

รายงานวิจัย

หม้อนึ่งความดันเพื่อฆ่าเชื้อ สำหรับอุตสาหกรรมการเพาะเห็ด
An Autoclave for Sterilization for Mush-room-farm Industry

14 ต.ค. 2552



โดย นายทศพล เกียรติเจริญผล

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ. 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยโครงการนี้ จัดทำขึ้นเพื่อ พัฒนาเครื่องหมั่นนึ่งความดัน สำหรับฆ่าเชื้อ ปะปนในอาหารสำหรับเพาะเชื้อเห็ด คณะผู้จัดทำ ได้เล็งเห็นว่าประเทศของเราเป็นประเทศเกษตรกรรม การพัฒนาเครื่องจักร เพื่อช่วยพัฒนาอุตสาหกรรมการเกษตรจึงเกิดประโยชน์อย่างยิ่ง จึงจัดสร้างเครื่องหมั่นนึ่งความดันเพื่อฆ่าเชื้อ ซึ่งมีราคาถูกกว่าท้องตลาดและสามารถใช้งานได้ในทางปฏิบัติที่ระดับคุณภาพที่ยอมรับได้

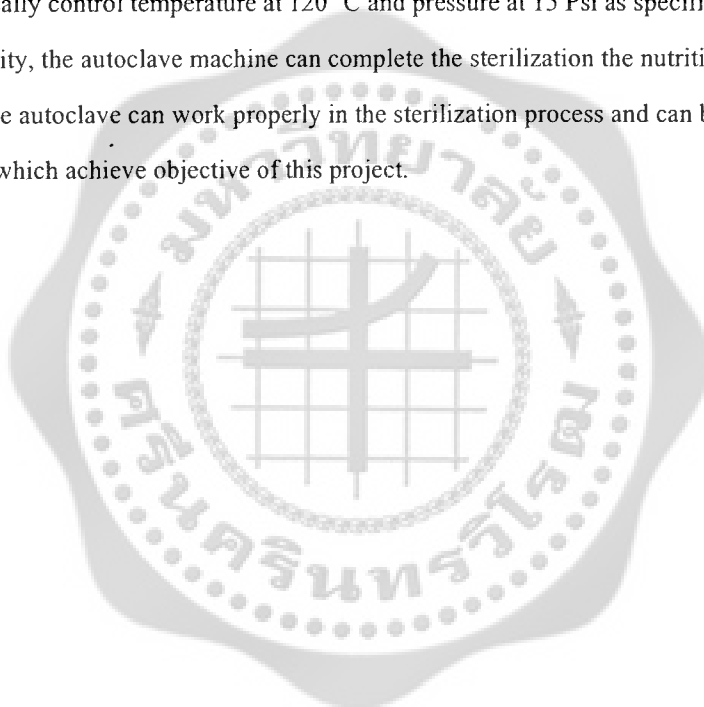
หลังจากได้พัฒนาหมั่นนึ่งความดันดังกล่าว ผลที่ออกมาคือ หมั่นนึ่งสามารถทำงานแบบอัตโนมัติ โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 120 องศาเซลเซียส ควบคุมความดัน ได้ 15 ปอนด์ต่อนี้ว ตามข้อกำหนดเฉพาะที่ตั้งไว้ และจากผลการทดลอง เครื่องสามารถฆ่าเชื้อปะปนในอาหารของเห็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีต้นทุนการผลิตที่ถูกกว่าการสั่งซื้อเครื่องหมั่นนึ่งความดันจากต่างประเทศ ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้



ABSTRACT

The objective of this research project is to develop an autoclave for sterilization for Mush-room-farm Industry. In Thailand, agriculture is the main career of most people. The project therefore is a great of benefit to level up the productivity of agriculture business. Developing an autoclave that can function the acceptable quality with cost effectiveness is the major focus on this work

After developing and testing the autoclave, result indicates that the autoclave machine could automatically control temperature at 120°C and pressure at 15 Psi as specification required. In terms of quality, the autoclave machine can complete the sterilization the nutrition food. It can conclude that the autoclave can work properly in the sterilization process and can be developed at the lower cost, which achieve objective of this project.



ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็ด้วย ความอนุเคราะห์จากกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้คำแนะนำ ในการประชุมการนำเสนอโครงงานวิจัย

งานส่งเสริมวิจัยและตำรา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความแนะนำตลอดกระบวนการวิจัย และสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนสถานที่ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำงานวิจัย

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
ประกาศคุณูปการ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.3 วิธีการดำเนินงาน.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ความเป็นมาของเห็ด.....	3
2.2 สารอาหารของเห็ด.....	3
2.3 การฆ่าเชื้อ.....	6
2.4 ความเค้นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	20
2.5 การถ่ายเทความร้อน.....	21
2.6 ความดัน.....	22
2.7 การเชื่อม.....	23
2.8 ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง.....	23
2.9 ความเค้นตามแนวยาว.....	24
2.10 ค่าความปลอดภัย.....	25

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัยและการออกแบบ.....	16
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	16
3.2	การออกแบบ.....	16
3.3	ชุดอุปกรณ์ควบคุม.....	24
บทที่ 4	การทดสอบและผลการทดสอบ.....	26
4.1	การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง.....	26
4.2	การทดสอบคุณภาพอาหารวุ้นที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเห็ด.....	33
4.3	สรุปผลการทดสอบ.....	37
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	38
5.1	สรุปผล.....	38
5.2	การวิเคราะห์การลงทุน.....	38
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	39
บรรณานุกรม.....		40
ภาคผนวก.....		41
ภาคผนวก ก.	คู่มือการใช้งาน.....	42
ภาคผนวก ข.	DRAWING.....	45
ประวัติคณะผู้จัดทำ.....		92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของหม้อนึ่งในสภาพสุญญากาศ.....	10
3.1 ระยะเวลาดำเนินงาน.....	16
4.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ของเครื่อง.....	26
4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องครั้งที่ 1.....	28
4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องครั้งที่ 2.....	30
4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องครั้งที่ 3.....	32
4.5 การทดสอบคุณภาพอาหารวุ้นที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเห็ด.....	35



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของหม้อนึ่งความดัน (Autoclave)	10
3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Displacement ของถัง.....	19
3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Stress ของถัง.....	19
3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Displacement ของคานฝาเปิดบน.....	22
3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Stress ของคานฝาเปิดบน.....	23
3.5 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Strain ของคานฝาเปิดบน.....	23
3.6 Temperature control (-200 – 1,300 °C)	24
3.7 Heater 3kw , Thermocouple type K.....	24
3.8 SAFETY RELIEF VALVE 15 psi.....	24
3.9 PRESSURE GAUGE 0-60 psi.....	25
3.10 ชุดควบคุมระบบการทำงาน.....	25
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์จากการทดสอบครั้งที่ 1	29
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์จากการทดสอบครั้งที่ 2	31
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์จากการทดสอบครั้งที่ 3	33
4.4 แสดงการเกิดเชื้อราในอาหารวุ้นหลังทำการทดสอบได้ถึงวันที่ 4.....	36
4.5 แสดงผลหลังทำการทดสอบอาหารวุ้นเมื่อทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 °C ระยะเวลา 15 วัน	36
4.6 แสดงผลหลังทำการทดสอบอาหารวุ้นเมื่อทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะเวลา 15 วัน	36

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
t	ความหนาของภาชนะ	mm.
r	รัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกกลาง	mm.
σ_H	ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง	N/mm. ²
σ_L	ความเค้นตามแนวยาว	N/mm. ²
P	ความดัน	N/mm. ²
L	ความยาวของทรงกระบอกกลาง	mm.
F	แรงที่เกิดขึ้น	N
N	แรงที่ทำให้แตก / แรงที่ใช้ออกแบบ	-
F ₁	แรงที่ใช้ในการหมุน	N
F ₂	แรงที่ให้ออกมาในแนวตั้งฉาก	N
r ₁	รัศมีเฉลี่ยของแขนหมุน	mm.
S ₁	ระยะทางของแรงที่ใช้	mm.
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	mm.
A	พื้นที่หน้าตัด	mm. ²
Pitch	ระยะห่างของขดเกลียว	mm.
L	ความยาวของทรงกระบอกกลาง	mm.
Cp	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำกลายเป็นไอ	J/Kg K
H	เวลา	hr
Pw	กำลังไฟฟ้า	KW
V	แรงดันไฟฟ้า	V
I	กระแสไฟฟ้า	A
G	ปริมาตรของน้ำ	lb
ΔT	อุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้ายของน้ำ	°F
T	โมเมนต์บิดของสปริงเดิล	N.mm
Wp	Polar Section Modulus	mm. ³
τ_{all}	ความเค้นบิดอนุญาต	N/mm. ²

คำอธิบายสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A_3	ขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางโคนเกลียว	mm^2
φ	มุมเอียงเกลียว	องศา
F_2	แรงตามยาวในสปริงเดิล	N
d_2	ขนาด $\varnothing$ วงกลมพิตช์	mm.
d_3	$\varnothing$ โคนเกลียว (เพลตัน)	mm.
ρ_G	ความเสียดทานมุมเกลียว	องศา
d	ขนาดของเกลียวคางหมู	mm.
P_h	$n \times \text{Pitch}$	mm.
n	จำนวนปากของเกลียว	-
τ_i	ความเค้นบิดในสปริงเดิล	N/mm^2
σ_c	ความเค้นอัด	N/mm^2

บทที่ 1

บทนำ

จากสภาพเศรษฐกิจปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาทางด้านเศรษฐกิจ ทำให้ธุรกิจประสบปัญหาทางการเงินต้องปิดตัวลง นำไปสู่ปัญหาการว่างงาน ทำให้ภาครัฐต้องหันไปสนับสนุนธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมหนึ่งในนั้นก็คือ ธุรกิจทางด้านเกษตรกรรม

เห็ดเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรกรรมที่ส่งเสริมรายได้ให้กับครอบครัว ดังนั้นเกษตรกรจะต้องเพาะเชื้อเห็ดขึ้นมาและเลี้ยงเชื้อเห็ดเพื่อจะได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นเห็ด แต่กระบวนการเพาะเชื้อเห็ดนั้นเกษตรกร จะต้องระมัดระวังคือเชื้อปลอมปน เพราะเชื้อบางชนิด เช่น เชื้อจุลินทรีย์บางชนิดอาจมีการสร้างสารที่เป็นอันตรายต่อเชื้อเห็ดอีกทั้งยังรวมถึงการปนเปื้อน ยามาแมลง ยาฆ่าเชื้อราและสารเคมีต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องนึ่งแรงดันในการฆ่าเชื้อปะปน ซึ่งเครื่องนึ่งแรงดันนั้น ถ้านำเข้าจากต่างประเทศ จะมีราคาค่อนข้างสูงมาก

ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้น ในการออกแบบสร้างเครื่องนึ่งความดันเพื่อฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด ให้มีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมการทำงานได้ง่ายและ รวมทั้งลดต้นทุนในการผลิต จึงนับว่าเป็นข้อได้เปรียบในการแข่งขันในสภาพปัจจุบัน

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างหม้อนึ่งความดันที่สามารถอบฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ สำหรับวัสดุเพาะเห็ด
2. เพื่อลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมเพาะเห็ด โดยทดแทนการนำเข้าหม้อนึ่งความดันจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง

1.2 ขอบเขตโครงการวิศวกรรม

1. ออกแบบและสร้างหม้อนึ่งความดัน
2. ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของหม้อนึ่งความดัน
3. ผลิตอุปกรณ์หม้อนึ่งความดันต้นทุนต่ำ เพื่อลดต้นทุนการผลิต

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ออกแบบเครื่องนึ่งแรงดันฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด (DESIGN)
2. สร้างเครื่องนึ่งแรงดันฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด (MAKING)

3. ทดสอบการทำงานของเครื่องนึ่งแรงดันฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด (OPERATE)
4. รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง (ANALYSIS)
5. สรุปและเขียนรายงานของโครงการ (REPORT)

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. สามารถสร้างหม้อนึ่งความดันเพื่อฆ่าเชื้อวัสดุสำหรับเพาะเห็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. สามารถเข้าใจและทราบถึงอิทธิพลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของหม้อนึ่งความดัน
3. ได้อุปกรณ์หม้อนึ่งความดันที่มีราคาต่ำลง เป็นการลดต้นทุนในอุตสาหกรรมการเพาะเห็ด



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นมาของเห็ด

เห็ด (Mushroom) จัดเป็นพืชชั้นต่ำจำพวกเห็ดรา (Fungi) มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเชื้อเห็ดรา เช่น รูปกลม ครึ่งวงกลม หรือรูปร่างแปลก ๆ เช่น รูปทรงเหมือนแก้วแชมเปญ ปะการัง ฟองน้ำ ก็มีขนาดหลากหลายตั้งแต่เล็กเท่าหัวไม้ขีดไปจนถึงใหญ่ขนาดลูกฟุตบอล ส่วนสีสันของดอกเห็ดนั้นก็มีหลากหลาย เช่น แดง เหลือง ส้ม ชมพู ฟ้า ขาว ดำ น้ำตาลเขียว

เห็ดรา (Fungi) เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ พบทั้งในน้ำ บนบก และในอากาศ มีลักษณะคล้ายสาหร่าย แต่ไม่มีคลอโรฟิลล์เป็นเส้นใยเล็ก ๆ ซึ่งแต่ละเส้นเรียกว่า ไฮฟา เส้นเหล่านี้มักอยู่รวมกันเป็นกระจุก (ไมซีเลียม) บางชนิดมีเซลล์เดี่ยว เช่น ยีสต์ บางชนิดรวมเป็นดอกเห็ด เนื่องจากไม่มีคลอโรฟิลล์ มันจึงต้องอาศัยการย่อยสลายอาหารจากภายนอก ได้แก่ อินทรีย์วัตถุทั่วไป อย่างไรก็ตาม บางชนิดอาจดำรงชีวิตแบบปรสิต หรืออยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นโดยอาศัยประโยชน์ซึ่งกันและกัน เช่น ไลเคนส์ (เห็ดราอยู่ร่วมกับสาหร่าย)

เห็ดฟาง เป็นเชื้อราที่พบใน ชั้น Basidiomycetes สามารถใช้รับประทานเป็นอาหารได้ แต่เห็ดบางชนิดก็อาจเป็นพิษให้โทษแก่ร่างกายได้ ดังนั้น จึงควรระมัดระวังในการรับประทานด้วย

เห็ดโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือเห็ดที่ขึ้นตามขอนไม้หรือกิ่งไม้ และเห็ดที่ขึ้นตามพื้นดิน และใน 2 ประเภทนั้น ก็ยังแบ่งได้เป็นเห็ดกินได้และเห็ดมีพิษอีกด้วย เห็ดชนิดที่มีพิษมากถ้าเก็บมากินอาจถึงตายได้ เพราะพิษของเห็ดจะเข้าไปในระบบเลือดและกระจายไปทั่วร่างกาย บางชนิดจะไปบดบังประสาททำให้เกิดภาพหลอน แต่บางชนิดก็มีประโยชน์ในทางเป็นยาสมุนไพร เช่น เห็ดจิกหรือตีนตุ๊กแก ซึ่งมีสรรพคุณในการถ่ายพยาธิตัวตืดในคน นอกจากนั้นเห็ดยังมีความสำคัญต่อระบบนิเวศอย่างมาก เพราะเป็นตัวการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ให้เป็นปุ๋ย

2.2 อาหารของเห็ด

เห็ดเป็นพืชที่ไม่สามารถสังเคราะห์แสงสร้างอาหารเหมือนพืชที่มีสีเขียวทั่วไป อาหารและพลังงานของเห็ดที่ใช้ในการเจริญเติบโตจะได้อาหารจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่ได้มาจากซากพืชที่เป็นปุ๋ยหมัก โดยมีแบคทีเรียเป็นผู้ทำหน้าที่ ย่อยสลายก่อนแล้วเห็ดจึงนำไปใช้ นั่นคือ เห็ดจะสร้างอาหารด้วยตัวเองไม่ได้ จะได้อาหารและพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เท่านั้นอาหารที่เห็ด

ได้จากเศษซากพืชคือน้ำตาลในรูปน้ำตาลกลูโคส เซลลูโลส แป้ง ฯลฯ น้ำตาลบางชนิดมีสูตรโครงสร้างที่ซับซ้อน เช่น แป้ง ฯลฯ หีบบางชนิดมีเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหารเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี โดยอาหารจะถูกดูดซึมเข้าไปทางผนังเซลล์ นอกจากน้ำตาลแล้วยังมีโปรตีนและธาตุอาหารอื่น ๆ อีก

สารอาหารของเห็ด ประกอบด้วย

2.2.1 สารที่เป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon Source)

หมายถึง สารประกอบที่มีคาร์บอนได้แก่ น้ำตาลต่าง ๆ เช่น กลูโคส ฟรุคโตส ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่ต้องอาศัยจุลินทรีย์ ย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ก่อนที่เห็ดจะนำไปใช้ได้ แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารประกอบที่เป็นแหล่งคาร์บอน ก่อนที่เห็ดจะนำไปใช้ได้

1 Autotrophic Bacteria ใช้คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ กลีโกลีคาร์บอนเนต

2 Heterotrophic Bacteria ใช้คาร์บอนจากสารประกอบอินทรีย์เช่น โปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรต จะเห็นว่าวัสดุในการเตรียม เพาะเลี้ยงแม่เชื้อ (Mothermycelium) หัวเชื้อ (Motherspaw) และก้อนเชื้อ (Bag Culture) ตลอดจนวัสดุในการเตรียมปุ๋ยหมักเพาะเห็ดหรือวัสดุเพาะเห็ด ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารประกอบคาร์บอน สำหรับวัสดุที่เป็นแหล่งคาร์บอน คือ วัสดุเหลือใช้ในการเกษตร (Agricultural Waste) ได้แก่ ฟางข้าว ฟางข้าวอัด ฟางข้าวไรน์ ฟางข้าวบาร์เลย์ ชีเลื้อย นอกจากนี้ยังมีการใช้เศษวัสดุเหลือจากการเกษตรอื่น ๆ เช่น ทะลายปาล์ม เฟอร์นิเจอร์ ฝักถั่วเขียว เปลือกมันสำปะหลัง เปลือกถั่วเขียว หรือถั่วเหลือง เศษฝ้าย ปุ๋ยหมัก ฯลฯ ซึ่งจะประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นส่วนใหญ่เห็ดไม่สามารถสังเคราะห์อาหารขึ้นเองได้มีชีวิตอยู่ได้โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่น (Heterotroph) จึงจำเป็นต้องอาศัยอาหารสำเร็จรูปจากสิ่งต่างๆเช่น ไม้ผุ หรือปุ๋ยหมักเห็ดบางชนิดเช่น เห็ดหอม เห็ดนางรม เห็ดหูหนู ฯลฯ มีน้ำย่อยพิเศษที่สามารถย่อยอาหารได้ โดยเฉพาะพวกที่ให้พลังงานคือคาร์บอน(C)ที่อยู่ในรูปเชิงซ้อนเช่น ลิกนิน เฮมิเซลลูโลสได้แต่เห็ดบางชนิด เช่น เห็ดฟาง เห็ดถั่ว เห็ดแชมปิญอง ไม่มีน้ำย่อย ที่สามารถย่อยอาหารเชิงซ้อน เหล่านี้ได้ จึงต้องอาศัยปุ๋ยหมักที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แล้ว

2.2.2 สารประกอบที่เป็นแหล่งไนโตรเจน (Nitrogen Source)

หมายถึง สารประกอบที่มีไนโตรเจนอยู่ด้วย เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กลีโกลของแอมโมเนียมต่าง ๆ ที่จุลินทรีย์มีความต้องการและสามารถใช้ในรูปต่าง ๆ กันแล้วแต่ชนิดของจุลินทรีย์ เช่น Autotrophic Bacteria สามารถใช้ในโตรเจนจากกลีโกลแอมโมเนียมและกลีโกลไนเตรทเพื่อการเจริญเติบโตได้ Heterotrophic Bacteria ใช้ไนโตรเจนในรูปของกรดอะมิโน และแบคทีเรีย

แต่ละชนิดมีความต้องการกรดอะมิโนต่างชนิดกันเห็นต้องการ ในโตรเจนใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน แหล่งที่ให้ไนโตรเจนที่เหมาะสมแก่เห็ด คือ ยูเรีย เกลือแอมโมเนียม ทั้งแอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) และแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) ในกรดอะมิโน เช่น แอสพาราจีน (Asparagine) อะลามิน (Alamine) และไกลซีน (Glycine) ในกองปุ๋ยหมักที่ใช้เพาะเห็ดจะได้โปรตีนจากจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในกองปุ๋ยเหล่านั้นนั่นเอง แหล่งของไนโตรเจนนอกจากจะได้รับจากแหล่งต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงแล้วยังได้รับจากปุ๋ยธรรมชาติจำพวกมูลม้า วัว ควาย และไก่โดยทั่วไปการหมักวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของคาร์บอน เช่น ฟาง เศษฝ้าย ปุ๋ยหมัก มักจะเพิ่มไนโตรเจนในรูปยูเรีย 1 กก. ต่อวัตถุดิบ 100 กก. จากนั้นจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียจะทำหน้าที่เปลี่ยนไนโตรเจนในยูเรียหรือแอมโมเนียไปเป็นโปรตีน ซึ่งโปรตีนนี้จะเป็ประโยชน์ต่อเห็ด ปกติจะใส่ปุ๋ยแคลเซียมลงไปใส่แอมโมเนียแต่อาจใส่ไม่หมด ในปี 2538 กรมพัฒนาที่ดินรายงานว่า ซีโอไลท์จับยึดปุ๋ยไนโตรเจนและโปแตสเซียมได้ดีแทนการใช้ปุ๋ยแคลเซียมในการเพาะเห็ดถั่งหอย จึงควรมีการทดลองว่าการใส่แอมโมเนียโดยใช้ปุ๋ยแบบเดิมกับการใช้ซีโอไลท์ จะมีผลแตกต่างกันหรือไม่ ทั้งด้านผลผลิตและราคาของซีโอไลท์

2.2.3 ธาตุอาหาร (Nutrient)

เห็ดจะใช้ธาตุอาหารในการเจริญเติบโตทุกระยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเจริญของเส้นใยธาตุอาหารเหล่านี้ได้แก่ Ca, P, K และ Mg แม้ว่าต้องการใช้ในปริมาณที่น้อยแต่จะทำให้เห็ดเจริญเติบโตตามปกติได้ เพราะทำให้ขบวนการทางสรีรวิทยาของเห็ดเป็นไปอย่างปกติ ดังนั้นในการทำปุ๋ยหมักของเห็ดจึงต้องมีการเพิ่มสารประกอบเหล่านี้

1 ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เพื่อให้เป็นแหล่งของ Ca จำนวน 1.5 กรัมหรือใช้ดีเกลือ 30 กรัมแทนได้

2 ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เป็นแหล่งของ P (ในรูปของ Calcium Superphosphate 30 g.) และ K (ในรูปของ Potassium Sulfate 15 g.) จำนวน 30 กรัม

3 ดีเกลือ (MgSO_4) เพื่อให้เป็นแหล่งของ Mg จำนวน 20 กรัมทั้งนี้อาจใช้หินปูน (CaCO_3) จำนวน 30 กรัม แทนยิปซัมได้

2.2.4 วิตามิน

การใช้วิตามินต่าง ๆ เช่น ไบโอติน (Biotin) และไทอามิน (Thiamin) มีผลให้เส้นใยของเห็ดแซมปีของเจริญเติบโตได้ดี

2.2.5 สารกระตุ้นการเจริญเติบโต (Growth Promotion Activity)

การใช้สารเหล่านี้เพื่อผลในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของเห็ด สารที่นำมาใช้ได้แก่สารในกลุ่ม Auxin เช่น IAA (Indoleacetic acid) กรดอะมิโน เช่น Phenylalanine Methionine และ

Proline นอกจากนี้ได้มีการใช้ สารประกอบเอสเทอร์จากกรดไขมัน ได้แก่ Oleic Acid และ Linolic Acid นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ช่วยเพิ่มผลผลิตเห็ดแชมปิญอง โดยนำสารเหล่านี้ผสมกับดินหรือปุ๋ยหมักคลุมชั้นบนก่อนที่จะเห็ดชนิดนี้จะเจริญเติบโตขึ้นมาจะช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นได้จากเดิม 0.8-1 กก./ม² เป็น 1-1.5 กก./ม² และมีการใช้รำข้าวเป็นอาหารเสริมในเห็ดบางชนิด

อัตราส่วนของคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N Ratio)

จะเห็นได้ว่าวัสดุเพาะเห็ดส่วนใหญ่จะจัดเตรียมจากวัสดุเหลือใช้การเกษตร เช่น ฟางข้าว มูลสัตว์ และเติมสารอาหารที่ทำให้เห็ดเจริญเติบโต เช่น ธาตุอาหาร วิตามิน เพื่อปรับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N Ratio) ให้เหมาะสมในกองปุ๋ย ในระยะแรกนั้น C/N Ratio จะสูงโดยอยู่ในช่วง 27:1 แต่หลังการหมักปุ๋ยสิ้นสุดลงแล้วใน 9-12 วัน C/N Ratio จะลดลงเป็น 17:1 จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนลดลงและถือเป็นอัตราส่วนของเห็ดทั่วไป เช่น เห็ดนางรม ซึ่งเป็นเห็ดที่เจริญในวัสดุหมักอย่างสมบูรณ์ (ในกรณีใช้ฟางหมัก) หรือเห็ดแชมปิญองสามารถเจริญเติบโตได้ดี

2.3 การฆ่าเชื้อ

การฆ่าเชื้อ หมายถึง ขั้นตอนทำให้วัสดุ อุปกรณ์ที่จะใช้ในงานเพาะเห็ดต้องปราศจากเชื้ออื่น ๆ ที่ไม่ต้องการให้เจริญ โดยเฉพาะเชื้อราและแบคทีเรียที่ไม่เป็นที่ต้องการ การฆ่าเชื้อถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในงานเพาะเลี้ยงเห็ด โดยเฉพาะขั้นตอนการเลี้ยงเส้นใย และการทำหัวเชื้อเห็ด กล่าวกันว่างานที่จัดทำเกี่ยวกับเห็ดหากต้องการให้เชื้อเห็ดบริสุทธิ์ หรือ Pure ต้องมีการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่เข้ามาปนเปื้อน (Contaminate)

ในการเพาะเห็ดมีเชื้ออยู่ 2 กลุ่มใหญ่ ที่พบและเกี่ยวข้องกับการเพาะเห็ดมากที่สุด คือ เชื้อรา และแบคทีเรีย

2.3.1 เชื้อรา จะมีอยู่ทั่วไป ทุกหนทุกแห่ง ในอากาศโดยปลิวไปตามลม ฝุ่นละออง เครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ในรูปสปอร์ ทนต่อสภาพความแห้งแล้งและทนต่อความร้อนได้สามารถเจริญได้ในอาหารของเห็ดที่เป็นชิ้นเล็กๆ และไม่เปียกมาก เช่นเดียวกับเห็ดที่เราต้องการเพาะเลี้ยง จะกำจัดโดยใช้ความร้อนในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

2.3.2 แบคทีเรีย นั้นมักแพร่กระจายในน้ำและฝุ่นละอองเป็นส่วนใหญ่ แบคทีเรียสามารถเจริญได้ในอาหารที่เปียกและมีน้ำมาก ถ้าอาหารแห้งหรือหยาบจะไม่สามารถเจริญได้แบบเห็ดรา สปอร์ของแบคทีเรียสามารถทนความร้อนได้มากกว่าเชื้อรา ดังนั้นการกำจัดด้วยความร้อนจะต้องใช้ความร้อนที่สูงกว่าและใช้เวลาแตกต่างกันออกไป

1. การฆ่าเชื้อบนอาหารวุ้น สำหรับเลี้ยงเชื้อเห็ด

2. การฆ่าเชื้อในหัวเชื้อ ในเมล็ดข้าวฟ่างซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญของงานเพาะเห็ด ซึ่งจะ

นอกจากนี้ยังมีการฆ่าเชื้อ ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์และวัสดุเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้เป็นภาชนะในการปฏิบัติงานเช่น ตู้เย็บเชื้อ เข็มเย็บเชื้อ มีดผ่าตัด หรือแม้กระทั่งที่มือของผู้ปฏิบัติงาน

วิธีการฆ่าเชื้อ

สามารถแบ่งออกได้ตามวัตถุประสงค์หลายวิธี ดังต่อไปนี้

1. การใช้สารเคมี นิยมใช้กับการฆ่าเชื้อในตู้แช่เชื้อ ห้องปฏิบัติการ เครื่องมืออุปกรณ์ในการเขียนเชื้อ บางชนิด ได้แก่

1.1 แอลกอฮอล์ 70-95 % สำหรับเช็ด หรือถูหรือแช่ 2-3 นาที

1.2 สารประกอบประเภทคลอรีน เช่น คลอโร็กซ์ (Clorox) 10% : ไฮเตอร์

1.3 การรมด้วยแก๊สพิษ เช่น ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde) ที่เตรียมจากต่างทับทิม (KMnO_3) 1 ส่วน ทำปฏิกิริยากับฟอรัมาลีน (Formaline) 2 ส่วนจะเกิดก๊าซพิษขึ้นมา ใช้มาเช็ดในตู้เขี่ยเชื้อ หรือในโรงเปิดดอกเห็ด ในห้องเขี่ยเชื้อ สิ่งที่ต้องระวัง คือ ก๊าซนี้มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต รวมทั้งคน เช่น ทำลายเยื่อปอด จมูก และสมอง ไม่ควรสูดดม เมื่อใช้รมตู้ควรทิ้งไว้ 20-24 ชั่วโมง เพื่อให้ระเหยให้หมด

2. การใช้แสงอุลตราไวโอเลต (UV) เป็นรังสีที่ฆ่าเชื้อได้ เปิดหลอดไฟทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หลอดราคาค่อนข้างแพง นิยมใช้กับตู้แช่เชื้อ หรือในห้องปฏิบัติการเชื้อเชื้อ ต้องระมัดระวัง เพราะเป็นอันตรายต่อผิวหนังและส่วนต่างๆ ของร่างกาย

3. การใช้ความร้อนแห้ง ใช้กับลักษณะสิ่งของต่างๆ ทั้งประเภทโลหะ เช่น เข็มเย็บเข็มขัด ผ่าตัดเนื้อเยื่อ คีมคีบ และเครื่องแก้ว ได้แก่ จานแก้ว แท่งแก้ว ฯลฯ ความร้อนแห้งที่ใช้มาเชื้อจะมีอุณหภูมิประมาณ 160-180 องศาเซลเซียส นาน 1.5-2 ชั่วโมง โดยใช้ตู้อบแห้ง (Hot Airoven)

สำหรับการฆ่าเชื้อที่เข้มข้น และมีค่าตัดใช้ฆ่าโดยเปลวไฟ (Direct Flame) ด้วยการ
ไฟจากตะเกียงจนส่วนปลายของโลหะร้อนแดง

4. การใช้ความร้อนชื้น หรือ ไอน้ำร้อน (การนึ่ง) เป็นวิธีการปล่อยไอน้ำร้อนเข้าฆ่าเชื้อ
จุลินทรีย์โดยการนึ่ง แบ่งเป็น 2 ประเภท

การทำพาสเจอร์ไรส์ (Pasturization) เป็นการฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำร้อนในอาหารบู๊บก้น และก้อนเชื้อเห็ดที่เป็นศัตรูต่อเห็ด รวมทั้งแมลงและสัตว์ โดยใช้หม้อนึ่งแบบต่าง ๆ เช่น

(1) หม้อนึ่งแบบลูกทุ่ง หรือหม้อนึ่งความดันแบบต่างๆ ใช้ความร้อน 80-100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

(2) หม้อนึ่งความดันจะใช้ความดันไอน้ำ 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว นาน 10 นาที การนึ่งโดยวิธีนี้จะกำจัดเชื้อราและแมลงศัตรูเห็ดบางส่วนได้ แต่ไม่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ เพราะใช้เวลานานและความร้อนน้อยกว่า

การทำสเตอริไรส์ (Sterilization) เป็นการฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำร้อน และสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ สิ่งมีชีวิตทั้งหมด รวมทั้งราและแบคทีเรีย ให้ตายทั้งหมดโดยสิ้นเชิง ปกติใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาทีขึ้นไปหากนึ่งไว้ในหลอดทดลอง (Test tube) และหากมีขนาดใหญ่ เช่น ขวดแบนอาจต้องใช้เวลานานประมาณ 25 นาที

หม้อนึ่งความดัน (Autoclave)

เป็นหม้อนึ่งที่อาศัยหลักความดันของอากาศ ทำให้เกิดความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิจุดเดือด และสามารถทำลายสิ่งมีชีวิตทุกชนิดได้ ขึ้นกับการตั้งความดันหรืออุณหภูมิ หม้อนึ่งความดันมีหลายแบบแต่ละแบบมีหลักการทำงานคล้ายกัน แต่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานเพาะเห็ดในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

ในการเตรียมอาหารบริสุทธิ์นั้น หม้อนึ่งความดันนับว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญชิ้นหนึ่งเพราะการเตรียมอาหารบริสุทธิ์สำหรับเลี้ยงเชื้อเห็ด จะต้องทำการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ทุกชนิดที่ติดไปกับอาหารหรือภาชนะบรรจุ ซึ่งในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์นั้นจะมีจุลินทรีย์ บางชนิดที่ไม่สามารถฆ่าให้ตายด้วยความร้อนของอุณหภูมิน้ำเดือดธรรมดา (อุณหภูมิน้ำเดือดที่ระดับน้ำทะเล 100 องศาเซลเซียส) ซึ่งจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิร้อนขึ้นที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่งเท่านั้นจึงจะสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เหล่านั้นได้

หม้อนึ่งความดันหากทำให้ภายในเป็นสุญญากาศ ด้วยการไล่อากาศภายในหม้อนึ่งออกให้หมด และภายในหม้อนึ่งมีน้ำเป็นตัวนำความร้อน เมื่อต้มความดันภายในหม้อนึ่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนความดันถึงระดับ 1.2 กก.ต่อพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร หรือ 15 ปอนด์ต่อ 1 ตารางนิ้ว จะได้อุณหภูมิในหม้อนึ่งประมาณ 120-125 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์รวมทั้งสปอร์ได้ทุกชนิด

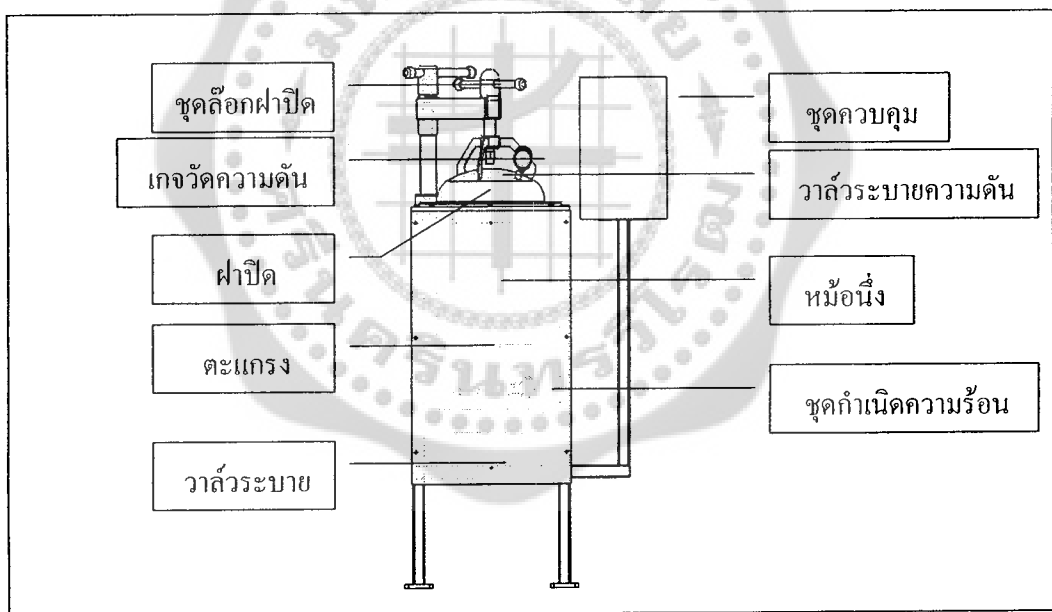
1. หม้อนึ่ง ทำด้วยโลหะที่มีความทนทานต่อความดันและความร้อนที่นิยมมาก คือ อะลูมิเนียมผสมสเตนเลส และแผ่นเหล็กชนิดดี (Carbon Steel) เป็นต้น
2. ฝา เป็นโลหะที่มีความทนทานต่อความดันและความร้อนได้ เช่นเดียวกับตัวหม้อ

3. ปะเก็น เป็นวัสดุทนร้อนใช้ป้องกันไอน้ำเล็ดลอดออกจากหม้อในขณะที่ทำการต้มโดยใส่ไว้ในระหว่างรอยต่อของฝาหม้อกับตัวหม้อ ปะเก็นที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ คือ เชือกทนร้อนหรือยาง แต่มีบางชนิดที่ฝาและตัวหม้อมีผิวที่สามารถปะกบกันได้สนิทโดยไม่ใช้ปะเก็น

4. วาล์ว (Valve) ระบายไอน้ำ ปิด-เปิด ได้ เพื่อไล่อากาศในระยะแรก หรือเมื่อความดันเกินจุดที่ต้องการ

5. วาล์วระบายไอน้ำอัตโนมัติ (Safety Valve) เป็นวาล์วระบายไอน้ำอีกชนิดหนึ่งทำงานโดยมีสปริงที่สามารถทนร้อนในระดับที่ต้องการ หากความดันเกินสปริงนี้จะเปิดวาล์วโดยอัตโนมัติเพื่อให้ความดันลดลงป้องกันการระเบิดของหม้อเมื่อความดันสูง วาล์วนี้จะมีสารผสมตะกั่วอยู่และละลายได้เพื่อระบายอากาศ

6. เครื่องวัดความดัน เป็นเครื่องมือวัดความดันภายในหม้อ มีทั้งแบบอ่านค่าเป็นกิโลกรัมต่อพื้นที่ตารางเซนติเมตร และแบบปอนด์ต่อพื้นที่ตารางนิ้ว การอ่านค่าอุณหภูมิจะต้องทำการไล่อากาศออกจากหม้อหนึ่งให้หมดก่อน จึงจะทราบค่าที่แท้จริงในขณะนั้น (ภาพที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของหม้อนึ่งความดัน (Autoclave)

หม้อนึ่งความดันบางเครื่องอาจมีเครื่องวัดอุณหภูมิหรือเทอร์โมมิเตอร์ ติดปะกบกับฝาหม้อนึ่ง เพื่อใช้อ่านค่าความร้อนในขณะนั้นได้

หลักสำคัญของการทำงานให้เกิดความร้อนได้สูงจนสามารถกำจัดเชื้อได้ทั้งหมด ก็คือ อากาศถือว่าเป็นตัวนำความร้อนที่เร็วกว่าไอน้ำมาก จะต้องระบายอากาศออกจากภายในตัวหม้อ

นั่นคือ มีการระบายไอน้ำไล่ที่อากาศในหม้อนึ่งก่อน จึงต้องไล่อากาศออกจนมีสภาพเป็นสุญญากาศ ให้เหลือเฉพาะความดันที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้ แล้วปิดให้ความดันเพิ่มขึ้น ความดันจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น .

ในตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิภายในหม้อนึ่ง จะพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตาม

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของหม้อนึ่งในสภาพสุญญากาศ

ความดัน (lb/in ²)	อุณหภูมิ (°C)
0	100
5	109
10	115
15	121
20	126.5

- วิธีการใช้หม้อนึ่งความดัน
1. เติมน้ำให้พอดีกับระยะเวลาที่จะใช้ สูงจากระดับชุดกำเนิดความร้อนประมาณ 3-5 ซม.
 2. นำวัสดุที่ฆ่าเชื้อวางบนตะแกรงในหม้อ
 3. ปิดฝาหม้อโดยให้รอยซีดลูกศรบนฝาตรงกับขีดบนตัวหม้อ ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่ปิดได้สนิท
 4. ขันน็อตทุกตัวให้ตึงเท่า ๆ กัน แล้วขันให้แน่นที่ตะกั่วจนครบจะทำให้ฝาหม้อปิด
 5. เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นถึง 5 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว เปิดวาล์วไล่อากาศออกให้หมด เพื่อให้เกิดสุญญากาศและความร้อนจะสูงขึ้น
 6. ให้ความร้อนไปเรื่อย ๆ จนความดันถึงระดับ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้เริ่มจับเวลา พร้อมกับรักษาความดันไว้ในระดับนี้ หากความดันสูงให้เปิดวาล์วระบายอากาศออกบ้าง และหากลดน้อยกว่า 15 ปอนด์ ต้องเริ่มจับเวลาใหม่จนครบ 20 นาที
 7. เมื่อครบระยะเวลาแล้ว ค่อย ๆ ลดไฟลง ปลดระบายไอน้ำอย่างช้า ๆ หากปลดอย่างรวดเร็ว ความดันในหม้อนึ่งความดันปรับตัวไม่ทัน อาจทำให้ขวดหรือแก้ว หรือก้อนเชื้อแตกได้
 8. ต้องตรวจดูระดับน้ำในหม้อนึ่งความดันทุกครั้งที่จะนึ่ง

ปัจจุบันนอกจากหม้อหนึ่งความดันระบบการใช้ความร้อนจากแก๊สแล้ว ยังมีหม้อหนึ่งแบบอัตโนมัติใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อน สามารถตั้งเวลา อุณหภูมิหรือความดันได้

นอกจากนี้ยังมีหม้อหนึ่งความดันแบบดัดแปลงผลิตในประเทศมีราคาถูกกว่า และมีระบบการทำงานและอุปกรณ์ เช่นเดียวกับแบบแรก แต่สามารถใช้น้ำเชื้อเพลิงได้มากกว่า สำหรับฟาร์มเห็ดขนาดใหญ่ อาจดัดแปลงเป็นหม้อหนึ่งขนาดใหญ่ หรือหม้อหนึ่งสตริมซึ่งนั่งก้อนเชื้อได้ครั้งละ 500-1,000 ก้อน ส่วนความร้อนที่ใช้ทั้ง 2 แบบนี้ได้จากไม้ฟืน เตาฟู่ น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล

2.4 ความเค้นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ความเค้นอาจจะเป็นปัญหาที่ไม่ค่อยสำคัญนักในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจำนวนมาก ที่ทำงานที่อุณหภูมิและความเค้นปานกลาง แต่จะทวีความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ ที่อุณหภูมิและความดันสูง จนในที่สุดจะเป็นตัวที่มีอิทธิพลในการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุ Fraas & Ozisik ให้ข้อคิดว่าผลของน้ำหนักสถิตย และแรงกระทำจากความดันสามารถจะทำนายได้ด้วยความมั่นใจ โดยประมาณในระดับเดียวกันกับการคำนวณทางด้านการไหลและการถ่ายเทความร้อน กล่าวคือ มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 20 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของระบบและความยากของปัญหาจะเทียบเคียงโดยประมาณกับปัญหาในการไหลและการถ่ายเทความร้อน อายุการใช้งานของโครงสร้างที่ทำงานภายใต้สภาวะทางความร้อนแบบกระทำซ้ำเป็น วัฏจักรที่รุนแรง เป็นการยากมากที่จะทำนายในเชิงการวิเคราะห์ อาจจะยากถึงขนาดที่ความไม่แน่นอนในการทำนายอายุใช้งานอาจจะผิดไปถึง 10 เท่า

2.5 การถ่ายเทความร้อน

โดยธรรมชาติ ซึ่งความร้อนจะถ่ายเทจากที่มีความร้อนสูงกว่าไปสู่ที่ ๆ มีความร้อนต่ำกว่า และจะหยุดไหลเมื่อมีอุณหภูมิเท่ากัน โดยอาศัยขบวนการ 3 ขบวนการคือ

1. ความร้อน(Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุ ซึ่งจะส่งผ่านความร้อนผ่านโมเลกุลของสาร จะไหลจากที่ ๆ มีความร้อนสูงกว่าไปที่ ๆ มีความร้อนต่ำกว่าเช่นเมื่อนำปลายแท่งโลหะด้านหนึ่งวางบนไฟ สักครู่หนึ่งปลายอีกด้านหนึ่งที่จับไว้จะเริ่มร้อน จะร้อนเร็วหรือช้าก็ขึ้นอยู่กับ ความเป็นตัวนำของโลหะนั้นๆ

2. การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านสารตัวกลางที่เป็นของไหล เมื่อของไหลเช่นอากาศวิ่งผ่านหม้อน้ำรังผึ้งของรถยนต์ ความร้อนหม้อน้ำรังผึ้งก็จะระบายออกผ่านทางอากาศ ทำให้หม้อน้ำมีอุณหภูมิลดลง

3. การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ เป็นวิธีการเดียวกับที่ความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่งมายังโลก อาศัยความถี่หรือความยาวคลื่นของความร้อนนั่นเอง

หน่วยของความร้อน

หน่วยที่ใช้วัดพลังงานความร้อนคือ Btu , kcal (กิโลแคลอรี) และ Joule (จูล) หรือ KJ (กิโลจูล) ความร้อน 1 kcal คือปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำบริสุทธิ์หนัก 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 องศาเซลเซียส

ความร้อน 1 Btu คือปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำบริสุทธิ์หนัก 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 องศาฟาเรนไฮต์

ความร้อนแบ่งออกเป็น

1. ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) คือความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยน
2. ความร้อนแฝง (Latent Heat) คือความร้อนที่ทำให้สถานะของสสารเปลี่ยนโดยไม่เปลี่ยนอุณหภูมิ ความร้อนแฝงแบ่งได้เป็น 2 อย่างคือ

2.1 ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย (Latent Heat of Fusion) ตัวอย่างเช่น น้ำแข็งที่ 32 องศาฟาเรนไฮต์ ทำให้อุ่นขึ้นจนหลอมละลายเป็นน้ำที่ 32 องศาฟาเรนไฮต์

2.2 ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent Heat of Vaporization) ตัวอย่างเช่น น้ำเดือดที่ 212 องศาฟาเรนไฮต์ ถูกเพิ่มความร้อนจนกลายเป็นไอน้ำที่ 212 องศาฟาเรนไฮต์

2.6 ความดัน (Pressure)

ความดัน คือแรงที่ได้จากการกระทำของของไหลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ความดันของของไหลที่หยุดนิ่ง ณ จุดใดๆจะเท่ากันทุกทิศทาง สำหรับของเหลว ความดันจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกอันเนื่องมาจากน้ำหนักของของเหลว ส่วนความดันของก๊าซเราอาจจะพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงความดันนั้นไม่เกิดขึ้นหากว่าการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงไม่มากนัก หรือเรียกว่ามีความดันเท่ากันตลอดหรือเป็นเอกรูป(Uniform) เพราะน้ำหนักของก๊าซนั้นน้อยมาก แต่ถ้าหากว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงที่มากพอสมควรก็อาจจะพิจารณาว่าความดันนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูงเพื่อให้การคำนวณถูกต้องมากยิ่งขึ้น ส่วนมิติของความดันจะเป็นมิติของแรงต่อด้วยมิติของพื้นที่ สำหรับหน่วยของความดันในหน่วยต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$- 1 \text{ Pascal (Pa)} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$- 1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa}$$

$$- 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bars} = 760 \text{ mmHg}$$

โดยที่ระดับอัตราเร่งมาตรฐานสากล ($g = 9.807 \text{ m/s}^2$) ที่ระดับน้ำทะเลที่ตำแหน่งเส้นรุ้งที่ 45 องศา) จะมีค่าความดันบรรยากาศมาตรฐานเท่ากับ 1.01325 Bar การพิจารณาความดันนั้นอาจพิจารณาได้เป็นทั้งแบบสัมบูรณ์และแบบสัมพัทธ์ ดังนั้นจึงสามารถแสดงค่าความดันได้เป็น 2 วิธี คือแสดงเป็นค่าความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure, P_{abs}) โดยเทียบกับค่าที่ไม่มีมีความดันเลย หรือที่เรียกกันว่าสุญญากาศ และการแสดงค่าความดันที่เทียบกับความดันบรรยากาศขณะนั้น โดยการอ่านค่าความดันเทียบกับค่าความดันบรรยากาศยังสามารถแยกย่อยได้อีก 2 แบบคือ

1. ความดันเกจ (Gage Pressure, P_{gage}) คือเป็นค่าความดันที่อ่านจากมาตรวัดความดันในกรณีที่ความดันที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ เนื่องจากมาตรวัดความดันส่วนใหญ่จะต้องเปรียบเทียบกับค่าความดันที่วัดกับค่าความดันบรรยากาศรอบ ๆ ช่วงขณะนั้น ทำให้ค่าที่อ่านออกมาได้นั้นเป็นค่าความแตกต่างระหว่างความดันที่วัดและความดันบรรยากาศขณะนั้น

$$P_{\text{gage}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}}$$

2. ความดันสุญญากาศ (Vacuum Pressure, P_{vac}) ความดันแบบนี้จะคล้ายกับความดันเกจ แต่จะใช้ในกรณีที่ความดันที่วัดนั้นต่ำกว่าความดันบรรยากาศเท่านั้น กรณีที่เครื่องวัดอ่านค่าความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศจะได้ว่า ความดันสุญญากาศ = ความดันบรรยากาศ - ความดันสัมบูรณ์หรือ

$$P_{\text{vac}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}}$$

2.7 การเชื่อม

การเชื่อมใด ๆ สามารถจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อคุณสมบัติทางกลของโลหะได้อย่างมากในบริเวณรอยเชื่อม ผลกระทบดังกล่าวจะรุนแรงเป็นพิเศษสำหรับโลหะที่ผ่านการบำบัดทางความร้อน หรือการแต่งรูปเย็นสร้างโครงสร้างทางโลหะวิทยาให้ได้ลักษณะสมบัติความแข็งแรงตามความต้องการ ในบริเวณรอยเชื่อมที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน อาจเกิดการอบเหนียวขึ้น หรือโครงสร้างผลึกถูกทำให้เปลี่ยนไปเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางโลหะวิทยาขึ้น ในตัวจุดเชื่อมเองค่อนข้างแน่นอนว่า โลหะเชื่อมจะแตกต่างจากโลหะพื้นดินนั้นจะมีลักษณะสมบัติเฉพาะของตัวเองโดยปกติจะเหนียวกว่าโลหะพื้นการอุ่นหรือการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่จุดเชื่อม มักจะปฏิบัติสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ และเหล็กกล้าที่มีโครเมียม-โมลิบดีนัมต่ำ การอุ่นจุดที่เชื่อมจะช่วยลดการถ่ายเทอย่างรวดเร็วของความร้อนออกจากโลหะเชื่อมที่หลอมละลาย ซึ่งจะมีผลในทางลดแนวโน้มการเกิดมาร์เทนไซต์ที่แข็งเปราะ ซึ่งแตกร้าวง่าย

อีกกรรมวิธีหนึ่งซึ่งมักจะปฏิบัติในการเชื่อมคือ การอบคลายความเครียด หลังจากทำการเชื่อมเสร็จสิ้นลงแล้ว บริเวณรอยเชื่อมจะถูกเผาให้ร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงและปล่อยให้เย็นลงในอัตราที่ค่อนข้างช้าเพื่อเป็นการผ่อนคลายความเครียดตกค้างที่เกิดจากการเชื่อม

2.8 ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

ภาชนะอัดความดันรูปทรงกระบอก เมื่อได้รับความดันจะทำให้เกิดความเค้นขึ้นในเนื้อวัสดุที่ใช้ทำภาชนะนั้น และเมื่อความเค้นที่เกิดขึ้น มีปริมาณมากที่สุด จนวัสดุนั้นไม่สามารถที่จะรับได้ จะทำให้ภาชนะนั้นเกิดความเสียหาย ซึ่งจะมีผลต่อทรัพย์สินและต่อสิ่งมีชีวิตได้ ฉะนั้นในการหาความเค้นนี้สามารถหาได้โดยการพิจารณาการสมดุลของครึ่งทรงกระบอก

ถ้าให้

t คือ ความหนาของภาชนะ

r คือ รัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกกลวง

σ_H คือ ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

P คือ ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะอัดความดัน

F คือ แรงที่เกิดขึ้น

แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันภายใน

$F = P \times 2rL$ (1)

แรงต้านที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (σ_H)

$F = 2 \sigma_H \times Lt$ (2)

ถ้าภาชนะยังคงรูปอยู่ได้ แรงที่เกิดขึ้นจะต้องเท่ากับ สมการ (1) = (2)

เพราะฉะนั้น

$P \times 2rL = 2 \sigma_H \times Lt$

ความเค้นในเส้นรอบวง (σ_H)

$= Pr/t$

2.9 ความเค้นตามแนวยาว

ในการหาความเค้นตามแนวยาว เราจะพิจารณาภาชนะทรงกระบอกกลวงผนังบาง

ถ้าให้

σ_L คือ ความเค้นตามแนวยาว

P คือ ความดันภายในทรงกระบอกกลวง

r คือ รัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกกลวง

L คือ ความยาวของทรงกระบอกกลวง

t คือ ความหนาของผนัง

แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันภายใน (F) = ความดัน x พื้นที่รับความดัน

$$F = P \times \pi r^2 \quad \text{---(3)}$$

แรงด้านที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเค้นตามแนวยาว (σ_L)

$$F = \sigma_L \times 2\pi r t \quad \text{---(4)}$$

ถ้าภาชนะยังคงรูปอยู่ได้ แรงที่เกิดขึ้นจะต้องเท่ากับ สมการ (3) = (4)

$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad P \times \pi r^2 = 2\sigma_L \times 2\pi r t$$

$$\text{ความเค้นในเส้นรอบวง} (\sigma_L) = Pr/2t$$

2.10 ค่าความปลอดภัย

โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัยหมายถึงตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านแรงดึงหรือความต้านแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (Working Stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบ ซึ่งเรียกสั้น ๆ ว่า ความเค้นออกแบบ (Design Stress) หรือความเค้นใช้งาน

ในกรณีที่ได้มีการกำหนดขนาดของชิ้นงานมาแล้ว ค่าความปลอดภัยของชิ้นงานนั้นคือ

$$N_u = \text{ความต้านแรงดึง} / \text{ความเค้นที่คำนวณได้}$$

$$N_y = \text{ความต้านแรงดึงคราก} / \text{ความเค้นที่คำนวณได้}$$

สำหรับปัญหาที่ไม่เป็นแบบเชิงเส้น (Nonlinear) เช่น ดึงแรงดัน หรือเสาที่อาจจะเสียหายเนื่องมาจากการ โกงงอ จะต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงที่มากกระทำโดยตรงแทนที่จะใช้ความเค้น ทั้งนี้เพราะในปัญหาแบบไม่ใช่เชิงเส้น ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานอาจจะมีได้แปรผันโดยตรงกับแรง ในกรณีเช่นนี้

$$N = \text{แรงที่ทำให้แตก} / \text{แรงที่ใช้ออกแบบ}$$

ค่าความปลอดภัยที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับตัวประกอบจำนวนมากดังนี้

- 1 ชนิดของแรงที่มากกระทำต่อชิ้นงานว่าเป็นแรงที่จัดอยู่ในประเภทอยู่นิ่งหรือเปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลาขณะใช้งาน
- 2 ลักษณะการใช้งานของชิ้นงานว่าเกี่ยวข้องกับการที่อาจสูญเสียชีวิต หรือทรัพย์สินจำนวนมาก หรือไม่
- 3 น้ำหนักของชิ้นงานว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเบาที่สุดหรือไม่ เช่น ชิ้นส่วนสำหรับเครื่องบิน เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้การใช้ค่าความปลอดภัย จะต้องพิจารณาอย่างละเอียดเป็นพิเศษ
- 4 จำนวนของชิ้นงานที่จะผลิตออกมา ถ้าผลิตครั้งละมาก ๆ ควรระมัดระวังในการใช้ค่าความปลอดภัยที่ไม่สูงจนเกินไป ทั้งนี้เพื่อที่จะประหยัดวัสดุได้มากที่สุด
- 5 เนื้อวัสดุที่ผลิตออกมาอาจไม่สม่ำเสมอ กัน ทำให้ความสามารถในการรับแรงต่างกัน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย และการออกแบบ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ออกแบบเครื่องหม้อนึ่งแรงดันฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด (DESIGN)
2. สร้างเครื่องหม้อนึ่งแรงดันฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด (MAKING)
3. ทดสอบการทำงานของเครื่องหม้อนึ่งแรงดันฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด (OPERATE)
4. รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง (ANALYSIS)
5. สรุปและเขียนรายงานของโครงการ (REPORT)

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาดำเนินงาน

ขั้นตอน	ระยะเวลา (เดือน)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DESIGN	←→										
MAKING			←→								
OPERATE							←→				
ANALYSIS							←→				
REPORT						←→					→

3.2 การออกแบบ

3.2.1 การคำนวณหาค่าลังไฟฟ้า

- G = ปริมาตรของน้ำ 12 ลิตร (26.46 lb)
- C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำกลายเป็นไอ = 1
- ΔT = อุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้ายของน้ำ 27 - 120 °C = 199.4 °F
- H = เวลา (hr)
- P = กำลังไฟฟ้า (kw)

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad P &= \frac{G \times C_p \times \Delta T}{3,412 \times H} \\
 &= \frac{26.46 \times 1 \times 199.4}{3,412 \times 0.5} \\
 &= 3.09 \quad \text{kw}
 \end{aligned}$$

ฉะนั้น Heater มีขนาดเท่ากับ 3 kw

ใช้เวลาในการทำงาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ 120 °C

3.2.2 การคำนวณหาปริมาณกระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 P &= VI \\
 &= \frac{3,000}{220} \\
 I &= 13.6 \quad \text{A}
 \end{aligned}$$

ฉะนั้น Solid State มีขนาดเท่ากับ 30A

อุปกรณ์อื่น ๆ ที่นำมาใช้จะต้องมีค่ากระแสไม่น้อยกว่า 20A

3.2.3 การคำนวณหาขนาดความหนาของถัง

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad t &= \text{ความหนาของถัง (mm.)} \\
 r &= \text{รัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกกลวง (mm.)} \\
 \sigma_H &= \text{ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (N/mm}^2\text{)} \\
 P &= \text{ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะอัดความดัน (N/mm}^2\text{)} \text{ (จาก}
 \end{aligned}$$

ภาคผนวกที่ ข.1 ที่ความดัน 30 psi จะได้ $30 \times 7.030696 \times 10^{-4} = 0.207$)

$$\text{จากสูตร} \quad \sigma_H = Pr/t$$

แทนค่าในสูตร

$$\begin{aligned}
 205 &= \frac{0.207 \times (305 - t)/2}{t} \\
 t &= 0.15 \quad \text{mm.}
 \end{aligned}$$

3.2.4 การคำนวณความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

เมื่อ	t	=	3.0 mm. (SUS304)
	r	=	รัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกกลวง (mm.)
	σ_H	=	ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (N/mm ²)
	P	=	ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะอัดความดัน (N/mm ²)
จากสูตร	σ_H	=	Pr/t

แทนค่าในสูตร	σ_H	=	$\frac{0.207 \times (305 - 3)/2}{3}$
	σ_H	=	10.419 N/mm ² .

3.2.5 การคำนวณหาความเค้นตามแนวยาว

เมื่อ	t	=	3.0 mm. (SUS304)
	r	=	รัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกกลวง
	σ_l	=	ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง
	P	=	ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะอัดความดัน
	L	=	ความยาวของทรงกระบอกกลวง
จากสูตร	σ_l	=	$Pr/2t$
	σ_l	=	$\frac{0.207 \times (305 - 3)/2}{2 \times 3}$
	σ_l	=	5.209 N/mm ²

3.2.6 การคำนวณหา Design factor (N)

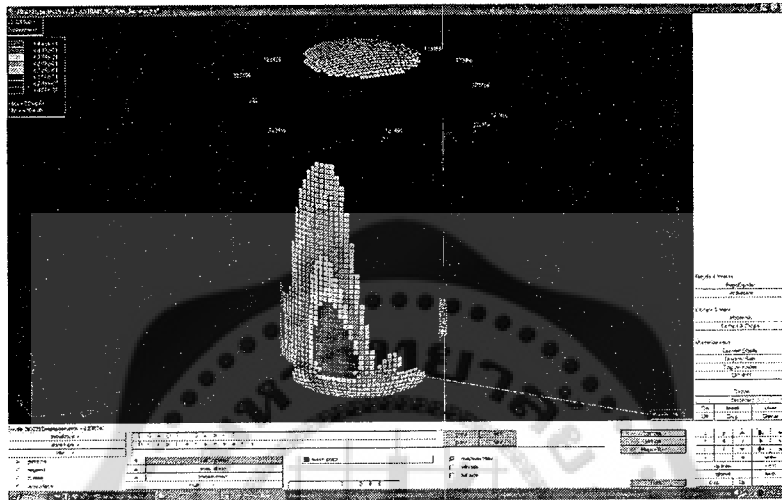
จากสูตร N	=	$\frac{\text{tensile strength}}{\text{design or working stress}}$
-----------	---	---

แทนค่าในสูตร N	=	$\frac{205}{10.419}$ N/mm ²
	=	19.67

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของถัง ไฟไนต์เอลิเมนต์ (FINITE ELEMENT)

1) ค่าของ Displacement

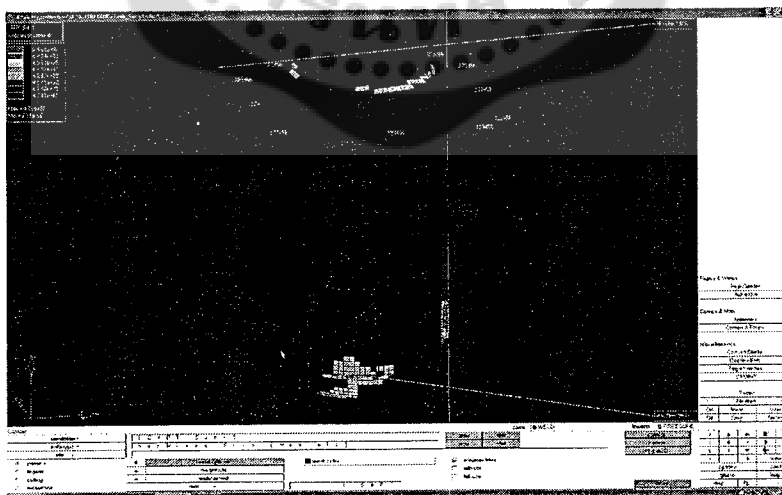
เมื่อกำหนด PRESSURE ภายในเท่ากับ 1bar จุดที่ถังจะแยกออกจากกัน(Displacement) จะเกิดตรงบริเวณที่รอยต่อของถังด้านล่าง ค่าของ Displacement จะเกิดมากที่สุดเท่ากับ 5.24×10^{-1} (0.52mm) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Displacement ของถัง

2) ค่าของ Stress

เมื่อกำหนด PRESSURE ภายในเท่ากับ 1bar ค่าของ Stress ที่เกิดขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 4.95×10^2 (495 N/m²) จะเกิดตรงบริเวณที่รอยต่อของถังด้านล่าง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Stress ของถัง

3.2.7 การคำนวณหาเชิงกลของงานกล (ในงานเกลียว)

F_1	คือ แรงที่ใช้	N
F_2	คือ แรงที่ให้ออกมา	N
r	คือ รัศมีเฉลี่ยของแขนหมุน	mm
S_1	คือ ระยะทางของแรงที่ใช้	mm
S_2	คือ ระยะทางของแรงที่ให้ออกมา	mm
P	คือ ความดัน	N/mm ²
D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง	mm
	คือ พื้นที่หน้าตัด	mm ²
Pitch	คือ ระยะพิทของเกลียว	mm

จากสูตร

$$P = F_2 / A$$

เมื่อ

$$A = 7,163,145 \text{ mm}^2, P = 0.207 \text{ N/mm}^2$$

แทนค่าในสูตร

$$F_2 = 0.207 \times 71,631.45$$

$$F_2 = 14,827.711 \text{ N}$$

จากสูตร

$$S_1 = \pi \times 2 \times r$$

แทนค่าในสูตร

$$S_1 = \pi \times 2 \times 136$$

$$S_1 = 854.51 \text{ mm}$$

จากสูตร

$$F_2 = (F_1 \times S_1) / \text{Pitch}$$

เมื่อ

$$S_1 = 854.51 \text{ mm}, \text{Pitch} = 5 \text{ mm}, F_2 = 14,827.711 \text{ N},$$

แทนค่าในสูตร

$$F_1 = (14,827.711 \times 5) / 854.51$$

แรงที่ใช้หมุน

$$F_1 = 86.76 \text{ N}$$

จากสูตร

$$d_3 \approx \frac{{}^4\sqrt{64.F.I_k}}{\pi^3.E}$$

เมื่อ

$$F_2 = 14,827.711 \text{ N}, E = 200,000 \text{ N/mm}^2, \nu = 8,$$

$$I_k = 0.7 \times 5.6$$

แทนค่าในสูตร

$$d_3 \approx \sqrt[4]{64 \times 14,827.711 \times 8 \times (0.7 \times 56)^2}$$

$$\pi^3 \times 200,000$$

$$d_3 \approx 6.585 \text{ mm.}$$

3.2.8 การคำนวณโมเมนต์บิดที่ใช้ (T)

จากสูตร

$$T = F \times (d_2/2) \times \tan (\varphi \pm \rho_g)$$

เปิดตารางที่ 1 จะได้ขนาดความโตเฉลี่ย (d_2) = 21.5 mm.

จากสูตร

$$\tan \varphi = P_h / \pi d_2$$

จากสูตร

$$P_h = n \times \text{Pitch}$$

เมื่อ

$$n = \text{จำนวนปากของเกลียว}$$

แทนค่าในสูตร

$$P_h = 1 \times 5$$

$$P_h = 5 \text{ mm.}$$

เพราะฉะนั้น

$$\tan \varphi = 5 / (\pi \times 21.5)$$

$$\varphi = 4.23^\circ$$

เมื่อ

$$\rho_g = \text{ความเสียดทานมุมเกลียว } 12^\circ$$

จากสูตร

$$T = F \times (d_2/2) \times \tan (\varphi \pm \rho_g)$$

แทนค่าในสูตร

$$T = 14827.711 \times (21.5/2) \times \tan(4.23+12)$$

$$T = 46399.88 \text{ N.mm}$$

3.2.9 การคำนวณความเค้นบิดในสปริงเดิล

เมื่อ

$$\tau_t = \text{ความเค้นบิดในสปริงเดิล}$$

จากสูตร

$$\tau_t = (T / W_p) \leq \sigma_{t \text{ all}}$$

จากสูตร

$$W_p = 0.2 d_3^3$$

เมื่อ

$$W_p = \text{Polar Section Modulus}$$

แทนค่าในสูตร

$$W_p = 0.2 \times 18.5^3$$

$$W_p = 1,266.32 \text{ mm}^3$$

แทนค่าในสูตร

$$\tau_t = (46,399.88 / 1,266.32)$$

$$\tau_t = 36.64 \text{ N/mm}^2$$

สำหรับส่วนล่างที่รับแรงอัด ให้ใช้สูตร

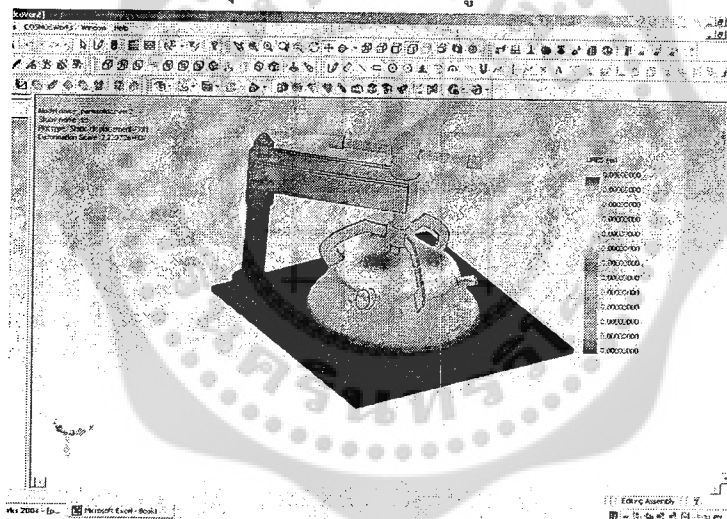
$$\begin{aligned}\sigma_c &= F/A_3 \leq \sigma_{c(i)all} \\ \text{เมื่อ } A_3 &= \pi(18.5^2)/4 \\ A_3 &= 268.8 \text{ mm}^2 \\ \text{แทนค่าในสูตร } \sigma_c &= 14,827.711/268.8 \\ \sigma_c &= 55.16 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

ค่า τ_c และ σ_c มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับความเค้นอนุญาต จึงนำไปใช้งานได้ เมื่อความเค้นอนุญาต = 550 N/mm²

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของคานฝ่าเปิดบน

1) ค่าของ Displacement

เมื่อกำหนด PRESSURE ภายในเท่ากับ 1bar จุดที่คานจะแยกออกจากกัน (Displacement) ค่าของ Displacement จะเกิดมากที่สุดเท่ากับ 0.00 mm ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Displacement ของคานฝ่าเปิดบน

2) ค่าของ Stress

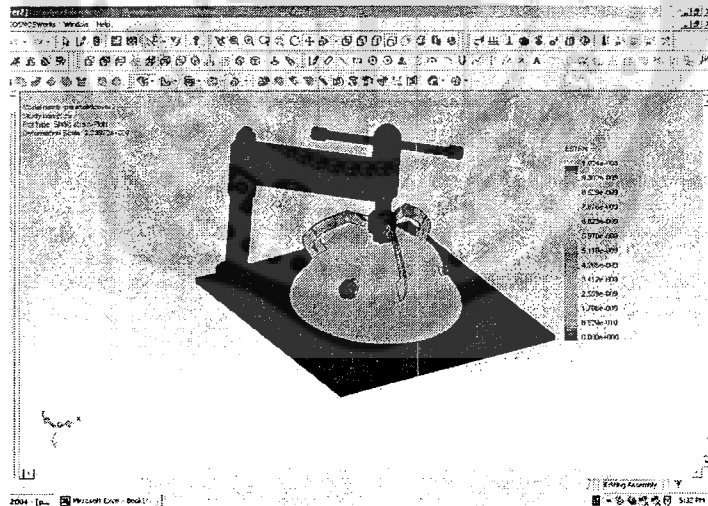
เมื่อกำหนด PRESSURE ภายในเท่ากับ 1bar ค่าของ Stress ที่เกิดขึ้นมากที่สุดเท่ากับ (2483.282 N/m²) เกิดตรงบริเวณที่รอยต่อของขายึด ฝ่าบน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Stress ของคานฝ่าเปิดบน

3) ค่าของ Strain

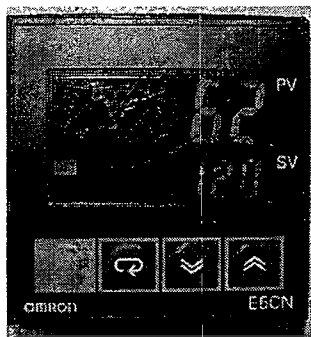
เมื่อกำหนด PRESSURE ภายในเท่ากับ 1bar ค่าของ Strain ที่เกิดขึ้นมากที่สุดเท่ากับ 1.024×10^{-8} (1.024e-008 mm) เกิดตรงบริเวณที่รอยต่อของขายึด ฝานบน ดังรูปที่ 3.5



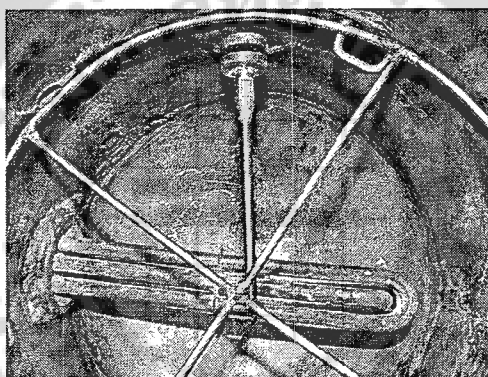
รูปที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ค่าของ Strain ของคานฝ่าเปิดบน

3.3 ชุดอุปกรณ์ควบคุม

3.3.1 อุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ให้ความร้อนที่เลือกใช้

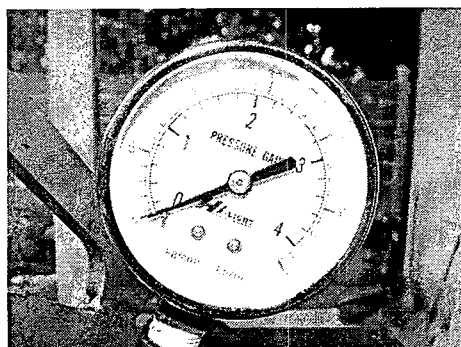


รูปที่ 3.6 Temperature control (-200 – 1,300 °C)

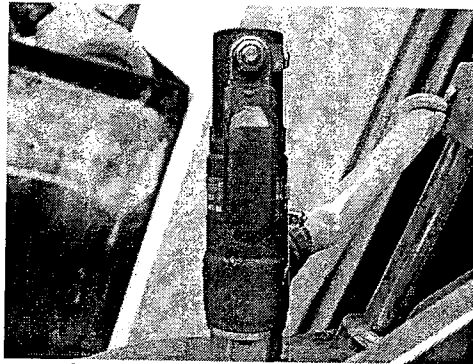


รูปที่ 3.7 Heater 3kw , Thermocouple type K

3.3.2 อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน



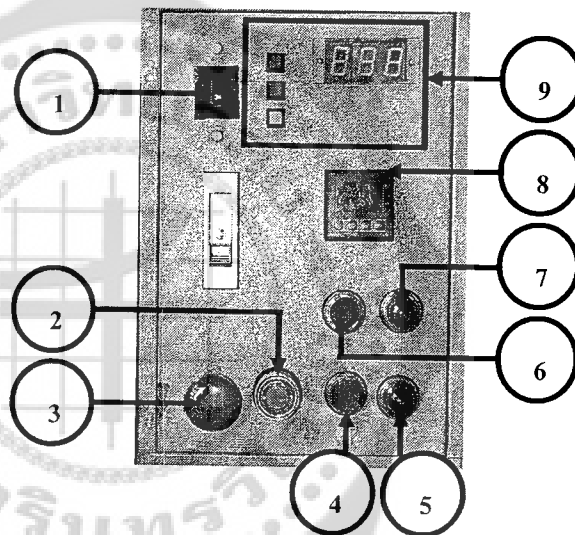
รูปที่ 3.8 SAFETY RELIEF VALVE 15 psi



รูปที่ 3.9 PRESSURE GAUGE 0-60 psi

3.3.3 อุปกรณ์ควบคุมระบบการทำงาน

1. Breaker
2. Alarm buzzer
3. Emergency switch
4. Reset switch
5. Stop lamp
6. Start switch
7. Machine run lamp
8. Temperature control unit
9. Timer control unit



รูปที่ 3.10 ชุดควบคุมระบบการทำงาน

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบ และผลการทดสอบ ซึ่งจะแบ่งได้เป็นหัวข้อ ๆ ดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพของเครื่องนึ่งแรงดันสำหรับฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด
2. คุณภาพของอาหารวุ้นที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเห็ด
3. สรุปผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ของเครื่อง

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ของเครื่อง

ลำดับที่	รายการทดลอง	มาตรฐานทดสอบ	อุปกรณ์	ผลการทดสอบ	
				ผ่าน	ไม่ผ่าน
1	การตั้งเวลา	ตั้งค่าได้	ทดลอง	X	
2	การตั้งอุณหภูมิ	ตั้งค่าได้	ทดลอง	X	
3	สวิตช์ควบคุม	ระบบทำงานได้	ทดลอง	X	
4	การทำงานของHeater	ให้ความร้อนได้	ทดลอง	X	
5	การทำงานของTemperature control	ควบคุมอุณหภูมิได้	ทดลอง	X	
6	การทำงานของPressure gauge	แสดงค่าแรงดันได้	ทดลอง	X	
7	การทำงานของTimer	แสดงค่าเวลาได้	ทดลอง	X	
8	การทำงานของRelief Valve	ควบคุมแรงดันได้	ทดลอง	X	
9	การทำงานของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ	สัญญาณเสียงเตือน	ทดลอง	X	
10	การทำงานของEmergency Switch	ตัดวงจรได้	ทดลอง	X	
11	ตรวจสอบการรั่วซึม	ไม่มีการรั่วซึม	สังเกต	X	

สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ของเครื่อง

อุปกรณ์ทุกตัวสามารถทำงานได้เป็นปกติ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง

การทดสอบ การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมของเครื่องให้เป็นไปตามหน้าที่
2. การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันให้เป็นไปตามหน้าที่
3. เพื่อทดสอบการรั่วซึมในแต่ละตำแหน่ง

อุปกรณ์

1. เครื่องนั่งแรงดัน
2. ตารางบันทึกผล

ขั้นตอน

1. เติมน้ำปริมาณ 12 ลิตร ลงในถัง
2. ตั้งค่าการทำงานของเครื่องที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที และบันทึกผล
3. กดปุ่มสตาร์ทเครื่องทำงาน
4. Heater สามารถให้ความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้
5. Pressure Gauge สามารถอ่านค่าความดันที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ
6. Temp. Control สามารถอ่านค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามเวลา
7. Timer แสดงการทำงานเมื่อเริ่มต้นนับเวลา
8. วาล์วระบายความดัน จะระบายความดันเมื่อแรงดันเกิน 15 psi และหยุดทำงานเมื่อแรงดันต่ำกว่า 15 psi
9. ตรวจสอบการรั่วซึมของตัวถังในตำแหน่งต่าง ๆ
10. ตรวจสอบการทำงานของ Alarm Buzzer เมื่อปริมาณต่ำกว่าที่กำหนด โดยจะมีสัญญาณเตือน
11. ตรวจสอบสวิตช์ฉุกเฉิน ซึ่งเมื่อกดสวิตช์ ระบบไฟฟ้าจะตัดการทำงานทั้งหมด
12. ทำการบันทึกผลการทดลอง
13. สรุปผลการทดลองในแต่ละครั้ง

ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง

การทดสอบครั้งที่ 1

การทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาทำงาน วันที่ทดสอบ 24 เม.ย. 49

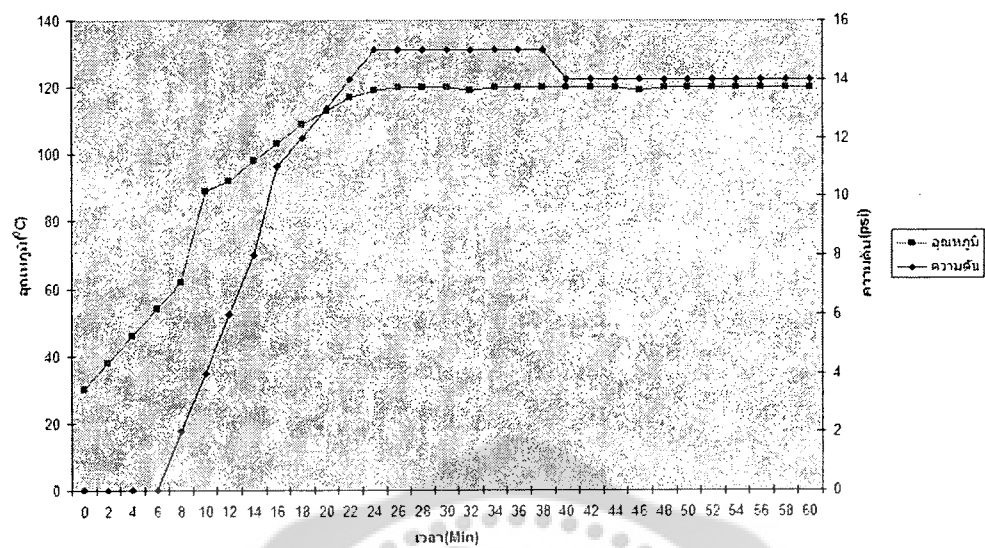
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องครั้งที่ 1

อุณหภูมิ(°C)	เวลา(Min)	ความดัน(psi)	อุณหภูมิ(°C)	เวลา(Min)	ความดัน(psi)
30	0	0	119	32	15
38	2	0	120	34	15
46	4	0	120	36	15
54	6	0	120	38	15
62	8	2	120	40	14
89	10	4	120	42	14
92	12	6	120	44	14
98	14	8	119	46	14
103	16	11	120	48	14
109	18	12	120	50	14
113	20	13	120	52	14
117	22	14	120	54	14
119	24	15	120	56	14
120	26	15	120	58	14
120	28	15	120	60	14
120	30	15			

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบอุณหภูมิที่ตั้งไว้ 120°C ความดันใช้งาน 15 psi ระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดปุ่มสตาร์ทได้เท่ากับ 28 นาที และระยะเวลาที่ใช้งานที่ตั้งไว้เท่ากับ 30 นาที และอุณหภูมิจะคงที่เท่ากับ 120°C หลังจาก Timer จะนับเวลาถอยหลังจนครบ 30 นาที ระบบก็จะหยุดการทำงานอัตโนมัติ แต่ผลการทดสอบไม่เป็นไปตามที่กำหนด อุณหภูมิจะลดลง 4 °C ซึ่งเมื่อเวลาเท่ากับ 34 นาที อุณหภูมิจะอยู่ที่ 119 °C เมื่อเวลาเท่ากับ 44 นาที อุณหภูมิได้ 118 °C เมื่อเวลาเท่ากับ 50 นาที อุณหภูมิได้ 117 °C

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดัน



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์จากการทดสอบครั้งที่ 1

การทดสอบครั้งที่ 2

วันที่ทดสอบ 30 เม.ย. 49

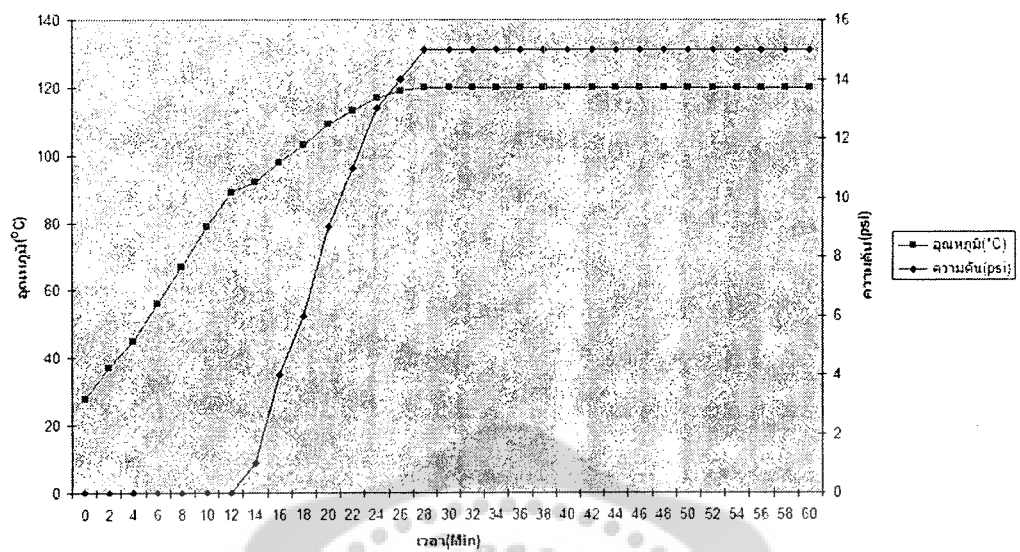
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องครั้งที่ 2

อุณหภูมิ(°C)	เวลา(Min)	ความดัน(psi)	อุณหภูมิ(°C)	เวลา(Min)	ความดัน(psi)
28	0	0	120	32	15
37	2	0	120	34	15
45	4	0	120	36	15
56	6	0	120	38	15
67	8	0	120	40	15
79	10	0	120	42	15
89	12	0	120	44	15
92	14	1	120	46	15
98	16	4	120	48	15
103	18	6	120	50	15
109	20	9	120	52	15
113	22	11	120	54	15
117	24	13	120	56	15
119	26	14	120	58	15
120	28	15	120	60	15
120	30	15			

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบอุณหภูมิที่ตั้งไว้ 120°C ความดันใช้งาน 15 psi ระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดปุ่มสตาร์ทได้เท่ากับ 28 นาที และระยะเวลาที่ใช้งานที่ตั้งไว้เท่ากับ 30 นาที และอุณหภูมิจะคงที่เท่ากับ 120 °C หลังจาก Timer จะนับเวลาถอยหลังจนครบ 30 นาที ระบบก็จะหยุดการทำงานอัตโนมัติ พบว่าผลการทดสอบเป็นไปตามที่กำหนด เนื่องการทดสอบครั้งที่ 1 การทำงานของ Solid State กับชุดควบคุมไม่สัมพันธ์กัน มีการแก้ไขโปรแกรมชุดควบคุมใหม่ จึงทำให้ผลการทดลองเป็นไปตามกำหนด

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดัน



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์จากการทดสอบครั้งที่ 2

ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง

การทดสอบครั้งที่ 3

การทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดัน และระยะเวลาทำงาน วันที่ทดสอบ 30 เม.ย. 49

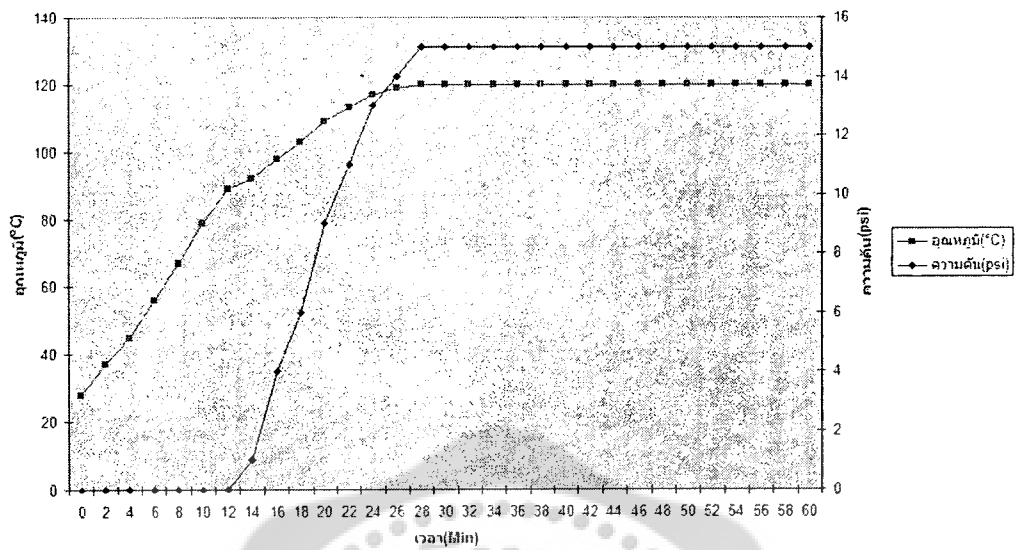
ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องครั้งที่ 3

อุณหภูมิ(°C)	เวลา(Min)	ความดัน(psi)	อุณหภูมิ(°C)	เวลา(Min)	ความดัน(psi)
28	0	0	120	32	15
37	2	0	120	34	15
45	4	0	120	36	15
56	6	0	120	38	15
67	8	0	120	40	15
79	10	0	120	42	15
89	12	0	120	44	15
92	14	1	120	46	15
98	16	4	120	48	15
103	18	6	120	50	15
109	20	9	120	52	15
113	22	11	120	54	15
117	24	13	120	56	15
119	26	14	120	58	15
120	28	15	120	60	15
120	30	15			

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบครั้งที่ 2 ได้ทำการแก้ไขโปรแกรมชุดควบคุมต่าง ๆ ทำให้การทดสอบครั้งที่ 2 และ 3 ได้ผลตามต้องการ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดัน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์จากการทดสอบครั้งที่ 3

4.2 การทดสอบคุณภาพอาหารวุ้นที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเห็ด วัตถุดิบประสงค์

1. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกับการใช้งาน
2. นำเชื้ออาหารสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเห็ด

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

- | | |
|-----------------------|-----------|
| 1. เครื่องนึ่งแรงดัน | 1 เครื่อง |
| 2. ขวดบรรจุ | 10 ขวด |
| 3. อาหารวุ้น | 1 ชุด |
| 4. น้ำสะอาด | 12 ลิตร |
| 5. สำลี | 12 อัน |
| 6. กระดาษหนังสือพิมพ์ | 12 แผ่น |

ขั้นตอนการทดลอง

1. ผสมอาหารวุ้นสำเร็จรูปกับน้ำอุ่นในอัตราส่วน 40 กรัม : ลิตร
2. บรรจุอาหารวุ้นที่ผสมแล้วลงในขวดที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อปริมาณ 2 ซ้อนโต๊ะ
3. ปิดฝาขวดด้วยสำลีและใช้กระดาษหุ้มปิดอีกครั้ง
4. แยกการทดลองโดยแบ่งขวดออกเป็นกลุ่ม ๆ ดังนี้
กลุ่มที่ 1 : ขวดที่ 1 และ 2 ไม่นำมาผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ

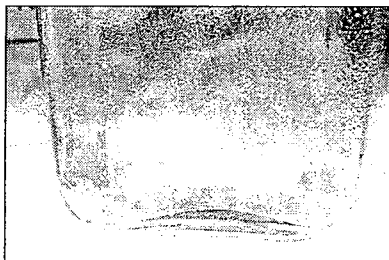
- กลุ่มที่ 2 : ขวดที่ 3, 4, 5 และ 6 นึ่งฆ่าเชื้อที่ $T = 110^{\circ}\text{C}$ ที่ความดัน 15 psi
- กลุ่มที่ 3 : ขวดที่ 7, 8, 9 และ 10 นึ่งฆ่าเชื้อที่ $T = 120^{\circ}\text{C}$ ที่ความดัน 15 psi
5. เติมน้ำสะอาดในถังปริมาณ 12 ลิตร
 6. นำขวดที่บรรจุอาหารวุ้นลงในถัง โดยตามรายการที่แบ่งใน ข้อ 4
 7. ปิดฝาถังให้สนิท
 8. ตั้งเวลาเท่ากับ 30 นาที
 9. ตั้งค่าอุณหภูมิของการทดลองในแต่ละกรณี
 10. กดสวิทช์เริ่มทำงาน
 11. รอจนกว่าเครื่องทำงานจนจบแต่ละกรณี
 12. นำขวดบรรจุอาหารวุ้นออกจากถังโดยวางเอียงประมาณ 30°
 13. ทำการบันทึกผลการทดลองโดยการสังเกตว่ามีเชื้อราขึ้นหรือไม่ โดยใช้ระยะเวลา 15 วัน ถ้าภายในระยะเวลา 15 วัน เชื้อราไม่ขึ้นแสดงว่าอาหารวุ้นนั้นมีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้งานต่อได้ โดยการบันทึกว่า มี และไม่มีเชื้อรา
 14. สรุปผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.5 การทดสอบคุณภาพอาหารวันที่ใช้เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของเห็ด

กรณีที่	1		2		3	
ขวดที่	1,2		3,4,5,6		7,8,9,10	
อุณหภูมิ (°C)	-		110		120	
ความดัน (psi)	-		13		15	
มาตรฐาน	การเกิดเชื้อรา					
สถานะ วันที่	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	✓	-	-	-	-	-
5	✓	-	-	-	-	-
6	✓	-	-	-	-	-
7	✓	-	-	-	-	-
8	✓	-	-	-	-	-
9	✓	-	-	-	-	-
10	✓	-	-	-	-	-
11	✓	-	-	-	-	-
12	✓	-	✓	-	-	-
13	✓	-	✓	-	-	-
14	✓	-	✓	-	-	-
15	✓	-	✓	-	-	-

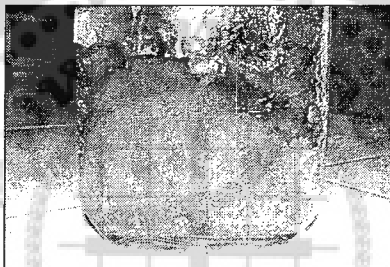
สรุปผลทดสอบคุณภาพอาหารวุ้นที่ใช้พะละเลี้ยงเนื้อเยื่อของเห็ด

กรณี 1 เริ่มมีเชื้อราเกิดขึ้นวันที่ 4



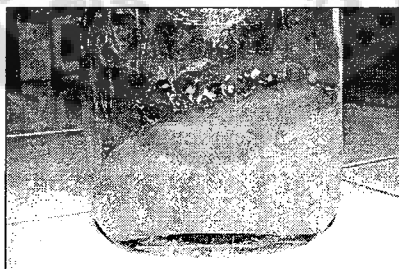
รูปที่ 4.4 แสดงการเกิดเชื้อราในอาหารวุ้นหลังทำการทดสอบได้ถึงวันที่ 4

กรณี 2 ไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นตลอด 15 วัน



รูปที่ 4.5 แสดงผลหลังทำการทดสอบอาหารวุ้นเมื่อทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 15 วัน

กรณี 3 ไม่มีเชื้อราเกิดขึ้นตลอด 15 วัน



รูปที่ 4.6 แสดงผลหลังทำการทดสอบอาหารวุ้นเมื่อทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 15 วัน

4.3 สรุปผลการทดสอบ

หลังจากทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพร้อมทั้งนำอาหารวุ้นทำการทดสอบกับเครื่องตามหลักเกณฑ์ที่ตั้งไว้ พบว่าเครื่องสามารถทำให้ผลของอาหารวุ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและสร้างเครื่องนึ่งแรงดัน สำหรับฆ่าเชื้อปะปนสำหรับการเพาะเชื้อเห็ด และนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมมาพัฒนาให้เป็น ประโยชน์ต่อสังคม รวมทั้งลดต้นทุนการสร้างเครื่องโดยการหาข้อมูลจากหน่วยงานที่มี ประสบการณ์ เกี่ยวกับการเพาะเชื้อเห็ด ซึ่งได้นำข้อมูลมาคำนวณและออกแบบเครื่องนึ่งแรงดัน หลังจากการสร้างเครื่องและทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรวมทั้งทดสอบประสิทธิภาพของอาหาร เชื้อเห็ด และนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรวมทั้งต้นทุนในการสร้าง เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องของหน่วยงานที่ใช้เป็นต้นแบบและสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องพบว่าอุณหภูมิที่เครื่องสามารถทำได้เท่ากับ $120\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ แรงดันที่เครื่องสามารถทำได้เท่ากับ $15\text{ psi} \pm 1\text{ psi}$ วาล์วระบายความดันจะทำงานตัดต่อแบบ อัตโนมติ ทำให้แรงดันที่เกิน 15 psi จะลดลงและสามารถควบคุมแรงดันได้ที่ 15 psi

ผลการทดสอบอาหารเชื้อเห็ด พบว่าที่อุณหภูมิ $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความดันที่ 14-15 psi จะไม่พบเชื้อ ราที่ปนในอาหารวุ้นสำหรับเลี้ยงเนื้อเยื่อเห็ดในขวดแก้ว

เครื่องนึ่งสามารถผลิตได้ 25 ขวด/ครั้ง และค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง 46,324 บาท ค่าใช้จ่ายในแต่ละครั้งในการนึ่ง (ค่าไฟฟ้า/ขวด) $= (3000\text{ W} \times 1\text{ Hr} / 1000) \times 2.67 = 8.01$ ดังนั้นค่าไฟฟ้า ต่อขวดเท่ากับ 0.4 บาท

5.2 การวิเคราะห์การลงทุน

จุดคุ้มทุนคือจุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มค่ากับการลงทุน

ถ้ากำหนดให้

N_3 = จุดคุ้มทุน

F_3 = ต้นทุนคงที่

V_3 = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

P_3 = ราคาบาทต่อหน่วย

ดังนั้น จุดคุ้มทุน = $F_3 / (P_3 - V_3)$

ความสามารถที่ผลิตได้ต่อวัน 200 หน่วยต่อวัน

ราคามูลค่าซากของเครื่อง 10,000 บาท

ระยะเวลาประเมินไว้ 10 ปี

ราคาขายต่อหน่วย 10 บาทต่อหน่วย

ค่าไฟฟ้า 0.4 บาทต่อหน่วย หรือ 20,000 บาทต่อปี

ต้นทุนอาหารเชื้อเห็ดสำเร็จรูป 0.5 บาทต่อหน่วย หรือ 25,000 บาทต่อปี

ค่าแรงงานในการผลิต 187 บาทต่อวัน หรือ 53,450 บาทต่อปี

วันที่ทำการผลิต 250 วันต่อปี

ค่าเสียหายการผลิต 0.1 บาทต่อหน่วย หรือ 5,000 บาทต่อปี

ค่าซ่อมบำรุง 60 บาทต่อวัน หรือ 15,000 บาทต่อปี

ค่าเสื่อมราคา 14.5 บาทต่อวัน หรือ 3,632 บาทต่อปี

คำนวณหารายได้จากขายผลผลิตที่ได้ต่อปี

$$10 \times 200 \times 250 = 500,000 \text{ บาทต่อปี}$$

คำนวณหาต้นทุนที่ใช้ผลิต

$$20,000 + 25,000 + 53,450 + 5,000 + 15,000 + 3,632 = 122,082 \text{ บาทต่อปี}$$

คำนวณหากำไรสุทธิต่อปีจากการดำเนินงาน

$$500,000 - 122,082 = 377,918 \text{ บาทต่อปี}$$

คำนวณหาอัตราผลตอบแทนต่อปี

$$(377,918 / (46,324 + 122,082)) \times 100 = 224 \%$$

คำนวณหา Pay Back Period เงินลงทุน

$$(46,324 + 122,082) / 377,918 = 0.44 \text{ ปี}$$

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบในการใช้งานตามวัตถุประสงค์พบว่าเครื่องที่สร้างขึ้นใหม่สามารถใช้งานได้ประสิทธิภาพเท่ากับเครื่องต้นแบบ แต่สามารถลดต้นทุนในการสร้างได้ต่ำกว่าเครื่องต้นแบบ

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1 ปะเก็นหน้าตัดควรเป็นวงกลม และปะเก็นต้องไม่มีรอยต่อเพราะจะทำให้รั่วได้
- 2 วิธีการเชื่อมถึงรับแรงดันไม่ควรเชื่อมด้วยการเชื่อมไฟฟ้า เพราะทำให้คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนไปเนื่องจากความร้อนที่สูง และทำให้เกิดการบิดตัว ควรใช้วิธีการเชื่อม MIG
- 3 ฐานเครื่องควรวี Adjust bolt เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวขณะใช้งาน
- 4 การออกแบบอุปกรณ์สล็อตฝาเปิด-ปิด ควรออกแบบให้ง่ายต่อการใช้งาน



บรรณานุกรม

ชนะ กสิการ. (2515). ความแข็งแรงของวัสดุ. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.

นักสิทธิ์ ภู่วัฒนาชัย. การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 3 : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์

ศ.ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน. (2535). การออกแบบเครื่องจักรกล. บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น.

รศ.บรรเลง ศรีนิล และ ผศ.ประเสริฐ ก้วยสมบูรณ์. ตารางงานโลหะ. พิมพ์ครั้งที่ 1 : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กรรมมันต์ ชูประเสริฐ, อนันต์ อภินิษฐาชาติ และทวี งามวิไลพร. (2539). การออกแบบเครื่องจักรกล. แมคโคร-ฮิล อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์, อิงค์.

ตระการ ก้าวกสิกรรม. (2540). คู่มือถังรับแรงดัน. บ.เอ็มเอนด์อี จำกัด.

สุรเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์. (2540). กลศาสตร์ของแข็ง. บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น.

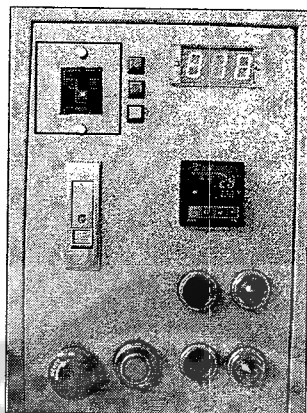
ภาคผนวก



ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้งาน

ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

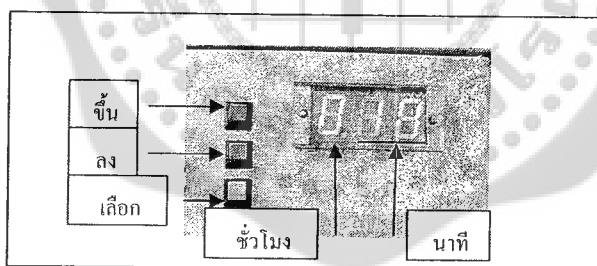
1. โยก Breaker ให้อยู่สถานะ ON ดังรูป



รูปที่ ก.1 แสดงลักษณะ Breaker ON

2. การ Set timer

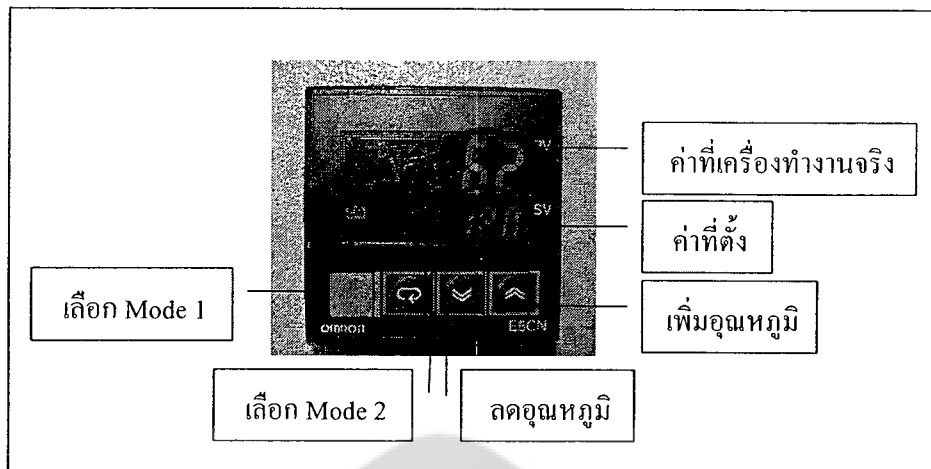
- 2.1 กดปุ่มเลือกตำแหน่งตั้งเวลา
- 2.2 กดปุ่มเพิ่มหรือลดเวลาตามต้องการ



รูปที่ ก.2 แสดงตำแหน่งการ Set timer

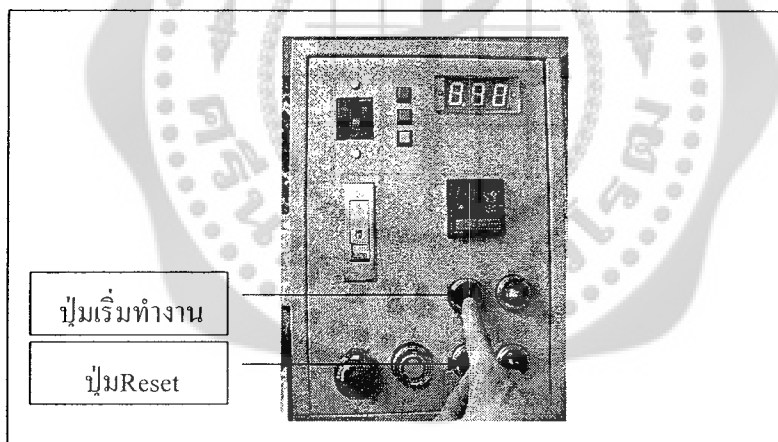
3. การ Set temperature control

- 3.1 กด Mode 1 เพื่อเลือกฟังก์ชันในการตั้งค่า
- 3.2 กด Mode 2 เพื่อเลือกฟังก์ชันในการตั้งค่า Alarm 1, 2 ของเครื่อง และตั้งค่าชนิดของ Thermocouple
- 3.3 ตั้งค่าอุณหภูมิใช้งาน



รูปที่ ก.3 แสดงการปรับตั้งอุณหภูมิ

4. กดปุ่ม Start



รูปที่ ก.4 แสดงตำแหน่งและการทำงานของปุ่ม Start/Stop

5. ปุ่ม Reset ใช้เมื่อต้องการแก้ไขค่าที่ได้ตั้งไว้
6. Alarm buzzer จะส่งสัญญาณเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าที่ตั้งไว้
7. Emergency ใช้สำหรับตัดระบบการทำงานชั่วคราวเมื่อเกิดข้อผิดพลาดขณะทำงาน

ข้อควรระวัง

- 1 ก่อนการทดลองต้องสำรวจว่าระดับน้ำอยู่เหนือ อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่น้ำ (Heater)
- 2 ก่อนการทดลองต้องปิดวาล์วระบายน้ำเสมอ เพื่อป้องกันอันตรายจากความดันไอน้ำ
- 3 หากตรวจพบว่าอุปกรณ์ทุกชิ้นไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนใดชำรุดต้องทำการแก้ไขก่อนทำการทดลอง

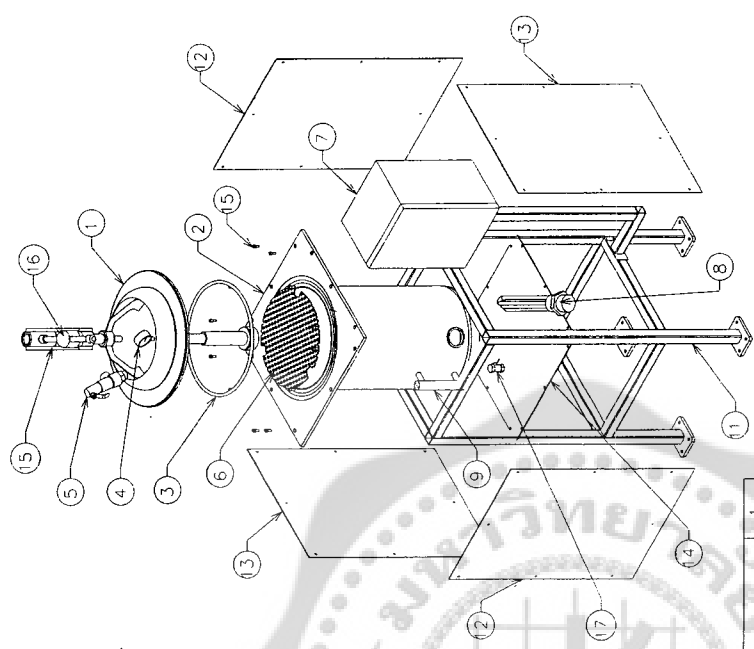
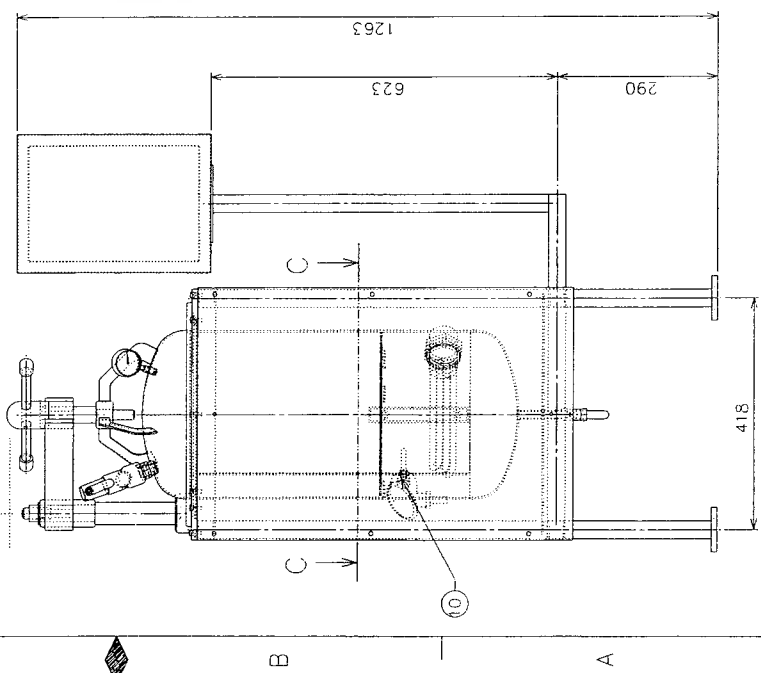
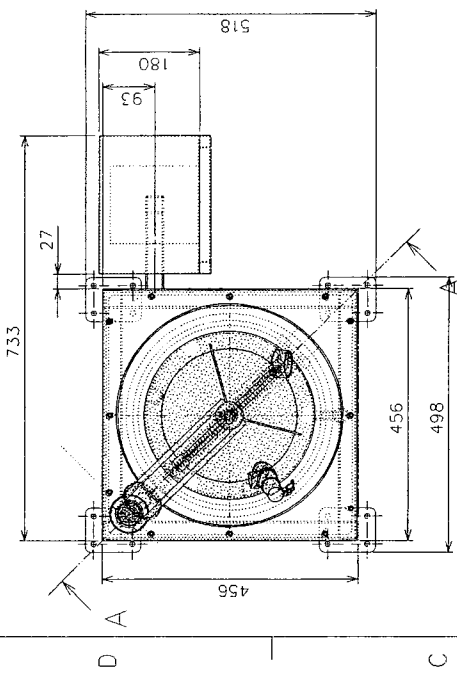
- 4 หากพบความผิดปกติในการทำงานต้องกดปุ่ม Emergency



ภาคผนวก ข. DRAWING



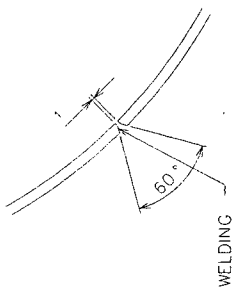
REVISION RECORD	
SYM	



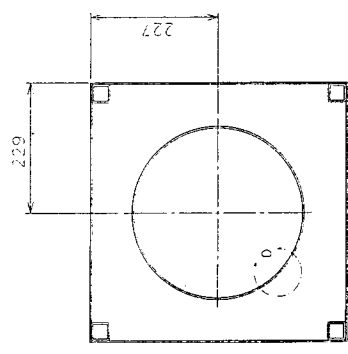
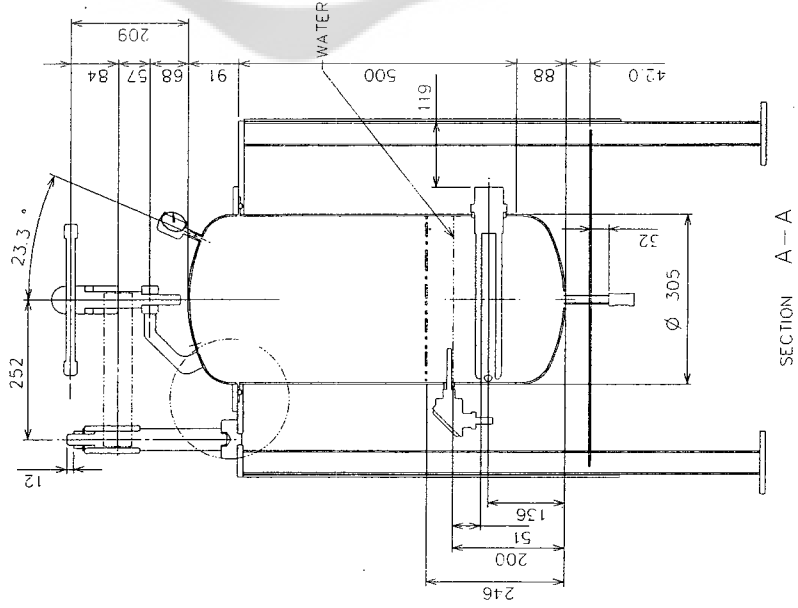
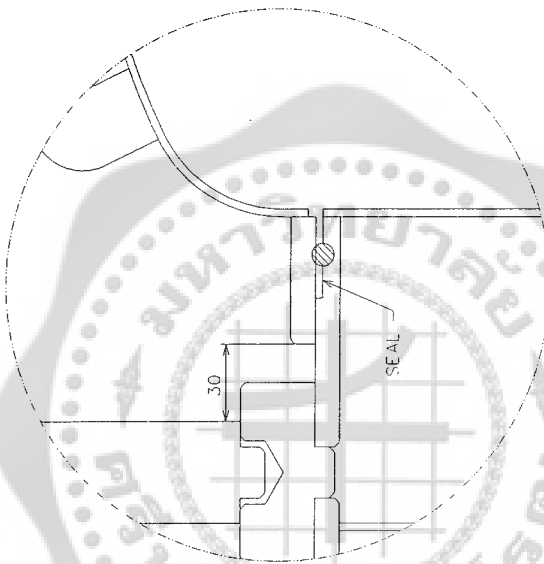
17	SWU00570	WATER DRAIN	1
16	SWU00230	PLATE SUPP. ASM.	1
15	SWU00170	LOCK COVER ASM.	1
14	SWU00400	GUARD 4	1
13	SWU00390	GUARD 3	2
12	SWU00380	GUARD 2	2
11	SWU00310	FRAME ASM.	1
10	SWU00560	THERMOCOUPLE	1
9	SWU00590	WATER LEVEL	1
8	SWU00460	HEATER 3.0 KW	1
7	SWU00370	BOX CONTROL	1
6	SWU00450	NET SUPPORT PART	1
5	SWU00580	RELIEF VALVE	1
4	SWU00490	PRESSURE GAUGE	1
3	SWU00510	SEAL	1
2	SWU00040	BODY ASM	1
1	SWU00160	COVER TOP ASM	1
ITEM	PART No	PART NAME	TOY

THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:3)	
DWG DATE 03-09-'06	MAT SS304	
INDUSTRIAL ENGINEERING SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME AUTOCAVE ASSEMBLY		
DWG NO	SWU00890 1/2	

REVISION RECORD	
SYN	

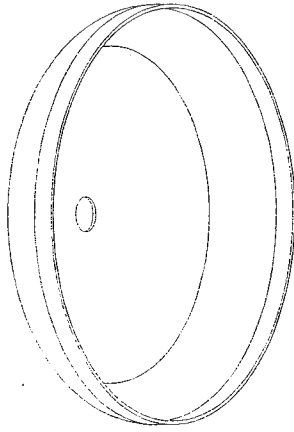


DETAIL D
SCALE 2:1

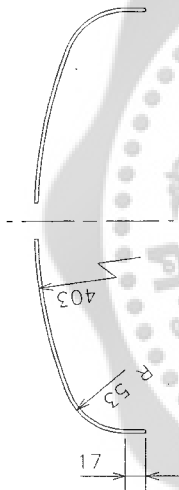
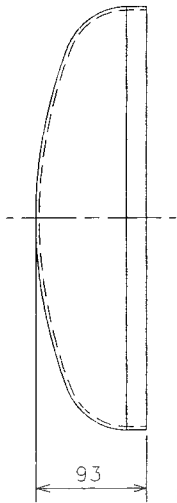
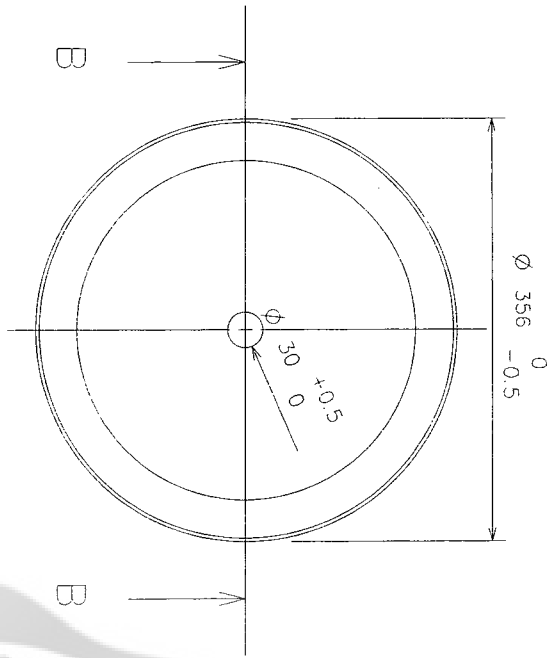


THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:3)
DWG DATE 03-09-08	MAT' SHOW
MASSDES 73.0 kg	
INDUSTRIAL ENGINEERING	
SRINAKHARINWOT UNIVERSITY	
APPROVED	CHECK
DWG TRACING	
NAME	AUTOCAVE ASSEMBLY
DWG NO	SWU00590

SYM		REVISION RECORD	



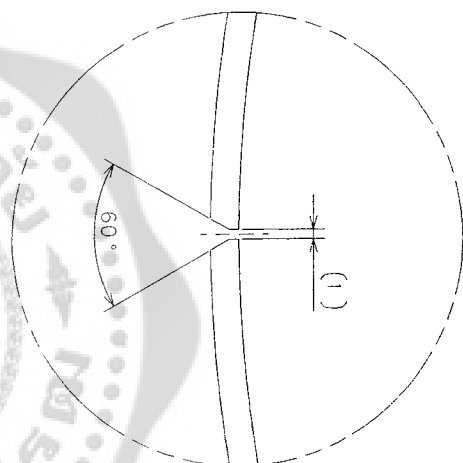
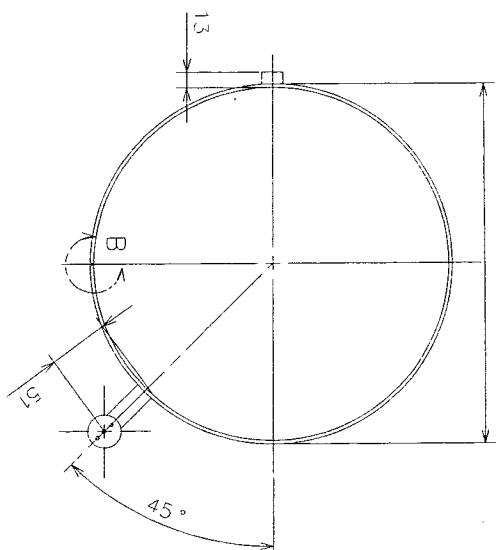
SKETCHMETRIC



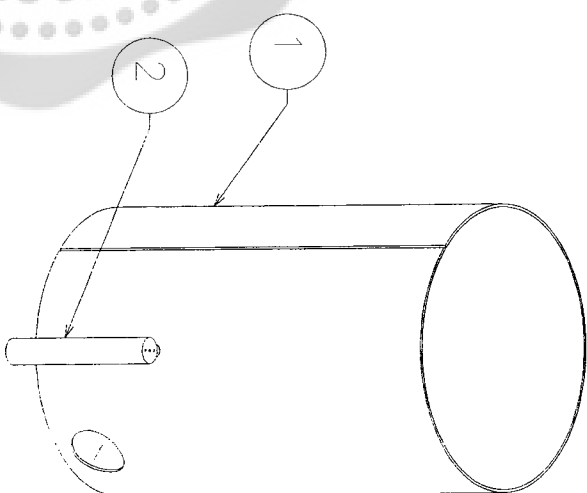
SECTION B-B

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:4)
DWG DATE	03-09-'06	MAT' SUS304 t=3.0
		MASSDES 3.5 kg
INDUSTRIAL ENGINEERING		
SRINAKHARINWROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME END CAP		
DWG NO	SWU000101	

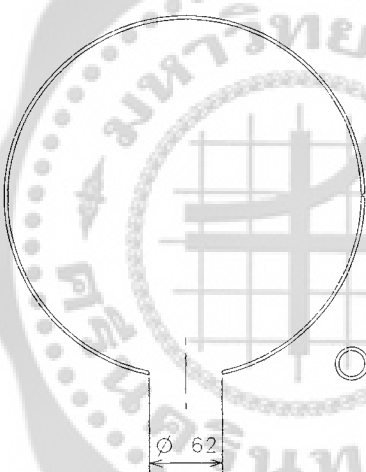
Ø 305⁰_{-0.5}



DETAIL B
SCALE 2:1



SKETCHMETRIC



SECTION A-A

2	SWU00040	SUPPORT WATER LEVEL	1
1	SWU00020	BODY	1
ITEM	PART NO	PART NAME	TOY

SYM REVISION RECORD

THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:1)
DWG DATE 03-09-06	MAT' SUS304 1=3.0
	MASSDES 10.98 kg

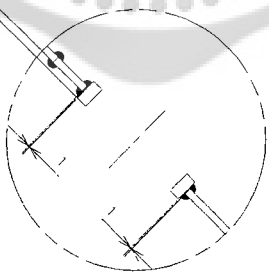
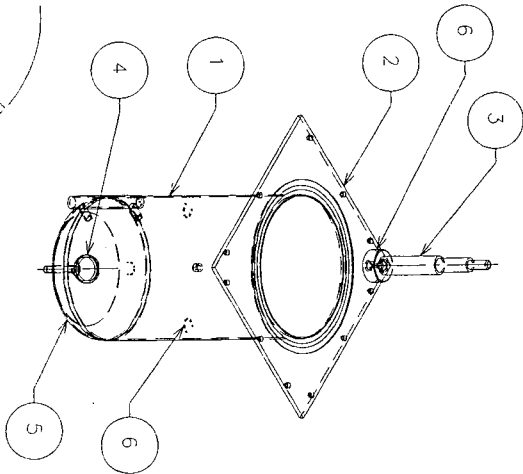
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
----------	-------	-----	---------

INDUSTRIAL ENGINEERING
SRINAKHARINWROT UNIVERSITY

NAME BODY ASM

DWG NO SWU00020

SYM		REVISION RECORD	



DETAIL D
Scale 1:2

THIRD ANGLE
PROJECTION



SCALE (1:6)

MAT' SUS304

DWG DATE 03-09-'06
MASSDES 26.24 kg



INDUSTRIAL ENGINEERING
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

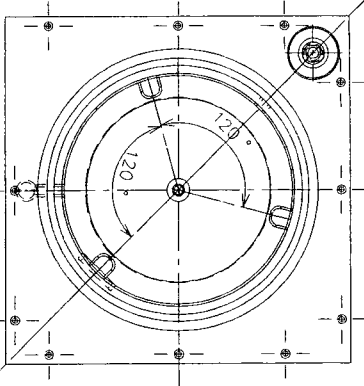
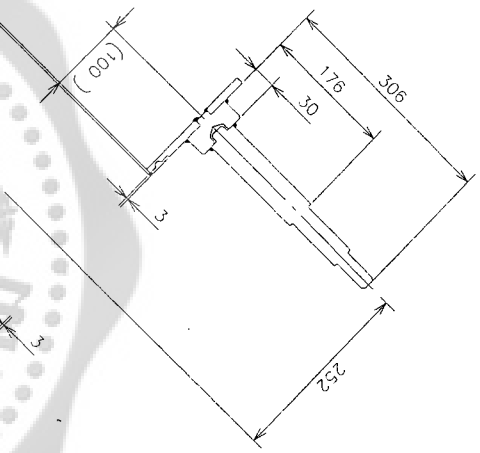
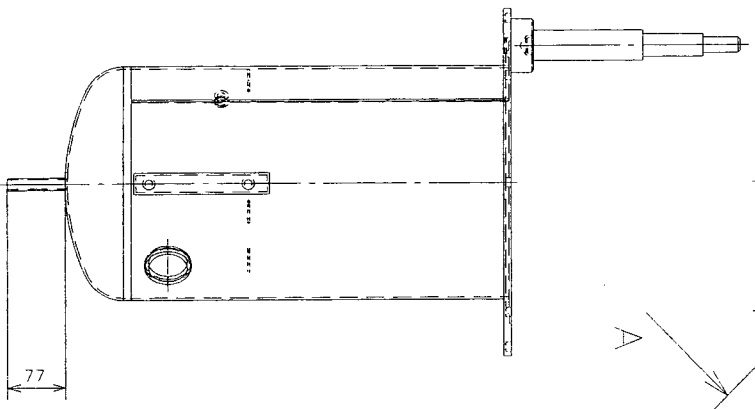
APPROVED
CHECK
DWG TRACING

NAME BODY ASSEMBLY

DWG NO SWU00040

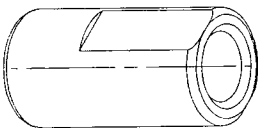
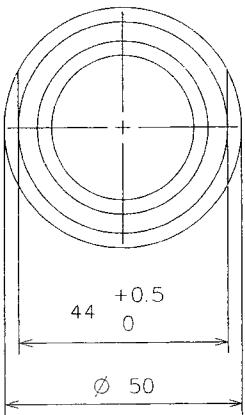
ITEM	PART NO	PART NAME	TOY
6	SWU00470	ROD SUPPORT	3
5	SWU00420	CAP BOTTOM ASM	1
4	SWU00470	SUPPORT HEATER	1
3	SWU00140	HING SUPPORT	1
2	SWU00030	PLATE TOP	1
1	SWU00020	BODY ASM	1

SECTION A-A

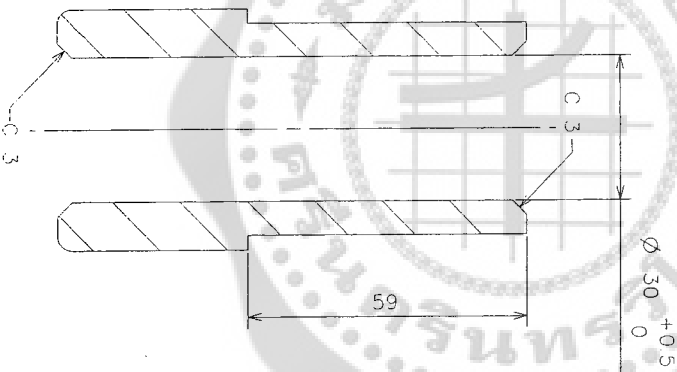
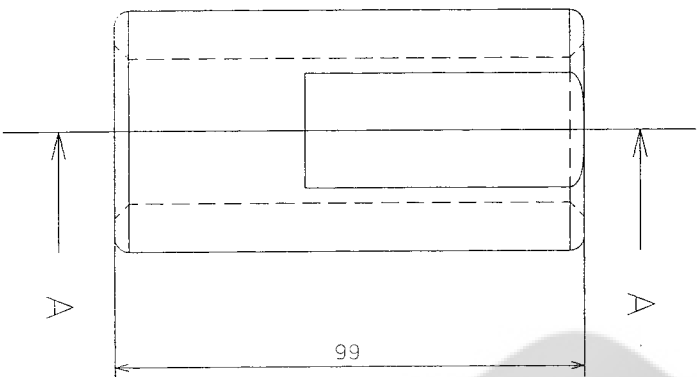


77

REVISION RECORD		
SYM		

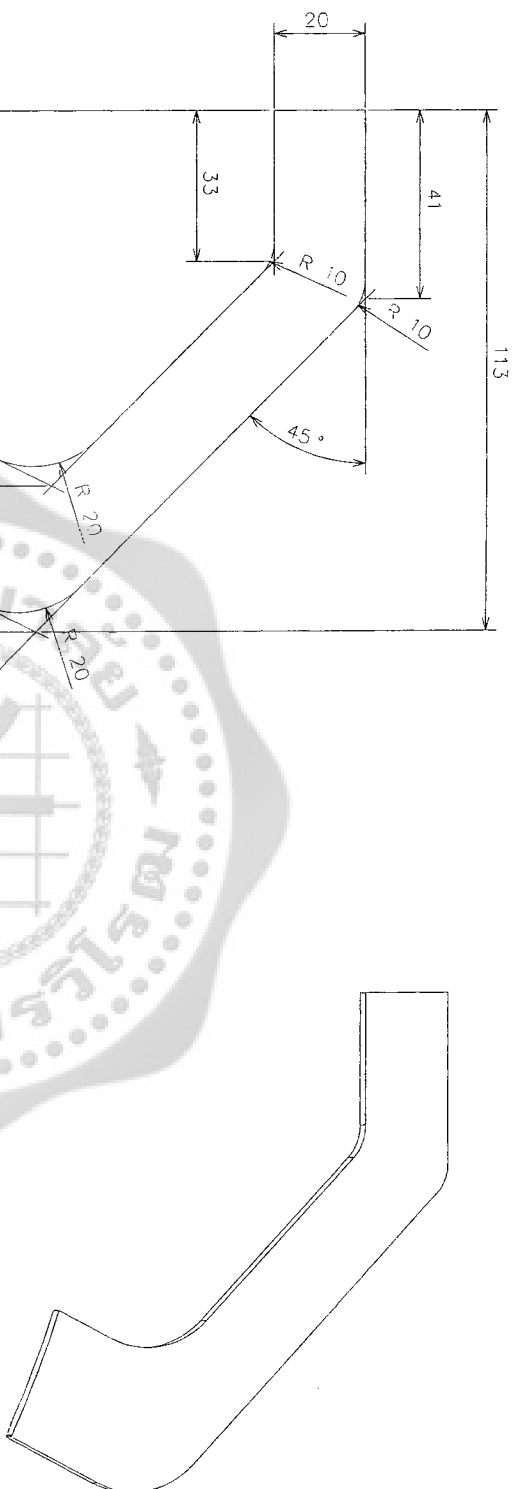


SKETCHMETRIC

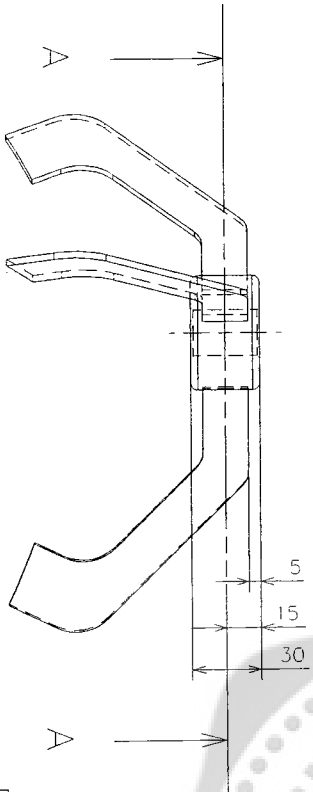
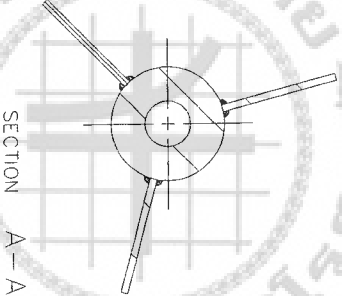
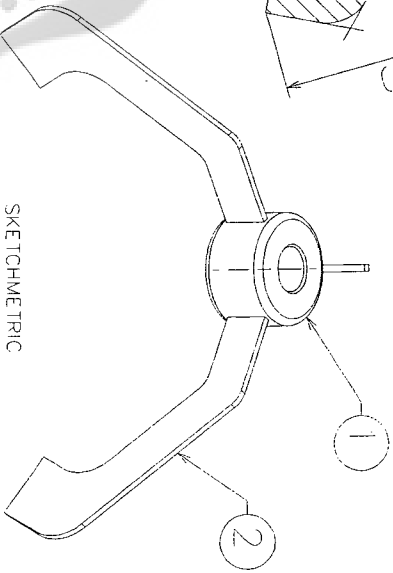
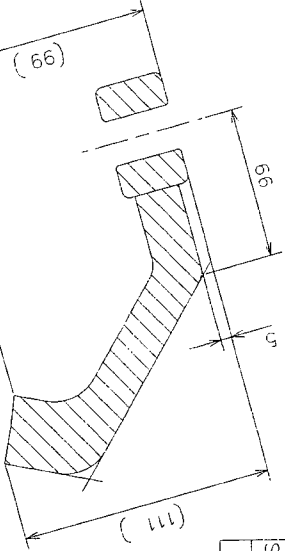
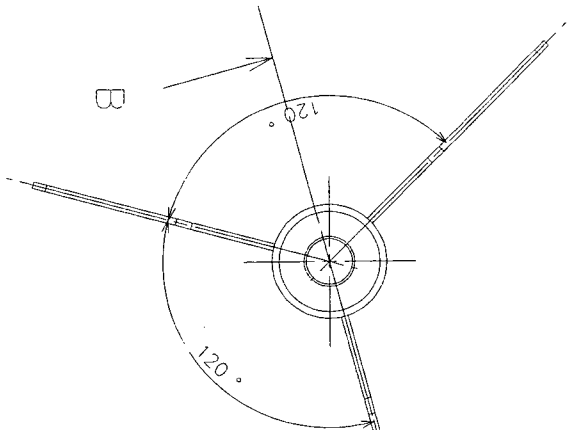


SECTION A-A

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)	
DWG DATE 03-09-06		MAT' SUS304	
MASSDES 0.91 kg			
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME SWING SUPPORT			
DWG NO SWU000050			

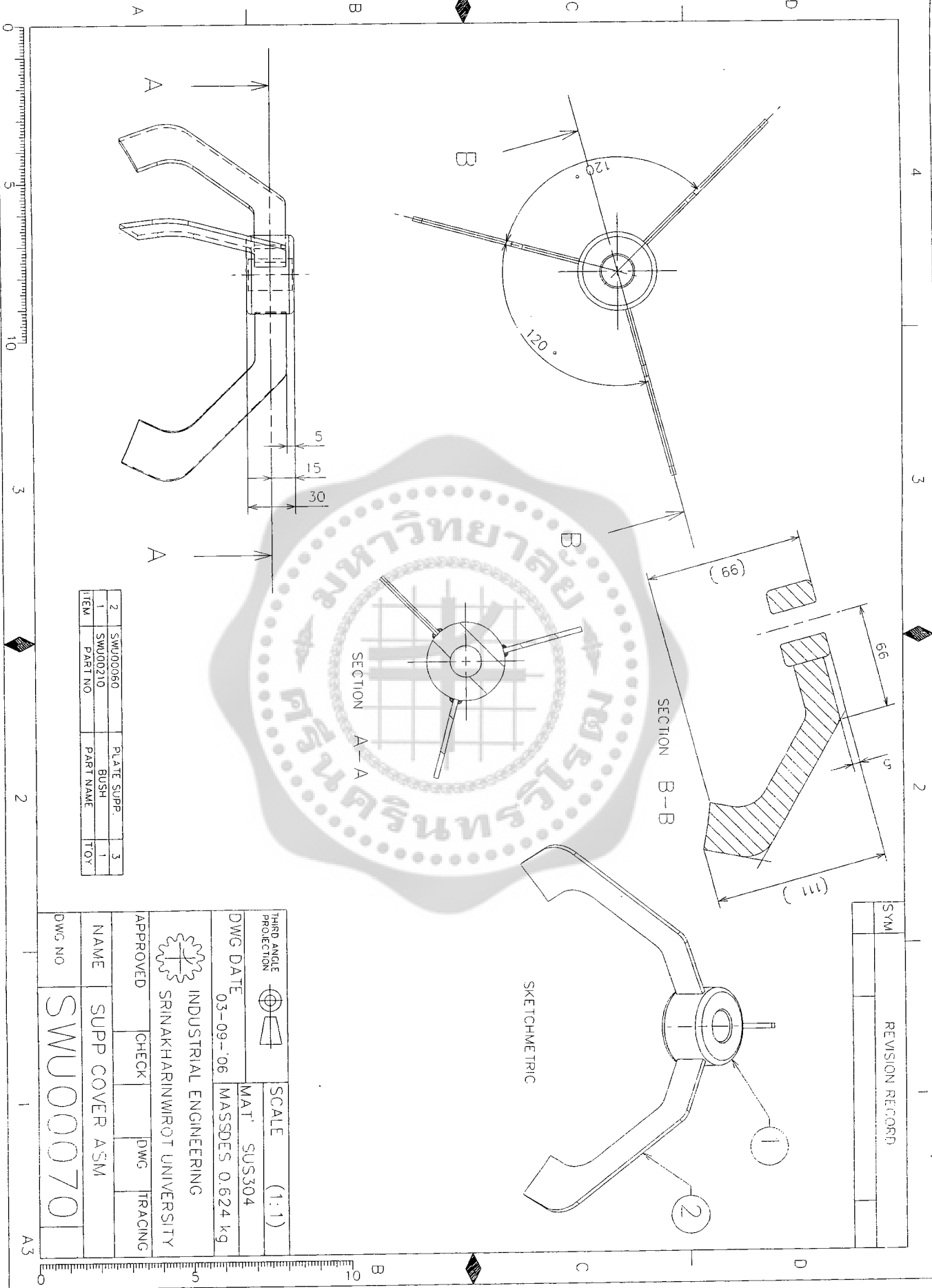


REVISION RECORD		
SYM		

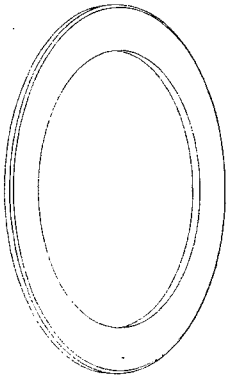


ITEM	PART NO	PART NAME
2	SWU00060	PLATE SUPP
1	SWU00210	BUSH
1		TOY

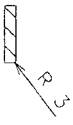
THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)	
DWG DATE 03-09-'06		MAT SUS304	
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSDES 0.624 kg	
SRINAKHARINWROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME SUPP COVER ASM			
DWG NO SWU00070			



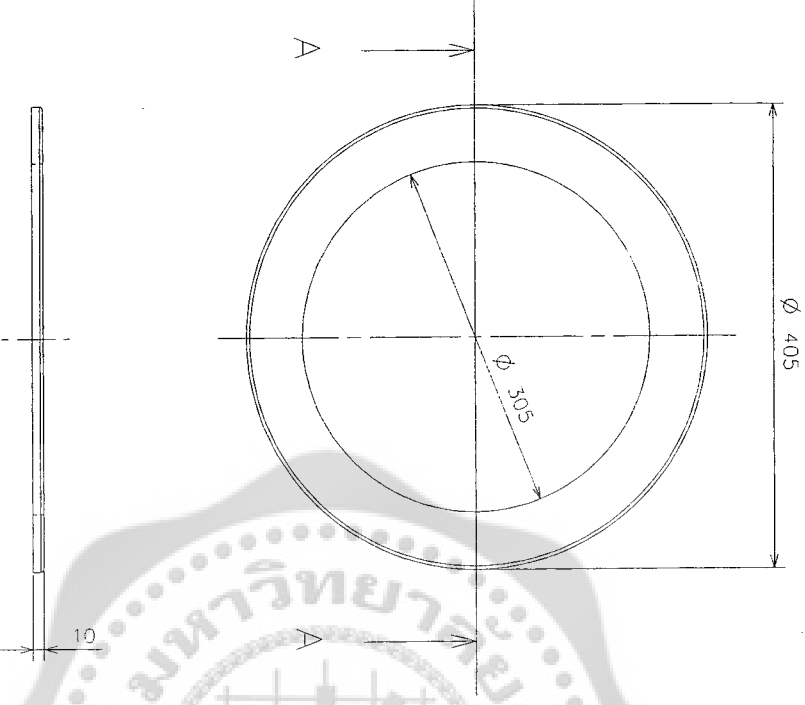
REVISION RECORD	
SYM	



SKETCHMETRIC



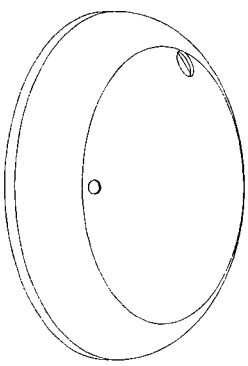
SECTION A - A



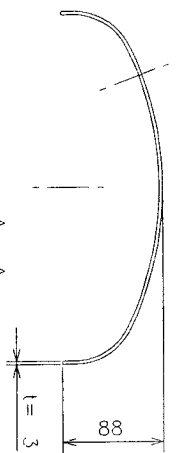
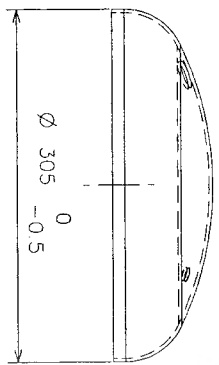
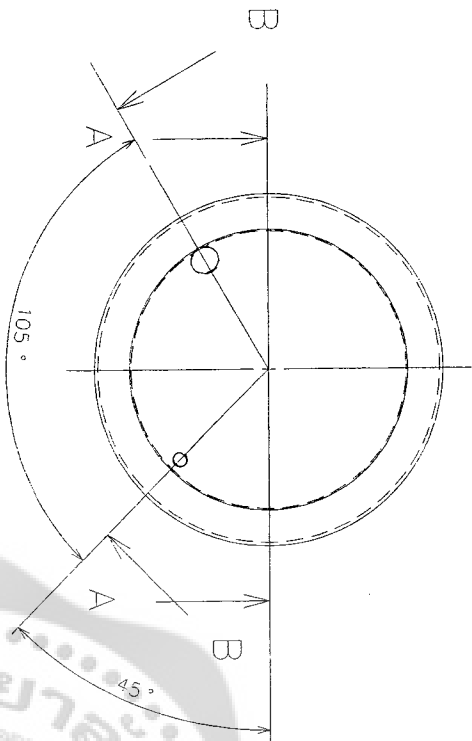
INDUSTRIAL ENGINEERING
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE	(1:1)
DWG DATE	03-09-'06	MAT	SUS304 1=3.0
		MASSDES	4.279 kg
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME	SUPPORT COVER2		
DWG NO	SWU0000801		

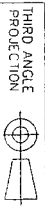
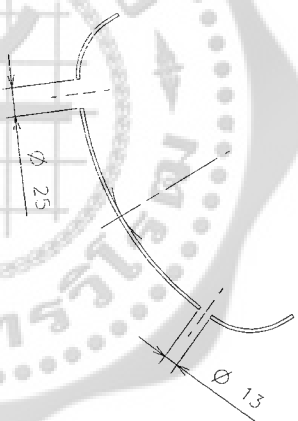
SYM		REVISION RECORD	



SKETCHMETRIC



SECTION B-B



SCALE (1:4)

DWG DATE 03-09-'06
MATERIAL SUS304 t=3.0
MASSDES 2.607 kg

INDUSTRIAL ENGINEERING
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
----------	-------	-----	---------

NAME TOP COVER

DWG NO SWU-00009

0 5 10

3

2

1

A3

4

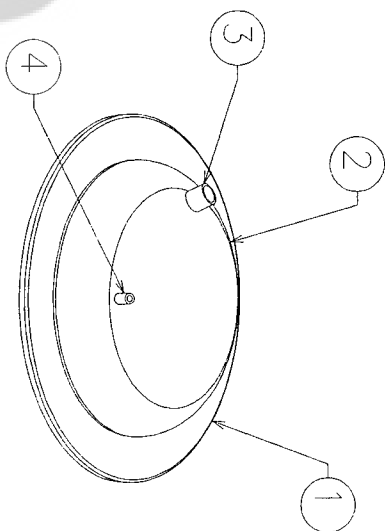
3

2

1

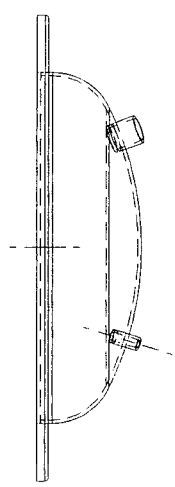
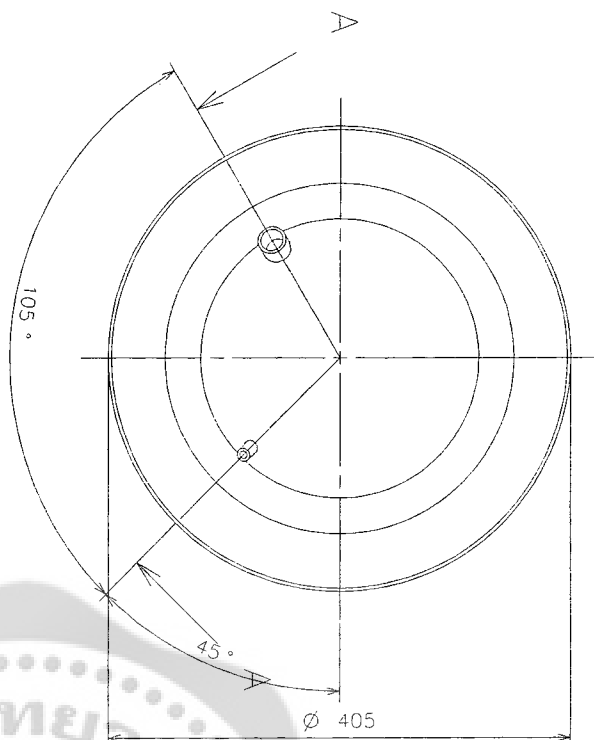
SYM

REVISION RECORD



SKETCHMETRIC

SECTION A-A



4	SWJ00500	PIPE SUPPORT	1
3	SWJ00530	PIPE SUPPORT	1
2	SWJ00090	CAP TOP	1
1	SWJ00080	PLATE COVER	1
ITEM	PART NO.	PART NAME	TOY



INDUSTRIAL ENGINEERING
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:4)
DWG DATE 03-09-06	MAT SUS304
MASDES. 6.927 kg	

APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
----------	-------	-----	---------

NAME	TOP COVER ASM.
------	----------------

DWG NO	SWJ00100
--------	----------

A

B

C

D

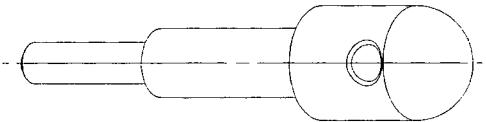
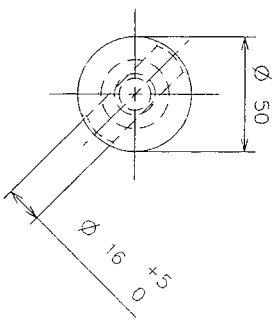


3

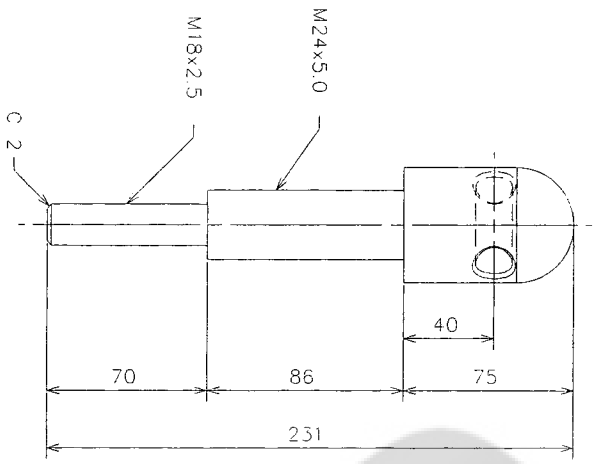
2

1

A3



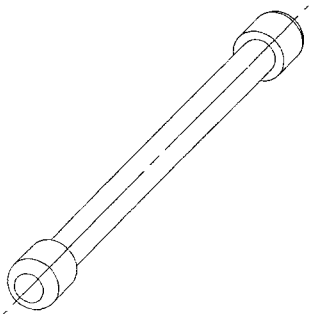
SKETCHMETRIC



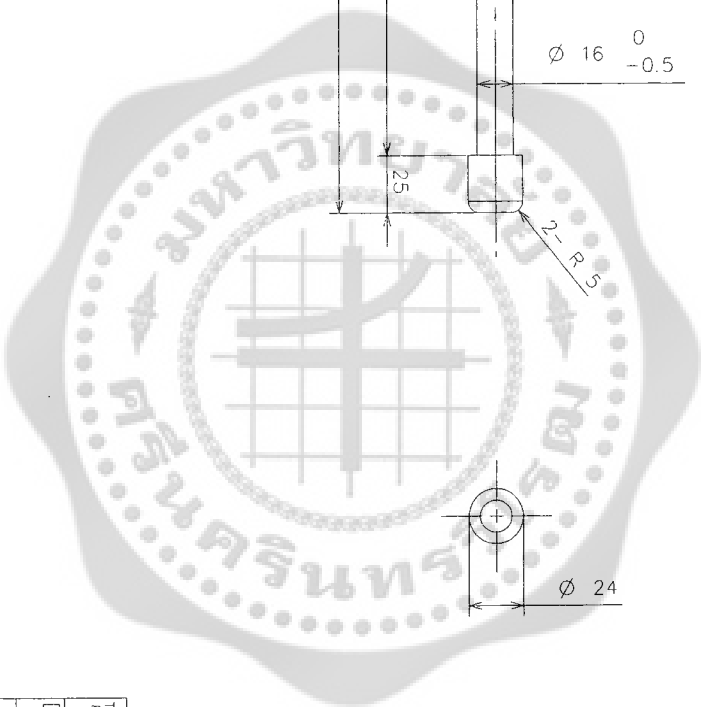
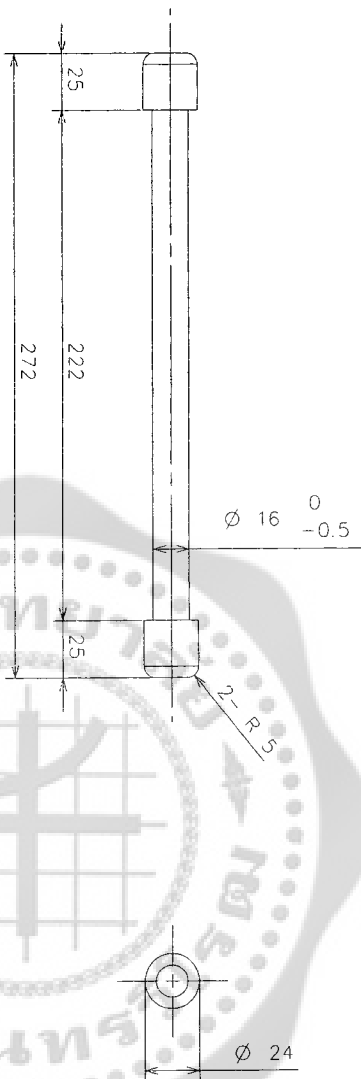
SYMBOL		REVISION RECORD	

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:2)	
DWG DATE 03-09-'06		MAT' SUS304	
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSDES 1.682 kg	
SRINAKHARINWROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME SCREW SUPP COVER I			
DWG NO SWU00110			

SYM		REVISION RECORD	



SKETCHMETRIC



THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:2)	
DWG DATE		MAT' SUS304	
03-09-'06		MASSEDES 0.520 kg	
 INDUSTRIAL ENGINEERING SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME ROD SUPPORT			
DWG NO		SWU001201	

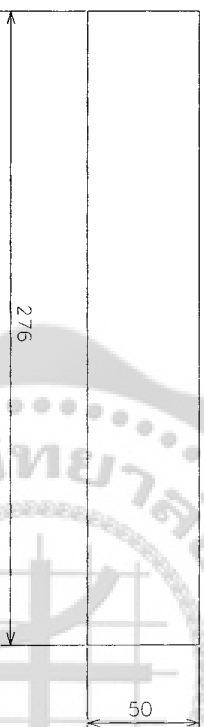
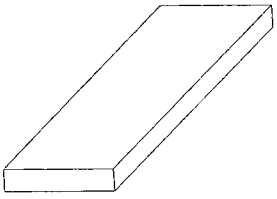
4

3

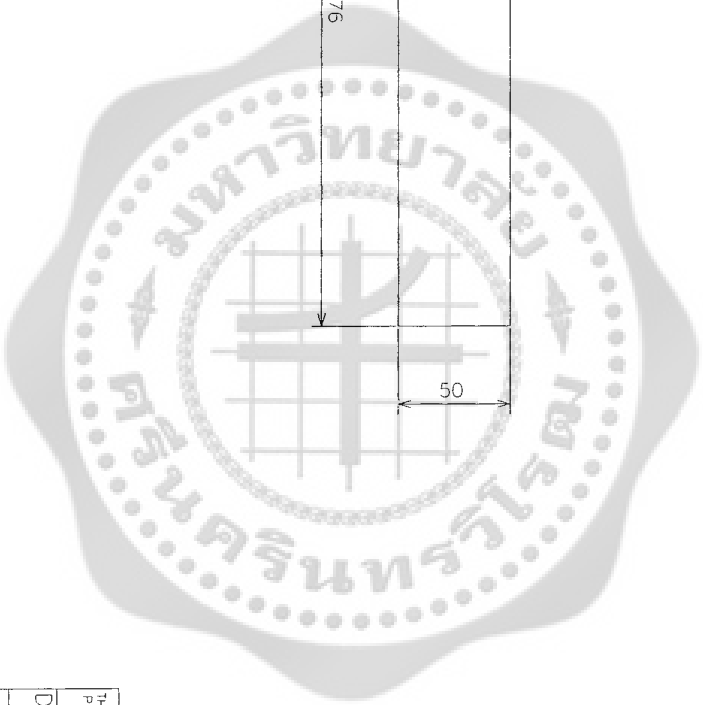
2

1

REVISION RECORD	
SYM	

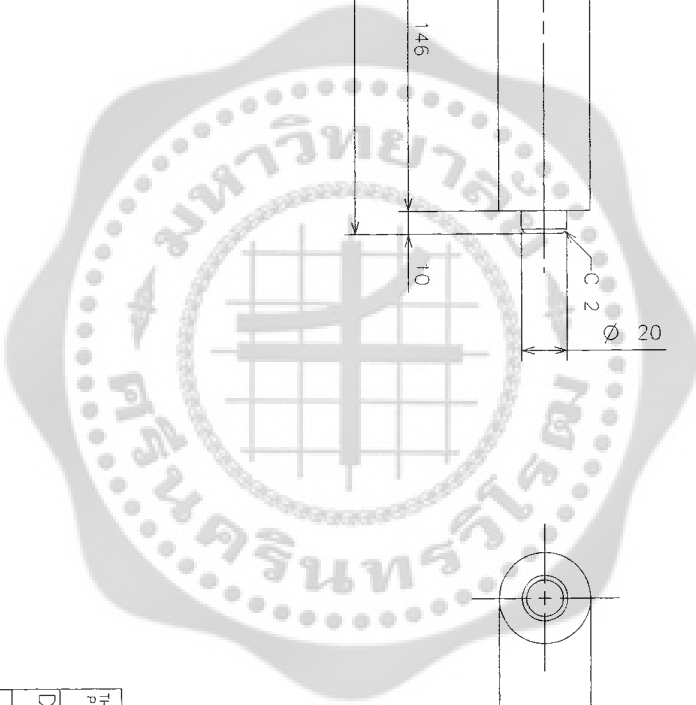
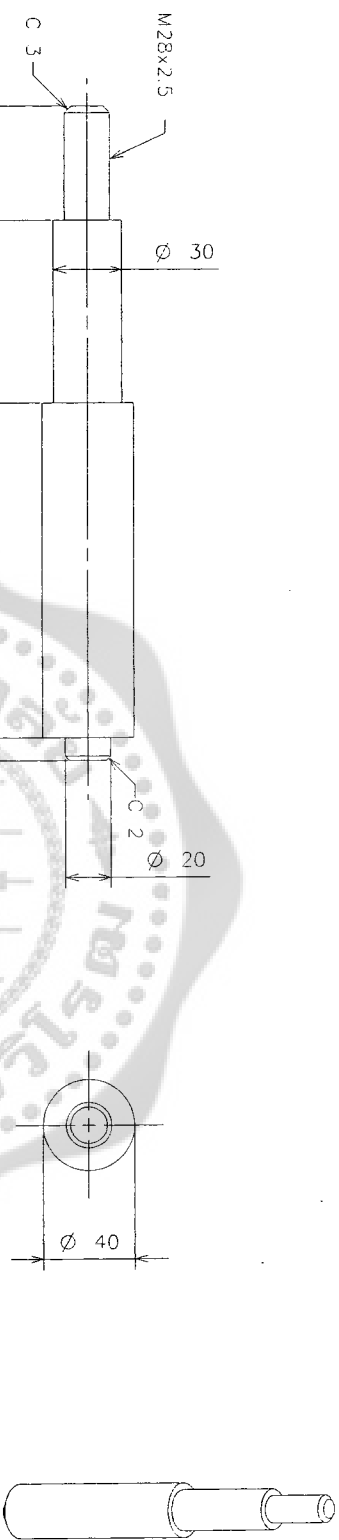


SKETCHMETRIC



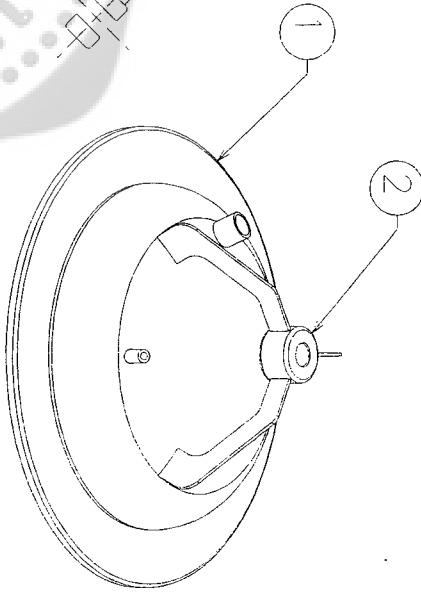
THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:2)	
DWG DATE 03-09-'06		MAT' SUS304	
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSEDES 0.000 kg	
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME		PLATE SUPP COVER	
DWG NO		SWU00130	

REVISION RECORD	
SYM	

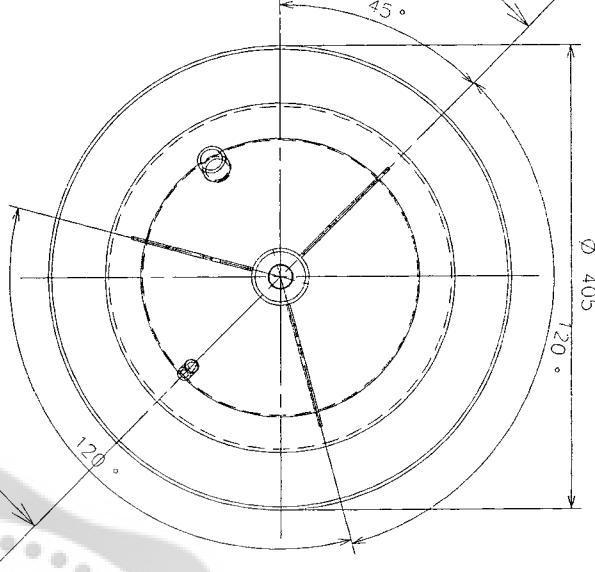
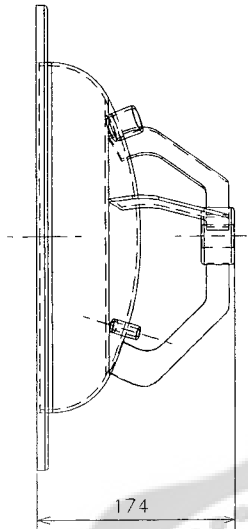


THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:2)
DWG DATE	MAT SUS304
03-10-'06	MASSDES 2 024 kg
INDUSTRIAL ENGINEERING	
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY	
APPROVED	CHECK
NAME	SHAFT
DWG NO	SWU00140

SYM		REVISION RECORD	



SKETCHMETRIC

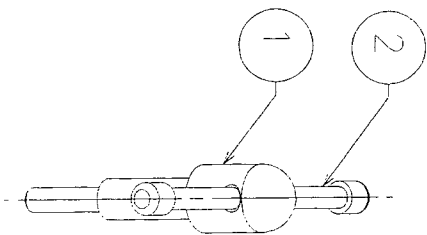


SECTION A-A

2	SMU00076	TOP COVER SUPP.	1
1	SMU00010	TOP COVER ASM	1
ITEM	PART NO.	PART NAME	TOY

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:4)
DWG DATE	03-09-'05	MAT' SUS304
		MASSDES 7.551 kg
INDUSTRIAL ENGINEERING		
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME TOP COVER ASSEMBLY		
DWG NO	SWU00160	

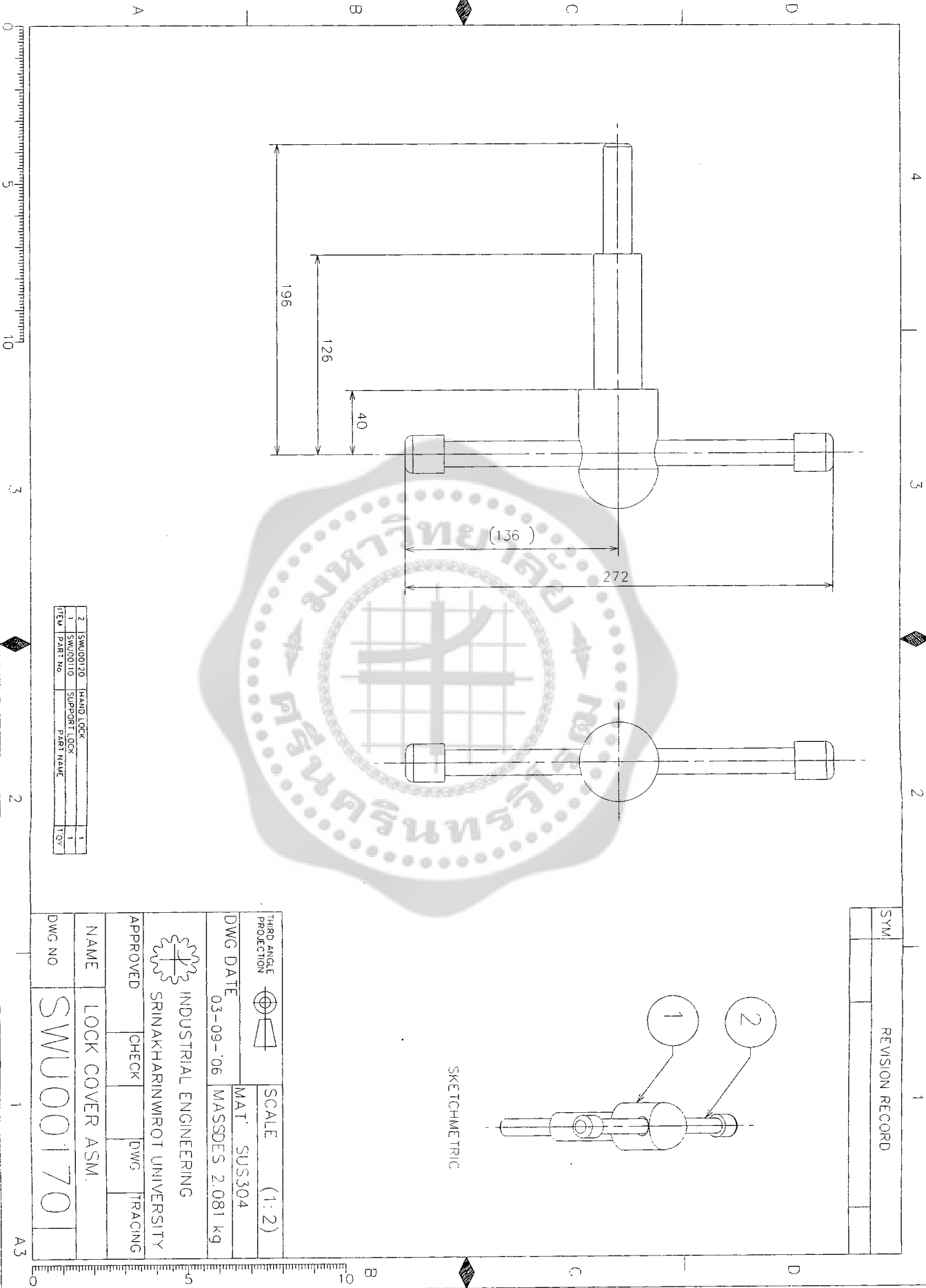
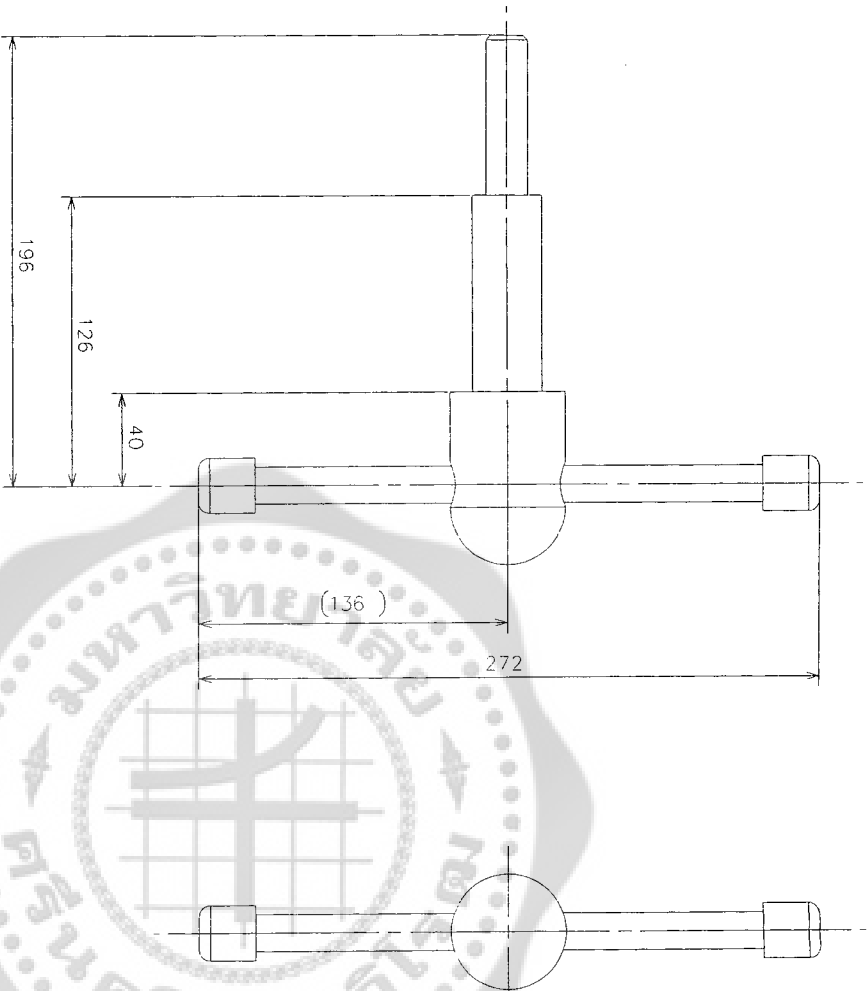
REVISION RECORD	
SYM	



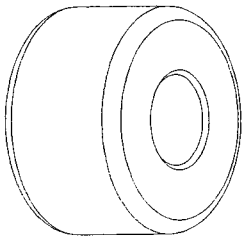
SKETCHMETRIC

2	SWU00170	HAND LOCK	1
1	SWU0010	SUPPORT LOCK	1
ITEM	PART No.	PART NAME	QTY

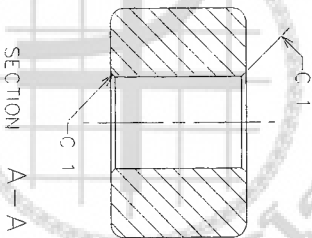
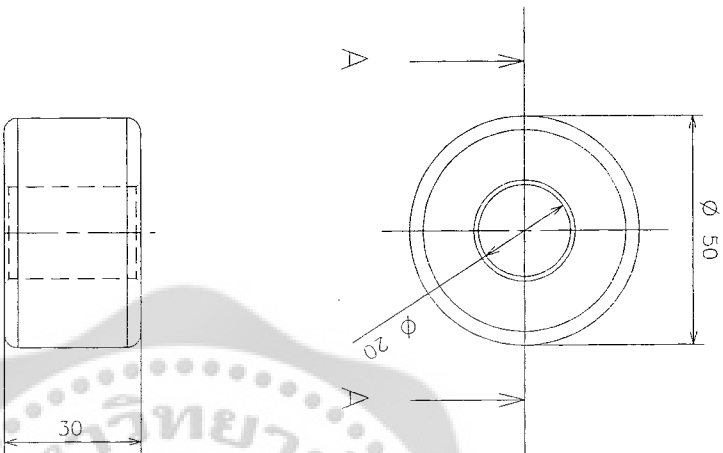
THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:2)	
DWG DATE 03-09-'06		MAT' SUS304	
		MASDES 2.081 kg	
INDUSTRIAL ENGINEERING SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME LOCK COVER ASM.			
DWG NO SWU00170			



REVISION RECORD			
SYM			



SKETCHMETRIC



THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:1)
------------------------	-------------

DWG DATE	MAT
03-09-'06	SUS304
	MASSDES. 0.382 kg

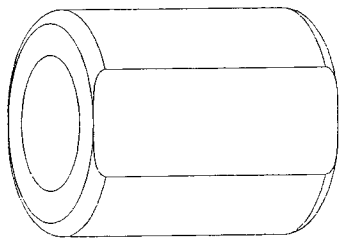
INDUSTRIAL ENGINEERING
SRINAKHARINWROTI UNIVERSITY

APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
----------	-------	-----	---------

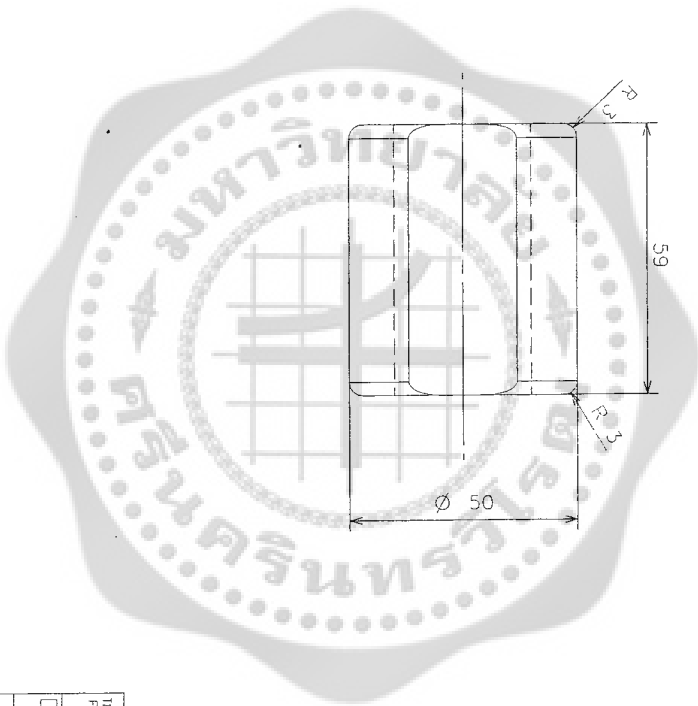
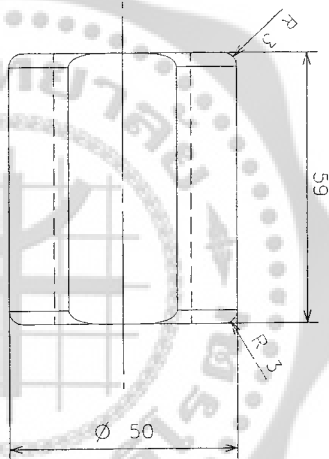
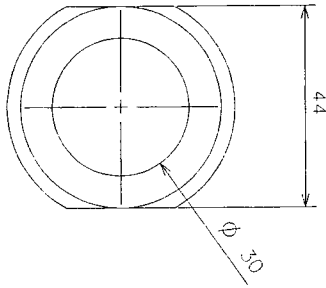
NAME	ROD SUPPORT
------	-------------

DWG NO	SWU002101
--------	-----------

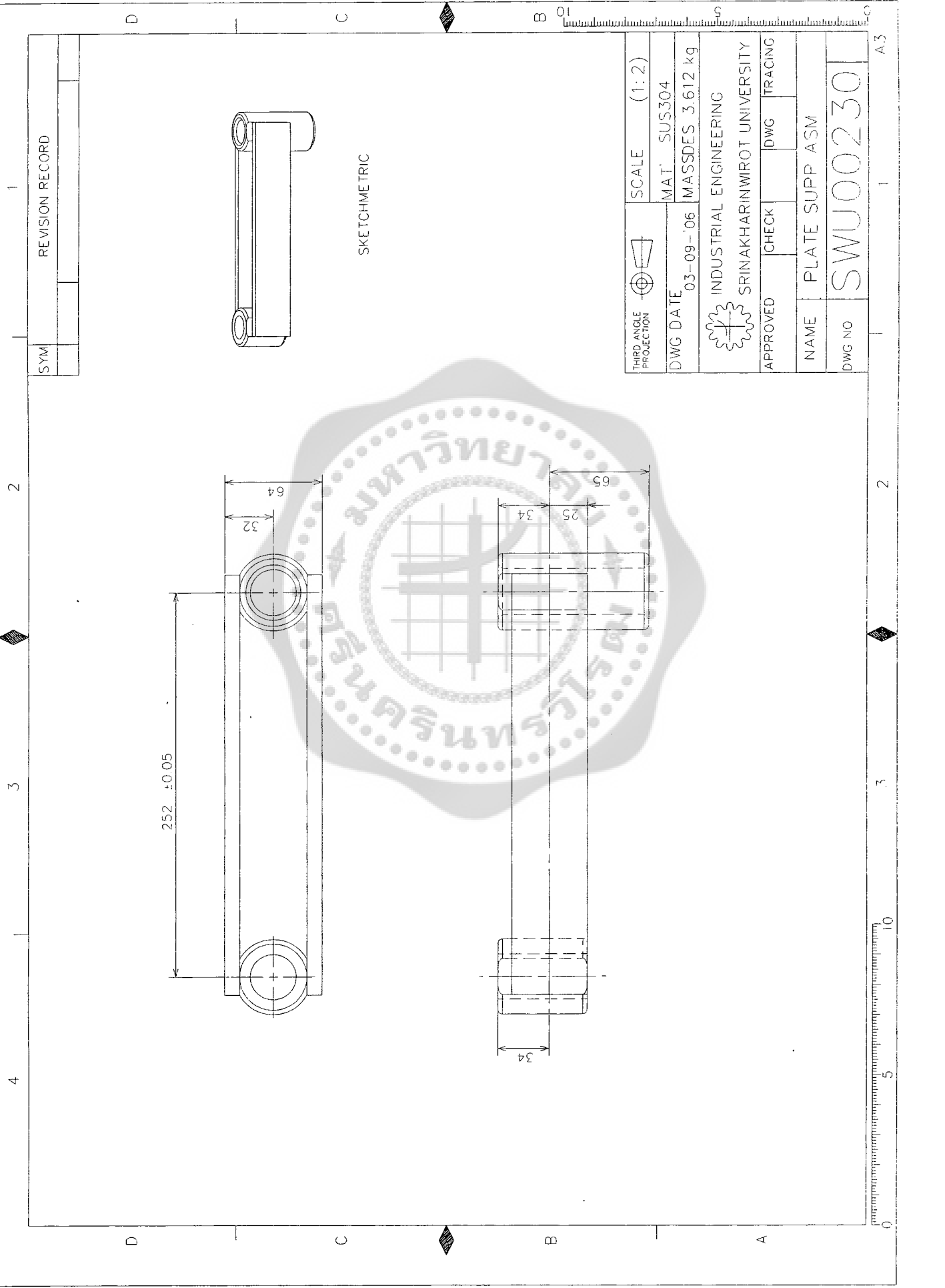
SYMBOL		REVISION RECORD	



SKETCHMETRIC



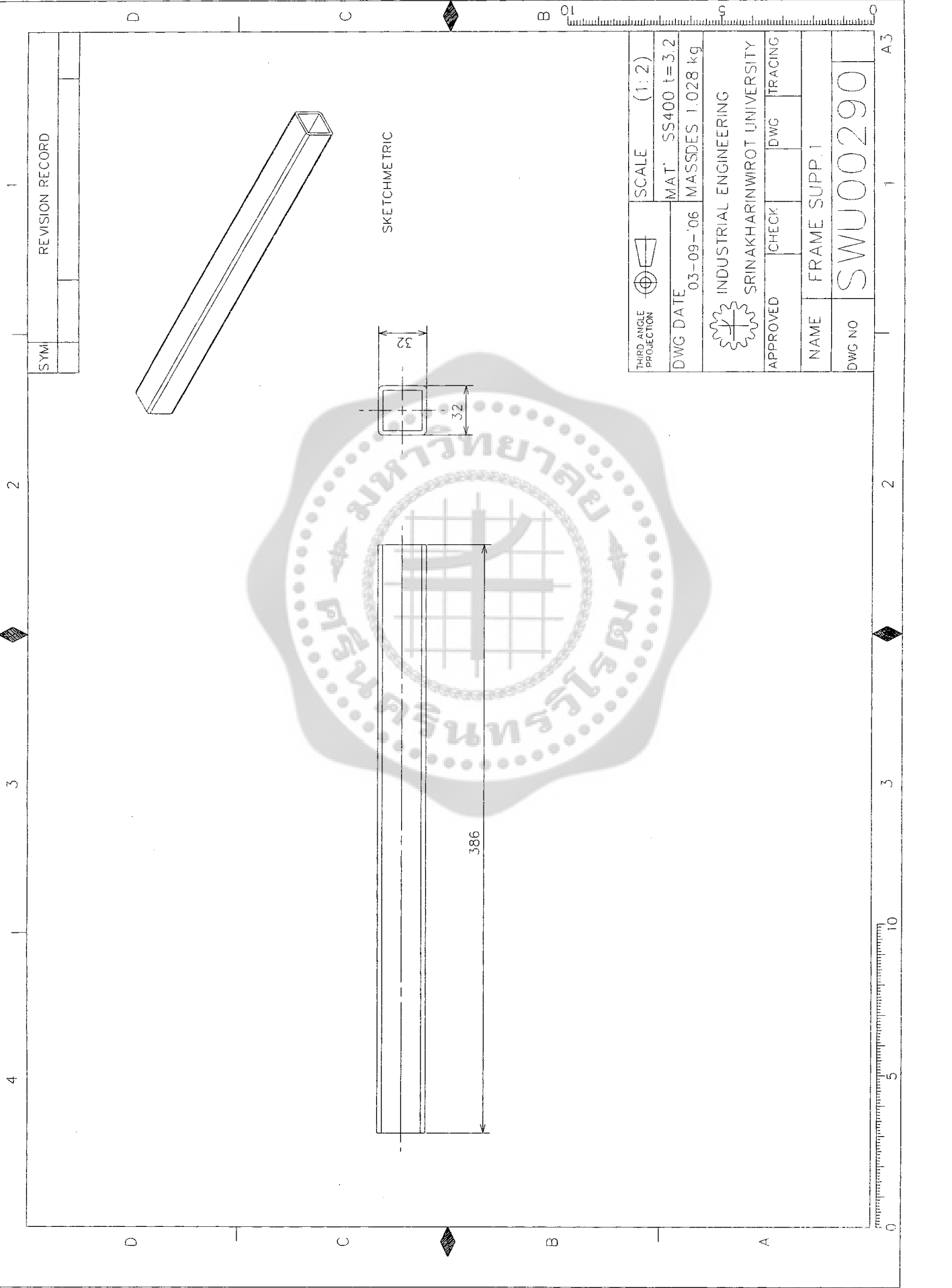
THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)
DWG DATE	10-17-'05	MAT' SS304
		MASDES 0.425 kg
INDUSTRIAL ENGINEERING		
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG. TRACING
NAME	ROD SUPP2	
DWG. NO	SWU000020	



REVISION RECORD

SYM

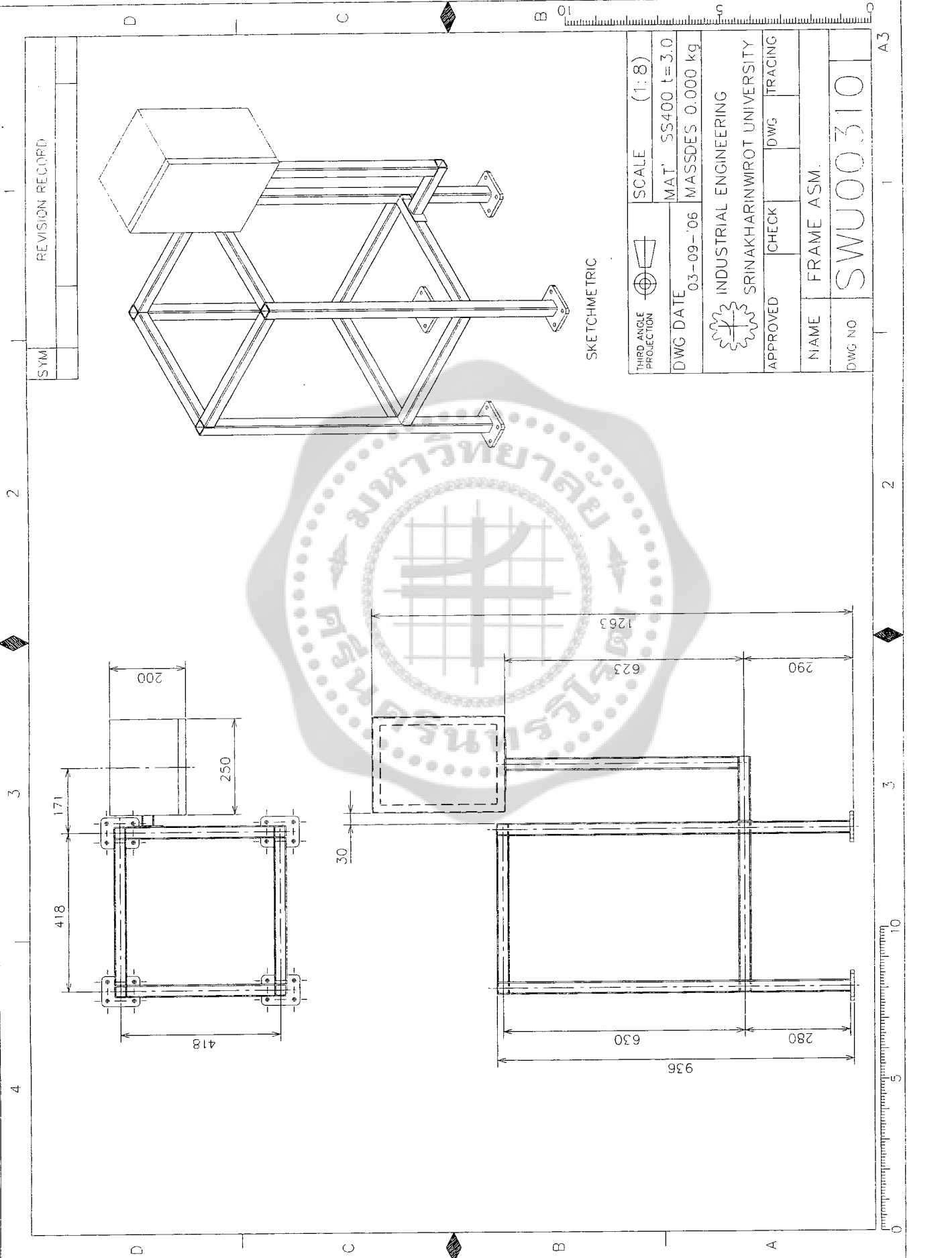
THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:2)		
DWG DATE 03-09-'06	MAT SUS304		
MASDES 3.612 kg			
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME PLATE SUPP ASM			
DWG NO	SWU00230		



REVISION RECORD

SYM

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:2)
DWG DATE	03-09-'06	MAT' SS400 t=3.2
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSDES 1.028 kg
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME FRAME SUPP.1		
DWG NO	SWU002901	



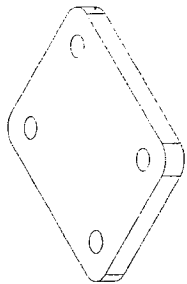
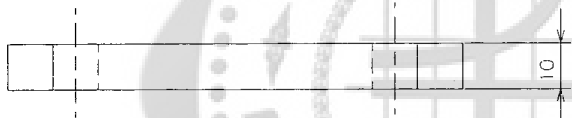
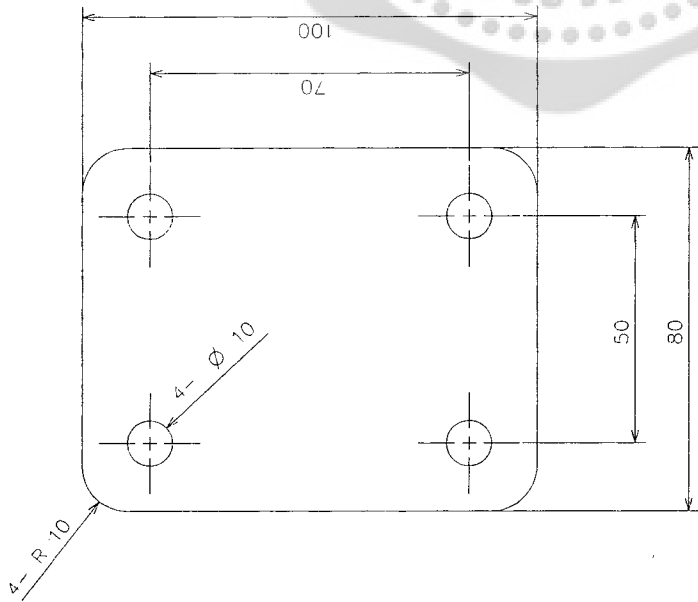
REVISION RECORD	
SYM	

THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:8)		
DWG DATE 03-09-'06	MAT' SS400 t=3.0		
MASSE'S 0.000 kg			
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME FRAME ASM.			
DWG NO	SWU00310		

SKETCHMETRIC

REVISION RECORD

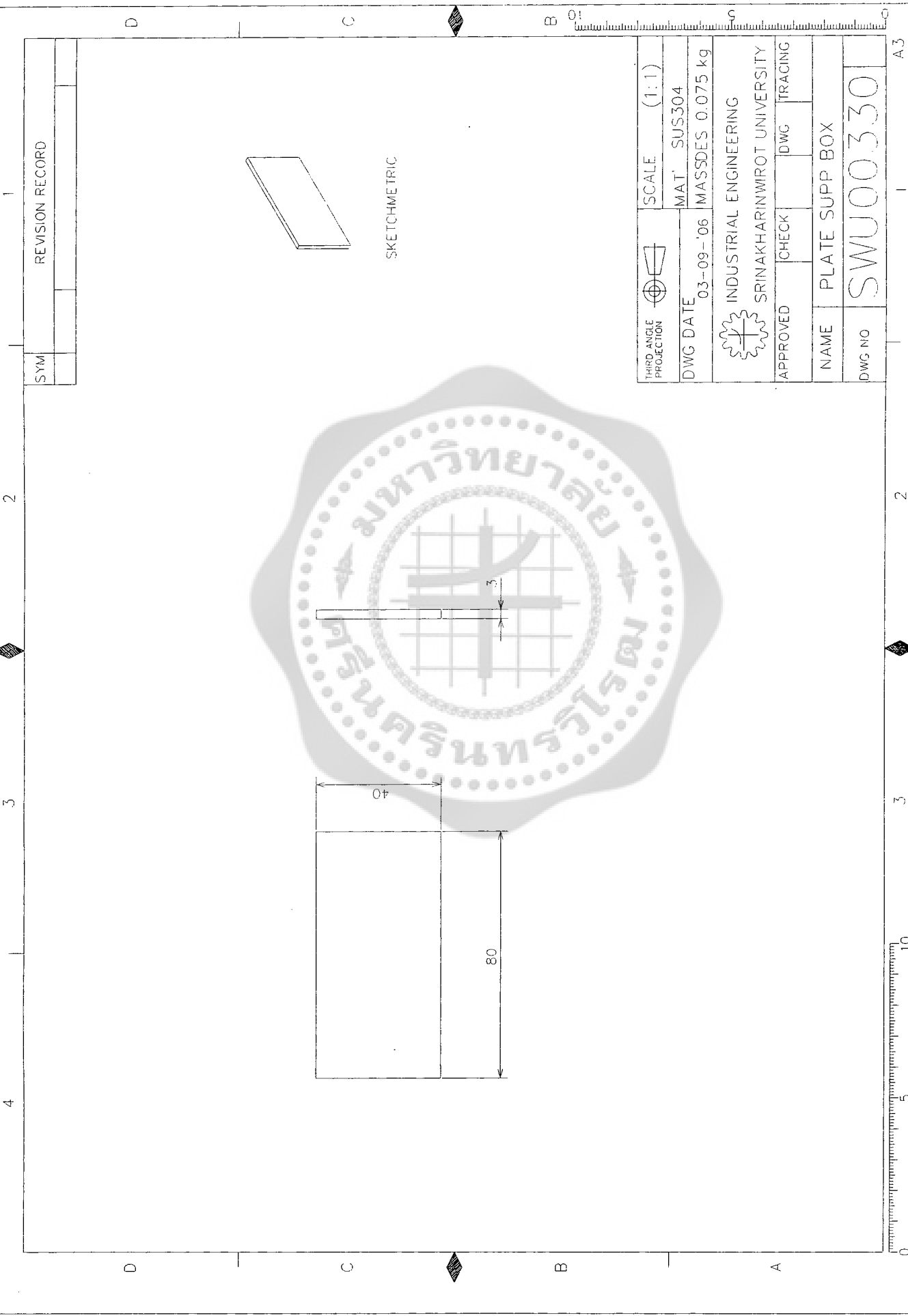
SYM



SKETCHMETRIC

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)
DWG DATE	03-09-'06	MAT' SS400
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSDES 0.595 kg
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME BASE SUPPORT		
DWG NO	SWU-0032	

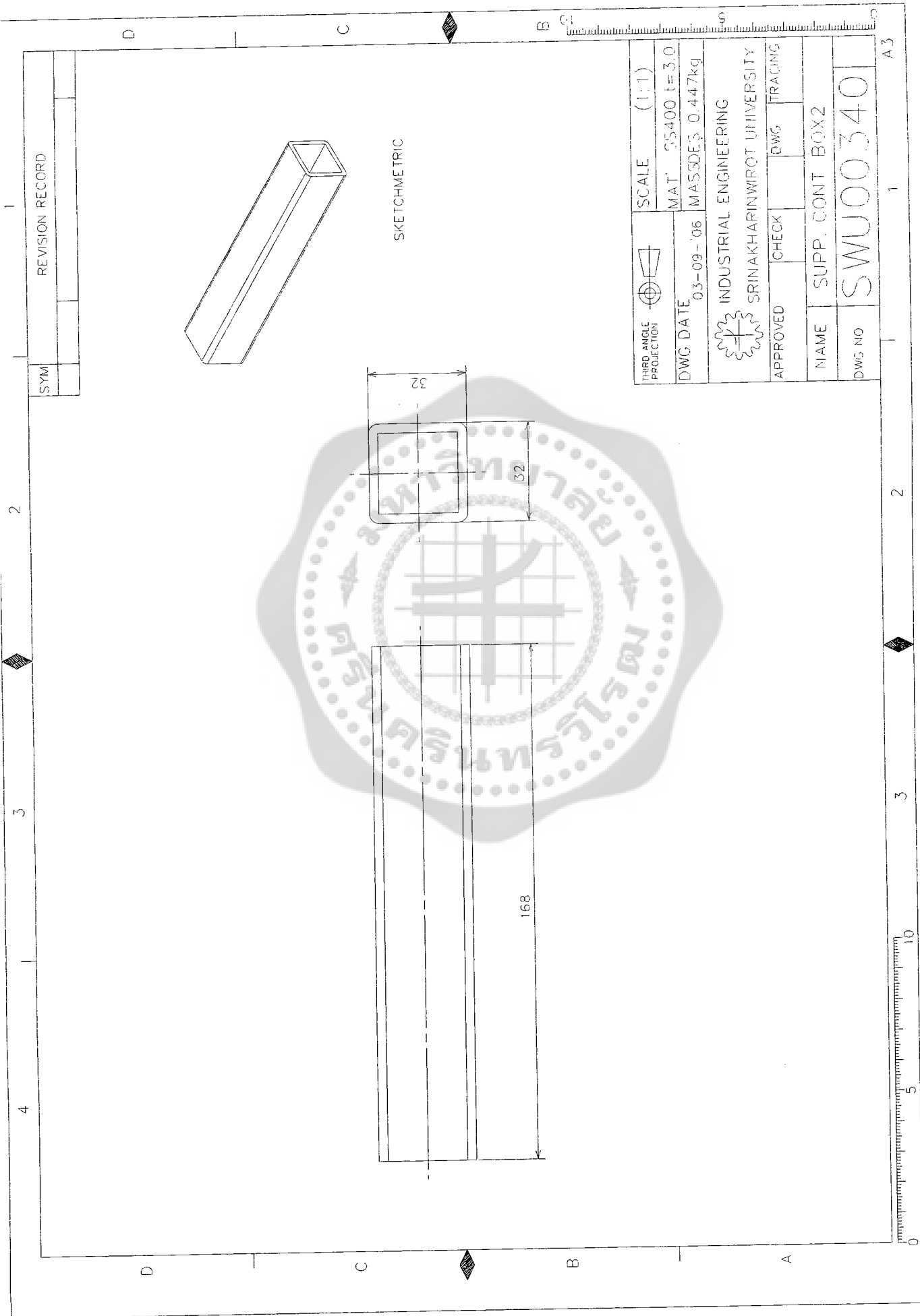
0 1 2 3 4 5 10



REVISION RECORD

SYM

THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:1)		
DWG DATE 03-09-'06	MAT SUS304		
MASSDES 0.075 kg			
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME PLATE SUPP BOX			
DWG NO	SWU00330		

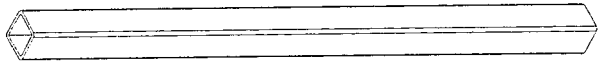


REVISION RECORD

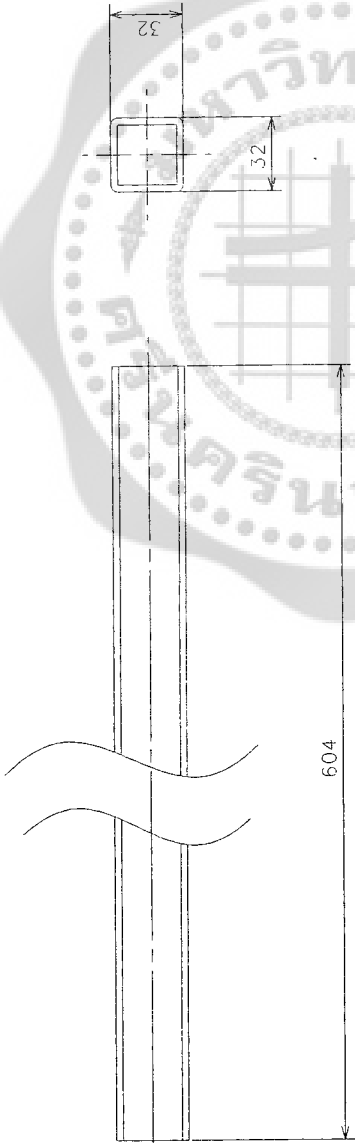
SYM

	THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:1)
	DWG DATE 03-09-'06	MAT SS400 t=3.0
MASSDE 0.447kg		INDUSTRIAL ENGINEERING
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		APPROVED
CHECK	DWG	TRACING
NAME SUPP. CONT BOX2		
DWG NO	SWU00340	

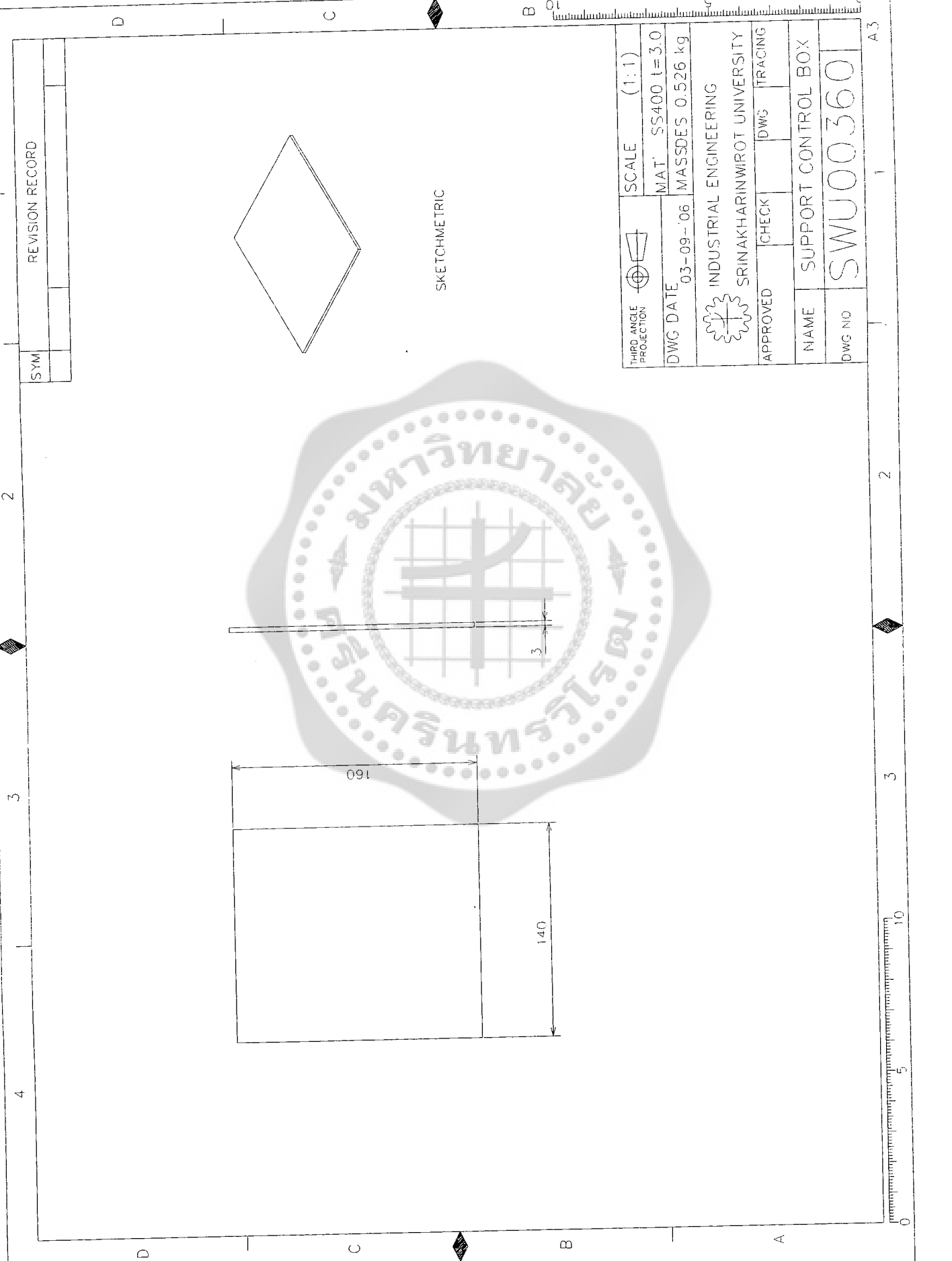
REVISION RECORD	
SYM	



SKETCHMETRIC



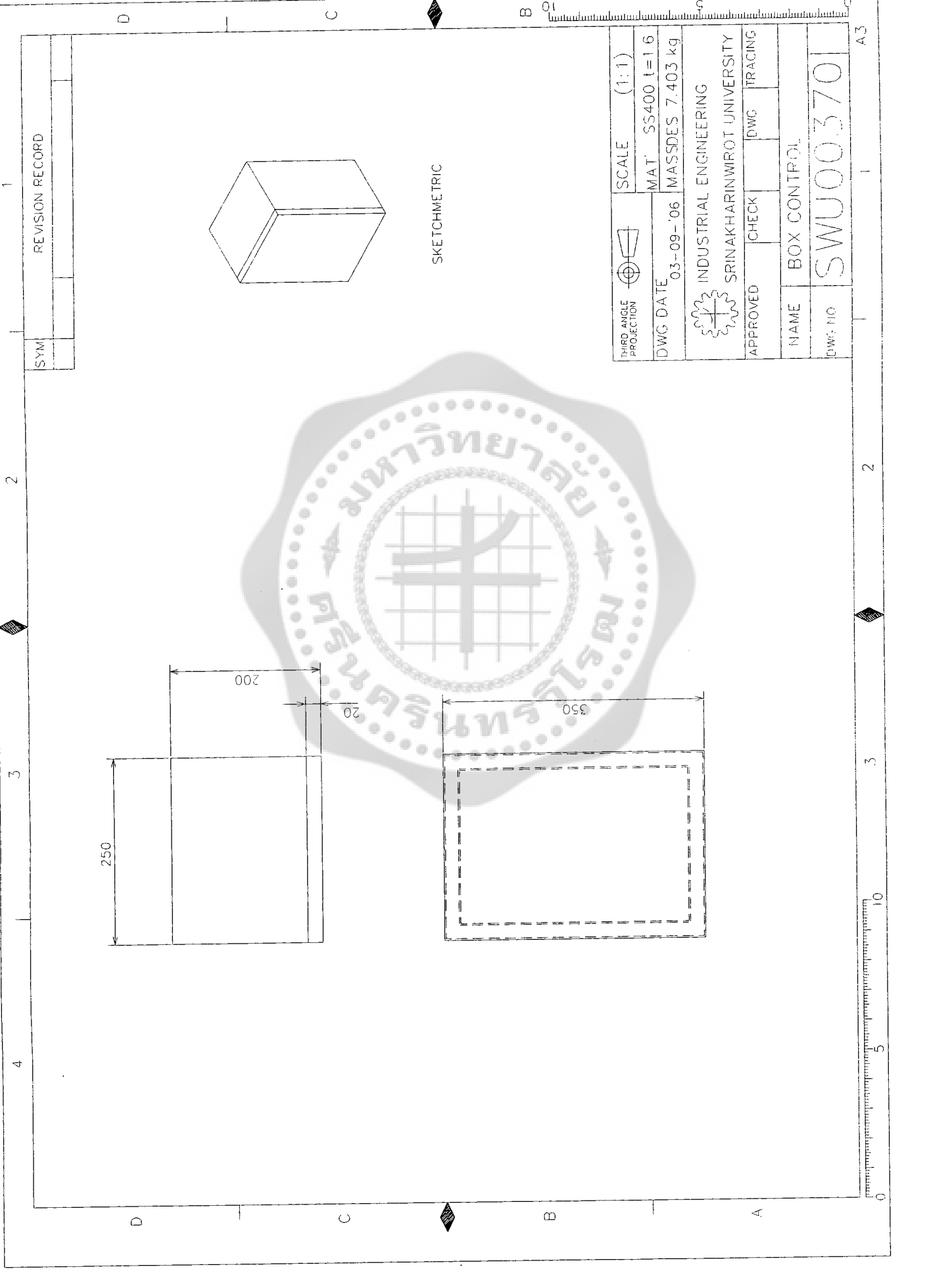
THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:1)
DWG DATE 03-09-'06	MAT' SS400 t=3.0
MASSDES 1.609 kg	
INDUSTRIAL ENGINEERING	
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY	
APPROVED	CHECK
DWG	TRACING
NAME SUPP. CONT. BOX 3	
DWG NO SWU-0035	



REVISION RECORD	
SYM	

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)
DWG DATE	03-09-'06	MAT SS400 t=3.0
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSDES 0.526 kg
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME SUPPORT CONTROL BOX		
DWG NO	SWU00360	



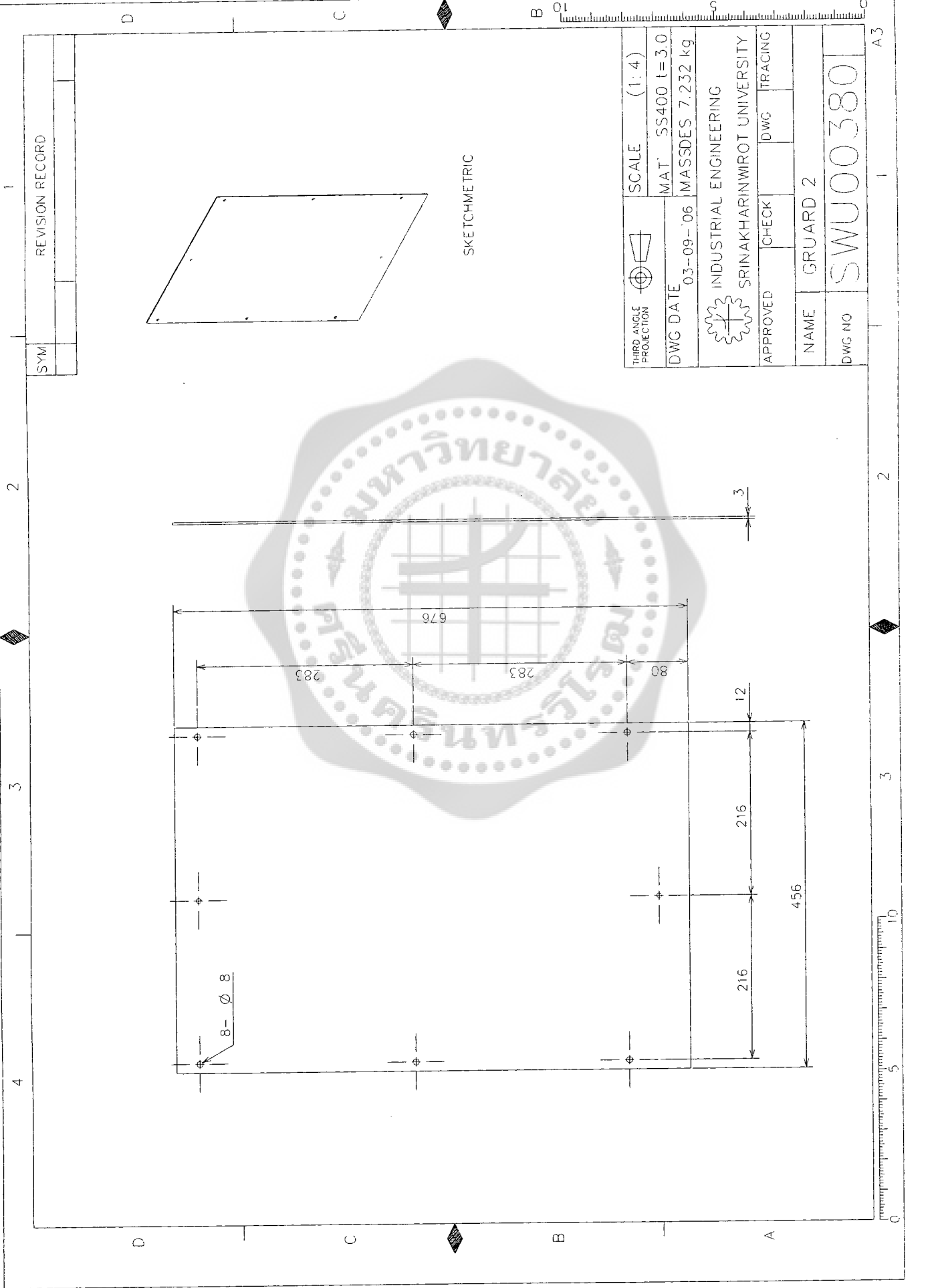


REVISION RECORD

SYM

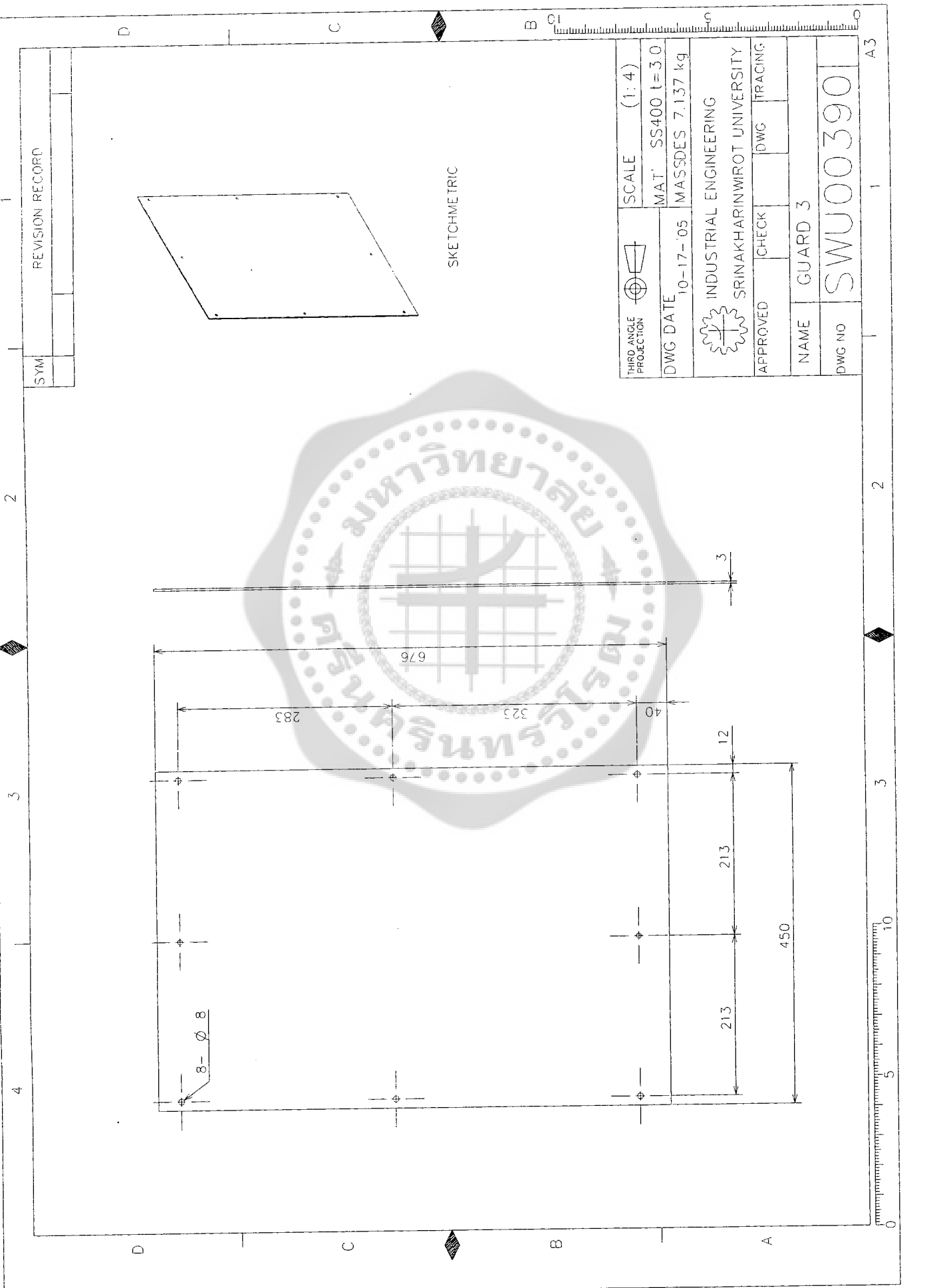
THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)
DWG DATE	03-09-'06	MAT SS400 t=1.6
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSDES 7.403 kg
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME BOX CONTROL		
DWG NO	SWU00370	

0 5 10 3 2 1 A3



REVISION RECORD	
SYM	

THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:4)		
DWG DATE 03-09-'06	MAT' SS400 t=3.0		
	MASSDES 7.232 kg		
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME		GUARD 2	
DWG NO		SWU00380	

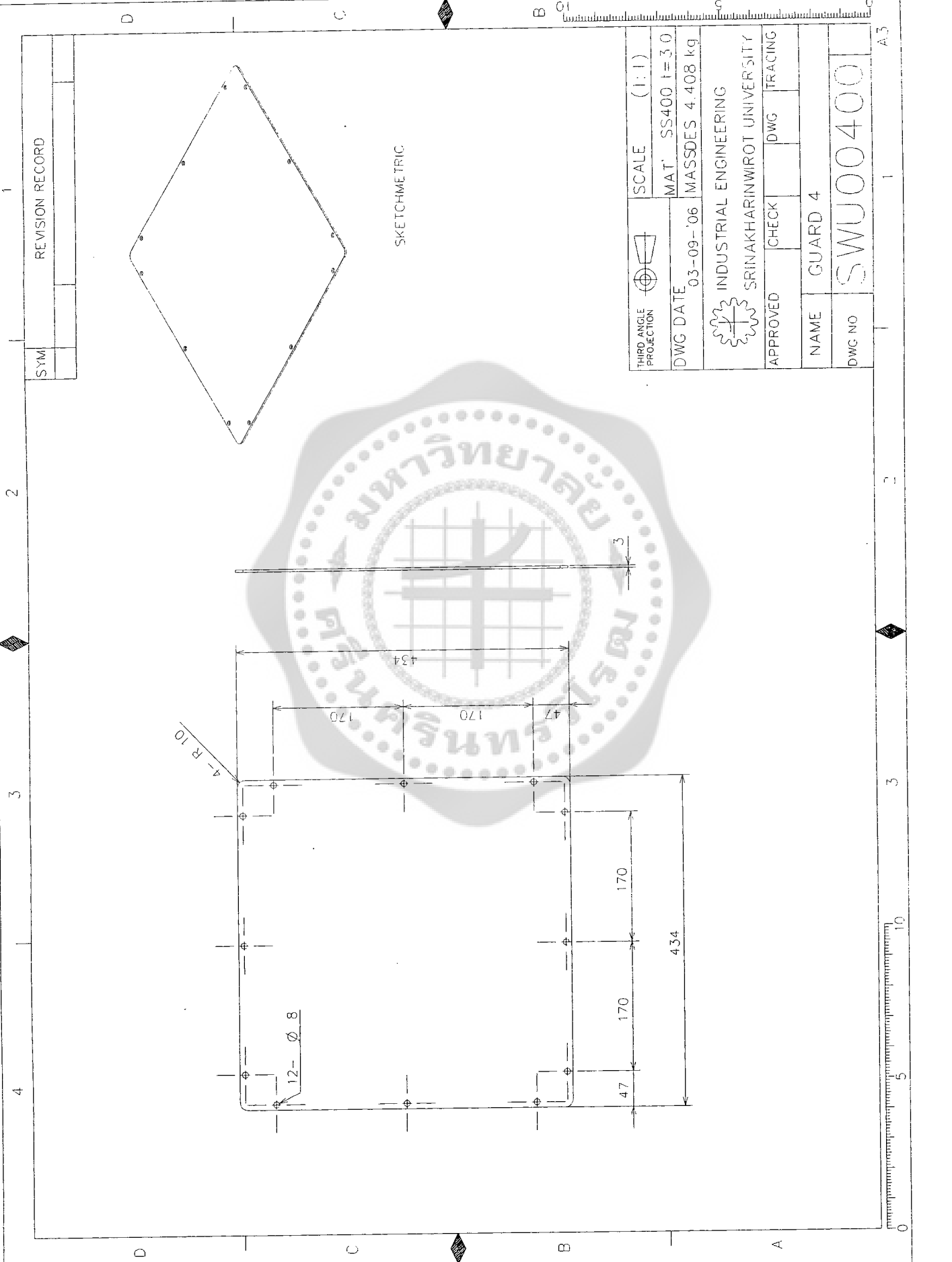


SKETCHMETRIC

REVISION RECORD

SYM

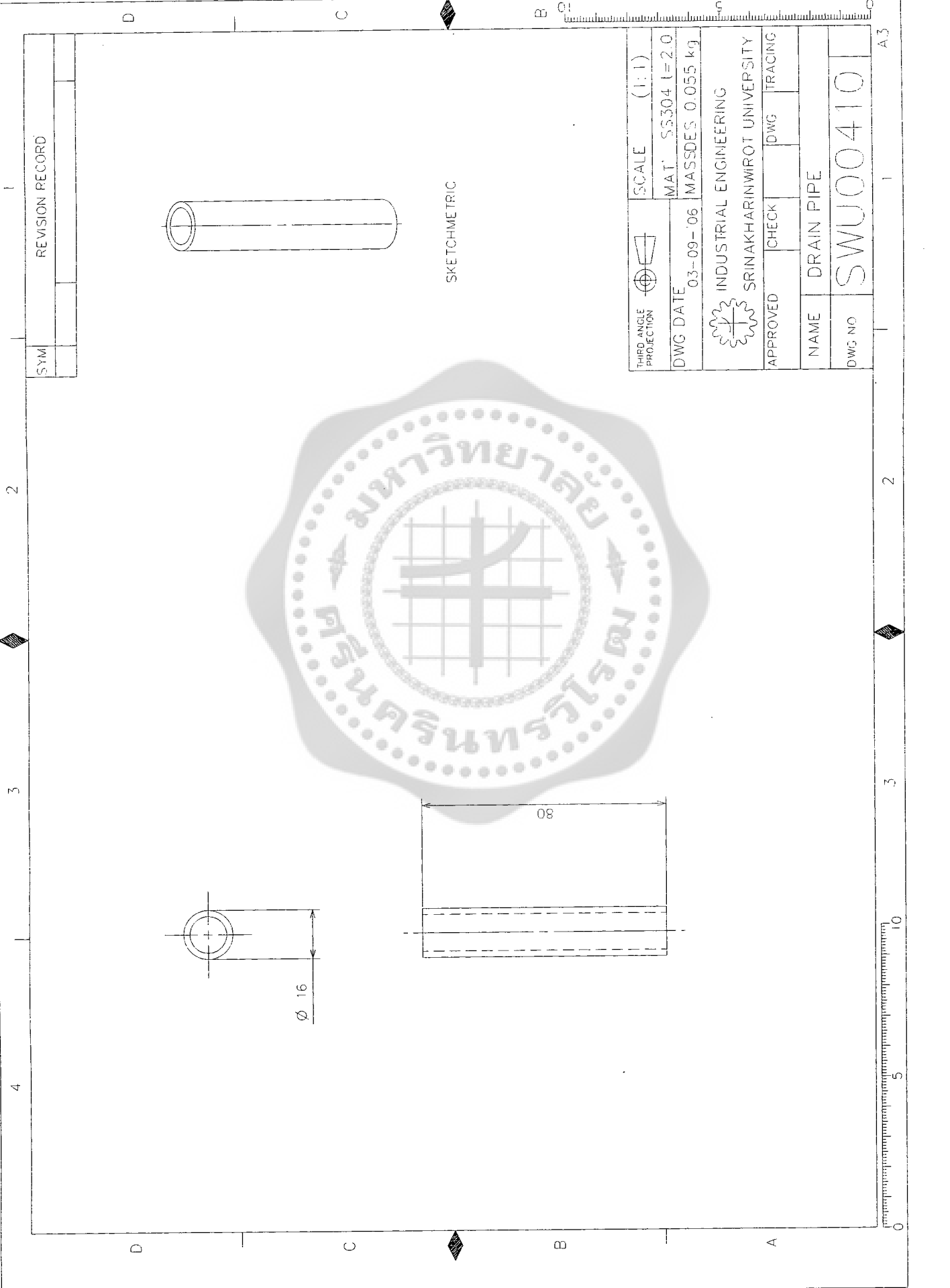
THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:4)		
DWG DATE 10-17-'05	MAT' SS400 t=3.0		
MASSDES 7.137 kg			
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME GUARD 3			
DWG NO	SWU00390		



REVISION RECORD

SYM

THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:1)
DWG DATE 03-09-'06	MAT' SS400 t=3.0
MASSDES 4.408 kg	
INDUSTRIAL ENGINEERING	
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY	
APPROVED	CHECK
DWG	TRACING
NAME	GUARD 4
DWG NO	SWU00400



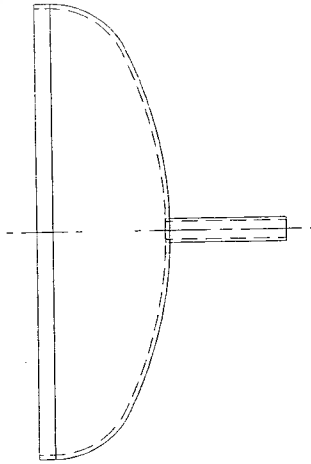
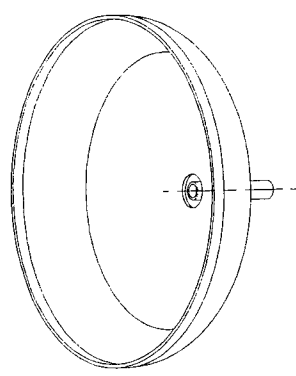
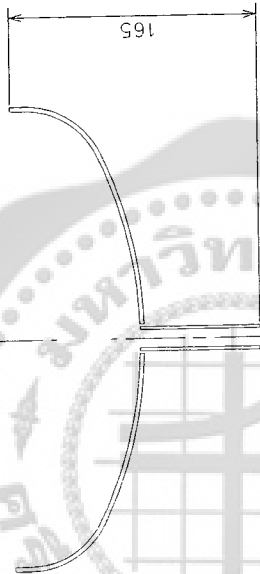
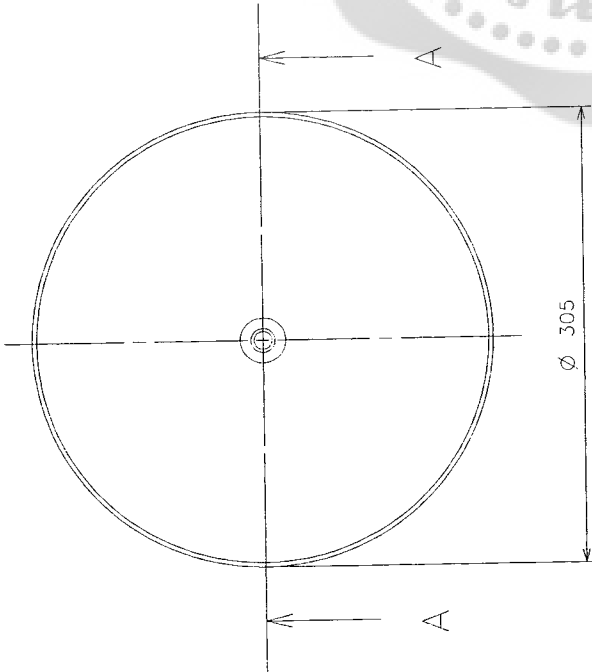
SKETCHMETRIC

REVISION RECORD	
SYM	

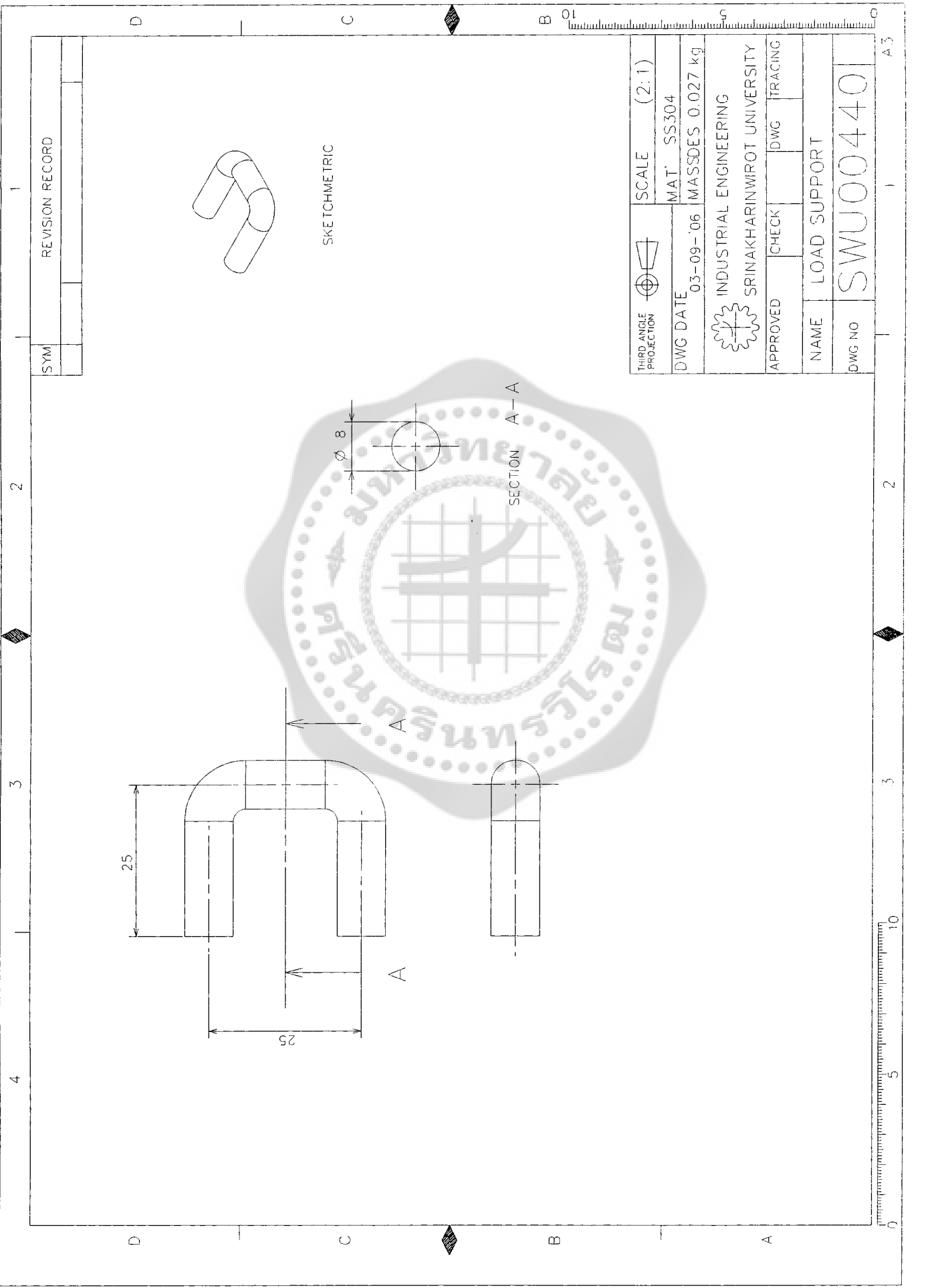
THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)
DWG DATE	03-09-06	MAT' SS304 L=2.0
MASSDES 0.055 kg		
INDUSTRIAL ENGINEERING		
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME DRAIN PIPE		
DWG NO	SWU00410	

0 5 10 3 2 1 A3

REVISION RECORD	
SYM	



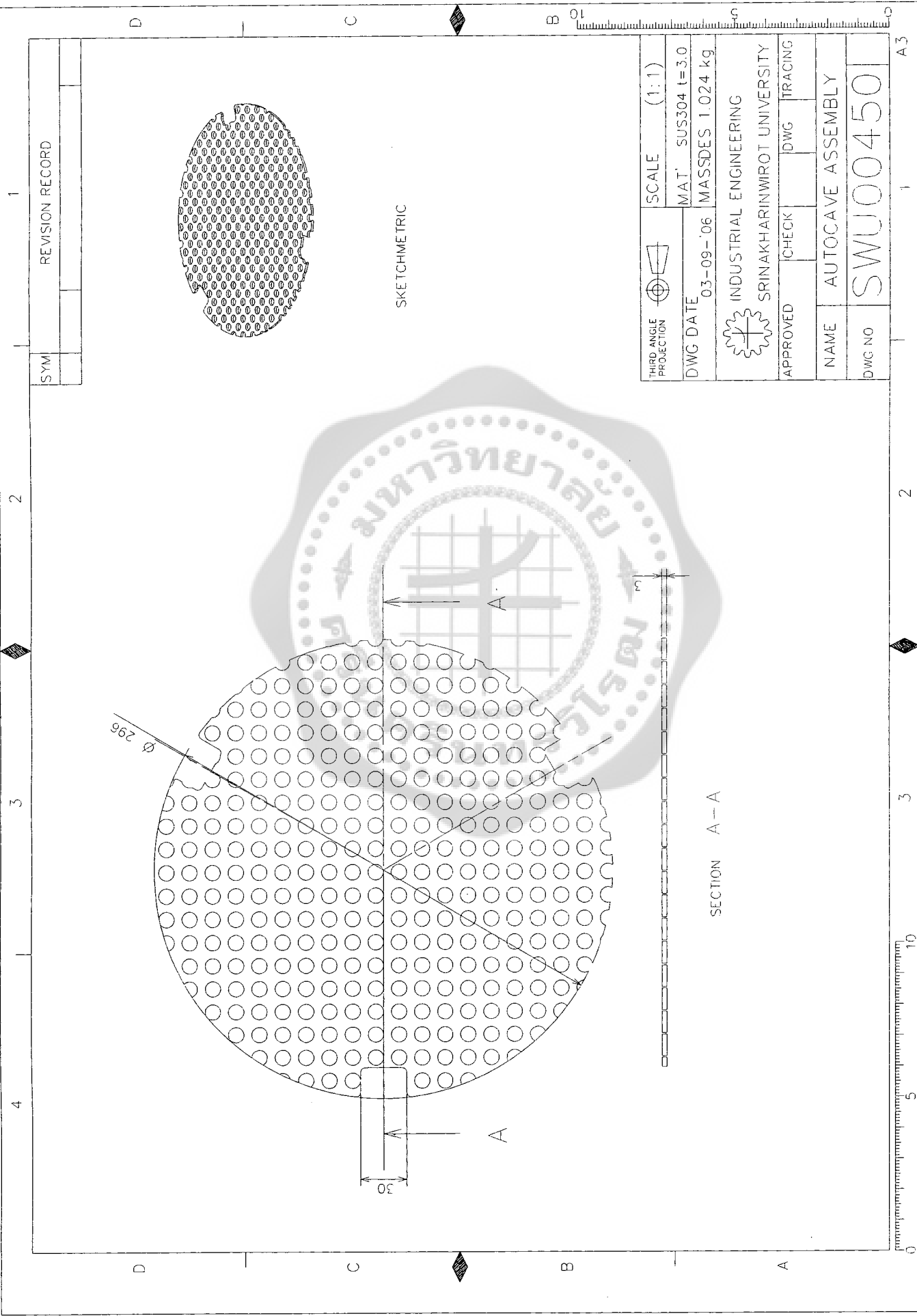
THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:3)
DWG DATE 03-09-'06	MAT' SUJ304
MASSDES 2.651 kg	
INDUSTRIAL ENGINEERING	
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY	
APPROVED	CHECK
DWG TRACING	
NAME END CAP ASM	
DWG NO	SWU00420



REVISION RECORD

SYM

	SCALE	(2:1)	
	MAT	SS304	
DWG DATE	03-09-'06 MASDES 0.027 kg		
	INDUSTRIAL ENGINEERING		
	SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME LOAD SUPPORT			
DWG NO	SWU00440		



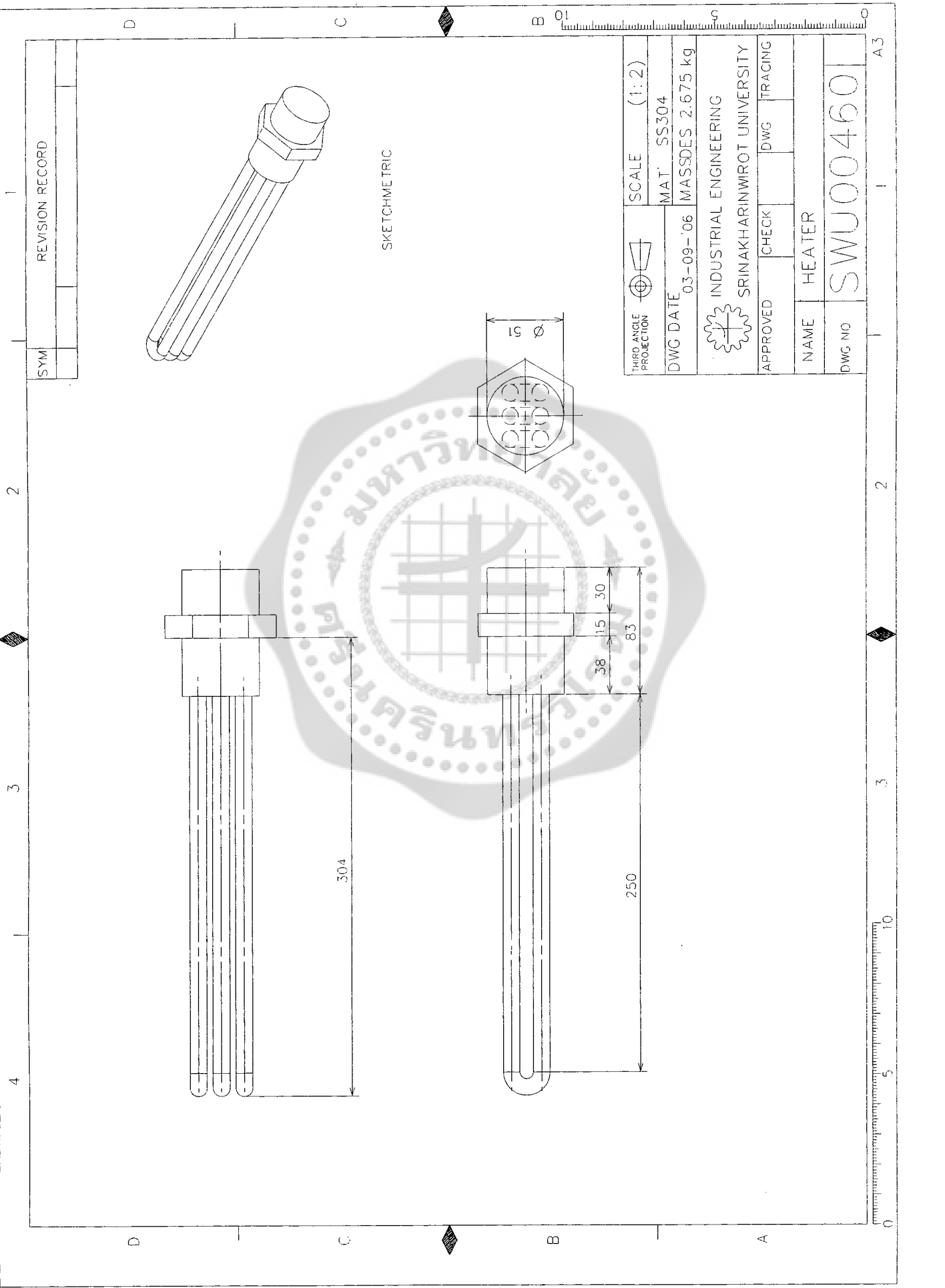
SYMBOL		REVISION RECORD	

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE	(1:1)
DWG DATE	03-09-'06	MAT	SUS304 t=3.0
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSDES	1.024 kg
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		APPROVED	CHECK DWG TRACING
NAME		AUTOCAVE ASSEMBLY	
DWG NO	SWU004501		

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100

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

A3



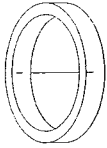
REVISION RECORD

SYM

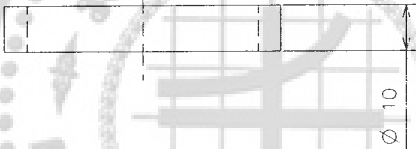
THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:2)		
DWG DATE 03-09-'06	MAT' SS304		
MASSDES 2.675 kg			
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME HEATER			
DWG NO	SWU00460		

0 5 10 3 2 1 A3

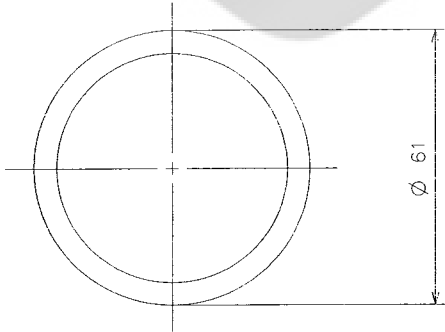
SYMBOL		REVISION RECORD	



SKETCHMETRIC

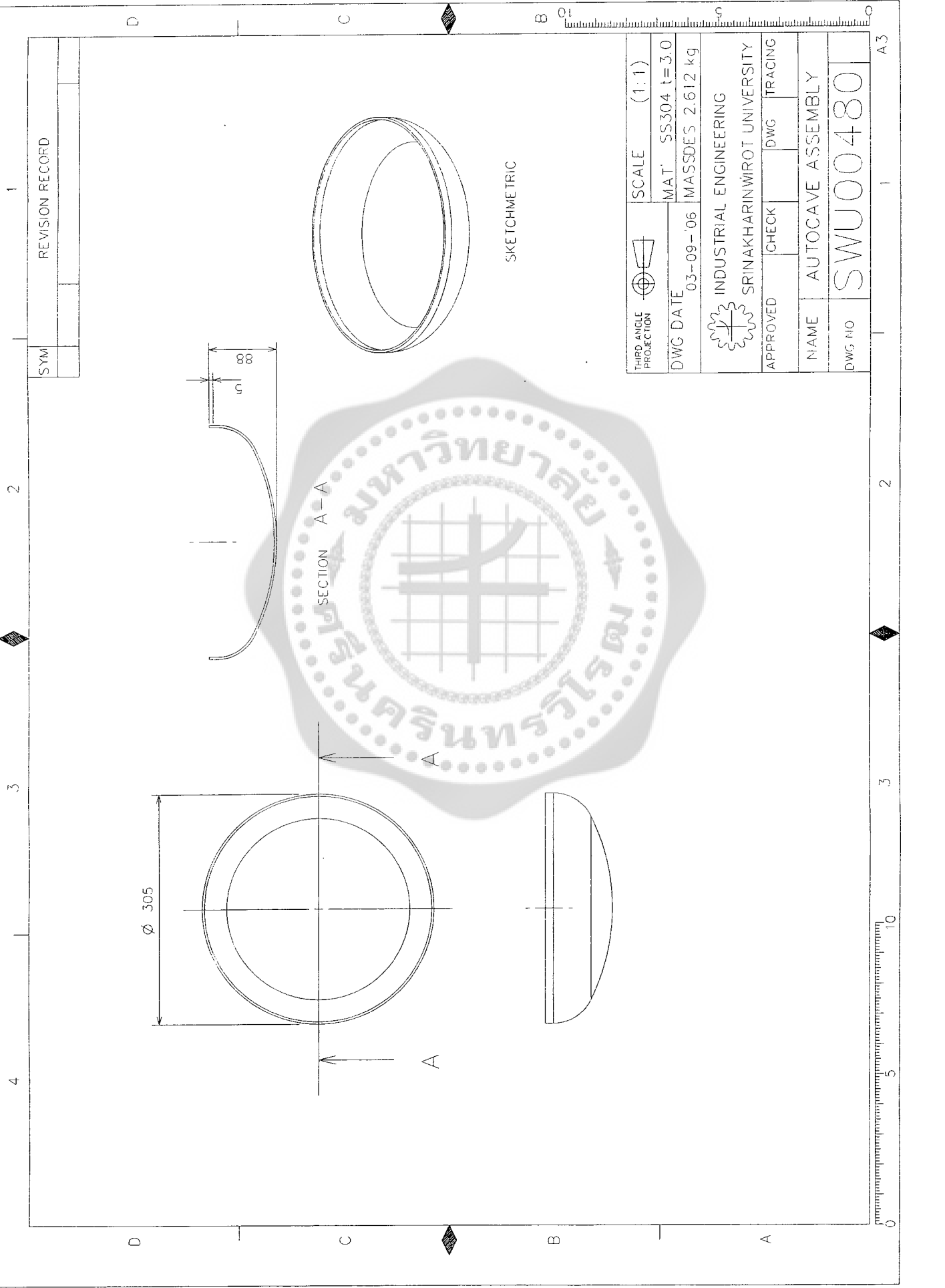


Ø 10



Ø 61

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)
DWG DATE	03-09-'06	MAT' SUS304 t=5
		MASSDES 0.000 kg
INDUSTRIAL ENGINEERING SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME PIPE SUPP. HEATER		
DWG NO	SWU00470	

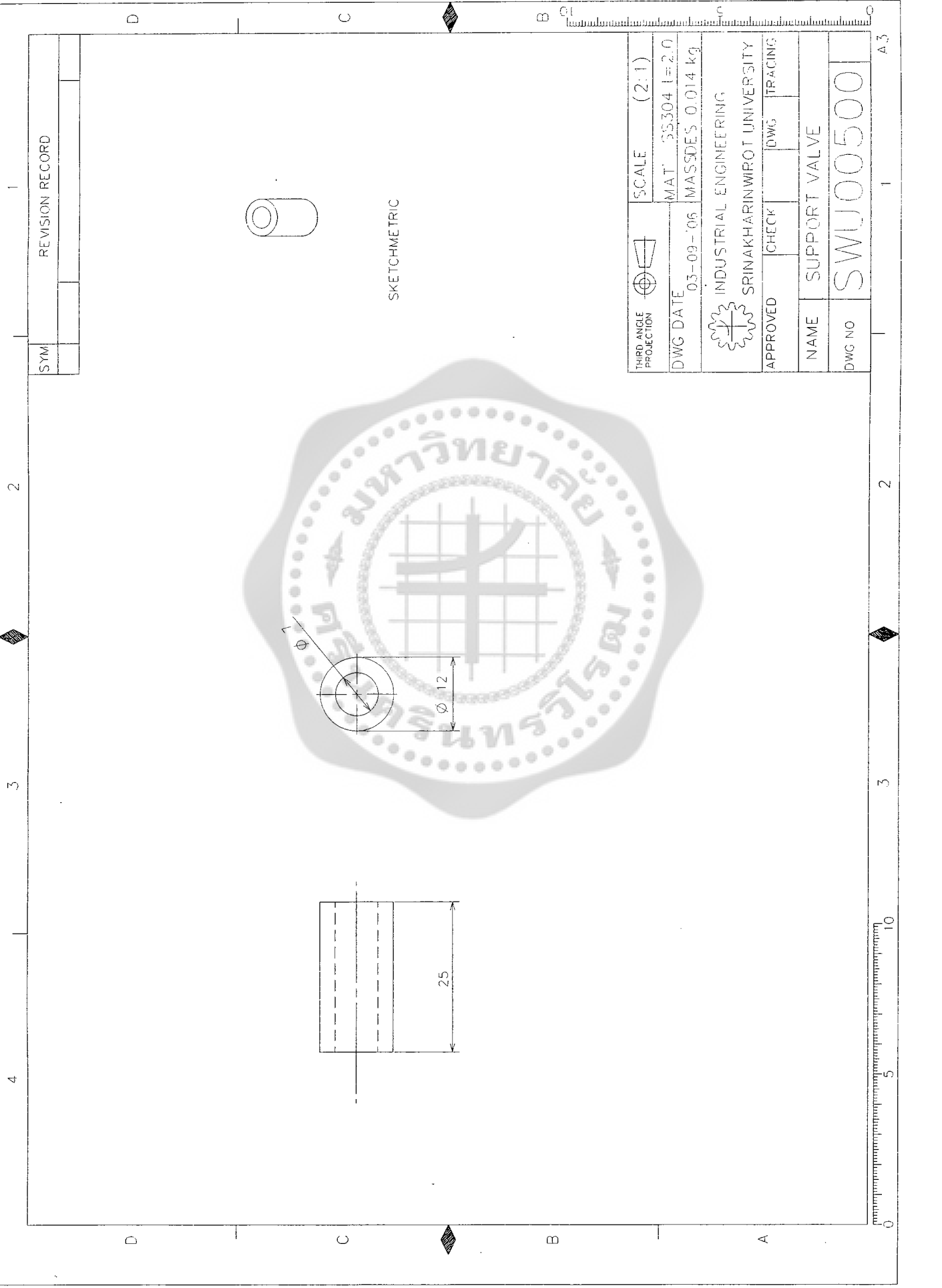


REVISION RECORD

SYM

THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE (1:1)		
DWG DATE 03-09-'06	MAT' SS304 t=3.0		
MASDES 2.612 kg			
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME AUTOCAVE ASSEMBLY			
DWG NO	SWU00480		

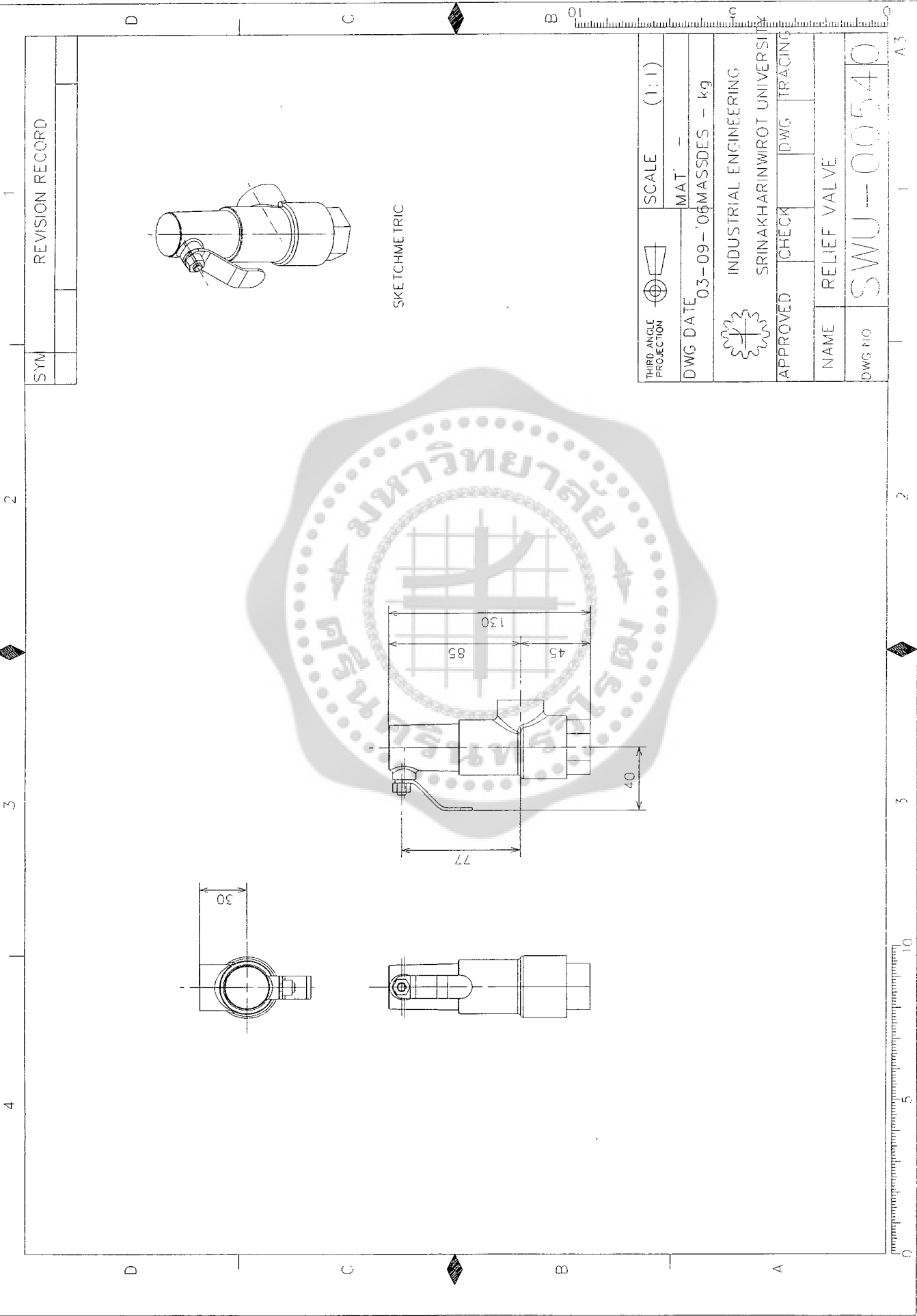
SKETCHMETRIC

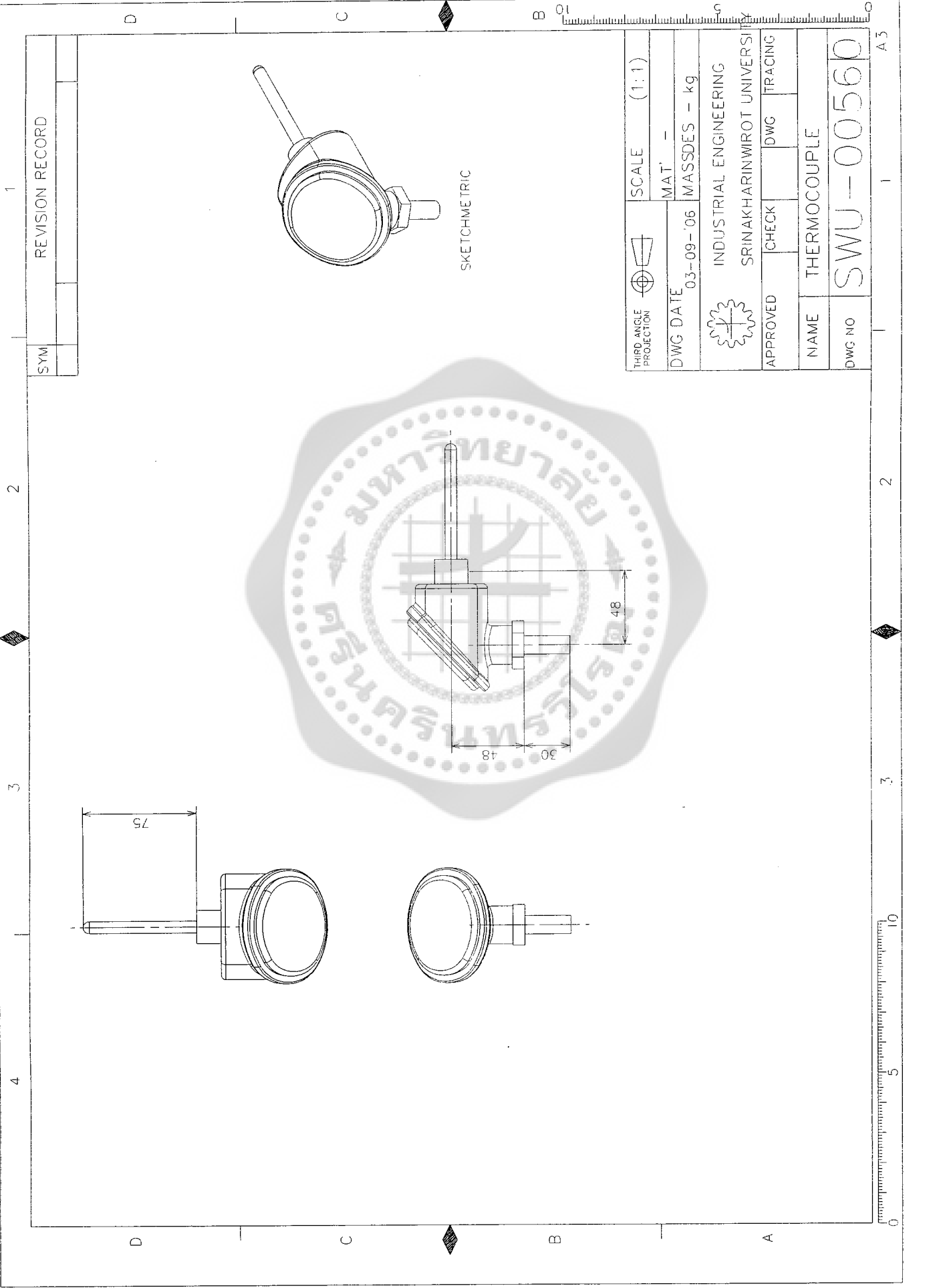


REVISION RECORD

SYM

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE	(2:1)
DWG DATE	03-03-06	MAT	SS304 L=2.0
		MASSDES	0.014 kg
INDUSTRIAL ENGINEERING SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME SUPPORT VALVE			
DWG NO	SWJ00500		



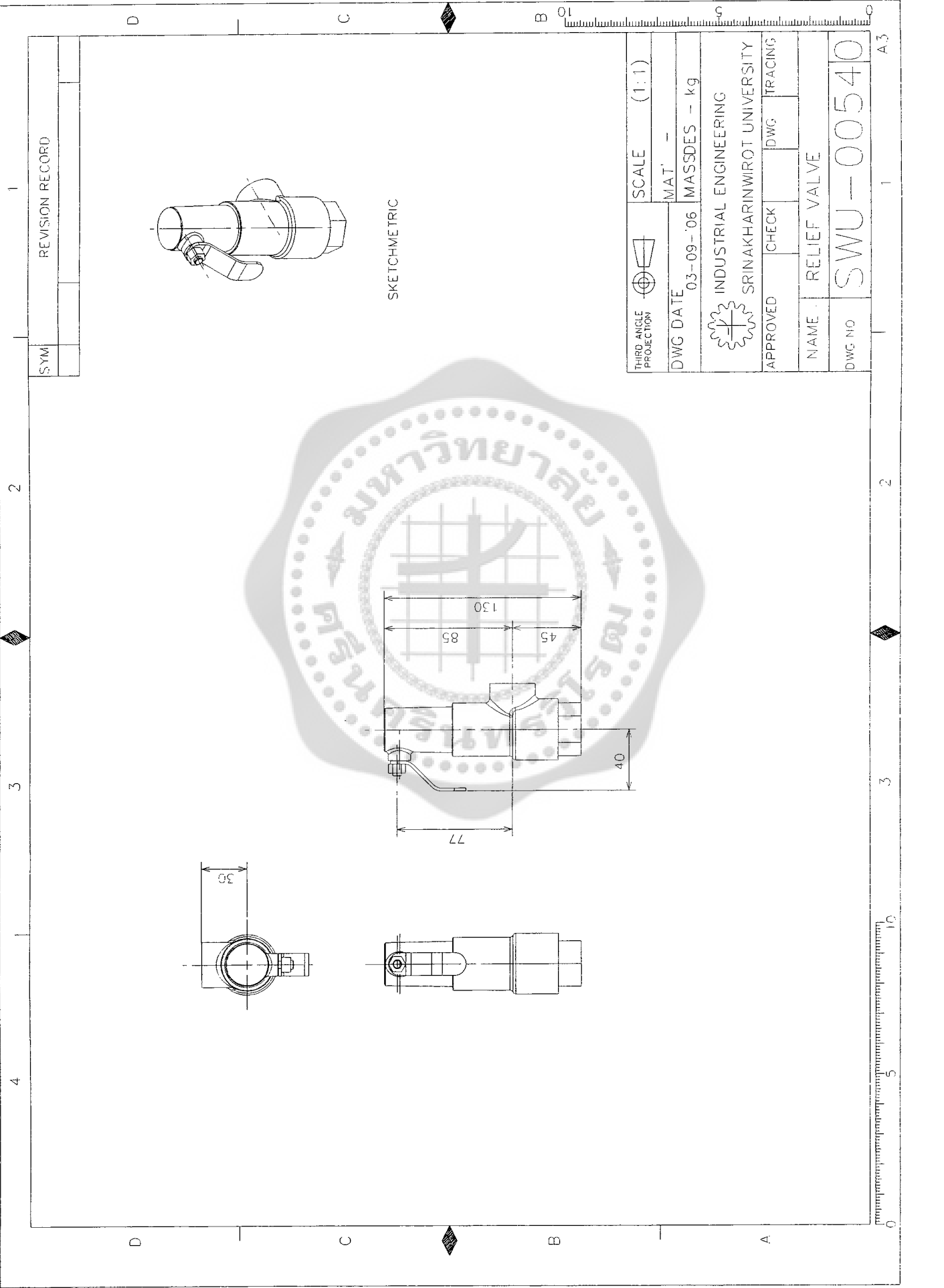


REVISION RECORD

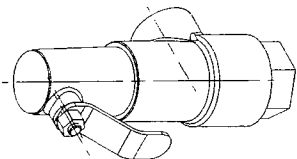
SYM

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)
DWG DATE	03-09-'06	MAT' -
MASDES - kg		
INDUSTRIAL ENGINEERING		
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME THERMOCOUPLE		
DWG NO	SWU-00560	

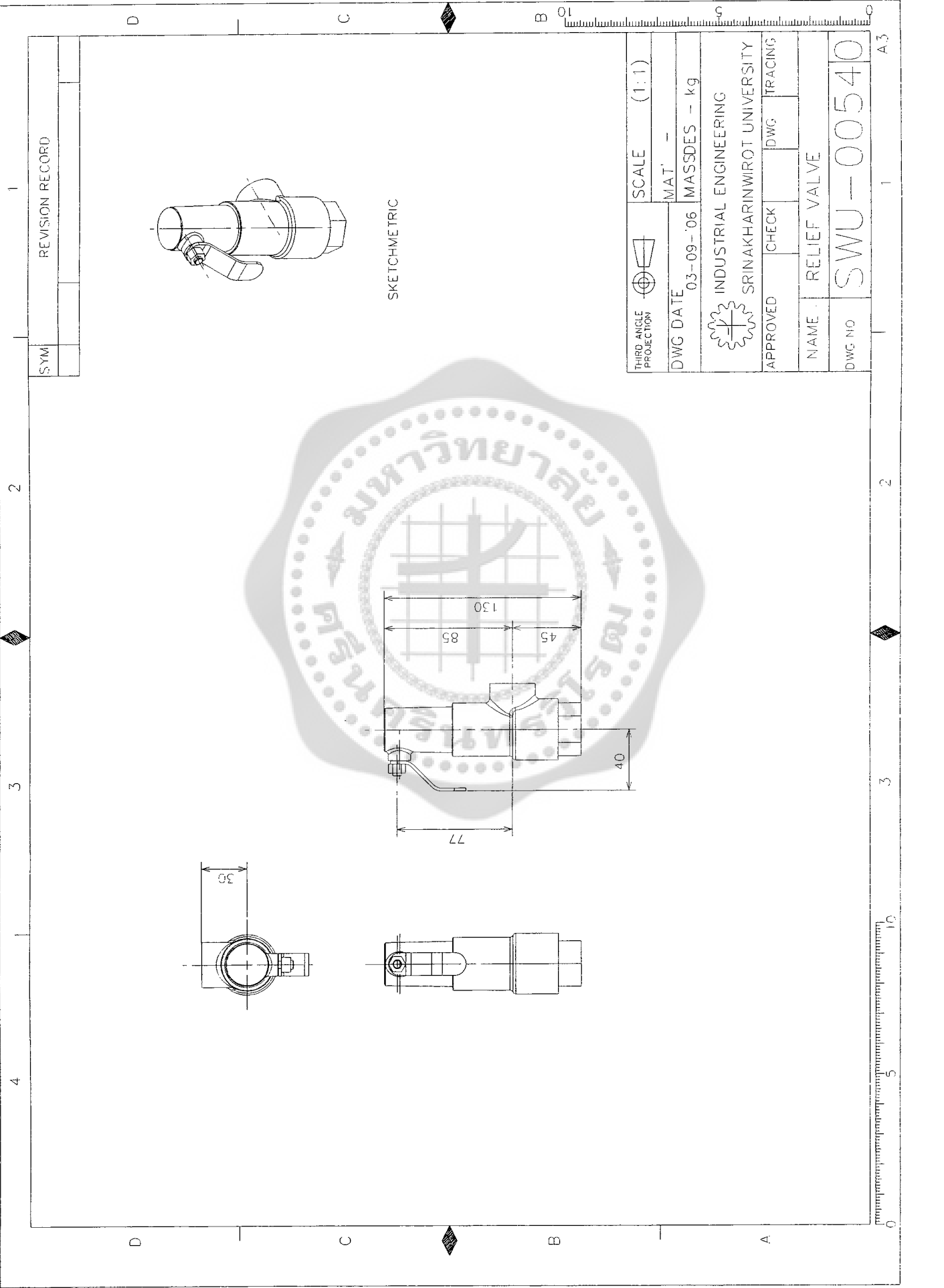
SKETCHMETRIC

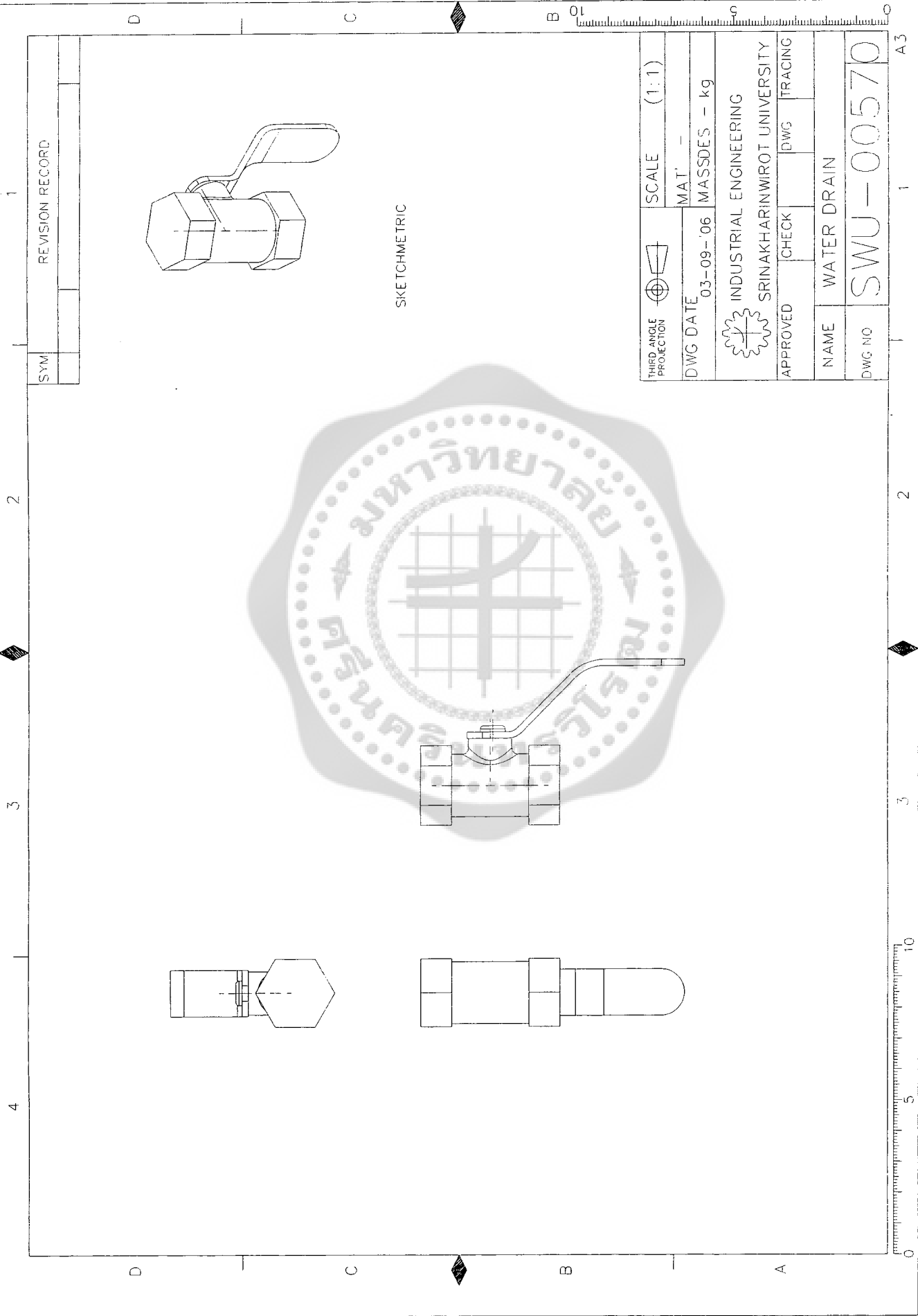


SKETCHMETRIC



SYM		REVISION RECORD	
THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE	(1:1)
DWG DATE		MAT	-
03-09-'06		MASDES - kg	
INDUSTRIAL ENGINEERING			
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY			
APPROVED	CHECK	DWG	TRACING
NAME RELIEF VALVE			
DWG NO	SWU-00540		





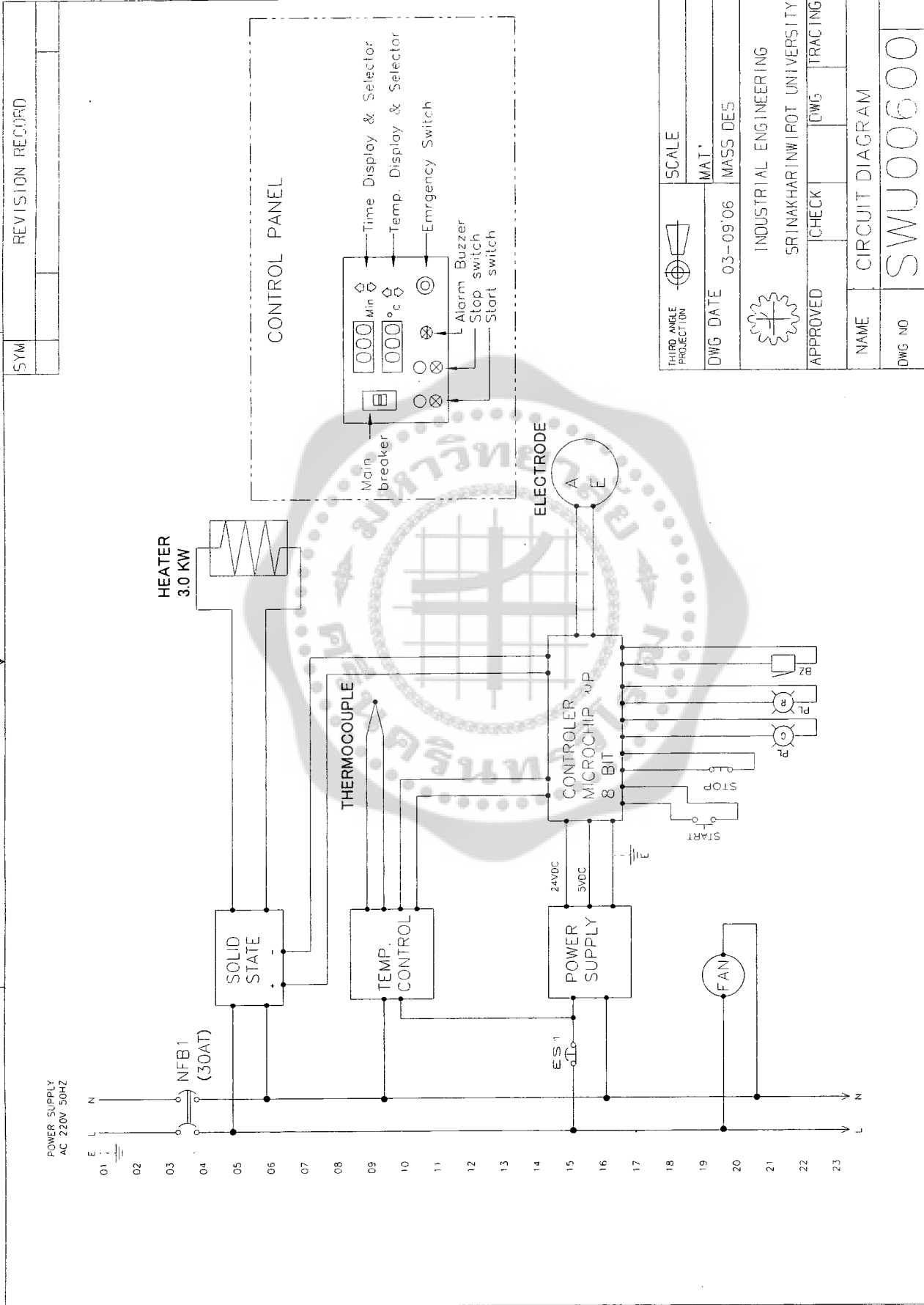
SKETCHMETRIC

REVISION RECORD

SYM

THIRD ANGLE PROJECTION		SCALE (1:1)
DWG DATE	03-09-'06	MAT' -
INDUSTRIAL ENGINEERING		MASSDES - kg
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY		
APPROVED	CHECK	DWG TRACING
NAME WATER DRAIN		
DWG NO	SWU-00570	

REVISION RECORD	
SYM	



THIRD ANGLE PROJECTION	SCALE
DWG DATE 03-09'06	MAT.
INDUSTRIAL ENGINEERING SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY	APPROVED
CHECK	DWG TRACING
NAME	CIRCUIT DIAGRAM
DWG NO	SWU00600

ประวัติหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล นายทศพล เกียรติเจริญผล

ตำแหน่ง อาจารย์

สถานที่ทำงาน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จ.นครนายก

ประวัติการศึกษา

- วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ เกียรตินิยม)
- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)
- Ph.D in Industrial Engineering, Australia

รายชื่อนิสิตช่วยงานวิจัย

ชื่อ-สกุล

นายสุรกร จันทร์ทา

ชื่อ-สกุล

นาย สัณญา พรมวงษา

ชื่อ-สกุล

นาย พนม นากพลกรัง

ชื่อ-สกุล

นาย ทรงกรด เทียมเมืองแพน

พ.ศ. 2549

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ