

ชื่อโครงการ “เครื่องกลั่นระเหยแบบผิวบาง”

อจรรย์ อุทุม ต่อตระกูล แสงการ และ กฤษณพงศ์ นันทศรี

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

Email: krissana@mut.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้าง เครื่องระเหยสารแบบผิวบาง(Thin Layer Evaporator) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระเหยสารและเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่นการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากพืชเป็นต้น และได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการควบคุมให้สามารถปรับ อุณหภูมิและ ความดันรวมถึงอัตราการไหลของของเหลวให้เหมาะสมได้กับความต้องการได้ จะทำให้สามารถปรับการใช้งานได้ง่าย ทำให้การควบคุมทำได้แม่นยำขึ้น โดยสามารถปรับการไหลของสารไปตั้งแต่ 1.377 ถึง 3.9 ลิตรต่อนาที ปรับอุณหภูมิด้านร้อนได้ผลิตผลได้ไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส สามารถวัดความดันได้ตั้งแต่ 0 ถึง 500 kPa เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้สามารถลดความดันได้ประมาณ 10 kPa

คำสำคัญ: เครื่องระเหย

1. บทนำ

ประเทศไทยนั้นเป็นประเทศที่มีผลผลิตทางการเกษตรมากมาย ดังนั้น จึงมีการส่งเสริมให้มีการแปรรูปผลผลิตเหล่านี้เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้า จากการเกษตรเช่น การแปรรูปผลไม้เป็นน้ำผลไม้เข้มข้น การผลิตยาและอาหารเสริมจากผลผลิตพื้นเมือง เป็นต้น การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้มักจะมีกระบวนการเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารโดยการต้มเคี่ยว ซึ่งใช้เวลานาน ควบคุมคุณภาพยาก และอาจทำให้คุณสมบัติทางเคมีบางอย่างของสารที่นำมาเคี่ยวเปลี่ยนไป ประเด็นปัญหาคือ การใช้การต้มเคี่ยวที่ใช้ตามพื้นบ้านนั้นควบคุมคุณภาพได้ลำบาก กำลังการผลิตต่ำ ใช้แรงงานคนเยอะ และอาจทำให้คุณสมบัติทางเคมีเปลี่ยนไป ส่วนเครื่องระเหยแบบหมุน ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนั้นเป็นเครื่องแก้ว อาจชำรุดหรือแตกได้ง่าย ผลิตจากต่างประเทศ ราคาแพง และมีอัตราการระเหยตัวทำละลายได้ช้า โครงการนี้จึงได้แก้ปัญหา โดยใช้ วัสดุที่คงทนเช่น สแตนเลสสตีล สร้างเครื่องระเหย และใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ มาทำการควบคุมให้สามารถปรับสภาวะอุณหภูมิและความดันรวมถึงอัตราการไหลของของเหลวให้เหมาะสมได้ ซึ่งการใช้ วงจรดิจิทัลมาทำการควบคุมนั้น จะทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายและควบคุมได้อย่างแม่นยำอีกด้วย นอกจากนี้การใช้ระบบการไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ แทนการหมุน ซึ่งเป็น

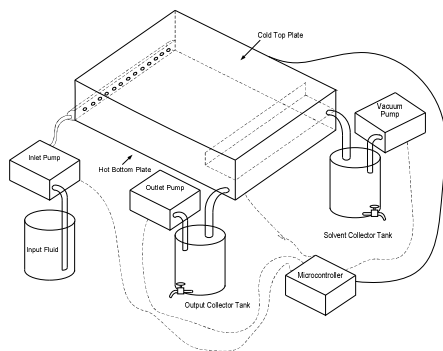
เพิ่มพื้นที่ผิวของสารละลายที่ต้องการเพิ่มความเข้มข้น จะทำให้สามารถเพิ่มอัตราการระเหยได้



รูปที่ 1 เครื่อง Rotary Evaporator

2. โครงสร้างของโครงการ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการสร้างเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ และความสามารถในการระเหยสารละลายให้มีอัตราเร็วขึ้นโดยเพิ่มพื้นที่ผิวของการระเหย และใช้อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยสแตนเลส แทนชุดเครื่องแก้วที่แตกง่ายยากต่อการซ่อม มีชุดควบคุมอุณหภูมิ และความดัน มีชุดควบคุมอัตราการส่งสารละลาย โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุม มีอุปกรณ์รองรับผลผลิตและสารละลายที่ระเหยตัวแสดงในรูปที่ 2

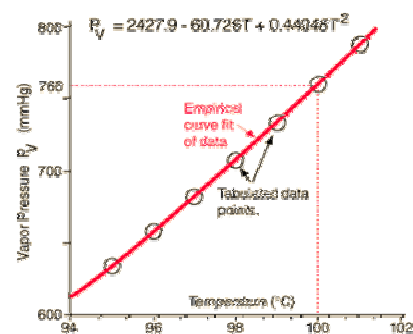


รูปที่ 2 ลักษณะของโรงงานที่ออกแบบ

3. ทฤษฎีการระเหยของสารละลาย

ไม่ว่าจะเป็นโมเลกุลของของเหลว ของแข็ง หรือแก๊สจะมีการชนกันตลอดเวลา ทำให้แต่ละโมเลกุลมีความเร็วและพลังงานจลน์แตกต่างกัน แม้แต่ที่อุณหภูมิห้องก็ยังมีบางโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงกว่าโมเลกุลอื่นๆ อยู่บ้าง ถ้าโมเลกุลที่มีความเร็วสูงเหล่านี้มีพลังงานจลน์มากพอที่จะเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ โมเลกุลนั้นจะหลุดจากผิวหน้าของสารนั้นได้ การที่โมเลกุลของเหลวหลุดจากผิวหน้าของของเหลวกลายเป็นแก๊สเรียกว่า การระเหย(Evaporation) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการระเหย คืออุณหภูมิพื้นที่ผิว และแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ถ้าอุณหภูมิสูงอัตราการระเหยจะสูงด้วย เพราะความร้อนทำให้โมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงพอที่จะหลุดจากผิวหน้าของเหลวมีมาก และถ้าพื้นที่ผิวหน้ามากอัตราการระเหยก็จะสูงด้วยเช่นกัน เพราะเมื่อพื้นที่ผิวหน้ามากจะทำให้โมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงมาอยู่ที่ผิวหน้ามากขึ้นและหลุดจากผิวหน้าของเหลวได้ก่อนที่จะชนกับโมเลกุลอื่นแล้วทำให้พลังงานจลน์ลดลง สำหรับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเป็นสัดส่วนกลับกับอัตราการระเหยคือ ของเหลวที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง จะระเหยได้ช้ากว่าของเหลวที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่ำ และเนื่องจากของแข็งมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากกว่าของเหลวมาก ของแข็งจึงระเหยได้ยากกว่าของเหลวมาก

จุดเดือด(Boiling point) คืออุณหภูมิที่สารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ จุดเดือดของของเหลวขึ้นกับความดันของบรรยากาศ ถ้าความดันสูงจุดเดือดจะสูง และถ้าความดันต่ำจุดเดือดจะต่ำ เช่น น้ำบริสุทธิ์เดือดที่อุณหภูมิ 100°C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ (760 mmHg) ถ้าความดันต่ำกว่า 1 บรรยากาศ น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C และถ้าความดันสูงกว่า 1 บรรยากาศ น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C การต้มน้ำบนยอดเขาจึงเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า การต้มน้ำที่พื้นดิน ทั้งนี้เพราะที่ ยอดเขามีความดันต่ำกว่า ดังนั้นในการกล่าวถึงจุดเดือดจึงมักจะต้องระบุความดันไว้ด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือดและแรงดัน

ดังนั้นถ้าหากสามารถลดความดันลงได้ก็จะสามารถลดจุดเดือดของสารลงได้ กล่าวคือ เมื่อลดแรงดันลง 2.8 KPa จะสามารถลดจุดเดือดของน้ำลงได้ 1°C ซึ่งเราจะได้นำหลักการนี้มาใช้ในการออกแบบเครื่องระเหยแบบผิวบางนี้ โดยจะได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการควบคุมการทำงานของเครื่องนี้ด้วย



รูปที่ 4. ปั๊มสุญญากาศ

4. การออกแบบและการทดลอง

การออกแบบการสร้างเครื่อง ระเหยสารแบบผิวบางให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานนั้น สามารถแบ่งส่วนต่างๆ ของเครื่องดังนี้

1. การออกแบบและสร้างในส่วนของตัวเครื่องระเหยแบบผิวบาง
2. การออกแบบปั๊มควบคุมการไหลของของเหลว
3. การออกแบบส่วนให้ความเย็นเพื่อเพิ่มความสามารถในการควบแน่น
4. การออกแบบส่วนกำเนิดความร้อน
5. การออกแบบส่วนสร้างความดันสุญญากาศ

4.1 การออกแบบและสร้างในส่วนของตัวเครื่องระเหยแบบผิวบาง

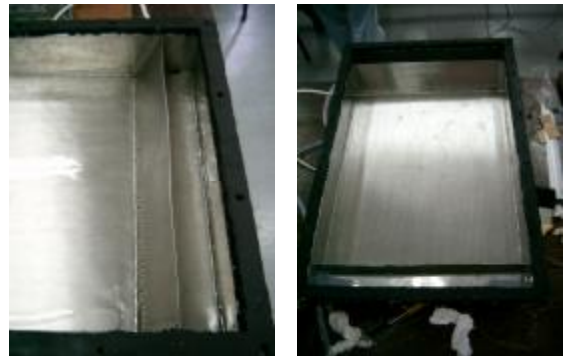
การออกแบบและสร้างส่วนตัวเครื่องของเครื่องระเหยแบบผิวบางนั้น เพื่อให้มีความแข็งแรงทนทานและไม่เกิดสนิม จึงได้เลือกใช้โลหะสแตนเลสสตีลมาใช้ในการสร้าง โดยส่วนตัวเครื่องนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนฐานของเครื่องและส่วนฝา

ส่วนฐานของเครื่องนั้นจะมีส่วนกำเนิดความร้อนและเป็นส่วนที่ให้ออกมาของเหลวที่ปั๊มมาจากขวดเก็บสารไหลออกมาเป็นแผ่นบาง การที่จะทำให้การไหลของของเหลวเป็นแผ่นบางเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการระเหยนั่นได้ทำการสร้างแผ่นกั้นของเหลวที่มีรูให้ออกมาของเหลวเป็นระนาบในลักษณะเดียวกับฝายน้ำล้น ซึ่งของเหลวที่ไหลลงมานี้จะถูกให้ความร้อนโดนแผ่นให้ความร้อน (Heat Plate) ขนาด 2000W ที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านล่างของเครื่องซึ่งเป็นสแตนเลสหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการบิดตัวของโลหะเนื่องจากความร้อน และมีแผ่นฉนวนกันความร้อน ส่วนขาสามารถปรับระดับได้โดยการปรับน็อตที่ขาทั้งสี่ เพื่อให้การไหลเป็นไปตามที่ต้องการ

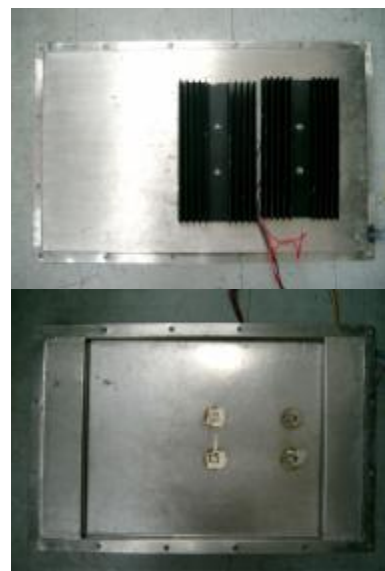
ส่วนฝาสร้างด้วยสแตนเลสเช่นกัน สามารถยึดเข้ากับส่วนฐานได้ ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการควบแน่นและให้ออกมาของเหลวจากการควบแน่นกลั่นตัวแล้วไหลไปรวมที่บริเวณด้านล่างของฝา ด้านบนของฝาจะมีตัวสร้าง

ความเย็นแบบ Thermoelectric 8 ตัวติดตั้งอยู่เพื่อช่วยในการควบแน่น

ระหว่างส่วนฐานและส่วนฝานั้นจะมีปะเก็นซิลิโคนอยู่เพื่อไม่ให้อากาศสามารถรั่วไหลได้ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ระบบเป็นระบบปิดและสามารถสร้างความดันสุญญากาศได้



รูปที่ 5 ตัวเครื่องระเหยผิวบางส่วนฐาน



รูปที่ 6 ตัวเครื่องระเหยผิวบางส่วนฝา

4.2. การออกแบบปั๊มควบคุมการไหลของของเหลว

ในการออกแบบปั๊มควบคุมการไหลของของเหลว นั้นจะประกอบด้วย ตัวปั๊มของเหลวและชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ IC เบอร์ P89C51RD2 ให้สามารถป้อนข้อมูลและแสดงผลผ่านทางตัวแสดงผล (Display) ได้ ตัวปั๊มของเหลวจะเป็นแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) ซึ่งมีข้อดีคือสามารถดูดของเหลวได้

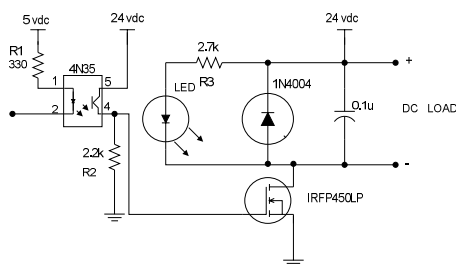
โดยไม่จำเป็นต้องมีของเหลวภายในและไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมันในการทำงาน ใช้แรงดันไฟตรง 24V กระแสสูงสุด 3A อัตราการไหล 3.7 ลิตรต่อนาที การควบคุมความเร็วในการไหลนั้นจะใช้หลักการ Pulse Width Modulation (PWM) ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม



รูปที่ 7 ไคอะแฟรมปั๊ม

4.2.1 วงจรขับสัญญาณ PWM

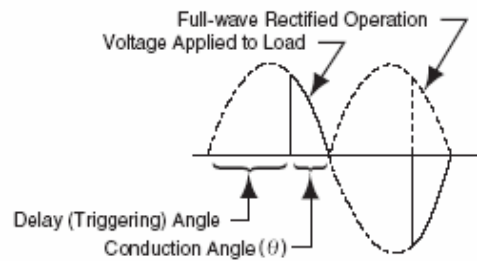
วงจรขับสัญญาณ PWM นั้นอาศัยมอสเฟต IRFP450 มาทำหน้าที่เป็นสวิตช์ มอสเฟต IRFP450 สามารถขับกระแสได้สูงสุด 14A สามารถใช้แรงดันอินพุตที่ขาเกตได้สูงสุด 30V และใช้ Opto-Isolator เพื่อแยกแหว่งแรงดันไฟสองระดับ



รูปที่ 8 วงจรขับสัญญาณ PWM

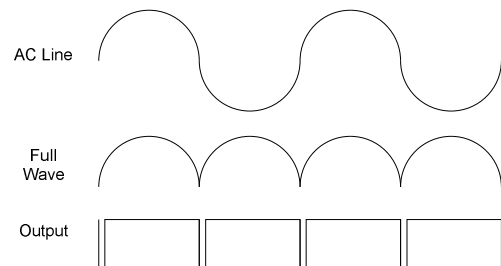
4.3 ส่วนควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน

ส่วนการคุมอุณหภูมิด้านร้อนนั้นจะให้หลักการคล้ายกับด้านเย็นคือจะทำการอ่านค่าอุณหภูมิจาก DS1820 มาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งเอาไว้ แต่จะเป็นการควบคุมแรงดันไฟสลับโดยการให้ใช้ ไทแรอ์กให้มีมุมในการทำงานที่องศาต่างๆ กันดังรูปที่ 9

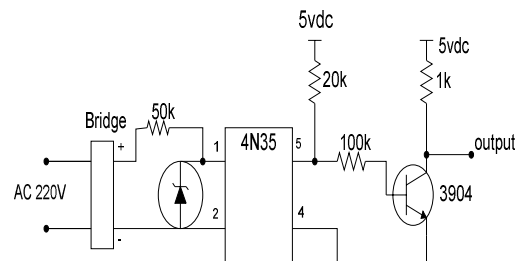


รูปที่ 9 หลักการควบคุมแรงดันไฟสลับ

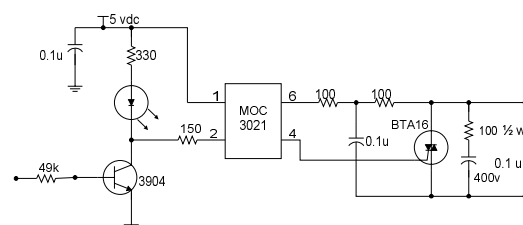
จากรูปที่ 9 นั้นจะเห็นว่าเราสามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการปรับค่าหน่วยเวลาในการทำงานของไทแรอ์กได้ถ้าหากเรารู้จุดเริ่มต้นของสัญญาณซายน์ ดังนั้นจึงได้ออกแบบวงจรเพื่อสร้างสัญญาณนาอินเตอร์รัฟไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 10 และวงจรไทแรอ์กซึ่งจะไปต่อกับแผ่นความร้อนแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 สัญญาณของวงจรสร้างอินเตอร์รัฟจากไฟสลับ



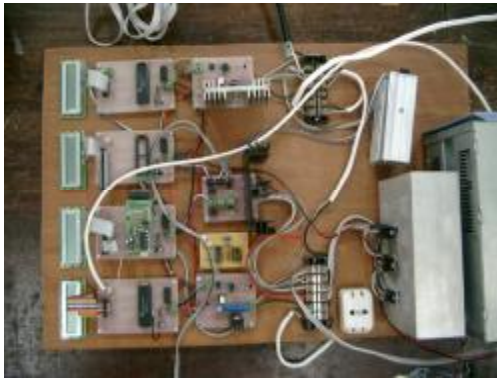
รูปที่ 11 วงจรสร้างอินเตอร์รัฟจากไฟสลับ



รูปที่ 12 วงจรไทแรอ์ก

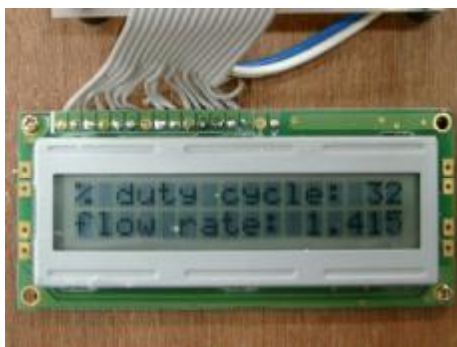
5. ผลการทดลอง

ในการทดลองนั้นได้ทำการทดลองแยกเป็นส่วนๆ คือ การทดลองส่วนควบคุมการไหลของของเหลว ส่วนควบคุมความเย็น/ ร้อน และแรงดัน โดยได้สร้างวงจรขึ้นมามีดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องระเหยแบบผิวบาง

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นวงจรถูกแบ่งออกเป็น 4 ระบบ แยกกัน แต่ละส่วนจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แยกกัน เรียงจากบนลงล่างคือ ส่วนควบคุมการไหลของของเหลว ส่วนควบคุมความเย็น ส่วนควบคุมความร้อน และส่วนควบคุมความดันตามลำดับ



รูปที่ 14 การแสดงผลของวงจรถามการไหล

จากรูปที่ 14 เป็นการแสดงผลของหน้าจอ LCD เมื่อตั้งให้ใช้ Duty Cycle เท่ากับ 32%



รูปที่ 15 ส่วนขับเคลื่อนสัญญาณ PWM ของวงจรถามการไหลของของเหลว



รูปที่ 16 การไหลของของเหลว ที่ Duty Cycle เท่ากับ 70%



รูปที่ 17 การแสดงผลของวงจรถามอุณหภูมิ

6. สรุป

การดำเนินงานโครงการเครื่องระเหยสารแบบผิวบาง (Thin Layer -Evaporor) เพื่อจุดประสงค์ในการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อนำไปใช้ในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร หรือในงานที่เกี่ยวข้อง โดยมุ่งเน้นให้มีการออกแบบที่ใช้งานได้อย่างคงทนและสามารถควบคุมการทำงานได้นั้น จึงได้ทำการออกแบบและจัดสร้างตัวเครื่องขึ้นมาโดยใช้สเตนเลส ซึ่งตัวเครื่องที่ได้นี้มีความแข็งแรงมากและสามารถแผ่ของเหลวที่ต้องการระเหยออกเป็นแผ่นบางได้ตามที่ต้องการ ซึ่งจะสามารถเพิ่มอัตราการระเหยของสารได้

ในส่วนของการควบคุมการไหลของของเหลวนั้น ได้ทำการจัดซื้อปั๊มแบบไดอะแฟรมมาทำการทดลอง ซึ่งสามารถจ่ายของเหลวได้เพียงพอต่อความต้องการ กล่าวคือปริมาณของของเหลวมากเพียงพอในการแผ่ออกเป็นแผ่นกว้างได้เต็มพื้นที่เมื่อทำการวัดอัตราการจ่ายของเหลวแล้วสามารถจ่ายได้สูงสุดที่ 3.9 ลิตรต่อวินาที เมื่อใช้แรงดันที่ 24V จากนั้นได้ทำการควบคุมการไหลโดยใช้หลัก PWM ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการสร้าง PWM ที่ความถี่ 400Hz ตั้งแต่ 30 ถึง 99% Duty Cycle ทำให้สามารถปรับความเร็วในการไหลของน้ำได้ตั้งแต่ 1.377 ถึง 3.9 ลิตรต่อวินาที

ในส่วนของวงจรสร้างความเย็นที่ได้นำอุปกรณ์ Thermoelectric มาใช้นั้น ได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าวแล้วในขณะที่ยังไม่ได้ประกอบลงเครื่อง สามารถสร้างความเย็นได้ถึง 4 องศาเซลเซียส ที่แรงดันไฟเลี้ยง 12V ใช้กระแส 2A และได้นำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในการสร้าง PWM ควบคุมเช่นเดียวกับวงจรควบคุมการไหลของของเหลว ผลที่ออกมาสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ถูกต้องแต่เมื่อนำไปประกอบและทดลองใช้งานจริงปรากฏว่า อุปกรณ์ในส่วนนี้ไม่สามารถสร้างความเย็นมาช่วยในการควบแน่นได้เลยเนื่องจากความร้อนจากแผ่นความร้อนมีค่ามากกว่ามาก ซึ่งอาจจะต้องแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนมาใช้ระบบคอมเพรสเซอร์ หรือ ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ/อากาศแทน

ในส่วนของวงจรควบคุมความร้อนนั้น ได้ทำการสร้างวงจรเพื่อใช้ในการควบคุมความร้อนที่ใช้หลักการปรับขนาดของสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้เช่นกัน เพื่อแก้ปัญหาในการที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำเมื่อใช้ระบบเทอร์โมสตัต ซึ่งระบบที่สร้างขึ้นนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำขึ้นมากคือจะมีการผิดพลาดไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส

ในส่วนของวงจรควบคุมความดันนั้นได้ทำการจัดซื้อตัวตรวจวัดและทดลองต่อวงจรใช้งานแล้วสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีโดยสามารถแสดงค่าความดันออกมาในหน่วย kPa ตั้งแต่ 0 ถึง 500 kPa และเมื่อทดลองต่อกับปั๊มสุญญากาศแล้ว ปรากฏว่า ปั๊มสามารถให้แรงดูดได้ประมาณ 100 kPa แต่เมื่อทดลองต่อกับเครื่องด้วยแล้ว ปรากฏว่าสามารถสร้างแรงดันสุญญากาศได้เพียงประมาณ 10 kPa ซึ่งจะมีผลให้จุดเดือดลดลงได้เพียง 3 องศาเซลเซียสเท่านั้น ซึ่งสาเหตุที่ไม่สามารถสร้างแรงดันสุญญากาศได้สูงเท่ากับเมื่อต่อตรงนั้นเนื่องจากตัวเครื่องยังมีช่องที่อากาศสามารถผ่านได้ยังไม่เป็นระบบปิดที่แท้จริงซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงปะเก็นยางและรอยต่อต่างในตัวเครื่อง และเปลี่ยนปั๊มสุญญากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการดำเนินงานนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งานสำหรับโครงการนี้เนื่องจากมีราคาสูง ใช้อุปกรณ์จำนวนมาก อีกทั้งอุปกรณ์หลายๆ อย่างนั้นหาซื้อได้ยากมาก เช่นตัววัดความดันที่สามารถวัดสุญญากาศได้เป็นต้น ทำให้ในการดำเนินงาน มีค่าใช้จ่ายสูงมาก นอกจากนี้ระบบการทำงานโดยรวมของเครื่องค่อนข้างใหญ่ และมีน้ำหนักมาก ทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย และการทดลอง ซึ่งมีผลโดยตรงให้การดำเนินงานล่าช้ากว่าที่กำหนด

7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการงานอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546 และขอขอบคุณบริษัท แวมอุตสาหกรรมเครื่องมือกล จำกัด ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและข้อมูลทางเทคนิคที่มีค่า