

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเครื่องกำเนิดพลาสมาไนไตรด์โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

STUDY OF PLASMA NITRIDE EQUIPMENT USING HIGH VOLTAGE

DIRECT CURRENT



T140345

นาย อนุรักษ์ อินตะวิน
นาย บุลิน หมื่นหนู
นาย พีรภัทร์ ศิริเชตต์

ป.พ.
ส.น. 1497
2557

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **140345**
วัน,เดือน,ปี **18 ส.ค. 2559**

b. 12738451
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเครื่องกำเนิดพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง



นาย ฌภัทร อินตะวิน

นาย บุลิน หมื่นหนู

นาย พีรภัทร์ ศิริเขตต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.เสริมศักดิ์ อยู่เย็น

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF PLASMA NITRIDE EQUIPMENT USING HIGH VOLTAGE
DIRECT CURRENT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF REQUIREMENT FOR
THE BACHELOR'S DEGREE OF ENGINEERING
IN MECHANICAL ENGINEERING,
FACULTY OF ENGINEERING,
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล


คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาเครื่องกำเนิดพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

STUDY OF PLASMA NITRIDE EQUIPMENT USING HIGH VOLTAGE DIRECT
CURRENT

คณะผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|-----------|-----------------------|
| 1. นาย ณภัทร | อินตะวิน | รหัสประจำตัว 54010667 |
| 2. นาย บุลิน | หมื่นหนู | รหัสประจำตัว 54010739 |
| 3. นาย พีรภัทร์ | ศิริเขตต์ | รหัสประจำตัว 54010942 |



(ดร.เสริมศักดิ์ อยู่เย็น)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเครื่องกำเนิดพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

นาย ฌภัทร	อินตะวิน	54010667
นาย บุลิน	หมื่นหนู	54010739
นาย พีรภัทร์	ศิริเชตต์	54010942

ดร.เสริมศักดิ์ อยู่เย็น อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

แนวทางที่กำลังได้รับความสนใจจากภาคอุตสาหกรรมอย่างมากในการปรับปรุงผิววัสดุคือการเคลือบผิวฟิล์มบางในสุญญากาศ โดยเฉพาะเทคนิคการเคลือบไอเคมีแบบเคลือบแข็ง บทความวิจัยนี้เป็นรายงานการศึกษาเครื่องกำเนิดพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างอุปกรณ์การปรับสภาพผิวโลหะด้วยพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยทำการศึกษาหาความดันและความถี่ในการจ่ายไฟที่เหมาะสม หลังจากดำเนินการสร้างอุปกรณ์เสร็จแล้วได้มีการทดสอบเพื่อหาช่วงการทำงานของอุปกรณ์นี้ ซึ่งทดสอบโดยการเปลี่ยนค่าความดันภายในแชมเบอร์จาก 20 มิลลิบาร์เป็น 60 มิลลิบาร์ และ 100 มิลลิบาร์ตามลำดับและเปลี่ยนค่าความถี่ในการจ่ายไฟคือความถี่ 147 เฮิร์ต 250 เฮิร์ต 357 เฮิร์ต และ 447 เฮิร์ตตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบปฏิกิริยาพลาสมาที่เกิดขึ้นจากการทดลองกับปฏิกิริยาพลาสมาที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้ว พบว่าที่ความดัน 20 มิลลิบาร์และความถี่ 192 เฮิร์ต ทำให้อุปกรณ์เกิดปฏิกิริยาพลาสมาดีที่สุด ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าอากาศภายในเป็นไนโตรบริสุทธิ์(N_2) กระทำกับวัสดุที่บริสุทธิ์(Fe) แรงดันไฟฟ้าสัญญาณพัลส์ที่ 3.5 โวลต์และแรงดันไฟฟ้าที่ช่วง 10,000 - 30,000 โวลต์จากไดเร็กคัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF PLASMA NITRIDE EQUIPMENT USING HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT

Mr. NAPHAT INTAWIN 54010667

Mr. BULIN MUENNOO 54010739

Mr. PEERAPHAT SIRIKATE 54010942

SOEMSAK YOOYEN, Ph.D ADVISOR

Abstract

Material surface coating is one of the methods which widely used in industrial sectors. The coating process is performed in vacuum chamber especially chemical vapor deposition technique (CVD). This research article reports the study of high voltage system to generate plasma nitride. The chamber and experiment apparatus as well as control system was built. After the equipment is completed, the device has been tested to determine the functionality of operation. The experiment was done by changing the pressure within the chamber from 20 mbar, 60 mbar and 100 mbar and changing the frequency from 147 Hz next to 250 Hz, 375 Hz and 447 Hz. The plasma condition was compared to the other paper work and found that a pressure at 20 mbar and frequency at 192 Hz was the best plasmas processing for this equipment. In this condition, the chamber was filled with pure nitrogen reacting with the steel plate (Fe) using 3.5 volt in pulse signal to generate 10,000 - 30,000 Volt from direct coil.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากหลายบุคคลด้วยกัน บุคคลแรกที่คณะผู้จัดทำต้องกล่าวถึง เพราะเป็นบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลุล่วงได้คือ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ดร.เสริมศักดิ์ อยู่เย็น ที่ได้ช่วยเหลือและแนะนำมาโดยตลอด ซึ่งคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่เทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำงานเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเพื่อนนักศึกษา นายภัทร วิจารณ์ภรณ์ และนางสาวดวงใจ ประจงมูล ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและสนับสนุนเสมอมา

ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญยิ่งสำหรับคณะผู้จัดทำคือ ครอบครัวและเพื่อนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้กำลังใจในทุกๆด้านเสมอมา ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

นาย ฌภัทร

อินตะวิน

นาย บุลิน

หมื่นหนู

นาย พีรภัทร์

ศิริเชตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	V
สารบัญตาราง.....	VI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลาสมา.....	3
2.1.1 คุณลักษณะของพลาสมา.....	3
2.1.2 คุณสมบัติของแก๊สไนโตรเจน(N ₂).....	3
2.1.3 Plasma Nitriding.....	4
2.2 ระบบจุดระเบิด (Ignition)	4
2.2.1 คอยล์จุดระเบิด (Ignition coil).....	5
2.2.2 Direct coil.....	5
2.2.3 หัวเทียน (Sparkplug)	6
2.2.4 ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Function Generator).....	6
2.2.5 Oscilloscopes.....	6
2.3 สัญญาณพัลส์ (Pulse wave)	7
2.4 สูญญากาศ (Vacuum)	7
2.4.1 ระดับของสภาวะ Vacuum.....	7
2.4.2 Rotary Vane Pump.....	7
2.5 คุณสมบัติของวัสดุเทฟลอน (Teflon)	8
บทที่ 3 ออกแบบการทดลองและอุปกรณ์ปรับสภาพผิว	
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	9
1. Chamber.....	9
2. ชุดระบบจุดระเบิด.....	9
2.1 Direct Coil.....	9
2.2 Sparkplug.....	10
2.3 Power supply.....	10
2.4 Function Generator.....	10
2.5 Oscilloscopes.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3. ถังบรรจุแก๊ส.....	11
4. VacuumPum.....	11
5. แท่นวางชิ้นงาน (Teflon).....	12
6. ชุดส่งแก๊สไนโตรเจน.....	12
3.2 วิธีการทดลอง	
3.2.1 ตารางแผนปฏิบัติงาน.....	13
3.2.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
1.การเคลือบไอเคมีด้วยพลาสมาพลังงานสูง (High power pulsed plasma enhanced chemical vapor deposition).....	13
2.การเคลือบฟิล์มไดมอนด์ไลค์คาร์บอนโดยใช้ไอเคมีพลังงานสูง (Coating of DLC film by pulsed discharge plasma CVD).....	14
3.2.3 ออกแบบอุปกรณ์ทดลอง.....	14
1. การออกแบบเบื้องต้น (Schematic Diagram).....	14
2. การออกแบบโดยใช้ Auto CAD.....	15
3.2.4 ออกแบบการทดลอง.....	16
3.2.5 สร้างอุปกรณ์ปรับสภาพผิว.....	17
3.3 วิธีการทดลอง.....	19
3.4 สถานที่ทำการวิจัย.....	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	
4.1 ผลการทดลอง.....	20
4.2 อภิปรายผลการทดลอง.....	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	24
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	24
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

สารบัญภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 1. กลไกการเกิดของกระบวนการ Plasma Nitriding.....	4
รูปที่ 2. แผนภาพระบบจุดระเบิด Direct coil.....	5
รูปที่ 3. แผนภาพของหัวเทียน.....	6
รูปที่ 4. กราฟอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ต่อคาบเวลาของพัลส์.....	7
รูปที่ 5 ส่วนประกอบของ rotary vane pump.....	8
รูปที่ 6. เทฟลอนในอุตสาหกรรมรูปที่.....	8
รูปที่ 7. แสดงรูปของ Chamber.....	9
รูปที่ 8. แสดงการต่อคอยล์กับหัวเทียนแบบ Direct Coil.....	9
รูปที่ 9. แสดงคอยล์และหัวเทียน.....	10
รูปที่ 10. แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟ 12 V.....	10
รูปที่ 11. แสดงเครื่องส่งสัญญาณพัลส์ (Pulse wave).....	10
รูปที่ 12. แสดงจอแสดงผล.....	11
รูปที่ 13. ถังบรรจุแก๊ส N ₂	11
รูปที่ 14. แสดง Vacuum Pump.....	11
รูปที่ 15. แสดงแท่นวางเทฟลอนภายใน chamber.....	12
รูปที่ 16. แสดงแผงวาล์วส่งแก๊สไนโตรเจน.....	12
รูปที่ 17. แสดงกลุ่มพลาสติกในปฏิกิริยา.....	14
รูปที่ 18. แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลอง.....	14
รูปที่ 19. แสดงแผนผังภายใน Chamber.....	15
รูปที่ 20. แสดงแผนผังควบคุม.....	15
รูปที่ 21. การออกแบบสามมิติ.....	15
รูปที่ 22. แสดงแผงอุปกรณ์ส่งแก๊สไนโตรเจน.....	16
รูปที่ 23. แสดงแท่นวางชิ้นงานภายใน Chamber.....	16
รูปที่ 24. โครงสำหรับโต๊ะวาง chamber.....	17
รูปที่ 25. แสดงบลายด์แฟลนค์หลังเจาะ.....	17
รูปที่ 26. แสดงแผงวาล์วและอุปกรณ์ส่งแก๊ส.....	18
รูปที่ 27. แสดงแท่นวางชิ้นงานเทฟลอน.....	18
รูปที่ 28. แสดงการวาง Direct coil.....	18
รูปที่ 29. อุปกรณ์ทั้งหมด.....	19

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงตารางแผนปฏิบัติงานในภาคเรียนที่ 1.....	13
ตารางที่ 2 แสดงตารางแผนปฏิบัติงานในภาคเรียนที่ 2.....	13
ตารางที่ 3 แสดงตารางบันทึกผลการทดลอง.....	16
ตารางที่ 4 ตารางผลการทดลองที่ 1.....	20
ตารางที่ 5 ตารางผลการทดลองที่ 2.....	21
ตารางที่ 6 ตารางผลการทดลองที่ 3.....	22



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การปรับปรุงผิววัสดุแนวทางหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางจากกลุ่มนักวิจัยและภาคอุตสาหกรรม คือ การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่มีสมบัติเฉพาะในลักษณะของฟิล์มบางด้วยการเคลือบในสุญญากาศ (vacuum coating) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิค CVD (Chemical Vapor Deposition) ในการปรับปรุงผิวของวัสดุกลุ่มหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ คือ กลุ่มชั้นเคลือบแข็ง (hard coating) การเคลือบแข็งในลักษณะฟิล์มบางนิยมใช้เคลือบบนผิวเครื่องมือตัดเฉาะต่างๆทางอุตสาหกรรม เป็นการปรับปรุงพื้นผิวของเครื่องมือตัดเฉาะให้มีความแข็ง ยืดอายุการใช้งาน ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการผลิต และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเครื่องมือตัดเฉาะอีกด้วย

ในช่วงกลางของศตวรรษที่ 19 นักฟิสิกส์ชาวเช็ก Jan Evangelista Purkinje ได้แนะนำเกี่ยวกับการใช้ศัพท์ พลาสมา ว่าเป็นความหมายของการขึ้นรูป หรือการหล่อแบบในภาษาของกรีก เพื่อแสดงให้เห็นว่าของไหลที่บริสุทธิ์นั้นยังหลงเหลืออยู่หลังจากที่เกิดการเคลื่อนที่ ครึ่งศตวรรษหลังนั้นนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา Irving Langmuir ได้กล่าวในปี 1922 เพื่อนำเสนอเกี่ยวกับอิเล็กตรอน ไอออน และความเป็นกลางในการไอออนในเซชันของแก๊ส

จากการศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องในเรื่อง การเคลือบไอเคมีโดยอาศัยพลาสมาพลังงานสูง แนวคิดใหม่ของเทคนิคการเคลือบไอเคมีโดยอาศัยพลาสมาและการเคลือบเคมีโดยอาศัยพลาสมาพลังงานสูงถูกสรุปเป็นประเด็นสำคัญโดยลักษณะของกระบวนการคือ การจุดเชื้อเพลิงของพลาสมาในการเคลือบไอเคมีโดยอาศัยพลาสมาพลังงานสูง การเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าระหว่างพลาสมา แก๊สกับสนามรังสีและแม่เหล็กไฟฟ้า พลาสมาทั่วไปที่ถูกใช้ในการเคลือบไอเคมีโดยอาศัยพลาสมาพลังงานสูงเป็นเพียงแค่อีออนที่ไม่แข็งแรงที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอน 1,014 -1,018 ลูกบาศก์เมตร และจากงานวิจัยการเคลือบฟิล์มไดมอนด์โลคคาร์บอนโดยใช้ไอเคมีพลังงานสูง ปฏิกิริยาพลาสมาที่เกิดขึ้น แสดงให้เห็นขนาดของกลุ่มพลาสมา (Positive glow) ที่ส่องสว่างที่เกิดขึ้นในกระบวนการ Pulse discharge Plasmas chemical vapor deposition เมื่อความดันแก๊สเพิ่มจาก 50 – 200 Torr Negative glow จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันของแก๊สสูงขึ้นจะทำให้ไดมอนด์โลคคาร์บอนนั้นลดลง

บทความวิจัยนี้เป็นรายงานการออกแบบการใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงกำเนิดพลาสมาไนโตร เพื่อศึกษา ออกแบบและสร้างอุปกรณ์การปรับสภาพผิวโลหะด้วยพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง พร้อมทั้งระบุคุณสมบัติของอุปกรณ์เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการทำวิจัยและพัฒนาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาการจ่ายไฟระบบพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง
2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์การปรับสภาพผิวโลหะด้วยพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง
3. สามารถระบุคุณสมบัติของอุปกรณ์การปรับสภาพผิวโลหะด้วยพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงได้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ศึกษา ออกแบบและสร้างอุปกรณ์การปรับสภาพผิวโลหะด้วยพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เพื่อหาความดันและความถี่การจู่ระเบิดที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขและสมมติฐานที่ว่า

1. ปฏิกริยาพลาสมาเกิดในสุญญากาศกระทำกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และไนโตรเจน (N_2)
2. กำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ช่วง 10,000 - 30,000 โวลต์ที่จากไดเร็กคอยล์
3. แรงดันไฟฟ้าสัญญาณพัลส์ที่ 3.5 โวลต์
4. แรงดันของไนโตร (N_2) 4135 มิลลิบาร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์การปรับสภาพผิวโลหะด้วยพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง
2. เป็นทางเลือกสำหรับกรรมวิธีการปรับสภาพผิวและเป็นทางเลือกสำหรับการใช้อุปกรณ์สำหรับปรับสภาพผิวโลหะด้วยพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง
3. พัฒนากรมวิธีและอุปกรณ์สำหรับปรับสภาพผิวโลหะด้วยพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสมา

นักวิทยาศาสตร์ได้ให้นิยามของพลาสมาไว้ว่า “plasma” คือสถานะที่ 4 ของสสาร โดยทั่วไปจะจัดสถานะของสสารจากของแข็ง ของเหลว และแก๊สตามลำดับ สสารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว หรือเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นแก๊ส เนื่องจากโมเลกุลได้รับพลังงานมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการสั่นและการกระทบกันของโมเลกุลมากขึ้น ส่งผลให้โมเลกุลเคลื่อนตัวออกห่างกันมากขึ้น สิ่งที่ได้จากการที่สสารในสถานะของเหลวเมื่อเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สจะเพิ่มปริมาตรมากขึ้น หากสสารในสถานะแก๊สได้รับพลังงานต่อไป โมเลกุลของแก๊สจะแตกตัวเป็นอะตอม และเป็นไอออนในที่สุด กลุ่มแก๊สพลังงานสูงนี้เราเรียกว่าพลาสมา

2.1.1 คุณสมบัติของพลาสมา

พลาสมาสามารถอธิบายเป็นภาพรวมได้เหมือนกับความเป็นกลางของหน่วยทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอน ไอออนบวก ความเป็นกลางในสถานะของแก๊สโดยมีหน่วยความเร็วของ Maxwellian กระจายอยู่สำหรับอิเล็กตรอนดังสมการ

$$f_e(\vec{v}) = n_e A_e \exp\left(\frac{-m_e v^2}{2kT_e}\right)$$

เมื่อ

$f_e(\vec{v}) d(\vec{v})$

คือ เลขความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

k

คือ ค่าคงที่ของ boltzman

T_e

คือ อุณหภูมิของอิเล็กตรอน

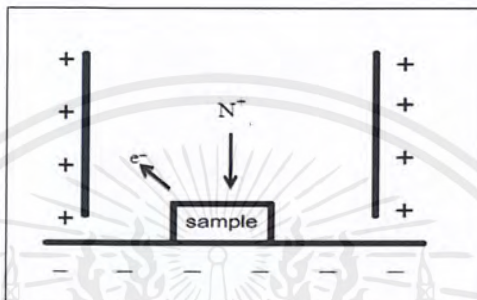
โดยแต่ละองค์ประกอบของพลาสมา ไอออนและความเป็นกลาง มีความหนาแน่นที่มวลและอุณหภูมิแตกต่างกัน แต่ $n_e = n_i = n_0$ ซึ่งเป็นความหนาแน่นของพลาสมา

2.1.2 คุณสมบัติของแก๊สไนโตรเจน (N₂)

ไนโตรเจนเป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่กลั่น และไม่รสโดยไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของอากาศถึง 78% และไนโตรเจนเป็นแก๊สที่ไม่ติดไฟ มีน้ำหนักเบากว่าอากาศเล็กน้อย เป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติเป็นแก๊สเฉื่อย ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา จึงนิยมใช้เป็นแก๊สปกคลุมป้องกัน การทำปฏิกิริยากับอากาศของสารเคมี หรือชิ้นงานต่างๆ ในอุตสาหกรรม ปีโตรเคมี, ยานยนต์, อิเล็กทรอนิกส์และยังนิยมใช้ในการป้องกันสิ่งสกปรก, ความชื้นในอากาศ และไนโตรเจนยังมีจุดเดือดต่ำ ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมถนอมอาหารแช่แข็ง หรือเก็บรักษาเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ไนโตรเจนยังถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในด้านการตรวจสอบการไหลและระบบไฮดรอลิก

2.1.3 Plasma Nitriding

พลาสมา คือสถานะอีกสถานะหนึ่งโดยจะเกิดจากการไอออไนเซชันของอะตอม ทำให้เกิดเป็นอนุภาคที่มีประจุขึ้น หรือเรียกว่า ไอออน ซึ่งนอกจากการใช้ความร้อนทำให้เกิดเป็นพลาสมานั้น ยังมีการเหนี่ยวนำให้เกิดสถานะพลาสมาอีกหลายวิธีเช่น การใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น โดยในกระบวนการของ Plasma Nitriding นั้น ได้มีการนำพลาสมาช่วยปรับปรุงกระบวนการของ Nitriding ให้ดีขึ้นโดยจะปรับปรุงจากเดิมที่ต้องใช้การควบคุมอุณหภูมิเป็นหลัก เปลี่ยนมาเป็นการใช้พลาสมาที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแรงสูงเป็นตัวควบคุมกระบวนการแทน ซึ่งจะทำให้กระบวนการนั้นมีความไวขึ้น มีช่วงอุณหภูมิในการทำที่กว้างขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนที่ต่ำลงด้วย[4]



รูปที่ 1. กลไกการเกิดของกระบวนการ Plasma Nitriding

จากรูปที่.1 แสดงกลไกการเกิดของกระบวนการ Plasma Nitriding โดยใช้กระแสไฟแบบกระแสตรง เพื่อทำให้เกิดการแตกตัวของไนโตรเจน และมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 400 - 600 °C โดยใช้ความดันต่ำในกระบวนการนี้ที่ 0.8 - 1 mbar ซึ่งในการทำจะปล่อยแก๊สไนโตรเจน แก๊สเฉื่อยและแก๊สไฮโดรเจน แก๊สไนโตรเจนที่ปล่อยเข้าไปส่งผลทำให้เกิดการแตกตัวและเข้าไปสร้างเป็นสารประกอบเกิดเป็นโลหะไนไตรด์โดยมีสมการการแตกตัวดังนี้



โดย N^+ จะไปเกาะที่ผิวและสร้างเป็นชั้นสารประกอบกับชิ้นงานเป็นโลหะไนไตรด์เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อไนโตรเจนไอออนอยู่บนพื้นผิวของชิ้นงาน เกิดการแพร่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและอุณหภูมิ โดยความเข้มข้นที่ผิวชิ้นงานมีค่ามากทำให้เกิดการแพร่ของไนโตรเจนเข้าไปด้านในเป็นชั้นของโลหะไนไตรด์ชั้น

2.2 ระบบจุดระเบิด (Ignition)

ระบบจุดระเบิดในรถยนต์แบบเดิมประกอบด้วยแบตเตอรี่ สวิตช์จุดระเบิด คอยล์จุดระเบิด หน้าทองขาว คอนเดนเซอร์ จานจ่าย สายไฟแรงสูง และหัวเทียน แต่ในปัจจุบันจะเป็นแบบไดเร็กคอยล์

2.2.1 คอยล์จุดระเบิด (Ignition coil)

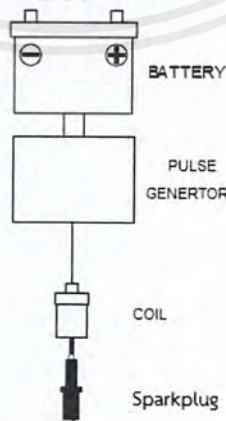
คอยล์จุดระเบิดทำหน้าที่เพิ่มไฟฟ้าแรงดันต่ำจาก 12 โวลต์เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงดันสูงถึง 18,000 ถึง 25,000 โวลต์ เพื่อให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสามารถกระโดดข้ามขั้วหัวเทียนได้

ภายในคอยล์จุดระเบิดจะประกอบด้วย ขดลวดปฐมภูมิพันด้วยลวดทองแดงขนาดใหญ่ โดยพันทับกับขดลวดทุติยภูมิอยู่ประมาณ 150 ถึง 300 รอบ ขดลวดทุติยภูมิพันด้วยลวดทองแดงขนาดเล็ก โดยพันรอบแกนเหล็กอ่อนประมาณ 20,000 รอบ ปลายด้านหนึ่งของขดลวดปฐมภูมิจะต่อเข้ากับขั้วบวก (+) ส่วนปลายอีกข้างจะต่อกับขั้วลบ (-) และขดลวดทุติยภูมิจะต่อปลายด้านหนึ่งเข้ากับขดลวดปฐมภูมิทางขั้วบวก (+) อีกด้านหนึ่งจะต่ออยู่กับขั้วไฟแรงสูง ขดลวดทั้งสองจะพันในทิศทางเดียวกัน ขดลวดทุติยภูมิซึ่งมีขนาดเล็กและมีจำนวนรอบมากจะมีความต้านทานมากกว่าขดลวดปฐมภูมิและที่ว่างภายในคอยล์จะมีน้ำมันซึ่งจะช่วยเป็นฉนวนและระบายความร้อน หลักการที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงสูงมีด้วยกัน 2 หลักการคือ การเหนี่ยวนำตัวเอง (self-induction effect) และการเหนี่ยวนำร่วม (mutual induction effect)

2.2.2 Direct coil

Direct coil เป็นคอยล์จุดระเบิดที่แยกออกจากจานจ่าย ไม่มีสายไฟของหัวเทียนมาที่จานจ่าย แต่จะมีตัว คอยล์จุดระเบิดเป็นชุดเล็กๆ ติดตั้งอยู่ตรงบล็อกเสียบของหัวเทียนแต่ละสูบ จะมีเพียงสายไฟสองสามเส้นที่ต่อจากตัวคอยล์แต่ละตัวไปยังชุดตัวช่วยจุดระเบิด ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณการจุดระเบิดแต่ละสูบของมุมมองศากการจุดระเบิดที่ได้จากเซ็นเซอร์มุมเพลลาข้อเหวี่ยงและแครงค์ชาร์ป ระบบการจุดระเบิดจะเป็นลักษณะของการจุดโดยตรงไปยังสูบแต่ละสูบ ไม่ผ่านชิ้นส่วนหรืออ้อมไปยังระบบอื่น ซึ่งส่งผลดีในเรื่องของการจ่ายไฟที่ค่อนข้างแม่นยำ อีกทั้งความต่อเนื่องในการจ่ายไฟก็ดีกว่า ลดปัญหากระแสไฟรั่วได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับระบบจานจ่ายเดิม ลดขั้นตอนการผลิตและชิ้นส่วนในระบบจุดระเบิด การตรวจเช็ค หรือการซ่อมบำรุงทำได้ง่ายกว่าแบบจานจ่ายทั่วไป เพราะสามารถแยกเช็คได้ว่า เสียที่ตัวไหน สามารถเปลี่ยนได้ทีละตัว ซึ่งแตกต่างจากระบบจานจ่ายที่จะต้องรื้อตัวจานจ่าย

Direct Ignition System



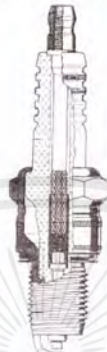
รูปที่ 2. แผนภาพระบบจุดระเบิด Direct coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 หัวเทียน (Sparkplug)

ทำหน้าที่สร้างประกายไฟสำหรับจุดระเบิดในห้องเผาไหม้ ลักษณะของหัวเทียนจะมีเปลือกนอกเป็นโลหะ และมีกระเบื้องหรือเซรามิกเป็นฉนวนเคลือบอยู่ภายในช่วงกลางของหัวเทียนซึ่งได้รับแรงดันไฟมาจากสายไฟแรงดันสูง

ในการติดตั้งหัวเทียนจะต้องหมุนเกลียวหัวเทียน เข้าสวมไปกับเกลียวของฝาสูบ เพื่อที่บริเวณหัวของหัวเทียนจะได้ยื่นเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของห้องเผาไหม้ กระแสไฟจุดระเบิดจะวิ่งเข้ามาที่หัวเทียน ผ่านศูนย์กลางหัวเทียนแล้วมาจุดประกายไฟที่ขั้วหัวเทียน



รูปที่ 3. แผนภาพของหัวเทียน

2.2.4 ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ (Function Generator)

ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์หรือ เครื่องกำเนิดสัญญาณหลายแบบเป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ทำงานได้หลายหน้าที่ สัญญาณที่กำเนิดขึ้นมานี้ต้องสามารถควบคุมได้ ทั้งการปรับแต่งรูปคลื่น ปรับแต่งความแรงและปรับแต่งความถี่ได้ เพื่อใช้เป็นสัญญาณส่งออกไปยังอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ ในการปรับแต่ง หรือวัดเปรียบเทียบค่า โดยถือว่าสัญญาณที่กำเนิดจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นสัญญาณมาตรฐานหรือสัญญาณอ้างอิง ในการนำไปใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณไม่ว่าจะเป็นชนิดใดก็ตาม ควรต้องมีคุณสมบัติในการทำงานและการใช้งานที่เหมือนกัน

2.2.5 Oscilloscopes

(Cathode ray oscilloscope ; CRO) หมายถึงออสซิลโลสโคปใช้หลอดรังสีแคโทด เป็นเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในการวัดแสดงรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ออกมาเป็นภาพ ปรากฏบนจอหลอดภาพให้เห็นได้ เช่น การวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า(ที่เป็นไฟ AC หรือ DC) การวัดความถี่ของ สัญญาณ การวัดเฟสของสัญญาณ และรวมถึงการวัดสัญญาณพัลส์การอ่านค่าแอมพลิจูดของสัญญาณจะเป็น พีค-ทู-พีค หรือค่าพีคและค่าเวลาเป็นวินาที

ออสซิลโลสโคปจะใช้หลักการบังคับการบ่ายเบนของลำอิเล็กตรอนภายในหลอดภาพรังสีแคโทด (Cathode ray tube ; CRT) ด้วยระบบการบ่ายเบนทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic deflection)หน้าที่หลักของออสซิลโลสโคป คือ

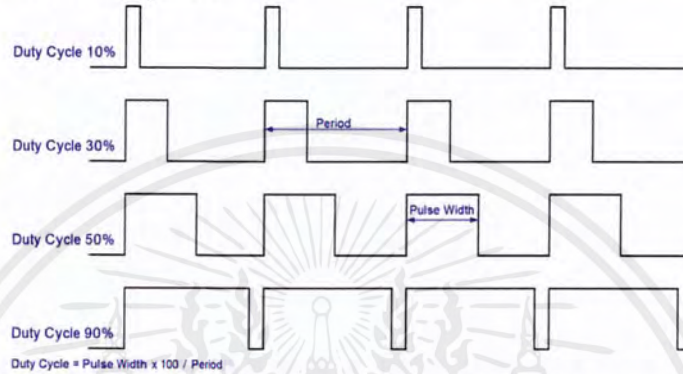
1. รับสัญญาณ
2. แสดงภาพของสัญญาณที่รับ
3. วิเคราะห์สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สัญญาณพัลส์ (Pulse wave)

รูปคลื่นสัญญาณซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับเวลาของรูปคลื่นสัญญาณโดยอาจปรากฏในรูปแบบของแรงดัน หรือกระแส สามารถใช้ออสซิลโลสโคปวัดรูปสัญญาณดูลักษณะของรูปคลื่นได้

รูปคลื่นพัลส์ในทางทฤษฎีกับรูปคลื่นพัลส์ในทางปฏิบัติจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ รูปคลื่นในทางปฏิบัติจะมีช่วงเวลาไต่ขึ้น ไต่ลง ช่วงเวลาเอียง และการคำนวณหาค่าของรูปคลื่นในทางปฏิบัติจะคิดคำนวณจากค่า 50% ของรูปคลื่น



รูปที่ 4. กราฟอัตราส่วนระหว่างความกว้างของพัลส์ต่อคาบเวลาของพัลส์

2.4 สูญญากาศ (Vacuum)

สูญญากาศ (vacuum) คือปริมาตรของช่องว่างซึ่งไม่มีสสารอยู่ภายใน เหมือนกับความดันแก๊สที่น้อยกว่าความดันบรรยากาศมาก ๆ ในความเป็นจริงเราไม่สามารถทำให้ปริมาตรของช่องว่างว่างเปล่าได้อย่างสมบูรณ์ที่เรียกว่า สูญญากาศสมบูรณ์ (perfect vacuum) ซึ่งมีความดันแก๊สเป็นศูนย์ สูญญากาศสมบูรณ์จึงเป็นแนวความคิดที่ไม่สามารถสังเกตการณ์ได้ในทางปฏิบัติ นักฟิสิกส์มักจะถกเถียงเกี่ยวกับผลการทดลองในอุดมคติว่าจะเกิดอะไรขึ้นในสูญญากาศสมบูรณ์ โดยใช้คำว่า สูญญากาศแทนสูญญากาศสมบูรณ์ และใช้คำว่า สูญญากาศบางส่วน (partial vacuum) แทนความหมายของสูญญากาศที่เกิดขึ้นได้จริง

2.4.1 ระดับของสถานะ Vacuum

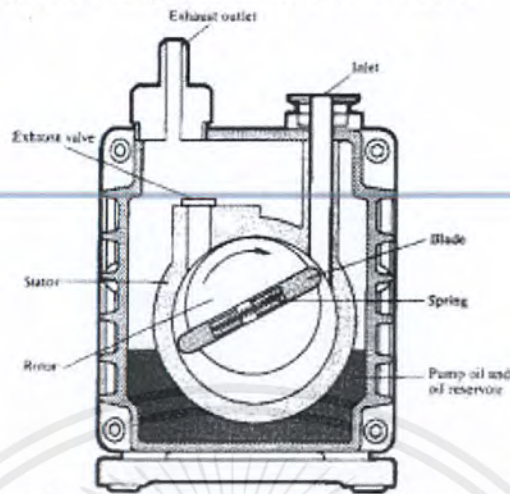
ระดับต่ำ (low level) อยู่ในช่วง -25 จนถึง -736 mmHg ระดับกลาง (medium level) อยู่ในช่วง 1 จนถึง 10^{-3} torr หรือ -759 mmHg จนถึง -759.999 mmHg ระดับสูง (high level) อยู่ในช่วง 10 จนถึง 10^{-7} torr หรือ -759.999 mmHg จนถึง -759.9999999 mmHg ระดับสูงพิเศษ (extreme high level) อยู่ในช่วง 10^{-7} torr ลงไป

2.4.2 Rotary Vane Pump

ปั๊มโรตารี (rotary pump) เป็นปั๊มประเภท positive displacement pump ที่เพิ่มพลังงานของเหลว โดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง มีชิ้นส่วนภายในที่หมุนได้ เพื่อตัดหรือดวงของเหลว ของเหลวถูกดูดเข้าไปและอัดปล่อยออก โดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือกล ซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุน หรือโรเตอร์จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์ทำให้เกิดการแทนที่ เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (positive displacement) ให้ทางด้านจ่าย



รูปที่ 5 ส่วนประกอบของ rotary vane pump

rotary Vane pump ปัมแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอก และมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกัน วางเยื้องศูนย์กลางให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางด้านจ่าย รอบๆโรเตอร์จะมีครีบริบซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากจุดศูนย์กลางมาชนกับผนังของห้องสูบ เมื่อโรเตอร์หมุนครีบริบเหล่านี้จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางด้านจ่าย มีข้อดีกว่าชนิดเฟืองคือการสึกหรอของผนังห้องสูบหรือหลายครีบริบจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมาก เพราะครีบริบสามารถเลื่อนออกมาชนกับผนังของห้องสูบได้สนิท

2.5 คุณสมบัติของวัสดุเทฟลอน (Teflon)

เทฟลอนเป็นวัสดุที่แข็งแรง ทนต่อสารเคมี ความเสียดทานต่ำและมีระดับอุณหภูมิการใช้งานที่กว้างมาก ลักษณะเด่นของเทฟลอนเป็นวัสดุที่ทนต่อสารเคมีได้ดีเยี่ยมแม้ในอุณหภูมิสูง ระดับอุณหภูมิการใช้งาน -300°F ถึง $+450^{\circ}\text{F}$ ซีลจากเทฟลอนจะมีคุณสมบัติโดดเด่นมากในเรื่องของความคงทนต่อสภาพอากาศ การต้านทานโอโซน และตัวทำลายซึ่งล้วนมีส่วนทำให้วัสดุเสื่อมคุณภาพ นอกจากนี้เทฟลอนยังเป็นวัสดุที่สามารถต้านทานแรงดึงได้สูงถึง 2,500-3,500 psi. และสามารถยืดขยายได้ถึง 300% รวมทั้งเป็นวัสดุที่แข็งแรงทนการกระแทก ความแข็ง (shore A) : 98 และไม่เสียรูปแม้ในที่มีอุณหภูมิสูง



รูปที่ 6. เทฟลอนในอุตสาหกรรม

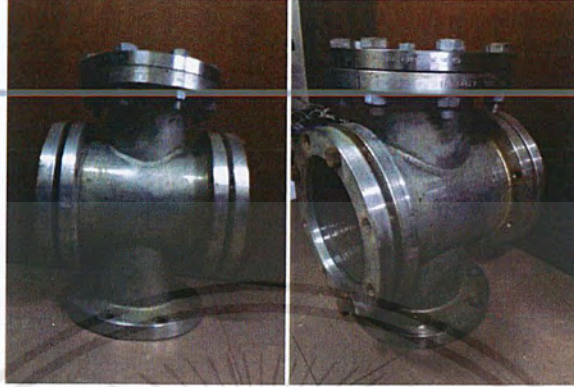
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ออกแบบการทดลองและอุปกรณ์ปรับสภาพผิว

3.1 วัสดุอุปกรณ์

1. Chamber



รูปที่ 7. แสดงรูปของ Chamber

ประกอบไปด้วยท่อสแตนเลสเพื่อกันสนิม การสีกหรือจากแรงดันและความร้อน ท่อจะประกอบไปด้วยฝากระจกสองด้านเพื่อใช้สังเกตปรากฏการณ์การพลาสมา ที่เกิดขึ้น โดยที่ฝาล่างของท่อจะเจาะเพื่อต่อกับท่อสำหรับระบบจุดระเบิดและต่อกับท่อสำหรับเครื่องดูดสุญญากาศ 4-Way Cross, CF 4-5/8 inches, CF 4.625 inches, Heated to 450 °C, Dimensions: A = 3.53", Tube Size OD= 3.0", Flange Size OD = 4.625", 14 Liter

2. ชุดระบบจุดระเบิด

ประกอบไปด้วยคอยล์และหัวเทียนที่จะต่อกันแบบไดเรกคอยล์ คือคอยล์ต่อกับหัวเทียน (\varnothing 18 mm. 25-32 lb-ft.) โดยที่ตัวคอยล์จะรับสัญญาณพัลส์จากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ โดยแหล่งจากไฟจากพาวเวอร์ซัพพลาย

2.1 Direct Coil



รูปที่ 8. แสดงการต่อคอยล์กับหัวเทียนแบบ Direct Coil

TOYOTA KL13YA 12V. JAPAN ยาว 13 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm (System 12V. App.volt \geq 28,000V.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Sparkplug



รูปที่ 9. แสดงคอยล์และหัวเทียน
NGK BP8ES-F3SJ ยาว 8 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 cm

2.3 Power supply



รูปที่ 10. แสดงแหล่งจ่ายแรงดันไฟ 12 V.
GM electronic 20A. AC-DC ADAPTOR

2.4 Function Generator



รูปที่ 11. แสดงเครื่องส่งสัญญาณพัลส์ (Pulse wave)
Function Generator FG801XP Media co., ltd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Oscilloscope



รูปที่ 12. แสดงจอแสดงผล

RIGOL DS1202CA 2 Channel 200MHz 2Gsals

3. ถังบรรจุแก๊ส



รูปที่ 13. ถังบรรจุแก๊ส N₂

4. Vacuum Pump

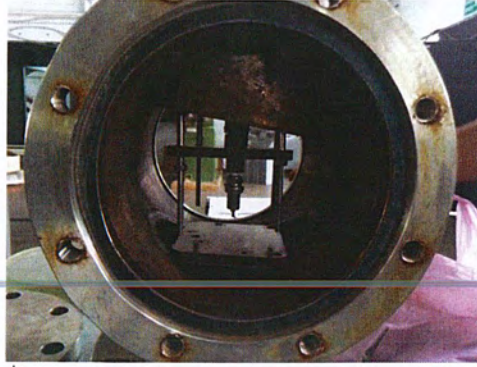


รูปที่ 14. แสดง Vacuum Pump

ROTARY VANE VACUUM PUMP VP2100 340L/min 12CFM, Ultimate 0.003 mbar, 220V-50/60 Hz, Power 1 HP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แท่นวางชิ้นงาน (Teflon)



รูปที่ 15. แสดงแท่นวางเทฟลอนภายใน chamber

6. ชุดส่งแก๊สไนโตรเจน

- 6.1 ท่อสแตนเลส 1/4"
- 6.2 Ball Valve 1/4"
- 6.3 Speed Control Valve 1/4"
- 6.4 Mass Flow
- 6.5 2-way Union2
- 6.6 3-way Union
- 6.7 Union 90°
- 6.8 Nitrogen regulator 1/4"



รูปที่ 16. แสดงแผงวาล์วส่งแก๊สไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ตารางแผนปฏิบัติงาน

หัวข้อ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1.ศึกษาทฤษฎี บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→			
2.ออกแบบการทดลอง และอุปกรณ์ปรับสภาพผิว			←→	

ตารางที่ 1 แสดงตารางแผนปฏิบัติงานในภาคเรียนที่ 1

หัวข้อ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
3.สร้างอุปกรณ์ปรับ สภาพผิว	←→			
4.บันทึกและอภิปรายผล การทดลอง			←→	

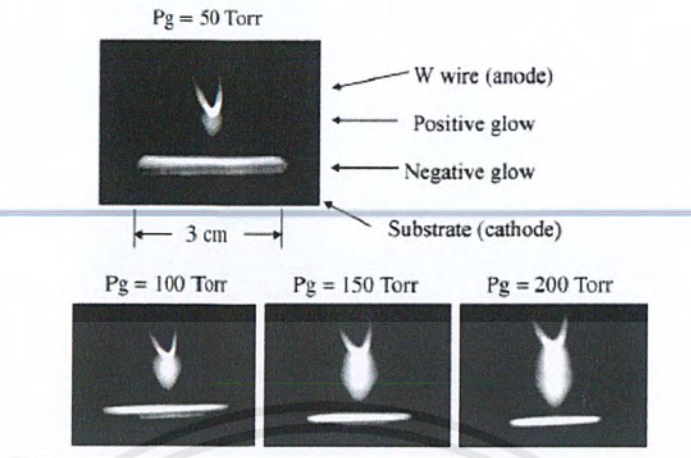
ตารางที่ 2 แสดงตารางแผนปฏิบัติงานในภาคเรียนที่ 2

3.2.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การเคลือบไอเคมีด้วยพลาสมาพลังงานสูง (High power pulsed plasma enhanced chemical vapor deposition)

แนวคิดทั่วไปการก่อตัวใหม่ของเทคนิคการเคลือบไอเคมีโดยอาศัยพลาสมาและการเคลือบไอเคมีโดยอาศัยพลาสมาพลังงานสูงถูกสรุปเป็นประเด็นสำคัญ โดยลักษณะสำคัญของกระบวนการคือการใช้พลังงานที่ถูกทำให้มีลักษณะพิเศษโดย HiPP ซึ่งมีรอบการทำงานที่น้อยกว่า 2-3 เพอร์เซ็นต์เพื่อสร้างกระบวนการพลาสมาและความหนาแน่นของพลาสมาที่สูงขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับ PECVD แบบเก่า ความหนาแน่นของพลาสมาที่สูงขึ้นนั้นนำไปสู่ปฏิกิริยาทางเคมีของพลาสมา ซึ่งปฏิกิริยานี้ ส่งผลให้เกิดอัตราการแตกตัวของโมเลกุลชั้นต้นที่สูงขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพของการก่อตัวของฟิล์มสูงขึ้น ผลลัพธ์ล่าสุดได้แสดงให้เห็นว่า HiPP-PECVD สามารถทำการเคลือบ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่อุณหภูมิพื้นผิวต่ำเท่ากับ 560 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบได้กับวิธีการสะสมไอเคมีด้วยความร้อนหรือการสะสมของ Amorphous ทองแดงที่เคลือบด้วยคาร์บอน ที่อัตราการสะสมสูงกว่า 30 ไมโครเมตรต่อชั่วโมง อธิบายพร้อมด้วยผลลัพธ์ที่แสดงให้เห็นว่าพลาสมาเคมีที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นเป็นเครื่องมือที่เป็นที่คาดหวังหวังสำหรับการเคลือบแข็งด้วยอุณหภูมิต่ำ ตัวอย่างเช่นอุตสาหกรรมการทำสารเคลือบแข็ง

2. การเคลือบฟิล์มไดมอนด์ไลค์คาร์บอนโดยใช้ไอเคมีพลังงานสูง (Coating of DLC film by pulsed discharge plasma CVD)

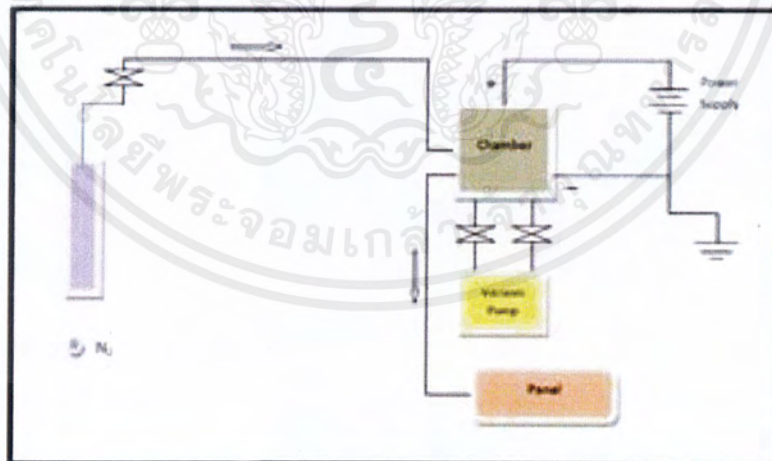


รูปที่ 17 แสดงกลุ่มพลาสมาในปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาพลาสมาที่เกิดขึ้นในรูปที่ 17 แสดงให้เห็นขนาดของกลุ่มพลาสมา(Positive glow) ที่ส่องสว่างที่เกิดขึ้นในกระบวนการ PD Plasmas CVD เมื่อความดันแก๊สเพิ่มจาก 50 - 200 Torr Negative glow จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าเมื่อความดันของแก๊สสูงขึ้นจะทำให้ DLC นั้นลดลง

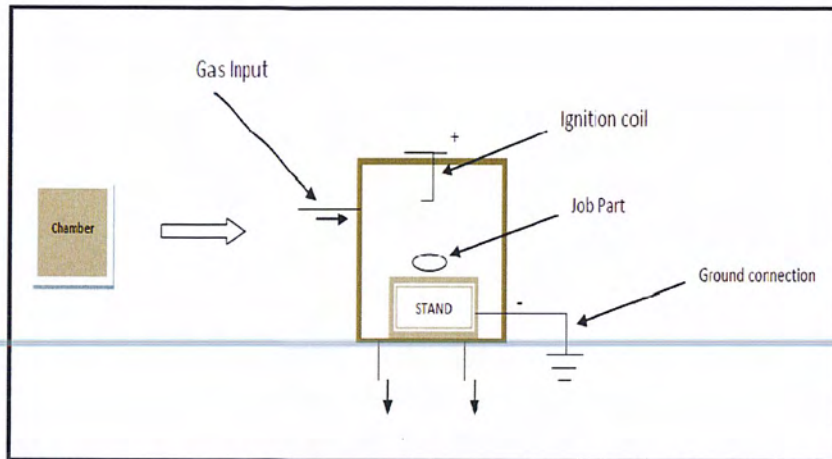
3.2.3 ออกแบบอุปกรณ์ทดลอง

1. การออกแบบเบื้องต้น (Schematic Diagram)

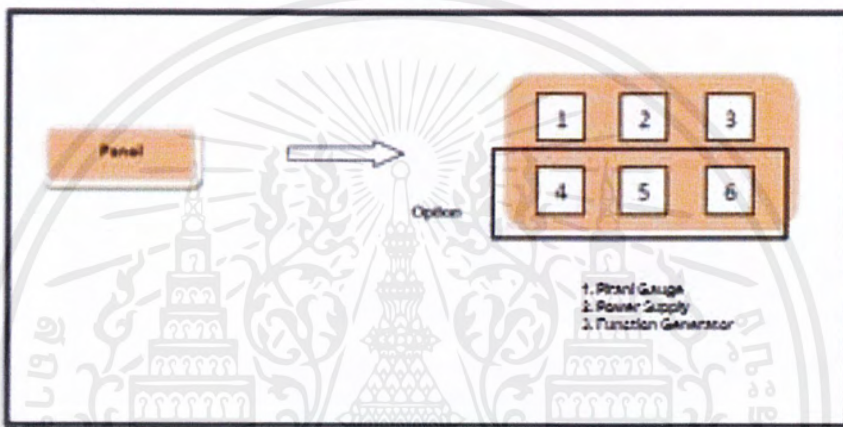


รูปที่ 18. แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

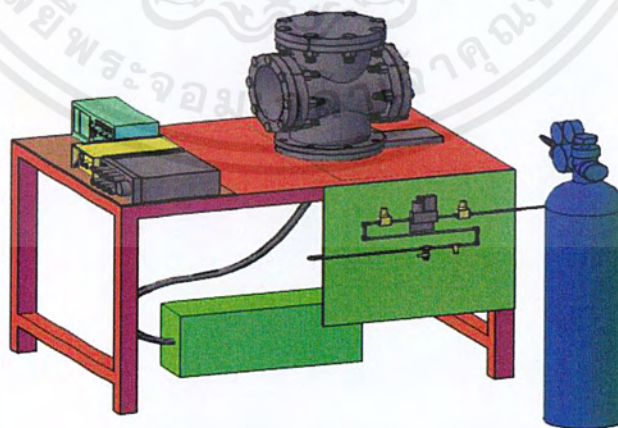


รูปที่ 19. แสดงแผนผังภายใน Chamber



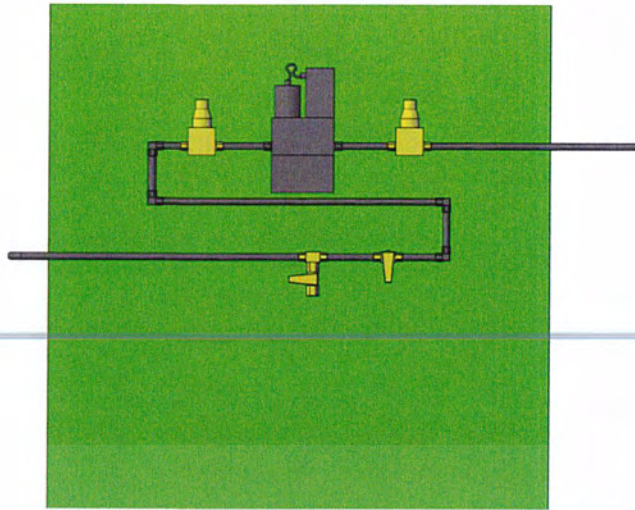
รูปที่ 20. แสดงแผนผังแผงควบคุม

2. การออกแบบโดยใช้ Auto CAD

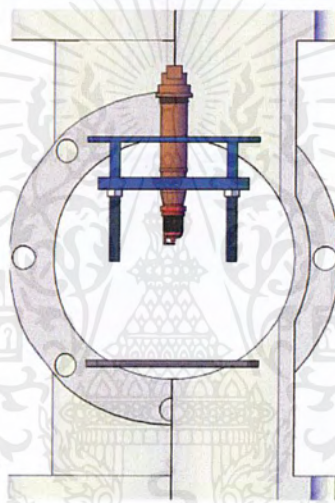


รูปที่ 21. การออกแบบสามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22. แสดงแผนอุปกรณ์ส่งแก๊สไนโตรเจน



รูปที่ 23. แสดงแท่นวางชิ้นงานภายใน Chamber

3.2.4 ออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 3 แสดงตารางบันทึกผลการทดลอง

ระดับ	ความถี่ (Hz)	ความดัน 20 (mbar)
5		
10		
15		
20		
ระดับความถี่	ความถี่ (Hz)	ความดัน 60 (mbar)
5		
10		
15		
20		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความถี่	ความถี่ (Hz)	ความดัน 100 (mbar)
5		
10		
15		
20		

3.2.5 สร้างอุปกรณ์ปรับสภาพผิว

ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ปรับสภาพผิวมีดังต่อไปนี้

1. สร้างโต๊ะสำหรับวางอุปกรณ์และสร้างฐานเพื่อรองรับปั๊มสุญญากาศ



รูปที่ 24. โครงสำหรับโต๊ะวาง chamber

2. ทำการเจาะบลายด์แฟลนค์แล้วใส่ข้อต่อ จำนวน 4 ตัวแล้วเชื่อมปิด ใช้สำหรับ ท่อแก๊ส , ชุดสายไฟ , Pirani gauge ,(อุปกรณ์เสริม)



รูปที่ 25. แสดงบลายด์แฟลนค์หลังเจาะ

3. ทำการติดตั้งท่อส่งแก๊ส(ท่อสแตนเลส) เข้าแชมเบอร์สำหรับแก๊สไนโตรเจน โดยทำการสร้างแผงสำหรับยึดติดอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมแก๊สแฟลงค์ (Ball Valve , Speed Valve Control , Mass Flow) และท่อ วางแนวท่อยึดไว้กับด้านล่างของโครงโต๊ะวางอุปกรณ์ และต่อท่อเข้ากับข้อต่อที่ติดตั้งไว้แล้วที่ปลายแฟลงค์ รวมทั้งข้อต่อต่างๆที่ใช้ในการติดตั้งท่อแก๊ส



รูปที่ 26. แสดงแผงวาล์วและอุปกรณ์ส่งแก๊ส

4. สร้างฐานวางชิ้นงานภายในแชมเบอร์



รูปที่ 27. แสดงแท่นวางชิ้นงานเทฟลอน

5. ติดตั้งอุปกรณ์จุดระเบิด (Direct Coil) ภายในแชมเบอร์ และอุปกรณ์สำหรับควบคุมการจุดระเบิด Function Generator , Oscilloscopes รวมทั้ง Power Supply



รูปที่ 28. แสดงการวาง Direct coil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 29. อุปกรณ์ทั้งหมด

3.3 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองเพื่อระบุช่วงการทำงานของอุปกรณ์ปรับสภาพพลาสมาดังนี้

1. เปิดปั๊มเพื่อดูดอากาศให้ภายในห้องแชมเบอร์เป็นสุญญากาศ (20 – 100 mbar)
2. ปลอ่ยแก๊สไนโตรเจนเข้าไปภายในแชมเบอร์ โดยปลอ่ยแก๊สที่ความดันคงที่ ที่ 4 kg/cm² ตลอดการทดลอง
3. เปิดชุดจุดระเบิดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพลาสมาไนโตร โดยสัญญาณพัลส์คงที่ 3.5 โวลต์ เริ่มระดับความถี่ที่ 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ จดบันทึกผลการทดลองโดยบันทึกค่าที่ได้จาก oscilloscope ประกอบด้วย เวลา (ms.) และจำนวนการจุดระเบิด (ครั้งต่อวินาที)
4. ทดสอบเพื่อหาช่วงขีดความสามารถของอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาพลาสมาไนโตร โดยในการทดลองจะทำเก็บข้อมูลด้วยการถ่ายรูปตามตารางการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ และทำซ้ำในความดันที่ 60 mbar และ 100 mbar ตามลำดับขั้นตอนการทดลองข้างต้น

3.4 สถานที่ทำการวิจัย


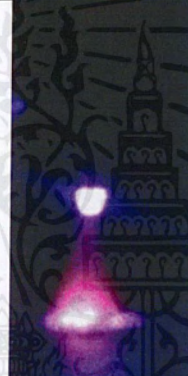


อาคารปฏิบัติการที่ 1 ห้องปฏิบัติการทดสอบแรงบิด สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย


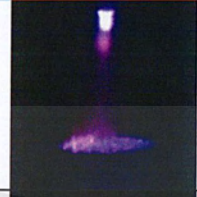


4.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4 ตารางผลการทดลองที่ 1

ระดับ	ความถี่(Hz)	ความดัน 20 (mbar)
5	147.0	
10	250.0	
15	357.0	
20	447.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ตารางผลการทดลองที่ 2

ระดับ	ความถี่(Hz)	ความดัน 60 mbar
5	147.0	
10	250.0	
15	357.0	
20	447.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ตารางผลการทดลองที่ 3

ระดับ	ความถี่(Hz)	ความดัน 100 mbar
5	147.0	
10	250.0	
15	357.0	
20	447.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากตารางผลการทดลองที่ 1 พบว่าปฏิกิริยาพลาสมาเกิดขึ้นเมื่อความดันภายในแชมเบอร์มีค่า 20 มิลลิบาร์ที่ระดับความถี่ 5, 10, 15, 20 ตามลำดับ แนวโน้มการเกิดปฏิกิริยา Positive glow มีความเข้มข้น ความคงที่ของ Positive glow เท่าเดิม แต่ขนาดของ Negative glow ลดลงทำให้แนวโน้มที่ดีมีการลดลงตามค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้น

จากตารางผลการทดลองที่ 2 พบว่าปฏิกิริยาพลาสมาเกิดขึ้นเมื่อความดันภายในแชมเบอร์มีค่า 60 มิลลิบาร์ที่ระดับความถี่ 5, 10, 15, 20 ตามลำดับ แนวโน้มการเกิดปฏิกิริยา Positive glow มีความเข้มข้นความคงที่ของ Positive glow เพิ่มขึ้น แต่ขนาดของ Negative glow ลดลงทำให้แนวโน้มที่ดีมีการลดลงตามค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้น

จากตารางผลการทดลองที่ 3 พบว่าปฏิกิริยาพลาสมาเกิดขึ้นเมื่อความดันภายในแชมเบอร์มีค่า 100 มิลลิบาร์ที่ระดับความถี่ 5, 10, 15, 20 ตามลำดับ แนวโน้มการเกิดปฏิกิริยา Positive glow มีความเข้มข้นแต่ความคงที่ของ Positive glow ลดลงและขนาดของ Negative glow ลดลงทำให้แนวโน้มที่ดีมีการลดลงตามค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้น

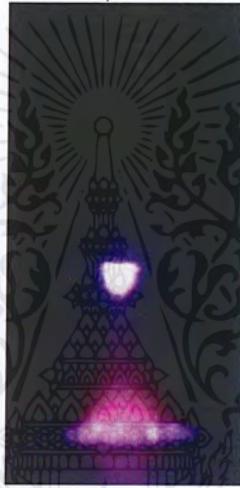


บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสร้างอุปกรณ์ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง แล้วได้ทำการทดลองเพื่อหาช่วงการทำงานของอุปกรณ์ พบว่าอุปกรณ์สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาพลาสมาได้ในช่วงความดัน 20 – 100 มิลลิบาร์ จากนั้นทำการทดลองเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการจ่ายไฟเพื่อสังเกตการลักษณะของปฏิกิริยาพลาสมาที่เกิดขึ้น พบว่าปฏิกิริยาพลาสมาจะเกิดได้ดีที่สุดเมื่อนำรูปการเกิดปฏิกิริยาพลาสมาที่ถ่ายได้จากการทดลองไปเทียบกับปฏิกิริยาพลาสมาที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยการเคลือบผิวโพลีเมอร์ด้วยพลาสมาไนโตรที่ความดัน 20 มิลลิบาร์, ระดับ 5, ความถี่, ΔX 5.20 มิลลิวินาที, 147.0 เฮิร์ต ทำให้อุปกรณ์เกิดปฏิกิริยาพลาสมาที่ดีที่สุด



รูปที่ 30. รูปการพลาสมาไนโตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการสร้างอุปกรณ์ปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการพลาสมาไนโตรโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง แล้วได้ทำการทดลองโดยมีขอบเขตการทดลองอยู่ที่แรงดันไฟฟ้าสัญญาณพัลส์ที่ 3.5 โวลต์, แรงดันของไนโตร (N_2) 4135 มิลลิบาร์แบ่งช่วงความถี่เป็น 4 ช่วงและช่วงความถี่ในแคมเบอร์เป็น 3 ช่วง สามารถเพิ่มตัวแปรเพื่อหาช่วงการทำงานที่ดีที่สุดได้ เช่น อุณหภูมิ เวลาในการจุดระเบิด หรือเพิ่มช่วงการทดลองมากขึ้นเพื่อความละเอียด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Paul M. B., "Fundamental of plasma physics" Cambridge university press., 2006. pp. 1.
- [2] ปณิตดา นิรนาทล้ำพงศ์. "ปกป้องผิวคุณจากสิ่งแวดล้อม ยืดอายุชิ้นส่วนโดยเทคนิคการพ่นเคลือบด้วยเปลวพลาสมา." พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์เทคโนโลยี โลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). พ.ศ. 2544. หน้า 9.
- [3] Yoshinobu K. and Hideo I. and Noriyoshi S. and Akihisa M. and Kiichiro U. and Masayuki K. and Akisa M. "Industrial Plasma Technology." WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., 2010. pp. 1-2.
- [4] <http://www.dynaweldtrading.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539423407&Ntype=3>
- [5] Zagonel L. F., "Influence of the process temperature on the steel microstructure and hardening in pulsed plasma nitriding." Surface and Coatings Technology., 2006. pp. 452-457.
- [6] Walkowicz J., "on the mechanisms of diode plasma nitriding in N₂ – H₂ mixtures under DC-pulsed substrate biasing." Surface and Coatings Technology., 2003. pp. 1211-1219.
- [7] ประสานพงษ์ หาเรือนชัย. "ทฤษฎีและปฏิบัติไฟฟ้ายานยนต์." กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, พ.ศ. 2544. หน้า 105-125.
- [8] <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics2/meter/GATE.html>
- [9] <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1070/rotary-pump->
- [10] http://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly_electronics/wiki/3d08c/1__.html
- [11] <http://data.thaiauto.or.th/iu3/index.php>
- [12] <http://www.elecnet.chandra.ac.th/courses/ELEC2101/termwork/ceramics/ceramic10-5.html>
- [13] Daniel L. and Henrik P. "High power pulsed plasma enhanced chemical vapor deposition : a brief overview of general concepts and early results." Physics Procedia 46., 2013.
- [14] Noda M. and Umeno M. "Coating of DLC film by pulsed discharge plasma CVD" Diamond & Related Materials 14., 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติคณะผู้จัดทำ

นาย ฌภัทร อินตะวิน

เกิด 10 สิงหาคม 2535

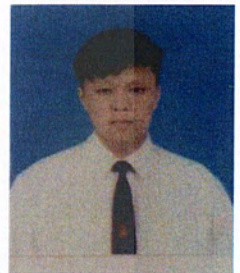
ที่อยู่ 128 หมู่.6 ต.ป่าคา อ.ท่าวังผา จ.น่าน 55140



นาย บุลิน หมื่นหนู

เกิด 30 มิถุนายน 2536

ที่อยู่ 299 หมู่.3 ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120



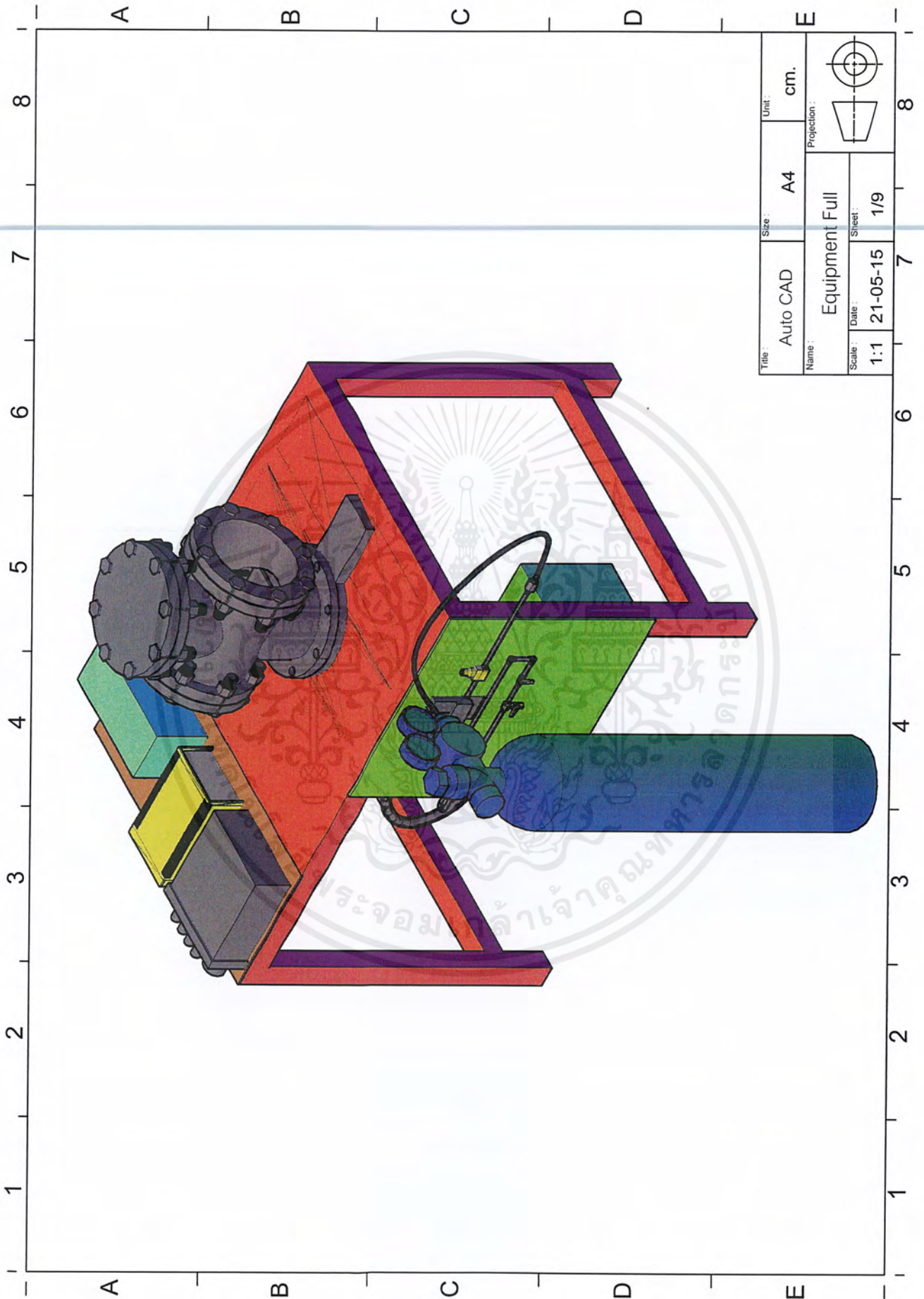
นาย พีรภัทร์ ศิริเขตต์

เกิด 2 ธันวาคม 2535

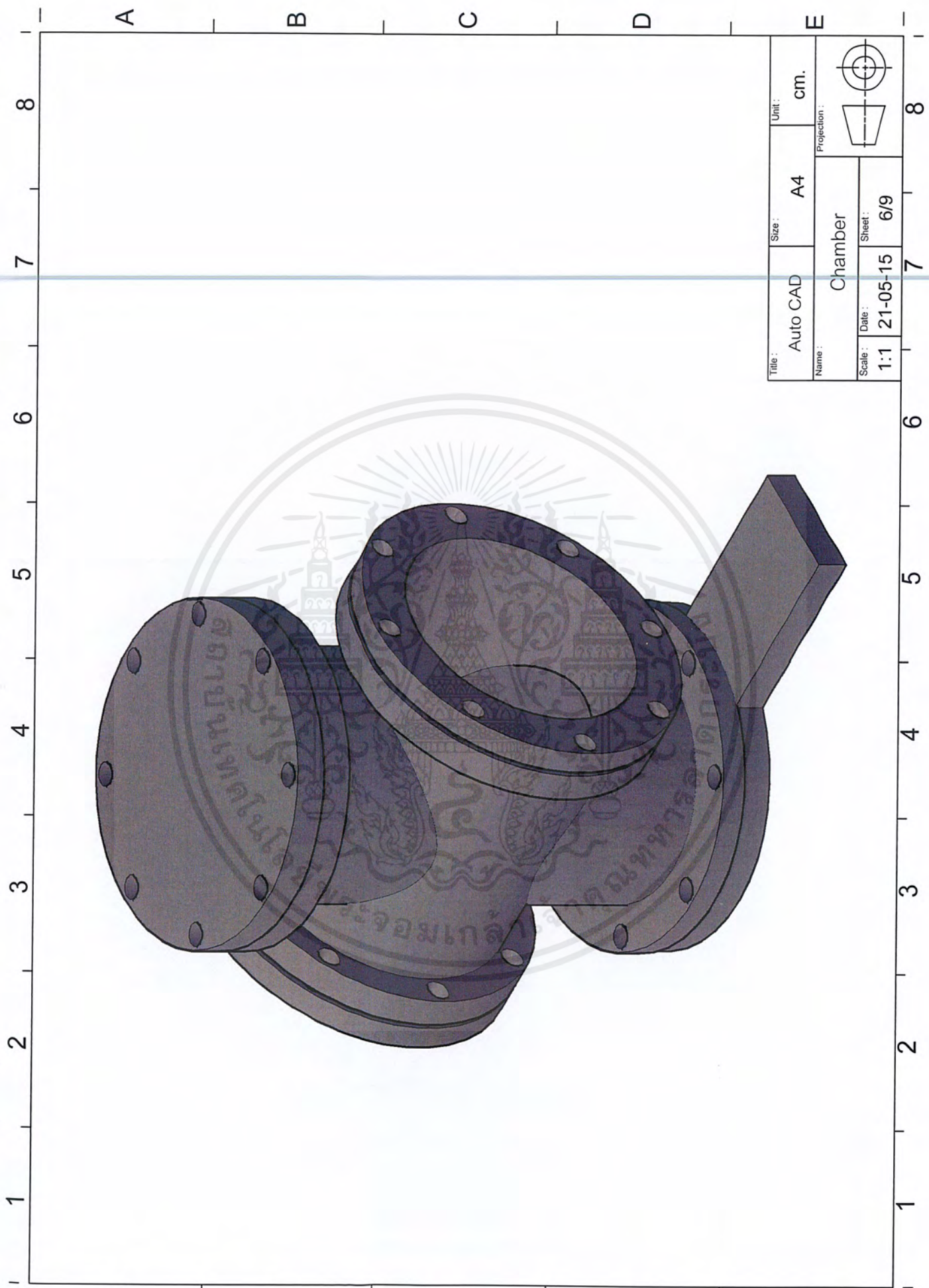
ที่อยู่ 175 หมู่.2 ถ.เชียงใหม่-ลำพูน ต.ยางนึ่ง อ.สารภี จ.เชียงใหม่ 5014



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

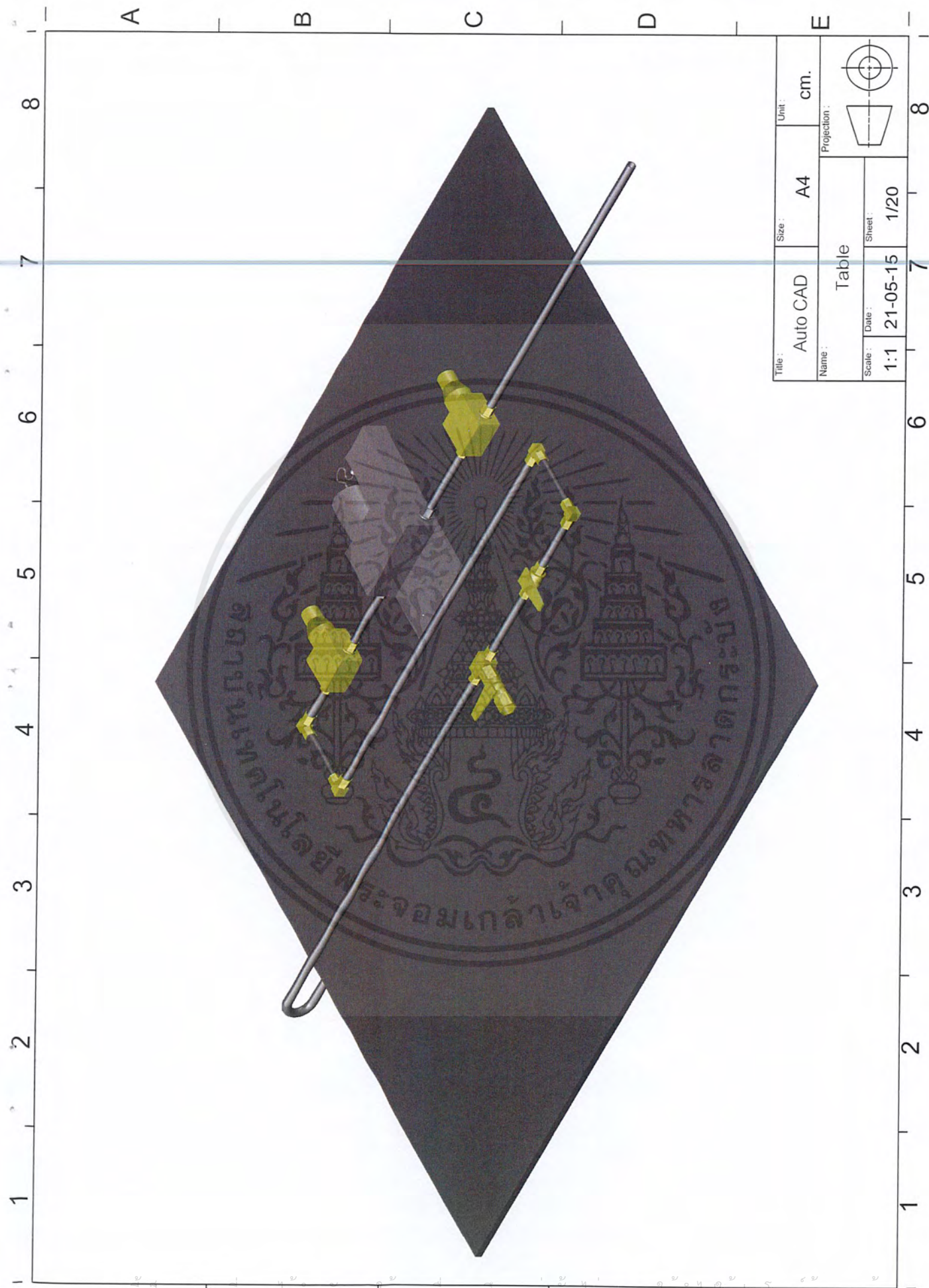


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



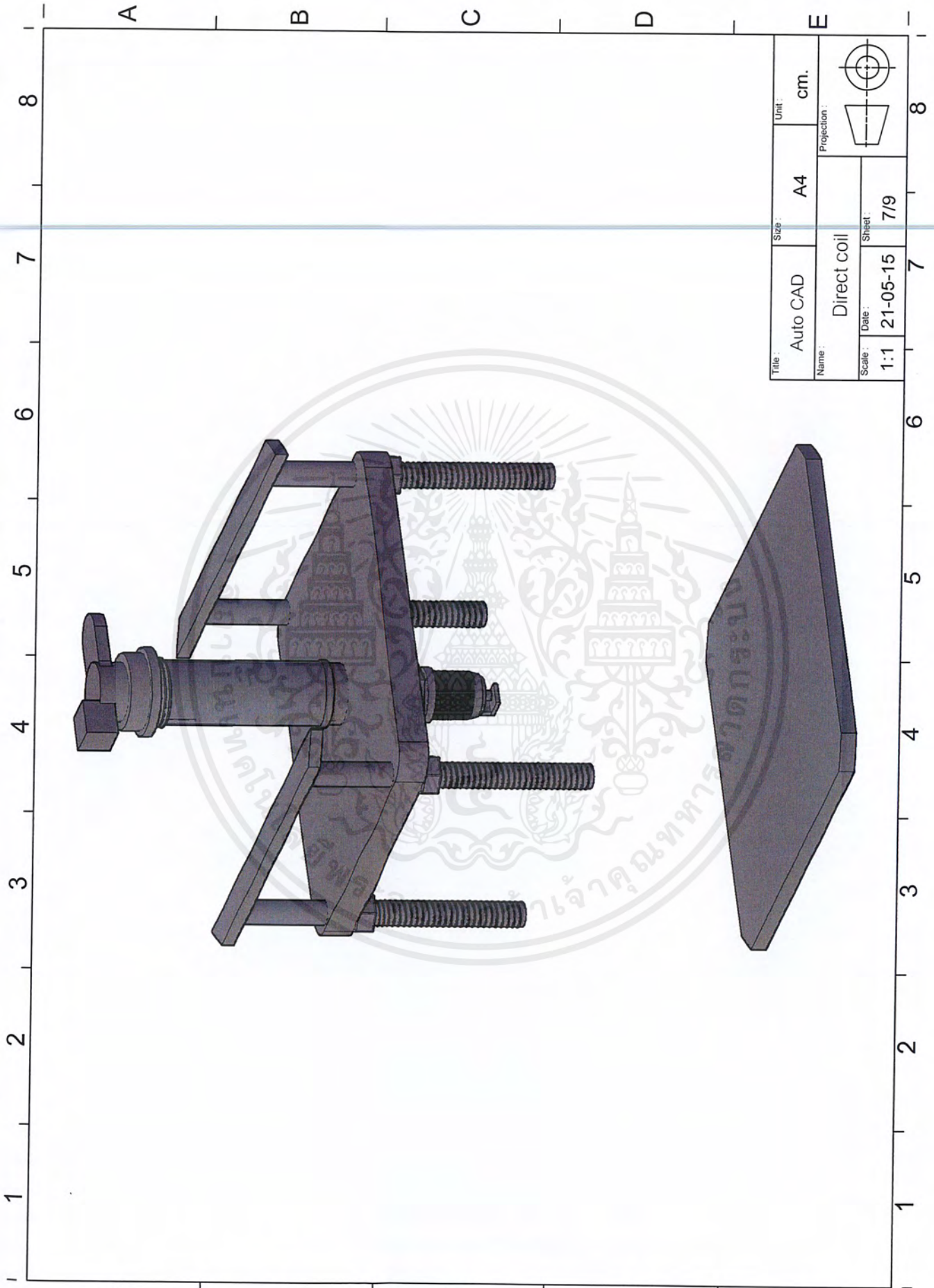
Title :	Auto CAD	Size :	A4	Unit :	cm.
Name :	Chamber		Projection :		
Scale :	1:1	Date :	21-05-15	Sheet :	6/9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title :	Auto CAD	Size :	A4	Unit :	cm.
Name :	Table				
Scale :	1:1	Date :	21-05-15	Sheet :	1/20
Projection :					

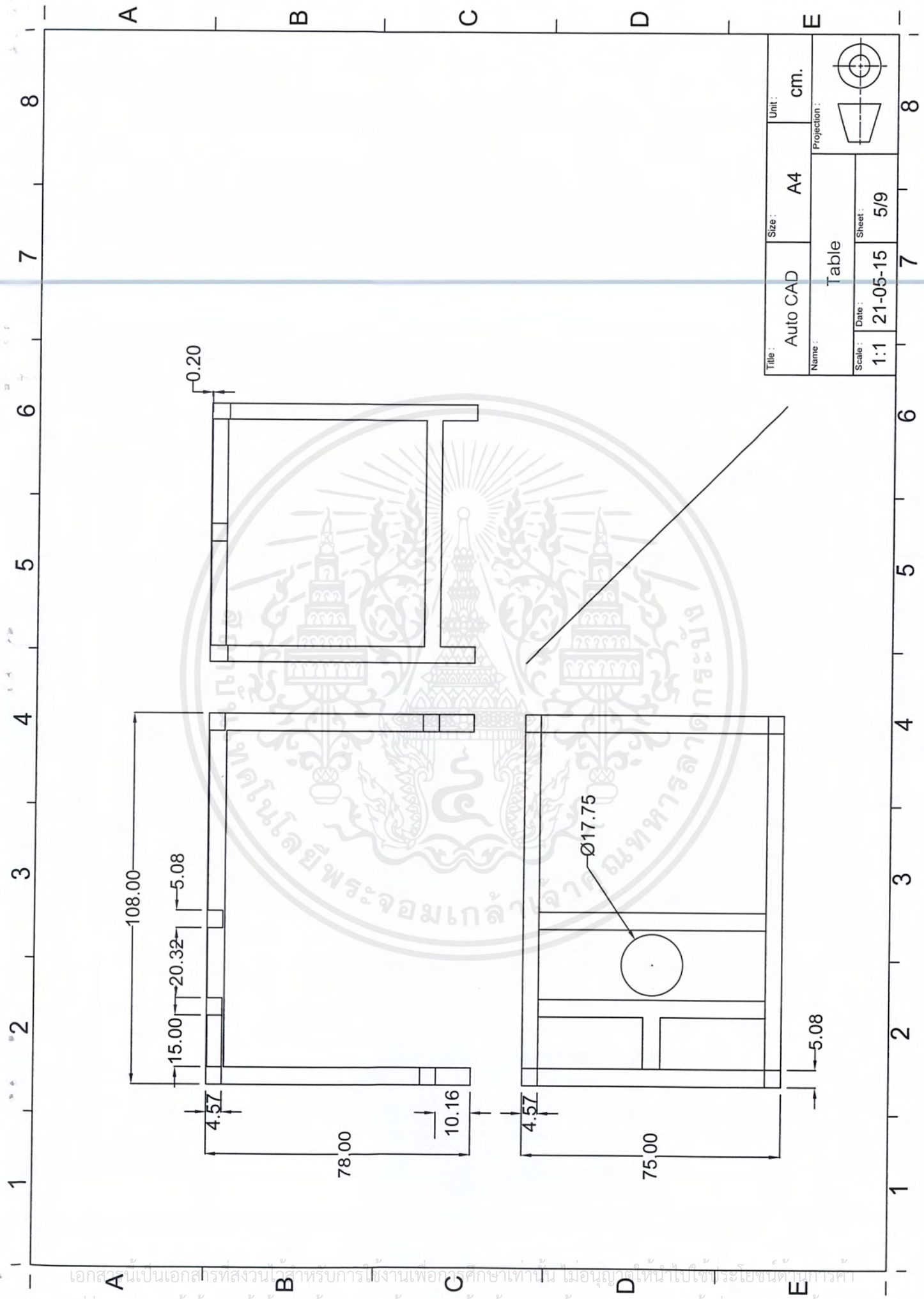
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



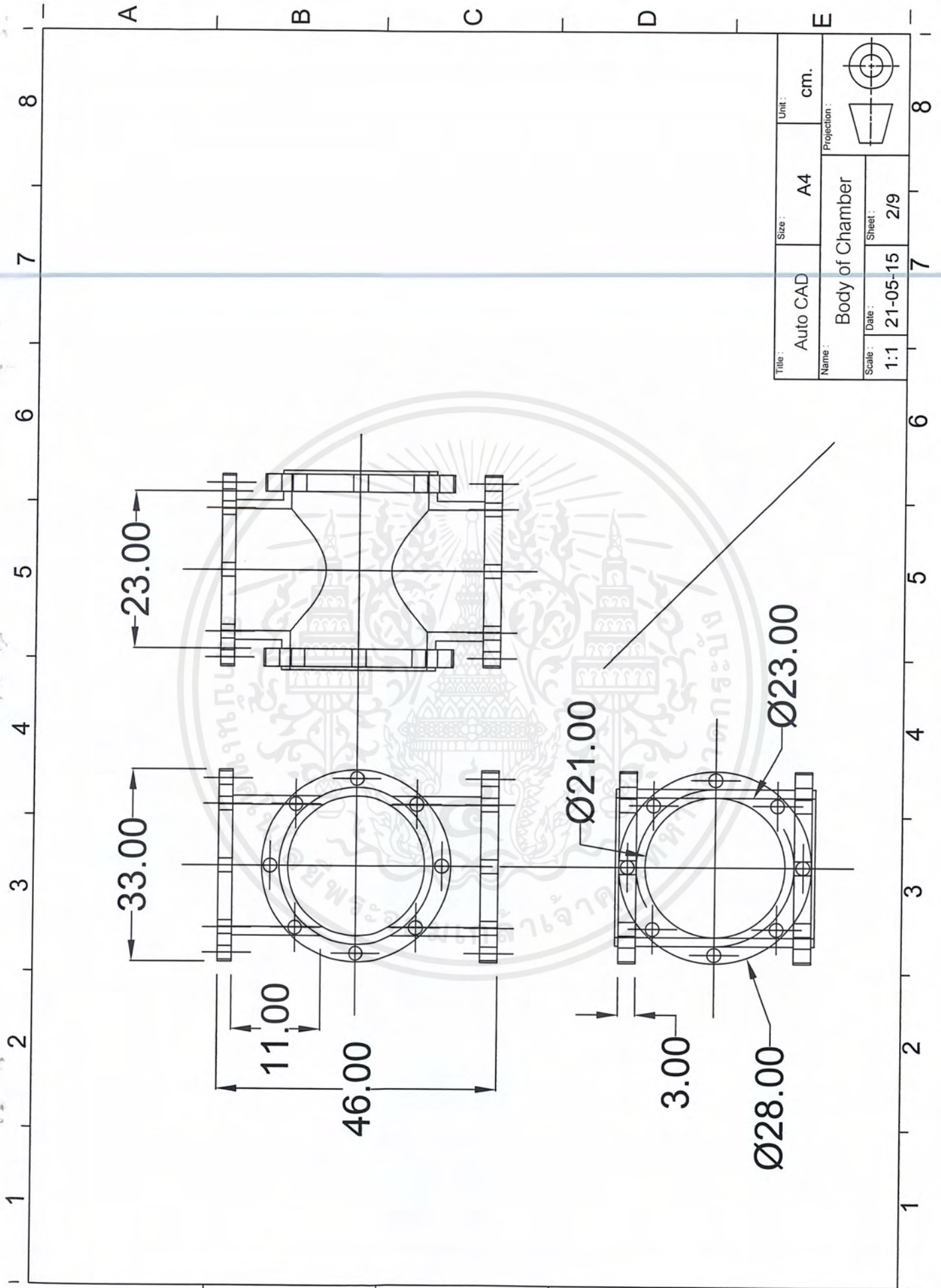
Title :	Auto CAD	Size :	A4	Unit :	cm.
Name :	Direct coil		Projection :		
Scale :	1:1	Date :	21-05-15	Sheet :	7/9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

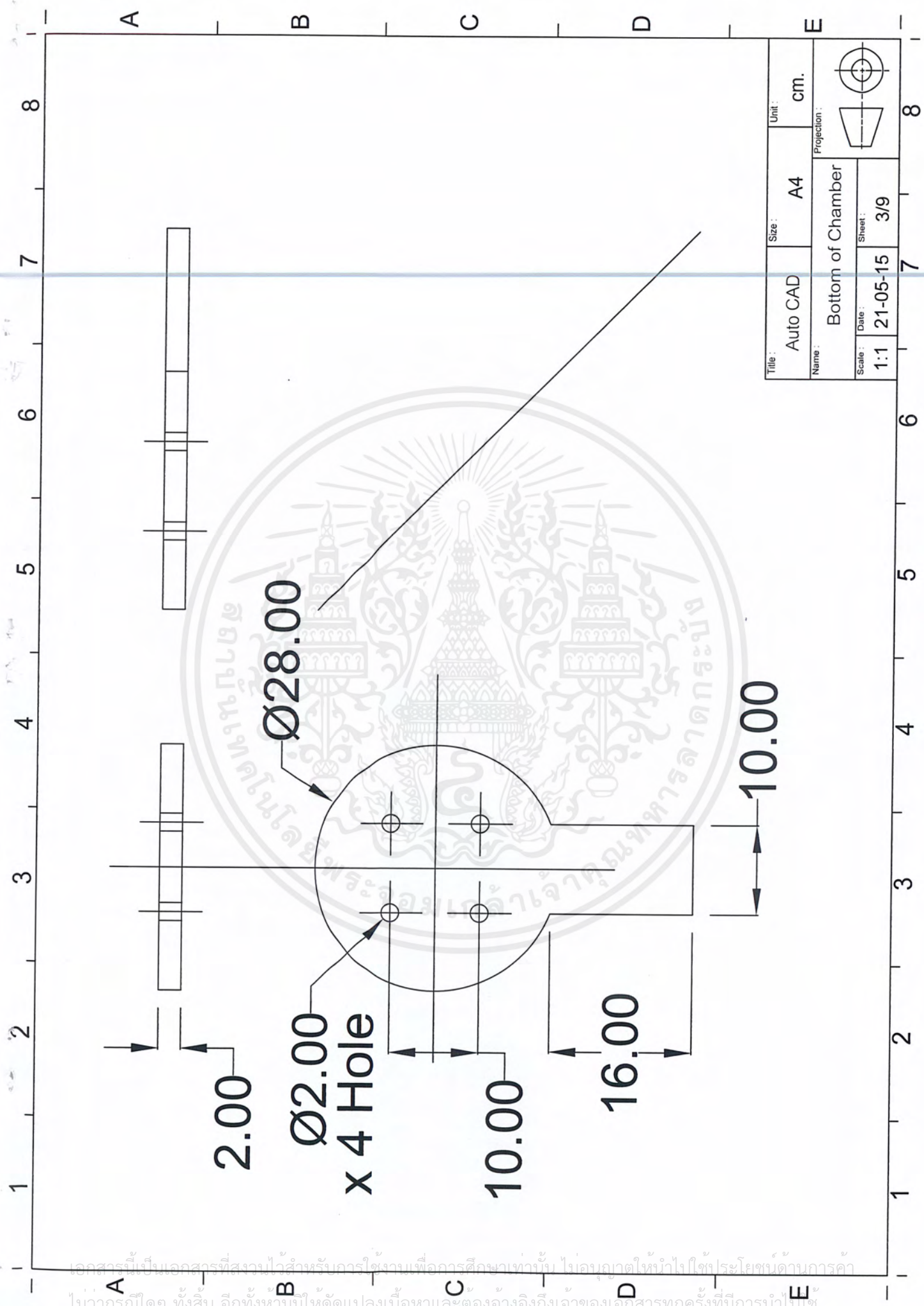


เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



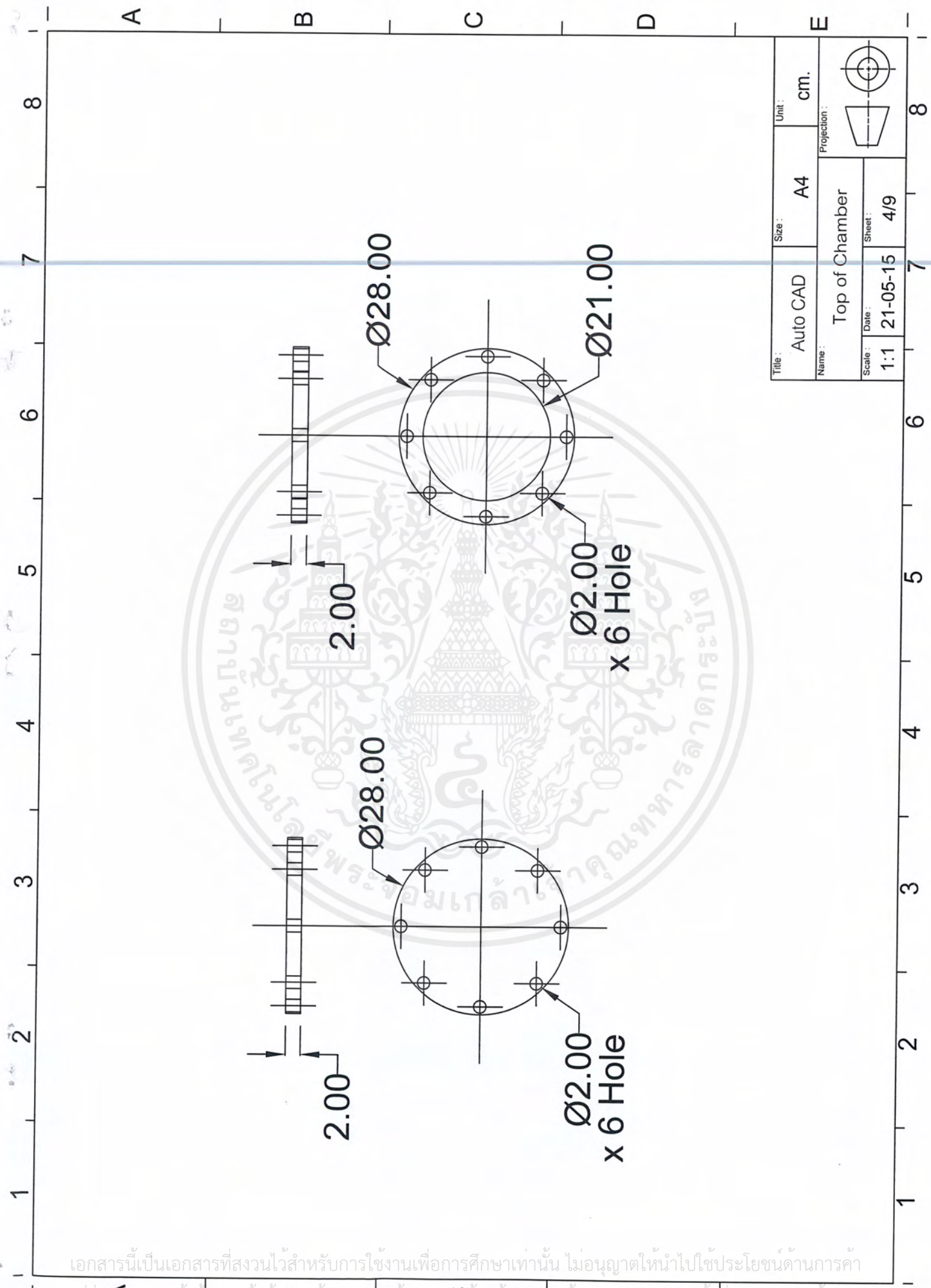
Title:	Auto CAD	Unit:	cm.
Name:	Body of Chamber	Size:	A4
Scale:	1:1	Date:	21-05-15
Sheet:	2/9	Projection:	


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title: Auto CAD		Size: A4	Unit: cm.
Name: Bottom of Chamber		Projection:	
Scale: 1:1	Date: 21-05-15	Sheet: 3/9	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title:	Auto CAD	Size:	A4	Unit:	cm.
Name:	Top of Chamber				
Scale:	1:1	Date:	21-05-15	Sheet:	4/9
Projection:					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

