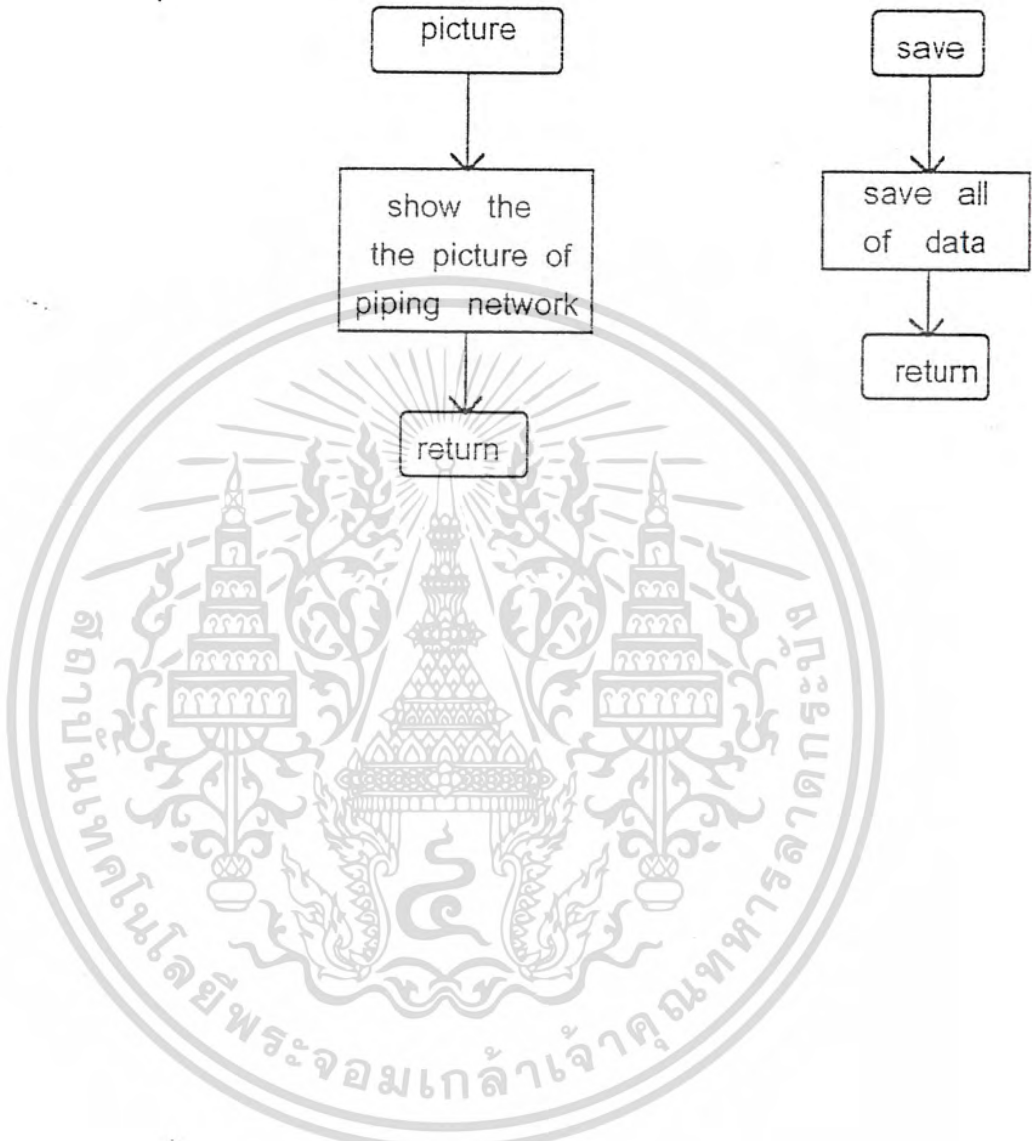
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

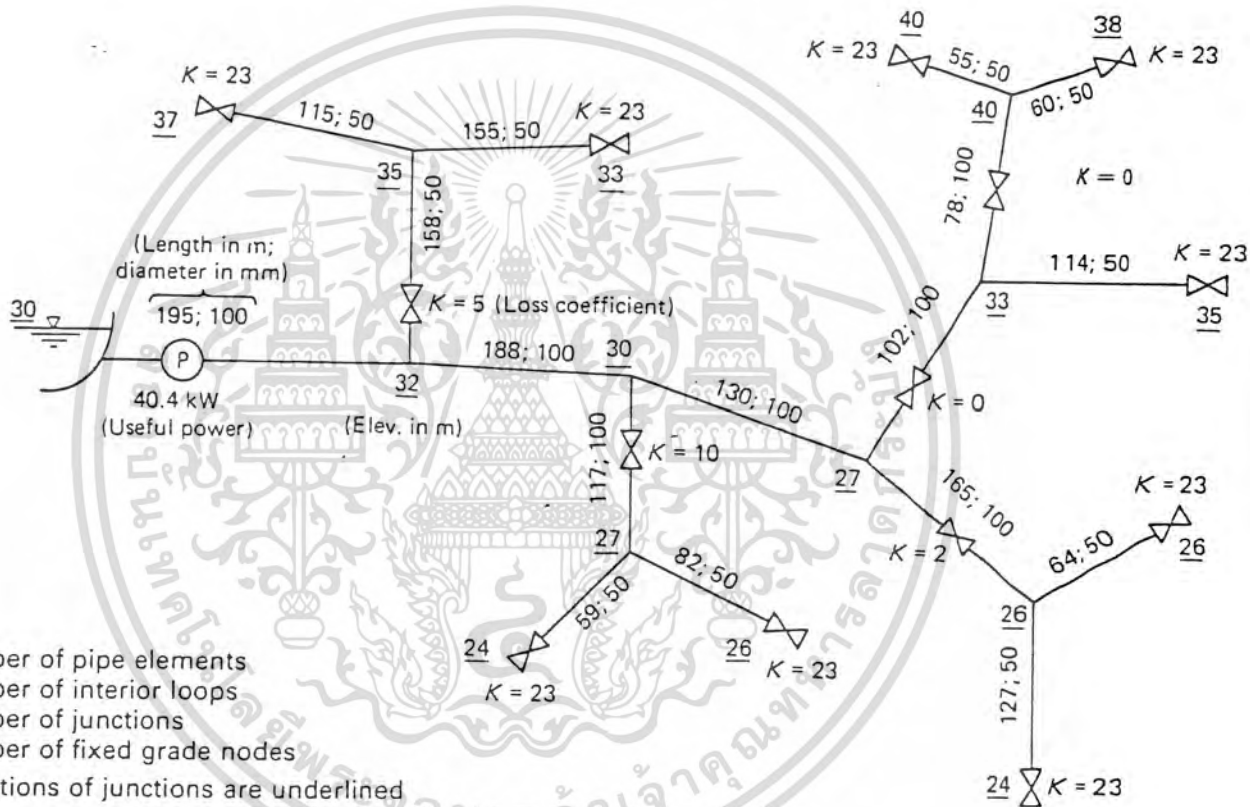


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



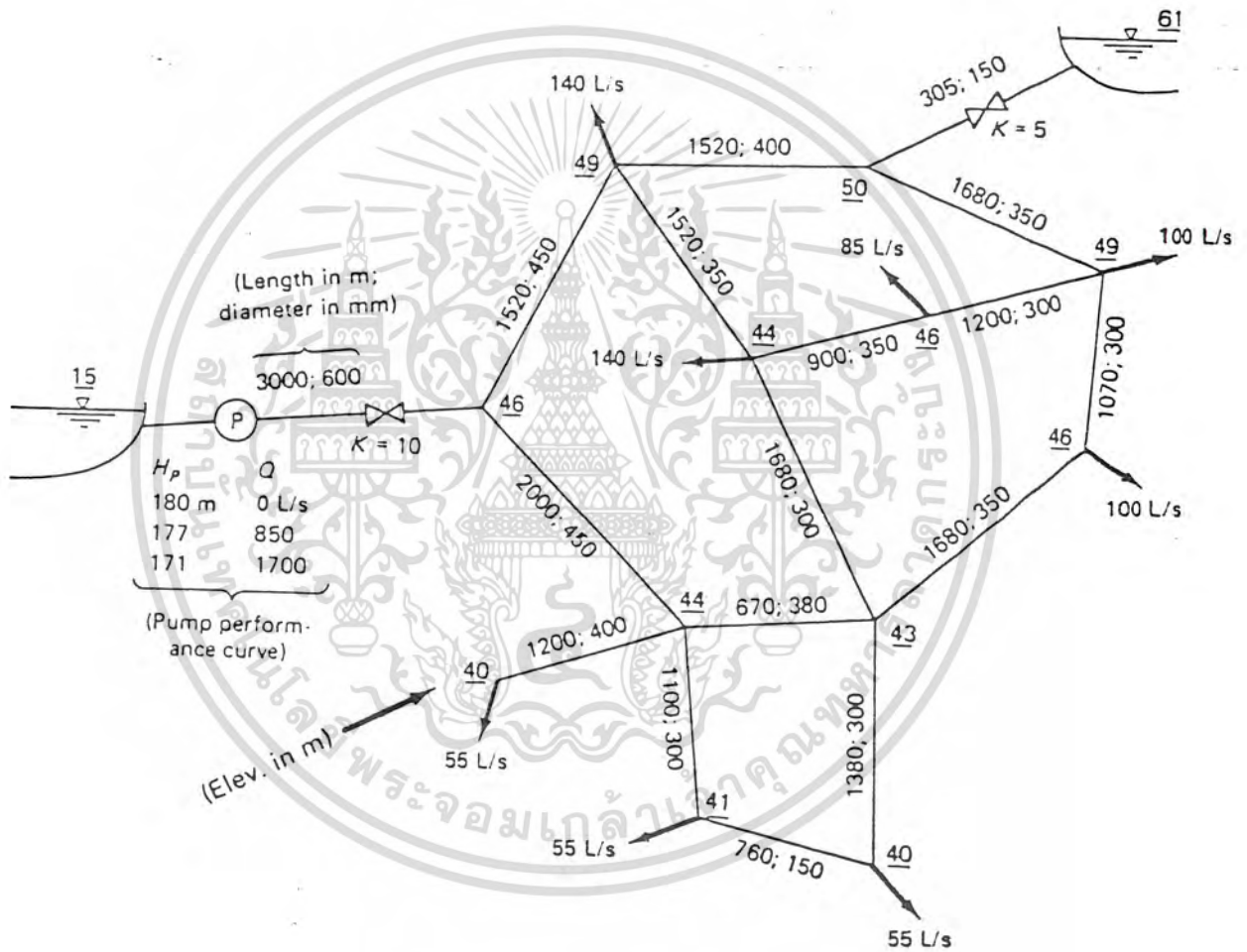
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXAMPLE 2.1



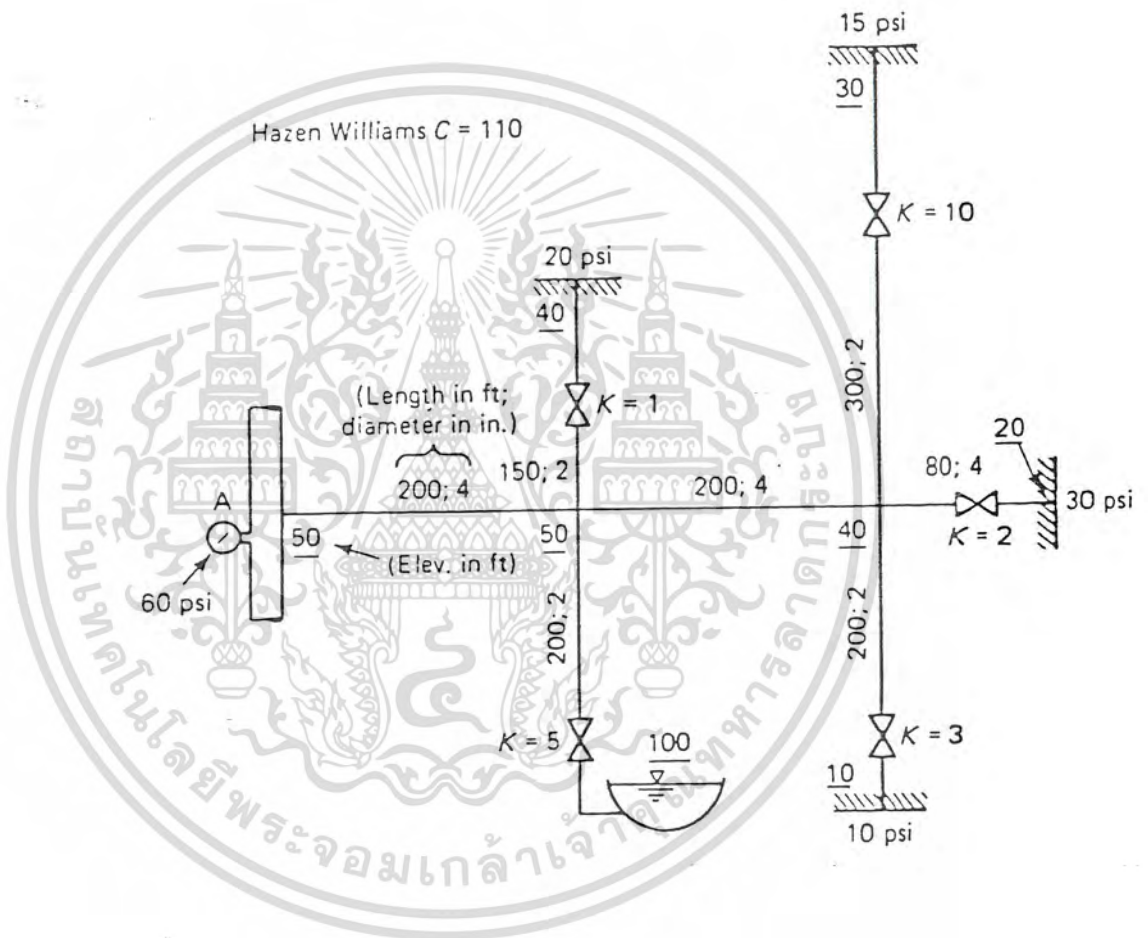
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXAMPLE 2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXAMPLE 2.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DATA SET EXAMPLE 2.1

17,8,1,SI,HW,1 E-6,1,1000,1000,.001  
 1,195,100,130,0,40  
 2,158,50,130,5,7  
 3,115,50,130,23,3.5  
 4,155,50,130,23,3.5  
 5,188,100,130,0,33  
 6,130,100,130,0,20  
 7,117,100,130,10,13  
 8,59,50,130,23,6.5  
 9,82,50,130,23,6.5  
 10,165,100,130,2,10  
 11,102,100,130,0,10  
 12,64,50,130,23,5  
 13,127,50,130,23,5  
 14,114,50,130,23,3  
 15,78,100,130,0,7  
 16,55,50,130,23,3.5  
 17,55,50,130,23,3.5  
 1,POWER,40.4  
 30,1,1,1,2,2,-2,5,1,7,2,-7,6,1,10,2,-10,11,1,15  
 -7,3,1,2,3  
 -3,3,1,2,4  
 6,4,1,5,7,8  
 4,4,1,5,7,9  
 6,5,1,5,6,10,13  
 4,5,1,5,6,10,12  
 -5,5,1,5,6,11,14  
 -10,6,1,5,6,11,15,16  
 -8,6,1,5,6,11,15,17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DATA SET EXAMPLE 2.2

17,12,1,SI,DW,1,E-6,1,1000,1000,.001

1,3000,600, 15, 10,1100

2,1520,450,. 15,0,675

3,1520,400,. 15,0,400

4,305,150,. 15,5,370

5,1680,350,. 15,0,50

6,1070,300,. 15,0,50

7,1680,350,. 15,0,150

8,1380,300,. 15,0,25

9,760,150,. 15,0,30

10,1100,300,. 15,0,85

11,870,380,. 15,0,285

12,2000,450,. 15,0,425

13,1520,350,. 15,0,135

14,1680,300,. 15,0,110

15,900,350,. 15,0,105

16,1200,300,. 15,0,20

17,1200,400,. 15,0,55

1,HQ,180,177,850,171,1700

15,1,1,2,1,3,1,5,1,-6,2,6,-16

1,-15,1,-14,1,8,1,-9,1,-10,1,17

0,5,2,13,-14,-11,-12

0,5,3,5,-16,-15,-13

0,5,15,16,-6,-7,14

0,4,11,8,-9,-10

-46,4,1,2,3,4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DATA SET EXAMPLE 2.3

7,2,0,EN,HW,1,E-6,1,449,12,.001

1,200,4,110,0,500

6,300,2,110,4,100

3,200,4,110,0,300

2,150,2,110,2,100

4,100,2,110,11,100

5,200,2,110,6,100

7,80,4,110,3,100

188.46,1,1,1,3

102.3,2,1,2

123.84,3,1,3,4

99.23,3,1,3,7

155.38,3,1,3,6

88.46,2,1,5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRIAL NO.	RELATIVE FLOW CHANGE	AVERAGE FLOW CHANGE
1	3.003e-02	3.121e-01
2	8.718e-03	9.054e-02
3	4.174e-03	4.333e-02
4	1.942e-03	2.015e-02
5	9.210e-04	9.558e-03

PIPE NO.	FLOW RATE
1	39.051
2	6.499
3	3.162
4	3.337
5	32.552
6	19.987
7	12.565
8	6.714
9	5.851
10	9.839
11	10.148
12	5.373
13	4.466
14	3.419
15	6.729
16	3.130
17	3.599

NODE NO.	HYD. GRADE LINE
1	89.622
2	47.574
3	58.047
4	53.372
5	49.200
6	46.018
7	47.222
8	46.515

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRIAL NO.	RELATIVE FLOW CHANGE	AVERAGE FLOW CHANGE
1	2.985e-01	6.057e+01
2	1.448e-01	2.569e+01
3	1.033e-01	1.727e+01
4	6.044e-02	9.958e+00
5	2.641e-02	4.326e+00
6	1.010e-02	1.652e+00
7	3.872e-03	6.325e-01
8	1.469e-03	2.400e-01
9	5.558e-04	9.076e-02

PIPE NO.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17

FLOW RATE

800.972  
445.240  
163.612  
70.972  
92.640  
18.454  
118.454  
39.650  
15.350  
70.350  
230.383  
355.732  
144.628  
72.276  
73.906  
27.094  
62.906

NODE NO.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12

HYD. GRADE LINE

144.982  
116.820  
109.575  
104.330  
104.666  
104.183  
105.999  
113.117  
111.277  
116.810  
121.233  
120.532

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRIAL NO.	RELATIVE FLOW CHANGE	AVERAGE FLOW CHANGE
1	2.707e-01	6.372e+01
2	6.055e-02	1.445e+01
3	1.751e-02	4.181e+00
4	5.526e-03	1.318e+00
5	1.468e-03	3.500e-01
6	3.176e-04	7.568e-02

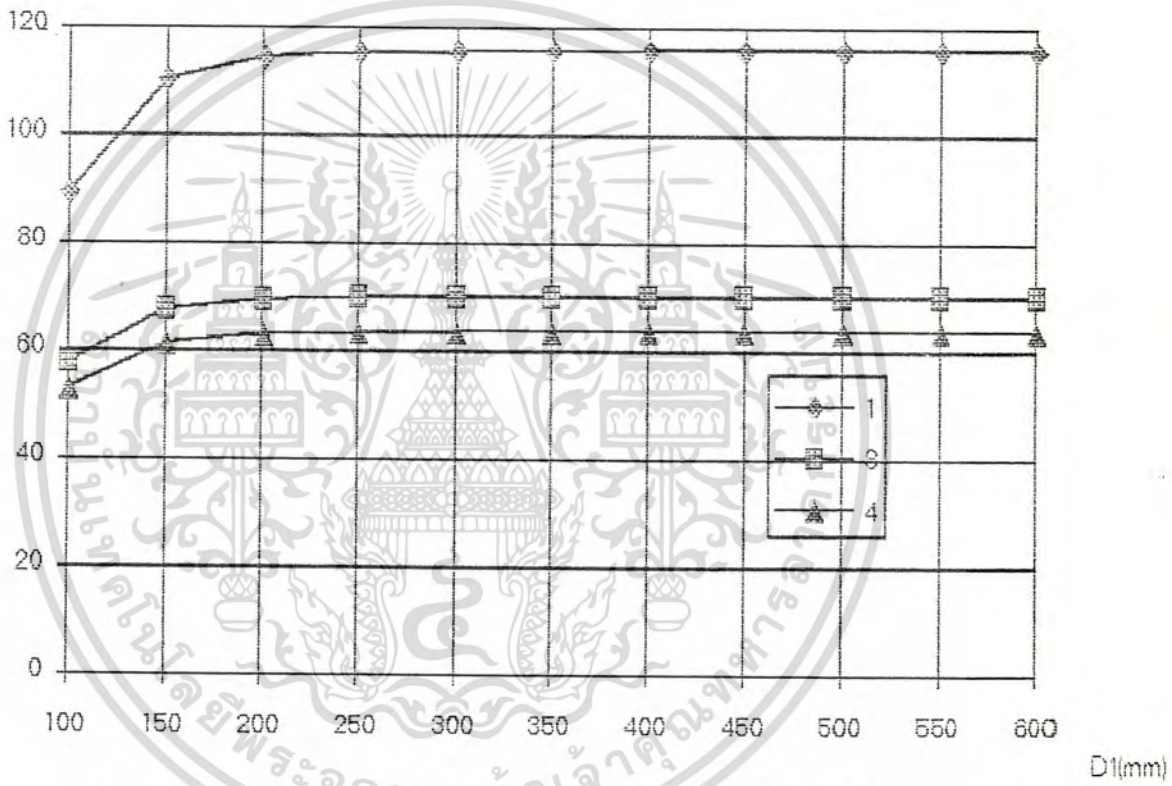
PIPE NO.	FLOW RATE
1	609.417
2	95.726
3	449.307
4	82.282
5	64.384
6	80.668
7	286.357

NODE NO.	HYD. GRADE LINE
1	130.438
2	97.443



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

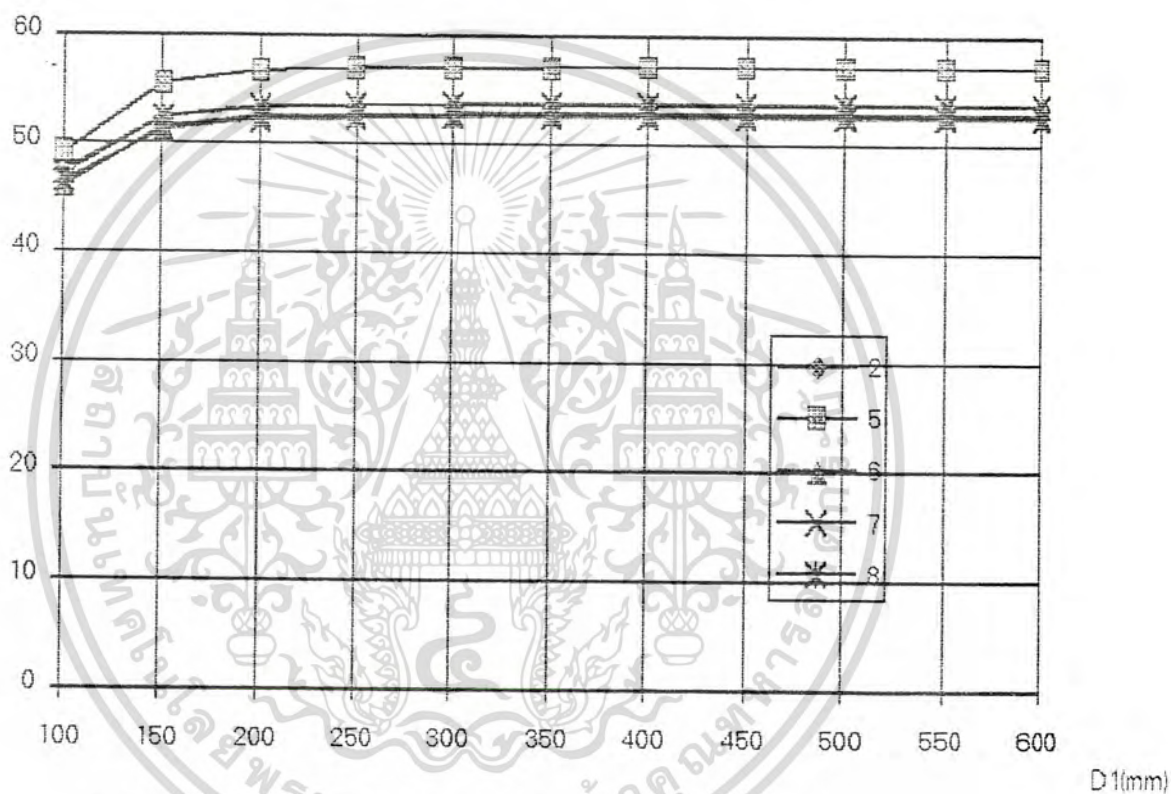
HYD.GRADE LINE (m)



รูปที่ 2.19 Hydraulic grade line ของ node ที่ 1,3 และ 4 ที่เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

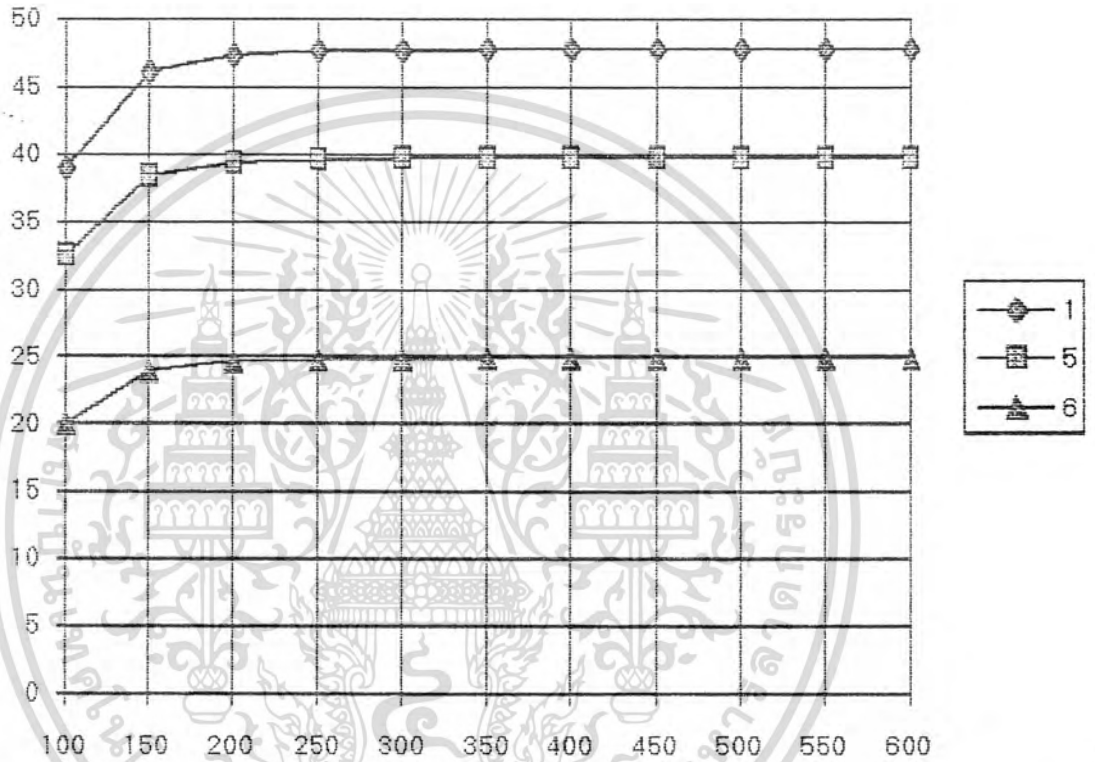
HYD. GRADE LINE (m)



รูปที่ 2.20 Hydraulic grade line ของ node ที่ 2,5,6,7 และ 8 ที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW (US)

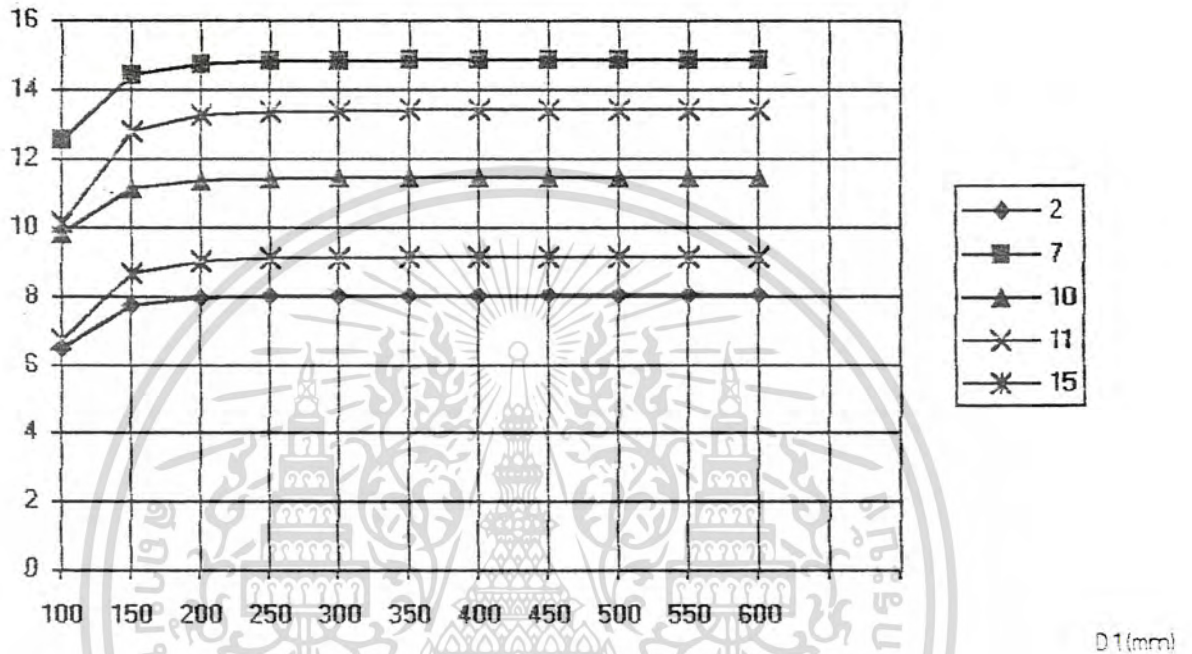


รูปที่ 2.21 อัตราการไหลของท่อที่ 1,5 และ 6 ที่เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ

D1(m)

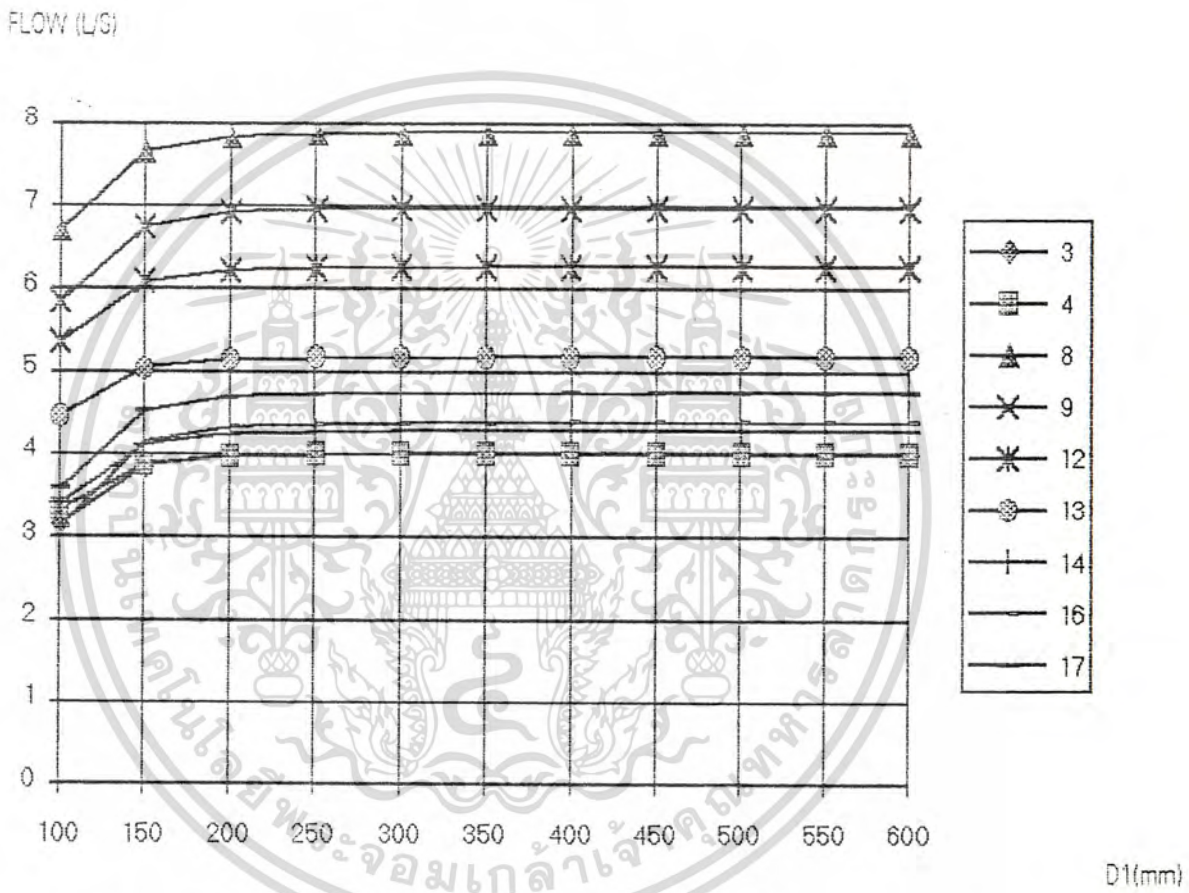
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW (L/S)



รูปที่ 2.22 อัตราการไหลของท่อที่ 2,7,10,11 และ 15 ที่เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 อัตราการไหลของท่อที่ 3,4,8,9,12,13,14,16 และ 17 ที่เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุป

สำหรับในบทนี้เป็นการไหลแบบ TURBULENT FLOW IN PIPES โดยท่อมีลักษณะการต่อกันแบบต่างๆ อันได้แก่ แบบ SERIES , PARALLEL , BRANCHING และ NETWORK จากนั้นนำลำดับขั้นตอนต่าง ๆ ในการคำนวณไปเขียนเป็นโปรแกรม ทำให้ได้ค่า FLOW ในท่อต่างๆ และ HEAD ที่ NODE ใดๆ ส่วนท่อที่ต่อเป็น NETWORK ได้มีการนำไปเขียนเป็น WINDOWS เพื่อมีความสะดวกในการป้อนข้อมูล และการดูค่าผลจากการประมวล แล้วเมื่อนำข้อมูลไปเขียนกราฟ จากกราฟที่ได้ถ้าทำการเปลี่ยนขนาดท่อจนถึงขนาดหนึ่ง ปรากฏว่าเกิดการไหลคงที่ เนื่องจากเกิดการไหลไม่เต็มท่อ ซึ่งทำให้ HEAD ที่จุดใด ๆ คงที่ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การศึกษา UNSTEADY FLOW IN PIPES

ในการวิเคราะห์ Steady-State Flow In Pipe Networks นั้นมีวิธีที่ จะแก้ปัญหาในการวิเคราะห์ Networks ที่ สลับซับซ้อน เมื่อพิจารณา จากสมการของระบบ Pipe networks แล้ว จะพบว่า มีหลักในการวิเคราะห์หลัก ๆ คือการใช้ Bernoulli Equation และ Continuity Equation ในการวิเคราะห์ เมื่อตั้งสมการแล้วจะพบว่า สามารถเขียนระบบสมการได้เป็นระบบสมการที่เป็น Nonlinear และวิธีที่จะแก้ระบบสมการนี้ มีวิธีหลัก ๆ ที่ใช้ในขณะนี้ คือ

- 1 Hardy Cross Method
- 2 Newton-Raphson Method
- 3 Linear Theory Method

Hardy Cross Method เป็นการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการของ Taylor's Series มาประยุกต์ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้กล่าวไปแล้ว ในบทที่2

Newton-Raphson Method วิธีนี้เป็นวิธีการแก้สมการ Nonlinear คือสมการที่มีตัวเลขยกกำลัง ซึ่งจะพูดถึงในบทนี้

Linear Theory Method เนื่องจากระบบสมการเป็นระบบสมการที่เป็น NonLinear ดังนั้นจึงใช้ ทฤษฎีนี้เพื่อที่จะทำให้เป็น Linear แล้วทำการแก้ระบบสมการแบบ Linear

เนื่องจากในบทที่แล้วได้แสดงถึงการวิเคราะห์ โดยใช้ Hardy-Cross ดังนั้นในบทนี้จึงจะวิเคราะห์การไหลโดยใช้วิธี ของ Newton-Raphson วิธีการของ Newton-Raphson นั้นจะต้องอาศัยการ Iteration โดยจัดให้อยู่ในรูปสมการ  $F(x) = 0$  จากนั้นหาค่า  $x$  โดยใช้สมการที่ 3.1

$$x^{(n+1)} = x^{(n)} - \frac{F(x^{(n)})}{F'(x^{(n)})} \dots\dots\dots(3.1)$$

แต่เนื่องจากการแก้ระบบสมการของ Pipe Networks นั้นจะต้องอาศัยการแก้ระบบสมการซึ่งประกอบด้วยสมการ NonLinear หลาย ๆ สมการดังนั้น ก่อนที่จะแสดงการนำวิธีของ Newton-Raphson ไปแก้สมการของ Pipe Networks จึงขอลำถึงสมการที่จะใช้แก้ระบบสมการแบบ Non Linear ดังสมการที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$x^{(n+1)} = x^{(n)} - D^{-1}F(x^{(n)}) \dots\dots\dots(3.2)$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีใ้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่  $D^{-1}$  คือ  $\frac{1}{dF/dx}$  ในสมการที่มีสมการเดียว สำหรับ ค่า  $\bar{x}$  ในการวิเคราะห์

Pipes Networks นั้นจะหมายถึง  $\Delta \bar{Q}$

$$\text{ซึ่ง } \Delta \bar{Q} = \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \vdots \\ \Delta Q_L \end{bmatrix}$$

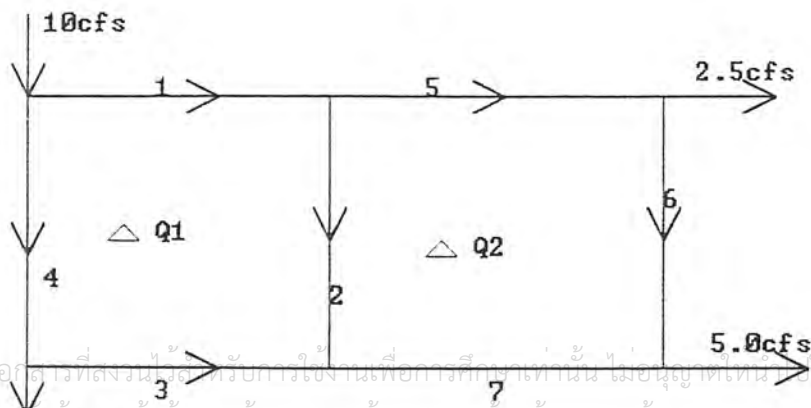
สำหรับ Jacobian Matrix ของการวิเคราะห์การไหลนั้นแสดงได้ดังสมการที่ 3.3

$$D = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_1}{\partial Q_2} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial Q_j} \\ \frac{\partial F_2}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_2}{\partial Q_2} & \dots & \frac{\partial F_2}{\partial Q_j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial F_j}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_j}{\partial Q_2} & \dots & \frac{\partial F_j}{\partial Q_j} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

หากนิยาม  $\bar{x}$  เป็นไปดังสมการ  $D^{(m)} \bar{x}^{(m)} = \bar{F}^{(m)}$  ก็จะสามารถที่จะหา คือ  $\Delta Q$  ได้จากสมการที่ 3.4

$$\Delta Q^{(m+1)} = \Delta Q^{(m)} - \bar{x} \quad (3.4)$$

ตัวอย่างที่ 3.1 พิจารณารูปที่ 3.1 จะแสดงการคำนวณโดยใช้ วิธี Newton-Raphson ในการคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามนำไปตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
รูปที่ 3.1 รูปตัวอย่างการคำนวณโดยใช้วิธีของ Newton-Raphson

Pipe NO.	1	2	3	4	5	6	7
Q(cfs)	5.00	2.00	2.50	5.00	3.00	0.50	4.50
K	2.07	3.78	60.65	11.20	14.94	30.33	5.04

จากรูป 3.1 เมื่อพิจารณาจะพบว่า มีตัว Unknown 2 ตัว คือ  $\Delta Q_1, \Delta Q_2$  ดังนั้นสามารถที่จะเขียนสมการ โดยที่สมมติค่า  $\Delta Q_1, \Delta Q_2$  เป็นบวก (ทิศตามเข็มนาฬิกา) ดังนี้

$$F_1 = 2.07(5 + \Delta Q_1)^{1.85} + 3.78(2 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2)^{1.85}$$

$$-60.65(2.5 - \Delta Q_1)^{1.85} - 11.20(5 - \Delta Q_1)^{1.85} = 0$$

$$F_2 = 14.94(3 + \Delta Q_2)^{1.85} + 30.33(0.5 + \Delta Q_2)^{1.85}$$

$$-5.04(4.5 - \Delta Q_2)^{1.85} - 3.78(2 - \Delta Q_2 + \Delta Q_1)^{1.85} = 0$$

Jacobian Matrix มีดังนี้

$$\frac{\partial F_1}{\partial \Delta Q_1} = 3.83(5 + \Delta Q_1)^{0.85} + 6.99(2 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2)^{0.85}$$

$$+ 11.20(2.5 + \Delta Q_1)^{0.85} + 20.72(5 + \Delta Q_1)^{0.85}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial \Delta Q_2} = -6.99(2 + \Delta Q_1 - \Delta Q_2)^{0.85}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial \Delta Q_1} = -6.99(2 + \Delta Q_2 - \Delta Q_1)^{0.85}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial \Delta Q_2} = 27.64(3 + \Delta Q_2)^{0.85} + 56.11(0.5 + \Delta Q_2)^{0.85}$$

$$+ 9.32(4.5 - \Delta Q_2)^{0.85} + 6.99(2 - \Delta Q_2 + \Delta Q_1)^{0.85}$$

เมื่อเริ่มการ Iteration ครั้งแรก สมมติให้  $\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = 0$  จะได้ค่า Jacobian Matrix ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 353.5 & -12.6 \\ -12.6 & 147.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -497 \\ 27.4 \end{bmatrix}$$

เมื่อแก้สมการ โดยใช้ Gaussian Elimination แล้ว ได้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของ (ชื่อการศึกษานั้น) ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$z_1 = -\Delta Q_1^{(1)} = -1.399, z_2 = -\Delta Q_2^{(1)} = 0.0654$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเริ่มการ Iteration ครั้งที่สอง ก็ให้นำเอาค่า Unknown จาก Step แรก เพื่อไปใช้ในการหา Jacobian Matrix ใน Step ที่สองได้ Matrix ดังแสดงต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} 222.5 & -20.2 \\ -20.2 & 151.1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -90.3 \\ -5.46 \end{bmatrix}$$

แก้สมการโดยใช้ Gaussian Elimination ก็จะได้ค่า

$$z_1 = -0.414, z_2 = -0.0914, \Delta Q_1^{(2)} = 1.813, \Delta Q_2^{(2)} = 0.026$$

ในการคำนวณจริง ๆ จะต้องใช้เครื่อง คอมพิวเตอร์ ใช้ในการคำนวณ โดยการเขียน โปรแกรม จากนั้นให้เครื่องคำนวณโดยการ Iteration ไปเรื่อย ๆ จนค่า  $\Delta Q^{(m+1)}$  เข้าใกล้ ค่า  $\Delta Q^{(m)}$  โดยกำหนดค่า Error ให้น้อย ๆ ก็จะได้ค่าที่ถูกต้อง

ขั้นตอนที่จะคำนวณโดยใช้ Newton-Raphson Method

ในการคำนวณจากตัวอย่างเนื่องจากใช้ Hazen-William Formular ดังนั้นจะใช้ค่า K จากสมการของ Hazen-William และค่า 1.852 คือค่า Index เมื่อใช้ Hazen-William Formular แต่ในการเขียนโปรแกรม เพื่อที่จะคำนวณจะใช้ Darcy-Weisbach ในการคำนวณ เนื่องจากสามารถที่จะหาที่มาได้ดีกว่า ดังแสดงจากสมการ Head Losses รวมดก

$$h_f = f \frac{L \bar{V}^2}{D \cdot 2}$$

หากจะเขียนให้อยู่ในรูปของ Flow rates จะได้สมการ

$$h_f = kQ^2 \dots \dots \dots (3.5)$$

โดยที่  $Q = \bar{V}A$  ดังนั้น

$$k = \frac{fL}{2A^2D} \dots \dots \dots (3.6)$$

จากสมการที่ 3.6 จะเห็นได้ว่า ค่า K นั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตาม ค่า Friction Factor แต่หากพิจารณาแล้ว จะเห็นได้ว่า ค่า Friction Factor นั้นก็ยังคงที่จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความหยาบและค่า

Reynolds Number ดังจะเห็นได้จากสมการ  $f \equiv \phi \left( \text{Re}, \frac{e}{D} \right)$  และ ใน Moody Diagram

เมื่อพิจารณาถึงค่า Unknown แล้วหากพิจารณาแล้วจะพบ ว่าค่า Flow Rates คือค่าที่ต้องการหา ดังนั้นค่าที่ทราบก็จะเป็นเพียงค่ารายละเอียดต่าง ๆ ของท่อ เช่น ความยาว, เส้นผ่าศูนย์กลาง, Roughness Coefficient ซึ่งยังไม่สามารถที่จะหาค่า Reynolds Number ที่แท้จริงได้ ดังนั้นการคำนวณที่ให้ ค่า Friction มีค่าคงที่นั้น หากพิจารณากันแล้วจะพบว่า เป็นเพียงการคำนวณโดยประมาณเท่านั้น หากจะคิดให้ละเอียดแล้วจะต้องมีการ Iteration อีกเพื่อที่จะได้ค่า Friction Factor ที่แน่นอน ดังนั้นในการคำนวณจึงใช้การหาค่า Friction Factor จากค่า Reynolds number ของการสมมติ Initial Flow และค่าความหยาบซึ่งเป็นค่าคงที่เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สุ่มมาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หลังจากได้ค่า Flow rates จาก Step แรกแล้วจึงทำการ Iteration โดยใช้ค่า Reynolds Number

ไม่ว่าจากการคำนวณเมื่อ Step ที่แล้วมาเป็นหลัก ส่วนค่าความหยาบนั้นมีค่าคงที่อยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยน

ไปในแต่ละ Step โดยที่สมการ สำหรับการหา Friction Factor นั้น จะใช้สมการของ Colebrook

$$F(f) = \frac{1}{\sqrt{f}} - 1.14 + 2 \log_{10} \left( \frac{e}{D} + \frac{9.35}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) = 0 \dots \dots \dots (3.7)$$

ในการแก้สมการที่ 3.7 นั้น จะใช้วิธีเดียวกับวิธีของ Newton - Raphson เช่นเดียวกับที่ได้กล่าวไว้ในสมการที่ 3.1 โดยที่เขียนเป็นฟังก์ชันหนึ่งในโปรแกรม สำหรับคำนวณค่า Friction Factor โดยเฉพาะโดยที่ลำดับขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1. รับค่า Reynold Number

2. เปรียบเทียบค่า Reynolds Number ถ้าเป็นแบบ Laminar หรือว่าเป็นแบบ Turbulent หากว่าเป็นแบบ Laminar ก็ทำการคำนวณหาค่า Friction Factor ตามสมการ  $f = \frac{64}{\text{Re}}$  แต่หากว่าเป็นแบบ Turbulent จะทำการคำนวณตามสมการที่ 3.7 โดยใช้วิธีของ Newton-Raphson ซึ่งต้องอาศัยการ Iteration

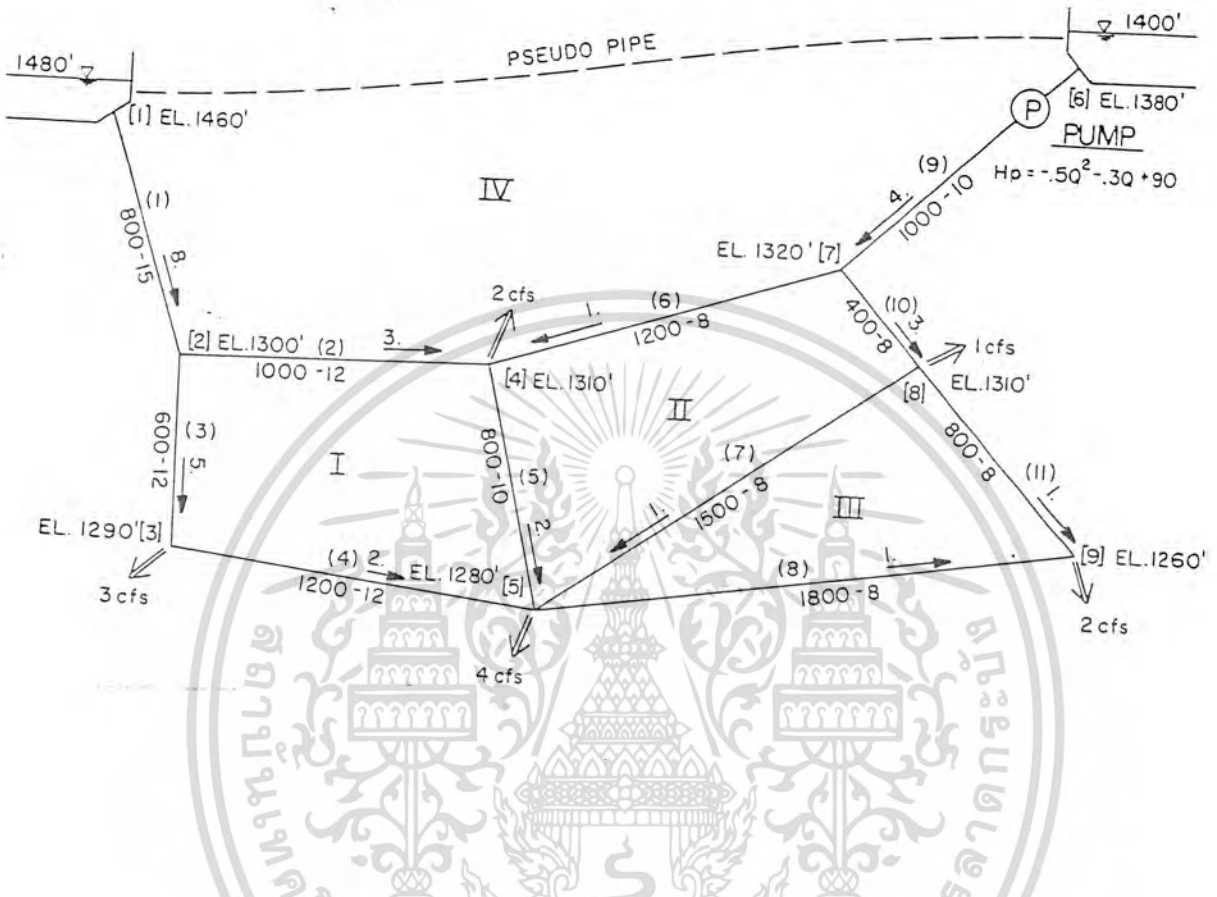
ตามสมการ 
$$x^{(1)} = x^{(0)} - \frac{F(x^{(0)})}{\frac{dF}{dx}}$$

และ 
$$\frac{dF}{df} = \frac{1}{2f\sqrt{f}} - \frac{9.35 \log_{10} e}{f \left( \frac{e}{D} + \frac{9.35}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \text{Re} \sqrt{f}}$$

โดยที่ค่าเริ่มต้นใช้สมการ 
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \frac{e}{D}$$

3. ทำการตรวจสอบค่า Friction Factor จาก Reynolds Number ของ Step ปัจจุบัน กับ Step ที่แล้ว ว่าต่างกันเพียงใดหากว่าต่างกันมากกว่าค่า Error แล้ว ให้ทำการวน Loop รอบแรกใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่หนึ่งเรื่อย ๆ ไป

เมื่อค่าทุกค่า Converge แล้วจะพบว่า ค่า Friction Factor จะมีค่าไม่คงที่ ตามที่คำนวณแบบทั่ว ๆ ไป แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะ เป็น Flow Rates หรือ ค่า Friction Constant ก็ตาม ดังที่จะเห็นในการคำนวณต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 โจทย์สำหรับการคำนวณ Pipe Networks

Pipe No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Junction in	1	2	2	3	4	7	8	5	6	7	8
Junction out	2	4	3	5	5	4	5	9	7	8	9
Diameter (in)	15	12	12	12	10	8	8	8	10	8	9
Length (feet)	800	1000	600	1200	800	1200	1500	1800	1000	400	800
Elevation up	1460	1300	1300	1290	1310	1320	1310	1280	1380	1320	1310
Elevation do	1300	1310	1290	1280	1280	1310	1280	1280	1320	1310	1260
Roughness $\epsilon$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Initial Flow	8.00	3.00	5.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	4.00	3.00	1.00

ตารางที่ 3.1 ค่าข้อมูลต่าง ๆ ของระบบท่อในโจทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโจทย์กำหนดให้ Pump อยู่ที่ ท่อที่ 9 มีสมการ Head Pump ดังนี้

$$H_p = -5Q^2 - 3Q + 90 \text{ ในที่นี้ จะให้ node 1 เป็น Reference Node}$$

ทำการป้อนข้อมูลต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1 แล้วให้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณ จะได้ค่าที่คำนวณ

ได้ดังนี้คือ

Pipe No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Friction Factor 1	0.01842	0.01982	0.01943	0.02028	0.02076	0.02224	0.02234	0.02224	0.02022	0.02127	0.02224
Friction Factor 2	0.01838	0.01971	0.0194	0.02013	0.02062	0.02237	0.02618	0.0226	0.02033	0.0214	0.022
Friction Factor 3	0.01838	0.01971	0.0194	0.02013	0.02062	0.02237	0.26212	0.02599	0.02033	0.0214	0.022
Friction Factor 4	0.01838	0.01971	0.0194	0.02013	0.02062	0.02237	0.02648	0.02261	0.02033	0.0214	0.02199
Friction Factor 5	0.01838	0.01971	0.0194	0.02013	0.02062	0.02237	0.0265	0.02261	0.02033	0.0214	0.02199

ตารางที่ 3.2 ค่า Friction Factor เมื่อมีการ Iteration ในแต่ละรอบ

จากตารางแสดงการ Iteration ถึง 5 ครั้ง จึงจะได้ค่า Friction Factor ที่ คงที่ จะสังเกตเห็นได้ว่า ค่า Friction Factor ในครั้งที่ 4 และครั้งที่ 5 จะมีค่า ใกล้เคียงกันมาก โดยที่ความแตกต่างกัน นั้นมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับความแตกต่าง ระหว่าง Friction Factor ของการ Iteration ครั้งที่ 5 กับ ครั้งแรก

Pipe No.	Diamete-ft	Flow rates Qfs	Elevgt up ft	Elevgt Dn ft
1	1.25	8.67	1480.00	1470.87
2	1.00	3.40	1470.87	1465.12
3	1.00	5.27	1470.87	1462.72
4	1.00	2.27	1462.72	1459.58
5	0.83	2.31	1465.12	1459.58
6	0.67	0.91	1469.39	1465.12
7	0.67	0.19	1459.86	1459.58
8	0.67	0.78	1459.58	1454.85
9	0.83	3.33	1400.01	1469.39
10	0.67	2.41	1469.39	1459.86
11	0.67	1.22	1459.86	1454.85

ตารางที่ 3.3 ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมของรูปที่ 3.2

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่า ค่า Flow Rates ที่ Junction ต่าง ๆ จะสอดคล้องกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Node	Hgl	High	Psi
1	1480.00	1460.00	8.65
2	1470.00	1300.00	73.97
3	1462.72	1290.00	74.77
4	1465.12	1310.00	67.15
5	1459.58	1280.00	77.40
6	1400.01	1380.00	8.66
7	1469.39	1320.00	64.67
8	1459.86	1310.00	64.87
9	1454.85	1260.00	84.35

#### ตาราง ที่ 3.4 ผลการคำนวณเพื่อที่จะวิเคราะห์หา Pressure Head ที่แต่ละ Junction

เมื่อนำผลที่ได้จากการคำนวณมาพิจารณาแล้วจะพบว่า ที่จุดต่าง ๆ ของท่อ นั้นสามารถที่จะนำไปหา Hydraulic Grade Line ได้ซึ่งจะใช้เป็น Initial Condition ในการคำนวณแบบ Transient Network ดังจะได้เสนอต่อไป (เมื่อ เกิดการปิดวาล์ว อย่างกะทันหัน)

#### สรุปขั้นตอนการคำนวณ

1. รับค่า Input ต่าง ๆ ของระบบท่อ โดยวิธีการป้อนนั้นดูได้จากภาคผนวก ค โดยการป้อนค่า Input นั้นจะต้องเป็นระบบเพื่อที่จะให้ โปรแกรม รับค่าต่าง ๆ แล้ว สามารถเก็บข้อมูลเป็นตัวเลขอย่างเป็นระเบียบ เปรียบเสมือนการสร้างภาพระบบท่อให้ โปรแกรมได้รับรู้

2. เนื่องจาก โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณนี้รับค่า Input เป็น Roughness Coefficient ดังนั้น จึงจำเป็นต้องที่จะต้อง ส่งค่า Roughness Coefficient ไปยัง ฟังก์ชัน เพื่อที่จะคำนวณหาค่า Friction Factor ก่อน หลังจากนั้นจึงส่งค่า Friction Factor กลับไปยัง ฟังก์ชันหลักเพื่อที่จะคำนวณต่อไป

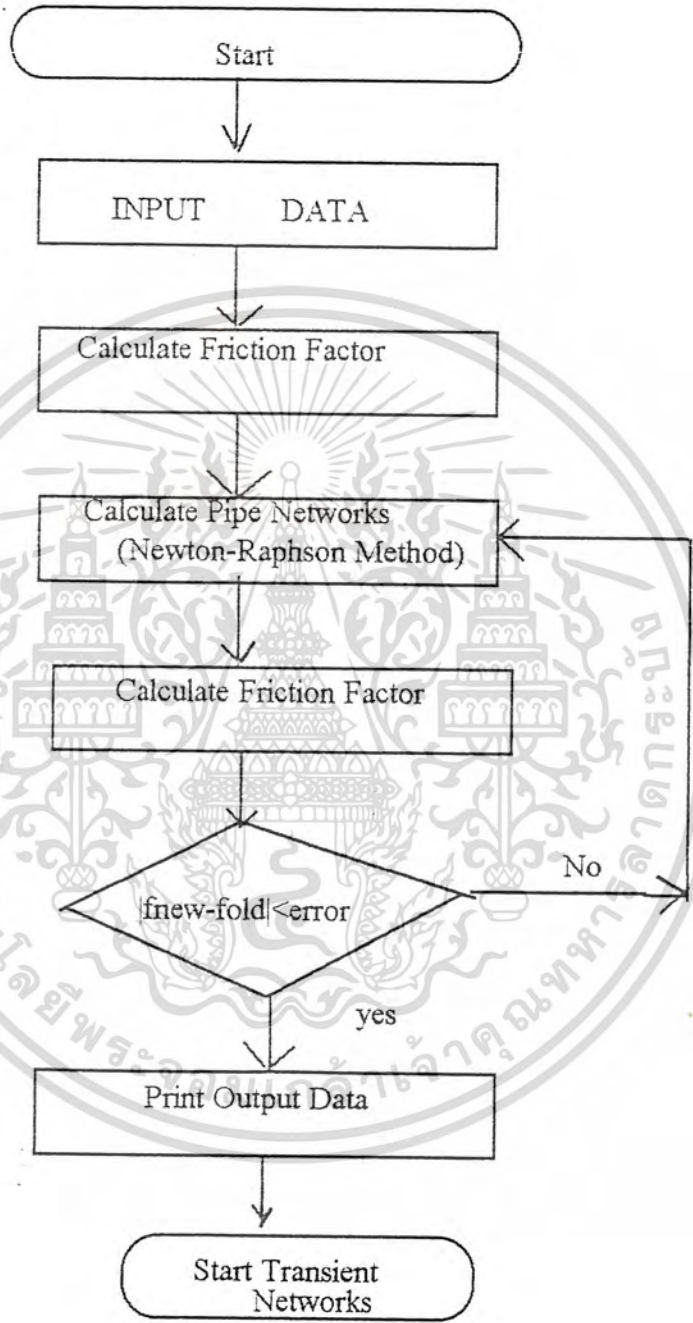
3. คำนวณหาค่า Unknown ต่าง ๆ ตามจำนวน Close Loop หาก เป็น Open Loop ก็จำเป็นต้องสร้าง Loop เทียม (Pseudo Loop) แล้วให้ โปรแกรมทำการคำนวณ โดยวิธีของ Newton - Raphson

4. หลังจากที่ทำทำการคำนวณโดยใช้วิธีของ Newton - Raphson ก็ทำการคำนวณ Reynolds Number ที่ได้จากการคำนวณใหม่ ซึ่งเกิดจากการหาค่ากระแสในในแต่ละท่อที่ได้ในการคำนวณในขั้นตอนที่ 3

5. เปรียบเทียบค่า Friction Factor ที่ได้ใน Step ล่าสุด กับ Friction Factor ที่ได้ใน Step ที่แล้ว หากยังแตกต่าง มากกว่า ค่า Error ที่กำหนดแล้วก็จะไปคำนวณใหม่ในขั้นตอนที่ 3 หากค่า Error มีค่าน้อยกว่าค่า Error ที่กำหนดไว้ ก็จะพิมพ์ผลการคำนวณออกมา แล้วนำไปหา Hydraulic Grade Line

ในแต่ละ Node และแต่ละ Pipe เพื่อที่จะเป็น Initial Condition ที่จะนำไปคำนวณ แบบ Transient Networks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Waterhammer Analysis**

Waterhammer คือปรากฏการณ์ที่เกิดจากการปิดวาล์ว ซึ่งเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำให้มี Shock Wave จะทำให้ท่อทางเดินของของไหลเกิดความดันสูงมากกว่าเมื่อไม่มีการเกิด Waterhammer เพราะฉะนั้นในการออกแบบระบบท่อจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปรากฏการณ์ Waterhammer ขึ้นด้วย เนื่องจาก จะทำให้ท่อต้องรับภาระของความดัน มากกว่าการไหลแบบ Steady State Condition

จากหัวข้อที่แล้วได้วิเคราะห์การไหลแบบ Steady State เพื่อวิเคราะห์หา Head ที่จุดต่าง ๆ ไปแล้ว ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์การไหลที่มีการเกิดปรากฏการณ์ Waterhammer ขึ้นด้วยทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ปรากฏการณ์ Waterhammer กับผลของ Pressure Head ที่เกิดขึ้นที่ส่วนต่าง ๆ ของท่อเพื่อที่จะนำไปใช้ในการ ออกแบบระบบท่อที่มีการเปิดปิด วาล์วแบบทันทีทันใด หรือการปิด วาล์วเป็นจังหวะว่าแบบใด จะทำให้เกิด Pressure Head ที่มากที่สุดเพื่อที่จะออกแบบระบบท่อให้รองรับการออกแบบที่ดีที่สุด

การวิเคราะห์ Waterhammer จะเริ่มด้วยการใช้สมการ ของ Euler

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{dp}{ds} + g \frac{dz}{ds} + \frac{f}{2D} v|v| = 0 \dots\dots\dots(3.8)$$

$$a^2 \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} = 0 \dots\dots\dots(3.9)$$

วิธีการวิเคราะห์ ที่นิยมในการวิเคราะห์มากคือ Characteristic method

**Approximate Equation**

ใช้  $\lambda$  เป็น Linear scale factor จัดรูปสมการจะได้รูปสมการดังนี้

$$\lambda \left( \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} + g \frac{dz}{ds} + f v|v| \right) + a^2 \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(3.10)$$

จัดรูปใหม่

$$\left( \lambda \frac{\partial v}{\partial t} + a^2 \frac{\partial v}{\partial s} \right) + \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial t} + \lambda \frac{\partial p}{\partial s} \right) + \lambda g \frac{dz}{ds} + \frac{\lambda f}{2D} v|v| = 0 \dots\dots\dots(3.11)$$

ถ้าให้  $\lambda \frac{\partial v}{\partial t} + a^2 \frac{\partial v}{\partial s}$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{dv}{dt}$

แล้ว  $\lambda \frac{ds}{dt} = a^2$

ถ้าให้  $\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial t} + \lambda \frac{\partial p}{\partial s}$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt}$

$$\frac{a^2}{\lambda} = \lambda$$

$$\lambda^2 = a^2 \dots \dots \dots (3.12)$$

ถ้าให้ค่า  $\lambda = \pm a$  ทำให้สามารถที่เขียนสมการที่ ได้ดังนี้

$$a \frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} + ag \frac{dz}{ds} + \frac{af}{2D} v|v| = 0$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{ap} \frac{dp}{dt} + g \frac{dz}{ds} + \frac{f}{2D} v|v| = 0 \dots \dots \dots (3.13)$$

สำหรับสมการที่  $\lambda = a$  หรือ  $\frac{ds}{dt} = a$

สมการที่  $\lambda = -a$  หรือ  $\frac{ds}{dt} = -a$

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้น ทำให้สามารถที่จะเปลี่ยน partial differential equations ให้ไปเป็น ordinary differential equations ซึ่งขึ้นกับตัวแปรอิสระ s และ t จากนั้นแทน P ด้วย  $\mathcal{H}$  ก็จะได้

สมการ

$$\frac{dv}{dt} + \frac{g}{a} \frac{d\mathcal{H}}{dt} + \frac{f}{2D} v|v| = 0 \text{ เมื่อ } \frac{ds}{dt} = a$$

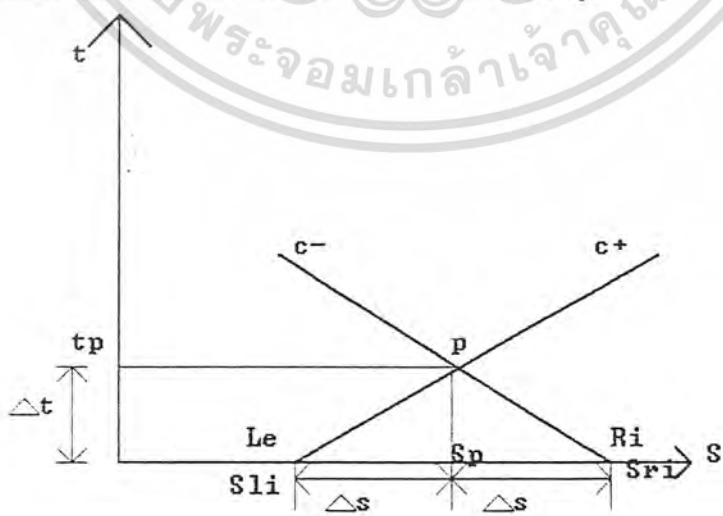
และ

$$\frac{dv}{dt} - \frac{g}{a} \frac{d\mathcal{H}}{dt} + \frac{f}{2D} v|v| = 0 \text{ เมื่อ } \frac{ds}{dt} = -a$$

สมการ 3.14 มีความเกี่ยวข้องกับ  $\frac{ds}{dt} = a$  จึงเรียก  $\frac{ds}{dt} = a$  เป็น Characteristic ของสมการที่

และด้วยเหตุผลเดียวกัน จึงเรียก  $\frac{ds}{dt} = -a$  เป็น Characteristic ของสมการที่ 3.15

ดังนั้นในหลักในการวิเคราะห์ จะมี Plane 2 แกนด้วยกัน ดังรูป



เมื่อพิจารณาวิธีการแก้สมการ differential equation จากแผนภาพจะเห็นได้ว่ามี s และ t  
 ดังนั้นเงื่อนไขในการแก้สมการ 2 สมการนี้ จึงจำเป็นที่จะต้องใช้ทั้ง Initial Condition และ Boundary  
 Condition ดังนั้นสามารถที่จะเขียนสมการให้อยู่ในรูปของ finite difference ได้ดังนี้ คือ

$$\frac{V_p - V_{le}}{t_p - 0} + \frac{g}{a} \frac{H_p - H_{le}}{t_p - 0} + \frac{fV_{le}|V_{le}|}{2D} = 0 \dots\dots\dots(3.16)$$

$$\frac{V_p - V_{ri}}{t_p - 0} - \frac{g}{a} \frac{H_p - H_{ri}}{t_p - 0} + \frac{fV_{ri}|V_{ri}|}{2D} = 0 \dots\dots\dots(3.17)$$

หากกำหนด  $\Delta t$  จะได้รูปสมการ

$$C+:(V_p - V_{le}) + \frac{g}{a}(H_p - H_{le}) + \frac{f\Delta t}{2D}V_{le}|V_{le}| = 0$$

$$C-:(V_p - V_{ri}) - \frac{g}{a}(H_p - H_{ri}) + \frac{f\Delta t}{2D}V_{ri}|V_{ri}| = 0$$

โดยที่  $\Delta s = a\Delta t$  ถ้าแบ่ง Pipe เป็น N Parts และแต่ละ Parts จะมีความยาวเท่ากับ  $\Delta s = \frac{L}{N}$

และเมื่อ  $\Delta s$  รู้ค่าก็จะสามารถทราบค่า  $\Delta t$  ได้ พิจารณารูปที่ 3.3 จุด P2 เมื่อสามารถที่จะทราบค่า  
 $V_{le}, V_{ri}, H_{le}, H_{ri}, f, D$  ก็จะสามารรถทราบค่า  $H_{p2}, V_{p2}$  เนื่องจากมี 2 Unknown และ  
 2 สมการ จากนั้นคำนวณไปเรื่อย ๆ จนถึง Pn ส่วนค่า  $H, V$  ที่จุด P1 และ Pn+1 จะต้องคำนวณ  
 จากค่า Boundary Condition ที่ทางซ้ายมือของ Pipe ใช้แต่ C- Characteristic Equation และในทำนอง  
 เดียวกัน ทางขวาของท่อก็จะใช้ C+ Characteristic Equation

การแก้สมการที่ 3.16 และ 3.17 สำหรับ Interior Nodes ให้อยู่ในรูปของ Numerical Solution เพื่อ  
 ที่จะหาค่า  $V_p, H_p$  ได้จาก

$$V_p = \frac{1}{2} \left[ (V_{le} + V_{ri}) + \frac{g}{a}(H_{le} - H_{ri}) - \frac{f\Delta t}{2D}(V_{le}|V_{le}| + V_{ri}|V_{ri}|) \right] \dots\dots\dots(3.18)$$

$$H_p = \frac{1}{2} \left[ \frac{a}{g}(V_{le} - V_{ri}) + (H_{le} + H_{ri}) - \frac{a}{g} \frac{f\Delta t}{2D}(V_{le}|V_{le}| - V_{ri}|V_{ri}|) \right] \dots\dots\dots(3.19)$$

**Reservoir Boundary Condition**

เมื่อ ค่า Reservoir head เท่ากับ  $H_0$

$H_{p1} = H_0$  จะได้ C- ตามสมการ

$$V_{p1} = V_2 + \frac{g}{a}(H_{p1} - H_2) - \frac{f\Delta t}{2D}V_2|V_2| \dots\dots\dots(3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานวิจัยสำหรับการศึกษานี้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้มาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{p1}^2 + \frac{B - \frac{1}{C_2}}{A} V_{p1} + \frac{C + \frac{C_1}{C_2}}{A} = 0$$

$$C_3 = \frac{B - \frac{1}{C_2}}{A}$$

$$C_4 = \frac{C + \frac{C_1}{C_2}}{A}$$

$$V_{p1}^2 + C_3 V_{p1} + C_4 = 0 \dots\dots\dots(3.24)$$

$$V_{p1} = \frac{-C_3 \pm \sqrt{C_3^2 - 4C_4}}{2}$$

$$V_{p1} = \frac{C_3}{2} \left[ -1 \pm \sqrt{1 - \frac{4C_4}{C_3^2}} \right] \dots\dots\dots(3.25)$$

ในการพิจารณา เครื่องหมาย + หรือ - ในสมการที่ 3.25 เนื่องจากในตอนเริ่มต้นของการไหล  $V_{p1}$  มีเครื่องหมายเป็นบวก ดังนั้นภายใต้ เครื่องหมาย [ ] จะต้องเป็นบวก และเนื่องจากภายใต้ เครื่องหมาย กรณฑ์ จะต้องมีการมีเครื่องหมายเป็นบวก ดังนั้น สมการที่ 3.25 จึงต้องมีเครื่องหมายบวก เขียนได้ในรูปสมการดังนี้คือ

$$V_{p1} = \frac{C_3}{2} \left[ -1 + \sqrt{1 - \frac{4C_4}{C_3^2}} \right] \dots\dots\dots(3.26)$$

$$H_{p1} = \frac{V_{p1} - C_1}{C_2} \dots\dots\dots(3.27)$$

Complete Method of Characteristics

เนื่องจาก Approximate Method นั้นไม่คิดความเร็วของของไหลไม่คิดแต่ว่า ใน Complete Method นั้นจะนำเอาความเร็วของของไหลมาคิดรวมเข้าไปด้วย ดังนั้น จึงจัดรูปสมการได้ใหม่ดังนี้คือ

$$\frac{ds}{st} = V + a; \frac{ds}{dt} = V - a$$

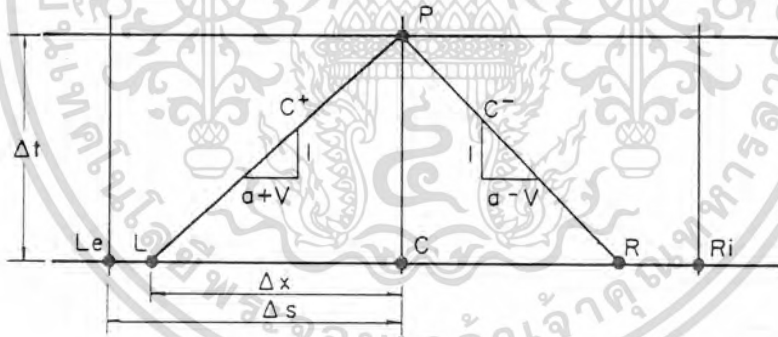
$$C+: \frac{dV}{dt} + \frac{g}{a} \frac{dH}{dt} - \frac{g}{a} V \frac{dz}{ds} + \frac{f}{2D} V|V| = 0 \text{ เมื่อ } \frac{ds}{dt} = V + a \dots\dots\dots(3.28)$$

$$C-: \frac{dV}{dt} - \frac{g}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{g}{a} V \frac{dz}{ds} + \frac{f}{2D} V|V| = 0 \text{ เมื่อ } \frac{ds}{dt} = V - a \dots\dots\dots(3.29)$$

ถ้าเขียนให้อยู่ในรูป Numerical Solution

$$\frac{V_p - V_L}{\Delta t} + \frac{g}{a} \frac{H_p - H_L}{\Delta t} - \frac{g}{a} V_L \frac{dz}{ds} + \frac{f}{2D} V_L |V_L| = 0 \dots\dots\dots(3.30)$$

$$\frac{V_p - V_R}{\Delta t} - \frac{g}{a} \frac{H_p - H_R}{\Delta t} + \frac{g}{a} V_R \frac{dz}{ds} + \frac{f}{2D} V_R |V_R| = 0 \dots\dots\dots(3.31)$$



รูปที่ 3.4 การแบ่ง Grid สำหรับการคำนวณแบบ Complete Solution

ค่าต่างๆ เช่น ค่า  $V_L, H_L, V_R, H_R$  เป็นค่า Unknown แต่สามารถที่จะหาได้ โดยการ Interpolate พิจารณา C+ Characteristic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{a + V_L}{1}$$

$$V_L = (V_{Le} - V_C) \frac{\Delta x}{\Delta s} + V_C$$

$$H_L = (H_{Le} - H_C) \frac{\Delta x}{\Delta s} + H_C$$

แทนค่าและจัดรูปสมการด้านบน 3 สมการใหม่จะได้ว่า

$$V_L = \frac{V_C + a \frac{\Delta t}{\Delta s} (V_{Le} - V_C)}{1 - \frac{\Delta t}{\Delta s} (V_{Le} - V_C)} \dots \dots \dots (3.32)$$

$$H_L = H_C + \frac{\Delta t}{\Delta s} (H_{Le} - H_C) (a + V_L) \dots \dots \dots (3.33)$$

ด้วยการวิเคราะห์แบบเดียวกัน C-Characteristic จะได้สมการดังนี้

$$V_R = \frac{V_C + a \frac{\Delta t}{\Delta s} (V_{Re} - V_C)}{1 + \frac{\Delta t}{\Delta s} (V_{Re} - V_C)} \dots \dots \dots (3.34)$$

$$H_R = H_C + \frac{\Delta t}{\Delta s} (H_{Re} - H_C) (a - V_R) \dots \dots \dots (3.35)$$

เนื่องจาก  $\frac{\Delta t}{\Delta s} (V_{Re} - V_C)$  มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ 1 ดังนั้นเราสามารถที่จะ neglect

ได้แล้วเขียนสมการใหม่ให้อยู่ในรูป สมการดังนี้

$$V_p = \frac{1}{2} \left[ (V_L + V_R) + \frac{g}{a} (H_L - H_R) + \frac{g}{a} \Delta t (V_L - V_R) \sin \theta - \frac{f \Delta t}{2D} (V_L |V_L| - V_R |V_R|) \right] \dots (3.36)$$

$$H_p = \frac{1}{2} \left[ (H_L + H_R) + \frac{a}{g} (V_L - V_R) + \Delta t (V_L + V_R) \sin \theta - \frac{a f \Delta t}{g 2D} (V_L |V_L| - V_R |V_R|) \right] \dots (3.37)$$

$$\text{ในที่นี้ } \sin \theta = \frac{dz}{ds}$$

เนื่องจากในระบบท่อหลายท่อนั้น มีค่า  $\Delta t$  น้อยที่สุด ดังนั้นจึงอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\Delta t \leq \frac{\Delta s}{\max |a + V|} \dots \dots \dots (3.38)$$

การวิเคราะห์ การคำนวณที่ Junction ต่าง ๆ เพื่อที่จะนำไปคำนวณใน Water Hammer Pipe Networks

เอกสารนี้เป็นเอกสารเนื่องจากสมการต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นเป็นเพียงสมการที่ใช้ในการคำนวณ

ไม่ว่า Interior Node และ Boundary Condition สำหรับที่เป็น Reservoir และ Constant Velocity Pump เท่านั้น

### Constant Speed Pump Boundary Condition

จากสมการ Head Pump Equation สามารถที่จะเขียนได้ดังสมการ

$$H_p = A'Q^2 + B'Q + C'$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลผ่าน Pump หรือจะ Modified Pump Equation ได้ดังนี้

$$H_{p1} = AV_{p1}^2 + BV_{p1} + C$$

โดยทั่ว ๆ ไป  $A < 0, B < 0, C > 0$

จะทำให้ได้ Characteristic Equation C- ดังนี้

$$V_{p1} - V_2 - \frac{g}{a}(AV_{p1}^2 + BV_{p1} + C) + \frac{g}{a}H_2 + \frac{f\Delta t}{2D}V_2|V_2| = 0$$

จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{g}{a}AV_{p1}^2 + \left(\frac{g}{a}B - 1\right)V_{p1} + \left(V_2 + \frac{g}{a}C - \frac{g}{a}H_2 - \frac{f\Delta t}{2D}V_2|V_2|\right) = 0 \dots\dots\dots(3.21)$$

ถ้าจัดสมการให้อยู่ในรูป Finite Difference สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณ ได้ดังนี้

$$C+:(V_{p1} - V_{i-1}) + \frac{g}{a}(H_{p1} - H_{i-1}) + \frac{f\Delta t}{2D}V_{i-1}|V_{i-1}| = 0$$

$$C-:(V_{p1} - V_{i+1}) - \frac{g}{a}(H_{p1} - H_{i+1}) + \frac{f\Delta t}{2D}V_{i+1}|V_{i+1}| = 0$$

เขียนให้อยู่ในรูปของ Finite Difference สำหรับ Interior Nodes

$$V_{p1} = \frac{1}{2} \left[ (V_{i-1} + V_{i+1}) + \frac{g}{a}(H_{i-1} - H_{i+1}) - \frac{f\Delta t}{2D}(V_{i-1}|V_{i-1}| + V_{i+1}|V_{i+1}|) \right] \dots\dots\dots(3.22)$$

$$H_{p1} = \frac{1}{2} \left[ (H_{i-1} + H_{i+1}) + \frac{a}{g}(V_{i-1} - V_{i+1}) - \frac{a}{g} \frac{f\Delta t}{2D}(V_{i-1}|V_{i-1}| - V_{i+1}|V_{i+1}|) \right] \dots\dots\dots(3.23)$$

สำหรับ Constant Speed Pump

$$V_{p1} = C_1 + C_2 H_{p1}$$

$$C_1 = V_2 - \frac{g}{a}H_2 - \frac{f\Delta t}{2D}V_2|V_2|$$

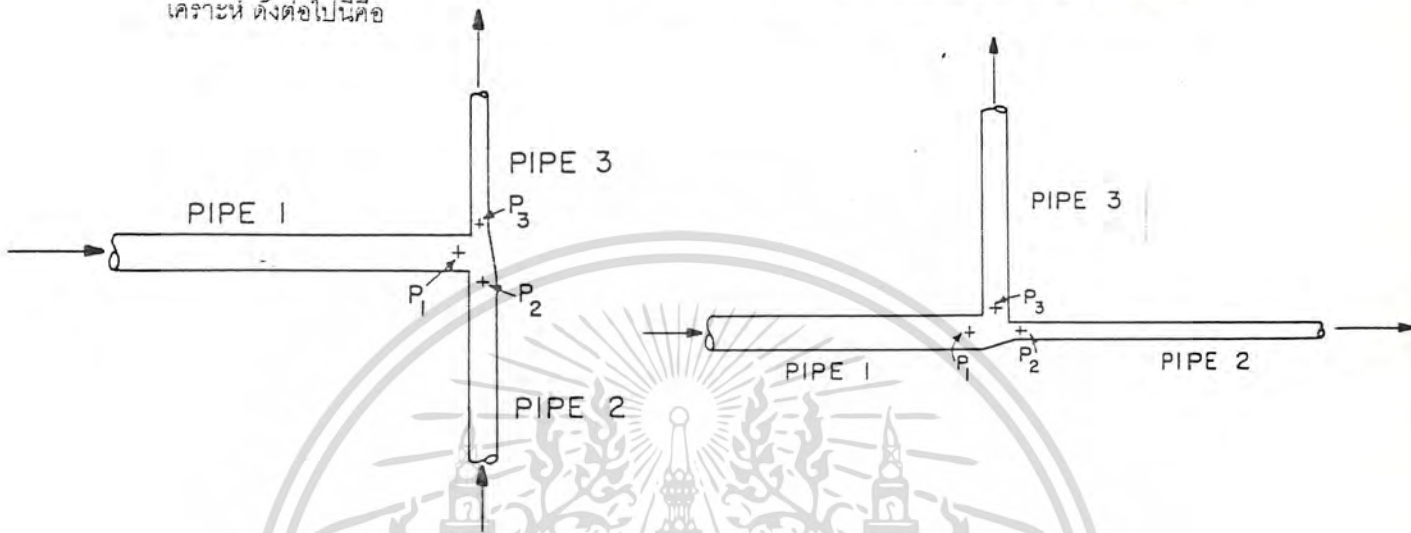
$$C_2 = \frac{g}{a}$$

ถ้าให้เครื่องคอมพิวเตอร์ คำนวณ ค่า C1 และ C2 จะเป็นเพียงตัวเลขจาก Time Step ที่แล้ว

เขียนอยู่ในรูปของ Pump Head ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
และถ้าเขียนให้อยู่ในรูปสมการ ทั่ว ๆ ไป ดังนี้

แต่ถ้าหากเป็น Junction ที่เป็น หลายทางแยกแล้ว จะใช้ Boundary Condition แบบที่กล่าวมาไม่ได้เลย  
 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการวิเคราะห์สมการที่ใช้กับ Node ที่เป็น Junction โดยที่มีวิธีที่จะวิ  
 เคราะห์ ดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 3.5 รูปท่อน ที่มี Flow rates เข้าทาง Pipe 1 และออกทาง Pipe1และ3และเข้าทาง Pipe 1และ2 แล้วออกทาง Pipe 3

เมื่อ Flow Rates เข้าทาง Pipe 1 และ Pipe 3 จะได้สมการดังนี้

pipe 1-C:  $V_{p1} = C_1 - C_2 H_{p1}$ .....(3.39)

pipe 2-C:  $V_{p2} = C_3 + C_4 H_{p2}$ .....(3.40)

pipe 3-C:  $V_{p3} = C_5 + C_6 H_{p3}$ .....(3.41)

Continuty  $V_{p1}A_1 = V_{p2}A_2 + V_{p3}A_3$ .....(3.42)

Energy  $H_{p1} = H_{p2} = H_{p3}$ .....(3.43)

จากสมการด้านบน สามารถที่จะแก้สมการได้เป็นสมการที่ 3.53 ดังนี้คือ

$$H_{p1} = H_{p2} = H_{p3} = \frac{C_1A_1 - C_2A_2 - C_3A_3}{C_2A_1 + C_4A_2 + C_6A_3}$$
.....(3.44)

หากพิจารณาแบบ ที่มี Flow Rates เข้าทาง Pipe 1 และ2 ก็จะได้การวิเคราะห์ในทำนองเดีย  
 กันดังนี้คือ

$V_{p1} = C_1 - C_2 H_{p1}$ .....(3.45)

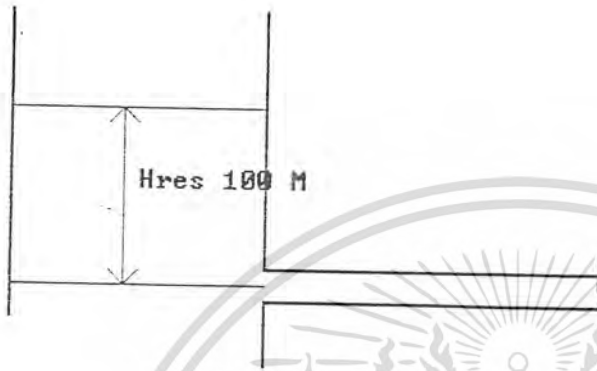
$V_{p2} = C_3 - C_4 H_{p2}$ .....(3.46)

$V_{p3} = C_5 + C_6 H_{p3}$ .....(3.47)

$H_{p1} = H_{p2} = H_{p3}$ .....(3.48)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3.2 พิจารณา รูปที่ 3.6 แสดงท่อเดี่ยว และการปิด Valve จากเดิมเปิดอยู่เต็มที่ แล้วปิดวาล์ว จนสนิทภายใต้เวลาที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการคำนวณ Simple Pipe Waterhammer

จากรูปที่ 3.6 กำหนดให้ ท่อเดี่ยวมี ความยาว 4800 เมตร Friction Factor 0.022  $a=1200$  m/s Boundary Condition ด้านซ้ายมือ เป็น Reservoir Boundary Condition ส่วนด้านขวามือเป็นท่อที่ปิดลงเรื่อยๆ สามารถหาค่า Flow Rates และ Head ได้จากสมการ

$$Q_0 = (C_d A_v)_0 \sqrt{2gH_0} \text{ สำหรับเมื่อเริ่มต้นการไหล (Steady-State Flow)}$$

$$Q_p = C_d A_v \sqrt{2gH_p}$$

$$Q_{prs} = -gB(C_d A_v)^2 + \sqrt{[gB(C_d A_v)^2]^2 + (C_d A_v)^2 2gC_p}$$

$$H_{prs} = C_p - BQ_{prs}$$

โดยที่  $C_p = H_{i-1} + Q_{i-1}(B - R|Q_{i-1}|)$

$$B = \frac{a}{gA}; R = \frac{f\Delta x}{2gDA^2}$$

สมการที่แสดงให้เห็นในด้านบนสำหรับ Boundary Condition ที่เป็นแบบท่อค่อย ๆ ปิดลงเรื่อยๆ

$(C_d A_v)_0$  เป็นพื้นที่ของการไหลของของไหลที่ Down Stream Boundary Condition ของท่อ

ในการคำนวณจะใช้การเขียนโปรแกรมเข้าช่วยในการคำนวณดังจะเห็นได้จากโปรแกรม ที่ ค.1 (ภาคผนวก)

TIME	CV	f=0.00	f=0.022	f=0.05
0.00	0.06	100.00	99.06	97.90
1.00	0.054	100.00	99.06	97.90
2.00	0.048	100.00	99.06	97.90
3.00	0.042	107.10	106.00	104.67
4.00	0.036	114.79	113.54	112.01
5.00	0.03	123.11	121.75	120.09
6.00	0.026	132.12	130.65	128.86
7.00	0.022	134.76	133.51	131.97
8.00	0.018	134.00	133.01	131.79
9.00	0.014	132.97	132.26	131.36
10.00	0.01	131.64	131.17	130.57
11.00	0.009	124.09	124.12	124.12
12.00	0.007	118.61	119.03	119.51
13.00	0.006	106.76	107.56	108.50
14.00	0.004	93.71	94.83	96.17
15.00	0.003	85.22	86.30	87.62
16.00	0.003	79.78	80.72	81.88
17.00	0.002	79.75	80.47	81.37
18.00	0.001	78.45	78.97	79.62
19.00	0.001	83.23	83.27	83.35
20.00	0.001	86.40	86.06	85.69
21.00	0.001	95.95	95.21	94.33
22.00	0.001	108.49	107.38	106.05
23.00	0.001	116.37	115.25	113.89
24.00	0.001	121.31	120.29	119.06
25.00	0.001	121.04	120.25	119.26
26.00	0.00	121.97	121.36	120.61
27.00	0.00	117.33	117.20	117.02
28.00	0.00	114.15	114.41	114.68
29.00	0.00	104.62	105.33	106.16
30.00	0.00	92.10	93.24	94.57
31.00	0.00	84.17	85.35	86.76
32.00	0.00	79.24	80.34	81.66
33.00	0.00	79.44	80.31	81.36
34.00	0.00	78.44	79.14	79.98
35.00	0.00	83.01	83.21	83.47
36.00	0.00	86.13	85.94	85.74
37.00	0.00	95.63	94.95	94.16
38.00	0.00	108.07	106.91	105.55
39.00	0.00	115.94	114.70	113.24
40.00	0.00	120.82	119.63	118.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

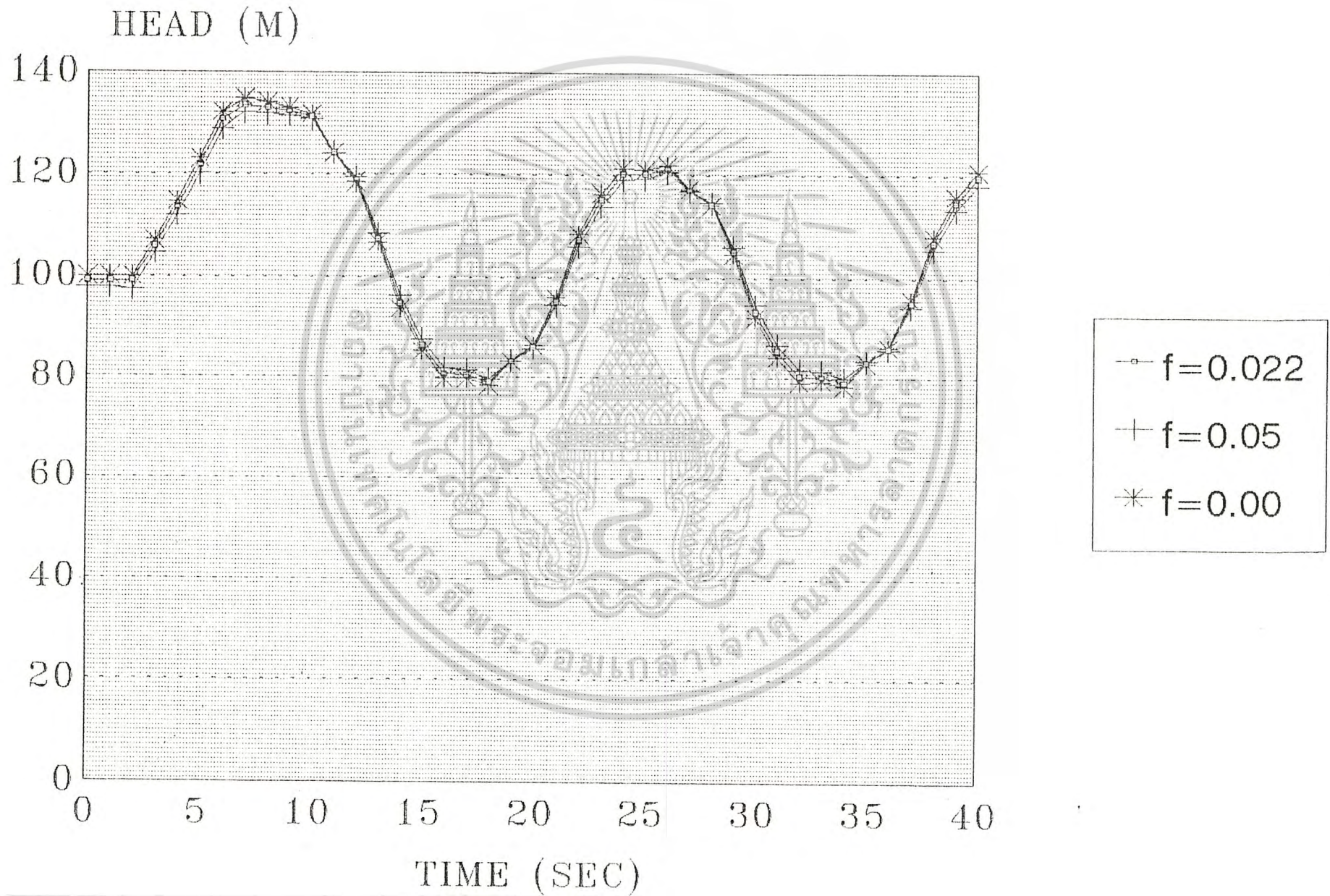
TIME	CV	f=0.00	f=0.022	f=0.050
0.00	0.06	100.00	99.06	97.90
1.00	0.048	100.00	99.06	97.90
2.00	0.036	100.00	99.06	97.90
3.00	0.024	114.79	113.54	112.01
4.00	0.012	132.12	130.55	128.65
5.00	0.00	152.39	150.62	148.46
6.00	0.00	176.02	174.09	171.73
7.00	0.00	188.70	187.28	185.53
8.00	0.00	171.37	170.61	169.65
9.00	0.00	151.10	150.96	150.77
10.00	0.00	127.46	127.82	128.23
11.00	0.00	85.21	86.69	88.44
12.00	0.00	67.88	69.92	72.33
13.00	0.00	47.62	50.13	53.12
14.00	0.00	23.98	26.94	30.47
15.00	0.00	11.31	13.97	17.18
16.00	0.00	28.63	30.38	32.47
17.00	0.00	48.90	49.79	50.85
18.00	0.00	72.54	72.61	72.72
19.00	0.00	114.79	113.09	111.14
20.00	0.00	132.12	129.63	126.76
21.00	0.00	152.39	149.15	145.40
22.00	0.00	176.02	172.06	167.47
23.00	0.00	188.70	184.31	180.31
24.00	0.00	171.37	168.67	165.54
25.00	0.00	151.10	149.49	147.63
26.00	0.00	127.46	126.97	126.39
27.00	0.00	85.21	87.13	89.25
28.00	0.00	67.88	70.82	74.10
29.00	0.00	47.62	51.56	55.99
30.00	0.00	23.98	28.92	34.46
31.00	0.00	11.31	16.37	22.07
32.00	0.00	28.63	32.26	36.34
33.00	0.00	48.90	51.22	53.80
34.00	0.00	72.54	73.44	74.45
35.00	0.00	114.79	112.66	110.38
36.00	0.00	132.12	128.75	125.09
37.00	0.00	152.39	147.76	142.71
38.00	0.00	176.02	170.13	163.69
39.00	0.00	188.70	182.48	175.69
40.00	0.00	171.37	166.83	161.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับใช้งานเท่านั้น กรุณาเก็บรักษาให้ดี ไม่ให้ผู้อื่นดูโดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลภายนอก

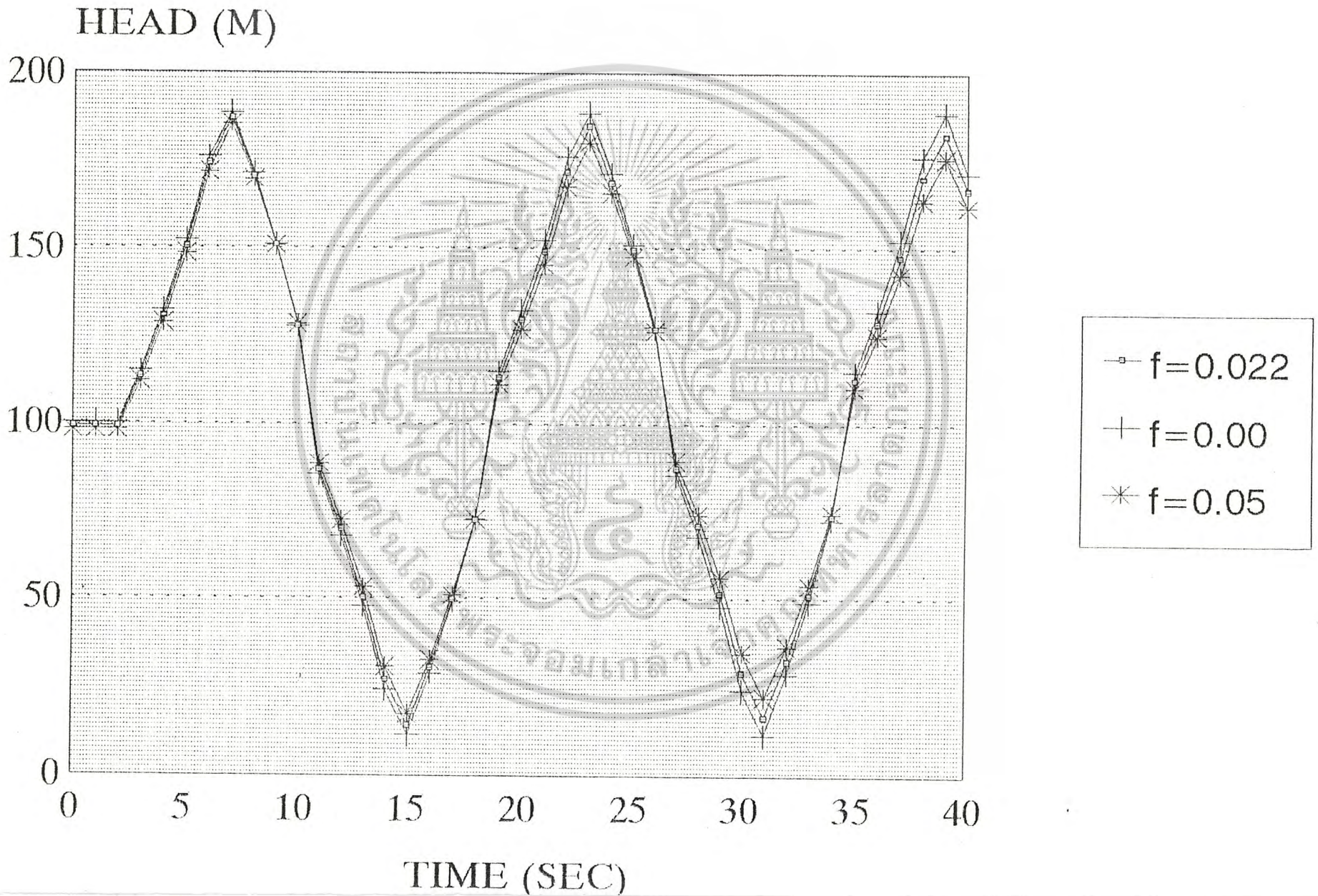
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ค่า Head ที่จุดกึ่งกลางท่อเมื่อปิดวาล์วแบบสันทภายใน 5 วินาที

# H vs TIME GRAPH WHEN SLOWLY CLOSE VALVE



# H vs TIME GRAPH WHEN SUDDENLY CLOSE VALVE



การวิเคราะห์การไหล ที่มีปรากฏการณ์ Waterhammer นี้ จะต้องใช้การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในภาคคำนวณ จากผลการคำนวณได้ผลสรุปดังตารางที่ 3.5 และ 3.6 สำหรับท่อที่ค่อย ๆ ปิดจนปิดสนิทโดยใช้เวลา 40 วินาที ตารางแสดงค่าของ Head ที่ จุดกึ่งกลางของท่อ โดย ท่อมีขนาดของ Friction Factor ขนาดต่าง ๆ เพื่อที่จะเปรียบเทียบ Head ที่เกิดขึ้นตรงกลางท่อตามตารางที่ 3.5 ส่วนตารางที่ 3.6 เป็นตารางแสดงค่า Head ที่จุดกึ่งกลางท่อเมื่อเกิดการปิดวาล์วแบบทันทีทันใด (ภายใน 5 วินาที)

สรุปผลที่ได้จากการคำนวณและการพิจารณากราฟ

1.) จากกราฟจะพบว่าเมื่อค่อย ๆ ปิด วาล์วแล้ว จะเกิด Head ขึ้นที่ จุดต่าง ๆ ของท่อ โดยมี ลักษณะขึ้น ๆ ลง ๆ โดยจะขึ้นสูงสุดในช่วงแรก ๆ หลังจากนั้นการ ขึ้น ๆ ลง ๆ ของกราฟนั้นจะมีค่าค่อย ๆ ลดลงไป

2.) จากกราฟของการปิด วาล์วแบบทันทีทันใดนั้น จะทำให้มีค่า Head สูง มากกว่าการปิด วาล์วแบบช้า ๆ โดยค่าของ Head ที่จุดใดจุดหนึ่งจะมีค่า ขึ้น ๆ ลง ๆ คล้าย Sine Wave โดยที่ กราฟของ ท่อที่มีความหยาบเป็นศูนย์นั้นเวลาผ่านไปก็ไม่ได้ทำให้ค่า Head ลดลงเลยสังเกตจากกราฟที่ได้ สำหรับท่อที่มีความหยาบสูงจะมีแนวโน้มที่ Head สูงสุดจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

3.) จะสังเกตว่าการปิดวาล์วแบบทันทีทันใดนั้น จะทำให้เกิด Head สูงมากกว่าแบบค่อย ๆ ปิด ดังนั้นในการออกแบบท่อที่มีการปิดวาล์ว แบบทันทีทันใดนั้นจะต้องระวังในเรื่อง Head ที่เกิดจากผลของ Waterhammer ด้วยมิฉะนั้นอาจทำให้เกิดความดันมากกว่าที่ออกแบบไว้ด้วยก็ได้

## การวิเคราะห์ Waterhammer Networks

การวิเคราะห์ Waterhammer Networks นั้น จะอาศัยหลักการคล้าย ๆ กับการวิเคราะห์แบบ Single Pipe คือในส่วนที่เป็น Interior node ก็จะใช้สมการ ของ Interior node โดยใช้ค่าความเร็วของไหลและค่า Head จากจุดข้าง ๆ เมื่อ Time Step ที่แล้ว เพื่อที่จะคำนวณหาค่าความเร็วและค่า Head ที่จุดตรงกลางเมื่อ Time Step ต่อไป

แต่จุดที่มีปัญหาคือจุดที่เป็น Junction Node และจุดที่เป็น Pump Node นั้นจะต้องใช้สมการสำหรับ Junction Node และ Pump Node คำนวณไปเรื่อย ๆ หากพบ Reservoir ก็จะต้องใช้ Boundary Condition ของ Reservoir เมื่อได้ครบทุกจุดแล้วก็ให้นำเอาค่า Head และค่าความเร็วไปคำนวณหาค่า Head และ ความเร็วใน Time Step ต่อไปจนเท่าที่ต้องการ จากนั้นก็ตัดเอาค่าที่มากที่สุดมาทำการแสดงเพื่อวิเคราะห์ว่าการปิด วาล์ว แบบทันทีทันใดนั้นจะทำให้เกิด Head มากที่สุดที่จุดใด เพื่อช่วยในการออกแบบระบบท่อที่มีการปิดวาล์วแบบทันทีทันใด

จะเห็นได้ว่า การคำนวณจะต้องอาศัย Initial Condition และ Boundary Condition ดังนั้นในที่นี้จะต้องทำการหาอัตราการไหลของท่อต่าง ๆ โดยใช้วิธี ต่าง ๆ 3 วิธีที่ได้กล่าวมาเมื่อต้นบท โดยจะใช้วิธีการแก้ แบบ Newton-Raphson เป็นหลักในการวิเคราะห์ ดังนั้นโปรแกรม จึงต้องเขียนรวมกันกับ Program Newton-Raphson ( Steadystate Networks) เพื่อนำไปเป็น Initial Condition ในการคำนวณ Waterhammer ต่อไป ส่วน Boudary Condition นั้น ก็แล้วแต่การแบ่ง Node ว่า เป็น Node แบบใด Junction Reservoir หรือ Pump ก็จะทำการคำนวณตามสมการแบบนั้น ซึ่งหากเขียนเป็น โปรแกรม ก็ค่อนข้างจะยุ่งยากพอสมควรดังจะสรุปได้ดังนี้คือ

### สรุปขั้นตอนการคำนวณ

1.) หลังจากได้ค่า Head ที่จุดต่าง ๆ จากขั้นตอนของการวิเคราะห์แบบ Newton-Raphson แล้วก็จะทำรับค่า ต่าง ๆ ที่จำเป็น ในการคำนวณเช่นค่า Wave Speed และค่า  $n$  part ที่ต้องการ ท่อที่ต้องการปิดอย่างทันทีทันใด

2.) หลังจากนั้น ก็ทำการคำนวณหา  $\Delta t$  ที่มีค่าน้อยที่สุด แล้วทำการหา  $\Delta s = a\Delta t$  เมื่อได้แล้วก็นำไปหาร กับค่าความยาวของท่อก็จะได้จำนวน Nodes ที่ต้องการแบ่งในแต่ละท่อ

3.) ทำการแยก Nodes ต่าง ๆ ออกเป็นชนิดว่าเป็นแบบใด Junction Reservoir หรือ Pump node

4.) ทำการคำนวณหาค่า ความเร็วที่ node ต่าง ๆ และ Head ที่จุดต่าง ๆ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณใน Step ต่อไป

5.) ทำการคำนวณใน Step ต่อไปโดยที่ปลายท่อใดปิดก็จะให้ความเร็วที่จุดนั้นเป็นศูนย์ทันที แล้วทำการคำนวณเช่นเดิมไปเรื่อย ๆ จนเท่าที่ต้องการ

6.) คัดเลือกเอาจุดที่มี Head สูงสุด มาทำการคำนวณหาความดัน สูงสุดแล้วเตรียมทำการคำนวณใน Step ต่อไป

7.) หาก เวลาอย่างน้อยกว่าที่ต้องการก็ทำการคำนวณ ในขั้นตอนที่4 ต่อไปเรื่อย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3.3 ทำการวิเคราะห์ Waterhammer Networks ในรูปที่ 3.2 เพื่อที่จะหาว่าเมื่อเวลาปิดท่อแล้ว ที่ตรงจุดใดจะมีค่า Head สูงสุด ที่ตำแหน่งใดได้ผลต่าง ๆ จากการคำนวณดังต่อไปนี้

(ผลการคำนวณดูได้จาก ภาคผนวก ค.2)

Pipe No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Npart	6	8	5	10	7	10	12	14	6	3	7

ตารางที่ 3.7 ตารางการแบ่งส่วนของแต่ละ Pipe

เมื่อทำการปิดปลายท่อที่ 8 จะได้ค่า Pmax และค่า Hmax ที่จุดต่าง ๆ ของท่อดังตารางต่อไปนี้  
 $\Delta t = 0.032785$

Pipe No.	hmax ft	Pmax Psi	Tmax	Position
1	170.849731	73.960922	0.032785	7
2	168.901489	73.117531	0.032785	2
3	172.720093	74.770599	0.032785	6
4	179.578979	77.739815	0.032785	11
5	179.578979	77.739815	0.035785	8
6	155.120605	67.151779	0.032875	11
7	179.578979	77.739815	0.032875	13
8	503.470154	217.952454	0.131140	12
9	149.390503	64.671211	0.032875	9
10	149.858643	64.873871	0.032875	4
11	188.416962	81.565781	0.032875	7

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าผลการคำนวณจากโปรแกรมเมื่อปิดปลายท่อที่ 8 อย่างทันทีทันใด

จากตารางจะเห็นได้ว่าที่ค่าของท่อที่ 8 นั้นจะมี Head และ ความดันสูงมากกว่าเมื่อไม่คิดผล  
 ของ Waterhammer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pipe No.	Hmax ft	Pmax psi	Tmax sec	Position
1	1063.579346	460.423950	0.098355	7
2	168.774414	73.062515	0.032785	2
3	172.631348	74.732185	0.032785	6
4	178.844116	77.421692	0.032785	10
5	182.017609	78.795502	0.131140	5
6	154.512695	66.888611	0.032785	10
7	177.078125	76.657196	0.032875	12
8	194.828857	84.341499	0.032875	15
9	149.370361	64.662491	0.032875	9
10	149.830444	64.861664	0.032875	4
11	194.828857	84.341499	0.032875	8

ตารางที่ 3.9 ผลการคำนวณจากโปรแกรมเมื่อเปิดปลายท่อ 1 อย่างทันทีทันใด

Pipe No.	Hmax ft	Pmax psi	Tmax	Position
1	170.763794	73.923721	0.032785	7
2	168.800049	73.073616	0.065570	2
3	172.197021	74.544167	0.032785	5
4	38.913330	16.845598	0.131140	4
5	175.998718	76.189919	0.032785	7
6	-155.013184	67.105278	0.032875	11
7	256.040894	110.840210	0.131140	10
8	88.407158	38.271496	0.131140	12
9	149.367188	64.661118	0.032875	9
10	149.823975	64.858664	0.131140	4
11	188.385101	81.551994	0.032785	7

ตารางที่ 3.10 ผลการคำนวณจากโปรแกรม เมื่อเปิดปลายท่อที่ 7 อย่างทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pipe No.	Hmax ft	Pmax Psi	Tmax	Position
1	170.803955	73.941109	0.032785	7
2	168.838257	73.090157	0.065570	2
3	172.876147	74.751579	0.032785	6
4	179.572510	77.737015	0.032785	11
5	179.572510	77.737015	0.032875	8
6	602.290283	260.731720	0.131140	8
7	179.572510	77.737015	0.032785	13
8	194.837280	84.345146	0.032785	15
9	149.376099	64.664973	0.032785	9
10	149.840820	64.866158	0.032785	4
11	194.837280	84.345146	0.032875	8

ตารางที่ 3.11 ผลการคำนวณจากโปรแกรมเมื่อปิดปลายท่อที่ 6 อย่างทันทีทันใด

#### สรุปผลการวิเคราะห์

จากผลการคำนวณปรากฏว่า เมื่อปิดปลายท่อใด ปลายท่อนั้นมักจะมี ความดัน และ Head สูงสุด ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับปลายท่อที่ปิด แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นจุดที่ท่อนั้นปิดพอดี เช่นจาก ตารางที่ 3.11 เนื่องจากท่อที่ 6 มีจำนวน Part ที่แบ่งออกเป็น 10 Part แต่ Position ที่เกิด Hmax และ Pmax ไม่ได้เกิดที่ Part ที่ 10 เสมอไป แต่จะไปเกิดที่ Part ที่ 8 ในเวลาที่ 0.032785 ซึ่งเป็น Step แรกของการ Iteration แต่ในบางกรณี เช่นตารางที่ 3.10 จุดที่เกิด Hmax และ Pmax เกิดขึ้นที่ Part ที่ 10 ซึ่งเป็น Part สุดท้ายของการแบ่ง (จุดที่ปิด วาล์ว พอดี) แต่เวลานั้นเป็นเวลา 0.131140 ซึ่งไม่ใช่ Step แรกของการ Iteration ดังนั้นจึงยังมีข้อสรุปได้ว่า Hmax และ Pmax นั้นจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใดและเวลาใด คงอาจสรุป ได้แต่เพียงว่า Hmax และ Pmax นั้นมักจะเกิดในท่อที่ทำการปิด วาล์วอย่างทันทีทันใดเท่านั้น ส่วนจะเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใด และเวลาใดนั้นยังคงต้องอาศัยการคำนวณจากโปรแกรมเข้าช่วยในการหาอยู่

หมายเหตุ ผลที่ได้จากการคำนวณ นี้ยังไม่ได้รับการยืนยัน ด้วยการทดลองจึงเป็นค่าที่ได้จากการ คำนวณเท่านั้น หากจะยืนยันต้องทำการทดลองในสภาวะจริงจึงจะสามารถที่จะยืนยันได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<conio.h>
#include<math.h>
main()
{ /*----PROGRAM 1.1 REGTANGULAR DUCT FOR LAMINAR FLOW-----*/
  int k,j,n,m;
  float unew[60][60],uold[60][60],a,g,b,dely,delz,beta,h,u,bo,l,r,c;
  clrscr();
  printf("ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT \n");
  printf("WIDTH = ");
  scanf("%f",&a);
  printf("LENGTH = ");
  scanf("%f",&b);
  printf("ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION ");
  scanf("%d",&n); c=0.00;
  printf("ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION ");
  scanf("%d",&m); dely=a/n;delz=b/m;beta=dely/delz;
  printf("ENTER THE UPPER BC. = ");scanf("%f",&u);
  printf("ENTER THE LEFT BC. = ");scanf("%f",&l);
  printf("ENTER THE RIGHT BC. = ");scanf("%f",&r);
  printf("ENTER THE BOTTOM BC. = ");scanf("%f",&bo);
  for(j=0;j<=n;j++){unew[j][0]=bo;unew[j][m]=u;}
  for(k=0;k<=m;k++){unew[0][k]=l ;unew[n][k]=r;}
  for(j=1;j<=n-1;j++)
  {
    for(k=1;k<=m-1;k++)
    {unew[j][k]=1.00;}
  }
  do
  {
    for(j=1;j<=n-1;j++)
    {for(k=1;k<=m-1;k++)
      { uold[j][k]=unew[j][k];
        unew[j][k]=(1.00/(2.00*(1.00+beta*beta)))*(beta*beta*unew[j][k-1]
          +beta*beta*unew[j][k+1]+unew[j-1][k]+unew[j+1][k]+dely*dely);}
      }
    while(fabs(unew[1][1]-uold[1][1])>0.00000001);
    /* for(j=0;j<=n;j++)
      {printf("\n");for(k=0;k<=m;k++)
        {printf("%f ",unew[j][k]);
          } */
    for(j=0;j<=n;j++)
    {
      for(k=0;k<=m;k++)
      { c=c+unew[j][k];}
      } g=c*dely*delz/a*b; h=(4*a*b)/(2*(a+b));
      printf("THE INTEGRATION = %f\n",g);
      printf("THE CONSTANCES = %f\n",1.00/g);
      printf("THE HYDRAULIC DIAMETER = %f\n",h);
      printf("THE CONSTANCES C*H*H = %f\n",h*h/g);
    }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 1
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.034866
THE CONSTANCES = 28.681377
THE HYDRAULIC DIAMETER = 1.000000
THE CONSTANCES C*H*H = 28.681377
    
```

```

A:@>pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.9
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.031218
THE CONSTANCES = 32.032871
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.947368
THE CONSTANCES C*H*H = 28.749721
    
```

```

A:@>pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.8
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.027258
THE CONSTANCES = 36.685967
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.888889
THE CONSTANCES C*H*H = 28.986443
    
```

```

A:@>pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.7
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.023030
THE CONSTANCES = 43.420848
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.823529
THE CONSTANCES C*H*H = 29.448050
    
```

```

pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.6
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.018620
THE CONSTANCES = 53.704255
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.750000
THE CONSTANCES C*H*H = 30.208643

```

```

A:@>pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.5
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.014170
THE CONSTANCES = 70.569263
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.666667
THE CONSTANCES C*H*H = 31.364119

```

```

A:@>pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.4
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.009884
THE CONSTANCES = 101.174493
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.571429
THE CONSTANCES C*H*H = 33.036572

```

```

A:@>pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.3
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.006021
THE CONSTANCES = 166.092986
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.461538
THE CONSTANCES C*H*H = 35.380755

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.2
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.002878
THE CONSTANCES = 347.423489
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.333333
THE CONSTANCES C*H*H = 38.602612

```

```

A:@>pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.1
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.000768
THE CONSTANCES = 1301.862366
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.181818
THE CONSTANCES C*H*H = 43.036775

```

```

A:@>pr2
ENTER THE DIMENSION OF RECTANGULAR DUCT
WIDTH = 0.05
LENGTH = 1
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Y DIRECTION 20
ENTER THE NUMBER OF GRID IN Z DIRECTION 20
ENTER THE UPPER BC. = 0
ENTER THE LEFT BC. = 0
ENTER THE RIGHT BC. = 0
ENTER THE BOTTOM BC. = 0
THE INTEGRATION = 0.000198
THE CONSTANCES = 5051.875239
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.095238
THE CONSTANCES C*H*H = 45.821999

```

```
A:@>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
main()
{ /*-----PROGRAM1.2 TRIANGULAR DUCT FOR LAMENAR FLOW-----*/
  int i,j,k,m;
  float dely,delz,unew[50][50],uold[50][50],l,w,c,beta,p,h,b;
  printf("ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>");
  scanf("%f",&l);
  printf("ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>");
  scanf("%f",&w);
  printf("ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>");
  scanf("%d",&m); dely=w/(2*m); delz=l/m,beta=dely/delz ,c=0;
  for(k=0;k<=m;k++)
  {
    for(j=k;j<=2*m-k;j++)
      {if(k==0){unew[j][k]=0;}
       else if((j!=0)&&(j==k)){unew[j][k]=0;}
       else if((j!=0)&&(j==(2*m-k))){unew[j][k]=0;}
       else {unew[j][k]=1;}
      }
  }
do
{
  for(k=1;k<=m-1;k++)
  {
    for(j=k+1;j<=2*m-k-1;j++)
      {uold[j][k]=unew[j][k];
       unew[j][k]=(1/(2*(1+beta*beta)))*(beta*beta*unew[j][k-1]
       +beta*beta*unew[j][k+1]+unew[j-1][k]+unew[j+1][k]+dely*dely);}
      }
  }
while(fabs(unew[4][2]-uold[4][2])>0.000001);
  for(k=0;k<=m;k++)
  {
    for(j=k;j<=2*m-k;j++)
      {c=c+unew[j][k];
       /* printf("%1.3f ",unew[j][k]);*/
       /* printf("\n");*/
      }
    h=c*dely*delz/(w*1*0.5);
    p=sqrt((w/2)*(w/2)+l*l); b=(2*w*l)/(w+2*p);
    printf("THE INTEGRATION IS      = %f \n",h);
    printf("THE CONSTANCES IS      = %f \n",1.000/h);
    printf("THE HYDRAULIC DIAMETER = %f \n",b);
    printf("THE VALUES OF C*H*H      = %f \n",b*b/h);
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tr2

```

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1
ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>2
ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15
THE INTEGRATION IS      = 0.026005
THE CONSTANCES IS      = 38.453670
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.828427
THE VALUES OF C*H*H   = 26.390428

```

B:\&gt;tr2

```

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1
ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.9
ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15
THE INTEGRATION IS      = 0.025142
THE CONSTANCES IS      = 39.773475
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.815692
THE VALUES OF C*H*H   = 26.463399

```

B:\&gt;tr2

```

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1
ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.8
ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15
THE INTEGRATION IS      = 0.024216
THE CONSTANCES IS      = 41.295148
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.801652
THE VALUES OF C*H*H   = 26.538180

```

B:\&gt;tr2

```

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1
ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.7
ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15
THE INTEGRATION IS      = 0.023229
THE CONSTANCES IS      = 43.049427
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.786149
THE VALUES OF C*H*H   = 26.605834

```

B:\&gt;tr2

```

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1
ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.6
ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15
THE INTEGRATION IS      = 0.022177
THE CONSTANCES IS      = 45.091153
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.769000
THE VALUES OF C*H*H   = 26.665132

```

B:\&gt;tr2

```

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1
ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.5
ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15
THE INTEGRATION IS      = 0.021046
THE CONSTANCES IS      = 47.514102
THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.750000
THE VALUES OF C*H*H   = 26.726682

```

B:\&gt;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.4  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.019844  
 THE CONSTANCES IS = 50.393531  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.728918  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.775148

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.3  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.018562  
 THE CONSTANCES IS = 53.873045  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.705492  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.813624

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.2  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.017200  
 THE CONSTANCES IS = 58.139136  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.679428  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.838364

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1.1  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.015758  
 THE CONSTANCES IS = 63.460639  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.650398  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.844995

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>1  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.014235  
 THE CONSTANCES IS = 70.250672  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.618034  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.833370

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>0.9  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.012637  
 THE CONSTANCES IS = 79.131285  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.581927  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.796942

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>0.8  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.010974  
 THE CONSTANCES IS = 91.127877  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.541626  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.733197

tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ===>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ====>0.7  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.009261  
 THE CONSTANCES IS = 107.976790  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.496637  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.632259

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ===>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ====>0.6  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.007524  
 THE CONSTANCES IS = 132.906974  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.446418  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.486950

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ===>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ====>0.5  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.005797  
 THE CONSTANCES IS = 172.516013  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.390388  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.291952

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ===>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ====>0.4  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.004130  
 THE CONSTANCES IS = 242.104558  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.327922  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 26.034122

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ===>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ====>0.3  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.002600  
 THE CONSTANCES IS = 384.620378  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.258356  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 25.672621

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ===>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ====>0.2  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.001305  
 THE CONSTANCES IS = 766.434875  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.180998  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 25.108481

B:\&gt;tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ===>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ====>0.05  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.000156  
 THE CONSTANCES IS = 6403.939453  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.048766  
 THE VALUES OF C\*H\*H = 15.229118

tr2

ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,HEIGHT ==>1  
 ENTER THE DIMENSION OF TRIANGLE ,WIDTH ==>0.1  
 ENTER THE NUMBER OF GRID LINE ==>15  
 THE INTEGRATION IS = 0.000395  
 THE CONSTANCES IS = 2533.173200  
 THE HYDRAULIC DIAMETER = 0.095125  
 THE VALUES OF  $C \cdot H \cdot H$  = 22.922053



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This program solves for a series pipe problem  
 The problem must first be reduced to the form  
 $(a_1*f_1+a_2*f_2+\dots+b)*v*v/2*g = c$   
 where  $v$ = velocity at exit(nozzle or last pipes)  
 Is there a nozzle at the end?(y/n)====> y  
 Diameter of nozzle(m)=====> 0.08  
 Number of pipes in series=====> 2  
 Diameter of pipe 1(m)=====> 0.3  
 Epsilon of pipe 1(m)=====> 0.00025  
 Diameter of pipe 2(m)=====> 0.15  
 Epsilon of pipe 2(m)=====> 0.00025  
 coefficient a1=====> 8.4  
 coefficient a2=====> 268.85  
 coefficient b=====> 4.85  
 coefficient c=====> 100  
 Viscosity of fluid (sq.m/sec)=====> 0.000001007

No. of iteration for f1=1  
 No. of iteration for f2=2

---

Discharge (cu.m/sec) = 0.066757



```

#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
main()
/* PARALLEL PIPES */
{
    int i,N,k;
    float R,H,P,F,Q2,D[20],L[20],E[20],A[20],Q[20],V[20],N1,Q1,H1,A1;
    clrscr();
    printf("This program solves for the parallel pipes problem\n");
    printf("Number of pipes connected in parallel= ");
    scanf("%d",&N);
    for(i=1;i<=N;i++)
    {
        printf("diameter of pipe %d(m)= ",i);
        scanf("%f",&D[i]);
        printf("length of pipe %d(m)= ",i);
        scanf("%f",&L[i]);
        printf("epsilon of pipe %d(m)= ",i);
        scanf("%f",&E[i]);
    }
    printf("viscosity of the fluid(sq.m/sec)= ");
    scanf("%e",&N1);
    printf("total of discharge (cu.m/sec)= ");
    scanf("%f",&Q1);
    for(i=1;i<=N;i++) A[i]=3.1416*D[i]*D[i]/4;
    i=1;
    Q[i]=Q1/3;
    V[i]=Q[i]/A[i];
    R=V[i]*D[i]/N1; H=log(E[i]/(3.75*D[i])+5.74/pow(R,0.9));
    P=1.325/(H*H);
    H1=(P*L[i]*V[i]*V[i])/(D[i]*2*9.81);
    for(i=2;i<=N;i++)
    {
        A1=sqrt(2*9.81*D[i]*H1/L[i]);
        F=0.02;
        for(k=1;k<=1000;k++)
        {
            V[i]=A1/sqrt(F);
            R=V[i]*D[i]/N1; H=log(E[i]/(3.75*D[i])+5.74/pow(R,0.9));
            P=1.325/(H*H);
            if(fabs(P-F)<=0.0001) break;
            else F=P;
        }
        printf("\nNo. of iteration for f %d=%d",i,k);
        Q[i]=V[i]*A[i];
    }
    Q2=0;
    for(i=1;i<=N;i++) {Q2=Q2+Q[i];}
    for(i=1;i<=N;i++) {Q[i]=Q[i]*Q1/Q2;}
    i=1;
    V[i]=Q[i]/A[i];
    R=V[i]*D[i]/N1; H=log(E[i]/(3.75*D[i])+5.74/pow(R,0.9));
    P=1.325/(H*H);
    H1=(P*L[i]*V[i]*V[i])/(2*9.81*D[i]);
    printf("\n-----");
    for(i=1;i<=N;i++)
    {
        printf("\n Discharge in pipe %d(cu.m/sec)=%f",i,Q[i]);
        printf("\nHead loss in each pipe (m)=%f",H1);
        getch();
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This program solves for the parallel pipes problem  
 Number of pipes connected in parallel= 3  
 diameter of pipe 1(m)= 0.5  
 length of pipe 1(m)= 500  
 epsilon of pipe 1(m)= 0.00025  
 diameter of pipe 2(m)= 0.3  
 length of pipe 2(m)= 200  
 epsilon of pipe 2(m)= 0.00025  
 diameter of pipe 3(m)= 0.15  
 length of pipe 3(m)= 300  
 epsilon of pipe 3(m)= 0.00025  
 viscosity of the fluid(sq.m/sec)= 0.000001007  
 total of discharge (cu.m/sec)= 2

No. of iteration for f 2=2  
 No. of iteration for f 3=2

-----  
 Dicharge in pipe 1(cu.m/sec)=1.359762  
 Dicharge in pipe 2(cu.m/sec)=0.565797  
 Dicharge in pipe 3(cu.m/sec)=0.074441  
 Head loss in each pipe (m)=41.185982



```

#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
main() /*BRANCHING PIPE*/
{ int i,N,M,k;
  float D[9],L[9],E[9],H[9],N1,S[9],Z[9],B1,A1,T[9],Q[9];
  float R[9],C,P,F,R1,A,V;
  int S1;
  clrscr();
  printf("Number of pipes= ");
  scanf("%d",&N);
  for(i=1;i<=N;i++)
  {printf("diameter of pipe %d(m)= ",i);
   scanf("%f",&D[i]);
   printf("length of pipe %d(m)= ",i);
   scanf("%f",&L[i]);
   printf("epsilon for pipe %d(m)= ",i);
   scanf("%f",&E[i]);
  }
  for(i=1;i<=N;i++)
  {printf("elevation of resevoir %d(m)= ",i);
   scanf("%f",&H[i]);
  }
  printf("Viscosity of the fluid (sq.m/sec)= ");
  scanf("%f",&N1);
  for(M=1;M<=2;M++)
  {T[M]=H[M]-(H[M]-H[M+1])/2;
   for(i=1;i<=N;i++)
   { R[i]=H[i]-T[M];S1=1;
    if(R[i]<0) {R[i]=-R[i];S1=-1;}
    A=sqrt(2*9.81*D[i]*R[i]/L[i]);
    F=0.02;
    for(k=1;k<=1000;k++)
    {V=A/sqrt(F);
     R1=V*D[i]/N1;
     C=log(E[i]/(3.75*D[i])+5.74/pow(R1,0.9));
     P=1.326/(C*C);
     if(fabs(P-F)<0.0001) break;
     else F=P;
    }
    Q[i]=(3.1416*V*D[i]*D[i]/4)*S1;
   }
   S[M]=0;
   for(i=1;i<=N;i++) S[M]=S[M]+Q[i];
  }
  B1=(T[2]-T[1])/(S[2]-S[1]);
  A1=T[1]-B1*S[1];
  M=1;
  for(k=1;k<=1000;k++)
  {T[1]=A1;
   for(i=1;i<=N;i++)
   { R[i]=H[i]-T[M];S1=1;
    if(R[i]<0) {R[i]=-R[i];S1=-1;}
    A=sqrt(2*9.81*D[i]*R[i]/L[i]);
    F=0.02;
    for(k=1;k<=1000;k++)
    {V=A/sqrt(F);
     R1=V*D[i]/N1;
     C=log(E[i]/(3.75*D[i])+5.74/pow(R1,0.9));
     P=1.326/(C*C);
     if(fabs(P-F)<0.0001) break;
     else F=P;
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

หากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    Q[i]=(3.1416*V*D[i]*D[i]/4)*S1;
  }
  S[M]=0;
  for(i=1;i<=N;i++) S[M]=S[M]+Q[i];

  if(fabs(S[M])<=0.01)
  {printf("\n-----");
   for(i=1;i<=N;i++) printf("\n Q for branch %d(cu.m/sec)=%f",i,Q[i]);
   printf("\n total head at junction (m)= %f",A1);
   printf("\n Note:negative Q means fluid flow away from the junction");
   break;
  }
  if(S[M]<0) A1=A1-0.01;
  if(S[M]>0) A1=A1+0.01;
}
getch();
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใส่ข้อมูลและการคำนวณของโปรแกรม ข.3

Number of pipes= 3  
 diameter of pipe 1(m)= 1.5  
 length of pipe 1(m)= 5000  
 epsilon for pipe 1(m)= 0.00025  
 diameter of pipe 2(m)= 0.5  
 length of pipe 2(m)= 800  
 epsilon for pipe 2(m)= 0.00025  
 diameter of pipe 3(m)= 0.75  
 length of pipe 3(m)= 1500  
 epsilon for pipe 3(m)= 0.00025  
 elevation of resevior 1(m)= 135  
 elevation of resevior 2(m)= 120  
 elevation of resevior 3(m)= 112  
 Viscosity of the fluid (sq.m/sec)= 0.000001007

Q for branch 1(cu.m/sec)=2.108089  
 Q for branch 2(cu.m/sec)=-0.566510  
 Q for branch 3(cu.m/sec)=-1.551237  
 total head at junction (m)= 131.629684  
 Note:negative Q means fluid flow away from the junction



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<conio.h>
#include<stdio.h>
#include<dos.h>
#include<math.h>
#include<ctype.h>
#include<graphics.h>

#define MAXMAINMENU 4
#define high 18 /*define color*/
#define norm 113
#define color1 07
#define color2 112
#define XMAX 319
#define YMAX 199
#define BLUE 1
#define GREEN 2
#define RED 4
#define INTENSE 8
#define BLUE_BACK 16
#define GREEN_BACK 32
#define RED_BACK 64
#define BLINK 128

char *menu[MAXMAINMENU]={" OPERATION ",
                          " DATA ",
                          " OPTION ",
                          " ABOUT PROGRAM "}; /*title menu
                          bar*/

typedef struct{
    int l,t,r,b,max;
    char *text,*save;
}PULLDOWN; /*STRUCTURE OF PULLDOWN MENU*/

char FR,UN,TYP;
int CK[20],Y[20],W[20][20];
int N,N1,NP,NPU,J,P,t5,CH,CHO,U,F,M;
int x1,y1,x2,y2;
float CC[20],L1[20],D1[20],M1[20],Q1[20];
float C[20],Z[20],R[20],V[20],E[20];
float Q[20],H[20],A0[20],A1[20],A2[20],q5[50],q8[50];
float C1,C2,G,K1,NU,SG,EPS,X;
float X0[10],X1[10],Y1[10],X2[10],Y2[10],P1[10],G2;
int startx[30],starty[30],endx[30],endy[30];
cursoroff()
{ union REGS reg;
  reg.h.ah=1;
  reg.x.cx=0x2000;
  int86(0x10,&reg,&reg);
}

cursoron()
{ union REGS reg;
  reg.h.ah=1;
  reg.h.ch=6;
  reg.h.cl=7;
  int86(0x10,&reg,&reg);
}

/*-----
เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Function Shadow(*PULLDOWN) แทนนั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น
-input : pointer of PULLDOWN
-output : shadow
-----*/

```

```

void Shadow(PULLDOWN *p)
{
    int c,chars,row=1;
    union REGS reg;
    window(p->l+2,p->t+1,p->r+2,p->b+1);
    chars =(p->r-p->l+2)*(p->b-p->t+2);
    for(c=1;c<chars;c++)
    { if (c>(p->r-p->l+2)) {c=1;
                           chars--=(p->r-p->l);
                           row++ ;
                        }
    gotoxy(c,row);
    reg.h.ah=8;
    reg.h.bh=0;
    int86(0x10,&reg,&reg);
    reg.h.ah=9;
    reg.h.bl=14;
    reg.h.bh=0;
    reg.x.cx=1;
    int86(0x10,&reg,&reg);
    }
    window(1,1,80,25);
}

/*-----
FUNCTION BORDER(*PULLDOWN)
- create the box of menu that pass into function
input : pointer of PULLDOWN
output: draw box on screen
-----*/

void Border(PULLDOWN *p)
{
    register i;
    Shadow(p);
    textattr(norm);
    for(i=p->l;i<p->r;i++)
    {
        gotoxy(i,p->t);
        cprintf("%c",196);
        gotoxy(i,p->b);
        cprintf("%c",196);
    }
    for(i=p->t;i<p->b;i++)
    {
        gotoxy(p->l,i);
        cprintf("%c",179);
        gotoxy(p->r,i);
        cprintf("%c",179);
    }

    gotoxy(p->l,p->t);cprintf("%c",218);
    gotoxy(p->r,p->t);cprintf("%c",191);
    gotoxy(p->l,p->b);cprintf("%c",192);
    gotoxy(p->r,p->b);cprintf("%c",217);
}

/*-----
Function Pull(*PULLDOWN)
- save old screen
- write text into box
input : pointer of PULLDOWN
output : box with text
-----*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 - write text into box  
 input : pointer of PULLDOWN  
 output : box with text

```

-----*/
void Pull(PULLDOWN *p)
{
    int buffer;

    buffer=(p->r-p->l+4)*
        (p->b-p->t+4)*2;
    p->save=(char *)malloc(buffer);
    gettext(p->l,p->t,p->r+2,p->b+2,p->save);
    Border(p);
    window(p->l+1,p->t+1,p->r-1,p->b-1);
    textattr(norm);
    clrscr();
    if(p->text != NULL)
        cputs(p->text);
}

/*-----
Function Restor(*PULLDOWN)
- restore old screen from Function Pull
input : pointer of PULLDOWN
output: old screen
-----*/

void Restor(PULLDOWN *p)
{
    puttext(p->l,p->t,p->r+2,p->b+2,p->save);
    free(p->save);
    p->save=NULL;
}

/*-----
Function Rewrite(*PULLDOWN,int,char)
- write text with attribute
input : 1.pointer of PULLDOWN
        2. row
        3.attribute (63=highlight,127=normal)
output: text with attribute row
-----*/

void Rewrite(PULLDOWN *p,int row,char attri)
{
    int c,chars;
    union REGS reg;

    chars=p->r-p->l;
    for(c=1;c<=chars;c++)
    { gotoxy(c,row);
      reg.h.ah=8;
      reg.h.bh=0;
      int86(0x10,&reg,&reg);
      reg.h.ah=9;
      reg.h.bl=attri;
      reg.h.bh=0;
      reg.x.cx=1;
      int86(0x10,&reg,&reg);
    }
}

/*-----
Function MenuBar
- write main menu bar at the top of screen
-----*/

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเมื่อเหตุ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
input: none
output: main menu
```

```
-----*/
void Menubar()
{
    int i,s=4;

    textattr(color1);cprintf("%80c",32);
    for(i=0;i<MAXMAINMENU;i++)
    {
        gotoxy(s,i);
        s=s+strlen(menu[i])+4;
        cprintf(menu[i]);
    }
}

/*-----
Function Selmenubar(int)
- write highlight menubar
input : order of menubar
output: highlight menubar
-----*/

void Selmenubar(int s)
{
    int i,m=4;
    for(i=0;i!=s-1;i++)
        m=m+strlen(menu[i])+4;
    gotoxy(m,1);
    textattr(high);
    cprintf(menu[i]);
    textattr(norm);
}

/*-----
Function Normalmenubar(int)
- write normal menubar
input : order of menubar
output: normal attribute of menubar
-----*/

void Normalmenubar(int s)
{
    int i,m=4;

    for(i=0;i!=s-1;i++)
        m=m+strlen(menu[i])+4;
    gotoxy(m,1);
    textattr(color1);
    cprintf(menu[i]);
    textattr(norm);
}

/*-----
Function (int)Selection(*PULLDOWN,int *)
draw pull down menu and wait for keyboard input
- process about all pull down menu
input : 1.pointer of PULLDOWN
        2.pointer of int
-----*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 ไม่ว่าการมีได้ๆหรือสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

output: 1.return choice of menu bar  
 2.pass back by value of int\* that is choice  
 of pull down menu

-----\*/

```
int Selection(PULLDOWN *p,int *down,int *vtab)
{
    int se,mainmenu=*down,old=mainmenu,row,oldrow;

    row=oldrow=*vtab;
    window(1,1,80,25);
    Selmenubar(*down);
    Pull(p);
    do{
        Rewrite(p,row,high);
        se=getch();
        if(se==0)
        {
            se=getch();
            switch(se)
            { case 72 : row--;
              if(row<1) row=p->max;
              break;
              case 80 : row++;
              if(row>p->max) row=1;
              break;
              case 75 : mainmenu--;
              if(mainmenu<1)
              mainmenu=MAXMAINMENU;
              break;
              case 77 : mainmenu++;
              if(mainmenu>MAXMAINMENU)
              mainmenu=1;
              break;
              default : break;
            }
            Rewrite(p,oldrow,norm);
        }
        oldrow=row;
    }while(se !=13 && old==mainmenu);
    window(1,1,80,25);
    Restor(p);
    *vtab=row;
    if (se==13){ *down=row;
                  return(mainmenu);
    }
    else{ *down=mainmenu;
          Normalmenubar(old);
          return(0);
    }
}
```

```
void goto_xy(x,y)
int x,y;
{
```

```
    union REGS r;
```

```
    r.h.ah=2;
```

```
    r.h.dl=x;
```

```
    r.h.dh=y;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น กรุณาแจ้งผู้จัดทำเพื่อปรับปรุงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    r.h.bh=0;
    int86(0x10, &r, &r);
}

void read_cursor_xy(x,y)
char *x,*y;
{
    union REGS r;

    r.h.ah=3;
    r.h.bh=0;
    int86(0x10,&r,&r);
    *y=r.h.dl;
    *x=r.h.dh;
}

void color_puts(s,color)
char *s;
char color;
{
    union REGS r;
    char x,y;

    read_cursor_xy(&x,&y);
    while(*s){
        if(*s=='\n'){
            printf("\n");
            s++;
            x=0;y++;
            continue;
        }
        r.h.ah=9;
        r.h.al=*s++;
        r.h.bl=color;
        r.h.bh=0;
        r.x.cx=1;
        int86(0x10,&r,&r);
        x++;
        goto_xy(x,y);
    }
}

void About()
{
    PULLDOWN *p;
    p=(PULLDOWN *)malloc(sizeof(PULLDOWN));
    p->l=20;
    p->t=8;
    p->r=59;
    p->b=12;
    p->text=" ANALYSIS OF PIPE NETWORKS DESIGN 1.0\r\n
    HARDY CROSS METHOD\r\n
    MECHANICAL ENGINEERING
    OF KMIT'L";
    p->save=NULL;
    Pull(p);
    getch();
    Restor(p);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void Pull_for_data(PULLDOWN *p)
{
    int buffer,Num,M,K,i;
    float get_option(),test,rest;
    buffer=(p->r-p->l+4)*
        (p->b-p->t+4)*2;
    p->save=(char *)malloc(buffer);
    gettext(p->l,p->t,p->r+2,p->b+2,p->save);
    Border(p);
    window(p->l+1,p->t+1,p->r-1,p->b-1);
    textattr(norm);
    clrscr();
    Num = p->t-4;
    if(Num==0){
        cprintf("Old-Number=> %d\r\nNew-Number=> ",P);
        cursoron();gotoxy(54,4);
        test=get_option();
        if(test!=0)
            P=test;
        gotoxy(1,3);cprintf("1.L 2.D 3.R 4.M 5.Q\r\n
Your choice is=>%d",CH);
        gotoxy(17,4);
        rest=get_option();
        if(rest!=0)
            CH=rest;
        if(CH==1){
            gotoxy(1,5);cprintf("N L\r\n");
            gotoxy(1,6);test=get_option();N1=test;
            gotoxy(6,6);test=get_option();L1[N1]=test;
        }
        if(CH==2){
            gotoxy(1,5);cprintf("N D\r\n");
            gotoxy(1,6);test=get_option();N1=test;
            gotoxy(6,6);test=get_option();D1[N1]=test;
        }
        if(CH==3){
            gotoxy(1,5);cprintf("N R\r\n");
            gotoxy(1,6);test=get_option();N1=test;
            gotoxy(6,6);test=get_option();R[N1]=test;
        }
        if(CH==4){
            gotoxy(1,5);cprintf("N M\r\n");
            gotoxy(1,6);test=get_option();N1=test;
            gotoxy(6,6);test=get_option();M1[N1]=test;
        }
        if(CH==5){
            gotoxy(1,5);cprintf("N Q\r\n");
            gotoxy(1,6);test=get_option();N1=test;
            gotoxy(6,6);test=get_option();Q1[N1]=test;
        }

        cursoroff();
    }
    if(Num==1){
        cprintf("Old-Num=> %d\r\nNew-Num=> ",NP);
        cursoron();gotoxy(54,4);
        test=get_option();
        if(test!=0) NP=test;
        if(NP!=0)
            gotoxy(1,3);cprintf("1.Head-Discharge 2.Power\r\n

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันไม้อ่อนอุทัยให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Your choice is=>%d",CHO);
gotoxy(17,4);
test=get_option();
if(test!=0)
    CHO=test;
}
if(CH0==1){
    for(NPU=1;NPU<=NP;NPU++)
    {
        gotoxy(1,5); cprintf("Pump-Unit=>%d",NPU);
        gotoxy(12,5); test=get_option(); if(test!=0)
            NPU=test;
        gotoxy(1,6); cprintf("X0          X1          Y1
            X2          Y2\r\n");
        gotoxy(1,7); cprintf("%.1f",X0[NPU]);
        gotoxy(11,7); cprintf("%.1f",X1[NPU]);
        gotoxy(21,7); cprintf("%.1f",Y1[NPU]);
        gotoxy(31,7); cprintf("%.1f",X2[NPU]);
        gotoxy(41,7); cprintf("%.1f",Y2[NPU]);
        gotoxy(1,7); test=get_option(); if(test!=0)
            X0[NPU]=test;
        gotoxy(11,7); test=get_option(); if(test!=0)
            X1[NPU]=test;
        gotoxy(21,7); test=get_option(); if(test!=0)
            Y1[NPU]=test;
        gotoxy(31,7); test=get_option(); if(test!=0)
            X2[NPU]=test;
        gotoxy(41,7); test=get_option(); if(test!=0)
            Y2[NPU]=test;
    }
}
if(CH0==2){
    for(NPU=1;NPU<=NP;NPU++)
    {
        gotoxy(1,5); cprintf("Pump-Unit=>%d",NPU);
        gotoxy(12,5); test=get_option(); if(test!=0)
            NPU=test;
        gotoxy(1,6); cprintf("Power=>%.2f ",P1[NPU]);
        gotoxy(8,6); test=get_option(); if(test!=0)
            P1[NPU]=test;
    }
}
cursoroff();
}
if(Num==2){
    gotoxy(1,1);cprintf("G2=>%.2f",G2);
    cursoron();gotoxy(5,1);
    test=get_option();
    if(test!=0) G2=test;
    gotoxy(1,2);
    printf("Old-Junction-Num=> %d\r\nNew-Junction-Num=>
    ",J);
    test=get_option();
    if(test!=0) J=test;
    for(N=1;N<=J;N++)
    {
        gotoxy(1,3+N);cprintf("%d",Y[N]);
        gotoxy(1,3+N);test=get_option();if(test!=0)
            Y[N]=test;
        for(M=1;M<=Y[N];M++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ออกนอกระบบของเจ้าภาพเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        gotoxy(1+4*M,3+N);cprintf("%d",W[N][M]);
        gotoxy(1+4*M,3+N);test=get_option();if(test!=0)
        W[N][M]=test;
    }
}
cursoroff();
}
if(Num==3){
    gotoxy(1,1);cprintf("Energy Num Pipe with sign");
    cursoron();
    for(N=J+1;N<=P;N++)
    {
        gotoxy(2,1+N-J);cprintf("%.2f",E[N]);
        gotoxy(2,1+N-J); test=get_option(); if(test!=0)
        E[N]=test;
        gotoxy(10,1+N-J);cprintf("%d",Y[N]);
        gotoxy(10,1+N-J); test=get_option();if(test!=0)
        Y[N]=test;
        for(M=1;M<=Y[N];M++)
        { gotoxy(12+5*M,1+N-J);cprintf("%d",W[N][M]);
          gotoxy(12+5*M,1+N-J); test=get_option();
          if(test!=0) W[N][M]=test;
        }
    }
    cursoroff();
}
if(Num==4){
    cprintf("Write Line -> "); cursoron();
    gotoxy(1+1,1); test=get_option();if(test!=0) i=test;
    gotoxy(1,2); cprintf("X Y ");
    gotoxy(1,5);cprintf("X<0-639> Y<0-479>");
    gotoxy(1,3); cprintf("From Point ");
    gotoxy(15,3); test=get_option(); startx[i]=test;
    gotoxy(22,3); test=get_option(); starty[i]=test;
    gotoxy(1,4); cprintf("To Point ");
    gotoxy(15,4); test=get_option(); endx[i]=test;
    gotoxy(22,4); test=get_option(); endy[i]=test;
    cursoroff();
}
}

```

```
void Pull_for_option(PULLDOWN *p)
```

```

{
    int buffer,Num;
    float get_option(),test;
    buffer=(p->r-p->l+4)*
        (p->b-p->t+4)*2;
    p->save=(char *)malloc(buffer);
    gettext(p->l,p->t,p->r+2,p->b+2,p->save);
    Border(p);
    window(p->l+1,p->t+1,p->r-1,p->b-1);
    textattr(norm);
    clrscr();
    Num = p->t - 4;
    if(Num==0 || Num==1 || Num==2 || Num==3 || Num==4){
        if(Num==0){
            cprintf("Old value is %.3e\r\nNew value is %e\r\n",
                W[N][M],NU);
            cursoron(); gotoxy(16,2);
            test = get_option();
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(test!=0)
            NU = test;
    }
    if(Num==1){
        cprintf("Old value is %.3f\r\nNew value is ->
            ",SG);
        cursoron(); gotoxy(16,2);
        test = get_option();
        if(test!=0)
            SG = test;
    }
    if(Num==2){
        cprintf("Old value is %.3f\r\nNew value is ->
            ",C1);
        cursoron(); gotoxy(16,2);
        test = get_option();
        if(test!=0)
            C1 = test;
    }
    if(Num==3){
        cprintf("Old value is %.3f\r\nNew value is ->
            ",C2);
        cursoron(); gotoxy(16,2);
        test = get_option();
        if(test!=0)
            C2 = test;
    }
    if(Num==4){
        cprintf("Old value is %.3e\r\nNew value is ->
            ",EPS);
        cursoron(); gotoxy(16,2);
        test = get_option();
        if(test!=0)
            EPS = test;
    }
}
else{ if(Num==5){
    cprintf("1.HW\r\n2.DW\r\n ->%d",F);
    cursoron(); gotoxy(4,3);
    test = get_option();
    if(test!=0)
        F = test;
    if( F == 1){
        FR='H';
        X=1.852;
    }
}
else{ FR='D';
    X=2;
}
}
if(Num==6){
    cprintf("1.EN\r\n2.SI\r\n ->%d",U);
    cursoron(); gotoxy(4,3);
    test = get_option();
    if(test!=0)
        U = test;
    if( U == 1){
        UN='E';
        G=32.2;
        K1=4.72;
    }
}
else{ UN='S';
    G=9.806;
    K1=10.59;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    cursoroff();
}

```

```

float get_option()
{
    char s[20],c;
    int i;

    for(i=0; (c=getchar()) != '\n';i=i+1)
        s[i] = c;
        s[i] = '\0';
    return(atof(s));
}

```

```

void Select_Data(Num)
int Num;
{
    int buffer;
    PULLDOWN *p;
    p=(PULLDOWN *)malloc(sizeof(PULLDOWN));
    p->l=19;
    p->t=4+(Num-1);
    p->r=50;if(Num==4||Num==2) p->r=70;
    p->b=12+(Num-1);if(Num==3||Num==4) p->b=20+(Num-1);
    if(Num==1) p->b=11+(Num-1); if(Num==5)
    p->b=10+(Num-1);
    p->save=NULL;
    Pull_for_data(p);
    cursoroff();
    Restor(p);
}

```

```

void Select_Option(Num)
int Num;
{
    PULLDOWN *p;
    p=(PULLDOWN *)malloc(sizeof(PULLDOWN));
    p->l=30;
    p->t=4+(Num-1);
    p->r=60;
    p->b=8+(Num-1);
    p->save=NULL;
    Pull_for_option(p);
    Restor(p);
}

```

```

Retrive_Option_File()
{
    FILE *fp;
    fp=fopen("input1.ovl","r");

    fscanf(fp,"%d",&U);
    fscanf(fp,"%d",&F);
    fscanf(fp,"%e",&NU);
    fscanf(fp,"%f",&SG);
    fscanf(fp,"%f",&C1);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาเอกสารนี้อาจอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    fscanf(fp,"%f",&C2);
    fscanf(fp,"%e",&EPS);
    fclose(fp);
}
Save_Option_File()
{
    FILE *fp;
    fp=fopen("input1.ovl","r+");

    fprintf(fp,"%d",U);
    fprintf(fp,"%d",F);
    fprintf(fp,"%e",NU);
    fprintf(fp,"%f",SG);
    fprintf(fp,"%f",C1);
    fprintf(fp,"%f",C2);
    fprintf(fp,"%e",EPS);
    fprintf(fp,"\n");
    fclose(fp);
}

Save_Data_File()
{
    FILE *fp;
    int i;
    fp=fopen("input2.ovl","r+");

    fprintf(fp,"%d",P);
    fprintf(fp,"%d",J);
    fprintf(fp,"%d",NP);
    fprintf(fp,"%d",CHO);
    for(N=1;N<=P;N++)
    {
        fprintf(fp,"%f",L1[N]);
        fprintf(fp,"%f",D1[N]);
        fprintf(fp,"%f",R[N]);
        fprintf(fp,"%f",M1[N]);
        fprintf(fp,"%f",Q1[N]);
    }
    for(N=1;N<=NP;N++)
    {
        fprintf(fp,"%f",X0[N]);
        fprintf(fp,"%f",X1[N]);
        fprintf(fp,"%f",Y1[N]);
        fprintf(fp,"%f",X2[N]);
        fprintf(fp,"%f",Y2[N]);
        fprintf(fp,"%f",P1[N]);
    }
    fprintf(fp,"%f",G2);
    for(N=1;N<=J;N++)
    {
        fprintf(fp,"%d",Y[N]);
        for(M=1;M<=Y[N];M++)
            fprintf(fp,"%d",w[N][M]);
    }
    for(N=J+1;N<=P;N++)
    {
        fprintf(fp,"%f",E[N]);
        fprintf(fp,"%d",Y[N]);
        for(M=1;M<=Y[N];M++)
            fprintf(fp,"%d",w[N][M]);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=1;i<=P;i++)
{
    fprintf(fp,"%d ",startx[i]);
    fprintf(fp,"%d ",starty[i]);
    fprintf(fp,"%d ",endx[i]);
    fprintf(fp,"%d ",endy[i]);
}
fprintf(fp,"\n");
fclose(fp);
}

```

```

Retrive_Data_File()
{
    FILE *fp;
    int i;
    fp=fopen("input2.ovl","r");

    fscanf(fp,"%d",&P);
    fscanf(fp,"%d",&J);
    fscanf(fp,"%d",&NP);
    fscanf(fp,"%d",&CHO);
    for(N=1;N<=P;N++)
    {
        fscanf(fp,"%f",&L1[N]);
        fscanf(fp,"%f",&D1[N]);
        fscanf(fp,"%f",&R[N]);
        fscanf(fp,"%f",&M1[N]);
        fscanf(fp,"%f",&Q1[N]);
    }
    for(N=1;N<=NP;N++)
    {
        fscanf(fp,"%f",&X0[N]);
        fscanf(fp,"%f",&X1[N]);
        fscanf(fp,"%f",&Y1[N]);
        fscanf(fp,"%f",&X2[N]);
        fscanf(fp,"%f",&Y2[N]);
        fscanf(fp,"%f",&P1[N]);
    }
    fscanf(fp,"%f",&G2);
    for(N=1;N<=J;N++)
    {
        fscanf(fp,"%d",&Y[N]);
        for(M=1;M<=Y[N];M++)
            fscanf(fp,"%d",&W[N][M]);
    }
    for(N=J+1;N<=P;N++)
    {
        fscanf(fp,"%f",&E[N]);
        fscanf(fp,"%d",&Y[N]);
        for(M=1;M<=Y[N];M++)
            fscanf(fp,"%d",&W[N][M]);
    }
    for(i=1;i<=P;i++)
    {
        fscanf(fp,"%d",&startx[i]);
        fscanf(fp,"%d",&starty[i]);
        fscanf(fp,"%d",&endx[i]);
        fscanf(fp,"%d",&endy[i]);
    }
    fclose(fp);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องสมุดเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

Retrive_Out_File()
{
    FILE *fp;
    int T5;
    fp=fopen("out.ovl","r");

    fscanf(fp,"%d",&t5);
    for(T5=1;T5<=t5;T5++)
        fscanf(fp,"%e",&q5[T5]);
    for(T5=1;T5<=t5;T5++)
        fscanf(fp,"%e",&q8[T5]);
    for(N=1;N<=P;N++)
        fscanf(fp,"%f",&Q[N]);
    for(N=1;N<=J;N++)
        fscanf(fp,"%f",&H[N]);
    fclose(fp);
}

```

```

Save_Out_File()
{
    FILE *fp;
    int T5;
    fp=fopen("out.ovl","r+");

    fprintf(fp,"%d",t5);
    for(T5=1;T5<=t5;T5++)
        fprintf(fp,"%e",q5[T5]);
    for(T5=1;T5<=t5;T5++)
        fprintf(fp,"%e",q8[T5]);
    for(N=1;N<=P;N++)
        fprintf(fp,"%f",Q[N]);
    for(N=1;N<=J;N++)
        fprintf(fp,"%f",H[N]);

    fprintf(fp,"\n");
    fclose(fp);
}

```

```

/*****

```

```

main()
{
    PULLDOWN *p[MAXMAINMENU+1];
    int i,*dn,mainmenu=1,row[MAXMAINMENU+1];

    cursoroff();
    dn=(int *)malloc(sizeof(int));
    for(i=1;i<MAXMAINMENU+1;i++)
        p[i]=(PULLDOWN *)malloc(sizeof(PULLDOWN));
    for(i=1;i<MAXMAINMENU+1;i++)
        row[i]=1;

    p[1]->l=4;
    p[1]->t=2;
    p[1]->r=14;
    p[1]->max=5;
    p[1]->b=p[1]->t+p[1]->max+1;
    p[1]->text=" RUN\r\n DISPLAY\r\n PICTURE\r\n SAVE\r\n QUIT";
    p[1]->save=NULL;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยศูนย์บริการและพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ ไม่อนุญาติให้ผู้อื่นใดไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถ้าหากท่านมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

p[2]->l=19;
p[2]->t=2;
p[2]->r=28;
p[2]->max=5;
p[2]->b=p[2]->t+p[2]->max+1;
p[2]->text=" PIPE\r\n PUMP\r\n NODE\r\n LOOP\r\n PIC";
p[2]->save=NULL;

```

```

p[3]->l=30;
p[3]->t=2;
p[3]->r=43;
p[3]->max=7;
p[3]->b=p[3]->t+p[3]->max+1;
p[3]->text=" VISCOSITY\r\n SG\r\n C-1\r\n C-2\r\n
TOLERANCE\r\n HW/DW\r\n UNIT ";
p[3]->save=NULL;

```

```

p[4]->l=44;
p[4]->t=2;
p[4]->r=67;
p[4]->max=1;
p[4]->b=p[4]->t+p[4]->max+1;
p[4]->text=" ABOUT THIS PROGRAM";
p[4]->save=NULL;

```

```

Retrive_Data_File();
Retrive_Option_File();
textattr(high);
clrscr();
Menubar();
About();
do{
    window(2,12,79,24);
    textattr(norm);clrscr();
    gotoxy(2,1);cprintf("N");
    gotoxy(6,1);cprintf("L");
    gotoxy(14,1);cprintf("D");
    gotoxy(22,1);cprintf("R");
    gotoxy(30,1);cprintf("M");
    gotoxy(36,1);cprintf("Q");
    gotoxy(41,1);cprintf("N");
    gotoxy(45,1);cprintf("L");
    gotoxy(53,1);cprintf("D");
    gotoxy(61,1);cprintf("R");
    gotoxy(69,1);cprintf("M");
    gotoxy(74,1);cprintf("Q");
    for(N=1;N<=P;N++)
    {
        if(N>=1 && N<=12)
        {
            gotoxy(2,1+N);cprintf("%d",N);
            gotoxy(6,1+N);cprintf("%.1f",L1[N]);
            gotoxy(14,1+N);cprintf("%.1f",D1[N]);
            gotoxy(22,1+N);cprintf("%.2f",R[N]);
            gotoxy(30,1+N);cprintf("%.1f",M1[N]);
            gotoxy(35,1+N);cprintf("%.1f",Q1[N]);
        }
        if(N>=13)
        gotoxy(41,N-11);cprintf("%d",N);
        gotoxy(45,N-11);cprintf("%.1f",L1[N]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงสถาบันที่จัดการนำใบ

```

gotoxy(53,N-11);cprintf("%.1f",D1[N]);
gotoxy(60,N-11);cprintf("%.2f",R[N]);
gotoxy(69,N-11);cprintf("%.1f",M1[N]);
gotoxy(74,N-11);cprintf("%.1f",Q1[N]);
}
}
window(1,1,80,25);
textattr(norm);
*dn=mainmenu;
do{
    i=Selection(p[mainmenu],dn,&row[mainmenu]);
    if(i==0) mainmenu=*dn;
} while(i==0);
window(1,1,80,25);
Pull(p[i]);
window(1,1,80,25);
switch(i)
{
    case 1 : switch(*dn)
        { case 1 : Run();
          Save_Out_File();
          Menubar();
          break;
          case 2 : Retrive_Out_File();
          Display();
          Menubar();
          break;
          case 3 : Picture();
          Menubar();
          break;
          case 4 : Save_Data_File();
          Save_Option_File();
          break;
          default : break;
        }
        break;
    case 2 : switch(*dn)
        { case 1 : Select_Data(*dn);
          break;
          case 2 : Select_Data(*dn);
          break;
          case 3 : Select_Data(*dn);
          break;
          case 4 : Select_Data(*dn);
          break;
          case 5 : Select_Data(*dn);
          break;
          default : break;
        }
        break;
    case 3 : switch(*dn)
        { case 1 : Select_Option(*dn);
          break;
          case 2 : Select_Option(*dn);
          break;
          case 3 : Select_Option(*dn);
          break;
          case 4 : Select_Option(*dn);
          break;
          case 5 : Select_Option(*dn);
          break;
        }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารที่นำมาใช้

```

        case 6 : Select_Option(*dn);
                break;
        case 7 : Select_Option(*dn);
                break;
        default : break;
    }
    break;
case 4 : window(1,2,80,25);
        textattr(high);clrscr();
        About();
        break;
default : break;
}

Restor(p[i]);
mainmenu=i;
}while(i!=1 || *dn!=5 );

textattr(07);
window(1,1,80,25);
clrscr();
}

Run()
{
    int T5,M,I,N;
    float Q2,Q5,Q8,Q9,B1,E1,q1,g2,G1,H1;
    float T[30],r[20],D[20],O[20];
    window(1,1,80,25);textattr(high);clrscr();
    g2=G2;
    if( U == 1){
        UN='E';
        G=32.2;
        K1=4.72;
    }else{
        UN='S';
        G=9.806;
        K1=10.59;
    }
    if( F == 1){
        FR='H';
        X=1.852;
    }else{
        FR='D';
        X=2;
    }
    for(N=1;N<=P;N++)
    {
        Q[N]=Q1[N]/C1;
        D[N]=D1[N]/C2;
        O[N]=0.8106*M1[N]/(G*pow(D[N],4));
        CK[N]=0;
        Z[N]=0;
        V[N]=Q[N];
        if(FR=='H')
            C[N]=K1*L1[N]/(pow(R[N],X)*pow(D[N],4.87));
        else{
            r[N]=R[N]/C2;
            CC[N]=1.07*L1[N]/(G*pow(D[N],5));
        }
    }
}

for(N=1;N<=NP;N++)
{
    if(NP==0) break;
    if(CHO==1)
        {
            y1=Y1[N]/C1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารของห้องสมุดโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่ได้อัปโหลดเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y2=Y2[N]/C1;
CK[N]=1;
A0[N]=X0[N];
A2[N]=(X0[N]+(X1[N]/X0[N]-1)*y2-X2[N])/
(y1*y1*y2/X0[N]-y2*y2);
A1[N]=(X1[N]-X0[N]-A2[N]*y1*y1)/X0[N];
}else{ if(UN=='E') Z[N]=P1[N]*550/(SG*62.4);
      else Z[N]=P1[N]/(SG*9.806);
}
}
goto_xy(1,5);color_puts(" TRIAL NO.      RELATIVE FLOW
CHANGE      AVERAGE FLOW CHANGE\n",GREEN|INTENSE);
for(T5=1;T5<=100;T5++)
{
  Q8=0;
  Q9=0;
  for(N=J+1;N<=P;N++)
  {
    B1=E[N];
    E1=0;
    for(M=1;M<=Y[N];M++)
    {
      I=fabs(W[N][M]);
      q1=fabs(Q[I]);
      if(FR=='H')
      {
        G1=X*C[I]*pow(q1,X-1)+2*O[I]*q1+Z[I]/(q1*q1);}
      else{ C[I]=CC[I]*1.325*pow(log(.27*r[I]/D[I]+
        pow(5.74/(q1/(.7854*NU*D[I])),.9)), -2);
        G1=X*C[I]*pow(q1,X-1)+2*O[I]*q1+Z[I]/(q1*q1);}
      H1=C[I]*pow(q1,X)+O[I]*q1*q1-Z[I]/q1;
      if(CK[I]==0){ E1=E1+G1; }
      else{ G1=G1-A1[I]-A2[I]*q1;
            H1=H1-A0[I]-A1[I]*q1-A2[I]*q1*q1;
            E1=E1+G1;
          }
      B1=B1-H1*W[N][M]*Q[I]/(q1*I);
    }
    Q2=B1/E1;
    for(M=1;M<=Y[N];M++)
    {
      I=fabs(W[N][M]);
      Q[I]=Q[I]+Q2*W[N][M]/I;
    }
  }
  for(N=1;N<=P;N++)
  {
    Q8=Q8+fabs(fabs(Q[N])-fabs(V[N]));
    Q9=Q9+fabs(Q[N]);
    V[N]=Q[N];
  }
  Q5=Q8/Q9;
  Q8=Q8*C1/P;
  q5[T5]=Q5;
  q8[T5]=Q8;
  cprintf("          %d          %d          %d          %d\n",
          T5,Q5,Q8,Q5/Q8);
  if(Q5<EPS) {t5=T5;break;}
}
}
getch();
for(N=1;N<=P;N++)
  q1=fabs(Q[N]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(FR=='H'){ T[N]=Q[N]*(C[N]*pow(q1,X-1)+O[N]*q1)
-Z[N]/Q[N]; }
else{ C[N]=CC[N]*1.325*pow(log(.27*r[N]/D[N]
+pow(5.74/(q1/(.7854*NU*D[N])),.9)), -2);
T[N]=Q[N]*(C[N]*pow(q1,X-1)+O[N]*q1)-Z[N]/Q[N];
}
if(CK[N]==1)
T[N]=T[N]-A0[N]-Q[N]*(A1[N]+A2[N]*q1);
}
for(N=1;N<=J;N++)
{
for(M=1;M<=Y[N];M++)
{
I=fabs(W[N][M]);
g2=g2-T[I]*I/W[N][M];
}
H[N]=g2;
}
clrscr();gotoxy(2,5);color_puts(" PIPE NO.
FLOW RATE\n",GREEN|INTENSE);
for(N=1;N<=P;N++)
{
Q[N]=C1*fabs(Q[N]);
cprintf(" %d %8.3f\r\n",N,Q[N]);
}
getch();
clrscr();gotoxy(2,5);color_puts(" NODE NO.
HYD. GRADE LINE\n",GREEN|INTENSE);
for(N=1;N<=J;N++)
{
cprintf(" %d %8.3f\r\n",N,H[N]);
}
getch();clrscr();
Display()
{
int T5;
window(1,1,80,25);textattr(high);clrscr();
goto_xy(1,5);color_puts(" TRIAL NO.
RELATIVE FLOW CHANGE AVERAGE FLOW CHANGE\n"
,GREEN|INTENSE);
for(T5=1;T5<=t5;T5++)
{
cprintf(" %d %8.3f %8.3f\r\n",T5,q5[T5],q8[T5]);
}
getch();clrscr();gotoxy(2,5);color_puts(" PIPE NO.
FLOW RATE\n",GREEN|INTENSE);
for(N=1;N<=P;N++)
{
cprintf(" %d %8.3f\r\n",N,Q[N]);
}
getch();clrscr();gotoxy(2,5);color_puts(" NODE NO.
HYD. GRADE LINE\n",GREEN|INTENSE);
for(N=1;N<=J;N++)
{
cprintf(" %d %8.3f\r\n",N,H[N]);
}
getch();clrscr();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Picture()
{ int i,g1=9,g2=2;
  char leg[3];
  initgraph(&g1,&g2,"");
  for(i=1;i<=P;i++)
  {
    if(i>1)
    { for(i=1;i<=P-1;i++)
      { x1=startx[i];y1=starty[i];
        x2=endx[i]; y2=endy[i];
        setcolor(2);
        line(x1,y1,x2,y2);
        itoa(i,leg,10);
        setcolor(3);
        outtextxy((x1+x2)/2,(y1+y2)/2,leg);
      }
    }
    x1=startx[i];y1=starty[i];
    x2=endx[i]; y2=endy[i];
    setcolor(2);
    line(x1,y1,x2,y2);
    itoa(i,leg,10);
    setcolor(3);
    outtextxy((x1+x2)/2,(y1+y2)/2,leg);
  }
  getch();
  closegraph();
  textattr(high);clrscr();
  cursortoff();
  return 0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<stdio.h>
#include<math.h>          โปรแกรม ค.1 โปรแกรม Simple Pipe Waterhammer
#include<conio.h>
int i,k,n,c,dc,cc;
float r,f,hp[10],h[10],hres,dt,l,d,t,cva[10],ar,b,a,h0,
      q0,tmax,q[10],j,cv,cp,qp[10],cm;
main()

```

```

/*-----PROGRAM 3.1 TRANSIENT FLOW OF SINGLE PIPE-----*/
printf("ENTER THE DIAMETER OF PIPE = ");
scanf("%f",&d);
printf("ENTER THE LENGTH OF PIPE = ");
scanf("%f",&l);
printf("ENTER THE FRICTION FACTOR = ");
scanf("%f",&f);
printf("THE NUMBER OF PARTS = ");
scanf("%d",&n);
printf("THE NUMBER OF INTERPOLATIONS =");
scanf("%d",&dc);
printf("THE H RESERVOIR = ");
scanf("%f",&hres);
printf("THE WAVE VELOCITY = ");
scanf("%f",&a);
printf("TMAX = ");
scanf("%f",&tmax);
for(i=1;i<=8;i++)
{printf("cva[%d] =",i);
scanf("%f",&cva[i]);}
ar=0.7854*d*d; b=a/(9.81*ar);t=0.00;hp[0]=hres;
dt=l/(a*n);
q0=sqrt(hres/(f*1/(2.00*9.81*d*ar*ar)+1.00/(2.00*9.81*cva[1]*cva[1])));
h0=(q0/cva[1])*(q0/cva[1])/(2*9.81);
r=(hres-h0)/(q0*q0*n);
for(i=0;i<=n;i++)
{q[i]=q0;}
printf("\n");
for(i=0;i<=n;i++)
{h[i]=(hres-i*r*q[i]*q[i]);
printf("%3.3f ",h[i]);}
printf("\n");
for(i=0;i<=n;i++)
{printf("%3.3f ",q[i]);}
printf("\n"); c=0;cc=1;
do
{ t=t+dt;c=c+1;
j=(t/dc)+1.00;if(c%dc==0){cc=cc+1;}

cv=cva[cc]+(t-(cc-1)*dc)*(cva[cc+1]-cva[cc])/dc;
printf("%3.3f %3.3f ",t,cv);
cp=h[n-1]+q[n-1]*(b-r*fabs(q[n-1]));
qp[n]=-9.81*b*cv*cv+sqrt((9.81*b*cv*cv)*(9.81*b*cv*cv)
+2*9.81*cv*cv*cp);
hp[n]=cp-b*qp[n];
qp[0]=q[1]+(hres-h[1]-r*q[1]*fabs(q[1]))/b;
for(i=1;i<=n;i++)
{cp=h[i-1]+q[i-1]*(b-r*fabs(q[i-1]));
cm=h[i+1]-q[i+1]*(b-r*fabs(q[i+1]));
hp[i]=0.5*(cp+cm);
qp[i]=(hp[i]-cm)/b;
}
for(i=0;i<=n;i++)
{h[i]=hp[i];q[i]=qp[i];}
for(i=0;i<=n;i++)
{printf("%3.3f ",h[i]);}
printf("\n");
for(i=0;i<=n;i++)
{printf("%3.3f ",q[i]);}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
printf("\n");  
}  
while(t<tmax);  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

transl
ENTER THE DIAMETER OF PIPE = 2
ENTER THE LENGTH OF PIPE = 4800
ENTER THE FRICTION FACTOR = 0.05
THE NUMBER OF PARTS = 4
THE NUMBER OF INTERPOLATIONS =5
THE H RESERVOIR = 100
THE WAVE VELOCITY = 1200
TMAX = 40
cva[1] =0.06
cva[2] =0
cva[3] =0
cva[4] =0
cva[5] =0
cva[6] =0
cva[7] =0
cva[8] =0
    
```

		100.000	98.952	97.903	96.855	95.807
		2.601	2.601	2.601	2.601	2.601
1.000	0.048	100.000	98.952	97.903	96.855	110.193
		2.601	2.601	2.601	2.601	2.232
2.000	0.036	100.000	98.952	97.903	111.103	127.098
		2.601	2.601	2.601	2.235	1.798
3.000	0.024	100.000	98.952	112.014	127.872	147.157
		2.601	2.601	2.239	1.805	1.290
4.000	0.012	100.000	112.927	128.649	147.808	170.606
		2.601	2.242	1.812	1.300	0.694
5.000	0.000	100.000	129.427	148.462	171.166	198.153
		1.890	1.819	1.310	0.707	0.000
6.000	0.000	100.000	135.391	171.726	198.674	198.606
		1.050	0.967	0.719	0.013	0.000
7.000	0.000	100.000	142.254	185.531	199.127	199.195
		0.055	-0.040	-0.324	0.013	0.000
8.000	0.000	100.000	150.131	169.654	186.060	199.647
		-1.125	-1.233	-0.744	-0.337	0.000
9.000	0.000	100.000	127.455	150.769	170.218	172.943
		-2.514	-1.825	-1.243	-0.756	0.000
10.000	0.000	100.000	101.008	128.233	137.771	140.877
		-2.517	-2.515	-1.832	-0.903	0.000
11.000	0.000	100.000	101.008	88.437	99.152	102.727
		-2.516	-2.518	-2.167	-1.072	0.000
12.000	0.000	100.000	87.556	72.329	53.756	57.605
		-2.518	-2.171	-1.756	-1.258	0.000
13.000	0.000	100.000	71.574	53.117	31.021	5.030
		-1.833	-1.763	-1.268	-0.683	0.000
14.000	0.000	100.000	65.697	30.470	4.516	4.509
		-1.021	-0.938	-0.695	-0.013	0.000
15.000	0.000	100.000	58.939	17.164	3.996	4.002
		-0.054	0.038	0.312	-0.013	0.000
16.000	0.000	100.000	51.475	32.465	16.642	3.482
		1.093	1.192	0.718	0.325	0.000
17.000	0.000	100.000	73.473	50.851	31.912	29.267
		2.433	1.769	1.203	0.730	0.000
18.000	0.000	100.000	99.030	72.718	63.363	60.258
		2.438	2.434	1.776	0.876	0.000
19.000	0.000	100.000	99.029	111.142	100.821	97.341
		2.436	2.439	2.100	1.042	0.000
20.000	0.000	100.000	111.995	126.755	144.778	141.215
		2.440	2.104	1.703	1.218	0.000
21.000	0.000	100.000	127.489	145.403	166.925	191.986
		1.778	1.711	1.228	0.660	0.000
22.000	0.000	100.000	133.280	167.466	192.493	192.566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ  
 ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ

23.000	0.000	100.000	139.935	180.306	193.073	193.001
		0.053	-0.036	-0.300	0.013	0.000
24.000	0.000	100.000	147.019	165.542	180.821	193.579
		-1.062	-1.155	-0.694	-0.313	0.000
25.000	0.000	100.000	125.657	147.629	166.086	168.656
		-2.357	-1.716	-1.165	-0.706	0.000
26.000	0.000	100.000	100.935	126.390	135.569	138.670
		-2.364	-2.359	-1.724	-0.850	0.000
27.000	0.000	100.000	100.936	89.250	99.204	102.595
		-2.361	-2.366	-2.036	-1.014	0.000
28.000	0.000	100.000	88.426	74.104	56.597	59.898
		-2.367	-2.041	-1.654	-1.181	0.000
29.000	0.000	100.000	73.390	55.987	35.009	10.816
		-1.727	-1.662	-1.191	-0.639	0.000
30.000	0.000	100.000	67.682	34.478	10.315	10.184
		-0.967	-0.885	-0.651	-0.013	0.000
31.000	0.000	100.000	61.127	22.072	9.686	9.815
		-0.052	0.035	0.289	-0.013	0.000
32.000	0.000	100.000	54.396	36.335	21.565	9.187
		1.033	1.119	0.672	0.302	0.000
33.000	0.000	100.000	75.160	53.799	35.802	33.301
		2.285	1.667	1.129	0.684	0.000
34.000	0.000	100.000	99.098	74.447	65.436	62.344
		2.294	2.288	1.674	0.825	0.000
35.000	0.000	100.000	99.097	110.382	100.772	97.466
		2.290	2.296	1.977	0.987	0.000
36.000	0.000	100.000	111.181	125.089	142.109	139.050
		2.298	1.982	1.608	1.147	0.000
37.000	0.000	100.000	125.783	142.706	163.166	186.549
		1.679	1.615	1.157	0.619	0.000
38.000	0.000	100.000	131.410	163.688	187.042	187.223
		0.943	0.861	0.631	0.013	0.000
39.000	0.000	100.000	137.867	175.688	187.714	187.534
		0.052	-0.033	-0.279	0.013	0.000
40.000	0.000	100.000	144.272	161.893	176.187	188.205
		-1.006	-1.085	-0.651	-0.291	0.000

B:\&gt;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

transl
ENTER THE DIAMETER OF PIPE = 2
ENTER THE LENGTH OF PIPE = 4800
ENTER THE FRICTION FACTOR = 0.022
THE NUMBER OF PARTS = 4
THE NUMBER OF INTERPOLATIONS =5
THE H RESERVOIR = 100
THE WAVE VELOCITY = 1200
TMAX = 40
cva[1] =0.06
cva[2] =0
cva[3] =0
cva[4] =0
cva[5] =0
cva[6] =0
cva[7] =0
cva[8] =0

```

		100.000	99.528	99.055	98.583	98.110		
		2.632	2.632	2.632	2.632	2.632		
1.000	0.048	100.000	99.528	99.055	98.583	112.718		
		2.632	2.632	2.632	2.632	2.257		
2.000	0.036	100.000	99.528	99.055	113.128	129.856		
		2.632	2.632	2.632	2.259	1.817		
3.000	0.024	100.000	99.528	113.538	130.205	150.033		
		2.632	2.632	2.260	1.820	1.302		
4.000	0.012	100.000	113.948	130.554	150.327	173.588		
		2.632	2.262	1.823	1.307	0.700		
5.000	0.000	100.000	130.904	150.621	173.841	201.090		
		1.895	1.827	1.311	0.706	0.000		
6.000	0.000	100.000	136.609	174.093	201.325	201.294		
		1.027	0.948	0.712	0.006	0.000		
7.000	0.000	100.000	143.171	187.283	201.529	201.561		
		0.007	-0.084	-0.355	0.006	0.000		
8.000	0.000	100.000	150.669	170.607	187.522	201.765		
		-1.192	-1.295	-0.788	-0.361	0.000		
9.000	0.000	100.000	127.463	150.962	170.864	173.493		
		-2.593	-1.895	-1.299	-0.794	0.000		
10.000	0.000	100.000	100.464	127.821	136.990	140.005		
		-2.594	-2.593	-1.898	-0.937	0.000		
11.000	0.000	100.000	100.464	86.692	97.085	100.547		
		-2.593	-2.594	-2.228	-1.102	0.000		
12.000	0.000	100.000	86.288	69.917	50.417	54.248		
		-2.594	-2.229	-1.798	-1.287	0.000		
13.000	0.000	100.000	69.572	50.126	27.190	0.401		
		-1.869	-1.801	-1.292	-0.695	0.000		
14.000	0.000	100.000	63.901	26.939	0.167	0.164		
		-1.014	-0.935	-0.701	-0.006	0.000		
15.000	0.000	100.000	57.386	13.971	-0.070	-0.067		
		-0.007	0.082	0.349	-0.006	0.000		
16.000	0.000	100.000	50.075	30.376	13.733	-0.304		
		1.177	1.276	0.776	0.354	0.000		
17.000	0.000	100.000	72.964	49.785	30.122	27.525		
		2.555	1.869	1.280	0.781	0.000		
18.000	0.000	100.000	99.544	72.611	63.521	60.506		
		2.557	2.555	1.872	0.924	0.000		
19.000	0.000	100.000	99.544	113.086	102.876	99.459		
		2.555	2.557	2.196	1.088	0.000		
20.000	0.000	100.000	113.484	129.626	148.860	145.166		
		2.557	2.198	1.773	1.269	0.000		
21.000	0.000	100.000	129.966	149.148	171.808	198.151		
		1.843	1.776	1.273	0.684	0.000		
22.000	0.000	100.000	135.603	172.057	198.384	198.419		
		1.001	0.923	0.690	0.006	0.000		

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ควรกรณิใดๆทั้งนี้หากมีข้อสงสัยประการใด กรุณาติดต่อฝ่ายงานของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23.000	0.000	100.000	142.073	184.810	198.652	198.617
			0.007	-0.081	-0.343	0.006
24.000	0.000	100.000	149.203	168.668	185.047	198.884
			-1.162	-1.257	-0.764	-0.349
25.000	0.000	100.000	126.621	149.490	168.920	171.486
			-2.518	-1.843	-1.262	-0.770
26.000	0.000	100.000	100.448	126.969	135.982	138.996
			-2.521	-2.518	-1.846	-0.912
27.000	0.000	100.000	100.449	87.129	97.161	100.536
			-2.519	-2.521	-2.165	-1.074
28.000	0.000	100.000	86.737	70.818	51.842	55.405
			-2.521	-2.167	-1.749	-1.251
29.000	0.000	100.000	70.482	51.557	29.166	3.255
			-1.818	-1.752	-1.255	-0.674
30.000	0.000	100.000	64.879	28.919	3.024	2.958
			-0.989	-0.910	-0.679	-0.006
31.000	0.000	100.000	58.455	16.374	2.727	2.792
			-0.007	0.080	0.337	-0.006
32.000	0.000	100.000	51.499	32.262	16.138	2.496
			1.147	1.239	0.753	0.343
33.000	0.000	100.000	73.782	51.215	32.012	29.477
			2.482	1.818	1.243	0.758
34.000	0.000	100.000	99.559	73.438	64.501	61.489
			2.486	2.482	1.821	0.900
35.000	0.000	100.000	99.559	112.662	102.802	99.470
			2.483	2.486	2.135	1.061
36.000	0.000	100.000	113.048	128.751	147.476	144.039
			2.487	2.137	1.725	1.233
37.000	0.000	100.000	129.082	147.758	169.886	195.378
			1.794	1.729	1.238	0.664
38.000	0.000	100.000	134.652	170.131	195.609	195.703
			0.977	0.898	0.669	0.006
39.000	0.000	100.000	141.031	182.475	195.932	195.839
			0.007	-0.079	-0.331	0.006
40.000	0.000	100.000	147.819	166.833	182.709	196.162
			-1.133	-1.221	-0.741	-0.337

B:\&gt;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

trans1

ENTER THE DIAMETER OF PIPE = 2  
 ENTER THE LENGTH OF PIPE = 4800  
 ENTER THE FRICTION FACTOR = 0  
 THE NUMBER OF PARTS = 4  
 THE NUMBER OF INTERPOLATIONS =5  
 THE H RESERVOIR = 100  
 THE WAVE VELOCITY = 1200  
 TMAX = 40  
 cva[1] =0.06  
 cva[2] =0  
 cva[3] =0  
 cva[4] =0  
 cva[5] =0  
 cva[6] =0  
 cva[7] =0  
 cva[8] =0

		100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
		2.658	2.658	2.658	2.658	2.658
1.000	0.048	100.000	100.000	100.000	100.000	114.787
		2.658	2.658	2.658	2.658	2.278
2.000	0.036	100.000	100.000	100.000	114.787	132.116
		2.658	2.658	2.658	2.278	1.833
3.000	0.024	100.000	100.000	114.787	132.116	152.385
		2.658	2.658	2.278	1.833	1.312
4.000	0.012	100.000	114.787	132.116	152.385	176.023
		2.658	2.278	1.833	1.312	0.705
5.000	0.000	100.000	132.116	152.385	176.023	203.481
		1.898	1.833	1.312	0.705	0.000
6.000	0.000	100.000	137.598	176.023	203.481	203.481
		1.008	0.933	0.705	0.000	0.000
7.000	0.000	100.000	143.907	188.695	203.481	203.481
		-0.033	-0.120	-0.380	0.000	0.000
8.000	0.000	100.000	151.097	171.366	188.695	203.481
		-1.247	-1.345	-0.825	-0.380	0.000
9.000	0.000	100.000	127.458	151.097	171.366	173.908
		-2.658	-1.952	-1.345	-0.825	0.000
10.000	0.000	100.000	100.000	127.458	136.310	139.250
		-2.658	-2.658	-1.952	-0.966	0.000
11.000	0.000	100.000	100.000	85.213	95.343	98.712
		-2.658	-2.658	-2.278	-1.128	0.000
12.000	0.000	100.000	85.213	67.884	47.615	51.436
		-2.658	-2.278	-1.833	-1.312	0.000
13.000	0.000	100.000	67.884	47.615	23.977	-3.481
		-1.898	-1.833	-1.312	-0.705	0.000
14.000	0.000	100.000	62.402	23.977	-3.481	-3.481
		-1.008	-0.933	-0.705	0.000	0.000
15.000	0.000	100.000	56.093	11.305	-3.481	-3.481
		0.033	0.120	0.380	0.000	0.000
16.000	0.000	100.000	48.903	28.634	11.305	-3.481
		1.247	1.345	0.825	0.380	0.000
17.000	0.000	100.000	72.542	48.903	28.634	26.092
		2.658	1.952	1.345	0.825	0.000
18.000	0.000	100.000	100.000	72.542	63.690	60.750
		2.658	2.658	1.952	0.966	0.000
19.000	0.000	100.000	100.000	114.787	104.657	101.288
		2.658	2.658	2.278	1.128	0.000
20.000	0.000	100.000	114.787	132.116	152.385	148.564
		2.658	2.278	1.833	1.312	0.000
21.000	0.000	100.000	132.116	152.385	176.023	203.481
		1.898	1.833	1.312	0.705	0.000
22.000	0.000	100.000	137.598	176.023	203.481	203.481
		1.008	0.933	0.705	0.000	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย  
 การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

		1.008	0.933	0.705	0.000	0.000
23.000	0.000	100.000	143.907	188.695	203.481	203.481
		-0.033	-0.120	-0.380	0.000	0.000
24.000	0.000	100.000	151.097	171.366	188.695	203.481
		-1.247	-1.345	-0.825	-0.380	0.000
25.000	0.000	100.000	127.458	151.097	171.366	173.908
		-2.658	-1.952	-1.345	-0.825	0.000
26.000	0.000	100.000	100.000	127.458	136.310	139.250
		-2.658	-2.658	-1.952	-0.966	0.000
27.000	0.000	100.000	100.000	85.213	95.343	98.712
		-2.658	-2.658	-2.278	-1.128	0.000
28.000	0.000	100.000	85.213	67.884	47.615	51.436
		-2.658	-2.278	-1.833	-1.312	0.000
29.000	0.000	100.000	67.884	47.615	23.977	-3.481
		-1.898	-1.833	-1.312	-0.705	0.000
30.000	0.000	100.000	62.402	23.977	-3.481	-3.481
		-1.008	-0.933	-0.705	0.000	0.000
31.000	0.000	100.000	56.093	11.305	-3.481	-3.481
		0.033	0.120	0.380	0.000	0.000
32.000	0.000	100.000	48.903	28.634	11.305	-3.481
		1.247	1.345	0.825	0.380	0.000
33.000	0.000	100.000	72.542	48.903	28.634	26.092
		2.658	1.952	1.345	0.825	0.000
34.000	0.000	100.000	100.000	72.542	63.690	60.750
		2.658	2.658	1.952	0.966	0.000
35.000	0.000	100.000	100.000	114.787	104.657	101.288
		2.658	2.658	2.278	1.128	0.000
36.000	0.000	100.000	114.787	132.116	152.385	148.564
		2.658	2.278	1.833	1.312	0.000
37.000	0.000	100.000	132.116	152.385	176.023	203.481
		1.898	1.833	1.312	0.705	0.000
38.000	0.000	100.000	137.598	176.023	203.481	203.481
		1.008	0.933	0.705	0.000	0.000
39.000	0.000	100.000	143.907	188.695	203.481	203.481
		-0.033	-0.120	-0.380	0.000	0.000
40.000	0.000	100.000	151.097	171.366	188.695	203.481
		-1.247	-1.345	-0.825	-0.380	0.000

B:\&gt;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

transl
ENTER THE DIAMETER OF PIPE = 2
ENTER THE LENGTH OF PIPE = 4500
ENTER THE FRICTION FACTOR = 0.05
THE NUMBER OF PARTS = 4
THE NUMBER OF INTERPOLATIONS =5
THE H RESERVOIR = 100
THE WAVE VELOCITY = 1200
TMAX = 40
cva[1] =0.06
cva[2] =0.03
cva[3] =0.01
cva[4] =0.003
cva[5] =0.001
cva[6] =0.0005
cva[7] =0.0002
cva[8] =0.0000
    
```

		100.000	95.952	97.903	96.555	95.507
		2.601	2.601	2.601	2.601	2.601
1.000	0.054	100.000	95.952	97.903	96.555	102.709
		2.601	2.601	2.601	2.601	2.424
2.000	0.048	100.000	95.952	97.903	103.688	110.193
		2.601	2.601	2.601	2.426	2.232
3.000	0.042	100.000	95.952	104.665	111.103	118.409
		2.601	2.601	2.428	2.235	2.024
4.000	0.036	100.000	105.649	112.014	119.250	127.313
		2.601	2.429	2.239	2.030	1.799
5.000	0.030	100.000	112.927	120.092	128.056	137.065
		2.261	2.242	2.035	1.806	1.556
6.000	0.026	100.000	114.368	128.862	137.774	144.084
		1.890	1.871	1.813	1.564	1.352
7.000	0.022	100.000	115.913	131.969	144.753	151.589
		1.455	1.468	1.405	1.392	1.200
8.000	0.018	100.000	117.552	131.787	145.742	159.451
		1.050	1.028	1.051	1.044	1.007
9.000	0.014	100.000	115.574	131.357	146.478	156.056
		0.572	0.635	0.670	0.670	0.775
10.000	0.010	100.000	113.785	130.568	141.683	151.267
		0.229	0.217	0.259	0.403	0.545
11.000	0.009	100.000	114.695	124.119	135.375	139.817
		-0.137	-0.149	-0.049	0.135	0.450
12.000	0.007	100.000	110.336	119.506	122.269	126.671
		-0.526	-0.403	-0.272	-0.001	0.359
13.000	0.006	100.000	104.826	108.498	110.817	111.653
		-0.667	-0.649	-0.355	-0.049	0.271
14.000	0.004	100.000	95.187	96.170	97.903	101.252
		-0.771	-0.619	-0.425	-0.082	0.196
15.000	0.003	100.000	91.376	87.621	86.652	89.804
		-0.571	-0.547	-0.346	-0.150	0.126
16.000	0.003	100.000	89.450	81.578	79.533	75.755
		-0.325	-0.299	-0.302	-0.138	0.100
17.000	0.002	100.000	70.504	81.367	70.990	70.968
		-0.527	-0.050	-0.091	-0.022	0.052
18.000	0.002	100.000	81.816	79.815	72.004	67.574
		0.164	0.150	0.199	0.120	0.000
19.000	0.001	100.000	89.113	83.352	76.197	73.731
		0.358	0.443	0.400	0.257	0.054
20.000	0.001	100.000	91.437	85.855	86.267	85.761
		0.722	0.607	0.530	0.325	0.041
21.000	0.001	100.000	96.554	94.331	95.228	97.356
		0.525	0.551	0.254	0.036	
22.000	0.001	100.000	102.583	106.052	105.395	104.566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดาวน์โหลดฟรีที่ [www.ksars.com](http://www.ksars.com) และหาซื้อได้ที่ร้านหนังสือชั้นนำทั่วประเทศ

23.000	0.001	100.000	109.461	113.892	115.666	113.675	0.673	0.648	0.464	0.314	0.033
24.000	0.001	100.000	111.010	119.050	122.152	126.699	0.403	0.389	0.400	0.251	0.030
25.000	0.001	100.000	109.589	119.264	130.070	130.920	0.106	0.157	0.176	0.116	0.025
26.000	0.000	100.000	108.255	120.608	128.029	133.727	-0.090	-0.107	-0.127	-0.049	0.023
27.000	0.000	100.000	111.019	117.021	124.266	125.391	-0.315	-0.373	-0.332	-0.220	0.019
28.000	0.000	100.000	108.765	114.654	114.392	115.095	-0.655	-0.543	-0.466	-0.264	0.015
29.000	0.000	100.000	103.681	106.153	105.533	103.650	-0.767	-0.748	-0.475	-0.230	0.012
30.000	0.000	100.000	97.416	94.569	95.459	96.229	-0.540	-0.698	-0.512	-0.199	0.009
31.000	0.000	100.000	90.923	86.757	85.286	87.443	-0.630	-0.604	-0.423	-0.272	0.007
32.000	0.000	100.000	89.358	81.662	78.755	74.514	-0.370	-0.355	-0.365	-0.217	0.005
33.000	0.000	100.000	90.740	81.362	70.900	70.216	-0.051	-0.131	-0.149	-0.058	0.003
34.000	0.000	100.000	92.008	79.979	72.524	67.410	0.105	0.124	0.145	0.070	0.001
35.000	0.000	100.000	89.240	83.465	76.487	75.548	0.329	0.353	0.343	0.235	0.000
36.000	0.000	100.000	91.463	85.741	86.179	85.611	0.655	0.545	0.472	0.273	0.000
37.000	0.000	100.000	96.454	94.160	94.545	96.799	0.766	0.747	0.475	0.237	0.000
38.000	0.000	100.000	102.669	105.553	104.761	104.076	0.535	0.695	0.512	0.205	0.000
39.000	0.000	100.000	109.035	113.237	114.761	112.718	0.625	0.600	0.422	0.274	0.000
40.000	0.000	100.000	110.551	115.221	121.179	125.434	0.367	0.352	0.363	0.217	0.000

B: &gt;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

transl
ENTER THE DIAMETER OF PIPE = 2
ENTER THE LENGTH OF PIPE = 4800
ENTER THE FRICTION FACTOR = 0.0000
THE NUMBER OF PARTS = 4
THE NUMBER OF INTERPOLATIONS =5
THE H RESERVOIR = 100
THE WAVE VELOCITY = 1200
IMAN = 40
cva[1] =0.06
cva[2] =0.03
cva[3] =0.01
cva[4] =0.003
cva[5] =0.001
cva[6] =0.0005
cva[7] =0.0002
cva[8] =0.00000
    
```

		100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
		2.655	2.655	2.655	2.655	2.655
1.000	0.054	100.000	100.000	100.000	100.000	107.099
		2.655	2.655	2.655	2.655	2.475
2.000	0.045	100.000	100.000	100.000	107.099	114.757
		2.655	2.655	2.655	2.475	2.275
3.000	0.042	100.000	100.000	107.099	114.757	123.109
		2.655	2.655	2.475	2.275	2.064
4.000	0.036	100.000	107.099	114.757	123.109	132.116
		2.655	2.475	2.275	2.064	1.833
5.000	0.030	100.000	114.787	123.109	132.116	141.856
		2.293	2.275	2.064	1.833	1.583
6.000	0.026	100.000	116.010	132.116	141.856	148.784
		1.593	1.582	1.583	1.583	1.405
7.000	0.022	100.000	117.329	134.757	148.784	156.075
		1.471	1.453	1.400	1.405	1.217
8.000	0.018	100.000	118.747	138.098	148.979	163.755
		1.008	0.989	1.025	1.035	1.020
9.000	0.014	100.000	116.669	132.969	148.968	158.851
		0.508	0.580	0.624	0.641	0.782
10.000	0.010	100.000	114.222	121.630	142.841	152.603
		0.152	0.142	0.195	0.370	0.547
11.000	0.009	100.000	114.970	124.094	135.274	139.730
		-0.223	-0.233	-0.111	0.102	0.450
12.000	0.007	100.000	109.572	115.605	120.983	125.345
		-0.617	-0.476	-0.326	-0.031	0.357
13.000	0.006	100.000	103.634	106.761	108.679	109.310
		-0.730	-0.710	-0.395	-0.071	0.269
14.000	0.004	100.000	96.589	93.705	95.055	95.355
		-0.504	-0.650	-0.456	-0.097	0.193
15.000	0.003	100.000	90.074	85.216	83.415	86.512
		-0.570	-0.549	-0.350	-0.191	0.124
16.000	0.003	100.000	88.327	79.751	76.640	72.162
		-0.294	-0.270	-0.255	-0.130	0.095
17.000	0.002	100.000	89.707	79.751	65.525	65.442
		0.027	-0.030	-0.050	0.004	0.051
18.000	0.002	100.000	91.424	75.454	71.553	66.177
		0.235	0.250	0.259	0.161	0.065
19.000	0.001	100.000	88.747	83.226	76.104	75.702
		0.470	0.524	0.460	0.320	0.054
20.000	0.001	100.000	91.502	86.397	87.375	86.947
		0.813	0.651	0.584	0.354	0.041
21.000	0.001	100.000	97.649	95.951	97.240	99.290
		0.591	0.573	0.574	0.306	0.040
22.000	0.001	100.000	104.149	105.493	108.175	107.710

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ควรเผยแพร่ทั้งในสื่อทางอิเล็กทรอนิกส์และสิ่งพิมพ์อื่น ๆ

			0.934	0.785	0.595	0.260	0.037
23.000	0.001	100.000	110.843	116.374	118.962	116.995	
			0.678	0.655	0.471	0.326	0.034
24.000	0.001	100.000	112.224	121.313	125.193	130.465	
			0.377	0.364	0.386	0.244	0.030
25.000	0.001	100.000	110.469	121.044	132.815	133.700	
			0.050	0.108	0.135	0.091	0.026
26.000	0.000	100.000	108.819	121.972	129.551	135.465	
			-0.161	-0.176	-0.188	-0.081	0.023
27.000	0.000	100.000	111.503	117.326	124.621	125.664	
			-0.403	-0.457	-0.395	-0.256	0.019
28.000	0.000	100.000	103.507	114.152	113.440	114.072	
			-0.752	-0.621	-0.525	-0.295	0.015
29.000	0.000	100.000	102.649	104.620	103.602	101.498	
			-0.840	-0.820	-0.522	-0.254	0.012
30.000	0.000	100.000	96.113	92.100	92.679	93.389	
			-0.888	-0.740	-0.549	-0.215	0.009
31.000	0.000	100.000	89.450	84.172	81.886	84.058	
			-0.640	-0.617	-0.433	-0.287	0.006
32.000	0.000	100.000	88.058	79.237	75.551	70.543	
			-0.346	-0.334	-0.355	-0.212	0.004
33.000	0.000	100.000	89.787	79.435	67.894	67.184	
			-0.027	-0.084	-0.112	-0.064	0.003
34.000	0.000	100.000	91.379	78.444	71.071	65.363	
			0.178	0.195	0.207	0.163	0.001
35.000	0.000	100.000	88.697	88.012	78.912	75.071	
			0.416	0.470	0.409	0.272	0.000
36.000	0.000	100.000	91.633	86.126	87.012	86.515	
			0.761	0.631	0.535	0.207	0.000
37.000	0.000	100.000	97.469	95.633	96.731	98.954	
			0.346	0.326	0.525	0.262	0.000
38.000	0.000	100.000	104.000	105.074	107.574	106.945	
			0.591	0.743	0.554	0.221	0.000
39.000	0.000	100.000	110.605	115.941	118.288	116.195	
			0.640	0.619	0.436	0.291	0.000
40.000	0.000	100.000	111.942	120.519	124.562	122.631	
			0.346	0.334	0.356	0.215	0.000

E: &gt;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

transl
ENTER THE DIAMETER OF PIPE = 2
ENTER THE LENGTH OF PIPE = 4800
ENTER THE FRICTION FACTOR = 0.022
THE NUMBER OF PARTS = 4
THE NUMBER OF INTERPOLATIONS = 5
THE H RESERVOIR = 100
THE WAVE VELOCITY = 1200
TMAX = 40
cva[1] = 0.06
cva[2] = 0.03
cva[3] = 0.01
cva[4] = 0.003
cva[5] = 0.001
cva[6] = 0.0005
cva[7] = 0.0002
cva[8] = 0.00000
    
```

		100.000	99.528	99.055	98.583	98.110
		2.632	2.632	2.632	2.632	2.632
1.000	0.054	100.000	99.528	99.055	98.583	105.121
		2.632	2.632	2.632	2.632	2.452
2.000	0.048	100.000	99.528	99.055	105.562	112.718
		2.632	2.632	2.632	2.453	2.257
3.000	0.042	100.000	99.528	106.004	113.123	120.093
		2.632	2.632	2.454	2.259	2.046
4.000	0.036	100.000	106.445	113.535	121.372	129.954
		2.632	2.455	2.260	2.049	1.818
5.000	0.030	100.000	113.948	121.751	130.303	139.702
		2.279	2.262	2.051	1.821	1.571
6.000	0.026	100.000	115.272	130.652	140.022	146.673
		1.895	1.877	1.824	1.575	1.395
7.000	0.022	100.000	116.695	133.508	146.974	154.064
		1.479	1.460	1.403	1.399	1.210
8.000	0.018	100.000	118.228	133.011	147.532	161.526
		1.027	1.007	1.037	1.039	1.014
9.000	0.014	100.000	116.317	132.255	147.861	157.610
		0.537	0.606	0.645	0.654	0.779
10.000	0.010	100.000	114.031	131.169	142.309	152.024
		0.187	0.176	0.224	0.355	0.546
11.000	0.009	100.000	114.552	124.120	135.340	139.793
		-0.154	-0.195	-0.083	0.117	0.450
12.000	0.007	100.000	110.089	119.025	121.581	125.964
		-0.576	-0.443	-0.302	-0.018	0.358
13.000	0.006	100.000	104.181	107.557	109.656	110.352
		-0.702	-0.683	-0.375	-0.061	0.270
14.000	0.004	100.000	97.480	94.528	96.365	99.700
		-0.790	-0.636	-0.442	-0.090	0.195
15.000	0.003	100.000	90.661	86.301	84.879	88.000
		-0.571	-0.549	-0.349	-0.186	0.125
16.000	0.003	100.000	88.829	80.722	77.941	73.784
		-0.305	-0.284	-0.293	-0.134	0.099
17.000	0.002	100.000	90.061	80.471	89.430	89.571
		0.004	-0.053	-0.069	-0.008	0.051
18.000	0.002	100.000	91.642	78.969	72.101	66.789
		0.202	0.218	0.232	0.146	0.065
19.000	0.001	100.000	88.909	83.271	76.127	75.693
		0.433	0.487	0.433	0.305	0.054
20.000	0.001	100.000	91.629	86.062	86.857	86.392
		0.772	0.647	0.560	0.341	0.041
21.000	0.001	100.000	97.143	95.205	96.316	98.572
		0.562	0.544	0.555	0.296	0.040
22.000	0.001	100.000	103.561	107.377	106.910	106.414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานราชการเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตของทางราชการทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23.000	0.001	100.000	110.216	115.248	117.463	115.486
			0.676	0.652	0.468	0.320
24.000	0.001	100.000	111.679	120.291	123.817	128.754
			0.389	0.376	0.393	0.247
25.000	0.001	100.000	110.075	120.245	131.577	132.448
			0.075	0.130	0.155	0.103
26.000	0.000	100.000	108.567	121.361	128.876	134.693
			-0.129	-0.145	-0.160	-0.066
27.000	0.000	100.000	111.255	117.198	124.478	125.562
			-0.365	-0.418	-0.366	-0.240
28.000	0.000	100.000	108.631	114.406	113.888	114.556
			-0.708	-0.586	-0.498	-0.281
29.000	0.000	100.000	103.129	105.330	104.493	102.501
			-0.807	-0.787	-0.501	-0.243
30.000	0.000	100.000	96.713	93.236	93.952	94.689
			-0.867	-0.721	-0.532	-0.208
31.000	0.000	100.000	90.122	85.351	83.441	85.604
			-0.636	-0.612	-0.429	-0.280
32.000	0.000	100.000	88.645	80.338	77.009	72.358
			-0.357	-0.344	-0.360	-0.214
33.000	0.000	100.000	90.216	80.306	69.259	68.559
			-0.052	-0.106	-0.129	-0.075
34.000	0.000	100.000	91.660	79.137	71.856	66.281
			0.145	0.162	0.179	0.088
35.000	0.000	100.000	88.922	83.210	76.187	75.267
			0.376	0.430	0.379	0.255
36.000	0.000	100.000	91.850	85.938	80.616	80.086
			0.714	0.593	0.506	0.291
37.000	0.000	100.000	97.007	94.947	95.858	97.959
			0.810	0.790	0.505	0.251
38.000	0.000	100.000	103.383	106.908	108.281	105.628
			0.866	0.722	0.535	0.214
39.000	0.000	100.000	109.888	114.702	116.666	114.600
			0.634	0.611	0.430	0.284
40.000	0.000	100.000	111.311	119.633	123.014	127.701
			0.856	0.343	0.360	0.216

B: > transl  
 ENTER THE DIAMETER OF PIPE = 2  
 ENTER THE LENGTH OF PIPE = 4800  
 ENTER THE FRICTION FACTOR = 0.05  
 THE NUMBER OF PARTS = 4  
 THE NUMBER OF INTERPOLATIONS = 5  
 THE H RESERVOIR = 100  
 THE WAVE VELOCITY = 1200  
 TMAX = 40  
 cva[1] = 0.06  
 cva[2] = 0.03  
 cva[3] = 0.01  
 cva[4] = 0.003  
 cva[5] = 0.001  
 cva[6] = 0.0005  
 cva[7] = 0.0002  
 cva[8] = 0.00000

		100.000	95.952	97.903	96.888	95.807
		2.601	2.601	2.601	2.601	2.601
1.000	0.054	100.000	95.952	97.903	96.888	102.709
			2.601	2.601	2.601	2.424
2.000	0.048	100.000	95.952	97.903	103.688	110.193
			2.601	2.601	2.601	2.426
3.000	0.042	100.000	95.952	104.668	111.103	118.409
			2.601	2.601	2.601	2.424
4.000	0.036	100.000	105.649	112.014	119.250	127.313
			2.601	2.601	2.601	2.424

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้  
 ไม่สามารถเผยแพร่ได้ทั้งในและนอกองค์กร

## วิธีการใช้ โปรแกรม ค.2

- 1.) เมื่อทำการ Run Program แล้ว จะมี Message ว่า "ENTER THE NUMBER OF PIPE" ให้ทำการป้อนค่า จำนวน Pipe ในระบบ ลงไปแล้วกดแป้น ENTER ตัวแปรจะถูกเก็บลงไปในตัวแปรชื่อ n
- 2.) เมื่อกด ENTER แล้วจะปรากฏ Message ว่า ENTER THE NUMBER OF LOOP ให้ทำการป้อนค่าจำนวน Loop ที่จะต้องใช้ในการคำนวณ ลงไปกด ENTERรวมทั้ง Loopเทียบด้วย ตัวเลขจะถูกเก็บในตัวแปรชื่อ ni
- 3.) เมื่อปรากฏ ENTER THE NUMBER OF PSEUDO LOOP แล้วให้ป้อนค่า Loop เทียมลงไป แล้วกด ENTER ตัวเลขจะถูกเก็บลงในตัวแปร nsi
- 4.) เมื่อปรากฏ ENTER THE NUMBER OF NODES ให้ป้อนจำนวน Node ที่มีในระบบลงไป แล้วกดแป้น ENTER ตัวเลขจะถูกเก็บลงไปในตัวแปร nodes
- 5.) เมื่อปรากฏ ENTER THE NELEV หมายถึงให้ใส่ Reference Nodes ลงไป
- 6.) เมื่อปรากฏ Message ที่ให้ใส่รายละเอียดเกี่ยวกับท่อให้ใส่เรียงกันไปดังนี้ 1 No ของ Pipe 2 Junction in ของ pipe (nodeที่กระแสน้ำไหลเข้า) 3 Junction out ของ Pipe คือ Nodeที่ กระแสน้ำออกจาก Pipe 4 Diameter ของ Pipe หน่วยเป็น นิ้ว 5 ความยาวของ Pipe 6 ระดับความสูงของ node ทางเข้าของ กระแสใน Pipe 7 ระดับความสูงของ node ที่ทางออกของกระแสน้ำของ Pipe 8 ค่าความหยาบ เป็นนิ้ว 9.ค่า Initial Flow โดยที่เมื่อป้อนแต่ละตัวแล้วก็ต้องกด Space Bar 1 ครั้งจึงทำการป้อนต่อไป หลังจากเมื่อป้อนครบทั้ง 9 ตัวแล้วกด จิงENTER ก็จะปรากฏ ช่องให้เติมของ Pipe ต่อไปเรื่อย ๆ จนครบทุก Pipe
- 7.) หลังจากนั้นจะปรากฏ Message ว่า THE NUMBER OF PIPE IN LOOP 1 ให้เติมจำนวนPipe ใน Loopที่ 1 ลงไป แล้วกด ENTER
- 8.) เมื่อปรากฏ Message LOOP 1 PIPE 1 ให้ทำการป้อนชื่อ Pipe ใน Loop ที่ 1 ลงไปแล้วกด ENTER โดยเป็นวงหาคกระแสด Initial Flow ตามเข็มนาฬิกา และเป็น ลบหาก ทวนเข็มนาฬิกา
- 9.) เมื่อป้อนข้อมูลเกี่ยวกับ Loop แล้ว จะปรากฏ Message PSEUDO LOOP 1 AND DIFF หมายถึงให้ป้อน Loop ที่เป็น Loop เทียมลงไปแล้วเคาะ Space Bar 1ครั้งหลังจากนั้น ป้อนค่าระดับความสูงที่แตกต่างกันแล้วกด ENTER
- 10.) เมื่อปรากฏ Message ENTER THE NUMBER OF PUMPS ก็ให้ใส่จำนวน Pump แล้วกด ENTER
- 11.) เมื่อปรากฏ Message LINE OF PUMP 1 AND A B H0 ให้ใส่ชื่อ number ของ Pipe ที่มี Pump อยู่หลังจากนั้น เคาะ Space Bar 1ครั้งแล้วป้อน Characteristics Pump A B H0 โดยแต่ละครั้งก็จะต้องเคาะ Space Bar 1 ครั้ง เมื่อป้อนเสร็จแล้วจึงกด ENTER
- 12.) เมื่อปรากฏผล Run แล้วจะให้ Run ต่อให้กดตัว y ไปเรื่อย ๆ จนถึง ช่วงที่เป็น Waterhammer Networks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.) เมื่อถึงช่วงที่เป็น Transient ก็ให้ใส่จำนวน node ที่ต้องการแบ่ง ความเร็วของ Wave speed จำนวนท่อและท่อที่ต้องการจะปิด โดยใส่เป็นเครื่องหมายลบถ้าต้องการปิดที่ปลายท่อ ตย. การป้อนดูได้จาก การป้อนท้าย Program



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม ค.2 โปรแกรม Waterhammer Networks

```

#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
#include<stdlib.h>
float fric();
struct piperec
{
    int no,jin,jout;
    float d,l,k,ele,c,q,qo,fc;
};
struct piperec pipe[20];
float b,dr[10][10],dq[10],q,qe,ap[3],bp[3],hi[3],dif[5],hp,hpump,elhgl[15],
    elg[10],psi;
int n,np[10][10],nn[10],ijij,nl,pp,nop[20][5],nlop[20],lo[5],llp[5],nsl,
    npumps,nnp,nodes,nelev,nodep[10][4];
char chh;
main()
{
    int i,j,k,kk,ju,jd,ll,ll,iii,fac,ij,ijj,nlo,
        ii,ik,il,kkk,lll,rr,m,jjj;
    float f,x[10],elup[10],su1,eledn[10],err,sum,h,hpumps,
        cc,ccj,c,temp,qq,scale,elelev;
    printf("ENTER THE NUMBER OF PIPE = "); /*INPUT DATA*/
    scanf("%d",&n);
    printf("ENTER THE NUMBER OF LOOP = ");
    scanf("%d",&nl);
    printf("ENTER THE NUMBER OF PSEDO LOOPS = ");
    scanf("%d",&nsl);
    printf("ENTER THE NUMBER OF NODES ");
    scanf("%d",&nodes);
    for(i=1;i<=nodes;i++){elhgl[i]=0.00,elg[i]=0.00;}
    printf("ENTER THE NELEV ");
    scanf("%d",&nelev);
    printf("EQUAL ");
    scanf("%f",&elelev);
    printf("PIPE NO. JIN JOUT D L Eu Ed CW Q\n");
    for(i=1;i<=n;i++)
    {
        printf("PIPE NO.%d ",i);
        scanf("%d%d%d%f%f%f%f%f",&pipe[i].no,&pipe[i].jin,&pipe[i].jout,
            &pipe[i].d,&pipe[i].l,&elup[i],&eledn[i],&pipe[i].c,&pipe[i].q);
        pipe[i].d=pipe[i].d/12.00;
        ju=pipe[i].jin;
        jd=pipe[i].jout;
        if((fabs(elg[ju])<0.001)&&(fabs(elup[i])>0.001)) {elg[ju]=elup[i];}
        if((fabs(elg[jd])<0.001)&&(fabs(eledn[i])>0.001)) {elg[jd]=eledn[i];}
    }
    for(ijij=1;ijij<=n;ijij++)
    {
        pipe[ijij].fc=fric();
        printf("%f ",pipe[ijij].fc);
    }
    for(i=1;i<=n;i++)
    {
        pipe[i].k=pipe[i].fc*pipe[i].l/(39.7*pow(pipe[i].d,5.00));
        for(i=1;i<=nl;i++)
        {
            printf("THE NUMBER OF PIPE IN LOOP %d = ",i);
            scanf("%d",&nn[i]);
            for(j=1;j<=nn[i];j++)
            {
                printf("LOOP %d PIPE %d = ",i,j);
                scanf("%d",&np[i][j]);
            }
        }
    }
    printf("PSEDO LOOP %d AND DIFF %d =",i,i);
    scanf("%d%f", &lo[i], &diff[i]);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ สำหรับ (i=1; i<=nsl; i++) ก็แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("PSEDO LOOP %d AND DIFF %d =",i,i);
scanf("%d%f", &lo[i], &diff[i]);

```

```

printf("ENTER THE NUMBER OF PUMPS = ");
scanf("%d",&npumps);
for(i=1;i<=npumps;i++)
  {printf("LINE OF PUMP %d AND A B HO = ",i);
  scanf("%d%f%f%f",&llp[i],&ap[i],&bp[i],&hi[i]);}

for(i=1;i<=n;i++)
  { k=0;
  for(j=1;j<=nl;j++)
    {
    for(kk=1;kk<=nn[j];kk++)
      {if(pipe[i].no==abs(np[j][kk]))
      {k=k+1;
      nop[i][k]=j*np[j][kk]/pipe[i].no;
      }
    }
  }
nlop[i]=k;};
pp=1;
do{sul=0.00; /*CALCULATE STEADY STATE BY NEWTON-RAPHSON METHOD*/
  for(i=1;i<=nl;i++)
    {dq[i]=0.00;}
  for(i=1;i<=n;i++)
    {pipe[i].qo=pipe[i].q;}
  do{sum=0.00;
  for(i=1;i<=nl;i++)
    {
    for(j=1;j<=n+1;j++)
      {dr[i][j]=0.00;}
    for(k=1;k<=nn[i];k++)
      {
      ij=np[i][k];
      iij=abs(ij);
      q=pipe[iij].qo;
      nlo=nlop[iij];
      for(kk=1;kk<=nlo;kk++)
        {ll=nop[iij][kk];
        ll=abs(ll);
        q=q+(ll/ll)*dq[ll];}
      qe=fabs(q);
      qe=pow(qe,1.00);
      fac=ij/iij;
      dr[i][nl+1]=dr[i][nl+1]+fac*pipe[iij].k*qe*q;
      for(kk=1;kk<=nlo;kk++)
        { ll=nop[iij][kk];
        ll=abs(ll);
        dr[i][ll]=dr[i][ll]+fac*(ll/ll)*2.00*pipe[iij].k*qe;
        }
      }
    }
  }
  if(nsl!=0)
  {
  for(i=1;i<=nsl;i++)
  {
  ii=lo[i];
  dr[ii][nl+1]=dr[ii][nl+1]-dif[i];
  nnp=nn[ii];
  for(ik=1;ik<=npumps;ik++)
  {
  il=abs(llp[ik]);
  for(kk=1;kk<=nnp;kk++)
  {
  if(il==abs(np[ii][kk]))
  {
  (n=abs(llp[ik]/il)*pipe[ii].qo+dq[ii];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

hp=(ap[ik]*q+bp[ik])*q+hi[ik];
if(llp[ik]>0)
    {dr[ii][nl+1]=dr[ii][nl+1]-hp;
    dr[ii][ii]=dr[ii][ii]+2.0*ap[ik]*q+bp[ik];}
else{dr[ii][nl+1]=dr[ii][nl+1]+hp;
    dr[ii][ii]=dr[ii][ii]-2.0*ap[ik]*q-bp[ik];}
}
}
}
}

for(i=1;i<=nl;i++)
{scale=0.00;
for(j=1;j<=nl;j++)
    {if(fabs(dr[i][j])>scale){scale=fabs(dr[i][j]);}}
}
for(j=1;j<=nl+1;j++)
    {dr[i][j]=dr[i][j]/scale;}
}

for(i=1;i<=nl-1;i++)
{qq=dr[i][i];rr=i;
for(lll=i+1;lll<=nl;lll++)
    {if(fabs(dr[lll][i])>fabs(qq))
    {qq=dr[lll][i];rr=lll;}
else if(qq==0.00)
    {printf("SINGULAR MATRIC");}}
for(m=i;m<=nl+1;m++)
    {if(m!=nl+1)
    {temp=dr[i][m];
    dr[i][m]=dr[rr][m];
    dr[rr][m]=temp;}
else if(m==nl+1)
    {temp=dr[i][nl+1];
    dr[i][nl+1]=dr[rr][nl+1];
    dr[rr][nl+1]=temp;}
}
for(j=i+1;j<=nl;j++)
    {c=dr[j][i]/qq;
for(kkk=1;kkk<=nl;kkk++)
    {dr[j][kkk]=dr[j][kkk]-c*dr[i][kkk];}
dr[j][nl+1]=dr[j][nl+1]-(dr[i][nl+1]*c);}
}
}

for(i=nl;i>=1;i--)
    { h=0.00;if(i==nl)
    {x[nl]=dr[nl][nl+1]/dr[nl][nl];}
else{for(j=nl;j>=i+1;j--)
    {h=h+dr[i][j]*x[j];}
x[i]=(dr[i][nl+1]-h)/dr[i][i];}
}

for(i=1;i<=nl;i++)
    {
    dq[i]=dq[i]-x[i];
    sum=sum+fabs(dr[i][nl+1]);
}
}

pp=pp+1; }
while(sum>0.01);
printf("\n");
for(i=1;i<=nl;i++)
    {nnp=nn[i];
for(j=1;j<=nnp;j++)
    {ij=np[i][j];

```



```

for(i=1;i<=nodes;i++)
{ for(j=1;j<=4;j++)
  {nodep[i][j]=0;j=1;
   for(k=1;k<=n;k++)
    {ii=pipe[k].no;
     if(pipe[ii].jin==i)
      {nodep[i][j]=ii;j=j+1;}
     else if(pipe[ii].jout==i)
      {nodep[i][j]=-ii;j=j+1;}
    }
  }
}

trans(); }
trans()
{ /*-----BEGIN TRANSIENT NETWORKS-----*/
float a[20],c[20],vzero[20],sine[20],pipez[20],x[20][20],hres[5],
deltt[20],delt,area[20],test,anpar,qdem[20],hnode[10],f[20],
h[20][20],hlow[20][20],hhigh[20][20],v[20][20],head[20][20],
dell,delhf,ak[20],ratio[20],tmax,t,ra,codd[4],ceven[4],vminus,
vplus,hminus,hplus,cc,c3,c4,c5,vnew[20][20],hnew[20][20],
anum,denom,hpp,hhh,hmax[20],pmax[20],tm[20];
int i,ju,ii,iii,j,jj,jjj,nparts,nshut,shut[10],k,ns,
npar[20],kmin,ntype[10],ks,jc[20];
char ch;
printf("ENTER THE NUMBER OF PARTS "); /*INPUT DATA FOR TRANSIENT*/
scanf("%d",&nparts);
printf("ENTER THE WAVE SPEED ");
scanf("%f",&a[1]);
printf("ENTER THE TMAX VALUES ");
scanf("%f",&tmax);
printf("ENTER THE NUMBER OF PIPE IS SHUT ");
scanf("%d",&nshut);
for(i=1;i<=nshut;i++)
{printf("SHUT[%d]= ",i);
scanf("%d",&shut[i]);}
for(i=1;i<=n;i++)
{ ju=pipe[i].jin;
  pipez[i]=elg[ju];
  sine[i]=(elg[pipe[i].jout]-elg[pipe[i].jin])/pipe[i].l;
  area[i]=0.25*3.141593*pipe[i].d*pipe[i].d;
  c[i]=32.2/a[1];
  vzero[i]=pipe[i].q/area[i];
  deltt[i]=pipe[i].l/(nparts*(vzero[i]+a[1]));
  }printf("c1 = %f sin l = %f \n",c[1],sine[1]);
for(i=1;i<=n;i++)
{f[i]=pipe[i].fc;hmax[i]=0.00;pmax[i]=0.00; tm[i]=0.00;
a[i]=a[1];printf("f%d=%f ",i,f[i]); }

delt=deltt[1];
kmin=1;
for(i=2;i<=n;i++)
{if(deltt[i]<=delt) /*CALCULATE DELTA T*/
  {delt=deltt[i];
  kmin=i;}
}printf("delt = %f ",delt);
for(i=1;i<=n;i++)
{if(i!=kmin)
  {anpar=pipe[i].l/(delt*(vzero[i]+a[i]));
  npar[i]=ceil(anpar);
  test=npar[i];
  if(fabs(test+1-anpar)<0.0001)
  {npar[i]=npar[i]+1;}
  }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรรมใด ๆ ทั้งสิ้นหากมีข้อผิดพลาด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





```

    }
    anum=0.0;denom=0.0;
    for(j=1;j<=4;j++)
    {anum=anum+codd[j];
    denom=denom+ceven[j];}
    hpp=(anum-qdem[iii])/denom;
    hnode[iii]=hpp-elg[iii];
    elhgl[iii]=hpp;
    for(j=1;j<=4;j++)
    {ii=nodep[iii][j];
    i=abs(ii);ks=0;
    if(ii>0)
    { for(ns=1;ns<=nshut;ns++)
    { if(shut[ns]==i) ks=ks+1;}
    if(ks==0)
    {hnew[i][1]=hpp;
    vnew[i][1]=(-codd[j]/area[i])+c[i]*hpp;}
    }
    else if(ii<0)
    { k=npar[i]+1;ks=0;
    for(ns=1;ns<=nshut;ns++)
    {if(shut[ns]==ii) ks=ks+1;}
    if(ks==0)
    {hnew[i][k]=hpp;
    vnew[i][k]=(codd[j]/area[i])-c[i]*hpp;}
    }
    }
    break;
case 1: /*RESERVIOR JUNCTION*/
i=abs(nodep[iii][1]);
vplus=v[i][1]-ratio[i]*a[i]*(v[i][1]-v[i][2]);
hplus=h[i][1]-ratio[i]*a[i]*(h[i][1]-h[i][2]);
cc=vplus-c[i]*hplus-c[i]*delt*vplus*sine[i]
-ak[i]*vplus*fabs(vplus);
ii=nodep[iii][1];ks=0;
for(ns=1;ns<=nshut;ns++)
{if(shut[ns]==ii)
{hnew[i][1]=-cc/c[i];
vnew[i][1]=0.0;
ks=ks+1;}
}
if(ks==0)
{hnew[i][1]=elhgl[iii];
vnew[i][1]=cc+c[i]*hnew[i][1];
}
break;
case 3: /*PUMP NODE JUNCTION */
i=abs(nodep[iii][1]);
vplus=v[i][1]-ratio[i]*a[i]*(v[i][1]-v[i][2]);
hplus=h[i][1]-ratio[i]*a[i]*(h[i][1]-h[i][2]);
for(jj=1;jj<=npumps;jj++)
{ii=llp[jj];
if(i==ii)
{cc=hplus-vplus/c[i]+vplus*sine[i]*delt+(1.0/c[i])*ak[i]*vplus*fabs(vplus)
c3=(bp[jj]*area[i]-1.0/c[i])/(ap[jj]*area[i]*area[i]);
c4=(hi[jj]+hres[jj]-cc)/(ap[jj]*area[i]*area[i]);
c5=4.0*c4/(c3*c3);
if(c5>0.0)
{vnew[i][1]=0.00;}
else{vnew[i][1]=0.75*c3*(-1.00+sqrt(1.0-c5));}
hnew[i][1]=cc+vnew[i][1]/c[i];
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมชลประทาน หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากกรมชลประทาน ถือว่าผิดกฎหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมชลประทาน หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ขออนุญาตจากกรมชลประทาน ถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่สิ่งนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
break;
}

}
printf("t = %f \n",t);
for(i=1;i<=n;i++)
{
for(j=2;j<=npar[i]+1;j++)
{ hhh=hnew[i][j]-(pipez[i]+x[i][j]*pipe[i].l*sine[i]);
if(hhh>hmax[i])
{
hmax[i]=hhh; tm[i]=t;
pmax[i]=hmax[i]/2.31;
jc[i]=j;
}
printf("ht[%d][%d] = %7.3f v[%d][%d] = %f h = %5.3f p = %f\n",i,j,hnew
,i,j,vnew[i][j],hhh,hhh/2.31);
}
}
printf("\n");
for(i=1;i<=n;i++)
{k=npar[i]+1;
for(j=1;j<=k;j++)
{v[i][j]=vnew[i][j];
h[i][j]=hnew[i][j];
}
}
}while(t<=tmax);clrscr();
for(i=1;i<=n;i++)
{printf("hmax[%d] = %f pmax[%d] = %f tm[%d]= %f position = %d"
,i,hmax[i],i,pmax[i],i,tm[i],jc[i]);
printf("\n");
}
printf("CONTINUE Y/N");
ch=getche();
if(ch=='y')
{trans();}
}
prn()
{ int i;
printf("\n");
printf("=====\n");
printf("PIPE DIAM - FT FLOW RATES CFS ELHGL UP ELHGL DN \n");
printf("=====\n");
for(i=1;i<=n;i++)
{ printf("%d\t%f\t%f\t%f\t%f",pipe[i].no,pipe[i].d,pipe[i].q,elhgl[pipe[i].jin],
].jout]);
printf("\n");
}
printf("=====\n");
printf("CONTINUE");
chh=getch();
if(chh=='y')
{ printf("\n");
printf("=====\n");
printf(" NODES HGL HIGH PSI \n");
printf("=====\n");
for(i=1;i<=nodes;i++)
psi=(elhgl[i]-elg[i])/2.31;
printf("i\t%d\tm\t%f\t%f\t%f\n",i,elhgl[i],elg[i],psi);
}
printf("=====\n");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบอื่นใด หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้า

```

}
}
float fric() /*CALCULATE FRICTION FACTOR*/
{
float ar,ed,df,fff,elog,v,vis,re,evis,par,fs,fz,arg,dif,ff;
int nct;
ar=0.78539816*pipe[ijij].d*pipe[ijij].d;
vis=1.217*0.00001;
v=pipe[ijij].q/ar;
re=v*pipe[ijij].d/vis;
if(re<2100.00)
{
ff=64.00/re;
return(ff);
}
else{
evis=(pipe[ijij].c/12.00)/vis;
elog=18.7*log10(2.71828183);
ed=(pipe[ijij].c/12.00)/pipe[ijij].d;
ff=1.0/((1.14-2.00*log10(ed))*(1.14-2.00*log10(ed)));
par=v*sqrt(ff/8.00)*evis;
if(par>100)
{return(ff);}
else{nct=0;
do{
fs=sqrt(ff);
fz=0.5/(ff*fs);
arg=ed+9.35/(re*fs);
fff=(1.0/fs)-1.14+2.00*log10(arg);
df=fz+elog*fz/(arg*re);
dif=fff/df;
ff=ff+dif;
nct=nct+1;
}
while((fabs(dif)>0.00001)&&(nct<15));
return(ff);
}
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ass
ENTER THE NUMBER OF PIPE = 11
ENTER THE NUMBER OF LOOP = 4
ENTER THE NUMBER OF PSEDO LOOPS = 1
ENTER THE NUMBER OF NODES 9
ENTER THE NELEV 1 .
EQUAL 1450
PIPE NO. JIN JOUT D L Eu Ed CW Q
PIPE NO.1 1 1 2 15 500 1460 1300 0.01 8.0
PIPE NO.2 2 2 4 12 1000 0 1310 0.01 3.0
PIPE NO.3 3 2 3 12 600 0 1290 0.01 5.0
PIPE NO.4 4 3 5 12 1200 0 1250 0.01 2.0
PIPE NO.5 5 4 5 10 500 0 0 0.01 2.0
PIPE NO.6 6 7 4 8 1200 0 0 0.01 1.0
PIPE NO.7 7 5 5 5 1500 0 0 0.01 1.0
PIPE NO.8 8 5 9 8 1800 0 0 0.01 1.0
PIPE NO.9 9 6 7 10 1000 1380 1320 0.01 4.0
PIPE NO.10 10 7 8 8 400 0 1310 0.01 3.0
PIPE NO.11 11 8 9 8 500 0 1260 0.01 1.0
0.015423 0.019527 0.019430 0.020257 0.020761 0.022242 0.022242
22242 0.020216 0.021272 0.022242 THE NUMBER OF PIPE IN LOOP 1 =
LOOP 1 PIPE 1 = 2
LOOP 1 PIPE 2 = 5
LOOP 1 PIPE 3 = -4
LOOP 1 PIPE 4 = -3
THE NUMBER OF PIPE IN LOOP 2 = 4
LOOP 2 PIPE 1 = -6
LOOP 2 PIPE 2 = 10
LOOP 2 PIPE 3 = 7
LOOP 2 PIPE 4 = -5
THE NUMBER OF PIPE IN LOOP 3 = 3
LOOP 3 PIPE 1 = -7
LOOP 3 PIPE 2 = 11
LOOP 3 PIPE 3 = -8
THE NUMBER OF PIPE IN LOOP 4 = 4
LOOP 4 PIPE 1 = 9
LOOP 4 PIPE 2 = 6
LOOP 4 PIPE 3 = -2
LOOP 4 PIPE 4 = -1
PSEDO LOOP 1 AND DIFF 1 =4 -50.00
ENTER THE NUMBER OF PUMPS = 1
LINE OF PUMP 1 AND A B HO = 9 -0.50 -0.30 90.00

```

0.015423	0.019527	0.019430	0.020257	0.020761	0.022242	0.022242	0.0
0.020216	0.021272	0.022242					
0.015379	0.019714	0.019398	0.020128	0.020620	0.022367	0.026175	0.0
0.020329	0.021396	0.021999					
0.015379	0.019714	0.019398	0.020127	0.020619	0.022370	0.026212	0.0
0.020330	0.021396	0.021999					
0.015375	0.019713	0.019398	0.020126	0.020617	0.022369	0.026476	0.0
0.020331	0.021398	0.021993					
0.015378	0.019712	0.019398	0.020126	0.020617	0.022372	0.026502	0.0
0.020331	0.021398	0.021993					

PIPE	DIAM - FT	FLOW RATES CFS	ELHGL UP	ELHGL DN
1	1.250000	5.674656	1460.000000	1470.568164
2	1.000000	3.402619	1470.568164	1465.119355
3	1.000000	5.272068	1470.568164	1462.719604
4	1.000000	2.272068	1462.719604	1459.579224

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่าการมีได้ทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้ง

7	0.666667	0.192514	1459.861084	1469.119385
8	0.666667	0.779538	1459.579224	1454.848022
9	0.833333	3.325314	1400.011230	1469.393677
10	0.666667	2.412976	1469.393677	1459.861084
11	0.666667	1.220462	1459.861084	1454.848022

CONTINUE

NODES	HGL	HIGH	PSI
1	1480.000000	1460.000000	8.658009
2	1470.865164	1300.000000	73.968903
3	1462.719604	1290.000000	74.770393
4	1465.119385	1310.000000	67.151245
5	1459.579224	1280.000000	77.739922
6	1400.011230	1380.000000	8.662870
7	1469.393677	1320.000000	64.672585
8	1459.861084	1310.000000	64.874931
9	1454.848022	1260.000000	84.349792

ENTER THE NUMBER OF PARTS 3  
 ENTER THE WAVE SPEED 4060  
 ENTER THE TMAX VALUES 0.1  
 ENTER THE NUMBER OF PIPE IS SHUT 1  
 SHUT[1]= -5

t = 0.032785

ht[1][2]	= 1475.433	v[1][2]	= 7.068769	h	= 45.099	p	= 19.523495
ht[1][3]	= 1476.912	v[1][3]	= 7.068769	h	= 70.245	p	= 30.409069
ht[1][4]	= 1475.391	v[1][4]	= 7.068769	h	= 95.391	p	= 41.294643
ht[1][5]	= 1473.870	v[1][5]	= 7.068769	h	= 120.536	p	= 52.180213
ht[1][6]	= 1472.349	v[1][6]	= 7.068769	h	= 145.682	p	= 63.065784
ht[1][7]	= 1470.850	v[1][7]	= 7.068594	h	= 170.850	p	= 73.960923
ht[2][2]	= 1470.151	v[2][2]	= 4.332349	h	= 168.901	p	= 73.117528
ht[2][3]	= 1469.433	v[2][3]	= 4.332349	h	= 166.933	p	= 72.265519
ht[2][4]	= 1468.715	v[2][4]	= 4.332349	h	= 164.965	p	= 71.413511
ht[2][5]	= 1467.997	v[2][5]	= 4.332349	h	= 162.997	p	= 70.561502
ht[2][6]	= 1467.279	v[2][6]	= 4.332349	h	= 161.029	p	= 69.709494
ht[2][7]	= 1466.561	v[2][7]	= 4.332349	h	= 159.061	p	= 68.857485
ht[2][8]	= 1465.843	v[2][8]	= 4.332349	h	= 157.093	p	= 68.005477
ht[2][9]	= 1465.121	v[2][9]	= 4.332379	h	= 155.121	p	= 67.151777
ht[3][2]	= 1469.236	v[3][2]	= 6.712605	h	= 171.236	p	= 74.125069
ht[3][3]	= 1467.607	v[3][3]	= 6.712605	h	= 171.607	p	= 74.285822
ht[3][4]	= 1465.979	v[3][4]	= 6.712605	h	= 171.979	p	= 74.449574
ht[3][5]	= 1464.350	v[3][5]	= 6.712605	h	= 172.350	p	= 74.610326
ht[3][6]	= 1462.720	v[3][6]	= 6.712613	h	= 172.720	p	= 74.770603
ht[4][2]	= 1462.405	v[4][2]	= 2.892886	h	= 173.405	p	= 75.067112
ht[4][3]	= 1462.091	v[4][3]	= 2.892886	h	= 174.091	p	= 75.364150
ht[4][4]	= 1461.777	v[4][4]	= 2.892886	h	= 174.777	p	= 75.661188
ht[4][5]	= 1461.464	v[4][5]	= 2.892886	h	= 175.464	p	= 75.958226
ht[4][6]	= 1461.150	v[4][6]	= 2.892886	h	= 176.150	p	= 76.255263
ht[4][7]	= 1460.836	v[4][7]	= 2.892886	h	= 176.836	p	= 76.552301
ht[4][8]	= 1460.522	v[4][8]	= 2.892886	h	= 177.522	p	= 76.849339
ht[4][9]	= 1460.208	v[4][9]	= 2.892886	h	= 178.208	p	= 77.146377
ht[4][10]	= 1459.894	v[4][10]	= 2.892886	h	= 178.894	p	= 77.443414
ht[4][11]	= 1459.579	v[4][11]	= 2.892886	h	= 179.579	p	= 77.739815
ht[5][2]	= 1464.323	v[5][2]	= 4.244391	h	= 158.609	p	= 65.661889
ht[5][3]	= 1463.532	v[5][3]	= 4.244391	h	= 162.104	p	= 70.174794
ht[5][4]	= 1462.741	v[5][4]	= 4.244391	h	= 165.598	p	= 71.687654
ht[5][5]	= 1461.950	v[5][5]	= 4.244391	h	= 169.093	p	= 73.200559
ht[5][6]	= 1461.159	v[5][6]	= 4.244391	h	= 172.588	p	= 74.713419
ht[5][7]	= 1460.369	v[5][7]	= 4.244391	h	= 176.083	p	= 76.226331
ht[5][8]	= 1459.579	v[5][8]	= 4.244380	h	= 179.579	p	= 77.739815
ht[6][2]	= 1465.966	v[6][2]	= 2.613656	h	= 149.966	p	= 64.920269
ht[6][3]	= 1465.539	v[6][3]	= 2.613656	h	= 150.539	p	= 65.1168267

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 แผนกรณใดทางสน อักทิงห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของสนทุกครั้งที่

ht[6][6] = 1467.257 v[6][6] = 2.613655 h = 151.084 p = 65.8664210  
 ht[6][7] = 1466.830 v[6][7] = 2.613656 h = 152.257 p = 65.912209  
 ht[6][8] = 1466.403 v[6][8] = 2.613656 h = 152.830 p = 66.160207  
 ht[6][9] = 1465.976 v[6][9] = 2.613655 h = 153.403 p = 66.408205  
 ht[6][10] = 1465.549 v[6][10] = 2.613655 h = 153.976 p = 66.656151  
 ht[6][11] = 1465.121 v[6][11] = 2.613662 h = 154.549 p = 66.904149  
 ht[7][2] = 1459.837 v[7][2] = 0.551512 h = 155.121 p = 67.151777  
 ht[7][3] = 1459.814 v[7][3] = 0.551512 h = 152.337 p = 65.946822  
 ht[7][4] = 1459.814 v[7][3] = 0.551512 h = 154.814 p = 67.018980  
 ht[7][4] = 1459.790 v[7][4] = 0.551511 h = 157.290 p = 68.091032  
 ht[7][5] = 1459.767 v[7][5] = 0.551511 h = 159.767 p = 69.163137  
 ht[7][6] = 1459.743 v[7][6] = 0.551512 h = 162.243 p = 70.235189  
 ht[7][7] = 1459.720 v[7][7] = 0.551512 h = 164.720 p = 71.307347  
 ht[7][8] = 1459.696 v[7][8] = 0.551511 h = 167.196 p = 72.379399  
 ht[7][9] = 1459.673 v[7][9] = 0.551511 h = 169.673 p = 73.451504  
 ht[7][10] = 1459.649 v[7][10] = 0.551512 h = 172.149 p = 74.523556  
 ht[7][11] = 1459.626 v[7][11] = 0.551512 h = 174.626 p = 75.595714  
 ht[7][12] = 1459.603 v[7][12] = 0.551511 h = 177.103 p = 76.667766  
 ht[7][13] = 1459.579 v[7][13] = 0.551512 h = 179.579 p = 77.739818  
 ht[8][2] = 1459.241 v[8][2] = 2.233212 h = 180.669 p = 78.811817  
 ht[8][3] = 1458.903 v[8][3] = 2.233212 h = 181.760 p = 78.684027  
 ht[8][4] = 1458.565 v[8][4] = 2.233213 h = 182.851 p = 79.156237  
 ht[8][5] = 1458.227 v[8][5] = 2.233213 h = 183.942 p = 79.628440  
 ht[8][6] = 1457.890 v[8][6] = 2.233212 h = 185.033 p = 80.100703  
 ht[8][7] = 1457.552 v[8][7] = 2.233212 h = 186.123 p = 80.572913  
 ht[8][8] = 1457.214 v[8][8] = 2.233213 h = 187.214 p = 81.045123  
 ht[8][9] = 1456.877 v[8][9] = 2.233212 h = 188.305 p = 81.517386  
 ht[8][10] = 1456.539 v[8][10] = 2.233212 h = 189.396 p = 81.989595  
 ht[8][11] = 1456.201 v[8][11] = 2.233213 h = 190.487 p = 82.461805  
 ht[8][12] = 1455.863 v[8][12] = 2.233212 h = 191.578 p = 82.934062  
 ht[8][13] = 1455.526 v[8][13] = 2.233212 h = 192.668 p = 83.406272  
 ht[8][14] = 1455.188 v[8][14] = 2.233213 h = 193.759 p = 83.878482  
 ht[8][15] = 1736.429 v[8][15] = 0.000000 h = 476.429 p = 206.246407  
 ht[9][2] = 1451.713 v[9][2] = 6.096845 h = 109.213 p = 47.278149  
 ht[9][3] = 1479.952 v[9][3] = 6.096845 h = 114.952 p = 49.762888  
 ht[9][4] = 1478.192 v[9][4] = 6.096846 h = 120.692 p = 52.247573  
 ht[9][5] = 1476.432 v[9][5] = 6.096846 h = 126.432 p = 54.732312  
 ht[9][6] = 1474.671 v[9][6] = 6.096845 h = 132.171 p = 57.217051  
 ht[9][7] = 1472.911 v[9][7] = 6.096845 h = 137.911 p = 59.701789  
 ht[9][8] = 1471.151 v[9][8] = 6.096845 h = 143.651 p = 62.186528  
 ht[9][9] = 1469.391 v[9][9] = 6.096846 h = 149.391 p = 64.671213  
 ht[10][2] = 1466.213 v[10][2] = 6.912667 h = 149.546 p = 64.738464  
 ht[10][3] = 1463.037 v[10][3] = 6.912666 h = 149.704 p = 64.806779  
 ht[10][4] = 1459.859 v[10][4] = 6.912688 h = 149.859 p = 64.873671  
 ht[11][2] = 1459.138 v[11][2] = 3.496366 h = 156.281 p = 67.654128  
 ht[11][3] = 1458.423 v[11][3] = 3.496365 h = 162.708 p = 70.436506  
 ht[11][4] = 1457.707 v[11][4] = 3.496365 h = 169.135 p = 73.218771  
 ht[11][5] = 1456.991 v[11][5] = 3.496366 h = 175.563 p = 76.001142  
 ht[11][6] = 1456.276 v[11][6] = 3.496366 h = 181.990 p = 78.783460  
 ht[11][7] = 1455.560 v[11][7] = 3.496366 h = 188.417 p = 81.565784  
 ht[11][8] = 1173.265 v[11][8] = 5.729577 h = -86.735 p = -37.547507

t = 0.065570

ht[1][2] = 1478.432 v[1][2] = 7.069136 h = 45.099 p = 19.523446  
 ht[1][3] = 1476.865 v[1][3] = 7.068769 h = 70.199 p = 30.385985  
 ht[1][4] = 1475.344 v[1][4] = 7.068769 h = 95.344 p = 41.274562  
 ht[1][5] = 1473.823 v[1][5] = 7.068769 h = 120.490 p = 52.160133  
 ht[1][6] = 1472.324 v[1][6] = 7.068595 h = 145.658 p = 63.055268  
 ht[1][7] = 1470.829 v[1][7] = 7.068392 h = 170.829 p = 73.951833  
 ht[2][2] = 1470.132 v[2][2] = 4.332181 h = 168.882 p = 73.108967  
 ht[2][3] = 1469.435 v[2][3] = 4.332349 h = 166.935 p = 72.266153  
 ht[2][4] = 1468.717 v[2][4] = 4.332349 h = 164.967 p = 71.414145  
 ht[2][5] = 1467.999 v[2][5] = 4.332349 h = 162.999 p = 70.562136  
 ht[2][6] = 1467.280 v[2][6] = 4.332349 h = 161.030 p = 69.710128  
 ht[2][7] = 1466.562 v[2][7] = 4.332349 h = 159.062 p = 68.858119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับบริการงานพิมพ์ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศฯ ไม่สามารถนำเอกสารไปใช้ประโยชน์อื่นได้  
 ไม่มีการผลิตทั้งต้นฉบับทั้งฉบับพิมพ์

ht[2][8]	= 1465.840	v[2][8]	= 4.332382	n	= 157.090	p	= 68.004314
ht[2][9]	= 1465.119	v[2][9]	= 4.332401	h	= 155.119	p	= 67.151249
ht[3][2]	= 1469.216	v[3][2]	= 6.712475	h	= 171.216	p	= 74.119403
ht[3][3]	= 1467.604	v[3][3]	= 6.712604	h	= 171.604	p	= 74.287236
ht[3][4]	= 1465.975	v[3][4]	= 6.712604	h	= 171.975	p	= 74.447959
ht[3][5]	= 1464.345	v[3][5]	= 6.712614	h	= 172.345	p	= 74.608212
ht[3][6]	= 1462.718	v[3][6]	= 6.712602	h	= 172.718	p	= 74.769599
ht[4][2]	= 1462.406	v[4][2]	= 2.892898	h	= 173.406	p	= 75.067376
ht[4][3]	= 1462.090	v[4][3]	= 2.892887	h	= 174.090	p	= 75.363833
ht[4][4]	= 1461.777	v[4][4]	= 2.892887	h	= 174.777	p	= 75.660871
ht[4][5]	= 1461.463	v[4][5]	= 2.892887	h	= 175.463	p	= 75.957908
ht[4][6]	= 1461.149	v[4][6]	= 2.892887	h	= 176.149	p	= 76.254946
ht[4][7]	= 1460.835	v[4][7]	= 2.892887	h	= 176.835	p	= 76.551984
ht[4][8]	= 1460.521	v[4][8]	= 2.892887	h	= 177.521	p	= 76.849022
ht[4][9]	= 1460.207	v[4][9]	= 2.892887	h	= 178.207	p	= 77.146060
ht[4][10]	= 1459.892	v[4][10]	= 2.892899	h	= 178.892	p	= 77.442410
ht[4][11]	= 1459.577	v[4][11]	= 2.892907	h	= 179.577	p	= 77.738972
ht[5][2]	= 1464.325	v[5][2]	= 4.244450	h	= 158.611	p	= 68.662840
ht[5][3]	= 1463.527	v[5][3]	= 4.244391	h	= 162.099	p	= 70.172522
ht[5][4]	= 1462.736	v[5][4]	= 4.244391	h	= 165.593	p	= 71.685434
ht[5][5]	= 1461.945	v[5][5]	= 4.244391	h	= 169.088	p	= 73.198257
ht[5][6]	= 1461.154	v[5][6]	= 4.244391	h	= 172.583	p	= 74.711199
ht[5][7]	= 1460.365	v[5][7]	= 4.244378	h	= 176.079	p	= 76.224746
ht[5][8]	= 1459.577	v[5][8]	= 4.244354	h	= 179.577	p	= 77.738972
ht[6][2]	= 1468.962	v[6][2]	= 2.613634	h	= 149.962	p	= 64.918759
ht[6][3]	= 1468.538	v[6][3]	= 2.613655	h	= 150.538	p	= 65.167950
ht[6][4]	= 1468.111	v[6][4]	= 2.613655	h	= 151.111	p	= 65.415948
ht[6][5]	= 1467.684	v[6][5]	= 2.613655	h	= 151.684	p	= 65.663946
ht[6][6]	= 1467.256	v[6][6]	= 2.613655	h	= 152.256	p	= 65.911892
ht[6][7]	= 1466.829	v[6][7]	= 2.613655	h	= 152.829	p	= 66.159890
ht[6][8]	= 1466.402	v[6][8]	= 2.613655	h	= 153.402	p	= 66.407888
ht[6][9]	= 1465.975	v[6][9]	= 2.613655	h	= 153.975	p	= 66.655886
ht[6][10]	= 1465.547	v[6][10]	= 2.613662	h	= 154.547	p	= 66.903409
ht[6][11]	= 1465.119	v[6][11]	= 2.613666	h	= 155.119	p	= 67.151249
ht[7][2]	= 1459.335	v[7][2]	= 0.551512	h	= 152.335	p	= 65.945712
ht[7][3]	= 1459.813	v[7][3]	= 0.551512	h	= 154.813	p	= 67.018768
ht[7][4]	= 1459.790	v[7][4]	= 0.551512	h	= 157.290	p	= 68.090979
ht[7][5]	= 1459.766	v[7][5]	= 0.551512	h	= 159.766	p	= 69.162925
ht[7][6]	= 1459.743	v[7][6]	= 0.551512	h	= 162.243	p	= 70.235083
ht[7][7]	= 1459.719	v[7][7]	= 0.551512	h	= 164.719	p	= 71.307135
ht[7][8]	= 1459.696	v[7][8]	= 0.551512	h	= 167.196	p	= 72.379346
ht[7][9]	= 1459.672	v[7][9]	= 0.551512	h	= 169.672	p	= 73.451292
ht[7][10]	= 1459.649	v[7][10]	= 0.551512	h	= 172.149	p	= 74.523450
ht[7][11]	= 1459.626	v[7][11]	= 0.551512	h	= 174.626	p	= 75.595502
ht[7][12]	= 1459.602	v[7][12]	= 0.551513	h	= 177.102	p	= 76.667607
ht[7][13]	= 1459.577	v[7][13]	= 0.551525	h	= 179.577	p	= 77.738972
ht[8][2]	= 1459.240	v[8][2]	= 2.233217	h	= 150.669	p	= 78.211711
ht[8][3]	= 1458.902	v[8][3]	= 2.233213	h	= 151.759	p	= 78.683657
ht[8][4]	= 1458.564	v[8][4]	= 2.233213	h	= 152.850	p	= 79.155567
ht[8][5]	= 1458.227	v[8][5]	= 2.233213	h	= 153.941	p	= 79.625123
ht[8][6]	= 1457.889	v[8][6]	= 2.233213	h	= 155.032	p	= 80.100333
ht[8][7]	= 1457.551	v[8][7]	= 2.233213	h	= 156.123	p	= 80.572543
ht[8][8]	= 1457.214	v[8][8]	= 2.233213	h	= 157.214	p	= 81.044806
ht[8][9]	= 1456.876	v[8][9]	= 2.233213	h	= 158.304	p	= 81.517016
ht[8][10]	= 1456.538	v[8][10]	= 2.233213	h	= 159.395	p	= 81.989226
ht[8][11]	= 1456.200	v[8][11]	= 2.233213	h	= 160.486	p	= 82.461435
ht[8][12]	= 1455.863	v[8][12]	= 2.233213	h	= 161.577	p	= 82.933692
ht[8][13]	= 1455.525	v[8][13]	= 2.233213	h	= 162.668	p	= 83.405902
ht[8][14]	= 1746.524	v[8][14]	= -0.077390	h	= 455.095	p	= 209.997995
ht[8][15]	= 1736.403	v[8][15]	= 0.000000	h	= 476.403	p	= 206.235151
ht[9][2]	= 1451.713	v[9][2]	= 6.096845	h	= 109.213	p	= 47.278413
ht[9][3]	= 1478.940	v[9][3]	= 6.096846	h	= 114.940	p	= 49.757656
ht[9][4]	= 1478.180	v[9][4]	= 6.096846	h	= 120.680	p	= 52.242395
ht[9][5]	= 1476.420	v[9][5]	= 6.096845	h	= 126.420	p	= 54.727133
ht[9][6]	= 1474.659	v[9][6]	= 6.096845	h	= 132.159	p	= 57.211872
ht[9][7]	= 1472.899	v[9][7]	= 6.096845	h	= 137.899	p	= 59.696610

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์โดยกรมการศึกษานานาชาติเพื่อใช้ในการเรียนการสอน  
 การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย  
 การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ht[9][8] = 1471.139 v[9][8] = 6.096846 h = 143.639 p = 62.181296  
ht[9][9] = 1469.384 v[9][9] = 6.096807 h = 149.384 p = 64.668201  
ht[10][2] = 1466.209 v[10][2] = 6.912686 h = 149.543 p = 64.737090  
ht[10][3] = 1463.029 v[10][3] = 6.912689 h = 149.695 p = 64.803133  
ht[10][4] = 1459.854 v[10][4] = 6.912680 h = 149.854 p = 64.871916  
ht[11][2] = 1459.137 v[11][2] = 3.496408 h = 156.280 p = 67.653494  
ht[11][3] = 1458.415 v[11][3] = 3.496365 h = 162.701 p = 70.433335  
ht[11][4] = 1457.700 v[11][4] = 3.496365 h = 169.128 p = 73.215706  
ht[11][5] = 1456.984 v[11][5] = 3.496365 h = 175.555 p = 75.997971  
ht[11][6] = 1456.268 v[11][6] = 3.496366 h = 181.983 p = 78.780342  
ht[11][7] = 1128.450 v[11][7] = 6.090625 h = -138.692 p = -60.040006  
ht[11][8] = 1173.425 v[11][8] = 5.729577 h = -86.575 p = -37.478357

t = 0.098355

ht[1][2] = 1475.432 v[1][2] = 7.069503 h = 45.099 p = 19.523393  
ht[1][3] = 1476.865 v[1][3] = 7.069135 h = 70.198 p = 30.388882  
ht[1][4] = 1475.298 v[1][4] = 7.068769 h = 95.298 p = 41.254481  
ht[1][5] = 1473.799 v[1][5] = 7.068595 h = 120.465 p = 52.149564  
ht[1][6] = 1472.303 v[1][6] = 7.068393 h = 145.637 p = 63.046126  
ht[1][7] = 1470.805 v[1][7] = 7.068192 h = 170.808 p = 73.942744  
ht[2][2] = 1470.111 v[2][2] = 4.332303 h = 168.861 p = 73.099878  
ht[2][3] = 1469.414 v[2][3] = 4.332170 h = 166.914 p = 72.257011  
ht[2][4] = 1468.715 v[2][4] = 4.332550 h = 164.968 p = 71.414779  
ht[2][5] = 1468.000 v[2][5] = 4.332350 h = 163.000 p = 70.562771  
ht[2][6] = 1467.282 v[2][6] = 4.332350 h = 161.032 p = 69.710762  
ht[2][7] = 1466.559 v[2][7] = 4.332354 h = 159.059 p = 68.856851  
ht[2][8] = 1465.839 v[2][8] = 4.332403 h = 157.059 p = 68.003839  
ht[2][9] = 1465.118 v[2][9] = 4.332420 h = 155.118 p = 67.150773  
ht[3][2] = 1469.195 v[3][2] = 6.712337 h = 171.195 p = 74.110261  
ht[3][3] = 1467.532 v[3][3] = 6.712461 h = 171.582 p = 74.277830  
ht[3][4] = 1465.970 v[3][4] = 6.712614 h = 171.070 p = 74.445822  
ht[3][5] = 1464.343 v[3][5] = 6.712601 h = 172.343 p = 74.607314  
ht[3][6] = 1462.715 v[3][6] = 6.712592 h = 172.715 p = 74.768595  
ht[4][2] = 1462.403 v[4][2] = 2.892882 h = 173.403 p = 75.066214  
ht[4][3] = 1462.091 v[4][3] = 2.892899 h = 174.091 p = 75.364150  
ht[4][4] = 1461.776 v[4][4] = 2.892887 h = 174.776 p = 75.660554  
ht[4][5] = 1461.462 v[4][5] = 2.892887 h = 175.462 p = 75.957591  
ht[4][6] = 1461.148 v[4][6] = 2.892887 h = 176.148 p = 76.254629  
ht[4][7] = 1460.834 v[4][7] = 2.892887 h = 176.834 p = 76.551667  
ht[4][8] = 1460.521 v[4][8] = 2.892887 h = 177.521 p = 76.848705  
ht[4][9] = 1460.205 v[4][9] = 2.892901 h = 178.205 p = 77.144950  
ht[4][10] = 1459.890 v[4][10] = 2.892908 h = 178.890 p = 77.441165  
ht[4][11] = 1459.575 v[4][11] = 2.892916 h = 179.575 p = 77.738283  
ht[5][2] = 1464.324 v[5][2] = 4.244478 h = 158.609 p = 68.662100  
ht[5][3] = 1463.531 v[5][3] = 4.244469 h = 162.102 p = 70.174002  
ht[5][4] = 1462.731 v[5][4] = 4.244391 h = 165.588 p = 71.683162  
ht[5][5] = 1461.940 v[5][5] = 4.244391 h = 169.083 p = 73.196068  
ht[5][6] = 1461.151 v[5][6] = 4.244376 h = 172.579 p = 74.709720  
ht[5][7] = 1460.363 v[5][7] = 4.244350 h = 176.073 p = 76.224059  
ht[5][8] = 1459.575 v[5][8] = 4.244326 h = 179.575 p = 77.738233  
ht[6][2] = 1468.955 v[6][2] = 2.613581 h = 149.955 p = 64.915618  
ht[6][3] = 1468.534 v[6][3] = 2.613631 h = 150.534 p = 65.166364  
ht[6][4] = 1468.110 v[6][4] = 2.613655 h = 151.110 p = 65.415631  
ht[6][5] = 1467.683 v[6][5] = 2.613655 h = 151.683 p = 65.663629  
ht[6][6] = 1467.256 v[6][6] = 2.613655 h = 152.256 p = 65.911627  
ht[6][7] = 1466.829 v[6][7] = 2.613655 h = 152.829 p = 66.159573  
ht[6][8] = 1466.401 v[6][8] = 2.613655 h = 153.401 p = 66.407571  
ht[6][9] = 1465.973 v[6][9] = 2.613664 h = 153.973 p = 66.655094  
ht[6][10] = 1465.546 v[6][10] = 2.613667 h = 154.546 p = 66.902933  
ht[6][11] = 1465.118 v[6][11] = 2.613667 h = 155.118 p = 67.150773  
ht[7][2] = 1459.830 v[7][2] = 0.551461 h = 152.330 p = 65.943757  
ht[7][3] = 1459.811 v[7][3] = 0.551491 h = 154.511 p = 67.017606  
ht[7][4] = 1459.799 v[7][4] = 0.551512 h = 157.299 p = 68.090662  
ht[7][5] = 1459.766 v[7][5] = 0.551518 h = 159.766 p = 69.162925  
ht[7][6] = 1459.743 v[7][6] = 0.551512 h = 162.243 p = 70.234572  
ht[7][7] = 1459.719 v[7][7] = 0.551511 h = 164.719 p = 71.307082

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์  
สงวนลิขสิทธิ์ © 2559 โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์  
หากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย

ht[7][8]	= 1459.696	v[7][8]	= 0.551512	h	= 167.196	p	= 72.379029
ht[7][9]	= 1459.672	v[7][9]	= 0.551513	h	= 169.672	p	= 73.451292
ht[7][10]	= 1459.649	v[7][10]	= 0.551512	h	= 172.149	p	= 74.523239
ht[7][11]	= 1459.625	v[7][11]	= 0.551513	h	= 174.625	p	= 75.595344
ht[7][12]	= 1459.600	v[7][12]	= 0.551525	h	= 177.100	p	= 76.666656
ht[7][13]	= 1459.575	v[7][13]	= 0.551537	h	= 179.575	p	= 77.738233
ht[8][2]	= 1459.238	v[8][2]	= 2.233208	h	= 180.667	p	= 78.210760
ht[8][3]	= 1458.902	v[8][3]	= 2.233219	h	= 181.759	p	= 78.683551
ht[8][4]	= 1458.564	v[8][4]	= 2.233213	h	= 182.549	p	= 79.155550
ht[8][5]	= 1458.226	v[8][5]	= 2.233213	h	= 183.940	p	= 79.627753
ht[8][6]	= 1457.888	v[8][6]	= 2.233214	h	= 185.031	p	= 80.099963
ht[8][7]	= 1457.550	v[8][7]	= 2.233213	h	= 186.122	p	= 80.572226
ht[8][8]	= 1457.213	v[8][8]	= 2.233213	h	= 187.213	p	= 81.044436
ht[8][9]	= 1456.875	v[8][9]	= 2.233214	h	= 188.303	p	= 81.516646
ht[8][10]	= 1456.537	v[8][10]	= 2.233213	h	= 189.394	p	= 81.988909
ht[8][11]	= 1456.199	v[8][11]	= 2.233213	h	= 190.485	p	= 82.461118
ht[8][12]	= 1455.862	v[8][12]	= 2.233214	h	= 191.576	p	= 82.933322
ht[8][13]	= 1756.962	v[8][13]	= -0.157504	h	= 494.105	p	= 213.595326
ht[8][14]	= 1736.221	v[8][14]	= 0.004114	h	= 474.792	p	= 205.537672
ht[8][15]	= 1736.750	v[8][15]	= 0.000000	h	= 476.750	p	= 206.398070
ht[9][2]	= 1461.713	v[9][2]	= 6.097038	h	= 109.213	p	= 47.278202
ht[9][3]	= 1479.942	v[9][3]	= 6.096951	h	= 114.942	p	= 49.758237
ht[9][4]	= 1478.168	v[9][4]	= 6.096845	h	= 120.668	p	= 52.237216
ht[9][5]	= 1476.408	v[9][5]	= 6.096845	h	= 126.408	p	= 54.721954
ht[9][6]	= 1474.647	v[9][6]	= 6.096845	h	= 132.147	p	= 57.206693
ht[9][7]	= 1472.887	v[9][7]	= 6.096846	h	= 137.887	p	= 59.691379
ht[9][8]	= 1471.132	v[9][8]	= 6.096804	h	= 143.632	p	= 62.178390
ht[9][9]	= 1469.376	v[9][9]	= 6.096766	h	= 149.376	p	= 64.665136
ht[10][2]	= 1466.200	v[10][2]	= 6.912699	h	= 149.533	p	= 64.732863
ht[10][3]	= 1463.028	v[10][3]	= 6.912700	h	= 149.693	p	= 64.802234
ht[10][4]	= 1459.550	v[10][4]	= 6.912668	h	= 149.850	p	= 64.870172
ht[11][2]	= 1459.132	v[11][2]	= 3.496423	h	= 156.274	p	= 67.651275
ht[11][3]	= 1458.415	v[11][3]	= 3.496416	h	= 162.700	p	= 70.433071
ht[11][4]	= 1457.692	v[11][4]	= 3.496365	h	= 169.121	p	= 73.212535
ht[11][5]	= 1456.977	v[11][5]	= 3.496366	h	= 175.548	p	= 75.994906
ht[11][6]	= 1076.319	v[11][6]	= 6.509698	h	= -197.967	p	= -55.699945
ht[11][7]	= 1152.334	v[11][7]	= 5.664740	h	= -84.502	p	= -36.713799
ht[11][8]	= 1171.473	v[11][8]	= 5.729577	h	= -88.527	p	= -38.323525

t = 0.131140

ht[1][2]	= 1478.232	v[1][2]	= 7.069869	h	= 45.099	p	= 19.528340
ht[1][3]	= 1476.565	v[1][3]	= 7.069501	h	= 70.198	p	= 30.388777
ht[1][4]	= 1475.319	v[1][4]	= 7.068960	h	= 95.319	p	= 41.263752
ht[1][5]	= 1473.778	v[1][5]	= 7.068394	h	= 120.444	p	= 52.140422
ht[1][6]	= 1472.252	v[1][6]	= 7.068193	h	= 145.616	p	= 63.037037
ht[1][7]	= 1470.757	v[1][7]	= 7.067989	h	= 170.787	p	= 73.933703
ht[2][2]	= 1470.090	v[2][2]	= 4.331826	h	= 168.840	p	= 73.090759
ht[2][3]	= 1469.393	v[2][3]	= 4.331993	h	= 166.593	p	= 72.247869
ht[2][4]	= 1468.696	v[2][4]	= 4.332160	h	= 164.946	p	= 71.405003
ht[2][5]	= 1468.001	v[2][5]	= 4.332350	h	= 163.001	p	= 70.563405
ht[2][6]	= 1467.279	v[2][6]	= 4.332397	h	= 161.029	p	= 69.709388
ht[2][7]	= 1466.558	v[2][7]	= 4.332404	h	= 159.058	p	= 68.856376
ht[2][8]	= 1465.838	v[2][8]	= 4.332422	h	= 157.088	p	= 68.003363
ht[2][9]	= 1465.117	v[2][9]	= 4.332443	h	= 155.117	p	= 67.150245
ht[3][2]	= 1469.174	v[3][2]	= 6.712200	h	= 171.174	p	= 74.101224
ht[3][3]	= 1467.559	v[3][3]	= 6.712335	h	= 171.559	p	= 74.265107
ht[3][4]	= 1465.948	v[3][4]	= 6.712441	h	= 171.948	p	= 74.430416
ht[3][5]	= 1464.341	v[3][5]	= 6.712590	h	= 172.341	p	= 74.606310
ht[3][6]	= 1462.713	v[3][6]	= 6.712580	h	= 172.713	p	= 74.787591
ht[4][2]	= 1462.401	v[4][2]	= 2.892871	h	= 173.401	p	= 75.065263
ht[4][3]	= 1462.088	v[4][3]	= 2.892880	h	= 174.088	p	= 75.362829
ht[4][4]	= 1461.777	v[4][4]	= 2.892900	h	= 174.777	p	= 75.660924
ht[4][5]	= 1461.461	v[4][5]	= 2.892887	h	= 175.461	p	= 75.957274
ht[4][6]	= 1461.147	v[4][6]	= 2.892887	h	= 176.147	p	= 76.254312
ht[4][7]	= 1460.834	v[4][7]	= 2.892887	h	= 176.834	p	= 76.551350
ht[4][8]	= 1460.518	v[4][8]	= 2.892902	h	= 177.518	p	= 76.847542

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมการศึกษานานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
 การคัดลอกทำขึ้นโดยอัตโนมัติจากห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ของกรมการศึกษานานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ht[4][9] = 1460.203 v[4][9] = 2.892910 h = 178.203 p = 77.144157  
ht[4][10] = 1459.888 v[4][10] = 2.892917 h = 178.888 p = 77.440772  
ht[4][11] = 1459.573 v[4][11] = 2.892924 h = 179.573 p = 77.737387  
ht[5][2] = 1464.323 v[5][2] = 4.244510 h = 158.608 p = 68.661677  
ht[5][3] = 1463.528 v[5][3] = 4.244481 h = 162.099 p = 70.172892  
ht[5][4] = 1462.736 v[5][4] = 4.244470 h = 165.593 p = 71.685223  
ht[5][5] = 1461.937 v[5][5] = 4.244374 h = 169.080 p = 73.194694  
ht[5][6] = 1461.150 v[5][6] = 4.244347 h = 172.578 p = 74.709138  
ht[5][7] = 1460.362 v[5][7] = 4.244322 h = 176.076 p = 76.223319  
ht[5][8] = 1459.573 v[5][8] = 4.244301 h = 179.573 p = 77.737387  
ht[6][2] = 1468.948 v[6][2] = 2.613530 h = 149.948 p = 64.912553  
ht[6][3] = 1468.526 v[6][3] = 2.613575 h = 150.526 p = 65.162982  
ht[6][4] = 1468.106 v[6][4] = 2.613629 h = 151.106 p = 65.413940  
ht[6][5] = 1467.682 v[6][5] = 2.613654 h = 151.682 p = 65.663312  
ht[6][6] = 1467.255 v[6][6] = 2.613655 h = 152.255 p = 65.911310  
ht[6][7] = 1466.828 v[6][7] = 2.613655 h = 152.828 p = 66.159309  
ht[6][8] = 1466.400 v[6][8] = 2.613664 h = 153.400 p = 66.406726  
ht[6][9] = 1465.972 v[6][9] = 2.613666 h = 153.972 p = 66.654618  
ht[6][10] = 1465.545 v[6][10] = 2.613667 h = 154.545 p = 66.902511  
ht[6][11] = 1465.117 v[6][11] = 2.613672 h = 155.117 p = 67.150245  
ht[7][2] = 1459.826 v[7][2] = 0.551431 h = 152.326 p = 65.942066  
ht[7][3] = 1459.806 v[7][3] = 0.551459 h = 154.806 p = 67.015545  
ht[7][4] = 1459.787 v[7][4] = 0.551490 h = 157.287 p = 68.089446  
ht[7][5] = 1459.766 v[7][5] = 0.551512 h = 159.766 p = 69.162608  
ht[7][6] = 1459.743 v[7][6] = 0.551512 h = 162.243 p = 70.234925  
ht[7][7] = 1459.719 v[7][7] = 0.551512 h = 164.719 p = 71.306765  
ht[7][8] = 1459.696 v[7][8] = 0.551512 h = 167.196 p = 72.379029  
ht[7][9] = 1459.672 v[7][9] = 0.551512 h = 169.672 p = 73.450975  
ht[7][10] = 1459.647 v[7][10] = 0.551514 h = 172.149 p = 74.523166  
ht[7][11] = 1459.623 v[7][11] = 0.551526 h = 174.623 p = 75.594393  
ht[7][12] = 1459.598 v[7][12] = 0.551537 h = 177.098 p = 76.665916  
ht[7][13] = 1459.573 v[7][13] = 0.551547 h = 179.573 p = 77.737387  
ht[8][2] = 1459.237 v[8][2] = 2.233201 h = 150.605 p = 78.210020  
ht[8][3] = 1458.909 v[8][3] = 2.233207 h = 151.757 p = 78.682653  
ht[8][4] = 1458.567 v[8][4] = 2.233217 h = 152.949 p = 79.155444  
ht[8][5] = 1458.225 v[8][5] = 2.233224 h = 153.939 p = 79.627383  
ht[8][6] = 1457.887 v[8][6] = 2.233218 h = 155.080 p = 80.099646  
ht[8][7] = 1457.550 v[8][7] = 2.233214 h = 156.121 p = 80.571856  
ht[8][8] = 1457.212 v[8][8] = 2.233214 h = 157.212 p = 81.044066  
ht[8][9] = 1456.874 v[8][9] = 2.233213 h = 158.303 p = 81.516329  
ht[8][10] = 1456.536 v[8][10] = 2.233214 h = 159.394 p = 81.988539  
ht[8][11] = 1456.199 v[8][11] = 2.233214 h = 160.484 p = 82.460749  
ht[8][12] = 1455.862 v[8][12] = 2.240435 h = 503.470 p = 217.952445  
ht[8][13] = 1735.663 v[8][13] = 0.011195 h = 472.506 p = 204.675001  
ht[8][14] = 1736.945 v[8][14] = 0.001191 h = 475.539 p = 205.861132  
ht[8][15] = 1736.735 v[8][15] = 0.000000 h = 476.738 p = 206.379997  
ht[9][2] = 1481.713 v[9][2] = 6.0997131 h = 109.213 p = 47.275149  
ht[9][3] = 1479.941 v[9][3] = 6.0997043 h = 114.941 p = 49.755079  
ht[9][4] = 1478.170 v[9][4] = 6.0996957 h = 120.670 p = 52.235167  
ht[9][5] = 1476.396 v[9][5] = 6.0996845 h = 126.396 p = 54.716776  
ht[9][6] = 1474.635 v[9][6] = 6.0996846 h = 132.135 p = 57.201461  
ht[9][7] = 1472.881 v[9][7] = 6.0996801 h = 137.881 p = 59.688631  
ht[9][8] = 1471.125 v[9][8] = 6.0996765 h = 143.625 p = 62.175325  
ht[9][9] = 1469.368 v[9][9] = 6.0996740 h = 149.368 p = 64.661437  
ht[10][2] = 1466.194 v[10][2] = 3.496450 h = 149.527 p = 64.736273  
ht[10][3] = 1463.021 v[10][3] = 3.496477 h = 149.688 p = 64.799909  
ht[10][4] = 1459.847 v[10][4] = 3.496435 h = 149.847 p = 64.868904  
ht[11][2] = 1459.125 v[11][2] = 3.496450 h = 156.270 p = 67.649531  
ht[11][3] = 1456.409 v[11][3] = 3.496429 h = 162.639 p = 70.430587  
ht[11][4] = 1457.693 v[11][4] = 3.496425 h = 169.121 p = 73.212694  
ht[11][5] = 1015.710 v[11][5] = 6.996008 h = -265.718 p = -115.029643  
ht[11][6] = 1201.240 v[11][6] = 5.520643 h = -73.046 p = -31.621578  
ht[11][7] = 1171.145 v[11][7] = 5.729577 h = -97.590 p = -37.917767  
ht[11][8] = 1172.410 v[11][8] = 5.729577 h = -97.590 p = -37.917767

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมการศึกษานอกโรงเรียน กระทรวงศึกษาธิการ  
ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

hmax[1] = 170.849731 pmax[1] = 73.960922 tm[1] = 0.032785 position = 7

hmax[2] = 168.901489	pmax[2] = 73.117531	tm[2]= 0.032785	position = 2
hmax[3] = 172.720093	pmax[3] = 74.770599	tm[3]= 0.032785	position = 6
hmax[4] = 179.578979	pmax[4] = 77.739815	tm[4]= 0.032785	position = 11
hmax[5] = 179.578979	pmax[5] = 77.739815	tm[5]= 0.032785	position = 8
hmax[6] = 155.120605	pmax[6] = 67.151779	tm[6]= 0.032785	position = 11
hmax[7] = 179.578979	pmax[7] = 77.739815	tm[7]= 0.032785	position = 13
hmax[8] = 503.470154	pmax[8] = 217.952454	tm[8]= 0.131140	position = 1
hmax[9] = 149.390503	pmax[9] = 64.671211	tm[9]= 0.032785	position = 9
hmax[10] = 149.858643	pmax[10] = 64.873871	tm[10]= 0.032785	position =
hmax[11] = 188.416962	pmax[11] = 81.565781	tm[11]= 0.032785	position =

ผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อปิดปลายท่อที่ 8 อย่างทันทีทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hmax[1] = 170.763794 pmax[1] = 73.923721 tm[1]= 0.032785 position = 7  
 hmax[2] = 168.800049 pmax[2] = 73.073616 tm[2]= 0.065570 position = 2  
 hmax[3] = 172.197021 pmax[3] = 74.544167 tm[3]= 0.032785 position = 5  
 hmax[4] = 38.913330 pmax[4] = 16.845598 tm[4]= 0.131140 position = 4  
 hmax[5] = 175.998718 pmax[5] = 76.189919 tm[5]= 0.032785 position = 7  
 hmax[6] = 155.013184 pmax[6] = 67.105278 tm[6]= 0.032785 position = 11  
 hmax[7] = 256.040894 pmax[7] = 110.840210 tm[7]= 0.131140 position = 10  
 hmax[8] = 88.407158 pmax[8] = 38.271496 tm[8]= 0.131140 position = 12  
 hmax[9] = 149.367188 pmax[9] = 64.661118 tm[9]= 0.032785 position = 9  
 hmax[10] = 149.823975 pmax[10] = 64.858864 tm[10]= 0.131140 position = 4  
 hmax[11] = 188.385101 pmax[11] = 81.551994 tm[11]= 0.032785 position = 7  
 CONTINUE Y/N

ผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อปิดปลายท่อที่ 7 อย่างทันทีทันใด



hmax[1] = 170.803955 pmax[1] = 73.941109 tm[1]= 0.032785 position = 7  
 hmax[2] = 168.838257 pmax[2] = 73.090157 tm[2]= 0.065570 position = 2  
 hmax[3] = 172.676147 pmax[3] = 74.751579 tm[3]= 0.032785 position = 6  
 hmax[4] = 179.572510 pmax[4] = 77.737015 tm[4]= 0.082785 position = 11  
 hmax[5] = 179.572510 pmax[5] = 77.737015 tm[5]= 0.032785 position = 8  
 hmax[6] = 602.290283 pmax[6] = 260.731720 tm[6]= 0.131140 position = 8  
 hmax[7] = 179.572510 pmax[7] = 77.737015 tm[7]= 0.032785 position = 13  
 hmax[8] = 194.837280 pmax[8] = 84.345146 tm[8]= 0.032785 position = 15  
 hmax[9] = 149.376099 pmax[9] = 64.664978 tm[9]= 0.032785 position = 9  
 hmax[10] = 149.840820 pmax[10] = 64.866158 tm[10]= 0.032785 position = 4  
 hmax[11] = 194.837280 pmax[11] = 84.345146 tm[11]= 0.032785 position = 8  
 CONTINUE Y/N

ผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อปิดปลายท่อที่ 6 อย่างทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hmax[1] = 1063.579346    pmax[1] = 460.423950    tm[1]= 0.098355    position = 7  
 hmax[2] = 168.774414    pmax[2] = 73.062515    tm[2]= 0.032785    position = 2  
 hmax[3] = 172.631348    pmax[3] = 74.732185    tm[3]= 0.032785    position = 6  
 hmax[4] = 178.844116    pmax[4] = 77.421692    tm[4]= 0.032785    position = 10  
 hmax[5] = 182.017609    pmax[5] = 78.795502    tm[5]= 0.131140    position = 5  
 hmax[6] = 154.512695    pmax[6] = 66.888611    tm[6]= 0.032785    position = 10  
 hmax[7] = 177.078125    pmax[7] = 76.657196    tm[7]= 0.032785    position = 12  
 hmax[8] = 194.828857    pmax[8] = 84.341499    tm[8]= 0.032785    position = 15  
 hmax[9] = 149.370361    pmax[9] = 64.662491    tm[9]= 0.032785    position = 9  
 hmax[10] = 149.830444    pmax[10] = 64.861664    tm[10]= 0.032785    position = 4  
 hmax[11] = 194.828857    pmax[11] = 84.341499    tm[11]= 0.032785    position = 8  
 CONTINUE Y/N

ผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อเปิดปลายท่อที่ 1 อย่างทันทีทันใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ มิ่ง โลกกิจแสงทอง ที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้เขียน และให้คำแนะนำและช่วยเหลือหาข้อมูลมาให้ รวมทั้งช่วยแก้ปัญหิต่าง ๆ มาโดยตลอด จนปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ คุณ พรเทพ สายสุวรรณ คุณ ภาสกร ราชวัตร คุณ วศิน สุนทรอาจารย์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการเขียน Program Graphics

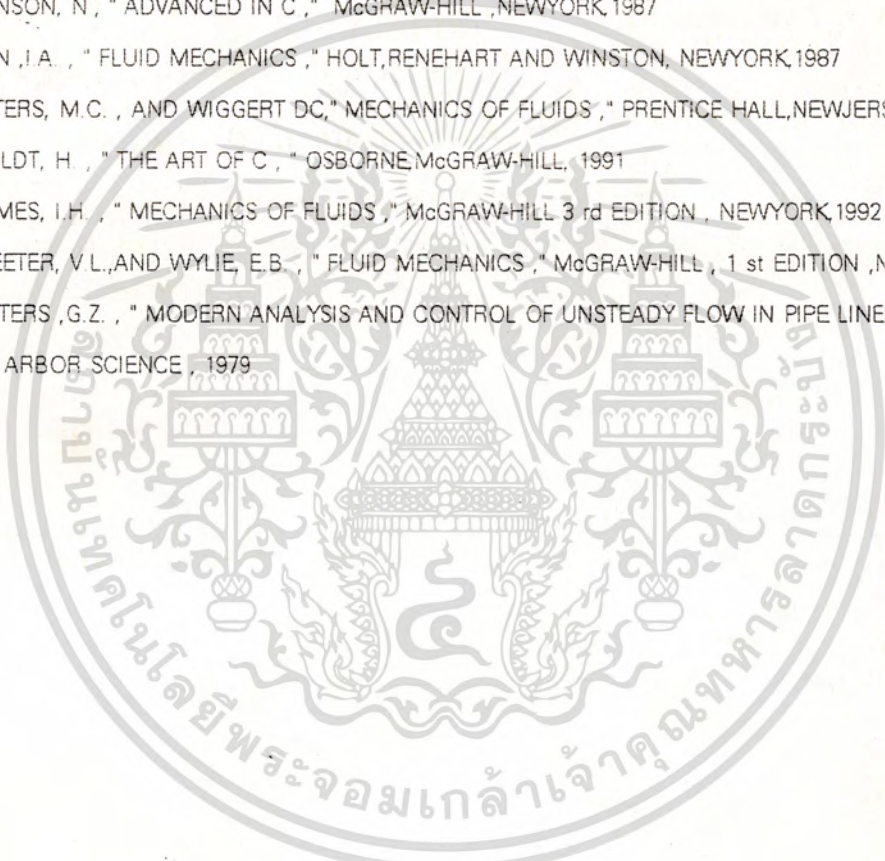
ขอขอบใจเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. ศิววัฒน์ ศิวะบวร, พรชัย จักรธำรงค์, จิรศักดิ์ ชัยวิริยะกุล , " การประยุกต์ใช้งานภาษาซี , " บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ 2535
2. JEPPESON, R. W. , " ANALYSIS OF FLOW IN PIPE NETWORKS , " ANN ARBOR SCIENCE , 1976
3. JOHNSON, N. , " ADVANCED IN C , " McGRAW-HILL , NEWYORK, 1987
4. KHAN , I.A. , " FLUID MECHANICS , " HOLT, RENEHART AND WINSTON, NEWYORK, 1987
5. POTTERS, M.C. , AND WIGGERT DC, " MECHANICS OF FLUIDS , " PRENTICE HALL, NEWJERSEY, 1991
6. SCHILDT, H. , " THE ART OF C , " OSBORNE, McGRAW-HILL, 1991
7. SHAMES, I.H. , " MECHANICS OF FLUIDS , " McGRAW-HILL 3 rd EDITION , NEWYORK, 1992
8. STREETER, V.L., AND WYLIE, E.B. , " FLUID MECHANICS , " McGRAW-HILL , 1 st EDITION , NEWYORK, 1981
9. WATTERS , G.Z. , " MODERN ANALYSIS AND CONTROL OF UNSTEADY FLOW IN PIPE LINES , " ANN ARBOR SCIENCE , 1979



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้