การสร้างออริฟิสด้วย CNC

THESIS TITLE ORIFICE USING CNC

โดย

นายจักรพงษ์ เกาเทียน

นายเทอดเกียรติ ลิขิตวรรณวุฒิ

นายสนชัย กาญจนโอฬารศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

008439

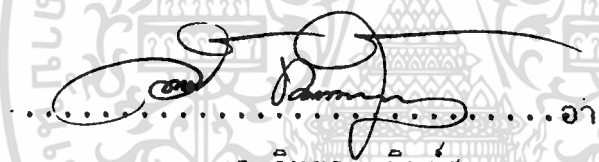
การสร้างออริฟิสด้วยCNC

จัดทำโดย

นาย จักรพงษ์ เกาเทียน 33.162105

นาย เทอดเกรียติ ลิขิตวรรณวุฒิ 33.162112

นาย สนชัย กาญจนโอฬารศิริ 33.161225



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสร้างออริฟิสด้วย CNC
นักศึกษา นาย จักรพงษ์ เกาเทียน 33.162105
นาย เทอดเกรียติ ลิขิตวรรณวุฒิ 33.162112
นาย สนชัย กาญจนโอฬารศิริ 33.161225

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร
ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

การนำคอมพิวเตอร์มาควบคุมเครื่องจักร เป็นการประสานวิทยาการทางด้าน Mechanice และ Computer เข้าด้วยกัน สามารถผลิตผลงานได้รวดเร็วและมีความละเอียดสูงจึงทำให้ การใช้งานเครื่องจักรเป็นไป อย่างมีประสิทธิภาพ ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แสดงให้เห็นถึง การสร้างออริฟิส ด้วย CNC

Orifices เป็นอุปกรณ์ทำให้เกิดความดันแตกต่างคร่อมตัวมัน เมื่อมีของไหลไหลผ่าน เราสามารถวัดอัตราการไหลของของไหลได้ โดยการใช้ orifices นี้ Orifices มีความสำคัญและนิยมใช้อย่างกว้างขวางเพราะว่ามีความความแม่นยำสำหรับการหาขนาด ของ orifice สามารถหาได้โดยง่าย ด้วยการใช้ computer คำนวณ แล้วแปลงเป็น G-codeป้อนให้ CNC เพื่อสร้าง orifices ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis title ORIFICE USING CNC

Name Mr. Jhaggapong Kaotien 33.162105

Mr. Terdkiat likitwannawut 33.162112

Mr. Sonchai kanjanaorarnsiri 33.161225

Advisor Mr. Vittaya tipysuvanpon

Academic Year 1991.

ABSTRACT

The application of computer CNC machine for making Orifice are presented this thesis.

Also in thesis is illustration about design of orifice by coputer and construct with computer numerical control.

Metering fluid flow inferentially from the differential pressure across an orifice in flow line . The orifice meter still ranks as one of the most important and widely used,yet highly accurate method for orifice sizing by computer calculate and convert to G-code for feed into CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ORIFICE USING CNC

by,

Mr. Jhaggapong Kaotien 33.162105

Mr. Terdkiat likitwannawut 33.162112

Mr. Sonchai kanjanaorarnsiri 33.161225

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE BACHELOR OF TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF INDUSTIAL INSTRUMENT

FACULTY OF ENGINEER

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทนำ		ก
บทที่	1. กรรมวิธีของเครื่องวัดการไหลโดยใช้ orifice	1
บทที่	2. หาค่าองค์ประกอบในสมการไหล	14
บทที่	3. การประยุกต์คุณสมบัติความถ่วงจำเพาะกับความหนาแน่น	26
บทที่	4. เครื่อง CNC	38
การทำงานของโปรแกรม		50
ขั้นตอนการกลึงแบบต่างๆ		54
ลำดับการทำงาน		63
ตัวอย่าง G-code.		67
สรุปและข้อเสนอแนะ		
ภาคผนวก		
กิตติกรรมประกาศ		
บรรณานุกรม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นมาของโครงงาน

CNC Machine สามารถควบคุมการผลิตงานได้อย่างต่อเนื่อง และยังสามารถควบคุมค่าของความละเอียดได้ตามความต้องการของการนำไปใช้งาน แต่ปัญหาของการใช้ CNC Machine นั้นอยู่ที่การสร้างโปรแกรมการสั่งงานที่ค่อนข้างยาวและยาก การพัฒนาโปรแกรมการสั่งงานให้กับ CNC Machine จะช่วยลดเวลาและต้นทุนการผลิตชิ้นงานได้

วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. นำ Computer กราฟฟิกส์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ CNC Machine ในการผลิต Orific

2. เขียนและพัฒนาโปรแกรมขึ้นใหม่เพื่อแปลงข้อมูลจาก Computer กราฟฟิกส์ให้เป็นภาษาที่ใช้กับ CNC Machine

3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา Computer ประเภทอื่นมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ CNC Machine ในการผลิต Orific

4. เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนา หุ่นยนต์อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

กรรมวิธีของเครื่องวัดการไหลโดยใช้ orific

วิธีนี้สะดวกในการคำนวนรูปร่างขอบของ orific แบบจุดศูนย์กลางร่วมจากสมการ 1 การตัดสินใจเลือกขนาดมิเตอร์(meter capacity) และสมาการ 2 คุณสมบัติของของไหล การพิจารณา "trial and error" และสิ่งต่าง ๆ ของตารางสัมประสิทธิ์ได้มีการจัดเรียง เป็นกลุ่มของกราฟ ซึ่ง
สามารถนำไปใช้สำหรับท่อทุกขนาดและทุกแบบการต่อ tap ยกเว้น pipetaps

ทุก ๆ องค์ประกอบในสมการพื้นฐาน จำแนกใน Section2 หน่วยของระบบเป็นหน่วยที่ใช้ในระบบทั่วไป

<u>พื้นฐานสมการการวัดการไหล</u>

สมการความสัมพันธ์การไหล และแรงดันตกคร่อม orifice คือ

$$w = KaYFa \sqrt{2\, gc\, (\Delta p)\, (\rho)} \qquad (1)$$

เมื่อยกเว้น "trial and error" สมการการคำนวณ พื้นที่หน้าตัดของแผ่น orifice,a (เท่ากับ $\beta^2 A$) สามารถกำหนดดังข้างล่าง

$$w = K\beta^2 AYFa \sqrt{2\, gc\, (\Delta p)\, (\rho)} \qquad (2)$$

สมการปริมาตรการไหลคือ

$$q = K\beta^2 AYFa \sqrt{2\, gc\, (\Delta p / \rho)} \qquad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	ชื่อ	หน่วยอังกฤษ	หน่วยเมตริก
w	การไหลโดยเงื่อนไขของความถ่วงจำเพาะ	lb mass sec	gm mass sec
q	ปริมาตรไหล	cu ft sec	cu cm sec
β	อัตราส่วน เส้นผ่านศูนย์กลาง ($^{d}/_{D}$)		
a	พื้นที่หน้าตัดของ orifice	sq ft	sq cm
A	พื้นที่หน้าตัดด้านในของท่อ	sq ft	sq cm
gc	องค์ประกอบการแปลงหน่วย	32.17 lb mass-ft lb force-sec^2	980.7 gm mass cm gm force-sec^2
Δp	แรงดันตกคร่อมจากการวัด	lb force Sq ft	gm force Sq cm
ρ	ความหนาแน่นของไหล	lb mass cu ft	gm mass cu cm
u	ค่าสมบูรณ์ความหนืด	lb mass ft-sec	gm mass cm-sec
Y	องค์ประกอบการขยายตัวของแก๊ซ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	ชื่อ	หน่วยอังกฤษ	หน่วยเมตริก
Fa	องค์ประกอบการขยายตัวของ orifice เนื่องจากความร้อน		
K	สัมประสิทธิ์การไหล		

สัญลักษณ์ในสมการ 1,2,และ 3 ใช้ร่วมกัน สัญลักษณ์ที่สมบูรณ์ให้ไว้ใน ตารางที่ 13

ขบวนการในการค้นหาขนาดของ orifice

หาค่า $K\beta^2$ ในสมการพื้นฐาน โดยใช้สมการใด สมการหนึ่งข้างล่าง

$$K\beta^2 = \frac{w}{AYFa\sqrt{2gc(\Delta p)(\rho)}} \qquad (4)$$

$$K\beta^2 = \frac{q}{AYFa\sqrt{2gc\ \Delta p/\rho}} \qquad (5)$$

สมการสำหรับของเหลว หรือ ไอน้ำ

$$K\beta^2 = \frac{(lb/hr)}{2.837\ Fa\ (D^2)\sqrt{hw(G)}} \qquad (6)$$

สำหรับไอน้ำการหา G หาจากคุณสมบัติ ปริมาตรของไอน้ำในตารางรวมทั้ง Y สำหรับ ของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_\beta^2 = \frac{(gpm)}{5.674\ Fa(D)^2}\sqrt{G/_{hw}} \qquad (7)$$

สมการสำหรับแก๊สสมบูรณ์ (เมื่อทราบน้ำหนักโมเลกุล)

$$K_\beta^2 = \frac{(scfm)}{707\ YFa(D)^2}\sqrt{M(^\circ F + 460)/_{hw}(p)} \qquad (8)$$

สมการสำหรับแก๊สสมบูรณ์ (เมื่อทราบความหนาแน่น)

$$K_\beta^2 = \frac{(scfm)}{35.95\ YFa(D)^2}\sqrt{\rho_{std}(^\circ F + 460)/_{hw}(p)} \qquad (9)$$

สำหรับหน่วย 4 สมการ 6,7,8 และ 9 คือ

สัญลักษณ์	ชื่อ	หน่วย
D	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ	Inches
h_w	การวัดความค่าแตกต่าง	นิ้วน้ำที่ 4 องศาC
G	Specific gravity ของของเหลว อ้างที่ 4 องศา C	
M	น้ำหนักโมเลกุล	lb/lb mol
v	spesific volume	cu ft/lb
ρ_{std}	ความหนาแน่นมาตราฐาน	lb/cu ft
P	ความดันสมบูรณ์	lb/sq in(psia)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

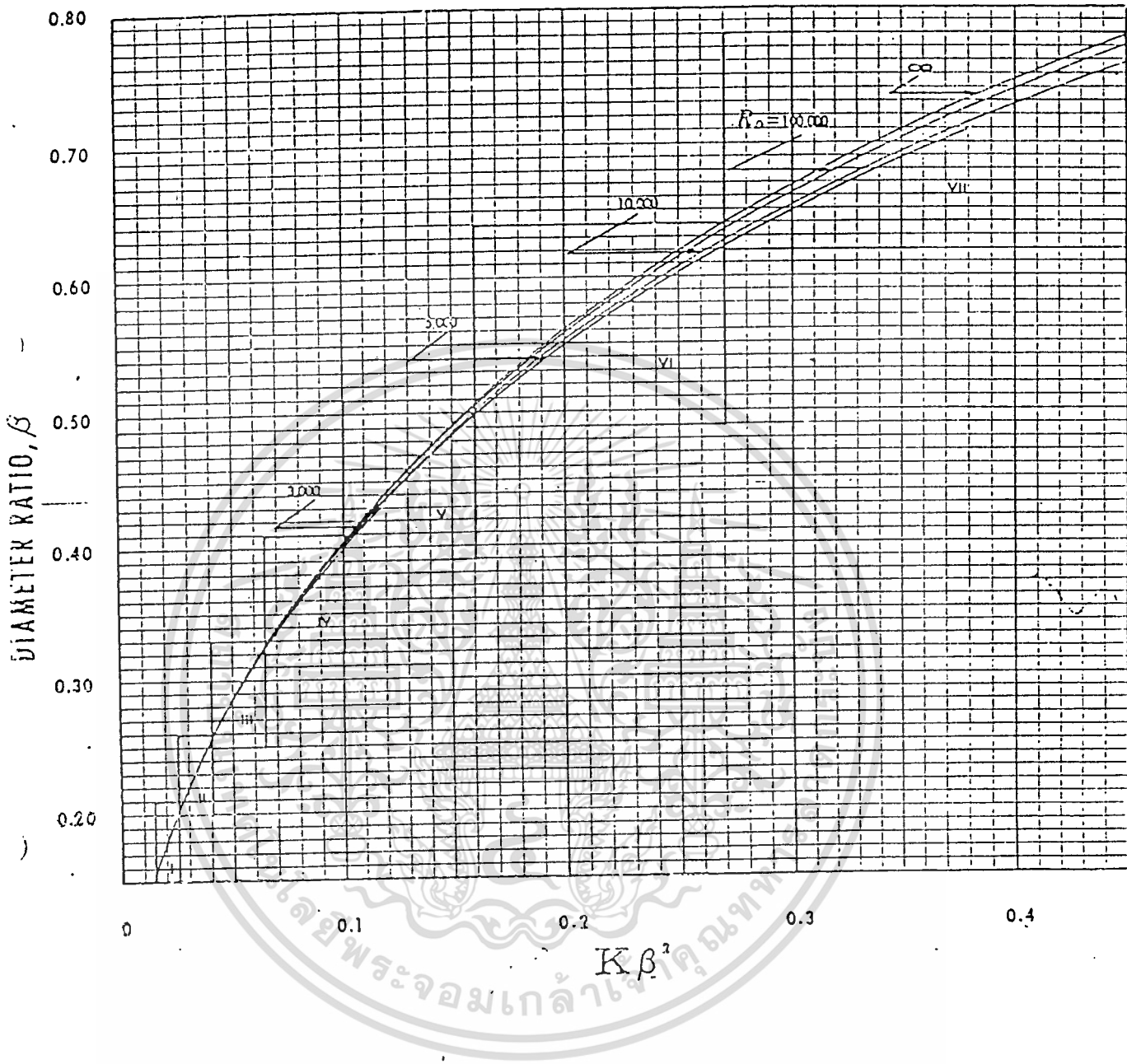
การหาค่า Reynolds Number,Rb;

$$Rb = \frac{4w}{\pi D'M} = \frac{4q\rho}{\pi D'u} = \frac{6.316(lb/hr)}{D(centipoise)} = \frac{6.316\ (cu\ ft/hr)(lb/cu\ ft)}{D(centipoise)}$$

$$= \frac{3160\ (gpm)(G)}{D(centipoise)}$$

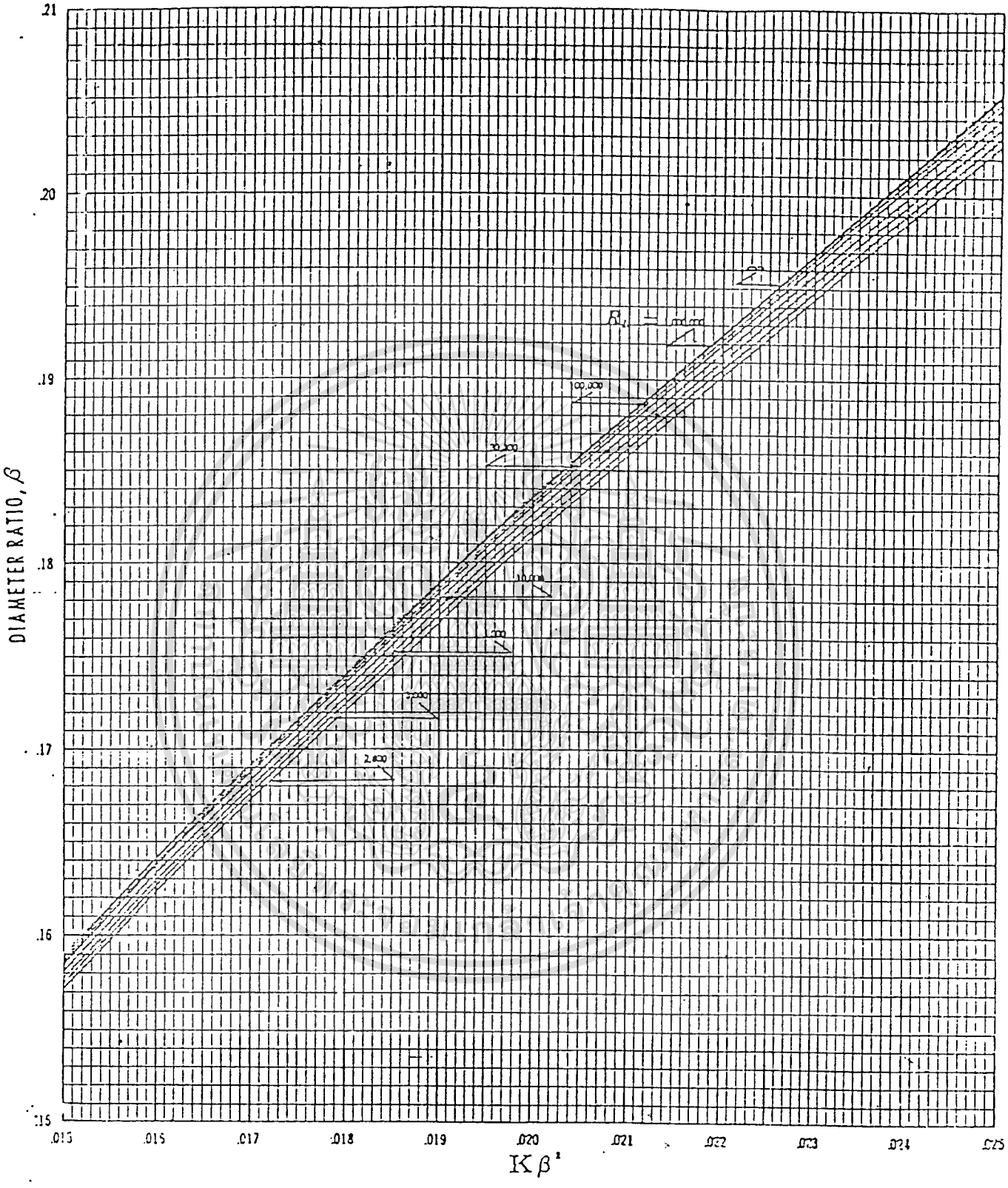
ในรูปที่ 1 สำหรับ flange taps,vena - contracta หรือ corner taps จาก $K\beta^2$ ใช้คุณสมบัติ Reynold number,อ่านค่า β (จากรูปที่ 1 ใช้ได้ทั้งหมดเมื่อ Reynolds number มากกว่า 7000 β) คูณ ขนาดท่อด้านใน (I.D) ด้วย β ใน การค้นหา เส้นผ่านศูนย์กลางของ orifice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



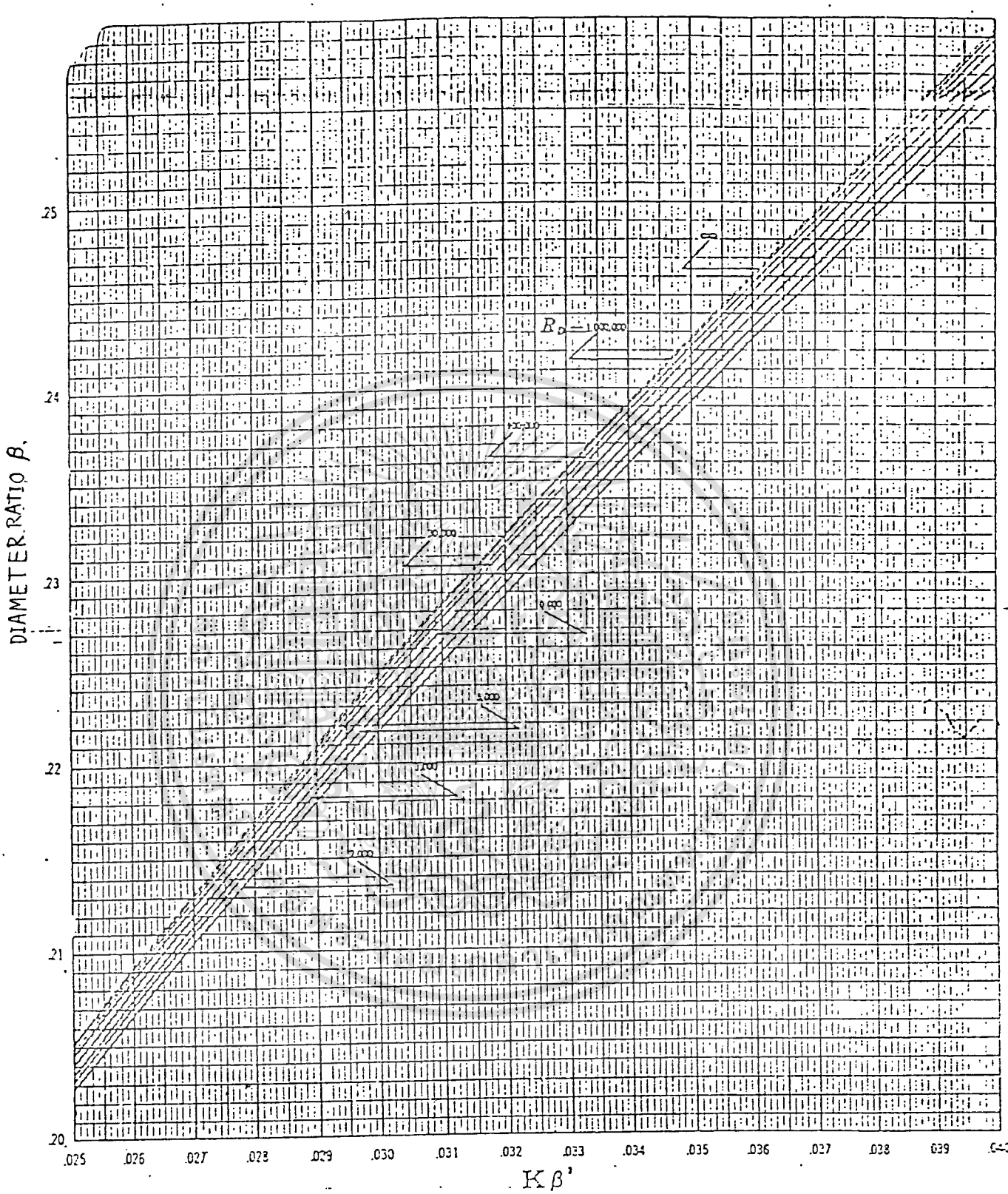
Kβ^2 เพื่อหา β จากกราฟ,รูป 1a ถึง 1g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



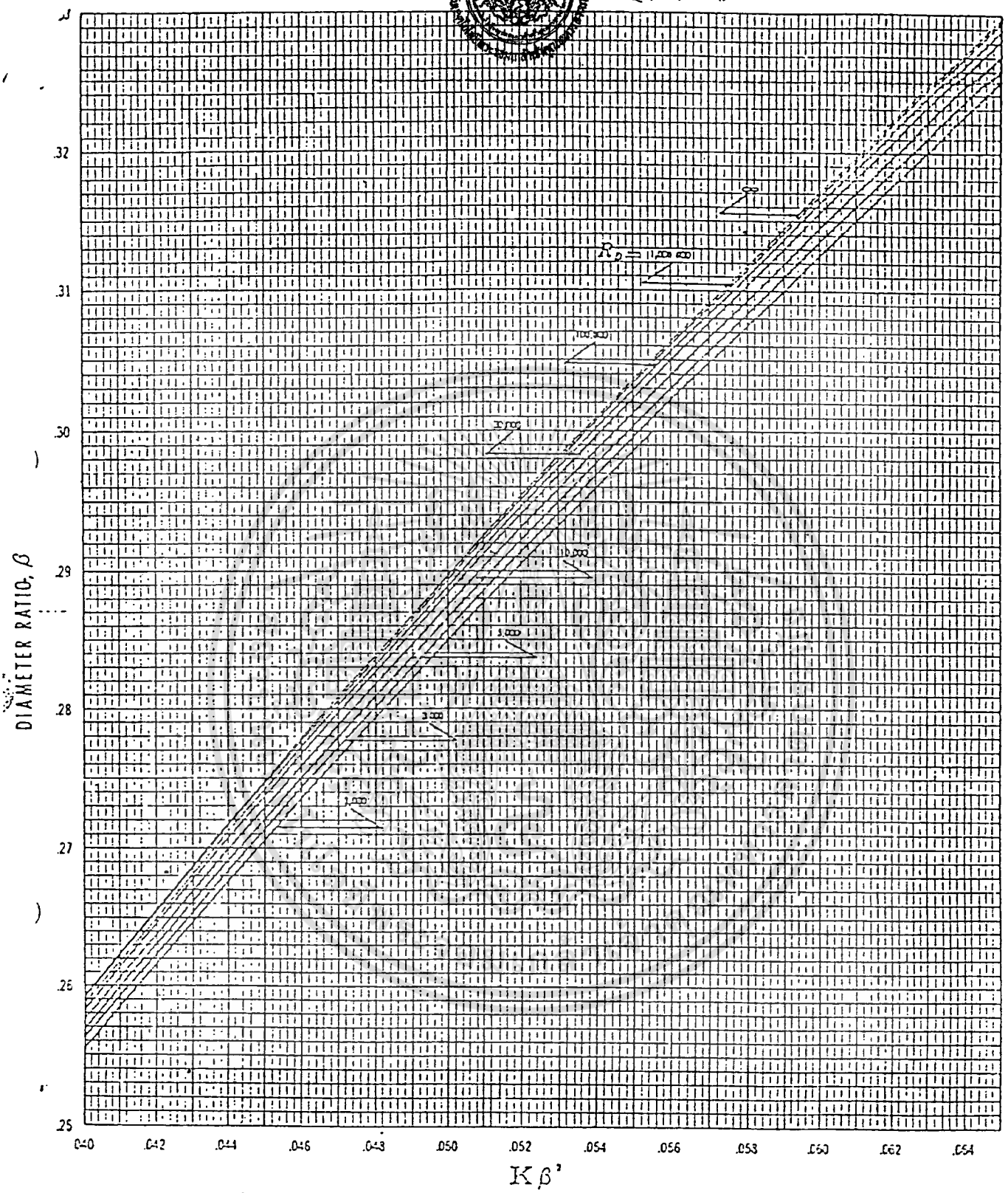
รูป 1a. Kβ^2 เพื่อหา β (kb^2 rang: 0.015 to 0.025).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1b. Kβ^2 เพื่อหา β (kb^2 rang: 0.025 to 0.045).

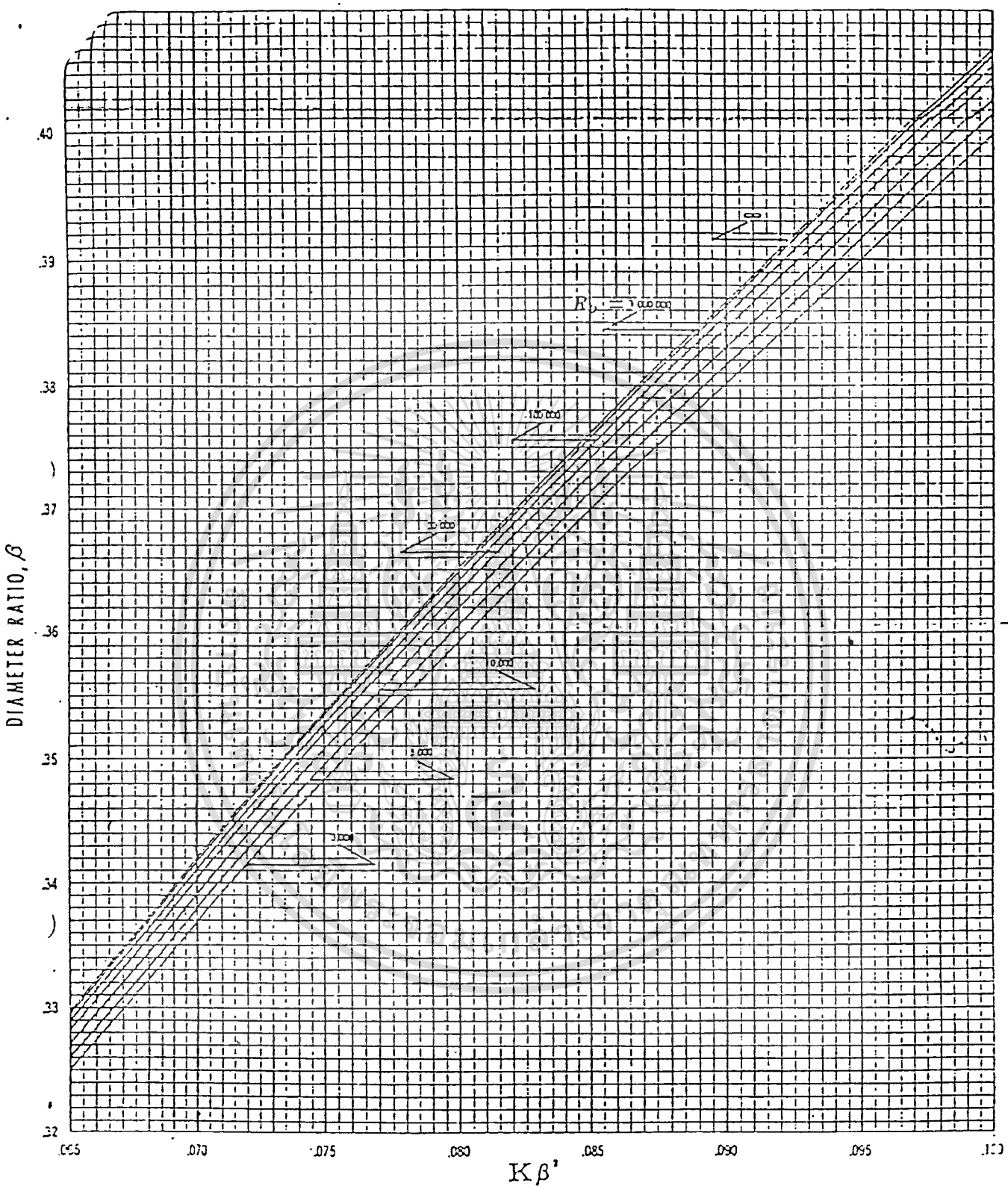
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1c. Kβ^2 เพื่อหา β (kb^2 rang: 0.040 to 0.065).

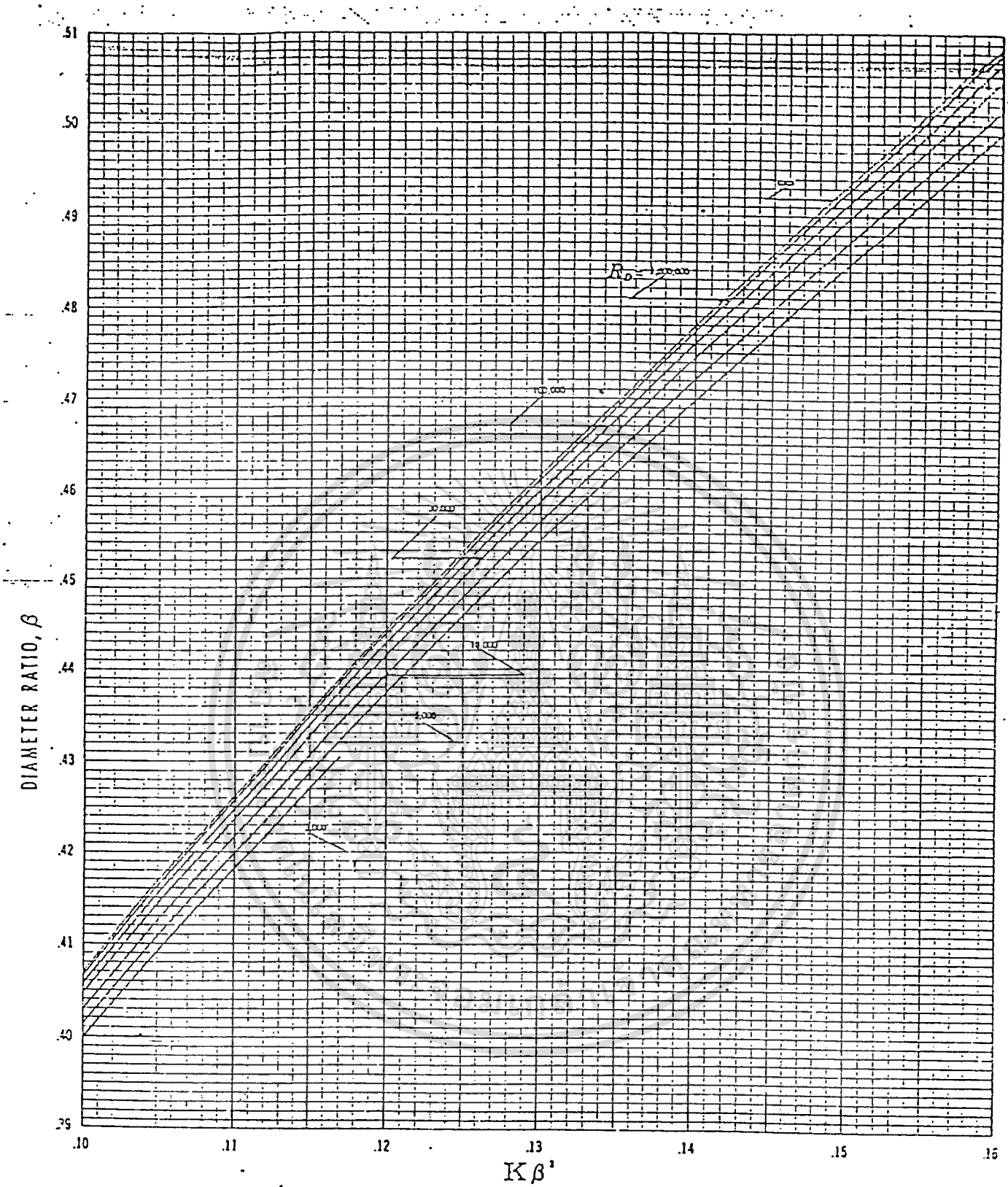
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

008439



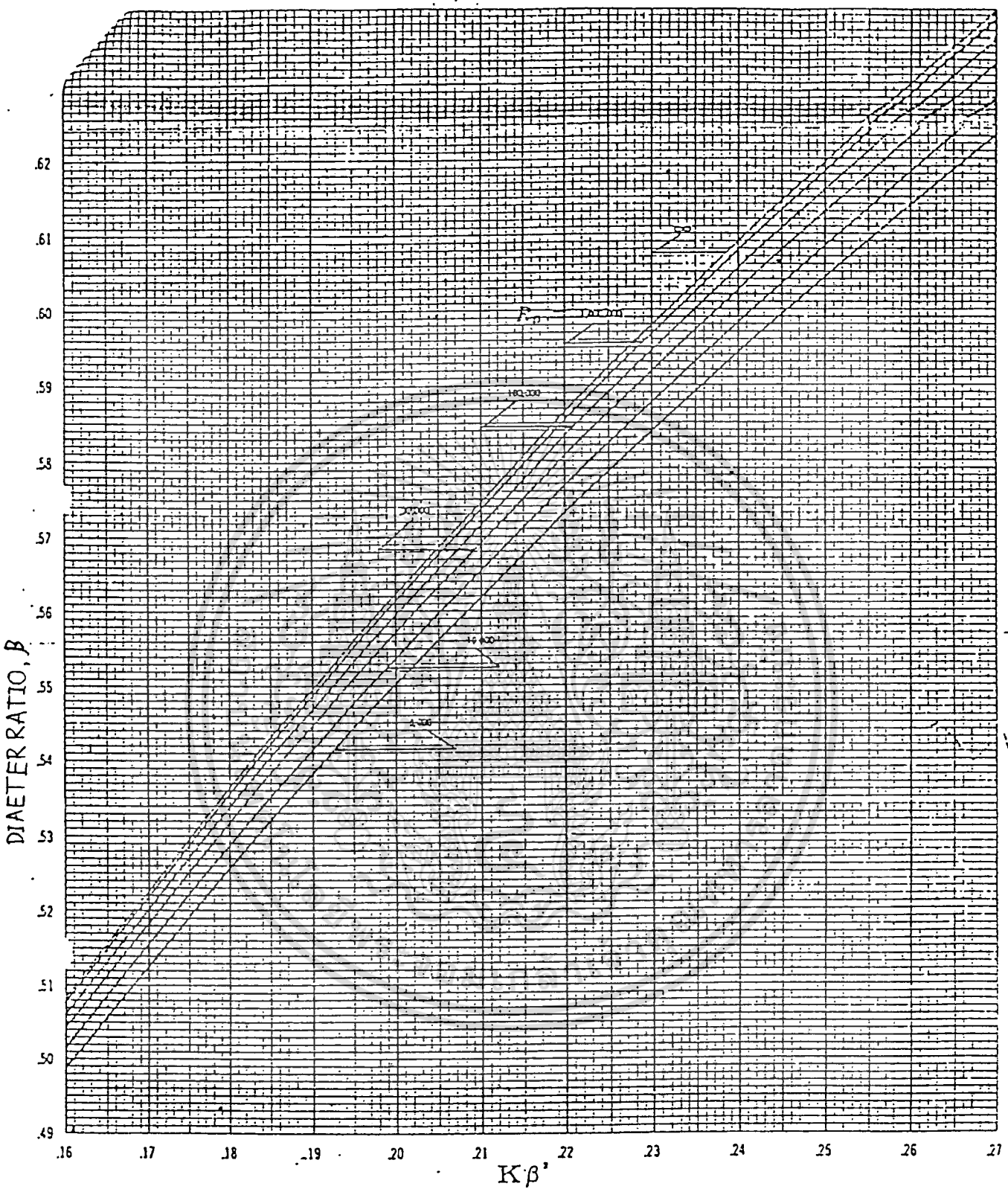
รูป 1d. Kβ^2 เพื่อหา β (kb^2 rang: 0.065 to 0.100).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



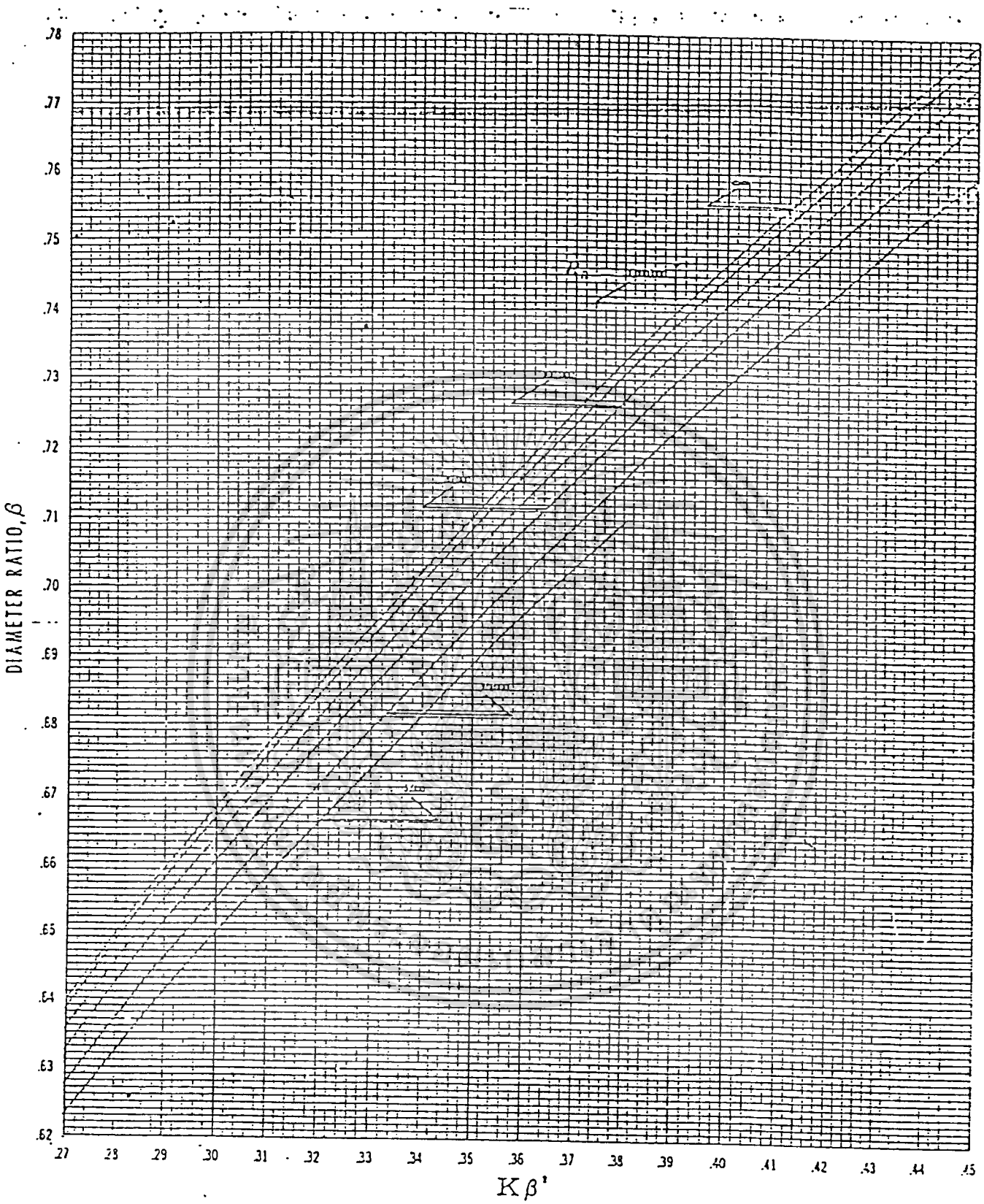
รูป 1e. Kβ^2 เพื่อหา β (kb^2 rang: 0.100 to 0.165).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1f. Kβ^2 เพื่อหา β (kb^2 rang: 0.160 to 0.270).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1g. Kβ^2 เพื่อหา β (kb^2 rang: 0.270 to 0.450).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หาค่าองค์ประกอบในสมการการไหล

"q" ปริมาตรไหลที่ใช้กับของเหลว มันง่ายในการแปลงเป็น cu ft/sec หรือ cu cm/sec โดยอ้างอิงจาก ตารางที่ gh ในบางครั้งการไหลของแก๊ซ มีการขยายตัวของปริมาตร ตัวอย่างเช่นการหาค่าแท้จริงของ cu ft/hr หรือ cu cm/min หลีกเลี่ยงความยุ่งยากโดยการรวบรวมเป็นมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น sc fm หรือ sc fh

"w" การไหลบ่อยครั้งที่ใช้กับของเหลวสำหรับของเหลว ตารางที่ 9 (sec4) สามารถแปลงหน่วยของ lb/sec หรือ gm/sec เป็นหน่วยที่ต้องการได้ง่าย

สำหรับแก๊ซใช้มาตรฐาน ปริมาตรต่อหน่วยของ sc fh หรือ nliter/hr มักใช้เงื่อยไขที่มาตรฐาน 14.7 psia และ 70 องศาฟาเรนไฮต์ ในหน่วยอังกฤษและ 760 mm hg และ 0 C ในหน่วยเมตริก ขบวนการข้างล่างเป็นการค้นหา W ในหน่วย lb/sec หรือ gm/sec

(a) ถ้าเป็นแก๊ซสมบูรณ์ อ้างอิงได้จากตารางที่ 1 สำหรับความหนาแน่นมาตรฐาน สามารถหา w ได้ดังนี้

$$W\ English = \frac{(Scfm)(std.density)}{60} \qquad (10)$$

$$W\ Metric = (16.67)\ (n\ liters/min)(std.density) \qquad (10a)$$

(b) ถ้าแก๊ซถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของ ความถ่วงจำเพาะหาค่า W ได้จาก

$$W\ English = \frac{(scfm)\ (G)}{801} \qquad (11)$$

$$W\ Metric = \frac{(n\ liters/min)(G)}{46.5} \qquad (11a)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(c) ถ้าแก๊ซ กำหนดโดยน้ำหนักของโมเลกุลและเป็นแก๊ซสมบูรณ์ที่เงื่อนไขมาตรฐาน หา W ได้จาก

$$W\ English = \frac{(scfm)(m)}{23,230} \qquad (12)$$

$$W\ Metric = \frac{(n\ liters/min)(m)}{1,344} \qquad (12a)$$

(d) ถ้าแก๊ซไม่สมบูรณ์ที่เงื่อนไขมาตรฐาน สำหรับความหนาแน่นมาตรฐานใช้สมการ 10 หรือ 10a

ถ้าไม่ใช่ที่อุณหภูมิและความดัน มาตรฐานจะไม่เหมือนกับในตารางที่ 1 ที่ถูกต้องคือ ปริมาตรที่เงื่อนไขที่ต้องการ

$$V_{\text{desired conditions}} = V_{\text{stated conditions}} \frac{(P\ stated)\ (T\ desired)}{(P_{desired})\ (T_{stated})}$$

"Δp" เป็นค่าของความดันแตกต่างเมื่อของไหล ไหลผ่าน orifice บางครั้งเรียกว่า wet differential วัดได้โดยใช้ mercury manometers สามารถทำให้เป็นความดันแตกต่างที่ถูกต้องโดย

$$\Delta p = (\text{"wet differential"}) \frac{(13.54-\rho)}{13.54} \qquad (14)$$

เมื่อ 13.54 เป็นความหนาแน่นของ mercury และ ρ เป็นความหนาแน่นของของไหลใน gm/cucm

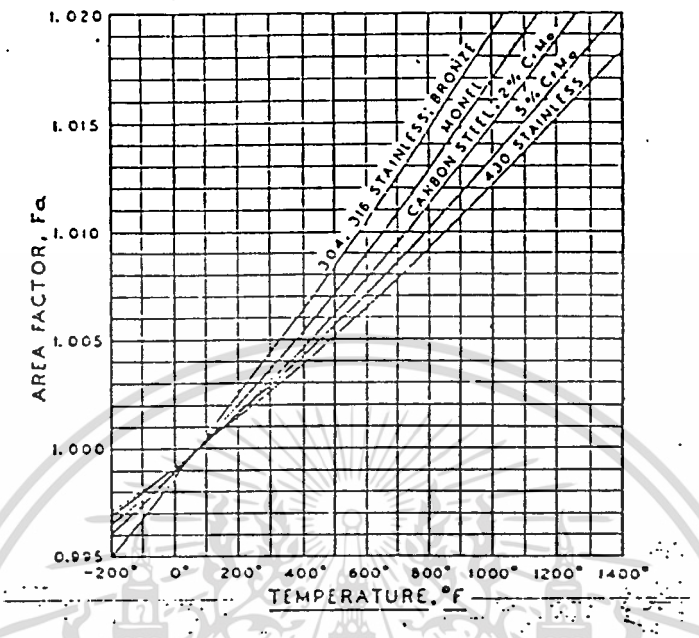
"gc" ไม่ใช่ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง แต่เป็นองค์ประกอบทางตัวเลขที่เท่ากับมัน เราใช้มันเพราะว่าระบบทางวิศวกรรมไม่แต่ต่างระหว่าง มวลและแรงที่เป็นค่าสมบูรณ์ หรือ gravitational system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gas	Density, lb/cu ft @ 14.7 psia and 70 F	Density, gm/cu cm @ 760 mm Hg and 0 C
Acetylene	0.0679	0.00117
Air	0.0749	0.00129
Ammonia	0.0447	0.000771
Argon	0.1032	0.00178
Butane	0.1510	0.00260
Carbon Dioxide	0.1149	0.00198
carbon Monoxide	0.0726	0.00125
Chlorine	0.1870	0.00322
Ethane	0.0789	0.00136
Ethyl Chloride	0.1665	0.00287
Ethylene	0.0731	0.00126
Helium	0.0103	0.000177
Hydrogen	0.00523	0.000090
Methane	0.0416	0.000717
Methyl Chloride	0.1335	0.00230
Neon	0.0505	0.000871
Nitric Oxide	0.0778	0.00134
Nitrogen	0.0726	0.00125
Oxygen	0.0830	0.00143
Propane	0.1170	0.00202
Sulfur Dioxide	0.1700	0.00293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"Fa" สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อแผ่น orifice ได้รับความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและชนิดของโลหะที่ใช้ รูปที่ 2 เป็นการหาค่า Fa บางครั้งเรียกว่า area factor

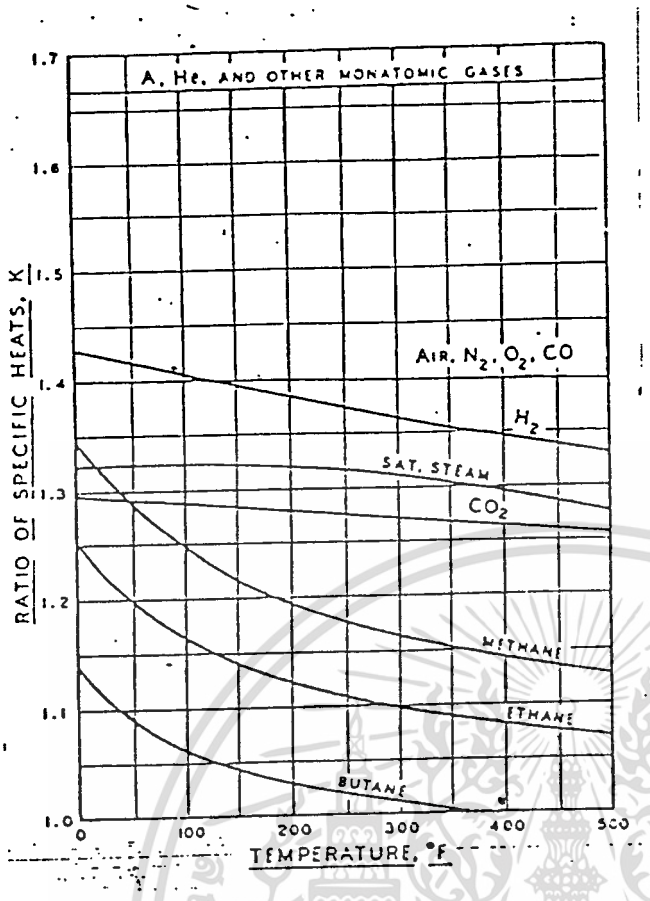


รูปที่ 2 Area factor, Faversus temperature for common orifice plate material

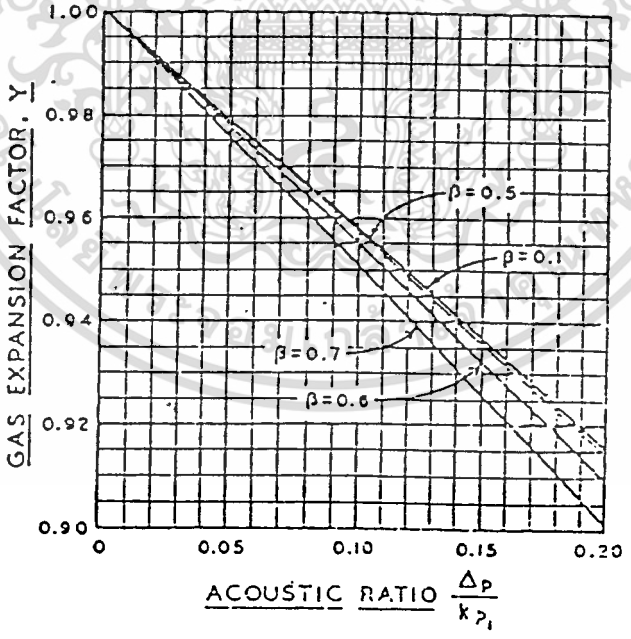
"Y" แฟคเตอร์การขยายตัวของแก๊ซ ความหนาแน่นของแก๊ซที่ ความดันด้านต่ำ (down stream) จะน้อยกว่าที่ความดันด้านสูง (upstream) มันแปรผันตามอัตราการไหล ทำให้เครื่องมือวัดมักจะวัดไม่ได้ผลจริง วิธีที่ดีที่สุดในการลดค่าแรงดันแตกต่าง (Δp) คือแฟคเตอร์ Y แฟคเตอร์ Y มีค่าเท่ากับ 1 ที่อัตราการไหลสูงสุด

ในการหาค่า Y ขั้นแรก หาค่า K, อัตราส่วนความจุความร้อน (Cp/Cy) จากรูปที่ 3 หาค่า Δp/kp: เมื่อ P1 คือ ความดันด้านสูง (upstream) ในหน่วยเดียวกับ Δp โดยวิธีสุ่มค่า p ในรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 Ratio of spicific heats, k, (cp/cg) versus temperature.



รูปที่ 4 Gas expansion factor, Y, versus acoustic ratio, $\Delta p/kp_1$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"ρ" สำหรับของเหลว ความหนาแน่น ρ เป็นฟังก์ชั่น ของอุณหภูมิบ่อยครั้งที่ความหนาแน่น แสดงในรูปของความถ่วงจำเพาะ การพิจารณาสเกลการเปลี่ยนค่าความถ่วงจำเพาะและการแปลง ไปเป็นความหนาแน่นแสดงในรูปที่ 9

สำหรับ ไอน้ำ ความหนาแน่น แปรผันเป็นเส้นตรงกับ ปริมาตร

สำหรับแก๊ซ มอลเลียไดอะแกรม (Mollier diagram) จะไม่เที่ยงตรง ความหนาแน่นจำเป็นต้องคำนวณ จากกฎของแก๊ซสมบูรณ์ หรือ กฎของแก๊ซที่ถูกต้องรวมทั้งแฟคเตอร์การอัดตัว (z) ให้ในสมการ 15 และ 16

สำหรับแก๊ซสมบูรณ์ $$\rho = P^{'}M_{/RT} \qquad (15)$$

สำหรับ ไม่ใช่แก๊ซสมบูรณ์ $$\rho = P^{'}M_{/ZRT} \qquad (16)$$

ข้างล่างเป็นสัญลักษณ์ของสมการเหล่านี้

Symbol	Name	English	Metric
p'	Absolute pressure	$\frac{\text{lb force}}{\text{sq ft}}$	atmosphere
T	Absolute temperature	°F + 460	°C + 273
R	Universal gas constant	$1545\left(\frac{\text{ft-lb}}{^{\circ}R\text{-mol}}\right)$	$82.06\ \frac{\text{cu cm-atm}}{^{\circ}K\text{-mol}}$
ρ	Gas density	lb mass/cu ft	gm mass/cu cm
Z	Compressibility factor	(a function of p_r and T_r; see Table 2 and Fig. 5)	
$P_r = \frac{p}{p_c}$	Reduced pressure	(pressure/critical pressure)	
$T_r = \frac{T}{T_c}$	Reduced temperature	(absolute temp./critical temp.)	
M	Molecular weight of gas	$\frac{\text{lb}}{\text{lb mol}}$	$\frac{\text{gm}}{\text{gm mol}}$

สัญลักษณ์ของสมการต่างๆ

ถ้าแก๊ซรู้หรือสังสัยว่าไม่ใช่แก๊ซสมบูรณ์ที่เงื่อนไขการวัด, Z สามารถหาค่าเริ่มจากหา Pc และ Tc สำหรับแก๊ซที่ใช้งานจากตาราง 2 ใช้รูป 5 อ่านค่า Z สำหรับแก๊ซสมบูรณ์ Z = 1.0 , Z มักจะใช้เมื่อมีการคำนวณสำหรับความหนาแน่นของแก๊ซ

"A" พื้นที่หน้าตัดของท่อได้มาจากเส้นผ่านศูนย์กลางใน เส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่สำหรับขนาดท่อมาตรฐาน ให้ไว้ในตาราง 10 และ 11 ตาราง2 ,รูป5,รูป5A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gas	M	Formula	T_c		p_c	
			°R	°K	psia	atm
Acetic Acid	60	$C_2H_4O_2$	1071	595	840	57
Acetylene	26	C_2H_2	556	309	911	62
Ammonia	17	NH_3	730	405	1640	111
Argon	40	A	272	151	705	48
Benzene	78	C_6H_6	1011	562	702	48
Butane	58	C_4H_{10}	765	425	551	37
Carbon Dioxide	44	CO_2	548	304	1072	73
Carbon Monoxide	28	CO	239	133	507	35
Carbon Tetrachloride	154	CCl_4	1001	556	661	45
Chlorine	71	Cl_2	751	417	1118	76
Decane	142	$C_{10}H_{22}$	1115	619	312	21
Ethane	30	C_2H_6	550	305	708	48
Ethanol	46	C_2H_5OH	929	516	927	63
Ethyl Chloride	64.5	C_2H_5Cl	829	460	764	52
Ethyl Ether	74	$C_4H_{10}O$	839	466	522	36
Ethylene	28	C_2H_4	509	283	748	51
Helium*	4	He	24	13.3	151	10.3
Heptane	100	C_7H_{16}	972	540	377	27
Hexane	86	C_6H_{14}	914	508	436	30
Hydrogen*	2	H_2	74	41	306	21
Hydrogen Cyanide	27	HCN	822	457	735	50
Methane	16	CH_4	343	191	673	46
Methanol	32	CH_3OH	924	513	1450	99
Methyl Chloride	50.5	CH_3Cl	749	416	967	66
Neon*	20	Ne	93	52	498	34
Nitric Oxide	30	NO	323	179	955	65
Nitrogen	28	N_2	227	126	492	34
Nonane	128	C_9H_{20}	1072	596	336	23
Octane	114	C_8H_{18}	1025	569	362	25
Oxygen	32	O_2	278	154	730	50
Pentane	72	C_5H_{12}	847	470	486	33
Propane	44	C_3H_8	666	370	617	42
Sulfur Dioxide	64	SO_2	775	430	1142	78
Sulfur Trioxide	80	SO_3	885	491	1228	84
Toluene	92	C_7H_8	1069	594	612	42
Water	18	H_2O	1165	647	3206	219

*Critical values for these gases are modified from the actual values so that *Fig. 5* yields more accurate results.

ตารางที่ 2. Critical Temrerature and Pressures for Some Gases.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

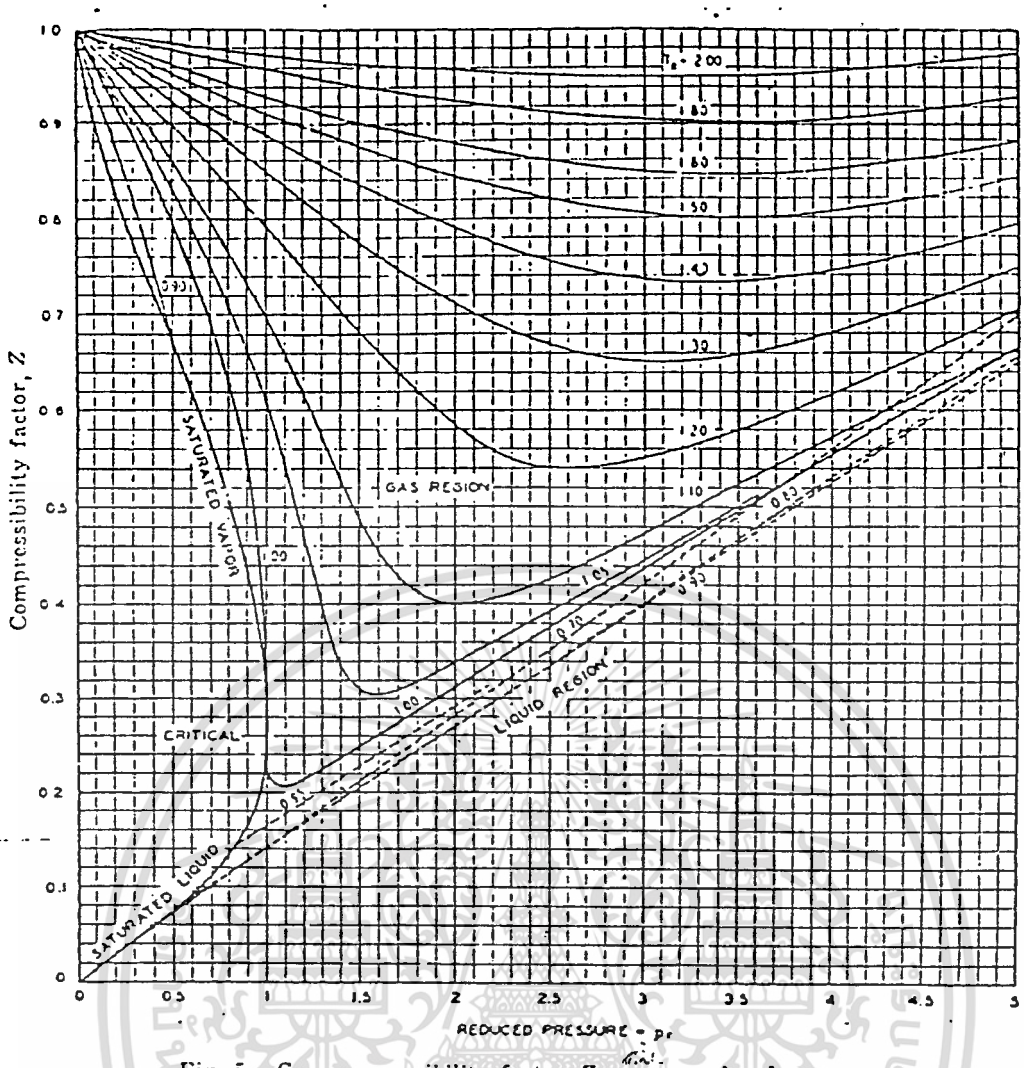


Fig. 5. Gas compressibility factor, Z, versus reduced pressure, p_r.

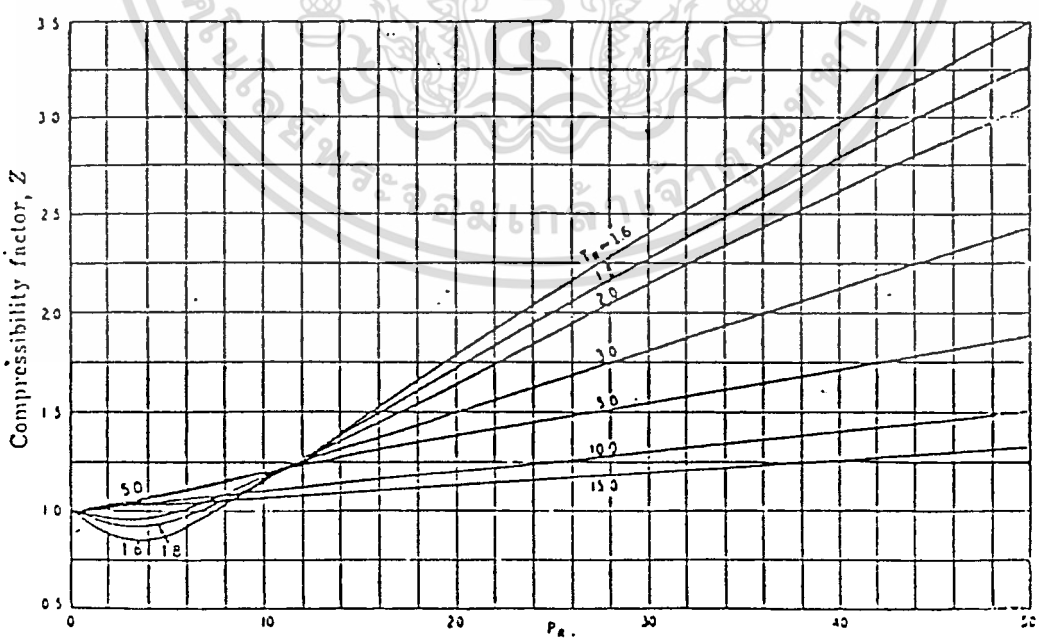


*Fig. 5A. Gas compressibility factor, Z, at high pressures.

From Weber, H.C.: "Thermodynamics for Chemical Engineers" (1939) by permission of the copyright owner John Wiley & Sons, Inc., New York.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"μ" ความหนืดของของไหลใช้ในการคำนวณเรโนลด์ นัมเบอร์ RD สำหรับของเหลว ความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแต่ไม่ขึ้นอยู่กับความดัน สำหรับแก๊ซทั้งความดันและอุณหภูมิมีผลต่อความหนืด

สำหรับของเหลวความหนืดสามารถหาได้โดยกำหนดจุดโคออดิเนท X และ Y ที่ให้ในตาราง 5 ขนโมโนกราฟ,รูป 6 จุดบนเส้นตรงนี้และจุดการทำงานของอุณหภูมิที่กำหนดความหนืดที่อ่านใน centipoises ความแม่นยำ ± 10% หรือดีกว่าวิธีที่แม่นยำที่ใช้สำหรับแก๊ซที่ความดันบรรยากาศ อยู่ในตาราง 6 รูปที่ 7 ถ้าแก๊ซมีความดันสูงค่าที่ถูกต้องทำความหนืด ที่ความดันบรรยากาศด้วยแฟคเตอร์ ที่ถูกต้องในรูปที่ 8 ค่าวิกฤตของแก๊ซให้ไว้ในตารางที่ 2 ตารางที่ 3 ให้ข้อมูลสำหรับไอน้ำ

ค่าความหนืดในเรโนล นัมเบอร์เป็นค่าสมบูรณ์ (absolute viscosity) ข้อมูลที่ให้มักจะเป็นหน่วยทางจลศาสตร์ (Kinematic units) ความสัมพันธ์ระหว่าง 2 แบบ คือ

Viscabsolute = (Visc.Kinematic) (Density) หรือ

Centipoise = (centistokes) (gm/cu cm) หรือ

$\mu = (V)(\rho)$

ตาราง 4 ให้หน่วยสำหรับค่าสมบูรณ์ (cabsolute) และจลศาสตร์ (Kinemetic) ของความหนืด ตาราง 9 j และ 9K ให้แฟคเตอร์การแปลงหน่วยสำหรับ 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3. Viscosity of Steam Versus Temperature

Values in centipoises

Temp.		Pressure, lb force/sq in. abs					
°C.	°F.	100	200	400	500	600	800
204	400	0.0198	0.0230				
260	500	0.0213	0.0236	0.0272	0.0289	0.0311	
316	600	0.0228	0.0246	0.0279	0.0294	0.0314	0.0350
371	700	0.0243	0.0259	0.0290	0.0304	0.0321	0.0357
4	800	0.0260	0.0275	0.0304	0.0318	0.0334	0.0370
482	900	0.0278	0.0292	0.0320	0.0335	0.0352	0.0390
538	1000	0.0296	0.0310	0.0338	0.0354	0.0372	0.0414

*Data of Hawkins, Solberg, and Potter, *Trans. Am. Soc. Mech. Engrs.*, 52, p. 577 (1930).

Table 4. Typical Units for Absolute and Kinematic Viscosity

ABS. VISC. UNITS. (μ)	KINEMATIC VISC. UNITS (ν)
1 centipoise = 0.01 poise	1 centistoke = 0.01 stoke
$\frac{\text{gm}}{\text{cm - sec}}$ (or poise)	$\frac{\text{sq cm}}{\text{sec}}$ (or stoke)
$\frac{\text{lb mass}}{\text{ft - sec}}$	$\frac{\text{sq ft}}{\text{sec}}$
	Saybolt Seconds (SSU) Saybolt Furol Degrees Engler Redwood #1 Seconds Redwood #2 Seconds Barbey Seconds Engler Seconds

*There are a number of kinematic viscosity scales which are based on drainage time for gravity flow through one of a variety of restrictions. A correlation of such units with centistokes is given in Fig. 13 in Sec. 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 5. Viscosities of Liquids

Coordinates for Fig. 6

Liquid	X	Y	Liquid	X	Y
Acetaldehyde	15.2	4.8	Glycerol, 100%	2.0	30.0
Acetic acid, 100%	12.1	14.2	Glycerol, 50%	6.9	19.6
Acetic acid, 70%	9.5	17.0	Heptene	14.1	8.4
Acetic anhydride	12.7	12.8	Hexane	14.7	7.0
Acetone, 100%	14.5	7.2	Hydrochloric acid, 31.5%	13.0	16.6
Acetone, 35%	7.0	15.0	Iodobenzene	12.8	15.9
Acetonitrile	14.4	7.4	Isobutyl alcohol	7.1	18.0
Acrylic acid	12.3	13.9	Isobutyric acid	12.2	14.4
Allyl alcohol	10.2	14.3	Isopropyl alcohol	8.2	16.0
Allyl bromide	14.4	9.6	Kerosene	10.2	16.9
Allyl iodide	14.0	11.7	Linseed oil, raw	7.5	27.2
Ammonia, 100%	12.6	2.0	Mercury	18.4	16.4
Ammonia, 26%	10.1	13.9	Methanol, 100%	12.4	10.5
Amyl acetate	11.8	12.5	Methanol, 90%	12.3	11.8
Amyl alcohol	7.5	18.4	Methanol, 40%	7.8	15.5
Aniline	8.1	18.7	Methyl acetate	14.2	8.2
Anisole	12.3	13.5	Methyl acrylate	13.0	9.5
Arsenic trichloride	13.9	14.5	Methyl i-butyrate	12.3	9.7
Benzene	12.5	10.9	Methyl n-butyrate	13.2	10.3
Brine, $CaCl_2$, 25%	6.6	15.9	Methyl chloride	15.0	3.8
Brine, NaCl, 25%	10.2	16.6	Methyl ethyl ketone	13.9	8.6
Bromine	14.2	13.2	Methylene chloride	14.1	8.7
Bromotoluene	20.0	15.9	Methyl formate	14.2	7.5
Butyl acetate	12.3	11.0	Methyl iodide	14.3	9.3
i-Butyl acetate	13.1	11.3	Methyl propionate	13.5	9.0
n-Butyl acrylate	11.5	12.6	Methyl propyl ketone	14.3	9.5
Butyl alcohol	8.6	17.2	Methyl sulfide	15.3	6.4
i-Butyl bromide	13.1	10.9	Napthalene	7.9	18.1
i-Butyl chloride	13.1	9.1	Nitric acid, 95%	12.8	13.8
i-Butyl iodide	13.3	12.4	Nitric acid, 60%	10.8	17.0
Butyric acid	12.1	15.3	Nitrobenzene	10.6	16.2
Carbon dioxide	11.6	0.3	Nitrogen dioxide	12.9	8.6
Carbon disulfide	16.1	7.5	Nitrotoluene	11.0	17.0
Carbon tetrachloride	12.7	13.1	Octane	13.7	10.0
Chlorobenzene	12.3	12.4	Octyl alcohol	6.6	21.1
Chloroform	14.4	10.2	Pentachloroethane	10.9	17.3
Chlorosulfonic acid	11.2	18.1	Pentane	14.9	5.2
Chlorotoluene, ortho	13.0	13.3	Phenol	6.9	20.8
Chlorotoluene, meta	13.3	12.5	Phosphorus tribromide	13.8	16.7
Chlorotoluene, para	13.3	12.5	Phosphorus trichloride	16.2	10.9
Cresol, meta	2.5	20.8	Propionic acid	12.8	13.8
Cyclohexane	9.8	12.9	Propyl acetate	13.1	10.3
Cyclohexanol	2.9	24.3	Propyl alcohol	9.1	16.5
Dibromoethane	12.7	15.8	Propyl bromide	14.5	9.6
Dichloroethane	13.2	12.2	i-Propyl bromide	14.1	9.2
Dichloromethane	14.6	8.9	Propyl chloride	14.4	7.5
Diethyl ketone	13.5	9.2	i-Propyl chloride	13.9	7.1
Diethyl oxalate	11.0	16.4	Propyl formate	13.1	9.7
Diethylene glycol	5.0	24.7	Propylene glycol	3.1	23.7
Dimethyl oxalate	12.3	15.8	Propyl iodide	14.1	11.6
Diphenyl	12.0	18.3	i-Propyl iodide	13.7	11.2
Dipropyl ether	13.2	8.6	Sodium	16.4	13.9
Dipropyl oxalate	10.3	17.7	Sodium hydroxide, 50%	3.2	25.8
Ethyl acetate	13.7	9.1	Stannic chloride	13.5	12.8
Ethyl acrylate	12.7	10.4	Succinonitrile	10.1	20.8
Ethyl alcohol, 100%	10.5	13.8	Sulfur dioxide	15.2	7.1
Ethyl alcohol, 95%	9.8	14.3	Sulfuric acid, 110%	7.2	27.4
Ethyl alcohol, 40%	6.5	16.6	Sulfuric acid, 100%	8.0	25.1
Ethyl benzene	13.2	11.5	Sulfuric acid, 98%	7.0	24.8
Ethyl bromide	14.5	8.1	Sulfuric acid, 60%	10.2	21.3
2 Ethyl butyl acrylate	11.2	14.0	Sulfuryl chloride	15.2	12.4
Ethyl chloride	14.8	6.0	Tetrachloroethane	11.9	15.7
Ethyl ether	14.5	5.3	Tetrachloroethylene	14.2	12.7
Ethyl formate	14.2	8.4	Thiophene	13.2	11.0
Ethyl iodide	14.7	10.3	Titanium tetrachloride	14.4	12.3
Ethyl propionate	13.2	9.9	Toluene	13.7	10.4
Ethyl propyl ether	14.0	7.0	Trichloroethylene	14.8	10.5
Ethyl sulfide	13.8	8.9	Triethylene glycol	4.7	24.8
Ethylene bromide	11.9	15.7	Turpentine	11.5	14.9
Ethylene chloride	12.7	12.2	Vinyl acetate	14.0	8.8
Ethylene glycol	6.0	23.6	Vinyl toluene	13.4	12.0
2 Ethyl hexyl acrylate	9.0	15.0	Water	10.2	13.0
Ethylidene chloride	13.6	9.5	Xylene, ortho	13.5	12.1
Fluorobenzene	13.7	10.4	Xylene, meta	13.9	10.6
Formic acid	10.7	15.8	Xylene, para	13.9	10.9
Freon-11	14.4	9.0			
Freon-12	16.8	5.6			
Freon-21	15.7	7.5			
Freon-22	17.2	4.7			
Freon-113	12.5	11.4			

Note: Table includes 45 added chemicals as given in *Chemical Engineering's* Shortcut Deskbook for 1959.

เอกสารนี้เป็นเอกสาร... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

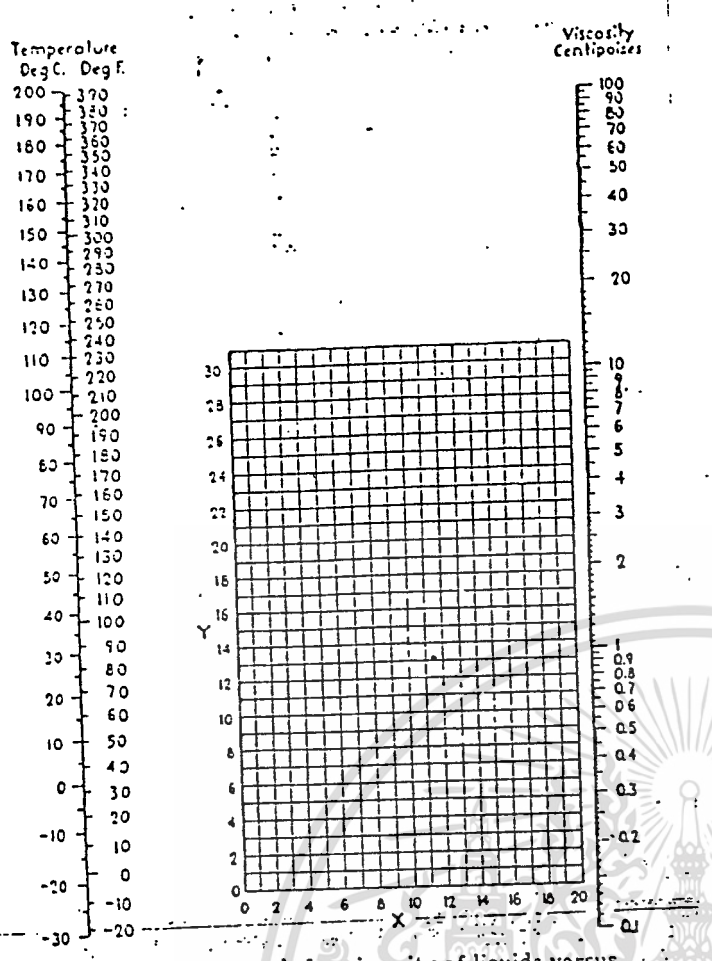


*Fig. 6. Nomograph for viscosity of liquids versus temperature. For coordinates see Table 5.

Table 6. Viscosities of Gases

Coordinates for Fig. 7

Gas	X	Y	Gas	X	Y
Acetic acid	7.7	14.3	Helium	10.9	20.5
Acetone	8.9	13.0	Hexane	8.6	11.8
Acetylene	9.8	14.9	Hydrogen	11.2	12.4
Air	11.0	20.0	$3H_2 + 1N_2$	11.2	17.2
Ammonia	8.4	16.0	Hydrogen bromide	8.8	20.9
Argon	10.5	22.4	Hydrogen chloride	8.8	18.7
Benzene	8.5	13.2	Hydrogen cyanide	9.8	14.9
Bromine	8.9	19.2	Hydrogen iodide	9.0	21.3
Butene	9.2	13.7	Hydrogen sulfide	8.6	18.0
Butylene	8.9	13.0	Iodine	9.0	18.4
Carbon dioxide	9.5	18.7	Mercury	5.3	22.9
Carbon disulfide	8.0	16.0	Methane	9.9	15.5
Carbon monoxide	11.0	20.0	Methyl alcohol	8.5	15.6
Chlorine	9.0	18.4	Nitric oxide	10.9	20.5
Chloroform	8.9	15.7	Nitrogen	10.6	20.0
Cyanogen	9.2	15.2	Nitrosyl chloride	8.0	17.8
Cyclohexane	9.2	12.0	Nitrous oxide	8.8	19.0
Ethane	9.1	14.5	Oxygen	11.0	21.3
Ethyl acetate	8.5	13.2	Pentane	7.0	12.8
Ethyl alcohol	9.2	14.2	Propane	9.7	12.9
Ethyl chloride	8.5	15.6	Propyl alcohol	8.4	13.4
Ethyl ether	8.9	13.0	Propylene	9.0	13.8
Ethylene	9.5	15.1	Sulfur dioxide	9.6	17.0
Fluorine	7.3	23.8	Toluene	8.6	12.4
Freon-11	10.6	15.1	2, 3, 3-Trimethyl-butane	9.5	13.5
Freon-12	11.1	16.0	Water	8.0	16.0
Freon-21	10.8	15.3	Xenon	9.3	23.0
Freon-22	10.1	17.0			
Freon-113	11.3	14.0			

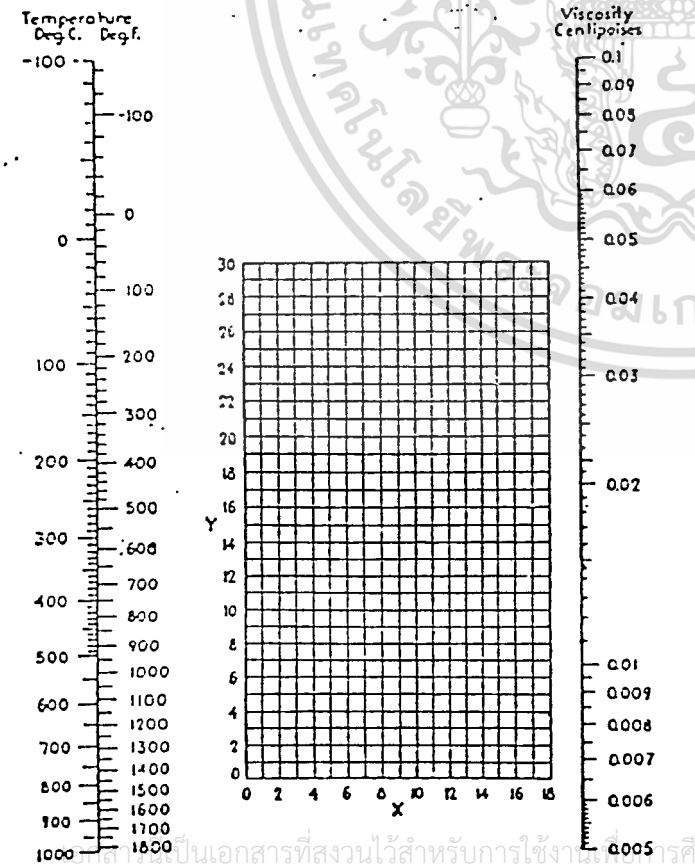
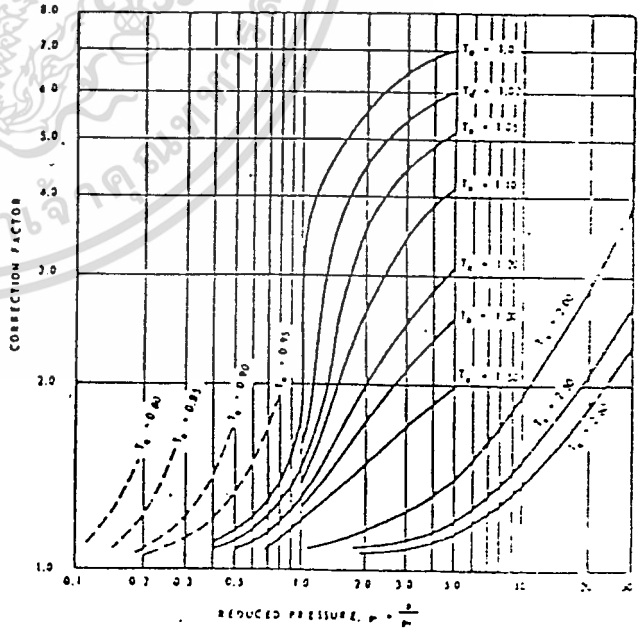


*Fig. 7. Nomograph for viscosity of gases at one atmosphere versus temperature. For coordinates see Table 6.

*From Perry's "Chemical Engineers Handbook", by permission of the copyright owner, McGraw Hill Book Co., Inc., New York.



$$\mu = \left(\begin{matrix}\mu \text{ from} \\ \text{Fig. 7}\end{matrix}\right)\left(\begin{matrix}\text{CORRECTION} \\ \text{FACTOR}\end{matrix}\right)$$

Fig. 8. Pressure correction factor for gas viscosities.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การประยุกต์ คุณสมบัติของความถ่วงจำเพาะกับความหนาแน่น (อ้างอิงในตอนที่ 2 เรื่องความหนาแน่น ,/)

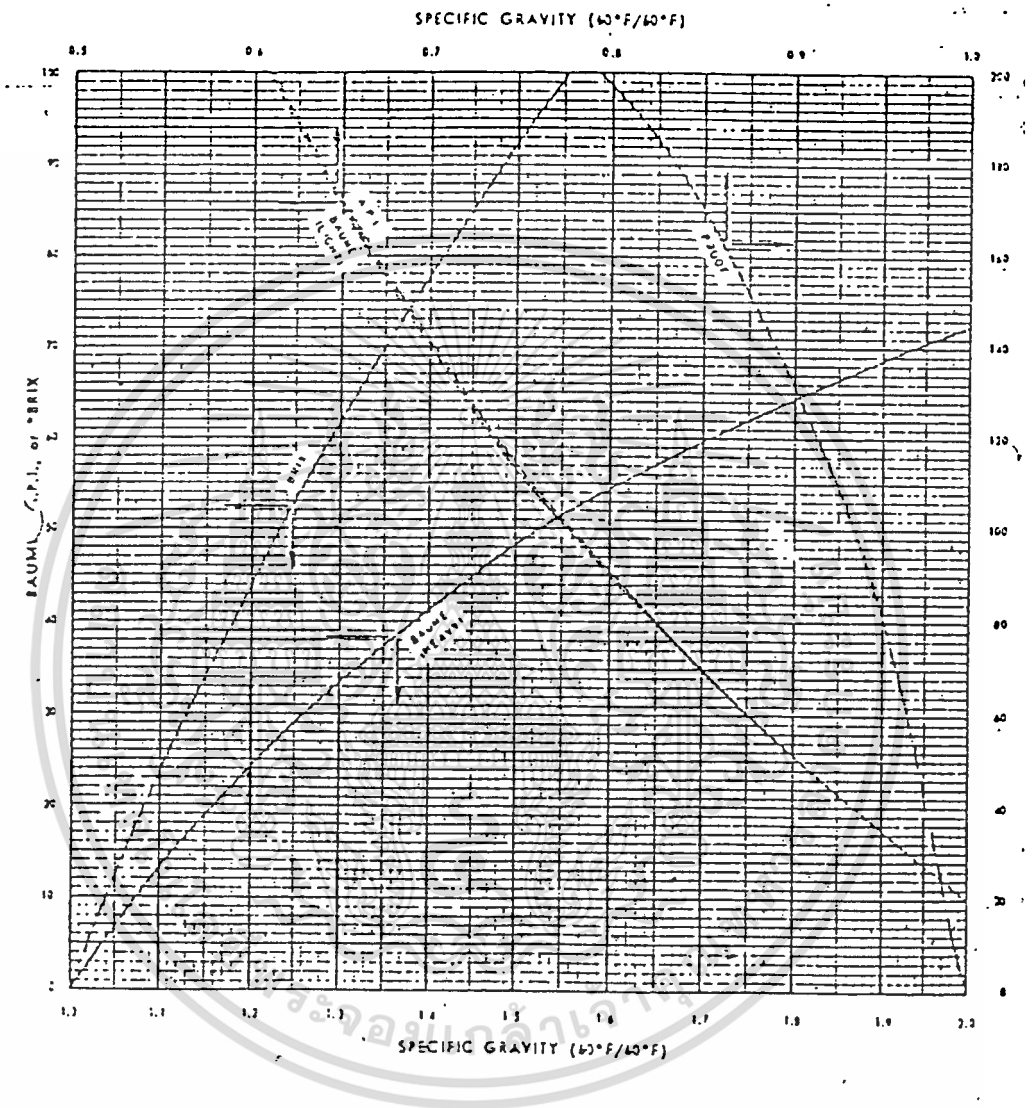
ความถ่วงจำเพาะมักจะถูกเข้าใจผิดบ่อย ๆ ว่าเป็นความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ (G) เป็นอัตราส่วนของความหนาแน่น ของของไหลกับของน้ำในกรณีเป็นของเหลว และของแข็งหรือ กับความหนาแน่นของ อากาศ สำหรับแก๊ซ ความถ่วงจำเพาะมักจะประกอบด้วย 2 อุณหภูมิเช่น G 20 c/10 c = 1.172 อธิบายได้ดังนี้ คือความหนาแน่นของของไหลที่ 20 c หารด้วยความหนาแน่นของน้ำที่ 10 c เท่ากับ 1.172 ความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วย สำหรับของแข็งและของเหลว ความหมายของอัตราส่วนนี้มักจะทำที่ 4 c เพราะว่าความหนาแน่นของน้ำที่ 4 c เป็น 1 gm/cu cm

สำหรับแก๊ซ ความถ่วยจำเพาะเป็นอัตราส่วนของความหนาแน่นแก๊ซ กับความหนาแน่นของอากาศ ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน สำหรับแก๊ซสมบูรณ์อาจมีความหมายเป็นอัตราส่วนที่เงื่อนไข ความดันและอุณหภูมิเดียวกัน สำหรับแก๊ซสมบูรณ์มีความหมายเป็นอัตราส่วนของน้ำหลักโมเลกุล ของแก๊ซกับน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ

สำหรับความถ่วงจำเพาะของแก๊ซที่ให้ข้อมูลไว้เป็นเงื่อนไขที่มาตรฐานเท่านั้นถ้าแก๊ซที่กระทำเป็นแก๊ซสมบูรณ์ที่เงื่อนไขมาตรฐาน และเงื่อนไขการทำงานสามารถใช้กฎแก๊ซสมบูรณ์ที่ถูกต้อง (perfect gas law corrections) ประยุกต์ความหนาแน่นที่เงื่อนไขการทำงานได้ (ดูคำอธิบายเรื่องความหนาแน่นในตอนที่ 2)

การเปลี่ยนสเกลของความถ่วงจำเพาะของของเหลว แสดงโดยสมการและ รูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันสูญเสียทั้งหมด ของเครื่องมือวัดการไหลไม่มากเท่าความดันตกคร่อมแผ่น orifice ที่วัดได้ ความเร็วสูง (high velocity jet) จากแผ่น orifice ที่กระทบจะปล่อย พลังงานจลย์มาเพิ่ม ความวว้นด้านต่ำ (down stream) เหนือความดันที่เป็นอยู่ที่แผ่น orifice ด้านออก แรงดันตกคร่อม Δp จะมีการสูญเสียที่ถาวรเป็นฟังก์ชั่นของ β แสดงในรูป 10

กำลังสูยเสียในรูปกำลังม้าคำนวณจาก

$$H.P. = \frac{(q, \text{in cu ft/sec})(hw, \text{overall})}{105.8} \qquad (21)$$

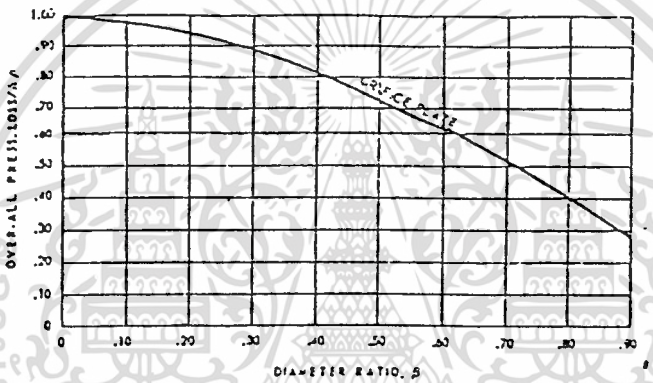


Fig. 10. Ratio of over-all pressure loss to metered differential versus diameter ratio β.

ทางเข้าของของเหลวหรือแก๊ซ

สำหรับเครื่องมือวัดการไหล วิ่งตามแนวนอน ควรเจาะรูเล็กก ๆ ผ่าน orifice ที่จุดสัมผัสด้านในวงกลมท่อ รูนี้ อยู่ที่ส่วนล่างสำหรับการวัดแก๊ซที่มีของเหลวปนอยู่เล็กน้อย และอยู่ที่ส่วนบนสำหรับการวัดของเหลวที่มีแก๊ซที่มีแก๊ซปนอยู่เล็กน้อย พื้นที่ของรูเล็กนี้ลบจากผลรวมพื้นที่แผ่น orifice ที่ต้องการเป็นขนาดเฉพาะสำหรับแผ่น orifice ที่มีการตัดในศูนย์กลางของแผ่น ในทางปฏิบัติมันยากที่จะรักษารูเจาะนี้จากการอุดตันด้วยของแข็ง และประโยชน์ของมันในบางครั้งยังเป็นคำถามอยู่ เมื่อเรามาแก้ปัญหาในทางปฏิบัติที่ดีกว่าคือตั้งเครื่องวัดแก๊ซให้ไหลลงในแนวตั้งและตั้งเครื่องวัด ของเหลวให้ไหลขึ้นในแนวตั้งไม่มีรูระบาย (drain bo/es)ที่จำเป็น

ถ้าไม่ทำดังที่กล่าวมานี้ มีอีกวิธีหนึ่งกำหนดโดย Fischey & Portcr engineers ใช้ข้อมูลที่ให้ใน ตาราง 7 ในการหาขนาดของรูระบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 7. Recommended Drain Hole Sizes for Various Orifice Diameters

Orifice Dia. d, inches	Drain Hole dia., inches
1–3½	3/32
3½–4¼	1/8
4¼–5	5/32
5–6	3/16
6–6¾	7/32
6¾–7½	1/4
7½–8⅜	9/32
8⅜–9¼	5/16
9¼–10	11/32
10–10⅞	3/8
10⅞–11⅝	13/32
11⅝–12½	7/16
12½–13¼	15/32
13¼ and up	1/2

ความแม่นยำของเครื่องวัดการไหล

สัมประสิทธิ์ ,K ใช้เปรียบเทียบรูปที่ 1 จากข้อมูลขนาดท่า $1^{1}/_{2}$ ถึง 16 นิ้ว flangetaps,corner taps,D และ $^{1}/_{2}$ D taps และ Vena contracea taps ข้อมูลรวบรวมไว้ใน ตาราง ASME และ AGA, Ambrosius-Spink,Deutschc Ingenieur Normen สามารถพบค่า K ในฟังก์ชั่นของ β และ R_D

ความผิดพลาดมาตรฐานที่หัวมิเตอร์ คือ + 1% สำหรับค่า β ระหว่าง 0.35 และ 0.65 ความผิดพลาดคือ + 1% สำหรับค่า β ซึ่งอยู่ระหว่าง 0.12 ถึง 0.72 สมการสำหรับ K คือ

$$K = 0.5930 + 0.4\beta^{4} + (0.0015\sqrt{\beta} + 0.012\beta^{4})\frac{1000}{\sqrt{RD}}$$

การออกแบบ orifice และการปรับแต่ง รูปที่ 11 แสดงการต่อ taps สำหรับวัดความดันแตกต่าง

Flange Taps มีศูนย์กลางอยู่ที่ 1 นิ้วทางด้านแรงดันสูงและ 1 นิ้วทางด้านแรงดันต่ำของผิวหน้าของแผ่น orifice

Corner Taps กำหนดไว้ใกล้แผ่น orifice ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D และ $^{1}/_{2}$ D Taps (หรือ Radius Taps) มีศูนย์กลางอยู่ห่างผิวหน้าแผ่น orifice เท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางด้านแรงดันสูงและอยู่ห่างผิวหน้าแผ่น orifice $^{1}/_{2}$ ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางด้านแรงดันต่ำ

Vena-Contracta Taps มีศูนย์กลางติดตั้งไว้ห่างจากผิวหน้าแผ่น orifice ระหว่าง $^{1}/_{2}$ ถึง 2 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางด้านแรงดังสูง ส่วน tap ทางด้านแรงดันต่ำอยู่ที่ ค่าเฉลี่ยของ Vena - contracta (ดูรูปที่ 12) Vena - contracta taps ใช้สำหรับท่อขนาดใหญ่ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย ของตัวเชื่อมต่อของ flange orifice ขนาดใหญ่

มันมีความสำคัญเป็นมาตรฐานของการติดตั้ง ดูในรูป 14 ต้องไม่มีเสียงที่ taps และ orifice ต้องตรวจให้แน่ใจว่าที่ขอบด้านแรงดันสูงต้องคม และเป็นเหลี่ยม

ตารางที่ 8 ให้ความหนาของแผ่น orifice สำหรับความแตกต่างของขนาดท่อ และเงื่อนไขของอุณหภูมิ รูป 13 แสดง 3 มาตรฐานของโครงสร้างของขอบ (edge) ของ orifice รูปที่ 14 ให้วิธีการจัดท่อในการติดตั้งแผ่น orifice ทั้งทางด้านความดันสูงและความดันต่ำ ภายใต้เงื่อนไขการทำงานต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

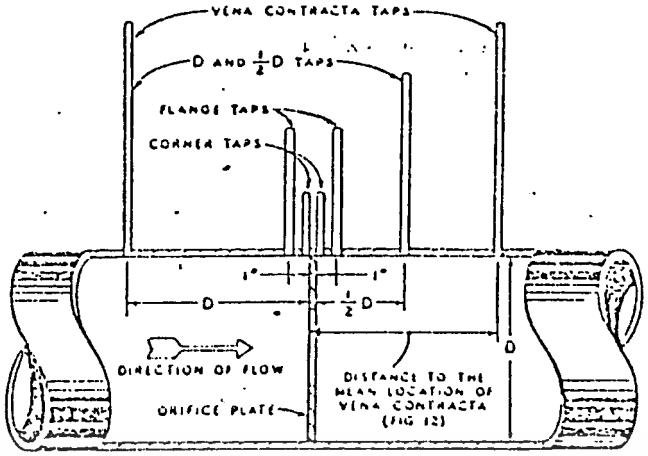


Fig. 11. Nomenclature for various tap locations.

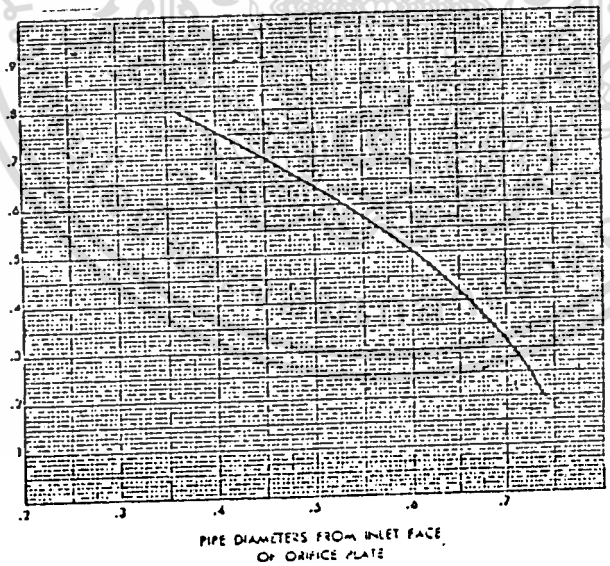
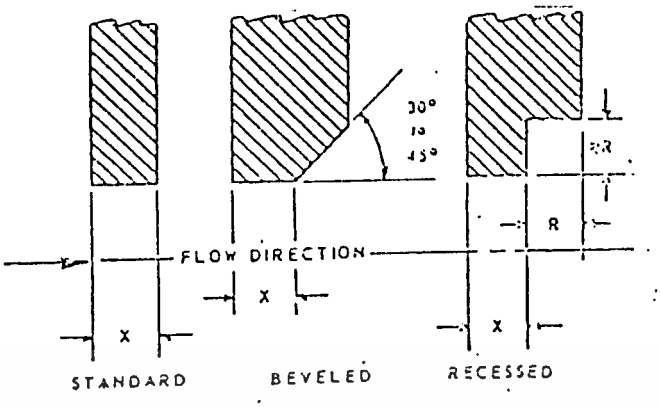


Fig. 12. Location of outlet pressure connection for Vena Contracta Taps*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



X = 0.01 D to 0.02 D

*Inlet edge of orifice shall be square and sharp, free from either burrs or rounding so that when viewed without magnification, a beam of light is not reflected visibly by the edge.

Fig. 13. Standards of construction for the orifice metering edge. (From the ASME "Flowmeter Computation Handbook", 1961).

Table 3. Recommended Orifice Plate Thicknesses*

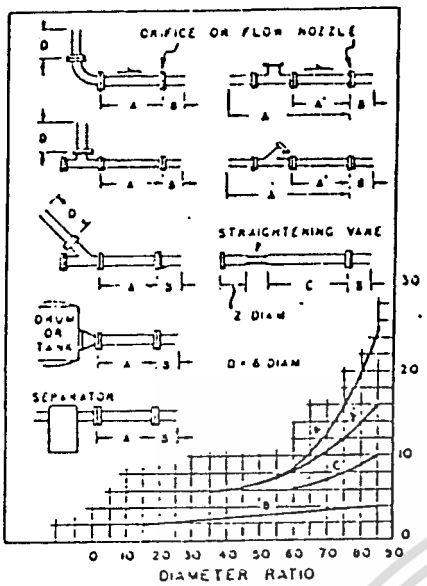
Pipe Size, inches	Thickness, (in.) below 600° F	Thickness, (in.) above 600° F
Up to 3	1/32 = 1/16	1/16
4 to 6	1/16 = 1/8	3/32
7 to 8	1/16 = 1/8	1/8
10 and over	3/32 = 1/8	1/8 to 3/16

*From the ASME "Flowmeter Computation Handbook", 1961.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

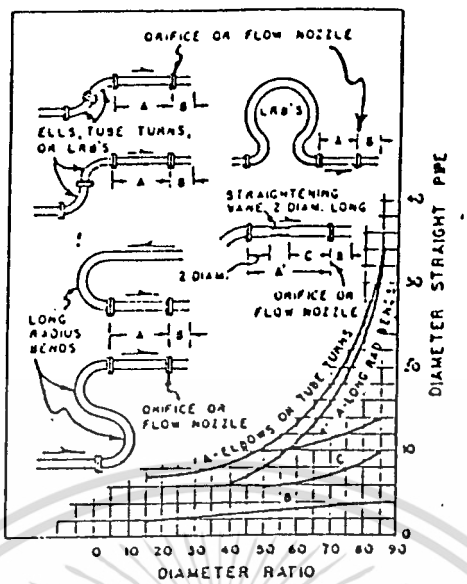
SCHEDULE 1

FOR ORIFICES AND FLOW NOZZLES
ALL FITTINGS IN SAME PLANE



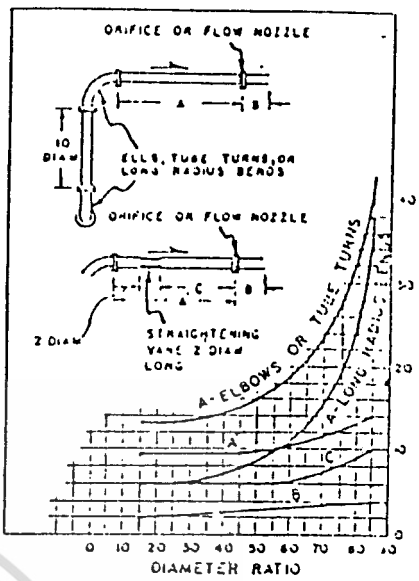
SCHEDULE 2

FOR ORIFICES AND FLOW NOZZLES
ALL FITTINGS IN SAME PLANE



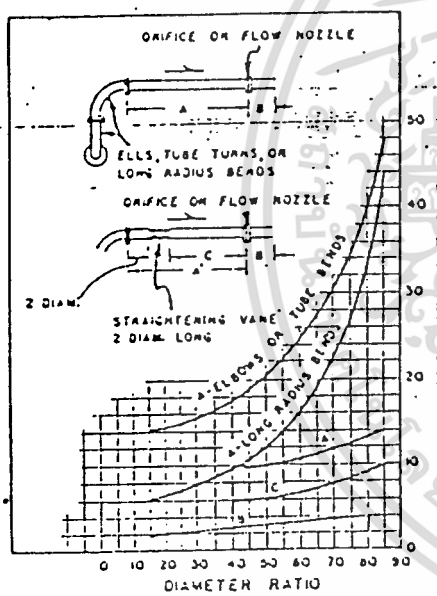
SCHEDULE 3

FOR ORIFICES AND FLOW NOZZLES
FITTINGS IN DIFFERENT PLANES



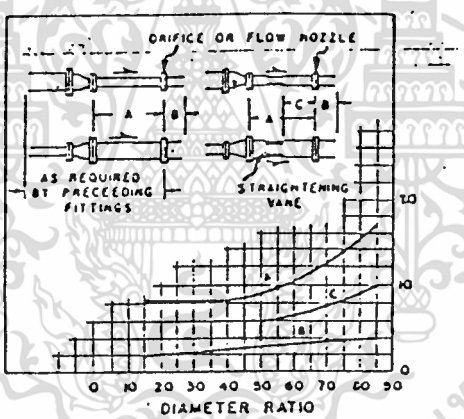
SCHEDULE 4

FOR ORIFICES AND FLOW NOZZLES
FITTINGS IN DIFFERENT PLANES



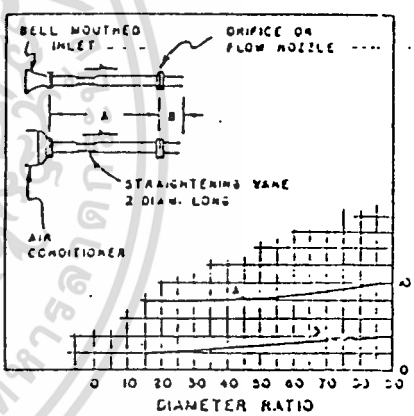
SCHEDULE 5

FOR ORIFICES AND FLOW NOZZLES
WITH REDUCERS AND EXPANDERS



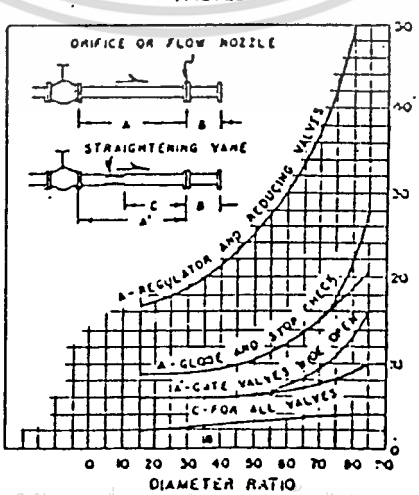
SCHEDULE 6

FOR ORIFICES AND FLOW NOZZLES
IN ATMOSPHERIC INTAKE



SCHEDULE 7

VALVES



FITTINGS ALLOWED ON OUTLET SIDE IN PLACE OF STRAIGHT PIPE	
.0-.50 RATIO	.50-.60 RATIO
1. Tees 2. 45 ells 3. Gate valves 4. Separators 5. Y-fittings 6. Expansion joints	1. Tees 2. Expansion joints 3. Gate valves 4. Y-fittings 5. Separator (If inlet neck is one diameter long)
.60-.70 RATIO	.70-.80 RATIO
1. Gate valves 2. Y-fittings 3. Separator (If inlet neck is one diameter long)	1. Gate valves 2. Long radius bend

Fig. 14.

Upstream and downstream piping requirements for orifice meters. *Trans. ASME*, July 1945, p. 515

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 9. Unit Conversion Factors

(a) Pressure

psi (lb/in^2)	lb/ft^2	Atmosphere	Kg/cm^2	in. H_2O @ 15°C	ft H_2O @ 15°C	mm Hg @ 0°C	in. Hg @ 0°C
1	144	0.06804	0.07031	27.70	2.309	51.71	2.036
0.006944	1	0.0004724	0.0004881	0.1923	0.01603	0.3591	0.01414
14.70	2116.8	1	1.0333	407.2	33.93	760	29.92
14.22	2047.2	0.9678	1	394.0	32.84	735.5	28.96
0.03610	5.198	0.002456	0.002538	1	0.08333	1.867	0.07349
0.4332	62.33	0.02947	0.03045	12	1	22.40	0.8819
0.01934	2.785	0.001316	0.001360	0.5357	0.04464	1	0.03937
0.4912	70.73	0.03342	0.03453	13.61	1.134	25.40	1

(b) Volume

Gallons (U.S.)	ft^3	in^3	Barrels (oil)	cm^3 (or ml)	liters	Imperial Gallons
1	0.1337	231	0.02381	3785	3.785	0.8327
7.481	1	1723	0.1781	28320	28.32	6.229
0.329	0.0005787	1	0.0001031	16.39	0.01639	0.003605
42	5.615	9702	1	159000	1590	34.97
0.0002642	0.00003531	0.06102	6.29×10^{-6}	1	0.001	0.0002200
0.2642	0.03531	61.02	0.006290	1000	1	0.02200
1.201	0.1606	277.4	0.02860	4546	4.546	1

(c) Mass (or Weight)

lb	oz	Kg	gm	ft^3 H_2O (@ 0°C)	gal. H_2O (@ 0°C)
1	16	0.4536	453.6	0.01602	0.1198
0.0625	1	0.02835	28.35	0.001001	0.00749
2.205	35.27	1	1000	0.03532	0.2642
0.002205	0.03527	0.001	1	0.00003532	0.0002642
62.42	998.7	28.30	28300	1	7.481
8.345	133.5	3.785	3785	0.1337	1

(d) Length

ft	in.	meter	cm	mm
1	12	0.3048	30.48	304.8
0.0333	1	0.0254	2.54	25.4
3.231	39.37	1	100	1000
0.03281	0.3937	0.01	1	10
0.003281	0.03937	0.001	0.1	1

(e) Velocity

ft/sec	ft/min	cm/sec	meter/sec	meter/min	Km/hr
1	60	30.48	0.3048	18.29	1.097
0.01667	1	0.5080	0.005080	0.3048	0.01829
0.03281	1.9685	1	0.01	0.600	0.0360
3.281	196.85	100	1	60	3.6
0.0547	3.281	1.667	0.01667	1	0.06
0.9113	54.63	27.78	0.2778	16.67	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(f) Density

lb/ft³	gm/cm³	lb/in³	lb/U.S. Gal.
1	0.01602	0.0005787	0.1337
62.43	1	0.02613	8.345
1728	27.68	1	231
7.481	0.1198	0.004329	1

(g) Area

in²	ft²	mm²	cm²
1	0.006944	645.2	6.452
144	1	92900	929
0.00155	1.076×10^{-5}	1	0.01
0.155	1.076×10^{-3}	100	1

(h) Volumetric Flow Rate.

ft³/sec	ft³/min	ft³/hr	gpm	gph	gpd	mgd	cm³/sec	cm³/min	liter/min
1	60	3600	448.9	26,930	646,300	0.6463	28320	1.699×10^{3}	1699
0.01667	1	60	7.481	448.9	10,770	0.01077	472	28320	28.32
0.0002778	0.01667	1	0.1247	7.481	179.3	0.0001793	7.867	472	0.472
0.002228	0.1337	8.022	1	60	1440	0.00144	63.11	3786	3.786
0.00003713	0.002228	0.1337	0.01667	1	24	2.4×10^{-5}	1.052	63.11	0.06311
1.547×10^{-6}	9.283×10^{-5}	0.005570	0.0006945	0.04167	1	10^{-6}	0.04383	2.629	0.002629
1.547	92.83	5570	694.5	41670	10^{6}	1	43,830	2.629×10^{3}	2629
3.531×10^{-5}	0.002119	0.1271	0.01585	0.9510	22.82	2.282×10^{-5}	1	60	0.060
5.835×10^{-7}	3.531×10^{-5}	0.002119	0.0002642	0.01585	0.3804	3.804×10^{-7}	0.01667	1	0.001
5.835×10^{-4}	0.03531	2.119	0.2642	15.85	380.4	3.804×10^{-4}	16.67	1000	1

(i) Gravimetric Flow Rate

lb/sec	lb/min	lb/hr	ton/day	gm/sec	gm/min	gm/hr	Kg/hr
1	60	3600	43.20	453.6	27220	1.633×10^{6}	1633
0.01667	1	60	0.720	7.560	453.6	27220	27.22
0.0002778	0.01667	1	0.0120	0.1260	7.560	453.6	0.4536
0.02315	1.389	83.33	1	10.50	630.0	37800	37.80
0.002205	0.1323	7.938	0.09534	1	60	3600	3.600
3.675×10^{-5}	0.002205	0.1323	0.001589	0.01667	1	60	0.0600
6.125×10^{-7}	3.675×10^{-5}	0.002205	2.646×10^{-5}	0.0002778	0.01667	1	0.001
6.125×10^{-4}	0.03675	2.205	0.02646	0.2778	16.67	1000	1

(j) Viscosity

poise	centipoise	$\frac{gm}{cm\text{-}sec}$	$\frac{lb}{ft - sec}$
1	100	1	0.0672
0.01	1	0.01	0.000672
1	100	1	0.0672
14.88	1488	14.88	1

(k) Kinematic Viscosity

stoke	centistoke	$\frac{cm^2}{sec}$	$\frac{ft^2}{sec}$
1	100	1	0.001076
0.01	1	0.01	1.076×10^{-5}
1	100	1	0.001076
929.0	92900	929.0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 12. Centigrade - Fahrenheit Temperature Conversion Table

$$F = \frac{9}{5}(C) + 32 \quad \text{or} \quad C = \frac{5}{9}(F - 32)$$

°C		°F	°C		°F	°C		°F
-273.1	-459.4		-17.8	0	32	43	110	230
-268	-450		-15.6	5	41	49	120	248
-240	-400		-12.2	10	50	54	130	266
-212	-350		-9.4	15	59	60	140	284
-184	-300		-6.7	20	68	66	150	302
-157	-250	-418	-3.9	25	77	71	160	320
-129	-200	-328	-1.1	30	86	77	170	338
-101	-150	-238	1.7	35	95	82	180	356
-73.3	-100	-148	4.4	40	104	88	190	374
-67.8	-90	-130	7.2	45	113	93	200	392
-62.2	-80	-112	10.0	50	122	121	250	482
-56.7	-70	-94	12.8	55	131	149	300	572
-51.1	-60	-76	15.6	60	140	177	350	662
-45.6	-50	-58	18.3	65	149	204	400	752
-40.0	-40	-40	21.1	70	158	232	450	842
-34.4	-30	-22	23.9	75	167	260	500	932
-28.9	-20	-4	26.7	80	176	316	600	1112
-23.3	-10	14	29.4	85	185	371	700	1292
			32.2	90	194	427	800	1472
			35.0	95	203	482	900	1652
			37.8	100	212	583	1000	1832

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 13. Lists of Symbols, with Description and Units, as Used in this Handbook

Symbol	Description	Units	
a	cross-sectional area of orifice	sq ft	(sq cm)
A	cross-sectional area of pipe inside	sq ft	(sq cm)
C	degrees Centigrade		
d	orifice diameter	in.	
D	inside pipe diameter	in.	
D'	inside pipe diameter	ft	
F	degrees Fahrenheit		
F_a	area factor for thermal expansion of orifice		
g	acceleration of gravity	ft/sec^2	(cm/sec^2)
g_c	unit system conversion factor	$\frac{\text{lb mass} - \text{ft}}{\text{lb force} - \text{sec}^2}$	$\frac{\text{gm mass} - \text{cm}}{\text{gm force} - \text{sec}^2}$
G	specific gravity		
h_w	impressed differential across orifice	in. of water @ 4°C	
k	specific heat ratio, c_p/c_v		
K	flow coefficient		
M	molecular weight		
p	absolute pressure	psia	
p'	absolute pressure	psfa	
Δp	measured pressure differential	psf	$\frac{\text{gm}}{\text{sq cm}}$
p_c	critical pressure	psia	
p_r	reduced pressure ratio		
q	volumetric flow rate	cu ft/sec	(cu cm/sec)
R	gas constant	various units	
R_D	pipe Reynolds number		
T	absolute temperature	°F + 460	(°C + 273)
T_c	critical temperature		
T_r	reduced temperature ratio		
V	volume	cu ft	(cu cm)
w	gravimetric flow rate	lb mass/sec	(gm mass/sec)
Y	gas expansion factor		
Z	compressability factor		
β (beta)	diameter ratio, d/D		
μ (mu)	absolute viscosity	$\frac{\text{lb mass}}{\text{ft} - \text{sec}}$	$\frac{\text{gm mass}}{\text{cm} - \text{sec}}$
ν (nu)	kinematic viscosity = μ/e	$\frac{\text{sq ft}}{\text{sec}}$	$\frac{\text{sq cm}}{\text{sec}}$
ρ (rho)	density	$\frac{\text{lb mass}}{\text{cu ft}}$	$\frac{\text{gm mass}}{\text{cu cm}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

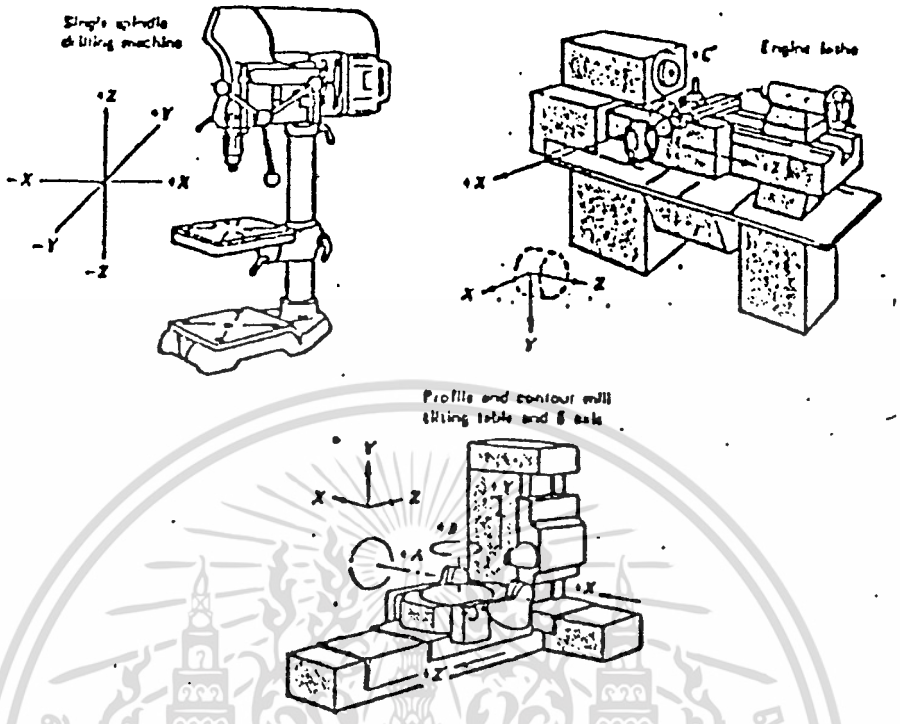
เครื่อง CNC

ซีเอ็นซี (computerize numerical control CNC) เป็นระบบ เอ็นซี (numerical control) ชนิดหนึ่งที่นำคอมพิวเตอร์เข้ามาประกอบ เพื่อลดอุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้าบางส่วนในระบบควบคุมการทำงานของระบบ ซีเอ็นซี โดยแทนอุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้านั้นด้วยโปรมแกรม จึงทำให้ระบบ ซีเอ็นซี มีความยืดหยุ่นสูงต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของงาน และจากการที่คอมพิวเตอร์มีราคาถูกลงจึงทำให้ระบบ ซีเอ็นซี เป็นระบบที่น่าสนใจสำหรับงานอุตสาหกรรม

<u>การพัฒนาของระบบควบคุมที่ใช้กับเครื่องมือกล</u>

เครื่องมือกลในอดีตเป็นเครื่องมือกลแบบง่าย ๆ ที่ต้องการผู้ชำนาญงานควบคุมการผลิตอย่างใกล้ชิด ค่าความเที่ยงตรงของงานที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญของผู้ควบคุม ต่อมาได้มีการนำระบบควบคุมแบบง่าย ๆ เข้ามาใช้กับเครื่องมือกล แต่เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานของเครื่องกลให้สามารถทำงานได้เฉพาะอย่างเท่านั้น เมื่อระบบ เอ็นซี ได้ถูกนำมาเผยแพร่ จึงมีการนำระบบ เอ็นซี เข้ามาใช้กับเครื่องมือกลดังแสดงในรูปที่ 2.1 การผลิตชิ้นงานด้วยเครื่อง เอ็นซี มีความเที่ยงตรงสูง แต่การเปลี่ยนแปลงการทำงานของเครื่อง เอ็นซี เพื่อให้เหมาะกับลักษณะของงานที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากผู้ควบคุมเครื่องอาจจะต้องทำการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้าตามไปด้วย ภายหลังที่คอมพิวเตอร์ได้เป็นที่รู้จัก จึงได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาร่วมใช้กับระบบ เอ็นซี ระบบที่ใช้คอมพิวเตอรีเป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องมือกลมีอยู่ 2 ระบบ คือระบบ ซีเอ็นซี และระบบดีเอ็นซี (direct numerical control DNC) ระบบ ซีเอ็นซี เป็นระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องมือกลเพียงเครื่องเดียว ส่วนระบบ ดีเอ็นซี เป็นระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์กลาง (central computer) ควบคุมการทำงานของเครื่องมือกลหลาย ๆ เครื่องในเวลาเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของงานและเงินที่ต่ำกว่า จะพบว่าระบบ ซีเอ็นซี เป็นระบบที่ได้รับความสนใจมากกว่าระบบ ดีเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างของเครื่องมือกลที่นำมาใช้กับระบบ เอ็นซี และ ซีเอ็นซี

วัตถุประสงค์ที่สำคัญต่อการพัฒนาระบบควบคุมเครื่องมือกล คือ ค่าความเที่ยงตรงและเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน ในอดีต ค่าความเที่ยงตรงสำหรับการผลิตชิ้นงานนั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ทำการผลิตเป็นส่วนใหญ่ และเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานประมาณ 70-80 เปอร์เซนต์จะเกี่ยวข้องกับการวัดขนาดชิ้นงาน เมื่อระบบ เอ็นซี และ ซีเอ็นซี ได้ถูกนำมาใช้กับเครื่องมือกล ค่าความเที่ยงตรงของชิ้นงานจึงขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องมือกลนั้น ๆ แต่เวลาที่ใช้ในการเตรียมหรือแก้ไขชุดคำสั่งของระบบ เอ็นซี จะมากกว่าระบบ ซีเอ็นซี

เครื่อง ซีเอ็นซี

เครื่อง ซีเอ็นซี ที่ใช้กันโดยทั่วไปอาจมีลักษณะและค่าความเที่ยงตรงที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของงาน ค่าความเที่ยงตรง และเงินลงทุนที่สามารถจะจัดหาได้ แต่ไม่ว่าเครื่อง ซีเอ็นซี จะเป็นลักษณะใดก็จะมีลักษณะของการควบคุมการทำงานที่คล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และมีองค์ประกอบพื้นฐานที่เหมือนกัน ซึ่งเราสามารถแบ่งองค์ประกอบพื้นฐานออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. อุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน

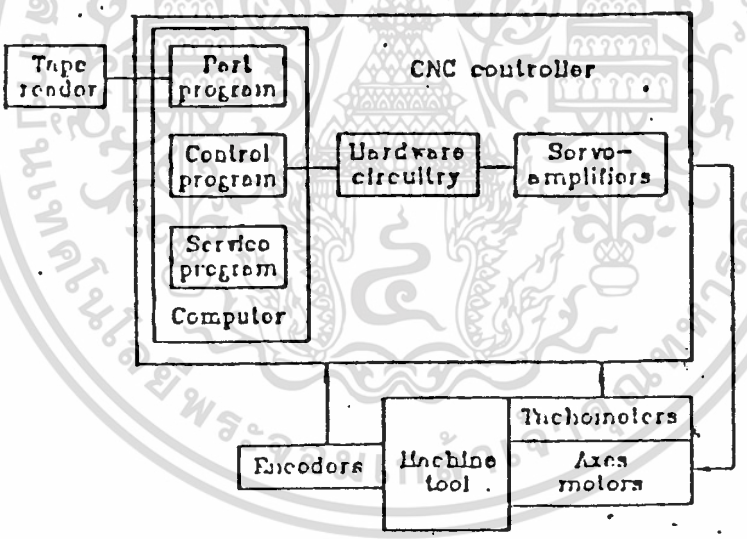
โดยทั่วไประบบ ซีเอ็นซี จะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้าอย่างน้อยที่สุด ดังนี้

1.1 เซอโวแอมปลิฟลายเออร์ (servo-amplifier) ทำหน้าที่ส่งแรงดันกระแสไฟฟ้าไปขับมอเตอร์ และควาบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่

1.2 เซอโวมอเตอร์ (servo-motor) ทำหน้าที่แปลงสัญญานหรือแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากเซอโวแอมปลิฟลายเออร์ให้เป็นงาน เพื่อใช้ในการขับแกนของแท่นเครื่อง

1.3 ทรานศดิวเซอร์ (transducer component)ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของแท่นเครื่อง ทิศทาง ความเร็ว และความเร่งของมอเตอร์

1.4 อุปกรณ์สำหรับการติดต่อ (interface component) ทำหน้าที่รับและส่งสัญญานไปยังอุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ ที่อยู่ภายในระบบ

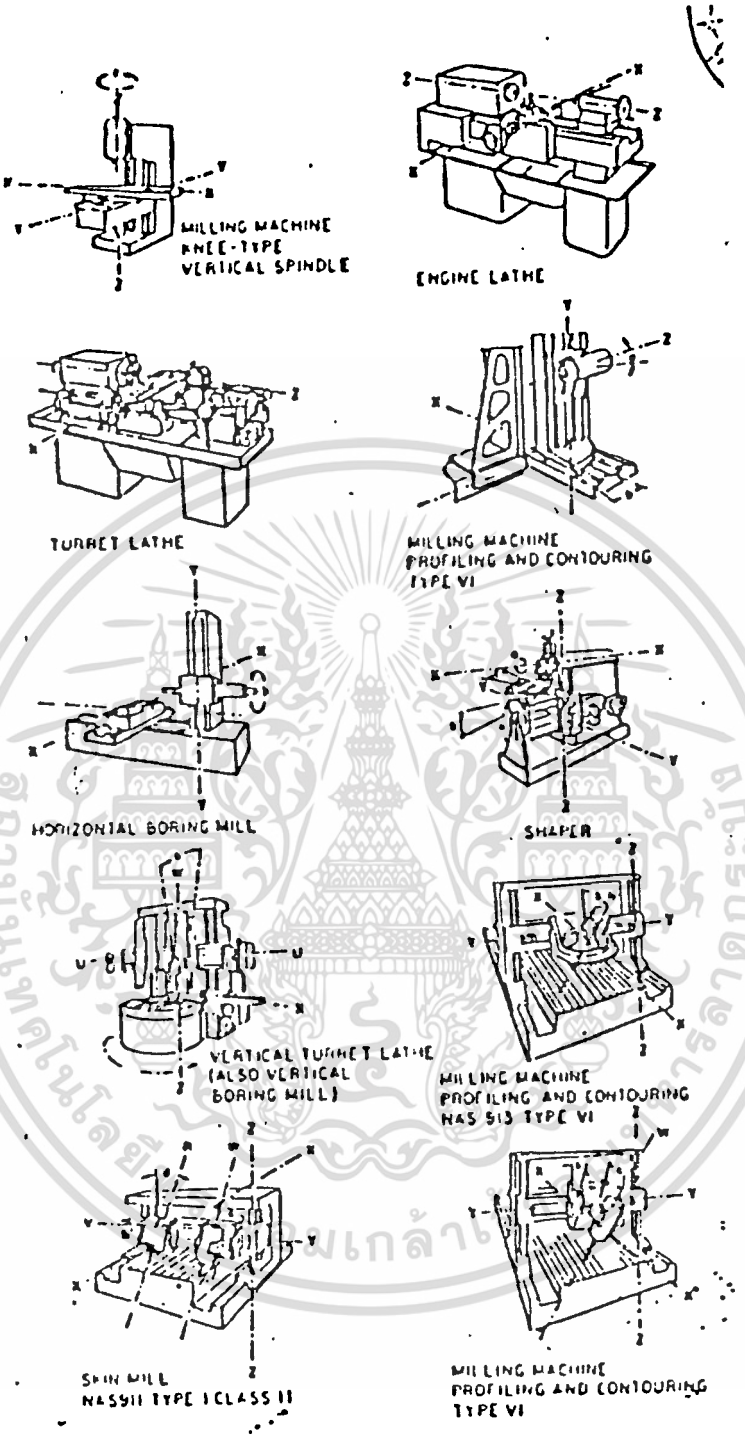


รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงระบบการทำงานของระบบ ซีเอ็นซี

2. โปรแกรมการทำงาน

ระบบ ซีเอ็นซี ได้แบ่งโปรแกรมการควบคุมการทำงานของเครื่อง ซีเอ็นซี ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<u>รูปที่ 2.3</u> มาตราฐานการกำหนดชื่อของเครื่องมือกล โดย American Machinist Metalworking Manufacturing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 การเก็บข้อมูล ใช้ในการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวกับรูปทรงทางเรขาคณิตและสภาพการทำงานของเครื่องมือกล เช่น ความเร็วของสพินเดิลมอเตอร์ (spindel motor) และอัตราการป้อนชิ้นงาน เป็นต้น

2.2 การแก้ไขข้อมูล ใช้ในการตรวจสอบ แก้ไข และเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่ได้เก็บไว้ในส่วนของการเก็บข้อมูล เช่น การเปลี่ยนแปลงความเร็วของสพินเดิลมอเตอร์ เป็นต้น จากการที่สามารถเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขข้อมูลได้ง่าย จึงทำให้การผลิตชิ้นงานด้วยเครื่อง ซีเอ็นซี มีความหยืดหยุ่นสูง

2.3 การควบคุม ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องมือกลให้เป็นไปตามชุดคำสั่งที่ได้รับ ใ นส่วนของการควบคุมนี้มีการแบ่งการทำงานที่สำคัญ ๆ ออกเป็น 4 ส่วน คือ

2.3.1 การอินเตอร์โพเลชั่น (interpolation) จะทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนขับของแท่นเครื่องให้เป็นไปตามทางเดิน (parth) ที่ต้องการ

2.3.2 การควบคุมอัตราการป้อนชิ้นงาน (feed rate control) จะทำการควบคุมอัตราการป้อนชิ้นงานให้มีค่าคงที่ตลอดการทำงานของเครื่องมือกล หรือจนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลง

2.3.3 การควบคุมค่าความหน่วงและค่าความเร่ง จะทำหน้าที่ควบคุมแรงที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานให้มีค่าคงที่ โดยการลดหรือเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับแกนของแท่นเครื่อง

2.3.4 การบันทึกตำแหน่งของการเคลื่อนที่ จะทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันของการเคลื่อนที่ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือตำแหน่งที่ต้องการให้แกนของแท่นเครื่องเคลื่อนที่ไป

สำหรับชื่อเรียกของเครื่องมือกลประเภทต่าง ๆ ได้ถูกกำหนดเป็นมาตราฐานโดย American Metalworking Manufacturing ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ภาษาที่ใช้ในการติดต่อกับเครื่อง ซีเอ็นซี

โดยทั่วไป ในการผลิตชิ้นงานด้วยเครื่อง ซีเอ็นซี จะต้องมีการเตรียมข้อมูล และจัดข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์หรือหน่วยประมวลผลเข้าใจได้ ข้อมูลที่เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการผลิตชิ้นงานแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน

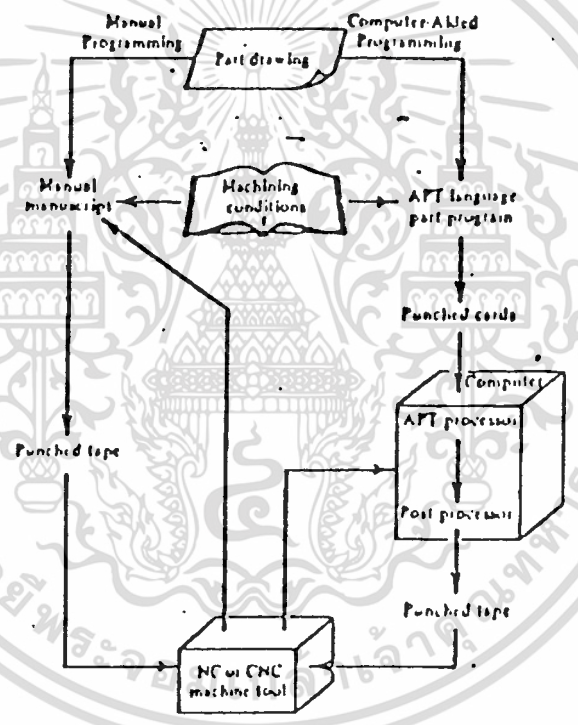
1. ข้อมูลที่ได้โดยตรงจากแบบ ได้แก่ ขนาดของชิ้นงาน เช่น ความสูง ความกว้าง เป็นต้น รูปร่างของชิ้นงาน เช่น เส้นตรง ส่วนโค้ง เป็นต้น การคำนวณหาทางเดินของคัตเตอร์จะคำนวณได้จากข้อมูลเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ข้อมูลที่ใช้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องมือกล การกำหนดพารามิเตอร์ของเครื่องจะขึ้นอยู่กับชนิดของผิววัสดุ ค่าความคลาดเคลื่อน ชนิดของชิ้นงานและคัตเตอร์ อัตราการป้อนชิ้นงาน ความเร็วของการกัด และอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ เช่น การเปิดหรือปิดของลารระบายความร้อน

3. ข้อมูลที่ได้จากผู้ป้อน ผู้ป้อนข้อมูลจะต้องคุ้นเคยกับขบวนการผลิต และมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะของเครื่องนั้น ๆ เช่น ทิศทางการเคลื่อนที่ของคัตเตอร์ และการเปลี่ยนหัว เป็นตัว

4. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุม ข้อมูลนี้จะใช้ในการสั่งงานกับระบบควบคุมโดยตรง เช่น ความเร่ง และความหน่วง เป็นต้น



รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบขั้นตอนการทำงานด้วยมือ กับ การใช้โปรแกรมภาษา เอพีที (APT)

วิธีการเตรียมข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2.4 ให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นมาตราฐานนั้น เราสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี

1. การเตรียมข้อมูลด้วยมือ ผู้ทำการป้อนจะเป็นผู้จัดเตรียมข้อมูลทั้งหมดโดยเริ่มจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ การหาขั้นตอนการดำเนินงานของเครื่องมือกลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสม การคำนวณหาทางเดินของคัตเตอร์ และการกรอกข้อมูลลงในใบกรอกรายการใน แต่ละบรรทัดของใบกรอกรายการจะหมายถึง 1 ชุดคำสั่ง ซึ่งประกอบด้วยการเคลื่อนที่ของคัตเตอร์จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยรวมถึงคำสั่งที่ใช้สั่งงานโดยตรงกับระบบควบคุม รหัสมาตราฐานที่นิยมใช้สั่งงานกับเครื่อง ซีเอ็นซี คือ รหัสมาตราฐาน อีไอเออาร์เอส 273 (EIA standard RS-273) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า จีโคด (given control function : G code) รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลโดยทั่วไปสำหรับเครื่อง ซีเอ็นซี มีดังนี้

n g xyzab f s t m eob

โดยที่ n คือ รหัสสำหรับตัวเลขแสดงลำดับการทำงาน
g คือ รหัสสำหรับกำหนดวิธีการเคลื่อนที่
xyzab คือ รหัสสำหรับกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่
f คือ รหัสสำหรับกำหนดอัตราการป้อนชิ้นงาน
s คือ รหัสสำหรับกำหนดความเร็วของเพลา
t คือ รหัสสำหรับกำหนดเครื่องมือ
m คือ รหัสสำหรับกำหนดอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ
eob คือ การจบชุดคำสั่งภายในบล๊อก

จารูปแบบการจัดเรียงข้อมูลทั่วไปที่ได้กล่าวมา ยังได้มีวิธีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 แบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนดว่าจะใช้แบบใด ดังนี้

1.1 ฟิกส์ซีคเว็นเชียลฟอร์แมท (fixed sequential format)

รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลนี้จะมีความยาวของข้อมูล และจำนวนอักษรที่มีอยู่ภายในบล๊อกเท่ากันทุกบล๊อก ข้อจำกัดของรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลนี้ คือ ผู้ป้อนจะต้องป้อนข้อมูลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลงในบล๊อกทุกบล๊อก

1.2 บล๊อกแอ็ดเรชฟอร์แมท (Block address format)

รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลแบบนี้จะตัดข้อมูลในส่วนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงออกไป โดยไม่ต้องเขียนซ้ำ ๆ กันอย่างแบบแรก แต่จะมีรหัสที่ตามหลังตัวเลขแสดงลำดับการทำงานเพื่อแจ้งให้ เอ็มซียู (machine control unit MCU) รู้ว่าค่าใดที่จะถูกเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับบล๊อกที่เพิ่งจะจบสิ้นไป

1.3 แทปซีคเว็นเชียลฟอร์แมท (Top sequencetial format)

รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลแบบนี้จะใช้การเว้นวรรคหรือเว้นว่างเป็นการแบ่งข้อมูลภายในบล๊อก ข้อมูลใดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงก็ให้เว้นวรรคข้อมูลนั้นไว้ เอ็มซียู ก็จะนำข้อมูลที่เพิ่งจะจบสิ้นไปมาใช้ในบล๊อกต่อไป ตัวอย่าง การป้อนข้อมูลด้วยแทปซีคเว็ยเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

001 01 07500 06250 10000 6121 718 eob

002 08725 06750 eob

003 05000 520 620 01 eob

1.4 เวิดแอ็ดเรสฟอร์แมท (Word address format)

รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลแบบนี้จะประกอบด้วย ตัวอักษร และตัวเลข โดยแต่ละข้อมูลที่อยู่ภายในบล๊อกจะต้องนำหน้าด้วยอักษร เพื่อแสดงชนิดของข้อมูลที่ตามมา ตัวอย่าง การป้อนข้อมูลด้วยเวิดแอดเดรส

n001 g01 x07500 y06250 z10000 f612 s718 eob

n002 x08752 y06750 eob

n003 z05000 f520 s620 m01 eob

ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นในการสั่งงานให้กับเครื่อง ซีเอ็นซี มีดังนี้

1. รหัสสำหรับตัวเลขแสดงลำดับการทำงาน (Sequence number) รหัส N ใช้ในการแสดงลำดับการทำงานก่อน-หลังสำหรับเครื่อง ซีเอ็นซี ตัวเลขที่ตามหลังรหัสนี้มีได้ไม่เกิน (4)หลัก (No-N9999) ในแต่ละบล๊อกจะแสดงลำดับการทำงานได้เพียงตัวเดียว

2. รหัสสำหรับกำหนดวิธีการเคลื่อนที่ (Preparatory Function) รหัส G ตัวเลขที่ตามหลังรหัสจะบอกถึงวิธีการเคลื่อนที่ของคัตเตอร์ เช่น G01 เป็นรหัสกำหนดการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง เป็นต้น ตัวเลขที่ตามหลังรหัสมีได้ไม่เกิน 2 หลัก ในบล๊อกหนึ่งๆ สามารถที่จะใช้รหัส G นี้ได้มากกว่า 1 รหัส ตารางที่ 2.1 เป็นชุดคำสั่งสำหรับการกำหนดวิธีการเคลื่อนที่ตามมาตราฐานของ อีไอเอ

3. รหัสสำหรับกำหนดอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ (Miscellaneous function) รหัส M เป็นรหัสที่ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เสริมอื่นๆ เพื่อนำมาใช้ร่วมในการผลิตชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่นรหัส M 03 เป็นการสั่งให้เพลา(spindel)หมุนตามเข็มนาฬิกา เป็นต้น ตารางที่ 2.2 เป็นรหัสสำหรับการกำหนดอุปกรณ์เสิมอื่น ๆ ตามมาตราฐานของ อีไอเอ

4. รหัสสำหรับกำหนดเครื่องมือ (tool function)รหัส t ใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องมือที่ต้องใช้ในการผลิตชิ้นงาน

5. รหัสสำหรับอัตราการป้อนชิ้นงาน (feedrate) ใช้ในการกำหนดอัตราความเร็วในการกัดหรือเจาะเนื้อวัสดุ

6. รหัสสำหรับกำหนดความเร็วของเพลา (speed) รหัส S มีได้ไม่เกิน 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.1 รหัสลำหรับกำหนดวิธีการเคลื่อนที่ตามมาตราฐาน อิไอเอ

(EIA Standard RS–273)

Code	Function
g00	Point to point,positioning
g01	Linear interpolation
g02	Circular interpolation arc CW
g03	Circular interpolation arc CCW
g04	Dwell
g05	Hold
g06&g07	Unassigued
g08	Acceleration
go9	Deceleration
g10	Linear interpolation (long dimensions)
g11	Linear interpolation (short dimensions)
g12	Unassigned
g13 g16	Axis selection
g17	xy plane selection
g18	zx plane selection
g19	yz plane selection
g20	Circular interpolation arc CW (longe dimensions)
g21	circular interpolation arc CW (short dimensions)
g22 g24	Unassigned
g25 g29	Permanently unassigned
g30	Circular interpolation arc CCW (longe dimensions)
g31	Circular interpolation arc CCW (short dimensions)
g32	Unassigned
g33	thread cutting, constant lead
g34	thread cutting,increasing lead
g35	thread cutting,decressing lead

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.1 รหัสสำหรับกำหนดวิธีการเคลื่อนที่ตามมาตราฐาน อีไอเอ (EIA Standard RS-273) ต่อ

code	Function
g36 g39	Reversed for control use only
g40	Cutter compensation cancel
g41	Cutter compensation-left
g42	Cutter compensation-right
g43 g49	Cutter compensation if use;otherwise unassigned
g50 g59	Unassigned
g60 g79	Reversed for positioning only
g80	Fixed cycle cannel
g81	Fixed cycle 1
g82	Fixed cycle 2
g83	Fixed cycle 3
g84	Fixed cycle 4
g85	Fixed cycle 5
g86	Fixed cycle 6
g87	Fixed cycle 7
g88	Fixed cycle 8
g89	Fixed cycle 9
g90 g99	Unassigned

7. รหัสสำหรับกำหนดตำแหน่งหารเคลื่อนที่ ผู้ที่ใช้สามารถกำหนดตำแหน่งหารเคลื่อนที่ได้ 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นการกำหรดตำแหน่งหารเคลื่อนที่ทุกตำแหน่งที่เทียบกับจุดอ้างอิงเพียงจุดเดียว ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นการกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ซึ่งเทียบกับตำแหน่งที่ผ่านมา

8. การเตรียมข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ (computer assisted preparation) ในการผลิตชิ้นงาน เรามักจะพบว่าชิ้นงานนั้นมีความซับซ้อน จึงเป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.2 รหัสลำหรับกำหนดอุปกรณ์เสริมอื่นๆ ตามมาตราฐาน อิไอเอ

(EIA Standard RS-273)

code	Function
m00	Program stop
m01	Optional (plenned) stop
m02	End of program
m03	Spindel CCW
m04	Spindel CW
m05	Spindel stop
m06	Tool change
m07	Coolant No.2 ON
m08	Coolant No.1 ON
m09	Coolant OFF
m10	Clamp
m11	Unclamp
m12	Unassigned
m13	Spindel CW & coolant ON
m14	Spindel CCW & coolant ON
m15	Motion
m16	Motion
m17 m24	Unassigned
m25 m29	Permanently unassigned
m30	End of tape
m31	Interlock
m33 m35	Constant cutting speed
m36 m39	Unassigned
m40 m45	Gear change if used otherwise unassigned
m46 m49	Reserved for control use only
m50 m99	Unassigned

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยากที่เราจะสามารถคำนวณหาทางเดินของจุดศูนย์กลางของคัตเตอร์ได้ ดังนั้นจึงมีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการเตรียมข้อมูลที่จะส่งไปยังเครื่อง ซีเอ็นซี จากการที่นำคอมพิวเตอร์มาใช้จะเป็นการลดเวลาและผลที่ได้จะมีความถูกต้อง ภาษาที่นิยมใช้เพื่อเตรียมข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์คือ เอพีที (automatically programmed tools APT) ซึ่งคิดค้นโดย Electronic System Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology (MIT)เอพีที จัดเป็นภาษาระดับสูง (high language) ที่ใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ในการใช้งาน ผู้ใช้จะต้องกำหนดรูปทรงทางเรขาคณิตของชิ้นงาน ทางเดินของคัตเตอร์ ค่าความคลาดเคลื่อน และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องมือ จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะทำการคำนวณหาทางเดินของจุดศูนย์กลางของคัตเตอร์และอัตราการป้อนชิ้นงาน ฯลฯ นอกจากภาษา เอพีที แล้วยังมีภาษาอื่นๆ ที่ใช้กับเครื่อง ซีเอ็นซี เช่น COMPACT 11, ADAPT, EXAPT, AUTOSPOT, AUTOPROMPT และ SPLIT เป็นต้น

<u>ข้อเปรียบเทียบระหว่างเครื่อง เอ็นซี กับ เครื่อง ซีเอ็นซี</u>

จากการศึกษาการทำงานของเครื่อง เอ็นซี และเครื่อง ซีเอ็นซี จะพบว่าเครื่อง ซีเอ็นซี จะมีข้อได้เปรียบกว่าเครื่อง เอ็นซีดังนี้

1. <u>ความหยืดหยุ่นในการทำงานของเครื่อง ซีเอ็นซี สูงกว่าเครื่อง เอ็นซี</u> การเปลี่ยนแปลงระบบ เอ็นซี ให้เข้ากับระบบของงาน อาจจะต้องมีการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์หรือวงจรไฟฟ้าใหม่ แต่สำหรับการเปลี่ยนแปลงระบบ ซีเอ็นซี สามารถกระทำที่ตัวโปรแกรม

2. <u>อายุการทำงานของเครื่องอ่านแผ่นหรือเทปเก็บข้อมูลสูงขึ้น</u> ในระบบ ซีเอ็นซี จะทำการอ่านข้อมูลจากแผ่นหรือเทปข้อมูล แล้วทำการเก็บข้อมูลนั้นไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ จึงทำให้สามารถทำการผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะแบบเดียวกันเป็นจำนวนมากๆ โดยไม่ต้องทำการอ่านข้อมูลใหม่

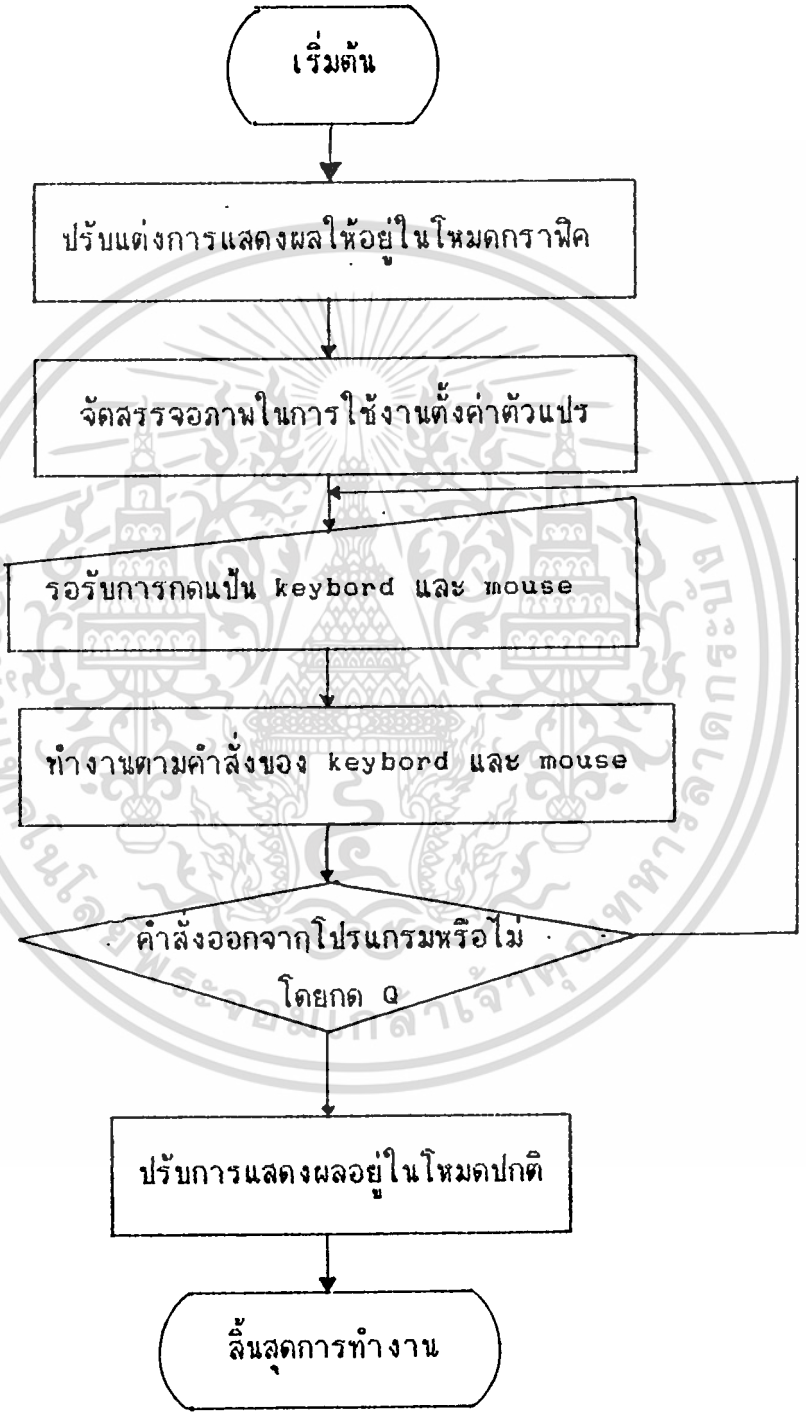
3. <u>การปรับปรุงแก้ไขข้อมูลทำได้ง่าย</u> ระบบ ซีเอ็นซี ได้จัดให้มีโปรแกรมสำหรับการแก้ไขข้อมูลอยู่ภายในเครื่อง จึงเป็นการสะดวกกว่าระบบ เอ็นซี ที่จะต้องนำแผ่นเทปเก็บข้อมูลมาทำการแก้ไขกันภายนอก นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้รับการแก้ไขภายในเครื่อง ซีเอ็นซี ยังสามารถบันทึกลงในแผ่นหรือเทปเก็บข้อมูล เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

4. <u>การตรวจสอบข้อผิดพลาดกระทำได้ง่าย</u> คอมพิวเตอร์ที่อยู่ภายในเคีร่อง ซีเอ็นซี สามารถที่จะนำมาต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น จอภาพ หรือพล๊อตเตอร์ (plotter) เป็นต้น จึงทำให้การตรวจสอบข้อผิดพลาดของการผลิตชิ้นงานก่อนการลงมือทำการผลิตชิ้นงานจริงเป็นไปได้ง่าย

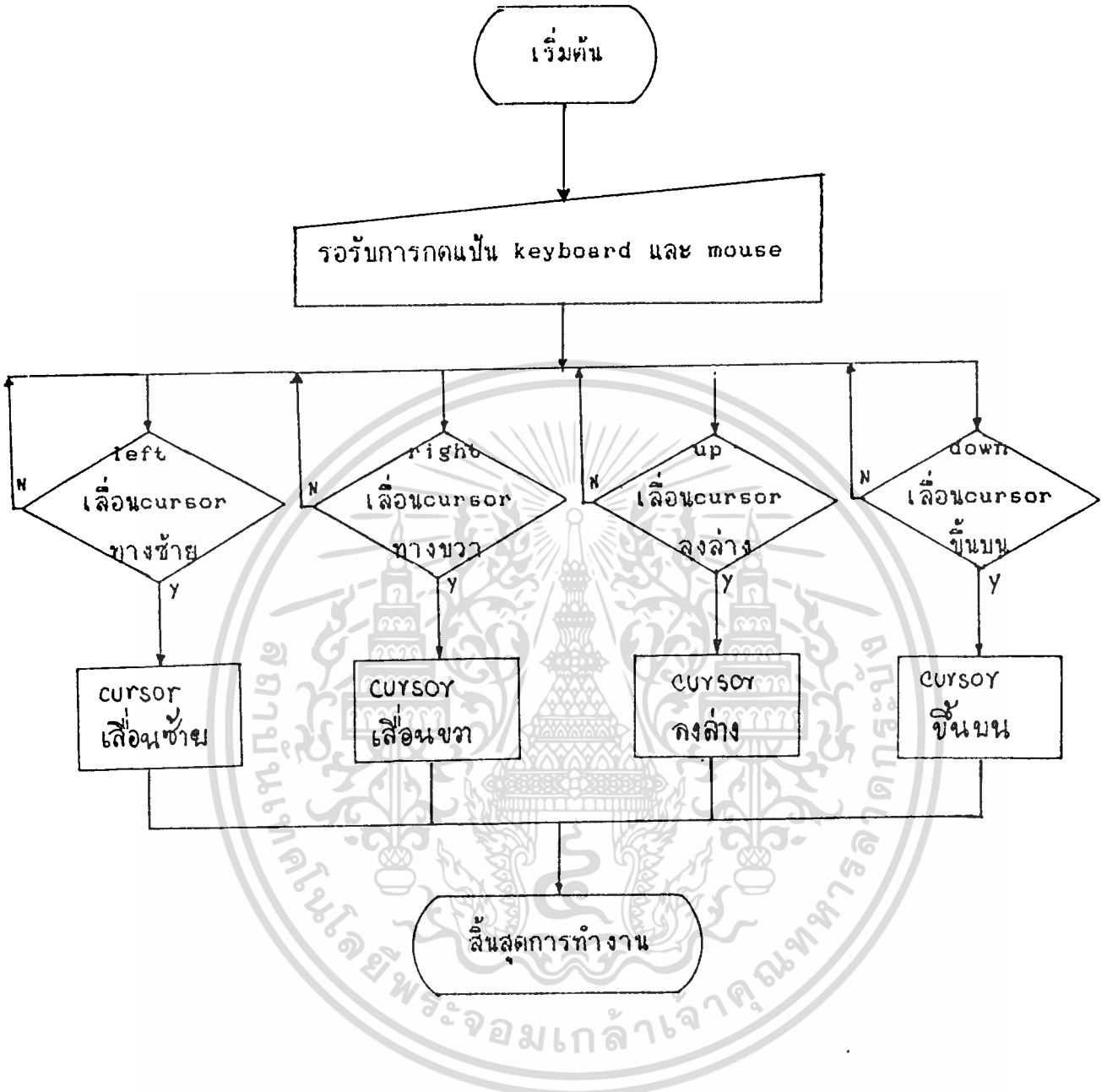
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การทำงานของโปรแกรม</u>

เนื่องจากโปรแกรมมีขนาดใหญ่จึงอธิบายการทำงานด้วย flowchart และแยกอธิบายทีละส่วนเพื่อให้สามารถ พิจารณาได้โดยง่าย

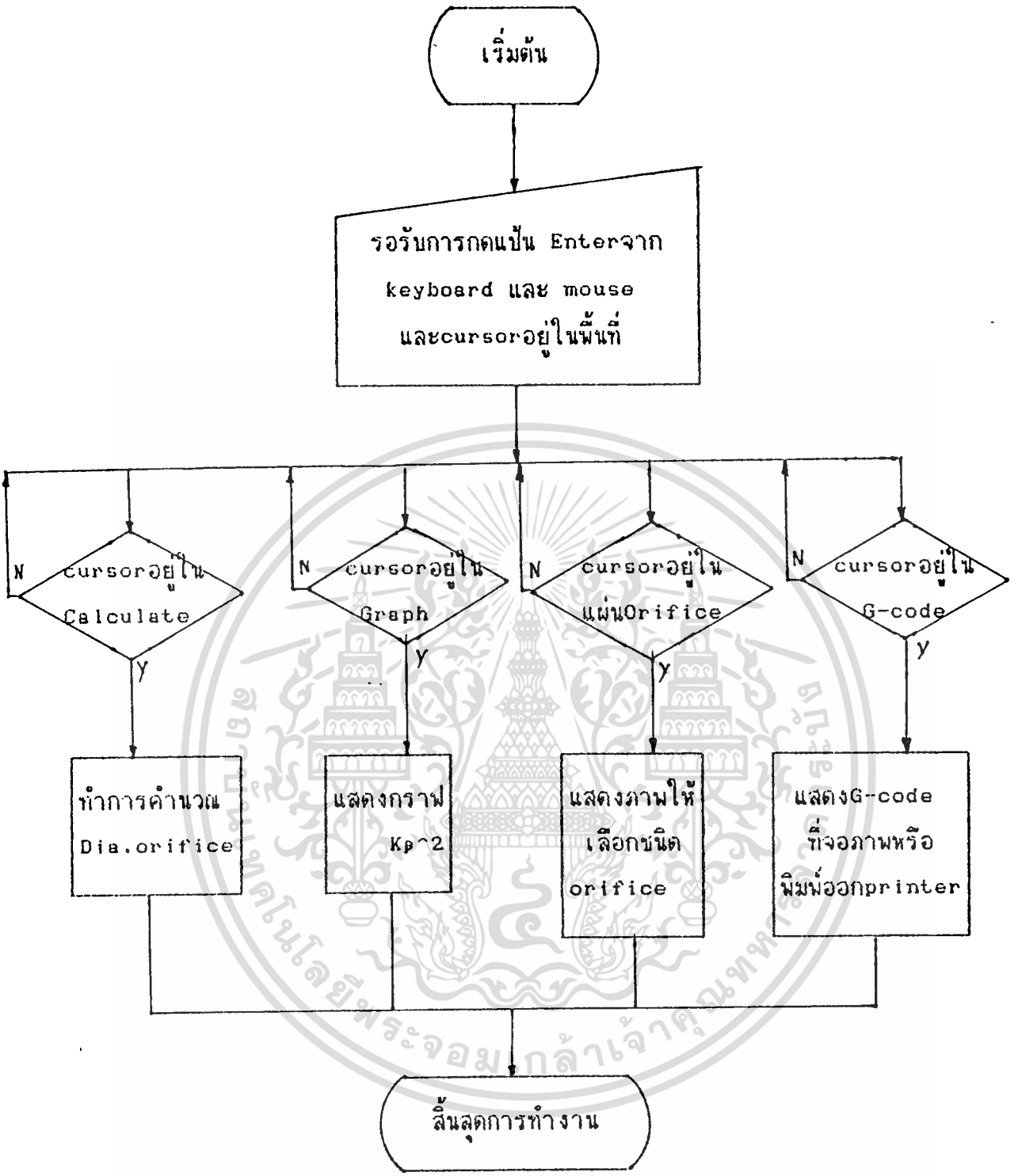


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



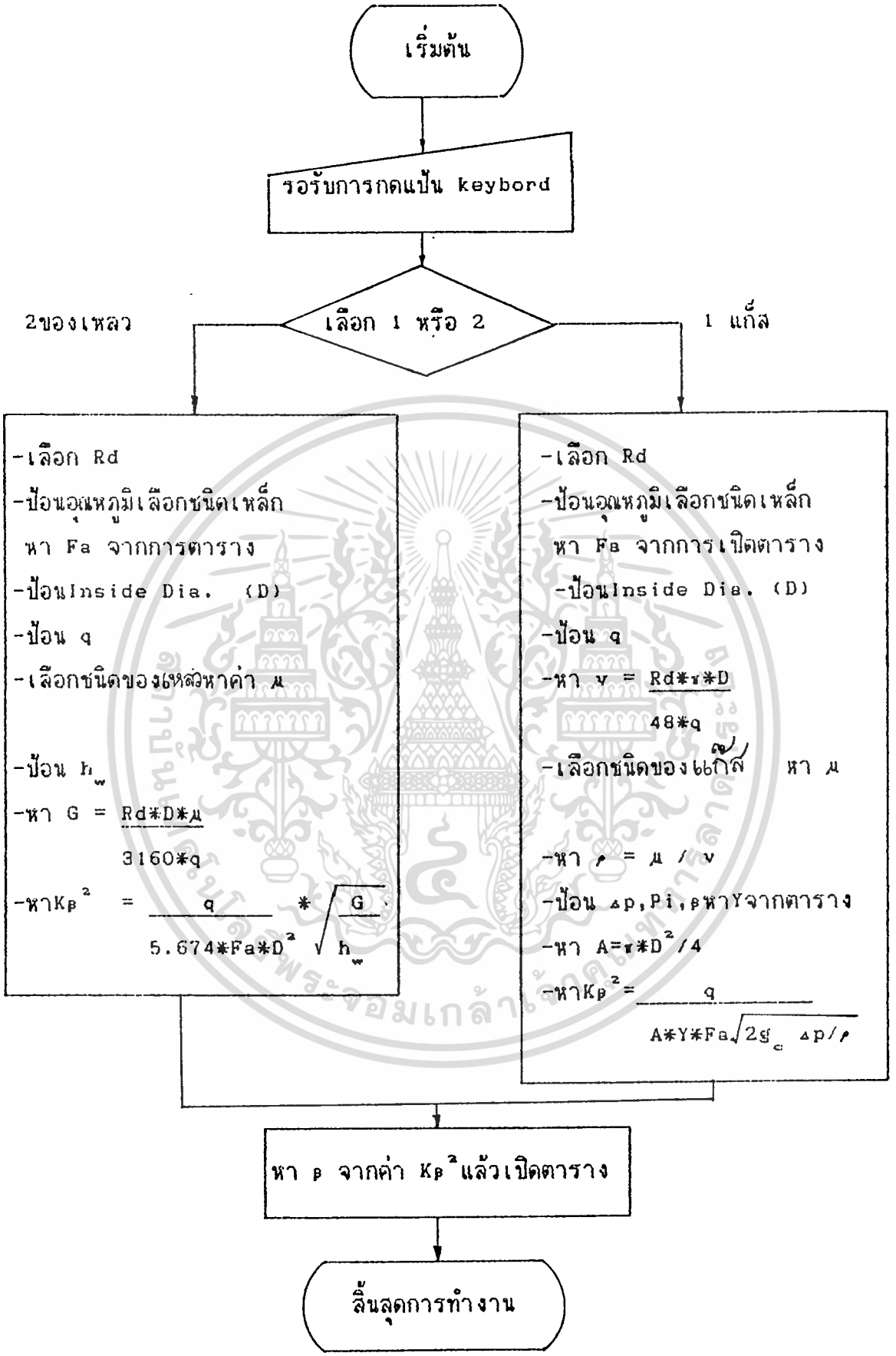
Flowchart แสดงการทำงานเมื่ออยู่ใน Edit mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



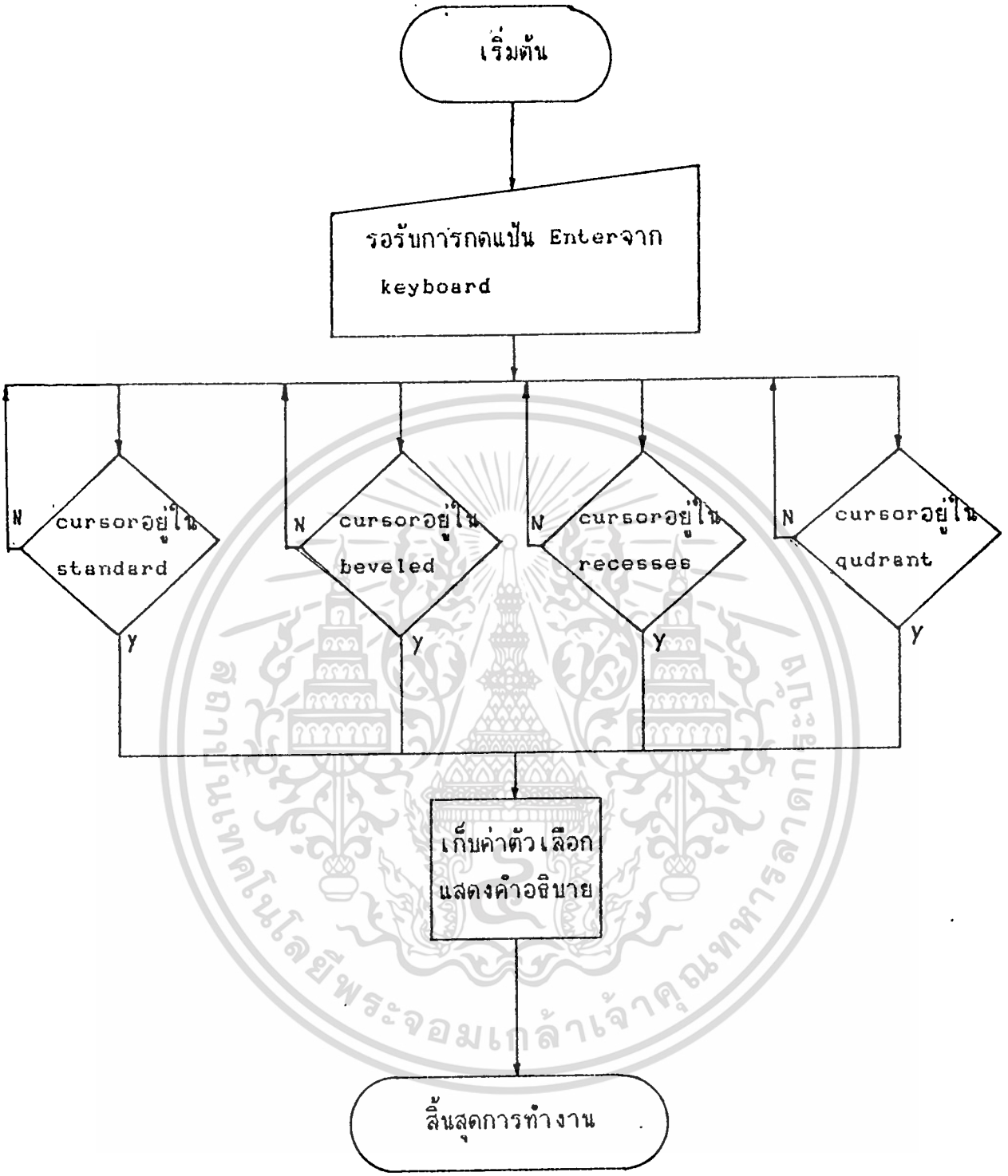
Flowchart แสดงการทำงานเมื่ออยู่ใน Edit mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



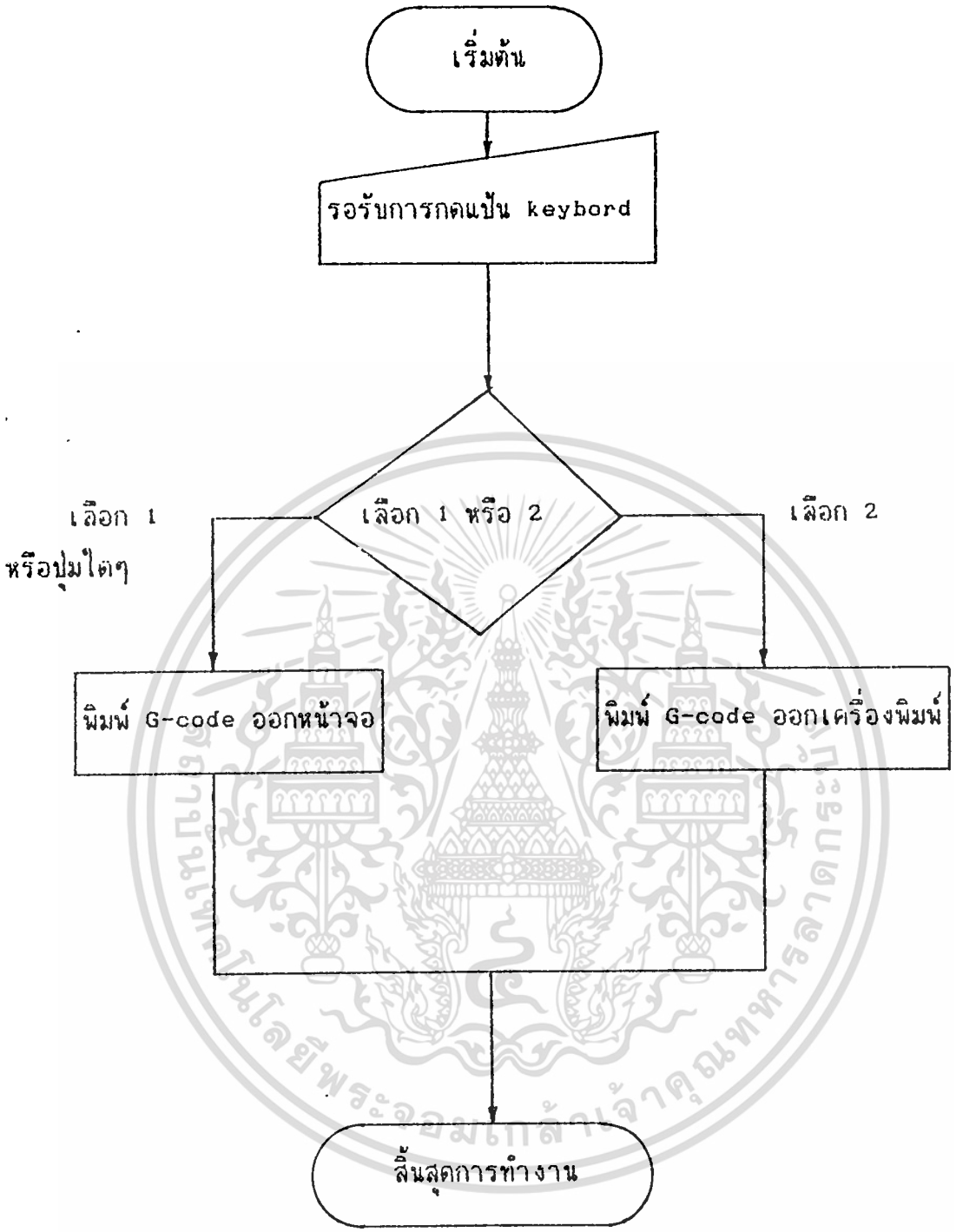
Flowchart แสดงการทำงานเมื่ออยู่ใน Calculate modeหาDia.ของ orifice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flowchart แสดงการทำงานเมื่ออยู่ใน Orifice mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flowchart แสดงการทำงานเมื่ออยู่ใน G-code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการกลึง Orifice แบบต่างๆ

ขั้นตอนที่ 1

การปลอกผิว

วิธีเตรียมชิ้นงาน

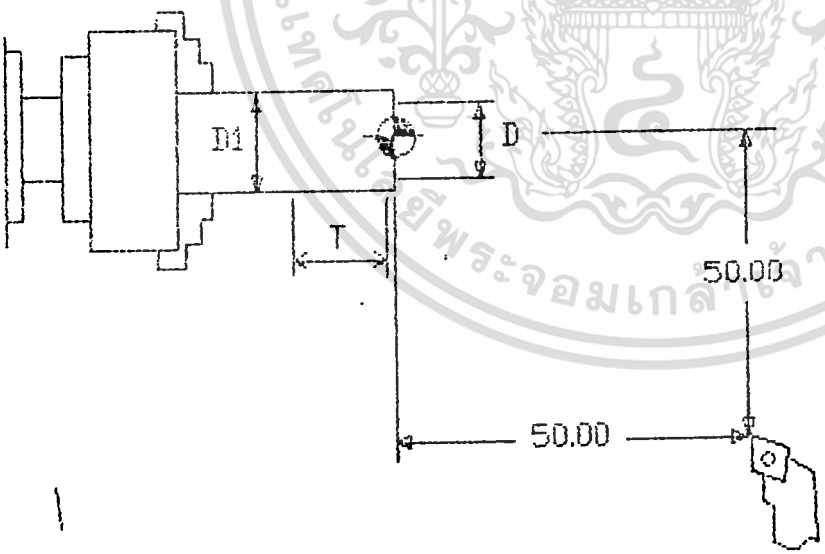
1. เตรียมชิ้นงานดิบมีขนาดอยู่ในช่วง D+1.00 mm >= D1 >= D+4.00

   กำหนด D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นออริฟิคสำเร็จที่ต้องการ

   D1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานดิบ

2. กำหนดจุดศูนย์ X=0, Z=0 ในตำแหน่งซึ่งห่างจากจุดอ้างอิง R (อยู่ปลายมีด) เป็นระยะ

   X=ϕ50.00, Z=50.00



D1 : Diameter of material

D : Diameter of orifice

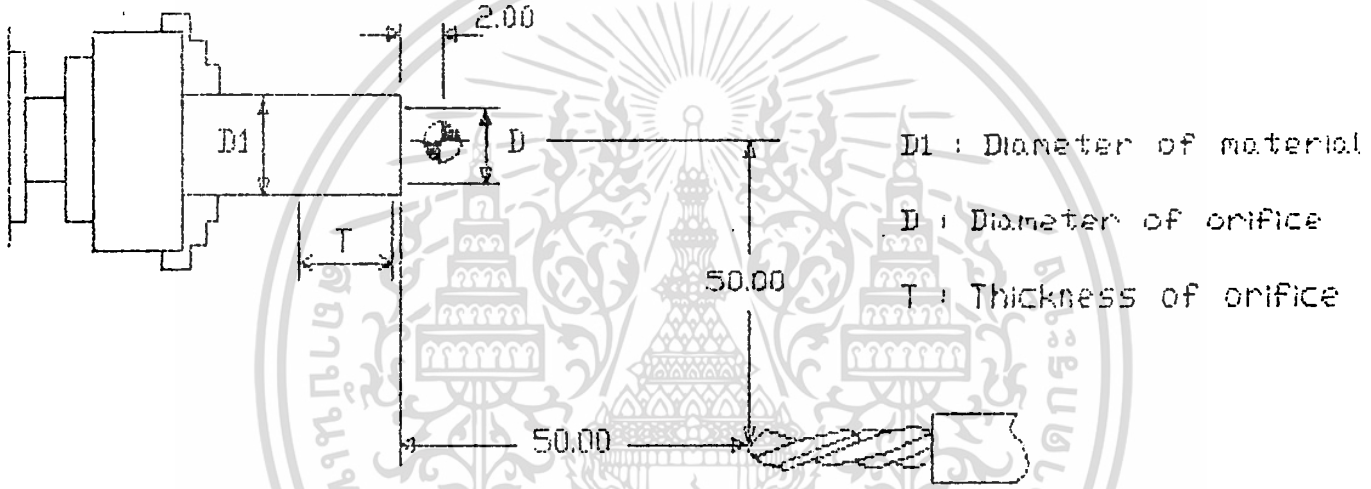
T : Thickness of orifice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2

การเจาะรู

1. ชิ้นงานยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมจากขั้นตอนที่ 1
2. เปลี่ยนเครื่องมือเป็นสว่านสำหรับเจาะงานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.0mm
3. ตั้งจุดอ้างอิง R (ปลายมีด) ให้ห่างจากจุดศูนย์ชิ้นงาน W เป็นระยะทาง X=ϕ50.00, Z=50.00

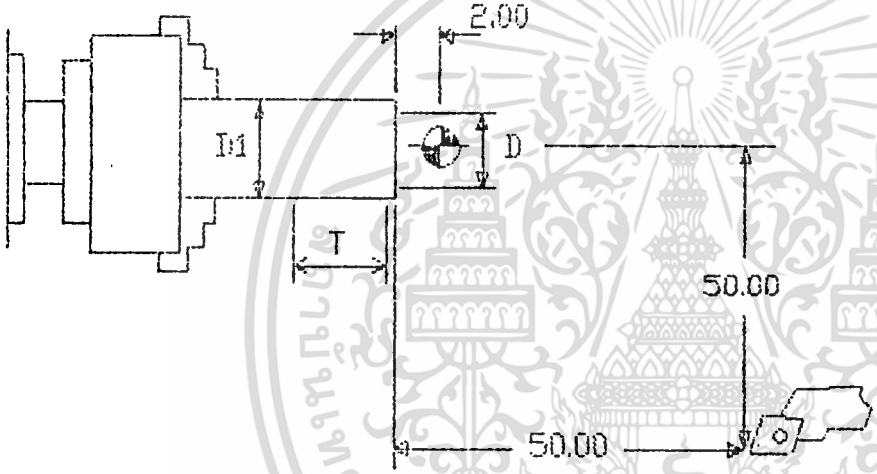


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3

งานคว้าน

1. ชิ้นงานยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมจากขั้นตอนที่ 1
2. เปลี่ยนเครื่องมือเป็นมีดคว้าน
3. ตั้งจุดอ้างอิง R (ปลายมีด) ให้ห่างจากจุดศูนย์ชิ้นงาน W เป็นระยะทาง X=ϕ50.00, Z=50.00



D1 : Diameter of material

D : Diameter of orifice

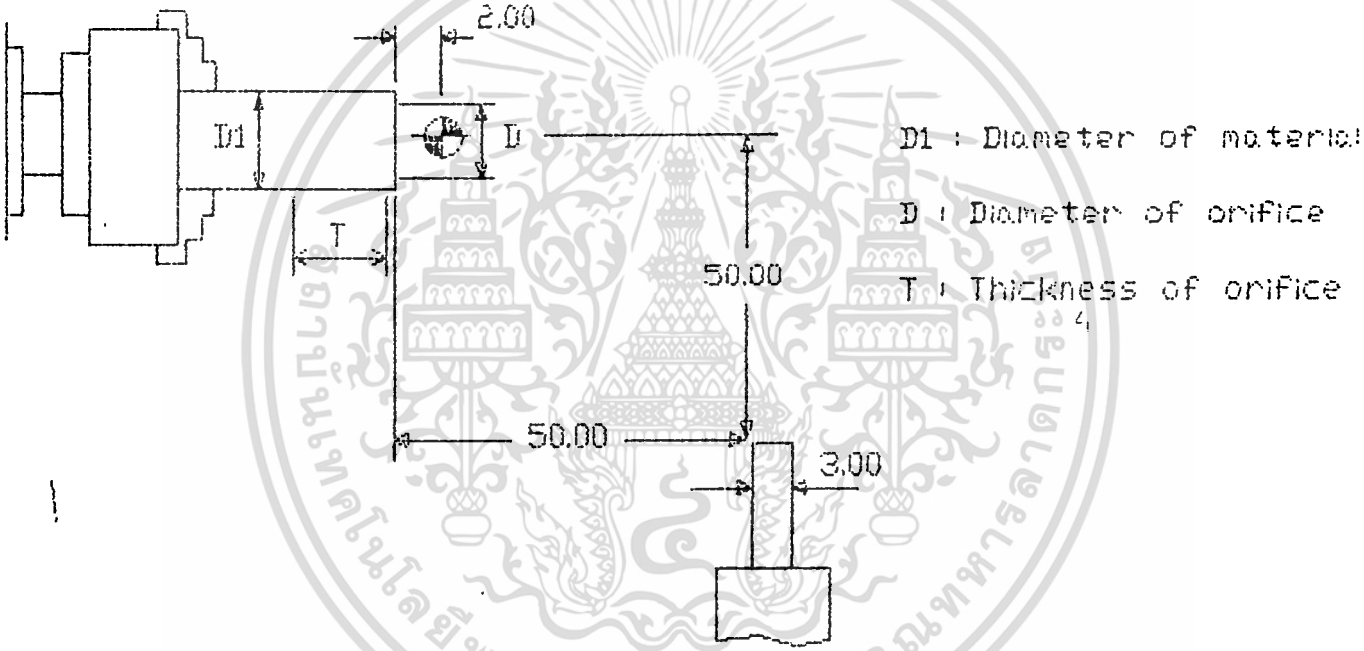
T : Thickness of orifice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4

งานตัด

1. ชิ้นงานยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมจากขั้นตอนที่ 1
2. เปลี่ยนเครื่องมือเป็นมีดตัดมีขนาดความกว้าง 3 mm
3. ตั้งจุดอ้างอิง R (ปลายมีด) ห่างจากจุดศูนย์ของชิ้นงาน W เป็นระยะทาง X=ϕ50.00, Z=50.00

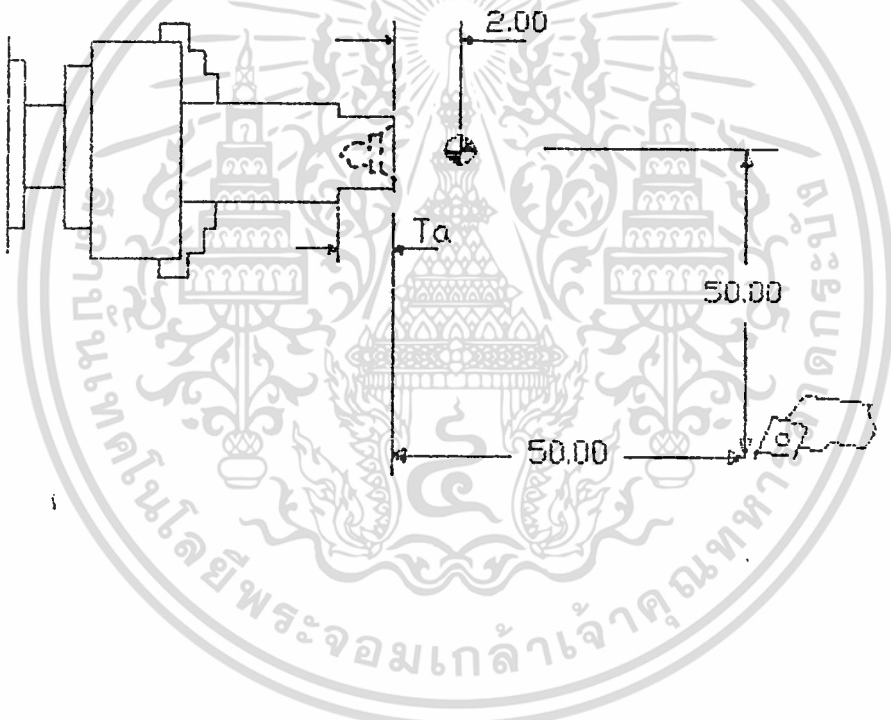


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5

งานคว้าน

1. ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งเดิมจากขั้นตอนที่ 1
2. เปลี่ยนเครื่องมือเป็นมีดคว้าน
3. ตั้งจุดอ้างอิง R (ปลายมีด)ห่างจากจุดศูนย์ของชิ้นงาน W เป็นระยะทาง X=ϕ50.00, Z=50.00

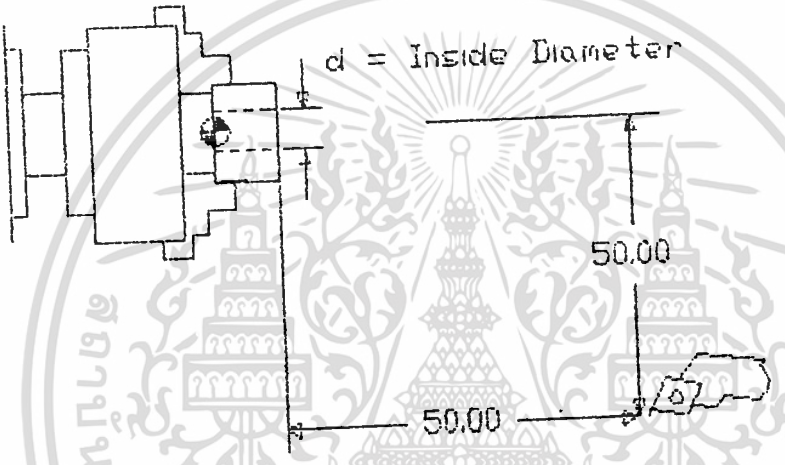


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 6

งานปาดผิว

1. เปลี่ยนเครื่องมือเป็นมีดปลอกผิว
2. ชิ้นงานเปลี่ยนจุดศูนย์ดังรูปห่างจากจุดอ้างอิง R (ปลายมีด) X=ϕ50.00, Z=50.00

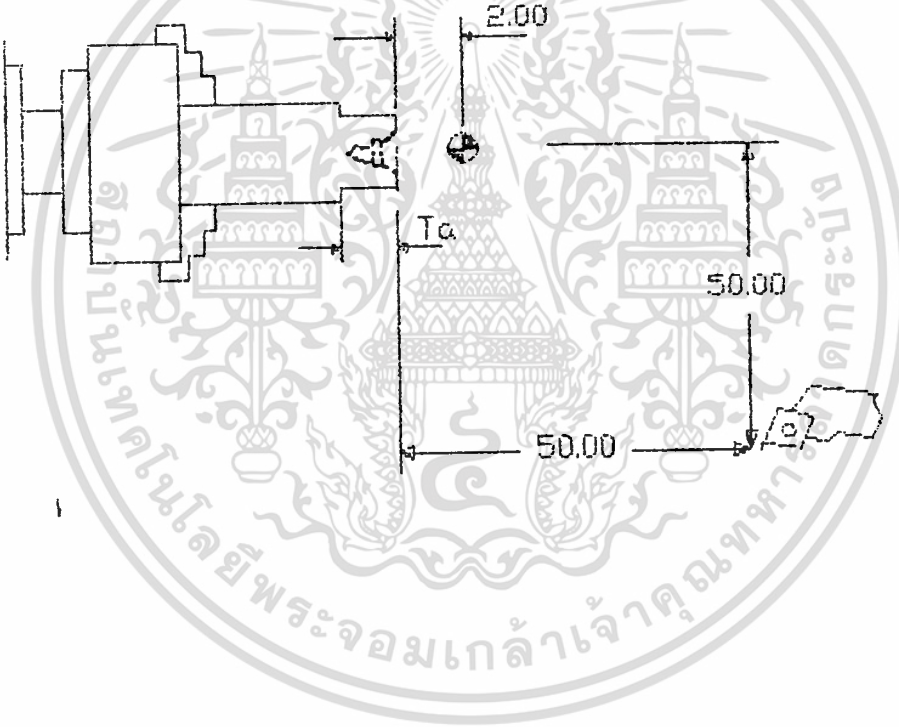


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 7

งานคว้าน

1. ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งเดิมจากตอนที่ 1
2. เปลี่ยนเครื่องมือเป็นมีดคว้าน
3. ตั้งจุดอ้างอิง R (ปลายมีด) ห่างจากจุดศูนย์ของชิ้นงาน W เป็นระยะทาง X=ϕ50.00, Z=50.00

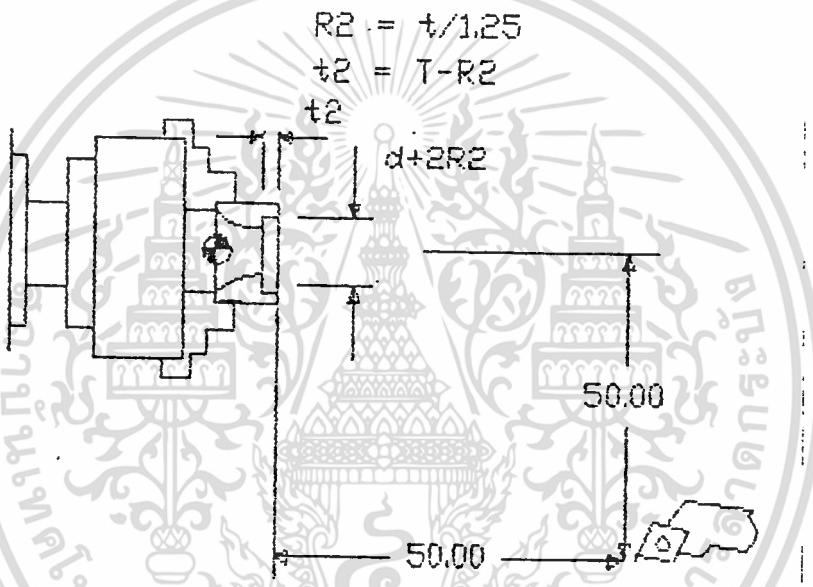


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 8

งานคว้าน

1. เปลี่ยนเครื่องมือเป็นมีดคว้าน
2. ขึ้นงานเปลี่ยนจุดศูนย์ ดังรูปห่างจากจุดอ้างอิง R (ปลายมีด) X=ϕ50.00, Z=50.00

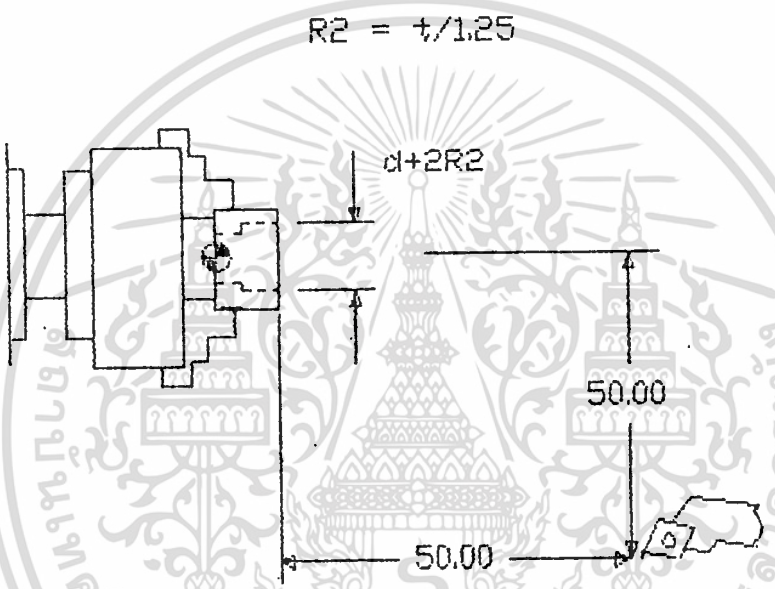


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 9

งานคว้าน

1. ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งดังรูป
2. เปลี่ยนเครื่องมือเป็นมีดคว้าน
3. ตั้งจุดอ้างอิง R (ปลายมีด)ห่างจากจุดศูนย์ของชิ้นงาน W เป็นระยะทาง X=ϕ50.00, Z=50.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

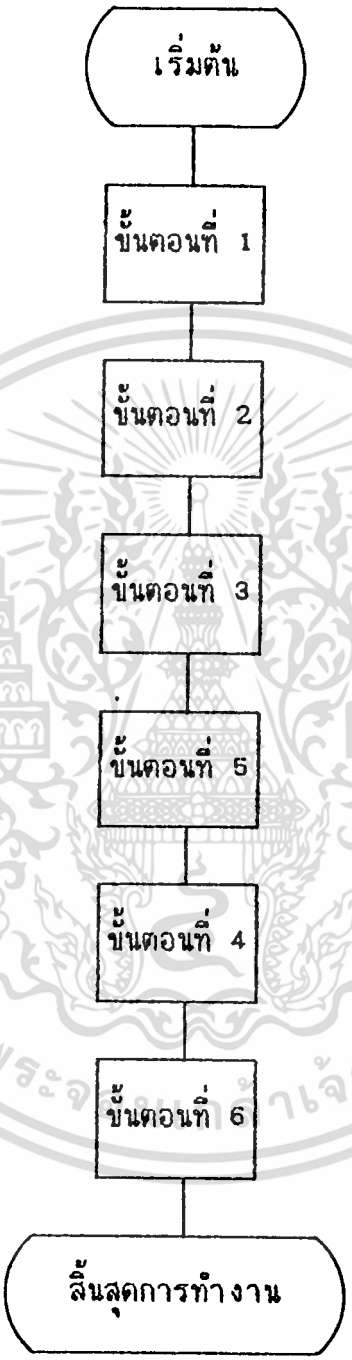
ลำดับการทำงาน

เลือกแบบ Regular-standard edge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทำงาน

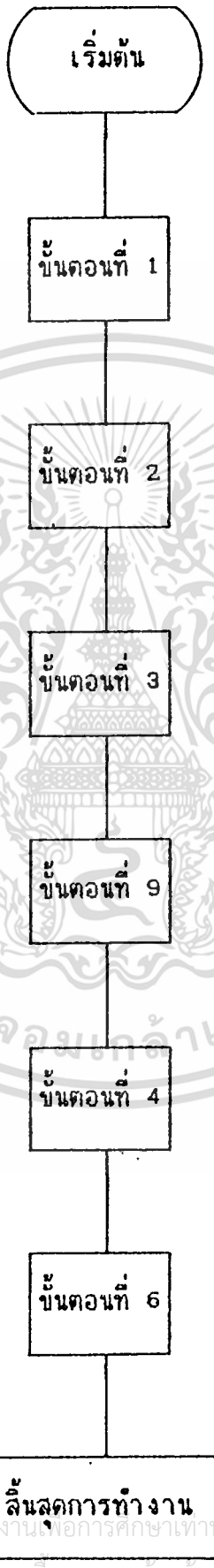
เลือกแบบ Regular-beveled edge



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทำงาน

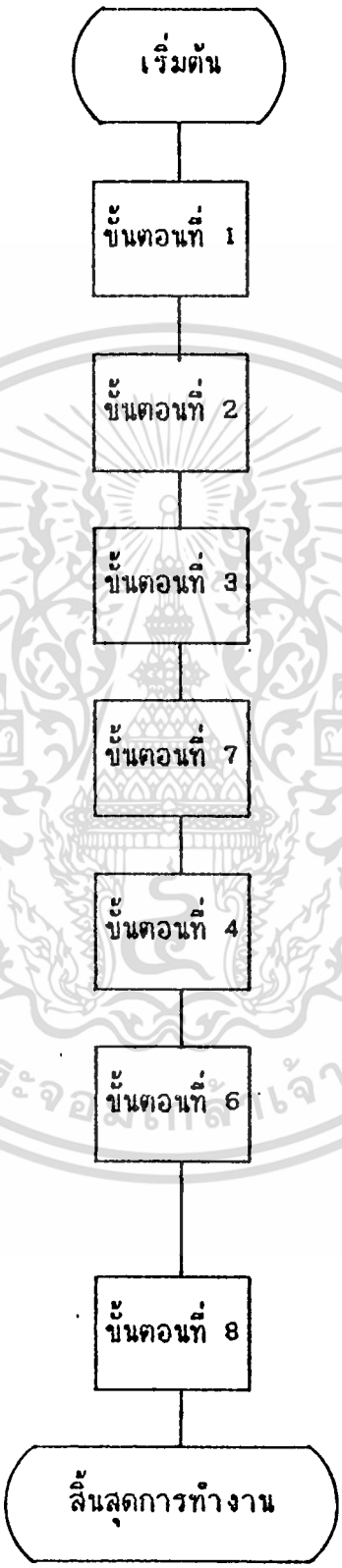
เลือกแบบ Regular-recessed edge



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับการทำงาน

เลือกแบบ qudrant edge



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
########  Standard ######
  0009
  N 000        G90
  N 001        G92     X 50.00     Z 50.00
  N 002        G00     X 86.88     Z  1.00
  N 003        G84     X 86.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 004        G84     X 85.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 005        G84     X 84.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 006        G84     X 83.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 007        G84     X 82.88     Z -13.17    F 10    H 00
  N 008        G00     X 83.88     Z 00.00
  N 009        G01     X -1.00     Z 00.00     F 80
  N 010        G00     X -1.00     Z 1.00
  N 011        G00     X 83.88     Z 1.00
  N 012        G00     X 83.88     Z -1.00
  N 013        G01     X -1.00     Z -1.00     F 80
  N 014        G00     X -1.00     Z 1.00
  N 015        G00     X 83.88     Z 1.00
  N 016        G00     X 83.88     Z -2.00
  N 017        G01     X -1.00     Z -2.00     F 10
  N 018        G00     X 50.00     Z 50.00
  N 019        M00
  N 020        G00     X 00.00     Z 00.00
  N 021        G01     X 00.00     Z -2.00     F80
  N 022        G01     X 00.00     Z -12.17    F80
  N 023        G00     X 00.00     Z 00.00
  N 024        G00     X 50.00     Z 50.00
  N 025        M00
  N 026        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 027        G01     X 9.00      Z -2.50   F 100
  N 028        G01     X 16.94     Z -2.50   F 100
  N 029        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 030        G01     X 9.00      Z -3.00   F 100
  N 031        G01     X 16.94     Z -3.00   F 100
  N 032        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 033        G01     X 9.00      Z -3.50   F 100
  N 034        G01     X 16.94     Z -3.50   F 100
  N 035        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 036        G01     X 9.00      Z -4.00   F 100
  N 037        G01     X 16.94     Z -4.00   F 100
  N 038        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 039        G01     X 9.00      Z -4.50   F 100
  N 040        G01     X 16.94     Z -4.50   F 100
  N 041        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 042        G01     X 9.00      Z -5.00   F 100
  N 043        G01     X 16.94     Z -5.00   F 100
  N 044        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 045        G01     X 9.00      Z -5.50   F 100
  N 046        G01     X 16.94     Z -5.50   F 100
  N 047        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 048        G01     X 9.00      Z -6.00   F 100
  N 049        G01     X 16.94     Z -6.00   F 100
  N 050        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 051        G01     X 9.00      Z -6.50   F 100
  N 052        G01     X 16.94     Z -6.50   F 100
  N 053        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 054        G01     X 9.00      Z -7.00   F 100
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N 055       G01     X 16.94    Z -7.00   F 100
N 056       G00     X 9.00     Z -2.00
N 057       G00     X 9.00     Z -1.00
N 058       G00     X 17.94    Z -1.00
N 059       G01     X 17.94    Z -6.17    F 80
N 060       G01     X 17.94    Z -1.00    F 10
N 061       G00     X 50.00    Z 50.00
N 062       M00
N 063       G00     X 83.88     Z 50.00
N 064       G00     X 83.88     Z -9.17
N 065       G01     X -1.00     Z -9.17    F 10
N 066       G00     X 83.88     Z -9.17
N 067       G00     X 83.88     Z 50.00
N 068       G00     X 50.00     Z 50.00
N 069       M00
N 070       G00     X 83.88    Z 3.78
N 071       G01     X 16.94    Z 3.78    F 80
N 072       G00     X 83.88    Z 5.18
N 073       G00     X 83.88    Z 3.38
N 074       G01     X 16.94    Z 3.38    F 80
N 075       G00     X 83.88    Z 5.18
N 076       G00     X 83.88    Z 3.18
N 077       G01     X 16.94    Z 3.18    F 50
N 078       G00     X 50.00    Z 50.00
N 079       M30
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
^#######  Beveled ######
  0009
  N 000        G90
  N 001        G92     X 50.00     Z 50.00
  N 002        G00     X 86.88     Z  1.00
  N 003        G84     X 86.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 004        G84     X 85.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 005        G84     X 84.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 006        G84     X 83.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 007        G84     X 82.88     Z -13.17    F 10    H 00
  N 008        G00     X 83.88     Z 00.00
  N 009        G01     X -1.00     Z 00.00     F 80
  N 010        G00     X -1.00     Z 1.00
  N 011        G00     X 83.88     Z 1.00
  N 012        G00     X 83.88     Z -1.00
  N 013        G01     X -1.00     Z -1.00     F 80
  N 014        G00     X -1.00     Z 1.00
  N 015        G00     X 83.88     Z 1.00
  N 016        G00     X 83.88     Z -2.00
  N 017        G01     X -1.00     Z -2.00     F 10
  N 018        G00     X 50.00     Z 50.00
  N 019        M00
  N 020        G00     X 00.00     Z 00.00
  N 021        G01     X 00.00     Z -2.00     F80
  N 022        G01     X 00.00     Z -12.17    F80
  N 023        G00     X 00.00     Z 00.00
  N 024        G00     X 50.00     Z 50.00
  N 025        M00
  N 026        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 027        G01     X 9.00      Z -2.50   F 100
  N 028        G01     X 16.94     Z -2.50   F 100
  N 029        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 030        G01     X 9.00      Z -3.00   F 100
  N 031        G01     X 16.94     Z -3.00   F 100
  N 032        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 033        G01     X 9.00      Z -3.50   F 100
  N 034        G01     X 16.94     Z -3.50   F 100
  N 035        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 036        G01     X 9.00      Z -4.00   F 100
  N 037        G01     X 16.94     Z -4.00   F 100
  N 038        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 039        G01     X 9.00      Z -4.50   F 100
  N 040        G01     X 16.94     Z -4.50   F 100
  N 041        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 042        G01     X 9.00      Z -5.00   F 100
  N 043        G01     X 16.94     Z -5.00   F 100
  N 044        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 045        G01     X 9.00      Z -5.50   F 100
  N 046        G01     X 16.94     Z -5.50   F 100
  N 047        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 048        G01     X 9.00      Z -6.00   F 100
  N 049        G01     X 16.94     Z -6.00   F 100
  N 050        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 051        G01     X 9.00      Z -6.50   F 100
  N 052        G01     X 16.94     Z -6.50   F 100
  N 053        G00     X 9.00      Z -2.00
  N 054        G01     X 9.00      Z -7.00   F 100
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N 055     G01   X 16.94   Z -7.00   F 100
N 056     G00   X 9.00    Z -2.00
N 057     G00   X 9.00    Z -1.00
N 058     G00   X 17.94   Z -1.00
N 059     G01   X 17.94   Z -6.17   F 80
N 060     G01   X 17.94   Z -1.00   F 10
N 061     G00   X 50.00   Z 50.00
N 062     M00
N 063     G00   X 18.94   Z -0.83
N 064     G01   X 16.94   Z -4.50   F 80
N 065     G00   X 16.94   Z -0.83
N 066     G00   X 19.94   Z -0.83
N 067     G01   X 16.94   Z -4.50   F 80
N 068     G00   X 16.94   Z -0.83
N 069     G00   X 20.94   Z -0.83
N 070     G01   X 16.94   Z -4.50   F 80
N 071     G00   X 16.94   Z -0.83
N 072     G00   X 21.94   Z -0.83
N 073     G01   X 16.94   Z -4.50   F 80
N 074     G00   X 16.94   Z -0.83
N 075     G00   X 22.94   Z -0.83
N 076     G01   X 16.94   Z -4.50   F 80
N 077     G00   X 16.94   Z -0.83
N 078     G00   X 23.94   Z -0.83
N 079     G01   X 16.94   Z -4.50   F 80
N 080     G00   X 16.94   Z -0.83
N 081     G00   X 18.57   Z -0.83
N 082     G01   X 16.94   Z -5.50   F 80
N 083     G01   X 16.94   Z -0.83
N 084     G00   X 18.57   Z -0.83
N 085     G01   X 18.57   Z -0.83   F 50
N 086     G01   X 18.57   Z -5.50   F 50
N 087     G00   X 18.57   Z -0.83
N 088     G00   X 90.00   Z 50.00
N 089     M00
N 090     G00   X 83.88   Z 50.00
N 091     G00   X 83.88   Z -9.17
N 092     G01   X -1.00   Z -9.17   F 10
N 093     G00   X 83.88   Z -9.17
N 094     G00   X 83.88   Z 50.00
N 095     G00   X 50.00   Z 50.00
N 096     M00
N 097     G00   X 83.88   Z 3.78
N 098     G01   X 16.94   Z 3.78   F 80
N 099     G00   X 83.88   Z 5.18
N 0100    G00   X 83.88   Z 3.38
N 0101    G01   X 16.94   Z 3.38   F 80
N 0102    G00   X 83.88   Z 5.18
N 0103    G00   X 83.88   Z 3.18
N 0104    G01   X 16.94   Z 3.18   F 50
N 0105    G00   X 50.00   Z 50.00
N 0106    M30
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
^#######  Recessed ######
  0009
  N 000        G90
  N 001        G92     X 50.00     Z 50.00
  N 002        G00     X 86.88     Z  1.00
  N 003        G84     X 86.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 004        G84     X 85.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 005        G84     X 84.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 006        G84     X 83.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 007        G84     X 82.88     Z -13.17    F 10    H 00
  N 008        G00     X 83.88     Z 00.00
  N 009        G01     X -1.00     Z 00.00     F 80
  N 010        G00     X -1.00     Z 1.00
  N 011        G00     X 83.88     Z 1.00
  N 012        G00     X 83.88     Z -1.00
  N 013        G01     X -1.00     Z -1.00     F 80
  N 014        G00     X -1.00     Z 1.00
  N 015        G00     X 83.88     Z 1.00
  N 016        G00     X 83.88     Z -2.00
  N 017        G01     X -1.00     Z -2.00     F 10
  N 018        G00     X 50.00     Z 50.00
  N 019        M00
  N 020        G00     X 00.00     Z 00.00
  N 021        G01     X 00.00     Z -2.00     F80
  N 022        G01     X 00.00     Z -12.17    F80
  N 023        G00     X 00.00     Z 00.00
  N 024        G00     X 50.00     Z 50.00
  N 025        M00
  N 026        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 027        G01     X 9.00    Z -2.50   F 100
  N 028        G01     X 16.94   Z -2.50   F 100
  N 029        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 030        G01     X 9.00    Z -3.00   F 100
  N 031        G01     X 16.94   Z -3.00   F 100
  N 032        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 033        G01     X 9.00    Z -3.50   F 100
  N 034        G01     X 16.94   Z -3.50   F 100
  N 035        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 036        G01     X 9.00    Z -4.00   F 100
  N 037        G01     X 16.94   Z -4.00   F 100
  N 038        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 039        G01     X 9.00    Z -4.50   F 100
  N 040        G01     X 16.94   Z -4.50   F 100
  N 041        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 042        G01     X 9.00    Z -5.00   F 100
  N 043        G01     X 16.94   Z -5.00   F 100
  N 044        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 045        G01     X 9.00    Z -5.50   F 100
  N 046        G01     X 16.94   Z -5.50   F 100
  N 047        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 048        G01     X 9.00    Z -6.00   F 100
  N 049        G01     X 16.94   Z -6.00   F 100
  N 050        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 051        G01     X 9.00    Z -6.50   F 100
  N 052        G01     X 16.94   Z -6.50   F 100
  N 053        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 054        G01     X 9.00    Z -7.00   F 100
  N 055        G01     X 16.94   Z -7.00   F 100
  N 056        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 057        G00     X 9.00    Z -1.00
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N 058       G00     X 17.94    Z -1.00
N 059       G01     X 17.94    Z -6.17    F 80
N 060       G01     X 17.94    Z -1.00    F 10
N 061       G00     X 50.00    Z 50.00
N 062       M00
N 063       G00     X 16.94      Z 4.17
N 064       G01     X 16.94    Z 2.67     F 100
N 065       G01     X 23.02    Z 2.67     F 80
N 066       G01     X 23.02    Z 4.17     F 80
N 067       G00     X 16.94    Z 1.32
N 068       G01     X 16.94    Z 2.17     F 100
N 069       G01     X 23.02    Z 2.17     F 80
N 070       G01     X 23.02    Z 4.17     F 80
N 071       G00     X 16.94    Z 1.32
N 072       G01     X 16.94    Z 1.67     F 100
N 073       G01     X 23.02    Z 1.67     F 80
N 074       G01     X 23.02    Z 4.17     F 80
N 075       G00     X 16.94    Z 1.32
N 076       G01     X 16.94    Z 1.17     F 100
N 077       G01     X 23.02    Z 1.17     F 80
N 078       G01     X 23.02    Z 4.17     F 80
N 079       G00     X 16.94    Z 1.32
N 080       G01     X 16.94    Z 0.67     F 100
N 081       G01     X 23.02    Z 0.67     F 80
N 082       G01     X 23.02    Z 4.17     F 80
N 083       G00     X 16.94    Z 1.32
N 084       G01     X 16.94    Z 0.50     F 100
N 085       G01     X 23.02    Z 0.50     F 80
N 086       G01     X 23.02    Z 4.17     F 80
N 087       G00     X 50.00    Z 50.00
N 088       M00
N 089       G00     X 83.88     Z 50.00
N 090       G00     X 83.88     Z -9.17
N 091       G01     X -1.00     Z -9.17    F 10
N 092       G00     X 83.88     Z -9.17
N 093       G00     X 83.88     Z 50.00
N 094       G00     X 50.00     Z 50.00
N 095       M00
N 096       G00     X 83.88    Z 3.78
N 097       G01     X 16.94    Z 3.78     F 80
N 098       G00     X 83.88    Z 5.18
N 099       G00     X 83.88    Z 3.38
N 0100       G01     X 16.94    Z 3.38     F 80
N 0101       G00     X 83.88    Z 5.18
N 0102       G00     X 83.88    Z 3.18
N 0103       G01     X 16.94    Z 3.18     F 50
N 0104       G00     X 50.00    Z 50.00
N 0105       M30
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
^#######  Qudrant ######
  0009
  N 000        G90
  N 001        G92     X 50.00     Z 50.00
  N 002        G00     X 86.88     Z  1.00
  N 003        G84     X 86.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 004        G84     X 85.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 005        G84     X 84.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 006        G84     X 83.88     Z -13.17    F 80    H 00
  N 007        G84     X 82.88     Z -13.17    F 10    H 00
  N 008        G00     X 83.88     Z 00.00
  N 009        G01     X -1.00     Z 00.00     F 80
  N 010        G00     X -1.00     Z 1.00
  N 011        G00     X 83.88     Z 1.00
  N 012        G00     X 83.88     Z -1.00
  N 013        G01     X -1.00     Z -1.00     F 80
  N 014        G00     X -1.00     Z 1.00
  N 015        G00     X 83.88     Z 1.00
  N 016        G00     X 83.88     Z -2.00
  N 017        G01     X -1.00     Z -2.00     F 10
  N 018        G00     X 50.00     Z 50.00
  N 019        M00
  N 020        G00     X 00.00     Z 00.00
  N 021        G01     X 00.00     Z -2.00     F80
  N 022        G01     X 00.00     Z -12.17    F80
  N 023        G00     X 00.00     Z 00.00
  N 024        G00     X 50.00     Z 50.00
  N 025        M00
  N 026        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 027        G01     X 9.00    Z -2.50   F 100
  N 028        G01     X 16.94   Z -2.50   F 100
  N 029        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 030        G01     X 9.00    Z -3.00   F 100
  N 031        G01     X 16.94   Z -3.00   F 100
  N 032        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 033        G01     X 9.00    Z -3.50   F 100
  N 034        G01     X 16.94   Z -3.50   F 100
  N 035        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 036        G01     X 9.00    Z -4.00   F 100
  N 037        G01     X 16.94   Z -4.00   F 100
  N 038        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 039        G01     X 9.00    Z -4.50   F 100
  N 040        G01     X 16.94   Z -4.50   F 100
  N 041        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 042        G01     X 9.00    Z -5.00   F 100
  N 043        G01     X 16.94   Z -5.00   F 100
  N 044        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 045        G01     X 9.00    Z -5.50   F 100
  N 046        G01     X 16.94   Z -5.50   F 100
  N 047        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 048        G01     X 9.00    Z -6.00   F 100
  N 049        G01     X 16.94   Z -6.00   F 100
  N 050        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 051        G01     X 9.00    Z -6.50   F 100
  N 052        G01     X 16.94   Z -6.50   F 100
  N 053        G00     X 9.00    Z -2.00
  N 054        G01     X 9.00    Z -7.00   F 100
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N 055       G01     X 16.94    Z -7.00   F 100
N 056       G00     X 9.00     Z -2.00
N 057       G00     X 9.00     Z -1.00
N 058       G00     X 17.94    Z -1.00
N 059       G01     X 17.94    Z -6.17   F 80
N 060       G01     X 17.94    Z -1.00   F 10
N 061       G00     X 50.00    Z 50.00
N 062       M00
N 063       G00     X 16.94    Z -1.00
N 064       G00     X 16.94    Z -2.50
N 065       G01     X 17.94    Z -2.50   F 80
N 066       G03     X 18.94    Z -2.00   F 80
N 067       M99     I 2.54     K 2.04
N 068       G00     X 16.94    Z -2.00
N 069       G00     X 16.94    Z -3.00
N 070       G01     X 17.94    Z -3.00   F 80
N 071       G03     X 19.94    Z -2.00   F 80
N 072       M99     I 2.54     K 1.54
N 073       G00     X 16.94    Z -2.00
N 074       G00     X 16.94    Z -3.50
N 075       G01     X 17.94    Z -3.50   F 80
N 076       G03     X 20.94    Z -2.00   F 80
N 077       M99     I 2.54     K 1.04
N 078       G00     X 16.94    Z -2.00
N 079       G00     X 16.94    Z -4.00
N 080       G01     X 17.94    Z -4.00   F 80
N 081       G03     X 21.94    Z -2.00   F 80
N 082       M99     I 2.54     K 0.54
N 083       G00     X 16.94    Z -2.00
N 084       G00     X 16.94    Z -4.50
N 085       G01     X 17.94    Z -4.50   F 80
N 086       G03     X 22.94    Z -2.00   F 80
N 087       M99     I 2.54     K 0.04
N 088       G00     X 16.94    Z -2.00
N 089       G00     X 16.94    Z -4.54
N 090       G01     X 17.94    Z -4.54   F 80
N 091       G03     X 23.02    Z -2.00   F 80
N 092       M99     I 2.54     K 00.00
N 093       G00     X 50.00    Z 50.00
N 094       M00
N 095       G00     X 83.88    Z 50.00
N 096       G00     X 83.88    Z -9.17
N 097       G01     X -1.00    Z -9.17   F 10
N 098       G00     X 83.88    Z -9.17
N 099       G00     X 83.88    Z 50.00
N 0100      G00     X 50.00    Z 50.00
N 0101      M00
N 0102      G00     X 83.88    Z 3.78
N 0103      G01     X 16.94    Z 3.78    F 80
N 0104      G00     X 83.88    Z 5.18
N 0105      G00     X 93.88    Z 3.38
N 0106      G01     X 16.94    Z 3.38    F 80
N 0107      G00     X 83.88    Z 5.18
N 0108      G00     X 83.88    Z 3.18
N 0109      G01     X 16.94    Z 3.18    F 50
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N 0110        G00     X 50.00    Z 50.00
N 0111        M00
N 0112        G00     X 16.94     Z 4.17
N 0113        G01     X 16.94    Z 2.67    F 100
N 0114        G01     X 23.02    Z 2.67    F 80
N 0115        G01     X 23.02    Z 4.17    F 80
N 0116        G00     X 16.94    Z 4.17
N 0117        G01     X 16.94    Z 2.54    F 100
N 0118        G01     X 23.02    Z 2.54    F 80
N 0119        G01     X 23.02.   Z 4.17    F 80
N 0120        G00     X 50.00    Z 50.00
N 0121        M30
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและข้อเสนอแนะ

1.สิ่งที่ได้ทำสำเร็จแล้วคือ

1.1 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในของ Orifices

1.2 การเชื่อมโยงระหว่างโปรแกรมสร้าง Orifices กับ Printer และMouse

1.3 การแปลงขนาดของ Orifices ที่คำนวณได้ให้เป็น G-code ที่ใช้กับเครื่อง Emco compact 5 CNC ซึ่งใช้ในการทดลอง

2.ขีดจำกัดของการพัฒนาคือเราใช้เครื่อง CNC ชนิดเครื่องกลึงทำให้สร้าง Orifice ได้ขนาดไม่เกิน 5 นิ้ว เพราะจำกัดที่หัวจับชิ้นงาน

3.สิ่งที่ควรจะพัฒนาต่อไป

2.1 การเชื่อมโยงระหว่าง Computer กับเครื่อง CNC โดยผ่าน RS-232

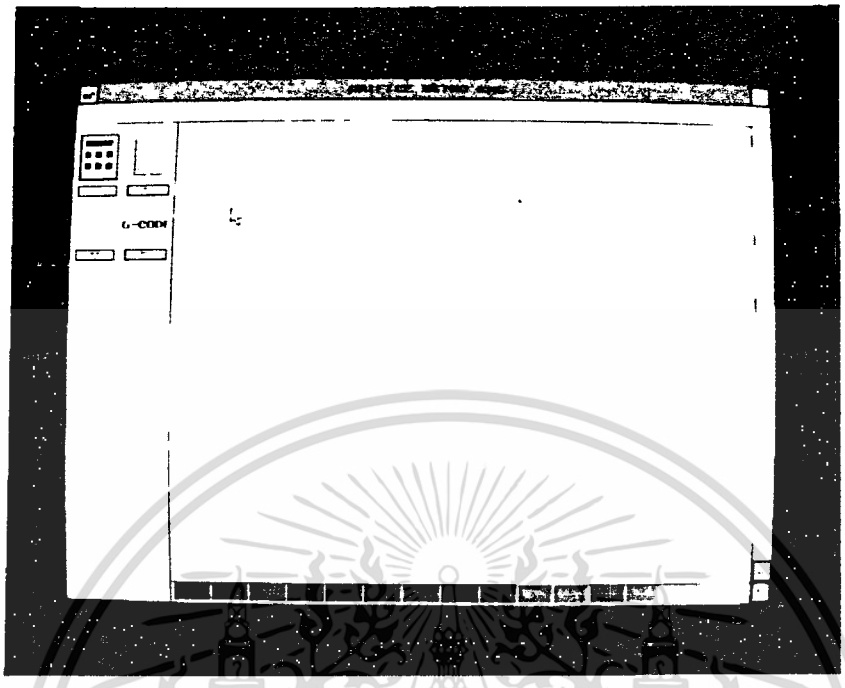
2.2 การทดสอบการสร้างแผ่น Orifices ให้สำเร็จสมบูรณ์และสามารถใช้งานได้อย่างแท้จริง

2.3 สร้างโปรแกรมกราฟฟิคส์สำหรับแปลงรูปทรงกราฟฟิคส์ใดๆ ให้เป็น G-code เพื่อเป็นโปรแกรมเสริมในการใช้งาน

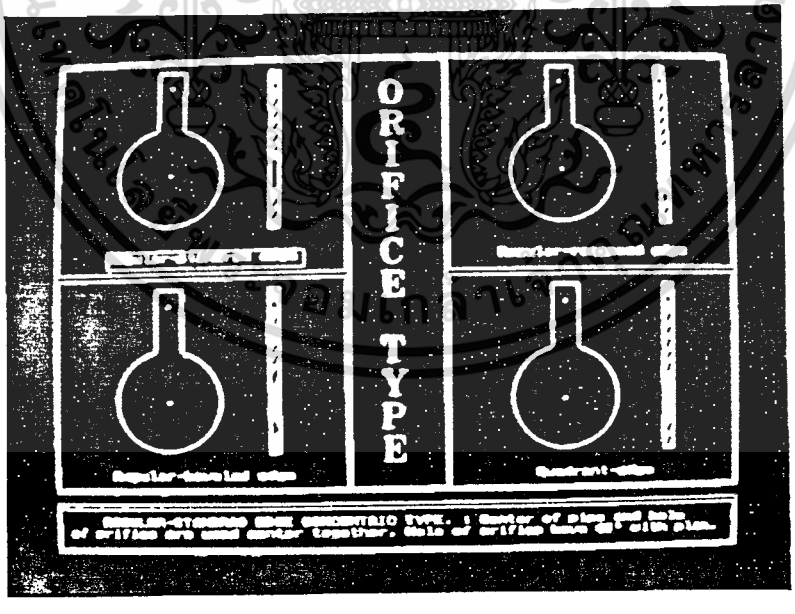
2.4 สร้างโปรแกรมจำรองสภาพการไหลเมื่อของไหลไหลผ่านแผ่น Orifices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

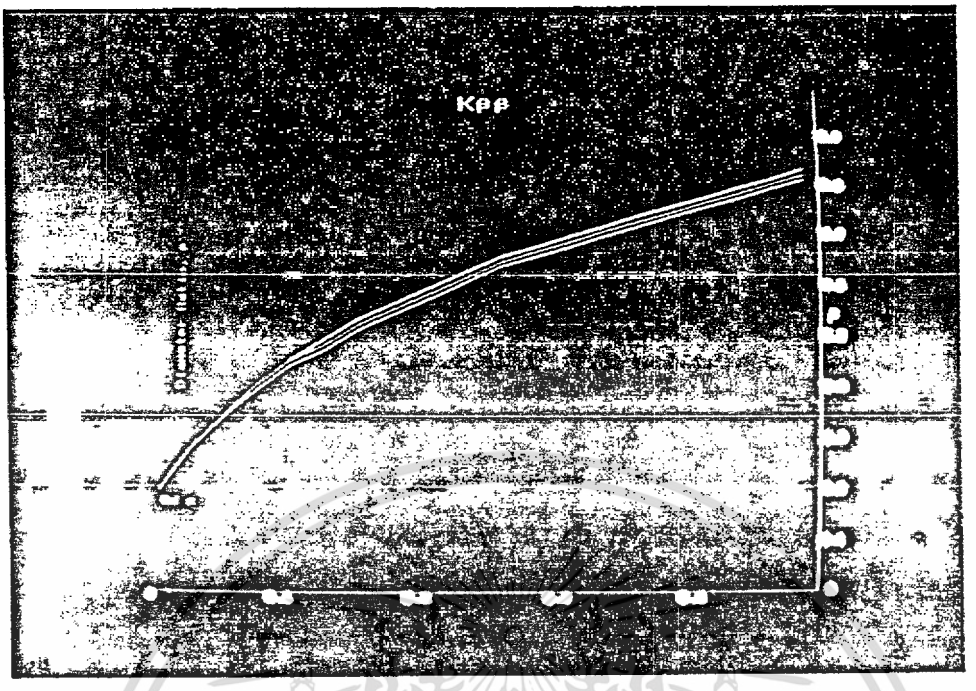


รูปแสดง Edit mode

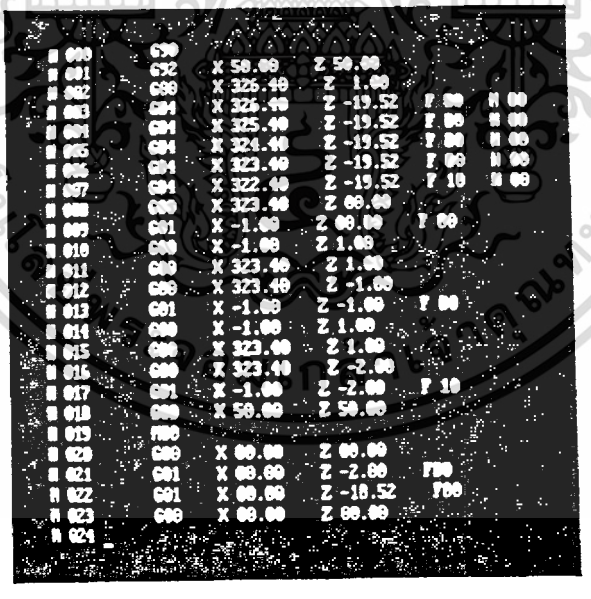


รูปแสดง Mode การเลือกชนิดของ Orifice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

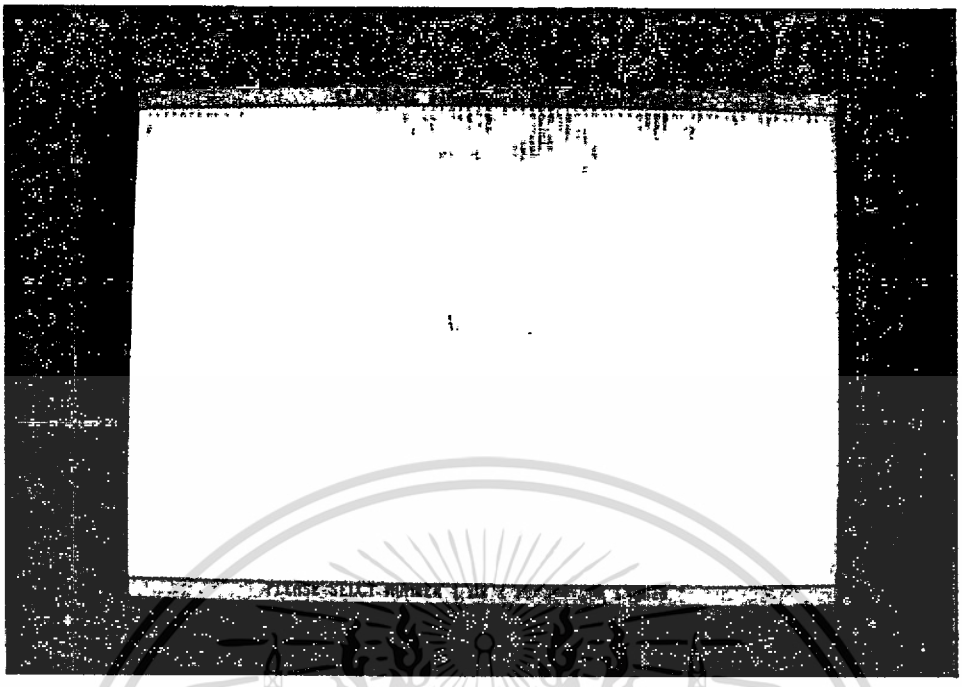


รูปแสดง Mode ของกราฟค่า K_p

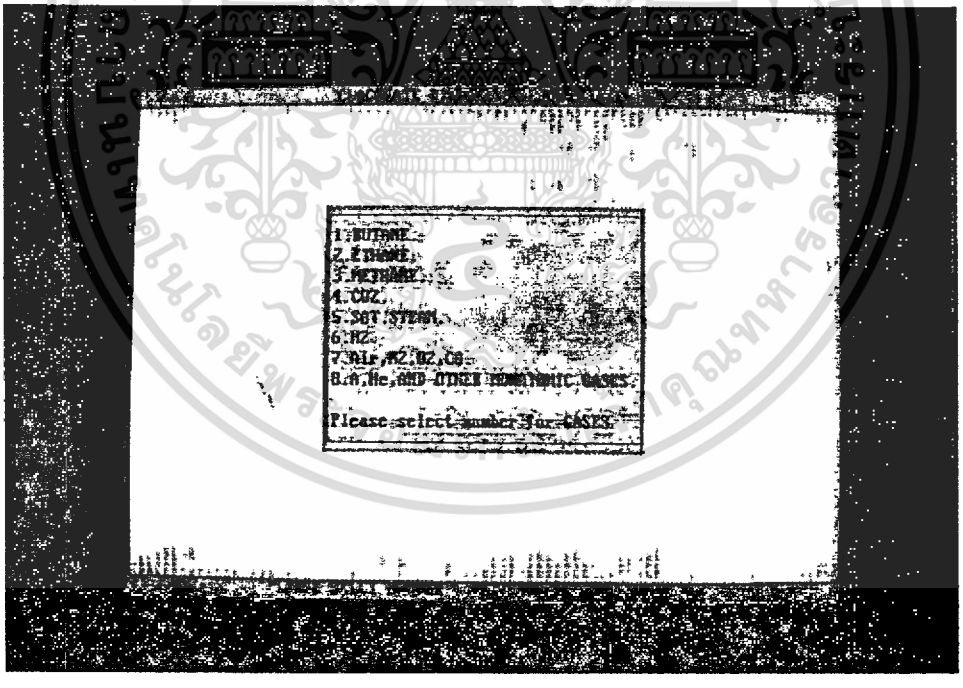


รูปแสดง Mode G-code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

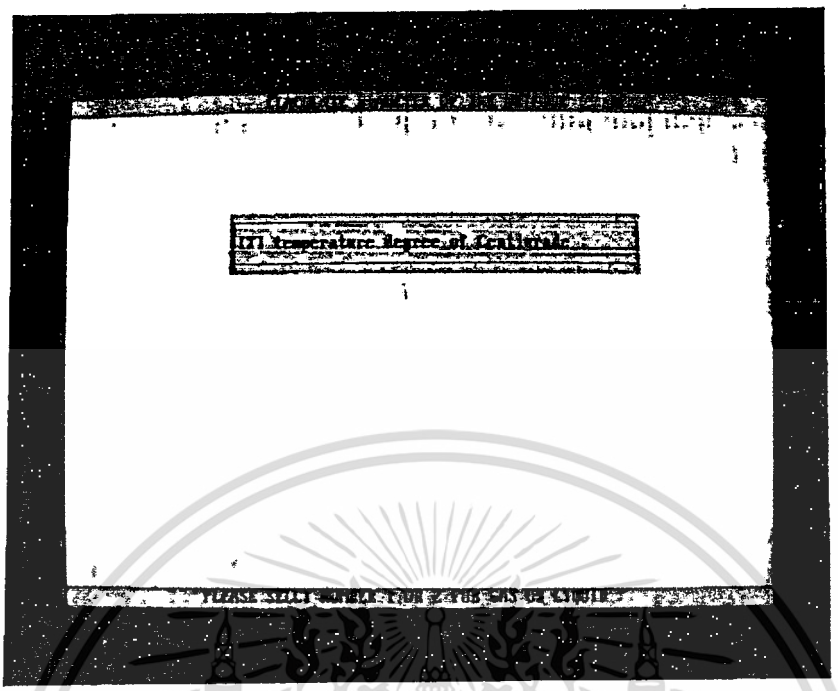


รูปแสดง Mode Calculate inside Dia. orifice

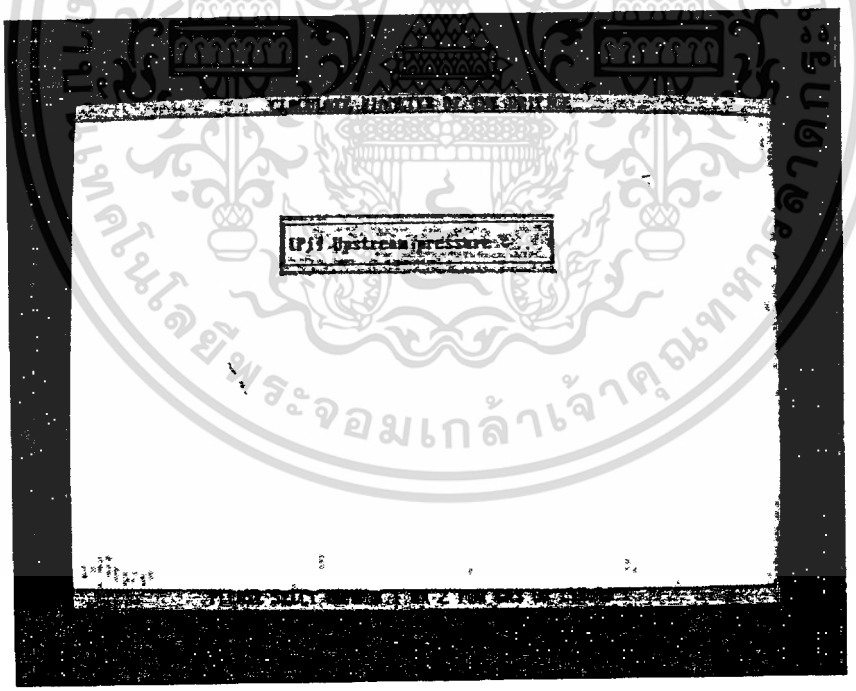


รูปแสดง การเลือกชนิดของแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

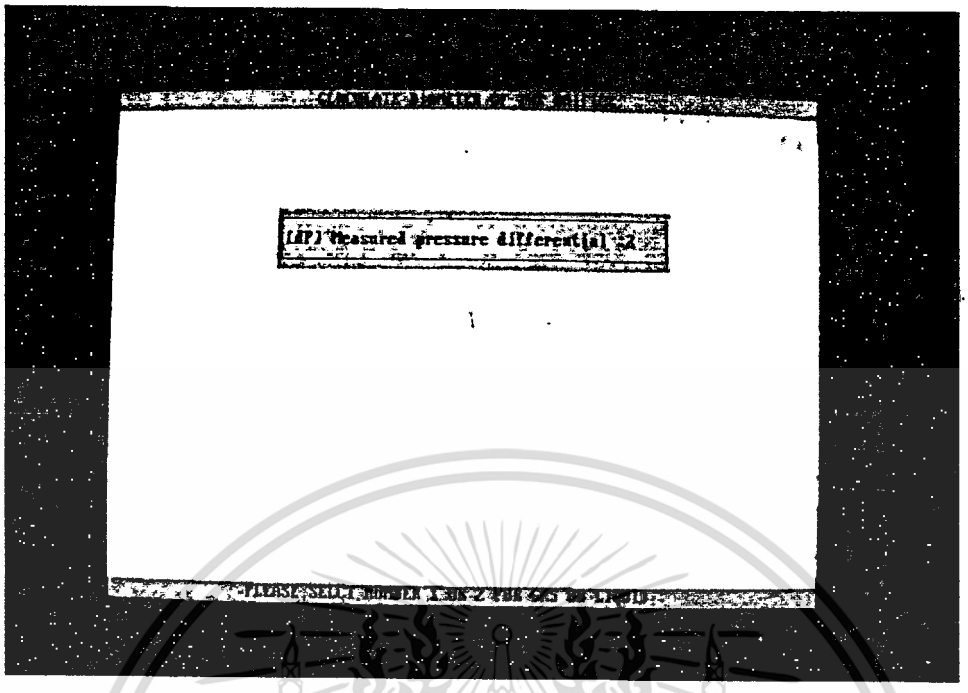


รูปแสดง การป้อนค่าอุณหภูมิ

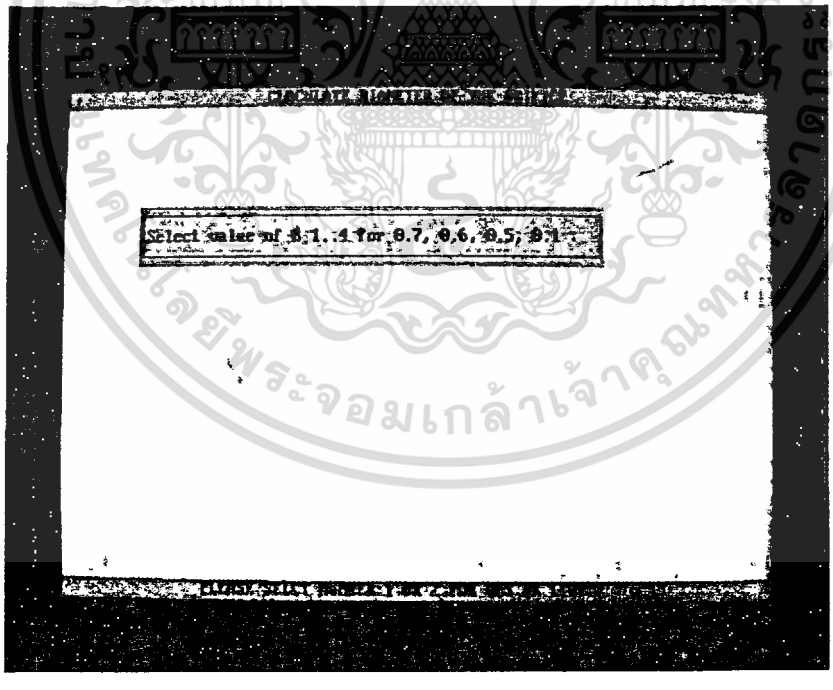


รูปแสดง การป้อนค่า Upstream pressure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

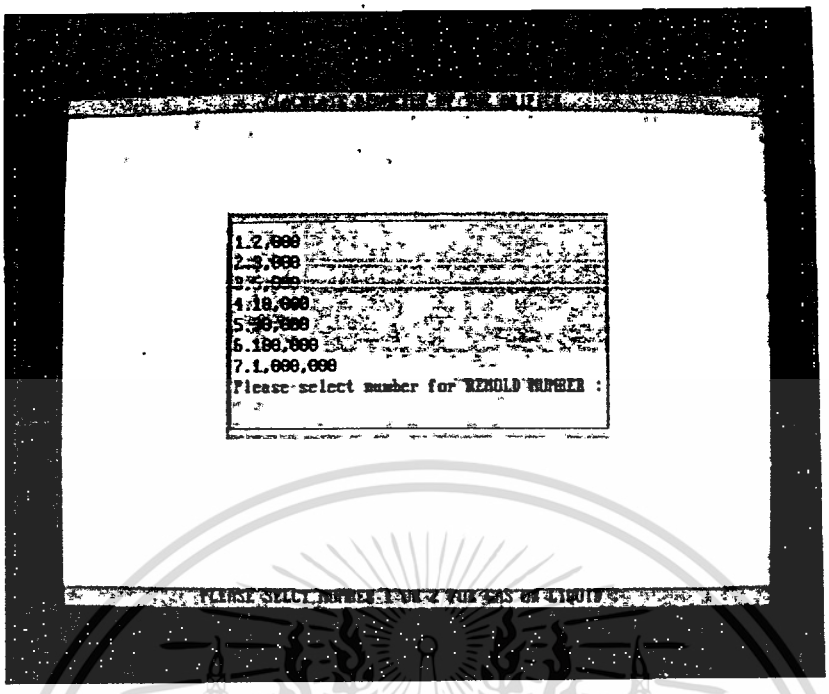


รูปแสดง การป้อนค่า Differential pressure

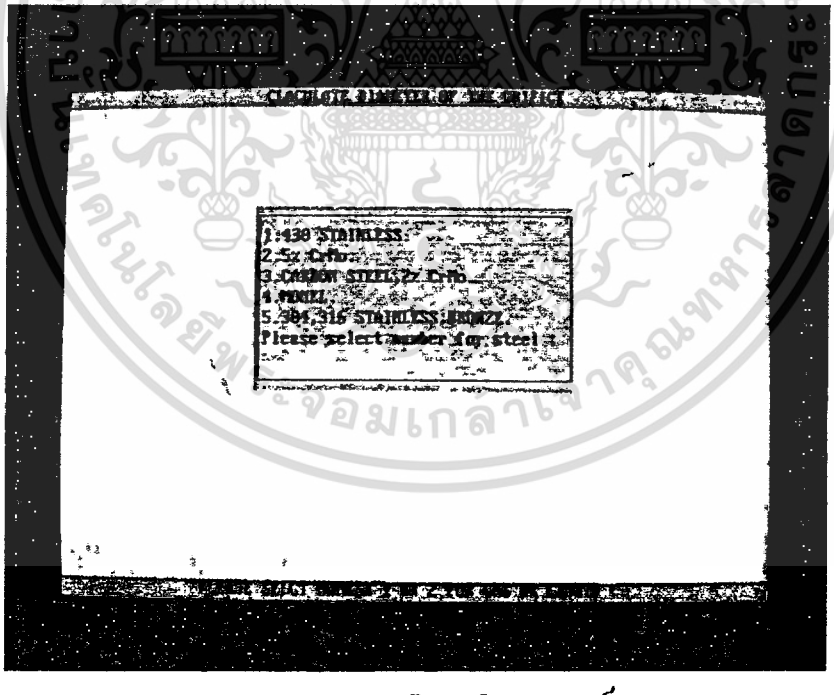


รูปแสดง การเลือก β ในการหาค่า Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

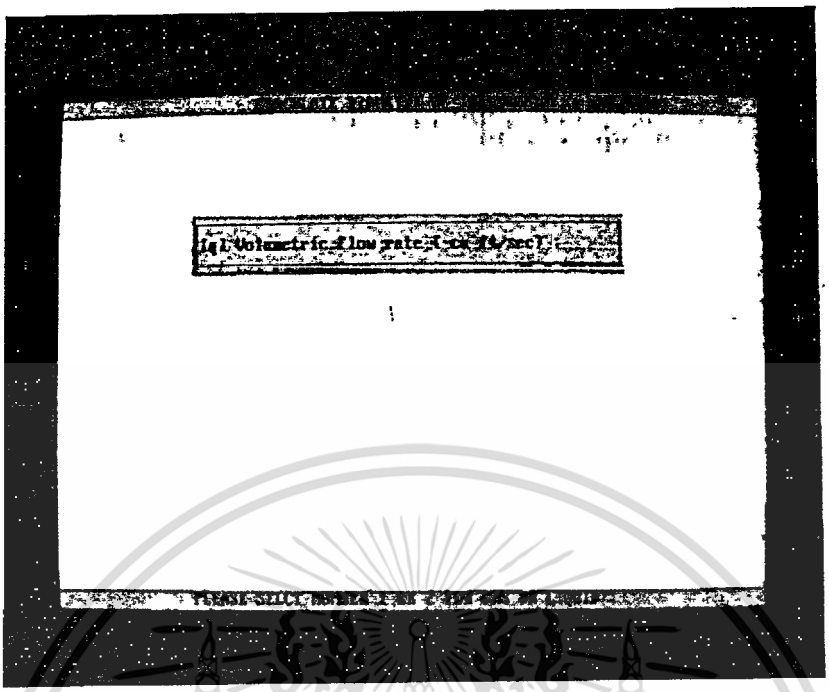


รูปแสดง การเลือกค่า Renold number

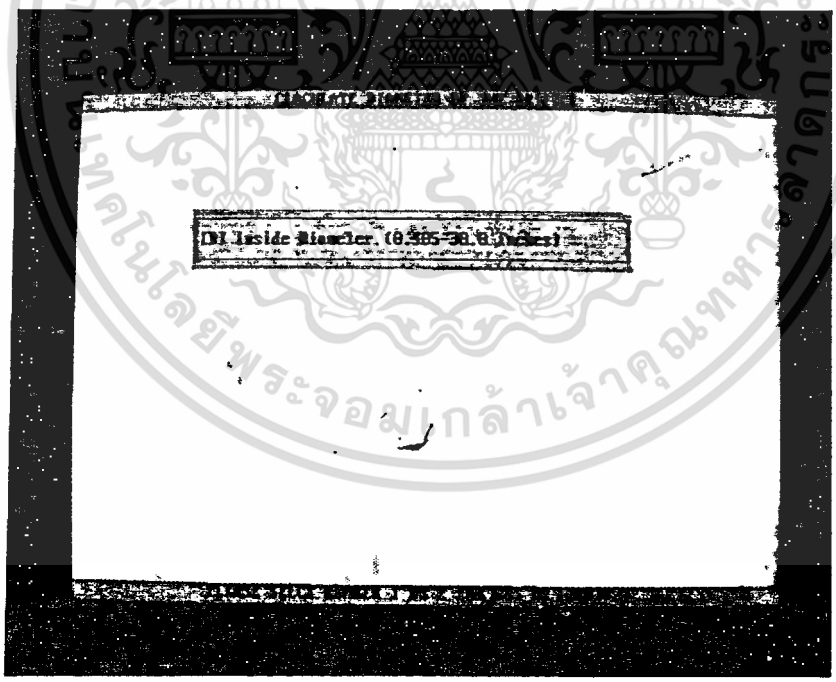


รูปแสดง การเลือกชนิดของเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

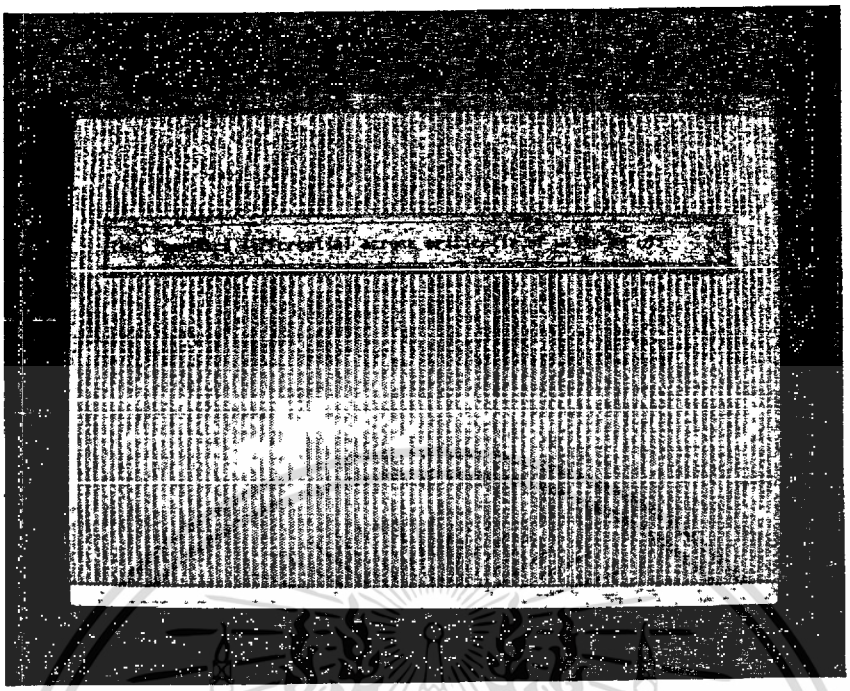


รูปแสดง การป้อนค่าอัตราการไหล

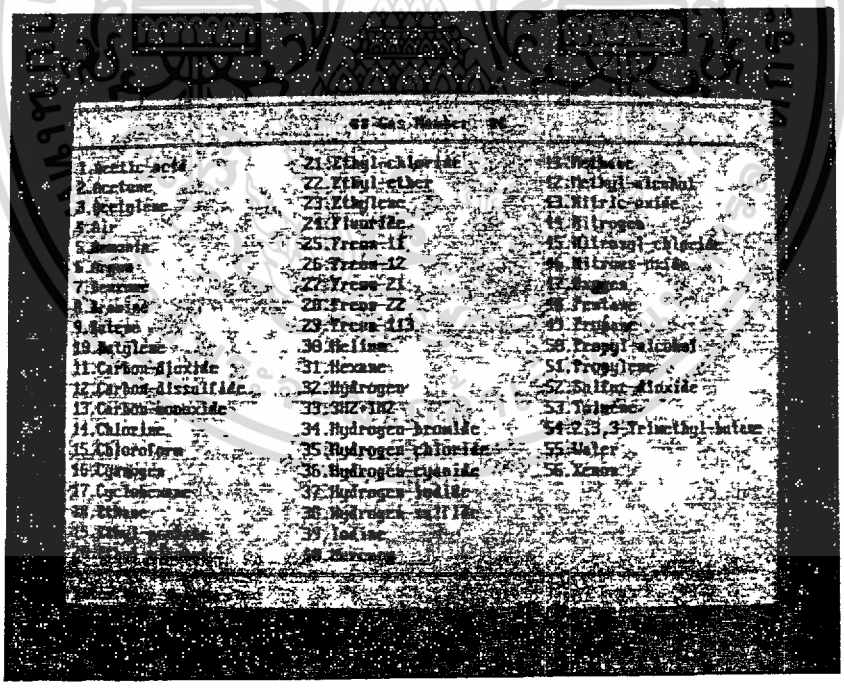


รูปแสดง การป้อนค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

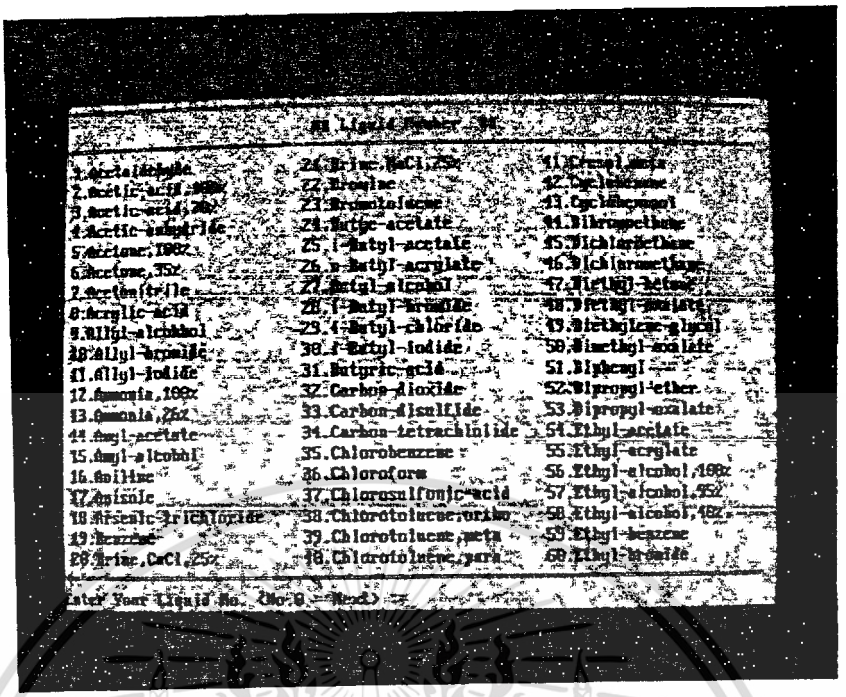


รูปแสดง การป้อนค่า Impressed differential across orifice

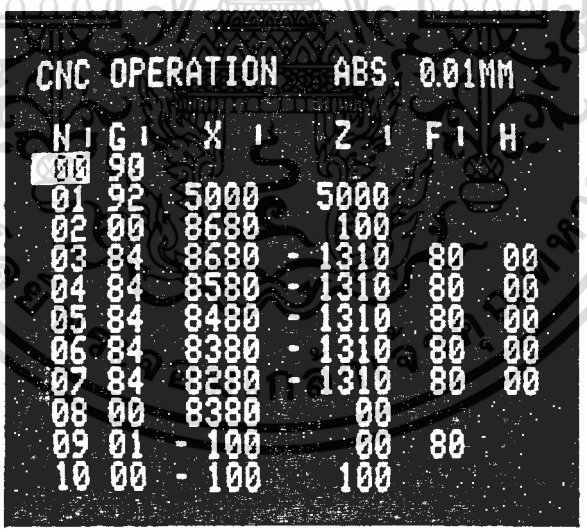


รูปแสดง การเลือกชนิดของแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

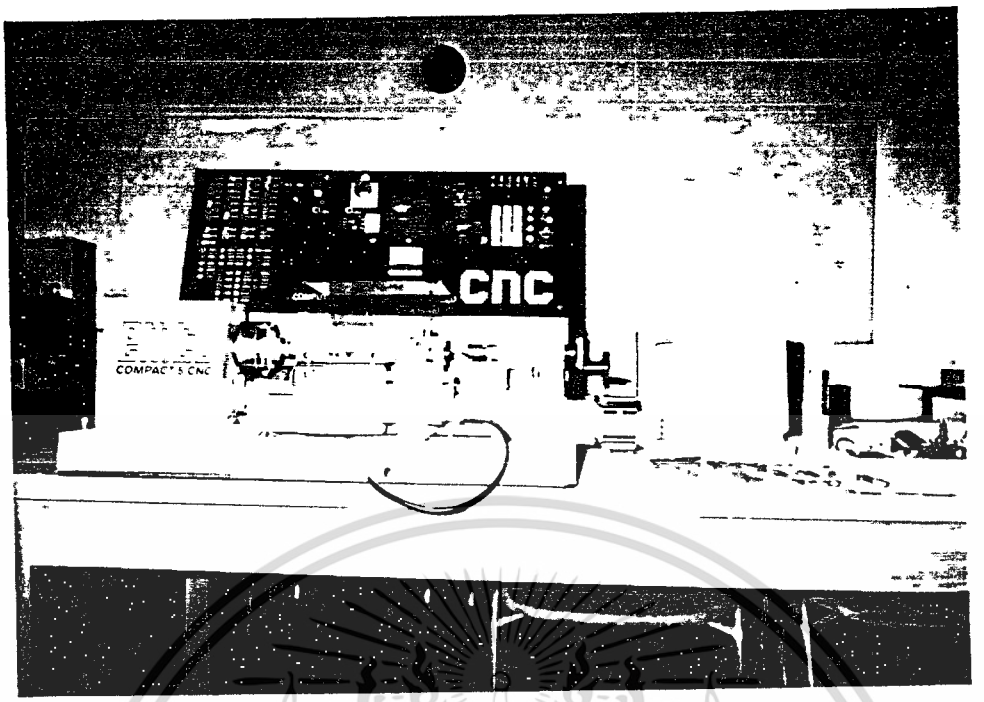


รูปแสดง การเลือกชนิดของของเหลว



รูปแสดง G-code บน Monitor ของเครื่อง Compact 5 CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดง เครื่อง Compact 5 CNC ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วิทยา ทิพย์สุวรรณพร อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการทำปริญญานิพนธ์ ในด้านข้อมูลของการคำนวนออริฟิสและข้อมูลของเครื่อง CNC ด้วยดีตลอดมาจนทำให้ ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประภาษ อุคคกิมาพันธ์ และอาจารย์ภากร หุตะสังกาศ ที่ ให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่อง Emco compact 5 CNC

ขอขอบคุณ ภาคเทคโนโลยีการวัดคุมที่มีเครื่อง CNC ให้ทำการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณสมชาย แก้วกำแพงที่ช่วยแก้ไขโปรแกรมเมื่อเกิด Floating point error และ เกี่ยวกับการใช้ Mouse

ขอขอบคุณ อาจารย์โกวิท บริษัท วิศววุฒ จำกัด ที่ใด้สอนวิชา CNC

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อ คุณพ่อ คุณแม่ และ พี่ๆ ที่ให้การสนับสนุนและ อุปการะผู้จัดทำตั้งแต่เยาว์วัยจนสำเร็จการศึกษาถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. มงคล อัศวโกวิทกรณ์,"การเขียนโปรแกรมกราฟิคส์",พิมครั้งที่ 1 บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด,2534.
2. FISCHER & PORTER company ,"Handbook Flowmeter Orifice Sizing".
3. Herbert Schildt, "C:Power user's Guide", Osborne McGraw-Hill Berkley, California.
4. Instruction Emco compact 5 CNC.
5. Borland international,"Turbo C Reference Guide version 2.0" 1988.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้