การศึกษาพฤติกรรมควันเพื่อนำมาประดิษฐ์เครื่องกรองควัน
(Evidence of smoke behavior following Brownian motion for the invention of a smoke filter)

โรงเรียนอุทัยวิทยาคม
จังหวัดอุทัยธานี

คณะผู้จัดทำโครงงาน
1. นายศุภณัฐ สิงหราช
2. นายภูวดล จันทร์โสม
3. นายทินภัทร ด่านอุดมโชติ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานสาขาวิชาฟิสิกส์
การนำเสนอโครงงานของนักเรียนจากโรงเรียนในโครงการห้องเรียนพิเศษ
วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เครือข่ายภาคกลางตอนบน
ประจำปีการศึกษา 2566

การศึกษาพฤติกรรมควันเพื่อนำมาประดิษฐ์เครื่องกรองควัน
(Evidence of smoke behavior following Brownian motion for the invention of a smoke filter)

โรงเรียนอุทัยวิทยาคม
จังหวัดอุทัยธานี

คณะผู้จัดทำโครงงาน
1. นายศุภณัฐ สิงหราช
2. นายภูวดล จันทร์โสม
3. นายทินภัทร ด่านอุดมโชติ

ครูที่ปรึกษา
1. นางสาวจตุพร อุยตระกูล
2. นางสาววีรญาดา บางแบ่ง

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานสาขาวิชาฟิสิกส์
การนำเสนอโครงงานของนักเรียนจากโรงเรียนในโครงการห้องเรียนพิเศษ
วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เครือข่ายภาคกลางตอนบน
ประจำปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

โครงงานการศึกษาพฤติกรรมควันเพื่อนำมาประดิษฐ์เครื่องกรองควัน มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เปรียบเทียบความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ และการหมุนของพัดลมเป็นตัวเปรียบเทียบ 2. ศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศกับลม โดยใช้ smoke sensor MQ-2 เป็นตัวเปรียบเทียบพิสูจน์ว่าแรงความชันความกดอากาศคือการเคลื่อนไหวของอะตอมอากาศแบบ Brownian motion 3. ศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ โดยใช้ความสูงจากแนวระดับเป็นตัวเปรียบเทียบ 4. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน และ 5. สำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องกรองควัน โดยมีวิธีดำเนินงาน 5 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ทำการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของควันที่เกิดเนื่องจากแรงความชันความกดอากาศ 2) ทำการทดลองเรื่องแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) คือลมในทิศทางตรงข้าม 3) ทำการทดลองเรื่องความสูงจากแนวระดับนั้นส่งผลต่อทิศทางวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (Convection) ในแนวราบ 4) การประดิษฐ์เครื่องกรองควัน 5) สำรวจความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจริง

จากการทดสอบพบว่า แรงในแนวราบที่ทำให้อากาศในวงจรการหมุนเวียนของอากาศส่วนบนเคลื่อนที่ คือแรงความชันความกดอากาศ ส่วนแรงในแนวราบที่ทำให้อากาศในส่วนของวงจรการหมุนเวียนอากาศด้านล่างเคลื่อนที่ คือ ลมทั่ว ๆ ไป ถึงอย่างนั้นทั้งสองก็สามารถพัดพาควันให้ไหลไปตามทิศทางการหมุนและพบว่าแรงความชันความกดอากาศ จะทำให้อากาศไหลจากอากาศร้อนไปอากาศเย็น สังเกตจากทิศทางของควันที่เคลื่อนที่ เป็นไปตามหลักการของ Brownian motion และด้วยหลักการดังกล่าวนี้ จึงนำมาสู่การประดิษฐ์เครื่องดูดควันที่สามารถดูดและกรองควันได้ 65.22% และมีคะแนนประเมินความพึงพอใจรวมทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ระดับ ดี เฉลี่ย 4.02

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเรื่อง การศึกษาพฤติกรรมควันเพื่อนำมาประดิษฐ์เครื่องกรองควันฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ คุณครูจตุพร อุยตระกูล คุณครูที่ปรึกษาโครงงาน ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านแนวทางการทดลองพิสูจน์ทฤษฎีฟิสิกส์ ของโครงงานฉบับนี้จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณครูถิรพัฒน์ วิเชียรรัตน์ ผู้ให้การสนับสนุนด้านเทคโนโลยี

ขอขอบพระคุณ คุณครูวีรญาดา บางแบ่ง คุณครูที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนกระทั่งการตรวจสอบเนื้อหา และแก้ไขโครงงาน ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ที่เป็นส่วนช่วยในการออกค่าใช้จ่ายของโครงงาน อีกทั้งยังเป็นกำลังใจและสนับสนุนการศึกษาเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานและคำปรึกษาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับโครงงานครั้งนี้ รวมถึงคอยให้ความสนับสนุน และกำลังใจที่ดีเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ก
กิตติกรรมประกาศ ข
สารบัญ ค
สารบัญตาราง จ
สารบัญกราฟ ฉ
สารบัญรูปภาพ ช
บทที่ 1 บทนำ
ที่มาและความสำคัญ 1
วัตถุประสงค์ 1
ตัวแปรที่ศึกษา 2
ขอบเขตของโครงงาน 2
นิยามศัพท์เชิงปฏิบัติงาน 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
ควัน 3
ลมและความกดอากาศ 4
การเลื่อนที่แบบบราวน์ 5
อุโมงค์ลม 7
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
บทที่ 3 ขั้นตอนและการดำเนินงาน
วัสดุและอุปกรณ์ 8
วิธีการดำเนินงาน 8
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน
การศึกษา เปรียบเทียบ ความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควัน อันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ โดยใช้ความสูงจากแนวระดับเป็นตัวเปรียบเทียบ 13
การศึกษา เปรียบเทียบ ความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควัน อันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ โดยใช้ smoke sensor MQ-2 การทดสอบ ประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน (ต่อ)

การศึกษา เปรียบเทียบ ความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควัน อันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ โดยใช้ความสูงจากแนวระดับเป็นตัวเปรียบเทียบ 15

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน 16

การสำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน 18

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผล 19

อภิปรายผล 20

ข้อเสนอแนะ 20

บรรณานุกรม 21

ภาคผนวก

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของอากาศ ในพื้นที่บริเวณที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน 14
ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของควัน ก่อนเปิดเครื่องกรองควัน โดย sensorValue1 อยู่ที่ทางออก ของเครื่องกรองควันและ sensorValue2 อยู่ ณ จุดใกล้ควัน 16
ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของควัน เมื่อเปิดเครื่องกรองควัน โดย sensorValue1 อยู่ที่ทางออกของเครื่องกรองขวัญ และ sensorValue2 อยู่ณ จุดใกล้ควัน 17
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของการประเมินการใช้เครื่องดูดควัน จากการศึกษาพฤติกรรมควัน 18

สารบัญกราฟ

กราฟที่ **หน้า**

กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความชุ่นของอากาศ ในบริเวณพื้นที่ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน 14
กราฟที่ 1 แสดงสถานะของผู้ทดลองการใช้งาน 27
กราฟที่ 2 แสดงคะแนนความเหมาะสมต่อการใช้งาน ของเครื่องกรองควัน 27
กราฟที่ 3 แสดงคะแนนความสวยงาม และความคิดสร้างสรรค์ ของเครื่องกรองควัน 28
กราฟที่ 4 แสดงคะแนนประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน 28
กราฟที่ 5 แสดงคะแนนความสะดวกต่อการใช้งานของเครื่องกรองควัน 28

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 2.1 ควันจากการเผาไหม้ 4
ภาพที่ 2.2 อนุภาคควัน 5
ภาพที่ 2.3 ร่องรอยการเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์ที่มีรัศมี 0.53 μm สามเส้นตามที่มองเห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงอยู่ ตำแหน่งที่ต่อเนื่องทุกๆ 30 วินาทีจะถูกเชื่อมเข้าด้วยกัน โดยส่วนของเส้นตรง (ขนาดตาข่ายคือ 3.2 μm) 6
ภาพที่ 2.4 การแพร่กระจายของอนุภาคบราวเนียน 6
ภาพที่ 4.1 (A) รูปแสดงการเคลื่อนที่ของควันเมื่อเปรียบเทียบกับลม ที่เกิดจากพัดลม
(B) รูปแสดงการเคลื่อนที่ของควันจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ไปยังอุณหภูมิสูง 13
ภาพที่ 4.2 (A) แสดงการเคลื่อนที่ของควันจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังอุณหภูมิต่ำ ตามการทดลองตอนที่ 1
(B) แสดงการเคลื่อนที่ของควันจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังอุณหภูมิต่ำ ตามการทดลองตอนที่ 2 15
ภาพที่ 1 หาข้อมูลเพื่อจัดทำโครงงาน 23
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม 23
ภาพที่ 3 การทำแผ่นกรองจากธูปฤาษี 24
ภาพที่ 4 การตัดแผ่นอะคริลิคตามขนาดที่ต้องการ 24
ภาพที่ 5 ประกอบตัวเครื่องดูดควัน 25
ภาพที่ 6 ประกอบแผ่นกรองเข้าตัวเครื่อง 25
ภาพที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน 26
ภาพที่ 8 ผลการวัดค่าความขุ่นของอากาศ 26

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญโครงงงาน

ในปัจจุบันโลกของเรามีดัชนีคุณภาพอากาศ เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ดัชนีคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ก๊าซโอโซน (O_3) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในประเทศไทยนั้น ฝุ่นละอองต่างๆเกิดจากการก่อมลพิษของโรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ และควันจากแหล่งที่มาอื่นๆ เช่น ควันบุหรี่ ควันจากยากันยุง วันจากธูป เป็นต้น ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ ตั้งแต่ 0 ถึง 201 ขึ้นไป ซึ่งแต่ละระดับจะใช้สีเป็นสัญลักษณ์เปรียบเทียบระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยดัชนีคุณภาพอากาศ 100 จะมีค่าเทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพอากาศในวันนั้นจะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

จากข้อมูลดังกล่าวทางคณะผู้จัดทำ เล็งเห็นถึงปัญหาของการเกิดมลพิษทางอากาศที่ส่งผลต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ ที่จะวิเคราะห์ว่าควันดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ โดยจากสมการเผาไหม้ $CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow C(s) + 2H_2O(g)$. ซึ่งควันดังกล่าวนั้นเกิดจากเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ทำให้มีเขม่าหลงเหลืออยู่ ร่วมกับหลักความกดอากาศแก๊สอุดมคติ (เรื่องความสัมพันธ์ระหว่าง P V T) และทฤษฎีของ Brownian motion เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวออกมา แล้วนำไปพัฒนาต่อยอดต่อไปเป็น “เครื่องดูดควัน” โดยใช้อุโมงค์ลมและแผ่นธูปฤาษีเพื่อกรองอากาศภายในพื้นที่ปิดให้แก่มนุษย์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ และการหมุดของพัดลมเป็นตัวเปรียบเทียบ

1.2.2 เพื่อศึกษา เปรียบเทียบความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจากแรงความชันความกดอากาศกับลม โดยใช้ smoke sensor MQ-2 เป็นตัวเปรียบเทียบพิสูจน์ว่าแรงความชันความกดอากาศคือการเคลื่อนไหวของอะตอมอากาศแบบ Brownian motion

1.2.3 เพื่อศึกษา เปรียบเทียบความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจากแรงความชันความกดอากาศ โดยใช้ความสูงจากแนวระดับเป็นตัวเปรียบเทียบ

1.2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน
1.2.5 เพื่อสำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องกรองควันจากการศึกษา

1.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น : ความสูงจากแนวระดับ และการเคลื่อนไหวของวัตถุภายในระบบ
ตัวแปรตาม : ทิศทางวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (Convection) ในแนวราบ
ตัวแปรควบคุม : อุณหภูมิห้อง 26 องศาเซลเซียส ในห้องปิด ความแรงของพัดลม

1.4 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาโครงงานเรื่อง การศึกษาพฤติกรรมควันเพื่อนำมาประดิษฐ์เครื่องกรองควัน ณ โรงเรียนอุทัยวิทยาคม ตำบลสะแกกรัง อำเภอเมืองอุทัยธานี จังหวัดอุทัยธานี ระยะเวลาศึกษาคือ เดือนตุลาคม พ.ศ.2565 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2566

1.5 นิยามเชิงปฏิบัติงาน

14.1 ควัน จัดเป็นคอลลอยด์ ที่เป็นอนุภาคของของแข็งหรือของเหลว กระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นแก๊สที่มีอยู่ในอากาศ จะถูกปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาไหม้วัสดุหรือเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อน พร้อมกับปริมาณของอากาศหรือผสมในมวลสารชนิดอื่น ซึ่งอนุภาคของควันจัดเป็นละอองลอยหรือหมอก ของอนุภาคของแข็งหรือหยดของเหลวที่แพร่กระจายไปในอากาศซึ่งมักมองเห็นได้เมื่อถูกกระทบกับแสง โดยปกติแล้วหมอกควันไม่ได้ขัดขวางต่อการมองภาพ หากแต่มันเป็นอนุภาคที่มีความละเอียดจนบดบังการมองเห็นแบบปกติไป

14.2 ลม คือการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระดับต่ำโดยทิศทางของลมจะขึ้นอยู่กับวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (Convection) และลมจะพาให้คอลลอยด์ภายในอากาศซึ่งหมายถึงควันเคลื่อนที่ตามทิศทางของลม ดังนั้นทิศทางของลมจึงเป็นทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของควัน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

16.1 ทำให้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประดิษฐ์และสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่

16.2 สามารถประดิษฐ์เครื่องดูดควัน โดยใช้หลักการทางฟิสิกส์ที่ได้พิสูจน์จากการทดลองแล้วว่าแรงความชันความกดอากาศคือการเคลื่อนไหวของอะตอมอากาศแบบ Brownian motion

16.3 ได้ทราบถึงความเห็นของผู้ใช้งานจริงและได้นำมาปรับปรุงชิ้นงาน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำโครงงานฟิสิกส์ กลุ่มของข้าพเจ้าจะอธิบายถึงเอกสารและงาวิจัยที่เกี่ยวของกับการเคลื่อนที่ของควันเพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินโครงงาน ประกอบไปด้วยหัวข้อหลัก ๆ ดังนี้

2.1 ควัน

2.1.1 ควัน จัดเป็นคอลลอยด์ ที่เป็นอนุภาคของของแข็งหรือของเหลวอนุภาคของคาร์บอนที่รวมตัวกับอนุภาคของของเหลวที่มาจากการเผา ไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยทั่วไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.0 ไมครอน กระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นแก๊สที่มีอยู่ในอากาศจะถูกปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาไหม้วัสดุหรือเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อนพร้อมกับปริมาณของอากาศหรือผสมในมวลสารชนิดอื่น

2.1.2 การเผาไหม้ เป็นปฏิกิริยาเคมีอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ ซึ่งตัวออกซิไดซ์ที่รู้จักกันดีก็คือ ออกซิเจน การเผาไหม้นี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จะได้รับพลังงานความร้อน หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ออกมา เช่น การเผาไหม้ถ่านหิน ที่นอกจากจะได้พลังงานและความร้อนแล้วยังได้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย นอกจากนี้ในบางครั้งอาจเกิดเสียงจากการเผาไหม้ได้อีกด้วย โดยมีปฏิกิริยาตัวอย่างดังนี้ เมื่อเผาไหม้ไฮโดรเจน จะได้น้ำและพลังงาน $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O +$ พลังงาน, เมื่อเผาไหม้แอลกอฮอล์ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน $2CH_3OH + 3O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 4H_2O +$ ความร้อน และเมื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงมีเทน จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน $CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O +$ ความร้อน เป็นต้น

การเผาไหม้ก็คล้ายกับปฏิกิริยาเคมีอื่น ๆ นั่นคือ มันมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

2.1.2.1 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารไฮโดรคาร์บอน (สารไฮโดรคาร์บอนสูญสียอิเล็กตรอน) โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งจะได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ออกมาเท่านั้น และเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำกระจายไปในอากาศจึงไม่เหลือผลิตภัณฑ์ใดอยู่เลย การเผาไหม้แบบสมบูรณ์นี้เกิดขึ้นได้เมื่อมีปริมาณออกซิเจนมากพอจะเผาไหม้สารไฮโดรคาร์บอนจนหมดอย่างสมบูรณ์ เช่น การจุดเทียนไข

2.1.2.2 การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อออกซิเจนไม่มีประสิทธิภาพมากพอหรือปริมาณไม่มากพอ ที่จะทำให้เชื้อเพลิงเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และ น้ำได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงเกิดเป็นผลิตภัณฑ์บางอย่างหลงเหลืออยู่นอกจากน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ นั่นคือ คาร์บอนมอนอกไซด์ หรือเขม่าของคาร์บอน ตัวอย่างการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น การเผายากันยุง

ภาพที่ 2.1 ควันจากการเผาไหม้
ที่มา : https://bit.ly/3OvMbI0nb

2.2 ลมกับความกดอากาศ

ความกดอากาศจะมีความแตกต่างกับแรงที่เกิดจากน้ำหนักกดทับตรงที่ ความกดอากาศมีแรงดันออกทุกทิศทุกทาง เช่นเดียวกับแรงดันของอากาศในลูกโป่ง

2.2.1 ปัยจัยที่มีอิทธิพลต่อความกดอากาศ

2.2.1.1 ยิ่งสูงขึ้นไป อากาศยิ่งบาง อุณหภูมิยิ่งต่ำ ความกดอากาศยิ่งลดน้อยตามไปด้วย เพราะฉะนั้น ความกดอากาศบนยอดเขา จึงมักจะน้อยกว่าความกดอากาศที่เชิงเขา

2.2.1.2 อากาศเย็นมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศร้อน จึงมีความกดอากาศมากกว่า เรียกว่า “ความกดอากาศสูง” (High pressure) ในแผนที่อุตุนิยมจะใช้อักษร“H” สีน้ำเงินเป็นสัญลักษณ์

2.2.1.3 อากาศร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น จึงมีความกดอากาศน้อยกว่า เรียกว่า “ความกดอากาศต่ำ” (Low pressure) ในแผนที่อุตุนิยมจะใช้อักษร “L” สีแดง เป็นสัญลักษณ์

2.2.2 การเคลื่อนที่ของอากาศ

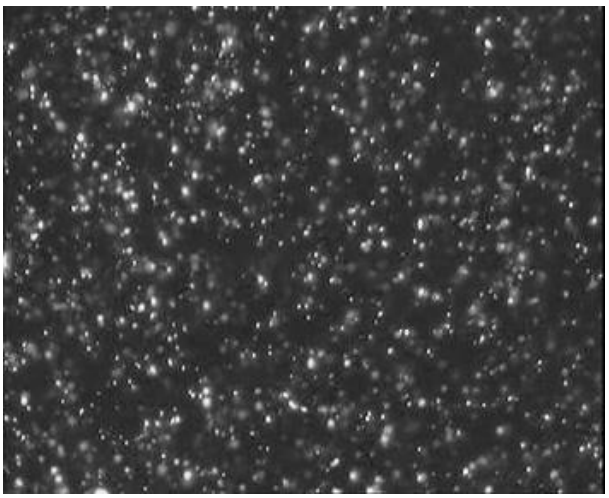
2.2.2.1 การพาความร้อน (Convection) ของบรรยากาศ ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศทั้งแนวตั้งและแนวราบ

2.2.2.2 แนวตั้ง อากาศร้อนยกตัวขึ้น อากาศเย็นจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ การเคลื่อนตัวของอากาศในแนวตั้ง ทำให้เกิดการเมฆ ฝน และความแห้งแล้ง

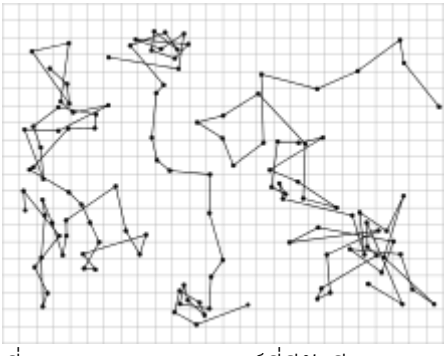
2.2.2.3 แนวราบ อากาศจะเคลื่อนตัวจากหย่อมความกดอากาศสูง (H) ไปยังหย่อมความกดอากาศต่ำ (L) ทำให้เกิดการกระจายและหมุนเวียนอากาศไปยังตำแหน่งต่างๆ บนผิวโลก เราเรียกอากาศซึ่งเคลื่อนตัวในแนวราบว่า “ลม” (Wind)

2.3 การเคลื่อนที่แบบบราวน์

การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเป็นการเคลื่อนที่แบบสุ่มของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลาง (ของเหลวหรือก๊าซ) รูปแบบการเคลื่อนไหวนี้โดยทั่วไปประกอบด้วย ความผันผวน แบบสุ่มใน ตำแหน่งของอนุภาคภายในของไหล การเคลื่อนไหวแต่ละครั้งจะตามมาด้วยความผันผวนที่มากขึ้น ภายในปริมาณปิดใหม่ การเคลื่อนที่รูปแบบนี้อธิบายของไหลที่สมดุลทางความร้อนซึ่งกำหนดโดย อุณหภูมิ ที่กำหนด ภายในของไหลดังกล่าวที่ไม่มีทิศทางการไหลพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โมเมนต์ เชิงเส้นและเชิงมุมโดยรวมของของไหลยังคงเป็นโมฆะเมื่อเวลาผ่านไป พลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่ แบบบราวเนียนของโมเลกุล ร่วมกับการหมุนของโมเลกุลและการสั่น รวมกันเป็นองค์ประกอบแคลอรี ของพลังงานภายใน ของของเหลว ลักษณะการเคลื่อนที่ที่ดูเหมือนสุ่มนำไปสู่คำอธิบายเกี่ยวกับการ เคลื่อนที่แบบบราวเนียนนี้เป็นหลักฐานที่น่าเชื่อถือว่าอะตอมและโมเลกุลมีอยู่จริงและได้รับการ ตรวจสอบโครงสร้างที่ไม่ต่อเนื่องของสสาร



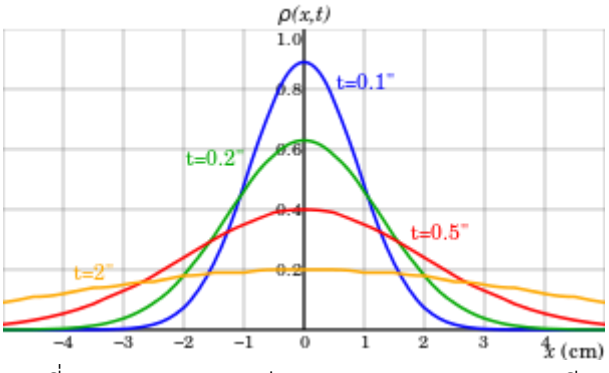
ภาพที่ 2.2 อนุภาคควัน
ที่มา : https://bit.ly/3QsYQO



ภาพที่ 2.3 ร่องรอยการเคลื่อนที่ของอนุภาคคอลลอยด์ที่มีรัศมี 0.53 μm สามเส้นตามที่มองเห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงอยู่ ตำแหน่งที่ต่อเนื่องทุกๆ 30 วินาทีจะถูกเชื่อมเข้าด้วยกันโดยส่วนของเส้นตรง (ขนาดตาข่ายคือ 3.2 μm)

ที่มา : https://bit.ly/44YUWBm

อีกทั้งทฤษฎีของไอน์สไตน์ที่ประกอบด้วยการกำหนดสมการการแพร่สำหรับอนุภาคบราวเนียน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยการกระจัดกำลังสองของอนุภาคบราวเนียนและสัมประสิทธิ์การแพร่ ไปจนถึงปริมาณทางกายภาพที่วัดได้ด้วยวิธีนี้ ไอน์สไตน์สามารถระบุขนาดของอะตอม และจำนวนอะตอมที่มีอยู่ในโมลหรือน้ำหนักโมเลกุลเป็นกรัมของก๊าซตามกฎของอาโวกาโดรปริมาตรนี้จะเท่ากันสำหรับก๊าซในอุดมคติทั้งหมด ซึ่งเท่ากับ 22.414 ลิตรที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน จำนวนอะตอมที่มีอยู่ในปริมาตรนี้เรียกว่าหมายเลขอาโวกาโดรและการกำหนดหมายเลขนี้ก็เท่ากับความรู้เรื่องมวลของอะตอม เนื่องจากค่าหลังได้มาจากการหารมวลโมลาร์ของ ก๊าซด้วยค่าคงที่ของอาโวกาโดร



ภาพที่ 2.4 กราฟการแพร่กระจายของอนุภาคบราวเนียน

ที่มา : https://bit.ly/3KyWo57

ลักษณะโค้งรูประฆังของการแพร่ของอนุภาคบราวเนียน การกระจายเริ่มต้นเป็นฟังก์ชัน Dirac delta ซึ่งบ่งชี้ว่าอนุภาคทั้งหมดอยู่ที่จุดกำเนิด ณ เวลา $t = 0$ เมื่อtเพิ่มขึ้น การกระจายจะแบนลง (แม้ว่าจะยังคงเป็นรูประฆัง) และท้ายที่สุดจะกลายเป็นรูปแบบเดียวกันตามเวลาที่กำหนด ไม่มีที่สิ้นสุด

2.4 อุโมงค์ลม

อุโมงค์ลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบทางด้านกลศาสตร์ของไหล โดยจะทดสอบเกี่ยวข้องกับวิศวกรรมในด้านอากาศพลศาสตร์ อุโมงค์ลมเป็นที่นิยมในการทดสอบชิ้นส่วนต่างๆ นับตั้งแต่วัตถุที่มีรูปทรงที่ไม่มีความซับซ้อนจนถึงวัตถุที่มี มักเพื่อศึกษาอิทธิพลของอากาศที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุรวมถึง ศึกษาความทนทานของวัตถุนั้น ๆ เมื่ออากาศไหลผ่านที่ความเร็วต่างกัน เพื่อผลลัพธ์ของชิ้นงานต้นแบบที่เหมาะกับการใช้งานตามความต้องการของผู้ออกแบบ แต่พบว่าการใช้งานอุโมงค์ลมยังถูกใช้งานอยู่ เนื่องจากอุโมงค์ลมถูกใช้งานเพื่อทดสอบชิ้นงานดังกล่าวที่ถูกสร้างขึ้น ซึ่งในการทดสอบชิ้นงานต้นแบบ (Model, Prototype) เนื่องจากลมที่ออกมานั้นมีทิศทางและความเร็วที่เท่ากันทำให้ลมมีลักษณะการไหลที่เป็นระเบียบง่ายต่อการคำนวน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ ณัฐศักดิ์ บุญมี (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล)งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการจำลองการไหลของควันใต้เพดานเนื่องมาจากเพลิงไหม้ภายในห้องด้วยระบบวิธีเชิงตัวเลข LES (Large Eddy Simulation) โดเมนการคำนวณเป็นห้องเปิดโล่งขนาดใหญ่ พื้นที่ 20×20 ตารางเมตร และ 40×40 ตารางเมตร สูง 3 เมตร กองเพลิงขนาด 100 kW 500 kW และ 1,000 kW ถูกวางไว้กลางพื้นห้องการคำนวณได้ดำเนินการในห้องซึ่งมีเพดานเรียบทำให้ควันสามารถไหลใต้เพดานได้อย่างอิสระขนาดกริดต่อผลการคำนวณอุณหภูมิและความเร็วของควันตามแนวการไหลได้มีการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเทียบกับสมการที่ได้จากการทดลองของ Alpert และ Heskestad & Delichatsios ผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขถูกใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการไหลของควันใต้เพดานอย่างอิสระ

จากงานวิจัยของปัญญวัฒน์ แก้วกุดั่น งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของควันซึ่งเป็นผลกระทบจากระดับและตำแหน่งที่เกิดไฟไหม้และเวลาการอพยพคนในอุโมงค์ทางลอด ประเทศไทยด้วยแบบจำลองเพลิงไหม้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ FireDynamics Simulator(FDS) โดเมนการคำนวณ กว้าง 8.5 เมตร สูง5.4 เมตร ยาว 447 เมตร เกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ที่กลางอุโมงค์กับ passenger car, multi passenger car, bus และ collision โดยค่า Heat Release Rate(HRR) 5,15, 30 และ 45 MW ตามลำดับพบว่า ในสภาวะที่ไม่มีการระบายอากาศ ลำควันเคลื่อนที่ในลักษณะควันไหลใต้เพดานแบบจำกัด ความเร็ววิกฤต อุณหภูมิความร้อนสูงและขึ้นกับค่า HRR ในสภาวะที่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิความร้อนด้าน upstream ลดลง และเกิดควันไหลย้อนเป็นผลจากความเร็วการระบายอากาศน้อยกว่า ความเร็ววิกฤตของควันและตำแหน่งกองเพลิงที่เยื้อง การมองเห็นและเวลาการอพยพที่ด้าน upstream ได้รับผลกระทบลดลง คนจะต้องอยู่ห่างจากกองเพลิงและพ้นจากช่วงควันไหลย้อน

บทที่ 3
ขั้นตอนและการดำเนินงาน

จากการศึกษาการทำโครงงานเรื่อง การศึกษาพฤติกรรมควันเพื่อนำมาประดิษฐ์เครื่องกรองควัน มีการใช้วัสดุอุปกรณ์และมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ขวดพลาสติก
3.1.2 แผ่นพลาสติกใส
3.1.3 ชุดตะเกียงแอลกอฮอล์
3.1.4 ยากันยุง
3.1.5 กล้องวีดีโอ
3.1.6 ชุดขาตั้งแคมป์
3.1.7 MQ-2 Smoke Gas Sensor
3.1.8 พัดลมสำหรับไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 0.25 แอมแปร์

3.2 วิธีดำเนินงาน

3.2.1 การศึกษาพฤติกรรมของควัน

3.2.1.1 ขั้นตอนการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของควันที่เกิดเนื่ององจากแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) มีทิศทางและลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกับควันที่เคลื่อนเนื่องจากการหมุนของใบพัดลม

1) จัดทำอุปกรณ์ทดลอง
- เจาะรูที่ข้างขวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. 2 ขวด ๆ ละ 1 รู
- ม้วนแผ่นพลาสติกใสตามแนวยาว ให้มีลักษณะเป็นท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับรูที่เจาะจำนวน 1 ท่อ

2) นำท่อพลาสติกที่เตรียมไว้มาเชื่อมต่อระหว่างขวดทั้งสองใบ

3) ใส่น้ำเย็นที่ขวดใบที่1 และใส่น้ำอุ่นในขวดใบที่ 2 โดยให้ปริมาตรน้ำอุ่นเท่ากับน้ำเย็น

4) นำปลายยากันยุงที่จุดไฟแล้ว ไปจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติก จี้ค้างไว้จนกว่าจะเห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของควัน (คือการเคลื่อนที่ของลม ณ บริเวณนั้น)

5) สังเกตการเคลื่อนที่ของควันยากันยุงระหว่างขวดทั้งสองใบ สังเกตและบันทึกผล (โดยถ่ายคลิปวีดีโอ)

6) จุดยากันยุงแล้วใช้แคมป์จับไว้ แล้วนำไปวางบริเวณหน้าพัดลม

7) เปิดพัดลมสังเกตการเคลื่อนที่ของควันยากันยุงและบันทึกผล (โดยถ่ายคลิปวีดีโอ)

8) นำยุงที่ใช้แคมป์จับไว้ แล้วนำไปวางบริเวณหลังพัดลม

9) เปิดพัดลมสังเกตการเคลื่อนที่ของควันยากันยุงและบันทึกผล (โดยถ่ายคลิปวีดีโอ)

3.2.1.2 ขั้นตอนการทดลองเรื่องแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) คือลมในทิศทางตรงข้าม

1) จัดทำอุปกรณ์ทดลอง

- เจาะรูที่ข้างขวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. 2 ขวด ๆ ละ 2 รู
- ม้วนแผ่นพลาสติกใสตามแนวยาว ให้มีลักษณะเป็นท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับรูที่เจาะ จำนวน 2 ท่อ

2) ใส่น้ำเย็นที่ขวดใบที่1 และใส่น้ำอุ่นในขวดใบที่2 โดยให้ปริมาตรน้ำอุ่นเท่ากับน้ำเย็นน้ำ

3) นำท่อพลาสติกที่เตรียมไว้มาเชื่อมต่อระหว่างขวดทั้งสองใบ

4) ติดตั้ง MQ-2 Smoke Gas Sensor ที่ตำแหน่ง B และ C และต่อเข้าคอมพิวเตอร์เพื่ออ่านค่าของควัน

5) นำปลายยากันยุงที่จุดไฟแล้ว ไปจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อล่าง จี้ค้างไว้จนกว่าจะเห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของควัน (คือการเคลื่อนที่ของลม ณ บริเวณนั้น)

6) สังเกตการเคลื่อนที่ของควันยากันยุงระหว่างขวดทั้งสองใบ สังเกตและบันทึกผล (โดยถ่ายคลิปวีดีโอ)

7) ทำข้อ 2) – 6) ซ้ำ แต่เปลี่ยนข้อ 5) จากจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อล่างเป็นจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อบน

3.2.1.3 ขั้นตอนการทดลองเรื่องความสูงจากแนวระดับนั้นส่งผลต่อทิศทางวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (Convection) ในแนวราบ

1) การทดลองตอนที่ 1

1.1) จัดทำอุปกรณ์ทดลอง

- เจาะรูที่ข้างขวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. 2 ขวด ๆ ละ 3 รู
- ม้วนแผ่นพลาสติกใสตามแนวยาว ให้มีลักษณะเป็นท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับรูที่เจาะจำนวน 2 ท่อ

1.2) ปิดรูบนสุดของขวดทั้งสอง แล้วนำท่อพลาสติกที่เตรียมไว้มาเชื่อมต่อระหว่างขวดทั้งสองใบ

1.3) ใส่น้ำเย็นที่ขวดใบที่1 และใส่น้ำอุ่นในขวดใบที่ 2 โดยให้ปริมาตรน้ำอุ่นเท่ากับน้ำเย็นน้ำ

1.4) นำปลายยากันยุงที่จุดไฟแล้ว ไปจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อล่างจี้ค้างไว้ จนกว่าจะเห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของควัน (คือการเคลื่อนที่ของลม ณ บริเวณนั้น)

1.5) สังเกตการเคลื่อนที่ของควันยากันยุงระหว่างขวดทั้งสองใบ สังเกตและบันทึกผล (โดยถ่ายคลิปวีดีโอ)

1.6) ทำข้อ 1.2) – 1.5) ซ้ำ แต่เปลี่ยนข้อ 1.4) จากจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อล่างเป็นจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อบน

2) การทดลองตอนที่ 2

2.1) จัดทำอุปกรณ์ทดลอง สามารถใช้อุปกรณ์เดียวกับตอนที่1

- เจาะรูที่ข้างขวดพลาสติกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. 2 ขวด ๆ ละ 23 รู

- ม้วนแผ่นพลาสติกใสตามแนวยาว ให้มีลักษณะเป็นท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับรูที่เจาะจำนวน 2 ท่อ

2.2) ปิดรูตรงกลางของขวดทั้งสอง แล้วนำท่อพลาสติกที่เตรียมไว้มาเชื่อมต่อระหว่าง ขวดทั้งสองใบ

2.3) ใส่น้ำเย็นที่ขวดใบที่1 และใส่น้ำอุ่นในขวดใบที่ 2 โดยให้ปริมาตรน้ำอุ่นเท่ากับน้ำเย็นน้ำ

2.4) นำปลายยากันยุงที่จุดไฟแล้ว ไปจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อล่างจี้ค้างไว้ จนกว่าจะเห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของควัน(ก็คือการเคลื่อนที่ของลม ณ บริเวณนั้น)

2.5) สังเกตการเคลื่อนที่ของควันยากันยุงระหว่างขวดทั้งสองใบ สังเกตและบันทึกผล(โดยถ่ายคลิปวีดีโอ)

2.6) ทำข้อ 2.2) - 2.5) ซ้ำแต่เปลี่ยนข้อ 2.4) จากจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อล่างเป็นจี้ที่จุดกึ่งกลางท่อพลาสติกท่อ

3.2.2 การประดิษฐ์เครื่องกรองควัน

3.2.2.1 จัดเตรียมอุปกรณ์

1) เครื่องมือการออกแบบสิ่งประดิษฐ์

1.1) โปรแกรม CorelDRAW

1.2) โปรแกรม FlashPrint

1.3) โปรแกรม RDWorks

1.4) เว็บไซต์ tinkercad

2) วัสดุ

2.1) แผ่นอะคริลิคใส ขนาด 50*70 ซม. หนา 3 และ 2 มิลลิเมตร

2.2) ตะแกรงเหล็ก

2.3) มุ้งลวด

2.4) แผ่นกรองจากต้นธูปฤาษี

3) อุปกรณ์

3.1) เครื่องตัดเลเซอร์

3.2) เครื่องปริ้นสามมิติ

3.3) พัดลมสำหรับไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 0.25 แอมแปร์

3.4) ท่อลมอลูมิเนียมหนา 4 นิ้วยาว 2 เมตร

3.5) MQ-2 Smoke Gas Sensor

3.2.2.2 ออกแบบสิ่งประดิษฐ์

1) ออกแบบเครื่องกรองควันในภาพรวมในลักษณะภาพ isometric

2) ออกแบบชิ้นส่วนอะคริลิคใสแยกออกเป็นแต่ละชิ้นในโปรแกรม CorelDRAW

3) ออกแบบท่อกรวยที่เชื่อมต่อระหว่างพัดลมและท่อลมในเว็บไซต์ tinkercad

3.2.2.3 ประดิษฐ์

1) ส่งออกไฟล์ชิ้นส่วนอะคริลิคใสที่ออกแบบแล้วนามสกุล.dxf จากโปรแกรม CorelDRAW เข้าสู่โปรแกรม RDWorks ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องตัดเลเซอร์ จากนั้นสั่งตัดแผ่นอะคริลิคใส

2) ส่งออกไฟล์ท่อกรวยที่ออกแบบแล้วนามสกุล.stl จากเว็บไซต์ tinkercad เข้าสู่โปรแกรม FlashPrint จากนั้นก็ต่อสายแลน (สายที่เชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องปริ้นสามมิติ) เข้ากับคอมพิวเตอร์แล้วสั่งเครื่องปริ้นสามมิติปริ้น

3) นำชิ้นส่วนแผ่นอะคริลิคที่เป็นแผ่นกรองมาติดตั้ง มุ้งลวด, ตะแกรงเหล็ก และแผ่นกรองจากต้นธูปฤาษีตามที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนแรกของการออกแบบ

4) ประกอบทุกชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน และติดตั้ง MQ-2 Smoke Gas Sensor ที่บริเวณ ทางออกของเครื่องกรองควัน และจุดใกล้ควัน

5) ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน

3.2.3 ขั้นตอนการสำรวจความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจริง

3.2.3.1 จัดทำแบบสำรวจความพึงพอใจในการทดลองใช้เครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน โดยจัดทำในรูปแบบของ Google Form

3.2.3.2 ใส่คุณสมบัติที่จะสำรวจ คือ ความสวยงามและความคิดสร้างสรรค์ และความเหมาะสม ประสิทธิภาพ ความสะดวกต่อการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน

3.2.3.3 จัดคุณสมบัติเป็น 2 ด้าน คือ ด้านการออกแบบ (ความสวยงามและความคิดสร้างสรรค์ความเหมาะสม) และด้านการใช้งาน (ประสิทธิภาพและความสะดวกต่อการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน)

3.2.3.4 จัดทำตารางแสดงค่าเฉลี่ยของการประเมินการใช้เครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน

3.2.3.5 คำนวณ และจัดเกณฑ์ของคะแนนจากการประเมินเครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน โดยให้ระดับคะแนนดังนี้

เกณฑ์คะแนนระดับความพึงพอใจ

5 คะแนน อยู่ในระดับ ดีเยี่ยม

4 คะแนน อยู่ในระดับ ดี

3 คะแนน อยู่ในระดับ ปานกลาง

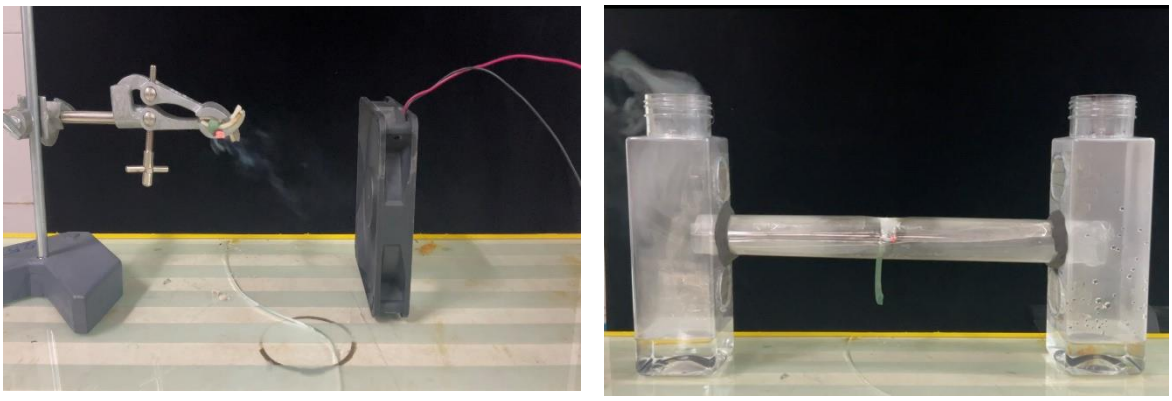
2 คะแนน อยู่ในระดับ พอใช้

1 คะแนน อยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

การศึกษาการเคลื่อนที่ของควันในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาในหัวข้อตามวัตถุประสงค์ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 การศึกษา เปรียบเทียบ ความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ และการหมุดของพัดลมเป็นตัวเปรียบเทียบ



(A) (B)

ภาพที่ 4.1 (A) แสดงการเคลื่อนที่ของควันเมื่อเปรียบเทียบกับลมที่เกิดจากพัดลม
(B) แสดงการเคลื่อนที่ของควันจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ

จากภาพที่ 4.1 (A) การทดลองดังกล่าวพบว่า ลมที่เกิดจากการหมุนเวียนของอากาศ มีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกับลมที่เกิดจากพัดลม โดยสังเกตจากการทิศเคลื่อนที่ของควันดังภาพ (A) และ (B)

จากภาพที่ 4.1 (B) การทดลองดังกล่าวพบว่า การเคลื่อนที่อขงควันเป็นไปตามทฤษฎีของ Brow โดยสังเกตจากการเคลื่อนที่ของควัน โดยควันจะเคลื่อนที่จากทิศทางที่มีอุณหภูมิสูงไปยังทางที่มีอุณหภูมต่ำกว่าดังภาพ (B)

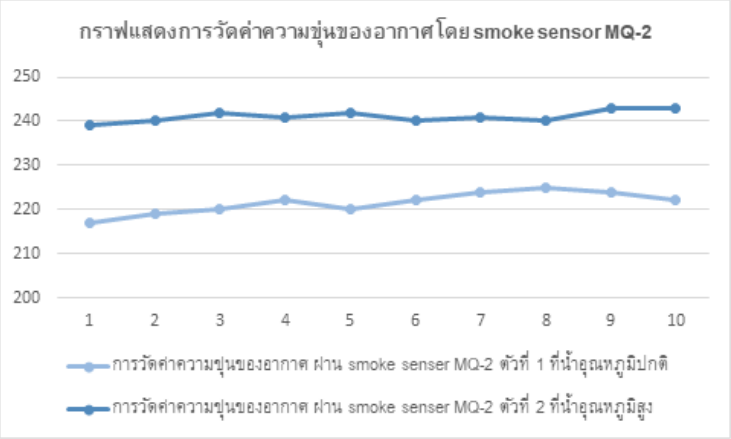
4.2 การศึกษา เปรียบเทียบ ความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ โดยใช้ smoke sensor MQ-2

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของอากาศในพื้นที่บริเวณที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน

จำนวนการวัด (ครั้ง)	การวัดค่าความขุ่นของอากาศ โดย smoke sensor MQ-2 (unit)	
	ตัวที่ 1 ที่น้ำอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส)	ตัวที่ 2 ที่น้ำอุณหภูมิสูง (100 องศาเซลเซียส)
1	217.00	239.00
2	219.00	240.00
3	220.00	242.00
4	222.00	241.00
5	220.00	242.00
6	222.00	240.00
7	224.00	241.00
8	225.00	240.00
9	224.00	243.00
10	222.00	243.00
ค่าเฉลี่ย(unit)	221.50	241.10

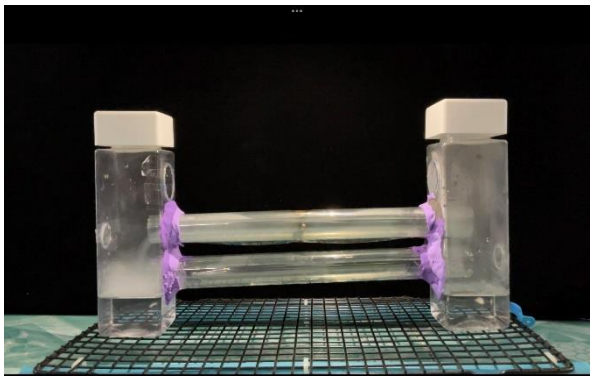
จากตารางที่ 4.1 เมื่อทดสอบการวัดค่าความขุ่นของอากาศโดย Smoke sensor MQ-2 พบว่า ค่าความขุ่นของอากาศในบริเวณที่อุณหภูมิสูง (100 องศาสเซลเซียส) มีค่าเฉลี่ย 241.10 unit ซึ่งมีค่ามากกว่าบริเวณที่มีอุณภูมิปกติ (35 องศาสเซลเซียส) ที่มีค่าเฉลี่ย 221.50 unit

กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความขุ่นของอากาศในบริเวณพื้นที่ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน

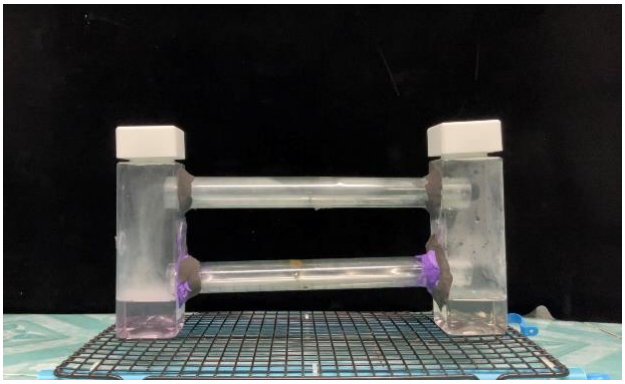


จากกราฟที่ 4.1 แสดงถึงการวัดค่าความขุ่นของอากาศพบว่า เซนเซอร์ ตัวที่ 2 ค่าความขุ่นของอากาศในบริเวณที่อุณหภูมิสูง (100องศาสเซลเซียส) มีค่าเฉลี่ย 241.10 unit ซึ่งมีค่ามากกว่าเซนเซอร์ ตัวที่ 1 ที่วัดค่าบริเวณที่มีอุณภูมิปกติ (35 องศาสเซลเซียส) ที่มีค่าเฉลี่ย 221.50 unit ซึ่งแสดงว่า ควันเคลื่อนที่ไปทางบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมากกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ จึงทำให้เซนเซอร์ตัวที่ 2 สามารถวัดค่าความขุ่นของอากาศได้มากกว่า เซนเซอร์ ตัวที่ 1

4.3 การศึกษา เปรียบเทียบ ความแตกต่างของทิศทางการเคลื่อนที่ของควันอันเนื่องจาก แรงความชันความกดอากาศ โดยใช้ความสูงจากแนวระดับเป็นตัวเปรียบเทียบ



(A)



(B)

ภาพที่ 4.2 (A) แสดงการเคลื่อนที่ของควันจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ตามการทดลองตอนที่ 1

(B) แสดงการเคลื่อนที่ของควันจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ตามการทดลองตอนที่ 2

จากภาพที่ 4.2 (A) การทดลองดังกล่าวพบว่า ลมที่เกิดภายในอุปกรณ์เกิดการหมุนเวียนของอากาศ มีลักษณะการวนแบบทวนเข็มนาฬิกาดังภาพ (A) และอากาศส่วนหนึ่งที่ไม่หมุนเวียนก็จะมากองรวมกันบริเวณขวดน้ำเย็น

จากภาพที่ 4.2 (B) การทดลองดังกล่าวพบว่า ลมที่เกิดภายในอุปกรณ์เกิดการหมุนเวียนของอากาศ โดยวงจรมีขนาดใหญ่กว่าภาพ (A) แต่ยังคงมีลักษณะการวนแบบทวนเข็มนาฬิกาและอากาศส่วนหนึ่งที่ไม่หมุนเวียนก็จะมากองรวมกันบริเวณขวดน้ำเย็นเหมือนกับภาพ (A)

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของควันก่อนเปิดเครื่องกรองควัน โดย sensorValue1 อยู่ที่ทางออกของเครื่องกรองควัน และ sensorValue2 อยู่ ณ จุดใกล้ควัน

จำนวนการวัด (วินาที/ครั้ง)	การวัดค่าความขุ่นของอากาศ โดย smoke sensor MQ-2 (unit)	
	sensorValue1	sensorValue2
1	90.00	117.00
2	88.00	120.00
3	88.00	116.00
4	88.00	118.00
5	90.00	116.00
6	89.00	117.00
7	92.00	118.00
8	90.00	117.00
9	89.00	118.00
10	90.00	117.00
11	89.00	118.00
12	87.00	118.00
13	90.00	117.00
14	89.00	116.00
15	90.00	116.00
อัตราการเปลี่ยนแปลง (การวัดที่15 - การวัดที่ 1)	0	-1
ค่าเฉลี่ย	89.27	117.26

จากตารางที่ 4.2 เมื่อทดสอบการวัดค่าความขุ่นของอากาศโดย Smoke sensor MQ-2 พบว่า ค่าความขุ่นของอากาศที่ sensorValue1 มีค่าเฉลี่ย 91.90 unit และไม่มีอัตราการเปลี่ยนแปลง ส่วน sensorValue2 มีการลดลงเพียง 1 หน่วย แต่กลับมีค่าเฉลี่ย 114.10 unit ซึ่งขุ่นกว่ามาก

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของควันเมื่อเปิดเครื่องกรองควัน โดย sensorValue1 อยู่ที่ทางออกของเครื่องกรองควัน และ sensorValue2 อยู่ณ จุดใกล้ควัน

จำนวนการวัด (วินาที/ครั้ง)	การวัดค่าความขุ่นของอากาศ โดย smoke sensor MQ-2 (unit	
	sensorValue1	sensorValue2
1	99.00	173.00
2	99.00	172.00
3	101.00	171.00
4	99.00	170.00
5	104.00	168.00
6	103.00	166.00
7	106.00	165.00
8	108.00	163.00
9	105.00	162.00
10	108.00	164.00
11	104.00	160.00
12	101.00	152.00
13	101.00	150.00
14	105.00	150.00
15	107.00	150.00
อัตราการเปลี่ยนแปลง (การวัดที่15 - การวัดที่ 1)	8.00	-23
ค่าเฉลี่ย(unit)	103.33	162.40

จากตารางที่ 4.3 เมื่อทดสอบการวัดค่าความขุ่นของอากาศโดย Smoke sensor MQ-2 พบว่า ค่าความขุ่นของอากาศที่ sensorValue1 มีการเพิ่มขึ้นเพียง 8 หน่วย และค่าเฉลี่ย 103.10 unit ซึ่งก็ยังคงมีค่าน้อยกว่าที่มี sensorValue2 ที่มีค่าเฉลี่ย 126.90 unit แต่มีความขุ่นลดลงมากถึง 23 unit

ดังนั้นประสิทธิภาพจะคิดจากการเทียบอัตราส่วนดังนี้

$$\frac{\text{ปริมาณควันที่กำจัดได้}}{\text{ปริมาณควันที่เครื่องดูดเข้ามาทั้งหมด}} \times 100 = \text{ประสิทธิภาพ } (\%)$$

โดยปริมาณควันที่กำจัดได้ = ปริมาณควันที่เครื่องดูดเข้ามาทั้งหมด - ปริมาณควันที่เครื่องปล่อยออกมา

จะได้ว่า $\left[\frac{(23-8)}{23}\right] \times 100 = 65.22\ \%$

4.5 การสำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของการประเมิณการใช้เครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน

รายการ	คะแนน		
	เฉลี่ยรายหัวข้อ	เฉลี่ยรายด้าน	เฉลี่ยรวม
ด้านที่ 1 การออกแบบ		3.90	4.02
- ความเหมาะสมต่อการใช้งาน	4.00		
ความสวยงาม และความคิดสร้างสรรค์	3.36		
ด้าน 2 การใช้งาน		4.14	
ประสิทธิภาพของชิ้นงาน	4.09		
ความง่ายของการใช้งาน	4.18		

จากตารางที่ 4.4 พบว่าคะแนนประเมินรวมทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ระดับดี เฉลี่ย 4.02 ซึ่งด้านการใช้งานได้คะแนนประเมินสูงสุดเฉลี่ย 4.14 ประกอบด้วยหัวข้อความง่ายของการใช้งานได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 4.18 หัวข้อ ประสิทธิภาพของชิ้นงานได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 4.09 รองลงมาคือด้านการออกแบบได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 3.90 ประกอบด้วยหัวข้อ ความเหมาะสมต่อการใช้งานได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 4.00 และ ความสวยงามและความคิดสร้างสรรค์คะแนนประเมินเฉลี่ย 3.36

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ของควันที่เกิดเนื่องจากแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) มีทิศทางและลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกับควันที่เคลื่อนเนื่องจากการหมุนของใบพัดลม สรุปได้ว่า ทั้งการเคลื่อนที่ของควันเนื่องจากแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) และควันเนื่องจากการหมุนของใบพัดลม มีทิศทางและลักษณะการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน แต่ก็มีความไม่เป็นระเบียบเหมือนกันทั้งคู่ ควันที่เคลื่อนที่จากแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) ภายในอุปกรณ์เคลื่อนที่อย่างมีทิศทางเช่นเดียวกับการพัดของใบพัดพัดลม แต่ลักษณะของการเคลื่อนที่ของควันเนื่องจากแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) นั้นมีระยะทางที่ไม่เป็นเส้นตรงอย่างมีระเบียบ หากแต่การเคลื่อนที่ของควันจากการหมุนของใบพัดลมจะมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นเกลียวคล้ายพายุทอร์นาโดในแนวนอน

5.1.2 ผลการทดลองแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) คือลมในทิศทางตรงข้าม สรุปได้ว่า แรงในแนวราบที่ทำให้อากาศในท่อด้านบนเคลื่อนที่ คือ แรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) ส่วนแรงในแนวราบที่ทำให้อากาศในท่อด้านล่างเคลื่อนที่ คือ ลมทั่วๆไป ที่พัดพาควันให้ไหลไปตามทิศทางการหมุนและพบว่าแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) จะทำให้อากาศไหลจากอากาศร้อนไปอากาศเย็นสังเกตจากควัน เป็นไปตามหลักการของ Brownian motion ในการหมุนเวียนของอากาศแรงในแนวราบที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่ในท่อบนจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับท่อล่าง และทิศทางของควันที่ได้จากกล้องให้ผลตรงกับ MQ-2 Smoke Gas Sensor และลักษณะการเครื่องที่ของควันมีระยะทางที่ไม่เป็นเส้นตรง

5.1.3 ผลการทดลองความสูงจากแนวระดับนั้นส่งผลต่อทิศทางวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (canvection) ในแนวราบ สรุปได้ว่า ความสูงจากแนวระดับไม่ส่งผลต่อทิศทางการหมุนเวียนของอากาศ แม้จะเปลี่ยนระดับความสูงท่ออุปกรณ์ทิศทางการหมุนเวียนอากาศ ก็ยังคงหมุนวนในทิศทางเดิม ไม่ว่าทวนหรือตามเข็มนาฬิกา

5.1.4 ผลการทดสอบเครื่องดูดควัน สรุปได้ว่า เครื่องดูดควันที่ใช้หลักการทางฟิสิกส์ว่าด้วยการแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) คือการเคลื่อนไหวของอะตอมอากาศแบบ Brownian motion สามารถดูดและกรองควันได้จริง โดยสามารถกรองควันได้ 65.22%

5.1.5 ผลการศึกษาการสำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องดูดควัน สรุปได้ว่าคะแนนประเมินรวมทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ระดับดี เฉลี่ย 4.02 ซึ่งด้านการใช้งานได้คะแนนประเมินสูงสุดเฉลี่ย 4.14 ประกอบด้วยหัวข้อความง่ายของการใช้งานได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 4.18 หัวข้อประสิทธิภาพของชิ้นงานได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 4.09 รองลงมาคือด้านการออกแบบได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 3.90 ประกอบด้วยหัวข้อความเหมาะสมต่อการใช้งานได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 4.00 และความสวยงามและความคิดสร้างสรรค์ได้คะแนนประเมินเฉลี่ย 3.36

5.2 อภิปรายผล

5.1.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของควันที่เกิดเนื่องจากแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) มีทิศทางและลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกับควันที่เคลื่อนเนื่องจากการหมุนของใบพัดลมซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวของวัตถุภายในระบบ การเคลื่อนที่ของควันทั้งสองแบบต่างก็เป็นการเคลื่อนไหวแบบมีความไม่เป็นระเบียบเหมือนกันทั้งคู่ แม้ทิศทางและลักษณะการเคลื่อนที่จะแตกต่างกันก็ตามทั้งสองก็ทำให้ควันเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงอย่างมีระเบียบไม่ได้เช่นกัน

5.1.2 การทดลองแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) คือลมในทิศทางตรงข้าม แรงในแนวราบที่ทำให้อากาศในวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (convection) ส่วนบนเคลื่อนที่ คือแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) ส่วนแรงในแนวราบที่ทำให้อากาศในส่วนของวงจรการหมุนเวียนอากาศ (convection) ด้านล่างเคลื่อนที่คือลมทั่ว ๆ ไป ถึงอย่างนั้นทั้งสองก็สามารถพัดพาควันให้ไหลไปตามทิศทางการหมุนและพบว่าแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) จะทำให้อากาศไหลจากอากาศร้อนไปอากาศเย็นสังเกตจากควัน เป็นไปตามหลักการของ Brownian motion ในการหมุนเวียนของอากาศแรงในแนวราบที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่ ในท่อบนจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับท่อล่าง แต่ลักษณะการเครื่องที่ของควันมีระยะทางที่ไม่มีระเบียบ

5.1.3 การทดลองความสูงจากแนวระดับนั้นไม่ส่งผลต่อทิศทางวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (canvection) ในแนวราบ เนื่องจากความสูงจากแนวระดับไม่ส่งผลต่อทิศทางการหมุนเวียนของอากาศ แม้ระดับความสูงจะเปลี่ยนทิศทางการหมุนเวียนอากาศก็ยังคงหมุนวนในทิศทางเดิม ไม่ว่าทวนหรือตามเข็มนาฬิกา หากแต่ที่สิ่งที่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนคือขนาดของวงจรการหมุนเวียนของอากาศ (canvection) ในแนวดิ่งที่ใหญ่และยาวขึ้น

5.1.4 การทดสอบเครื่องดูดควัน สรุปได้ว่า เครื่องดูดควันที่ใช้หลักการทางฟิสิกส์ว่าด้วยการแรงความชันความกดอากาศ (Pressure gradient force) คือการเคลื่อนไหวของอะตอมอากาศแบบ Brownian motion สามารถดูดและกรองควันได้จริง โดยสามารถกรองควันอย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.5 ผลการศึกษาการสำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน สรุปได้ว่า คะแนนประเมินรวมทุกด้านอยู่ในเกณฑ์ระดับดี เฉลี่ย 4.02 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ระดับดี อาจต้องปรับกลุ่มทดลองให้หลากหลายวัย เพื่อให้มีความหลากหลายของความพึงพอใจมากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 อาจปรับเปลี่ยนรูปร่างของเครื่องดูดควันให้มีขนาดสั้นกว่าเดิมเพื่อสะดวกในการพกพา

5.3.2 หลีกเลี่ยงการใช้น้ำยาประสานอะคริลิคติดตั้งตัวชิ้นงานอย่างถาวร การที่ชิ้นส่วนของตัวเครื่องสามารถถอดประกอบได้นั้นสะดวกในการพกพาติดตั้งและทำความสะอาดมากกว่า

5.3.3. สามารถต่อยอดแผ่นกรองให้หลากหลายเช่นแผ่นกรองฝุ่นหรือเชื้อโรคในอากาศมากกว่าควันเพียงอย่างเดียวได้

บรรณานุกรม

Brownian Motion - Definition, Causes & Effects of Brownian Movement (ออนไลน์). (ม.ป.ป.). สืบค้นจาก https://bit.ly/3YnX2YQ [20 มกราคม 2566]

การเคลื่อนที่แบบบราวน์ (ออนไลน์). (2565). สืบค้นจาก https://bit.ly/3OL3GoP [20 มกราคม 2566]

การเคลื่อนที่แบบบราวน์ในมุมมองไอน์สไตน์ (ออนไลน์). (2564). สืบค้นจาก https://bit.ly/3Qr62KP [22 มกราคม 2566]

การสันดาปหรือการเผาไหม้ทางเคมี : การเผาไหม้ที่สมบูรณ์และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (ออนไลน์). (2563). สืบค้นจาก http://bitly.ws/Rfcd [20 มกราคม 2566]

การเผาไหม้ (ออนไลน์). (2566). สืบค้นจาก http://bitly.ws/RfbE [25 มกราคม 2566]

ควัน (ออนไลน์). (2560). สืบค้นจาก https://bit.ly/3Ot5ZvH [15 มกราคม 2566]

ความกดอากาศและการเกิดลม (ออนไลน์). (ม.ป.ป.). สืบค้นจาก https://bit.ly/3Oq6oyL [20 มกราคม 2566]

ชัชวาลย์ จันทรวิจิตร. **ควันจากการเผาชีวมวล อาจอันตรายกว่าที่คิด** (ออนไลน์). (2565). สืบค้นจาก https://bit.ly/3OLxthj [15 มกราคม 2566]

ยากันยุง ภัยเงียบและอันตรายที่คุณต้องรู้ (ออนไลน์). (2565). สืบค้นจาก https://bit.ly/3qlRgul [20 มกราคม 2566]

เรียนวิทย์กับครูขวัญ: ความกดอากาศและลม (ออนไลน์). (2562). สืบค้นจาก https://bit.ly/3Ys15DN [20 มกราคม 2566]

สร้างอุโมงค์ลม (ออนไลน์). (2553). สืบค้นจาก https://bit.ly/3KuSASq [25 มกราคม 2566]

อุโมงค์ลม (ออนไลน์). (2566). สืบค้นจาก https://bit.ly/3s2VGHb [25 มกราคม 2566]

ภาคผนวก

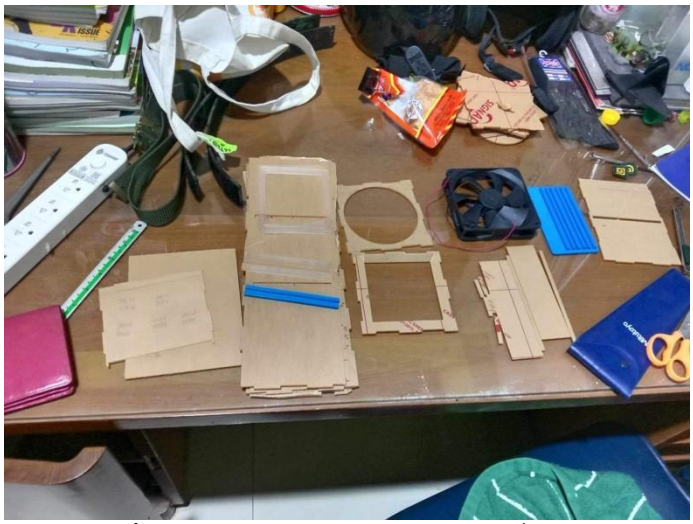
รูปภาพประกอบ
เรื่อง ขั้นตอนการทำโครงงาน

ภาพที่ 1 หาข้อมูลเพื่อจัดทำโครงงาน

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

รูปภาพประกอบ
เรื่อง ขั้นตอนการทำโครงงาน

ภาพที่ 3 การทำแผ่นกรองจากธูปฤาษี



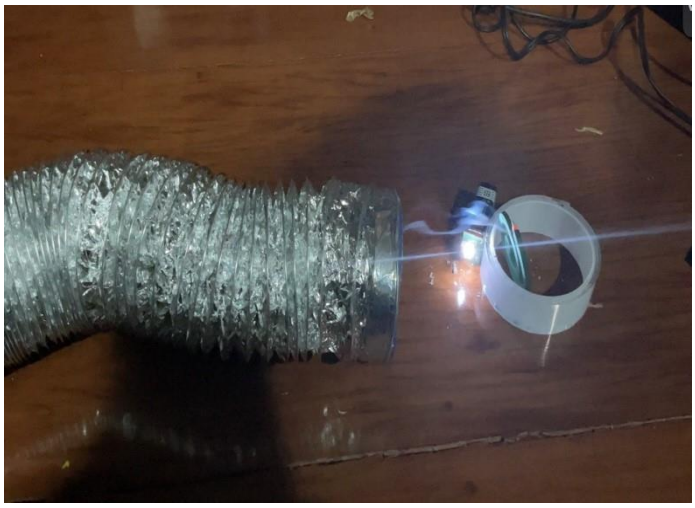
ภาพที่ 4 การตัดแผ่นอะคริลิคตามขนาดที่ต้องการ

รูปภาพประกอบ
เรื่อง ขั้นตอนการทำโครงงาน

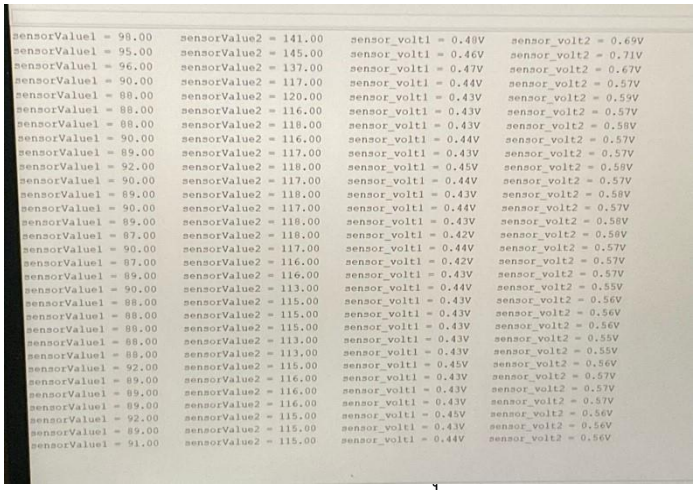
ภาพที่ 5 ประกอบตัวเครื่องดูดควัน

ภาพที่ 6 ประกอบแผ่นกรองเข้าตัวเครื่อง

รูปภาพประกอบ
เรื่อง ขั้นตอนการทำโครงงาน



ภาพที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน

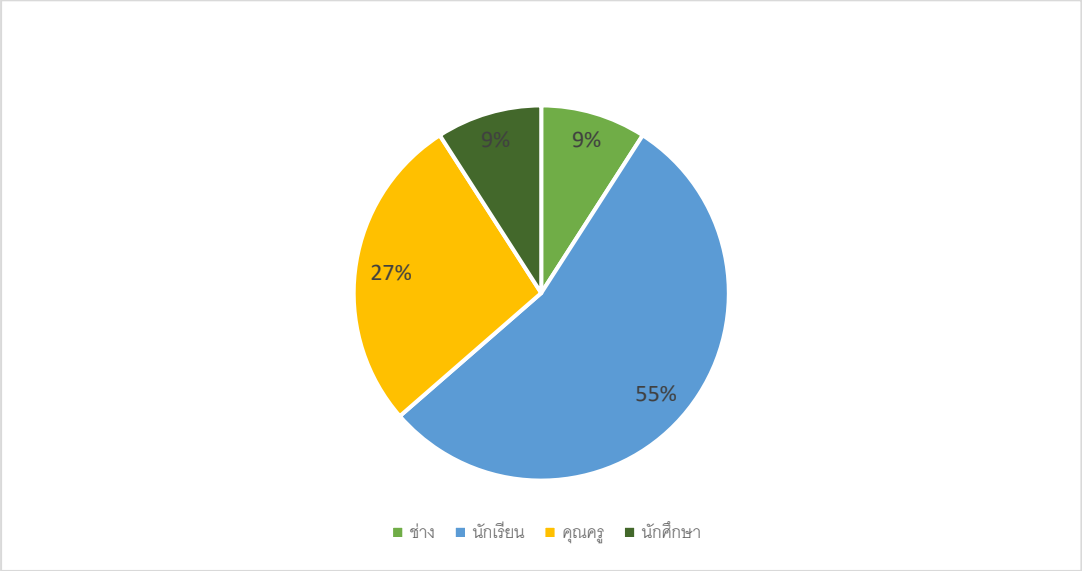


ภาพที่ 8 ผลการวัดค่าความขุ่นของอากาศ

รูปภาพประกอบ
เรื่อง การสำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน

สถานะ

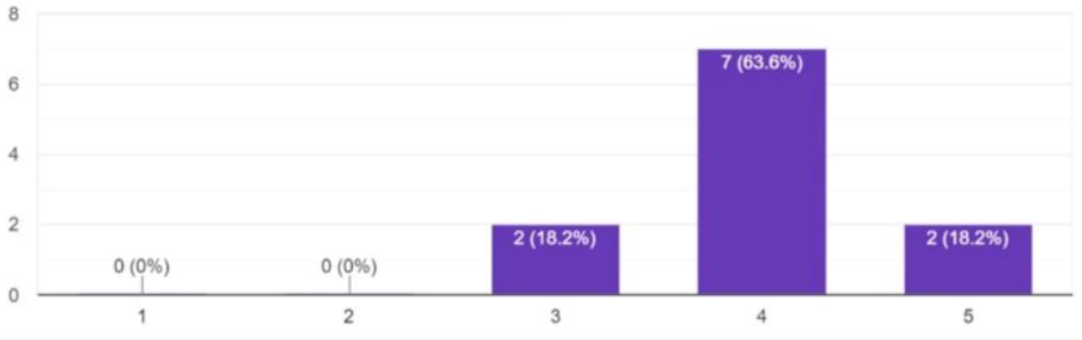
คำตอบ 11 ข้อ



กราฟที่ 1 แสดงสถานะของผู้ทดลองการใช้งาน

ความเหมาะสมของการใช้งาน

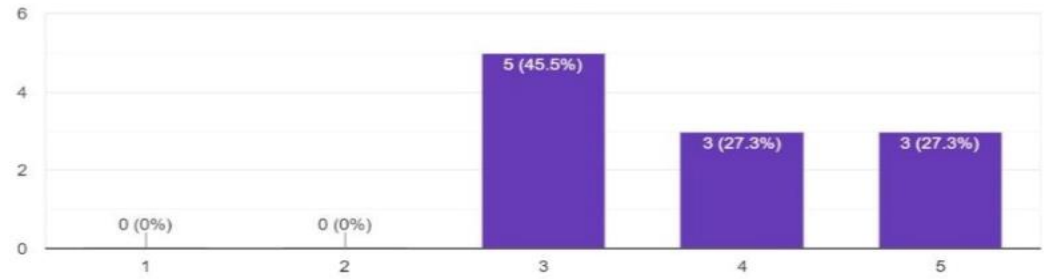
จำนวน 11 ข้อ



กราฟที่ 2 แสดงคะแนนความเหมาะสมต่อการใช้งานของเครื่องกรองควัน

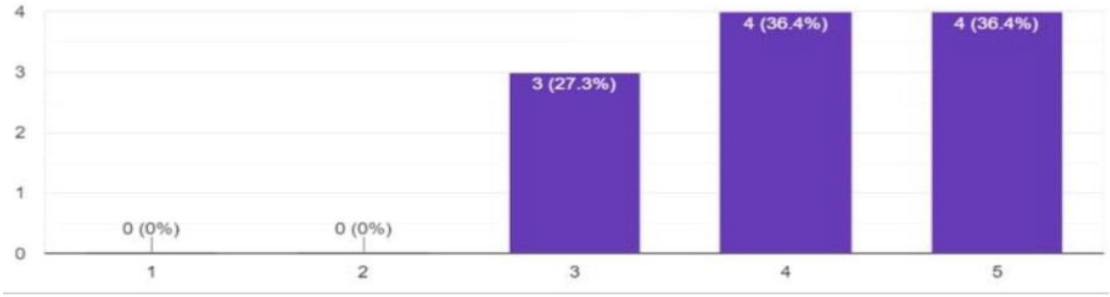
รูปภาพประกอบ
เรื่อง การสำรวจความพึงพอใจในการใช้เครื่องดูดควันจากการศึกษาพฤติกรรมควัน

ความสวยงาม และความคิดสร้างสรรค์
คำตอบ 11 ข้อ



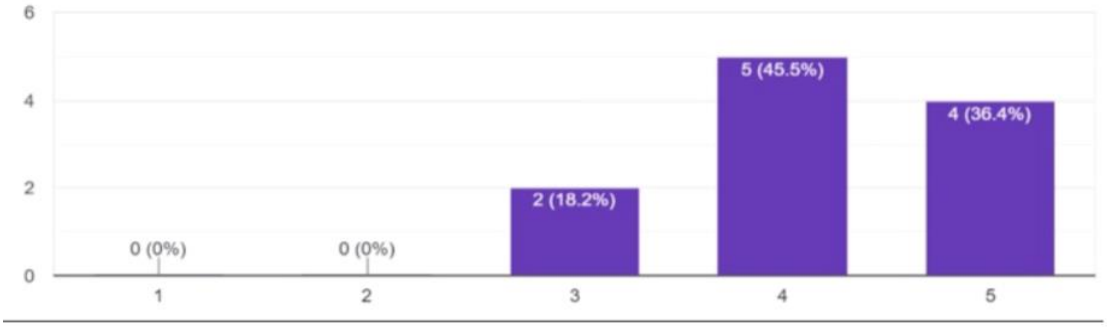
กราฟที่ 3 แสดงคะแนนความสวยงาม และความคิดสร้างสรรค์ของเครื่องกรองควัน

ประสิทธิภาพของชิ้นงาน
คำตอบ 11 ข้อ



กราฟที่ 4 แสดงคะแนนประสิทธิภาพของเครื่องกรองควัน

ความง่ายของการใช้งาน
คำตอบ 11 ข้อ



กราฟที่ 5 แสดงคะแนนความสะดวกต่อการใช้งานของเครื่องกรองควัน