

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาและออกแบบไอโอไนเซชันแชมเบอร์

DEVELOPMENT AND DESIGN  
OF  
IONIZATION CHAMBER

หนังสืออ้างอิง  
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

สุพร กอเจริญรัตน์  
SUPORN KORCHAROENRAT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการ

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2537

ISBN 974-621-149-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่.....  
เลขทะเบียน.....21290  
วัน, เดือน, ปี..... 22 ส.ค. 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ.....  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้.....  
ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT AND DESIGN**

**OF**

**IONIZATION CHAMBER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE**

**MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING**

**GRADUATE SCHOOL**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1994**

**ISBN 974-621-149-8**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาและการออกแบบไอโอไนเซชันแชมเบอร์ ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ๆ อยู่ 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1. การพัฒนาและออกแบบตัวถังและหน้าต่างของไอโอไนเซชันแชมเบอร์
2. การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบขั้วซึ่งด้านไฟฟ้าแรงสูง
3. การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบของคาโธด
4. การพัฒนาและออกแบบท่อสำหรับปั๊มก๊าซอากาศและท่อสำหรับใส่ก๊าซ

การพัฒนาและออกแบบเครื่องไอโอไนเซชันแชมเบอร์ขึ้นมา เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบและเพื่อประยุกต์วัสดุที่มีใช้ในประเทศมาใช้ในการออกแบบและสร้างให้ได้คุณภาพเทียบเท่าต่างประเทศ ในการออกแบบจะใช้รูปภาพ 2 มิติของ Hopwood เป็นต้นแบบในการออกแบบ โดยใช้สเกลมาตรฐานเทียบมาตราส่วนในบางชิ้นส่วน แต่ในส่วนที่สำคัญเราจะต้องใช้หลักการออกแบบเครื่องกลเข้าช่วย และใช้สมการ Maxwell และความสัมพันธ์ของ Stoerk เข้าไปช่วยในการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์ จากการออกแบบและสร้าง จะทำให้ได้เครื่องไอโอไนเซชันแชมเบอร์ที่เป็นสุญญากาศ และมีอัตราการรั่ว 2 ทอรั่ว/ชั่วโมง และต้องมีความต้านทานระหว่าง อานอด, คาโธด กับตัวถังให้ได้ประมาณ  $10^{14} \Omega$  จึงจะสามารถนำเครื่องไอโอไนเซชันแชมเบอร์ ไปทำการทดลองความเป็นฉนวนของก๊าซได้

## ABSTRACT

This thesis deals with the development and design of ionization chamber which consists of four main parts.

1. The development and design of body and window of ionization chamber.
2. The development and design of high voltage bushing assembly.
3. The development and design of cathode assembly
4. The development and design of tube for pumping air and the tube for inlet gas.

The purposes of the development and design of the ionization chamber are to use it as a prototype and to use the materials which are available in Thailand for the design and construction of a chamber which has a quality competitive with an international chamber. In the design we employed the two-dimensional diagram of Hopwood for the prototype, after obtaining the dimensions of some components from the scale given. But for the main parts we must use the principles of mechanical design and we used Maxwell equations and the relation of Stoerk for the design of the electrodes. The design of the electrodes. The design and construction would yield an ionization chamber which could be evacuated to zero pressure, a leakage rate of 2 torr/hour and the resistance between anode, cathode and body of approximately  $10^{14} \Omega$ . This will enable us to use the chamber for the experiments to find the insulating strengths of gases.

## กิติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ก็เพราะความกรุณาและความอนุเคราะห์ต่าง ๆ จากบุคคลและหน่วยงานต่าง ๆ ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง แต่

1. รศ.ดร.นิพนธ์ สุขุม และ ผศ.ประภาช ไพรสุวธรรมา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ๙๖๑. ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ที่กรุณาให้แนวความคิดวิทยานิพนธ์, หลักการออกแบบและสร้างทดลองจนแนะนำช่วยเหลือทุก ๆ ด้านตลอดมา
2. หัวหน้าภาควิชาและอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ๙๖๑. ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำอื่น ๆ
3. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ที่ให้ทุนวิจัยโครงการไอโอโนเซชันแชมเบอร์
4. นายวิฑูร เกษมญาติ วิศวกรแห่งบริษัท เอนโกไทย จำกัด ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำ
5. นายสมจิตร์ คำปาน วิศวกรแห่งบริษัท อินดอชอินดัสเตรียล จำกัด ที่ช่วยให้คำปรึกษาช่วยเหลือด้านเครื่องมือ

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์	2
1.3 หลักการพัฒนาและออกแบบที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์	2
1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการชนของอะตอมขั้นมูลฐานและการไอโอไนเซชันและการเบรคดาวน์ ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	4
2.1 การชนของอะตอมขั้นมูลฐาน	4
2.1.1 ชนิดของการชนของอะตอม	4
2.1.2 การแจกแจงด้านพลังงานของอิเล็กตรอน	6
2.2 การไอโอไนเซชันและการเบรคดาวน์ ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	6
2.2.1 การพิสูจน์สมการของกระแสที่อาโนด	6
2.2.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการไอโอไนส์ และสัมประสิทธิ์ของอะแท็ช	8
2.2.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการดีแท็ชเมนต์	10
2.2.4 ชนิดของการเกิดเบรคดาวน์	11
2.2.5 การคำนวณหาค่า $\alpha/p$ , $\eta/p$ และ $\sigma/p$	12
2.2.6 การพิสูจน์สมการดีแท็ชของ Schlumbohm	14
2.2.7 ประโยชน์ที่ได้จากการหาค่า Breakdown, $\alpha$ , $\eta$ , และ $\sigma$	15

## ในท้ายที่สุด ๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	การพัฒนาและออกแบบตัวถังและหน้าต่างของไอโอไนเซชันแชมเบอร์ (Development and design of body and window of ionization chamber)	16
3.1	การคำนวณหาขนาดความจุของถัง	16
3.2	การคำนวณหาแรงกดดันที่กระทำต่อถังและขนาดความหนาของถัง	18
3.2.1	ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง	18
3.2.2	ความเค้นตามแนวยาว	19
3.2.3	กรณีภาชนะมีการต่อตะเข็บ	20
3.2.4	การเชื่อมต่อ	21
3.2.5	ค่าความปลอดภัย	22
3.2.6	สุญญากาศและแรงดัน	22
3.2.7	การออกแบบชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ความเค้นในชิ้นงานที่แตกหัก	26
3.2.7.1	ค่าขีดจำกัดความต้านทานของวัสดุ	26
3.2.7.2	ตัวประกอบผิว	26
3.2.7.3	ตัวประกอบของขนาด	27
3.2.7.4	ตัวประกอบของแรง	27
3.2.7.5	หาค่าความเค้น	28
3.3	ความแข็งแรงของรอยต่อ (โดยการเชื่อมไฟฟ้า)	35
3.4	การพัฒนาและออกแบบหน้าต่าง	36
3.4.1	การหาขนาดของหน้าต่าง	37
3.4.2	การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของหน้าต่าง	37
บทที่ 4	การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบบุชชิงด้านไฟฟ้าแรงสูง (Development and design of High Voltage Bushing Assembly)	38
4.1	การออกแบบส่วนประกอบด้านตัวนำไฟฟ้า	38
4.1.1	CORONA SHIELD	38
4.1.2	ANTI CORONA SHIELD	38
4.1.3	BRASS TUBE	39

4.1.4	ANODE	39
4.2	การออกแบบส่วนประกอบที่เป็นฉนวน	55
4.2.1	TUBULAR NYLON BUSHING	55
4.2.2	SILICONE	55
4.3	การออกแบบส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดติด	56
4.3.1	FLANGE	56
4.3.2	FLANGE CONNECTION	56
4.3.3	SLOT NUT	56
4.4	การออกแบบส่วนประกอบด้านที่เป็นหน้าต่างสำหรับให้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ส่องทะลุผ่าน	56
4.4.1	BLANKS FLANGE	57
4.4.2	GLASS LENS	57
บทที่ 5	การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบแคโทด (Development and design of Cathode Assembly)	58
5.1	การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบด้านตัวนำไฟฟ้า	58
5.1.1	CATHODE	58
5.1.2	CATHODE SUPPORTER	59
5.1.3	ADJUSTING SCREWS AND ADJUSTING NUTS	59
5.1.4	CATHODE SUPPORTOR (ADJUSTING)	59
5.1.5	SPINDLE	60
5.1.6	SUPPORT PLATE	60
5.2	การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบที่เป็นฉนวน	60
5.2.1	POLYETHYLENE SEAL	60
5.2.2	DISTRENE ROD	61
5.2.2.1	การคำนวณหาขนาดของแท่ง DISTRENE	61
5.2.3	LOCK NUTS	67

5.3	การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบที่เป็นตัวนำเคลื่อนและปรับตั้งระยะ(ขึ้น-ลง)	67
5.3.1	SLIDING BUSH	68
5.3.2	GUIDE BUSH	68
5.3.3	ADJUSTED SCREWS AND NUTS	68
5.4	การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดและป้องกันการรั่วซึม	69
5.4.1	COUPLING	69
5.4.2	HOLDER ROD	69
5.4.3	FLANGE	69
5.4.4	O-RING AND SEAL	70
5.5	การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบของชุดวัดระยะระหว่างอิเล็กโตรด	70
5.5.1	SLIDE ROD AND HOLDER ROD	70
5.5.2	GUIDE BUSH AND LOCK NUT	70
5.5.3	HOLDER BAR	71
5.5.4	HOLDER PLATE	71
5.5.5	VERNIER DEPTH GAUGE	71
บทที่ 6	การพัฒนาและออกแบบท่อสำหรับปั๊มอากาศและท่อสำหรับใส่ก๊าซ (DEVELOPMENT AND DESIGN OF TUBE FOR VACUUM PUMPING AIR AND TUBES FOR INLET-OUTLET GAS)	72
6.1	ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับสุญญากาศ (VACUUM)	72
6.1.1	ปั๊มสุญญากาศ	72
6.1.2	วาล์วปิด-เปิดระบบสุญญากาศ	75
6.1.3	อุปกรณ์ที่ใช้แสดงค่าสุญญากาศ	76
6.1.3.1	เกจวัดความดันแบบเบอร์ดอน	76
6.1.3.2	เกจวัดความดันสุญญากาศในระดับสูง	76
6.1.4	ชุดข้อต่อสุญญากาศ	77
6.1.4.1	ชุดหน้าแปลนทรงกระบอก	77

	6.1.4.2 ชุดโอ-ริงแบบผสม	77
	6.1.4.3 เข็มขัดรัด	78
	6.1.5 ท่อหรือสายสัญญาณ	78
6.2	ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเติมก๊าซเข้าภายในถังและถ่ายก๊าซออกจากถัง	78
	6.2.1 ท่อยาง	78
	6.2.2 ตัวกรอง	79
	6.2.3 วาล์วปิด-เปิด	79
บทที่ 7	การทดสอบไอโอไนเซชันแชนเบอร์	81
	7.1 การวัดความดันในไอโอไนเซชันแชนเบอร์	81
	7.2 การวัดอัตราของการรั่ว	85
	7.3 การวัดค่าความต้านทานรั่ว	85
	7.3.1 การเกิด LEAKAGE RESISTANCE ระหว่างอาโนดกับตัวถัง	85
	7.3.2 การเกิด LEAKAGE RESISTANCE ระหว่างคาโทดกับตัวถัง	85
บทที่ 8	บทสรุป	87
	ภาคผนวก	
	- ภาพวาดของการพัฒนาและออกแบบไอโอไนเซชันแชนเบอร์	89
	- รูปภาพของการพัฒนาและออกแบบไอโอไนเซชันแชนเบอร์	147
	เอกสารอ้างอิง	169
	ประวัติผู้เขียน	171

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1	เปรียบเทียบค่าความดันสุญญากาศในหน่วยต่าง ๆ	24
ตารางที่ 3.2	แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงหน่วยความดัน	25
ตารางที่ 3.3	แสดงคุณสมบัติหลักกล้าคาบอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม	30
ตารางที่ 4.1	แสดงการหาค่า $x, y$ โดยสมมติค่า $= 0.2\pi$	41
ตารางที่ 4.2	แสดงการหาค่า $x, y$ โดยสมมติค่า $= 0.4\pi$	41.
ตารางที่ 4.3	แสดงการหาค่า $x, y$ โดยสมมติค่า $= 0.5\pi$	42
ตารางที่ 4.4	แสดงการหาค่า $x, y$ โดยสมมติค่า $= 0.6\pi$	42
ตารางที่ 4.5	แสดงการหาค่า $x, y$ โดยสมมติค่า $= 0.67\pi$	42
ตารางที่ 4.6	แสดงการหาค่า $x, y$ โดยสมมติค่า $= 0.8\pi$	43
ตารางที่ 4.7	แสดงการหา Diameter ของจุดต่าง ๆ บน Profile ที่ออกแบบ	53
ตารางที่ 6.1	แสดงค่าสุญญากาศของปั๊มแบบต่าง ๆ	74
ตารางที่ 7.1	แสดงความดันในแคมเบอร์กับเวลาของการ Pump (วินาที)	81
ตารางที่ 7.2	แสดงความดันในแคมเบอร์กับเวลาของการ Pump (นาที)	82
ตารางที่ 7.3	แสดงความต้านทาน ( $\Omega$ ) ระหว่างจุดต่าง ๆ ที่สำคัญของแคมเบอร์กับตัวถัง	86

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1	แสดงช่องว่างอาโนดและคาโทด	14
รูปที่ 3.1	ขนาดของถัง	17
รูปที่ 3.2	แสดงความเค้นตามแนวเส้นรอบวงและตามแนวสว่าที่กระทำกับภาชนะทรงกระบอก	18
รูปที่ 3.3	แสดงลักษณะการเชื่อมต่อแบบต่าง ๆ	21
รูปที่ 3.4	แสดงค่าตัวประกอบของผิวสำหรับเหล็กกล้า	26
รูปที่ 3.5	แสดงลักษณะแรงดันที่กระทำต่อถัง	28
รูปที่ 3.6	แสดงลักษณะการเชื่อมต่อ	35
รูปที่ 4.1	แสดงการกำหนดตำแหน่งระหว่าง Finite Plane กับ Infinite Plane	43
รูปที่ 4.2	แสดงเส้นแรงไฟฟ้าและเส้นศักย์เท่าที่ขอบของ Finite Plane	44
รูปที่ 4.3	แสดงความสัมพันธ์ของ Stoerk	45
รูปที่ 4.4	แสดงการทำ Surface Profile ของ Rogowski Electrode	46
รูปที่ 4.5	แสดง Profile ของ Electrode ที่ออกแบบ	54
รูปที่ 5.1	แสดงลักษณะการติดตั้งชุดปรับระยะและทิศทางต่าง ๆ ของแรงที่กระทำต่อแท่ง ดิสก์รีน	62
รูปที่ 5.2	แสดงไดอะแกรมทิศทางของแรงต่าง ๆ (ในสภาวะสมดุล)	62
รูปที่ 6.1	แสดงระบบการต่อปั๊มสุญญากาศและท่อสำหรับใส่ก๊าซ	80
รูปที่ 7.1	แสดงความดันในแชมเบอร์กับเวลาของการปั๊ม (วินาที) ในช่วงความดันสูง	83
รูปที่ 7.2	แสดงความดันในแชมเบอร์กับเวลาของการปั๊ม (นาทีก) ในช่วงความดันต่ำ	84

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 กล่าวนำ

การพัฒนาและออกแบบไอโอไนเซชันแซมเบอร์ เป็นเครื่องมือที่พัฒนาและออกแบบขึ้นมาใหม่ โดยใช้รูปแบบและโครงสร้างเดิมที่ W. Hopwood ได้ทำไว้ ซึ่งไอโอไนเซชันแซมเบอร์เดิมนั้นได้สร้างขึ้นโดยใช้วัสดุและอุปกรณ์เฉพาะพิเศษที่ต้องนำมาใช้ในการสร้าง วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ไม่มีขายในท้องตลาด (ประเทศไทย) จึงเป็นเครื่องมือที่สร้างได้ยาก ดังนั้น ในการพัฒนาและออกแบบขึ้นมาใหม่ จะนำเอาหลักการของเครื่องนี้โดยเฉพาะ การพัฒนาและออกแบบไอโอไนเซชันแซมเบอร์ ได้พัฒนาและออกแบบให้มีการใช้งานตามแบบไอโอไนเซชันแซมเบอร์ของ W. Hopwood แต่มีจุดที่พัฒนาต่างออกไป คือ วัสดุที่ใช้ในการสร้าง เช่น ในส่วนประกอบขั้วถึงด้านไฟฟ้าแรงสูง ไอโอไนเซชันแซมเบอร์ของ W. Hopwood ใช้ Akulon แต่ไอโอไนเซชันแซมเบอร์สร้างใหม่ใช้ Nylon แทนส่วนประกอบกะโศกเดิมใช้แก้ว แต่ไอโอไนเซชันแซมเบอร์สร้างใหม่ใช้ Polyethylene, ตัวถังของไอโอไนเซชันแซมเบอร์ ได้พัฒนาและออกแบบช่องหน้าต่างใหม่ คือ สามารถเปิด-ปิด ได้ง่ายและสะดวก ในส่วนท่อสำหรับปั๊มสุญญากาศ ต้องออกแบบขึ้นใหม่ เพราะเดิมใช้กับ Oil-diffusion pump เราต้องออกแบบใหม่ให้ใช้กับ rotary pump และในส่วนรอยต่อต่าง ๆ เราจะต้องใช้ซีลประเภทต่าง ๆ เช่น ประเก็นแผ่น (Gasketing), O-ring, ประเก็นยาง (Rubber Seal), ประเก็นเหลว (Form Gasket) ซึ่งแต่ละส่วนจะมีการเลือกใช้ตามความเหมาะสม ชุดปรับตั้งระยะ Gap นั้นจะใช้เวอร์เนียร์ Depth Gauge (วัดละเอียด = 0.02 มิลลิเมตร) แทนไมโครมิเตอร์ ซึ่งถ้าสร้างไอโอไนเซชันแซมเบอร์ตามวัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมจะสร้างไม่สำเร็จ เพราะวัสดุและอุปกรณ์ต้องสั่งจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงและใช้เวลามาก ฉะนั้น จึงได้ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่ใช้กับของเดิมเทียบกับวัสดุที่ใช้กับของใหม่ ให้ได้คุณสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน ในการพัฒนาและออกแบบไอโอไนเซชันแซมเบอร์ขึ้นมาในแต่ละส่วน ที่ทำการออกแบบแล้วประกอบเข้าด้วยกัน อาจจะมีปัญหาที่ต้องแก้ไขจุดต่าง ๆ เป็นบางจุด ซึ่งผู้จัดทำก็ได้พยายามปรับปรุงและพัฒนาให้ดีขึ้น ในการออกแบบแต่ละส่วนเราต้องจินตนาการรูป 2 มิติให้เป็นรูป 3 มิติ ในส่วนที่จินตนาการไม่ออก ก็ต้องใช้ประสบการณ์ของผู้ชำนาญทางด้าน การออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกลเข้าช่วย เมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันแล้วมีปัญหา เราก็จะต้องมีการทดลองแก้ไขส่วนนั้น ๆ เป็นจุด ๆ ไป ฉะนั้นการพัฒนาเครื่องนี้ต่อไปจะทำให้ง่ายและสะดวก เพราะจุดปัญหาต่าง ๆ ได้อธิบายอย่างละเอียด เกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องนี้ไว้ทุกขั้นตอน [1]

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาทางกายภาพของ GAS discharge
- 1.2.2 เพื่อสร้างเป็นเครื่องต้นแบบไอโอไนเซชันแชมเบอร์
- 1.2.3 เพื่อนำวัสดุที่มีอยู่ในประเทศมาประยุกต์ใช้งาน

## 1.3 หลักการพัฒนาและออกแบบที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

เนื่องจากการพัฒนาและออกแบบไอโอไนเซชันแชมเบอร์นี้ไม่สามารถหาต้นแบบจากเมืองไทยได้ ฉะนั้นการพัฒนาและออกแบบนี้ได้จากรูปภาพ 2 มิติ โดยใช้สเกลมาตรฐานและจะต้องคำนวณขนาดวัสดุ, ความหนาของถึงที่แรงดันสามารถทนได้ ดังนั้น ก่อนจะพัฒนาและออกแบบเราต้องศึกษาลักษณะการใช้งานของไอโอไนเซชันแชมเบอร์เสียก่อนว่า จะมีการใช้งานอย่างไรและส่วนไหนที่เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญที่ต้องใช้ความละเอียดมาก และศึกษาถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาและออกแบบ เมื่อทำการศึกษา เรียบร้อยแล้ว เราใช้สเกลมาตรฐานที่มีอยู่เทียบอัตราส่วนออกมา แต่ละส่วนประกอบแล้วนำมาออกแบบเป็นรูปส่วนหน้าและรูปส่วนข้าง แต่ละส่วนที่นำมาออกแบบจะต้องสอดคล้องกับส่วนอื่น ๆ ไม่เช่นนั้นจะประกอบเข้ากันไม่ได้ ฉะนั้นในการออกแบบครั้งแรกเลขที่เดียวยังมีจุดต่าง ๆ ที่ใช้ไม่ได้ จึงต้องทำการออกแบบใหม่ให้ได้ตามจุดประสงค์ของส่วนนั้น ซึ่งหลักการพัฒนาและออกแบบต้องละเอียดมาก เพื่อให้ไอโอไนเซชันแชมเบอร์ที่พัฒนาและออกแบบขึ้นมาเป็นสูญญากาศและใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ [1]

#### 1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งรายละเอียด เนื้อหาส่วนใหญ่เกี่ยวกับ การพัฒนาและออกแบบไอโอไอโอในเซชันแฮมเบอร์ ซึ่งจะเขียนเทคนิค ในการออกแบบและสร้างตลอดจนปัญหาที่ต้องระวัง รายละเอียดของวิทยานิพนธ์มีดังนี้

- เนื้อหาบทที่ 2 จะเป็นทฤษฎีการชนของอะตอมขั้นมูลฐานและการไอโอไอโอในเซชัน และการเบรคดาว์ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในก๊าซ
- เนื้อหาบทที่ 3 จะเป็นการพัฒนาและออกแบบของตัวถังและ หน้าต่างของไอโอไอโอในเซชันแฮมเบอร์
- เนื้อหาบทที่ 4 จะเป็นการพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบบัพซิงด้านไฟฟ้าแรงสูง
- เนื้อหาบทที่ 5 จะเป็นการพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบคาโธด
- เนื้อหาบทที่ 6 จะเป็นการพัฒนาและออกแบบท่อสำหรับมีมอากาศและท่อสำหรับใส่ก๊าซ
- เนื้อหาบทที่ 7 จะเป็นการทดสอบไอโอไอโอในเซชันแฮมเบอร์
- เนื้อหาบทที่ 8 จะเป็นบทสรุป

## บทที่ 2

### ทฤษฎีการชนของอะตอมที่อุณหภูมิสูงและการไอออไนเซชันและการเบรคควาน์ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

#### 2.1 การชนของอะตอมที่อุณหภูมิสูง [6]

##### 2.1.1 ชนิดของการชนอะตอม

การชนส่วนมากเป็นการชนระหว่างอิเล็กตรอน และอะตอมการชนมี 2 แบบคือการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collisions) และแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic collisions) การชนแบบยืดหยุ่นไม่ทำให้เกิดอนุภาคใหม่ แต่การชนแบบไม่ยืดหยุ่นทำให้เกิดอนุภาคใหม่ขึ้น เพราะ เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์ขึ้น การชนแบบไม่ยืดหยุ่นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานศักย์นี้ ทำให้เกิดอะตอมที่ถูกกระตุ้น (excited atom) อะตอมที่ถูกไอออไนส์ (Ionized atom) และอะตอมที่ถูกดีแทช (detached atom) ตัวอย่างของสมการแสดงปฏิกิริยา (reaction) ของทั้ง 3 แบบ มี ดังนี้

##### 1. การกระตุ้น



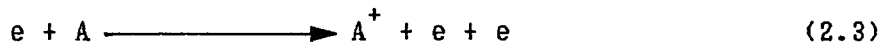
เมื่อ  $e$  เป็นอิเล็กตรอน ;  $A$  เป็น อะตอมตัวหนึ่ง ; และ  $A^*$  เป็น excited atom

จากสมการที่ (2.1) อิเล็กตรอนชนกับอะตอมตัวหนึ่ง จะทำให้เกิดอะตอมที่ถูกกระตุ้นซึ่ง  $A^*$  เป็นอะตอม  $A$  เคลื่อนที่จากวงโคจรภายในออกไปอยู่ในวงโคจรภายนอก อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ไปอยู่ในวงโคจรภายนอกนี้จะคายพลังงานที่ได้รับจากการชน และกลับไปอยู่ในวงโคจรเดิมภายในประมาณ  $10^{-7}$  วินาที ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น



จากสมการ (2.2)  $h\nu$  เป็น photon หรือ quantum ของพลังงานของโฟตรอน

## 2. การไอออไนส์



จากสมการ (2.3) การชนทำให้เกิด  $A^+$  หรือ ไอออนบวก และอิเล็กตรอน ซึ่งอนุภาคทั้ง 2 ดังกล่าว เราเรียกว่า ion pair ส่วนอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าไปชน ก็ยังคงอยู่เหมือนเดิม (จะเห็นได้จากทางขวามือของสมการ (2.3))

## 3. การดีแทช (detachment)

การดีแทช มี อยู่ 3 แบบ คือ

ก) Photoelectric Detachment เป็นการดีแทชที่เกิดจาก photon พลังงานของ photon ทำให้อิเล็กตรอนในไอออนลบกระเด็นออกมาเป็นอิสระ มีสมการ ดังนี้



ข) การ " ไอออไนส์ " ของไอออนลบ โดยอิเล็กตรอนหรืออนุภาคที่หนัก มีสมการ ดังนี้



ในสมการ (2.6)  $y$  เป็นอนุภาคที่หนัก

ค) Associative Detachment เป็นกระบวนการที่กลับกับ Dissociative attachment มีสมการ ดังนี้



จากสมการ (2.7) จะเห็นว่า อะตอม  $A$  จะรวมกับไอออนลบ  $B^-$  เกิดเป็นโมเลกุลที่เป็นกลาง  $AB$  และ  $e$  จะถูกปลดปล่อยจาก  $B^-$  ค่านิยามของการชนกัน การชนกันจะเกิดขึ้น ถ้าระยะห่างระหว่างอนุภาค 2 อนุภาค ตอนเริ่มแรกจะมาก และต่อมาจะลดลง และมันสุดท้ายระยะห่างจะเพิ่มขึ้น พร้อมกับมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ของอนุภาคใดอนุภาคหนึ่ง

พื้นที่หน้าตัดของการชนกัน

$$NQ = 1/\lambda \quad (2.8)$$

จากสมการ (8)  $N$  เป็นจำนวนความหนาแน่น (number density) ของอนุภาคของก๊าซ  $Q$  เป็นพื้นที่หน้าตัดของการชนกัน และ  $\lambda$  เป็นระยะทางอิสระเฉลี่ย (mean free path)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$NQ = \eta_c \quad (2.9)$$

ที่ความดัน 1 torr และ  $0^\circ\text{C}$  จะได้สมการ (2.9) ซึ่ง  $N$  เป็นจำนวนความหนาแน่น  $Q$  เป็นพื้นที่หน้าตัดของการชนกัน และ  $\eta_c$  เป็นประสิทธิภาพของการชนกัน

ประสิทธิภาพของการชนกัน หมายถึง จำนวนของการกระตุ้น หรือการไอออไนส์ หรือการอะแท็ชต์ต่ออิเล็กตรอน ต่อ ซม. ของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ในทิศทางของสนามไฟฟ้า

### 2.1.2 การแจกแจงด้านพลังงานของอิเล็กตรอน

เนื่องจากการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนและอะตอมหรือโมเลกุลภายใต้สนามไฟฟ้าอิเล็กตรอนจะมีความเร็วที่ต่างกัน ความเร็วจาก 0 ถึง  $\infty$  การศึกษาเกี่ยวกับความเร็วของอิเล็กตรอนเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะในปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น อิเล็กตรอนเป็นต้นเหตุของการกระตุ้น การไอออไนส์ และการดีแท็ช รูปแบบที่มาตรฐานของการแจกแจงของโมเลกุลมี 2 แบบ คือการแจกแจงแบบ Maxwellian และแบบ druyvesteyn จากการคำนวณ ในก๊าซออกซิเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์, ฮีเลียม, นีออน, ไฮโดรเจน, อาร์กอน [6] ได้ผลออกมาว่า ในก๊าซดังที่กล่าวมานั้น จะพบว่ามีการแจกแจงทางพลังงานของอิเล็กตรอนเป็นแบบ Maxwellian รูปแบบของการแจกแจงแบบ Maxwellian คือ

$$\rho(E) dE = KE^{1/2} e^{-1.5 E/\bar{E}} dE \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.10)  $K$  เป็นค่าคงที่,  $E$  เป็นพลังงานของอิเล็กตรอน,  $\bar{E}$  เป็นพลังงานเฉลี่ยของอิเล็กตรอน (rms),  $\rho(E)$  เป็น  $1/N dN/dE$  รูปแบบของการแจกแจงแบบ Druyvesteyn คือ

$$\rho(E) dE = CE^{1/2} e^{-0.5E(\bar{E}/E)^2} dE \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.11)  $C$  เป็นค่าที่คงที่,  $E$  เป็นพลังงานเฉลี่ยของอิเล็กตรอน จากการพล็อตสมการที่ (2.10) และ (2.11) สำหรับค่าพลังงานเฉลี่ยที่เท่ากัน การแจกแจงแบบ Maxwell มีเส้นปลาย curve ที่ชันน้อยกว่าการแจกแจงแบบ Druyvesteyn

## 2.2 การไอออไนส์ชัน และการเบรคดาวน์ ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

### 2.2.1 การพิสูจน์สมการของกระแสที่อาโนด

การไอออไนส์ ได้อธิบายจากหัวข้อที่แล้ว จะเห็นได้ว่า การไอออไนส์ เป็นต้นเหตุของการ



จากสมการ (2.12) จะเห็นได้ว่า เมื่อ  $r(e^{\alpha d} - 1) = 1$  กระแสจะเข้าสู่  $\infty$  นั้นคือเกิดการเบรคดาวน์ขึ้น

$$r(e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.13) เป็นมาตรฐาน (criterion) ของการเบรคดาวน์ จากสมการ (2.12) เป็นการอธิบายการเบรคดาวน์ เมื่อมีแต่กระบวนการ  $\alpha$  และ  $r$  เท่านั้น ถ้ามีกระบวนการอะแท็ชเกิดขึ้น สมการที่ (2.12) จะกลายเป็น [11]

$$I/I_0 = (\alpha e^{(\alpha-\eta)d} - \eta) / (\alpha - \eta) \quad (2.14)$$

$$\text{เมื่อ } \eta = \text{สัมประสิทธิ์ของการอะแท็ช}$$

### 2.2.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์ของการไอโอไนส์และสัมประสิทธิ์ของอะแท็ช

จากสมการ (2.14) ถ้าเราพล็อตกราฟของ  $\ln I$  vs  $d$  เราจะพบว่า เส้นกราฟจะเป็นเส้นโค้งลง ซึ่งจะแตกต่างจากกรณีที่ไม่มีกระบวนการ (สมการที่ 2.12) การ curve fit เพื่อหาค่า  $\alpha$  และ  $\eta$  จากเส้นกราฟของ  $\ln I$  vs  $d$ . สำหรับ  $E/p$  ค่าหนึ่งกระทำได้ยากมากในสมัยก่อน (โดย Moruzzi[9]) แต่ Sukhum, Prisuwana, Korcharoenrat ได้ค้นคว้าหาวิธีที่จะทำให้การคำนวณง่ายขึ้น โดยหา  $\alpha$  และ  $\eta$  โดยตรง จากกระแสที่ระยะ  $gap$  โดยให้  $d_2$  มีระยะ  $gap$  เท่ากับ  $2d_1$  การหาค่า  $\alpha, \eta$  โดยวิธีนี้สามารถลดเวลาในการคำนวณไปประมาณ 6 เท่า ซึ่งการหาค่า  $\alpha, \eta$  โดยการคำนวณวิธีนี้ จะมีขั้นตอนการหาดังนี้

การหาค่า  $\alpha, \eta$  มีขั้นตอนการหาดังนี้

สำหรับจุด  $(I_1, d_1)$  บนเส้นกราฟที่มาจากทฤษฎีจะได้

$$I/I_0 = [\alpha \exp\{(\alpha - \eta)d_1\} - \eta] / (\alpha - \eta) \quad (2.15)$$

เราจะเห็นว่าเราไม่สามารถแยก  $\alpha$  และ  $\eta$  ออกจากกันได้ แต่เราอาจหาสมการพาราเมตริก (Parametric equation) ในเทอมของ  $a$  (คงที่สำหรับ  $E/P$  ค่าหนึ่ง) ซึ่งเราให้คำนิยามว่า  $a = \alpha/\eta$

จากสมการที่ (2.15) จะได้

$$I_1 / I_0 = [a\eta \exp\{(a\eta - \eta)d_1\} - \eta] / (a\eta - \eta) \quad (2.16)$$

$$[a \exp\{\eta(a-1)d_1\} - 1] / (a-1)$$

$$a \exp\{\eta(a-1)d_1\} = (I_1/I_0)(a-1)+1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \exp \{ \eta(a-1)d_1 \} &= \{ (I_1/I_0)(a-1) + 1 \} / a \\ \eta(a-1)d_1 &= \ln \{ (I_1/I_0)(a-1) + 1 \} / a \\ \eta(a-1)d_1 &= \ln \{ (I_1/I_0)(a-1) + 1 \} / a \\ \eta &= 1/(a-1)d_1 \ln \{ (a-1)(I_1/I_0) + 1 \} / a \quad (2.17) \end{aligned}$$

สำหรับจุดที่ 2 ( $I_2, d_2$ ) จะได้

$$\eta = 1/(a-1)d_2 \ln \{ (a-1)(I_2/I_0) + 1 \} / a \quad (2.18)$$

$$1/(a-1)d_1 \ln \{ (a-1)(I_1/I_0) + 1 \} / a = 1/(a-1)d_2 \ln \{ (a-1)(I_2/I_0) + 1 \} / a \quad (2.19)$$

กำหนดให้  $d_1/d_2 = d$  ;  $I_1/I_0 = b$  ;  $I_2/I_0 = c$

$$\begin{aligned} \ln \{ [(a-1)b+1] / a \}^{1/(a-1)d_1} &= \ln \{ [(a-1)c+1] / a \}^{1/(a-1)d_2} \\ \{ [(a-1)b+1] / a \}^{1/(a-1)d_1} &= \{ [(a-1)c+1] / a \}^{1/(a-1)d_2} \\ \{ (a-1)b+1 \} / a &= \{ [(a-1)c+1] / a \}^d \\ \{ (a-1)b+1 \} / a - \{ [(a-1)c+1] / a \}^d &= 0 = F(a) = y \quad (2.20) \end{aligned}$$

เราให้  $d_2 = 2d_1$  ;  $d_1/d_2 = 0.5$  จากสมการ (2.20) จะได้

$$\begin{aligned} \{ (a-1)b+1 \} / a &= \{ [(a-1)c+1] / a \}^{0.5} \\ \{ (a-1)c+1 \} / a &= \{ [(a-1)b+1] / a \}^2 \\ (a-1)^2 b^2 + 2(a-1)b+1 &= [(a-1)c+1]a \\ (a-1)^2 b^2 + 2(a-1)b+1 &= a^2 c - ac + a \\ (a^2 - 2a + 1)b^2 + 2(a-1)b+1 &= a^2 c - ac + a \\ a^2(b^2 - c) + a(-2b^2 + 2b + c - 1) &= 0 \quad (2.21) \\ a'x^2 + b'x + c' &= 0 \end{aligned}$$

$$\alpha + \beta = (-b'/a') \quad ; \quad \alpha\beta = (c'/a')$$

ให้  $\alpha = 1$  ;  $\beta = (-b'/a') - 1$  ;  $\beta = (c'/a')$

$$(-b'/a') - 1 = c'/a'$$

$$(-b'-a')/a' = c'/a'$$

$$c' = -b'-a'$$

$$\begin{aligned} x &= \{-b' \pm \sqrt{b'^2 - 4a'c'}\} / 2a' \\ &= \{-b' \pm \sqrt{b'^2 + 4a'(b'+a')}\} / 2a' \\ &= \{-b' \pm \sqrt{b^2 + 4ab + 4a^2}\} / 2a' \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= \{-b \pm \sqrt{(b+2a)^2}\} / 2a \\
 x &= \{-b \pm \sqrt{(b+2a)}\} / 2a \\
 \text{ค่าแรกของ } x &= \{-b+b+2a\} / 2a & (2.22) \\
 \text{ค่าที่สองของ } x &= \{-b-(b+2a)\} / 2a \\
 &= \{-2b-2a\} / 2a \\
 x &= -(a+b) / a & (2.23)
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.21)  $x$  สัมพันธ์กับ  $a$  จะได้

$$\begin{aligned}
 a &= b^2 - c \\
 b &= (-b^2 + 2b + c - 1)
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.23)  $a$  =  $-\{(b^2 - c) + (-2b^2 + 2b + c - 1)\} / (b^2 - c)$

$$\begin{aligned}
 &= -(-b^2 + 2b - 1) / (b^2 - c) \\
 &= (b^2 - 2b + 1) / (b^2 - c)
 \end{aligned}$$

จะได้ค่า  $a$  =  $\{(I_1 / I_0) - 1\}^2 / \{(I_1 / I_0)^2 - (I_2 / I_0)\}$

$$\begin{aligned}
 &= \{(I_1 - I_0)^2 / I_0^2\} / \{(I_1^2 - I_0 I_2) / I_0^2\} \\
 a &= (I_1 - I_0)^2 / (I_1^2 - I_0 I_2) & (2.24)
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.24) เมื่อรู้ค่า  $a$  แล้ว เราสามารถหาค่า  $\alpha$  ได้โดยแทนค่า  $a$  ลง

ในสมการ (2.17) หรือ (2.18) และสมการ  $\alpha$  ได้จากความสัมพันธ์

$$a = \alpha / \eta \quad ; \quad \alpha = a \eta$$

### 2.2.3 การหาสัมประสิทธิ์ของอาร์คแท็งก์เมนต์

การเบรคคาวน์ เมื่อมีกระบวนการไอโอไนเซชัน อะแท็งก์เมนต์ และ ดีแท็งก์เมนต์

จากสมการ (2.14) เป็นการหา  $\alpha$  และ  $\eta$  แต่ถ้ามีกระบวนการดีแท็งก์เมนต์เกิดขึ้นด้วย

เราจะต้องใช้สมการ [11]

$$I / I_0 = R = 1 / (A - B) \{ (A + \eta + d) e^{A d} - (B + \eta + d) e^{B d} \} \quad (2.25)$$

$$C_{1,2} = \{(A, B) + \eta + d\} / (A - B) \quad (2.26)$$

$$A = 1/2 [ (\alpha - \eta - d) + \sqrt{(\alpha - \eta - d)^2 + 4\alpha d} ] \quad (2.27)$$

$$B = 1/2 [ (\alpha - \eta - d) - \sqrt{(\alpha - \eta - d)^2 + 4\alpha d} ] \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ curve fit สมการที่ (2.25) ทำได้โดยการพิจารณาเส้นกราฟที่  $d$  มาก ๆ ก่อน เมื่อ  $d$  มาก ๆ เส้นกราฟของ  $\ln I$  vs  $d$  จะเป็นเส้นตรง  $B$  เป็นลบ ดังนั้น Slope ของเส้นกราฟที่  $d$  มาก ๆ จะทำให้ค่า  $A$  และจุดตัดกับแกน  $\ln I$  จะให้ค่า  $\ln I'$  และ  $I'$  ดังนั้น ค่า  $C_1 = I'/I_0$

จากสมการ (2.25) สามารถเขียนได้เป็น

$$I/I_0 = R = C_1 e^{A d} - C_2 e^{B d} \quad (2.29)$$

$$\text{หรือ } C_1 e^{A d} - R = C_2 e^{B d} \quad (2.30)$$

จากความสัมพันธ์นี้ เราจะเห็นว่า slope ของเส้นกราฟ  $\ln (C_1 e^{A d} - R)$  vs  $d$  จะให้ค่า  $B$  ถ้ารู้ค่า  $A, B$  และ  $C$  ส่วนค่าของ  $(\eta + \phi)$  เราสามารถหาจากสมการ (2.26) จากสมการ (2.27), (2.28)

$$\text{จะได้ } A+B = \alpha - (\eta + \phi)$$

ดังนั้น จึงสามารถหา  $\alpha$  ได้

จากสมการ (2.27), (2.28) จะได้

$$A-B = \sqrt{(\alpha - \eta - \phi)^2 + 4\alpha\phi}$$

ดังนั้น เราจึงสามารถหาค่า  $\phi$  ได้

#### 2.2.4 ชนิดของการเกิดเบรคดาวน

การเบรคดาวนมี 2 ชนิด คือ การเบรคดาวน โดยทฤษฎีของ Townsend และการเบรคดาวนแบบสตีมเมอร์ (Streamer)

##### การเบรคดาวนแบบ Townsend

การเบรคดาวนจะเกิดจากการไอโอไนส์ โดยอิเล็กตรอนในก๊าซ และการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่คาโธด โดยการชนของไอออนบวก ไฟตอน หรือเมเตสเตเบิล จากการวัด formative time lag พบว่าที่ overvoltage สูง เวลาที่ใช้ในการเบรคดาวนน้อยมาก ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎีของ Townsend เพราะ Townsend ตั้งสมมติฐานว่า เบรคดาวนเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวก มาชนคาโธด แต่เวลา formative time lag ที่วัดได้สำหรับ Overvoltage สูง ๆ มีค่าน้อยมาก การเคลื่อนที่ของไอออนบวกจากอาโนดมาชนกับคาโธดกินเวลาอย่างมาก ดังนั้น Meek, Loeb และ Meek จึงตั้งทฤษฎีของการเบรคดาวนขึ้นใหม่เรียกว่า Streamer Theory

## Streamer Theory ของการเบรคดาวน์

ให้เราพิจารณา avalanche ที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอน 1 ตัวที่ออกจากคาโธด เมื่ออิเล็กตรอน 1 ตัว เคลื่อนที่จากคาโธดไปยังแอโนด จะเกิดอิเล็กตรอนตัวใหม่ และไอออนบวกเป็นจำนวนมากที่แอโนด เนื่องจากอิเล็กตรอนมีความคล่องตัวมากกว่าความคล่องตัวของไอออนบวกมาก อิเล็กตรอนจึงเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าไอออนบวก จึงทำให้ไอออนบวกจะเคลื่อนที่อยู่หลังอิเล็กตรอน เพื่อเคลื่อนที่เข้าไปที่แอโนด ไอออนบวกที่เคลื่อนที่ช้ากว่าอิเล็กตรอนจะมีความหนาแน่นมากที่บริเวณใกล้กับแอโนด และทำให้เกิดประจุค้างขึ้น ซึ่งถ้าเราพิจารณาให้หัวของ avalanche เป็นรูปทรงกลม สนามไฟฟ้าที่หัวของ avalanche จะสูงมาก และเมื่อสูงเท่ากับสนามที่ apply ยังหัวแอโนด avalanche ทุกอิเล็กตรอนที่เกิดจาก photoionization รอบ ๆ หัวของ main avalanche จะมีทิศทางวิ่งเข้าไปในหัวของ avalanche แทนที่จะวิ่งเข้าไปในแอโนด avalanche ทุกอิเล็กตรอนนี้จะทำให้เกิดประจุบวกเพิ่มขึ้นและเสริมกับประจุบวกที่มีอยู่เดิมที่หัวของ main avalanche จึงทำให้เกิด streamer ขึ้นลักษณะของ Streamer เป็นสายยาวที่พุ่งจากหัวของ main avalanche เข้าหาคาโธด เนื่องจากประจุบวก (ไอออนบวก) มีจำนวนมากจึงทำให้เกิดการนำไฟฟ้าและเบรคดาวน์ขึ้น

### 2.2.5 การคำนวณหาค่าของ $\alpha/p$ , $\eta/p$ และ $\delta/p$

การคำนวณหาค่าของ  $\alpha/p$ ,  $\eta/p$ , และ  $\delta/p$  เริ่มแรก จากการหา โดย Emeleus และคณะ [12] ดังนั้น เพื่อจะหาว่าการแจกแจงของพลังงานของอิเล็กตรอน เป็นแบบ Maxwell หรือ Druyvesteyn หรือไม่ Emeleus และคณะได้คำนวณหาค่าของ  $\alpha/p$ ,  $\eta/p$  และ  $\delta/p$  โดยการใช้สูตร

$$\alpha/p = w^{-1} \int_0^{\infty} \eta_e(E) \rho(E) dE \quad (2.30)$$

จากสมการที่ (2.30)  $p$  เป็นความดัน,  $w$  เป็นความเร็วของการล่องของอิเล็กตรอน,  $u$  เป็นความเร็วของอิเล็กตรอน  $\eta_e(E)$  เป็นประสิทธิภาพของการไอโอไนส์และ  $\rho(E)$  เป็นการแจกแจงทางพลังงานของอิเล็กตรอน ซึ่ง  $\rho(E)$  หาได้จากหนังสือของ Von Engel  $w$  และ  $E$  หาได้จากตารางในหนังสือ Healey and Reed ซึ่งค่า  $E$  อยู่ใน  $\rho(E)$  ดังสมการ

$$\begin{aligned} \rho(E) dE &= KE^{1/2} e^{-1.5(E/E_0)} && \text{(Maxwellian)} \\ \rho(E) dE &= CE^{1/2} e^{-1.5(E/E_0)^2} && \text{(Druyvesteyn)} \end{aligned}$$

$$\text{ค่า } n \text{ หาได้จากสมการ } (1/2)mu^2 = E$$

$$\eta_1(E) = \text{ประสิทธิภาพของการไอออไนส์}$$

$$= NQ$$

$$Q = \text{พื้นที่หน้าตัดของการไอออไนส์}$$

$$N = \text{จำนวนความหนาแน่นที่ 1 torr และ 0 C}$$

$$m = \text{มวลของอิเล็กตรอน}$$

$$E_1 = \text{ionization energy หาได้จากตาราง}$$

ฉะนั้น เมื่อรู้ตัว unknown ต่าง ๆ แล้ว เราก็สามารถหาค่า  $\alpha/p$  ได้ โดยแทนค่าในสมการที่ (2.30) แต่การคำนวณนี้ มีความผิดพลาดมากกว่า การหาค่า  $\alpha/p$  จากการทดลอง

ในทำนองเดียวกัน เราสามารถหาค่า  $\eta/p$  จาก

$$\eta/p = W^{-1} \int_{E_u}^{\infty} \eta_1(E) \rho(E) dE \quad (2.31)$$

เมื่อ

$$p = \text{ความดัน}$$

$$E_u = \text{attachment energy}$$

$$u = \text{ความเร็วของอิเล็กตรอน}$$

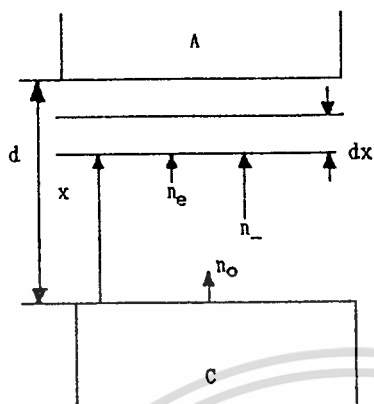
$$\eta_1(E) = \text{ประสิทธิภาพของการอะแท็ช}$$

$$\rho(E) = \text{การแจกแจงทางพลังงานของอิเล็กตรอน}$$

การหาค่า  $\sigma/p$  ก็ทำได้ โดยวิธีเดียวกัน แต่ค่า unknown ต่าง ๆ จะเป็นค่าสำหรับ

ไอออนลบ

2.2.6 การพิสูจน์สมการดิแท็ชของ Schlumbohm



รูปที่ 2.1 แสดงช่องว่าง ไอออน และคาโอด

การพิสูจน์ เริ่มจากการพิจารณาช่อง \$dx\$ ที่อยู่ห่างจากคะโอดเป็นระยะทาง \$x\$ ในรูปที่ 2.1 A และ C เป็นไอออนและคาโอด ที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ \$n\_e\$ และ \$n\_-\$ เป็นจำนวนของอิเล็กตรอน และ ไอออนลบที่เคลื่อนที่เข้าไปใน \$dx\$, \$n\_o\$ เป็นกระแสไอออนอิเล็กตริก การเพิ่มขึ้นของจำนวนอิเล็กตรอน \$n\_-\$ ใน \$dx\$ เกิดจากการไอออไนส์ และ อะแท็ช และการดิแท็ชของไอออนลบ ดังนี้

$$dn_- = n_o(\alpha - \eta)dx + n_e dx \tag{2.32}$$

การเพิ่มขึ้นของจำนวนไอออนลบ \$n\_-\$ ใน \$dx\$ เกิดจากการอะแท็ชของอิเล็กตรอน และการดิแท็ชของไอออนลบ ดังนี้

$$dn_- = n_e \eta dx - n_- dx \tag{2.33}$$

จาก (2.32) จะได้  $dn_-/dx = n_o(\alpha - \eta) + n_e$  (2.34)

จาก (2.33) จะได้  $dn_-/dx = n_e \eta - n_-$  (2.35)

สมการ (2.34) และ (2.35) เป็นสมการ differential ที่มีตัว unknown 2 ตัว คือ \$n\_e\$ และ \$n\_-\$ หาได้โดยใช้ Laplace transform และ partial fraction เราสามารถหา \$n\_e\$ และ \$n\_-\$ ที่ระยะทาง \$x\$ ได้ ฉะนั้นถ้าเราแทนค่า \$x\$ ด้วย \$d\$ เราสามารถหากระแสที่ไอออนได้เป็น

$$I/I_o = c_1 e^{A d} - c_2 e^{B d} \tag{2.36}$$

เมื่อ  $c_{1,2} = (A, B + \eta + \delta) / (A - B)$  (2.37)

จะได้ A  $= 1/2 \{ (\alpha - \eta - \delta) + \sqrt{(\alpha - \eta - \delta)^2 + 4\alpha\delta} \}$  (2.38)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จะได้ } B = 1/2 (\alpha - \eta - \delta) + \sqrt{(\alpha - \eta - \delta)^2 + 4\alpha\delta} \quad (2.39)$$

ค่าพีสูจน์ ตรงกับ สมการดีแท็ชของ : Schlumbohm [9]

### 2.2.7 ผลที่ได้จากการหาค่า Breakdown ; $\alpha, \eta$ และ $\delta$ ในก๊าซต่าง ๆ

การหาค่าของ breakdown,  $\alpha, \eta$  และ  $\delta$  ในก๊าซต่าง ๆ เพื่อที่จะศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซแต่ละชนิด และศึกษาสภาพความเป็นฉนวนของก๊าซต่าง ๆ ก๊าซที่ทนต่อจุด breakdown ได้สูงๆ แสดงว่าเป็นฉนวนที่ดี ก๊าซที่มีค่า  $\alpha$  มาก จะนำไฟฟ้าได้ดี, ก๊าซที่มีค่า  $\eta$  มากจะเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี เช่น  $\text{SF}_6$  ;  $\text{CCL}_2\text{F}_2$  ซึ่ง dielectric constant ของ  $\text{SF}_6$  จะเป็น 2.8 เท่าของ  $\text{N}_2$  ส่วนก๊าซที่มีค่า  $\delta$  มากจะนำไฟฟ้าได้ดี เพราะในทางปฏิบัติ  $\delta$  มีผลเช่นเดียวกับ  $\alpha$  ทั้งนี้ เพราะในการดีแท็ชอิเล็กตรอน จะกระเด็นออกมาจากไอออนลบ โดยการชนทำให้จำนวนของไอออนลบ (ซึ่งมีมากใน electronegative gas) น้อยลง และจำนวนของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น จึงนำไฟฟ้าได้ดี

## บทที่ 3

### การพัฒนาและออกแบบตัวถังและหน้าต่างของไอโอไนเซชันแชมเบอร์

(Development and design of Body and Window of Ionization Chamber)

โครงสร้างของตัวถังและหน้าต่างของไอโอไนเซชันแชมเบอร์นี้ จะมีการออกแบบและพัฒนา โดยอาศัยหลักของความต้องการใช้ประโยชน์ของตัวเครื่องเป็นสิ่งสำคัญ โดยสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณา เพื่อการตัดสินใจในการออกแบบจะประกอบไปด้วย

- ชิ้นส่วนที่ออกแบบต้องไม่ซับซ้อนจนเกินไป
- วัสดุที่นำมาใช้ทำชิ้นส่วนต้องหาซื้อได้ง่ายและได้มาตรฐาน
- การสร้างและการประกอบต้องทำได้ง่าย
- สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้
- มีขนาดและรูปร่างที่สวยงามเหมาะสม
- มีต้นทุนในการสร้างเครื่องที่เหมาะสม

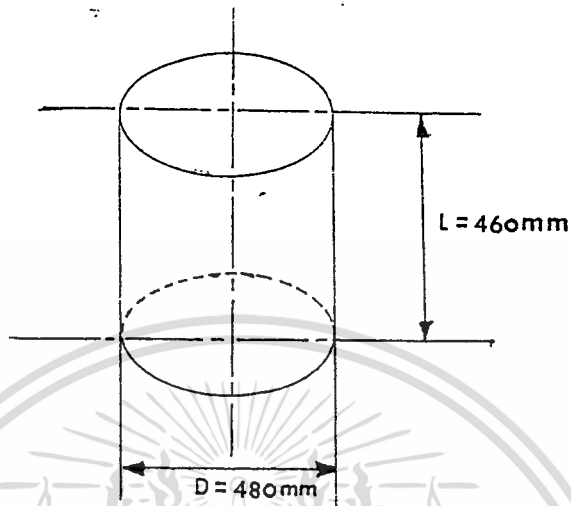
ส่วนโครงสร้างของตัวถังและหน้าต่างของไอโอไนเซชันแชมเบอร์นี้ จะทำจากเหล็กเหนียวชนิด (SS-41) แผ่นหนา 9 มม. นำมาม้วนหรือขึ้นรูปตามแบบที่ต้องการ โดยส่วนตัวถังจะนำเอาเหล็กแผ่นม้วนให้กลมเป็นรูปทรงกระบอก และต่อขอบหรือมุมด้วยการเชื่อมประสาน (โดยไฟฟ้า) ส่วนหน้าต่างแปลนฝาประกอบ, ช่องหน้าต่าง และหน้าต่างแปลนสำหรับต่อกับส่วนอื่น ๆ จะใช้การต่อประกอบด้วยปะเก็นแผ่นและปะเก็นเหลวหรือระบบซีลยาง โดยใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึดติด เพื่อป้องกันการรั่วไหลของก๊าซทั้งภายในและภายนอก ซึ่งส่วนภายในตัวถังจะมีฉนวนเคลือบด้วยทองแดงหนา 0.04 มม.

#### 3.1 การคำนวณหาขนาดความจุของถัง

สำหรับเครื่องไอโอไนเซชันแชมเบอร์นี้ต้องการให้มีปริมาตรความจุ 83 ลิตร และผิวภายในจะถูกฉาบด้วยทองแดงหนา 0.04 มม. ในการคำนวณส่วนที่จะใช้เส้นผ่าศูนย์กลางถึงเท่ากับ 480 มม. ยาวเท่ากับ 460 มม. โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางภายในมาใช้ในการคำนวณซึ่งขนาดที่กำหนดและออกแบบขึ้นมาจะเป็นขนาดที่กำลังพอเหมาะ กล่าวคือมีพื้นที่ในการทำงานพอเหมาะและปริมาตรความจุไม่มากและน้อยเกินไป (ดังรูปที่ 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สิ่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขนาดของถัง

วิธีทำ

จากสูตรการหาปริมาตรของทรงกระบอก (V.)

$$V = (\pi/4)D^2 * L$$

โดยที่

V = ปริมาตรความจุ (mm.)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของถัง (mm.)

L = ความยาวของถัง (mm.)

แทนค่า

$$V = (\pi/4)(480)^2(460) \quad (\text{mm.}^2) (\text{mm.})$$

$$= 83,223,936 \quad (\text{mm.})^3$$

จากมาตรฐาน 1 ลิตร เท่ากับ 1,000 cc. หรือ 1,000,000 (mm.)<sup>3</sup>

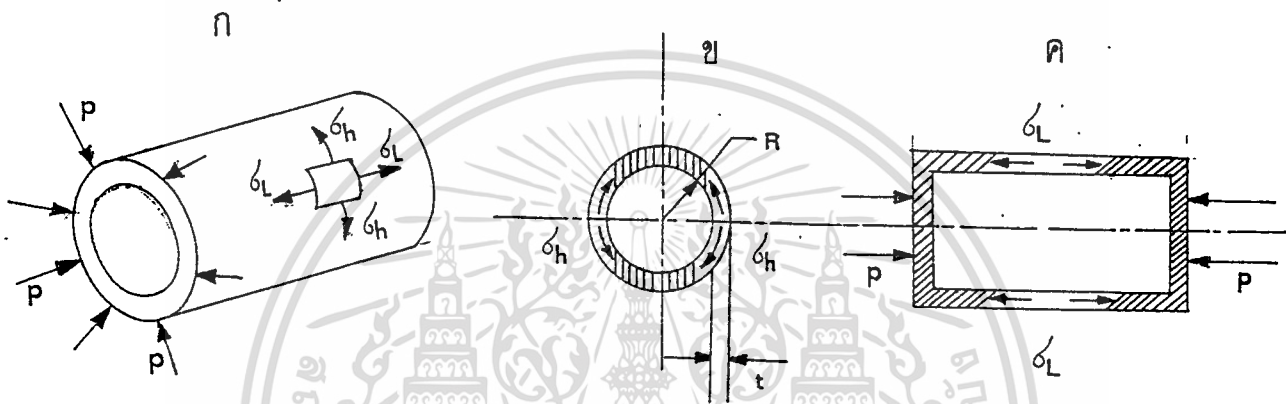
$$V = 83.239 \quad \text{ลิตร}$$

ปริมาตรความจุ (V.) 83 ลิตร

### 3.2. การคำนวณหาแรงกดดันที่กระทำตัวถึงและขนาดความหนาของถัง

ในการพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นในรูปทรงกระบอกนั้นจะมีความเค้นเกิดขึ้น 2 แนวด้วยกัน

คือ



รูปที่ 3.2 แสดงความเค้นตามแนวเส้นรอบวงและตามแนวยาวที่กระทำกับภาชนะทรงกระบอก

3.2.1. ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (Hoop or circumferential stress)

3.2.2. ความเค้นตามแนวยาว (Longitudinal Stress)

3.2.1. ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง ภาชนะรูปทรงกระบอก เมื่อได้รับความดันความดันนี้จะทำให้เกิดความเค้นในเนื้อวัสดุที่ใช้ทำภาชนะนั้น และเมื่อความเค้นที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากที่สุดจนวัสดุนั้นไม่สามารถรับได้ จะทำให้ภาชนะนั้นเกิดการเสียหาย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อทรัพย์สินและต่อสิ่งมีชีวิตได้ ฉะนั้นในการออกแบบ การใช้วัสดุทำภาชนะซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นมาก ในการคำนวณขนาดต่าง ๆ ของแรงและความหนาของภาชนะนี้สามารถหาได้โดยพิจารณาการสมดุลของครึ่งทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้

- t คือความหนาของผนัง  
 R คือรัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกกลาง  
 $\phi_n$  คือความเค้นตามแนวเส้นรอบวง  
 P คือความดันที่เกิดขึ้นที่ผิวภาชนะทรงกระบอก  
 L คือความยาวของทรงกระบอกกลาง

ดังนั้น แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดัน = ความดัน \* พื้นที่รับความดัน

$$F = P * 2Rt \quad (3.1)$$

และแรงต้านทานที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นตามแนวเส้นรอบวง ( $\phi_n$ )

$$F = 2 \phi_n * Lt \quad (3.2)$$

ถ้าภาชนะยังอยู่ในรูปเดิมได้แรงที่เกิดขึ้นจะต้องเท่ากัน

คือ สมการ (1) = (2)

$$P * 2Rt = 2 \phi_n * Lt$$

$$\phi_n = (2PRL) / 2Lt$$

$$= (PR) / t$$

$$\phi_n = (PR) / t \quad \text{หรือ} \quad \phi_n = (PD) / 2t \quad (3.3)$$

3.2.2. ความเค้นตามแนวยาว ในการหาความเค้นตามแนวยาว เราจะพิจารณาภาชนะ

ทรงกระบอกกลาง ดังรูป 3.2 (ก และ ค)

ถ้าให้  $\phi_L$  คือ ความเค้นตามแนวยาว

P คือ ความดันที่เกิดขึ้นกับผิวภาชนะทรงกระบอก

R คือ รัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกกลาง

t คือ ความหนาของผนัง

แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดัน = ความดัน \* พื้นที่รับแรงดัน

$$F = \pi r^2 * P \quad \text{หรือ} \quad (\pi/4)(D^2) * P \quad (3.4)$$

แรงต้านทานที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นตามแนวยาว ( $\phi_L$ )

$$F = \phi_L * 2\pi R t \quad \text{หรือ} \quad \phi_L * \pi D t \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่อนุญาตเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าภาชนะยังคงอยู่ในรูปเดิมได้ แรงที่เกิดขึ้นต้องเท่ากัน

$$\text{คือ สมการ (3.4) = (3.5)}$$

$$P * \pi R^2 = \rho_L * 2 \pi R t$$

$$\rho_L = (P * \pi R^2) / (2 \pi R t)$$

$$= (PR) / (2t)$$

$$\rho_L = (PR) / (2t) \text{ หรือ } \rho_L = (PD) / (4t) \quad (3.6)$$

### หมายเหตุ

1. แรงที่กระทำตามแนวความยาว จะทำให้ความเค้นตามแนวยาว ( $\rho_L$ ) เป็นแรงที่ทำให้ทรงกระบอกกลางขาดตามแนวเส้นรอบวง
2. แรงที่กระทำตามแนวเส้นรอบวงนั้น จะทำให้เกิดความเค้นตามแนวเส้นรอบวง เป็นแรงที่ทำให้ทรงกระบอกขาดตามแนวความยาว
3. ความเค้นตามแนวยาว และความเค้นตามแนวเส้นรอบวงจะกระทำตั้งฉากซึ่งกันและกัน
4. ความเค้นตามแนวเส้นรอบวงจะมีค่าเป็นสองเท่า ของความเค้นตามแนวยาว
5. ในการออกแบบจะต้องพิจารณาคัดขนาดต่าง ๆ จากความเค้นตามแนวเส้นรอบวง
6. ถ้ามีตะเข็บต้องต้องใช้ตะเข็บตามแนวยาว เพราะมีความแข็งแรงมากกว่าแนวอื่น

3.2.3 กรณีภาชนะมีการต่อตะเข็บ โดยส่วนมากการทำทรงกระบอกกลางจะประกอบไปด้วยแผ่นโลหะหลาย ๆ แผ่นมาต่อเข้าด้วยกันที่รอยตะเข็บ ซึ่งความแข็งแรงจะน้อยกว่า แผ่นโลหะที่ไม่มีรอยตะเข็บ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาประสิทธิภาพของรอยต่อด้วย

ถ้าให้  $n_L$  คือประสิทธิภาพของตะเข็บตามแนวยาว

$n_c$  คือประสิทธิภาพของตะเข็บตามแนวเส้นรอบวง

$$\text{ความเค้นในแนวเส้นรอบวง } \rho_n = (PR) / (t n_L) \quad (3.7)$$

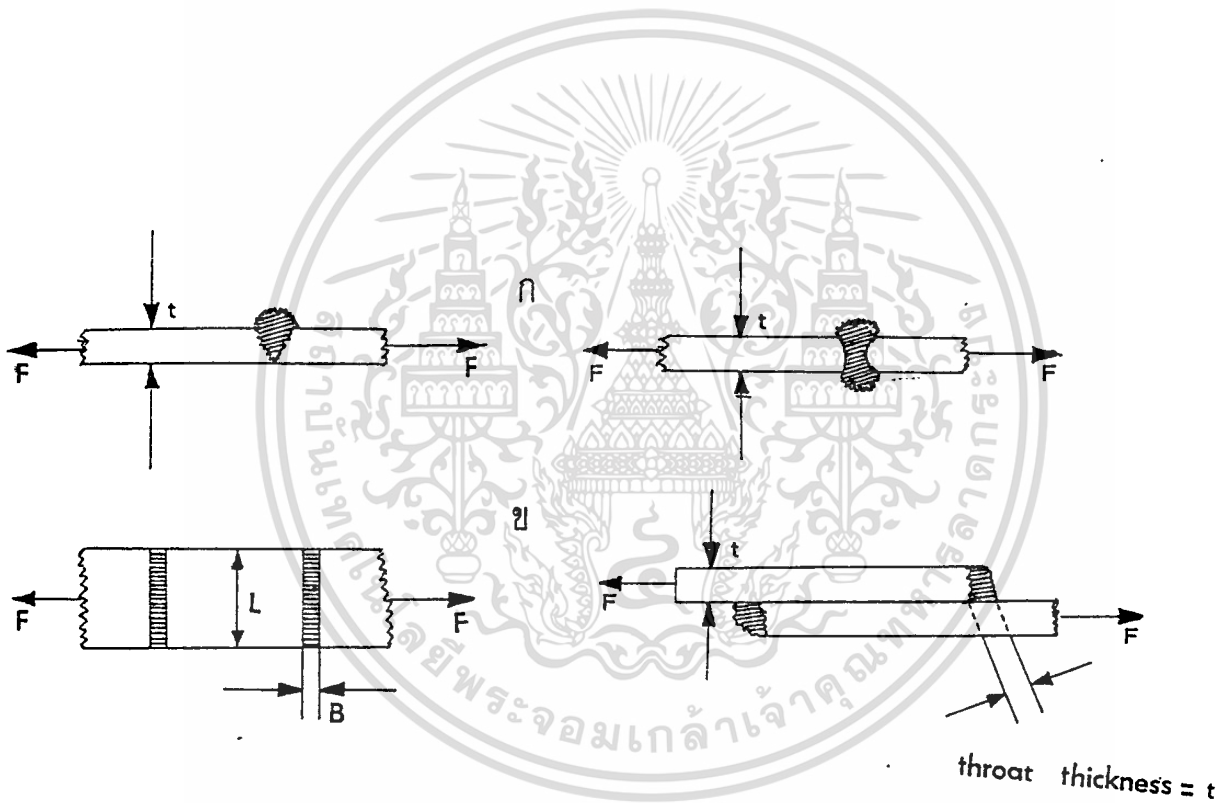
$$\text{และความเค้นในแนวยาว } \rho_L = (PR) / (2t n_c) \quad (3.8)$$

สำหรับการหาความเค้นในภาชนะทรงกระบอกนั้นสามารถหาได้จากสูตร

$$\rho_1 / R_1 + \rho_2 / R_2 = P / t \quad (3.9)$$

3.2.4 การเชื่อมต้อ การเชื่อมต้อเป็นวิธีการต่อแผ่นโลหะให้ติดกัน โดยใช้ความร้อนเผาโลหะบริเวณที่จะต่อให้ละลายและใช้ลวดเชื่อมหลอมติดแผ่นโลหะเข้าด้วยกัน วิธีการเชื่อมที่นิยมกันคือใช้วิธีเชื่อมไฟฟ้า และเชื่อมแก๊ส โดยลักษณะการเชื่อมต้อขึ้นงานจะมี 2 แบบ คือ

1. การเชื่อมแบบต้อชน (Butt weld) ดังรูป 3.3 (ก)
2. การเชื่อมต้อแบบต้อทาบ (Fillet weld) ดังรูป 3.3 (ข)



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการเชื่อมแบบต่าง ๆ

ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะการเชื่อมต้อแบบชน เพราะว่า เรานำวิธีแบบนี้มาใช้ในการเชื่อมต้อถึงทรงกระบอก และจะมีสูตรการคำนวณหาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $t$  คือความหนาของแผ่นโลหะ  
 $L$  คือความยาวของรอยเชื่อม  
 $\sigma_w$  คือความเค้นใช้งานหรือความเค้นออกแบบสำหรับแรงดึงของรอยเชื่อม  
 $F$  คือแรงดึงหรือแรงจัดที่การเชื่อมจะรับได้

ความแข็งแรงของการเชื่อม ( $F$ ) [21]

$$F = t * L * \sigma_w \quad (3.10)$$

### 3.2.5 ค่าความปลอดภัย (Safety Factor)

ค่าความเค้นสูงสุด ที่เราหาได้จากชิ้นงานทดสอบของวัสดุนั้น เราไม่สามารถที่จะนำค่าเหล่านั้นมาใช้ในการออกแบบหรือคำนวณได้เลย เพราะแรงหรือน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริงในโครงสร้างนั้นอาจจะสูง กว่าค่าที่ได้จากชิ้นงานทดสอบ ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเค้นที่เกิดขึ้นจริง เกินค่าสูงสุดในโครงสร้างนั้นจะรับได้ เราจึงจำเป็นต้องกำหนดค่าความปลอดภัย หรือค่า เพื่อในการออกแบบชิ้นงานเอาไว้ดังนี้

ถ้าใช้ความเค้นสูงสุดของวัสดุเป็นเกณฑ์จะได้

$$\text{ค่าความปลอดภัย} = (\text{ค่าความเค้นสูงสุด}) / (\text{ค่าความเค้นใช้งาน})$$

$$\text{หรือ } N = \sigma_u / \sigma_w \quad (3.11)$$

ถ้าใช้ความเค้นครากของวัสดุเป็นเกณฑ์จะได้

$$\text{ค่าความปลอดภัย} = (\text{ค่าความเค้นคราก}) / (\text{ค่าความเค้นใช้งาน})$$

$$\text{หรือ } N = \sigma_{cr} / \sigma_w \quad (3.12)$$

ในกรณีที่วัสดุไม่มีจุดครากที่ชัดเจน เช่น วัสดุเปราะก็จะใช้ความเค้นพิสูจน์เป็นเกณฑ์ซึ่งจะได้

ว่า [19]

$$\text{ค่าความปลอดภัย} = (\text{ค่าความเค้นพิสูจน์}) / (\text{ค่าความเค้นใช้งาน})$$

$$\text{หรือ } N = (\sigma_{ex}) / \sigma_w \quad (3.13)$$

### 3.2.6 สัญญาณและแรงดัน

สัญญาณเกิดขึ้นได้อย่างไร ในระบบลมอัด อากาศที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นตัวทำให้เกิดแรงในการทำงาน แต่ในระบบสัญญาณนั้นจะได้แรงดันจากบรรยากาศ โดยแรงดันจากลมจะถูกลดลงเรื่อย ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกระทั่งมีระดับต่ำกว่าแรงดันบรรยากาศที่อยู่รอบ ๆ ทำให้เกิดแรงดันจากภายนอกดันเข้ามาตามผนังทรงกระบอกมาก และภายในถึงทรงกระบอก (ภาชนะปิด) จะไม่มีอากาศเหลืออยู่ ซึ่งเราจะใช้จุดนี้เป็นส่วนประกอบในการทดลองต่อไป

หน่วยวัดสุญญากาศ หน่วยที่นิยมใช้วัดค่าความเป็นสุญญากาศคือ นิ้วปรอท (Mercury inch.) หรือมิลลิเมตรปรอท (mm-Hg หรือ Torr.) เพราะว่า ปรอทมีน้ำหนักจำเพาะหรือความหนาแน่นสูง ดังนั้นระยะที่แสดงค่าจะมีขนาดไม่สูงเกินไป คือ 29.92 นิ้ว หรือ 760 mm. และความดันไอของปรอทที่อุณหภูมิปกติมีค่าน้อยมากจึงตัดทิ้งไปได้ ดังตารางที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกานำไปใช้

ความดันเกจ (ปอนด์/ตารางนิ้ว) Pg-Psig	ความดันสัมบูรณ์ Pa-Psia	นิ้วปรอท Pm
0	14.7 ความดันสุญญากาศที่ระดับ น้ำทะเล	0
-1.0	13.7	2.04
-2.0	12.7	4.07
-4.0	10.7	8.14
-6.0	8.7	12.20
-8.0	6.7 ระดับความดันสุญญากาศ ที่ใช้งาน	16.30
-10.0	4.7	20.40
-12.0	2.7	24.40
-14.0	0.7	28.50
-14.6	0.1	29.70
-14.7	0. สุญญากาศสัมบูรณ์ (แรงดันอ้างอิงเป็นศูนย์)	29.92

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความดันสุญญากาศในหน่วยต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 ได้แสดงให้เห็นการเปรียบเทียบ ค่าความเป็นสุญญากาศในหน่วยต่าง ๆ โดยที่จุดความดันบรรยากาศมีค่าเป็น 0 นิ้วปรอท (14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ในทางกลับกันที่จุดอ้างอิง 0 ปอนด์ต่อตารางนิ้วสัมบูรณ์ (Psia) จะเป็นจุดที่เรียกว่า สุญญากาศสัมบูรณ์ (Perfect Vacuum) ส่วนมากแล้วบนหน้าปิดของเกจวัดความดันจะแสดงค่าความดันที่ 0 แต่ในระบบสุญญากาศนั้นมีค่าความดันจะต่ำกว่า 0 หรือค่าลบ ซึ่งเป็นตัวแสดงความแตกต่างระหว่าง แรงดันของระบบสุญญากาศ กับแรงดันบรรยากาศ ส่วนความดันสัมบูรณ์ในระบบสุญญากาศ (Absolute Pressure) ในหน่วยปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นค่าความดันที่สูงกว่าจุดสุญญากาศสัมบูรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันบรรยากาศลบ ค่าความดันเกจ (14.7 - Pg) นอกจากนี้ยังมีหน่วยวัดค่าสุญญากาศอื่น ๆ อีกคือ ทอร์ (torr) และไมครอน ซึ่งเป็นหน่วยวัดสุญญากาศที่สูงมาก ๆ คือ ไกล ๆ จุดสุญญากาศสัมบูรณ์ ดังตารางที่ 3.2 จะแสดงการเปรียบเทียบหน่วยต่าง ๆ

	ปาสคาล (Pa)	บาร์ (bar)	มิลลิบาร์ (mbar)	ทอร์ (Torr)	ความดัน บรรยากาศ (at)
1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>	1	1*10 <sup>-5</sup>	0.01	7.5*10 <sup>-3</sup>	1.02*10 <sup>-5</sup>
1 bar = 10 N/Cm <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	1	10 <sup>3</sup>	750	1.02
1 mbar = 1 N/dm <sup>2</sup>	100	10 <sup>-3</sup>	1	0.750	1.02x10 <sup>-3</sup>
1 torr = 1 mm.-Hg.	133.3	1.333*10 <sup>-3</sup>	1.333	1	1.36*10 <sup>-3</sup>
1 at = 1 kp/Cm <sup>2</sup>	9.81*10 <sup>4</sup>	0.981	981	735.6	1

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบและการเปลี่ยนหน่วยของความดัน (ค่าประมาณ) [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.7 การออกแบบชิ้นงานโดยทฤษฎีวิเคราะห์ความเค้นในชิ้นงานที่แตกหัก เนื่องจากแรงที่กระทำซ้ำกันโดยมีขนาดของแรงเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดไปยังค่าสูงสุดจะพบว่าความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานดังกล่าวยังมีค่าต่ำกว่าความต้านทานแรงดึงครากของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานนั้น การแตกหักอันเนื่องมาจากแรงที่กระทำหลาย ๆ วัฏจักร (Cycle) นี้เรียกว่าการแตกหัก เนื่องจากความล้า (Fatigue) ในการออกแบบมักนิยมใช้วิธีที่เรียกว่า เกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก (Soderberg's Criterion) โดยพิจารณาจากค่ามาตรฐานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

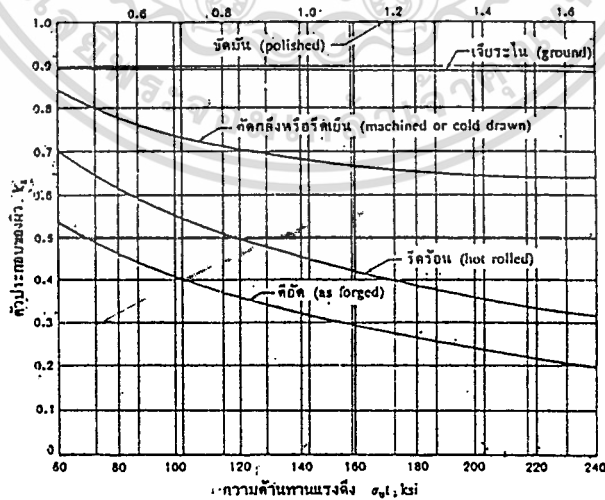
3.2.7.1 ค่าขีดจำกัดความทนทานของวัสดุ ( $S_u$ ) โดยวิธีพิจารณาประมาทค่าขีดจำกัด ความทนทาน (สำหรับการคงอยู่ 50 %) ดังนี้คือ

$$S_u = 0.5 S_u \text{ สำหรับเหล็กกล้าเหนียว ซึ่ง } S_u < 1,380 \text{ N/mm}^2 \text{ และ HB} < 400$$

$$S_u = 690 \text{ N/mm}^2 \text{ สำหรับเหล็กกล้าเหนียวซึ่ง } S_u > 1,380 \text{ N/mm}^2$$

$$S_u = 0.4 S_u \text{ สำหรับเหล็กกล้าหล่อ และเหล็กหล่อ}$$

3.2.7.2 ตัวประกอบของผิว (Surface factor,  $K_a$ ) จากรูปที่ 3.4 ซึ่งถ้าชิ้นงานที่มีโอกาสแตกหักเนื่องจากความล้าแล้วคุณภาพของผิวมีผลต่ออายุการใช้งานนั้นด้วย



รูปที่ 3.4 แสดงค่าตัวประกอบของผิวสำหรับเหล็กกล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.7.3 ตัวประกอบของขนาด (Size factor, $K_b$ )

$k_b = 1.00$  สำหรับชิ้นงานที่มีขนาด  $t < 8$  mm.

$k_b = 0.85$  สำหรับชิ้นงานที่มีขนาด  $8 < t < 50$  mm.

$k_b = 0.75$  สำหรับชิ้นงานที่มีขนาด  $t > 50$  mm.

### 3.2.7.4 ตัวประกอบของแรง (Load factor, $K_c$ )

$k_c = 1.00$  สำหรับการตัด

$k_c = 0.80$  สำหรับการดึงหรือการกด

$k_c = 0.60$  สำหรับการเฉือน

ค่าความต้านทานสำหรับการตัด ( $\sigma_u$ )

$$\sigma_u = k_u k_b k_c \sigma_u \quad (3.14)$$

จากสมการของไซเคอร์เบอร์ก

$$\sigma_u / \sigma_m = [(\sigma_y / N) - \sigma_m] / \sigma_y$$

หรือ

$$1/N = \sigma_m / \sigma_y + \sigma_u / \sigma_m \quad (3.15)$$

เมื่อ

$$\sigma_u = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / 2 = \text{ความเค้นส่วนเปลี่ยน} \quad (3.16)$$

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2 = \text{ความเค้นเฉลี่ย} \quad (3.17)$$

โดยที่  $\sigma_u$  และ  $\sigma_m$  สามารถหาได้จากสมการ

$$\sigma_u = P_u / A \quad (3.18)$$

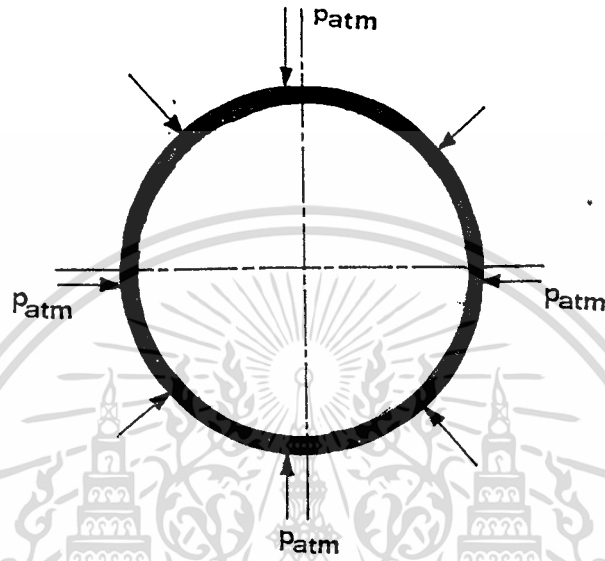
$$\sigma_m = P_m / A \quad (3.19)$$

ส่วนค่า  $P_u$  และ  $P_m$  สามารถหาได้จากสมการ

$$P_u = (P_{max} - P_{min}) / 2 \quad (3.20)$$

$$P_m = (P_{max} + P_{min}) / 2 \quad (3.21)$$

## 3.2.7.5 หาค่าความดัน (P.)



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะแรงดันที่กระทำต่อถึง

จากรูปที่ 3.5 เราจะเห็นลักษณะและทิศทางของแรงดัน ที่กระทำต่อผิวผนังถึงทรงกระบอก (ระบบปิด) ในทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางถึงและกระจายไปที่บริเวณผิวทรงกระบอก ซึ่งมีที่มาจากกาเกิด ดังนี้

เมื่ออากาศภายในถึงถูกดูดออกด้วยปั๊มสุญญากาศจนบรรยากาศภายในมีสภาวะเป็นสุญญากาศ (ประมาณ 24 ซม.) ความดันภายในถึงจะมีค่าประมาณหรือเท่ากับสุญญากาศ (ในความเป็นจริงอาจจะมีปัจจัยหลายอย่างที่จะทำให้เราไม่สามารถทำให้อากาศภายในถึงเป็นสุญญากาศสมบูรณ์ได้ เช่น ระดับความสูงหรือระดับความต่ำของจุดที่ตั้ง เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล) เมื่อถึงอยู่ในสภาวะนี้แล้ว แรงดันภายนอกถึง (แรงดันบรรยากาศ) ก็จะกระทำต่อผิวของทรงกระบอกในทิศทาง ดังรูปที่ 3.5 เพราะว่า แรงดันภายนอกถึงจะมีมากกว่าภายในถึง

หาค่า  $P(\text{atm})$  ณ จุดความดันภายในถึงมีค่าเท่ากับศูนย์ จากมาตรฐาน เพื่อความดันมีค่าเท่ากับสภาวะอากาศ จะดันปรอทในมิเตอร์ให้มีความสูง เท่ากับ 29.92 นิ้ว หรือ 760 mm.(torr, mm-Hg)

ดังนั้นแรงดันที่กระทำต่อถังจะมีค่าเท่ากับ [20]

	= 14.7	ปอนด์/ตารางนิ้ว
หรือ	= 0.1013	นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร
หรือ	= $1.013 * 10^5$	ปาสคาล ( $P_u$ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AISI Typd	Condition	Tensile Strength ksi	Yield Strength ksi	Elongat in 2 in %	Reduction in Area %	Hardness BHN	Machin- ability (Based on 41112 (100))
1010	HR	64	42	28	67	107	45
	CD	78	58	16	63	129	55
	CDA	64	48	28	65	131	55
1020	HR	65	43	36	59	143	50
	CD	78	66	20	55	156	65
	A	57	52	37	66	111	90
	N	64	50	36	68	131	75
1030	HG&turned	72	44	31	63	140	-
	CD	84	76	16	57	177	65
	A	67	50	31	58	126	-
	N	76	51	32	61	149	-
1040	HR	91	58	27	50	201	63
	CD	100	88	17	42	207	65
	A	75	51	30	57	149	-
	N	85	50	28	55	170	60
1045	HR	98	59	24	45	212	56

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AISI Typd	Condition	Tensile Strength Ksi	Yield Strength Ksi	Elongat in 2 in %	Reduction in Area %	Hardness BHN	Machin- ability (Based on 41112 (100)
1050	CD	103	90	14	40	217	60
	A	90	55	27	54	174	60
	N	99	61	25	49	207	-
	HR	105	67	15	-	-	-
	CD	114	104	9	-	-	54
1095	A	92	43	24	40	187	-
	N	109	62	20	39	217	-
	HR	142	83	18	38	295	-
	A	95	38	13	21	192	-
	N	147	73	10	14	293	-
1118	HR	75	50	35	55	140	-
	CD	85	75	25	55	170	80
	A	65	41	35*	67	131	80
	N	69	46	34	66	143	80

AISI Typd	Condition	Tensile Strength ksi	Yield Strength ksi	Elongat in 2 in %	Reduction in Area %	Hardness BHN	Machin- ability (Based on 41112 (100)
2330	CD	105	90	20	50	212	50
	A	86	61	28	58	179	50
	N	100	68	26	56	207	-
3140	CD	107	92	17	50	212	55
	A	100	61	25	51	197	55
	N	129	87	20	58	262	-
4130	HRA	86	56	29	57	183	65
	CDA	98	87	21	52	201	70
	N	97	63	26	60	197	50
4140	HRA	90	63	27	58	187	57
	CDA	102	90	18	50	223	66
	N	148	95	18	47	302	-
4340	HRA	101	69	21	45	207	45
	CDA	110	99	19	42	223	50
	N	185	126	11	41	363	-

วิธีทำ จากตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม

วัสดุ AISI 1020 HR.

ค่าความเค้นแรงดึงจุดคราก ( $\sigma_u$ ) = 43 ksi.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด } (\sigma_u) = 65 \text{ ksi.}$$

$$\text{จาก } 1 \text{ ksi} = 6.895 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = 43 * 6.895 \text{ N/mm}^2$$

$$= 296.485 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{และ } \sigma_u = 65 * 6.895 \text{ N/mm}^2$$

$$= 448.175 \text{ N/mm}^2$$

ดังนั้นขีดจำกัดความทนทาน ( $\sigma_n$ )

$$\sigma_n = 0.5 \sigma_u$$

$$= 0.5 * 448.175 \text{ N/mm}^2$$

$$= 224.088 \text{ N/mm}^2$$

จากรูปที่ 3.4 ตัวประกอบของผิวสำเร็จสำหรับเหล็กกล้า ( $k_u$ )

$$k_u = 0.68$$

สมมติว่าความหนาของผนังไม่เกิน 8 มม. ดังนั้นตัวประกอบของขนาด ( $k_b$ )

$$k_b = 1.00$$

ตัวประกอบของแรง ( $k_c$ )

$$k_c = 0.80$$

ความต้านทานแรงดึง ( $\sigma_n$ )

$$\sigma_n = k_u * k_b * k_c * \sigma_u$$

$$= (0.68)(1.00)(0.80)(224.088) \text{ N/mm}^2$$

$$= 121.904 \text{ N/mm}^2$$

เนื่องจากความเค้นในแนวเส้นรอบวงของถังทรงกระบอกกลมเท่ากับ  $PR/t$  ซึ่งมากกว่าความเค้นในแนวแกนคือ  $PR/2t$  ดังนั้น จึงใช้ความเค้นในแนวเส้นรอบวงสำหรับคำนวณหาความหนาของผนัง

จากสูตร

$$\text{ความดันเฉลี่ย } (P_m) = (P_{\max} + P_{\min})/2$$

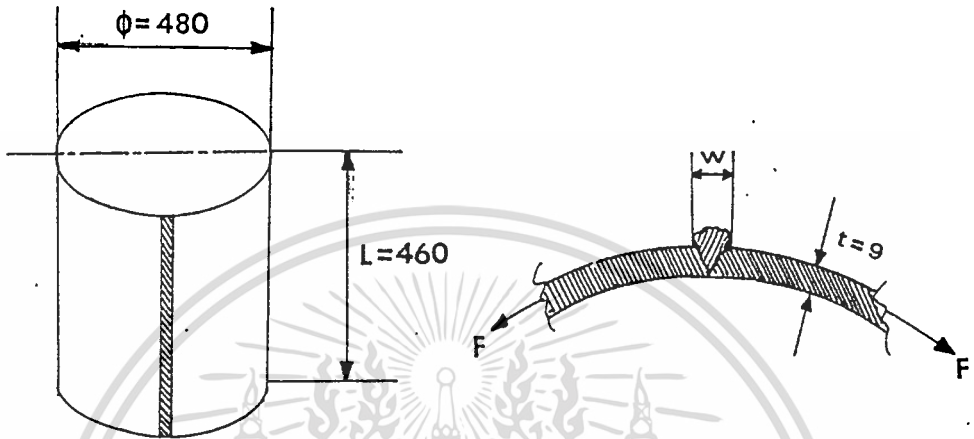
$$= (0.1013 + 0)/2 \quad MP_m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 0.0507 \quad MP_a \\
 \text{ความดันส่วนเปลี่ยน (P}_a\text{)} &= (P_{\max} - P_{\min})/2 \\
 &= (0.1013 - 0)/2 \\
 &= 0.0507 \quad MP_a \\
 \text{ความเค้นเฉลี่ย } \sigma_m &= (P_m R)/t \\
 &= (0.0507 * 240)/t \quad N/mm^2 \\
 &= (12.168)/t \quad N/mm^2 \\
 \text{ความเค้นส่วนเปลี่ยน } \sigma_a &= (P_a R)/t \\
 &= (0.0507 * 240)/t \quad N/mm^2 \\
 &= (12.168)/t \quad N/mm^2 \\
 \text{สมมติว่าไม่มีความเค้นหนาแน่น } K_f &= 1 \\
 \text{จะได้} \quad 1/N &= (\sigma_m/\sigma_u) + (\sigma_a/\sigma_u) \\
 \text{แทนค่า} \quad 1/N &= [(12.168)/(296.485t)] + [(12.168)/ \\
 &\quad (121.904t)] \\
 \text{(ค่าความปลอดภัย, } N &= 10) \\
 T &= (0.0410 + 0.0998) 10 \\
 &= 1.408 \text{ มม.} \\
 T &= 1.50 \text{ มม.}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นความหนาของถังแชมเบอร์จะต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 1.5 มม. ซึ่งในการกำหนดขนาดความหนาของถังแชมเบอร์นี้ จะต้องคำนึงถึงส่วนประกอบอื่น ๆ หลากหลาย เช่น ความสะดวกในการประกอบหรือติดตั้งเข้ากับชิ้นส่วนอื่น ขนาดมาตรฐานของวัสดุที่มีขายในท้องตลาด หรือความสะดวกในการผลิต (Machine) มาใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ขนาดของวัสดุ

### 3.3 การหาความแข็งแรงของรอยต่อ (โดยการเชื่อมไฟฟ้า)



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการเชื่อมต้อ

ในการเชื่อมต่อผนังของเครื่องไอโอไนเซชันนั้น จะใช้การเชื่อมต่อโดยการเชื่อมไฟฟ้าที่มีลักษณะการต่อมุมแบบบลมมุม 60 องศา ด้านเดียว (SINGLE V-BUTT JOINT) ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งการเตรียมแนวเชื่อมแบบนี้จะเหมาะกับงานที่มีหน้ากว้างมาก ๆ และต้องการความแข็งแรง โดยจะต้องมีการเตรียมแนวเชื่อมดีกว่าการชนแบบธรรมดา โดยทั่วไปแนวเชื่อมแบบนี้จะเหมาะกับงานที่มีความหนา ( $t$ ) ระหว่าง 4-15 มม. ในการเชื่อมจะเชื่อมด้านเดียว ให้ซึมลึกถึงอีกด้านและในการเชื่อมต่อ จะใช้ลวดเชื่อมชนิดที่ทนแรงดึงสูง (HIGH TENSION) คือ ลวด No. E 52LB จะสามารถทนความเค้นแรงดึง ( $\sigma_u$ ) ได้สูงถึง 510 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ซึ่งเราจะสามารถคำนวณหาค่าเกี่ยวกับการเชื่อมได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากความเค้นแรงดึงในการออกแบบ } (\sigma_w) &= 0.82 \sigma_u \\ \sigma_w &= 0.82 (510) \text{ N/mm.}^2 \\ &= 481.2 \text{ N/mm.}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ให้ค่าความปลอดภัย (N)} = 2$$

$$\sigma_w = (418.2)/2 \text{ N/mm.}^2$$

$$\text{ค่าความเค้นแรงดึงของลวดเชื่อมที่ใช้ในการออกแบบ } (\sigma_w) = 209.1 \text{ N/mm.}^2$$

จากสูตร

$$\text{ความแข็งแรงของการเชื่อม (F)} = t * L * \sigma_w$$

$$\text{แทนค่าสูตร } F = 9 * 460 * 209.1 \text{ มม.} * \text{ มม.} * (\text{N/mm.}^2)$$

$$= 865.67 * 10^3 \text{ N}$$

หาค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นกับผนังถัง (ในขณะที่เป็นสภาวะอากาศ)

$$\text{จะได้ ความดัน } p = 0.1013 \text{ N/mm.}^2$$

หาแรงรวมทั้งหมดที่กระทำต่อผนัง ( $F_L$ )

$$\text{จาก พื้นที่ผิวของถัง (A)} = \pi d * l$$

$$\text{แทนค่า } A = \pi (480) * 460$$

$$= 693.66 * 10^3 \text{ มม.}^2$$

$$\text{แรงรวมทั้งกระทำต่อผนังถัง } (F_L) = P * A$$

$$= 0.1013 * 693.66 * 10^3 \text{ N/mm.}^2 * \text{ มม.}^2$$

$$= 70.27 * 10^3 \text{ N}$$

เมื่อนำค่าที่หาได้ทั้งสองคือแรงรวมทั้งกระทำต่อผนังถัง กับค่าความแข็งแรง ของการเชื่อม มาเปรียบเทียบกับกันจะเห็นได้ว่าสามารถใช้งานได้ตามต้องการคือ

$$\text{ความแข็งแรงของการเชื่อม } > \text{ แรงรวมทั้งกระทำต่อผนังถัง}$$

### 3.4 การพัฒนาและการออกแบบหน้าต่างของไอโอไอในเซชันแชนแนลเบอร์

สำหรับส่วนหน้าต่างของไอโอไอในเซชันแชนแนลเบอร์ที่ได้ออกแบบขึ้นมา เพื่อใช้ในการสอดมือเข้าไปปรับระดับของชุดคาโรดและมีช่องกระจกสำหรับมองเพื่อสังเกตุดูการเกิด Breakdown ของก๊าซ โดยชุดหน้าต่างนี้ต้องสามารถ บิด-เปิด ได้และเมื่อปิดแล้วต้องไม่มีการรั่วซึมตามรอยประกบ (รอยต่อ) ด้วย เนื่องจากตัวถังของเครื่องจะมีลักษณะเป็นส่วนโค้ง ในการประกอบกับชุดหน้าต่างจึงต้องมีการคำนวณหาขนาดของหน้าต่าง ก่อนเป็นอันดับแรก

## 3.4.1 การหาขนาดของหน้าต่าง

จากสูตร การหาความยาวของส่วนโค้ง ( $L_b$ ) =  $\pi * r * \theta / 180$  (3.22)

เมื่อ  $r$  = รัศมีของตัวถัง

$\theta$  = มุมสัมผัสของส่วนโค้งกับหน้าต่างในที่นี้

กำหนดให้มีค่า = 48 องศา

ดังนั้น แทนค่าจะได้

$$L_b = (\pi * 240 * 48) / 180$$

$$= 201.06 \text{ mm.}$$

$$L_b = 200 \text{ mm.}$$

เมื่อได้ค่าความยาวของส่วนโค้ง ( $L_b$ ) แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปหาขนาดตามวิธีการเขียนแบบแผ่นคลี่ต่อไป

## 3.4.2 การประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของหน้าต่าง เข้าด้วยกัน

สำหรับการประกอบตัวขอบหน้าต่างกับตัวถังนั้นจะคอโดยใช้การเชื่อมไฟฟ้า โดยใช้ลวดเชื่อมชนิดทนแรงดึงสูง (High Tension) คือ ลวด No. E52 LB (ทนแรงดึงได้ถึง 510 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร) ส่วนการประกอบของส่วนอื่น ๆ คือ Window Flange กับ Rectangular Window จะใช้การเชื่อมไฟฟ้าเหมือนกัน และส่วนการประกอบกันระหว่าง Window Flange กับ Window lid จะใช้ระบบซีล และ O-Ring โดยใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึด เพื่อที่จะสามารถปิด-เปิด ได้โดยเมื่อปิดจะต้องไม่มีการรั่วซึมของก๊าซด้วย ส่วนการประกอบกันระหว่าง Window Lid, Window Cover และ Window Glass นั้นจะใช้ซีลยาง (Rubber Seal) เป็นตัวประสานกันรั่วและใช้สลักเกลียวเป็นตัวยึดติดเพื่อป้องกันการรั่วซึมของก๊าซเช่นกัน

## บทที่ 4

### การพัฒนาและการออกแบบส่วนประกอบบุหึ่งด้านไฟฟ้าแรงสูง

(Development and design of High Voltage Bushing Assembly)

ในการออกแบบส่วนประกอบบุหึ่งด้านไฟฟ้าแรงสูง ส่วนนี้จะมีการนำเอาชิ้นส่วนย่อยต่าง ๆ นำมาประกอบกัน เพื่อให้ได้ตามหลักการและวัตถุประสงค์ ซึ่งในที่นี้เราสามารถแบ่งส่วนประกอบหลัก ๆ ของการออกแบบได้ ดังต่อไปนี้

4.1 ส่วนประกอบด้านตัวนำไฟฟ้า การออกแบบในส่วนที่วัสดุที่จะนำมาขึ้นรูป หรือทำเป็นชิ้นส่วนประกอบจะต้องมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดี มีคุณสมบัติทางด้านเชิงกลที่ดี คือ ความแข็งแรงไม่บิดงอง่ายด้านเคมี คือ ไม่เกิดออกไซด์ หรือทนการกัดกร่อนได้ดี และด้านการขึ้นรูปก็ทำได้ง่าย ซึ่งส่วนประกอบด้านตัวนำไฟฟ้าที่จะประกอบไปด้วย ส่วนประกอบย่อย ๆ ดังต่อไปนี้

4.1.1 CORONA SHIELD ชิ้นส่วนนี้จะทำจากทองเหลือง (BRASS) เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อเป็นตัวยึดชิ้นส่วนอื่น ๆ เข้าด้วยกัน คือ ชิ้นส่วน Anti Corona Shield, Blank Flang, Glass Lens และ Brass Tube โดยชิ้นส่วนจะต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับ Tubular Nylon Bushing ด้วย ส่วนการจับยึดเพื่อประกอบกันนั้นจะใช้ระบบเกลียว ชิ้นส่วน ๆ ที่จะต้องมีความเรียบเป็นเนื้อเดียวกันและตามขอบต่าง ๆ ต้องเป็นรัศมี และส่วนโค้ง เพื่อป้องกันการเกิด Corona ชิ้นส่วน ๆ ที่จะมีจุดสำคัญอยู่สองจุด คือ จุดที่จะประกอบ หรือยึดเข้ากับ Brass Tube, Tubular Nylon Bushing และ Blank Flange, Glass Lens โดยผิวส่วนนี้จะต้องเรียบ และมีการใส่ประเก็น หรือ ซีลด้วย เพื่อป้องกันการรั่วซึมของก๊าซจากตัวถัง

4.1.2 ANTI-CORONA SHIELD ชิ้นส่วนนี้จะทำมาจากทองเหลืองเช่นกันมีหน้าที่เป็นตัวยึดสายไฟฟ้าแรงสูง เพื่อส่งถ่ายผ่านไปยัง CORONA SHIELD, BRASS TUBE และ ANODE ต่อไปและอีกหน้าที่หนึ่ง คือ เป็นตัวรองรับ QUARTZ LENS ที่ทำหน้าที่เป็นจุดรวมแสงของรังสีอัลตราไวโอเล็ตอีกที่หนึ่ง ชิ้นส่วน ANTI-CORONA SHIELD นี้จะมีจุดสำคัญคือ ตามขอบมุมของชิ้นส่วนต้องเรียบ และ

เป็นส่วนโค้งหรือรัศมี เพื่อป้องกันการเกิด CORONA ขึ้นส่วน ๆ นี้จะประกอขเข้ากับ CORONA SHIELD ด้วยระบบเกลียวอีกทีหนึ่ง

4.1.3 BRASS TUBE ขึ้นส่วน ๆ นี้ก็ทำจากทองเหลืองเช่นกัน โดยทำหน้าที่เป็นตัวส่งถ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยัง ANODE และยังเป็นช่องสำหรับให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตส่องผ่านไปยัง CATHODE อีกด้วย ขึ้นส่วน ๆ นี้จะประกอบ หรือยึดติดอยู่กับ ANODE, SLOT NUT, TUBULAR NYLON BUSHING และ CORONA SHIELD ขึ้นส่วน ๆ นี้จะมีจุดสำคัญที่จะต้องเน้นเป็นพิเศษในการออกแบบก็คือ ความเรียบและขนาดของตัวผิวด้านนอก (ตามแบบที่กำหนดไว้) และระยะเผื่อของเกลียวทั้งสองด้าน จะต้องมีความที่ค่อนข้างแน่น) เพื่อป้องกันการรั่วซึม ซึ่งในที่นี้ เราอาจจะใช้ประเก้นเหลวเข้าเป็นตัวประสานอีกทีหนึ่ง เพื่อป้องกันการรั่วให้แน่นเอนมากขึ้น

4.1.4 ANODE ขึ้นส่วน ๆ นี้ จะทำจากอลูมิเนียม (ALUMINIUM-ALLOY) ที่ผ่านขบวนการรีดเพื่ออัดผิวให้แน่น ไม่มีรูพรุน (HOT ROLL PROCESS) ซึ่งจะมีคุณสมบัติเบา และขึ้นรูปง่าย ผิวเรียบ และกัดมัน ไม่มีรูพรุน หรือฟองน้ำ หรือฟองอากาศในเนื้ออลูมิเนียม ส่วนคุณสมบัติทางไฟฟ้านั้น อลูมิเนียมจะเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ของการนำไฟฟ้าประมาณ  $3.4 * 10^7 (\Omega \cdot m)^{-1}$  ขึ้นส่วน ANODE นี้จะถูกกลึง (MACHINE) ให้เป็นรูป ROGOWSKI (ตามแบบที่กำหนดไว้) ซึ่งส่วนที่อยู่ตรงกลางของตัว ANODE ด้านที่อยู่ติดกับ CATHODE จะถูกเจาะเป็นรู 49 รู โดยแต่ละรูจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. รูทั้งหมดอยู่ภายในวงกลม ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มม. และ ANODE จะถูกยึดติดด้วยเกลียวติดอยู่กับ BRASS TUBE และตั้งฉากกับผิวด้านที่อยู่ติดกับ CATHODE จะต้องมีการขัด และทำความสะอาดโดยใช้เทคนิคที่มาตรฐาน สำหรับรูที่ถูกเจาะ 49 รู มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นช่องให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตส่องผ่าน เพื่อใช้เป็นจุดสังเกตการ Breakdown ระหว่าง ANODE และ CATHODE ขณะทำการทดลอง ในการติดตั้ง ANODE จะต้องมีส่วนที่ตั้งฉากและอยู่ใน CENTER LINE เดียวกันกับ CATHODE ด้วย

#### การพัฒนาและออกแบบ ROGOWSKI ANODE และ CATHODE

การพัฒนาและออกแบบไอโอไนเซชันแชนเบอร์จุดที่สำคัญที่สุด คือ การออกแบบ Rogowski Anode และ Cathode เพราะ Rogowski Cathode และ Anode เป็นตัวที่ทำให้เกิดเบรคดาวน์ใน

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอขึ้น ซึ่งการออกแบบ Rogowski Electrode เพื่อจะนำมาใช้ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ นั้นเราจะต้องใช้สมการ Maxwell เพื่อนำมาวิเคราะห์และคำนวณจุดต่าง ๆ ใน Equipotential Surface ที่เหมาะสมซึ่งสมการ Maxwell ที่ใช้ในการออกแบบดังนี้

$$x = A (\phi + e \cos \psi) \quad (4.1)$$

$$y = A (\psi + e \sin \psi) \quad (4.2)$$

A = อัตราส่วนของระยะห่างระหว่าง Finite Plane กับ Infinite Plane คือ  $\pi$

$\phi$  = เส้นแรงของสนามไฟฟ้า

$\psi$  = Equipotential Surface

x และ y คือ จุด Coordinates ในตำแหน่งใด ๆ

จากสมการ Maxwell นั้น ก่อนจะคำนวณการออกแบบ เราต้องสมมติค่า  $\psi$  คงที่ และต้องสมมติเปลี่ยนค่า  $\phi$  ไปเรื่อย ๆ แต่ละค่า  $\phi$  ที่เราสมมติขึ้นและสามารถแทนค่าเข้าไป ในสมการ Maxwell และสามารถหาค่า x และ y ได้ จะได้ Equipotential Surface เส้นหนึ่ง ในการออกแบบนี้ เราต้องสมมติค่า  $\psi$  หลาย ๆ ค่า ค่า  $\psi$  ที่สมมติจะต้องเป็นไปตามสมการ  $\psi = (v/V)\pi$  ฉะนั้น ในการออกแบบนี้ใช้ค่า  $\psi$  ต่ำสุด = 0 และค่า  $\psi$  สูงสุด =  $\pi$  จากการคำนวณสมการ Maxwell ค่า  $\psi$  ที่ดีที่สุด คือ  $(\pi/2)$  เพราะ ค่าสนามไฟฟ้าตรงขอบ จะมีค่าน้อยกว่าตรง Flat Central Portion แต่ในการออกแบบ Rogowski Electrode เราใช้ค่า  $\psi = (2/3)\pi$  ซึ่งค่านี้ได้จากสมการสมมติและหาค่า x, y เพื่อจะนำไปพล็อตใน Plane ระหว่าง Infinite Plane กับ Finite Plane เราจะเห็นค่าที่พล็อต x, y ที่กล่าวมาข้างต้น เส้น  $\psi = (2/3)\pi$  เป็นเส้นที่เหมาะสม เพราะเส้นนี้ตรงขอบส่วนโค้งของ Electrode มีสนามไฟฟ้าน้อยสะดวกในการออกแบบและติดตั้งใช้งาน การคำนวณหาค่า x, y ในการออกแบบ Rogowski Electrode มีดังนี้ [15],[16], [17], [18]

จากสมการ  $x = A (\phi + e \cos \psi)$

$$y = A (\psi + e \sin \psi)$$

$$A = (a/\pi)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบนี้ เราจะกำหนดระยะห่างระหว่าง Finite plane กับ Infinite plane (a) = 40 มม.

$\phi$	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0	0.5	1.0	1.5
x มม.	-63.5	-50.6	-37.5	-24.0	-16.8	-8.9	0.118	10.3	23.3	40.7	65.2
y มม.	8.05	8.13	8.37	9.01	9.66	10.75	12.53	15.48	20.33	28.34	41.5

ตารางที่ 4.1 แสดงการหาค่า x, y โดยการสมมติ  $\psi = 0.2$  ๓

$\phi$	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0	0.5	1.0	1.5
x มม.	-63.6	-50.8	-38.0	-24.9	-18.2	-11.3	-3.97	3.93	12.85	23.42	36.73
y มม.	16.08	16.22	16.6	17.63	18.70	20.45	23.34	28.1	35.96	48.91	70.26

ตารางที่ 4.2 แสดงการหาค่า x, y โดยสมมติ  $\psi = 0.2$  ๓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0	0.5	1.0	1.5
x มม.	-63.66	-50.92	-38.19	-25.4	-19.09	-12.73	-6.36	0	6.36	12.73	19.09
y มม.	20.08	20.23	20.63	21.72	22.84	24.68	27.72	32.73	40.99	54.61	77.06

ตารางที่ 4.3 แสดงการหาค่า x, y โดยสมมติค่า  $\psi = 0.5 \text{ ๓}$

$\phi$	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0	0.5	1.0	1.5
x มม.	-63.68	-51.00	-38.39	-25.99	-19.97	-14.17	-8.75	-3.93	-0.12	2.03	1.46
y มม.	24.08	24.22	24.60	25.63	26.70	28.45	31.34	36.10	43.96	56.91	78.26

ตารางที่ 4.4 แสดงการหาค่า x, y โดยสมมติค่า  $\psi = 0.6 \text{ ๓}$

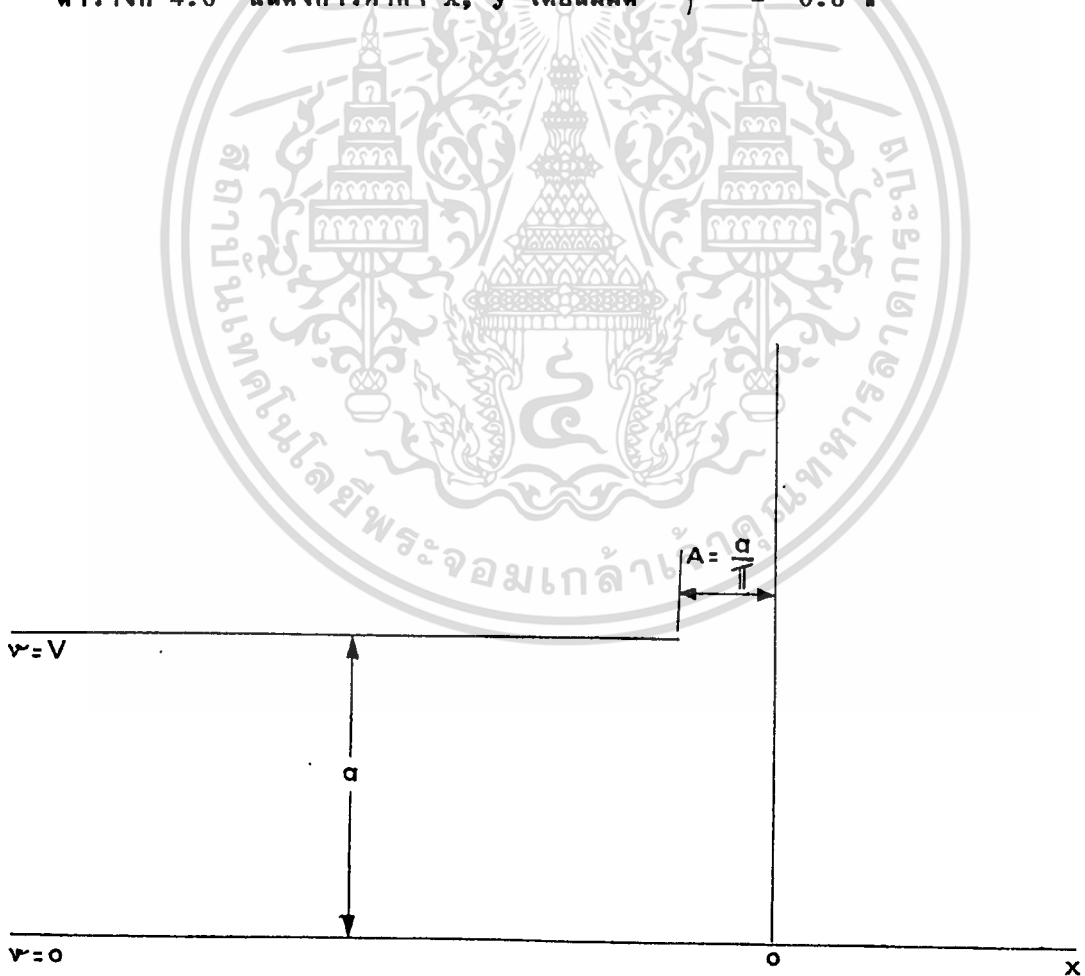
$\phi$	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0	0.5	1.0	1.5
x มม.	-63.70	-51.04	-38.51	-26.32	-20.51	-15.07	-10.22	-6.36	-4.52	-4.57	-9.43
y มม.	26.87	27.00	27.34	28.29	29.26	30.85	33.48	37.82	44.97	56.77	76.21

ตารางที่ 4.5 แสดงการหาค่า x, y โดยสมมติ  $\psi = 0.67 \text{ ๓}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

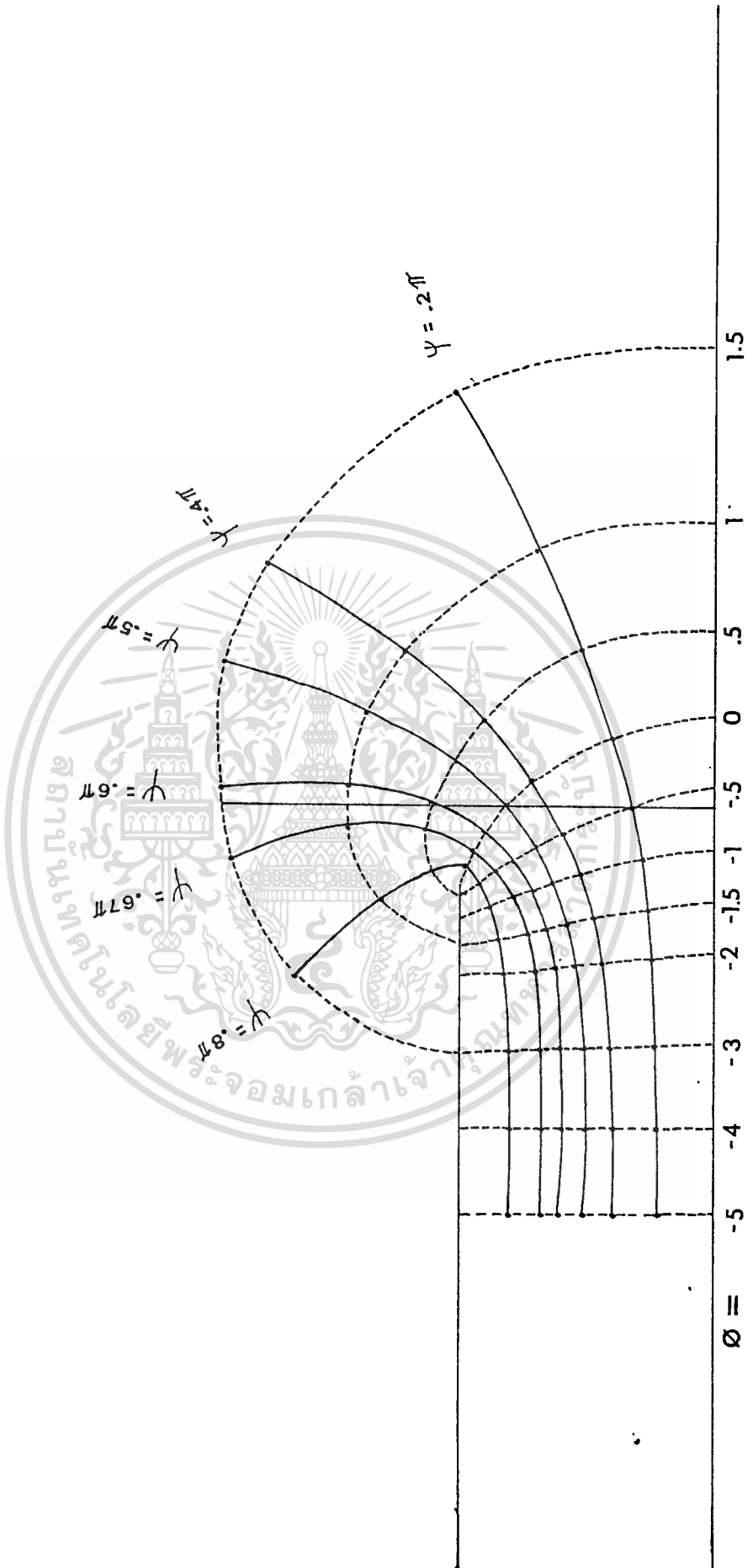
$\phi$	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0	0.5	1.0	1.5
x มม.	-63.73	-51.11	-38.71	-26.85	-21.39	-16.52	-12.61	-10.30	-10.61	-15.26	-27.06
y มม.	32.05	32.13	32.37	33.01	33.66	34.75	36.53	39.48	44.33	52.34	65.54

ตารางที่ 4.6 แสดงการหาค่า x, y โดยสมมติ  $\psi = 0.8 \pi$



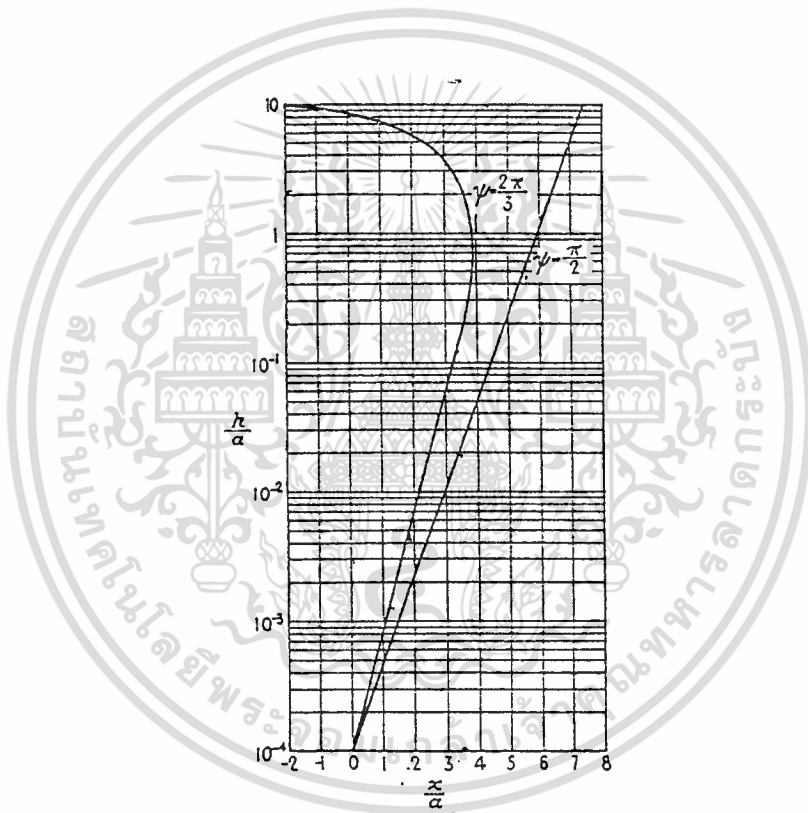
รูปที่ 4.1 แสดงการกำหนดค่าแทนระหว่าง FINITE PLANE กับ INFINITE PLANE  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้ในด้านการค้า

รูปที่ 4.2 แสดงเส้นแรงเฉือนและเส้นสัมผัสเท่าที่ขอบของ FINITE PLANE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

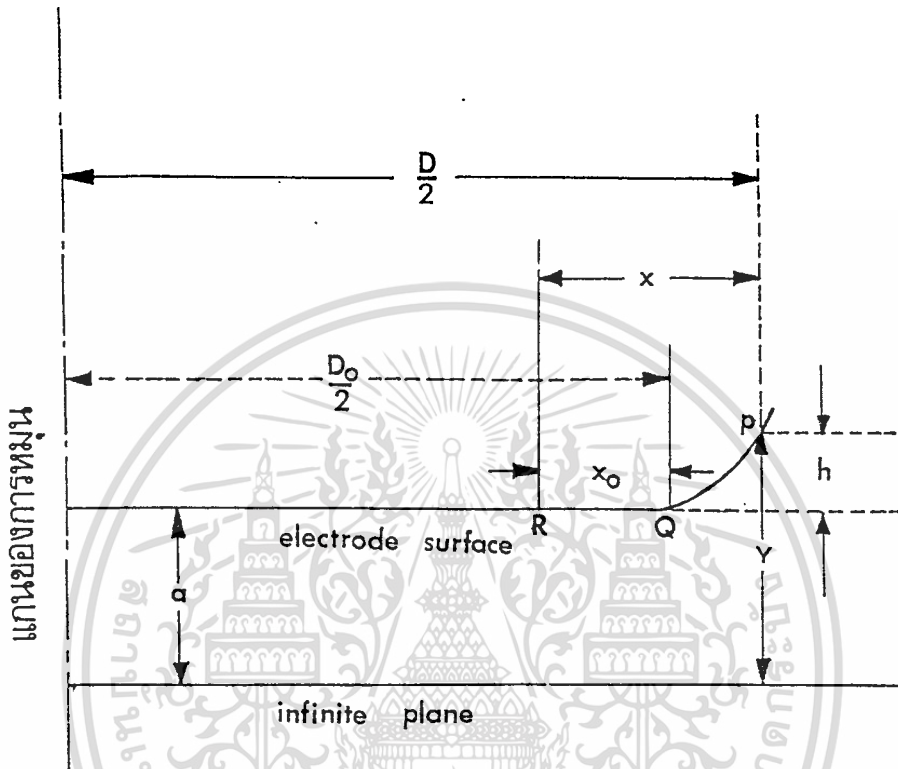
จากการคำนวณของสมการ Maxwell แล้วนำไปพล็อตค่า  $x, y$  ลงในกราฟ เราจะเห็นรูปค่า  $\psi$  ในลักษณะต่าง ๆ การวิเคราะห์รูปเส้นกราฟของค่า  $\psi$  แล้ว เราจะได้ค่า  $\psi$  ที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ นั้น ค่า  $\psi$  ต้องมีค่าน้อยกว่า  $(\pi/2)$  แต่ในการออกแบบจะต้องเลือกค่า  $\psi$  ที่เหมาะสมคือ สนามไฟฟ้าต้องสม่ำเสมอและติดตั้งใช้งานสะดวก ในการออกแบบนี้ เราจึงเลือกค่า  $\psi = 120^\circ$  เพราะการติดตั้งใช้งานสะดวกและการ Machine ง่ายขึ้นได้ง่าย เมื่อได้ค่า  $\psi = 120^\circ$  แล้วเราจะนำค่า  $\psi$  นี้ไปออกแบบ โดยการให้ความสัมพันธ์ของ  $(h/a)$  และ  $(x/a)$  ของ Stoerk เพื่อที่จะให้การออกแบบได้ง่าย ความสัมพันธ์ของ Stoerk [18] มีดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของ Stoerk

- เมื่อ  $h$  คือ ความสูงของจุด ๆ หนึ่งบริเวณที่เป็นส่วนโค้ง  
 $a$  คือ ระยะห่างระหว่าง Flat Central Portion กับ Infinite Plane  
 $x$  คือ ระยะทางวัดในทิศทางของ Infinite Plane ไปถึงจุดพิจารณา  $p$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการทำ Surface Profile ของ Rogowski Electrode

- เมื่อ  $D$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมที่เกิดจากการหมุนจุด  $P$  รอบแกนของการหมุน
- $D_0$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Flat Central Portion
- $x_0$  คือ ระยะห่างระหว่างจุด  $Q$  กับ  $R$  ซึ่ง  $x_0$  หาได้จากความสัมพันธ์ของ Stoerk.
- $y$  คือ ความสูงของ  $P$  เทียบ Infinite Plane

ในการออกแบบนี้ เราใช้ระยะระหว่าง Anode และ Cathode เท่ากับ 40 มม. ฉะนั้น  $a = 20$  มม. เราจะหาจุดเริ่มโค้งขึ้นของ Electrode โดยการสมมติให้  $h = 10^{-1}$  มม. เพื่อ

จะนำไปหาค่า  $(x_0/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์ของ Stoerk จะได้  $(x_0/a) = 1.7$  ฉะนั้น  $x_0 = 1.7 * 20 = 35 \text{ mm}$ . ในการหาจุด P เราสมมติให้  $h = 2.5 \text{ mm}$ . เพื่อให้เป็นระยะที่ห่างจาก  $h = 10^{-1} \text{ mm}$ . มาก ฉะนั้น เราจะหาค่า  $x$  จากความสัมพันธ์ของ Stoerk

สมมติให้  $h = 2.5 \text{ mm}$ .

$a = 20 \text{ mm}$ .

จะได้ค่า  $(h/a) = (2.5/20) = 1.25 \times 10^{-1}$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.3$

$x = 3.3 * 20 = 66 \text{ mm}$ .

จะได้จุด ๆ หนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 66 mm.

สมมติให้  $h = 5.0 \text{ mm}$ .

$a = 20 \text{ mm}$ .

จะได้ค่า  $(h/a) = (5.0/20) = 2.5 \times 10^{-1}$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

$x = 3.5 * 20 = 70 \text{ mm}$ .

สมมติให้  $h = 7.5 \text{ mm}$ .

$a = 20 \text{ mm}$ .

จะได้ค่า  $(h/a) = (7.5/20) = 3.76 \times 10^{-1}$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(h/a) = 3.8$

$x = 3.8 * 20 = 76 \text{ mm}$ .

จะได้จุด ๆ หนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 76 mm.

สมมติให้  $h = 10.0 \text{ mm}$ .

$a = 20 \text{ mm}$ .

จะได้ค่า  $(h/a) = (10.0/20) = 5 \times 10^{-1}$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

$$\text{จะได้ค่า } (x/a) = 3.8$$

$$x = 3.8 * 20 = 76 \text{ mm.}$$

จะได้จุด ๆ หนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 76 mm.

$$\text{สมมติ } h = 12.5 \text{ mm.}$$

$$a = 20 \text{ mm.}$$

$$\text{จะได้ค่า } (h/a) = (12.5/20) = 6.25 \times 10^{-1}$$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

$$\text{จะได้ค่า } (x/a) = 3.8$$

$$x = 3.8 * 20 = 76 \text{ mm.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 76 mm.

$$\text{สมมติให้ } h = 15 \text{ mm.}$$

$$a = 20 \text{ mm.}$$

$$\text{จะได้ค่า } (h/a) = (15/20) = 7.5 \times 10^{-1}$$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

$$\text{จะได้ค่า } (x/a) = 4$$

$$x = 4 * 20 = 80 \text{ mm.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 80 mm.

$$\text{สมมติให้ } h = 17.5 \text{ mm.}$$

$$a = 20 \text{ mm.}$$

$$\text{จะได้ค่า } (h/a) = (17.5/20) = 8.75 \times 10^{-1}$$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

$$\text{จะได้ค่า } (x/a) = 3.9$$

$$x = 3.9 * 20 = 78 \text{ mm.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 78 mm.

$$\text{สมมติให้ } h = 20 \text{ mm.}$$

$$a = 20 \text{ mm.}$$

$$\text{จะได้ค่า } (h/a) = (20/20) = 1$$

นำค่า (h/a) ที่คำนวณได้ ไปหาค่า (x/a) จากกราฟความสัมพันธ์

$$\text{จะได้ค่า } (x/a) = 3.8 \quad \text{มม.}$$

$$x = 3.8 * 20 = 76 \quad \text{มม.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 76 มม.

สมมติให้  $h = 22.5 \quad \text{มม.}$

$$a = 20 \quad \text{มม.}$$

$$\text{จะได้ค่า } (h/a) = (22.5/20) = 1.125$$

นำค่า (h/a) ที่คำนวณได้ ไปหาค่า (x/a) จากกราฟความสัมพันธ์

$$\text{จะได้ } (x/a) = 3.7$$

$$x = 3.7 * 20 = 74 \quad \text{มม.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 74 มม.

สมมติให้  $h = 30 \quad \text{มม.}$

$$a = 20 \quad \text{มม.}$$

$$\text{จะได้ค่า } (h/a) = (30/20) = 1.5$$

นำค่า (h/a) ที่คำนวณได้ ไปหาค่า (x/a) จากกราฟความสัมพันธ์

$$\text{จะได้ค่า } (x/a) = 3.7$$

$$x = 3.7 * 20 = 74 \quad \text{มม.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 74 มม.

สมมติให้  $h = 25 \quad \text{มม.}$

$$a = 20 \quad \text{มม.}$$

$$\text{จะได้ค่า } (h/a) = (25/20) = 1.25$$

นำค่า (h/a) ที่คำนวณได้ ไปหาค่า (x/a) จากกราฟความสัมพันธ์

$$\text{จะได้ค่า } (x/a) = 3.8$$

$$x = 3.8 * 20 = 76 \quad \text{มม.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 76 มม.

สมมติให้  $h = 27.5 \quad \text{มม.}$

$$a = 20 \quad \text{มม.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่า  $(h/a) = (27.5/20) = 1.375$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.7$

$x = 3.7 * 20 = 74$  มม.

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 74 มม.

สมมติให้  $h = 32.5$  มม.

$a = 20$  มม.

จะได้ค่า  $(h/a) = (32.5/20) = 1.625$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.5$

$x = 3.5 * 20 = 70$  มม.

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 70 มม.

สมมติให้  $h = 40$  มม.

$x = 20$  มม.

จะได้ค่า  $(h/a) = (40/20) = 2.0$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.5$

$x = 3.5 * 20 = 70$  มม.

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 70 มม.

สมมติให้  $h = 35$  มม.

$x = 20$  มม.

จะได้ค่า  $(h/a) = (35/20) = 1.75$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.7$

$x = 3.7 * 20 = 74$  มม.

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 74 มม.

สมมติให้  $h = 37.5$  มม.

$$a = 20 \text{ mm.}$$

จะได้ค่า  $(h/a)$   $37.5/20) = 1.875$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.55$

$$x = 3.55 * 20 = 71 \text{ mm.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 71 mm.

สมมติให้  $h = 42.5 \text{ mm.}$

$$a = 20 \text{ mm.}$$

จะได้ค่า  $(h/a) = (42.5/20) = 2.125$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.5$

$$x = 3.5 * 20 = 70 \text{ mm.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 70 mm.

สมมติให้  $h = 45 \text{ mm.}$

$$a = 20 \text{ mm.}$$

จะได้ค่า  $(h/a) = (45/20) = 2.25$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.5$

$$x = 3.5 * 20 = 70 \text{ mm.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 70 mm.

สมมติให้  $h = 47.5 \text{ mm.}$

$$a = 20 \text{ mm.}$$

จะได้ค่า  $(h/a) = (47.5/20) = 2.375$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.3$

$$x = 3.3 * 20 = 66 \text{ mm.}$$

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 66 mm.

สมมติให้  $h = 50$  mm.

$a = 20$  mm.

จะได้ค่า  $(h/a) = (50/20) = 2.5$

นำค่า  $(h/a)$  ที่คำนวณได้ ไปหาค่า  $(x/a)$  จากกราฟความสัมพันธ์

จะได้ค่า  $(x/a) = 3.2$

$x = 3.2 * 20 = 64$  mm.

จะได้อีกจุดหนึ่ง บนส่วนโค้งของ Electrode = 64 mm.

จากการคำนวณหาค่า  $x$  ทุกค่า เราสามารถหาค่า  $D$  ได้จากรูป

$$D/2 = D_0/2 - x_0 + x$$

$$D = D_0 - 2x_0 + 2x$$

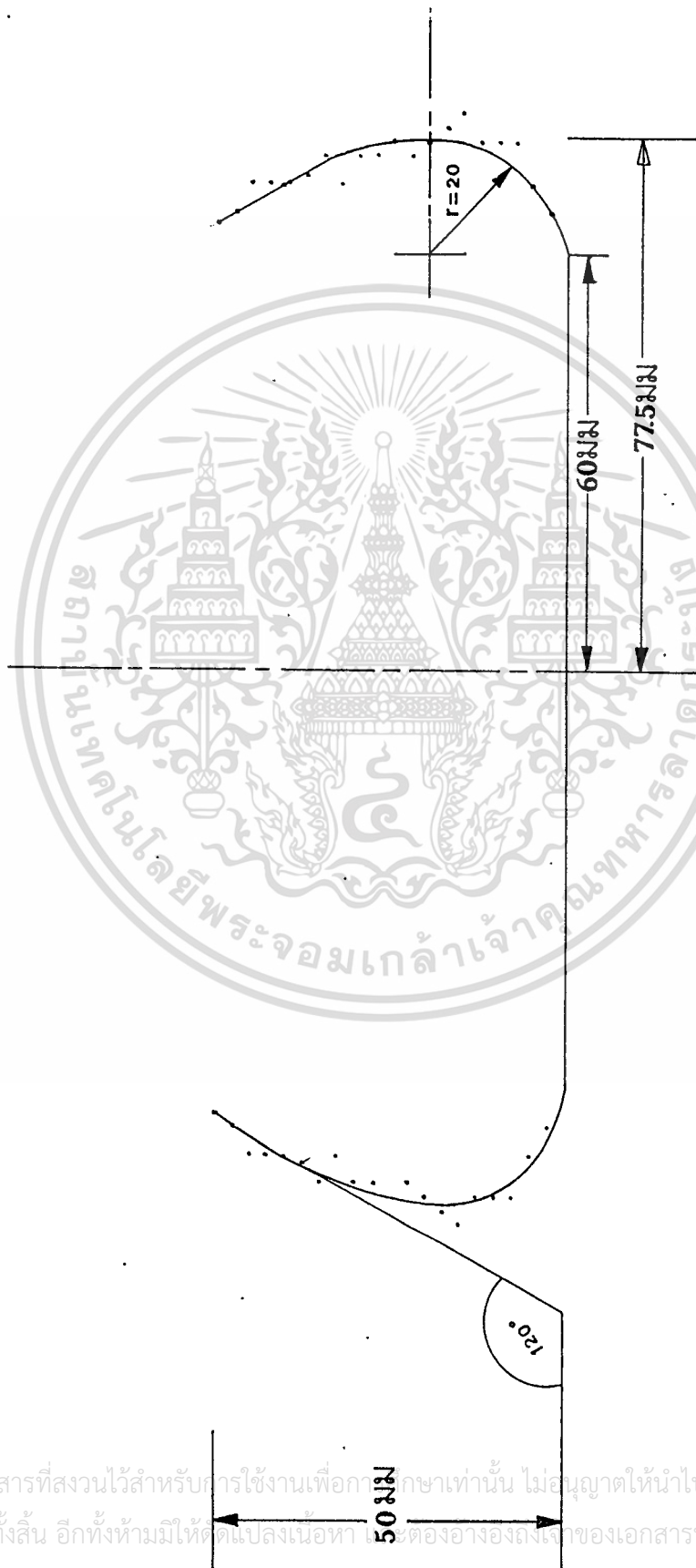
$$D = D_0 + 2(x-x_0) \quad (4.3)$$

ฉะนั้น เราสามารถหาค่าเส้นผ่าศูนย์กลาง ( $D$ ) ได้ โดยแทนค่า  $x$ ,  $x_0$ ,  $D_0$  จากการคำนวณ เมื่อใช้ค่า  $\psi = (2\pi)/3$  จะได้ Profile ที่มี Flat Central Portion เท่ากับ 120 mm. และ Straight Portion ทำมุม  $120^\circ$  กับ Electrode Surface จาก Profile  $\psi = (2\pi)/3$  จะเกิด Spark ที่ตรงกลางของ Electrode ก่อนเสมอ ในขอบส่วนโค้งของ Electrode จะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นน้อยมากและการติดตั้งใช้งานได้ง่ายกว่าค่า คำนวณอื่น ๆ Electrode ที่ออกแบบขึ้นสามารถใช้ศึกษาการเกิด Breakdown และการหา Townsend's First Ionization

h mm.	h/a	x/a	$x_n = x$ mm.	$x - x_o$ mm.	$2(x-x_o)$	+D <sub>o</sub> = D mm.
2.5	$1.25 \cdot 10^{-1}$	3.3	66	31	62	132
5.0	0.25	3.5	70	35	70	140
7.5	0.376	3.8	76	41	82	152
10.0	0.5	3.8	76	41	82	152
12.5	0.625	3.8	76	41	82	152
15	0.75	4	80	45	90	160
17.5	0.875	3.9	78	43	86	156
20	1	3.8	76	41	82	152
22.5	1.125	3.7	74	39	78	148
30	1.5	3.7	74	39	78	148
25	1.25	3.8	76	41	82	152
27.5	1.375	3.7	74	39	78	148
32.5	1.625	3.5	70	35	70	140
40	2.0	3.5	70	35	70	140
35	1.75	3.7	74	39	78	148
37.5	1.875	3.55	71.0	36	72	142
42.5	2.125	3.5	70	35	70	140
45	2.25	3.5	70	35	70	140
47.5	2.375	3.3	66	31	62	132
50	2.5	3.2	64	29	58	128

ตารางที่ 4.7 แสดงการหา Diameter ของจุดต่าง ๆ บน Profile ที่ลอกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดง PROFILE ของ ELECTRODE ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนประกอบที่เป็นฉนวน การออกแบบในส่วนนี้ วัสดุที่จะนำมาทำชิ้นส่วน หรือประกอบจะต้องมีคุณสมบัติทางด้านความต้านทานไฟฟ้า (Electricity Resistance) และคุณสมบัติต่าง ๆ ด้านเชิงกลตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ และอีกส่วนหนึ่งจะต้องคำนึงถึง คือ จะต้องเป็นวัสดุที่หาซื้อได้สะดวก (มีจำหน่ายในประเทศ) และราคาไม่แพงจนเกินไป ซึ่งส่วนประกอบที่เป็นฉนวนนี้ จะประกอบด้วยส่วนประกอบย่อย ๆ สามารถแบ่ง ได้ดังนี้

4.2.1 Tubular Nylon Bushing ชิ้นส่วนนี้ทำจาก Nylon โดยในลอนเป็นสารประกอบเทอร์โมพลาสติก ซึ่งมีกระบวนการทำให้ทนการกระทบแรงดึง และทนต่อแรงบิดม้วน ในช่องอุณหภูมิกว้างตั้งแต่ 3 ถึง 300 °C มีความทนต่อแรงดันได้สูง ความต้านทานจำเพาะเชิงผิวและปริมาตรสูงถึงแม้ว่าจะอยู่ในสภาพความชื้นมาเป็นเวลานานแล้วก็ตาม ทนต่อปฏิกิริยาทางเคมี หล่อหรือตบแต่งด้วยเครื่องเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย เหมาะที่จะใช้กับงานความถี่สูงและต้องการพลังงานสูญเสียเปล่าน้อย ในทางวิศวกรรมไฟฟ้ามักใช้ในลอนเป็นที่ผูกมัด ข้อต่อ แหวนรอง สายรัดเคเบิล สวิตช์ไฟบ้าน เป็นต้น ในลอนมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าประมาณ 15 ถึง 20 kV/mm ความต้านทานจำเพาะเชิงปริมาตรประมาณ  $10^{12}$  ถึง  $10^{16}$   $\Omega$ .mm. ค่าเปอร์มิตติวิตีประมาณ 4-14 ที่ 50 Hz และ 3.5-5 ที่ 1 MHz แพลตเตอร์พลังงานสูญเสียไดอิเล็กตริก 0.014 ถึง 0.10 ที่ 50 Hz และ 0.03 ถึง 0.13 ที่ 1 MHz โดยชิ้นส่วน ๆ นี้จะต้องประกอบอยู่ในแนวตั้งฉากกับ Chamber Lid หรือแนวขนานกับตัวถัง (Chamber Body) ส่วนการจับยึด หรือการประกอบนั้น จะใช้ระบบเกลียวเช่นกันโดยผิวที่ประกบกันจะมีการใช้ระบบซีล หรือประเก็นเหลวเป็นตัวประสานด้วย เพื่อป้องกันการรั่วซึมชิ้นส่วน ๆ นี้จะประกอบเข้ากับ Corona Shield, Brass Tube, Flange Connection และ Slot Nut โดยจะมีหน้าที่เป็นตัวฉนวนกันระหว่าง Chamber Lid กับ Anode ไม่มีการรั่วไหลของกระแสต่อกัน [2]

4.2.2 Silicone เป็นสารสังเคราะห์ของโพลิเมอร์ มีคุณสมบัติการยึดหยุ่นได้ดี และมีคุณสมบัติเยี่ยม ทางด้านไดอิเล็กตริกและทางกล ง่ายต่อการหล่อขึ้นรูปตามที่ต้องการ แม้แต่อุณหภูมิห้อง ทำเป็นฉนวนรูปต่าง ๆ ที่ต้องการใช้งานได้ดี ซึ่งส่วนมากจะมีการนำไปใช้ในงานด้านไฟฟ้าต่าง ๆ มาก เช่น หม้อแปลง, สวิตช์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ หรือจะนำไปใช้ในการประสานต่อเข้าด้วยกันระหว่าง Flange, Flange Connection และ Tubular Nylon Bushing เพื่อป้องกันการรั่วซึม Silicone ยังมีราคาที่ไม่แพงจนเกินไปสามารถหาซื้อได้ง่าย [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ส่วนประกอบที่มีหน้าที่เป็นตัวยึดติดชุดบุขึงด้านไฟฟ้าแรงสูง ในการออกแบบส่วนนี้จะใช้วัสดุที่ต้องมีความแข็งแรงไม่บิดงอง่าย ซึ่งส่วนประกอบในส่วนนี้สามารถแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ ได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 Flange ชิ้นส่วนนี้จะทำจากเหล็กเหนียว (ss-41) เป็นชิ้นส่วนออกแบบขึ้นมาเพื่อเป็นตัวยึดชุดบุขึงด้านไฟฟ้าแรงสูงให้ติดกับ Flange Connection โดยใช้ Screws (สลักเกลียว) เป็นตัวยึดจับทั้งจำนวน 8 ตัว ขนาดของสลักเกลียวมีขนาดเท่ากับ M6 \* 1 ซึ่งในส่วนนี้จะมี Silicone เป็นตัวช่วยปิดผนึกอีกทีหนึ่ง โดยชิ้นส่วน ๆ นี้จะประกอบเข้ากับ Tubular Nylon Bushing และ Flange Connection

4.3.2 Flange Connection ชิ้นส่วนนี้จะทำจากเหล็กเหนียว (ss-41) มีคุณสมบัติเหมือนกับชิ้นส่วน Flange ชิ้นส่วน ๆ นี้จะมีหน้าที่ยึดชุดบุขึงไฟฟ้าแรงสูงทั้งหมดให้ติดกับ Chamber Lid โดยใช้สลักเกลียวขนาด M6 \* 1 จำนวน 16 ตัว เป็นตัวยึด โดยผิวที่ประกบระหว่าง Flange Connection และ Chamber Lid จะต้องมีความเรียบสูง ซึ่งจะมีการใช้ Rubber Seal, O-Ring และปะเก็นเหลวมาเป็นตัวปิดผนึกหรือประสานให้ติดกันแน่นขึ้น เพื่อป้องกันการรั่วซึมอีกทีหนึ่ง ส่วนผิวด้านที่อยู่ติดกับ Tubular Nylon Bushing จะใช้ Silicone เป็นตัวช่วยปิดผนึกหรือรั่วซึมอีกทีหนึ่ง

4.3.3 Slot Nut ชิ้นส่วนนี้จะทำมาจากทองเหลือง ทำหน้าที่ยึด Brass Tube และ Tubular Nylon Bushing เข้าด้วยกันด้วยระบบเกลียว และผิวประกบจะใช้ปะเก็นเหลวเป็นตัวผนึกกันรั่วซึมอีกทีหนึ่งด้วย ส่วนด้านขอบหรือมุมของชิ้นส่วน ๆ นี้จะต้องมีการลบมุมเป็นส่วนโค้งรัศมีด้วยเพื่อป้องกันการเกิด Corona

4.4 ส่วนประกอบด้านที่เป็นช่องหน้าต่างสำหรับให้รังสีอัลตราไวโอเลตส่องทะลุผ่านไปยัง Anode และ Cathode ชิ้นส่วนในส่วนนี้จะออกแบบขึ้นมาตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ซึ่งจะมีส่วนประกอบย่อย ๆ ดังต่อไปนี้

4.4.1 Blanks Flange ชิ้นส่วน ๆ นี้ทำมาจากทองเหลือง เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อเป็นตัวยึด Glass Lens ให้ติดกับ Corona Shield โดยใช้สลักเกลียวขนาด M6 \* 1 จำนวน 8 ตัว เป็นตัวจับยึดให้ติดกัน ซึ่งผิวที่จะประกบกัน จะใช้ Rubber Seal และปะเก็นเหลวเป็นตัวปิดผนึก เพื่อป้องกันการรั่วซึมอีกทีหนึ่งด้วย

4.4.2 Glass Lens ชิ้นส่วนนี้จะทำจากแก้วเป็นสารอินทรีย์เทอร์โมพลาสติกประกอบด้วย ออกไซด์  $SiO_2$  ที่ซับซ้อน ค่าเปอร์มิตติวิตีมีค่าอยู่ในช่วง 3.5 ถึง 9 ความต้านทานจำเพาะมีตั้งแต่  $10^{13}$  ถึง  $10^{21}$   $\Omega \cdot cm$ . ค่าพลังงานสูญเสียเปล่าไดอิเล็กตริก 0.005 ถึง 0.01 ค่าพลังงานสูญเสียจะมีค่ามากที่สุดที่ความถี่ต่ำ ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 300 ถึง 500 kV/mm. ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เหลือครึ่งหนึ่งที่  $100^\circ C$  โดยชิ้นส่วน ๆ นี้จะประกอบเข้ากับ Corona Shield และ Blanks Flange ซึ่งจะใช้แก้วชนิดทนแรงอัดได้สูง (Safety Glass) และมีขนาดความหนาที่เหมาะสม คือ 6 mm.

## บทที่ 5

### การพัฒนาและออกแบบส่วนประกอบคาโทด

#### (DEVELOPMENT AND DESIGN OF CATHODE ASSEMBLY)

ในการออกแบบพัฒนาส่วนประกอบของคาโทด จุดนี้จะมีวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญและควรระวังเป็นอย่างยิ่งคือ

1. จะต้องไม่เกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าลงบนตัวถัง (CHAMBER BODY) หรือชุดรองรับ (SUPPORTPLATE) เป็นอันขาด
2. รอยต่อหรือประกบของชิ้นส่วนต่าง ๆ จะต้องไม่มีการเกิดการรั่วซึมของก๊าซทั้งภายในถังและภายนอกถังเข้ามาภายในถังได้เด็ดขาด โดยเฉพาะตามแนวแกนของชุด SPINDLE
3. การยึดหรือการติดตั้งต้องมีความแข็งแรงและมั่นคงไม่เกิดการบิดงอได้ง่าย เพราะจุดนี้จะเป็นจุดที่ใช้เป็นฐานในการปรับระยะห่างของคาโทดกับอานโนดที่ต้องการความละเอียดสูง (ประมาณ 0.01 มม.)
4. ในการประกอบและติดตั้งนั้นแนว CENTER LINE ของชุด CATHODE และ ANODE จะต้องอยู่ในแนวเดียวกันและผิวของชิ้นงานทั้งสองจะต้องขนานกันด้วย ซึ่งจากหลักการข้างต้นที่กล่าวมาแล้วนี้ เราจะนำมาใช้แนวทางในการออกแบบและพัฒนาส่วนประกอบคาโทดต่อไป สำหรับชุดประกอบคาโทดนี้จะประกอบและติดตั้งอยู่กับ CHAMBER LID โดยมีส่วนประกอบหลัก ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้
  - 5.1 ส่วนประกอบด้านตัวนำไฟฟ้า ในการออกแบบส่วนประกอบส่วนนี้ จะต้องคำนึงถึงการนำเอาวัสดุต่าง ๆ มาใช้ในการผลิตมากเป็นพิเศษ เพราะต้องตรวจสอบคุณสมบัติการนำไฟฟ้าจะต้องดี และมีค่าตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ และยังสามารถนำมาขึ้นรูปหรือแปรรูป (MACHINE) ได้ง่าย มีความแข็งแรง และยังสามารถทนการกัดกร่อนทางเคมีได้ดีพอสมควรด้วย ในส่วนประกอบด้านตัวนำไฟฟ้านี้จะประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยที่สามารถแยกได้เป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 CATHODE ชิ้นส่วนนี้จะทำมาจากทองเหลือง โดยมีรูปร่างในการออกแบบเหมือนกับ ANODE คือ กลึงให้มีรูป ROGOWSKI (ตามแบบที่กำหนด) ซึ่งชิ้นส่วนที่อยู่ตรงกลางจะต้องเป็นพื้นราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มี Flat Central Protion เท่ากับ 120 mm. และมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 155 mm. หลังจากกลึงเสร็จแล้วจะนำไปทำการขัดและนำไปเคลือบผิวทองเหลืองด้วยแพลตตินั่มหนา 0.0127 mm. บนเงินหนา 0.0127 mm. อย่างสม่ำเสมอตลอดเส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดและจากนั้นก็นำ ANODE ไปขัดละเอียด โดยเทคนิคมาตรฐาน หลังจากผ่านกรรมวิธีเรียบร้อยแล้ว CATHODE จะมีค่าสัมประสิทธิ์ทางการนำไฟฟ้า (ความต้านทานจำเพาะ) เท่ากับ  $0.098 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$  และ CATHODE จะถูกนำติดตั้งอยู่บน CATHODE SUPPORTOR ต่อไป

5.1.2 CATHODE SUPPORTOR ชิ้นส่วนนี้จะทำมาจากเหล็กเหนียว (SS-41) เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อเป็นตัวรองรับและสวมใส่ CATHODE ซึ่งเราสามารถถอดและใส่ CATHODE ได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วขึ้น (กรณีที่ต้องการเปลี่ยน CATHODE) โดยสามารถยื่นมือเข้ามาได้ทางด้านวงสี่เหลี่ยม (RECTANGULAR WINDOW) ซึ่ง CATHODE SUPPORTOR นี้จะถูกติดตั้งอยู่บน ADJUSTING SCREWS จำนวน 3 ตัว และจะยึดอยู่ด้วยระบบเกลียว

5.1.3 ADJUSTING SCREWS AND ADJUSTING NUTS ชิ้นส่วนนี้ทำมาจากเหล็กเหนียว (SS-41) เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบมาเป็นตัวจับยึด CATHODE SUPPORTOR ให้ติดกับ CATHODE SUPPORTOR (ADJUSTING) โดยตัว ADJUSTING SCREWS จะถูกทำให้เป็นเกลียวขนาด M8 \* 1.25 ยาวประมาณ 80 mm. จำนวน 3 ตัว ยึดติดห่างกัน 120 องศา สามารถปรับตั้งระยะของ CATHODE ให้ขึ้น-ลงตามแนวตั้งได้ประมาณ 60 mm. และยังใช้เป็นตัวปรับตั้งระดับการขนานกันระหว่าง CATHODE และ ANODE อีกด้วย

5.1.4 CATHODE SUPPORTOR (ADJUSTING) ชิ้นส่วนนี้ทำมาจากเหล็กเหนียว (SS-41) เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ยึดชุด CATHODE และ SPINDLE เข้าด้วยกัน และจะส่งถ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านไปยังส่วนอื่นต่อไปอีกด้วย ซึ่งในการประกอบเข้าด้วยกันของ ADJUSTING SCREWS, CATHODE SUPPORTOR (ADJUSTING) และ SPINDLE นั้นจะต้องมีการร่วมศูนย์ (CENTER LINE) ที่ตรงกัน โดยจะควบคุมจุดนี้ได้จากเทคนิคและกรรมวิธีในการผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้และชิ้นส่วน ๆ นี้ จะต้องมีความแข็งแรงไม่บิดงอเสียรูปทรง สามารถรับน้ำหนักของชุด CATHODE ทั้งหมดที่กล่าวมานี้ได้

5.1.5 SPINDLE ชิ้นส่วนนี้จะเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญเป็นอย่างมาก สำหรับส่วนประกอบจุดนี้เพราะว่าตัวถึงจะมีการร้าวซึมหรือไม่และชุด CATHODE จะเลื่อนขึ้น-ลงได้ระดับ (เป็นแนวตรง)หรือจะขึ้น-ลงยากหรือง่ายก็ขึ้นอยู่กับชิ้นส่วน ๆ นี้ ซึ่งจากจุด ๆ นี้สามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบ และควบคุมการผลิตและประกอบชิ้นส่วนนี้ด้วยความระมัดระวัง ชิ้นส่วน ๆ นี้จะทำจากเหล็กเหนียว (SS-41) ผ่านขบวนการเจียรนัยผิวให้เรียบ โดยเครื่องมือพิเศษและควบคุมขนาดอย่างใกล้ชิด ในการออกแบบชิ้นส่วน ๆ นี้จะต้องมี CENTER LINE ที่ตรง และมีความแข็งแรง ไม่บิดงอเสีสรูปง่าย ชิ้นส่วน SPINDLE นี้จะประกอบเข้ากับ CATHODE SUPPORTOR (ADJUSTING) และสวมผ่าน POLYETHYLENE SEAL, SLIDING BUSH และ GUIDE BUSH จะวางอยู่บน SUPPORT PLATE อีกทีหนึ่ง โดย SPINDLE สามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้ประมาณ 40 mm.

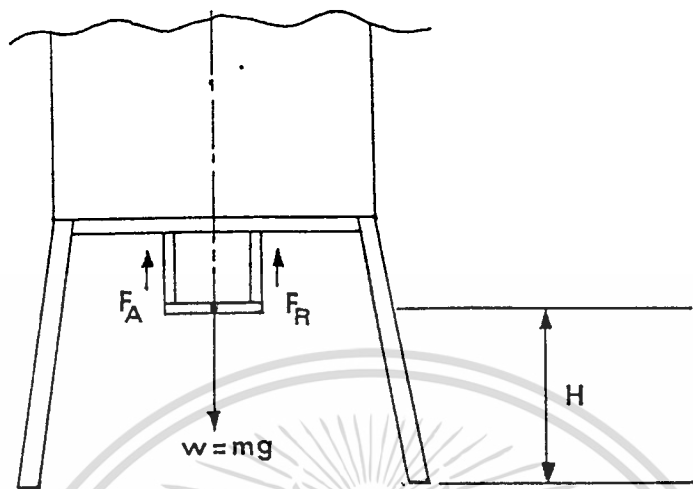
5.1.6 SUPPORT PLATE ชิ้นส่วนนี้ทำมาจากเหล็กเหนียว (SS-41) มีหน้าที่เป็นตัวรองรับแกน SPINDLE ทั้งหมด โดยชุด SUPPORT PLATE นี้จะถุกยึดด้วย ADJUSTED SCREWS ขนาด M 12 \* 0.8 ยาว 160 mm. จำนวน 1 ตัว โดยใช้ ADJUSTED NUTS เป็นตัวยึดและปรับตั้งระยะอีกทีหนึ่ง และชิ้น-ส่วน SUPPORT PLATE นี้จะต่อขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งไว้ เพื่อสำหรับเข้าชุดวัดกระแสหรือต่อลง Ground สำหรับจุดปลายด้านล่างสุดของ SUPPORT PLATE จะมีการเจียรนัยผิวให้เรียบ เพื่อที่จะใช้เป็นจุดสัมผัสเพื่อตรวจเช็คระยะต่าง ๆ ในการปรับตั้งอีกทีหนึ่ง

5.2 ส่วนประกอบที่เป็นฉนวน ในการออกแบบส่วนนี้จะต้องมีการตรวจสอบว่า วัสดุที่จะนำมาใช้ในการผลิตนั้นมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ตรงตามคุณสมบัติที่เราต้องการหรือไม่ และมีคุณสมบัติด้านเชิงกลที่เหมาะสม ซึ่งชิ้นส่วนหรือวัสดุเหล่านี้จะต้องสามารถหาซื้อได้สะดวก (มีจำหน่ายในประเทศไทย) โดยต้องมีราคาที่เหมาะสม ซึ่งส่วนประกอบย่อย ๆ ของจุดนี้เราสามารถแบ่งออก ได้ดังนี้

5.2.1 POLYETHYLENE SEAL (PE) ชิ้นส่วนนี้ทำจาก PE ซึ่งมีคุณสมบัติด้านความต้านทานไฟฟ้าจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป ชิ้นส่วนนี้ออกแบบขึ้นมาเพื่อเป็นฉนวนกันระหว่างชุด CATHODE กับ CHAMBER LID (BOTTOM SIDE) เพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าวไหลถึงกันได้ โดย POLYETHYLENE SEAL นี้จะยึดติดอยู่กับ COUPLING ที่ติดอยู่กับ CHAMBER LID และยึดอยู่บน SLIDING BUSH อีกทีหนึ่ง โดยมีแกน SPINDLE สวมผ่านตลอดทั้งงานทั้งสามชิ้นที่กล่าวมาแล้ว

5.2.2 DISTRENE ROD ชิ้นส่วนนี้จะทำจาก PE ทำหน้าที่เป็นฉนวนกันระหว่าง SPINDLE, GUIDE BUSH และ SUPPORT PLATE กับ CHAMBER LID. (BOTTOM SIDE) ไม่ให้เกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าถึงกันได้ โดยน้ำหนักทั้งหมดของชุด CATHODE (ส่วนประกอบทั้งหมด) จะถูกแขวนอยู่บน CHAMBER ด้วยแท่ง DISTRENE ทั้ง 3 แท่ง ซึ่งตัวแท่ง DISTRENE นี้ จะประกอบหรือยึดติดกับ HOLDER ROD ที่เชื่อมติดอยู่กับ CHAMBER LID และยึดชุด CATHODE ASSEMBLY ด้วย LOCK NUTS ที่ทำจากวัสดุ PE อีกทีหนึ่งซึ่งจากเงื่อนไขข้างต้นนี้ เราจะเห็นได้ว่าแท่ง DISTRENE จะมีการรับน้ำหนักที่มาก เพราะฉะนั้นในการออกแบบชิ้นส่วน ๆ นี้ จึงต้องมีการคำนวณหาขนาดของแท่ง DISTRENE เพื่อความเหมาะสมและปลอดภัยในการประกอบ โดยสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

5.2.2.1 การคำนวณขนาดของแท่ง DISTRENE ที่รองรับชุดปรับตั้งระยะของคาโทดสำหรับแท่ง DISTRENE เราจะใช้วัสดุที่ให้ค่าความต้านทานเท่ากับ  $10^{14}$  โอห์ม ในที่นี้เราจะใช้ โพลีเอทิลีน (POLYETHYLENE ; PE) เป็นวัสดุที่ใช้ทำ โดย PE เป็นสารเทอร์โมพลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษทางไฟฟ้า ทนต่อความชื้น และปฏิกิริยาเคมีได้สูง มีความต้านทานจำเพาะและความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าแรงสูงแม้แต่ความถี่สูง กระบวนการทำง่ายราคาไม่แพง โดยส่วนมากจะใช้นในงานด้านไฟฟ้ากำลังและงานสื่อสาร โดยเหตุที่กระบวนการผลิต PE มีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เพื่อเฉพาะกิจจึงอาจแบ่งออกเป็นประเภทตามความหนาแน่นมาก, น้อย, แบบเบา, ปานกลาง และแบบหนัก และยังอาจใช้กรรมวิธีผ่านรังสีแกมมาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการ อย่างไรก็ตามทุกชนิดมีความต้านทานจำเพาะสูงกว่า  $10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$ . ค่าเปอร์เซ็นต์มิติวี่ (50 Hz-1 MHz) เท่ากับ 2.3 และ  $\tan \delta$  เท่ากับ  $2 * 10^{-4}$  มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 20 ถึง 40 kV/mm. ทนอุณหภูมิได้ถึง 90 C ถ้า PE ที่ผ่านรังสีแกมมาจะมีค่าคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 70-100 kV/mm. แต่จะมี  $\tan \delta$  เท่ากับ  $5 * 10^{-4}$  [2], [4]



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดปรับตั้งระยะและทิศทางต่างๆ ของแรงที่กระทำต่อแท่งคิสตรีน

จากรูป 5.1 สามารถหาขนาดของแท่งคิสตรีน โดยคิดจากน้ำหนักของอุปกรณ์ที่แขวนอยู่บนชุดรองรับทั้งหมด เช่น ชุดคาโทด (CATHODE ASSEMBLY) ชุดเพลลา และ GUIDE ASSEMBLY เป็นต้น ซึ่งถูกแขวนติดอยู่กับตัวดึงแชนเบอร์ และสูงจากพื้นด้วยระยะ  $H$  เมื่อนำมาเขียนเป็นแผนภาพไดอะแกรมของแรง (ในสถานะสมดุล) จะได้ดังรูป 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงไดอะแกรมทิศทางของแรงต่าง ๆ (ในสถานะสมดุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาขนาดของน้ำหนักของอุปกรณ์ที่แขวนอยู่ในชุดรองรับ, W (โดยประมาณ)

จากภาพประกอบของชุดปรับตั้งระยะ ๆ นี้ จะเห็นได้ว่าจะมีการนำเอาวัสดุหลายชนิดมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนแต่ละส่วน ในการหาน้ำหนักเราจะแยกของชิ้นส่วนตามวัสดุที่นำมาใช้ทำ คือ

1) คาโชด ใช้วัสดุ คือ ทองเหลือง

$$\text{จากทฤษฎีความหนาแน่นของทองเหลือง} = 0.0087 \text{ g/mm}^3$$

(ส่วนผสม : ทองแดง 57 %, สังกะสี 40 %, อลูมิเนียม 2 % และ แมงกานีส 1 %)

จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น (D)} = \text{มวล (M) / ปริมาตร (V)}$$

ดังนั้นสามารถหาปริมาตรของคาโชด (โดยประมาณ) จากแบบสั่งงาน (DRAWING) ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของคาโชด} = \text{ปริมาตรของวัตถุดิบ} - \text{ปริมาตรส่วนที่ตัดออกไป (MACHINE)}$$

จากสูตร

$$\text{การหาปริมาตรของทรงกระบอก (V)} = (\pi/4) (d)^2 * L$$

เมื่อ  $d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางทรงกระบอก

$L$  = ความยาวของแท่งทรงกระบอก

$$\text{ปริมาตรของวัตถุดิบ} = (\pi/4) (155)^2 * 50 \text{ mm}^3$$

$$= 943,500 \text{ mm}^3$$

$$\text{ปริมาตรส่วนที่ตัดออกไป} = [(\pi/4) (90)^2 * 10] + [(\pi/4) (60)^2 * 30] + [(\pi/4) (132.5)^2 - 130^2] * 30]$$

$$= 63,600 + 84,800 + 15,500 \text{ mm}^3$$

$$= 163,900 \text{ mm}^3$$

$$\text{ปริมาตรของคาโชด} = 943,500 - 163,900 \text{ mm}^3$$

$$= 779,600 \text{ mm}^3$$

แทนค่าสูตร

$$\text{มวล} = \text{ความหนาแน่น} * \text{ปริมาตร}$$

$$= 0.0087 * 779,600 \text{ (g/mm}^3) * \text{mm}^3$$

$$= 6,782.5 \text{ g หรือ } 6.8 \text{ Kg}$$

$$\text{ดังนั้น น้ำหนักของคาโชด} = 6.8 \text{ Kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{หรือ} = 66.7 \text{ N}$$

$$(\text{เมื่อ } 1 \text{ Kg} = 9.81 \text{ N})$$

2) ชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กหรือเหล็กกล้า

$$\text{จากทฤษฎีความหนาแน่นของเหล็กหรือเหล็กกล้า} = 0.00786 \text{ g/mm}^3$$

ชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กหรือเหล็กกล้า จะมีหลายชิ้น คือ

2.1 ชุดเพลาลูก (SPINDLE) ทรงกระบอก  $\phi$  20 mm. ยาว 365 mm.

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร} &= (\pi/4)(20)^2 * 365 \text{ mm} \\ &= 114,700 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

2.2 ตัวรองรับของคาโทด (CATHODE SUPPORTOR)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร} &= [(\pi/4)(89)^2 * 11] - [(\pi/4)(40)^2 * 11] + \\ &\quad [(\pi/4)(59)^2 * 29] - [(\pi/4)(40)^2 * 29] \\ &\quad + (\pi/4)(8)^2 * 11 * 30] \text{ mm}^3 \\ &= (68,400 - 13,300) + (79,300 - 36,400) - (1,650) \text{ mm}^3 \\ &= 97,500 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

2.3 ตัวรองรับคาโทดที่ปรับระยะได้ (CATHODE SUPPORTER, ADJUSTMENT)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร} &= [(\pi/4)(90)^2 * 12] + [(\pi/4)(30)^2 * 38] - \\ &\quad [(\pi/4)(10.5)^2 * 12 * 30] - [(\pi/4) * \\ &\quad (12)^2 * 20] \text{ mm}^3 \\ &= 97,820 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

2.4 ชุดปรับตั้งหัวคาโทด (ADJUSTMENT SCREWS AND NUTS)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร} &= \{[(\pi/4)(10)^2 * 80 * 3] + [(\pi/4)(25)^2 * \\ &\quad 9] - [(\pi/4)(10)^2 * 9]\} * 6 \\ &= 41,000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

2.5 ชุดปลอกนำเลื่อน (GUIDE BUSH), (SLIDING BUSH)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร} &= [(\pi/4)(56)^2 - 20^2] * 170] + \\ &\quad [(\pi/4)(120^2 - 50^2) * 10] \\ &= 392,640 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 แผ่นรองรับ (SUPPORT PLATE)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร} &= [(\pi/4)(260)^2 * 9] - [(\pi/4)(50)^2 * 9] - \\ & \quad [(\pi/4)(26)^2 * (9)] - [(\pi/4)(36)^2 * 9 * 3] \\ &= 412,170 \quad \text{mm.}^3 \end{aligned}$$

## 2.7 แผ่นรองชุดเพลาลอน (SUPPORT PLATE)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร} &= [(\pi/4)(120)^2 * 10] + [(\pi/4)(30)^2 * 8] + \\ & \quad [(\pi/4)(20)^2 * 6] \\ &= 128,970 \quad \text{mm.}^3 \end{aligned}$$

## 2.8 ชุดปรับตั้งเพลาลอน (ADJUSTMENT SCREWS AND NUTS)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร} &= [(\pi/4)(10)^2 * 160] + [(\pi/4)(3.5-1.6)^2 * \\ & \quad 32] - [(\pi/4)(35)^2 * 12] \quad \text{mm.}^3 \\ &= 10,088 \quad \text{mm.}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้นปริมาตรรวมทั้งหมดของชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กหรือเหล็กกล้า

$$\begin{aligned} &= 114,630 + 95,850 + 97,820 + 41,00 + \\ & \quad 392,640 + 412,170 + 128,970 + 10,088 \\ &= 1,293,168 \quad \text{mm.}^3 \end{aligned}$$

จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{มวล} &= \text{ความหนาแน่น} * \text{ปริมาตร} \\ &= 0.00786 * 1,293.168 \quad (\text{g/mm.}^3) * \text{mm.}^3 \\ &= 10,164.30 \quad \text{g หรือ } 10.16 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

ดังนั้นน้ำหนักรวมทั้งหมดของชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็กหรือเหล็กกล้า

$$= 10.16 \quad \text{Kg}$$

หรือเปลี่ยนหน่วยเป็น นิวตัน (N) จะได้

$$\begin{aligned} W &= m * g \\ \text{เมื่อ } 1 \quad \text{Kg} &= 9.81 \quad \text{N} \\ W &= 10.16 * 9.81 \\ &= 99.66 \quad \text{N} \end{aligned}$$

## 3) ชิ้นส่วนที่ทำจากโพลีเอทีลีน

จากทฤษฎีความหนาแน่นของโพลีเอทีลีน = 0.00096 g/mm<sup>3</sup>

หาปริมาตรของชิ้นส่วนรองรับที่เป็นฉนวนไฟฟ้า (DIELECTRIC SUPPORT)

$$\begin{aligned}
 &= [(\pi/4) * (110-56)^2 * 12] + [(\pi/4) * \\
 &(80-56)^2 * (78)] + [(\pi/4) * (8-2)^2 * \\
 &(3)] + [(\pi/4) * (50-20)^2 * (50)] - \\
 &[(\pi/4) * (6)^2 * 12 * 6] \text{ mm.}^3 \\
 &= 506,190 \text{ mm.}^3
 \end{aligned}$$

แทนค่าสูตร

$$\begin{aligned}
 \text{มวล} &= \text{ปริมาตร} * \text{ความหนาแน่น} \\
 &= 0.00096 * 506,190 \text{ (g/mm.}^3) * \text{mm.}^3 \\
 &= 485.94 \text{ g} \\
 &= 0.49 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

เปลี่ยนหน่วยเป็นนิวตัน (N) จะได้

$$\begin{aligned}
 &= 0.49 * 9.81 \text{ N} \\
 &= 4.8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นน้ำหนักรวมของชุดปรับตั้งระยะของคาโรตทั้งหมด

$$= 6.8 + 10.16 + 0.49 \text{ Kg}$$

หรือ แรงรวม = 171.18 N

หาแรงรวมที่กระทำต่อแท่งดีสตรีนทั้ง 3 แท่งในแนวตั้ง (F)

จากสูตร

$$\text{ความเค้นดึง } (\sigma) = \text{แรงดึงที่กระทำก่อนวัตถุ (F) / พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (A)}$$

หรือ  $\sigma = F/A$

เมื่อแท่งวัตถุมีหน้าตัดเป็นทรงกลม ดังนั้น  $A = (\pi/4)(d)^2$

และความเค้นแรงดึงของโพลีเอทีลีน = 9 N/mm<sup>2</sup>

ให้ค่าความปลอดภัย (SAFETY FACTOR, N) = 10

ค่าความเค้นแรงดึงที่ใช้ในการออกแบบ  $\sigma_u = \sigma/N$

		= 0.9 g/mm. <sup>2</sup>
แทนค่าสูตร	A	= F/σ <sub>u</sub>
	$(\pi/4)(d)^2$	= 171.18/0.9 N * (mm. <sup>2</sup> /N)
	d <sup>2</sup>	= 190.2 * (4/π) mm. <sup>3</sup>
	d <sup>2</sup>	= 242.21 mm. <sup>3</sup>
	d	= 15.56 mm. <sup>3</sup>
แท่งคิสตรีนมี 3 แท่ง		
	d	= 15.56/3 mm.
		= 5.18 mm.

ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งคิสตรีนต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 5.18 mm. ซึ่งในการจัดทำอุปกรณ์ขึ้นนี้ต้องคำนึงถึงมาตรฐานต่าง ๆ ของวัสดุที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ความเหมาะสมในการผลิต (MACHINE) และความสะดวกในการประกอบหรือติดตั้งชิ้นงานมาใช้ประกอบในการตัดสินใจเลือกใช้ขนาดของวัสดุด้วย

5.2.3 LOCK NUTS ชิ้นส่วนนี้ทำจากโพลีเอทิลีน เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อเป็นตัวยึดติดชิ้นงานระหว่างชุด SUPPORT PLATE ของ CATHODE ASSEMBLY ให้ติดกับ DISTRENE ROD ทั้ง 3 แท่ง โดยที่ LOCK NUTS จะมีขนาดเกลียวเท่ากับ M 24 \* 3 จำนวน 6 ตัว ซึ่ง LOCK NUTS จะเป็นตัวปรับระยะของ SUPPORT PLATE ให้ได้ระยะที่ต้องการ (ตามแบบ) อีกด้วย

5.3 ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เป็นตัวเลื่อน และปรับตั้งระยะเลื่อนขึ้น-ลงของชุด CATHODE ในการออกแบบส่วนประกอบส่วนนี้ จะต้องคำนึงถึงขนาดและความเรียบของปลอกนำเลื่อนเป็นสิ่งสำคัญ เพราะว่า ชุดปลอกนำเลื่อนจะต้องสวมผ่านแกน (SPINDLE) และจะมีการเลื่อนขึ้น-ลง ขณะที่ทำการทดลองเพราะฉะนั้น ถ้าขนาดของรูสวมไม่อยู่ในพิสัย (ตามแบบ) และผิวไม่เรียบจะทำให้มีปัญหา ในการทดลองได้ (ทำให้เลื่อนยาก) และอีกจุดหนึ่งที่ต้องระมัดระวังก็คือ ในการติดตั้งจะต้อง SET ให้ชุดปลอกนำเลื่อนมีเส้นผ่าศูนย์กลางตรงหรือร่วมศูนย์กลางกับชุด ANODE และแนวระดับในการติดตั้งต้องขนานกับแนวตั้งอีกด้วย ส่วนประกอบของชุดนี้ จะมีชิ้นส่วนย่อย ๆ สามารถแบ่งแยกได้ ดังต่อไปนี้

5.3.1 SLIDING BUSH ชิ้นส่วนนี้จะทำจากวัสดุ คือ เหล็กเหนียว (SS-41) เป็นชิ้นส่วนหลักที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อเป็นตัวที่ทำหน้าที่นำเคลื่อนของแกน SPINDLE ให้ขึ้น-ลง เป็นแนวตรง เพราะฉะนั้นชิ้นส่วน ๆ นี้จะต้องมีความแข็งแรงสูง เพื่อที่จะสามารถทำหน้าที่ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบไว้ในการผลิต ชิ้นส่วน ๆ นี้จะมีการเจาะร่องและตักบ่าไว้ เพื่อเป็นจุดสำหรับติดตั้งระบบซีลกันรั่วซึมในคราวต่อไป (ขั้นตอนที่จะประกอบ) SLIDING BUSH นี้จะประกอบหรือสวมเข้ากับ POLYETHYLENE SEAL โดยที่แกน SPINDLE สวมผ่านตลอด และจะติดตั้งหรือวางอยู่บน SUPPORT PLATE ซึ่งจะมี FLANGE และ SCREWS ขนาด M 6 \* 1 จำนวน 6 ตัว เป็นตัวจับยึดติดเข้าด้วยกัน ส่วนด้านปลายด้านล่างจะมี GUIDE BUSH ประกอบอยู่อีกหนึ่งตัวจะสวมและยึดติดด้วย SCREWS ขนาด M 4 \* 0.7 จำนวน 6 ตัว สำหรับรอยต่อหรือรอยที่จะประกอบเข้ากับชิ้นส่วนต่าง ๆ นั้น จะมีการใช้ RUBBER SEAL และปะเก็นเหลวเป็นตัวปิดผนึกเพื่อป้องกันการรั่วซึมอีกครั้งหนึ่ง

5.3.2 GUIDE BUSH ชิ้นส่วนนี้จะทำจากเหล็กเหนียว (SS-41) เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อเป็นตัวประคองนำเคลื่อนร่องลงมาจาก SLIDING BUSH อีกทีหนึ่ง และภายในก็จะมีการเจาะร่องจำนวน 2 ร่อง เพื่อจุดสำหรับติดตั้งระบบซีลกันรั่วซึมที่อาจจะมีการรั่วลงมาตามแนวแกน SPINDLE อีกทีหนึ่งและชิ้นส่วน ๆ นี้ ก็จะต้องมีความแข็งแรงสูง เพื่อที่จะเป็นตัวบังคับแนวแกนให้อยู่ในแนวตรง และได้ระดับอีกด้วย ชิ้นส่วน GUIDE BUSH นี้จะติดตั้งอยู่กับด้านปลายด้านล่างของ SLIDING BUSH และมี SCREWS ขนาด M 4 \* 0.7 จำนวน 6 ตัว เป็นตัวยึดติดสำหรับรอยต่อต่าง ๆ ที่ประกอบเข้าด้วยกัน ก็จะใช้ปะเก็นเหลวเป็นตัวยึดปิดผนึกอีกชิ้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการรั่วซึมตามรอยต่อต่าง ๆ

5.3.3 ADJUSTED SCREWS AND NUTS ชิ้นส่วนนี้จะทำจากเหล็กเหนียว (SS-41) เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวปรับตั้งระยะการเคลื่อนขึ้น-ลง ของชุด CATHODE ASSEMBLY โดยจะมีระยะพิทช์ที่สามารถปรับตั้งได้ประมาณ 40 มม. ADJUSTED SCREWS จะมีลักษณะเป็นเกลียวขนาด M 12 \* 0.8 ยาวประมาณ 160 มม. (16 ซม.) จำนวน 1 ตัว จะมีการยึดติดหรือประกอบกันอยู่กับ SUPPORT PLATE ในการปรับ SPINDLE ให้เคลื่อนขึ้น-ลงนั้นจะใช้หลักการของเกลียวเป็นตัวบังคับ โดยมี ADJUSTED NUTS ขนาด M 12 \* 0.8 จำนวน 1 ตัว บังคับและสามารถล็อกตำแหน่งที่ต้องการได้ด้วย

5.4 ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เป็นตัวจับยึดและป้องกันการรั่วซึม ในการออกแบบส่วนประกอบส่วนนี้จะ วัตถุประสงค์เพื่อต้องการยึดหรือติดตั้งส่วนประกอบอื่น ๆ เข้ากับ CHAMBER BODY และ CHAMBER LID และในการยึดประกอบจะต้องไม่มีการรั่วซึมอีกด้วย โดยที่การประกอบบางจุดอาจจะต้องมีการ SET ค่าแรงให้แน่นนอนเพื่อให้ได้ระยะ CENTER LINE ที่ต้องการและในส่วนประกอบนี้จะประกอบไปด้วยชิ้น ส่วนย่อย ๆ ที่สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

5.4.1 COUPLING ชิ้นส่วนนี้จะทำจากเหล็กเหนียว (SS-41) เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อเป็นตัวยึดประกอบกันระหว่าง POLYETHYLENE SEAL ให้ติดอยู่กับ CHAMBER LID ด้านล่าง โดยจะเจาะรูผ่านตรงกลาง (CENTER LINE) ในการยึดติดกับ CHAMBER LID นั้นจะใช้การเชื่อมประสานโลหะโดยวิธีทางไฟฟ้า (ELECTRICAL WELDING METHOD) ส่วนการยึดติดกับ POLYETHYLENE SEAL จะใช้ระบบเกลียวขนาด M 50 \* 2 เป็นตัวยึด สำหรับรอยต่อที่จุดนี้จะใช้ประเก็นเหลวเป็นตัว ปิดผนึกเพื่อป้องกันการรั่วซึมอีกทีหนึ่ง ส่วนในแนวแกนกลางที่สัมผัสกับ SPINDLE ก็จะต้องติด O-RING ขนาดหนา 3 mm. เพื่อป้องกันการรั่วซึมอีกชั้นหนึ่งด้วย

5.4.2 HOLDER ROD ชิ้นส่วนนี้จะทำจากเหล็กเหนียว (SS-41) ทำหน้าที่เป็นตัวยึด DISTRENE ROD ให้อยู่ติดกับ CHAMBER LID โดยการยึดของชิ้นส่วนนี้จะยึดติดกับ CHAMBER LID ด้วยการใช้ประเก็นประสานส่วนโลหะทางไฟฟ้าในตำแหน่งที่ออกแบบไว้ ส่วนการยึดติดกับ DISTRENE ROD จะใช้ระบบเกลียวขนาด M 20 \* 2.5 เป็นตัวยึด HOLDER ROD นี้จะมีทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งตำแหน่ง ในการติดตั้งจะมีระยะห่างเป็นมุม 120 บนแผ่น CHAMBER LID (ตามแบบที่กำหนดให้)

5.4.3 FLANGE ชิ้นส่วนนี้ทำจากเหล็กเหนียว (SS-41) ทำหน้าที่เป็นแผ่นรองรับเพื่อ ส่งถ่ายแรงในการกดยึดจาก SCREWS ขนาด M 6 \* 1 จำนวน 6 ตัว ให้เกิดการยึดติดกันระหว่าง POLYETHYLENE SEAL กับ SLIDING BUSH โดยที่รอยต่อระหว่างชิ้นงานทั้งสองจะใช้ประเก็น เหลวเป็นตัวยึดปิดผนึกเพื่อประสานกัน ป้องกันการรั่วซึมตามแนวแกนอีกทีหนึ่ง

5.4.4 O-RING AND SEAL เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันการรั่วซึมตามแนวแกน SPINDLE จุดนี้เป็นจุดที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของเครื่องนี้ เพราะว่า SPINDLE จะมีการเคลื่อนขึ้น-ลง ขณะทำการทดลองและภายในถัง (CHAMBER BODY) จะต้องมีสภาพเป็นสุญญากาศด้วย เพราะฉะนั้นการออกแบบเพื่อที่จะป้องกันการรั่วซึมที่จุดนี้ จึงมีการนำเอาระบบ SEAL หลาย ๆ ประเภท มีการประยุกต์ใช้เพื่อป้องกันการรั่วซึมให้ได้ ในที่นี้ผู้ออกแบบจะใช้ซีล 3 ชนิดมาประกอบหรือติดตั้งที่จุดนี้ คือ O-RING ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 20 มม., ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง O-RING เท่ากับ 30 มม., ROD SEAL ที่ทำจาก URETHANE ขนาด CODE NO. UHS-20 และใช้ URETHANE U-PACKING ขนาดตาม CODE NO. DH-20 มาใช้ในการติดตั้งเพื่อป้องกันการรั่วซึม

5.5 ส่วนประกอบของชุดวัดระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด ส่วนประกอบชุดนี้จะออกแบบขึ้นมาเพื่อเป็นตัววัดระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง คือ ANODE และ CATHODE ขณะที่ทำการทดลองและสามารถตรวจสอบค่าได้แม่นยำถึง 0.01 มม. โดยการใช้ VERNEER DEPTH GAUGE ขนาดความยาวขนาด 150 มม. เป็นตัวปรับและวัดระยะ ซึ่งส่วนประกอบของชุดนี้สามารถแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ ได้ดังนี้

5.5.1 SLIDE ROD AND HOLDER ROD ทำจากวัสดุเหล็กเหนียว (SS-41) เป็นชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อเป็นตัวนำเคลื่อนและปรับตั้งตำแหน่งของชุด VERNEER วัดระยะ โดย HOLDER ROD จะถูกเชื่อมยึดติดอยู่กับ CHAMBER LID และ SLIDE ROD จะยึดติดอยู่กับ HOLDER ROD อีกที่หนึ่งด้วยระบบเกลียวขนาด M 10 \* 1.5 มม. ซึ่ง HOLDER ROD จะมีความยาวประมาณ 380 มม. โดยสวมผ่าน SUPPORT PLATE (ไม่สัมผัสกัน) ลงไปด้านล่างเพื่อติดตั้งชิ้นส่วนอื่น ๆ ต่อไป

5.5.2 GUIDE BUSH AND LOCK NUT ชิ้นส่วนนี้จะทำจากเหล็กเหนียว (SS-41) ทำหน้าที่เป็นตัวเคลื่อนเพื่อปรับระยะในแนวตั้งให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ โดยมี LOCK NUT เป็นตัวจับยึดไว้อีกที GUIDE BUSH นี้จะประกอบหรือสวมใส่ที่เหมาะสม (ไม่แน่นจนเกินไป) สำหรับ LOCK NUT จะสวมใส่และยึดติดอยู่กับ GUIDE BUSH โดยระบบเกลียวขนาด M 6 \* 1

5.5.3 HOLDER BAR ชิ้นส่วนนี้จะทำจากเหล็กเหนียว (SS-41) ออกแบบขึ้นขึ้นมาเพื่อเป็นตัวจับยึดระหว่าง GUIDE BUSH และ HOLDER PLATE ชิ้นส่วน ๆ นี้จะต้องมีความแข็งแรงและไม่เกิดการบิดงอง่าย ในการจับยึดระหว่าง HOLDER BAR กับ GUIDE BUSH นั้น จะใช้การเชื่อมประสานทางไฟฟ้าเป็นตัวยึด ส่วนการยึดระหว่าง HOLDER BAR กับ HOLDER PLATE จะใช้ SCERWS ขนาด M 5 \* 0.8 จำนวน 2 ตัว เป็นตัวยึดจับให้ติดกัน

5.5.4 HOLDER PLATE ชิ้นส่วนนี้จะทำจาก BAKELITE มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบขึ้นมาก็เพื่อเป็นตัวยึดระหว่าง VERNEER DEPTH GAUGE และ HOLDER BAR ให้ติดกัน โดยให้มีจุดตรวจวัดของ VERNEER อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของ SUPPORT PLATE อีกทีหนึ่ง ในการจับยึดระหว่าง HOLDER PLATE นั้น จะใช้ SCREWS ขนาด M 5 \* 0.8 จำนวน 2 ตัวเป็นตัวจับยึด โดยหัว SCREWS ต้องฝังจมลงไปในเนื้อ BAKELITE เพื่อป้องกันการรั่วของกระแสไฟฟ้าจาก SUPPORT PLATE ผ่านมายัง VERNEER ลง GROUND ที่ตัวถัง สำหรับ BAKELITE นั้น เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี จึงสามารถป้องกันการรั่วของกระแสไฟฟ้าดังที่กล่าวมาแล้วได้เป็นอย่างดี

5.5.5 VERNEER DEPTH GAUGE เป็นเครื่องมือวัดละเอียดชนิดหนึ่งที่ค่าความละเอียดที่ต่ำกว่าไม่แพง สามารถนำมาติดตั้งและใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ VERNEER DEPTH GAUGE ขนาดความยาว 150 mm. ค่าความละเอียดสามารถอ่านได้ถึง 0.01 mm. โดย VERNEER จะถูกยึดติดกับ HOLDER PLATE ด้วย SCREWS ขนาด M 5 \* 0.8 จำนวน 2 ตัว ซึ่งจะติดตั้งให้มีแนวและจุดสัมผัสในการตรวจวัดอยู่ในศูนย์กลางของ SUPPORT PLATE (ตำแหน่งผิวต้องเรียบและตั้งฉากกับแนวการติดตั้งของ VERNEER)

## บทที่ 6

### การพัฒนาและออกแบบท่อสำหรับปั๊มอากาศ และท่อสำหรับใส่ก๊าซ

#### (Development and Design of Tube For Vacuum Pumping air and Tubes for Inlet outlet Gas)

ในการพัฒนาและออกแบบ ส่วนประกอบในส่วนนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ตามหัวข้อข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว คือ

6.1 ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเกิดสุญญากาศ (VACUUM)

6.2 ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเติมก๊าซเข้าภายในถังและถ่ายก๊าซออกจากภายในถัง (INLET-OUTLET GAS)

โดยทั้ง 2 ส่วนนี้จะมีวัตถุประสงค์หลัก ๆ ที่ควรระวังเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบ คือ

- 1) รอยต่อหรือรอยประกบกันของชิ้นส่วนย่อยต่าง ๆ จะต้องไม่มีการรั่วซึมของก๊าซเข้ามาภายในตัวถังหรือก๊าซภายนอกถังเข้ามาภายในถัง
- 2) คุณสมบัติของอุปกรณ์ย่อยที่จะนำมาประกอบหรือติดตั้ง จะต้องสามารถทนแรงอัดสุญญากาศ (VACUUM) ได้ตามวัตถุประสงค์และมีความแข็งแรงมั่นคงไม่เกิดความเสียหายขณะทำการทดลองจากวัตถุประสงค์ข้างต้นนี้ เราจะนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาส่วนประกอบ ในส่วนนี้ต่อไป

6.1 ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเกิดสุญญากาศ (VACUUM)

ส่วนประกอบของระบบนี้ จะประกอบติดอยู่กับที่ข้างตัวถังและจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหรือชิ้นส่วนย่อย ๆ ที่สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

6.1.1 ปั๊มสุญญากาศ (VACUUM PUMP) ปั๊มสุญญากาศ โดยทั่วไปจะมีทั้ง แบบคูด-อัด (Positive Displacement) และแบบคูดเหวี่ยง หรือไดนามิค (Non-Positive Displacement or Dynamic) ปั๊มแบบคูด-อัด จะมีขนาดของห้องอัดที่คงที่ เช่น ปั๊มแบบลูกสูบ, ปั๊มแบบโรตารีแวน, ปั๊ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบโหลบ (Lobe Rotor) และปั๊มแบบสกรู ส่วนปั๊มแบบคูดเหวียงจะทำการดูดอากาศ โดยวิธีการเปลี่ยนพลังงานศักย์ให้เป็นพลังงานจลน์ดูดอากาศจากระบบปั๊มพวกนี้ จะให้อัตราการไหลที่สูง แต่จะทำให้ระดับสูญญากาศไม่มากนัก ปั๊มแบบนี้ อาทิ เช่น ปั๊มแรงเหวียงแบบหลายสแตจและปั๊มรีเจนเนอเรทีฟ-โบลเวอร์ (Regenerative Blowers)

ในการเลือกใช้ปั๊มสูญญากาศ จะมีข้อพิจารณาอยู่หลายประการ ดังนี้

1) ค่าความต้องการสูญญากาศสูงสุดของระบบ สิ่งสำคัญสิ่งแรกในการเลือกใช้ปั๊มสูญญากาศ ก็คือ เปรียบเทียบการทำงานของปั๊มสูญญากาศกับความต้องการสูญญากาศสูงสุดของระบบถ้าหากต้องการค่าความเป็นสูญญากาศในระดับต่ำจะมีปั๊มให้เลือกใช้มาก แต่หากต้องการค่าความเป็นสูญญากาศในระดับสูง ๆ ก็ตรงกันข้ามจนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีให้เลือกก็ได้ ส่วนค่าความต้องการสูญญากาศสูงสุดของระบบก็จะหาได้จากทฤษฎี, ความต้องการหรือจาก CATALOGUE ของปั๊มหรือจากการคำนวณก็ได้ และเมื่อทราบค่าความต้องการสูญญากาศสูงสุดของระบบได้แล้ว ก็จะนำค่าที่ได้ไปเลือกใช้ปั๊มสูญญากาศกัน โดยปกติผู้ผลิตส่วนใหญ่จะบอกค่าสูญญากาศจำเพาะสูงสุด (MAXIMUM VACUUM RATING) ซึ่งเป็นปริมาณความดันที่ปั๊มจะนำออกไปจากระบบ เพื่อให้ระบบมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยจะบอกเป็นนิ้วปรอทหรือมิลลิเมตรปรอท (IN-Hg, MM-Hg) โดยขึ้นอยู่กับการทำงานด้วยว่าเป็นไปแบบต่อเนื่อง หรือเดิน ๆ หยุด ๆ ดังตารางที่ 6.1 ได้แสดงค่าสูญญากาศสูงสุดที่ปั๊มแต่ละแบบสามารถทำได้ ขณะเดินปั๊มอย่างต่อเนื่อง

ชนิดของบิ๊ม	ค่าสัมฤทธิอากาศจำเพาะสูงสุดเมื่อเดินบิ๊มอย่างต่อเนื่อง (นิ้วปรอท, $In - H_x$ )
1. โรตารีเวน (หลายสเตรจ)	29.5
2. ลูกสูบ	29.0
3. ไดอะแฟรม (สเตรจเดี่ยวและหลายสเตรจ)	29.0
4. ลูกสูบ (หลายสเตรจ)	28.5
5. โรตารีสกรู	28.5
6. โรตารีเวน (หล่อลื่นด้วยน้ำมัน)	28.0
7. โรตารีเวน (ไม่มีการหล่อลื่น)	26.0
8. โทลบโรเตอร์	15.0
9. รีเอนเนอเรทีฟ โบลเวอร์	7.0

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าสัมฤทธิอากาศของบิ๊มแบบต่าง ๆ

2) ค่าสัมฤทธิอากาศจำเพาะสูงสุดของบิ๊ม โดยปกติระดับสัมฤทธิอากาศที่สามารถทำได้ระดับน้ำทะเล คือ 29.92 นิ้วปรอท ซึ่งถือว่าเป็นค่าทฤษฎี แต่ในความเป็นจริงแล้ว เมื่อใช้งานบิ๊มจะทำให้สัมฤทธิอากาศได้ สูงสุด เพียง 93 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ของค่าทฤษฎีนี้คือประมาณ 28 ถึง 29.5 นิ้วปรอท เนื่องจากเกิดการรั่วไหลภายในและยังขึ้นอยู่กับชนิดของบิ๊มด้วย บิ๊มสัมฤทธิอากาศบางแบบหากได้มีการจัดให้มีการระบายความร้อนที่ดีอาจจะทำสัมฤทธิอากาศได้มากกว่าที่กำหนดได้ นอกจากนี้ค่าสัมฤทธิอากาศที่บิ๊มสามารถจะทำได้ยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่นำบิ๊มตัวนั้นไปติดตั้งด้วย หากความดันรอบ ๆ บิ๊มที่จุดนั้นต่ำกว่าค่าความดันบรรยากาศก็จะทำให้ค่าสัมฤทธิอากาศที่บิ๊มทำได้มีค่าต่ำลงด้วย ซึ่งจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{จากสูตร} \quad R_u = R_c (P_u) / P_u$$

$$\text{เมื่อ} \quad R_u = \text{ค่าสัมฤทธิอากาศจำเพาะสูงสุดที่บิ๊มสามารถทำได้}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_c = \text{ค่าสูญอากาศจำเพาะที่ปั๊มสามารถทำได้ (ผู้ผลิตกำหนดมา)}$$

$$P_u = \text{ค่าความดันบรรยากาศรอบ ๆ ปั๊มที่จุดใช้งาน}$$

$$P_m = \text{ค่าความดันบรรยากาศ}$$

ตัวอย่าง ปั๊มสูญอากาศตัวหนึ่งมีค่าสูญอากาศจำเพาะสูงสุด 28 นิ้วปรอท แต่ความดันบรรยากาศรอบ ๆ จุดใช้งานนั้นมีเพียง 26 นิ้วปรอท จากสูตรจะให้ค่าความดันบรรยากาศมาตรฐานเป็น 29.92 นิ้วปรอท

ดังนั้น ค่าสูญอากาศจำเพาะสูงสุดที่ปั๊มสามารถทำได้จะเท่ากับ

$$R_u = (28)(26)/29.92 \quad \text{นิ้วปรอท}$$

$$= 728/29.92 \quad \text{นิ้วปรอท}$$

$$= 24.33 \quad \text{นิ้วปรอท}$$

3) ค่าอัตราการดูดเอาอากาศออก (Air Flow Requirements) ของระบบสูญอากาศ คำนี้นี้จะหาได้จากผลรวมของปริมาตรของ Free Air ที่ต้องปล่อยออกจากระบบ ซึ่งค่านี้จะสามารถหาได้จากสูตร หรือ Catalogue ต่าง ๆ จากผู้ผลิตปั๊ม ส่วนค่าผลรวมของปริมาตร Free Air จะหาได้จากอัตราการดูดเอาอากาศออกที่ต้องการเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (Cfm.) เพื่อที่จะนำค่านี้ไปหาระยะเวลาในการทำสูญอากาศ ในระบบต่อไป

ในที่นี้เราจะเลือกปั๊มแบบโรตารีเวน (Rotary Vane Pumps.) ปั๊มแบบนี้จะมีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องอัดอากาศ (Air Compression Pumps) โดยปั๊มชนิดนี้ จะมีอัตราการดูดออกที่สูงมาก, ปั๊มจะมีขนาดกระทัดรัด, ค่าใช้จ่ายต่ำ และต้องการทอร์คสำหรับเริ่มเดินปั๊มต่ำ, ระดับความสิ้นเปลืองขณะเดินเครื่องและเสียงรบกวนต่ำมาก มีอัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ข้อดีอีกอย่างหนึ่งก็คือ สามารถทำสูญอากาศที่สูง ๆ ได้ในระยะเวลานั้น ดังนั้นจึงสามารถเดินปั๊มได้แบบเดิน ๆ หยุด ๆ ส่วนข้อจำกัดของการใช้ปั๊มแบบนี้ คือ เรื่องของอุณหภูมิ และการระบายความร้อน ความสามารถในการทำสูญอากาศ ของปั๊มแบบนี้ สดจะเฉลี่ยก็คือ 28 นิ้วปรอท แต่ถ้ามีการหล่อลื่น และระบายความร้อนที่ดียิ่งจะเพิ่มระดับสูญอากาศ ได้อีกประมาณ 1 นิ้วปรอท

6.1.2 วาล์วปิด-เปิดระบบสูญอากาศ (Shut-off Valve) อุปกรณ์ชนิดนี้ จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการปิด-เปิดการไหลของก๊าซ โดยภายในวาล์วจะมีซีลป้องกันการรั่วซึม ขณะที่วาล์วอยู่ในตำแหน่งปิด สำหรับอุปกรณ์ควบคุมชนิดที่จะใช้อยู่ 2 จุด คือ จุดควบคุม (ปิด-เปิด) ก๊าซสำหรับปล่อยก๊าซ

เข้า หรือออก ซึ่งวาล์วจุดที่จะต่ออยู่กับชุดกรองความชื้น (น้ำ) ของก๊าซอีกทีหนึ่ง สำหรับอีกจุดหนึ่ง คือ จุดควบคุม (ปิด-เปิด) การป้อนสุญญากาศ โดยวาล์วจุดนี้จะต่อเข้ากับสายยาง และป้อนสุญญากาศทำหน้าที่เป็นตัวปิด-เปิดระบบสุญญากาศ เช่น กรณีที่ป้อนสุญญากาศทำงาน (ปั๊ม) จนถึงจุดสุญญากาศที่ต้องการแล้ว จะทำการปิดวาล์ว เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของสุญญากาศกลับสู่ปั๊ม หรือภายนอกได้ สำหรับประเภทของวัสดุที่จะใช้ในการทำวาล์ว ควรใช้วัสดุประเภทที่ทนการกัดกร่อนได้ดีและทนแรงดันได้สูงเหมาะสำหรับของไหลที่เป็นก๊าซ วัสดุประเภทนี้ควรทำจากทองเหลืองหรือบรอนซ์เป็นต้น

6.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้แสดงค่าสุญญากาศ (Vacuum Gauge) เกจวัดค่าความเป็นสุญญากาศ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องนำมาใช้สำหรับวัดสมรรถนะของระบบ เกจวัดนี้ควรติดตั้งใกล้ ๆ กับช่องทางเข้าของปั๊ม เพราะจะทำให้อ่านค่า หรือทดสอบสมรรถนะของปั๊มได้ นอกจากนี้หากนำเกจไปติดตั้งที่ส่วนอื่น ๆ ของระบบยังสามารถบอกความบกพร่องของตัวกรองว่าสกปรกหรือตันแล้วหรือยังบอกถึงท่อหรือสายสุญญากาศบิดหรืองอหรือไม่ เกจยังเป็นอุปกรณ์ง่าย ๆ ที่ใช้หาความผิดปกติในระบบ ถ้าหากเราอ่านค่าที่เกิดขึ้นเป็นปกติแต่ในระบบยังมีจุดบกพร่อง แสดงว่าจะต้องมีจุดที่เกิดปัญหา ที่ระหว่างเกจวัดกับจุดที่ใช้ งาน แต่ค่าที่อ่านได้จากเกจต่ำกว่าปกติจะเป็นสิ่งที่แสดงว่าปั๊มทำงานได้ไม่สมบูรณ์ หรือมีจุดที่เกิดการรั่วไหลที่จุดใดจุดหนึ่งในระบบจึงควรที่จะหมั่นระวังถึงจุด ๆ นี้เป็นอย่างมาก สำหรับเกจวัดค่าสุญญากาศในที่นี้จะใช้ 2 แบบ คือ

6.1.3.1 เกจวัดความดันแบบเบอร์ดอน (Bourdon tube gauge) อุปกรณ์ชนิดนี้ นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าสุญญากาศ ที่นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางและถือได้ว่ามีประสิทธิภาพดี การวัดจะอาศัยหลักการ การเปลี่ยนรูป (Deformation) ของท่อเบอร์ดอน ที่มีลักษณะโค้งยึดหยุ่นได้ เมื่อต่อเข้ากับระบบสุญญากาศ ความโค้งของท่อจะเปลี่ยนไปมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับระดับสุญญากาศที่เกิดขึ้นในระบบ ข้อดีที่ต่อปลายท่อเบอร์ดอน จะส่งต่อการเปลี่ยนแปลงรูปของท่อไปเป็นอากาศเคลื่อนไหลของเข็มชี้บนหน้าปัดของเกจวัด นอกจากนี้เกจแบบท่อเบอร์ดอนยังใช้วัดค่าความดันที่มากกว่าความดันบรรยากาศ (Positive-Pressure) ได้อีกด้วย โดยการปรับที่ข้อต่อ

6.1.3.2 เกจวัดความดันสุญญากาศในระดับสูง (High Pressure Gauge) โดยทั่วไประบบสุญญากาศจะมีอยู่ 3 ระดับด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระดับหยาบ (Rough or Coarse) ความดันจะอยู่ในช่วง 28 นิ้วปรอท
- ระดับปานกลาง (Middle or Fine) ความดันจะอยู่ในช่วง 1 ไมครอน (0.001 ของทอร์)
- ระดับสูงมาก (High) ความดันจะมากกว่า 1 ไมครอน ความดันในระดับนี้จะถูกนำไปใช้งานที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์-ไมโครสโคป, สเปกโตรมิเตอร์สำหรับแยกมวล และเครื่องเร่งอนุภาค เป็นต้น

ในที่นี้เราได้ออกแบบหน้าแปลนไว้เพื่อจะใช้ High Vacuum Gage ต่อเข้ากับข้อต่อที่มีระบบซีลกันการรั่วซึมเข้ากับชุด Connecting ในด้านที่อยู่ใกล้กับเกจวัดความดันแบบเบอร์ดอนและมีสุญญากาศ (Vacuum Pump)

สำหรับหลักการทำงานของ High Vacuum Gauge นี้ จะใช้หลักการทางอิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้า และกัมมันตภาพรังสีเข้าช่วย ซึ่งจะสามารถอ่านค่าสุญญากาศได้สูงมาก (ประมาณ  $10^{-7}$  torr) และมีราคาที่สูงด้วย

6.1.4 ชุดข้อต่อสุญญากาศ (Connecting Set) ในการติดตั้งเกจวัดค่าสุญญากาศเข้ากับระบบ (Chamber Body) นั้นจะต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดยึดและต่อเข้ากับระบบ โดยจะต้องไม่มีการรั่วไหลตามรอยต่อ ดังนั้นจึงมีการนำเอาชุดข้อต่อสุญญากาศมาใช้งานในจุดนี้ สำหรับชุดข้อต่อสุญญากาศนี้จะสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ ได้ดังต่อไปนี้

6.1.4.1 ชุดหน้าแปลนทรงกระบอก (Flange with Long Tubulation) จะมีรูปร่างทรงกลมมีรูด้านใน อีกด้านหนึ่งจะเป็นรูปหน้าแปลนที่เรียบและเอียงเป็นมุมสำหรับใช้เข็มขัด (Clamp) มาประกอบ ซึ่งในการติดตั้งเกจวัดค่าสุญญากาศ จะใช้ชุดหน้าแปลนทรงกระบอกจำนวน 2 ตัวมาประกอบกันตามขนาดที่เหมาะสม

6.1.4.2 ชุด O-Ring แบบผสม (Centering Ring With O-Ring) อุปกรณ์ชิ้นนี้จะมีรูปร่างเป็นวงกลม โดยมีโลหะ (Aluminium) อยู่ตรงกลางจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดตำแหน่งศูนย์กลางระหว่างหน้าแปลนทั้งสองที่มาประกบกันและจะล้อมรอบด้วย O-Ring ที่ทำจากยาง จะทำหน้าที่ซีลป้องกันการรั่วไหล ขณะที่ประกอบกันอยู่โดยเข็มขัดรัด (Clamp) ในการติดตั้งเกจวัดจะใช้ O-Ring ชนิดผสมจำนวน 1 ตัว/เกจวัด 1 ตัว เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4.3 เข็มขัดรัด (Clamping Ring) จะทำจาก Aluminium ทำหน้าที่ยึดให้ชุดประกอบทั้ง 2 ชุดติดกันและบีบให้ติดสนิทป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ โดยจะใช้ชุดสกรูแบบปีกผีเสื้อเป็นตัวบีบและยึด

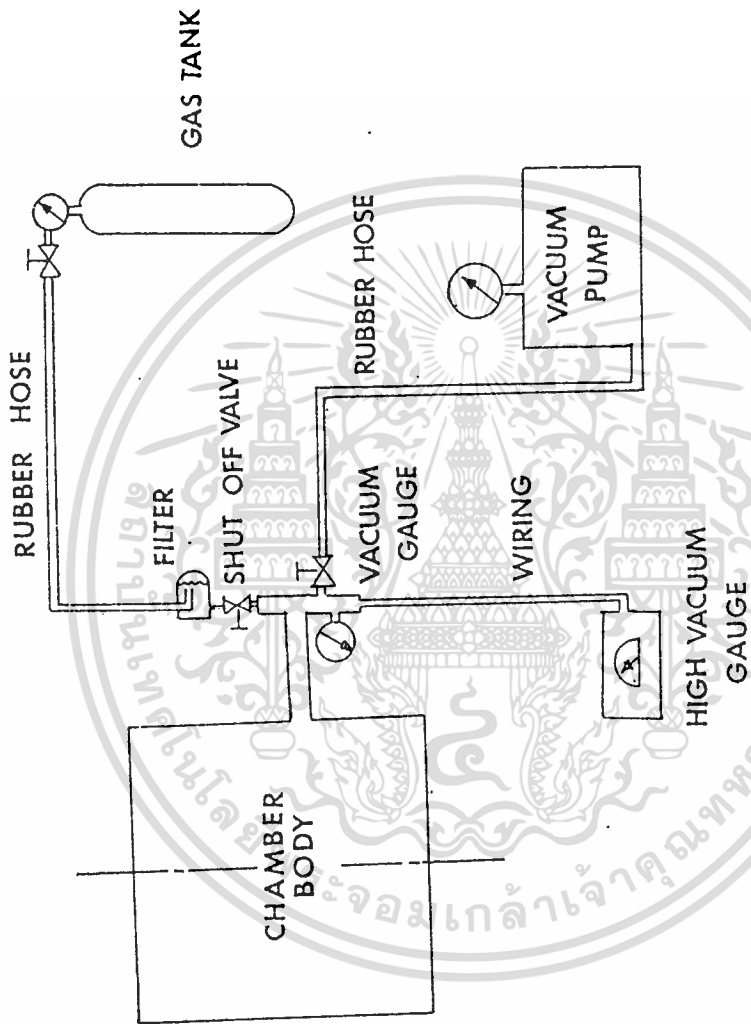
6.1.5 ท่อหรือสายสุญญากาศ (Rubber Hose) ในการเลือกใช้สายที่ต่อออกจากปั๊มไปยังตัวถัง (Chamber Body) ควรเลือกแบบที่ไม่หักงอได้ง่าย ได้แก่ ท่อยางหรือท่อพลาสติก และเพื่อให้เกิดแรงดันตกคร่อมน้อยที่สุด (ค่าสุญญากาศที่สูญเสียไป) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ และข้อต่อต่าง ๆ จะต้องเลือกให้สัมพันธ์กับค่าความต้องการ อัตราการดูดอากาศออกของระบบด้วยแรงที่ได้จากการทำงานของระบบสุญญากาศ เกิดจากการทำงานของปั๊ม แต่ถ้าหากระยะของท่อที่ใช้ต่อออกจากปั๊มไปยังตัวถังมีความยาวมากเกินไป หรือเกิดการรั่วไหลแล้วจะทำให้สมรรถนะของระบบสุญญากาศลดลง ดังนั้นจะต้องป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลของอากาศภายนอกเข้าสู่ระบบได้ที่ข้อต่อ, ซีลและสายต่อต่าง ๆ

6.2 ส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเติมก๊าซ เข้าภายในถังและถ่ายก๊าซออกจากถัง (Inlet-outlet Gas) ในการทดลองเกี่ยวกับเครื่อง Ionization Chamber นี้ วัตถุประสงค์หลัก คือ ทดสอบคุณสมบัติของก๊าซต่าง ๆ ทางไฟฟ้า เพราะฉะนั้นชิ้นส่วนประกอบในส่วนนี้จึงต้องมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เช่นกัน โดยก๊าซที่จะนำมาเติมใส่เข้าไปในถัง (Chamber Body) จึงจะต้องมีความสะอาดและบริสุทธิ์ไม่มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ไม่ว่าจะเป็นฝุ่นละอองหรือความชื้นในการเติมก๊าซเข้าไปจะต้องมีการควบคุมทั้งความดันและปริมาตรได้ ซึ่งจากหลักการและวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้ เราจะนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ในส่วนนี้ ซึ่งจะสามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ ได้ดังต่อไปนี้

6.2.1 ท่อยาง (Rubber Tube) ชิ้นส่วนนี้จะทำหน้าที่ต่อและส่งจ่ายก๊าซ ที่จะนำมาทดลองจากแหล่งจ่ายหรือแหล่งเก็บ (Tank) เข้าสู่ระบบคือ Chamber Body เหตุผลในการเลือกใช้ท่อยางนี้ เพราะท่อยางสามารถเคลื่อนย้ายและเก็บได้สะดวกไม่มีผล หรือปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซที่นำมาใช้ในการทดลอง ในการเลือกขนาดของท่อยางควรเลือกท่อยางที่มีขนาดที่เหมาะสม และมีความยาวไม่มากนัก (ควรใช้ท่อยางสำหรับก๊าซโดยเฉพาะ)

6.2.2 ตัวกรอง (Filter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับปรุงสภาพของก๊าซที่จะนำใส่เข้าไปใน Chamber Body และออกจาก Chamber Body ทั้งนี้ตัวกรองจะทำหน้าที่ดักสิ่งสกปรกหรือสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ไม่ให้ไหลผ่านเข้าสู่ถึง เช่น ฝุ่นทรายหรือวัสดุแปลกปลอมอื่น ๆ ในก๊าซ โดยไส้กรองจะมีอัตราการกรองได้สูงเป็นไมโครมิเตอร์ นอกจากนี้ตัวกรองชนิดนี้จะทำหน้าที่ดักความชื้นหรือของเหลวที่จะไหลเข้าไปภายในถังอีกด้วย จึงทำให้ก๊าซที่นำมาทดลองสามารถใช้ทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ และตรงตามวัตถุประสงค์ สำหรับวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นไส้กรองนั้น จะต้องไม่เกิดการอุดตันง่าย มีปริมาณการไหลของก๊าซที่ดี (รวดเร็ว) สามารถกำจัดความชื้นได้สูง และสามารถถอดเปลี่ยนได้สะดวก โดยวัสดุที่นำมาใช้จะใช้วัสดุประเภทไฟเบอร์กลาสส์ (Fiber Glass) หรือใช้แบบสีกหลาดหรือกระดาษก็ได้

6.2.3 วาล์วปิด-เปิด (Shut-off Value) อุปกรณ์ตัวนี้จะทำหน้าที่ปิด-เปิด เพื่อควบคุมการไหล เข้า-ออก ของก๊าซโดยวาล์วตัวนี้จะต่ออยู่หลังชุดกรองก๊าซ (Filter) ภายในตัววาล์วจะมีระบบซีลที่ป้องกันการรั่วไหลของก๊าซได้ดี วาล์วชนิดนี้จะทำจากวัสดุประเภททองเหลืองหรือบรอนซ์เพราะว่าวัสดุประเภทนี้จะมีคุณสมบัติทนการกัดกร่อน (ทางเคมี) และทนแรงดันได้สูง ซึ่งวาล์วประเภทนี้จะเหมาะสำหรับการใช้กับของไหลที่เป็นก๊าซด้วย



รูปที่ 6.1 แสดงระบบการต่อมัมสุญญากาศและท่อสำหรับใส่ก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### การทดสอบไอโวนในเซชันแชนเบอร์

การทดสอบไอโวนในเซชันแชนเบอร์ จะทำการทดสอบส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วนคือ

7.1 การวัดความดันในไอโวนในเซชันแชนเบอร์ ขณะที่แชนเบอร์ถูกปั๊มเอาอากาศออก โดย rotary vane vacuum pump ความดันเริ่มแรก คือ 1 บรรยากาศ absolute และจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในการทดสอบ เราจะเริ่มปั๊ม ตั้งแต่เวลา = 0 นาที (ในขณะนั้นความดันเป็น 1 บรรยากาศ) และจะหยุดปั๊ม เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลาประมาณครึ่งชั่วโมง ผลของการทดสอบแสดงในตารางที่ 7.1, 7.2

เวลา(วินาที)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
ความดัน(torr)	780	60	460	380	320	260	210	180	150	130	100	90	80	60	55	50

เวลา(วินาที)	85	90	95	100	105	110	115	120
ความดัน(torr)	45	40	35	30	25	20	20	20

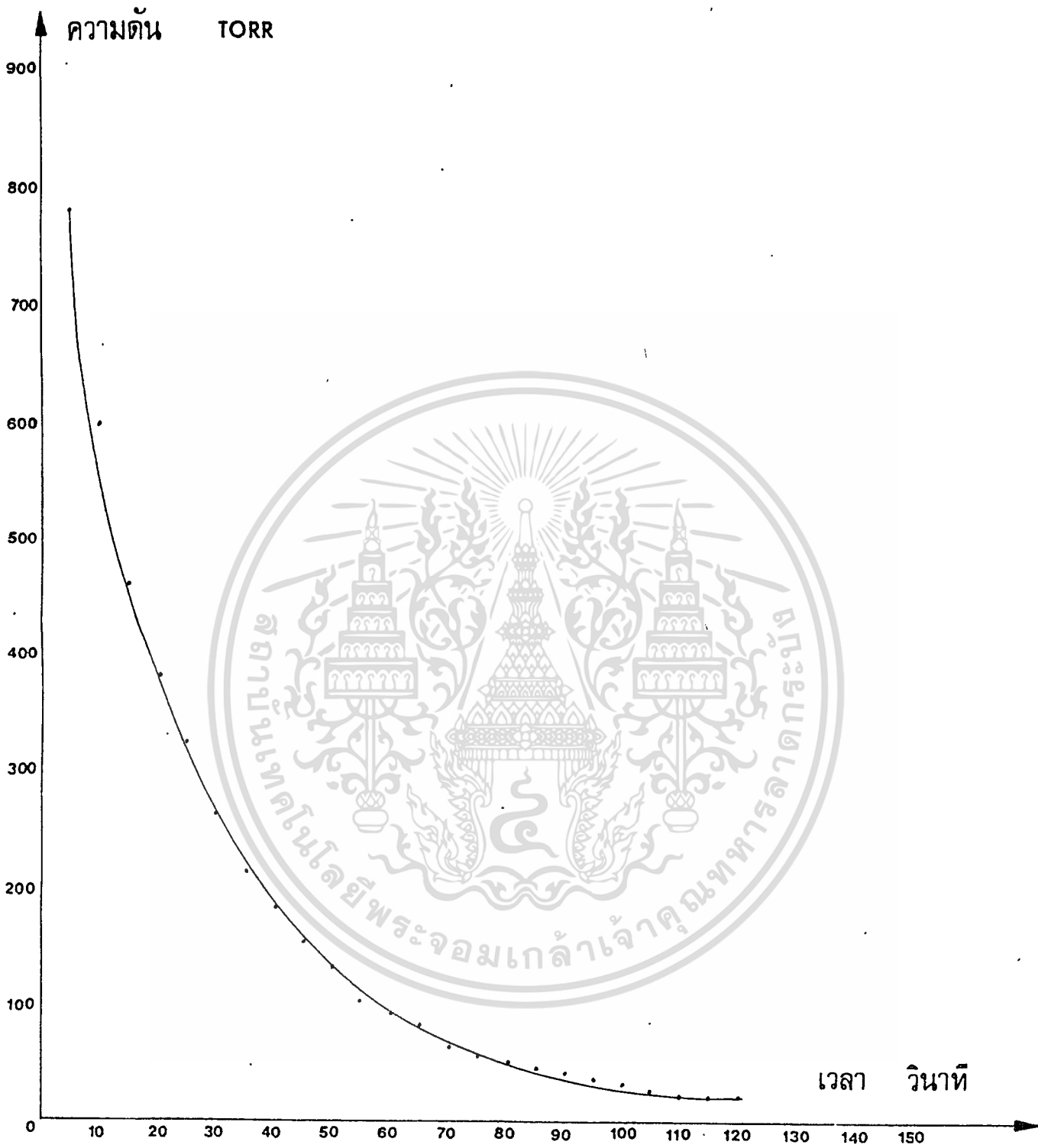
ตารางที่ 7.1 แสดงความดันในแชนเบอร์กับเวลาของการปั๊ม (วินาที)

เวลา(นาที)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ความดัน(torr)	20	17	15	15	14	14	13	12	12	11	10	10	9	8	8	7	7	6	6	5

เวลา(นาที)	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
ความดัน(torr)	5	4	4	3	3	2	2	1	1	0.8	0.5	0

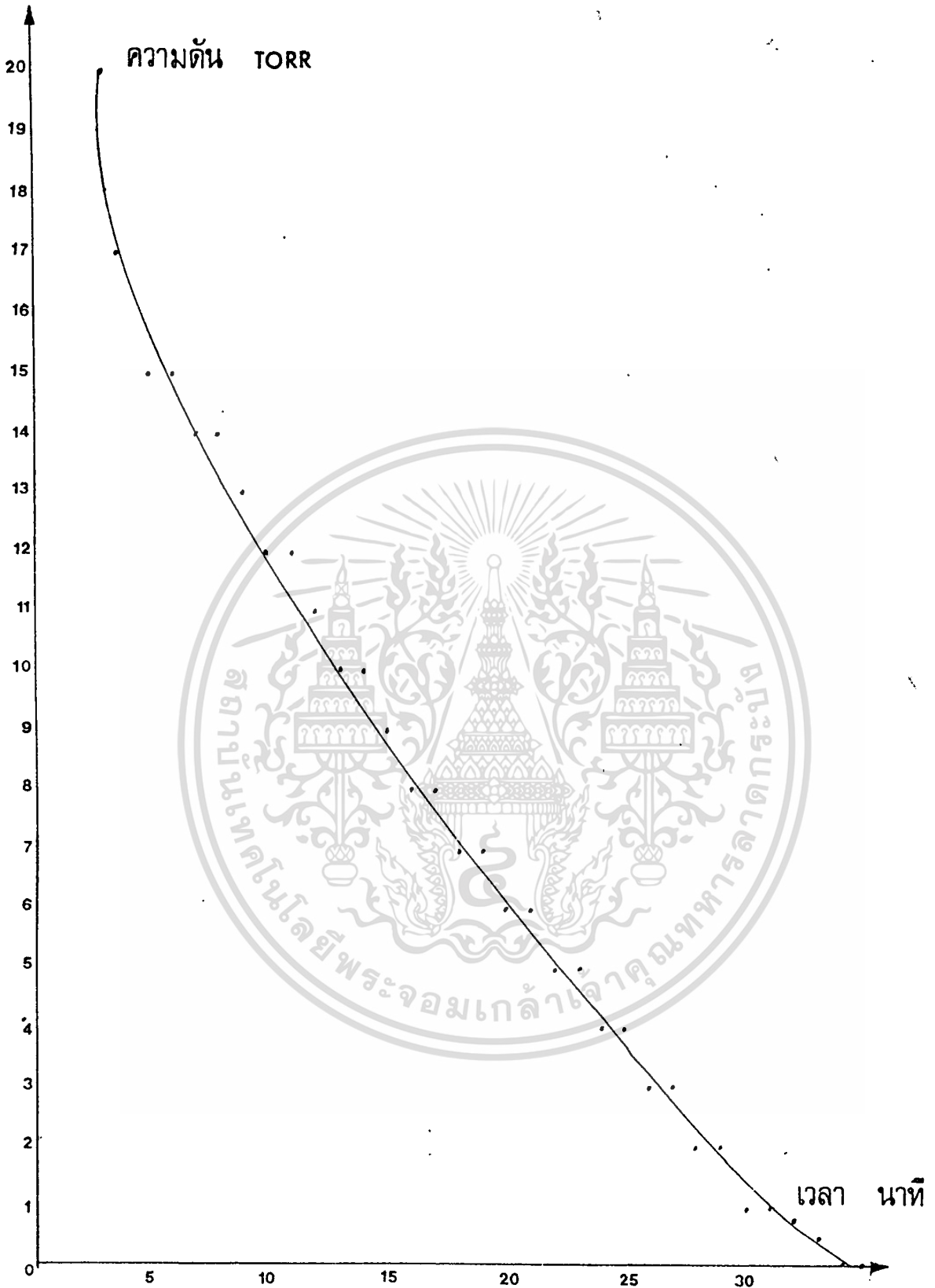
ตารางที่ 7.2 แสดงความดันในแท้มเบอ์กับเวลาของการต้ม (นาที)

จากกราฟรูปที่ 7.1, 7.2 จะเห็นได้ว่า ในช่วงแรกของการต้ม จะทำให้ความดันลดลงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงจากกราฟรูปที่ 7.1 และเมื่อเวลาผ่านไป 40 วินาที ความดันจะลดลง ช้าลง เมื่อเวลาผ่านไป 110 วินาที ความดันจะคงที่อยู่ที่ 20 torr และหลังจากช่วงความดัน 20 torr - 0 torr จะใช้เวลาในการต้ม ดังแสดงจากกราฟรูปที่ 7.2 เพราะในช่วงนี้จะมีกา์ Outgassing ออกจากวัสดุที่ใช้ทำแท้มเบอ์และความชื้นในตัวถังแท้มเบอ์รวมถึงคาบน้ำมัน ซึ่งในช่วงความดัน 20 torr - 0 torr จะต้องใช้เวลาในการ Vacuum ประมาณ 30 นาที



รูปที่ 7.1 แสดงความดันในแชนเบอร์กับเวลาของการต้ม (วินาที) ในช่วงความดันสูงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 แสดงความดันในแชนเบอร์กับเวลาของการปั๊ม (นาที) ในช่วงความดันต่ำ ซึ่งในช่วงความดัน 20 torr - 0 torr จะต้องใช้เวลาในการ Vacuum ประมาณ 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2 การวัดอัตราการรั่ว (leak rate)

เนื่องจากเราใช้ rotary vane vacuum pump เพียงอย่างเดียว สำหรับการ Vacuum อากาศออกจากแชมเบอร์ ความดันสุดท้ายในการ Vacuum จะได้ประมาณ  $10^{-3}$  torr เท่านั้น ซึ่งหากเราใช้ oil diffusion pump ด้วย โดยการปั๊มภายใน 24 ชั่วโมง จะได้ความดันสุดท้าย ประมาณ  $10^{-5}$  torr นอกจากนี้อัตรา outgassing ก็ควรจะน้อยลงด้วย

สำหรับการวัดอัตราการรั่วของแชมเบอร์เครื่องนี้ ทำได้โดยการ vacuum เอาอากาศออกจากแชมเบอร์ให้มีความดันเท่ากับ 0 torr และ ทำการปิดวาล์วของแชมเบอร์ ทั้งแชมเบอร์ไว้เป็นเวลา 1 ช.ม และ กลับมาอ่านความดันอีกครั้งหนึ่ง จากการอ่าน gauge วัดความดันจะพบว่าความดันจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 torr/ช.ม ซึ่งแสดงว่าอัตราการรั่วของไอโอไนเซชันแชมเบอร์เครื่องนี้มี อัตรารั่วประมาณ 2 torr/ช.ม ซึ่งเป็นอัตราการรั่วที่น้อยมากสำหรับการทดลองที่ความดัน 100 ถึง 700 torr

## 7.3 การวัดค่าความต้านทานรั่ว (leakage resistance)

การวัดความต้านทานรั่วเป็นสิ่งสำคัญมาก เหตุผลที่สำคัญมีอยู่ 2 ประการคือ

7.3.1 ถ้าเกิด leakage resistance ระหว่างอาโนดกับตัวถัง ก็อาจจะเกิดประกายไฟ (spark) ระหว่างอาโนดกับตัวถังหรือระหว่าง corona shield กับตัวถังได้

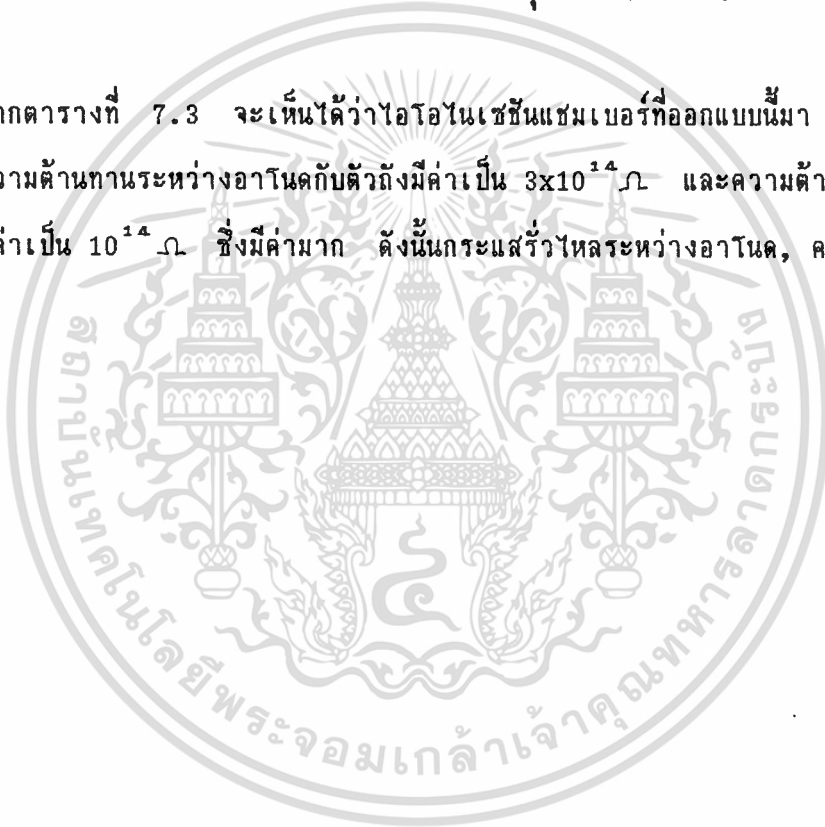
7.3.2 ถ้าเกิด leakage resistance ระหว่างคาโทดกับตัวถังก็จะทำให้ไม่สามารถทำการทดลองหาค่า  $\alpha$  (townsend's first ionization coefficient) และ  $\eta$  (attachment coefficient) ได้ เพราะจะทำให้ไม่สามารถวัดกระแสได้

เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น เราจึงตัดสินใจที่จะวัดความต้านทาน ระหว่าง อาโนดกับตัวถัง และ ระหว่างคาโทดกับตัวถัง และจุดที่สำคัญอื่น ๆ กับตัวถังดังตารางที่ 7.3

จุดต่าง ๆ กับตัวถัง	อาโนด กับตัวถัง	คาโธด กับตัวถัง	Silicone กับตัวถัง	Polyethylene Seal กับตัวถัง	Tubular Nylon Bushing กับตัวถัง	Distrene Rod กับตัวถัง
ความต้าน ทาน $\Omega$	$3 \times 10^{14}$	$10^{14}$	$10^{14}$	$10^{14}$	$10^{14}$	$10^{14}$

ตารางที่ 7.3 แสดงความต้านทาน ( $\Omega$ ) ระหว่างจุดต่าง ๆ ที่สำคัญของแชนเบอ์กับตัวถัง

จากตารางที่ 7.3 จะเห็นได้ว่าไอโอไนเซชันแชนเบอ์ที่ออกแบบนี้มา สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งความต้านทานระหว่างอาโนดกับตัวถังมีค่าเป็น  $3 \times 10^{14} \Omega$  และความต้านทานระหว่างคาโธดกับตัวถังมีค่าเป็น  $10^{14} \Omega$  ซึ่งมีค่ามาก ดังนั้นกระแสรั่วไหลระหว่างอาโนด, คาโธดกับตัวถังจึงมีค่าน้อยมาก



## บทที่ 8

## บทสรุป

จากการทดสอบความดันในไอโคโนเซชันแชมเบอร์เมื่อเวลาของการ vacuum โดย rotary pump เปลี่ยนไป จากตารางที่ 7.1 ของบทที่ 7 จะเห็นว่าเมื่อก่อน vacuum ความดันจะอยู่ที่ 1,000 torr เมื่อผ่านไป 5 วินาที ความดันจะลดลงเป็น 780 torr ความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วจาก 780 torr ถึง 20 torr ใช้เวลาภายใน 110 วินาที เท่านั้น ซึ่งแสดงว่าอัตราการรั่วน้อยมาก และจาก ตารางที่ 7.2 ของบทที่ 7 เมื่อเราวัดความดันเป็นฟังก์ชัน เวลาทุก ๆ 1 นาที จะเห็นว่าความดันเป็น 20 torr เมื่อเวลาเท่ากับ 110 วินาที และจะลดลงถึง 0 torr ภายในเวลาครึ่งชั่วโมง ซึ่งแสดงว่าอัตราการรั่วน้อยมาก

สำหรับอัตราการรั่ว เรา vacuum อากาศในไอโคโนเซชันแชมเบอร์ ให้ได้ความดันเท่ากับ 0 torr แล้วปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน และกลับมาอ่านค่าความดันใหม่ เราพบว่าอัตราการรั่วมีค่าประมาณ 2 torr/ช.ม ซึ่งสำหรับความดันในไอโคโนเซชันแชมเบอร์ของก๊าซเป็น 100 torr จะเป็นอัตราการรั่วที่น้อยมาก ดังนั้นเราสามารถทำการทดลองได้ สำหรับความดันของก๊าซหลาย ๆ ความดัน ตั้งแต่ความดัน 100 torr ขึ้นไปจนถึงความดันบรรยากาศ

สำหรับตารางที่ 7.3 ของบทที่ 7 ซึ่งเป็นการวัดความต้านทานระหว่างจุดต่าง ๆ ที่สำคัญ ของไอโคโนเซชันแชมเบอร์กับตัวถัง เราจะเห็นได้ว่าความต้านทานระหว่างอาโนดกับตัวถัง จะมีค่าประมาณ  $3 \times 10^{14} \Omega$  และความต้านทานระหว่างคาโทดกับตัวถังจะมีค่าประมาณ  $10^{14} \Omega$  ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก ดังนั้น กระแสรั่วระหว่างอาโนด, คาโทด กับตัวถังแชมเบอร์มีค่าน้อยมาก และแรงดันเบรคดาวน์ของไนลอนที่ใช้ทำ tubular nylon bushing ก็สูงมาก เหมาะที่จะใช้เป็น bushing ของอาโนด เพราะถ้าแรงดันเบรคดาวน์มีค่าต่ำ ก็จะทำให้เกิดเบรคดาวน์ระหว่าง corona shield กับแชมเบอร์ได้

สำหรับความต้านทานระหว่างคาโทดกับแชมเบอร์วัดได้เป็น  $10^{14} \Omega$  ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ได้ เหตุที่เราให้ความต้านทานดังกล่าวสูง เพราะในการวัดกระแสไอโคโนเซชันแชมเบอร์ เราต้องไม่ดึงกระแสออกจากความต้านทาน input ที่ใช้ในการวัดซึ่งมีค่าความต้านทานอยู่ระหว่าง  $10^7 - 10^{12} \Omega$  ค่าความต้านทานระหว่างจุดที่เป็นฉนวนกับตัวถังแชมเบอร์ทั้ง 6 จุด มีค่าสูงมากจึงทำให้ไม่มีกระแส leakage ระหว่างจุดนั้น ๆ ถึงตัวถังแชมเบอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปแล้วการพัฒนาและออกแบบไอโคโนเซชันแชมเบอร์ ได้ผลตามจุดประสงค์ที่ต้องการทั้งคุณสมบัติทาง กล และ ทางไฟฟ้า แต่ถ้าหากเรามี oil diffusion pump เราก็สามารถ vacuum แชมเบอร์ ให้มีความดันต่ำกว่านี้ คือประมาณ  $10^{-5}$  torr และ อัตราการรั่วก็จะลดลงด้วย เพราะผลของการ outgassing จะลดลงด้วย



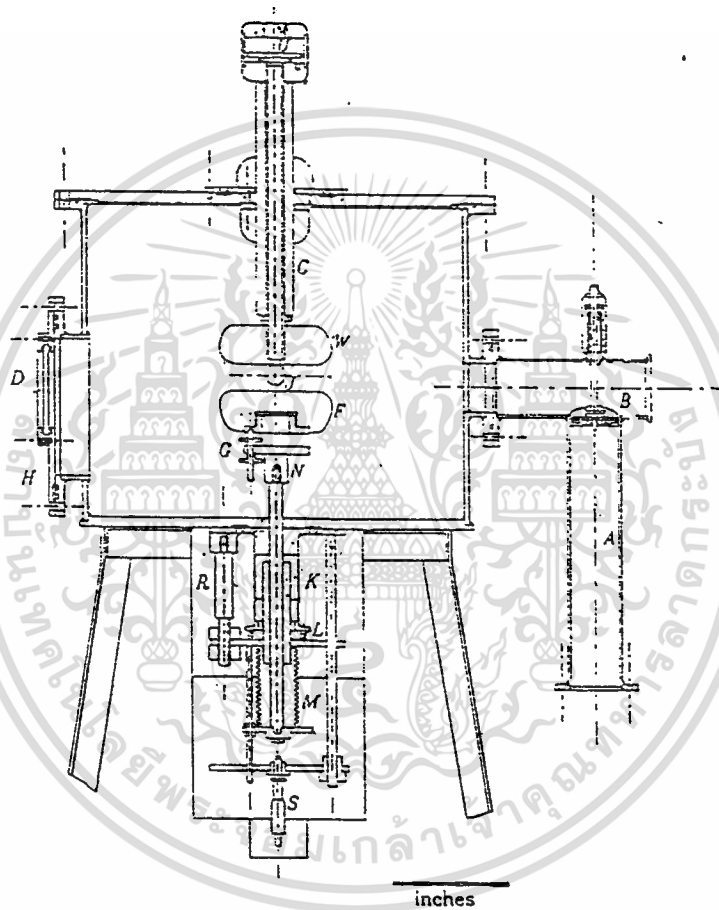


FIGURE 1. Ionization chamber.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

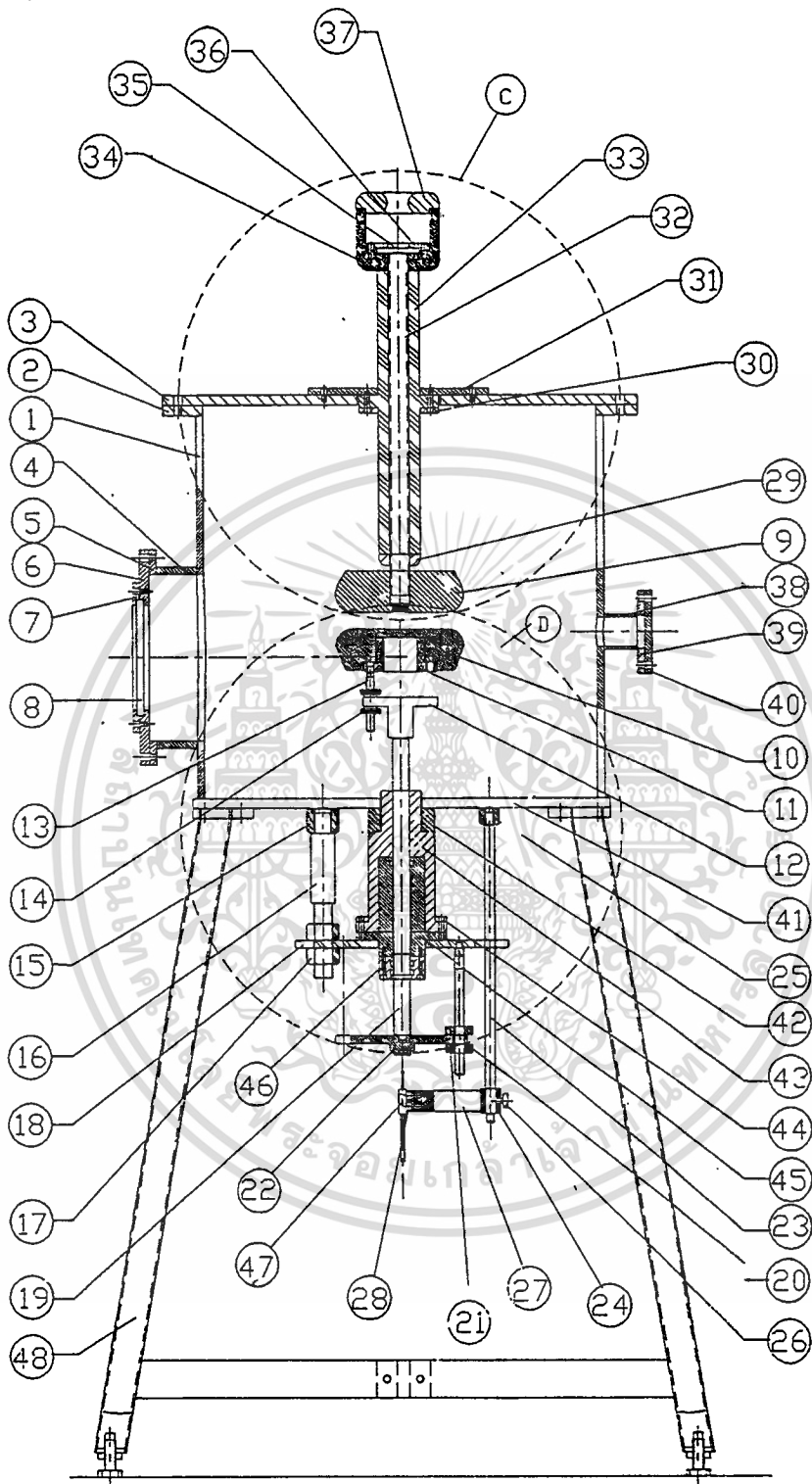
ITEM	NAME	MATERIAL	PART No.	Q'TY	REMARK
45	SYLIDING BUSH	SS-41	45	1	-
44	FLANGE	SS-41	44	1	-
43	POLYETHYLELE SEAL	PE.	43	1	-
42	COUPLING	SS-41	42	1	-
41	CHAMBER LID	SS-41	41	1	-
40	VACCUUM LID	SS-41	40	1	-
39	FLANGE	SS-41	39	1	-
38	TUBULATOR	SS-41	38	1	-
37	ANTI CORONA SHIELD	BRASS	37	1	-
36	BLANKFLANGE	BRASS	36	1	-
35	GLASSENS	GLASS	35	1	-
34	CORONA SHIELD	BRASS	34	1	-
33	TUBULAR NYLON BUSHING	NYLON	33	1	-
32	BRASS TUBE	BRASS	32	1	-
31	FLANGE CONNECTION	SS-41	31	1	-
30	FLANGE	SS-41	30	1	-
29	SLOT NUT	BRASS	29	1	-
28	HOLDER PLATE	BAKELITE	28	1	-
27	HOLDER BAR	SS-41	27	1	-
26	LOCK NUT	SS-41	26	1	-
25	HOLDER ROD	SS-41	25	1	-
24	GUIDE BUSH	SS-41	24	1	-
23	SLIDE ROD	S45-C	23	1	-
22	SUPPORT PLATE	SS-41	22	1	-
21	NUT	SS-41	21	1	-
20	ADJUSTED SCREW	SS-41	20	1	-
19	SPINDLE	SS-41	19	1	-
18	SUPPORT PLATE	SS-41	18	1	-
17	LOCK NUT	PE.	17	6	-
16	DISTRENE ROD	PE.	16	3	-
15	HOLDER ROD	SS-41	15	3	-
14	ADJUSTING NUT	SS-41	14	6	-
13	ADJUSTING SCREW	SS-41	13	3	-
12	CATHODE SUPPORTOR	SS-41	12	1	-
11	CATHODE SUPPORTOR	SS-41	11	1	-
10	CATHODE ANODE	BRASS	10	1	-
9	WINDOW GLASS	ALALLOY	9	1	-
8	WINDOW COVER	GLASS	8	1	-
7	WINDOW LID	SS-41	7	1	-
6	WINDOW FLANGE	SS-41	6	1	-
5	RECTANGULAR WINDOW	SS-41	5	1	-
4	CHAMBER LID	SS-41	4	1	-
3	CHAMBER FLANGE	SS-41	3	1	-
2	CHAMBER BODY	SS-41	2	1	-
1	CHAMBER BODY	SS-41	1	1	-
ITEM	NAME	MATERIAL	PART No.	Q'TY	REMARK

ITEM	NAME	MATERIAL	PART No.	Q'TY	REMARK
70	GUIDE ROD	SS-41	67	1	-
66	CLAMPING RING	AL.	66	2	-
65	VACUUM GAUGE	STD.	65	1	-
64	HEXAGON SOCKET SCREWS	M6X1.0	64	6	-
63	ROD SEAL	URETHANE	63	3	-
62	HEXAGON SOCKET SCREWS	M4X0.75	62	6	-
61	O-RING	RUBBER	61	1	-
60	O-RING	RUBBER	60	4	-
59	HEXAGON SOCKET SCREWS	M6X1.0	59	6	-
58	SILICON SEAL	SILICON	58	-	-
57	RUBBER HOSES	RUBBER	57	5 M.	-
56	RUBBER HOSES CLAMP	STEEL	56	2	-
55	BARDED FITTING(MALE)	BRASS	55	2	-
54	WATER FILTER	AL.	54	1	-
53	SHUT-OFF VALVE	BRONZE	53	2	-
52	SMALL FLANGER & TUBULATOR	SS-41	52	1	-
51	SMALL FLANGER & TUBULATOR	SS-41	51	1	-
50	CONNECTOR SET	SS-41	50	1	-
49	FLANGER& TUBULATOR	SS-41	49	1	-
48	FRAME & COLUMN	SS-41	48	1	-
47	VERNEER (0.02mm.)	STD.	47	1	-
46	GUIDE BUSH	SS-41	46	1	-
ITEM	NAME	MATERIAL	PART No.	Q'TY	REMARK

**Ring Mongkut's Institute Of Technology.  
Ladkrabang**

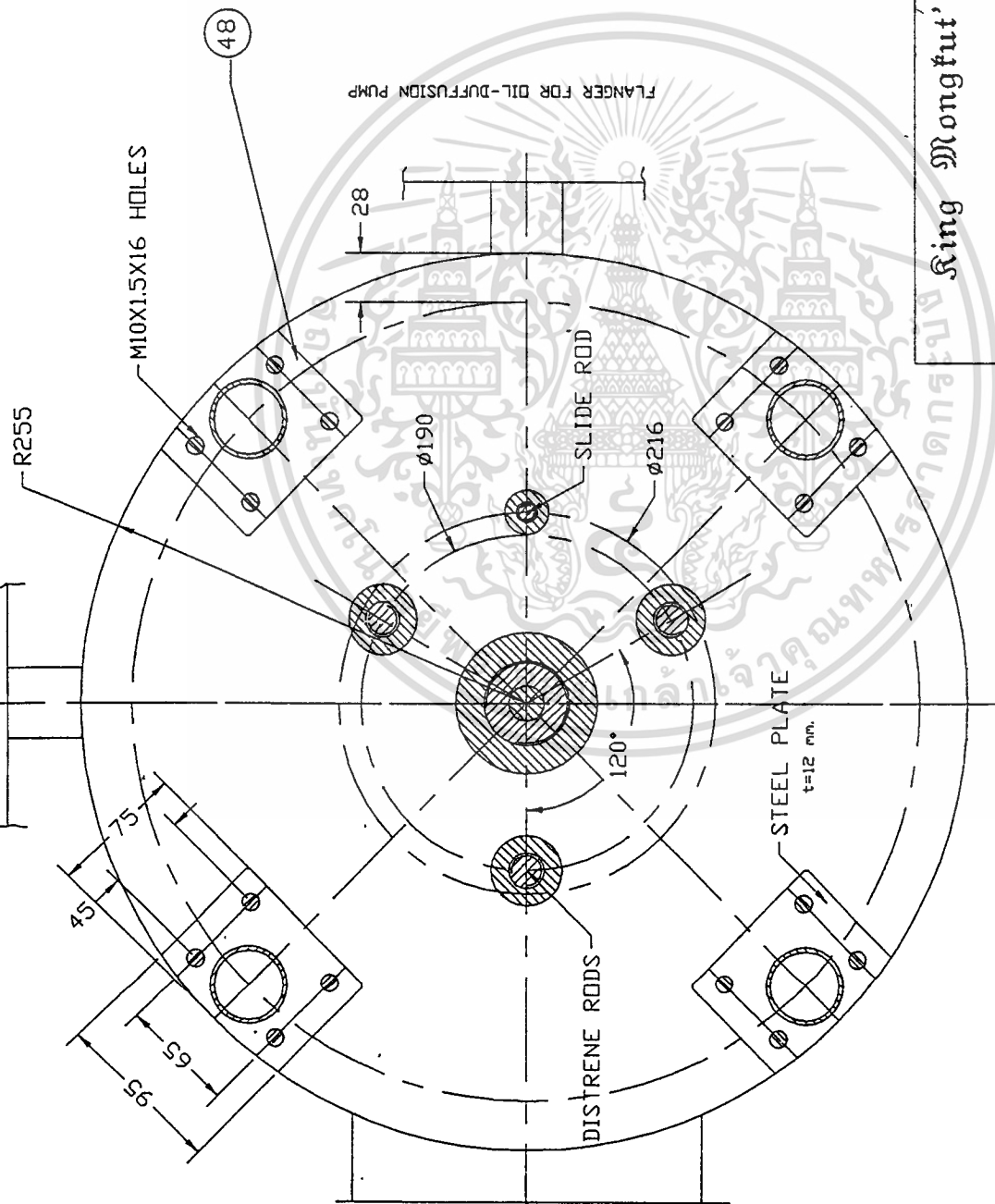
MATERIAL :	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:1	TITLE.
	+ -	DATE	HIGH VOLTAGE IONIZATION CHAMBER
DR.	T.Kiatson	11/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasornrat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	A



IONIZATION CHAMBER

SCALE 1:9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



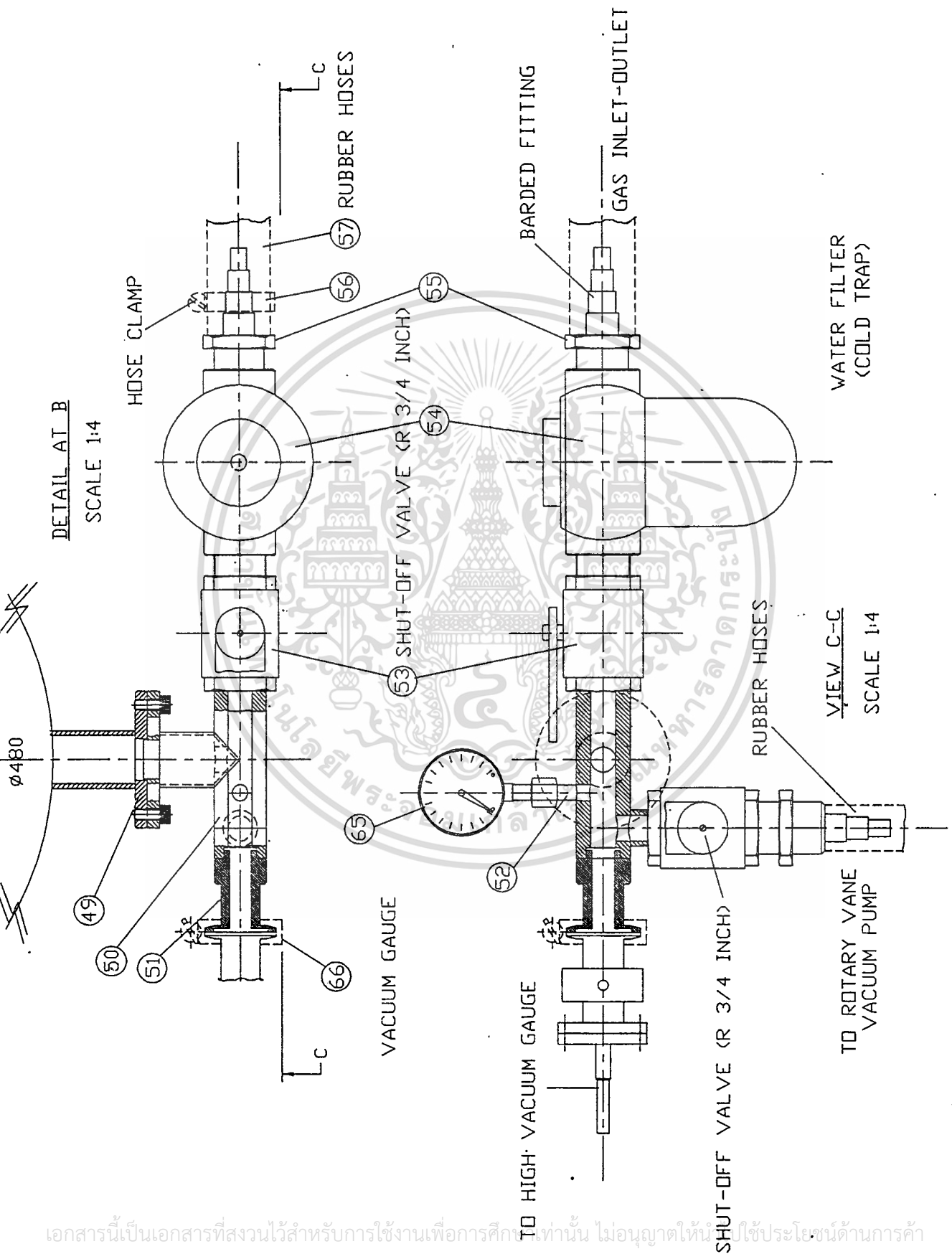
King Mongkut's Institute of Technology  
Ratrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:4	TITLE:
	$\pm$	DATE	SECTION A-A
DR.	T. Kiatson	1/06/94	DRAWING NO. 48
CH.	Suporn Kanchanasat	12/06/94	
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	

SECTION A-A

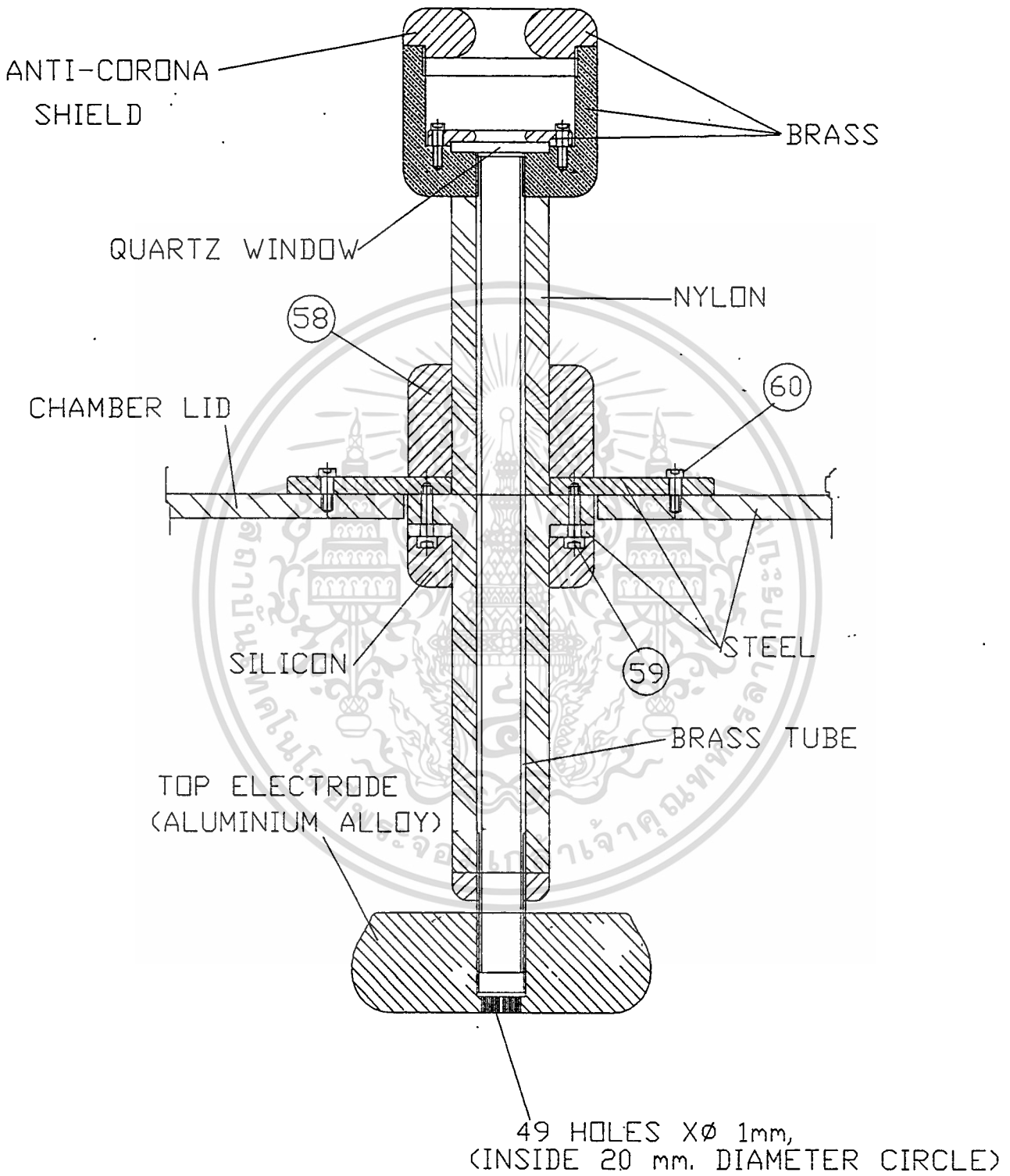
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RECTANGULAR WINDOW



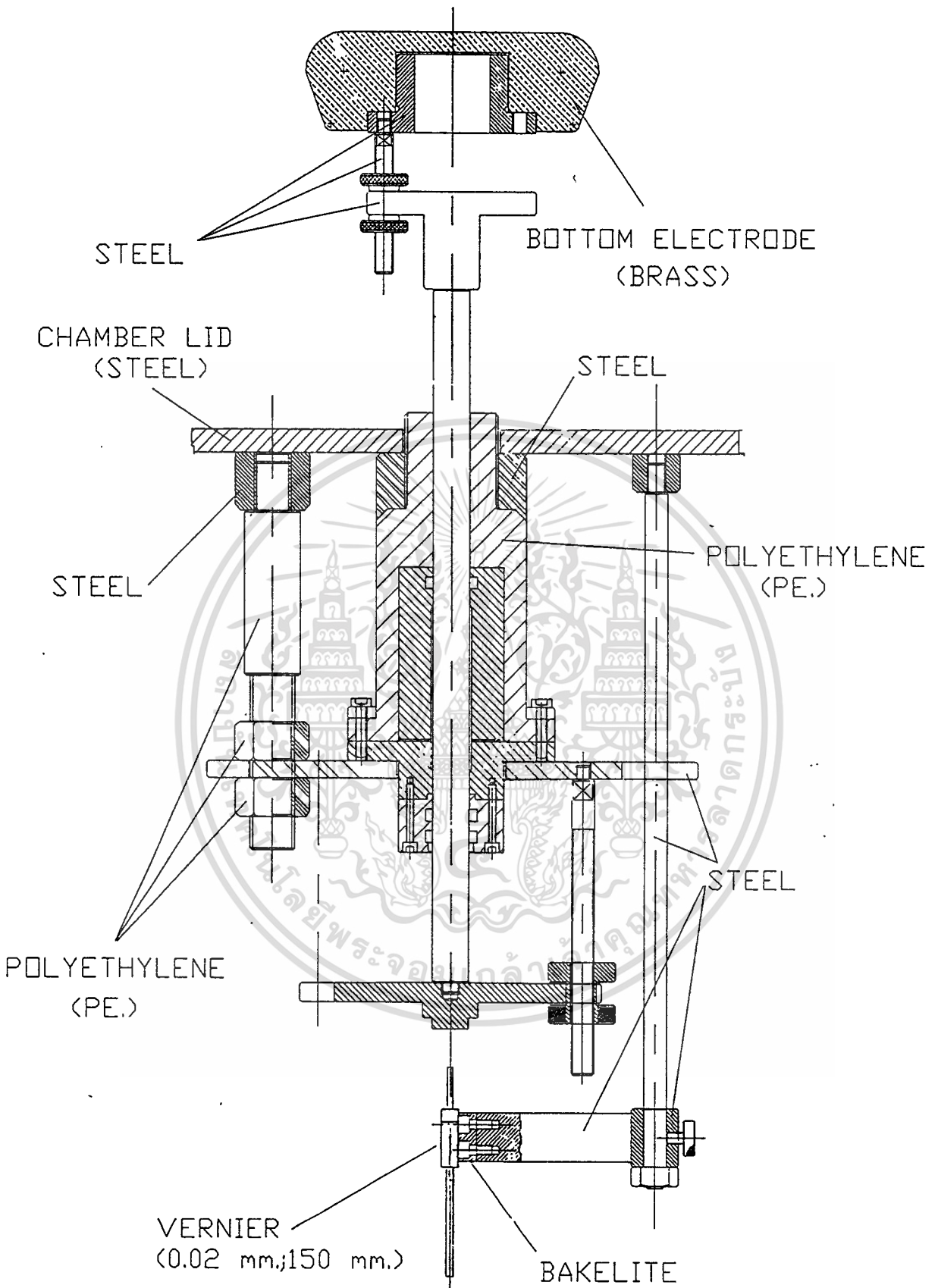
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETAIL AT C



HIGH VOLTAGE ANODE ASSEMBLY

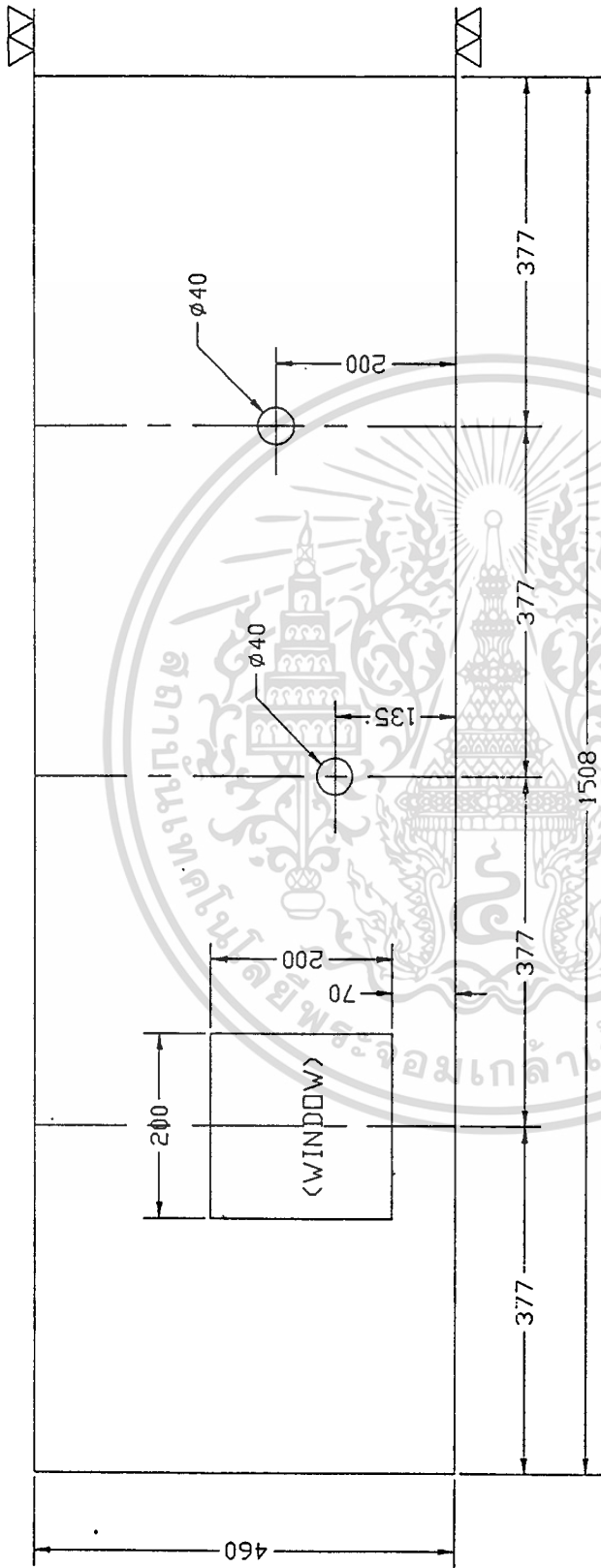
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 SCALE 1:3  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DETAIL AT D

SCALE 1:3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น HIGH VOLTAGE CATHODE ASSEMBLY ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



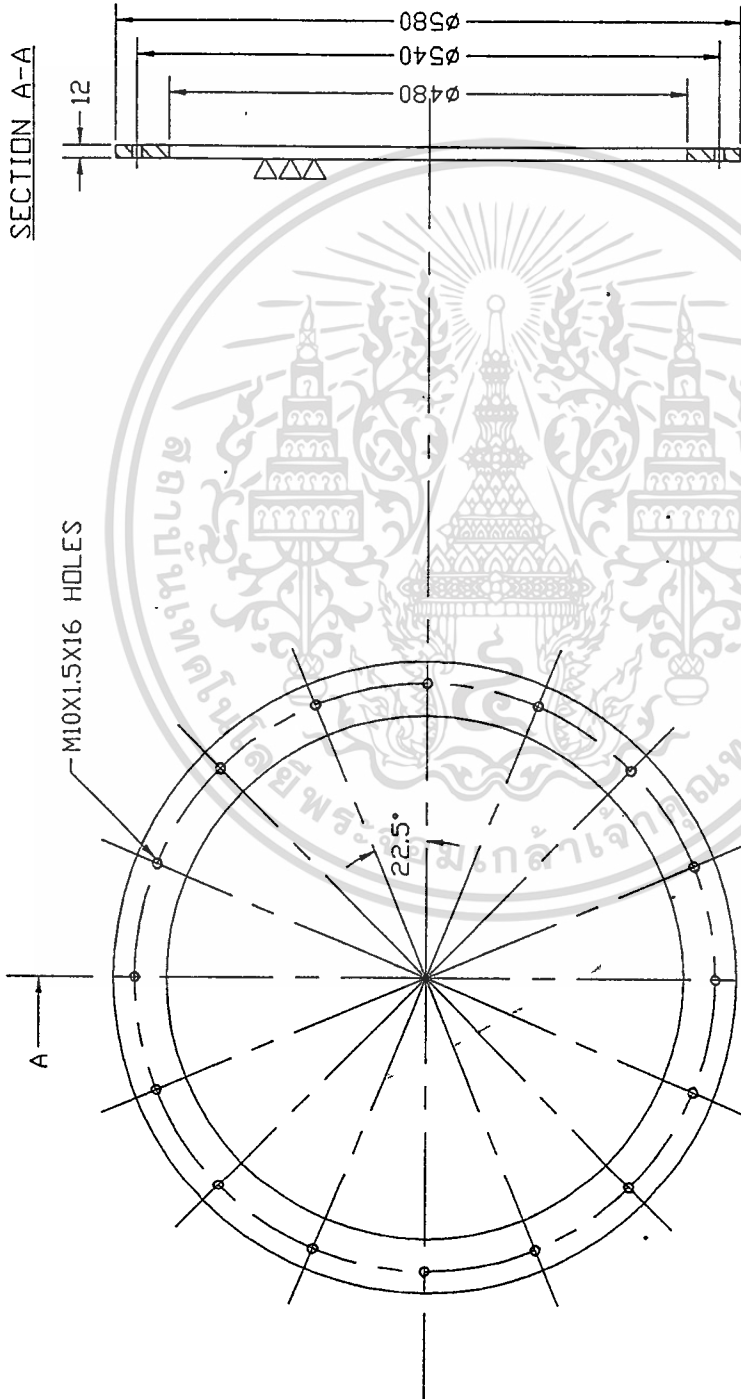
- REMARK**
1. BODY SIZE :  $\phi 480$  MM, L=460 MM.
  2. INTERIOR CHAMBER BODY ARE COATING ABOUT 0.04 MM. BY COPPER.

King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL: SS-41 t= 9 mm.	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:8	TITLE.
	+	DATE	CHAMBER BODY
DR.	T. Kiatban	10/6/94	
CH.	Suporn Kanchanasornat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Nipon Sukhum	20/06/94	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

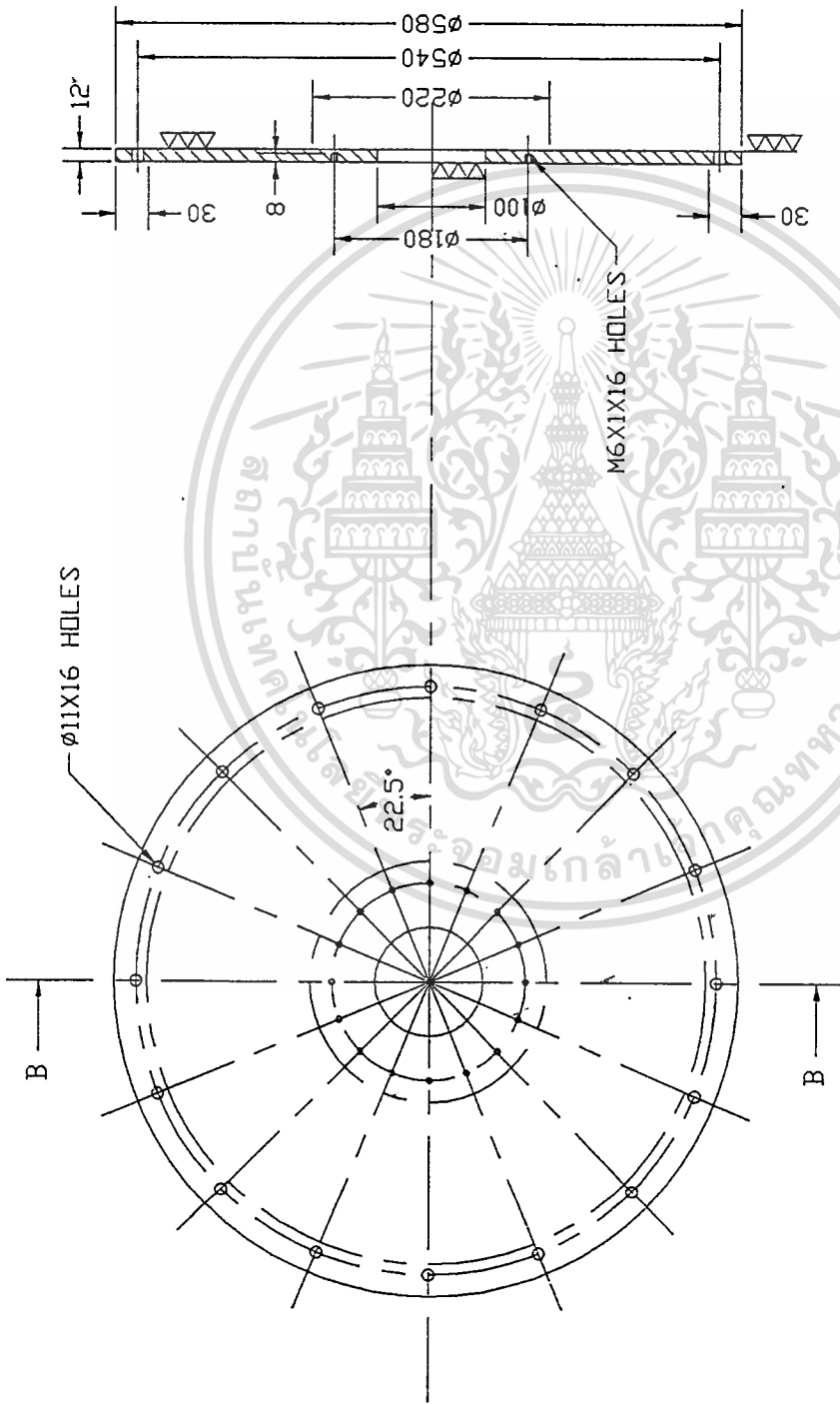
SECTION A-A



King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:7	TITLE:
SS-41	+ -	DATE	CHAMBER FLANGE (UPPER SIDE)
DR.	T. Kiatson	1/06/94	DRAWING NO. 2
CH.	suporn kocharamarat	12/06/94	
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

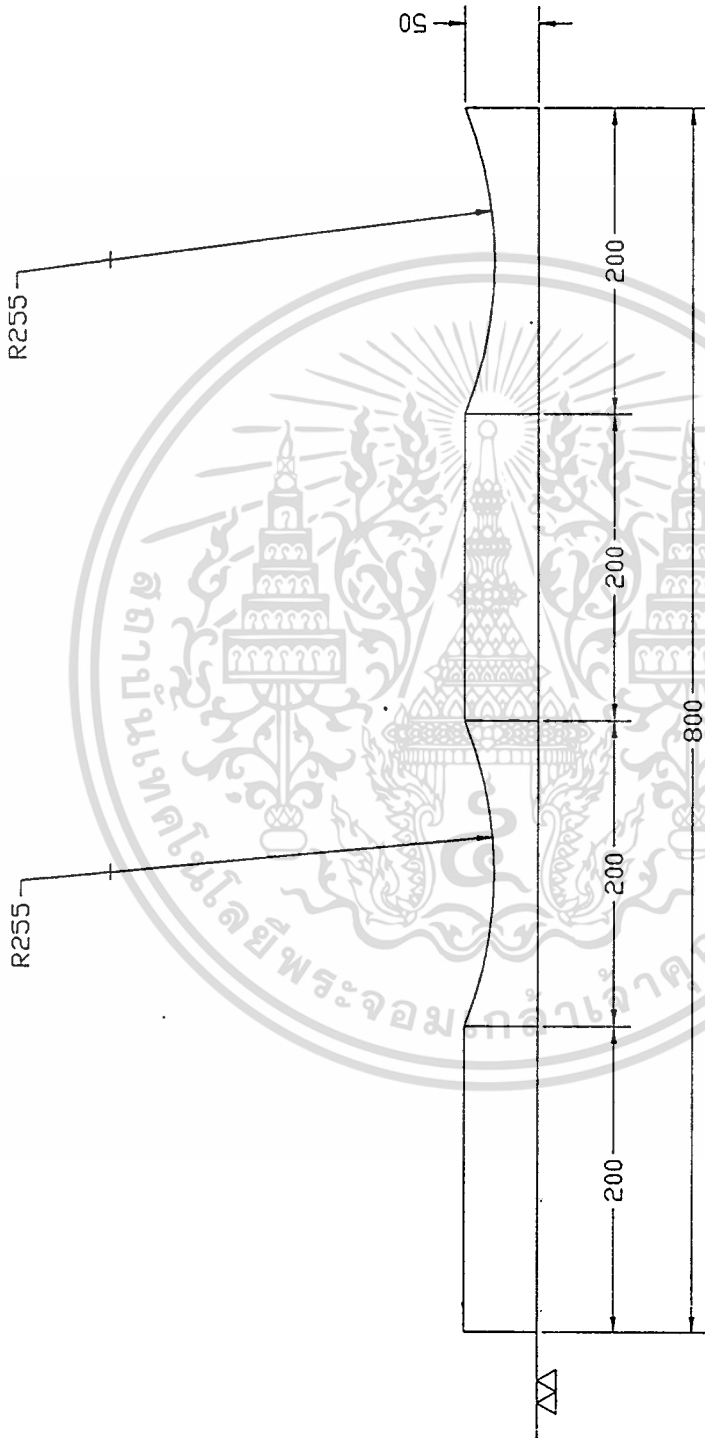


SECTION B-B

King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL: SS-41	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:7	TITLE.
	+	-	CHAMBER LID (TOP SIDE)
DR.	T. Kiatson	DATE	
CH.	Suporn Kanchanasorn	1/06/94	DRAWING NO.
		12/06/94	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



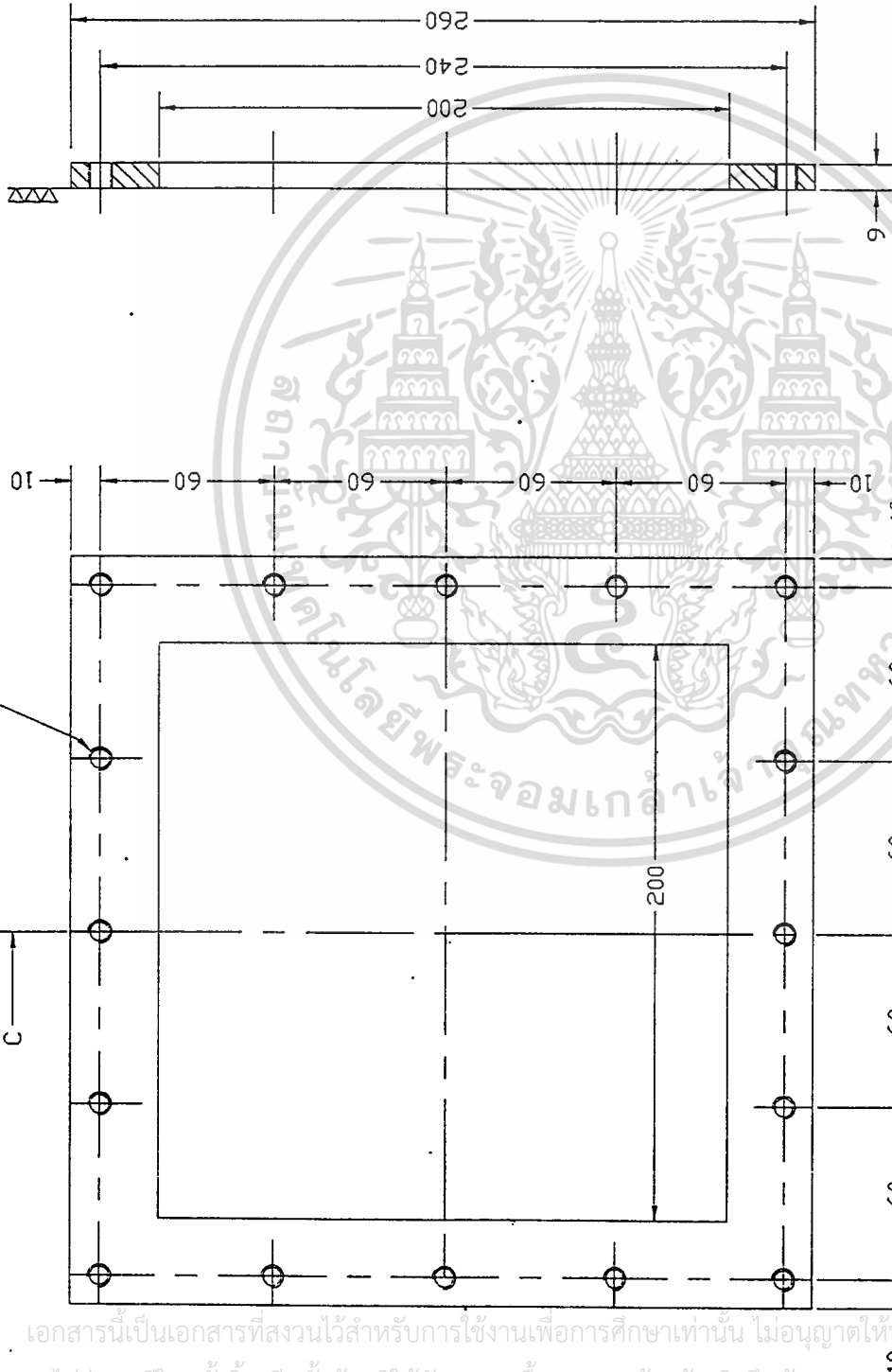
King Mongkut's Institute of Technology  
Ratthabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:5	TITLE:
SS-41	+ -	DATE	RECTANGULAR WINDOW
t=9 mm.		1/06/94	
DR.	T. Kiatson	12/06/94	DRAWING NO.
CH.	Supon Kanchanasawat	20/06/94	4
APPR.	Niphon Sukhum		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SECTION C-C

MBX1.25X16 HOLES

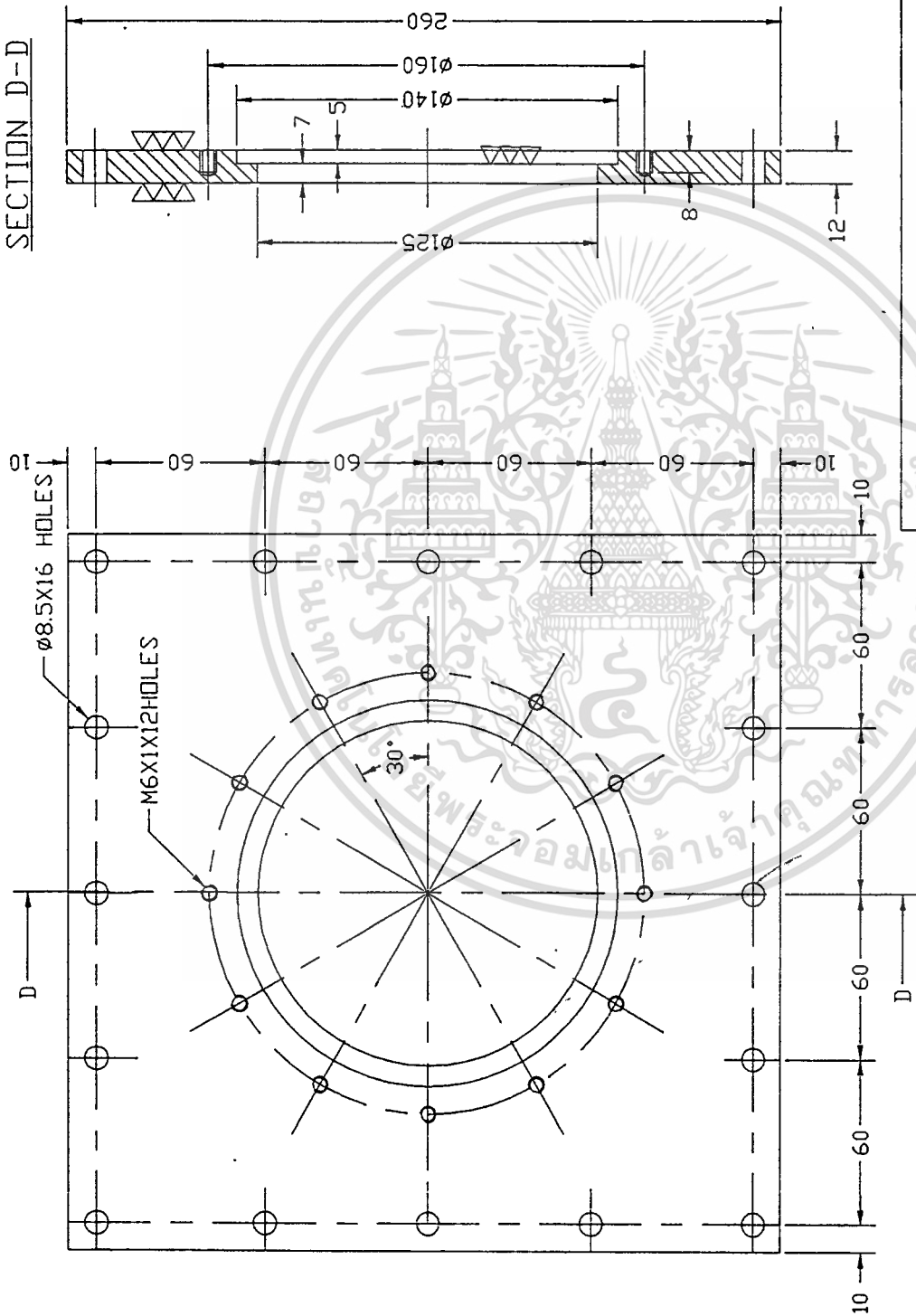


King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL : SS-41	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:2.5	TITLE.	
	+ -	DATE	WINDOW FLANGE	
DR.	T. Kitban	1/06/94	DRAWING NO.	
CH.	Syorn Kanchanasat	12/06/94	5	
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

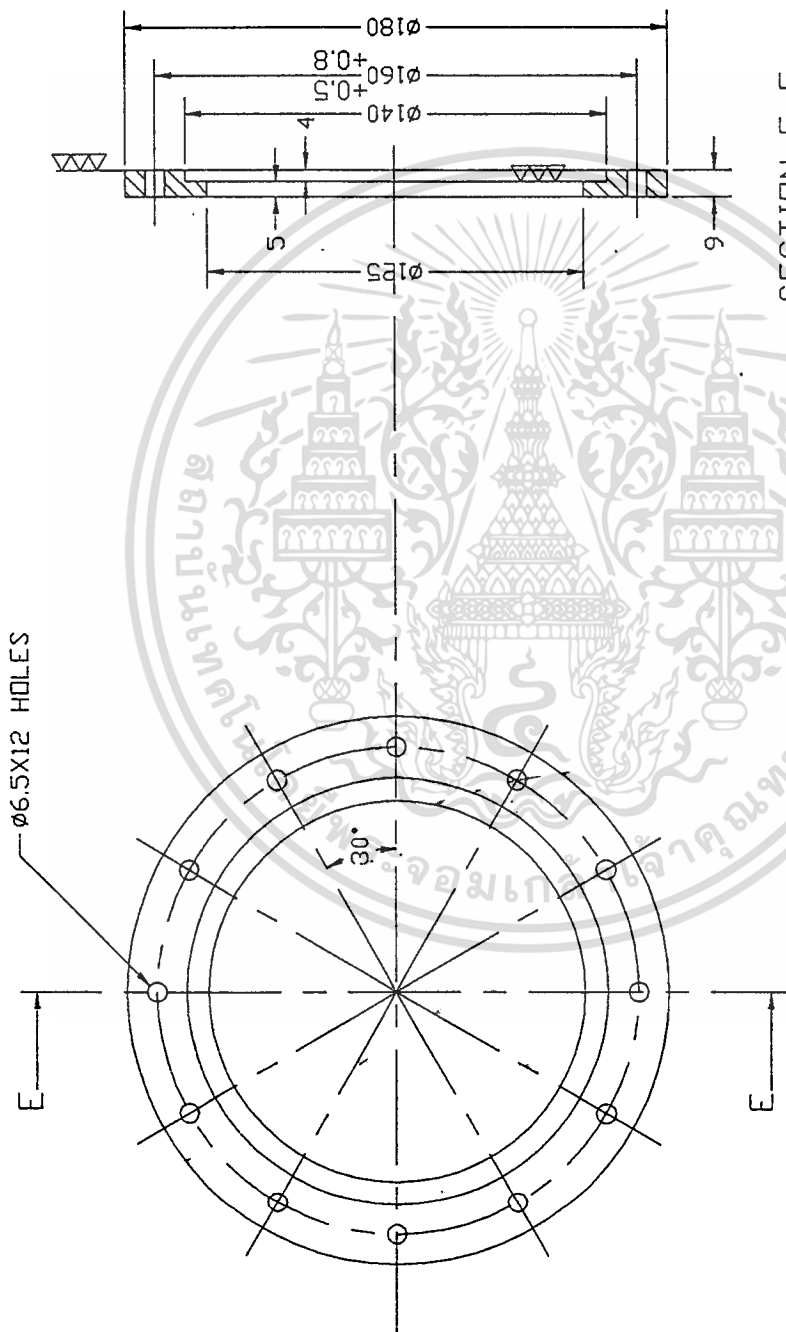
SECTION D-D



King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL: SS-41	TOLERANCES ON: + -	SCALE : 1:2.5	TITLE.
		DATE 11/06/94	WINDOW LID
DR. T. Kitson			
CH. Suporn Kanchanasat			DRAWING NO.
APPR. Niphan Sukhum			6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

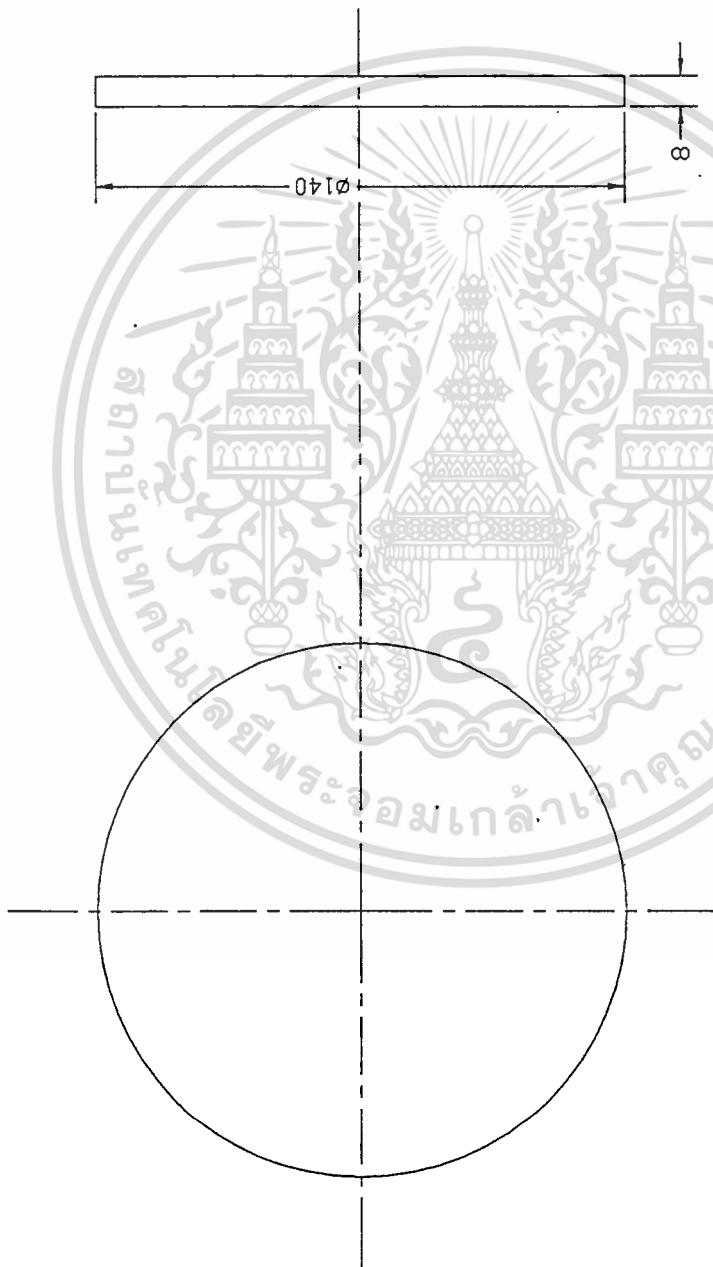


SECTION E-E

King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL: SS-41	TOLERANCES ON: + -	SCALE 1:2.5	TITLE: WINDOW COVER	
	DR. T. Kitson	DATE 11/06/94		
CH. Suporn Kanchanamat		12/06/94	DRAWING NO. 7	
APPR. Niphan Sukhum		20/06/94		

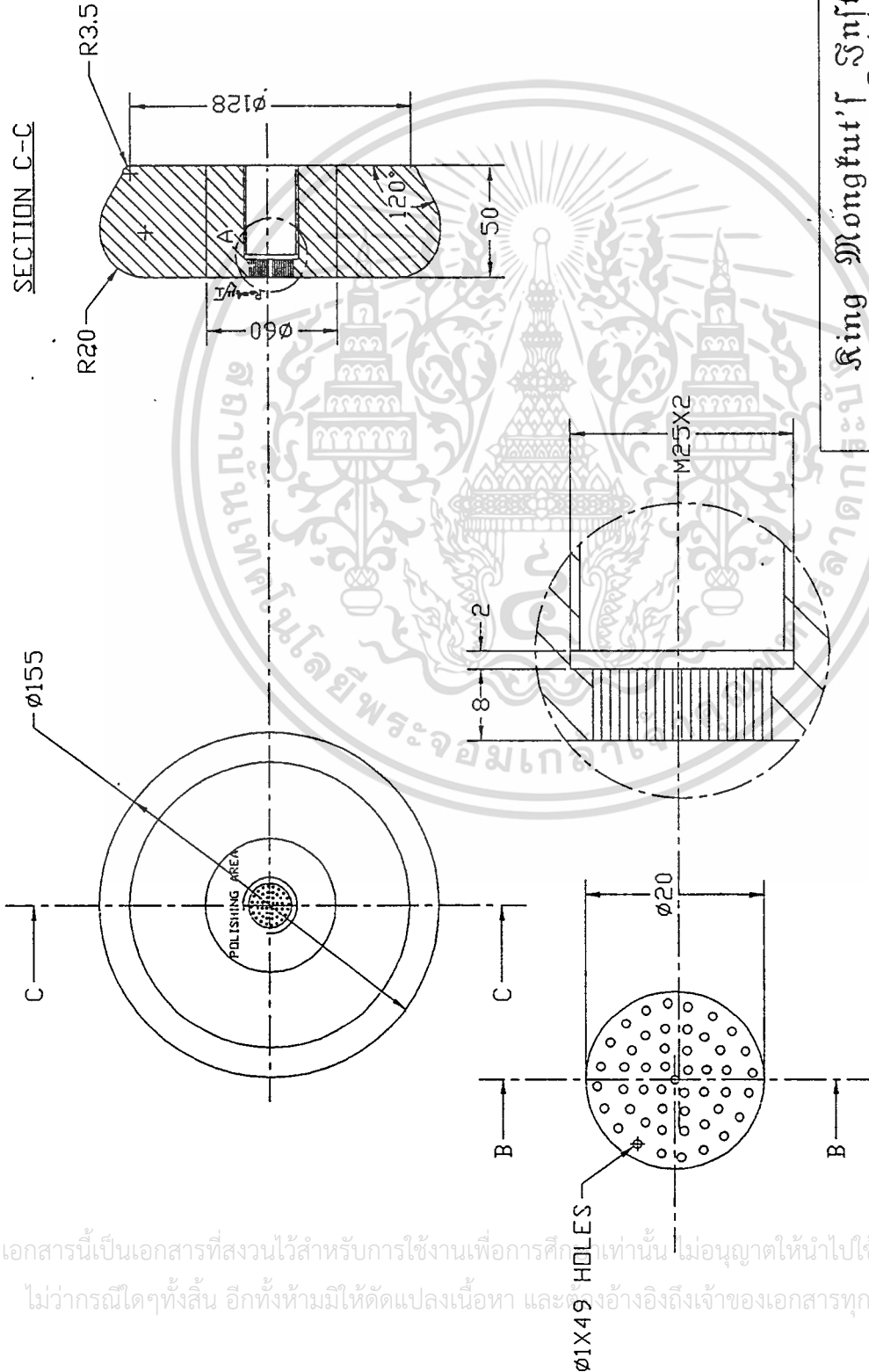
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL : GLASS	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:2	TITLE.
	+ -	DATE	WINDOW GLASS
DR.	T. Kiatban	11/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasarat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



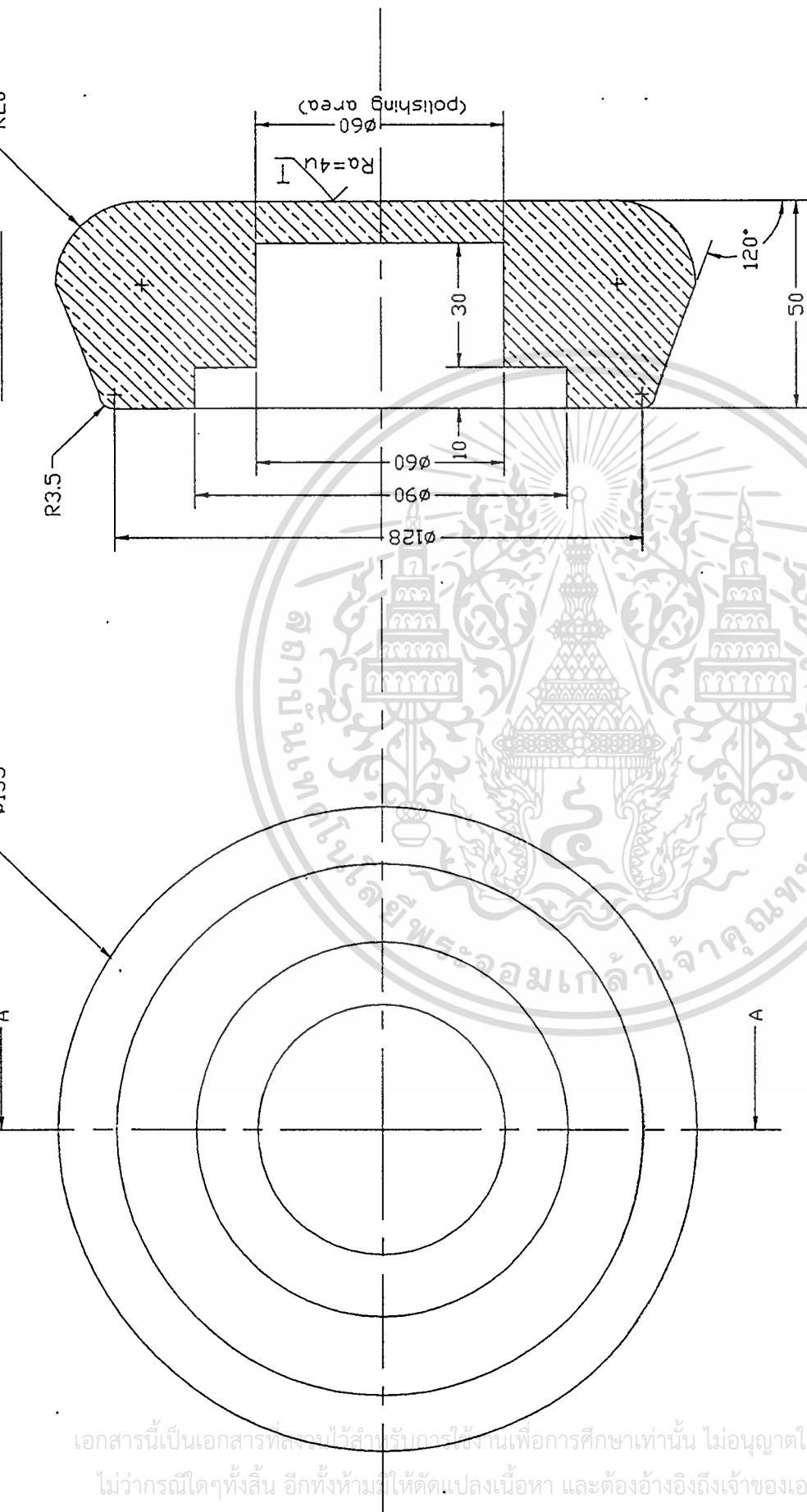
King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL: ALUMINIUM ALLOY	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:3	TITLE.
	+	-	ANODE (ELECTRODES)
DR.	T. Kitson	DATE	10/06/94
CH.	Suporn Kanchasornrat		12/06/94
APPR.	Niphon Sukhum		20/06/94
			DRAWING NO. 9

SECTION B-B  
SCALE 12:1

DETAIL AT A  
SCALE 12:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

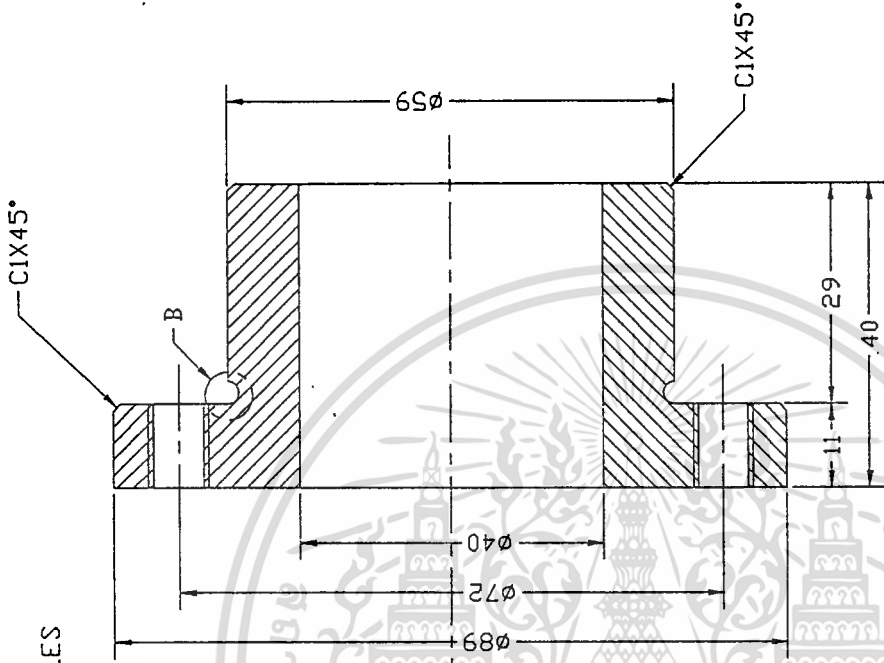


King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL: BRASS	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1.5	TITLE: CATHODE (ELECTRODES)	
	+ -		DATE	
DR.	T. Kitson		1/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasri		12/06/94	DRAWING NO.:
APPR.	Niphon Sukhum		20/06/94	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

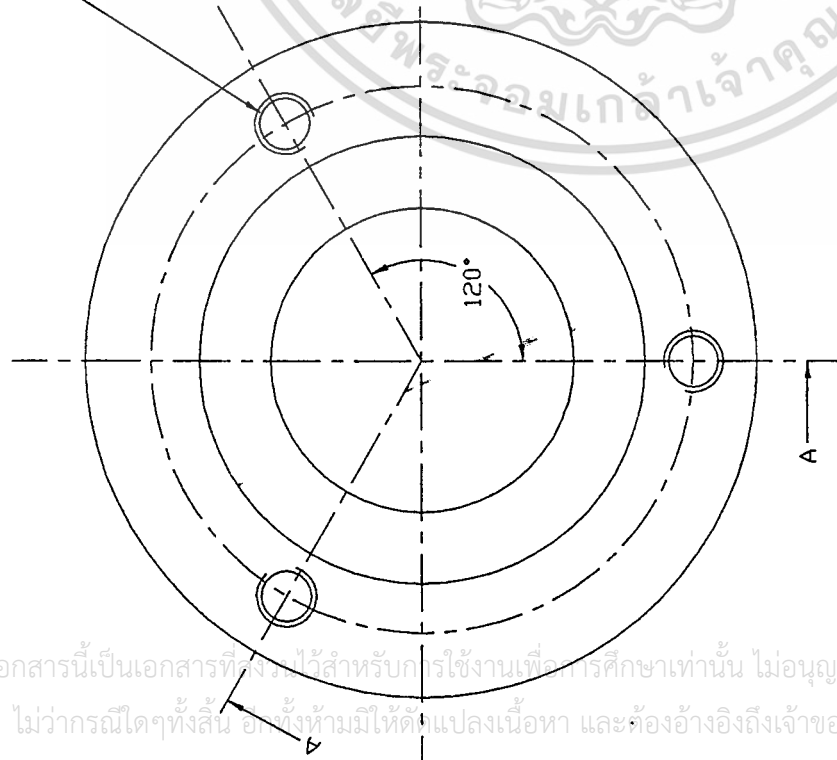
SECTION A-A



DETAIL AT B  
SCALE 2:1



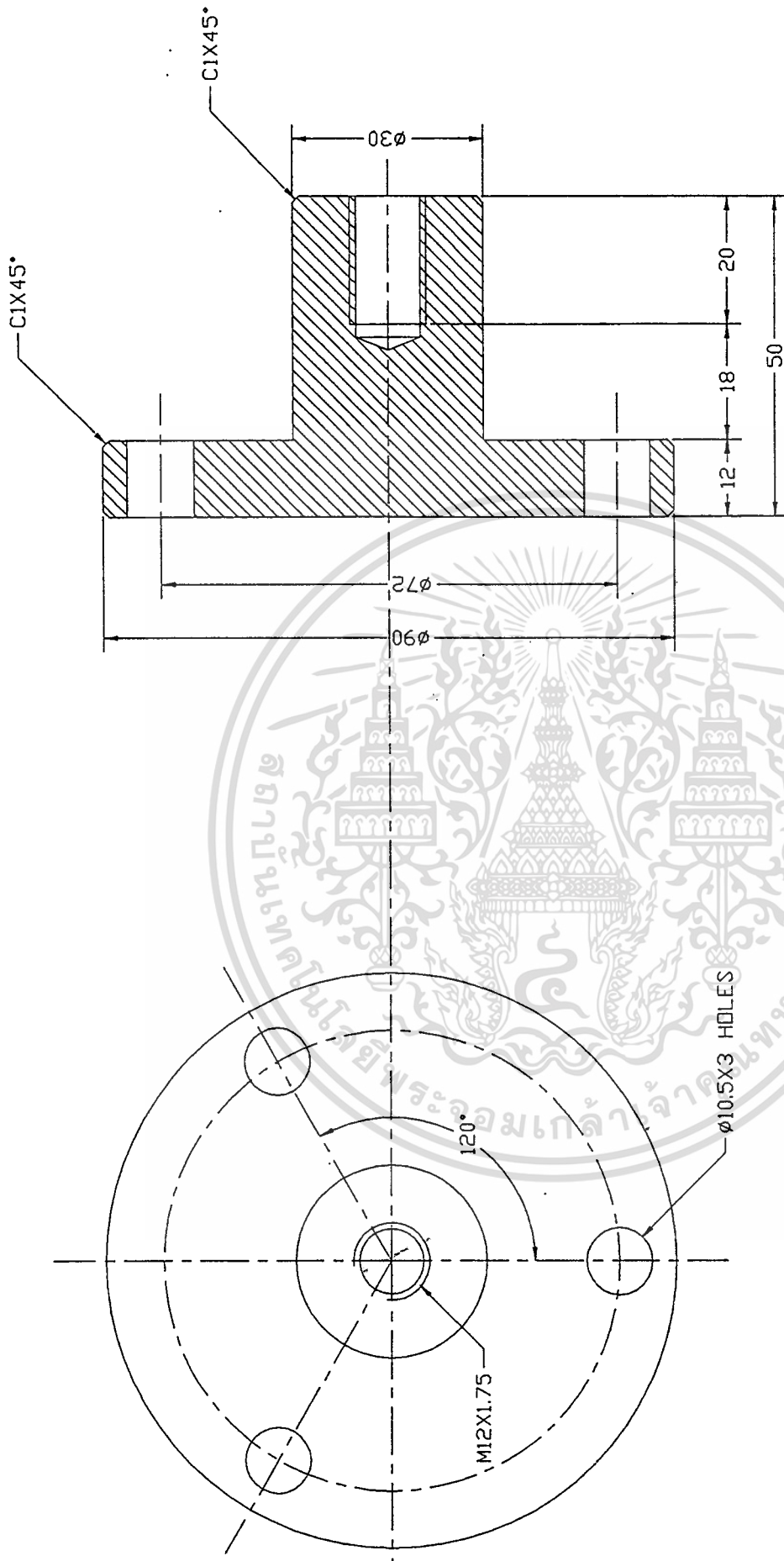
M8X1.25X3 HOLES



King Mongkut's Institute of Technology  
Rabrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	CATHODE SUPPORTER
DR.	T.Kidson	10/06/94	
CH.	Syoson Kachasarnat.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	11

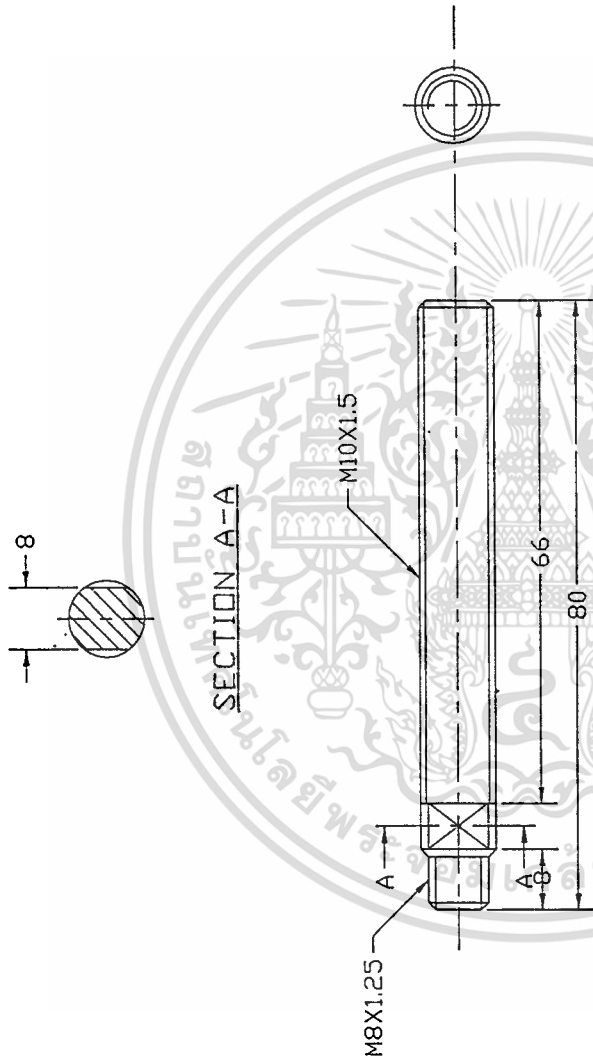
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
 Ladkrabang

MATERIAL:		TOLERANCES ON:		SCALE: 1:1		TITLE:	
SS-41		+ -		DATE		CATHODE SUPPORTER (ADJUSTMENT)	
DR.	T. Kitson			1/06/94		DRAWING NO.	
CH.	Suporn Kachasornrat.			12/06/94		12	
APPR.	Nipon Sukhum			20/06/94			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

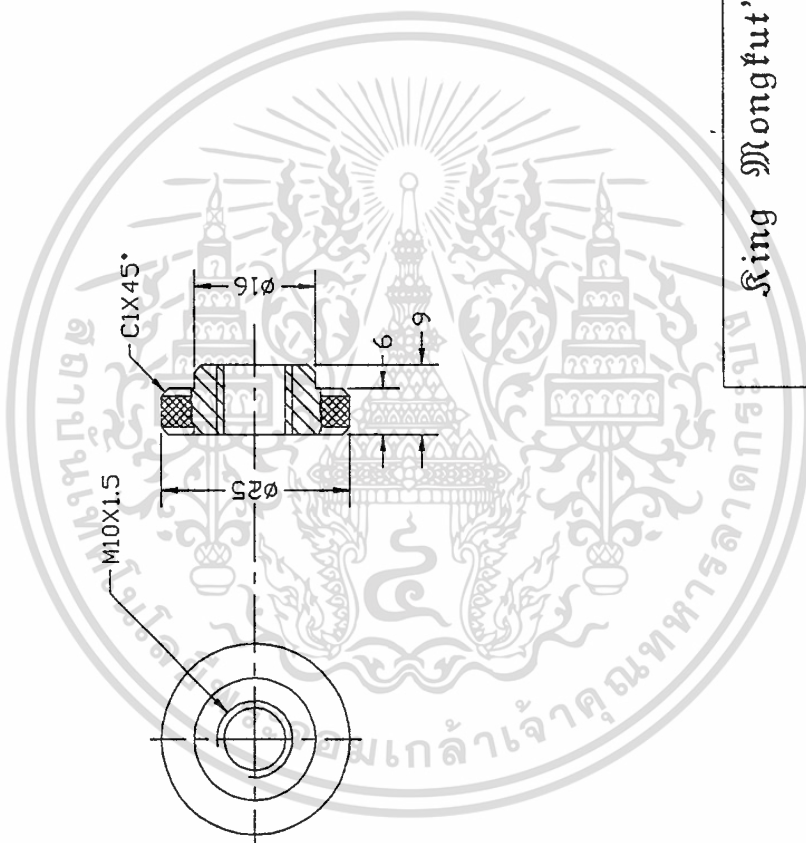


King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	ADJUSTING SCREW
DR.	T. Klatsan	10/06/94	
CH.	Suyorn Kerkasornrat.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

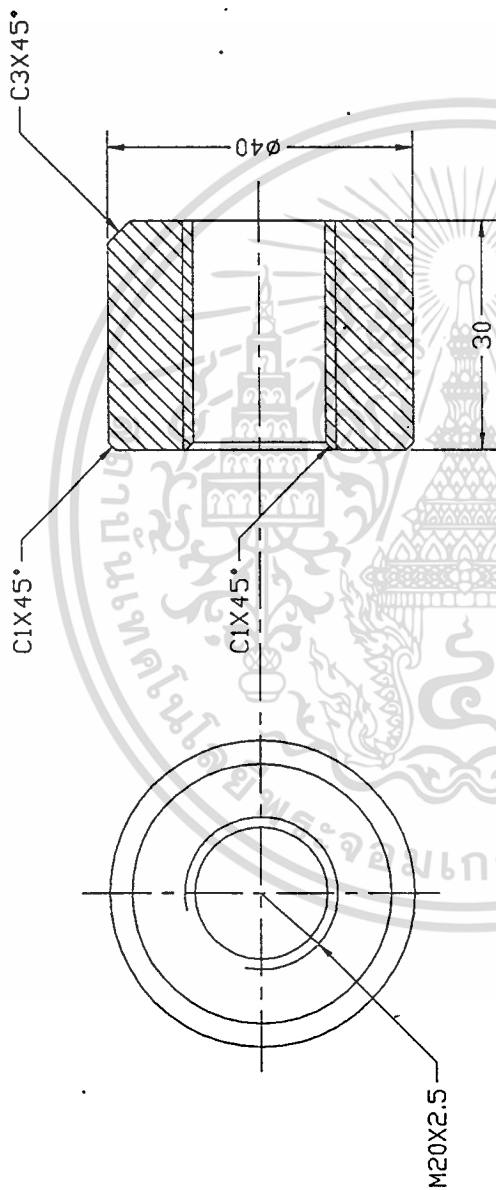
- ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL : SS-41	TOLERANCES ON: + -	SCALE : 1:1	TITLE. ADJUSTING NUT
DR. T. Kiatban		DATE 1/06/94	
CH. Suporn Kanchanasornrat.		12/06/94	DRAWING NO. 14
APPR. Niphon Sukhum		20/06/94	

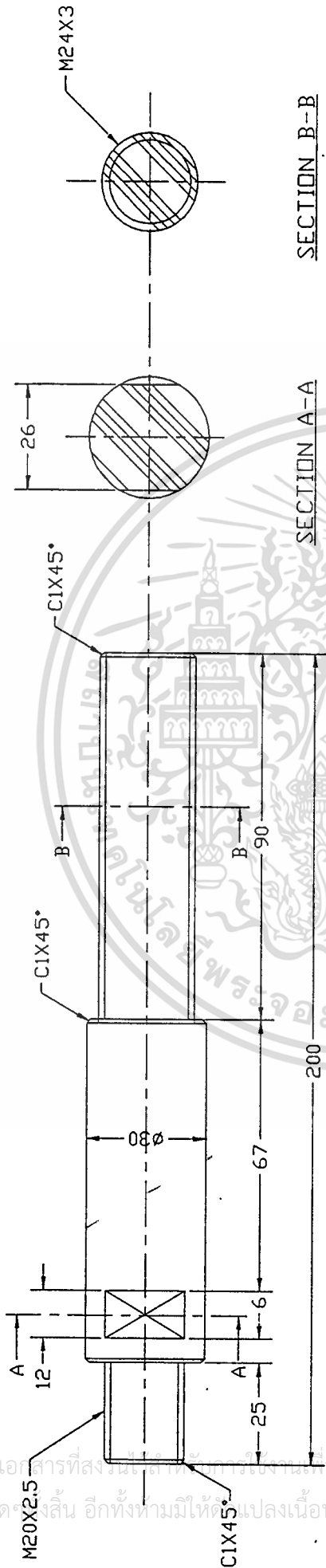
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL:		TOLERANCES ON:		SCALE: 1:1		TITLE.	
SS-41		+ -				HOLDER ROD	
DR.	T. Kiatban		DATE		10/06/94		
CH.	Suporn Kanchanasriat		DATE		12/06/94		DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum		DATE		20/06/94		15

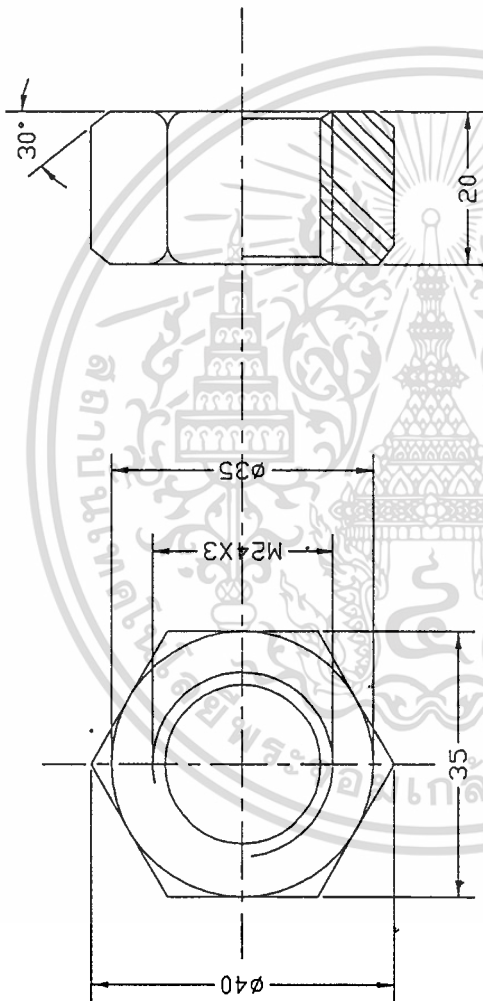
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL : POLYATHYLENE	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:1.5	TITLE.
	+ -	DATE	DISTRENE ROD
DR.	T. Klaban	11/06/94	
CH.	Suyorn Kanchanamat.	12/06/94	DRAWING NO. 16
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	

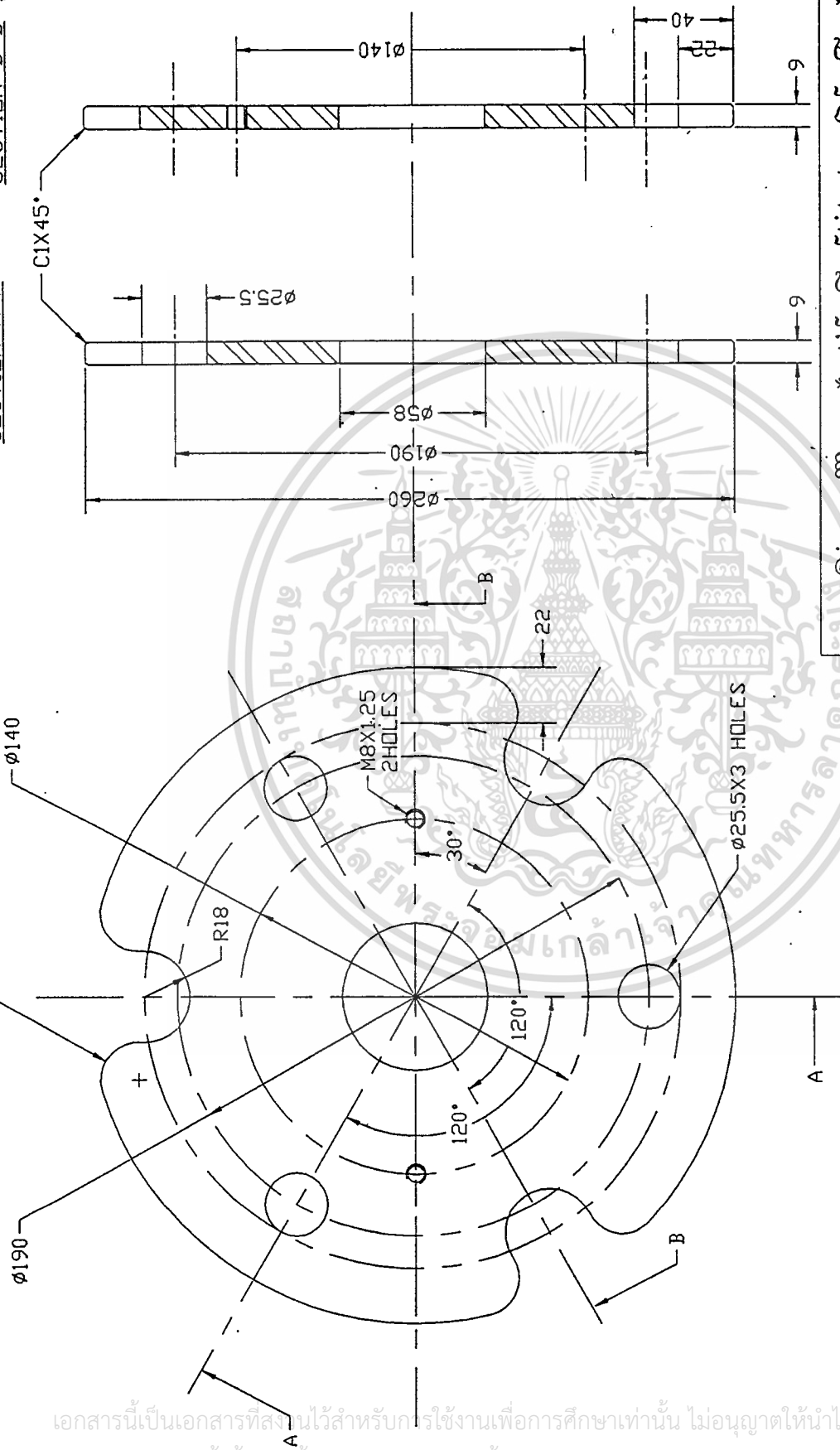
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ สัน อักทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL: POLYETHYLENE	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
	+ -	DATE	LOCK NUT
DR.	T. Klason	1/06/94	
CH.	Supon Kachasarnmat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphen Subhan	20/06/94	17

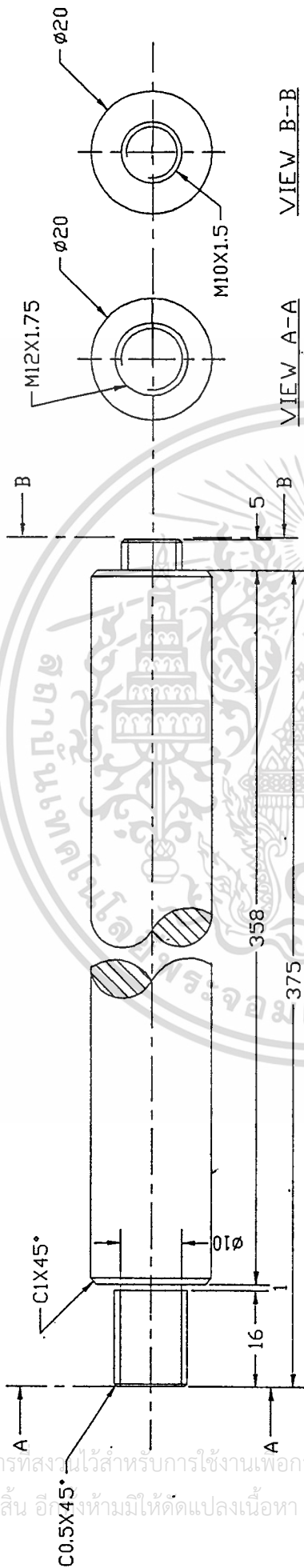
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Ring Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:2.5	TITLE:
SS-41	+ -		SUPPORT PLATE
DR.	T. Kitson	DATE	
CH.	suporn Kanchanasornrat.	1/06/94	
APPR.	Niphoon Sukhum	20/06/94	DRAWING NO. 18

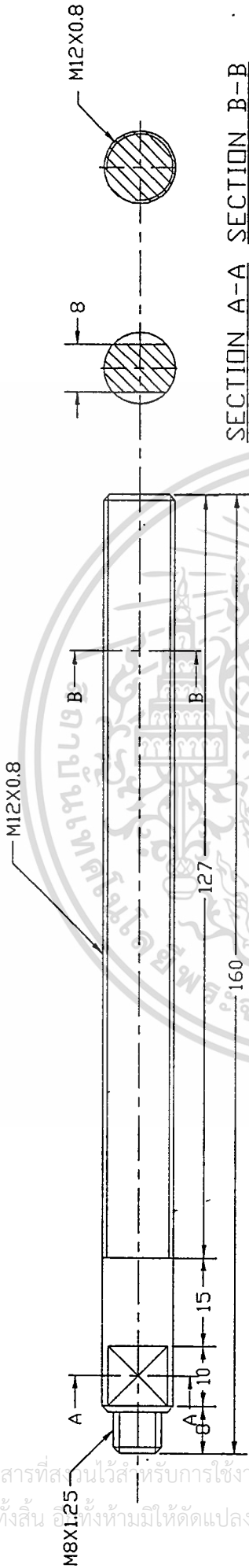
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
 Ladkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
SS-41	$\pm$	DATE	SPINDLE
DR.	T. Kiatson	1/06/94	
CH.	Suporn Kanchanamat.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Nipon Sukhum	20/06/94	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

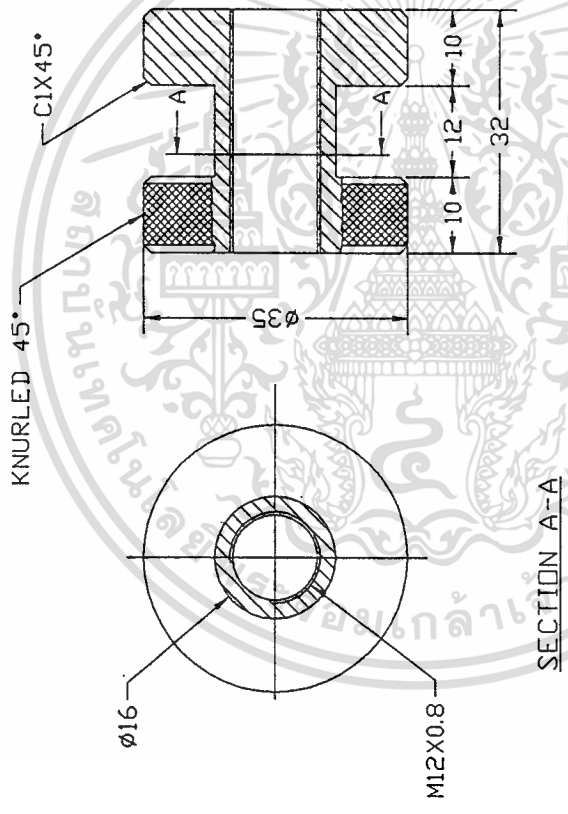


SECTION A-A SECTION B-B

King Mongkut's Institute of Technology  
 Ladkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	ADJUSTED SCREW
DR.	T. Kiatson	1/06/94	
CH.	Suporn Kanchanamat	12/06/94	DRAWING NO. 20
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	

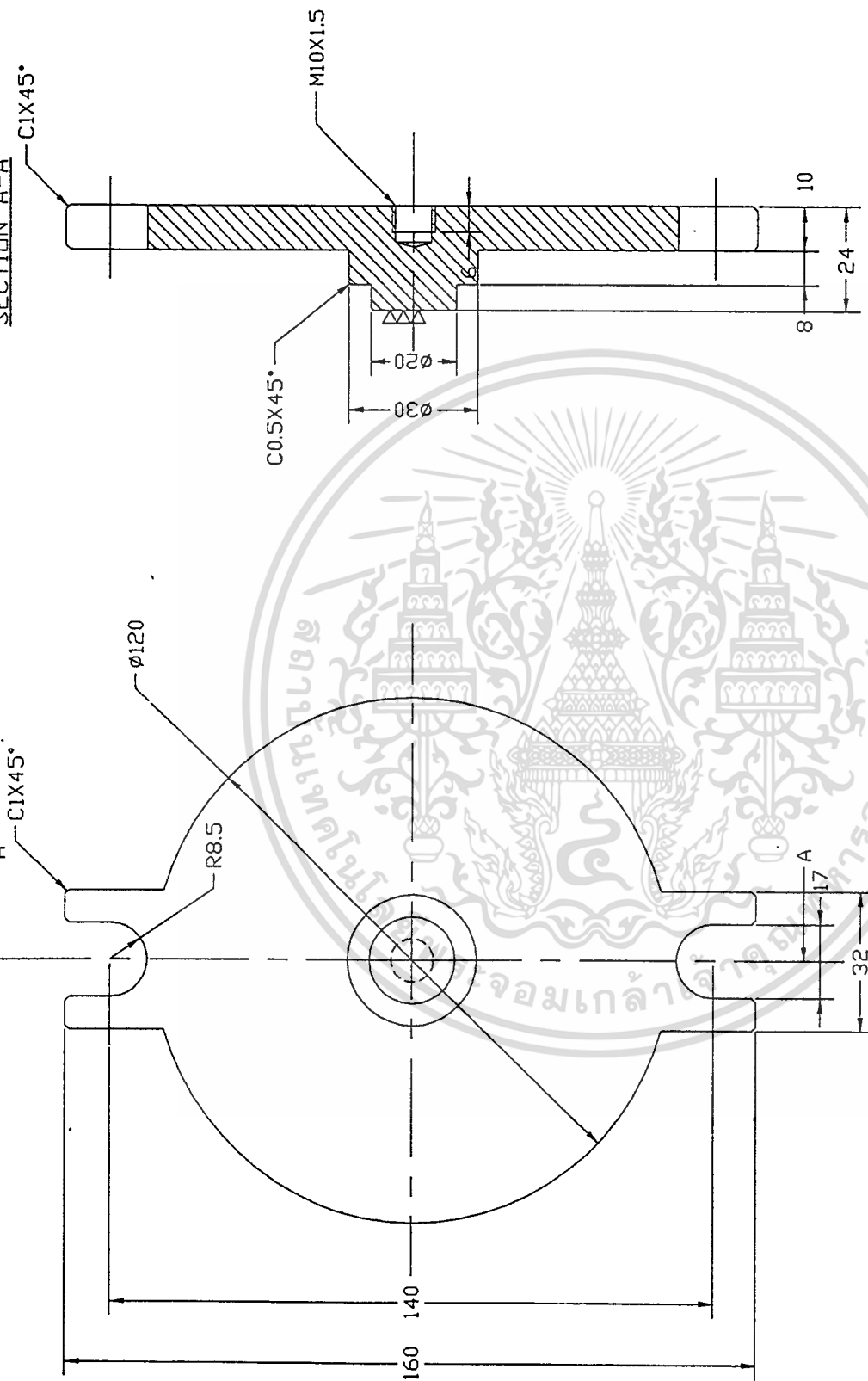
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้ที่ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labfrabang

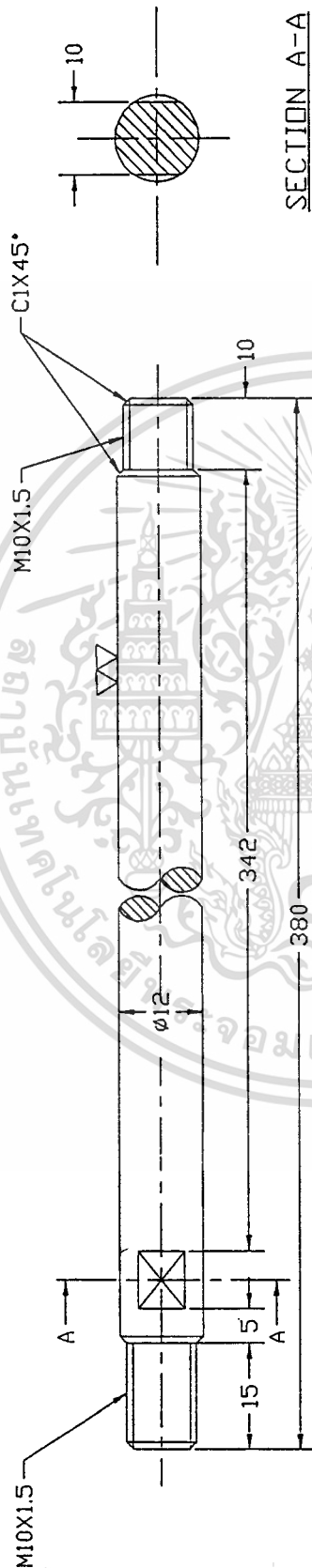
MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	NUT
DR.	T. Kiatboon	10/06/94	
CH.	Sysoon Kotebuamat.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		TITLE.	
		SCALE: 1:1.5	SUPPORT PLATE
MATERIAL: SS-41	TOLERANCES ON: + -	DATE	
DR. T. Kitson		DATE	12/06/94
CH. Suporn Korharnarat.		DATE	12/06/94
APPR. Niphan Sukhum		DATE	20/06/94
		DRAWING NO.	22

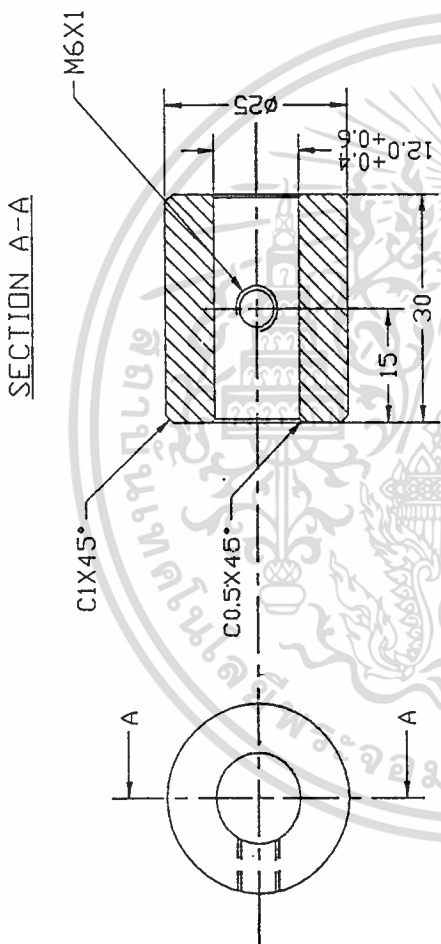
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labfrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE:
S45-C	+ -	DATE	SLIDE ROD
DR.	T. Kitson	1/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasarat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphan Sukhum	20/06/94	23

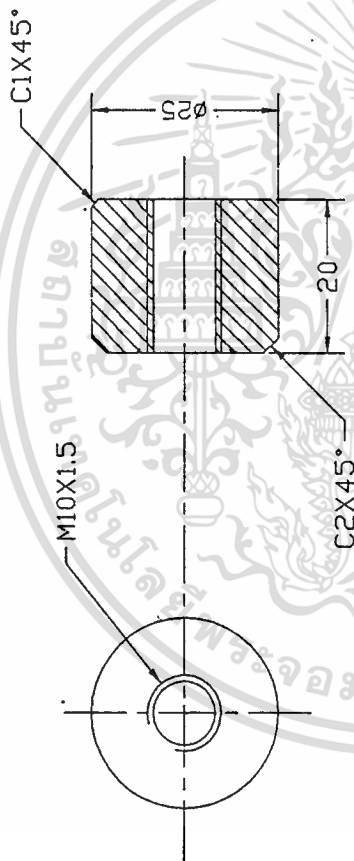
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labkrabang

MATERIAL: SS-41	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
	+ -	DATE	GUIDE BUSHES
DR.	T. Kiatson	1/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasart.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Nipon Sukhum	20/06/94	24

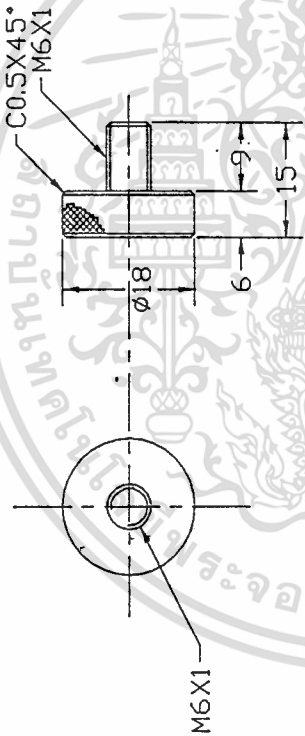
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:1	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	HOLDER ROD
DR.	T.Kiatvan	1/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasornrat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.:	Niphan Sukhum	20/06/94	25

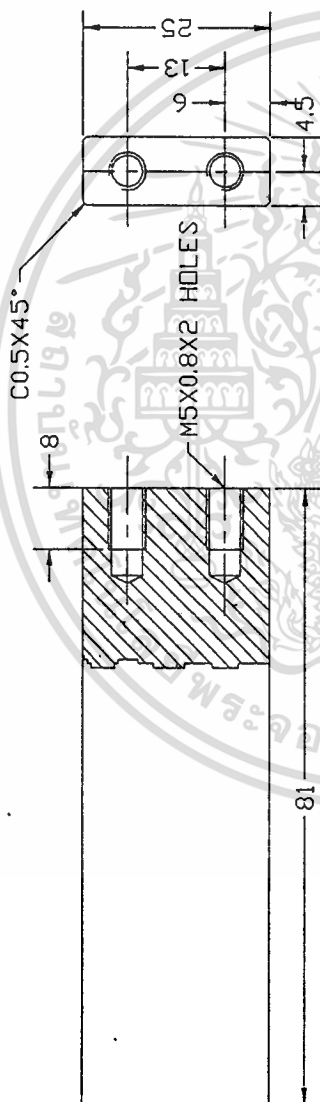
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labfrabang

MATERIAL :	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:1	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	LOCK NUT
DR.	T. Kitson	10/6/94	
CH.	Syovan Kanchanasat.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	26

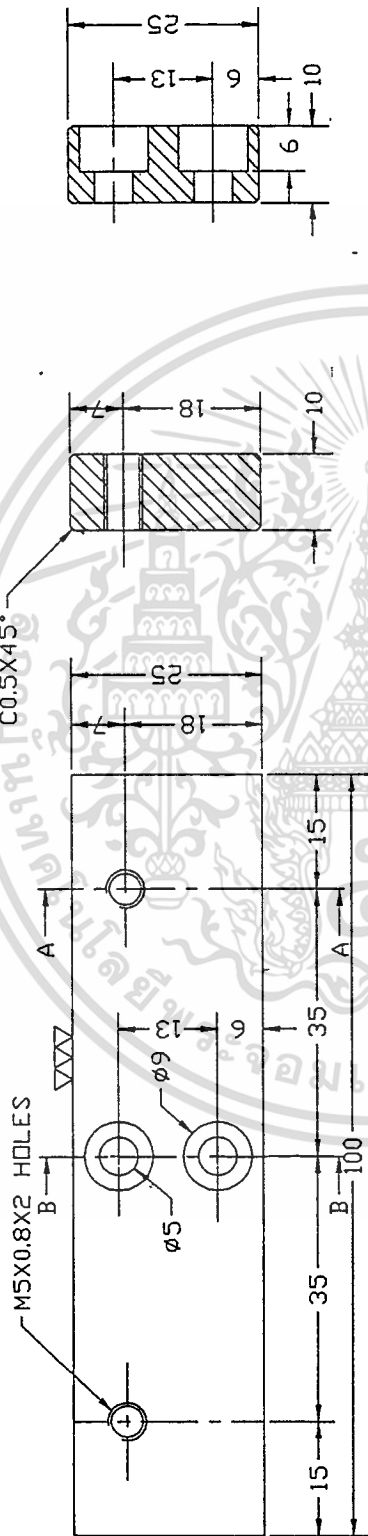
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:1	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	HOLDER BAR
DR.	T. Kitban	1/06/94	(FOR VERNEER HOLDING)
CH.	Suporn Kanchanamat.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphan Sukhum	20/06/94	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SECTION B-B

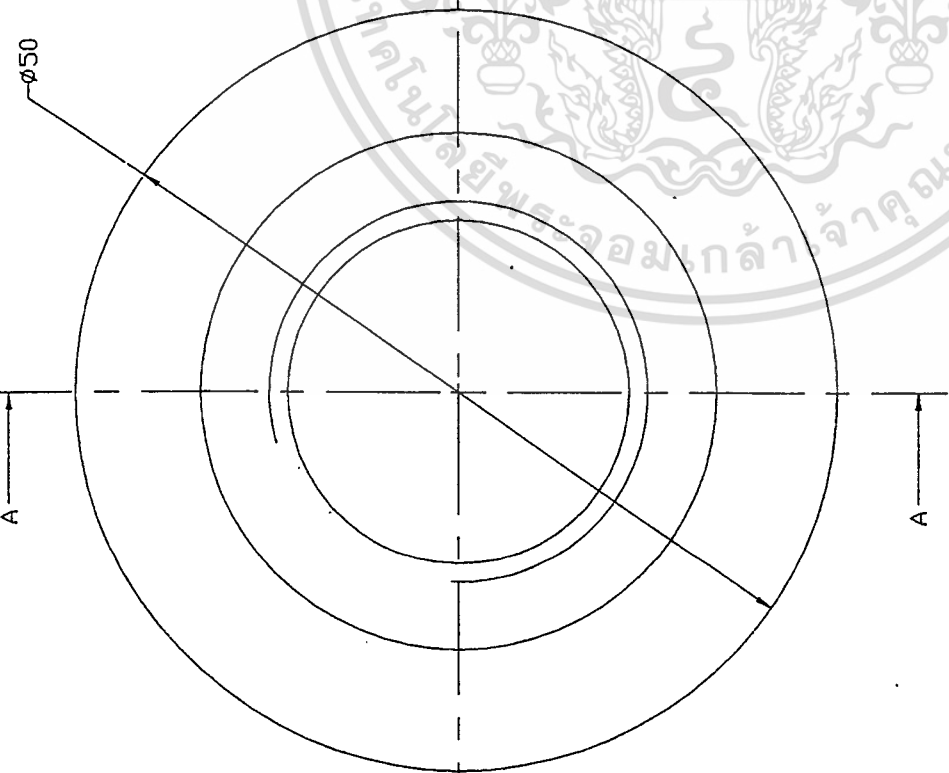
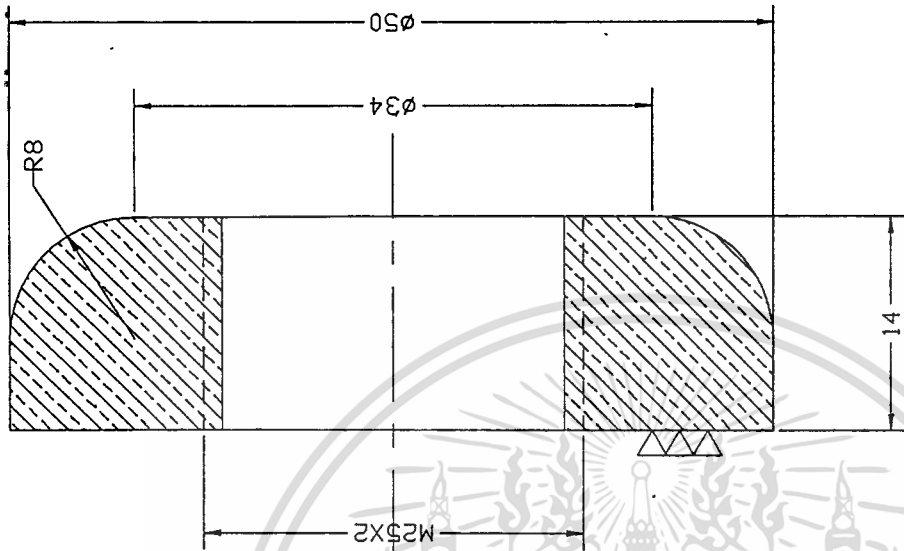
SECTION A-A

King Mongkut's Institute of Technology  
 Ladkrabang

MATERIAL: BAKELITE	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE:
	+	-	HOLDER PLATE
DR.	T. Nidban	DATE	(FOR VERNEER HOLDING)
CH.	Suporn Katchasornmat.	10/6/94	DRAWING NO.
APPR.	Nipphon Sukhum	20/06/94	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

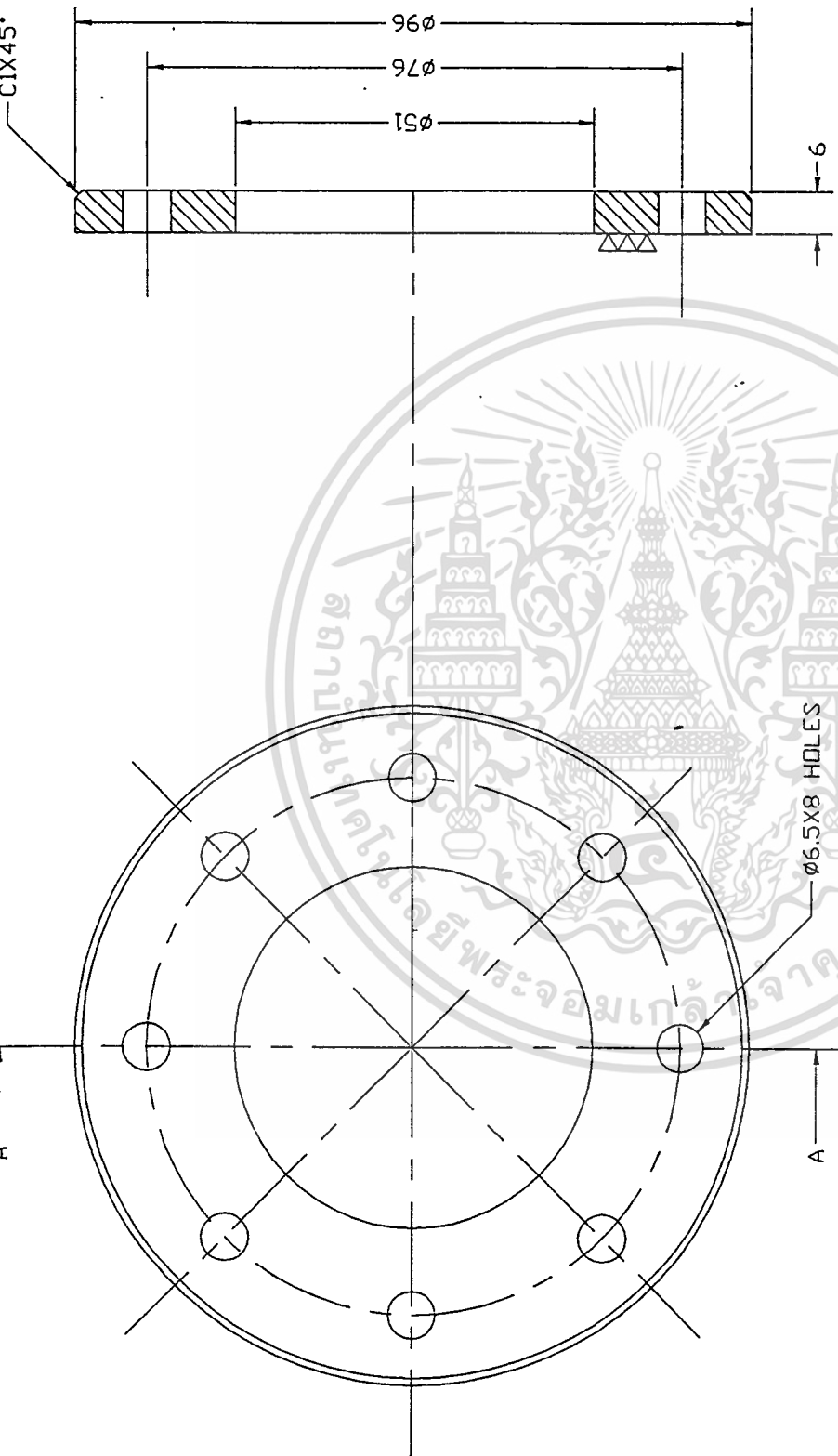
SECTION A-A



King Mongkut's Institute of Technology  
Ratthabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 2:1	TITLE.
BRASS	+ -	DATE	SLOT NUT
DR.	T. Kitson	11/06/94	
CH.	suporn kochasomrat.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

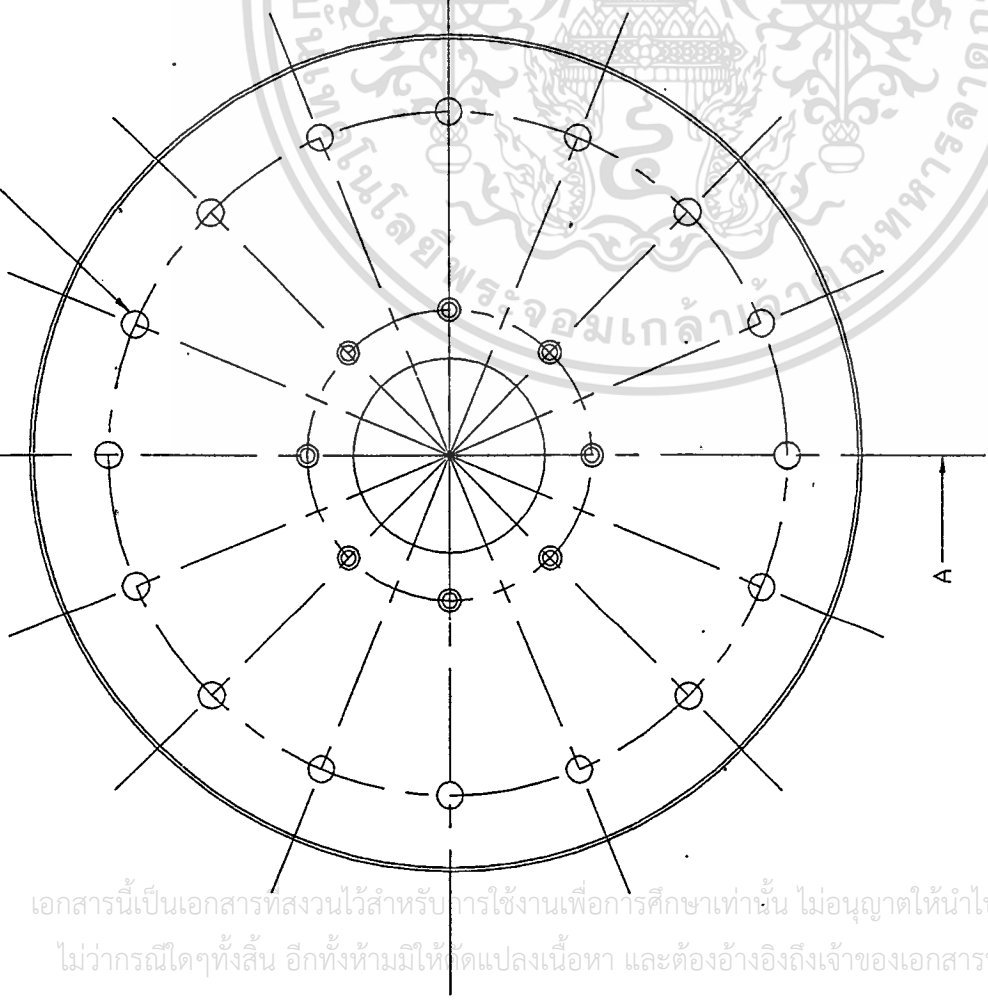
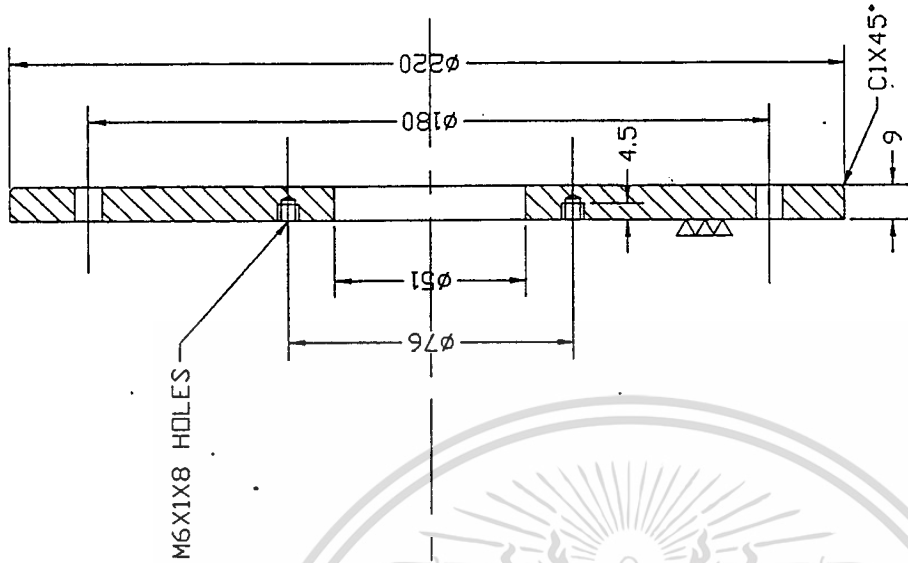


SECTION A-A

King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL :	TOLERANCES ON:	SCALE :	TITLE.
SS-41	+ -	1:1	FLANGE
DR.	T. Kitson	DATE	
CH.	Supon Kanchanasat	1/06/94	
APPR.	Niphon Sukhum	12/06/94	DRAWING NO.
		20/06/94	30

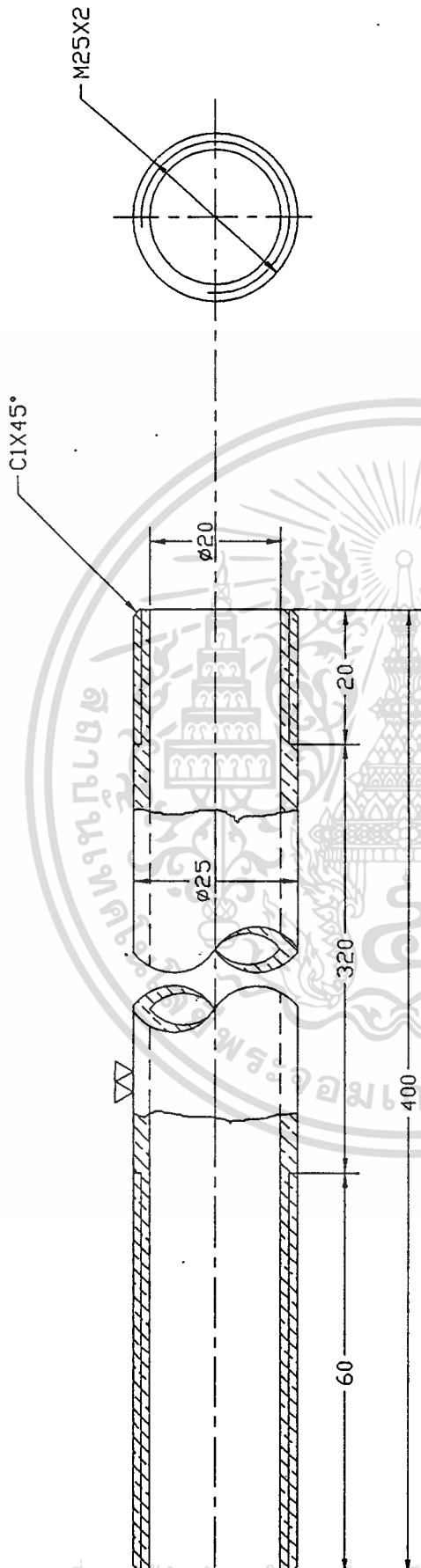
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:2	TITLE.
SS-41	+ -		FLANGE CONNECTION
DR.	T. Kitson	DATE	
CH.	Suporn Kanchanawat	10/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	31

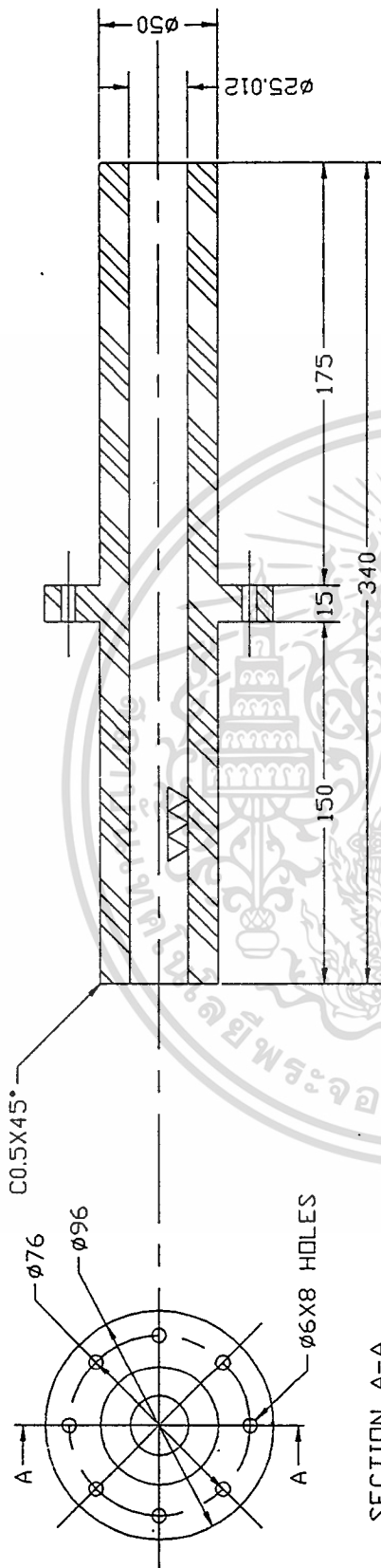
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL :	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:1	TITLE.
BRASS	+ -	DATE	BRASS TUBE
DR.	T. Kidson	1/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasart.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

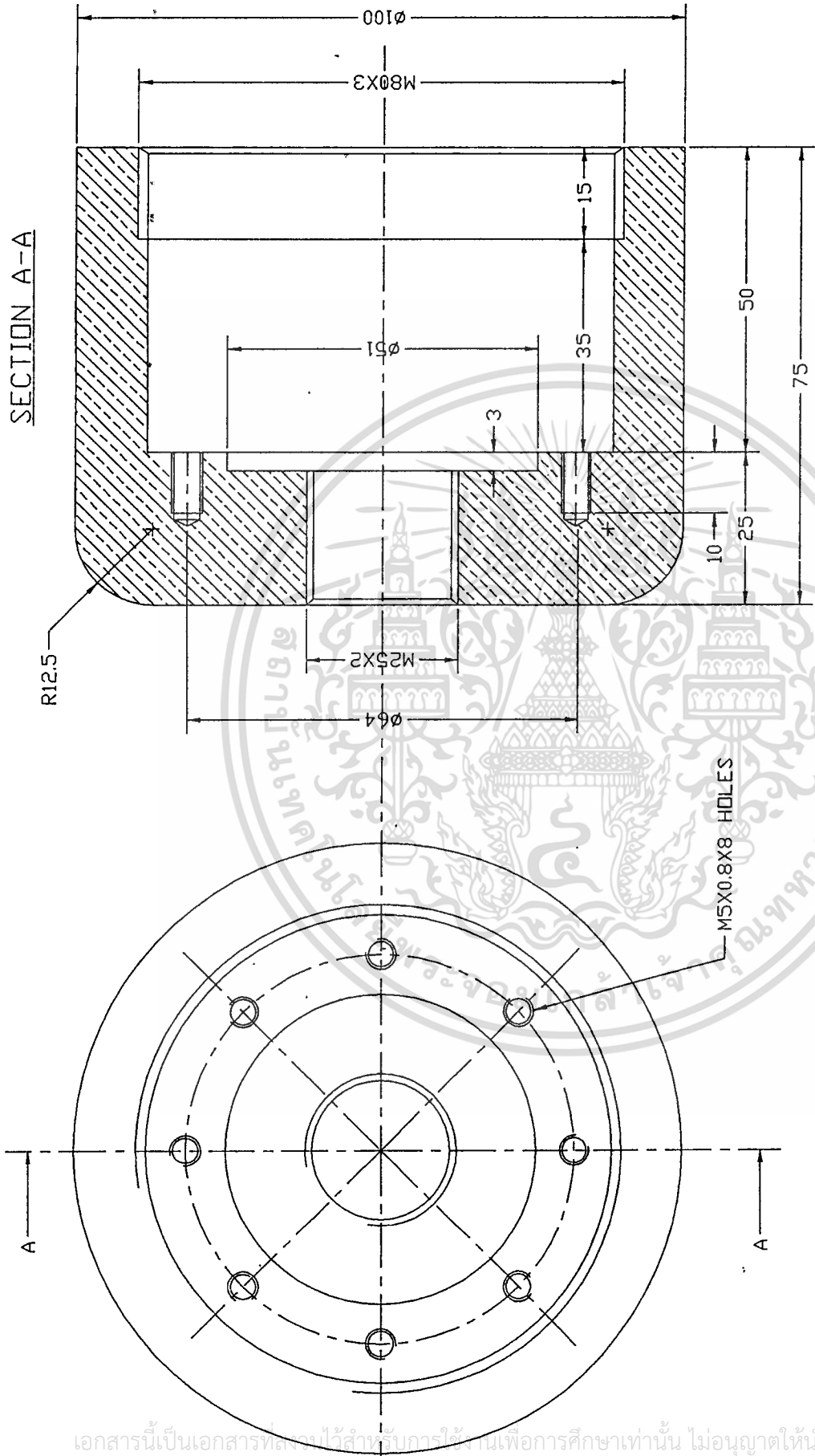


King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:3	TITLE.
NYLON	+ -	DATE	TUBULAR NYLON BUSHING
DR.	T. Kiatan	1/06/94	
CH.	Suyorn Kanchaisarnmat.	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

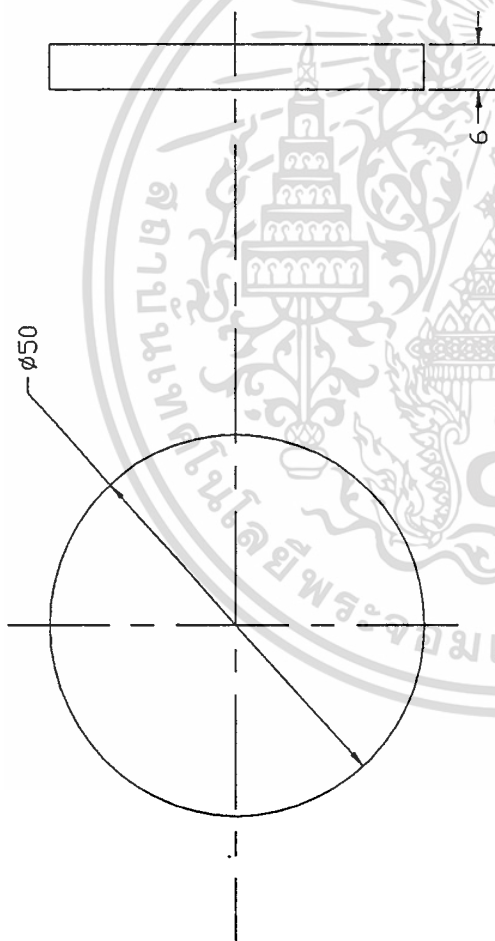
SECTION A-A



King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE:
BRASS	+ -	DATE	CORONA SHIELD
DR.	T. Nolson	11/06/94	
CH.	Suporn Kachareonrat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	34

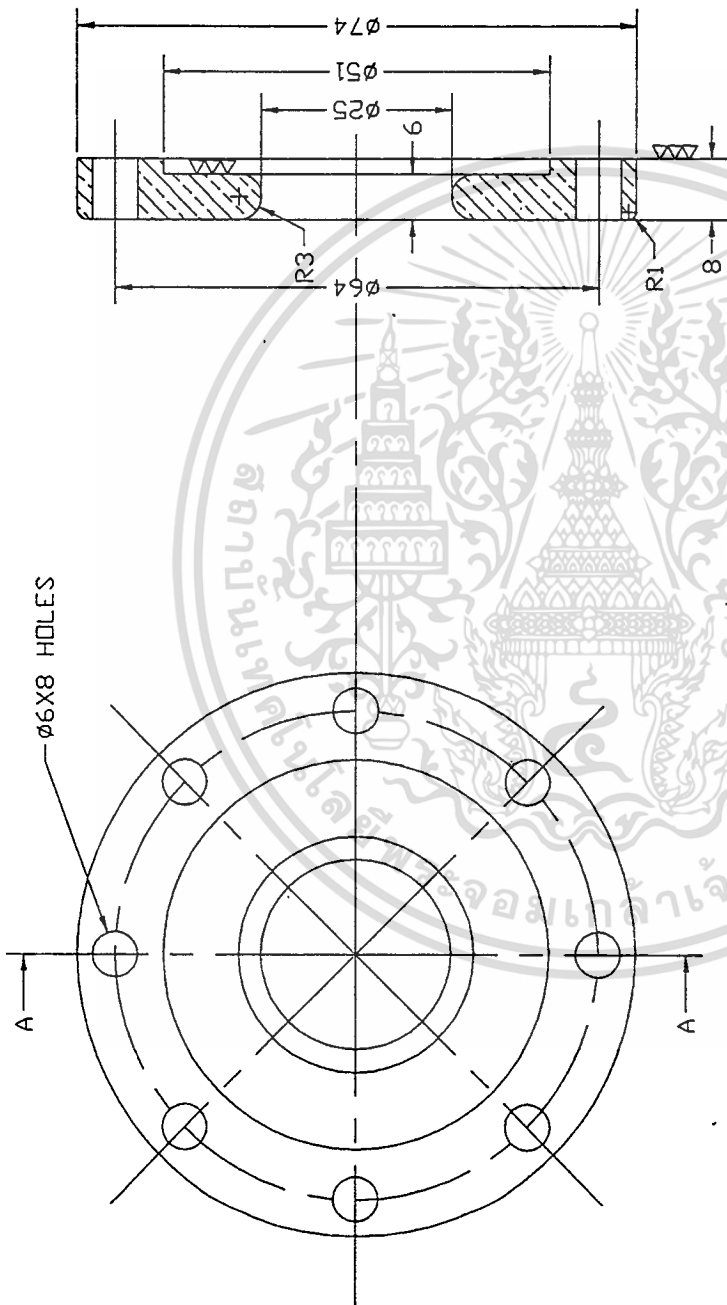
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เท่านั้น เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL : GLASS	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:1	TITLE.
	+	DATE	GLASS LENS
DR.	T. Kitben	1/06/94	
CH.	Suporn Kanchanamat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	35

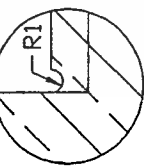
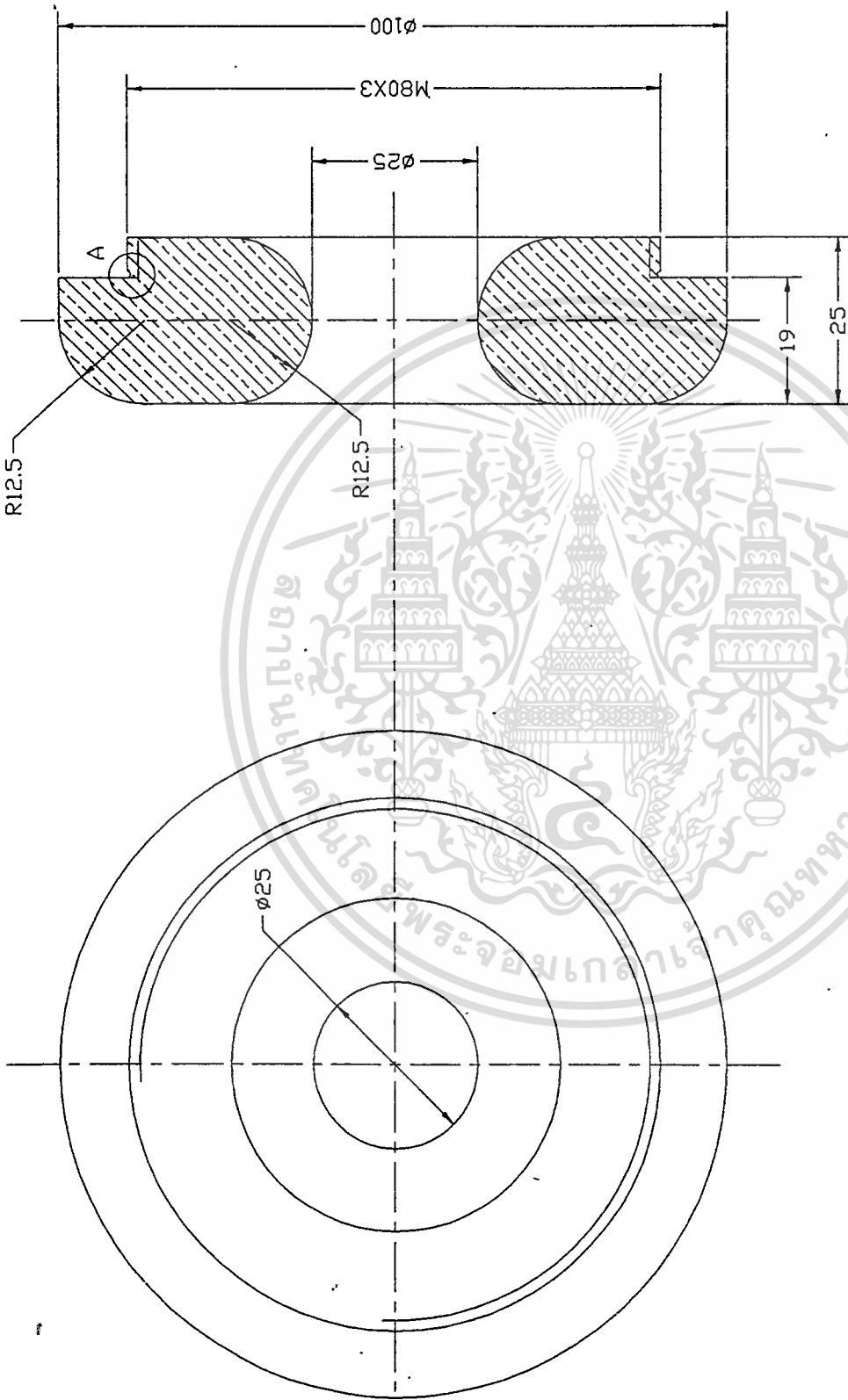
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
BRASS	+ -	DATE	BLANK FLANGE
DR.	T. Kitson	1/06/94	
CH.	Suyorn Kanchanasri	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



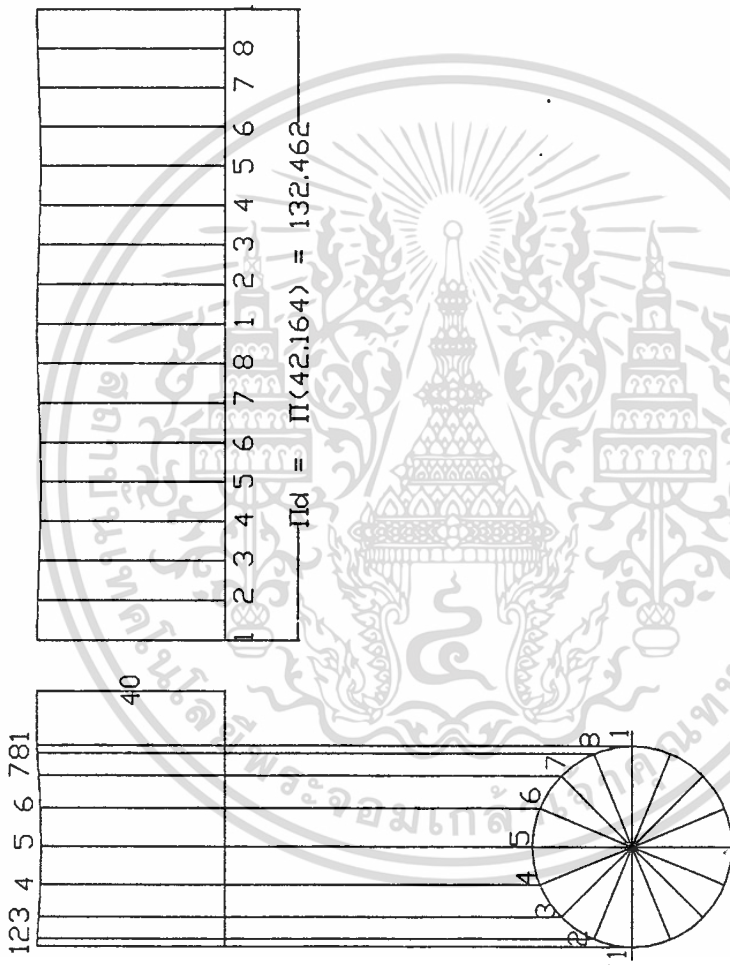
DETAIL AT A

SCALE 3:1

King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

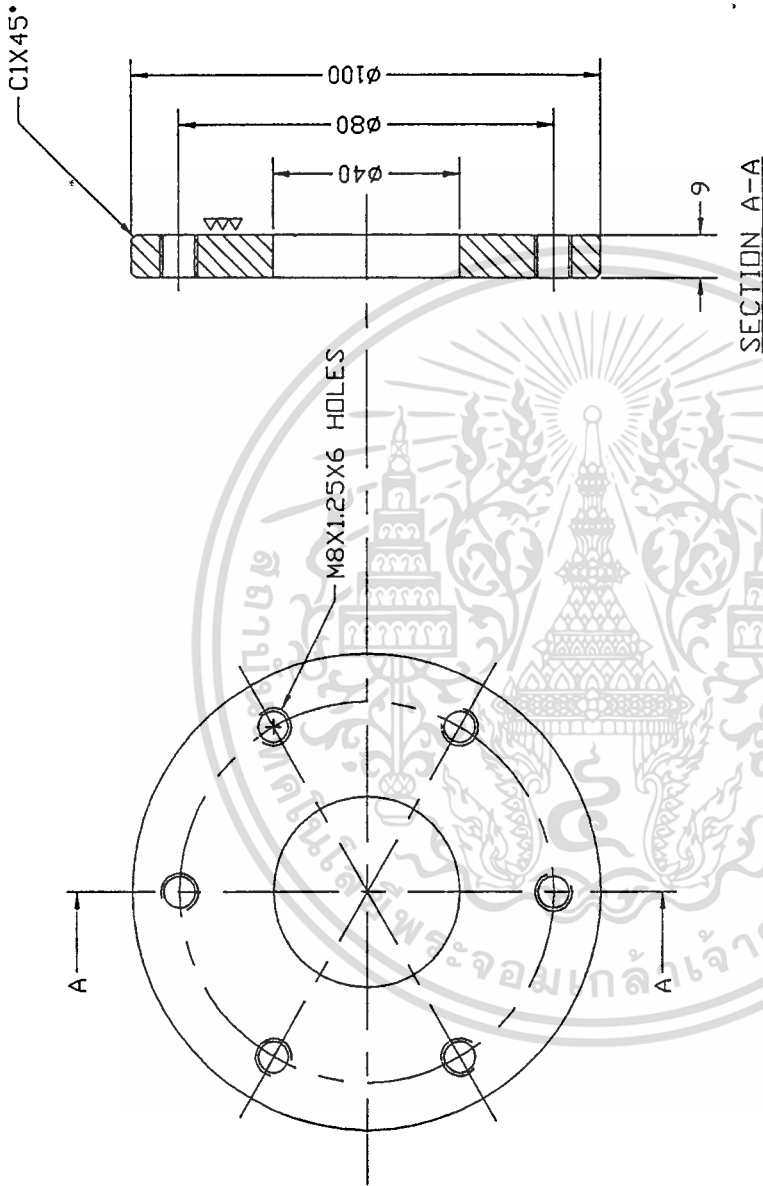
MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
BRASS	+ -	DATE	ANTI CORONA SHIELD
DR.	T. Kitson	10/06/94	
CH.	Suporn Kanchanornrat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<h3 style="margin: 0;">King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang</h3>			
MATERIAL: SS-41 t = 6	TOLERANCES ON: + -	SCALE : 1:1.6	TITLE.  TUBULATOR
DR.  T. Kitson	DATE  12/06/94		
CH.  Suporn Kanchanasri	DRAWING NO.  38		
APPR.  Niphon Sukhum	DATE  20/06/94		

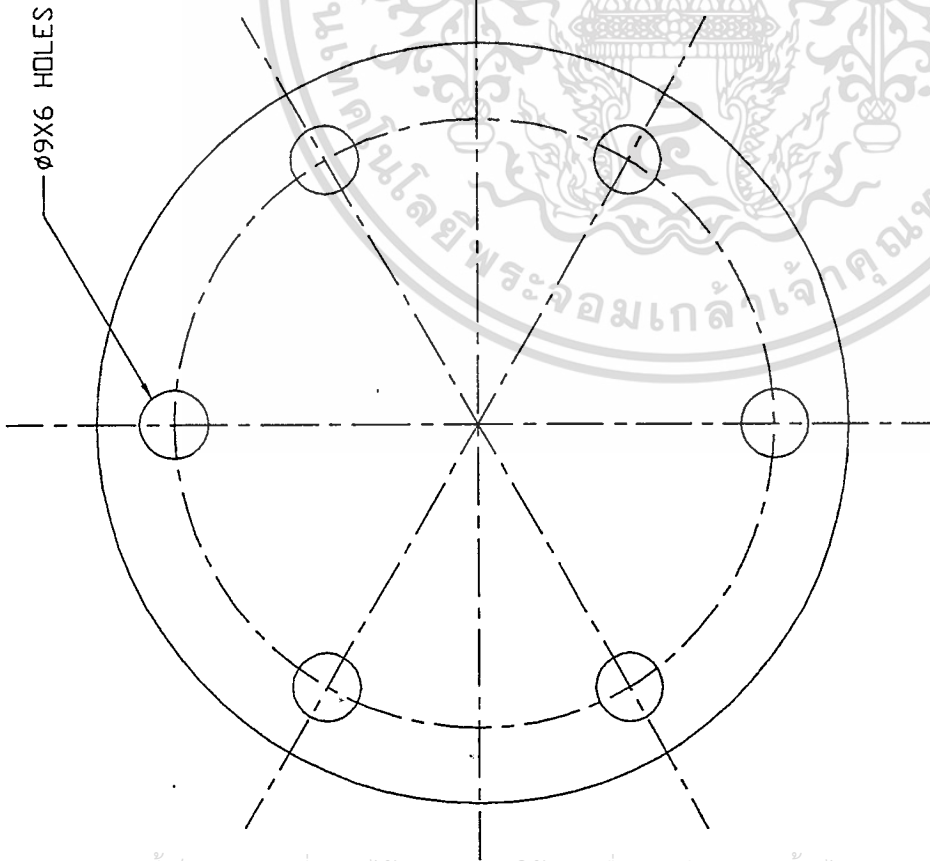
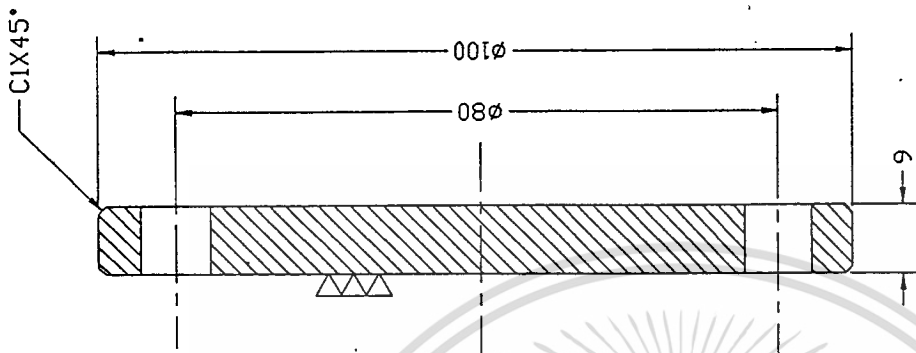
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Rabrabrang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1.6	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	FLANGER
DR.	T. Kiatson	1/06/94	
CH.	Suporn Koscharommat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Nipon Sukhum	20/06/94	39

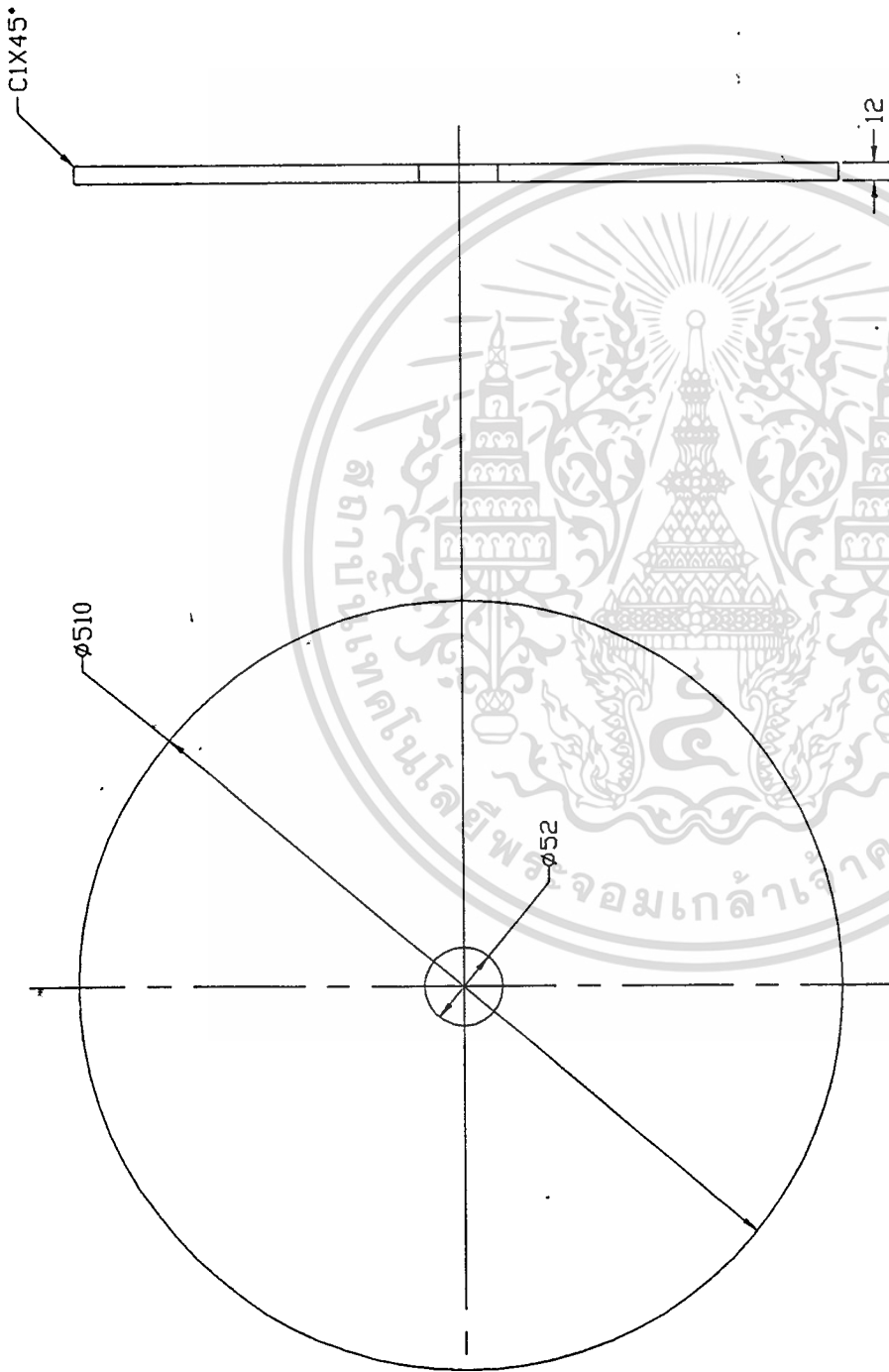
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Rabrabang

MATERIAL : SS-41	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:1	TITLE.
	+ -	DATE	VACUUM LID
DR.	T. Kitson	1/06/94	
CH.	suporn kanchasornmat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	40

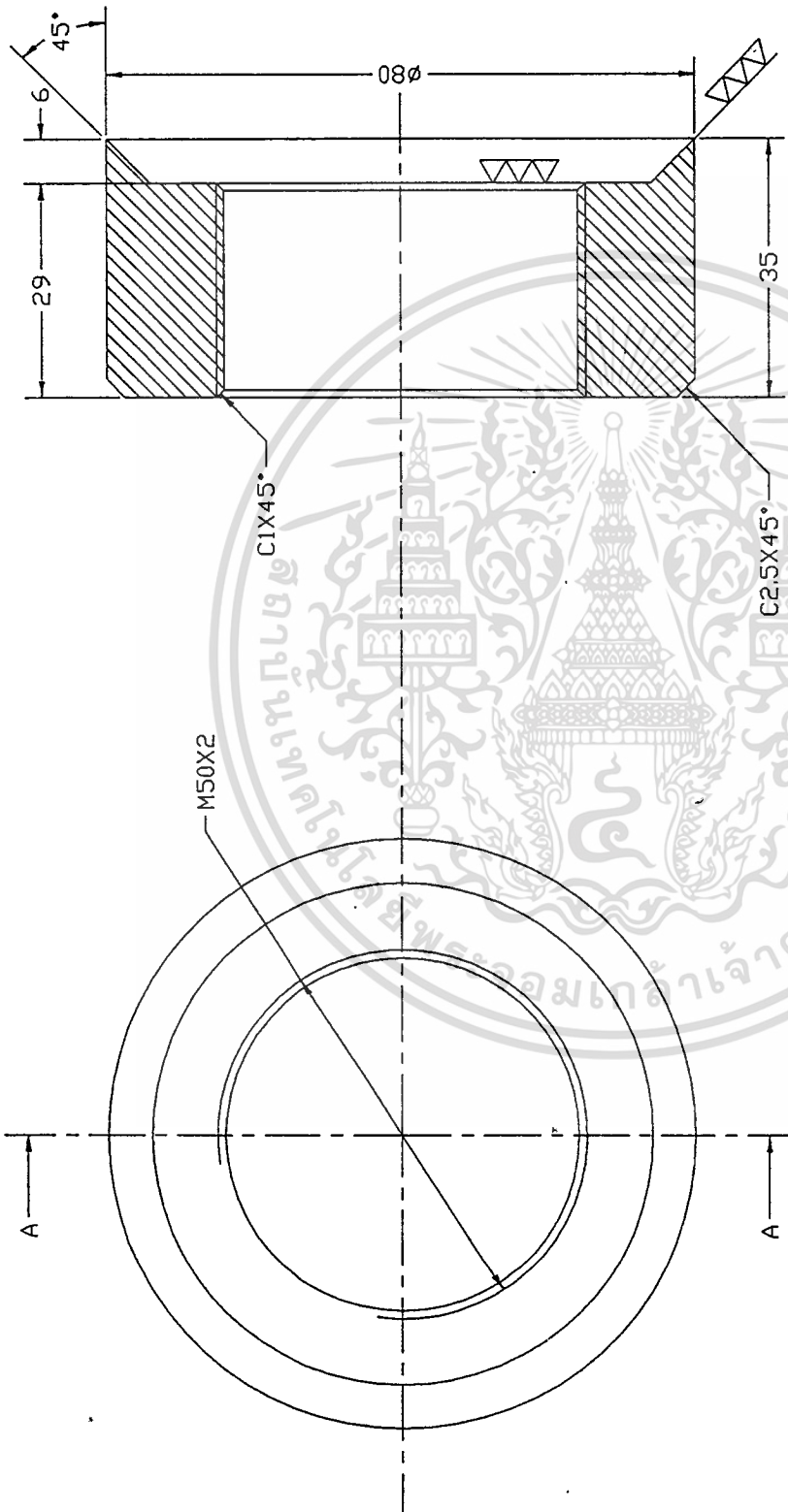
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL :	TOLERANCES ON:	SCALE : 1:5	TITLE.
SS-41	+ -		CHAMBER LID (LOWER SIDE)
DR.	T. Kiatson	DATE	
CH.	Suyorn Kanchanasat	1/06/94	
APPR.	Niphon Sukhum	12/06/94	DRAWING NO.
		20/06/94	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

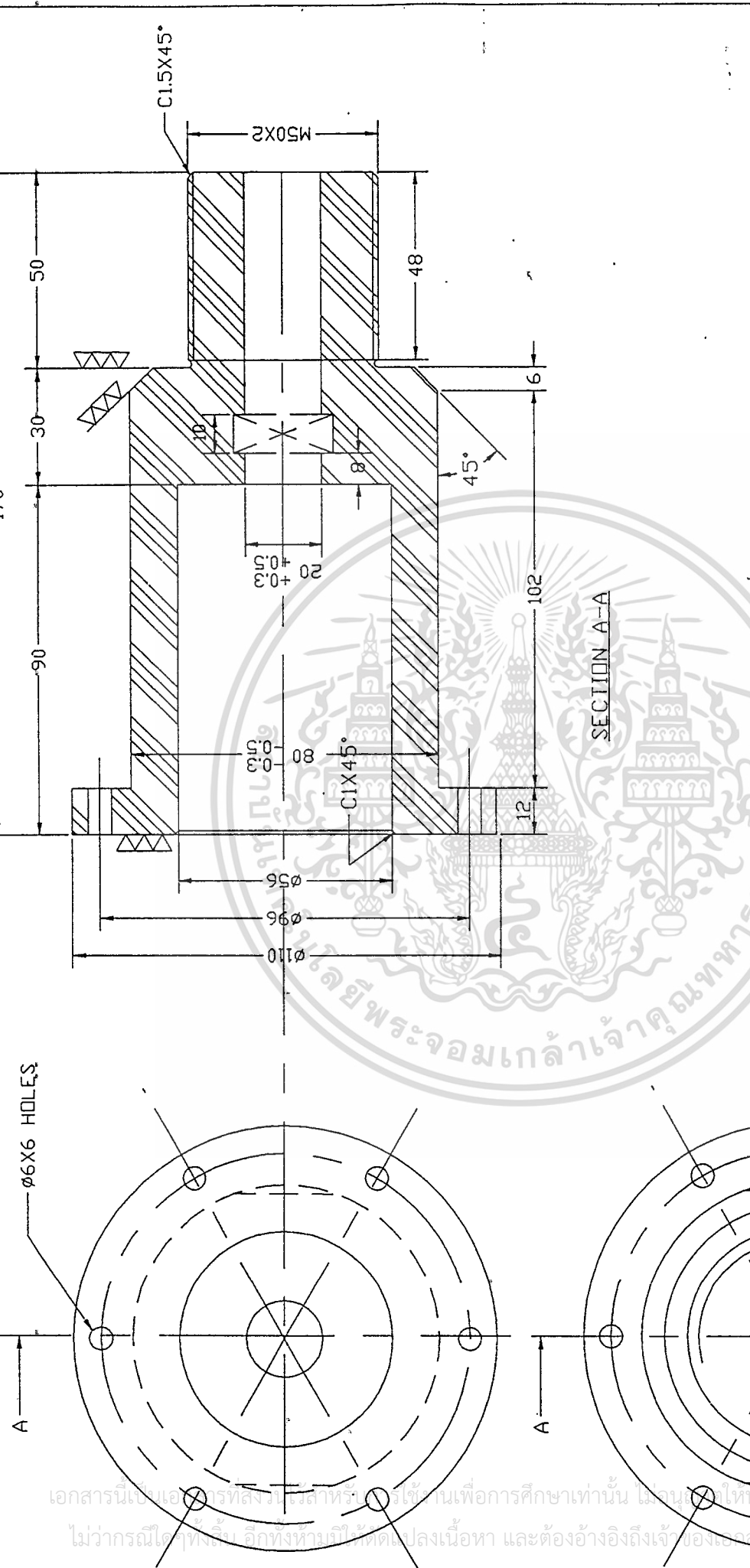


SECTION A-A

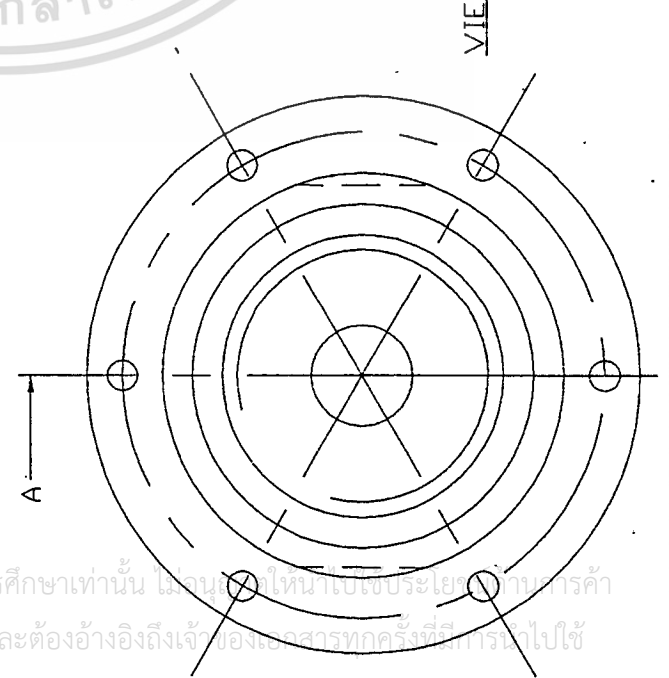
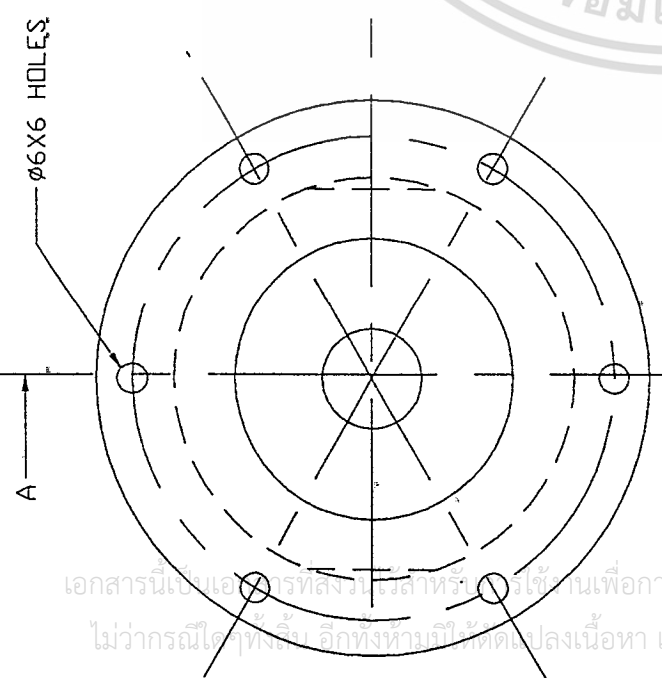
King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL: SS-41	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
	+		COUPLING
DR.	T. Kiatson	DATE	
CH.	Suporn Kanchanornrat	1/06/94	
APPR.	Niphan Sukhum	12/06/94	DRAWING NO.
		20/06/94	42

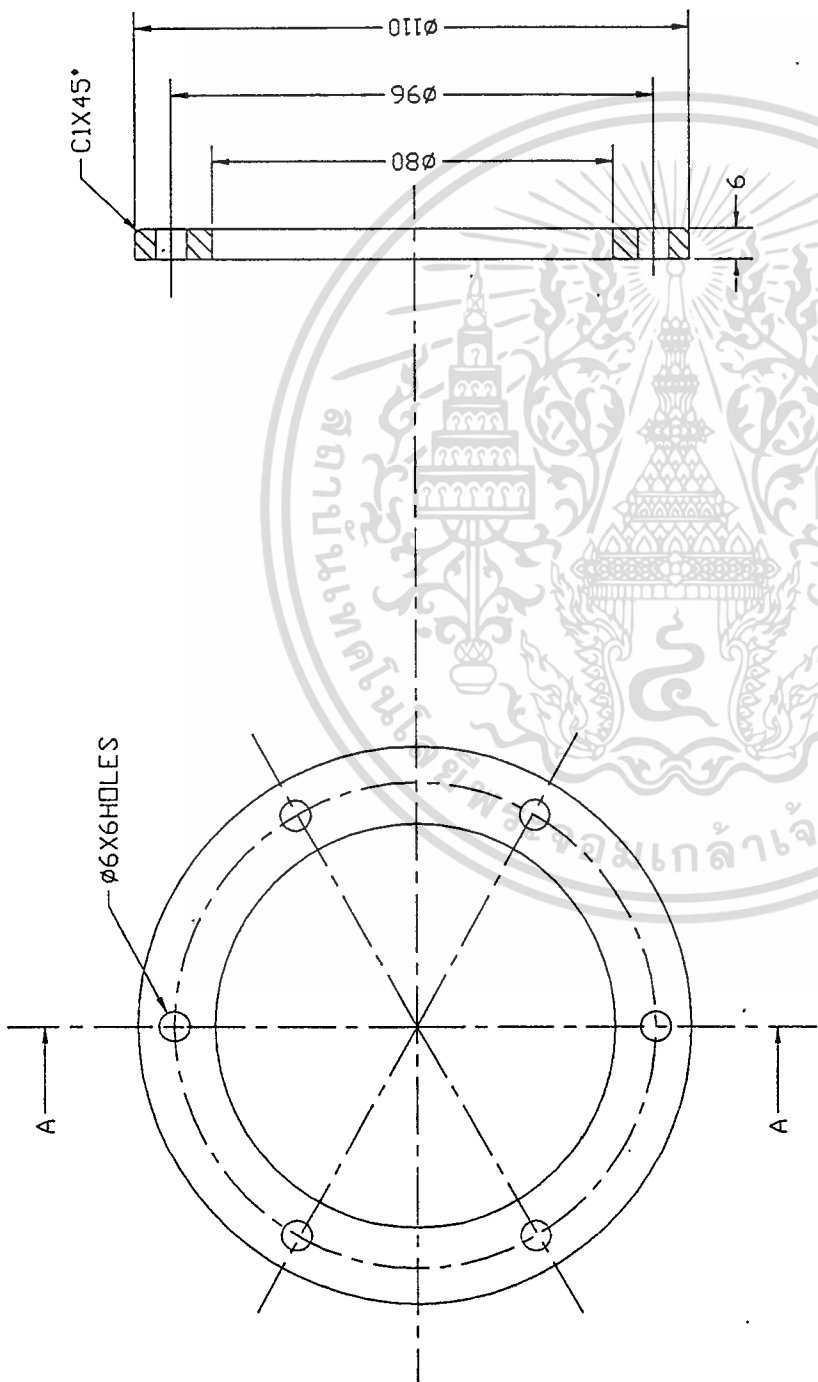
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		TITLE.	
		POLYETHYLENE SEAL	
MATERIAL: POLYETHYLENE (PE)	TOLERANCES ON: SCALE: 1:1.5 ±		DATE
	DR.	T. Kitson	1/06/94
CH.	Suporn Kosacharnmat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ซ้ำได้หากมีข้อผิดพลาด กรุณาแจ้งให้ทราบ

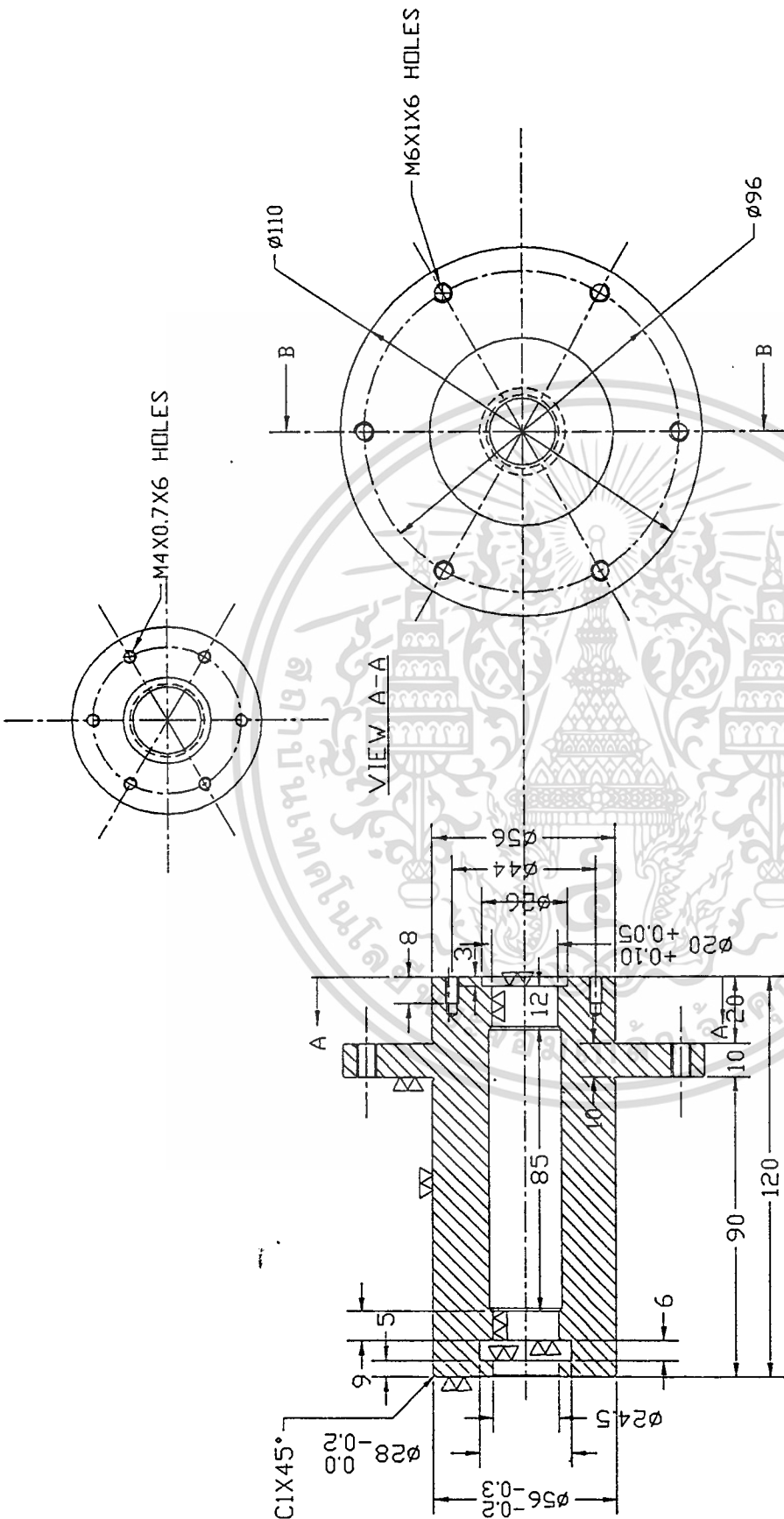


SECTION A-A

King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1.5	TITLE:
SS-41	+ -	DATE	FLANGE
DR.	T. Kitson	11/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasri	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



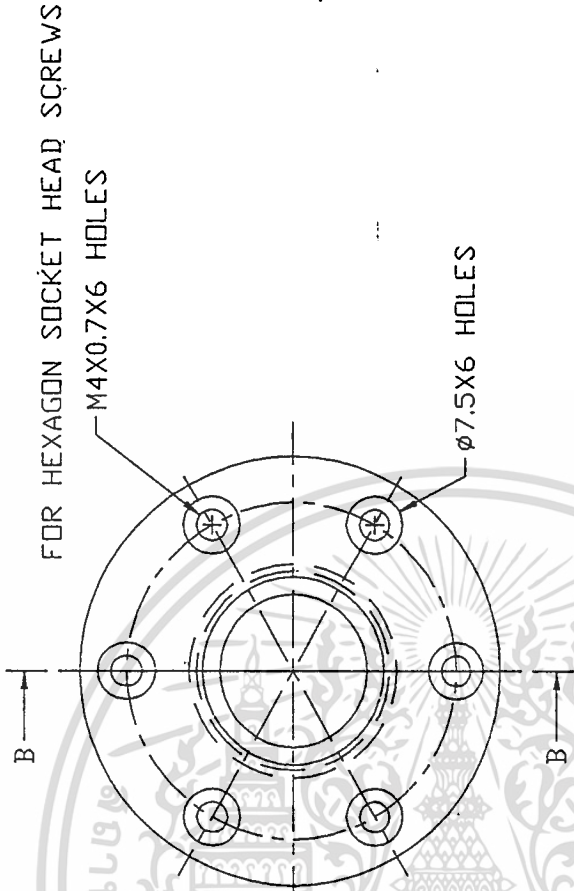
Ring Mngkut' Snnstitute of Technology.  
Labfrabang

MATERIAL:		TOLERANCES ON:	SCALE: 1:2	TITLE:	
SS-41		+ -		DATE	SYLIDING BUSH
DR.	T. Kitson			11/06/94	
CH.	Suporn Kanchanasart			12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum			20/06/94	45

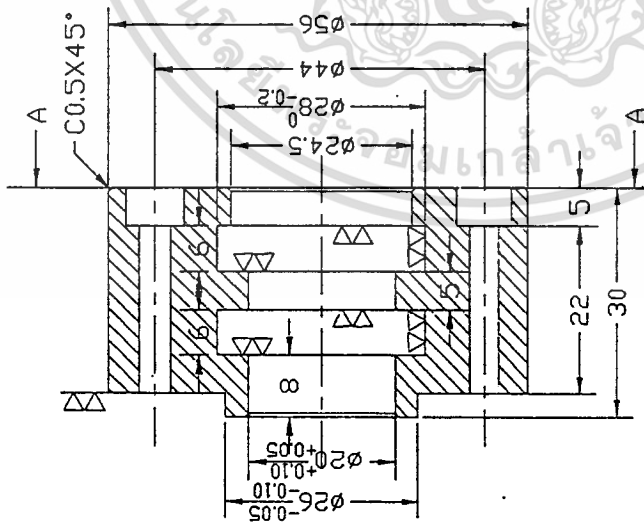
SECTION B-B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIEW A-A



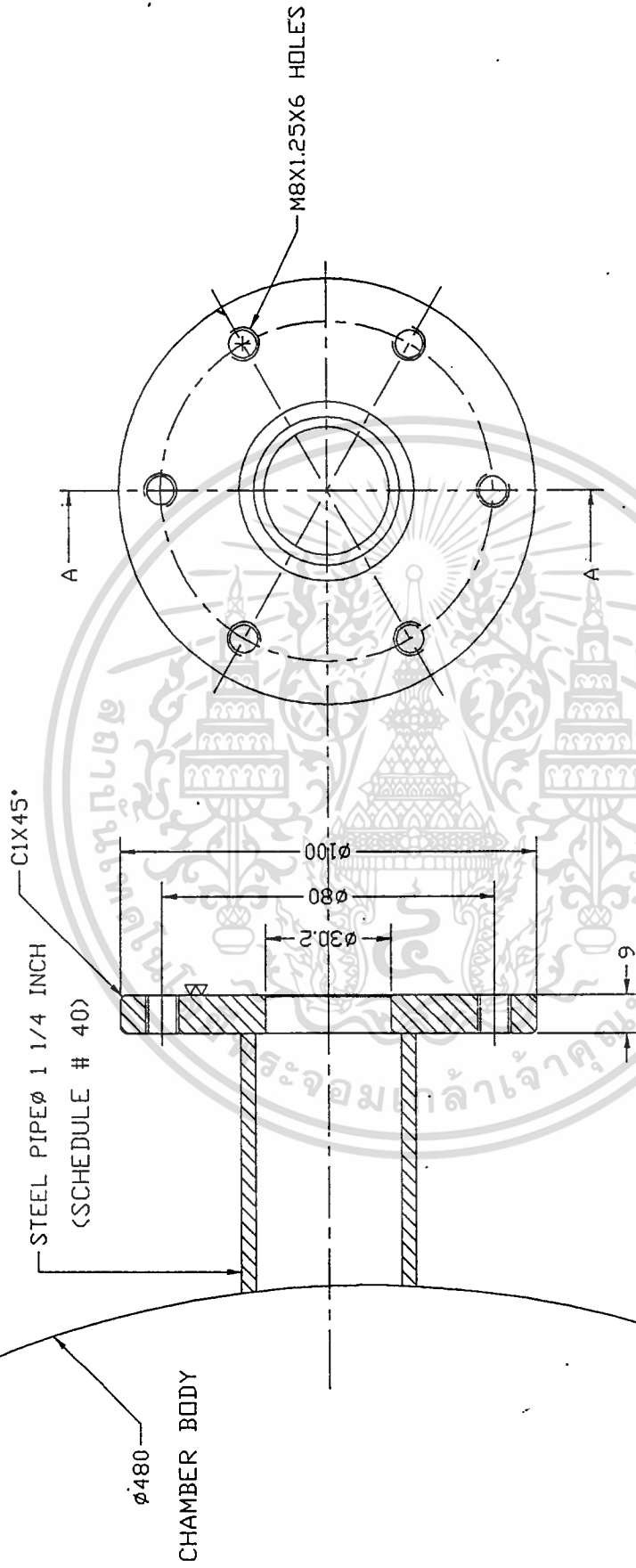
SECTION B-B



King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang

MATERIAL: SS-41	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE:
	+	DATE	GUIDE BUSH
DR.	T. Kitbam	1/06/94	
CH.	Suporn Kanchaensat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	46

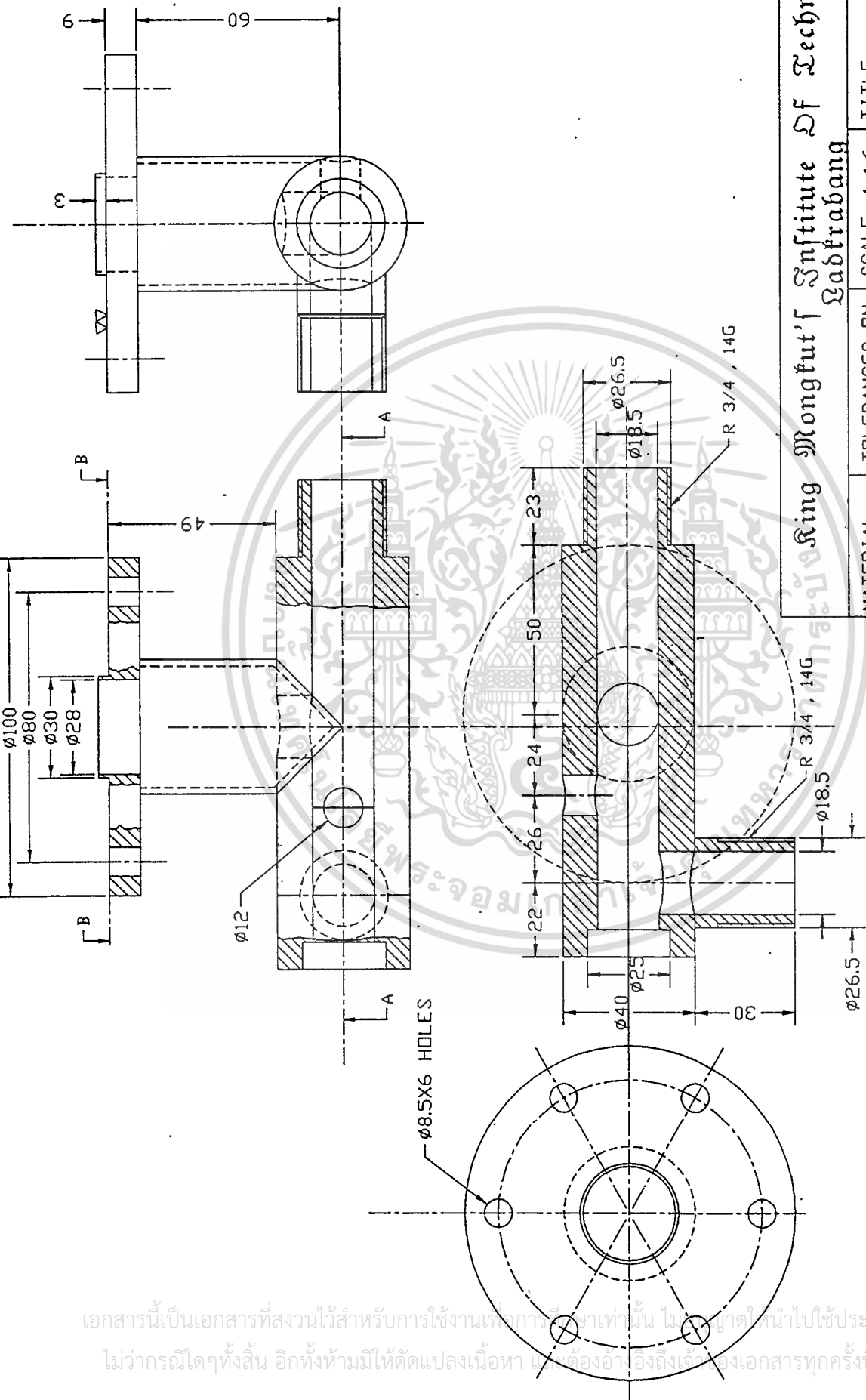
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1.6	TITLE:
SS-41	+ -	DATE	FLANGER & TUBULATION
DR.	T. Kitson	10/06/94	
CH.	Syreen Kanchanasat	12/06/94	DRAWING NO.
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



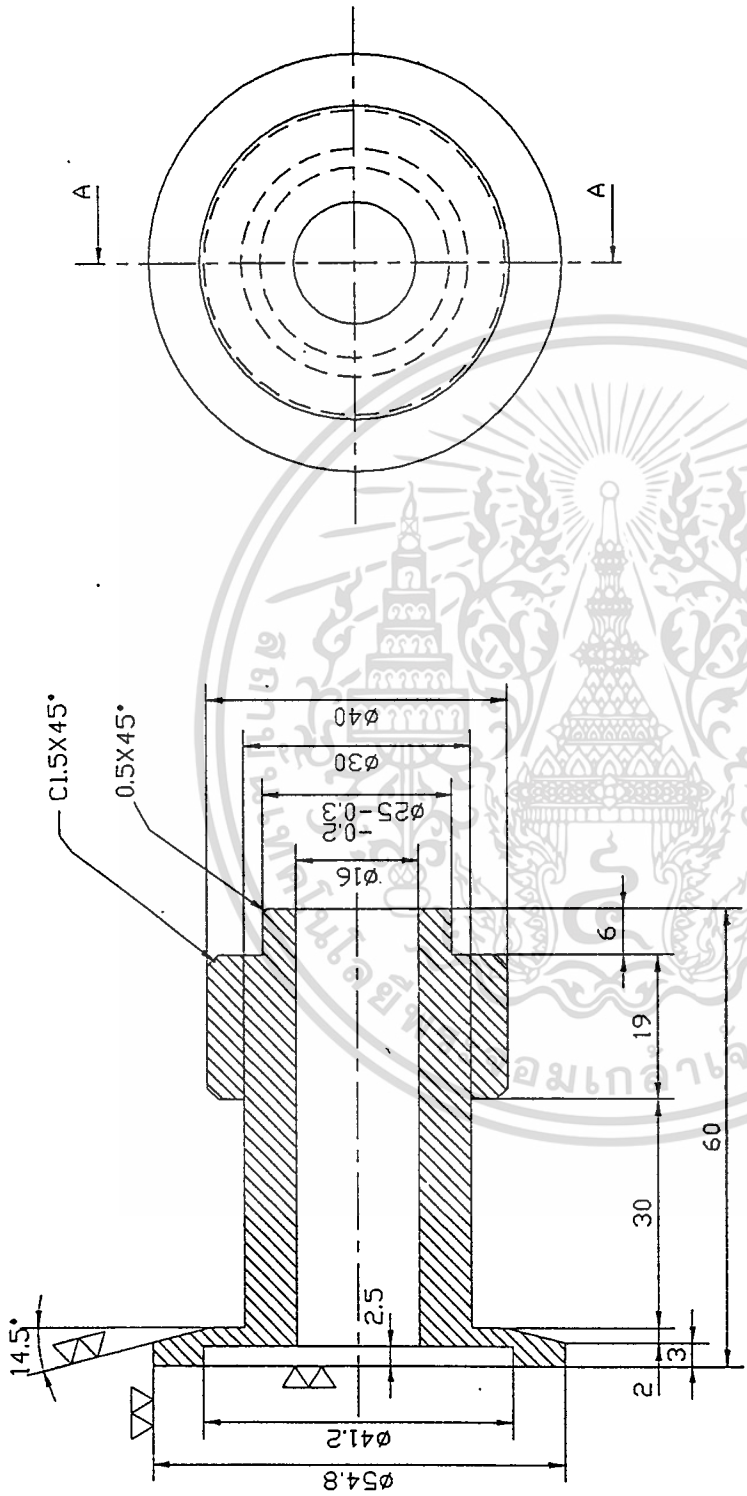
King Mongkut's Institute of Technology  
 Ladkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE:	TITLE:
SS-41	+ -	1:1.6	CONNECTOR SET
DR.	T. Natsan	DATE	
CH.	Sophon Kothasarnrat	1/06/94	
APPR.	Niphon Sukhum	12/06/94	DRAWING NO.
		20/06/94	50

SECTION A-A

VIEW B-B

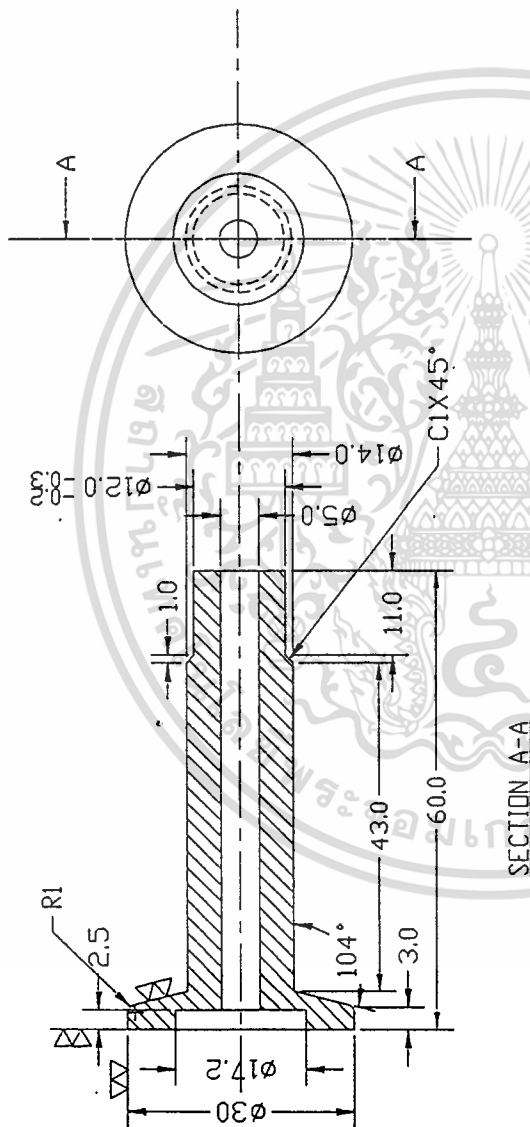
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



King Mongkut's Institute of Technology  
Labfrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE:
SS-41	+ -	DATE	SMALL FLANGE WITH TUBULATION
DR.	T. Kiatson	1/06/94	DRAWING NO. 51
CH.	Suporn Koscharonmat	12/06/94	
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Ring Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE:
SS-41	+ -		SMALL FLANGE WITH TUBULATION
DR.	T. Kitson	DATE	
CH.	Suporn Kotechaonmat	1/06/94	
APPR.	Niphon Sukhum	12/06/94	DRAWING NO.
		20/06/94	52

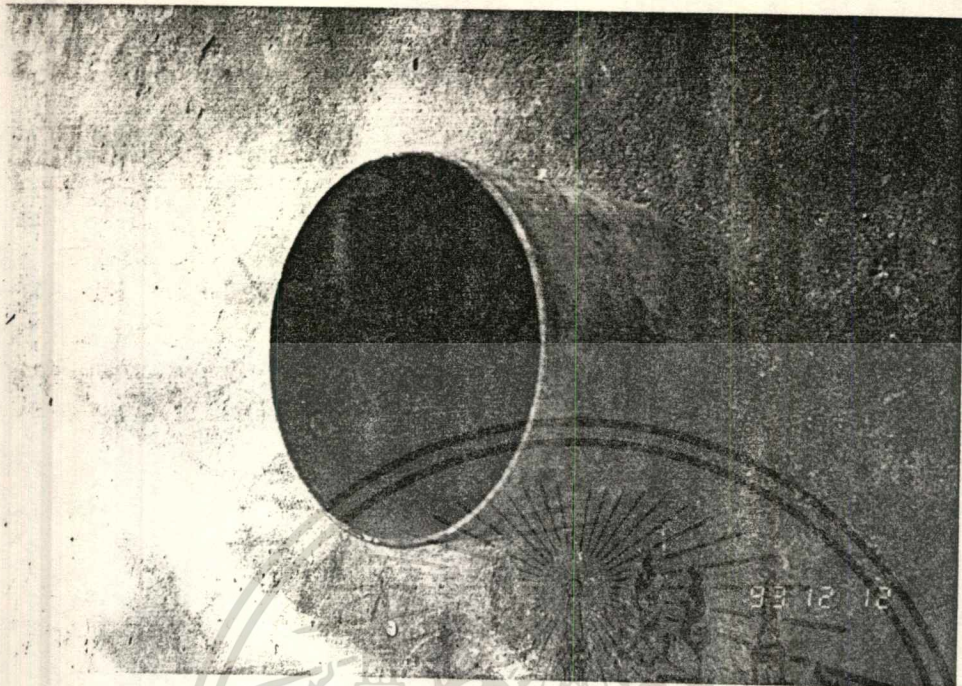
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



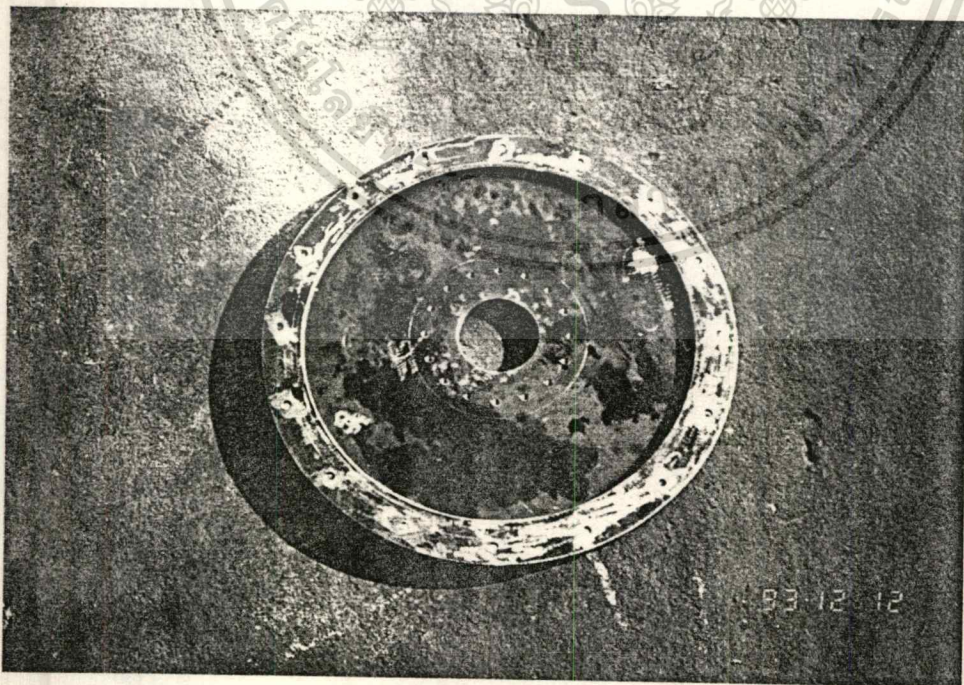
Sing Mongkut Institute of Technology  
Labrabang

MATERIAL:	TOLERANCES ON:	SCALE: 1:1	TITLE.
SS-41	+ -	DATE	GUIDE ROD
DR.	T. Kitson	1/06/94	
CH.	Suporn Kotsakornrat	12/06/94	DRAWING NO. 67
APPR.	Niphon Sukhum	20/06/94	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

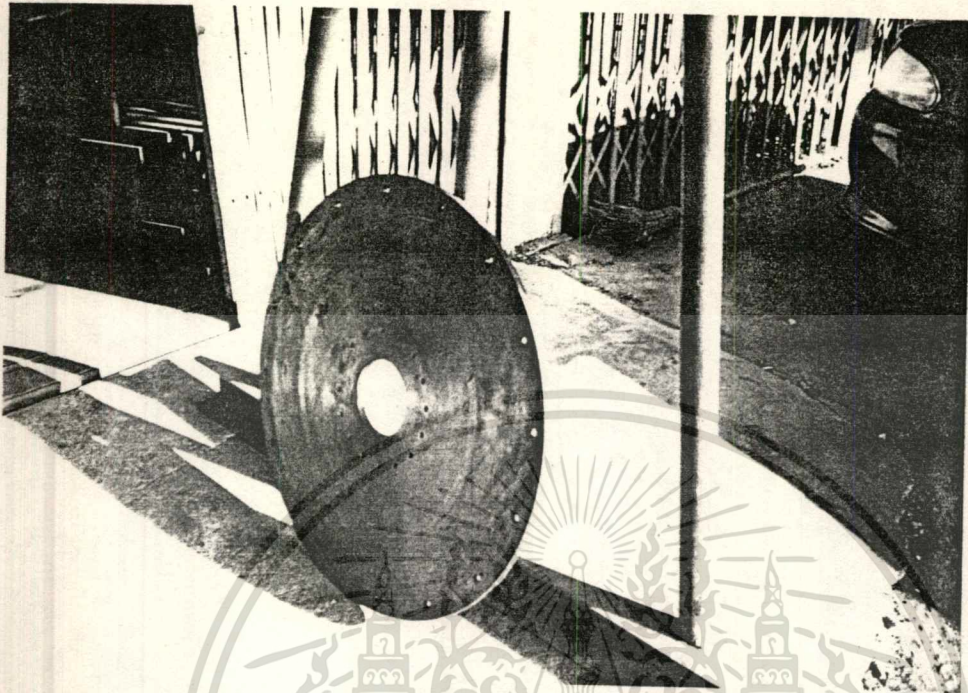


รูปภาพที่ 1 CHAMBER BODY

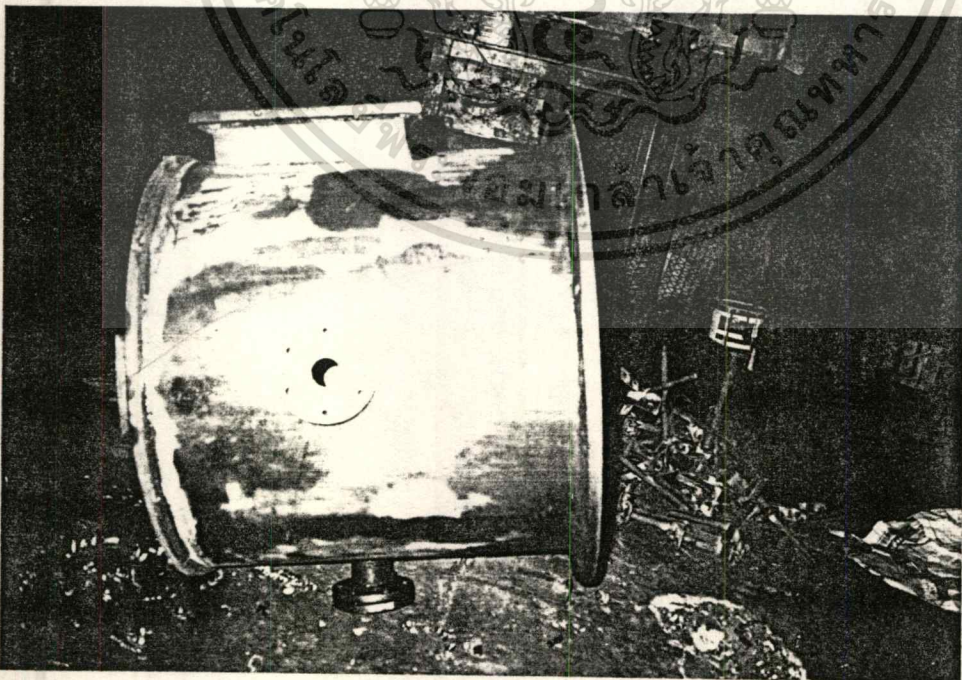


รูปภาพที่ 2 CHAMBER FLANGE UPPER SIDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

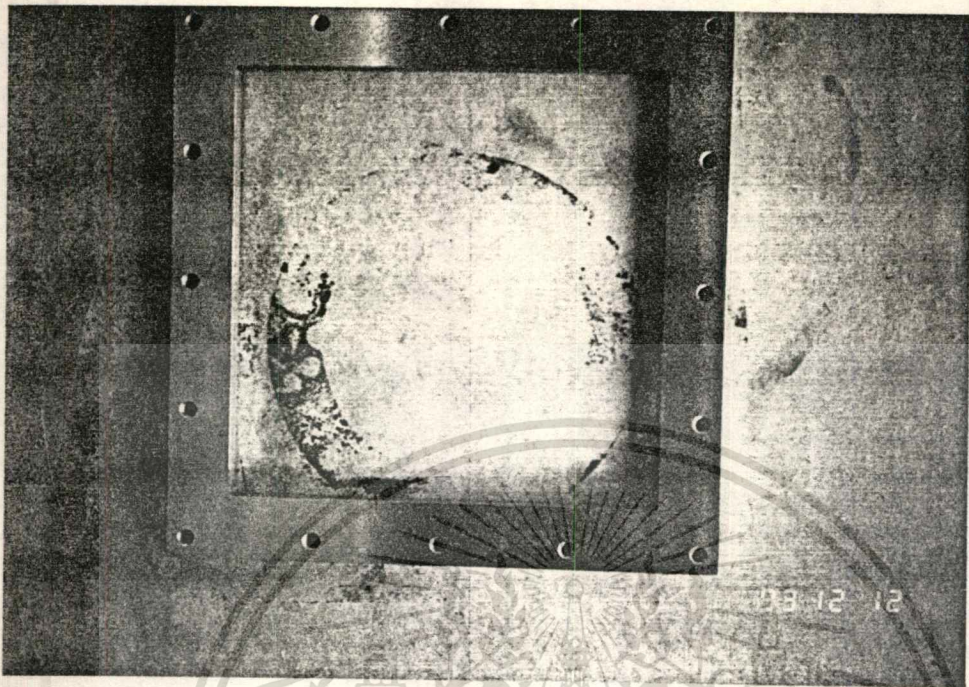


รูปภาพที่ 3 CHAMBER LID

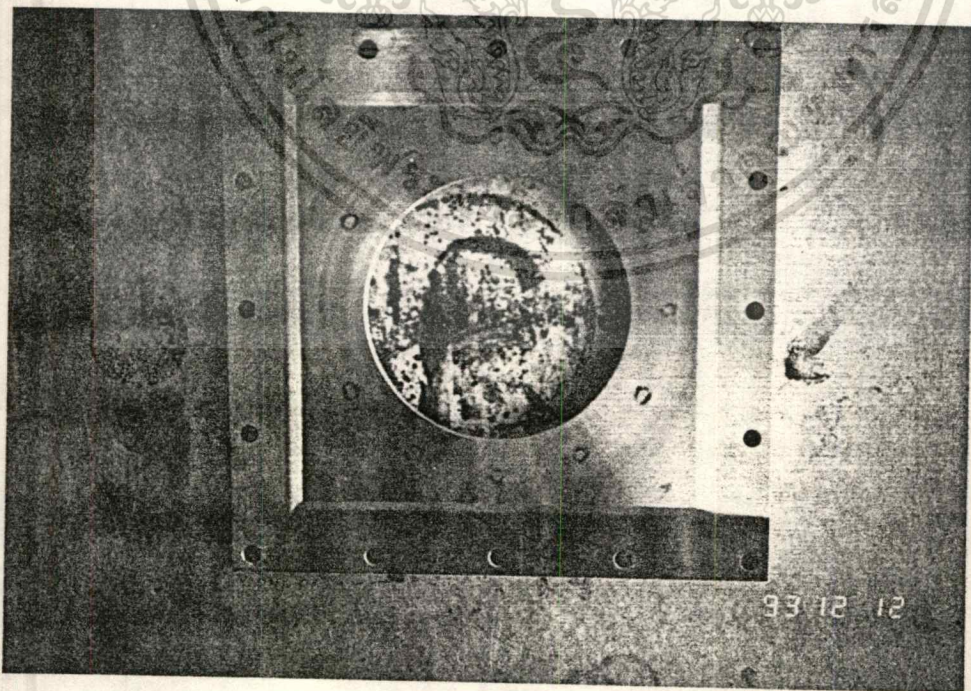


รูปภาพที่ 4 RECTANGULAR WINDOW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

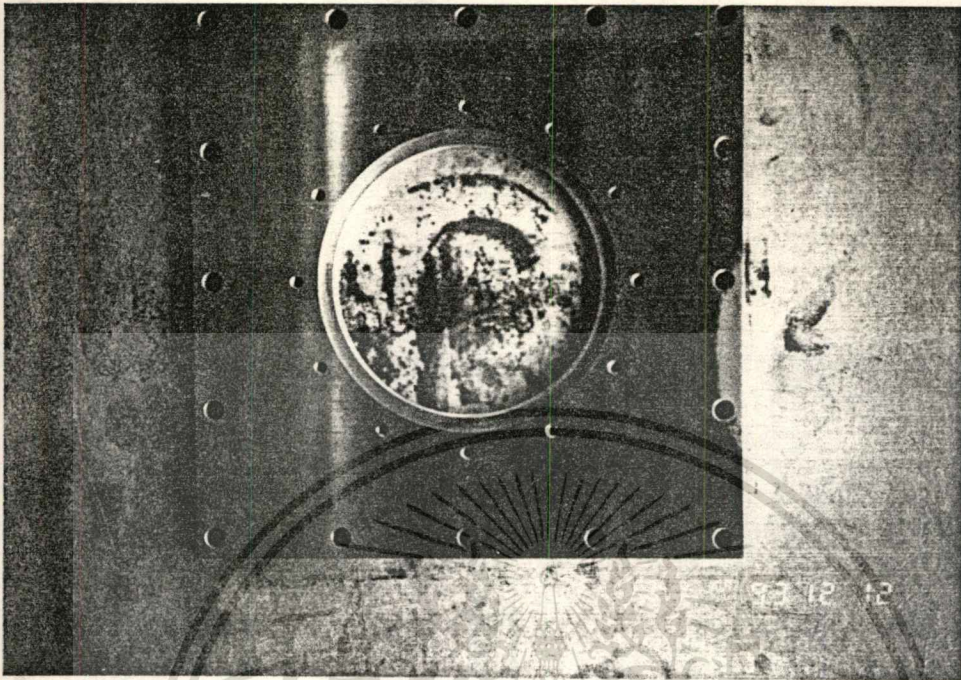


รูปภาพที่ 5 WINDOW FLANGE

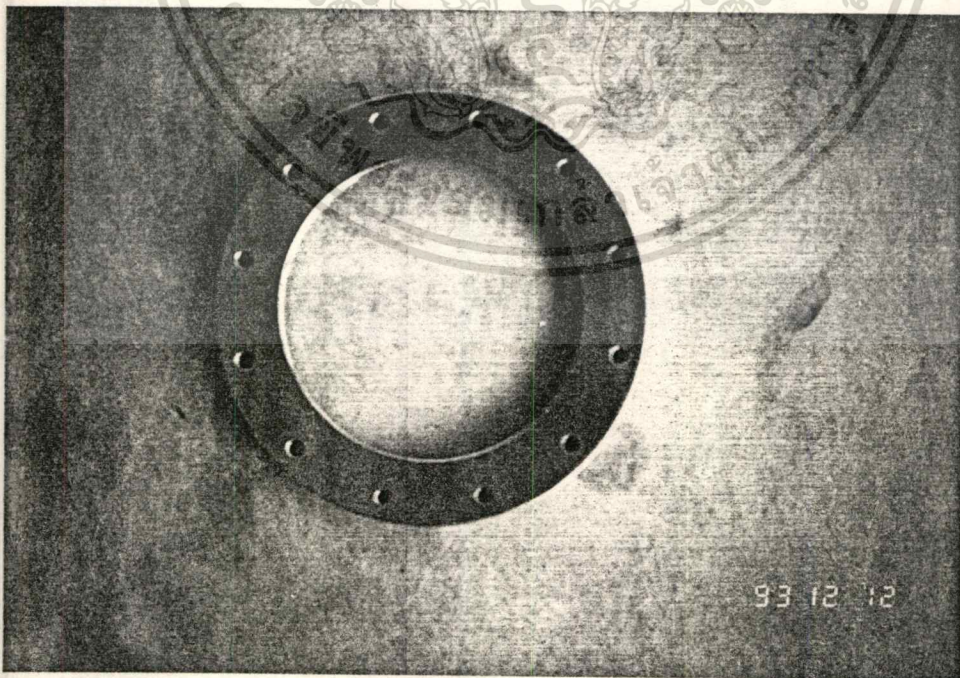


รูปภาพที่ 6 WINDOW LID FRONT VIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

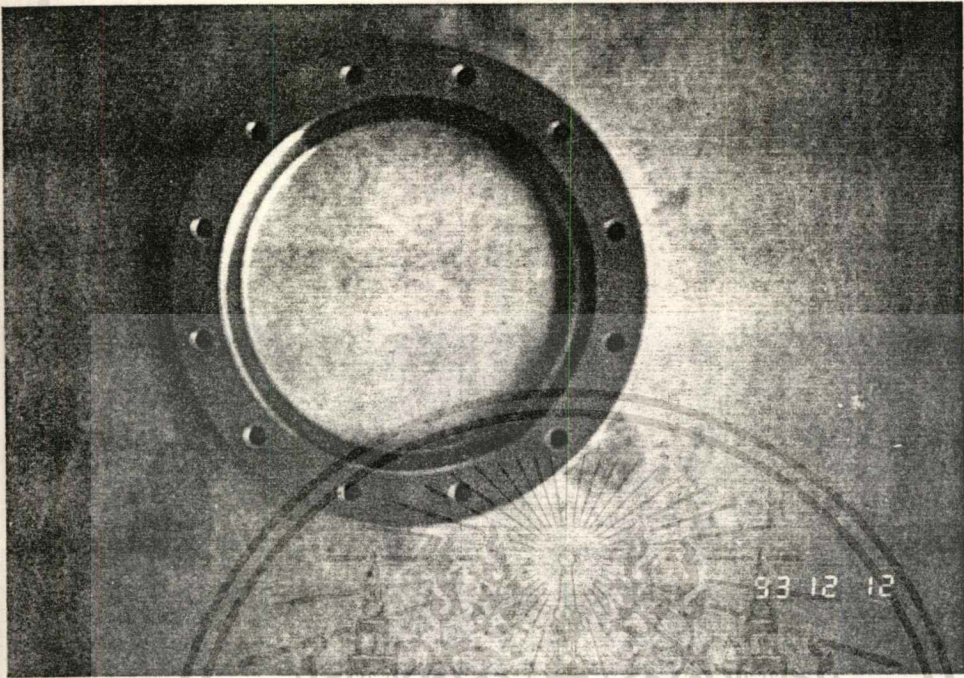


รูปภาพ 7 WINDOW LID BACK VIEW



รูปภาพ 8 WINDOW COVER FRONT VIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

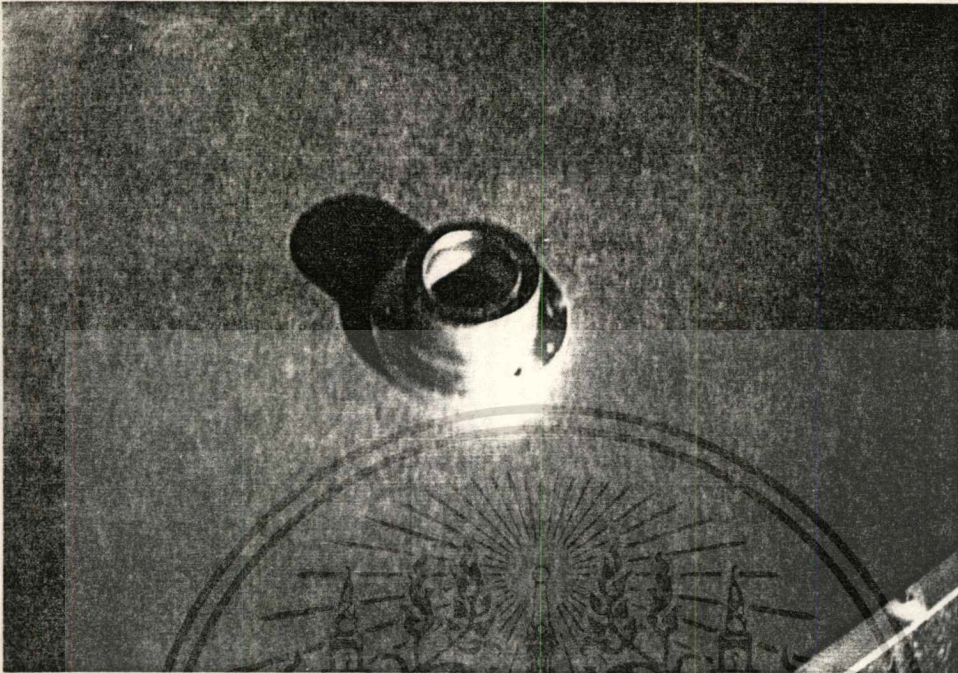


รูปภาพ 9 WINDOW COVER BACK VIEW

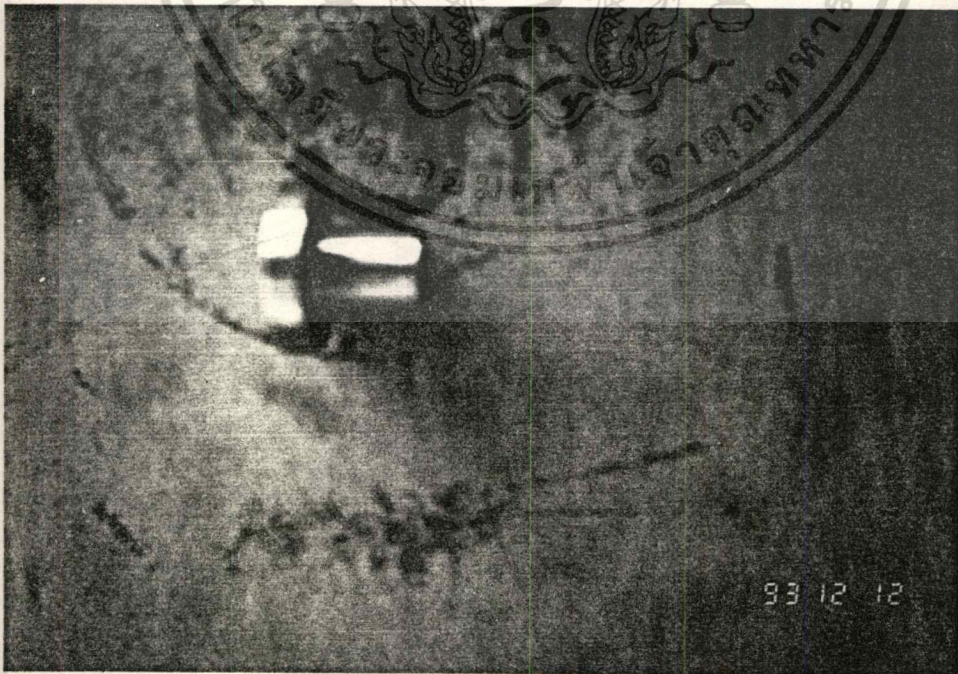


รูปภาพ 10 CATHODE ELECTRODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

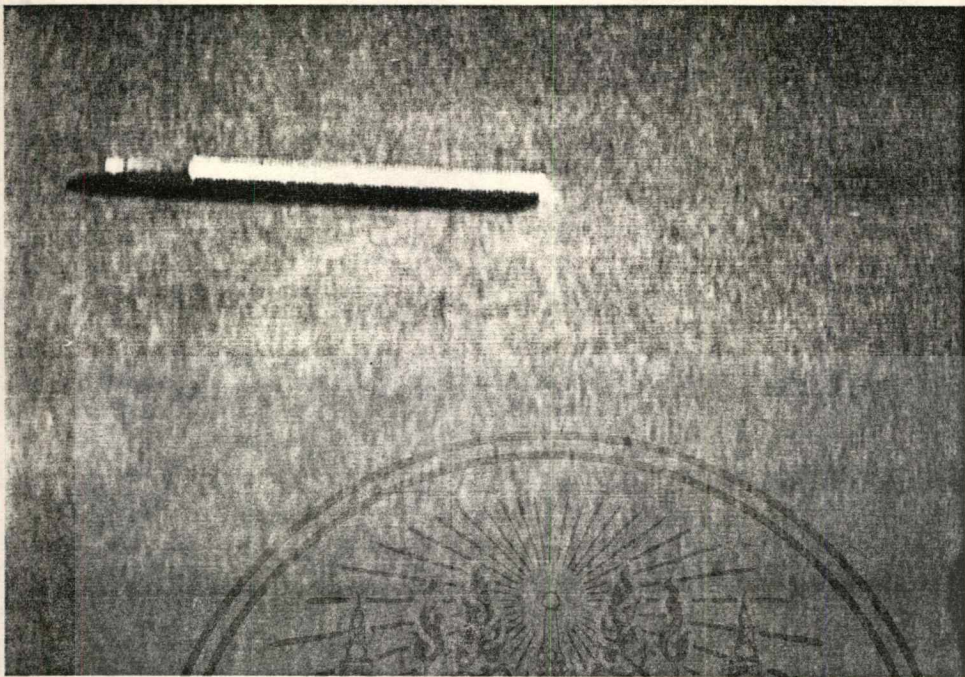


รูปภาพที่ 11 CATHODE SUPPORTOR

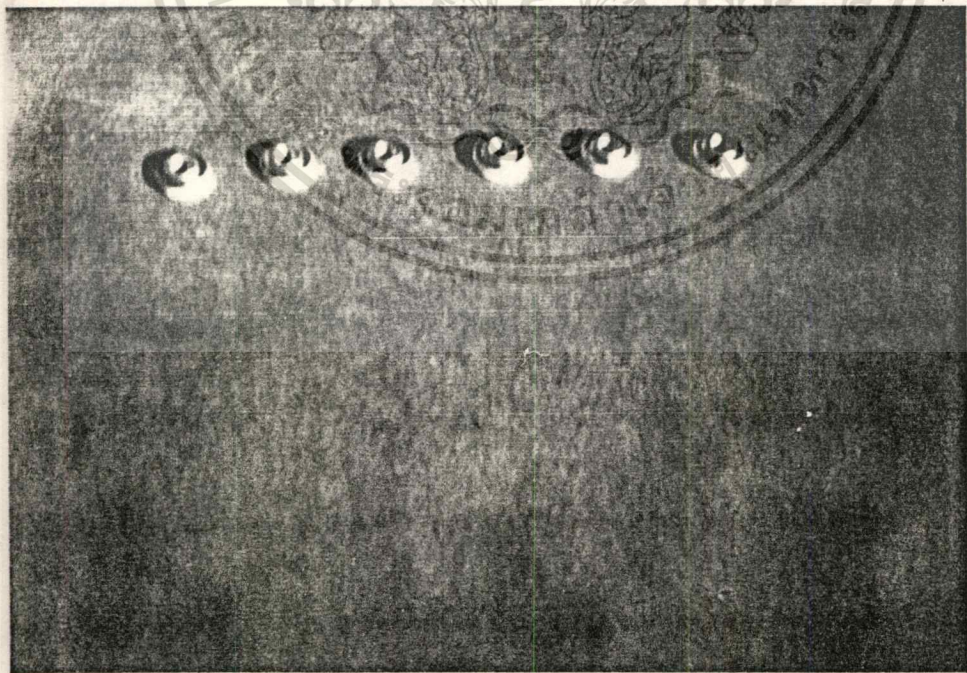


รูปภาพที่ 12 CATHODE SUPPORTOR ADJUSTMENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

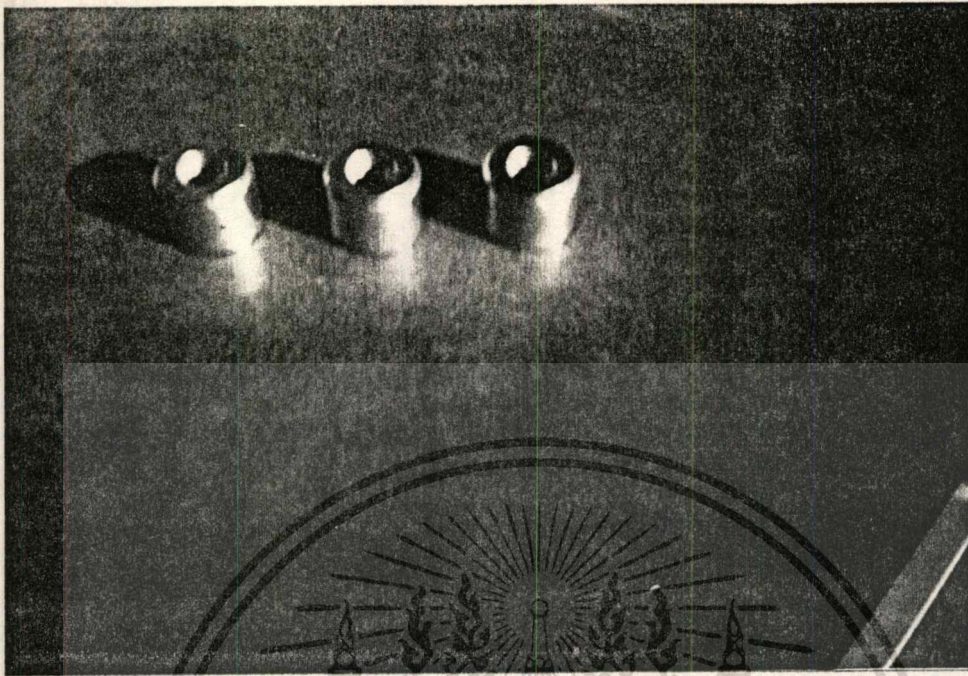


รูปภาพที่ 13 ADJUSTING SCREWS

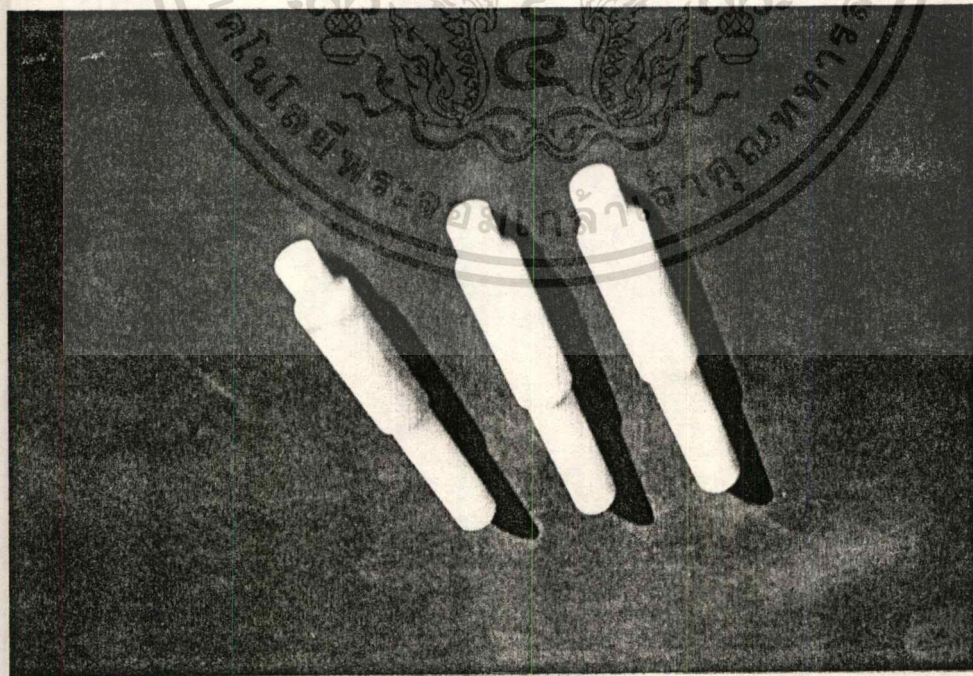


รูปภาพที่ 14 ADJUSTING NUTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

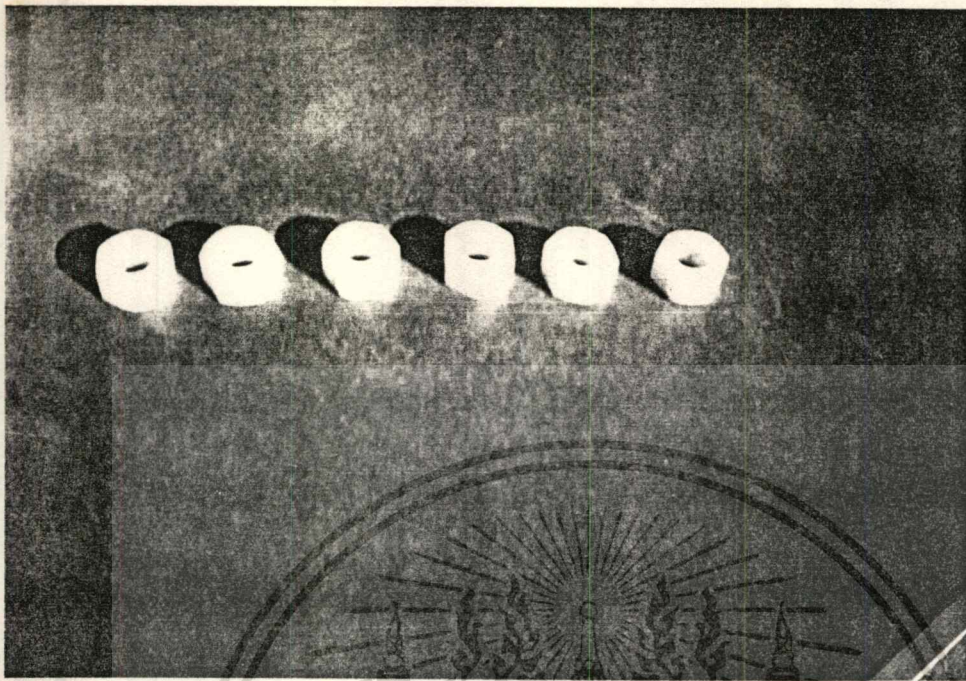


รูปภาพที่ 15 HOLDER ROD

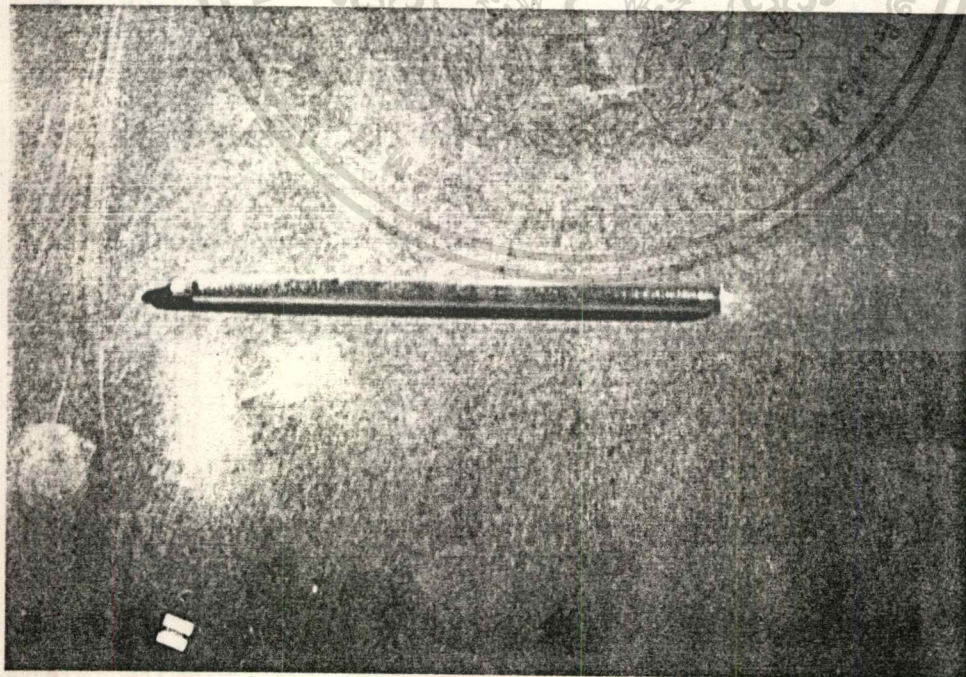


รูปภาพที่ 16 DISTRENE RODS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

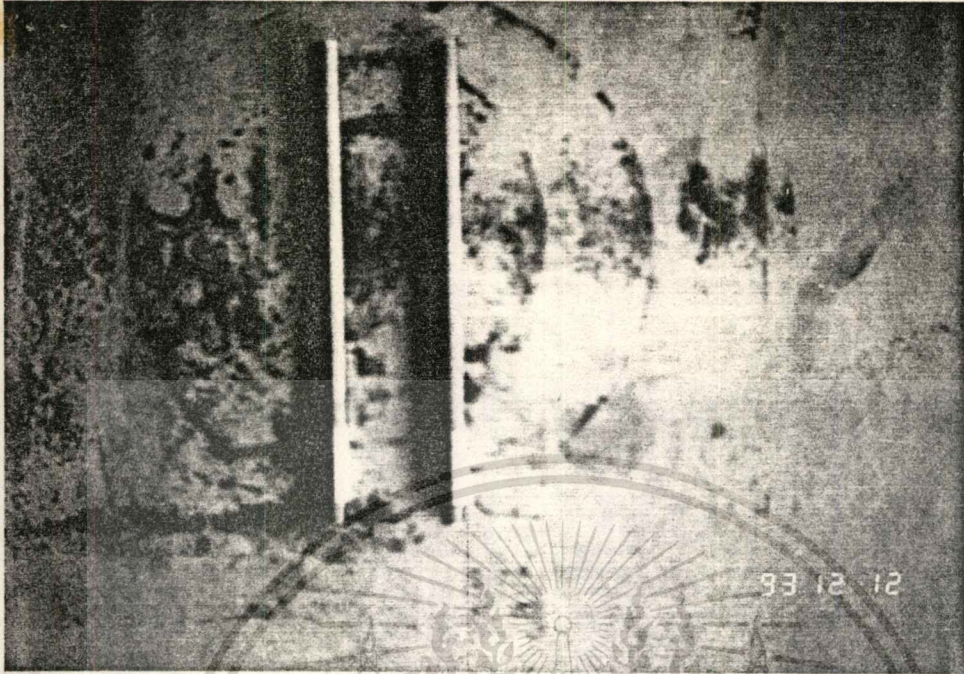


รูปภาพที่ 17 LOCK NUTS

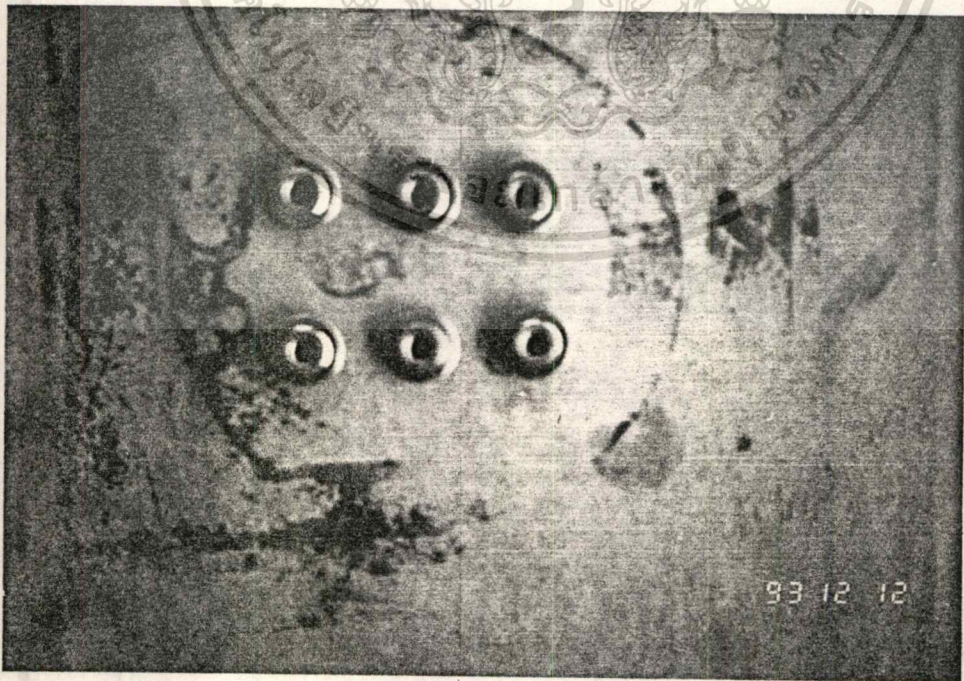


รูปภาพที่ 18 SPINDLE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

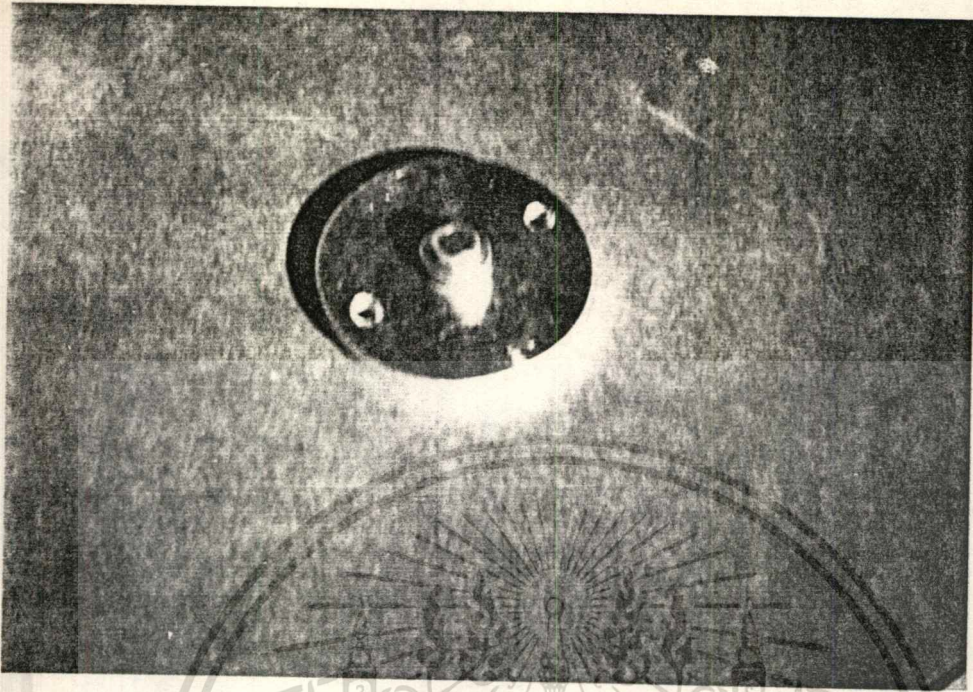


รูปภาพที่ 19 ADJUSTED SCREWS



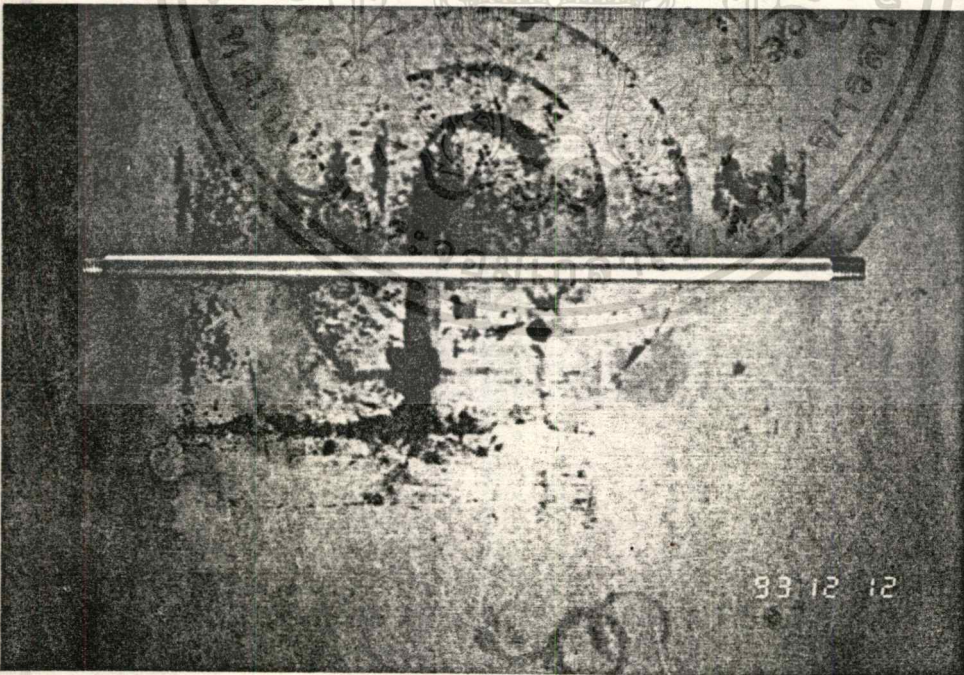
รูปภาพที่ 20 NUTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพที่ 21

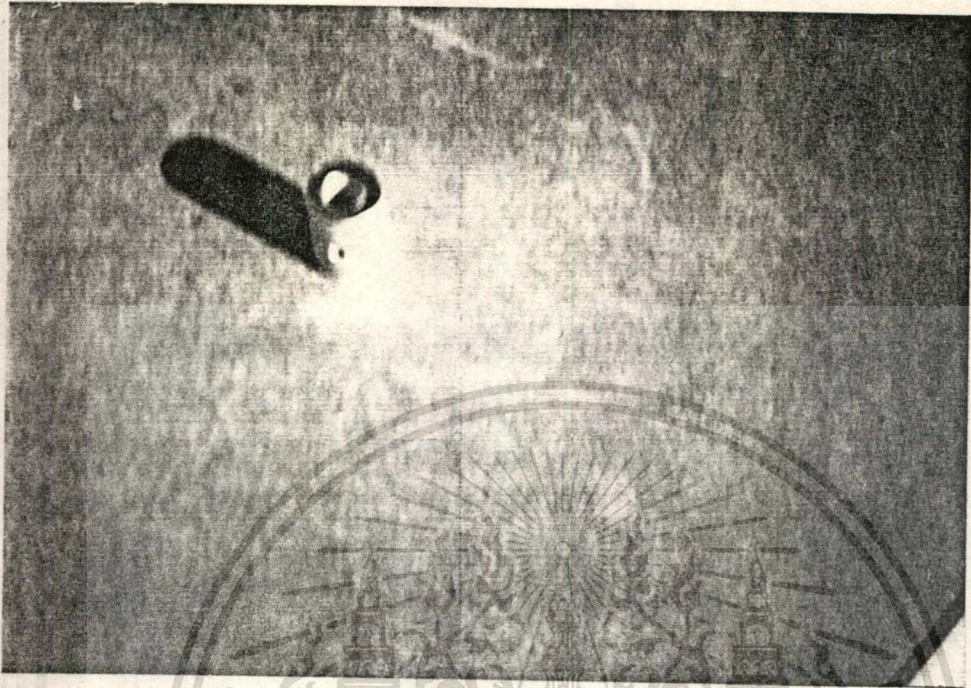
SUPPORT PLATE



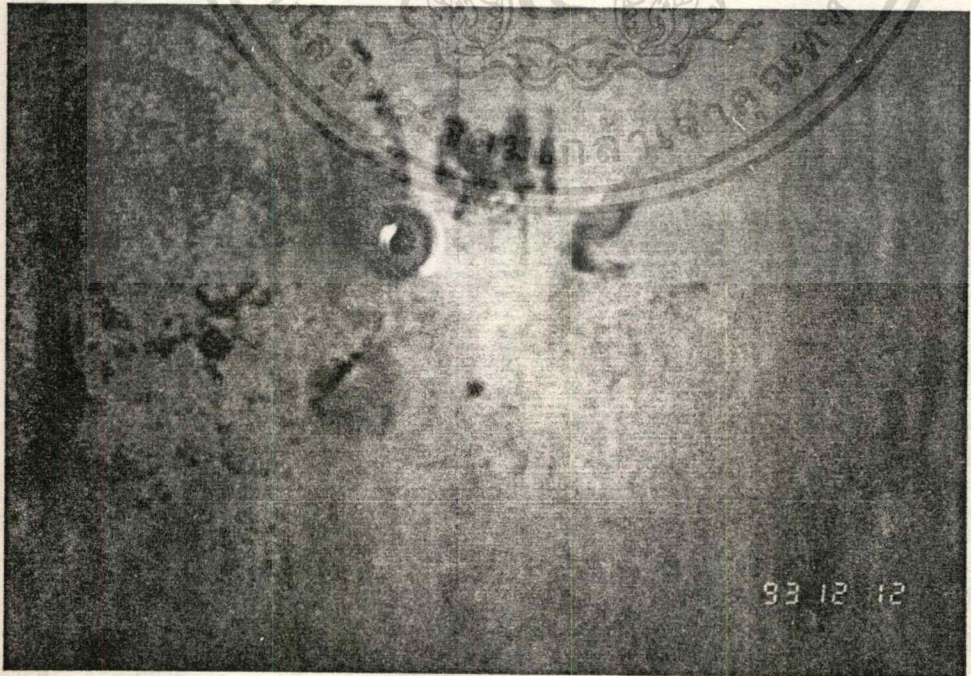
รูปภาพที่ 22

SLIDE ROD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

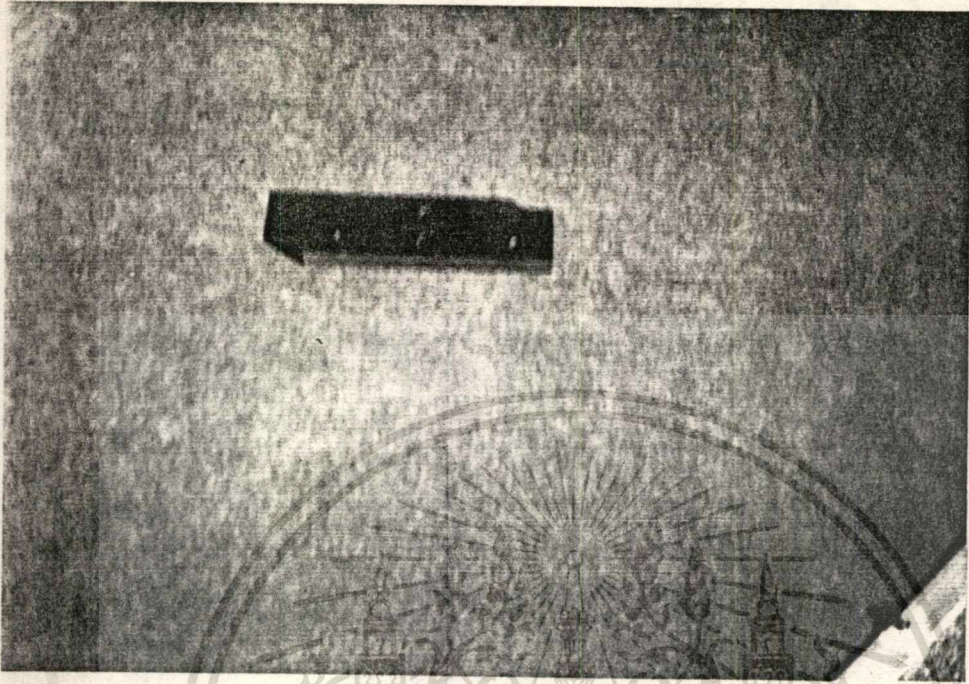


รูปภาพที่ 23 GUIDE BUSHES

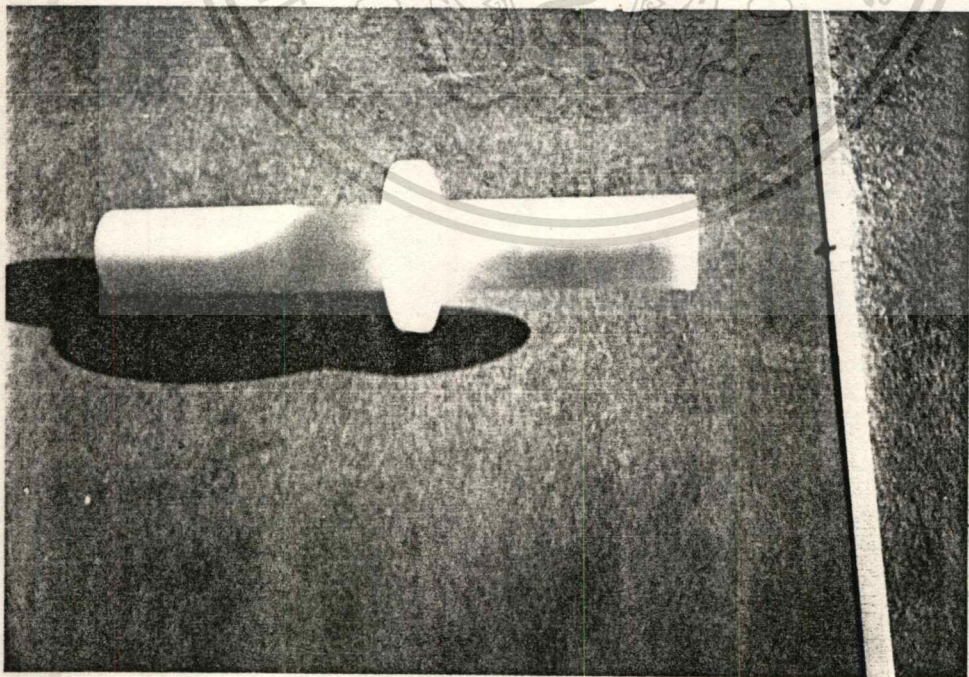


93 12 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปภาพที่ 24 การ HOLDER ROD ศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

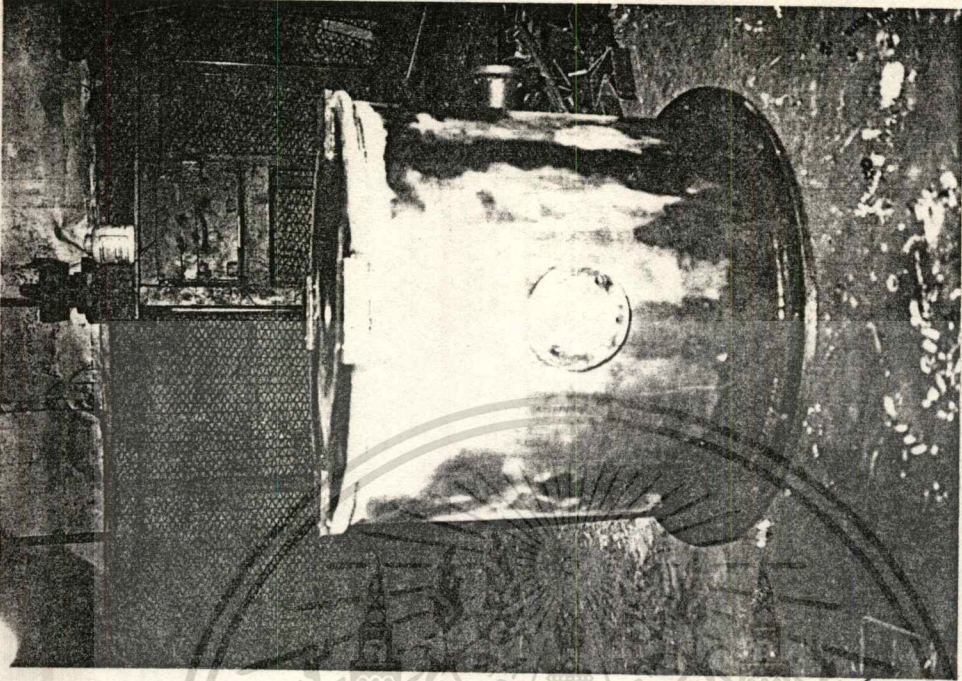


รูปภาพที่ 25 HOLDER PLATE

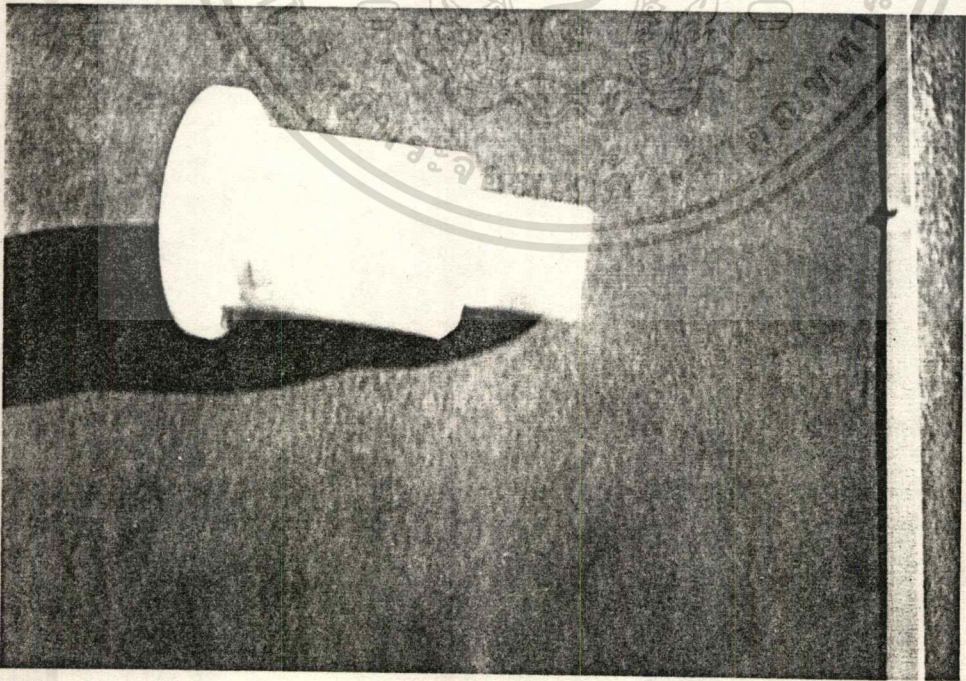


รูปภาพที่ 26 TUBULAR NYLON BUSHING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

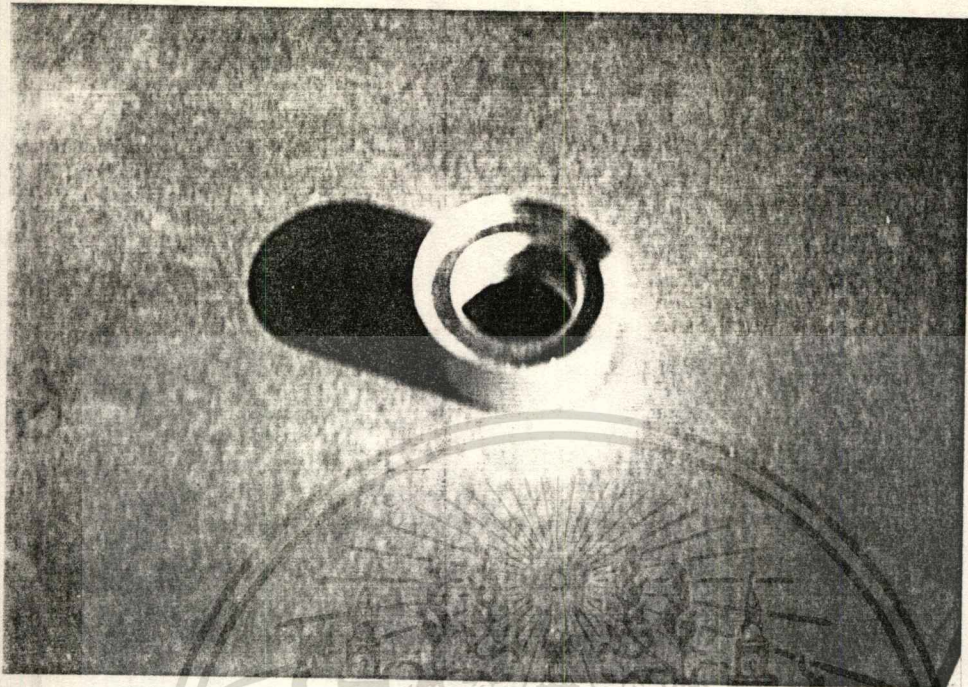


รูปภาพ 27 TUBULATOR, FLANGER

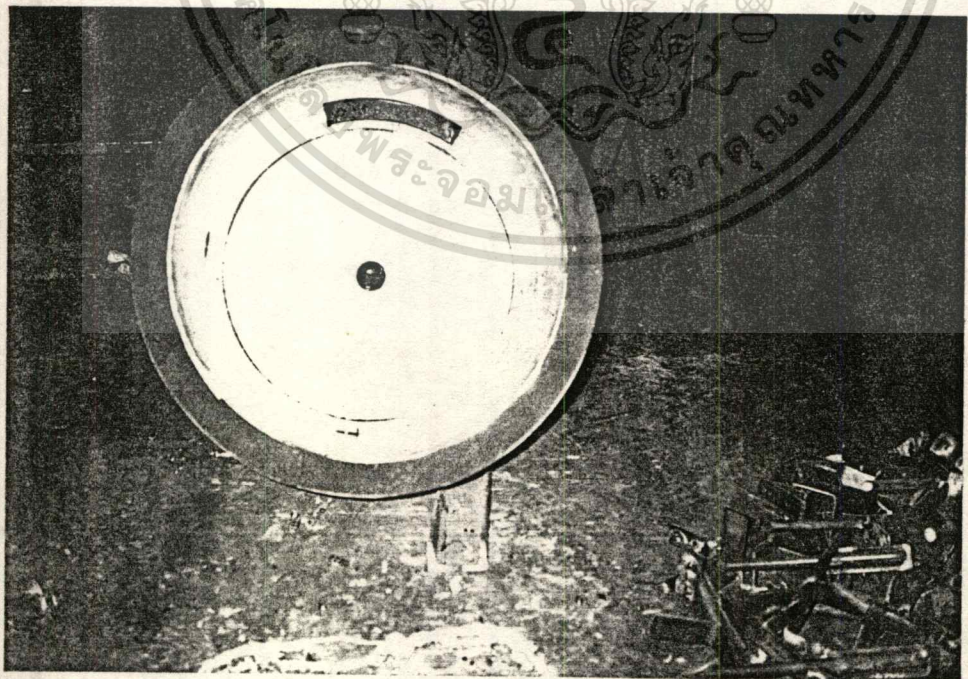


รูปภาพ 28 POLYETHYLENE SEAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

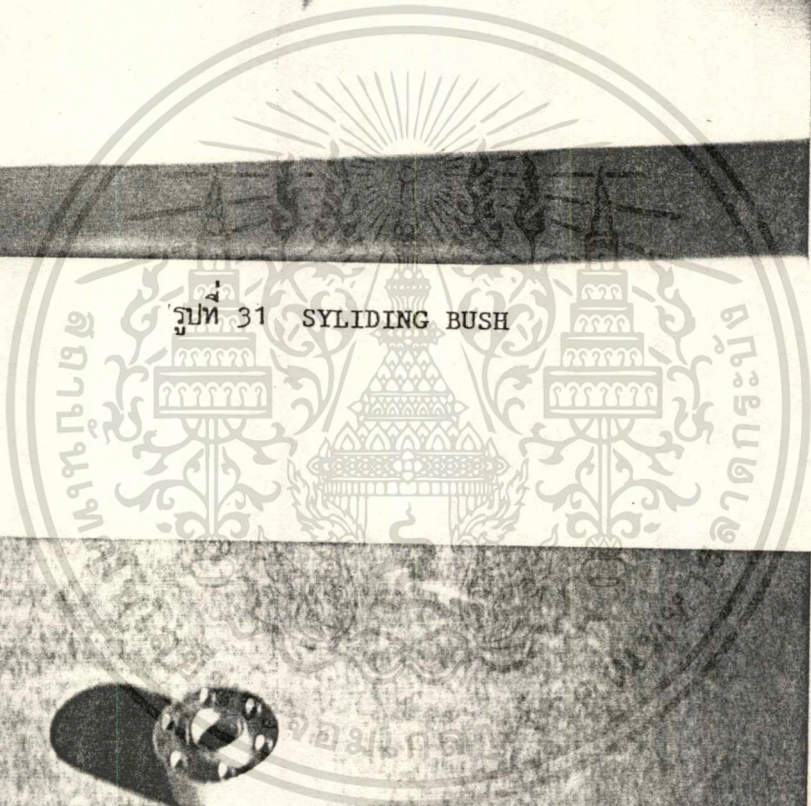
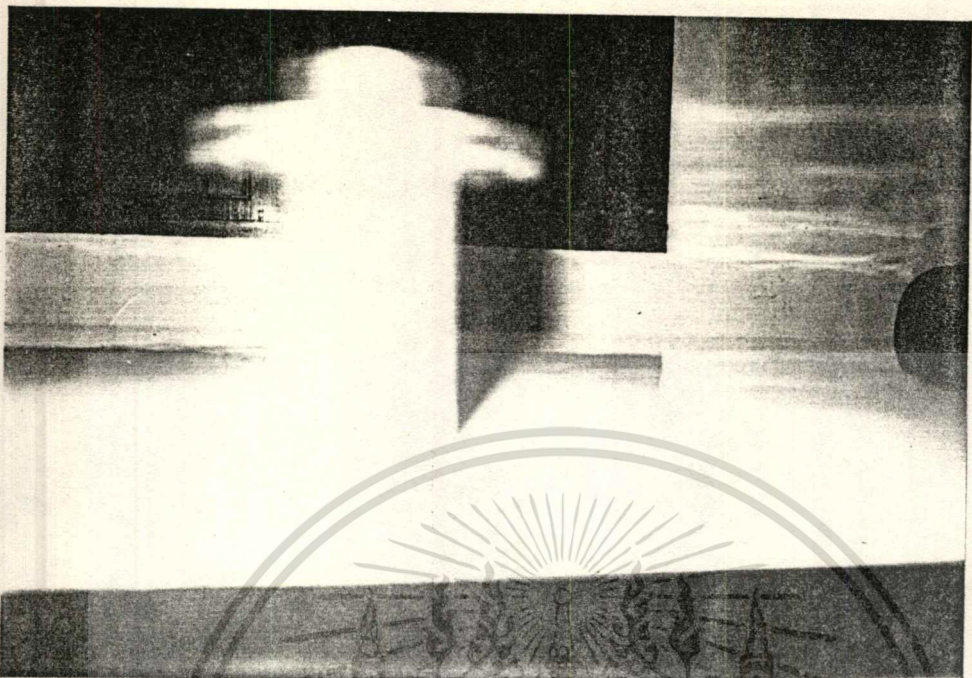


รูปที่ 29 COUPLING



รูปที่ 30 CHAMBER LID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

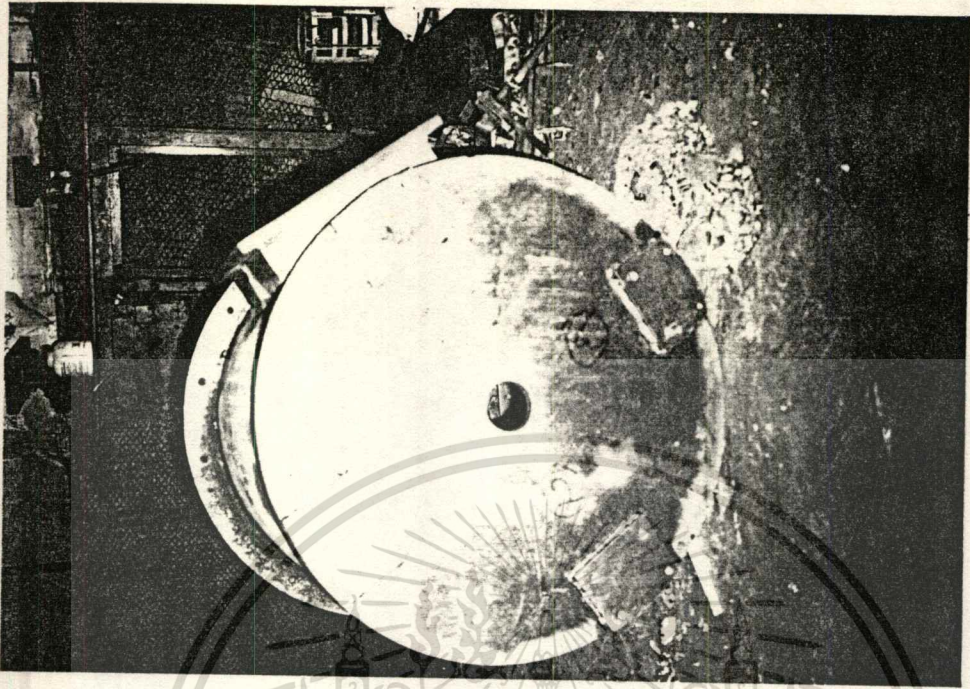


รูปที่ 31 SYLIDING BUSH

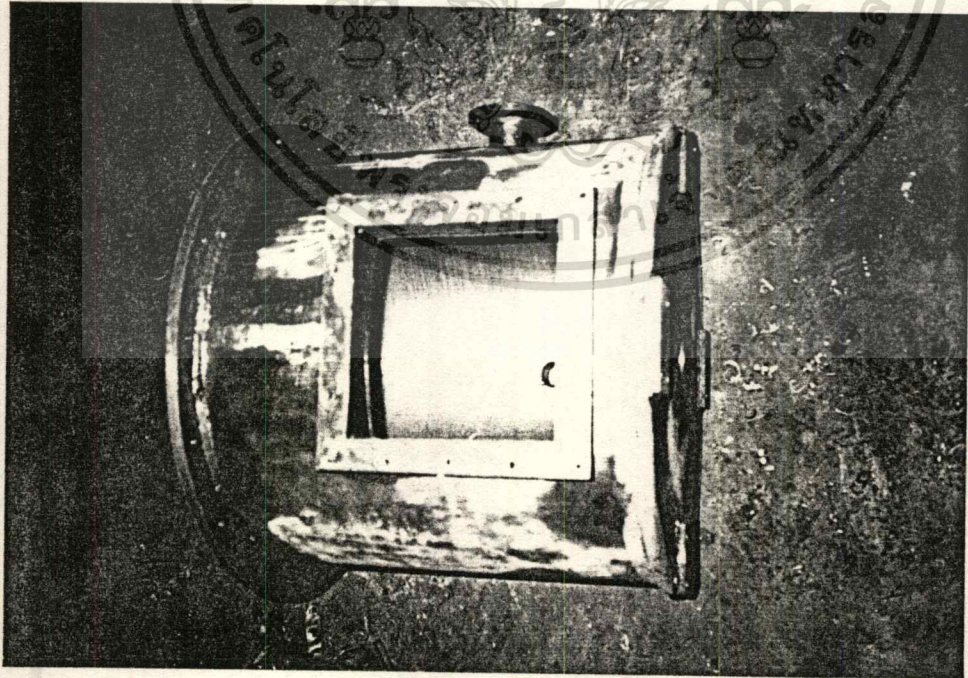


รูปที่ 32 GUID BUSH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

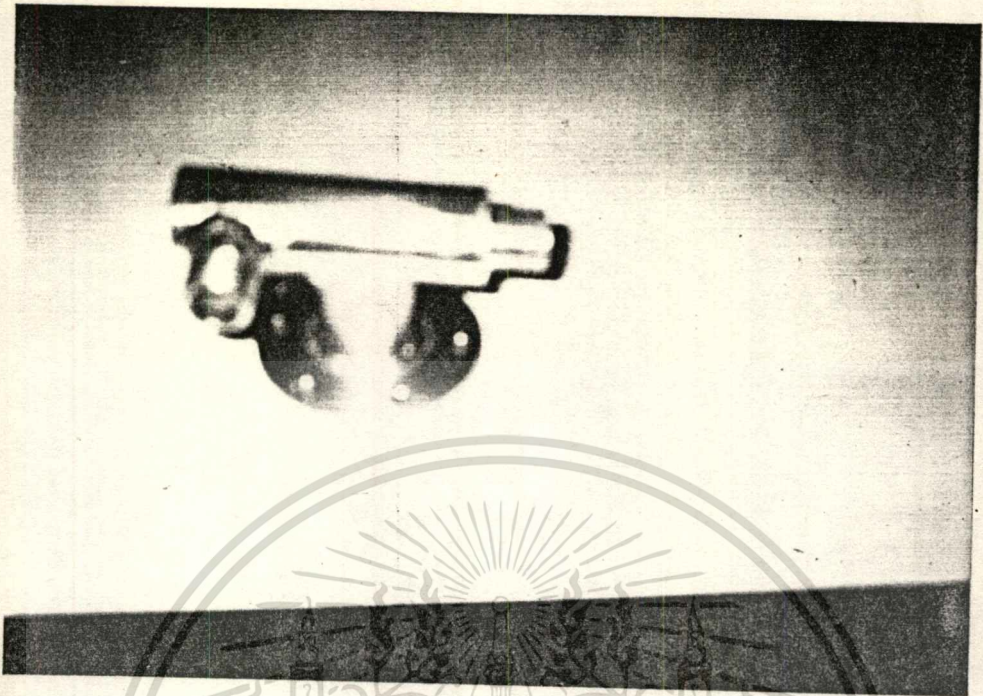


รูปที่ 33 FRAME, COLUMN

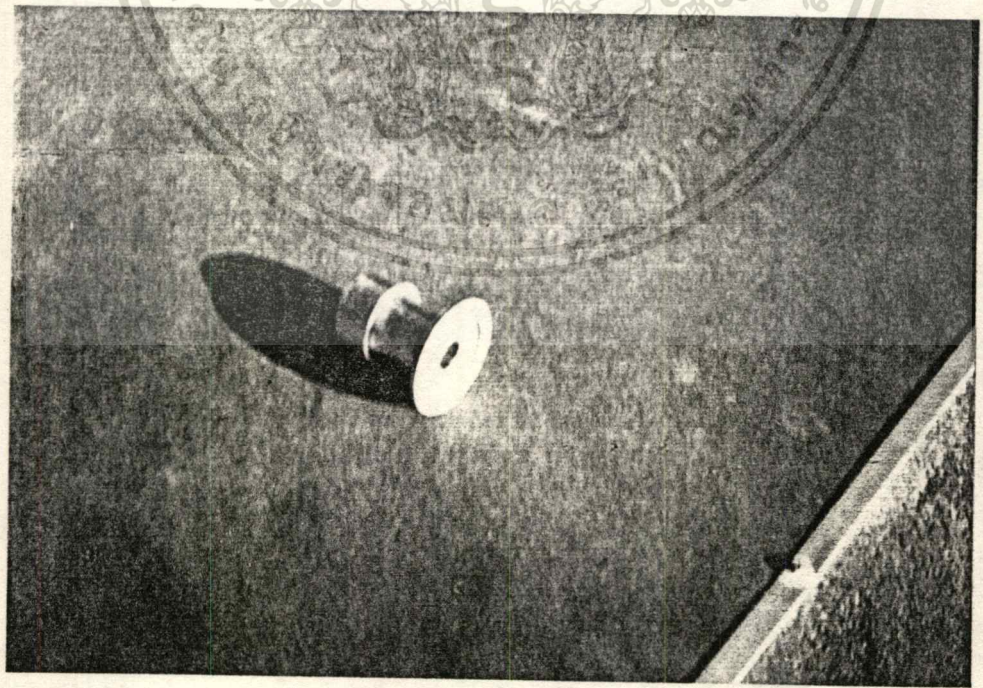


รูปที่ 34 FLANGER, TUBULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

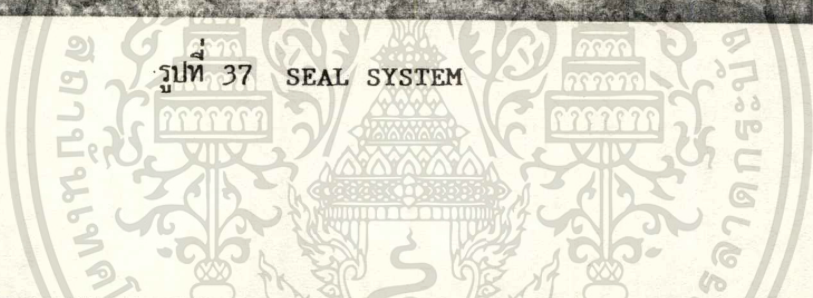
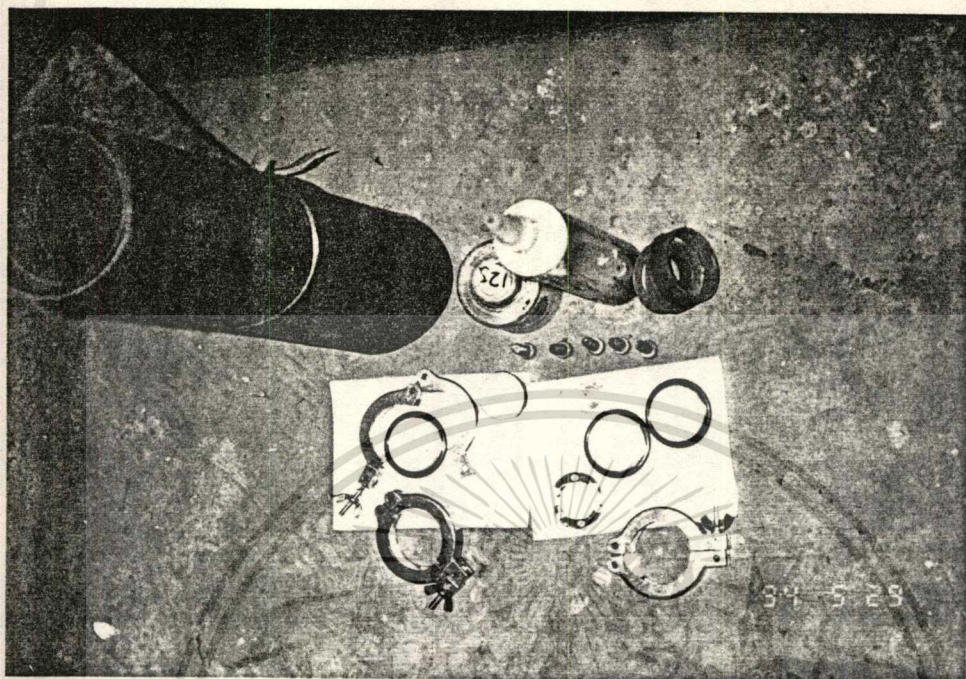


รูปที่ 35 CONNECTOR SET

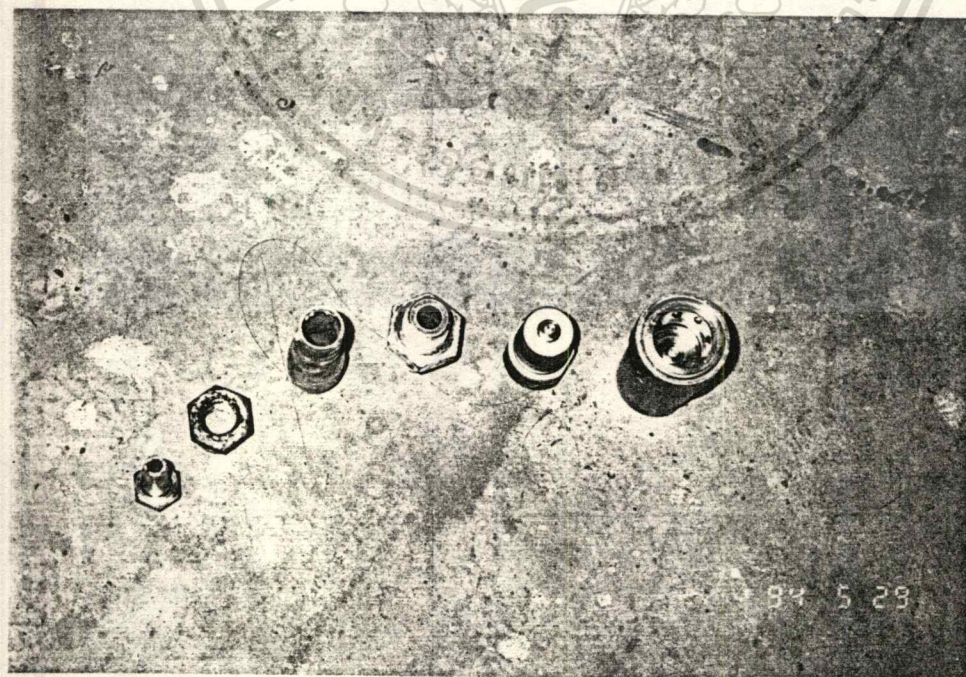


รูปที่ 36 SMALL FLANGER, TUBULATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

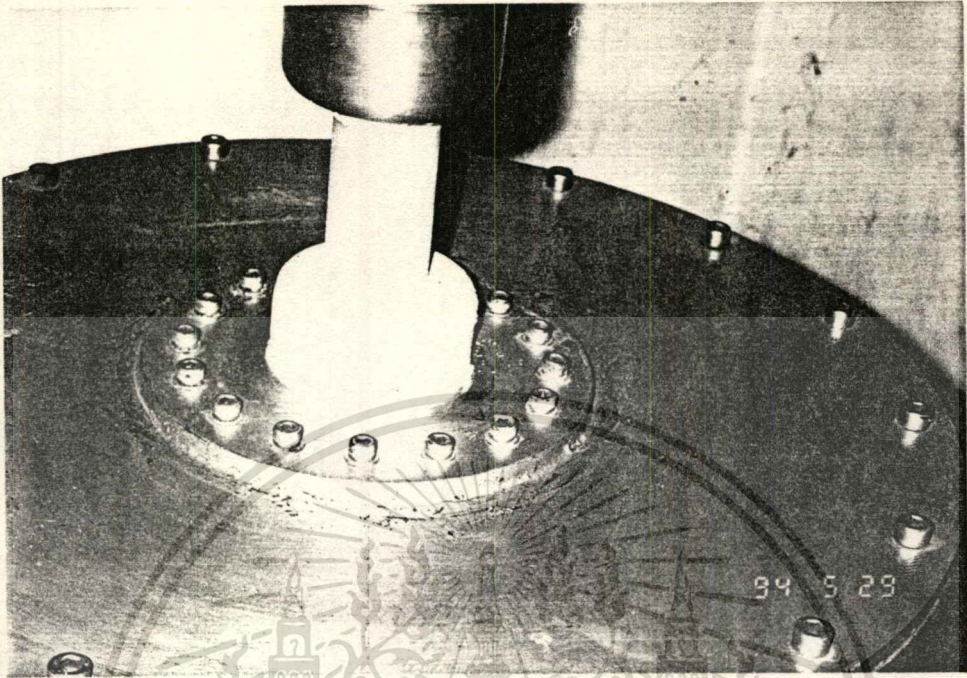


รูปที่ 37 SEAL SYSTEM

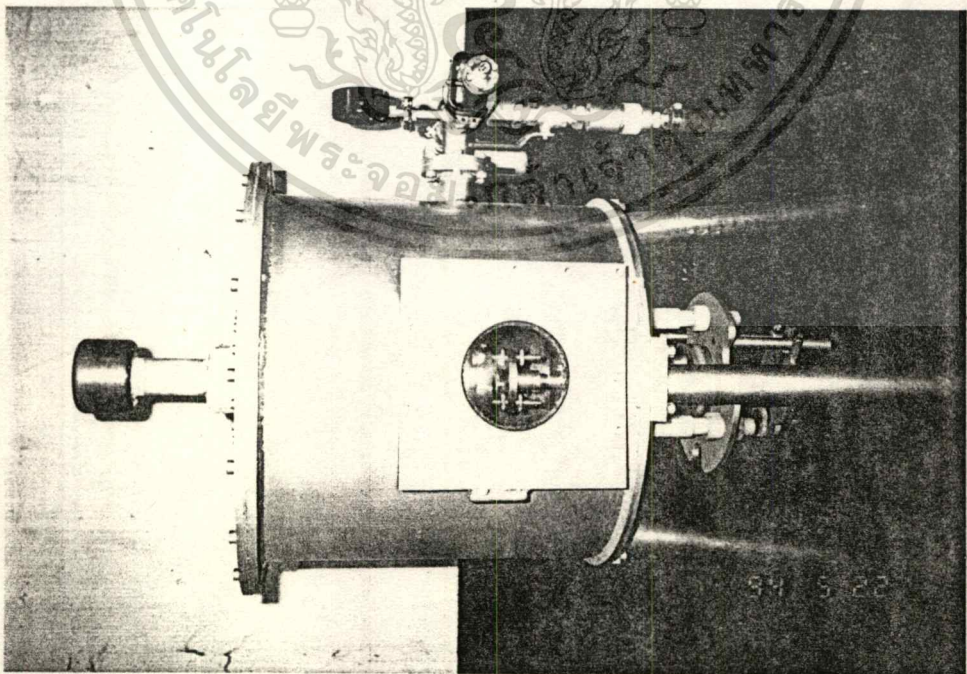


รูปที่ 38 CONNECTOR SYSTEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการช่างงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

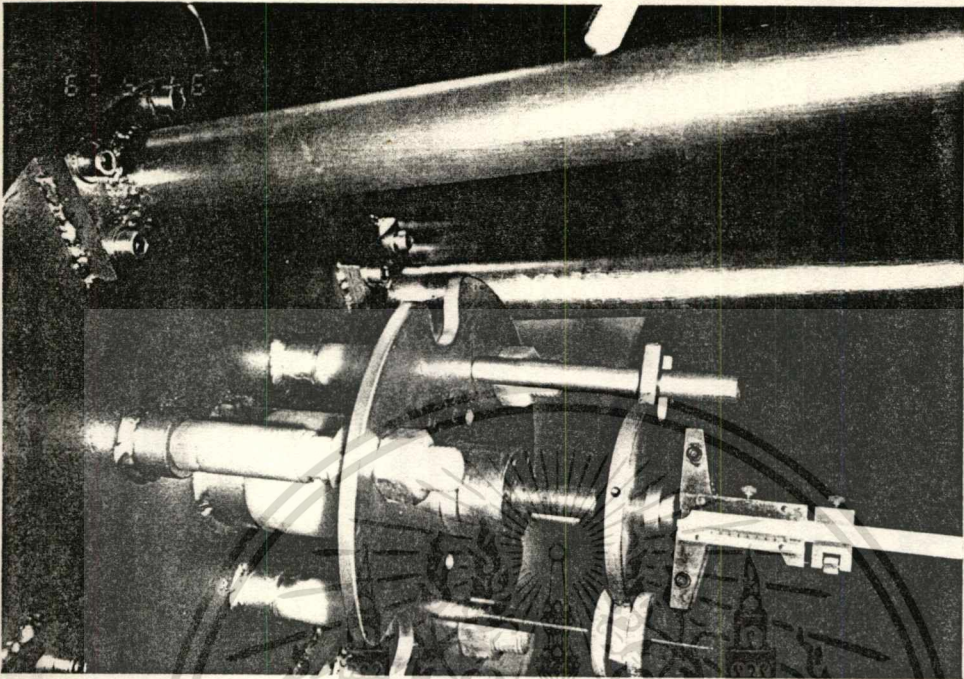


รูปที่ 39 TOP VIEW HIGH VOLTAGE ASSEMBLY

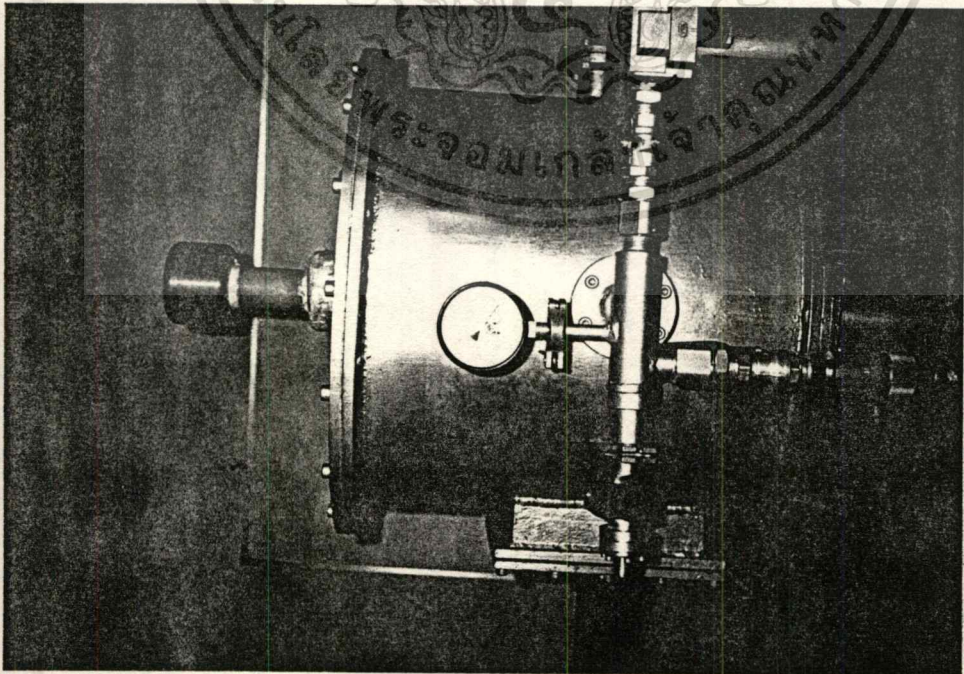


รูปที่ 40 SIDE VIEW IONIZATION CHAMBER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

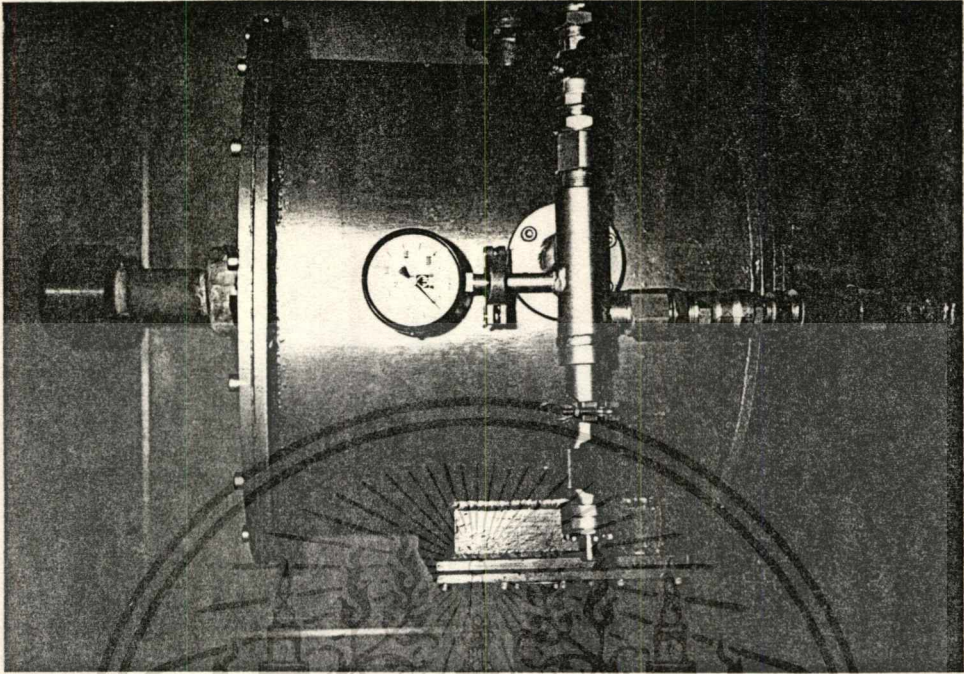


รูปที่ 41 SIDE VIEW HIGH VOLTAGE CATHODE ASSEMBLY



รูปที่ 42 IONIZATION CHAMBER WITH ATMOSPHERIC AIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 43 IONIZATION CHAMBER WITH ZERO ABSOLUTE PRESSURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Hopwood, N.J. Peacock AND A. Wilkes  
" A study of ionization coefficients and electrical breakdown in hydrogen" 1956 Proc. Roy. Soc. A 334-347,
- [2] สำราญ สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528. หน้า 323, 325, 326
- [3] N.P. Bogoroditsky, V.V. Pasynkov. B.M. Tareev  
" Electrical engineering materials "  
English text edited by B.M. Tareev, 1979 Page 146
- [4] William F. Smith " Principles of Materials Science and Engineering "
- [5] H.S.W. Massey, " Negative Ions " 1950 (Cambridge : University Press)
- [6] N. Sukhum, " Ionization and Electrical Breakdown in gas " 1965 Ph.D. Thesis, The University of Liverpool
- [7] Dr. N. Sukhum, " Kinetic Theory of Gases and Gas Discharge " The Institute Press
- [8] J.L. Monizzi, 1963 Brit. J. Appl. Phys 14, 938
- [9] สุพร กอเจริญรัตน์ " การพิสูจน์สมการของการคืนที่ชของ Schlumbohm " 1993 การประชุมทาง วิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า 10 สถาบัน ครั้งที่ 16, KMIT Ladkrabang
- [10] M.A. Harison and R. Gebolle, Phys. Rev., 91 1, 1953
- [11] J.M. Meek and J.D. Craggs Electrical Breakdown of Gases 1953 (Oxford : Clarendon Press).
- [12] K.G. Emeleus, R.W. Lunt and C.A. Meek, 1936 Proc. Roy. Soc., A 156 394

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] James Dillon Cobine. " Gaseous Conductors " 1958 Ideal plane Electrodes." 177 - 181
- [14] Rogowski, Arch. F. Elekt, 12, 1923 1
- [15] W. Rogowski and H. Rengier, 1926 Arch. F. Elekt, 16, 73
- [16] H. Rengier, 1926 Arch. F. Elekt., 16, 76,
- [17] C. Maxwell, " Electricity and Magnetism," 1926 3d ed., Vol. I.
- [18] C. Stoerk, E.T.Z., 1931 52, 43,
- [19] ศ.ดร. วรสิทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ รศ. ช่างู ถนัดงาน, 2531 " การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1 " กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, หน้า 105 - 110
- [20] รศ. บรรเลง ศรีนิล และ ผศ. ประเสริฐ ก๊าซสมบูรณ์ " ตารางโลหะ " 2524 กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
- [21] สุระเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์, " กลศาสตร์ของแข็ง", กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด 2530, หน้า 116 - 123
- [22] รวบรวมบทความทางด้านเครื่องกล จาก วารสารเทคนิค (ชุดที่ 2) " 74 เรื่องน่ารู้ เทคนิค-เครื่องกล, " สำนักพิมพ์ เอ็มแอนด์อี จำกัด ; กรุงเทพฯ ฯ : หน้า 276 - 289

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายสุพร กอเจริญรัตน์
วัน/เดือน/ปีเกิด	วันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2508
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	1. คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์ (อสมบ) สาขาไฟฟ้ากำลัง
สถานที่สำเร็จการศึกษา	1. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2. มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ปีที่สำเร็จการศึกษา	1. ปีการศึกษา 2532 2. ปีการศึกษา 2536
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	1. " กำเนิดสายล่อฟ้าอากาศจึงขาด เมื่อเกิดไฟลัดวงจรในสายส่ง" วิศวกรรมสาร ปี 44 เล่ม 4 เมษายน 2534 2. " มอเตอร์ช่วยสนับสนุนในระหว่างวงจร 3 เฟส เกิด short circuit " วิศวกรรมสาร ปีที่ 45 เล่มที่ 2 ประจำปี 2535 3. " การพิสูจน์สมการของการตีแก๊ซของ schlumbohm " การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16, 25 - 26 พฤศจิกายน 2536
รางวัลหรือทุนที่เคยได้รับ	1. ทุนมูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์ และการสื่อสารขณะศึกษาในระดับปริญญาโท
ประสบการณ์การทำงาน	พนักงาน บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี แห่งประเทศไทย จำกัด
อาชีพปัจจุบัน	พนักงาน การไฟฟ้านครหลวง สำนักงานเขตบางพลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะภายในเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้