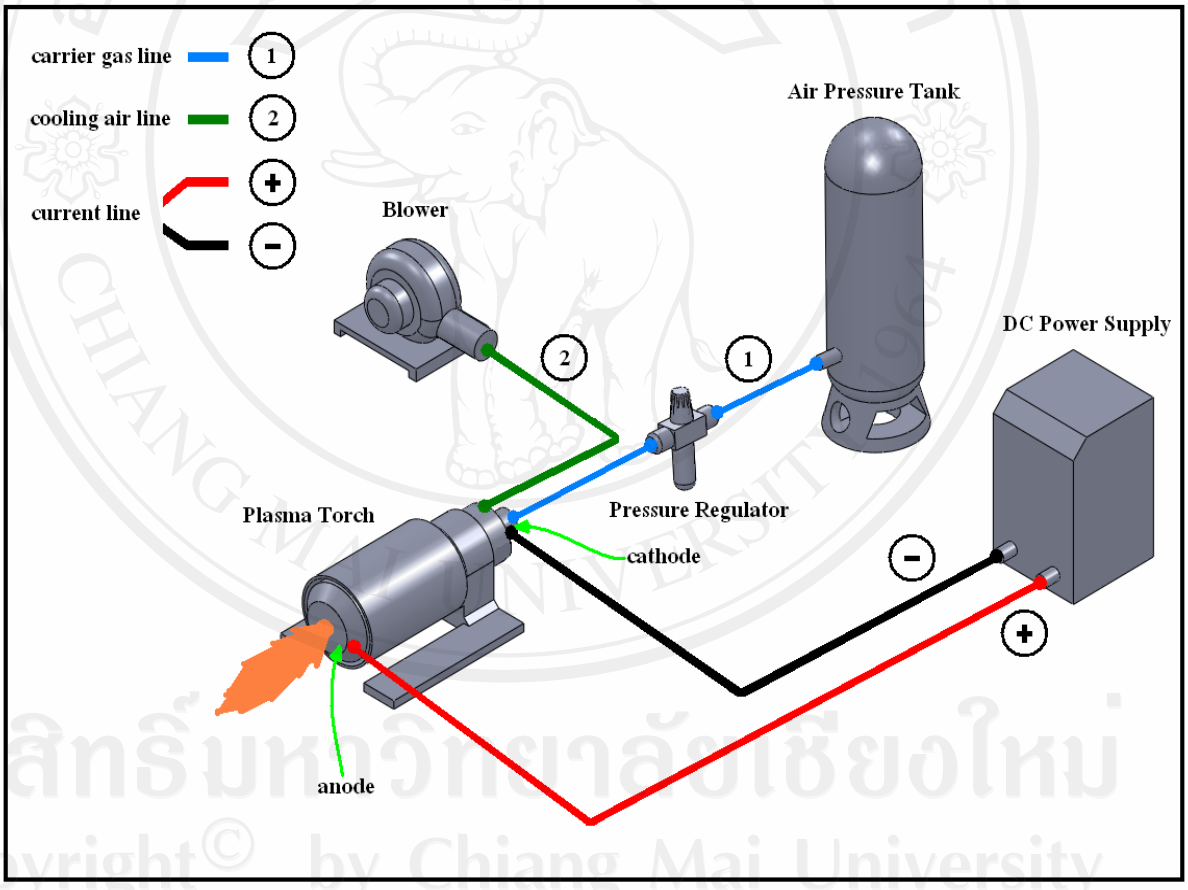
บทที่ 3 หลักการออกแบบหัวเผา

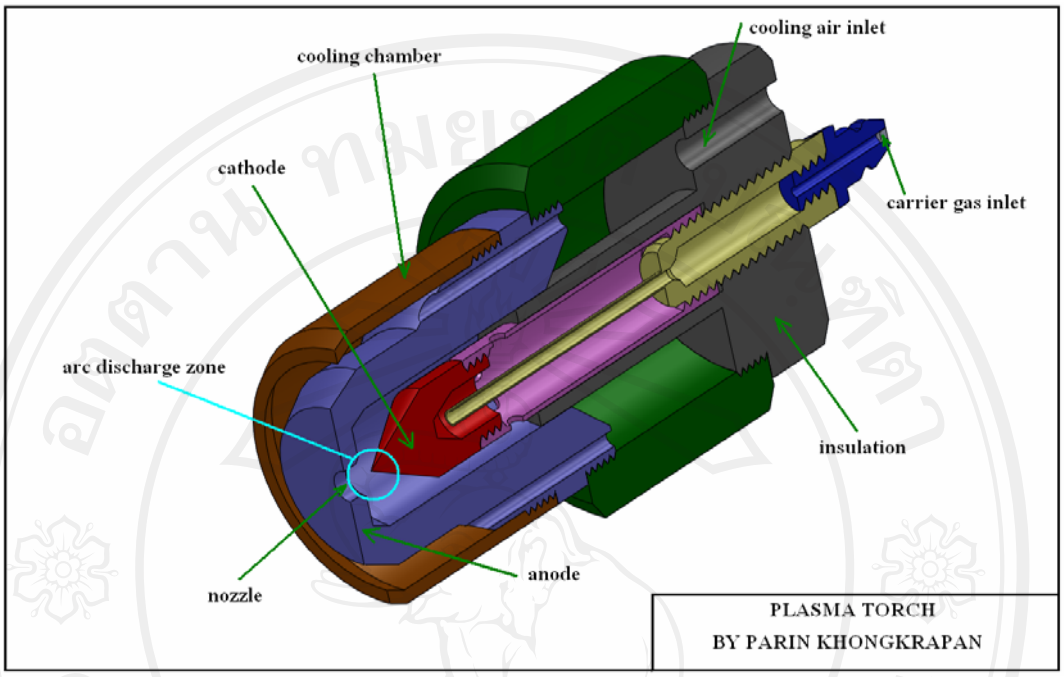
บทนี้แสดงถึงแบบโครงสร้างหัวเผาต้นแบบและการคำนวณเพื่อการออกแบบ โดยมีเนื้อหาและรายละเอียดดังนี้

3.1 หัวเผาพลาสมาต้นแบบ

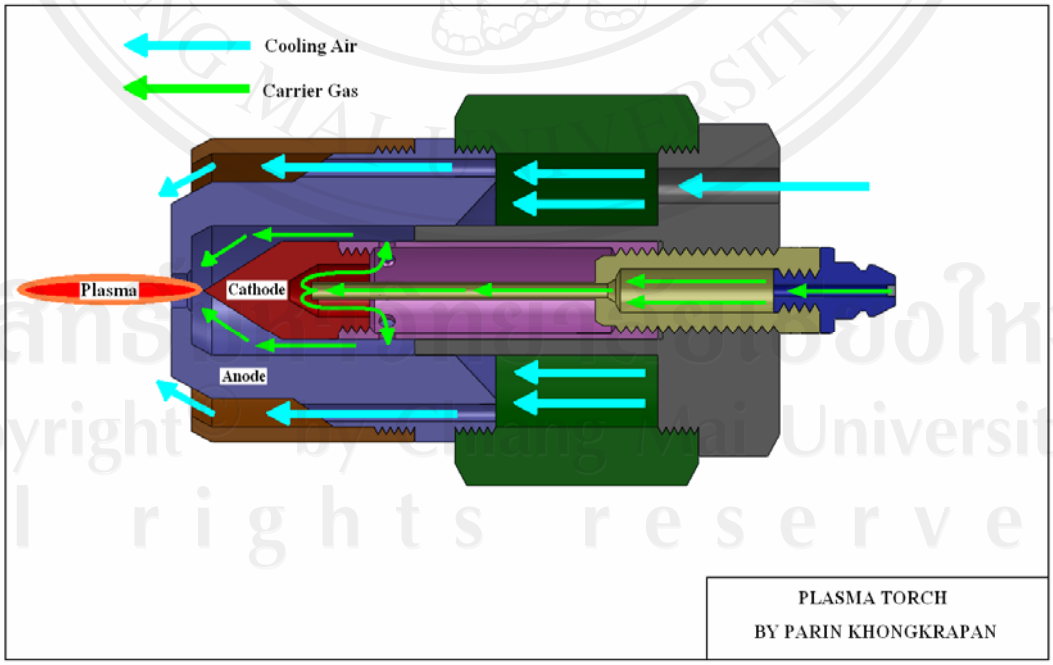


รูป 3.1 หัวเผาพลาสมาต้นแบบและอุปกรณ์ต่อพ่วง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 3.2 ส่วนประกอบสำคัญของหัวเผาพลาสมาต้นแบบ



รูป 3.3 ทิศทางการไหลของก๊าซภายในหัวเผา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 หลักการออกแบบ

3.2.1 การออกแบบขั้วอิเล็กโทรด

หัวเผาพลาสมาต้นแบบใช้หลักการสร้างพลาสมาด้วยหลักการสนามไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ประกอบด้วยขั้วแคโทดและขั้วแอโนด ซึ่งการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดสำหรับหัวเผาพลาสมาต้นแบบมีหลักการดังนี้

3.2.1.1 การออกแบบขั้วแคโทด

ขั้วแคโทดของหัวเผาพลาสมาต้นแบบทำหน้าที่เป็นขั้วลบทางไฟฟ้า ขั้วแคโทดของหัวเผาพลาสมาต้นแบบจะมีลักษณะเป็นแท่งโลหะปลายแหลม ซึ่งลักษณะขั้วแคโทดที่ออกแบบจะทำให้เกิดความเครียดของประจุไฟฟ้าบริเวณปลายแหลมดังกล่าว ส่งผลให้เกิดความเข้มของสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดสูงตามไปด้วย

3.2.1.2 การออกแบบขั้วแอโนด

ขั้วแอโนดของหัวเผาพลาสมาต้นแบบทำหน้าที่เป็นขั้วบวกทางไฟฟ้า การออกแบบขั้วแอโนดของหัวเผาพลาสมาต้นแบบจะมีลักษณะเป็นช่องทรงกระบอกรอบขั้วแคโทด ช่องว่างระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดจะเกิดสนามไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันคงที่ 380 V และขั้วแอโนดของหัวเผาพลาสมาต้นแบบยังทำหน้าที่เป็นหัวฉีด (Nozzle) ที่ส่ง Carrier Gas ออกสู่ภายนอกหัวเผา

3.2.2 การออกแบบระบบระบายความร้อน

การระบายความร้อนที่เกิดจากพลาสมาของหัวเผาพลาสมาต้นแบบจะให้หลักการระบายความร้อนด้วยอากาศ การระบายความร้อนจะเกิดขึ้นสองส่วนดังนี้

3.2.2.1 การระบายความร้อนขั้วแคโทด

การระบายความร้อนของขั้วแคโทดทำได้โดยการฉีดอากาศซึ่งใช้เป็น Carrier Gas เข้าสู่ช่องว่างภายในขั้วแคโทดโดยตรง อากาศที่ได้รับความร้อนจากขั้วแคโทดจะเคลื่อนที่ออกจากช่องที่เจาะไว้สู่สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในบริเวณช่องว่างระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดเพื่อแตกตัวเป็นพลาสมาต่อไป การเคลื่อนที่ของอากาศที่ใช้เป็น Carrier Gas และ Cooling Gas แสดงดังรูป 3.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.2.2 การระบายความร้อนขั้วแอโนด

การระบายความร้อนขั้วแอโนดทำได้โดยการฉีดอากาศเข้าสู่บริเวณ Cooling Zone ซึ่งเป็นช่องว่าระหว่างขั้วแอโนดและ Cooling Chamber ดังที่แสดงในรูป 3.3 โดยอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณดังกล่าวจะพาความร้อนที่สะสมในขั้วแอโนดออกสู่ภายนอกหัวเผา

3.3 การคำนวณเพื่อการออกแบบ

3.3.1 การคำนวณสนามไฟฟ้าที่ได้จากขั้วอิเล็กโทรด

สนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่เกิดจากการอาร์คคำนวณได้จากสมการที่ (2.2) ในบทที่ 2 โดยทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆดังนี้

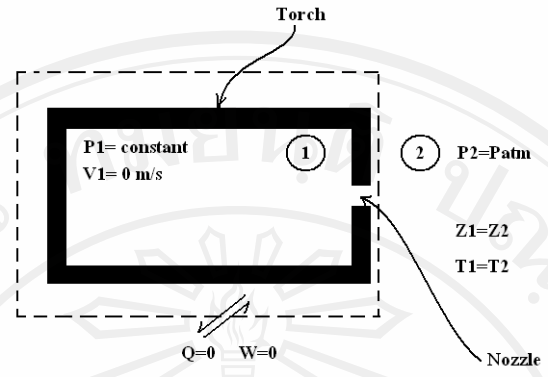
$$E_{\max} = \frac{V_{\max}}{\eta d} \qquad (3.1)$$

$V_{\max}$	คือ	แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรด
η	คือ	0.1 (สำหรับสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอของแคโทดปลายแหลม)
d	คือ	ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (cm)

3.3.2 การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล ของอากาศที่ใช้เป็น Carrier Gas

อากาศเป็นที่ใช้ Carrier Gas ได้มาจากถังความดันที่ส่งความดันคงที่ปรับค่าได้ อัตราการไหลของอากาศเป็นที่ใช้ Carrier Gas คำนวณได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 3.4 แสดงสภาวะต่างๆของอากาศที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลของอากาศเป็นที่ใช้ Carrier Gas

วิธีคำนวณ

สมมุติฐานในการคำนวณ

1. ความดันอากาศในหัวเผาคงที่ มีค่าเท่ากับความดันที่จ่ายจากถังความดัน
2. ไม่มีความร้อนถ่ายเทผ่านปริมาตรควบคุม
3. อัตราการไหลของอากาศก่อนและหลังการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรดมีค่าเท่ากันเท่ากัน

จากสมการ
$$\frac{P_1}{\rho_1 g}+\frac{V_1^{\,2}}{2g}+Z_1=\frac{P_2}{\rho_2 g}+\frac{V_2^{\,2}}{2g}+Z_2 \qquad (3.2)$$

เมื่อ P คือ ความดันของอากาศ (Pa)

V คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

Z คือ ความสูง (m)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

ข้อมูลจุดที่ 1 P_1 = ความดันที่จ่ายจากถังความดัน (Pa)

$V_1 = 0$ m/s เนื่องจากถังความดันมาขนาดใหญ่มาก

$\rho_1 = \frac{P_1}{RT_1}$ เมื่อ R = 0.287 x 10^3 J/kg-K

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อมูลจุดที่ 2 $P_2 = 101 \times 10^3$ Pa (ความดันบรรยากาศ)

$\rho_2 = 1.169$ kg/m^3 (ความหนาแน่นของอากาศที่ความดันบรรยากาศ)

เมื่อแทนค่าต่างๆในสมการ (1) จะได้

$$\frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^{\,2}}{2}$$

$$\frac{P_1}{\rho_1} = \frac{101\times10^3}{1.169} + \frac{V_2^{\,2}}{2}$$

$$\frac{V_2^{\,2}}{2} = \frac{P_1}{\rho_1} - \frac{101\times10^3}{1.169}$$

$$V_2 = \sqrt{2\times\left(\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{101\times10^3}{1.169}\right)} \qquad (3.3)$$

ความเร็วของอากาศที่ออกจาก nozzle คือ $V_2 = \sqrt{2\times\left(\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{101\times10^3}{1.169}\right)}$

- อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศคำนวณได้จาก

$$\dot{m} = \rho_2 V_2 A \qquad (3.4)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \qquad (3.5)$$

เมื่อ A คือ พ.ท.หน้าตัด Nozzle (m^2)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง Nozzle (m)

จากสมการ(2) , (3) และ (4) จะได้อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเท่ากับ

สมการอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ $\dot{m} = 1.169\times\sqrt{2\times\left(\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{101\times10^3}{1.169}\right)}\times\frac{\pi D^2}{4}$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากสมการอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและสมการความเร็วของอากาศที่ออกจาก Nozzle การคำนวณข้างต้นสรุปได้ว่า

(1) อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเป็นที่ใช้ Carrier Gas แปรผันโดยตรงกับขนาดของ nozzleและความดันอากาศที่จ่ายจากถังความดันเข้าสู่หัวเผา

(2) ความเร็วของอากาศที่ออกจาก Nozzleแปรผันโดยตรงกับความดันของอากาศที่จ่ายจากถังความดันเข้าสู่หัวเผา

หมายเหตุ การปรับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศเป็นที่ใช้เป็น Carrier Gas ต้องสมดุลกับพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมา

3.3.3 การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการสร้างพลาสมา

หัวเผาพลาสมาต้นแบบใช้หลักการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมา โดยให้อากาศผ่านกระแสอาร์คที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วแคโทด (Cathode) และ แอโนด (Anode) ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมาได้นั้นคำนวณจาก พลังงานสลายพันธะ และ พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบในอากาศ

อากาศมีองค์ประกอบเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) 77% ก๊าซออกซิเจน (O_2) 22% และก๊าซอื่น 1% โดยมวล ในการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมาครั้งนี้จะให้ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นตัวแทนขององค์ประกอบทั้งหมดของอากาศในอัตราส่วน 77 % : 23 % โดยมวล ตามลำดับ การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมาทำได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีคำนวณ

ข้อมูลในการคำนวณ

-พลังงานพันธะของโมเลกุลก๊าซชนิดต่างๆ

Bond	*D* (kJ/mol)	r (pm)
N-N	167	145
N=N	418	125
N≡N	942	110
N-O	201	140
N=O	607	121
N-F	283	136
N-Cl	313	175

Bond	*D* (kJ/mol)	r (pm)
O-O	142	148
O=O	494	121
O-F	190	142
S=O	522	143
S-S (S_8)	226	205
S=S	425	149
S-F	284	156

- พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 ของธาตุชนิดต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) คุณสมบัติทางเคมีขององค์ประกอบของอากาศ

- ก๊าซไนโตรเจน (N_2)

มวลโมเลกุล	28×10^{-3}	kg/mol
มวลอะตอม	14×10^{-3}	kg/mol
พลังงานพันธะ $N \equiv N$	942	$kJ/mol_{โมเลกุล}$
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1	1402	$kJ/mol_{อะตอม}$

- ก๊าซออกซิเจน (O_2)

มวลโมเลกุล	32×10^{-3}	kg/mol
มวลอะตอม	16×10^{-3}	kg/mol
พลังงานพันธะ $O = O$	494	$kJ/mol_{โมเลกุล}$
พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1	1314	$kJ/mol_{อะตอม}$

(2) การคำนวณปริมาณองค์ประกอบของอากาศ ที่มีก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นตัวแทนขององค์ประกอบทั้งหมดในอัตราส่วน 77 % : 23 % โดยมวล

$$\dot{m}_{air} = \dot{m}_{N_2} + \dot{m}_{O_2}$$

$$\dot{m}_{air} = 0.77\dot{m}_{air} + 0.23\dot{m}_{air}$$

- ก๊าซไนโตรเจน (N_2)

$$\text{จำนวนโมลโมเลกุล} = \frac{0.77\dot{m}_{air}}{28 \times 10^{-3}}$$

$$\text{จำนวนโมลอะตอม} = \frac{0.77\dot{m}_{air}}{14 \times 10^{-3}}$$

- ก๊าซออกซิเจน (O_2)

$$\text{จำนวนโมลโมเลกุล} = \frac{0.23\dot{m}_{air}}{32 \times 10^{-3}}$$

$$\text{จำนวนโมลอะตอม} = \frac{0.23\dot{m}_{air}}{16 \times 10^{-3}}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) การคำนวณมวลอากาศโดยกำหนดพลังงานที่จะใช้พลังงาน

- พลังงานสลายพันธะ

ก๊าซไนโตรเจน (N_2) $= \left(\frac{0.77\dot{m}_{air}}{28\times10^{-3}}\right)\times 942$

ก๊าซออกซิเจน (O_2) $= \left(\frac{0.23\dot{m}_{air}}{32\times10^{-3}}\right)\times 494$

- พลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1

ก๊าซไนโตรเจน (N_2) $= \left(\frac{0.77\dot{m}_{air}}{14\times10^{-3}}\right)\times 1402$

ก๊าซออกซิเจน (O_2) $= \left(\frac{0.23\dot{m}_{air}}{16\times10^{-3}}\right)\times 1314$

- พลังงานที่ใช้ในการทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมาที่ระดับพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1

$$E = \left[\left(\frac{0.77\dot{m}_{air}}{28\times10^{-3}}\right)\times 942\right] + \left[\left(\frac{0.23\dot{m}_{air}}{32\times10^{-3}}\right)\times 494\right] + \left[\left(\frac{0.77\dot{m}_{air}}{14\times10^{-3}}\right)\times 1402\right] + \left[\left(\frac{0.23\dot{m}_{air}}{16\times10^{-3}}\right)\times 1314\right]$$

$$E = \left[\left(25.91\times10^{3}\right) + \left(3.55\times10^{3}\right) + \left(77.11\times10^{3}\right) + \left(18.89\times10^{3}\right)\right]\times \dot{m}_{air}$$

$$E = \left(125.46\times10^{3}\right) \times \dot{m}_{air}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พลังงานที่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมา 100 % ที่ระดับพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 จะต้องใช้พลังงานเท่ากับ

$$E \geq \left(125.46 \times 10^{3}\right) \times \dot{m}_{air}$$

เมื่อ E คือ พลังงานที่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นพลาสมา 100 % ที่ระดับพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 หน่วย kW

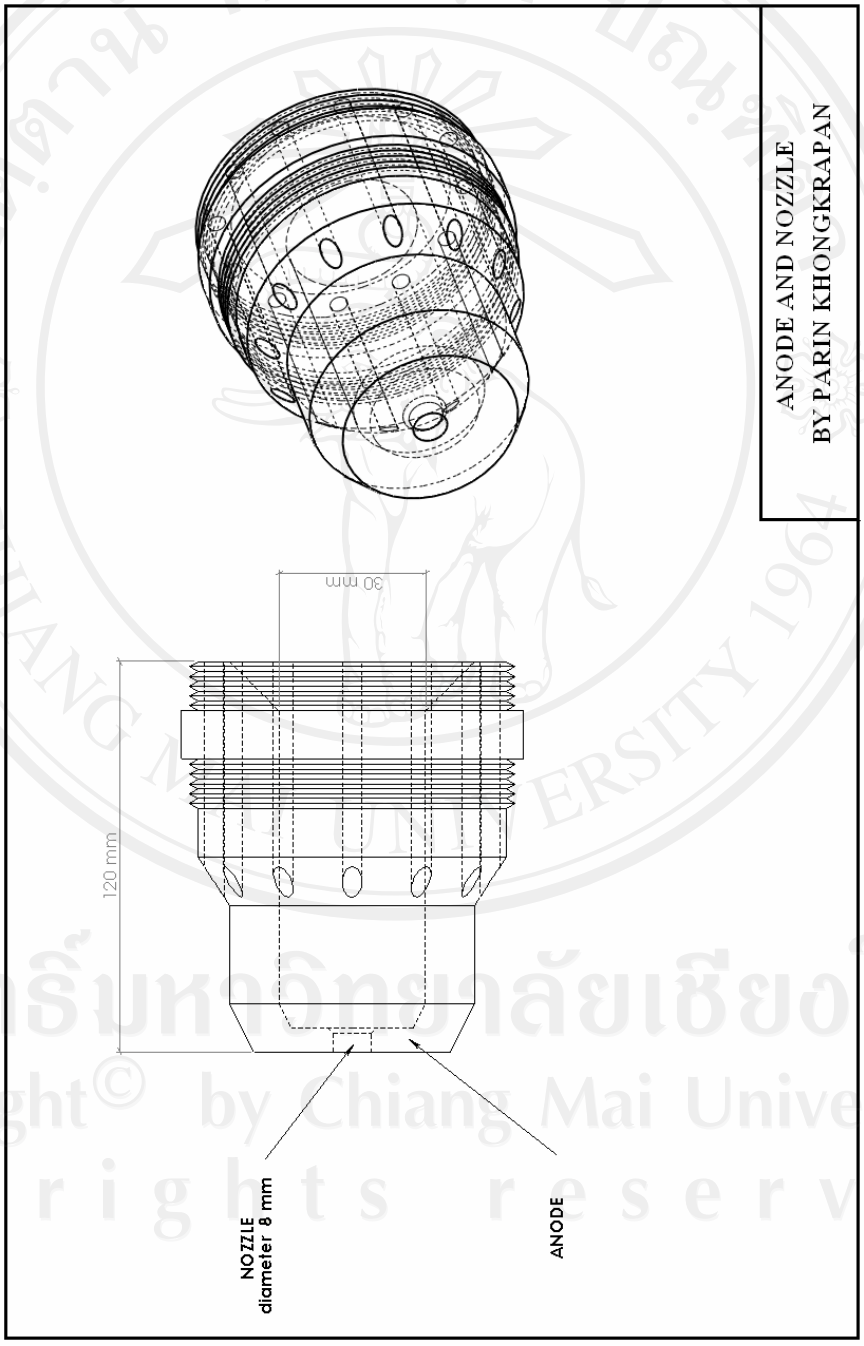
$\dot{m}_{air}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ หน่วย kg/s

หมายเหตุ สมการพลังงานการแตกตัวข้างต้นใช้คำนวณอากาศแตกตัวเป็นพลาสมา 100 % ที่ระดับพลังงานไอออไนเซชันลำดับที่ 1 เท่านั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

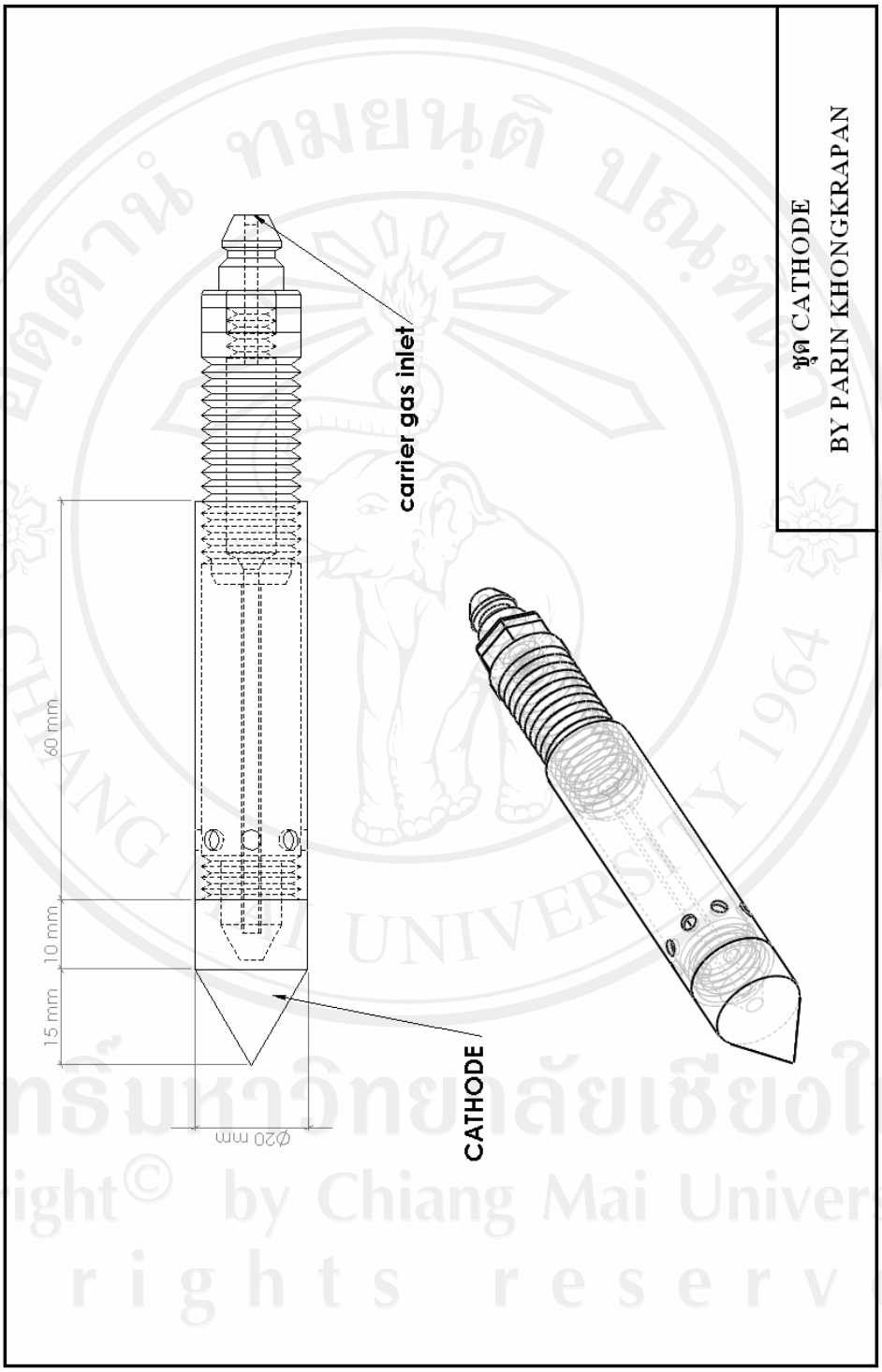
3.4 หัวเผาพลาสมาต้นแบบ

3.4.1 แบบส่วนประกอบหัวเผาพลาสมา



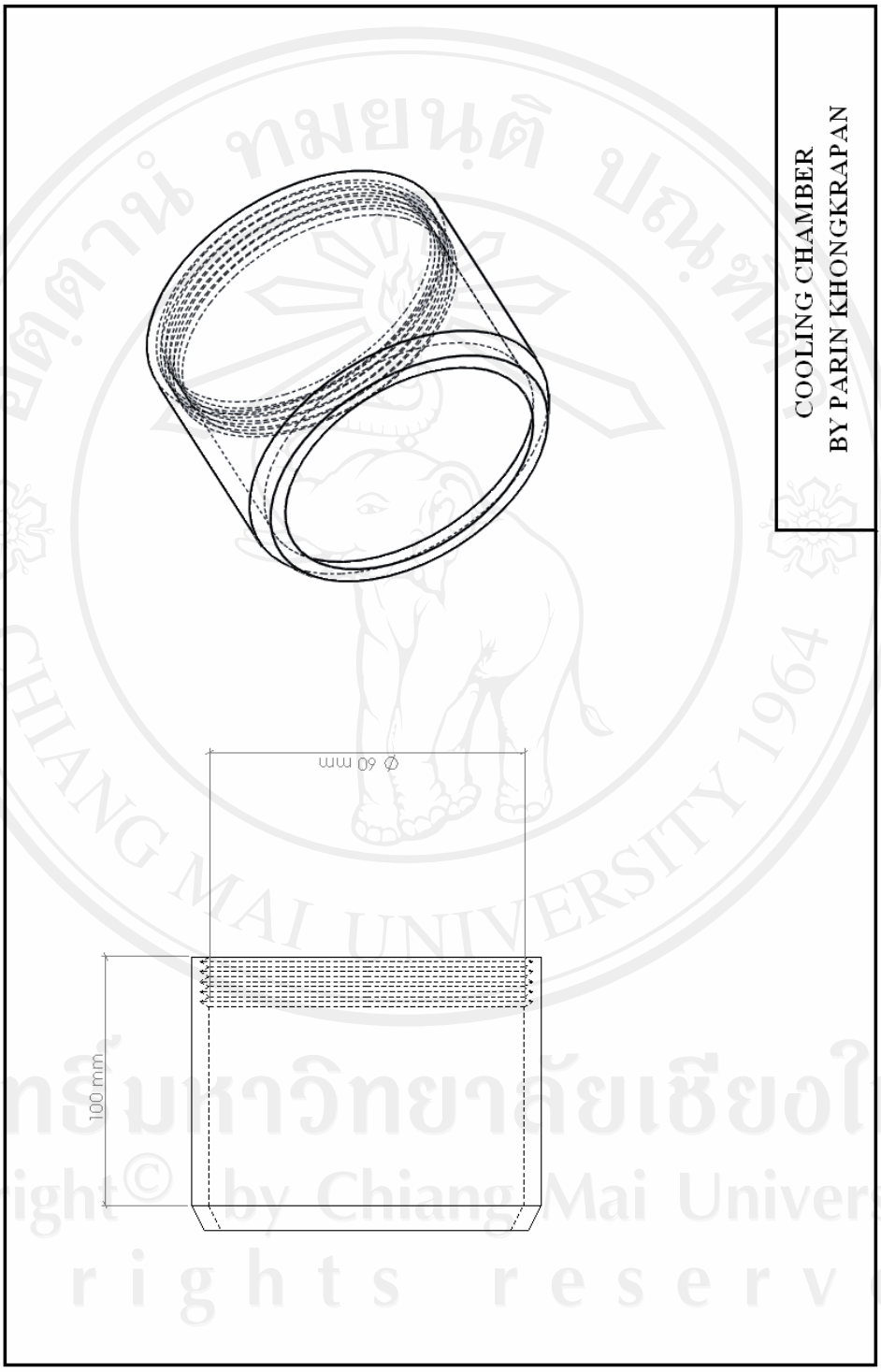
รูป 3.5 ส่วนประกอบที่ใช้เป็นแคโทดและหัวฉีด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



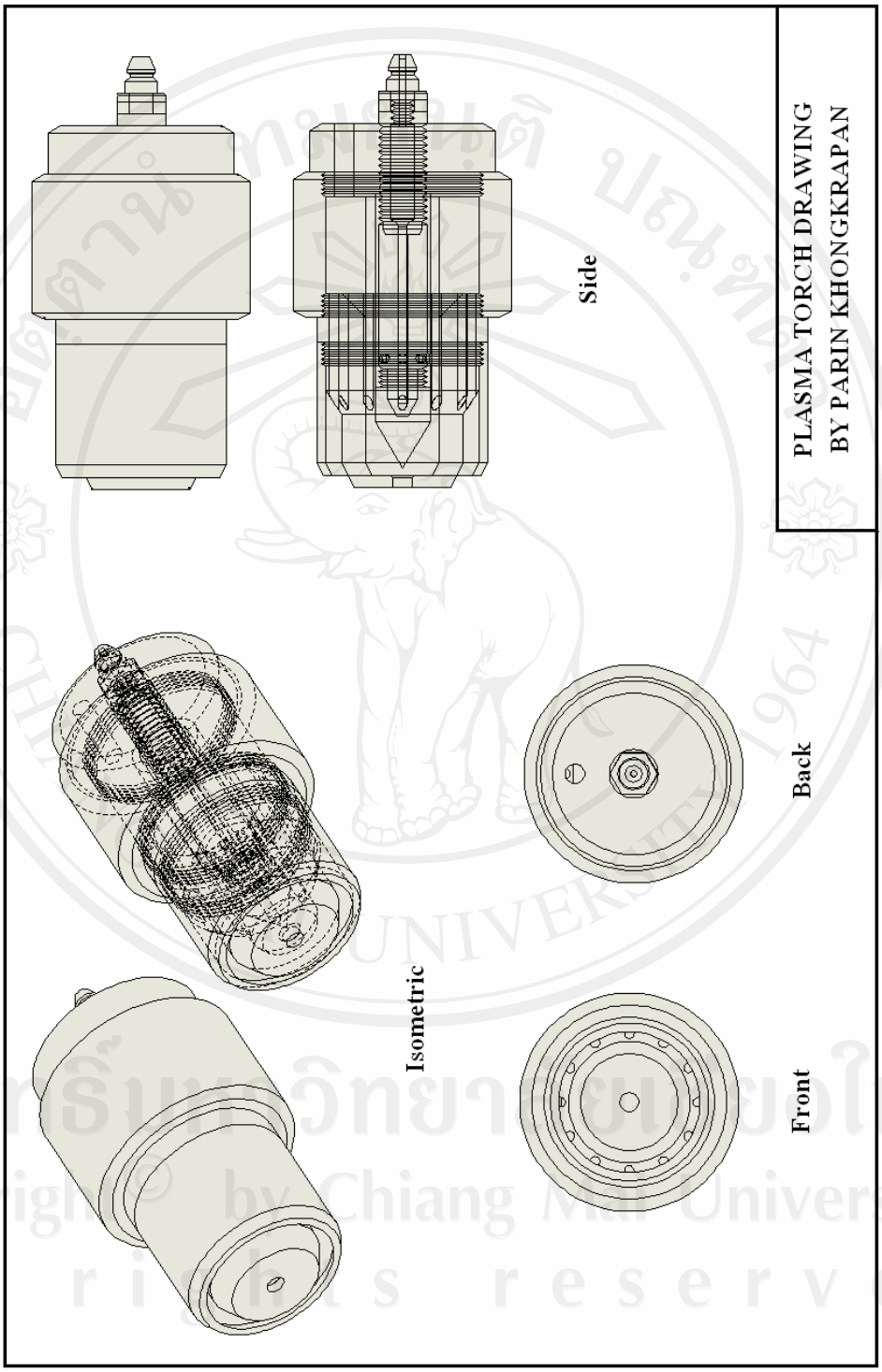
รูป 3.6 ชุดแคโทด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 3.7 ห้องอากาศหล่อเย็น

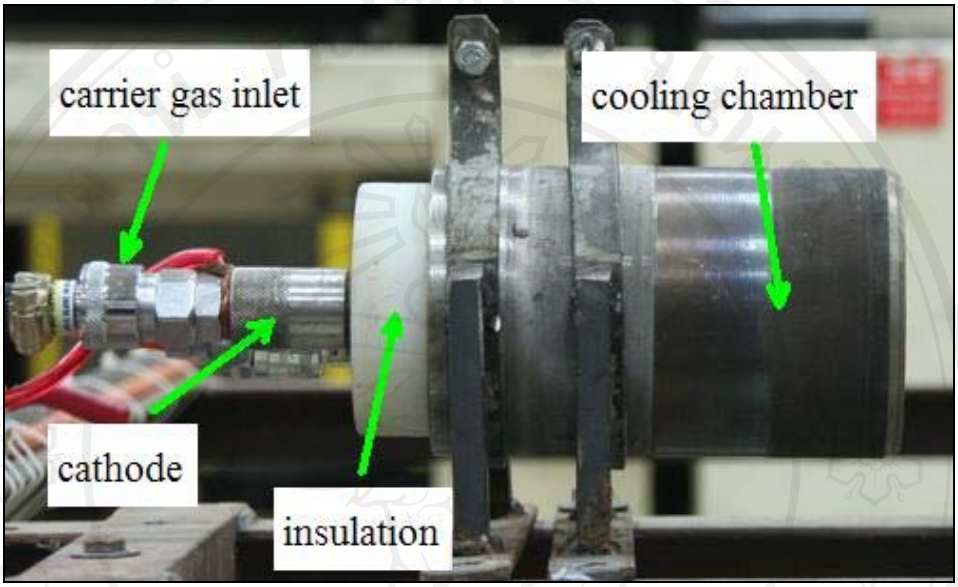
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



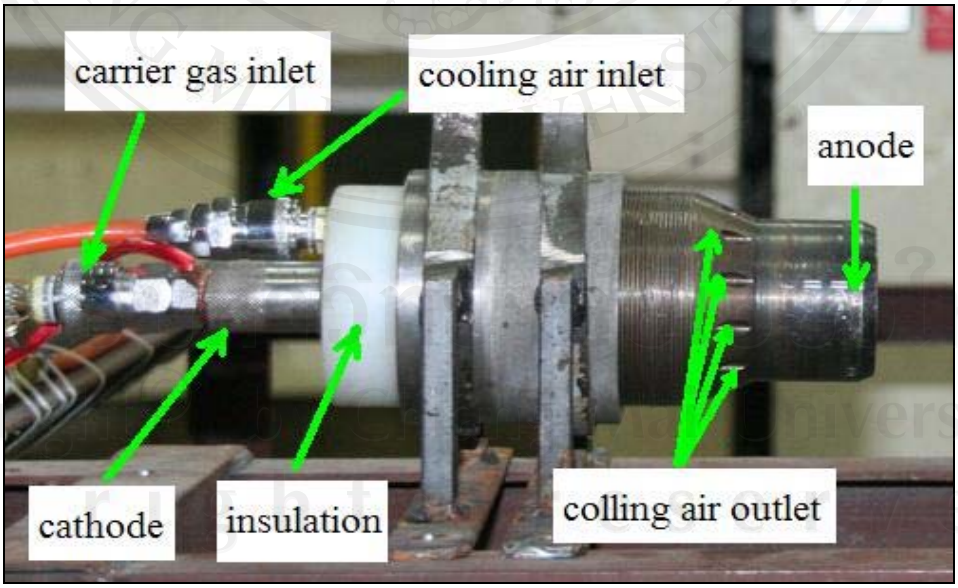
รูป 3.8 หัวเผาพลาสมาต้นแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.2 หัวเผาพลาสมาต้นแบบที่ทำการสร้าง

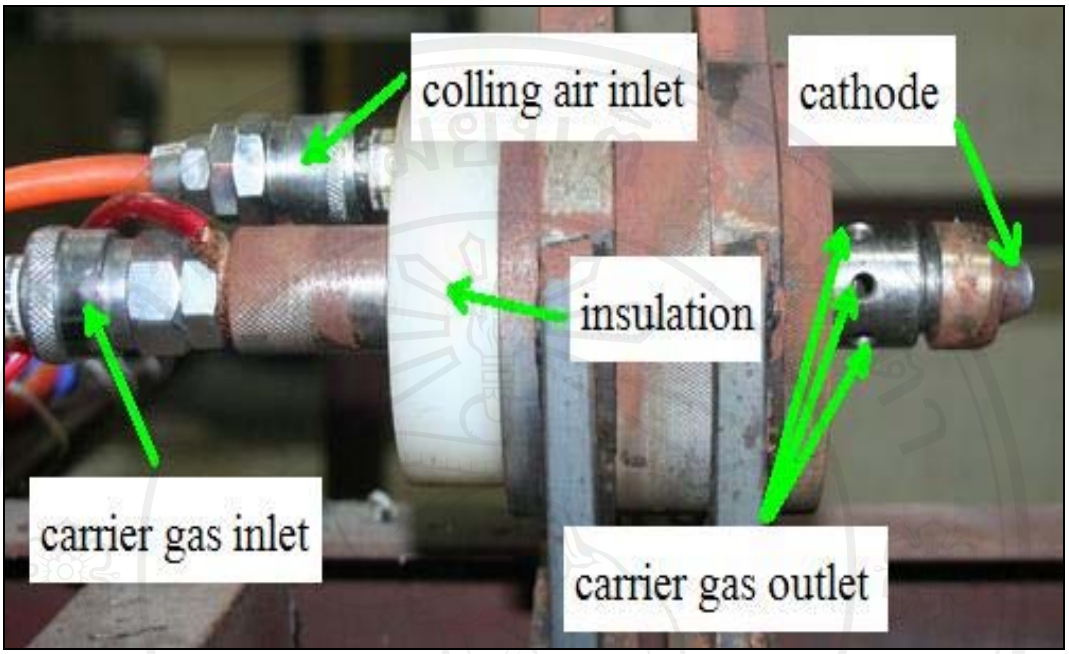


รูป 3.9 (ก) หัวเผาพลาสมาต้นแบบที่ทำการสร้าง

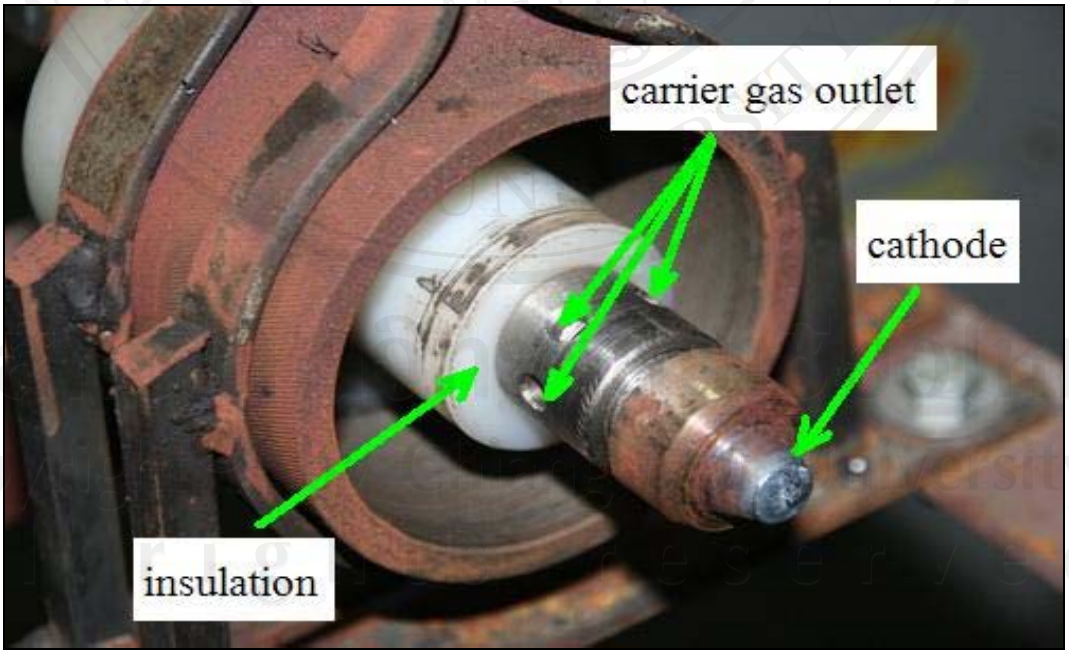


รูป 3.9 (ข) หัวเผาพลาสมาต้นแบบที่ทำการสร้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

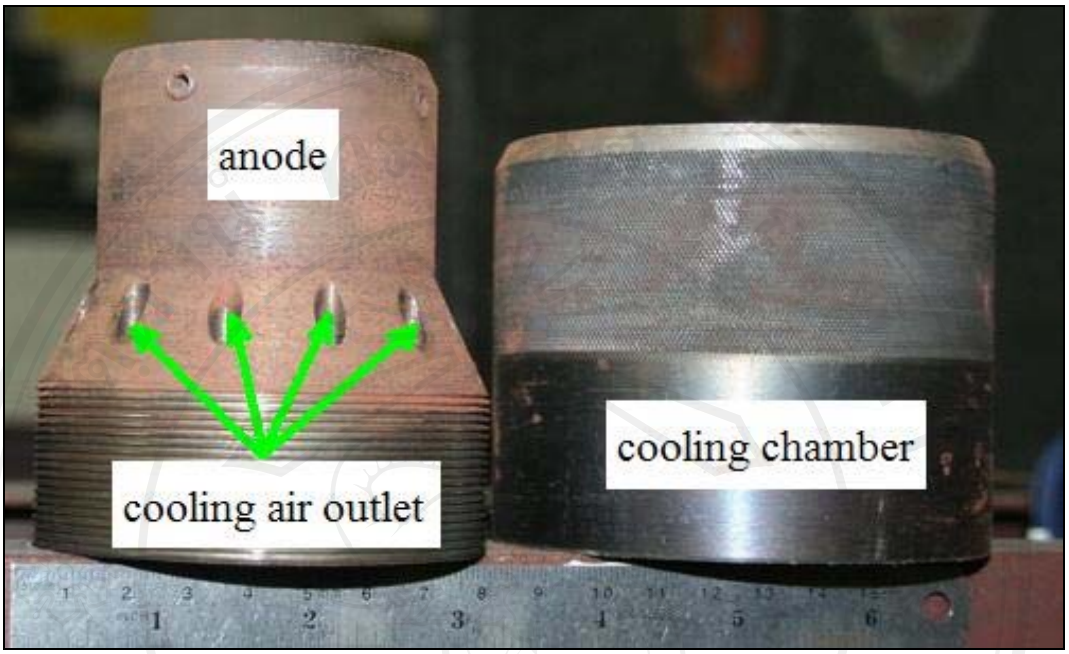


รูป 3.9 (ค) หัวเผาพลาสมาต้นแบบที่ทำการสร้าง



รูป 3.9 (ง) หัวเผาพลาสมาต้นแบบที่ทำการสร้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 3.10 ส่วนประกอบของหัวเผาพลาสมาต้นแบบที่ทำการสร้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved