การออกแบบ
และสร้างอุปกรณ์ประกอบ
ระเหิดสารภายใต้สุญญากาศ

โดย

วีระ ไทยสยาม

และ

ชัยวิทย์ ศิลาวัชนาไนย

เลขหมู่ TA491 .C64 [2537?]
เล่ม ที่ ฉ.1
1 มิ.ย. 2548

Order Key.....12312.....
BIB Key.....12332.....

รายงานงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้
คณะวิทยาศาสตร์ ประเภททั่วไป ประจำปี พ.ศ. 2534

บทคัดย่อ

ระบบอุปกรณ์ระเหิดสารภายใต้สุญญากาศได้ถูกออกแบบ และสร้างขึ้นโดยอาศัยวัสดุที่จัดหาได้ในประเทศ ประกอบด้วยจานโลหะชุบโครเมียม, ข้อต่อระบบสุญญากาศ, ข้อต่อขั้วอิเล็คโตรดไฟฟ้าแรงสูง, ข้อต่อระบบวัดความดัน, ข้อต่อระบบจ่ายความร้อนให้ลวดโลหะ เป็นต้น อุปกรณ์ระเหิดสารที่สร้างขึ้นนี้สามารถมองเห็นการทำงานได้อย่างชัดเจน เนื่องจากเลือกใช้แก้วทรงกระบอกปลายครึ่งทรงกลมเป็นภาชนะสุญญากาศ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยทำความดันได้ในระดับ 5×10^{-5} ทอร์ร และทดสอบเคลือบผิวของกระจกโค้งด้วยอลูมิเนียม ปรากฏว่าสามารถเคลือบผิวกระจกได้ตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถควบคุมการเคลือบผิวได้ด้วยการป้อนกระแสให้กับลวดความร้อนเพื่อให้เกิดการระเหิด

Abstract

A simple vacuum evaporator accessory has been designed and constructed, with emphasis on using locally available materials. The unit comprises of a chrome plated steel base with vacuum connectors, electrodes connectors, leak valve, gauge connector, heater connectors etc. A glass bell jar is used as vacuum vessel. In the experiment test, the unit was evacuated to $\sim 5\times10^{-5}$ torr pressure, and an aluminium metal was evaporated successfully to form a coating on a glass disk.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

Abstract ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

1. บทนำ 1

2. ทฤษฎี 2

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย 4

4. การประกอบอุปกรณ์กับระบบสุญญากาศและการทดลอง 12

5. สรุปผลวิจารณ์และข้อเสนอแนะ 19

หนังสืออ้างอิง 21

ประวัติการทำงานผู้วิจัย 22

1. บทนำ

กระบวนการเคลือบสารในสุญญากาศนั้น เป็นกระบวนการหลักสำคัญหนึ่งในห้องปฏิบัติการวัสดุศาสตร์และพลาสมาฟิสิกส์ อุปกรณ์ระเหิดสารภายใต้สุญญากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานวิจัย และการประยุกต์ใช้มากมาย เช่น การสร้างสารกึ่งตัวนำ การสร้างเวเฟอร์ของเซลล์สุริยะการเคลือบสารที่ผิวเลนส์ และกระจกเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ทางทัศน์ เป็นต้น ข้อดีของอุปกรณ์ดังกล่าวคือ สามารถควบคุมภาพและปริมาณของกระบวนการเคลือบได้อย่างมีประสิทธิภาพ วัสดุชิ้นงานภายหลังการเคลือบจะมีความคงทนและมีผิวชิ้นงานเรียบสม่ำเสมอ และอุปกรณ์ระเหิดสารภายใต้สุญญากาศนี้ยังช่วยลดปัญหามลภาวะทางอากาศอีกหากเปรียบเทียบกับการเคลือบสารด้วยไฟฟ้าเคมี ปัจจุบันภายใต้การเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมภายในประเทศ การพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์จะต้องเกิดควบคู่กันไปเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการความรู้พื้นฐานอันจะนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมให้เป็นเทคโนโลยีของตนเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสากรรมเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มบางโปร่งแสง, อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์, อุตสาหกรรมการผลิตเลนส์ เป็นต้น จำเป็นจะต้องใช้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีทางด้านการเคลือบผิวเป็นอย่างมาก ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงได้ถูกคิดและดำเนินการขึ้น ทั้งนี้เพื่อมุ่งหวังให้เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในการใช้งานการเคลือบสารในสุญญากาศระดับประเทศ และเพื่อให้ทราบถึงเทคนิคและกระบวนการทางฟิสิกส์ ตลอดจนเป็นการเพิ่มทักษะในการสร้างซ่อมบำรุงและทดสอบอุปกรณ์ระเหิดสารภายใต้สุญญากาศ และวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการเรียนการสอนและงานวิจัยของหน่วยสาขาพลาสมาฟิสิกส์ ภาคฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อันจะเป็นการเพิ่มศักยภาพของหน่วยงานให้เข้มแข็งทางวิชาการต่อไป

2. ทฤษฎี

เทคนิคการสร้างฟิล์มบางโดยการระเหิดสารภายใต้สุญญากาศก็คือ การเลือกสารที่มีจุดหลอมเหลวต่ำระเหิดกลายเป็นไอของโลหะหรืออัลลอยด์(ภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ) ได้ง่าย และปริมาณมากเพียงพอ ไปตกกระทบยังเป้าซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่า ก็จะเกิดการควบแน่นกลายเป็นของแข็งเกาะเป็นฟิล์มบางติดที่ผิววัสดุชิ้นงานที่ต้องการเคลือบ โดยปกติจะเรียกชิ้นงานนี้ว่า สารรองรับ (Substrate) อย่างไรก็ตามผู้วิจัยขอกล่าวถึงรายละเอียดและเทคนิคของการเคลือบผิว ในระบบอื่น ๆ ไว้ในรายงานนี้ด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของระบบการเคลือบผิวชิ้น งานต่าง ๆ ชัดเจนขึ้น

2.1 ระบบเคลือบผิวแบบไฟฟ้า

ระบบการเคลือบผิวแบบไฟฟ้าสถิตนี้มีการประยุกต์ใช้งานในหลายวัตถุประสงค์ แต่อาศัยหลักการทำงานที่เหมือนกัน คือ ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสถิต จะขอยกตัวอย่างการเคลือบผิวชิ้นงานบางประเภทดังนี้

2.1.1 การเคลือบผิวด้วยไฟเบอร์

เป็นระบบที่มีใช้กันมากในปัจจุบันนี้ จะมีการเคลื่อนวัสดุชิ้นงาน (สารรองรับ) ที่ต่อกับขั้วดิน (ground) เข้าไปในบริเวณที่มีผงไฟเบอร์ซึ่งต่อกับขั้วไฟฟ้า ผงไฟเบอร์จะมาเกาะติด กับชิ้นงานซึ่งทากาวไว้โดยใช้ไฟฟ้าสถิตช่วยในการเรียงตัว ทำให้สามารถจัดเรียงลงบนพื้นผิวที่ ติดกาวได้อย่างมีระเบียบ โดยปกติไฟเบอร์จะเรียงตัวตามความยาวของไฟเบอร์โดยขนานกับสนามไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติสามารถปรับผิวให้ทำมุมกับสนามไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงสามารถเคลือบผิวที่มุม ต่าง ๆ ได้นั่นเอง เช่น เทคนิคการทำพรม, การทำลายบนเสื้อ เป็นต้น

2.1.2 การเคลือบผิวแบบอิเล็กโตรเพลตติง

นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ หรือสำหรับการเคลือบวัตถุรูปทรงแปลก ๆ ขนาดใหญ่ เช่น การเคลือบสีผิวรถยนต์ การเคลือบในลักษณะนี้มีหลักการคือ วัตถุชิ้นงานจะถูกจุ่มลงในถังสารเคลือบและมีเครื่องจ่ายไฟฟ้าประมาณ 100 โวลต์ ระหว่างผนังของถังกับวัตถุที่ต้อง การเคลือบ สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะทำให้ผงสีในถังไปเกาะผิวของวัตถุชิ้นงาน ข้อดีของระบบ ดังกล่าวก็คือ จะเคลือบผิวได้บางและสม่ำเสมอ ค่าใช้จ่ายต่ำ

2.1.3 การเคลือบผิวแบบฟลูอิดไดซ์

เป็นระบบที่นิยมใช้กับการเคลือบผิวชิ้นงานขนาดเล็กโดยเฉพาะเป็นเส้นยาว โดยวัสดุชิ้นงานที่ต้องการเคลือบจะถูกทำให้ร้อนและส่งผ่านเข้าไปในห้องเคลือบ อนุภาคสารเคลือบ จะเกาะติดและหลอมเหลวติดอยู่บนผิววัสดุ ข้อดีก็คือสามารถเคลือบผิวชั้นหนาได้และใช้เป็น ระบบอัตโนมัติได้ง่าย นอกจากนี้ยังไม่เหมาะสมกับชิ้นงานเคลือบขนาดใหญ่และแขนราบ

2.2 การเคลือบผิวภายใต้สุญญากาศ

ดังที่กล่าวไปแล้วการเคลือบหรือฉาบผิววัสดุด้วยสารโลหะและอโลหะภายใต้สุญญากาศกระทำได้ 2 กระบวนการ คือ

2.2.1 การระเหิดโลหะภายใต้สุญญากาศ (Vacuum Evaporation)

2.2.2 พลาสมาสปัตเตอริง (Plasma Sputtering)

2.2.1 การระเหิดโลหะภายใต้สุญญากาศ

เป็นกระบวนการระเหยสารปริมาณเพียงพอภายใต้สุญญากาศ และให้ไอของสารไปเกาะติดบนสารรองรับ ตามสมการแสดงอัตราการระเหยของสารจากพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรของ Langmuir (1) เขียนได้ว่า

$$Q = 5.83 \times 10^{-1} P_o \sqrt{\frac{M}{T}} \quad g/cm^2 - s \qquad (1)$$

โดย Q = อัตราการระเหยของสาร

P_0 = ความดันของสารระเหยในหน่วยทอร์ร ภายใต้สภาวะอิ่มตัว, ทอร์ร

M = มวลโมเลกุล

T = อุณหภูมิองศาสมบูรณ์, K

โดยปกติอัตราการเกาะติดของไอของสารระเหยบนผิวของวัสดุรองรับนั้น นอกจากจะขึ้นกับอัตราการระเหยแล้วจะขึ้นกับชนิด รูปร่าง และตำแหน่งของต้นกำเนิดไอสาร รวมทั้งสัมประสิทธิ์ของการควบแน่นของสารระเหยด้วย

เครื่องเคลือบระเหิดสารโดยปกติประกอบด้วย ระบบสูบอากาศความดันต่ำ, ภาชนะสุญญากาศ, ระบบการระเหยสาร, ระบบระบายความร้อน, และทำงานภายใต้ความดันประมาณ $10^{-3}-10^{-8}$ ทอร์ร ซึ่งในทางการค้ามีการขายเป็นชุดประกอบสำเร็จราคาแพงสามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมาย เช่น การเคลือบผิวกระจกด้วยเงิน เป็นต้น ตารางที่ 1 แสดงสารโลหะที่ใช้ในการระเหิดและอุณหภูมิระเหิดที่ความดันต่าง ๆ

ตารางที่ 1 สารที่ใช้ในการระเหิดและอุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ (3)

วัสดุ	เทคนิค	อุณหภูมิการระเหิด ^{o}C	
		$P = 10^{-6}$ ทอร์ร	$P = 10^{-2}$ ทอร์ร
อลูมิเนียม	ลวดทังสเตน	800	1,100
คาร์บอน	อาร์ค	2,000	2,700
ทองแดง	ถ้วยทังสเตนหรือโมลิบดินัม	900	1,300
ทอง	ถ้วยทังสเตนหรือโมลิบดินัม	1,000	1,500
เหล็ก	ลวดทังสเตนหรือถ้วยอลูมินา	1,100	1,500
นิกเกิล	ลวดทังสเตนหรือถ้วยอลูมินา	1,100	1,500
ทองคำขาว	ลวดทังสเตน	1,500	2,100
เงิน	ลวดทังสเตนหรือโมลิบดินัม	700	1,050
สังกะสี	ตะกร้าทังสเตนหรือถ้วยเหล็ก	200	350

3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

การออกแบบได้เลือกสนใจวัสดุที่ใช้สำหรับเทคนิคการระเหิดสารภายใต้สุญญากาศที่หาได้ภายในประเทศ โดยโลหะที่เลือกใช้เป็นสารระเหิดจะมีจุดหลอมเหลวต่ำ และคณะผู้วิจัยสนใจที่จะเลือกใช้วัสดุที่เป็นห้องสุญญากาศที่หาง่าย ราคาถูก ได้แก่ จานโลหะชุบโครเมียม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 27 เซนติเมตร ส่วนข้อต่อและขั้วไฟฟ้า (ยกเว้นฉนวน) ถูกออกแบบและสร้างขึ้นจากเครื่องกลึง รุ่น MaxIMat V10-P ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยส่วนใหญ่ทำจากทองเหลืองและเหล็กไร้สนิม (Stainless stcel) เช่น น็อต เป็นต้น

3.2 กระบวนการออกแบบและสร้างอุปกรณ์

โดยปกติระบบเคลือบผิวด้วยเทคนิคการระเหิดสารภายใต้สุญญากาศ จะประกอบด้วย

1. ระบบสุญญากาศความดันสูง (สูบเชิงกลแบบโรตารี) [High pressure vacuum system]
2. ระบบสุญญากาศความดันต่ำ (สูบไอฟุ้งกระจาย) [Low pressure vacuum system]
3. ภาชนะสุญญากาศ [Vacuum chamber] และระบบระเหิด [Evaporation unit]
4. ระบบทำความเย็น [Cooling system]
5. ข้อต่อและท่อต่าง ๆ พร้อมทั้งวาล์วปรับความดัน [Connector, insert and pipes with valve]

สำหรับในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยสนใจเฉพาะในรายการที่ 3 ทั้งนี้เพราะในรายการที่ 1 – 2 และ 4 – 5 เป็นครุภัณฑ์ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยสาขาพลาสมาและเลเซอร์เทคโนโลยี ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการประกอบระบบดังกล่าวไว้อยู่เรียบร้อยแล้ว รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 13

3.3 วิธีการ

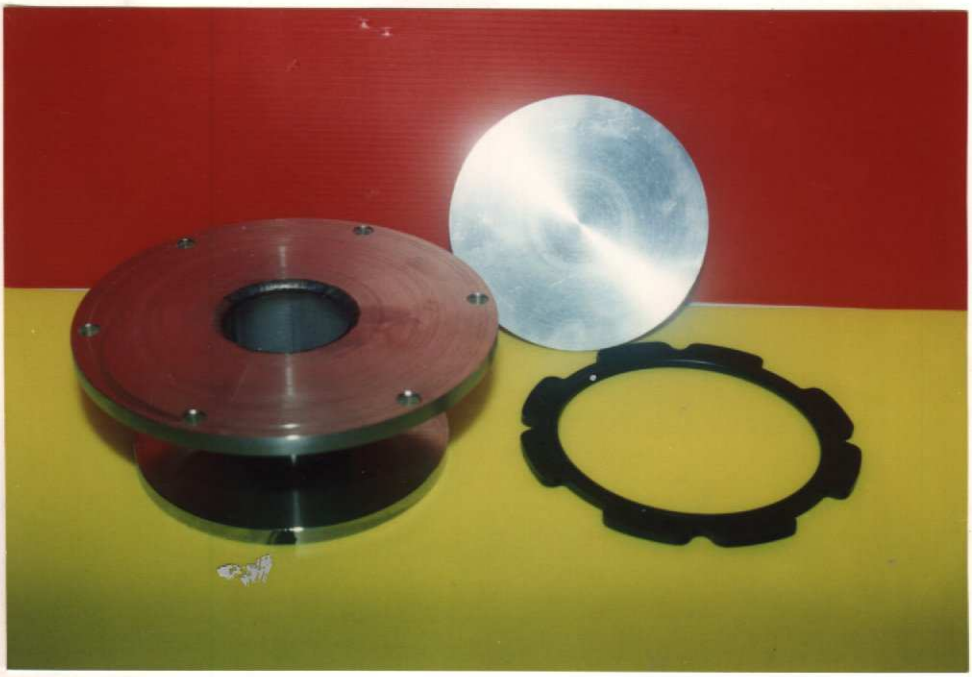
เพลทที่เป็นฐานของระบบสุญญากาศทำจากเหล็กชุบโคเมียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 27 เซนติเมตร โดยทำการกลึง เซาะร่อง เพื่อเป็นบ่ารองรับโอริงค์สำหรับประกบระหว่างเพลทฐานกับแก้วเบลจาร์ (Bell jar) และ เพลทฐานนี้จะวางอยู่บนระบบตัวจับไอน้ำ (Water Trapper) ซึ่งวางบนสูบไอฟุ้งกระจาย เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 โครงสร้างส่วนประกอบของปั๊มไอฟุ้งกระจาย รุ่น Mk2 ของบริษัท Edwards ตัวจับไอน้ำ และเพลทฐานของภาชนะสุญญากาศ

เพลทฐานภาชนะสุญญากาศนี้ยังได้รับการออกแบบโดยเจาะและกลึงเป็นรูสำหรับต่อกับระบบต่าง ๆ ได้แก่

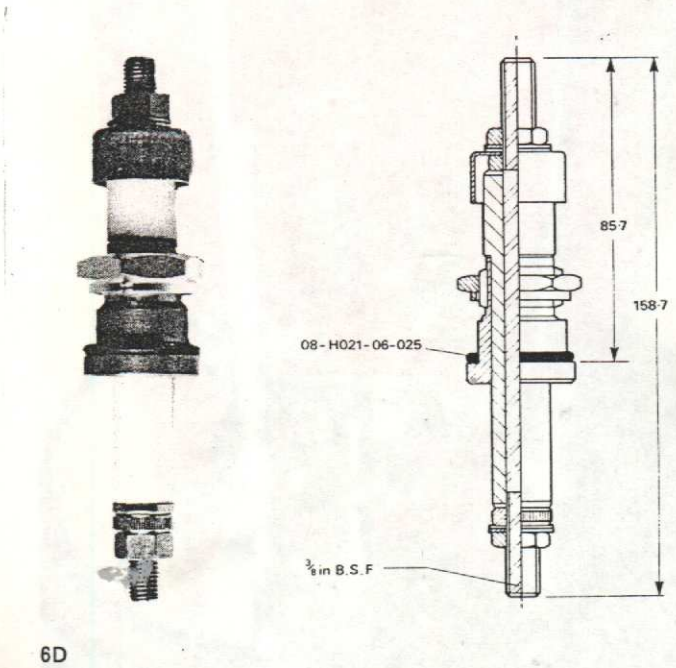
1. รูตรงกลางเพลท ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร เพื่อต่อกับระบบสุญญากาศ โดยทำเป็นบ่าเพื่อรองรับยางโอริงค์ (Co-Seals for ISO flanges) ของบริษัท Edwards รุ่น E02 แสดงรายละเอียดตามรูปที่ 2
2. รูโดยรอบ size "A" ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 34.24 มิลลิเมตร และ size "B" 19.78 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการต่อกับระบบภายนอก
3. น็อตทองเหลือง กลึงเกลียวและขนาดพิเศษ ดังรูปที่ 3
4. ขั้วไฟฟ้า กระแสสูงแบบเลื่อนเข้าออกได้ ซึ่งสั่งซื้อจากบริษัท Edwards รุ่น 6D แสดงรายละเอียดตามรูปที่ 4
5. ข้อต่อสุญญากาศและระบบปิด-เปิด กำบังไอสารระเหิด (Vacuum leadthroughs) ทำทำจากเหล็กไร้สนิม ทองเหลืองและยาง แสดงดังรูปที่ 5
6. เสายึดจับชิ้นงานสารรองรับ ทำจากอลูมิเนียม 3 ต้น แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 6
7. เพลทยึดจับชิ้นสารรองรับจำพวกกระจกวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 7
8. ขั้วไฟฟ้า กราวน์ ทำจากทองแดง แสดงดังรูปที่ 4
9. แผ่นอลูมิเนียม ป้องกันเศษไอสารระเหิดจากสู่ระบบสูบไอน้ำมันฟุ้งกระจาย เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 8

อุปกรณ์และวัสดุที่กล่าวมาแล้วถูกดำเนินการออกแบบ สร้าง และทดสอบโดยคำนึงทั้งทางด้านทฤษฎีและส่วนการปฏิบัติงานจริงในขณะทดสอบ โดยมีความแตกต่างเล็กน้อยกับภาชนะสุญญากาศที่มีขายเชิงพาณิชย์ ซึ่งจากผลการทดสอบก็สามารถพิสูจน์ได้ว่ามีประสิทธิ-ภาพในการใช้งานไม่แตกต่างกัน จะขอกล่าวรายละเอียดไว้ในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2 ด้านใต้ของเพลทฐานที่ทำเป็นบ่ารองรับยางโอริงค์ ที่เป็นจุดเชื่อมต่อกับระบบสุญญากาศปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

รูปที่ 3 น๊อตต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวปิดทางเชื่อมต่อกับระบบภายนอก



รูปที่ 4 ตัวอย่างขั้วไฟฟ้ากระแสสูงของบริษัท Edwards รุ่น 6D

รูปที่ 5 ข้อต่อสุญญากาศและระบบปิด–เปิด กำบังไอสารระเหิด

รูปที่ 6 เสายึดจับชิ้นงานสารรองรับ 3 เส้น

รูปที่ 7 เพลทยึดจับชิ้นงานสารรองรับประเภทกระจกรูปทรงวงกลม

รูปที่ 8 แผ่นอลูมิเนียมป้องกันไอสารระเหิดตากเข้าสู่ปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจาย

รูปที่ 8.1 แกนยึดจับแผ่นกำบังไอสารระเหิดและน็อตปิดทางเชื่อม

4. การประกอบอุปกรณ์กับระบบสัญญากาศและผลการทดลอง

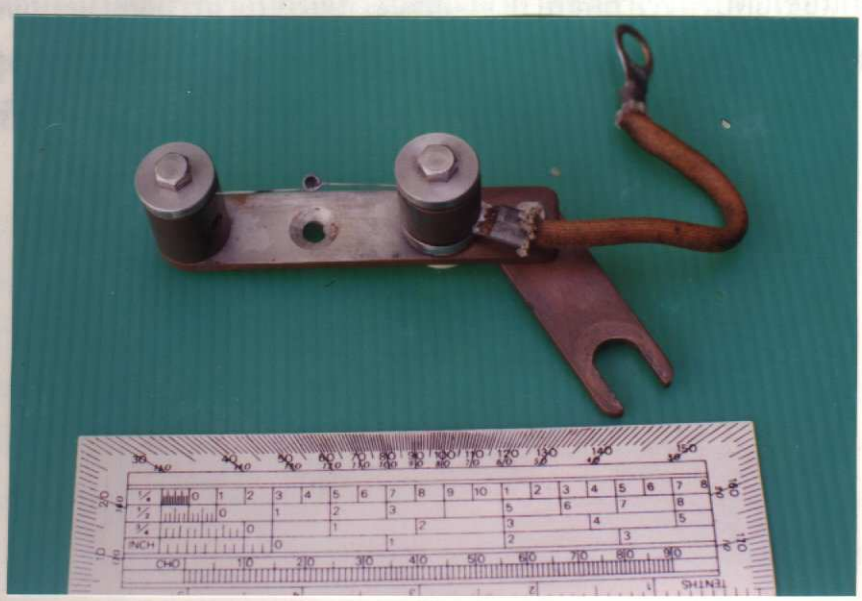
4.1 การประกอบอุปกรณ์

ภายหลังการสร้างอุปกรณ์แต่ละชิ้นดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3 แล้ว เมื่อนำมาประกอบกันจะได้ชุดสำเร็จของภาชนะสุญญากาศ เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบระเหิดสารภายใต้สุญญากาศ ดังรูปที่ 9

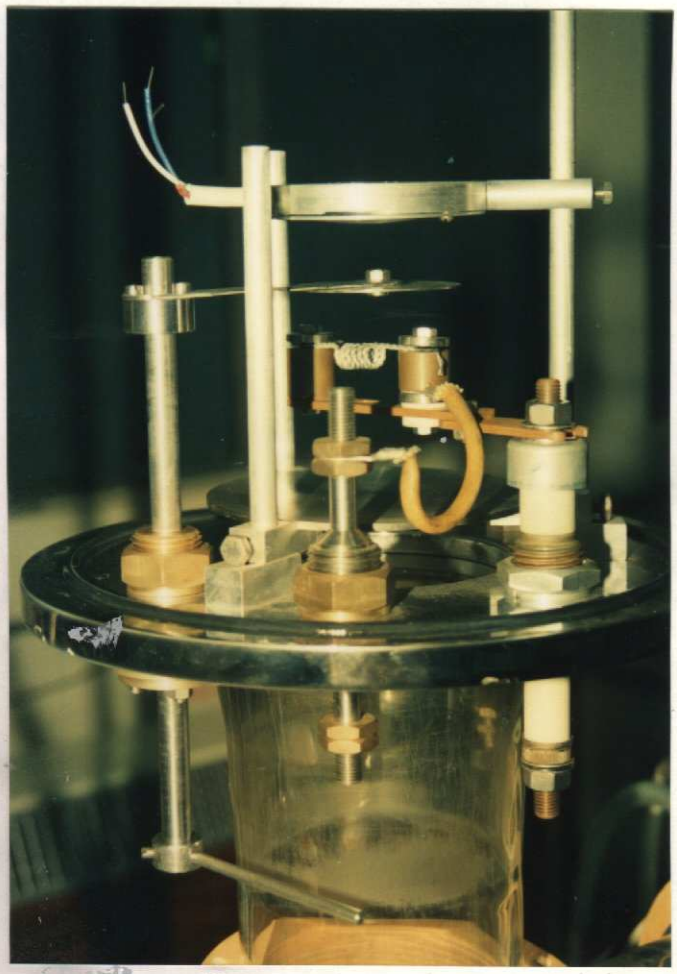
รูปที่ 9 อุปกรณ์ภาชนะสุญญากาศสำหรับใช้การเคลือบผิวแบบระเหิดสารภายใต้สุญญากาศ

สำหรับชุดอุปกรณ์ภาชนะสุญญากาศนี้สามารถแยกแสดงรายละเอียดต่าง ๆ เป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การประกอบเพลทฐานของภาชนะสุญญากาศ ได้แก่ส่วนติดตั้งขั้วอิเล็คโตรด และน็อตต่าง ๆ ตลอดจนเสาจับยึด และเพลทจับชิ้นงานสารรองรับ ดังรูปที่ 10 ส่วนที่สอง คือ ส่วนประกอบไส้และขั้วไฟฟ้าของสารระเหิด ซึ่งในที่นี้ได้เลือกใช้แบบตะกร้าทังสเตนและใส่ผงอลูมิเนียมไว้ภายในตะกร้า ดังรูปที่ 11 และส่วนสุดท้าย คือ วงแหวนโอริงค์ และแก้วเบลจาร์แสดงดังรูปที่ 12 ซึ่งเมื่อประกอบเป็นชุดสำเร็จจะเป็นไปตามรูปที่ 9

รูปที่ 10 เพลทโลหะชุบโครเมียมและส่วนประกอบรายละเอียดต่าง ๆ



รูปที่ 11 ส่วนประกอบไส้และขั้วไฟฟ้าของสารระเหิด



รูปที่ 12 ส่วนประกอบของวงแหวนโอริงค์และแก้วเบลจาร์

ขั้นตอนต่อไปคือการนำอุปกรณ์ภาชนะสุญญากาศชุดสำเร็จนี้ไปต่อเชื่อมกับระบบทำความดันสุญญากาศซึ่งได้เตรียมไว้แล้ว รายละเอียดของระบบทำความดันสุญญากาศแสดงดังภาพที่ 13

รูปที่ 13 ระบบความดันสุญญากาศ ประกอบด้วยปั๊มไอน้ำมันฟุ้งกระจายและปั๊มกลโรตารี

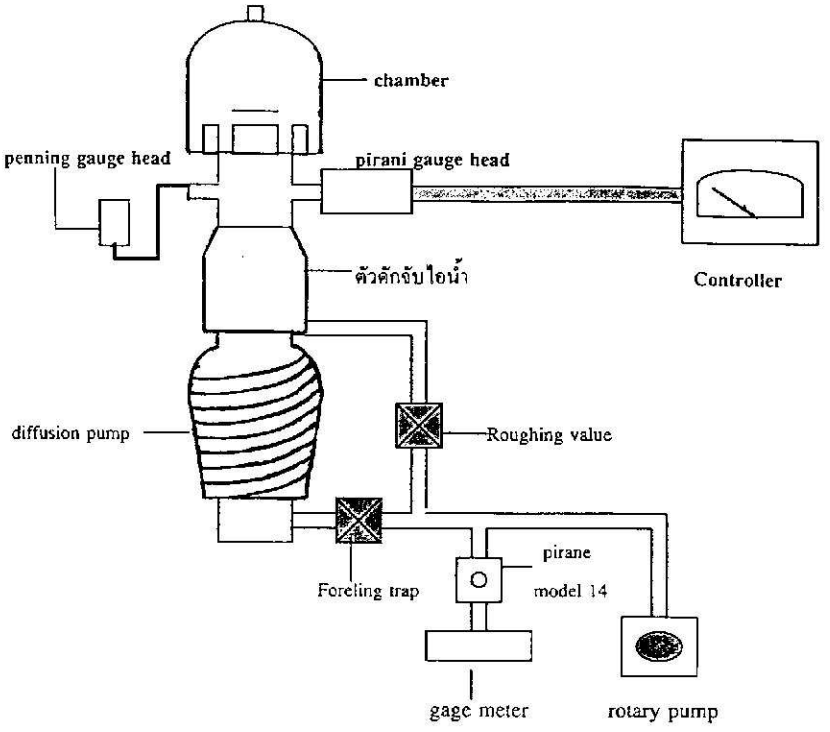
4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 การตรวจสอบการรั่วซึมของข้อต่อต่าง ๆ

ภายหลังการประกอบเครื่องเคลือบผิวแบบระเหิดสารภายใต้สุญญากาศเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็จะต้องทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าว เพื่อหาข้อผิดพลาด และปรับเทียบอุปกรณ์ทุก ๆ ส่วนโดยทำการทดลองสูบอากาศออกจนระบบเข้าสู่สภาวะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ขจัดความชื้นออกจากระบบสุญญากาศ และภาชนะสุญญากาศโดยเติมไนโตรเจนเหลวในตัวดักจับไอน้ำทุกครั้งและทำการเปิดวาล์วไล่ไอเสียของปั๊มกลโรตารี โดยทำการทดลองทำความดันต่ำกว่าที่ทดสอบประมาณ 3 ลิตร บรรยากาศในช่วง 10^{-3} ทอร์รเป็นเวลา 10 วัน ๆ ละ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ระบบนี้มีไอน้ำปะปนน้อยที่สุด เนื่องจากไม่ต้องการให้ไอน้ำไปรบกวนต่อกระบวนการเคลือบผิวชิ้นงานเมื่อทำการทดลองจริง

รูปที่ 14 แสดงชุดอุปกรณ์เคลือบผิวแบบระเหิดสารภายใต้สุญญากาศและระบบสุญญากาศ

หลังจากประกอบส่วนต่าง ๆ ของระบบเป็นที่เรียบร้อยดังรูปที่ 14 และทำการตรวจสอบรอยรั่วซึมโดยปิดเปิดวาล์วท่อส่วนหน้าและวาล์วท่อหยาบ (Rough) และส่วนที่เชื่อมต่อกับปั๊มกลโรตารี สูบอากาศออกจากระบบจนความดันคงที่และทิ้งไว้ หากพบว่าเข็มของเกจพิรานี (ตำแหน่งที่ 3 ของรูปที่ 15) มีการขยับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในไม่กี่วินาทีแสดงว่ามีการรั่วซึมในช่วงวาล์วท่อส่วนหน้าและวาล์วท่อหยาบสูง หากลดลงอย่างช้า ๆ และใช้เวลาหลายนาทีจึงถึงจุดความดันบรรยากาศ ก็แสดงว่าระบบยังคงสามารถทำงานอย่างไรก็ตามในสภาพการตรวจสอบการรั่วซึมจริง ๆ นั้น ยังสามารถใช้เทคนิคอื่น ๆ ได้อีกมากมาย แต่เนื่องจากมีความจำกัดในเรื่องงบประมาณและครุภัณฑ์สำหรับทดสอบ โดยทั่วไปก็สามารถใช้วิธีการดังกล่าวตรวจสอบการรั่วซึมได้เช่นกัน



รูปที่ 15 ไดอะแกรมการประกอบระบบของเครื่องเคลือบผิวระเหิดสารภายใต้ความดันสุญญากาศ

ในส่วนอื่น ๆ ก็สามารถตรวจสอบการรั่วซึมได้เช่นเดียวกันและส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือภาชนะสุญญากาศที่ได้สร้างขึ้น เพราะมีข้อต่อและรูจำนวนหลายขนาดและหลายรู ดังนั้น การตรวจสอบการรั่วซึมสามารถทดสอบได้โดยการถอดชุดภาชนะสุญญากาศออก แล้วปิดด้านบนของตัวดักจับไอน้ำด้วยแก้วและยางโอริงค์ ทำการสูบอากาศออกจนเป็นสุญญากาศในระดับ 10^{-5} ทอร์ร ให้ได้เสียก่อน และจับเวลาการรั่วซึมภายหลังการหยุดระบบปั๊มทั้งหมด พบว่าใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จึงมีค่าความดันสูงขึ้นถึงระดับ 10^{-1} ทอร์ร ในทำนองเดียวกันได้วางชุดอุปกรณ์ภาชนะสุญญากาศบนยางโอริงค์แทนแผ่นแก้ว ก็พบว่าให้ผลการเพิ่มความดันจากการรั่วซึมได้เช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าระบบภาชนะสุญญากาศดังกล่าวมีการรั่วซึมน้อยมาก

4.2.2 การทดสอบการเคลือบผิวกระจกด้วยผงอลูมิเนียม

จากการทดสอบในหัวข้อ 4.2.1 ก็ได้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้พอสมควรแล้ว แต่ยังขาดในส่วนที่ทดสอบเคลือบผิวชิ้นงาน เพื่อดูความสามารถของอุปกรณ์ดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ทดสอบการเคลือบผิวกระจากด้วยอลูมิเนียม และผลการทดลองแสดงไว้ดังรูปที่ 17

รูปที่ 17 ชิ้นงานกระจกก่อนและหลังเคลือบผิวด้วยอลูมิเนียม

ค่าความดันที่ทำได้ในระบบประมาณ 5×10^{-3} ทอร์ร ในเวลาประมาณ 35 นาที และใช้ขดลวดทังสเตนแบบตะกร้าเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนเพื่อให้ผงอลูมิเนียมในตะกร้าเกิดการระเหิด ระยะห่างขดลวดกับวัสดุรองรับเท่ากับ 2 เซนติเมตร กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเผาไส้ขดลวดทังสเตน 120 A

และทดสอบสมบัติการสะท้อนแสงของแผ่นแก้ว โดยใช้แสงเลเซอร์ก๊าซฮีเลียมนีออน เป็นแหล่งกำเนิดแสง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งเปรียบเทียบกับการวัดประมาณกำลังของแสงเลเซอร์ที่สะท้อนออกจากกระจกโค้งโปร่งใสที่จุดโฟกัสของกระจก พบว่ากระจกโค้งภายหลังผ่านกระบวนการเคลือบด้วยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ให้ปริมาณกำลังของแสงเลเซอร์ที่สะท้อนออกมามากกว่ากระจกโค้งโปร่งใส

ตารางที่ 3 การวัดกำลังของแสงเฮเลอร์ยีเลียม-นีออน ขนาด 0.95 mW ที่ออกจากกระจกโค้งโปร่งใส ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร จากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์

การทดลองครั้งที่	ความเข้มแสงที่ส่องผ่าน (μW)	
	ไม่เคลือบอลูมิเนียม	เคลือบอลูมิเนียม
1	0.006	21.2
2	0.006	21.0
3	0.006	20.9
4	0.006	21.1
5	0.006	21.5

5. สรุปผลวิจารณ์และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและวิจารณ์

จากการทดสอบชุดอุปกรณ์เคลือบผิวแบบระเหิดสารภายใต้สุญญากาศที่ได้สร้างขึ้นนี้ พบว่าชุดอุปกรณ์สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี ข้อต่อและรูต่าง ๆ สามารถต่อกับระบบภายนอกอื่น ๆ ได้เช่นเดียวกับชุดอุปกรณ์สำเร็จเชิงพาณิชย์ ซึ่งมีราคาแพงกว่า อย่างไรก็ตามในส่วนของขั้วไฟฟ้านั้นไม่สามารถสร้างขึ้นได้เอง โดยเฉพาะฉนวนไฟฟ้าแรงสูงที่ทำจากเซรามิกส์ ซึ่งไม่ทราบองค์ประกอบของสารเซรามิกส์

ในส่วนของการทดสอบเคลือบผิวแผ่นแก้วโค้งพาราบอลาภายใต้สุญญากาศ ก็พบว่าสามารถเคลือบผิวชิ้นงานได้ อย่างไรก็ดีหากระบบสุญญากาศทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่านี้ (สูบได้ระดับความดันต่ำกว่า 10^{-5} ทอร์ร) ก็จะทำให้ แผ่นแก้วชิ้นงานที่ถูกเคลือบผิวมีผิวเคลือบเคลือบที่เรียบสม่ำเสมอ และการที่ระบบทั้งหมดมีค่าความดันต่ำ ๆ ก็ถือเป็นผลดีต่อการจ่ายพลังงานในการเคลือบแต่ละครั้งที่ลดลง ทั้งนี้เพราะที่ระดับความดันต่ำ ๆ จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้เผาสวตทังสเตนลดลงด้วย (เพราะอุณหภูมิของการระเหยของสารที่ใช้เคลือบลดลง)

CENTRAL LIBRARY
PRINCE UNIVERSITY

สำหรับในส่วนสุดท้ายเป็นการทดลองการสะท้อนของกระจกก่อน และหลังการเคลือบผิว ซึ่งตารางที่ 3 แสดงให้เห็นได้ว่า การเคลือบผิวกระจกนั้นทำให้กระจกสามารถใช้เป็นตัวกลางเชิงทัศน์ในการสะท้อนและเหมือนกับกระจกเงาผิวโค้งทรงกลม และมีคุณสมบัติที่นำไฟฟ้าได้ทั้งที่กระจกแก้วปกติเป็นฉนวนไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์เคลือบผิวที่ได้สร้างขึ้นนี้ทำจากวัสดุที่หาได้ในประเทศ ซึ่งก็คือเหล็กโดยเฉพาะฐานรองรับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ทำด้วยเหล็กชุบโครเมียม ซึ่งหากต้องการความคงทนของอุปกรณ์ตลอดจนความเป็นรูพรุนของเนื้อสารที่น้อยลง ก็สามารถเปลี่ยนฐานหลักชุบโครเมียมดังกล่าวเป็นเหล็กไร้สนิมหรือที่เรียกกันว่าสเตนเลส แต่ก็มีข้อเสียที่จะว่าจะต้องหาเครื่องกลึงโลหะขนาดใหญ่จึงสามารถจับชิ้นงานดังกล่าวเพื่อกลึงได้ โดยได้รายงานไปข้างต้นแล้วว่าปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือเป็นงานชิ้นส่วนจำนวนเล็กน้อยที่ไม่สามารถจะหาบริษัทหรือโรงกลึงโลหะรับทำให้เพราะไม่คุ้มค่าจ้าง

สำหรับระบบสุญญากาศที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น ก็เป็นระบบเก่าที่อยู่ในห้องวิจัยพลาสมาและเลเซอร์เทคโนโลยี ภาควิชาฟิสิกส์ที่ติดตั้งมานานและอุปกรณ์โดยส่วนใหญ่สร้างขึ้นเอง จึงมีความเสื่อมตามสภาพการใช้งาน หากมีการแก้ไขปรับปรุงก็น่าที่จะทำให้งานวิจัยชิ้นนี้มีประสิทธิภาพผลเพิ่มมากขึ้น

เทคนิคการเคลือบผิวโลหะนี้ยังมีอีกมากมายที่น่าสนใจที่จะศึกษา และจะเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยและวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตอีกมาก ดังนั้นคณะผู้วิจัยคาดว่าในอนาคตจะมีการทำชิ้นงานออกมาอีกเพื่อเสริม และเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดังกล่าว ตลอดจนหาแนวทางในการทำงานวิจัยร่วมกับกลุ่มสาขาพลาสมาและเลเซอร์เทคโนโลยี และสาขาวัสดุศาสตร์ต่อไป

หนังสืออ้างอิง

1. Manual Edward 1984
2. Manual Edward 1991
3. ชัยวิทย์ ศิลาวัชนาไนย, 2525. ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบ, เอกสารประกอบการสอนภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, ม.สงขลานครินทร์ 200 หน้า
4. เอกสารสัมมนาเรื่องเทคโนโลยีสุญญากาศในงานวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม, 27–29ตุลาคม 2529, 132 หน้า