

การสร้างระบบสุญญากาศจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

A CONSTRICTION OF VACUUM SYSTEM FROM MECHANICAL ROTARY PUMP AND DIFFUSION PUMP

วุฒิชัย แพงงาม¹ และเจษฎา ประทุมสิทธิ์²
Wuttichai Phae-ngam^{1*} and Jedsada Prathumsit²

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร¹
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร²
p_mon_phy@hotmail.com¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบสุญญากาศจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันที่มีต้นทุนต่ำ เพื่อนำมาใช้ในการงานวิจัยด้านการเคลือบฟิล์มในสุญญากาศและใช้เป็นการเรียนการสอน ระบบสุญญากาศได้รับการออกแบบ โดยไม่ใช้การควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ ดังนั้นระบบสุญญากาศที่สร้างขึ้นจึงง่ายต่อการใช้งาน ภาชนะสุญญากาศที่ทำการสร้างมีหน้าต่าง 4 ด้าน และมีช่องสำหรับใส่อุปกรณ์จากภายนอก 12 ช่อง จากนั้นได้ทดสอบการทำสุญญากาศภายในภาชนะสุญญากาศใน 2 ขั้นตอน ได้แก่ (1) โดยการดูดอากาศออกด้วยปั๊มกลโรตารีเพียงอย่างเดียว และ (2) โดยการดูดอากาศออกด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันพร้อมกันผลการทดลองพบว่า เมื่อดูดอากาศออกด้วยปั๊มกลโรตารีเพียงอย่างเดียว เป็นเวลา 60 นาที ความดันสุดท้ายที่ทำได้มีค่าประมาณ 1.93×10^{-2} mbar และเมื่อใช้ปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันร่วมกันเป็นเวลา 180 นาที ความดันสุดท้ายที่ทำได้มีค่าประมาณ 3.40×10^{-5} mbar และระบบสุญญากาศนี้มีอัตราการรั่วเป็น 1.18×10^{-5} l·mbar/s ซึ่งความดันสุญญากาศที่ได้ในงานวิจัยนี้เป็นค่าที่เหมาะสม สามารถนำไปใช้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มในสุญญากาศด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การระเหิดสารด้วยความร้อน การระเหิดสารด้วยแสงเลเซอร์ และการเคลือบสารด้วยวิธีสปัตเตอริง เป็นต้น

คำสำคัญ

ระบบสุญญากาศ ปั๊มกลโรตารี ปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

ABSTRACT

In this research work, a low cost vacuum system using a rotary pump and a diffusion pump has been designed and constructed. The vacuum system can be used for research in the areas of thin film depositions under vacuum as well as for teaching. It has been designed without automatic control and hence, it is easy to be used. The vacuum chamber has 4 windows and 12 slots for installing the equipments from the outside. The vacuum system has been tested by two steps, i.e., (1) using a rotary pump only and (2) a rotary pump together with a diffusion pump. The results show that the final pressure in the vacuum chamber is about 1.93×10^{-2} mbar when it is evacuated by a rotary pump only for 60 min. However, the final pressure in the vacuum chamber is about 3.40×10^{-5} mbar when it is evacuated by a rotary pump and a diffusion pump for 180 min. The leak rate of vacuum system is 1.18×10^{-5} l·mbar/s. The vacuum obtained from this work is suitable for the deposition of thin films with various techniques such as thermal evaporation, laser evaporation and sputtering.

Keywords

Vacuum system, Rotary pump, Diffusion pump

บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีสุญญากาศถูกนำไปประยุกต์ใช้งานมากมายและเราสามารถพบเห็นได้รอบตัว เช่น การบรรจุข้าวกล้องอินทรีย์ในถุงสุญญากาศ (จำเนียร บุญมาก และ จุริภรณ์ อุทธิ, 2556) ชุตกำเนิดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อใช้รับสภาพ และทำความสะอาดพื้นผิว (ศราวุธ ใจเย็น และคณะ, 2556) การอบแห้งขิง (อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และศักชัย จงจำ, 2553) หรือกระบวนการในอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนั้นเทคโนโลยีสุญญากาศยังถูกใช้ในกระบวนการเคลือบฟิล์มต่างๆ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงพื้นผิวของวัสดุอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น การเคลือบอะลูมิเนียมออกไซด์บนเหล็กหล่อ (Cast iron) เพื่อป้องกันการกัดกร่อนด้วยเทคนิคสปัตเตอริง (Roth and other, 1988) การเคลือบฟิล์มไททาเนียมไนไตรด์ด้วยวิธีไอออนเพลตติงลงบนดอกสว่านที่ทำจากเหล็กความเร็วสูง (High speed steel) เพื่อเพิ่มอัตราการเจาะ และความคงทนของดอกสว่าน (Hintermann, 1984) เป็นต้น โดยตัวอย่างที่ยกมานี้จะเป็นการเคลือบในสุญญากาศแบบกายภาพ (Physical Vapor Deposition : PVD) ที่ให้เนื้อฟิล์มที่

มีความบริสุทธิ์สูง และบางเทคนิคยังเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของเนื้อฟิล์มบนชิ้นงานอีกด้วย จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ระบบสุญญากาศมีประโยชน์ต่อเทคโนโลยีการเคลือบฟิล์มเป็นอย่างมาก แต่อุปสรรคที่สำคัญประการหนึ่งในการใช้ระบบสุญญากาศคือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างระบบสุญญากาศที่มีราคาสูง เพราะหากทำการสั่งซื้อเครื่องเคลือบฟิล์มบางในระบบสุญญากาศแบบสำเร็จรูปจากต่างประเทศจะมีราคาสูงมาก เช่น เครื่องเคลือบสุญญากาศ รุ่น Dcl-1600 ที่นำเข้าจากประเทศจีนมีราคาประมาณ 4,000,000 บาท ทั้งนี้หากพิจารณารายละเอียดของเครื่องเคลือบในสุญญากาศจะพบว่าอุปกรณ์ส่วนใหญ่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคพื้นฐานซึ่งสามารถวิจัยและพัฒนาขึ้นได้ในประเทศ เพียงแต่งานด้านนี้ต้องการความละเอียดในการออกแบบและการสร้าง ซึ่งหากทำได้ก็จะช่วยประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องมือที่มีราคาสูงเหล่านี้จากต่างประเทศได้

จากที่กล่าวมาทางคณะผู้วิจัยจึงจะทำการสร้างระบบการเคลือบในสุญญากาศนี้โดยให้มีศักยภาพเพียงพอต่อการเตรียมฟิล์มโดยเทคนิคการระเหยสารด้วยความร้อน ซึ่งระบบสุญญากาศนี้จะต้องมีต้นทุนที่ต่ำกว่าการสั่งซื้อระบบสุญญากาศสำเร็จรูปตามท้องตลาด และลดความซับซ้อนของระบบควบคุมการทำงานโดยการไม่ใช้ระบบอัตโนมัติอันจะเป็นการเพิ่มทักษะและความเข้าใจแก่ผู้ที่สนใจงานด้านนี้ เช่น นักวิจัยหน้าใหม่ และนักศึกษา เป็นต้น นอกจากนี้ระบบสุญญากาศนี้ยังสามารถปรับปรุงหรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมได้เพื่อใช้ในการพัฒนาศักยภาพให้ตรงกับความต้องการในงานวิจัยในอนาคตได้มากกว่าเครื่องแบบสำเร็จรูปที่มีขาย ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวิจัยในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันที่สามารถสร้างความดันสุญญากาศในระดับที่เพียงพอต่อเทคนิคการเคลือบฟิล์มในสุญญากาศ
2. เพื่อทดสอบความดันสุญญากาศที่สร้างได้จากปั๊มกลโรตารีให้มีค่าไม่สูงเกิน 10^{-2} มิลลิบาร์
3. เพื่อทดสอบความดันสุญญากาศที่สร้างได้จากปั๊มกลโรตารีและปั๊มสุญญากาศให้มีค่าไม่สูงเกิน 10^{-5} มิลลิบาร์

ประโยชน์ที่ได้รับการวิจัย

1. ได้ระบบสุญญากาศที่สร้างจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันที่สามารถสร้างความดันสุญญากาศในระดับที่เพียงพอต่อเทคนิคการเคลือบฟิล์มในสุญญากาศ
2. ได้ระบบสุญญากาศที่สร้างความดันสุญญากาศที่สร้างได้จากปั๊มกลโรตารีให้มีค่าไม่สูงเกิน 10^{-2} มิลลิบาร์

3. ได้ระบบสุญญากาศที่สร้างความดันสุญญากาศที่สร้างได้จากปั๊มกลโรตารีและปั๊มไอสุญญากาศให้มีค่าไม่สูงเกิน 10^{-5} มิลลิบาร์

ขอบเขตของการวิจัย

1. สำรวจเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในสาขาวิชาฟิสิกส์ เพื่อจะนำมาประยุกต์ใช้สร้างระบบสุญญากาศสำหรับใช้ในงานวิจัย

2. ออกแบบระบบสุญญากาศที่สร้างจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

3. จัดหาเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อใช้สร้างระบบสุญญากาศที่สร้างจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

4. สร้างและประกอบระบบสุญญากาศที่สร้างจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

5. ตรวจสอบระบบสุญญากาศให้รักษาสภาวะสุญญากาศที่สร้างจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยต้องการที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสุญญากาศสู่การสร้างระบบสุญญากาศเพื่อใช้ในงานวิจัยด้านการเตรียมฟิล์ม โดยระบบสุญญากาศนี้จะสร้างขึ้นจากการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์มาประกอบเอง โดยไม่ได้ใช้การสั่งซื้อสำเร็จ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อได้มากกว่าร้อยละ 50 รวมทั้งยังเป็นการเปิดโอกาสให้เกิดกระบวนการเรียนรู้ทั้งในส่วนของนักวิจัยและนักศึกษา เพิ่มพูนทักษะ และยังสามารถใช้ในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

นิยามศัพท์เฉพาะ

ระบบสุญญากาศ หมายถึง ระบบที่เกิดจากการประกอบขึ้นด้วยปั๊มสุญญากาศ ภาชนะสุญญากาศ เกจวัดความดันสุญญากาศ และอุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่น ๆ

ปั๊มกลโรตารี หมายถึง ปั๊มกลโรตารีชนิดสองโรเตอร์แบบใบกวาด (Two-stage rotary vane vacuum pump)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ปั๊มกลโรตารี บริษัท Edwards รุ่น E2M8

2. ปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน ประกอบภายในประเทศ

3. เกจไอออนไนเซชัน บริษัท MKH รุ่น 943 cold cathode

4. เกจพิราณี บริษัท Divac Limited รุ่น TR-1DB

5. ระบบน้ำหล่อเย็น ขนาด 117 วัตต์ น้ำยาหล่อเย็น 25 ลิตร ทำอุณหภูมิต่ำสุด-

20°C

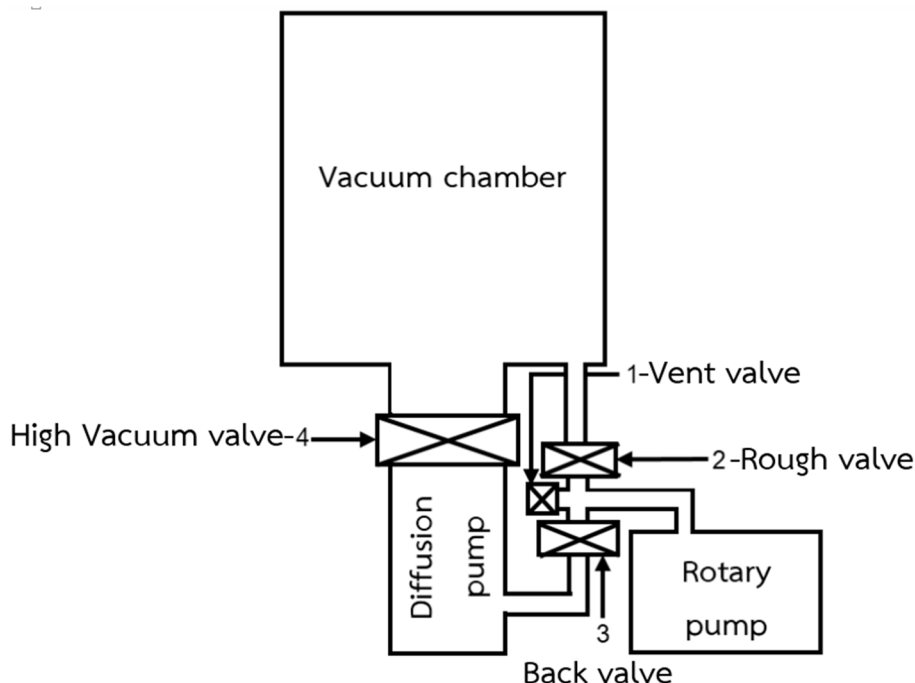
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบ จัดเตรียมอุปกรณ์ และประกอบระบบสุญญากาศ

ระบบสุญญากาศโดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ประการคือ ภาชนะสุญญากาศและอุปกรณ์เชื่อมต่อปั๊มสุญญากาศ และเครื่องมือวัดความดันสุญญากาศ เริ่มที่การออกแบบภาชนะสุญญากาศครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการออกแบบ โดยภาชนะสุญญากาศทำจากสแตนเลสเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งภาชนะสุญญากาศนี้จะถูกนำไปใช้งานในการเตรียมฟิล์มด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การระเหยสารด้วยความร้อน การระเหยสารด้วยแสงเลเซอร์ เป็นต้น จึงต้องออกแบบเพื่อรองรับกับระบบต่าง ๆ ของการเตรียมฟิล์ม เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบวัดความดัน การส่องผ่านของแสง นอกจากนั้นภาชนะสุญญากาศ จะต้องง่ายและทนต่อการถอดประกอบเพราะต้องการให้ภาชนะสุญญากาศสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการเคลือบฟิล์มหลายเทคนิค ในส่วนของปั๊มสุญญากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ปั๊มกลโรตารี (Mechanical rotary pump) และ ปั๊มสุญญากาศสูง (High vacuum pump) ซึ่งปั๊มสุญญากาศทั้งสองจะทำงานแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นหลักการขับอากาศ และช่วงความดันสุญญากาศที่ทำได้ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ปั๊มกลโรตารีแบบแวน (Rotary vane pump) และปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน (Vapor diffusion pump) เพราะมีราคาต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการเคลือบฟิล์ม (โช สาสิติน และคณะ, 2535) ส่วนเครื่องมือวัดความดันสุญญากาศในงานวิจัยนี้เลือกใช้เกจพิรานีและเกจไอออนไนเซชันแบบच्च์เย็น ส่วนวัสดุและอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น วงแหวนยาง สายรัดข้อ ท่อ และข้อต่อ เป็นต้น นั้นสามารถหาซื้อได้ในประเทศและสร้างขึ้นเองบางส่วน

2. ทดสอบการสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารี

การทดสอบสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีเพียงอย่างเดียวนี้ จะมีวิธีการทดสอบคือ จากภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างของระบบสุญญากาศเพื่อใช้บอกขั้นตอนการเปิดระบบสุญญากาศ โดยเริ่มจากปิดวาล์วทุกตำแหน่งจากนั้นเปิดปั๊มกลโรตารีและเปิดตำแหน่งที่ 2 (Rough valve) เพื่อทำสุญญากาศในภาชนะสุญญากาศ ระหว่างนั้นให้สังเกตและตรวจสอบหารอยรั่วเพื่อแก้ไข โดยบันทึกผลระยะเวลาและความดันในภาชนะสุญญากาศด้วยการอ่านเกจพิรานีทุก 5 นาทีจนครบ 60 นาที จึงทำการปิดระบบสุญญากาศโดยปิดวาล์วทุกตัวและปิดปั๊มกลโรตารี จากนั้นทิ้งระบบสุญญากาศไว้ 24 ชั่วโมง จึงเริ่มกระบวนการทำสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีอีกครั้งหนึ่งจนครบ 4 รอบ แล้ววิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



ภาพที่ 1 โครงสร้างของระบบสุญญากาศและวาล์วทั้ง 4 ตำแหน่ง

3. ทดสอบการสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

การจะทำความดันสุญญากาศให้ได้ในระดับที่สามารถทำการเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อน จะต้องให้ได้ความดันสุญญากาศที่ต่ำกว่า 10^{-5} mbar จะต้องใช้ปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน ซึ่งวิธีการใช้ปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันต้องเริ่มจากการสร้างความดันสุญญากาศระดับต้นด้วยปั๊มกลโรตารีให้ได้ความดันประมาณ 10^{-2} mbar ตามขั้นตอนการใช้ปั๊มกลโรตารี จากนั้นปิดวาล์วทุกตัวและเริ่มเปิดวาล์วที่ 3 (Back valve) ไว้ประมาณ 15 นาที และเปิดวาล์วที่ 4 (High vacuum valve) แล้วจึงสามารถเปิดระบบปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันได้ เมื่อปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันเริ่มทำงานให้ทำการบันทึกผลระยะเวลาและความดันในภาชนะสุญญากาศด้วยการอ่านเกจไอออไนเซชันทุก 5 นาที จนครบ 180 นาที จึงเริ่มทำการปิดระบบสุญญากาศโดยเริ่มที่การปิดวาล์วทุกตำแหน่งเพื่อจะทำการทดสอบสภาพการรั่วของระบบสุญญากาศ ดังจะกล่าวต่อไปในตอน ที่ 4 จากนั้นปิดหม้อต้มน้ำมันของปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันก่อน รอจนหม้อต้มน้ำมันเย็นจึงปิดระบบปั๊มสุญญากาศทั้งหมด จากนั้นทิ้งระบบสุญญากาศไว้ 24 ชั่วโมง จึงเริ่มกระบวนการทำสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันอีกครั้งหนึ่งจนครบ 4 รอบแล้ววิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

4. ทดสอบสภาพการรั่วของระบบสุญญากาศ

หลังจากทำการสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน 180 นาที จะเริ่มทำการทดสอบสภาพการรั่วของระบบสุญญากาศอย่างต่อเนื่อง คือ ทำการบันทึกผลของระยะเวลาและความดันในภาชนะสุญญากาศในขณะที่ปิดระบบปั๊มสุญญากาศ ด้วยการอ่านเกจโอออย์ในเซชันทุก 5 นาที จนครบ 180 นาที โดยเริ่มบันทึกผลระยะเวลาและความดันในภาชนะสุญญากาศเมื่อปิดวาล์วทุกตัวในระบบ จากนั้นนำผลการทดลองที่บันทึกไว้มาทำการคำนวณหาอัตราการรั่วของภาชนะสุญญากาศจากสมการ

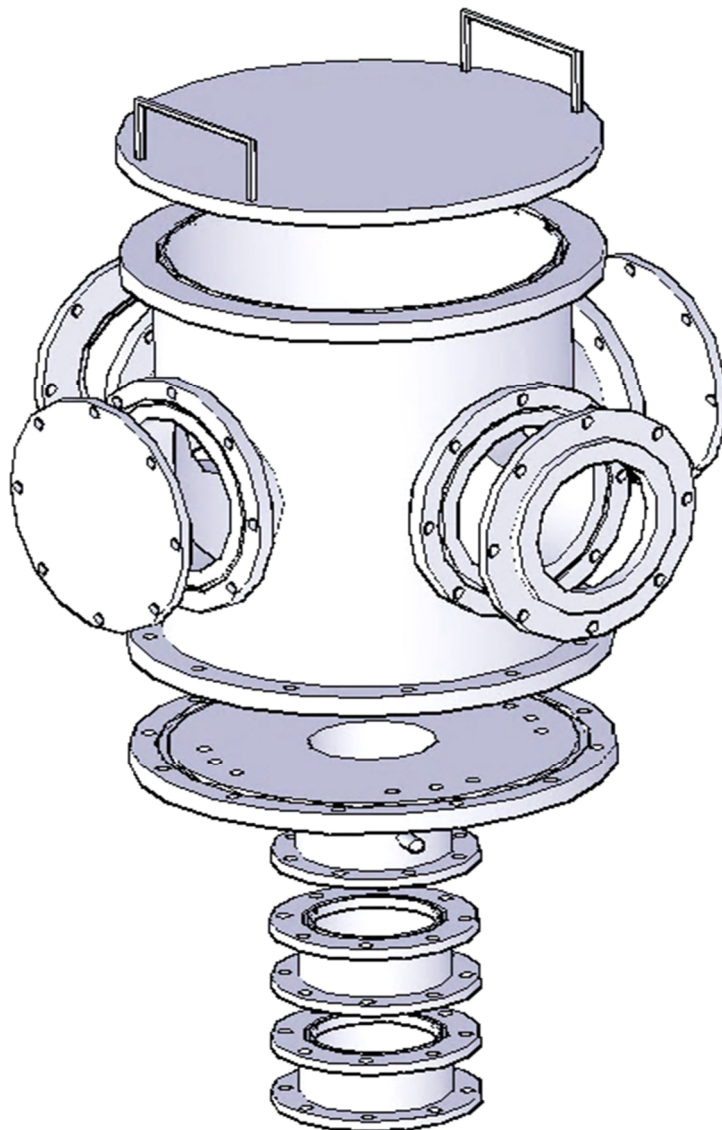
$$\text{อัตราการรั่ว} = \frac{\text{ปริมาตร} \times \text{ความดัน}}{\text{เวลา}}$$

ส่วนวาล์วที่ 1 (Vent valve) มีหน้าที่เปิดเพื่อให้อากาศจากภายนอกไหลเข้าสู่ระบบ ใช้ในกรณีที่ต้องการเปิดภาชนะสุญญากาศ

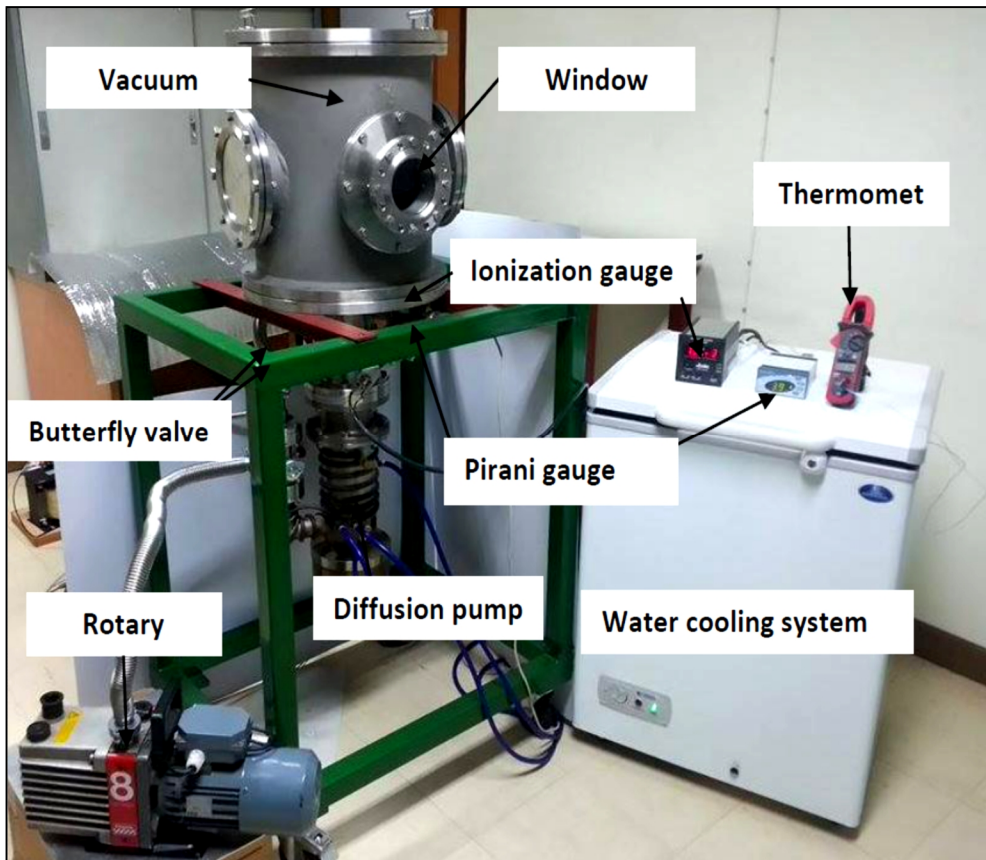
ผลการทดลอง

1. ออกแบบ จัดเตรียมอุปกรณ์ และประกอบระบบสุญญากาศ

จากการออกแบบภาชนะสุญญากาศที่จะใช้สำหรับเตรียมฟิล์มนั้นทำให้ได้แบบของภาชนะสุญญากาศ ที่มีหน้าต่าง 4 ด้าน และมีรูสำหรับใส่อุปกรณ์จากภายนอก 12 รู ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนและดัดแปลงให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานด้านการเตรียมฟิล์มในสุญญากาศด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้ ดังภาพที่ 2 และเมื่อนำภาชนะสุญญากาศกับอุปกรณ์อย่างอื่น คือ ระบบปั๊ม ระบบวัดความดัน และอุปกรณ์ต่อเชื่อมสุญญากาศ มาประกอบรวมกันจะทำให้ได้ระบบสุญญากาศดังภาพที่ 3 โดยมีปริมาตรภายในภาชนะสุญญากาศเป็น 102 ลิตร



ภาพที่ 2 โครงร่างการประกอบภาชนะสุญญากาศ



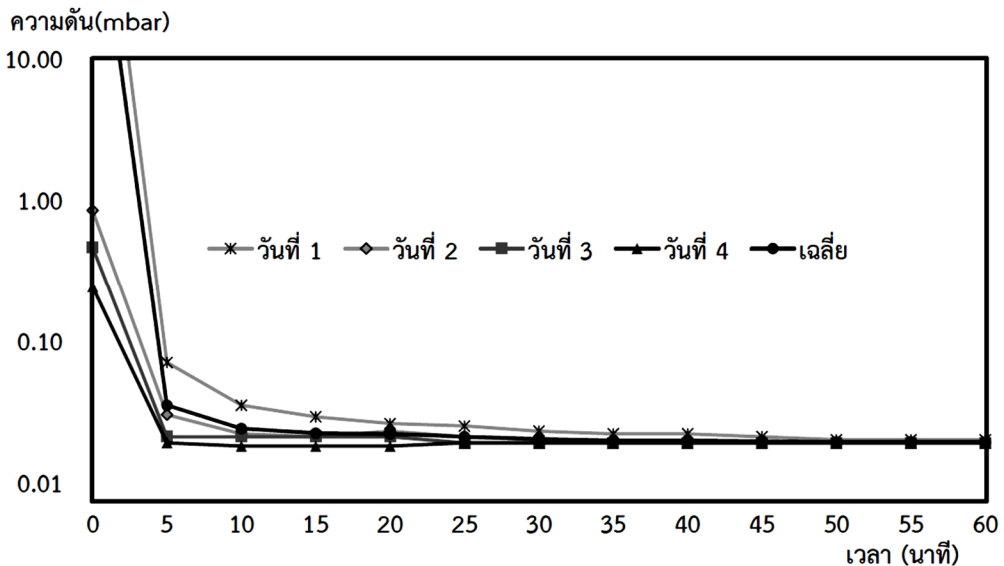
ภาพที่ 3 ระบบสุญญากาศที่สร้างจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มไอระเหย ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

2. การสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารี

จากภาพที่ 4 และตารางที่ 1 พบว่า เมื่อทำการดูดอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารี ความดันอากาศจะลดต่ำลงจนเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ 0.019 mbar ในระยะเวลาประมาณ 60 นาที โดยการทดลองนี้ในวันที่ 1 ได้ทำการดูดอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศซึ่งเริ่มแรกความดันในภาชนะสุญญากาศมีค่าเป็น 1000 mbar (ความดันบรรยากาศ) จนกระทั่งเวลาผ่านไป 60 นาที ความดันภายในภาชนะสุญญากาศมีค่าเป็น 0.020 mbar จากนั้นทำการปิดวาล์วและปิดปั๊มกลโรตารีตามลำดับ ปล่องระบบสุญญากาศทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ความดันภายในภาชนะสุญญากาศจะเพิ่มเป็น 0.840 mbar อันเกิดจากการไหลเข้ามาของอากาศภายนอกตามบริเวณรอยต่อต่าง ๆ และการปล่อยก๊าซของเนื้อวัสดุในระบบสุญญากาศเอง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ความดัน

ภายในภาชนะสุญญากาศก็จะกลับมาเป็น 0.019 mbar อีกครั้ง ทำซ้ำเช่นนี้ 4 วัน พบว่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศเริ่มต้นในแต่ละวันจะลดลงจาก 1000, 0.84, 0.46 และ 0.24 mbar ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการปล่อยก๊าซของเนื้อวัสดุในระบบสุญญากาศลดลง

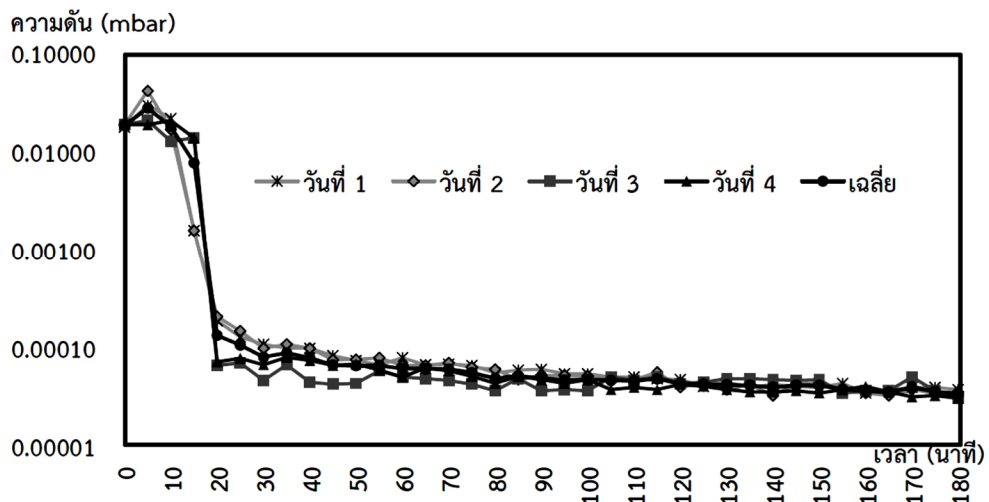
การที่ความดันสุดท้ายภายในภาชนะสุญญากาศที่ได้จากปั๊มกลโรตารีมีค่าเป็น 0.019 mbar ซึ่งมากกว่าความดันสุญญากาศต่ำสุดของปั๊มกลโรตารีรุ่น RV8 ที่สามารถทำความดันต่ำสุดได้เท่ากับ 0.002 mbar ตามความสามารถของปั๊มโรตารีรุ่นนี้ เนื่องจากขนาดของภาชนะสุญญากาศที่ใหญ่ ถ้าต้องการให้ความดันลดต่ำกว่า 0.019 mbar จะต้องใช้เวลานานมากในการดูดอากาศ แต่ที่ความดัน 0.019 mbar ก็เพียงพอสำหรับการนำไปเป็นความดันเริ่มต้นของปั๊มแบบแพร่ไอ น้ำมันได้ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป นอกจากนั้นที่ความดัน 0.019 mbar ยังสามารถทำการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีการระเหิดสารด้วยแสงเลเซอร์และสปีตเตอร์ริง ได้



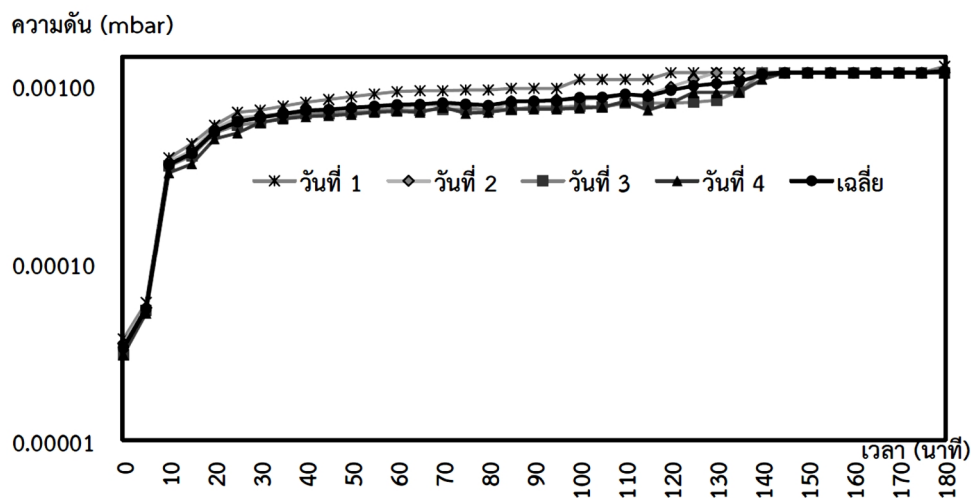
ภาพที่ 4 การสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารี

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารี

เวลาที่ใช้ (นาทื)	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย (mbar)
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
0	1000.00	0.8400	0.4600	0.2400	250.39
5	0.0700	0.0300	0.0210	0.0190	0.0350
10	0.0350	0.0220	0.0210	0.0180	0.0240
15	0.0290	0.0210	0.0210	0.0180	0.0223
20	0.0260	0.0230	0.0210	0.0180	0.0220
25	0.0250	0.0210	0.0190	0.0190	0.0210
30	0.0230	0.0200	0.0190	0.0190	0.0203
35	0.0220	0.0190	0.0190	0.0190	0.0198
40	0.0220	0.0190	0.0190	0.0190	0.0198
45	0.0210	0.0190	0.0190	0.0190	0.0195
50	0.0200	0.0190	0.0190	0.0190	0.0193
55	0.0200	0.0190	0.0190	0.0190	0.0193
60	0.0200	0.0190	0.0190	0.0190	0.0193



ภาพที่ 5 การสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร์ไอน้ำมัน



ภาพที่ 6 การทดสอบสภาพการรั่วของระบบสุญญากาศ

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมัน

เวลาที่ใช้ (นาที)	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย (mbar)
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
0	0.019000	0.019000	0.019000	0.019000	0.019000
5	0.030000	0.042000	0.021000	0.019000	0.028000
10	0.022000	0.017000	0.013000	0.021000	0.018250
15	0.001600	0.001600	0.014000	0.014000	0.007800
20	0.000190	0.000210	0.000067	0.000073	0.000135
25	0.000130	0.000150	0.000071	0.000079	0.000108
30	0.000110	0.000100	0.000047	0.000068	0.000081
35	0.000100	0.000110	0.000068	0.000081	0.000090
40	0.000100	0.000100	0.000045	0.000075	0.000080
45	0.000084	0.000076	0.000043	0.000067	0.000068
50	0.000075	0.000077	0.000044	0.000069	0.000066
55	0.000068	0.000080	0.000059	0.00006	0.000067
60	0.000080	0.000067	0.000051	0.000051	0.000062
65	0.000068	0.000067	0.000049	0.000063	0.000062
70	0.000069	0.000071	0.000047	0.000059	0.000062
75	0.000067	0.000064	0.000043	0.000052	0.000057

ตารางที่ 2 (ต่อ)

เวลาที่ใช้ (นาทีก)	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย (mbar)
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
80	0.000056	0.000061	0.000037	0.000044	0.000050
85	0.000060	0.000048	0.000049	0.000052	0.000052
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048
105	0.000051	0.000048	0.000051	0.000038	0.000047
110	0.000051	0.000048	0.000047	0.000040	0.000047
115	0.000049	0.000057	0.000051	0.000038	0.000049
120	0.000048	0.000040	0.000044	0.000043	0.000044
125	0.000041	0.000045	0.000045	0.000041	0.000043
130	0.000045	0.000038	0.000049	0.000038	0.000043
135	0.000040	0.000043	0.000049	0.000036	0.000042
140	0.000043	0.000033	0.000048	0.000036	0.000040
145	0.000041	0.000043	0.000047	0.000037	0.000042
150	0.000040	0.000044	0.000048	0.000035	0.000042
155	0.000044	0.000037	0.000035	0.000038	0.000039
160	0.000035	0.000035	0.000037	0.000041	0.000037
165	0.000037	0.000033	0.000037	0.000036	0.000036
170	0.000040	0.000038	0.000051	0.000032	0.000040
175	0.000040	0.000035	0.000037	0.000033	0.000036
180	0.000038	0.000036	0.000031	0.000031	0.000034

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสภาพการรั่วของระบบสุญญากาศ

เวลาที่ใช้	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย
(นาท)	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	(mbar)
0	0.000038	0.000036	0.000031	0.000031	0.000034
5	0.000061	0.000057	0.000055	0.000053	0.000057
10	0.000400	0.000380	0.000360	0.000330	0.000368
15	0.000480	0.000440	0.000410	0.000370	0.000425
20	0.000610	0.000580	0.000550	0.000510	0.000563
25	0.000720	0.000670	0.000610	0.000550	0.000638
30	0.000740	0.000690	0.000630	0.000630	0.000673
35	0.000780	0.000710	0.000670	0.000660	0.000705
40	0.000820	0.000740	0.000710	0.000680	0.000738
45	0.000850	0.000740	0.000710	0.000690	0.000748
50	0.000880	0.000760	0.000720	0.000700	0.000765
55	0.000910	0.000760	0.000730	0.000720	0.000780
60	0.000940	0.000770	0.000740	0.000730	0.000795
65	0.000950	0.000790	0.000740	0.000720	0.000800
70	0.000950	0.000790	0.000750	0.000770	0.000815
75	0.000960	0.000790	0.000750	0.000710	0.000803
80	0.000960	0.000720	0.000750	0.000720	0.000788
85	0.000980	0.000830	0.000750	0.000750	0.000828
90	0.000980	0.000830	0.000770	0.000750	0.000833
95	0.000980	0.000850	0.000770	0.000750	0.000838
100	0.001100	0.000850	0.000780	0.000760	0.000873
105	0.001100	0.000860	0.000770	0.000770	0.000875
110	0.001100	0.000900	0.000810	0.000830	0.000910
115	0.001100	0.000900	0.000810	0.000740	0.000888
120	0.001200	0.001000	0.000810	0.000810	0.000955
125	0.001200	0.001100	0.000820	0.000930	0.001013
130	0.001200	0.001200	0.000840	0.000930	0.001043
135	0.001200	0.001200	0.000940	0.000930	0.001068
140	0.001200	0.001200	0.001200	0.001100	0.001175

ตารางที่ 3 (ต่อ)

เวลาที่ใช้	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย
(นาท)	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	(mbar)
145	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200
150	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200
155	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200
160	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200
165	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200
170	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200
175	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200	0.001200
180	0.001300	0.001200	0.001200	0.001200	0.001225

3. การสร้างภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีและปั๊มไอระเหยสาร

จากภาพที่ 5 และตารางที่ 2 พบว่าเมื่อทำการดูดอากาศออกจากภาชนะสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารี ความดันอากาศจะลดลงจนมีค่า 1.9×10^{-2} mbar จากนั้นทำการเปิดปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันจะทำให้ความดันในภาชนะสุญญากาศลดลงจนมีค่าประมาณ 3×10^{-5} mbar ในเวลา 180 นาที่ โดยที่เวลาประมาณ 5 นาที่ ความดันจะเพิ่มจาก 1.9×10^{-2} mbar เป็น 3×10^{-2} mbar เนื่องมาจากน้ำมันในหม้อต้มของปั๊มแบบแพร่ไอน้ำมันเดือดและระเหยกลายเป็นไอ จากนั้นในช่วงเวลา 20 นาที่ความดันในระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงความดัน 3×10^{-5} mbar ซึ่งเพียงพอสำหรับประยุกต์ใช้ในการเคลือบฟิล์มโดยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อน

4. การทดสอบสภาพการรั่วของระบบสุญญากาศ

จากภาพที่ 6 และตารางที่ 3 พบว่าเมื่อทำการปิดวาล์วทุกตัวและระบบปั๊มสุญญากาศแล้วทำการจับเวลาและวัดค่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศพบว่า ความดันภายในภาชนะสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นจาก 3×10^{-5} ความดันเฉลี่ย เป็น 1.2×10^{-2} ความดันเฉลี่ย เมื่อระยะเวลาผ่านไป 180 นาที่ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการรั่วพบว่า ภาชนะสุญญากาศนี้มีอัตราการรั่วเป็น 1.18×10^{-5} l·mbar/s ที่เวลา 180 นาที่ ซึ่งจากผลอัตราการรั่วของภาชนะสุญญากาศนี้อาจต้องปรับปรุงให้มีค่าอัตราการรั่วที่ลดลงเพื่อให้สามารถนำระบบสุญญากาศนี้ไปใช้งานวิจัยขั้นสูงต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบ สร้าง และประกอบระบบสุญญากาศจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแฟรโอน้ำมัน ทำให้ได้ระบบสุญญากาศสำหรับเป็นเครื่องมือวิจัยในเรื่องการเตรียมฟิล์มในสุญญากาศ เช่น การระเหยสารด้วยความร้อน การระเหยสารด้วยแสงเลเซอร์ เป็นต้น โดยความดันบรรยากาศที่ได้จากการใช้ปั๊มกลโรตารีอย่างเดียวเฉลี่ย คือ 1.9×10^{-2} mbar เพียงพอสำหรับการนำไปเป็นความดันเริ่มต้นของปั๊มแบบแฟรโอน้ำมัน และยังสามารถใช้ความดันที่ระดับนี้ทำการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีการระเหยสารด้วยแสงเลเซอร์และสเปกโตรริงได้ และความดันบรรยากาศที่ได้จากการใช้ปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแฟรโอน้ำมันรวมกัน คือ 3.4×10^{-5} mbar และระบบสุญญากาศนี้มีอัตราการรั่วเป็น 1.18×10^{-5} l·mbar/s ที่เวลา 180 นาที ซึ่งที่ความดันสุญญากาศระดับนี้สามารถใช้ทำการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนได้

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการสร้างความดันสุญญากาศด้วยปั๊มกลโรตารีอย่างเดียว คือ 1.9×10^{-2} mbar มีค่ายังไม่ถึงขีดความสามารถสูงสุดของปั๊มกลโรตารี ของ บริษัท Edwards รุ่น E2M8 ซึ่งสามารถทำความดันสุญญากาศได้ต่ำสุดที่ 1×10^{-3} mbar ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากขนาดที่ใหญ่ของภาชนะสุญญากาศ และการรั่วของระบบสุญญากาศ ส่วนความดันสุญญากาศที่สร้างขึ้นการใช้ปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแฟรโอน้ำมันรวมกัน คือ 3.4×10^{-5} mbar มีค่าเป็นที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น

ข้อเสนอแนะทั่วไป

หากต้องการพัฒนาขีดความสามารถของระบบสุญญากาศนี้ให้สามารถทำความดันสุญญากาศที่ระดับลึกได้นั้น ควรจะต้องทำการลดอัตราการรั่วของระบบ โดยการขัดเรียบพื้นผิวของโลหะให้สะอาดปราศจากรอยขีดข่วนอันจะทำให้โมเลกุลของอากาศฝังตัวอยู่หรือเล็ดลอดเข้าสู่ระบบสุญญากาศได้ นอกจากนั้นการเปลี่ยนปั๊มกลโรตารีให้มีกำลังสูงขึ้นก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสุญญากาศได้

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

นำระบบสุญญากาศจากปั๊มกลโรตารีและปั๊มแบบแฟรโอน้ำมันที่สร้างขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยในด้านการเตรียมฟิล์มบางด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ การระเหยสารด้วยแสงเลเซอร์ในสุญญากาศ สเปกโตรริง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัศวัลย์ คัมภีระพันธุ์ และดร.วรวิทย์ โกสลาทิพย์ จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่เป็นที่ปรึกษา

ตลอดงานวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร สำหรับการให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จำเนียร บุญมาก และจรีภรณ์ อุทธิ. (2556). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ข้าวกล้องอินทรีย์ของ
สหกรณ์เกษตร อินทรีย์เชียงใหม่ จำกัด. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร
ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5.** 38-
47.
- โซ สาลีฉน์ และคนอื่นๆ. (2535). การออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบสารในสุญญากาศ.
กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- ศราวุธ ใจเย็น; จันทน์ อุทธิสินธุ์; นริศร์ บาลทิพย์; อันชัย หมวกงาม; ศตวรรษ รักมาก;
และชลภวิชัย ศรีบุญกุล. (2556). การพัฒนาชุดกำเนิดพลาสมาขนาดเล็กเพื่อใช้
ปรับสภาพและทำความสะอาดพื้นผิว. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร
ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5.**
83-89.
- อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ ศักชัย จงจำ. (2553). การอบแห้งชิงด้วยเทคนิคสุญญากาศ
ร่วมกับอินฟราเรด. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.** 15(2), 76-86.
- Hintermann, H.E. (1986). The solid films to combat friction, wear, and
corrosion. **Journal of Vacuum Science and Technology.** 2, 816.
- Roth, T.H., Broszeit, E. & Kloops, K.H. (1988). Wear behavior of R.F. sputtered
alumina coatings on cast iron substrates in a model wear test
under dry conditions and the influence of residual stresses and
adhesion. **Surface and Coating Technology.** 36, 801-805.