การศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซลสำหรับระบบรับรู้กลิ่น
STUDY OF PROPER STRUCTURE OF SENSOR CELL FOR ODOR SENSING SYSTEM

กัณธิชา ชัยตรรก
Kanticha Chaitrak

กาญจน์ฉัตร ชัยวรมันต์
Karnchat Jayavoramant

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

การศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซลสำหรับระบบรับรู้กลิ่น

STUDY OF PROPER STRUCTURE OF SENSOR CELL FOR ODOR SENSING SYSTEM

โดย

กัณธิชา ชัยตรรก

กาญจน์ฉัตร ชัยวรมันต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ยศศิริ อาริยะกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

ปริญญานิพนธ์	ปีการศึกษา 2560
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง	การศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซลสำหรับระบบรับรู้กลิ่น
	Study of proper structure of sensor cell for odor sensing system
ผู้จัดทำ	นางสาวกัณธิชา ชัยตรรก รหัสประจำตัว 57010058
	นางสาวกาญจน์ฉัตร ชัยวรมันต์ รหัสประจำตัว 57010068

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ดร.ยศศิริ อาริยะกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษา

Study of proper structure of sensor cell for odor sensing system

Miss Kanticha Chaitrak, Miss Karnchat Jayavoramant
Advisor: Dr. Yossiri Ariyakul
Department of Electronics Engineering
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Abstract

Olfaction helps creatures to identify the food quality, hygiene, danger, etc. Thus, odor sensing systems have been developed. However, the operation of odor sensors is affected by external factors such as humidity, temperature, wind velocity and direction etc. Thus, the odor sensors are required to be installed into a sensor cell to avoid those disturbances. Therefore, the proper structure of the sensor cells was investigated in this dissertation by simulating the flow of odor molecules by using ANSYS. Furthermore, the closed odor generating system using ON-OFF switching of solenoid valves with pulse width modulation signal for sensor cell evaluation was also developed. The proposed system can control the concentration of the released odors accurately and rapidly

การศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซลสำหรับระบบรับรู้กลิ่น

นางสาวกัณธิชา ชัยตรรก, นางสาวกาญจน์ฉัตร ชัยวรมันต์
อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.ยศศิริ อาริยะกุล
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ประสาทรับกลิ่นมีประโยชน์หลายประการต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ช่วยให้รับรู้ถึงคุณภาพของอาหาร, รับรู้ถึงความสะอาด,รับรู้ภัยอันตราย เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ระบบรับรู้กลิ่นที่ใช้เซ็นเซอร์กลิ่นจึงถูกพัฒนาขึ้น ทั้งนี้การทำงานของเซ็นเซอร์กลิ่นโดยทั่วไปนั้นจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น ความชื้น, อุณหภูมิ, ความเร็วและทิศทางลม ด้วยเหตุนี้เซ็นเซอร์กลิ่นจึงจำเป็นต้องถูกบรรจุในเซ็นเซอร์เซลเพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยรบกวนดังกล่าว ดังนั้นในปริญญานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซลโดยใช้วิธีการจำลองการไหลของโมลกุลกลิ่นด้วยโปรแกรม ANSYS นอกจากนี้ ยังได้ทำการพัฒนาระบบปล่อยกลิ่นแบบปิดโดยใช้การสวิตซ์เปิดปิดของโซลินอยด์วาวด์ด้วยสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นสำหรับทำการทดสอบเซ็นเซอร์เซลอีกด้วย ระบบที่พัฒนาขึ้นดังกล่าวสามารถควบคุมความเข้มข้นของกลิ่นที่ปล่อยได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือและการให้คำปรึกษาจาก ดร.ยศศิริ อาริยะกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความรู้ในการทำงานและช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ รวมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำงาน คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณอย่างสูง ทำให้โครงงานสำเร็จลุลวงไปดวยดี สุดทายนี้ คณะผูจัดทำหวังวาโครงงานนี้จะเปนประโยชนสำหรับผูสนใจและสามารถนำโครงงานนี้ไปใช้อ้างอิงต่าง ๆ ได้

กัณธิชา ชัยตรรก

กาญจน์ฉัตร ชัยวรมันต์

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

สารบัญรูป

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ควอรตคริสตัลไมโครบาลานซ (Quartz Crystal Microbalance : QCM) เปนอุปกรณที่สามารถรับรูการ เปลี่ยนแปลงของมวลบนผิวสัมผัสไดอยางละเอียดถึงระดับนาโนกรัม สงผลใหถูกนำไปใชงานอยางกวางขวางในการวัดกลิ่นโดยวัดจากน้ำหนักของโมเลกุลของกลิ่นในอากาศที่มาเกาะบนผิวสัมผัส โดยคาความเขมขนของ โมเลกุลของกลิ่นในอากาศจะถูกแสดงผลในรูปของการเปลี่ยนแปลงของคาความถี่เรโซแนนซ (resonant frequency) ของตัวเซ็นเซอร ทั้งนี้ในการใช้งานเซ็นเซอร์ชนิด QCM ในการวัดกลิ่นในขั้นตอนของการทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นมักจะทำการวัดแบบปิด โดยระบบการวัดแบบปิดสามารถทำได้โดยการนำเซ็นเซอร์ชนิด QCM บรรจุไว้ในเซ็นเซอร์เซลเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ความแปรปรวนของสภาพอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นในอากาศ เป็นต้น ประกอบกับระบบโซลินอยด์วาล์วเพื่อช่วยในการควบคุมการปล่อยกลิ่นอีกด้วย

นอกจากนี้ โดยปกติแม้เซ็นเซอร์ชนิด QCM จะสามารถวัดความเข้มข้นของกลิ่นได้ แต่จะไม่สามารถแยกแยะได้ว่ากลิ่นที่วัดคือกลิ่นอะไร ซึ่งประเด็นดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้งานเซ็นเซอร์ชนิด QCM หลายตัวที่มีคุณสมบัติในการเลือกวัด (selectivity) ต่างกัน นำมาต่อกันในลักษณะของอาเรย์ (array) ค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์จากเซ็นเซอร์อาเรย์ เมื่อนำไปประมวลผลต่อด้วยวิธีการแยกแยะรูปแบบ (pattern classification) จะสามารถระบุได้ว่ากลิ่นที่วัดนั้นคือกลิ่นอะไร ทั้งนี้เซ็นเซอร์อาเรย์นั้นจะถูกบรรจุอยู่ในเซ็นเซอร์เซลที่เหมาะสม เซ็นเซอร์เซลที่เหมาะสมนั้นจะทำให้เซ็นเซอร์อาเรย์นั้นสามารถรับโมเลกุลที่ผ่านเข้ามาในเซ็นเซอร์เซลได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันและพร้อมกัน

1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหาโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซลสำหรับระบบรับรู้กลิ่น เซ็นเซอร์เซลที่เหมาะสมจะทำให้ระบบรับรู้กลิ่นแบบปิดนั้นมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเซ็นเซอร์เซลจะช่วยลดผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความแปรปรวนของสภาพอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นในอากาศ เป็นต้น อีกทั้งยังช่วยให้ความเร็วลมในเซ็นเซอร์เซลผ่าน QCM สม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งเซ็นเซอร์เซล

2. เพื่อพัฒนาระบบปล่อยกลิ่นแบบปิดที่สามารถปล่อยกลิ่นได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง สำหรับการทดสอบเซ็นเซอร์เซลดังกล่าวด้วยการวัดจริง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การจำลองการเคลื่อนที่ของโมเลกุลกลิ่นในเซ็นเซอร์เซลโดยใช้โปรแกรม ANSYS จะสามารถให้ผลเฉลยที่ถูกต้องสามารถระบุโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซลได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ปริญญานิพนธ์นี้มีขอบเขตตั้งแต่การนำเซ็นเซอร์เซลที่มีรูปแบบอย่างง่าย ไปทำการจำลองการเคลื่อนที่ของโมเลกุลกลิ่นในเซ็นเซอร์เซลแต่ละแบบนั้น ๆ ด้วยโปรแกรม ANSYS และทำการพัฒนาระบบปล่อยกลิ่นแบบปิด ที่ใช้การสวิตซ์ปิด-เปิดของโซลินอยด์วาล์วที่สามารถปล่อยกลิ่นได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องสำหรับการทดสอบเซ็นเซอร์เซลดังกล่าวด้วยการวัดจริง

บทที่ 2

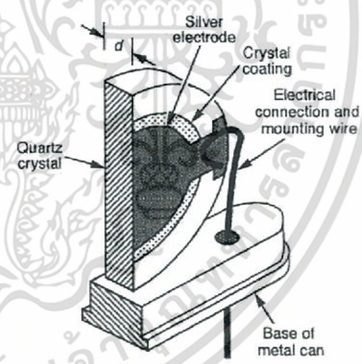
ทฤษฎี

2.1 เซ็นเซอร์กลิ่น

2.1.1 เซ็นเซอร์ชนิด QCM

เซ็นเซอร์ชนิด QCM (quartz crystal microbalance) ถูกสร้างจากผลึกควอร์ตคริสตัล ที่มีคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริกต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า โดยเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดมวลบนผิวสัมผัสได้อย่างละเอียดถึงระดับนาโนกรัม เซ็นเซอร์ชนิด QCM จะมีความถี่เรโซแนนซ์เฉพาะที่มีค่าขึ้นอยู่กับที่ทิศทางการตัดผลึกคริสตัล โดยที่ความถี่เรโซแนนซ์ของเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงเมื่อคริสตัลมีมวลเพิ่มขึ้นเมื่อโมเลกุลของกลิ่นเกาะบนผิวสัมผัส การเลือกสารเคมีบางชนิดมาเคลือบบนคริสตัลจะทำให้เซ็นเซอร์ชนิด QCM มีความสามารถในการเลือกกลิ่นที่มาเกาะ (selectivity) ได้มากขึ้น ลักษณะของเซ็นเซอร์ชนิด QCM แสดงดังรูปที่ 2.1 และภาพตัดตามขวางของเซ็นเซอร์ชนิด QCM แสดงดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.1 เซ็นเซอร์ชนิด QCM



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของเซ็นเซอร์ชนิด QCM [1]

ความถี่ในการสั่นของเซ็นเซอร์ชนิด QCM จะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีสารเข้ามาเกาะที่ผิว ซึ่งโดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลง (Δf) และปริมาณของมวลที่เข้ามาเกาะที่ผิวของเซ็นเซอร์ (Δm) ถูกแสดงได้ด้วยสมการของ Sauerbrey ดังสมการที่ 2.1

$$\Delta f = \frac{2f_0^2\Delta m}{A\sqrt{\mu_q}\rho_q} \tag{2.1}$$

โดยที่ μ_q คือ ค่าตัวโมดูลัสของแรงเฉือน (shear modulus) ของผลึกควอร์ต

ρ_q คือ ค่าความหนาแน่นของผลึกควอร์ต

A คือ พื้นที่หน้าตัดของควอร์ต

f_0 คือ ความถี่เรโซแนนซ์

ทั้งนี้ในการใช้งานเซ็นเซอร์ในการวัดกลิ่นนั้นเซ็นเซอร์ควรจะมีลักษณะที่พึ่งประสงค์ดังนี้

1. มีความสามารถในการรับรู้ (sensitivity) สูง
2. มีการตอบสนอง (response) ที่รวดเร็ว
3. มีความสามารถในการทำซ้ำ (reproducibility) สูง
4. มีความทนทาน (robustness) ต่อปัจจัยรบกวนอื่นๆ
5. มีความสามารถในการเลือกรับรู้ (selectivity)

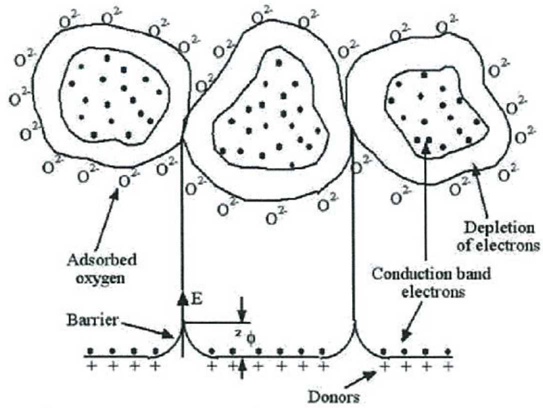
สำหรับเซ็นเซอร์ชนิด QCM นั้นเมื่อเปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์วัดกลิ่นชนิดอื่น มีจุดเด่นคือความไวในการวัดที่สูง ผลตอบสนองที่รวดเร็วและสามารถถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการเลือกรับรู้ได้ อย่างไรก็ตาม เซ็นเซอร์ชนิด QCM นี้ ยังมีจุดอ่อนในแง่ของความสามารถในการทำซ้ำที่ไม่สูงนักเนื่องจากการเลื่อนของความถี่ (frequency shift) รวมไปถึงการที่ผลตอบสนองของเซ็นเซอร์ได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ความชื้น, ฝุ่นละออง เป็นต้น

2.1.2 เซ็นเซอร์ชนิดเมทัลออกไซด์

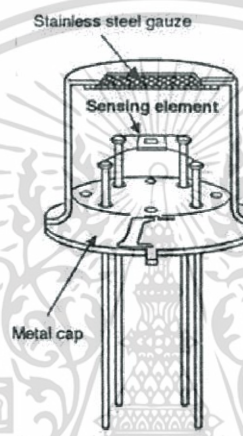
เซ็นเซอร์ชนิดเมทัลออกไซด์ (metal oxide sensor) เป็นเซ็นเซอร์ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงความเหนี่ยวนำที่พื้นผิวของสารกึ่งตัวนำเมื่อดูดซับก๊าซต่างๆเข้าไปเช่น ออกซิเจน, คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น โดยการใช้สารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันนั้นจะให้ผลตอบสนองต่อก๊าซต่างๆ ที่ไม่เหมือนกัน

เซ็นเซอร์ชนิดเมทัลออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งเมื่อออกซิเจนในอากาศปกคลุมผิวของโลหะจะทำให้ความต้านทานของเมทัลออกไซด์เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามแต่วัสดุที่ใช้นำมาสร้างเซ็นเซอร์ชนิดเมทัลออกไซด์นั้นๆ

วัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์ที่มีความนิยมในปัจจุบันคือ Tin Oxide และ Zinc Oxide เนื่องจากเป็นเซ็นเซอร์ที่มีความเสถียรสูงและมีผลตอบสนองต่อกลิ่นหลากหลายชนิดแต่ในปัจจุบันนี้วัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์นั้นถูกปิดเป็นความลับทางการตลาด การเลือกใช้เซ็นเซอร์นั้นจึงไม่สามารถเลือกจากตัววัสดุที่ใช้ทำได้แต่จะเลือกจากกลิ่นของสารประกอบเป้าหมายที่ต้องการจะตรวจสอบ และใช้เซ็นเซอร์ที่มีกลิ่นเป้าหมายหลากชนิดมากที่สุด



รูปที่ 2.3 ทฤษฎีของเซ็นเซอร์ชนิดเมทัลออกไซด์



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์ชนิดเมทัลออกไซด์ [2]

ส่วนประกอบของเซ็นเซอร์ชนิดเมทัลออกไซด์ มีดังนี้

Stainless steel gauze คือ ตาข่ายโลหะป้องกันฝุ่นละอองต่างๆ ที่จะเข้ามารบกวนการตอบสนองของเซ็นเซอร์

Sensing element คือ ส่วนของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการตรวจจับก๊าซต่างๆ ถูกต่อเข้ากับขาของอุปกรณ์เพื่อวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า

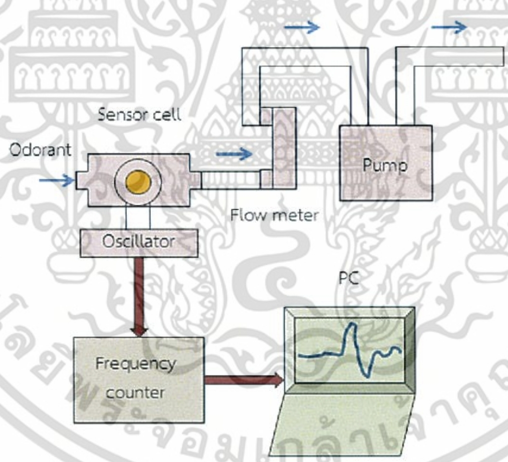
Metal cap คือ ส่วนที่ใช้ผนึก Sensing element ไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการกระแทกและแตกได้และอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่า Sensor base

2.2 ระบบวัดกลิ่น

2.2.1 ระบบวัดกลิ่นแบบเปิด

ระบบวัดกลิ่นแบบเปิดเป็นระบบที่เหมาะสำหรับงานใช้งานภายนอกห้องปฏิบัติการ สามารถพกพาและเคลื่อนย้ายได้สะดวก ระบบวัดกลิ่นแบบเปิดจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้คือ

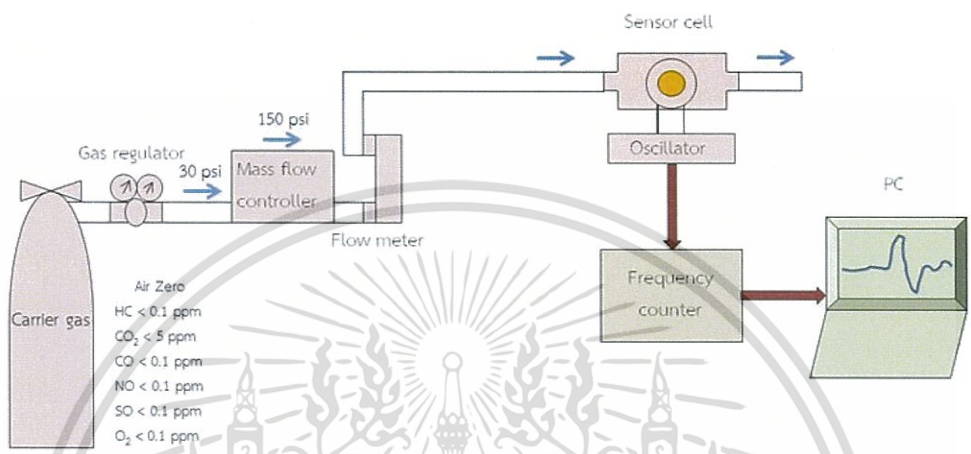
1. มีความทนทาน เนื่องจากต้องพกพาออกไปใช้นอกห้องปฏิบัติการ
2. มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เพื่อที่จะไม่ใช้พื้นที่ในอุปกรณ์และไม่เพิ่มน้ำหนักให้อุปกรณ์มากเกินความจำเป็น ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์มีความคล่องตัวในการใช้งาน
3. ระบบวัดสามารถทำงานได้ทันทีเมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับระบบเพื่อที่จะสามารถทำงานได้อัตโนมัติโดยไม่ต้องปรับแต่งระบบจากผู้ใช้เพื่อเริ่มการทำงาน
4. สามารถบรรจุเซ็นเซอร์ได้หลายตัว เพื่อเพิ่มความจำเพาะของระบบวัดในการตรวจวัดกลิ่นเป้าหมาย
5. การเปลี่ยนเซ็นเซอร์สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากต้องการความรวดเร็วในการทำงาน อุปกรณ์จึงควรสามารถเปลี่ยนได้ง่ายหากเกิดความเสียหายขึ้น



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของระบบวัดกลิ่นแบบเปิด

2.2.2 ระบบวัดกลิ่นแบบปิด

ระบบวัดกลิ่นแบบปิดเป็นระบบที่เหมาะสำหรับทำการทดลองวัดกลิ่นในห้องทดลองที่ต้องมีถังอากาศขนาดใหญ่เพื่อจ่ายอากาศให้กับระบบ ทำให้ระบบมีขนาดใหญ่และเคลื่อนย้ายลำบากแต่ระบบวัดกลิ่นแบบปิดมีข้อดีที่การทดลองนั้นสามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ได้ อย่างแมนยำ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้นและฝุ่นละอองเป็นต้น ซึ่งสามารถลดความแปรปรวนของการวัดได้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างระบบวัดกลิ่นแบบปิด

โครงสร้างของระบบรับรู้กลิ่นแบบใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM ประกอบไปด้วยก๊าซพาห์ ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีความชื้นและไม่มีกลิ่นถูกควบคุมโดยหัวปรับแรงดัน (gas regulator) เพื่อลดความดันจากก๊าซพาห์ ก๊าซที่ถูกควบคุมความดันจะไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมอัตราการไหลมวล (mass flow controller) ใช้ควบคุมอัตราการไหลในการทดลองโดยติดตั้งมิเตอร์วัดอัตราการไหล (flow meter) เพื่อสังเกตอัตราการไหลผ่านสเกลอีกครั้งส่งผลให้ทราบถึงอัตราการไหลปัจจุบันได้อย่างถูกต้อง ก๊าซพาห์ที่ถูกควบคุมอัตราการไหลจะไหลเข้าสู่เซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่ถูกบรรจุในเซ็นเซอร์เซล (sensor cell) เซ็นเซอร์เซลจะควบคุมให้อัตราการไหลไหลผ่านเซ็นเซอร์คงที่และไม่มีบรรยากาศภายนอกรบกวน เซ็นเซอร์ชนิด QCM จะอยู่บนวงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator) และวัดความถี่เรโซแนนซ์จากเครื่องวัดความถี่ (frequency counter) และนำไปแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์กับเวลาในคอมพิวเตอร์

2.3 ระบบปล่อยกลิ่น

ระบบปล่อยกลิ่นเป็นระบบที่ใช้สำหรับควบคุมการปล่อยกลิ่นเพื่อส่งไปยังระบบวัดกลิ่นหรือผู้รับกลิ่นเปรียบเทียบได้กับการแสดงภาพซึ่งส่งข้อมูลในรูปแบบที่มองเห็น เช่น ข้อความ, ภาพ เป็นต้น ไปยังผู้รับเช่นเดียวกันนั้น ระบบปล่อยกลิ่นจะส่งข้อมูลในรูปแบบของกลิ่นไปยังระบบวัดกลิ่นหรือผู้รับ ทั้งนี้ ระบบปล่อย

กลิ่นอาจถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์หรืออาจถูกประกอบร่วมอยู่ในระบบอื่นๆก็ได้ ระบบปล่อยกลิ่นที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้

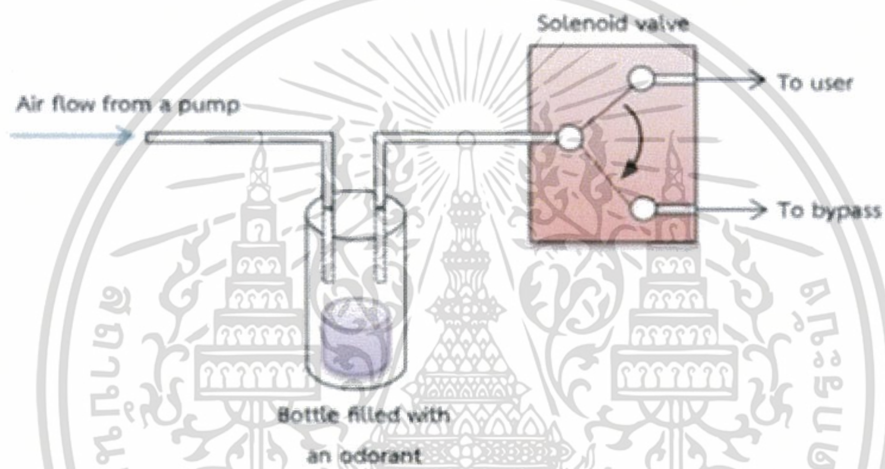
1) สามารถปล่อยกลิ่นได้รวดเร็วและมีความสามารถในการทาซ้ำ (reproducibility) สูง

2) สามารถควบคุมความเข้มข้นของกลิ่นที่ปล่อยได้

3) สามารถผสมกลิ่นได้

4) มีขนาดเล็ก พกพาได้ หรือสามารถประกอบเข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ได้

5) ทำงานโดยปราศจากการปล่อยสัญญาณรบกวน ทั้งในรูปของสัญญาณไฟฟ้า เสียง หรือความร้อน



รูปที่ 2.7 หลักการของการปล่อยกลิ่นแบบควบคุมด้วยโซลินอยด์วาล์ว [3]

ระบบปล่อยกลิ่นแบบใช้โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) จะใช้โซลินอยด์วาล์วเป็นอุปกรณ์หลักในการควบคุมการปล่อยกลิ่น เนื่องจากโซลินอยด์วาล์วมีสองสถานะคือเปิดและปิด ดังนั้นการใช้โซลินอยด์วาล์วที่มีความเร็วในการสับเปลี่ยนสถานะสูง จะช่วยในการควบคุมความเข้มข้นของกลิ่นให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ ดังรูปที่ 2.6

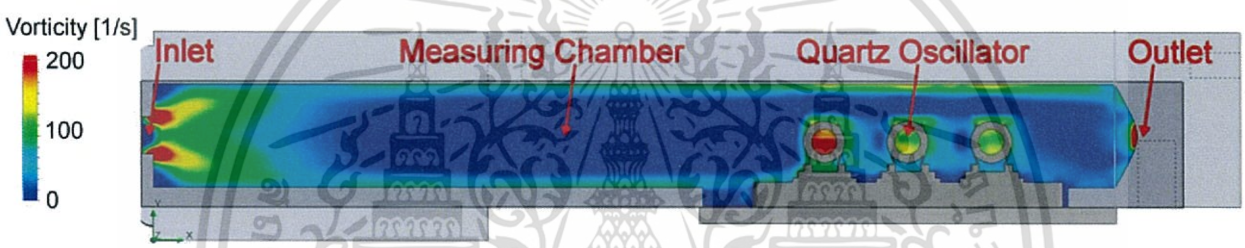
2.4 เซ็นเซอร์เซล

เซ็นเซอร์เซลเป็นส่วนที่มีความสำคัญในระบบการวัดกลิ่น โดยจะเป็นส่วนที่ใช้บรรจุเซ็นเซอร์กลิ่นทั้งหมดที่ใช้เข้าไว้ด้วยกัน ทำให้การวัดมีเสถียรภาพและผลการวัดมีความน่าเชื่อถือ

2.5 ตัวอย่างของเซ็นเซอร์เซลในงานอื่นๆ

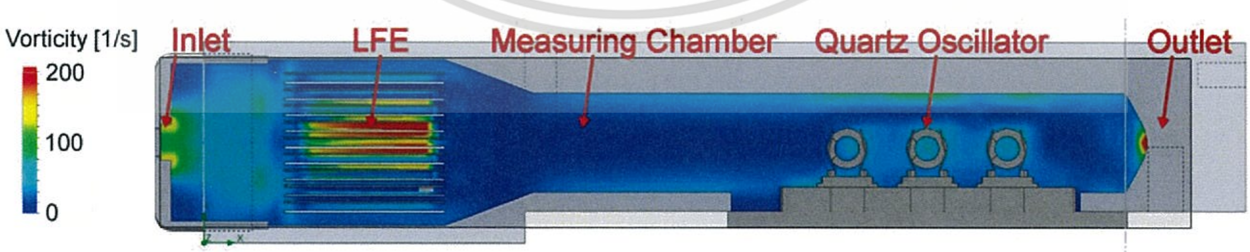
2.5.1 ตัวอย่างการออกแบบเซ็นเซอร์เซลสำหรับเซ็นเซอร์ชนิด QCM ความถี่สูงที่มีการไหลของอากาศอย่างต่อเนื่อง [4]

ในตัวอย่างนี้เป็นงานวิจัยที่ Wessel และคณะทำการวิเคราะห์และจำลองรูปแบบของเซ็นเซอร์เซล เพื่อหาความแปรปรวนของอัตราการไหลที่ทางเข้าและทางออกของเซ็นเซอร์เซล เนื่องจากความกดอากาศและการหมุนวนบนผิวควอร์ตผ่านโปรแกรม SolidWork ในเซ็นเซอร์เซลจะบรรจุ QCM ความถี่ 195MHz จำนวน 3 ตัว โดยตัวแรกจะไม่ได้ทำการเคลือบผิวส่วนตัวที่สองและสามมีการเคลือบผิวด้วยสารต่างชนิดกัน จากผลการจำลองพบว่าการแปรปรวนของอัตราการไหลที่ทางเข้ามีค่ามากที่สุด ความแปรปรวนนี้ก่อตัวเป็นชั้นที่ผนังของเซ็นเซอร์เซลก่อให้เกิดการหมุนวนที่ผิวของควอร์ต ส่งผลทำให้เกิดความเครียดทางกลบนผิวควอร์ตและอาจนำไปสู่สัญญาณรบกวนทางความถี่ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลจากการจำลองอัตราการไหลของเซ็นเซอร์เซลโดยใช้โปรแกรม SolidWork [4]

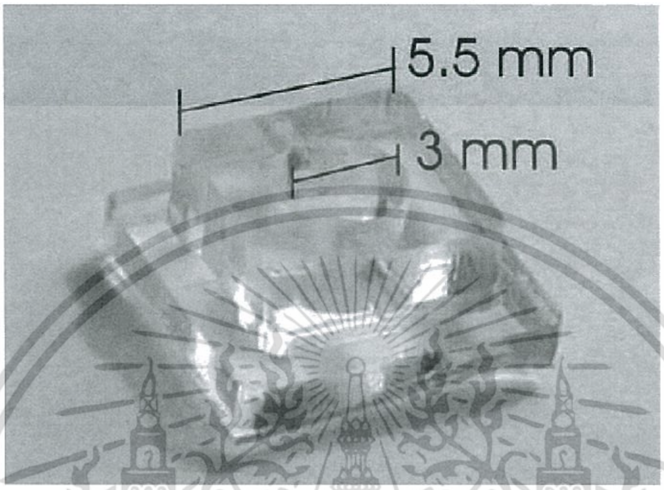
เพื่อลดชั้นความแปรปรวนที่ผนังของเซ็นเซอร์เซลจึงนำ laminar flow element (LFE) และท่อความร้อนมาใช้ในการปรับปรุงรูปแบบของเซ็นเซอร์เซล ทำให้สามารถลดความแปรปรวนของอัตราการไหลที่ทางเข้าและทางออก ลดการหมุนวนที่ผิวของเซ็นเซอร์และลดสัญญาณรบกวนทางความถี่อีกด้วย ดังรูปที่ 2.9



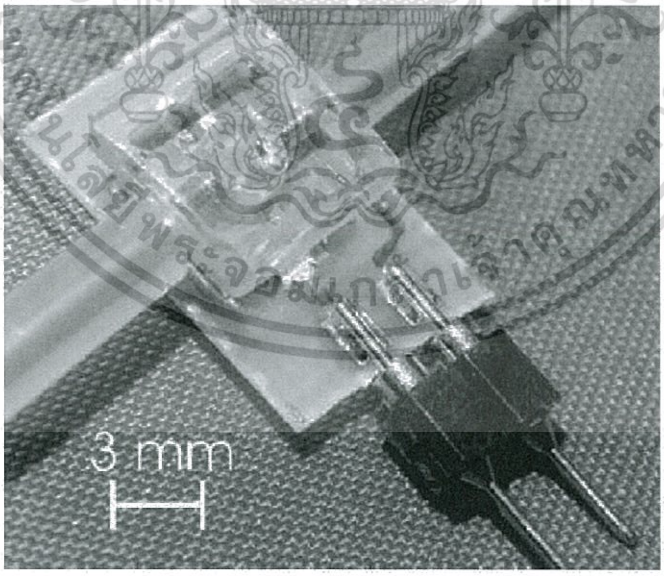
รูปที่ 2.9 ผลจากการจำลองอัตราการไหลของเซ็นเซอร์เซลโดยใส่ (LFE) และท่อความร้อนโดยใช้โปรแกรม SolidWork [4]

2.5.2 ตัวอย่างเซ็นเซอร์เซลสำหรับเซ็นเซอร์ชนิด QCM การใช้งานในของเหลว [5]

ในตัวอย่างนี้ได้ทำการออกแบบเซ็นเซอร์เซลโดยใช้ PDMS (Polydimethylsiloxane) ดังรูปที่ 2.10 เชื่อมต่อกับพื้นผิวควอร์ต เพื่อใช้ในการตรวจจับการผสมกันระหว่างแอนติเจนและแอนติบอดีโดยการสะสมตัวของมวลหรือการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิว โดยระบบจะประกอบด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์และเครื่องวัดความถี่ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 เซ็นเซอร์เซลที่ทำจาก PDMS [5]

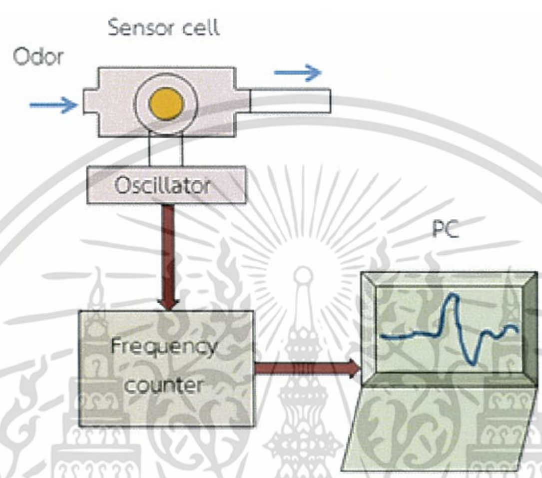


รูปที่ 2.11 เซ็นเซอร์เซลที่เชื่อมต่อกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ [5]

บทที่ 3

การพัฒนาระบบรับรู้กลิ่นแบบใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM

3.1 โครงสร้างของระบบรับรู้กลิ่นที่ใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM

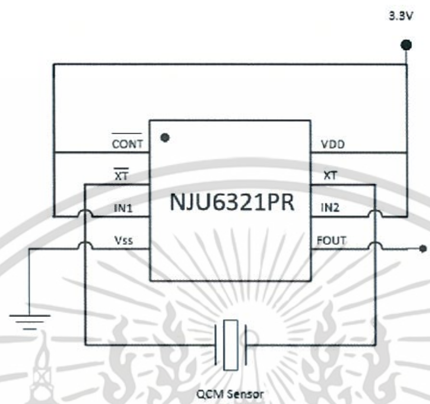


รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบรับรู้กลิ่นที่ใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM

ดังรูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบรับรู้กลิ่นแบบใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM ประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่ถูกบรรจุในเซ็นเซอร์เซล (sensor cell) เซ็นเซอร์เซลจะควบคุมให้อัตราการไหลไหลผ่านเซ็นเซอร์คงที่และไม่มีบรรยากาศภายนอกรบกวน เซ็นเซอร์ชนิด QCM จะอยู่บนวงจรออสซิลเลเตอร์ (oscillator) และวัดความถี่เรโซแนนซ์จากเครื่องวัดความถี่ (frequency counter) และนำไปแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์กับเวลาในคอมพิวเตอร์

3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์

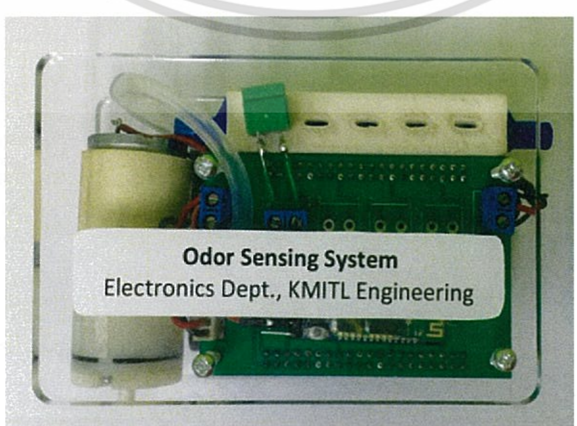
เซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่ใช้ในระบบมีความถี่เท่ากับ 9 และ 27MHz โดยจะถูกบรรจุไว้ในเซ็นเซอร์เซลเพื่อควบคุมตัวเซ็นเซอร์ไม่ให้มีสภาพแวดล้อมภายนอกรบกวนและทำการต่อเซ็นเซอร์ชนิด QCM เข้ากับวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อจ่ายสัญญาณอินพุทให้กับเซ็นเซอร์ชนิด QCM โดยควบคุมการปล่อยความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเซ็นเซอร์ การต่อวงจรออสซิลเลเตอร์เข้ากับเซ็นเซอร์ชนิด QCM ในระบบนี้มีลักษณะ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์

3.3 ระบบรับรู้กลิ่นแบบเปิดใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่พัฒนาขึ้น

โครงสร้างของระบบรับรู้กลิ่นที่พัฒนาขึ้นในปริญญานิพนธ์นี้ใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 9MHz โดยบรรจุเซ็นเซอร์ลงในเซ็นเซอร์เซล ต่อเข้ากับมิเตอร์วัดอัตราการไหลโดยสามารถควบคุมอัตราการไหลได้และต่อเข้ากับปั๊มลม โดยปั๊มลมจะทำหน้าที่ดูดอากาศให้ไหลเข้าสู่ระบบ ค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์จะถูกส่งต่อไปประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผล (CPU) ที่สร้างขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อวิเคราะห์ว่าไอระเหยที่รับรู้อยู่นั้น เป็นไอระเหยของสารชนิดใด ดังรูปที่ 3.3

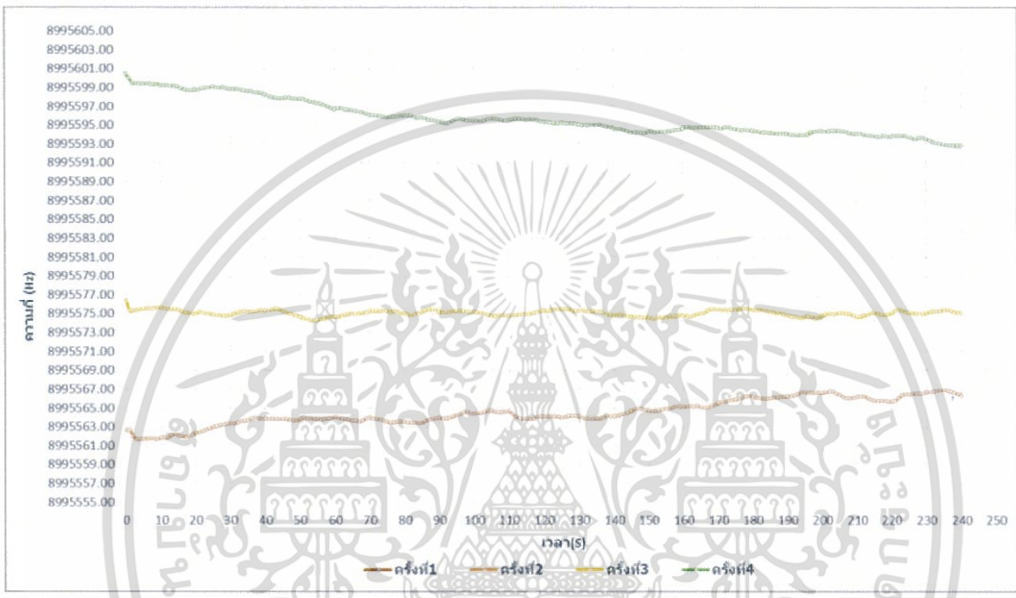


รูปที่ 3.3 โครงสร้างภายในของเครื่องตรวจหาสารระเบิด [6]

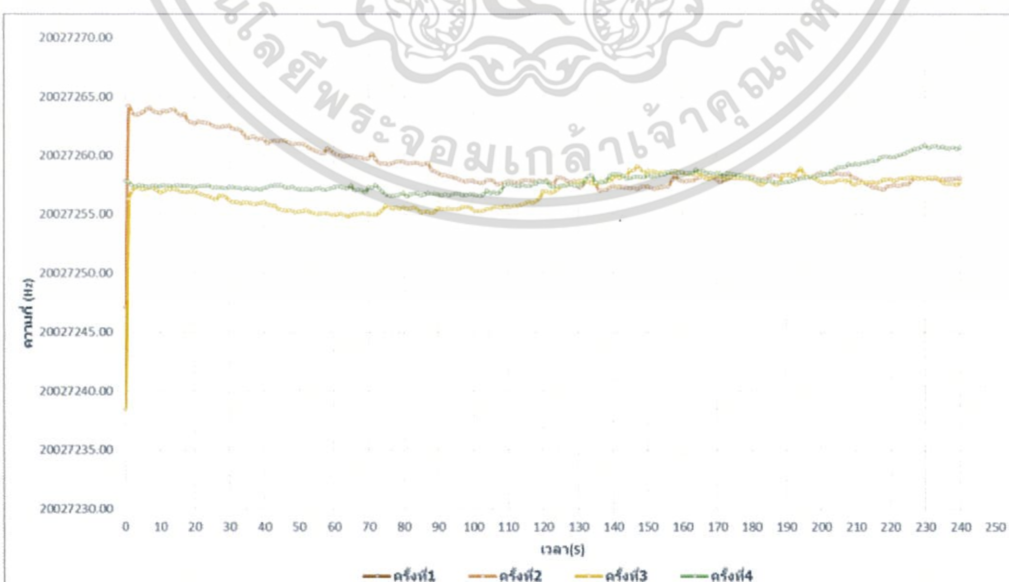
3.4 ผลการทดลอง

3.4.1 เสถียรภาพของเซ็นเซอร์ชนิด QCM ขึ้นกับเซ็นเซอร์เซลหรือไม่

จากการทำการทดลองพบว่าเมื่อทำการวัดความถี่เรโซแนนซ์ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9MHz และ 20MHz ลงในเซ็นเซอร์เซลและมีอัตราการไหล 0 ลิตรต่อนาที พบว่ากราฟที่ได้จากการทดลอง เมื่อนำไปขยาย มีลักษณะดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



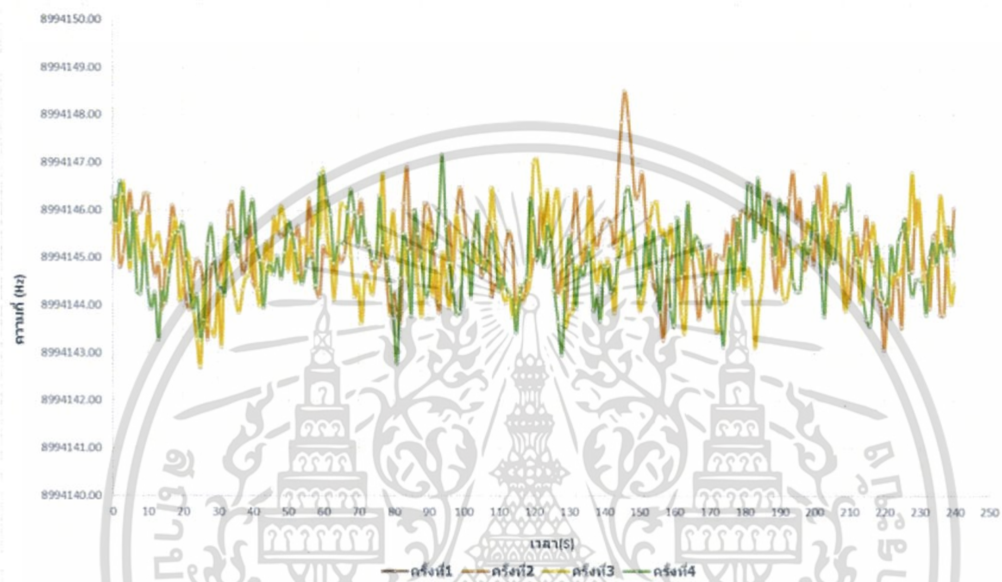
รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz เมื่ออัตราการไหล 0 L/m



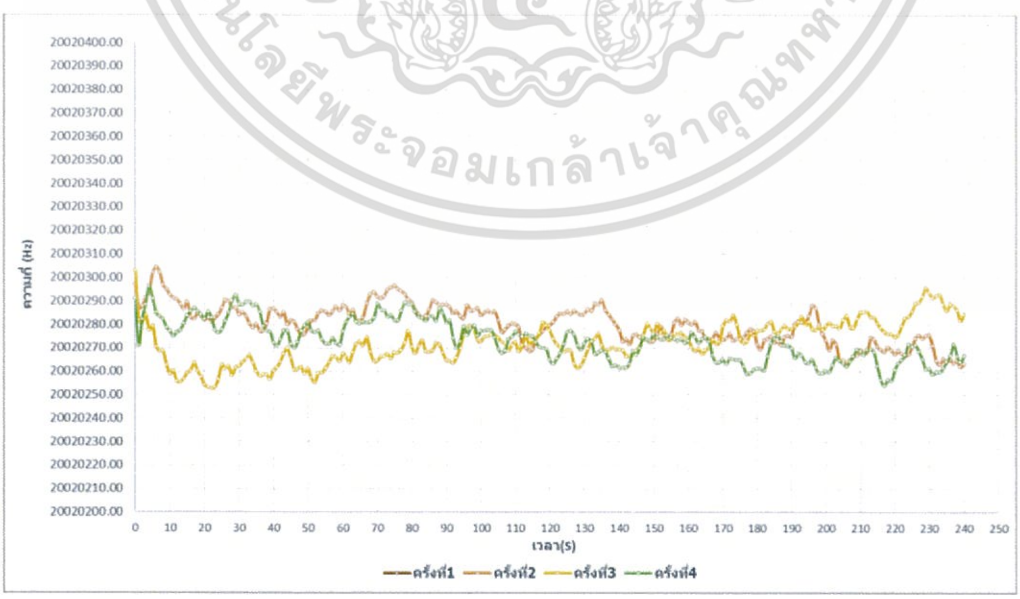
รูปที่ 3.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของเซ็นเซอร์ชนิด QCM 20 MHz เมื่ออัตราการไหล 0 L/m

จากรูปที่ 3.4 และ 3.5 พบว่ามีความเปลี่ยนแปลงของความถี่เรโซแนนซ์ของเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 9MHz และ 20 MHz ระหว่างทำการทดลองเฉลี่ยได้ 8 Hz และ 4.1 Hz ตามลำดับ

ทำการเปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 9 MHz และ 20 MHz ที่ไม่ได้ถูกบรรจุในเซ็นเซอร์เซลได้ผลดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz เมื่อไม่ได้บรรจุในเซ็นเซอร์เซล



รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของเซ็นเซอร์ชนิด QCM 20 MHz เมื่อไม่ได้บรรจุในเซ็นเซอร์เซล

จากรูปที่ 3.6 และ 3.7 พบว่ามีความเปลี่ยนแปลงของความถี่เรโซแนนซ์ของเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 9MHz และ 20 MHz ระหว่างทำการทดลองเฉลี่ยโดยอัตราการปลี่ยนแปลงความถี่เทียบกับเวลา $\frac{f_{t(max)}-f_{t(min)}}{t}$ ได้ 4.71 Hz และ 50 Hz ตามลำดับ

จากผลการทดลองสังเกตได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่บรรจุในเซ็นเซอร์เซลทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ที่วัดได้มีเสถียรภาพมากกว่า และการใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz ความเปลี่ยนแปลงของความถี่เรโซแนนซ์ของเซ็นเซอร์เมื่อบรรจุในเซ็นเซอร์เซลมีค่า 8 Hz และเมื่อไม่ได้บรรจุเซ็นเซอร์ลงในเซ็นเซอร์เซลมีค่า 4.71 Hz กล่าวได้ว่ายังคงมีค่าน้อยและยังถือว่าใช้งานได้ตามทฤษฎี ในขณะที่เซ็นเซอร์ชนิด QCM 20 MHz ความเปลี่ยนแปลงของความถี่เรโซแนนซ์ของเซ็นเซอร์เมื่อบรรจุในเซ็นเซอร์เซลมีค่า 4.1 Hz และเมื่อไม่ได้บรรจุในเซ็นเซอร์เซล มีค่ามากถึง 50 Hz จึงสามารถสรุปได้ว่าเซ็นเซอร์เซลมีผลต่อเสถียรภาพของเซ็นเซอร์ชนิด QCM 20 MHz ซึ่งมีการตอบสนองที่ไวกว่า QCM 9 MHz ตามทฤษฎี

3.4.2 เสถียรภาพของเซ็นเซอร์ชนิด QCM ขึ้นกับอัตราการไหลของก๊าซในเซ็นเซอร์เซลหรือไม่

จากการทำการทดลองวัดผลตอบสนองของเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่อัตราการไหลต่างๆ โดยปรับอัตราการไหลด้วยมิเตอร์วัดอัตราการไหลที่ต่อเข้ากับปั๊มลมรุ่น N86 KT.18 ของบริษัท KNF Labพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์เทียบกับเวลามีผลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์เทียบกับเวลาที่อัตราการไหลต่างๆ

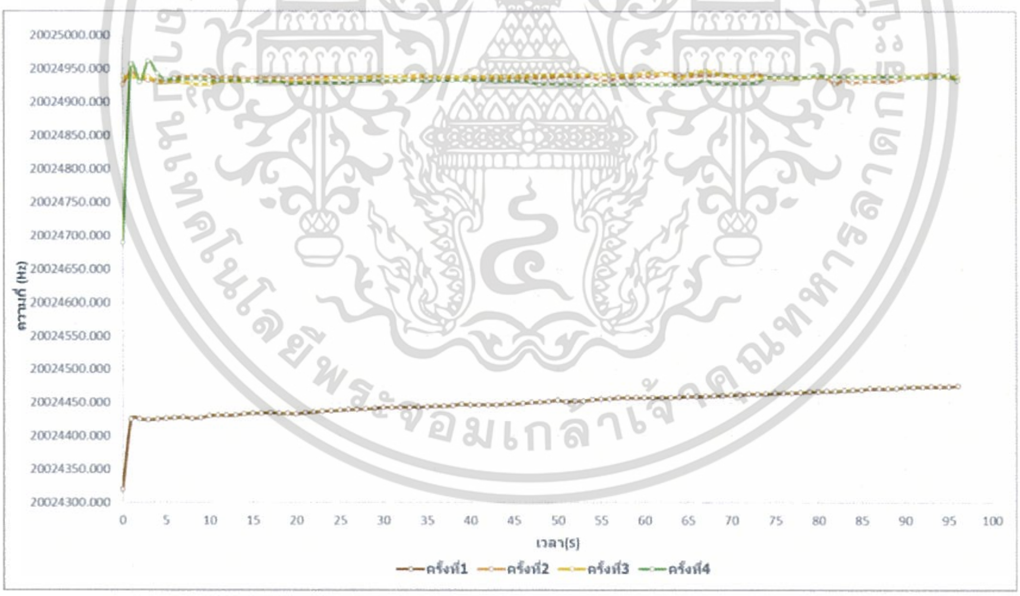
อัตราการไหล	ค่าเฉลี่ยอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่เรโซแนนซ์เทียบกับเวลา คำนวณจาก $\frac{f_{t(max)}-f_{t(min)}}{t}$	
	QCM 9MHz	QCM 20MHz
0 L/m	0.07397	0.30423
0.2 L/m	0.28317	2.86219
0.7 L/m	0.06147	2.05052
1 L/m	0.03100	1.91771
1.5 L/m	0.07535	1.20266
2 L/m	0.04382	1.43183
2.5 L/m	0.06846	2.39144
3 L/m	0.04942	2.70956

จากตารางที่ 3.1 พบว่าอัตราการไหลส่งผลต่อการเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 9MHz และ 20 MHz จริง โดยเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz มีความเสถียรมากที่สุดที่อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที และเซ็นเซอร์ชนิด QCM 20 MHz มีความเสถียรมากที่สุดที่อัตราการไหล 1.5 ลิตรต่อนาที

3.4.3 การกระโดดของค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นในการทดลองเกิดจากปัจจัยใด

ในการทดลองเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 9MHz พบว่าเมื่อทำการทดลองในอีก 2 วัน ให้หลังให้ค่าความถี่ เรโซแนนซ์กระโดดมากไปจากเดิม ดังรูปที่ 3.8 จึงต้องการทำการสรุปว่าการกระโดดของความถี่เรโซแนนซ์เกิดจากการขยับของเซ็นเซอร์โดยไม่ระวังของผู้ทดลองหรือว่าการทดลองในเวลาผ่านไปจะส่งผลต่อความถี่ เรโซแนนซ์ของเซ็นเซอร์โดยได้ทำการทดลองแบบเดียวกันกับเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 20 MHz ได้ผลดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของ QCM 9MHz อัตราการไหล 1 L/m

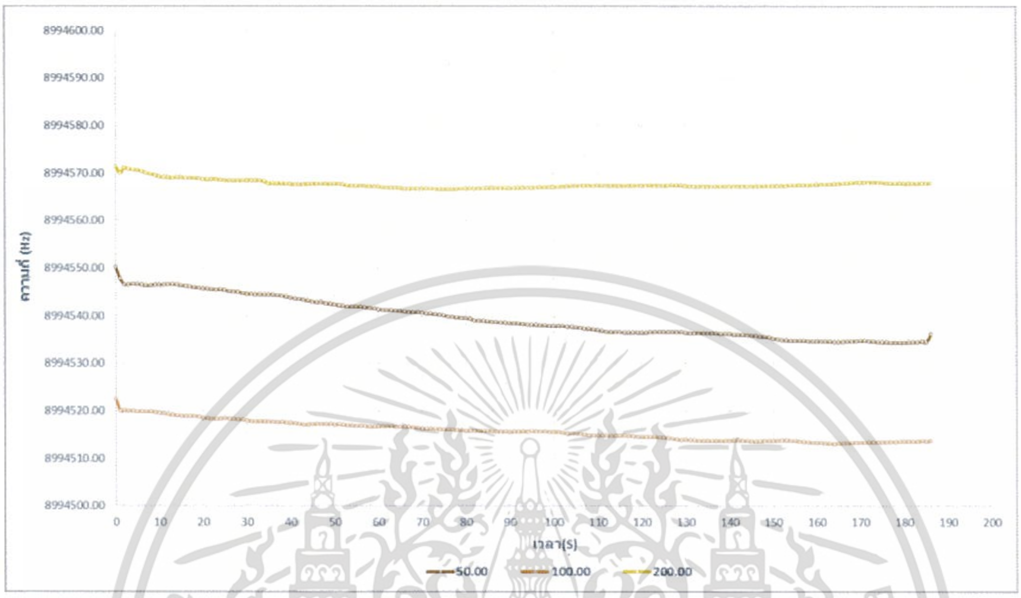


รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของ QCM 20MHz อัตราการไหล 1.5 L/m

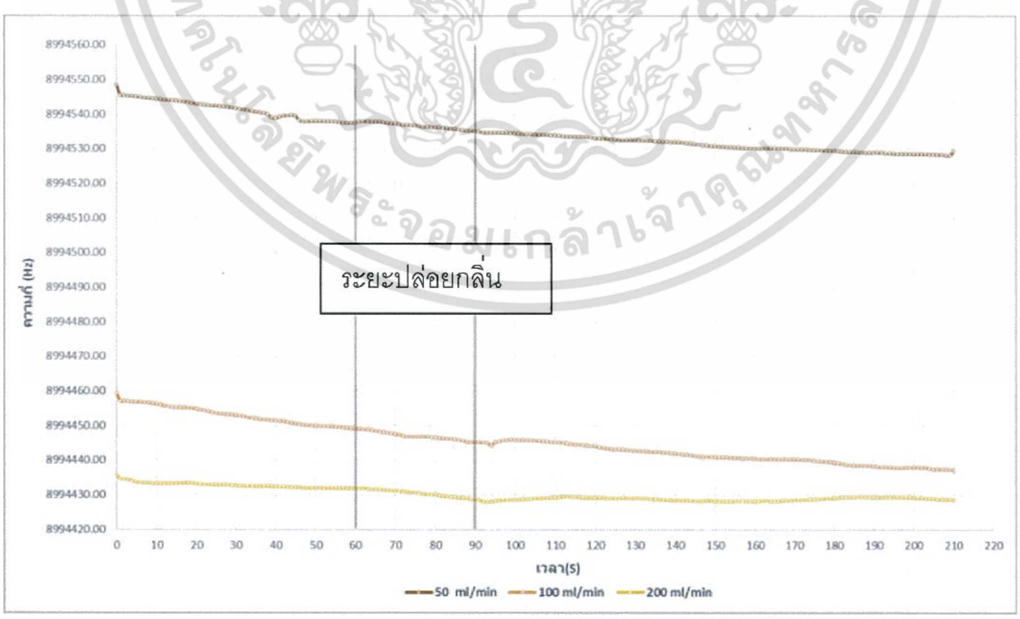
จากรูปที่ 3.8 และ 3.9 พบว่าเมื่อทำการทดลองโดยทำการทดลอง 1 แล้วเว้นระยะ 2 วัน แล้วทำการวัดอีก 3 ครั้ง สรุปได้ว่าระยะเวลาส่งผลต่อการกระโดดของความถี่เรโซแนนซ์จริง

3.4.4 เมื่อทำการวัดกลิ่นโดยไม่ได้ทำการเคลือบเซ็นเซอร์ก่อนใช้งานมีผลการทดลองเป็นอย่างไร

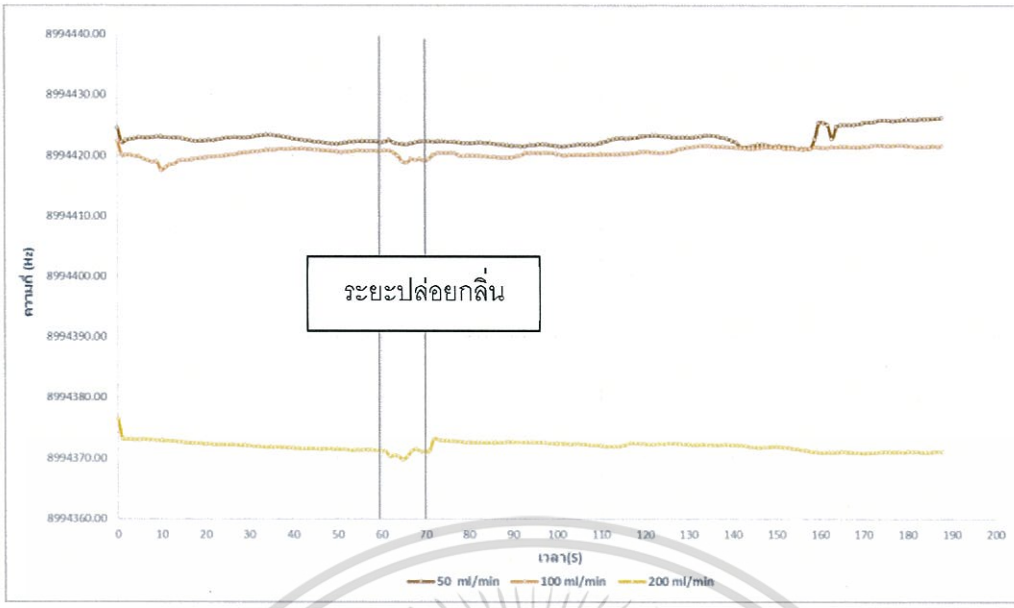
ทำการทดลองเปิดปั๊มลมโดยไม่ปล่อยกลิ่นดังรูปที่ 3.10 เปรียบเทียบกับการวัดกลิ่นสารที่ระเหยยาก เช่นกลุ่มสารระเบิดดังรูปที่ 3.11 และสารกลิ่นระเหยง่ายเช่นกลุ่มเครื่องดื่ม เอทานอลและมิ้นท์ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของ QCM 9 MHz เมื่อเปิดปั๊มลมโดยไม่ได้ปล่อยกลิ่น



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของ QCM 9 MHz เมื่อวัดกลิ่นสารระเหยยาก(PETN)



รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และเวลาของ QCM 9 MHz เมื่อวัดกลิ่นสารระเหยง่าย (เอทานอล)

จากรูป 3.10, 3.11 และ 3.12 พบว่ากราฟที่ทำการวัดกลิ่นทั้งสามชนิดนั้นไม่ได้มีความแตกต่างมาก จึงสรุปได้ว่าเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 9MHz นั้นไม่สามารถวัดกลิ่นที่ใช้ในการทดลองได้ถ้าไม่ได้ทำการเคลือบผิวของเซ็นเซอร์ด้วยสารรับรู้

จากผลการทดลองในบทที่ 3 นี้ จะเห็นว่าเซ็นเซอร์เซลมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการสร้างระบบรับรู้กลิ่น ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษาหาโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซลในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

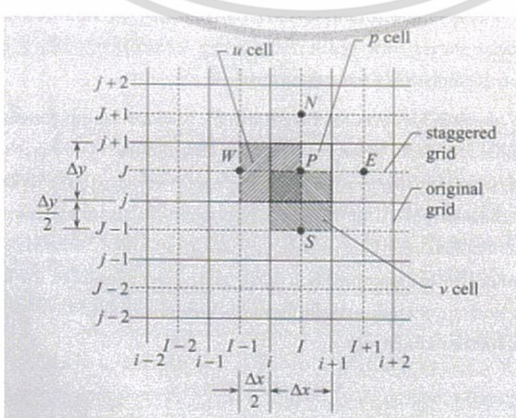
การศึกษาโครงสร้างที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์เซล

4.1 การศึกษาโครงสร้างของเซ็นเซอร์เซลด้วยโปรแกรม ANSYS

การวิเคราะห์การไหลเพื่อหาลักษณะของความเร็วและความดันบนวัตถุใดๆ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบงานทางวิศวกรรมในปัจจุบัน ความเข้าใจในลักษณะของการไหลช่วยปรับปรุงการออกแบบของงานต่างๆ เช่น ลำตัวรถควรมีรูปร่างอย่างไรจึงเกิดแรงถ่วง (drag force) จากอากาศในขณะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง หรือปีกเครื่องบินควรมีขนาดเล็กสุดเท่าใดเพื่อให้มีน้ำหนักเบาและก่อให้เกิดแรงยก (lift force) ตามที่ต้องการได้ วิธีการคำนวณที่นิยมใช้เพื่อวิเคราะห์หาลักษณะการไหลผ่านวัตถุรูปร่างซับซ้อนคือไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method) และวิธีไฟไนต์วอลุม (finite volume method) วิธีไฟไนต์วอลุมได้รับความนิยมเพราะสามารถให้ผลลัพธ์ของการไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1.1 วิธีไฟไนต์วอลุม (Finite volume method)

วิธีไฟไนต์วอลุมเป็นวิธีที่นิยมใช้แก้ปัญหาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) เพราะสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงและไม่ใช้เวลาคำนวณมากจนเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ วิธีไฟไนต์วอลุมเริ่มจากการแบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นช่องๆ ก่อให้เกิดเซลล์ (cell) ดังแสดงในรูป 4.1 ในที่นี้เราจะใช้เซลล์แบบสี่เหลี่ยมเพื่อให้ง่ายแก่การทำความเข้าใจแต่ละเซลล์ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าคือ u, v และ p เราจะพิจารณาเซลล์ p ดังแสดงในรูปซึ่งถูกล้อมไปด้วยเซลล์ N (North), เซลล์ E (East), เซลล์ S (South) และเซลล์ W (West) แนวคิดของการใช้กริดเยื้อง (staggered grids) ได้นำมาใช้ในวิธีนี้เพื่อลดความผิดพลาด (error) ในระหว่างการคำนวณ



รูปที่ 4.1 การแบ่งโดเมนของการไหลออกเป็นช่องๆ

สมการไฟไนต์วอลุม จากแนวคิดของกริดเยื้อง เซลล์ u ได้ถูกขยับไปอยู่ทางด้านซ้ายของเซลล์ p ดังแสดงในรูป 4.1 เราจึงต้องกำหนดเซลล์ N, E, S และ W สำหรับเซลล์ u นี้ขึ้นมาใหม่ แล้วคำนวณค่าความเร็ว u นี้จากสมการ

$$a^u{}_p u_p = \Sigma a^u{}_{nb} u_{nb} + (p_{I-1,J} - p_{I,J})A^u$$

โดย A^u แทนพื้นที่ของการไหลผ่านขอบซ้ายและขวาของเซลล์ ส่วนตัวห้อย nb (neighbor) แทนขอบทั้งสี่ด้านของเซลล์ u นั้น

ในทำนองเดียวกัน ความเร็ว v คำนวณได้จากสมการ

$$a^v{}_p v_p = \Sigma a^v{}_{nb} v_{nb} + (p_{I-1,J} - p_{I,J})A^v$$

โดย A^v แทนพื้นที่ของการไหลผ่านขอบบนและล่างของเซลล์

ค่าสัมประสิทธิ์ a_p และ a_{nb} ประกอบไปด้วยพจน์ของการพา (convection term) และพจน์ของการแพร่กระจาย (diffusion term) ของเซลล์ p พจน์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับค่าของพจน์เช่นเดียวกันนี้สำหรับเซลล์รอบข้าง อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับการเลือกวิธีใช้ผลต่างแบบตรงกลาง (central differencing scheme) หรือวิธีอัปวินด์ (upwind) หรือวิธีอื่น ๆ เช่น วิธีผลต่างแบบผสม (hybrid differencing) วิธีกฎยกกำลัง (power-law) รวมทั้งวิธีควิก (QUICK) ก็ได้ วิธีต่างๆ เหล่านี้เหมาะสมกับปัญหาการไหลที่แตกต่างกัน ความเข้าใจในวิธีเหล่านี้ช่วยก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

จากสมการเพื่อหาความเร็ว u และ v ของเซลล์ p ใด ๆ ในโดเมนของการไหลข้างต้น เราจะเห็นได้ว่าวิธีการที่เหมาะสมเพื่อหาผลลัพธ์ของความเร็วนี้ควรเป็นวิธีการทำซ้ำ โดยเริ่มจากการกำหนดผลลัพธ์เริ่มต้น (initial guess) ให้ แล้วจึงคำนวณซ้ำไปเรื่อย ๆ จนผลลัพธ์นั้นลู่เข้าสู่ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง วิธีการทำซ้ำที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ วิธี SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation) ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

วิธี SIMPLE นี้ประกอบด้วยกระบวนการคำนวณ 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> สมมุติความเร็ว u* และ v* รวมทั้งค่าความดัน p* ทั่วทั้งโดเมนของการไหลจากนั้นคำนวณหาความเร็ว u* และ v* ใหม่จาก

$$a^u{}_p u^*{}_p = \Sigma a^u{}_{nb} u^*{}_{nb} + \frac{\partial p*}{\partial x} A^u$$

และ

$$a^v{}_p v^*{}_p = \Sigma a^v{}_{nb} v^*{}_{nb} + \frac{\partial p*}{\partial y} A^v$$

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> หากกำหนดให้ u’, v’ และ p’ แทนตัวแก้ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ถูกต้องกับค่าที่สมมุติขึ้นในตอนที่ 1 นั่นคือ

$$u' = u - u^* ; v' = v - v^* ; p' = p - p^*$$

จากนั้นแก้หาความเร็ว u และ v จาก

$$u_p = u^*_p + \frac{Au}{aup}\frac{\partial p'}{\partial x}$$

และ

$$v_p = v^*_p + \frac{Av}{avp}\frac{\partial p'}{\partial y}$$

โดย p’ นั้นหาได้จากการแก้สมการ

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Au}{aup}\ \frac{\partial p'}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{Av}{avp}\frac{\partial p'}{\partial y}\right) = -\left(\frac{\partial u*}{\partial x} + \frac{\partial v*}{\partial y}\right)$$

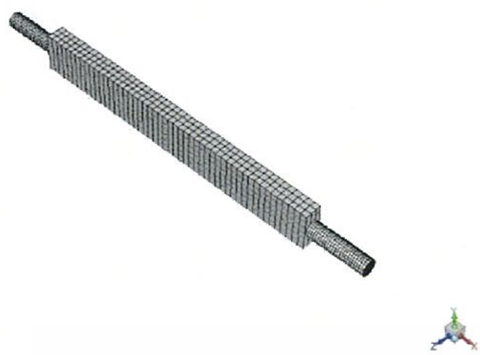
ซึ่งอยู่ในรูปแบบของสมการปัวส์ซง (Poisson’s equation)

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> ตรวจสอบว่าผลลัพธ์ u, v และ p นั้นลู่เข้าสู่ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแล้วหรือยัง โดยดูได้จากค่า u’, v’ และ p’ ยังไม่ลู่เข้าสู่ศูนย์ ทำให้ u = u*, v = v* และ p = p* หากค่า u’, v’ และ p’ ยังไม่ลู่เข้าสู่ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (specified tolerance) ก็ให้แทนค่า u* = u, v* = v และ p* = p แล้วย้อนกลับไปคำนวณในขั้นตอนที่ 1 ใหม่ กระบวนการทำซ้ำนี้จึงดำเนินเรื่อยไปจนกว่าค่า u, v และ p ของทุกๆ เซลล์ทั่วทั้งโดเมนการไหลนั้นลู่เข้าสู่ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

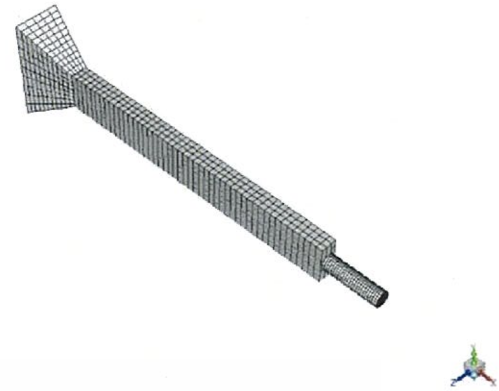
ในระหว่างการคำนวณ ซอฟแวร์ส่วนใหญ่จึงแสดงกราฟของการลู่เข้าสู่ผลลัพธ์นั่นคือพล็อตค่าความคลาดเคลื่อน u’, v’ และ p’ หรือความคลาดเคลื่อนในรูปแบบอื่น ๆ ไปพร้อมกับจำนวนครั้งของการทำซ้ำ ทำให้ผู้วิเคราะห์ปัญหาเกิดความมั่นใจในผลลัพธ์หลังจากค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ลดต่ำลงเข้าใกล้ศูนย์

4.1.2 การจำลองการทำงานของเซ็นเซอร์เซล

เราจะใช้ซอฟแวร์ ANSYS ซึ่งบรรจุโปรแกรม Fluent อยู่ภายในผ่านโต๊ะช่าง (workbench) เพื่อแก้ปัญหาการไหลของอากาศและโมเลกุลกลิ่นผ่านเซ็นเซอร์เซล 4 รูปแบบ ที่มีโครงสร้างที่ทางเข้าของลมแตกต่างกันดังรูปที่ 4.2 - 4.5 โดยที่ทางเดินของลมภายในนั้นมีความกว้าง 4.5 มม. ความยาว 80 มม. และมีความสูงเท่ากับ 10 มม. เท่ากัน ทำให้สามารถบรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM ความถี่ 9 MHz ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.7 มม. หนา 0.19 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโตรด 5.0 มม. และ 27 MHZ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.2 มม. หนา 0.06 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางของอิเล็กโตรด 2.0 มม. สูงสุดได้จำนวนทั้งหมด 5 ตัว

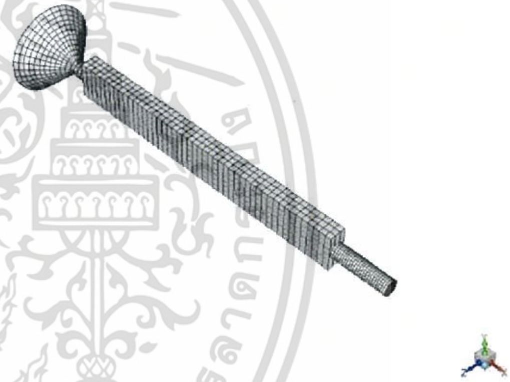


รูปที่ 4.2 โครงสร้างของเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 1



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 2

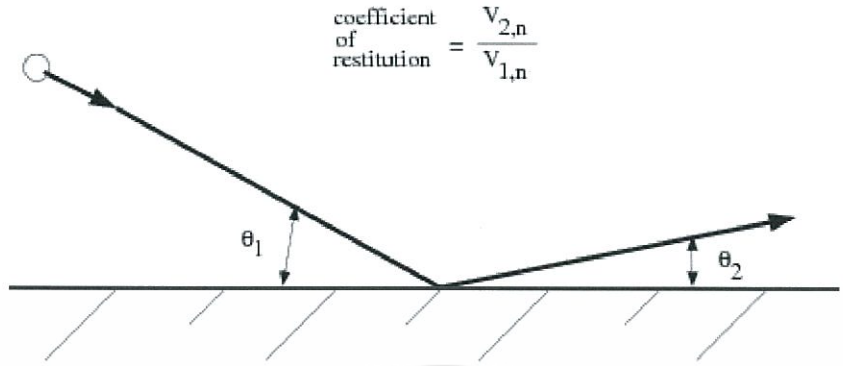
รูปที่ 4.4 โครงสร้างของเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 3



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 4

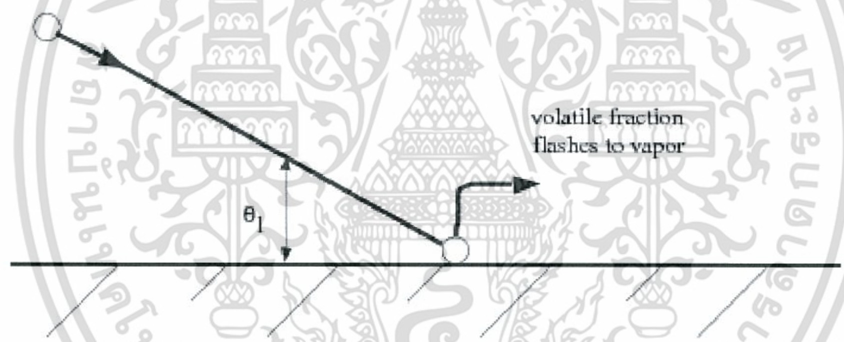
ในการจำลองการทำงานของเซ็นเซอร์เซลได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกใช้โมเดล Eulerian-Eulerian เป็นการจำลองการถ่ายโอนระหว่างเฟสของความร้อน, โมเมนตัม หรือการแลกเปลี่ยนระหว่างเฟสแบบอื่นๆ ซึ่งสามารถจำลองโมเดลอนุภาค, โมเดลผสม หรือโมเดลพื้นที่หน้าตัดอิสระได้ เราใช้โมเดลนี้สำหรับการจำลองอนุภาคของอากาศในส่วนที่สองเป็นส่วนการจำลองอนุภาคของกลิ่นนั้นเราใช้ โมเดล Discrete Phase นอกเหนือจากการแก้สมการการขนส่งสำหรับเฟสต่อเนื่อง Fluent สามารถจำลองเฟสที่สองซึ่งเกิดขึ้นไม่ต่อเนื่องได้โดยอยู่ในรูปแบบของลากรองก์ ซึ่งเฟสสองซึ่งเกิดขึ้นแบบไม่ต่อเนื่องนี้ ประกอบไปด้วยอนุภาคทรงกลม เช่น ฟองสบู่ หรือละอองน้ำ เคลื่อนที่แบบกระจายกันไป Fluent สามารถคำนวณเส้นโคจรของเฟสไม่ต่อเนื่องเหล่านี้ รวมถึงการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลได้ ประเภทของ Discrete Phase Boundary Condition ประกอบด้วย

1. Reflect เป็นการกำหนดให้อนุภาคสะท้อนจากพื้นผิวที่ตกกระทบ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการชนปกติจะถูกชดเชยด้วยปริมาณโมเมนตัมในทิศทางปกติกับผนังซึ่งถูกเก็บโดยอนุภาคที่ชนกับพื้นผิว



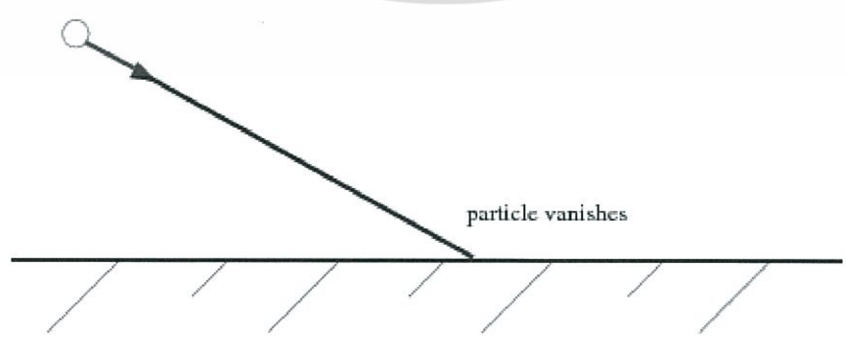
รูปที่ 4.6 Reflect

2. Trap เป็นการทำให้การคำนวณเส้นทางโคจรของอนุภาคถูกยกเลิกเมื่อสัมผัสกับผนังและอนุภาคที่สัมผัสกับพื้นผิวจะถูกรายงานด้วยคีย์เวิร์ด ติดกับดัก (Trapped) ระหว่างการคำนวณ



รูปที่ 4.7 Trap

3. Escape อนุภาคที่สัมผัสกับพื้นผิวจะถูกรายงานด้วยคีย์เวิร์ด หนี (Escape) ระหว่างการคำนวณ



รูปที่ 4.8 Escape

4. Wall-jet พื้นผิวที่เหมาะสมกับการตั้งค่าชนิดนี้ คือพื้นผิวที่มีความร้อนสูง อย่างเช่นการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

5. Wall-film พื้นผิวชนิดนี้สามารถอธิบายการตกกระทบของอนุภาคได้สี่ชนิดประกอบด้วย ติด (stick), กระเด็น (rebound), การแพร่กระจาย (spread) และการสาด (splash) ซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานและอุณหภูมิของพื้นผิว

การที่เราจะสามารถจำลองการไหลของโมเลกุลกลิ่นในโปรแกรมฟลูเอนต์ ได้นั้นเราจะต้องป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการจำลองการทำงานซึ่งประกอบไปด้วย

1. ความเร็ว (m/s)

จาก อัตราการไหล 1 L/min $= 1000\ cm^3/60\ s$

$= 1/6\ m^3/s$

$= 0.1667\ m^3/s$

จาก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 mm

สูตรพื้นที่หน้าตัดวงกลม $\pi r^2\ m^2 = (\pi d^2)/4\ m^2$

$= (\pi\ (1.75\times10^{-3})^2)/4\ m^2$

$= 2.4\times10^{-6}\ m^2$

จากสูตร Q = VA

Q = อัตราการไหล m^3/s

V = ความเร็ว m/s

A = พื้นที่หน้าตัด m^2

ดังนั้น V = Q/A = 0.1667/2.4 = 0.0694 mm

2. ความหนาแน่นของโมเลกุลกลิ่นในการจำลองการทำงานนี้ใช้โพรเพน = 1.882 kg/m^3

4.2 ผลจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ANSYS

จากการจำลองการทำงานของเซ็นเซอรเซลล์ทั้ง 4 แบบ ที่ภายในบรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz จำนวน 1 ตัว แสดงผลการ Trap ของโมเลกุลกลิ่นดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการ Trap ของโครงสร้างเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 1 และ 2 ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz จำนวน 1 ตัว

Sensor cell 1			Sensor cell 2		
Number tracked	Trapped	Percent	Number tracked	Trapped	Percent
3605	1842	51.09570%	3691	1994	54.02330%
2671	1212	45.37626%	2868	1685	58.75174%
2609	1661	63.66424%	2541	1519	59.77961%
2128	789	37.07707%	2195	639	29.11162%
2727	1181	43.30766%	2645	1482	56.03025%
2411	1515	62.83700%	2474	1290	52.14228%
2058	1014	49.27114%	2306	1235	53.55594%
2245	926	41.24722%	2345	1296	55.26652%
2832	1170	41.31356%	2220	1271	57.25225%
2510	1592	63.42629%	2195	695	31.66287%
2362	1240	52.49788%	2714	1979	72.91820%
2170	958	44.14747%	1900	875	46.05263%
2305	1353	58.69848%	2219	921	41.50518%
2103	1230	58.48787%	2495	1505	60.32064%
2032	770	37.89370%	2266	1534	67.69638%
2450	1558	63.59184%	1926	880	45.69055%
2075	1258	60.62651%	2283	1284	56.24179%
2033	708	34.82538%	2206	1151	52.17588%
2533	824	32.53060%	2175	1254	57.65517%
2832	2001	70.65678%	2271	1541	67.85557%
		50.62863%			**53.78442%**

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการ Trap ของโครงสร้างเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 3 และ 4 ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz จำนวน 1 ตัว

Sensor cell 3			Sensor cell 4		
Number tracked	Trapped	Percent	Number tracked	Trapped	Percent
2356	994	42.19015%	7137	2606	36.51394%
2560	1952	76.25000%	4269	1071	25.08784%
1721	300	17.43173%	4368	1767	40.45330%
2451	1625	66.29947%	4065	1227	30.18450%
1978	1255	63.44793%	3838	918	23.91871%
2022	1397	69.09001%	4176	867	20.76149%
1980	1093	55.20202%	5127	693	13.51668%
2084	1322	63.43570%	4993	1862	37.29221%
1747	1065	60.96165%	4206	1588	37.75559%
1808	859	47.51106%	3730	664	17.80161%
2297	1045	45.49412%	4940	1544	31.25506%
2172	1191	54.83425%	4866	963	19.79038%
2147	1454	67.72240%	4085	1369	33.51285%
1997	1092	54.68202%	4203	1232	29.31240%
2000	1192	59.60000%	3838	786	20.47942%
2063	1168	56.61658%	4311	1380	32.01113%
2070	1147	55.41063%	4481	506	11.29212%
2135	1440	67.44731%	5240	1978	37.74809%
1995	1082	54.23559%	3864	1262	32.66046%
2028	1136	56.01578%	5174	1011	19.54001%
		56.69392%			**27.54439%**

จำลองการทำงานของเซ็นเซอรเซลล์ทั้ง 4 แบบ ที่ภายในบรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 27 MHz จำนวน 1 ตัว แสดงผลการ Trap ของโมเลกุลกลิ่นดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

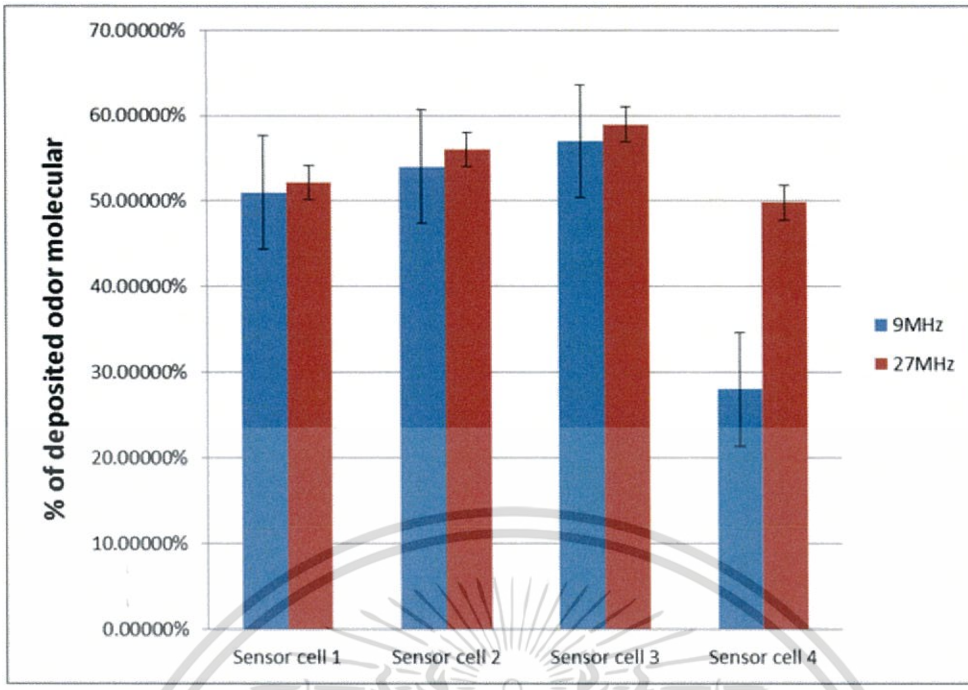
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการ Trap ของโครงสร้างเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 1 และ 2 ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 27 MHz จำนวน 1 ตัว

Sensor cell 1			Sensor cell 2		
Number tracked	Trapped	Percent	Number tracked	Trapped	Percent
2091	1243	59.44524%	1790	1728	96.53631%
2043	790	38.66862%	4346	2647	60.90658%
2396	1351	56.38564%	2854	1864	65.31184%
2245	965	42.98441%	2365	1307	55.26427%
2586	1050	40.60325%	1966	1235	62.81790%
2786	1316	47.23618%	1793	812	45.28723%
2107	1198	56.85809%	1875	803	42.82667%
2033	1063	52.28726%	1966	605	30.77314%
2202	1273	57.81108%	1927	847	43.95433%
2196	1152	52.45902%	1824	1131	62.00658%
2031	813	40.02954%	1815	1159	63.85675%
2344	1464	62.45734%	1959	1242	63.39969%
2069	1221	59.01402%	1791	1192	66.55500%
2023	978	48.34404%	1992	1036	52.00803%
2116	1284	60.68053%	1810	895	49.44751%
2278	1145	50.26339%	2168	1016	46.86347%
2194	839	38.24066%	2012	1230	61.13320%
2423	1607	66.32274%	1962	1018	51.88583%
2149	1126	52.39646%	2328	993	42.65464%
2032	1245	61.26969%	1907	1081	56.68589%
		52.18786%			**56.00874%**

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงการ Trap ของโครงสร้างเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 3 และ 4 ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 27 MHz จำนวน 1 ตัว

Sensor cell 3			Sensor cell 4		
Number tracked	Trapped	Percent	Number tracked	Trapped	Percent
2629	1961	74.59110%	5322	1055	19.82337%
1959	1297	66.20725%	4987	2011	40.32484%
1774	863	48.64713%	4305	1434	33.31010%
2106	1444	68.56600%	4076	3162	77.57605%
1796	1174	65.36748%	2091	1243	59.44524%
1926	962	49.94808%	2043	790	38.66862%
2157	1690	78.34956%	2396	1351	56.38564%
1777	817	45.97636%	2245	965	42.98441%
1988	1389	69.86922%	2586	1050	40.60325%
1922	1040	54.11030%	2786	1316	47.23618%
2161	1097	50.76354%	2107	1198	56.85809%
1699	504	29.66451%	2033	1063	52.28726%
2073	1580	76.21804%	2202	1273	57.81108%
1852	848	45.78834%	2196	1152	52.45902%
1882	582	30.92455%	2031	813	40.02954%
1973	1543	78.20578%	2344	1464	62.45734%
1750	1007	57.54286%	2069	1221	59.01402%
1818	948	52.14521%	2023	978	48.34404%
2132	1458	68.38649%	2116	1284	60.68053%
1786	1211	67.80515%	2278	1145	50.26339%
		58.95385%			**49.82810%**

เมื่อนำผลเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยการ Deposited ของโมเลกุลกลิ่นที่ไหลผ่านภายในเซ็นเซอรเซลล์ทั้ง 4 แบบ โดยทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9MHz และ 27MHz จำนวน 1 ตัว ดังรูปที่ 4.9 สามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของเซ็นเซอร์เซลล์สำหรับใช้ในการทดลองคือแบบที่ 3 สำหรับเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz มีอนุภาคมาสัมผัสกับผิวมากที่สุดที่ 56.69392% แบบที่ 2 53.78442% แบบที่ 1 50.62863% และแบบที่ 4 27.54439% ตามลำดับ สำหรับเซ็นเซอร์ชนิด QCM 27 MHz แบบที่ 3 มีอนุภาคมาสัมผัสกับผิวมากที่สุดที่ 58.95385% แบบที่ 2 56.00874% แบบที่ 1 52.18786% และแบบที่ 4 49.82810% ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การ Deposited ของเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9MHz และ 27MHz จำนวน 1 ตัว

จำลองการทำงานของเซ็นเซอรเซลล์ทั้ง 4 แบบ ที่ภายในบรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz จำนวน 5 ตัว แสดงผลการ Trap ของโมเลกุลกลิ่นดังตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการ Trap ของโครงสร้างเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 1 และ 2 ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz จำนวน 5 ตัว

Sensor cell 1			Sensor cell 2		
Number tracked	Trapped	Percent	Number tracked	Trapped	Percent
12640	0	0.00000%	7466	7769	51.42990%
18383	1912	10.40091%	7601	11368	87.81769%
22008	6833	31.04780%	7472	6235	84.95708%
21164	12154	57.42771%	6942	5161	76.16588%
14303	9502	66.43362%	6595	5564	80.46276%
10480	8503	81.13550%	7033	6463	91.53094%
7900	6632	83.94937%	7293	5120	81.07680%
6919	5434	78.53736%	7048	4870	72.29810%
7373	6091	82.61223%	6775	5559	76.68644%
6938	5063	72.97492%	6714	4298	65.24973%
7422	6063	81.68957%	6504	4761	67.79154%
7110	5232	73.58650%	7238	4123	60.11080%
7479	5265	70.39711%	6888	5394	76.92527%
8024	6560	81.75474%	7250	4621	69.60386%
7160	5918	82.65363%	6247	5130	75.59682%
6994	6184	88.41864%	7474	3563	55.12067%
6569	5045	76.80012%	6495	5440	72.37892%
7223	6126	84.81240%	6613	4696	68.25581%
6494	5094	78.44164%	6298	4701	69.59289%
7012	5671	80.87564%	6574	4139	62.45662%
		68.19747%			**72.27543%**

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการ Trap ของโครงสร้างเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 3 และ 4 ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz จำนวน 5 ตัว

Sensor cell 3			Sensor cell 4		
Number tracked	Trapped	Percent	Number tracked	Trapped	Percent
7466	5351	71.67158%	15821	8938	56.49453%
7601	5420	71.30641%	12679	9249	72.94739%
7472	5775	77.28854%	9334	5974	64.00257%
6942	5650	81.38865%	8915	6154	69.02973%
6595	4770	72.32752%	8505	6018	70.75838%
7033	4830	68.67624%	8255	5041	61.06602%
7293	5320	72.94666%	8698	5584	64.19867%
7048	5592	79.34166%	8871	5830	65.71976%
6775	5597	82.61255%	9777	5680	58.09553%
6714	5673	84.49508%	8469	5183	61.19967%
6504	4521	69.51107%	8450	4605	54.49704%
7238	5403	74.64769%	8990	6130	68.18687%
6888	4671	67.81359%	8577	4711	54.92596%
7250	5839	80.53793%	8942	6474	72.39991%
6247	3943	63.11830%	7899	5386	68.18585%
7474	5798	77.57560%	8129	4550	55.97244%
6495	4948	76.18168%	8564	5654	66.02055%
6613	5495	83.09391%	8819	5186	58.80485%
6298	4873	77.37377%	9153	4373	47.77669%
6574	4053	61.65196%	9296	6604	71.04131%
		75.36360%			**63.06619%**

จำลองการทำงานของเซ็นเซอรเซลล์ทั้ง 4 แบบ ที่ภายในบรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 27 MHz จำนวน 5 ตัว แสดงผลการ Trap ของโมเลกุลกลิ่นดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

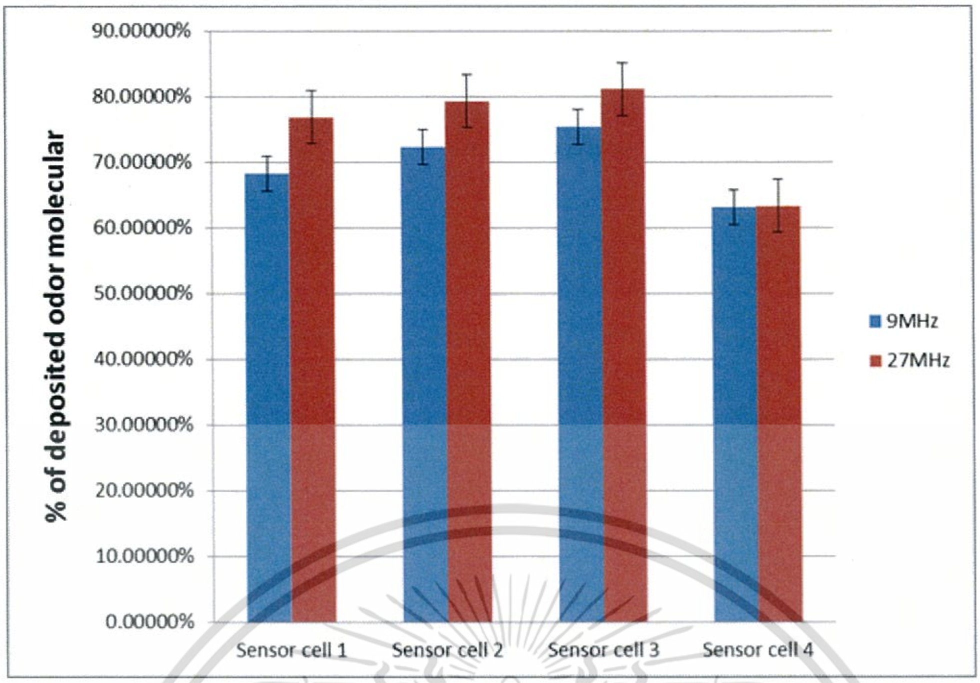
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงการ Trap ของโครงสร้างเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 1 และ 2 ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 27 MHz จำนวน 5 ตัว

Sensor cell 1			Sensor cell 2		
Number tracked	Trapped	Percent	Number tracked	Trapped	Percent
16554	7151	43.19802%	15067	5170	34.31340%
14352	10714	74.65162%	8317	5603	67.36804%
8780	6225	70.89977%	8044	6782	84.31129%
5955	4899	82.26700%	6425	5373	83.62646%
6415	5424	84.55183%	6238	5255	84.24174%
6181	5074	82.09028%	5819	5085	87.38615%
6364	4940	77.62414%	5817	4929	84.73440%
6538	5181	79.24442%	5867	4940	84.19976%
5846	4621	79.04550%	5962	4405	73.88460%
6381	5101	79.94045%	6244	4905	78.55541%
6538	4896	74.88529%	6177	4914	79.55318%
5915	5110	86.39053%	5805	4304	74.14298%
5933	4799	80.88657%	6036	5292	87.67396%
5987	5023	83.89845%	5752	4582	79.65925%
6011	4618	76.82582%	6308	5246	83.16424%
5975	4536	75.91632%	5892	4972	84.38561%
6026	4411	73.19947%	6076	5325	87.63989%
6106	4842	79.29905%	5798	4598	79.30321%
5902	4283	72.56862%	6281	5276	83.99936%
6126	4841	79.02383%	5920	4875	82.34797%
		76.82035%			**79.22455%**

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงการ Trap ของโครงสร้างเซ็นเซอร์เซลแบบที่ 3 และ 4 ที่บรรจุเซ็นเซอร์ชนิด QCM 27 MHz จำนวน 5 ตัว

Sensor cell 3			Sensor cell 4		
Number tracked	Trapped	Percent	Number tracked	Trapped	Percent
9572	8582	89.65733%	10254	6710	65.43788%
6173	5096	82.55305%	8606	5353	62.20079%
6274	5826	92.85942%	7515	5126	68.21025%
5612	4564	81.32573%	7370	4932	66.91995%
6311	4973	78.79892%	8556	5164	60.35531%
6576	5572	84.73236%	7334	4935	67.28934%
5839	5201	89.07347%	7809	5169	66.19285%
5805	4596	79.17313%	8267	4560	55.15907%
6190	5212	84.20032%	7520	5168	68.72340%
6006	4911	81.76823%	8677	4905	56.52875%
5914	4884	82.58370%	7762	4425	57.00850%
5791	4465	77.10240%	7837	5465	69.73332%
5922	4648	78.48700%	8017	4991	62.25521%
5851	4624	79.02923%	7287	4547	62.39879%
6087	4560	74.91375%	8304	5281	63.59586%
6065	4660	76.83430%	7398	4354	58.85374%
6298	4824	76.59574%	8074	5648	69.95294%
6358	4931	77.55584%	7269	4242	58.35741%
6383	4912	76.95441%	7737	4953	64.01706%
6339	4923	77.66209%	7421	4687	63.15860%
		81.09302%			**63.31745%**

และทำการนำผลเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยการ Deposited ของโมเลกุลกลิ่นที่ไหลผ่านภายในเซ็นเซอร์เซลล์ทั้ง 4 แบบ โดยทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9MHz และ 27MHz จำนวน 5 ตัว ดังรูปที่ 4.10 สามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของเซ็นเซอร์เซลล์สำหรับใช้ในการทดลองคือแบบที่ 3 สำหรับเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9 MHz มีอนุภาคมาสัมผัสกับผิวมากที่สุดที่ 75.36360% แบบที่ 2 72.27543% แบบที่ 1 68.19747% และแบบที่ 4 63.06619% ตามลำดับ สำหรับเซ็นเซอร์ชนิด QCM 27 MHz แบบที่ 3 มีอนุภาคมาสัมผัสกับผิวมากที่สุดที่ 81.09302% แบบที่ 2 79.22455%แบบที่ 1 76.82035% และแบบที่ 4 63.31745% ตามลำดับ

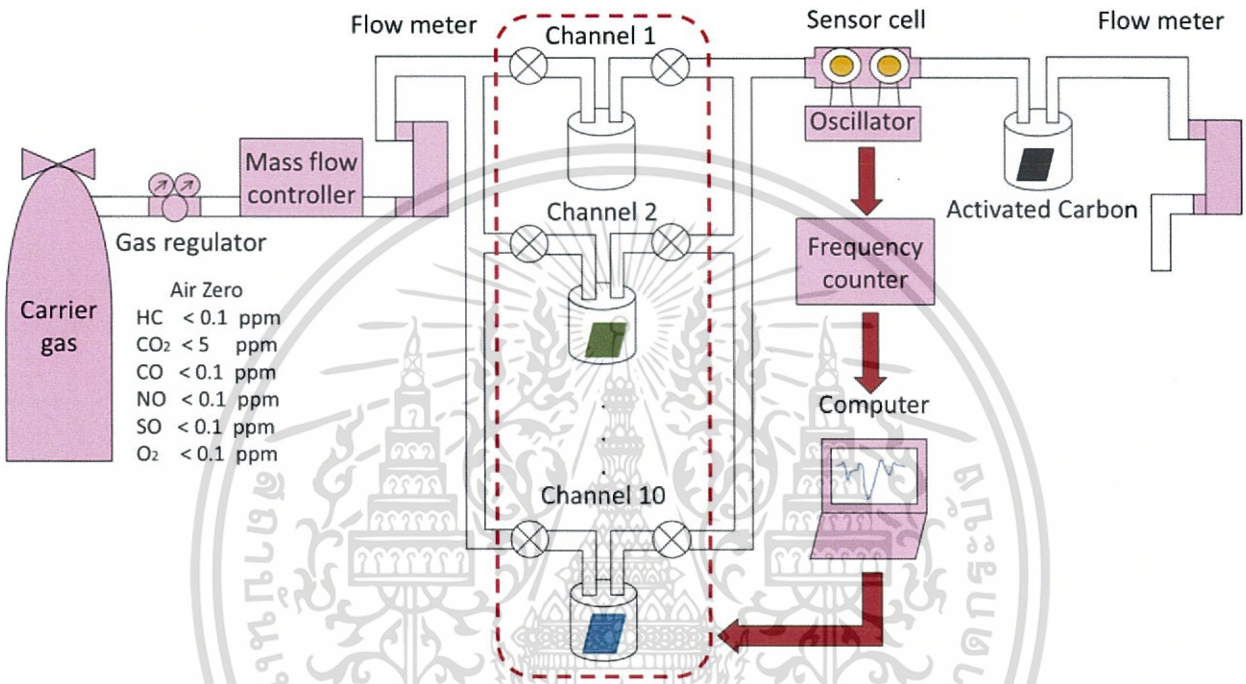


รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การ Deposited ของเซ็นเซอร์ชนิด QCM 9MHz และ 27MHz จำนวน 5 ตัว

บทที่ 5

การพัฒนาระบบปล่อยกลิ่น

5.1 โครงสร้างของระบบปล่อยกลิ่นที่พัฒนาขึ้น



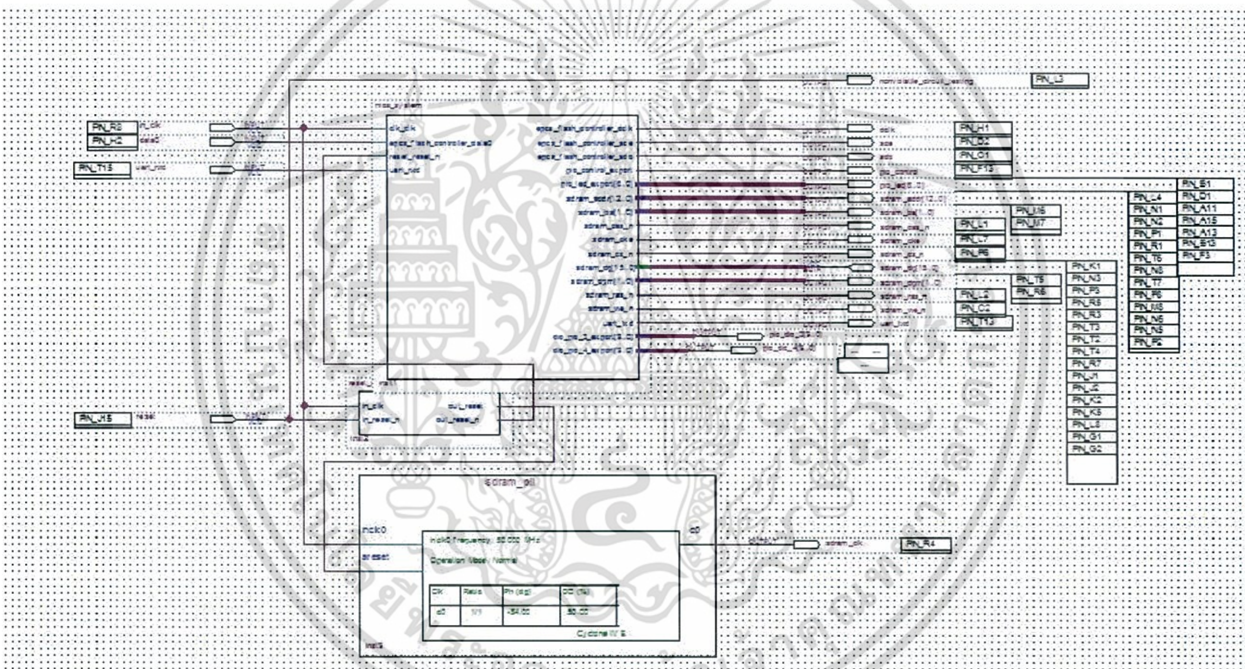
รูปที่ 5.1 โครงสร้างของระบบวัดกลิ่นแบบปิดโดยใช้โซลินอยด์วาล์ว

ดังรูปที่ 5.1 โครงสร้างของระบบปล่อยกลิ่นโดยใช้โซลินอยด์วาล์วที่พัฒนาขึ้นนั้น ใช้โซลินอยด์วาล์วที่เชื่อมต่อกับ FPGA เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดทั้งด้านก๊าซเข้าและออกซึ่งจะรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ซึ่งผู้ใช้ป้อนค่าผ่านโปรแกรม GUI เมื่อเปิดโซลินอยด์วาล์วทางด้านก๊าซออก ก๊าซก็จะไหลไปยังเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่ถูกบรรจุอยู่ในเซ็นเซอร์เซล โดยระยะเวลาในการปล่อยกลิ่นจะสามารถถูกควบคุมได้อย่างแม่นยำ

5.2 การพัฒนาฮาร์ดแวร์ของ CPU ภายใน FPGA

ในการพัฒนาฮาร์ดแวร์ของวงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์ว เราจะทำการโปรแกรมลงบนบอร์ด DE0-Nano ประกอบด้วยชิป FPGA รุ่น Cyclone® IV EP4CE22F17C6N ซึ่งมี Logic element ภายในจำนวน 22,320 ตัว มีหน่วยความจำภายใน (on-chip memory) ขนาด 594 Kb และชิป SDRAM ขนาด 32 Mb วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาภายในความถี่ 50 MHz

โปรแกรมที่ใช้สร้างวงจร PWM ลงบน FPGA ในโครงงานนี้คือ โปรแกรม Quartus II 14.1.0 ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 8 PRO 64 บิต โดยวงจร PWM ที่ออกแบบลงใน FPGA มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของวงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

จะเห็นว่าวงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์วประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1. Nios II CPU

เป็น CPU แบบอ่อน ภายใน FPGA ซึ่งจะรับค่าอินพุทจากคอมพิวเตอร์ผ่านมาทางวงจรอินเตอร์เฟซแบบอนุกรม ทำการประมวลผลข้อมูลดังกล่าวและส่งเอาท์พุท ไปควบคุมโซลินอยด์วาล์ว ซึ่ง Nios II CPU นี้จะทำงานด้วยภาษา C

โดยข้อมูลที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์จะเป็นข้อมูลประเภท Character ที่อยู่ในรูปแบบ C1 *C2 *C3 *C4 *C5 *C6 *C7 *C8 *C9 *Carriage return โดย

$$\sum_{i=1}^{10} Ci = 100$$

โดยค่า C_i คือร้อยละของความเข้มข้นของกลิ่นที่ต้องการปล่อย ที่ตำแหน่งแชนแนล i โดย Carriage return จะเป็นตัวที่บอกว่าจบชุดข้อมูลหนึ่งชุดแล้ว ดังนั้นวงจร PWM ที่สร้างขึ้นนี้ จะสามารถปล่อยกลิ่นได้มากที่สุดถึง 10 กลิ่นพร้อมกัน

2. Sdram_pll

เนื่องจากหน่วยความจำภายในชิป FPGA มีขนาดไม่เพียงพอที่จะโปรแกรม Nios II CPU และโค้ดภาษา C ลงไปได้ จึงจะทำการโปรแกรมฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ดังกล่าวลงบนชิป SDRAM ซึ่งชิป SDRAM นั้นต้องการสัญญาณนาฬิกาที่มีเฟส นำสัญญาณนาฬิกาของส่วนอื่นๆในระบบ (ในที่นี้คือตัว NIOS II) อยู่ -3ns จึงใช้เฟสล็อกลูปในการปรับสัญญาณนาฬิกาดังกล่าวก่อนป้อนเข้าไปยังชิป SDRAM

3. วงจร Reset synchronization

เป็นวงจรที่ทำให้สัญญาณรีเซ็ตในระบบทั้งหมดเข้าจังหวะกัน

ในงานนี้จะออกแบบ Nios II CPU โดยใช้ Qsys tool ซึ่งเป็นเครื่องมือตัวหนึ่งในโปรแกรม Quartus โดย Nios II CPU ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 5.3 ดังนี้

1. clk : ทำหน้าที่รับสัญญาณนาฬิกาความถี่ 50MHz เข้ามาและส่งสัญญาณนาฬิกา ดังกล่าวไปควบคุม ส่วนต่างๆใน Nios II

2. Nios II processor : ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง

3. SDRAM controller : ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อระหว่าง CPU กับชิป SDRAM

4. JTAG to Avalon Master Bridge : ทำหน้าที่ในการอ่านและเขียนค่ารีจิสเตอร์

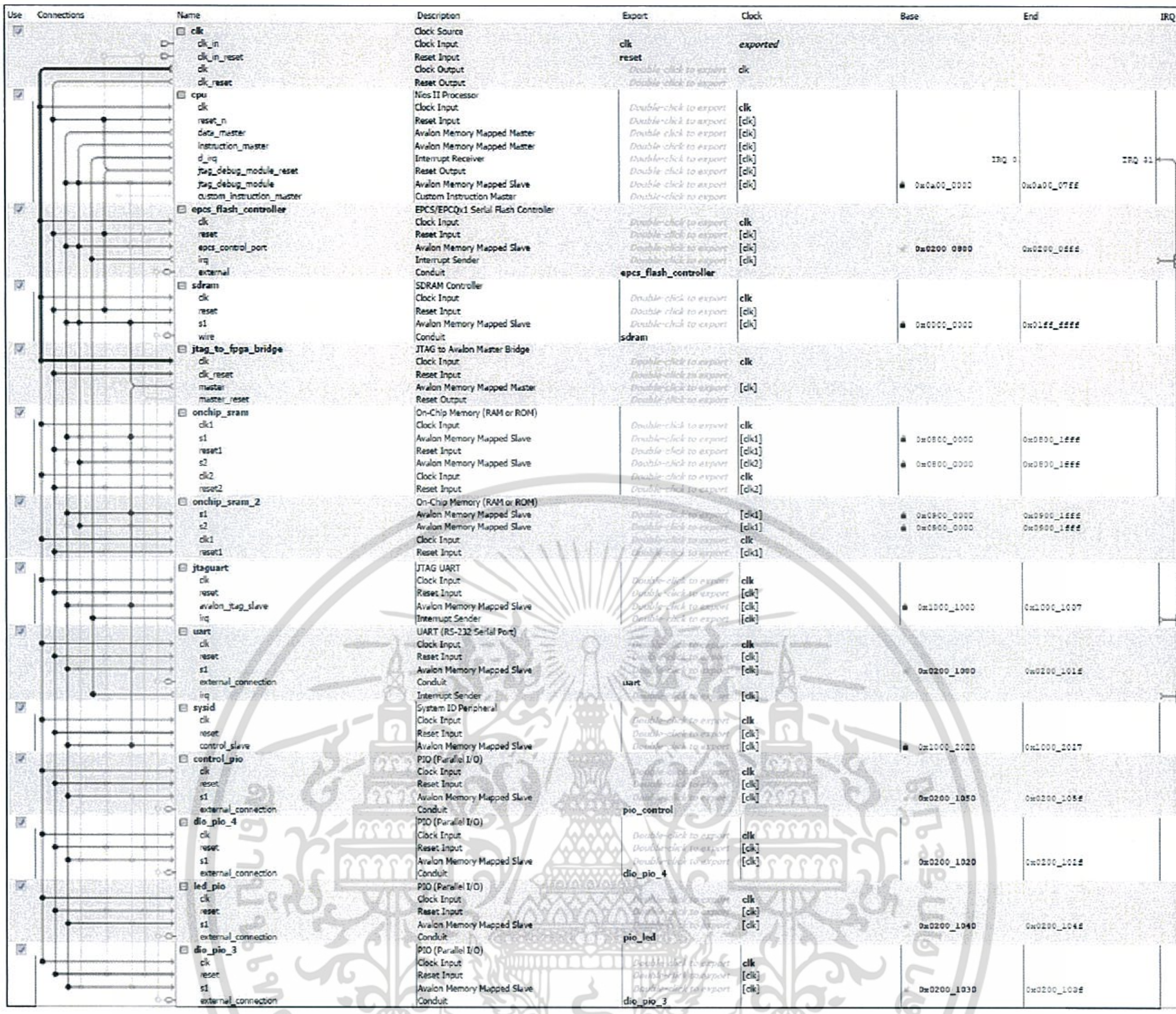
5. On-Chip Memory : ทำหน้าที่เป็นแรม

6. JTAG UART : ทำหน้าที่เป็นตัวกลางการติดต่อระหว่าง CPU กับ สาย JTAG ซึ่งเป็นช่องทางการสื่อสารที่ใช้โปรแกรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นลงบน FPGA

7. UART : ทำหน้าที่เป็นตัวกลางการติดต่อระหว่าง CPU กับพอร์ตอนุกรม RS232

8. System ID Peripheral : ทำหน้าที่ตรวจสอบการตั้งค่าของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ว่าถูกต้องตรงกันหรือไม่

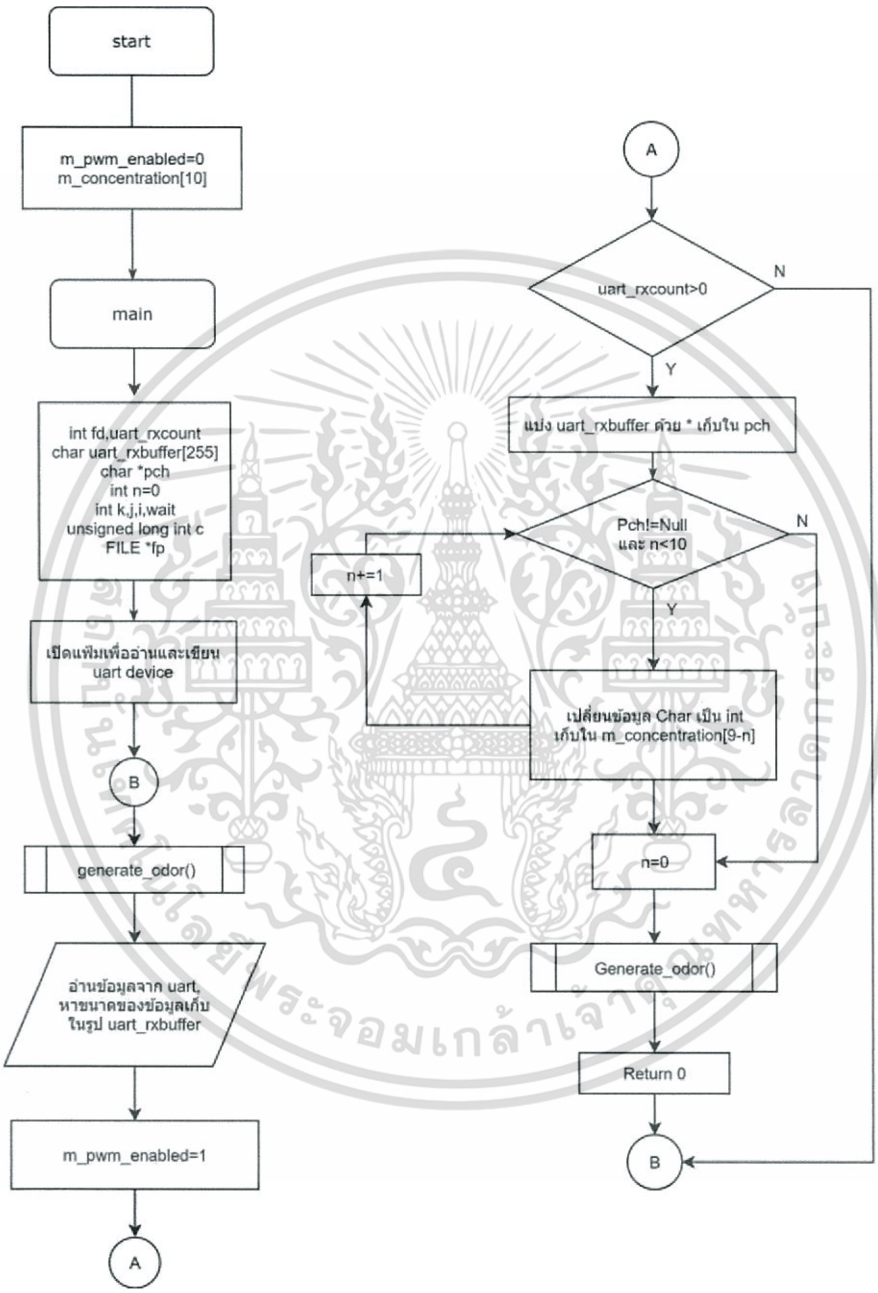
9. PIO : ทำหน้าที่เป็นอินพุท/เอาท์พุท



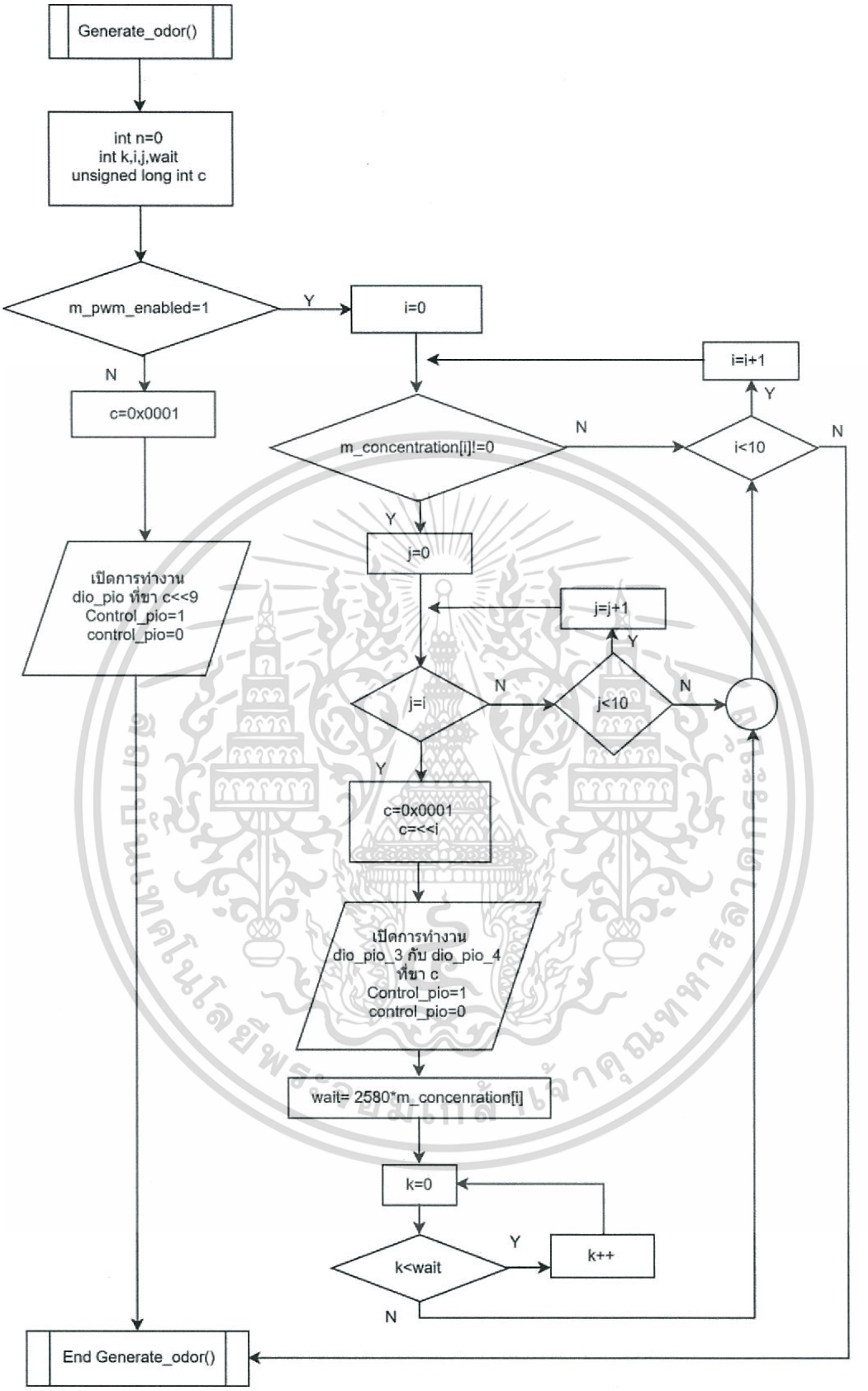
รูปที่ 5.3 โครงสร้างของ Nios II CPU ที่ออกแบบขึ้น

5.3 การพัฒนาซอฟแวร์ของ CPU ภายใน FPGA

โค้ดภาษาซีที่พัฒนาขึ้นเพื่อทำงานบน Nios II CPU นั้นมีขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 5.4 และ 5.5



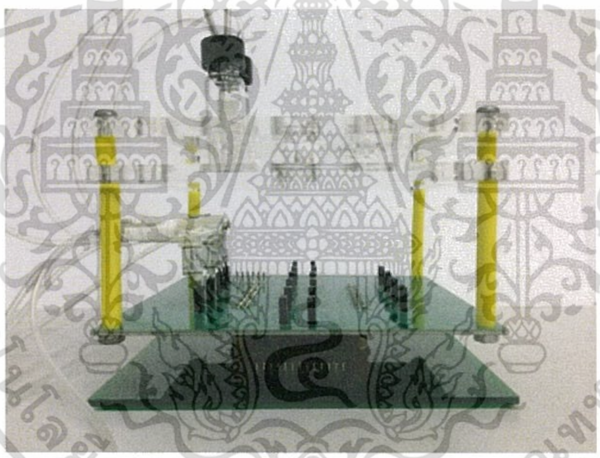
รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทำงานของโค้ดภาษา C ที่พัฒนาขึ้นสำหรับทำงานบน Nios II



รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทำงานของโค้ดภาษา C ที่พัฒนาขึ้นสำหรับทำงานบน Nios II

5.4 ระบบปล่อยกลิ่นที่พัฒนาขึ้น

ระบบปล่อยกลิ่นที่พัฒนาขึ้น ใช้ก๊าซพาห์เป็นก๊าซแอร์ซีโร่ (air zero) ของบริษัทลินเด้ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีส่วนประกอบของก๊าซต่าง ๆ ใกล้เคียงกับอากาศจริงแต่ปราศจากความชื้นและกลิ่น ต่อเข้ากับหัวปรับแรงดัน ซึ่งมีความสำคัญในการปรับลดแรงดันจากตัวถังก๊าซให้มีแรงดันที่เหมาะสมกับสภาพการทดลอง ในการทดลองนี้จะปรับให้มีแรงดันเอาท์พุทเท่ากับ 8 psi ก๊าซที่ถูกควบคุมแรงดันจะไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมการไหล (mass flow controller) ที่สามารถปรับให้อัตราการไหลเป็นไปตามที่ต้องการและติดตั้งมิเตอร์วัดอัตราการไหล (flow meter) เพื่อสังเกตอัตราการไหลผ่านสเกลอีกครั้ง ก๊าซพาห์ที่ถูกควบคุมอัตราการไหลจะไหลเข้าสู่ขวดสารตัวอย่างโดยมีโซลินอยด์วาล์วรุ่น LHDB0352115H ของบริษัท The Lee Company ที่ต้องการไฟกระแสตรง 3.3 V และกระแส 257.6 mA ในการทำงาน แต่สำหรับ FPGA รุ่น DE0-Nano ที่ใช้ในครั้งนี้ มีไฟกระแสตรงจ่ายทางเอาท์พุท 3.3 V และมีกระแสจ่ายทางเอาท์พุท 40 mA ซึ่งไม่เพียงพอต่อการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว จึงจำเป็นต้องใช้ IC เบอร์ AP7331 ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันและขยายกระแสเอาท์พุทของ FPGA ให้เป็น 300 mA เพื่อให้โซลินอยด์วาล์วสามารถทำงานได้เป็นปกติ ดังรูปที่ 5.6 และ 5.7

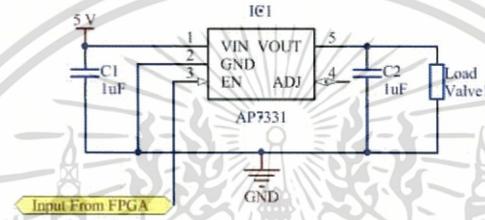


รูปที่ 5.6 ระบบปล่อยกลิ่นที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 5.7 ระบบปล่อยกลิ่นที่พัฒนาขึ้น

5.5 วงจรขยายกระแสสำหรับขับโซลินอยด์วาล์ว

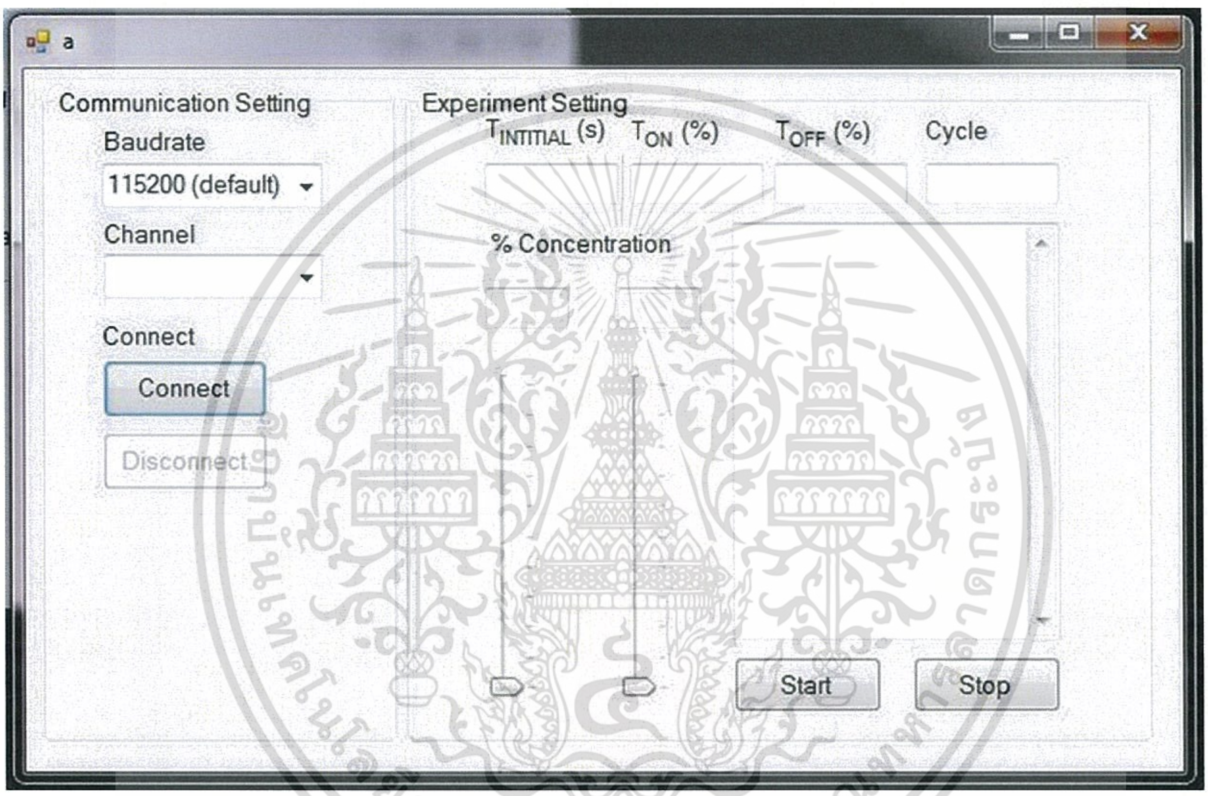
เนื่องจากโซลินอยด์วาล์วที่ใช้ในการทดลอง รุ่น LHDB0352115H ของบริษัท The Lee Company ต้องการไฟกระแสตรง 3.3 V และกระแส 257.6 mA ในการทำงาน สำหรับ FPGA รุ่น DE0-Nano ที่ใช้ในครั้งนี้ มีไฟกระแสตรงจ่ายทางเอาท์พุท 3.3 V และมีกระแสจ่ายทางเอาท์พุท 40 mA ซึ่งไม่เพียงพอต่อการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว จึงจำเป็นต้องใช้ IC เบอร์ AP7331 ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันและขยายกระแสเอาท์พุทของ FPGA ให้เป็น 300 mA เพื่อให้โซลินอยด์วาล์วสามารถทำงานได้เป็นปกติ ดังรูปที่ 5.8 โดยมีลายวงจร แสดงในภาคผนวก



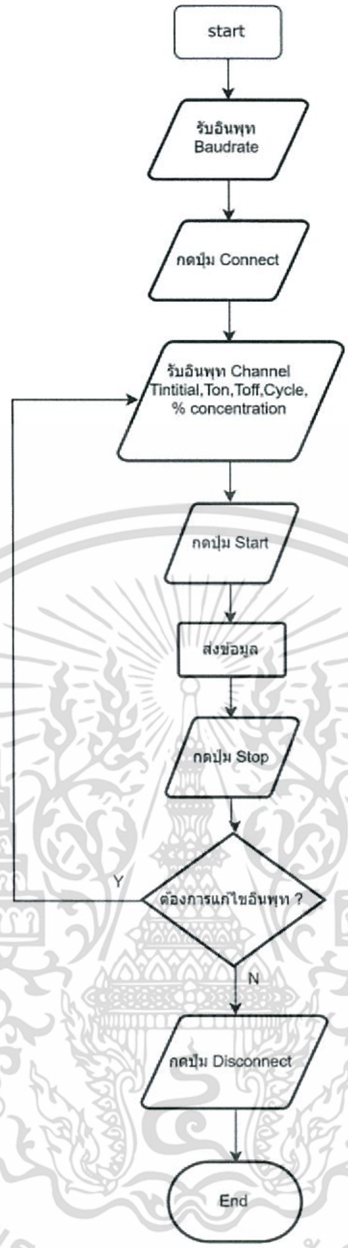
รูปที่ 5.8 วงจรขยายกระแสสำหรับโซลินอยด์วาล์ว

5.6 ซอฟแวร์สำหรับสื่อสารกับผู้ใช้

พัฒนาโปรแกรม GUI (Graphical user interface) บนระบบปฏิบัติการ Windows 7 Pro 64 bit สำหรับควบคุมการปล่อยกลิ่นโดยพัฒนาด้วยโปรแกรม Visual C# 2017 ดังแสดงในรูปที่ 5.9 และมีขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 5.10 ทั้งนี้ได้ทำการกำหนดในโปรแกรม GUI ให้ผลรวมของเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของกลิ่นที่ปล่อยโดยรวมมีค่า 100% เสมอ



รูปที่ 5.9 โปรแกรม GUI บนระบบปฏิบัติการ Windows ที่พัฒนาขึ้น

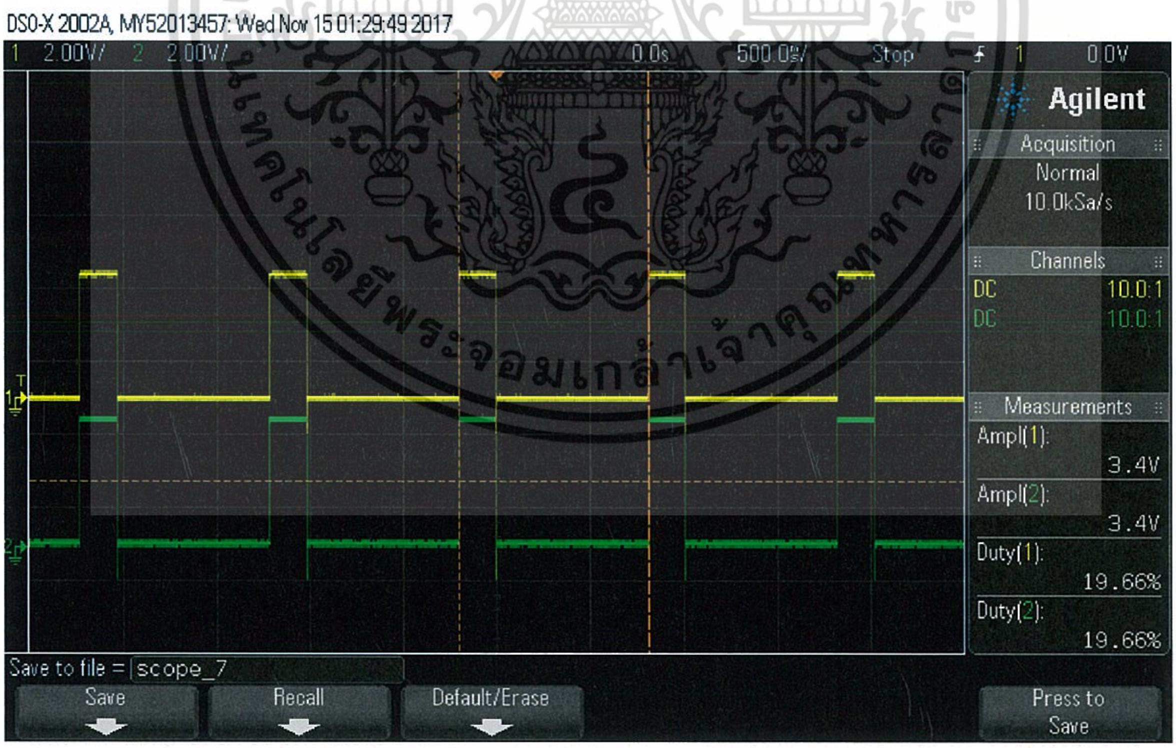


รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการทำงานของ GUI

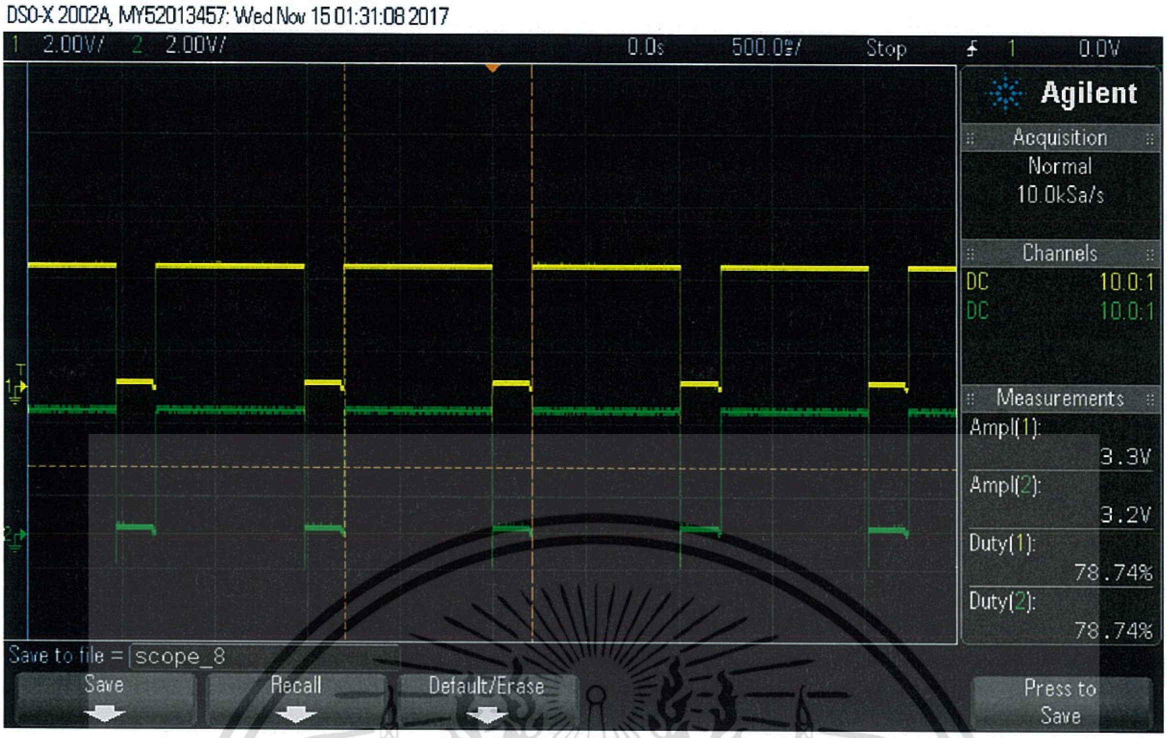
5.7 ผลการทดสอบระบบปล่อยกลิ่นที่พัฒนาขึ้น

ทำการทดลองนำบอร์ด DE0 Nano ที่ได้โปรแกรมฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของวงจรควบคุมโซลินอยด์วาล์วเรียบร้อยแล้ว ต่อเข้ากับตัวแปลง USB UART แล้วเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อให้บอร์ดรับข้อมูลจากโปรแกรม GUI บนคอมพิวเตอร์ โดยสัญญาณเอาท์พุทจะถูกส่งไปขยายกระแสด้วย IC เบอร์ AP7331 จากนั้นทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่ถูกขยายแล้วของ Nios II ที่จะส่งไปควบคุมโซลินอยด์วาล์วโดยใช้ออสซิลโลสโคปรุ่น DSO-X 2002A ของบริษัท Agilent

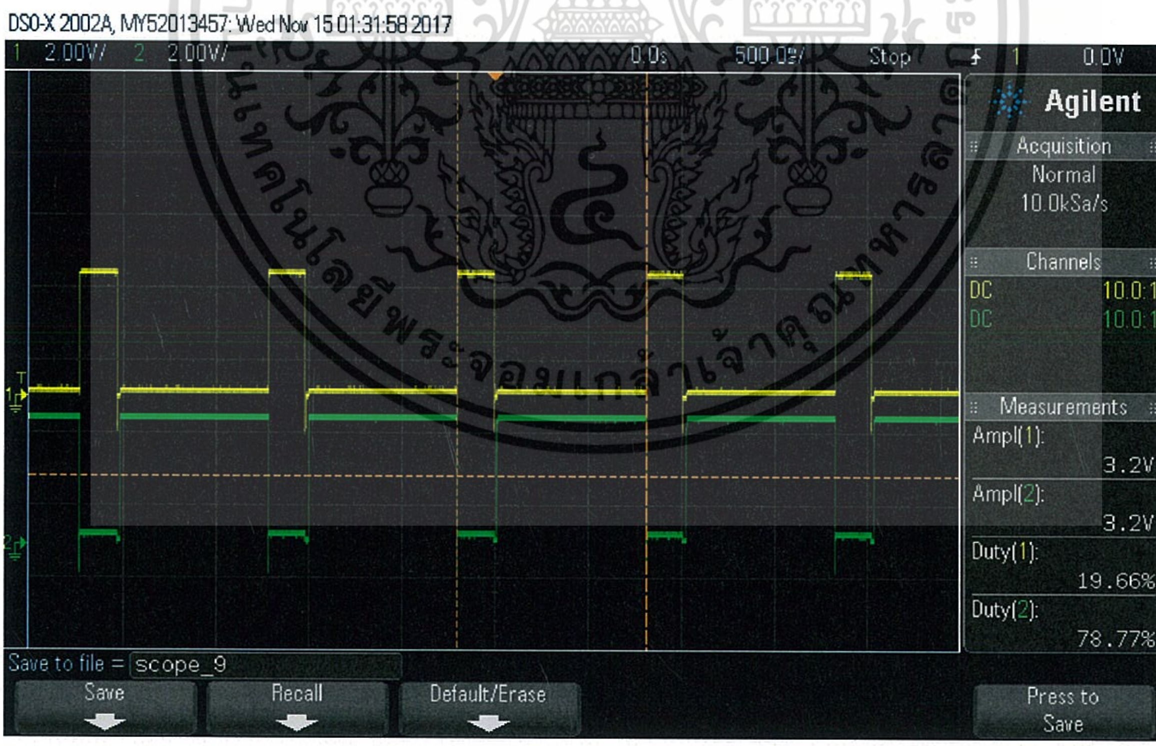
1. ทำการทดลองปรับค่า Duty cycle ผ่านโปรแกรม GUI โดยที่แชนแนล 1 โซลินอยด์วาล์ว A และ B ปรับค่าเป็น 20% เท่ากัน สัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปมีลักษณะ ดังรูปที่ 5.11 และที่แชนแนล 2 โซลินอยด์วาล์ว C และ D ก็จะมีค่าเป็น 80% เท่ากันโดยสัญญาณที่วัดจากออสซิลโลสโคปมีลักษณะ ดังรูปที่ 5.12 เนื่องจากค่า Duty cycle ของแชลแนล 1 และ 2 จะต้องรวมกันแล้วมีค่าเท่ากับ 100%
2. จากการทดลองข้อที่ 1 เนื่องจากแชลแนล 1 และ 2 จะต้องรวมกันแล้วมีค่าเป็น 100% ดังนั้นเราจึงพิจารณาที่โซลินอยด์วาล์ว A และ C จะต้องมีค่าเท่ากับ 20% และ 80% ตามลำดับ โดยสัญญาณที่วัดจากออสซิลโลสโคปมีลักษณะ ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.11 สัญญาณที่แชนแนล 1 ค่า Duty cycle เท่ากับ 20 %

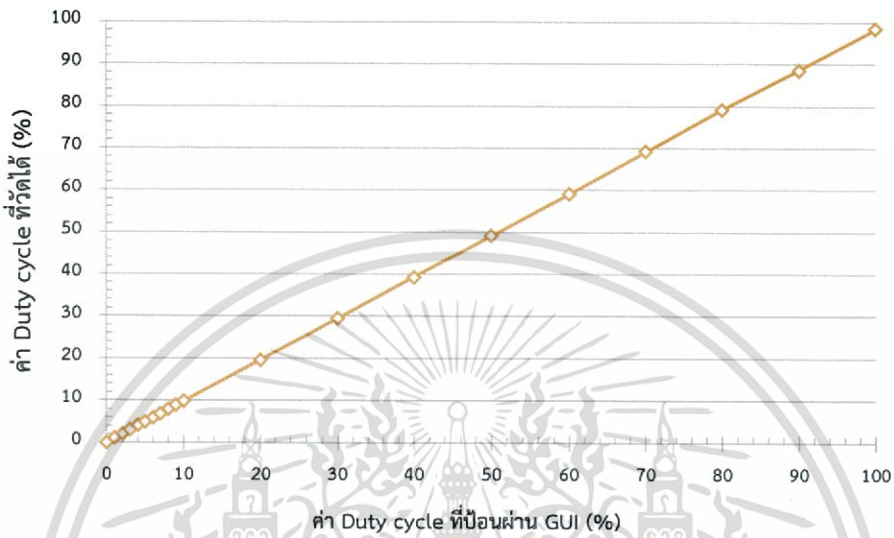


รูปที่ 5.12 สัญญาณที่แชนแนล 2 ค่า Duty cycle เท่ากับ 80 %



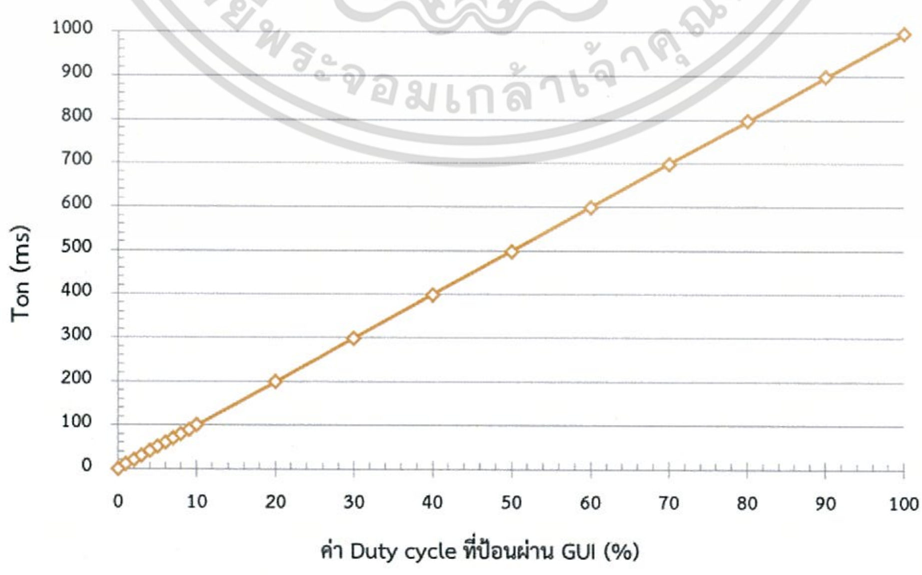
รูปที่ 5.13 สัญญาณที่โซลินอยด์วาล์ว A และ C ค่า Duty cycle เท่ากับ 20 % และ 80%

ทำการปรับค่า Duty cycle ผ่านโปรแกรม GUI โดยที่แชนแนล 1 โดยปรับค่าเป็น 1, 2, 3, 4, 5, 6%, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100% ตามลำดับแล้วทำการสังเกตผลของสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย จึงนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Duty cycle จริงที่ป้อนผ่าน GUI ค่า Duty cycle ที่วัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Duty cycle ที่ป้อนผ่าน GUI(%) กับค่า Duty cycle(%) ที่วัด

ทำการปรับค่า Duty cycle ผ่านโปรแกรม GUI โดยที่แชนแนล 1 โดยปรับค่าเป็น 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40 ,50 60, 70, 80, 90 และ 100% ตามลำดับแล้วทำการบันทึกค่า T_{on} ในแต่ละ Duty cycle นำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Duty cycle ที่ป้อนผ่าน GUI (%) กับ T_{on} (ms) ดังแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Duty cycle ที่ป้อนผ่าน GUI (%) กับ T_{on} (ms)

จากการทดลองต่อก๊าซพาห์ที่ถูกควบคุมความดันให้เหลือประมาณ 8 psi เข้ากับระบบการวัดที่พัฒนาขึ้นพบว่าเมื่อทำการทดลองลูกลอยภายในมิเตอร์วัดอัตราการไหลที่ต่อกับเอาท์พุทของระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการปรับค่า Duty cycle ขณะปล่อยลมอย่างต่อเนื่องเป็นค่า 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 และ 100% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการปล่อยลมที่ Duty cycle ค่าเดียว ทำให้ทราบว่าระบบการวัดที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการเปลี่ยนความเข้มข้นของกลิ่นที่ปล่อยได้

บทที่ 6

สรุป

1. ได้ทำการพัฒนาระบบรับรู้กลิ่นที่ใช้เซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่เป็นการวัดแบบระบบปิดขึ้นและได้ทำการทดลองที่ได้ผลการทดลองสรุปว่า
   - เซ็นเซอร์เซลช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการวัดกลิ่นและเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวัด
   - เสถียรภาพในการวัดขึ้นกับอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเซ็นเซอร์ในเซ็นเซอร์เซล อย่างไรก็ตามการคำนวณในการทดลองส่วนนี้เป็นการคำนวณอย่างง่ายคือ $\frac{f_{t(max)}-f_{t(min)}}{t}$ ควรมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่รัดกุมขึ้น เพื่อสรุปผลการทดลอง
   - ผลตอบสนองของเซ็นเซอร์ชนิด QCM มีความเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป อย่างไรก็ตามยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสาเหตุของปรากฏการณ์ดังกล่าว
   - เซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ 9MHz ไม่สามารถวัดกลิ่นได้ ถ้าไม่ได้ทำการเคลือบสารรับรู้ลงบนผิวเซ็นเซอร์ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองเฉพาะเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่ 9MHz เท่านั้น ควรทำการทดลองกับเซ็นเซอร์ชนิด QCM ที่มีความถี่สูงขึ้นคือ 27MHz ด้วย ว่าสามารถวัดกลิ่นได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ถูกเคลือบด้วยสารรับรู้
2. จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT สามารถสรุปได้ว่ามีอนุภาคสัมผัสกับผิวของเซ็นเซอร์ในเซ็นเซอร์เซลที่มีโครงสร้างแบบที่ 3 มากที่สุด อย่างไรก็ตามการพิจารณาเพียงเฉพาะจำนวนโมเลกุลที่ไปสัมผัสผิวของเซ็นเซอร์ในเซ็นเซอร์เซล น่าจะยังไม่เพียงพอในการที่จะสรุปลงไปว่าเซ็นเซอร์เซลรูปแบบใดมีความเหมาะสมที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นของเสถียรภาพในการทำงานของเซ็นเซอร์เซลซึ่งควรทำการศึกษาเพิ่มเติมให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น
3. ได้ทำการพัฒนาเครื่องปล่อยกลิ่นที่ใช้โซลินอยด์วาล์ว ได้ทำการทดลองยืนยันว่า เครื่องปล่อยกลิ่นที่พัฒนาขึ้น สามารถปล่อยกลิ่นได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องตามที่ผู้ใช้กำหนดในโปรแกรม GUI บนคอมพิวเตอร์โดยทำการกำหนดในโปรแกรม GUI ให้ผลรวมของความเข้มข้นของกลิ่นที่ปล่อยโดยรวมจะมีค่าเป็น 100% เสมอ นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนความเข้มข้นของกลิ่นที่ปล่อยได้ในระหว่างการปล่อยกลิ่นแบบเรียลไทม์ โดยไม่ส่งผลต่อเสถียรภาพของการปล่อยกลิ่นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] R. Andrew Russell, 1999. **Odour detection by mobile robots.** Vol. 22. Farrer Road: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

[2] G. Eranna, 2012. **Metal oxide nanostructures as gas sensing devices**. London: CRC Press

[3] Y. Ariyakul, Research on olfactory display using extremely small liquid pump and SAW atomizer (Master thesis), Tokyo Institute of Technology, 2010.

[4] Wessels, A. K, Bernhard. S, Carsten. and Siegfried, R. Waldvogel. 2013. "Practical Strategies for Stable Operation of HFF-QCM in Continuous Air Flow." **Sensors**.Vol.13: pp 12020-12021.

[5] Michalzik, M. Ralph Wilke, R. and B¨uttgenbach,S. 2005. "Miniaturized QCM-based flow system for immunosensor application in liquid." **Sensors and Actuators B**.: pp 412-413.

[6] N. Ratchapakorn, Y. Ariyakul, Development of a low-cost explosive vapor detector using metal oxide gas sensors, The 21st International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC) 2017, pp. 121- 124, Bangkok, Thailand, November 2017

[7] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล. 2560. **การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโต๊ะช่างแอนซีส.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ:Green Life Printing House

ภาคผนวก

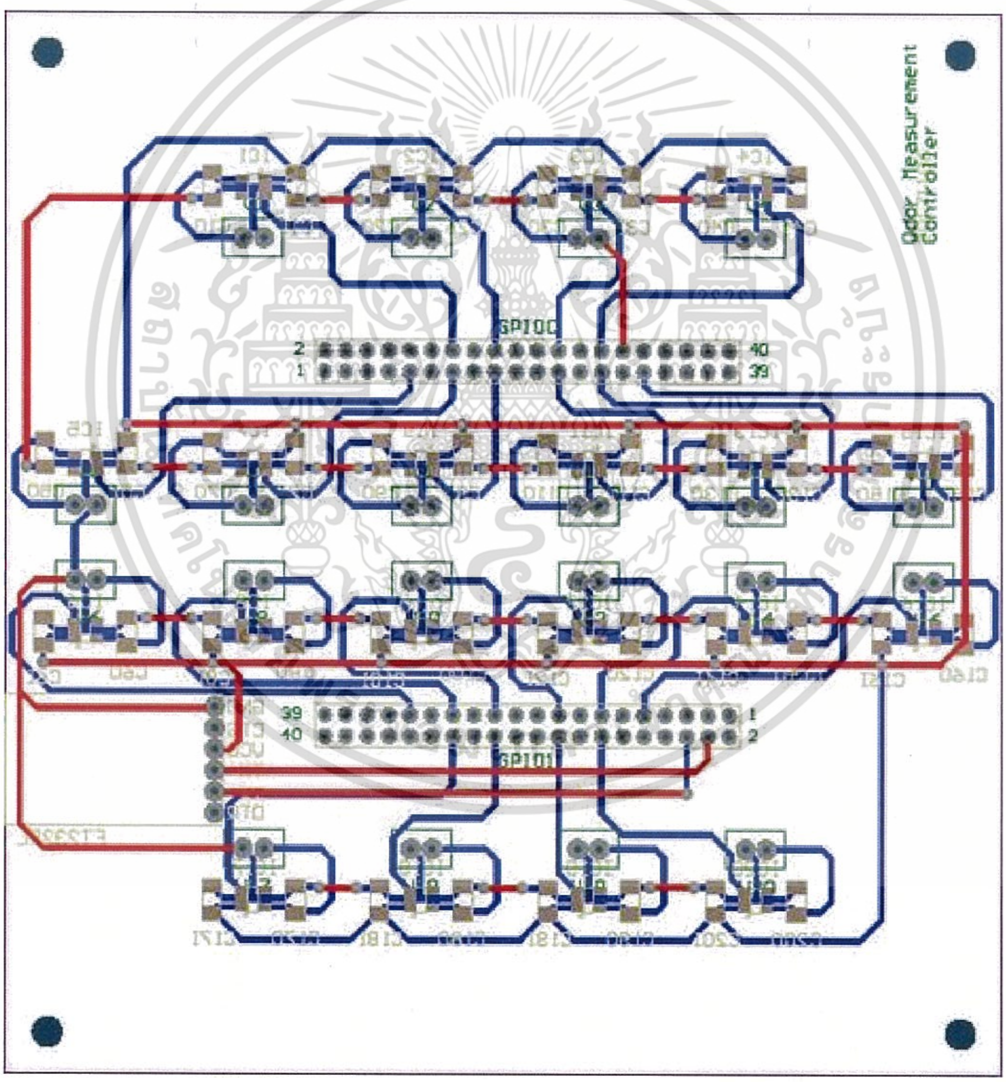
1.โค้ดภาษาซีใน Nios II CPU

```
#include <stdio.h>
#include <stddef.h>
#include <string.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include "system.h"
#include "sys/alt_alarm.h"
#include "altera_avalon_pio_regs.h"
#include "alt_types.h"
#include "altera_avalon_uart.h"
#include "sys/alt_irq.h"

#include "sys/alt_stdio.h"
#include <stdint.h>

int m_concentration[10];
int m_pwm_enabled = 0;

int main()
{
  int fd;
  FILE *fp;

  int uart_rxcount;

  char *pch;
  int n = 0;

  int a = 0;
  int time = 0;
  int k;
  int i;
  int j;
  int wait;
  int TimeBeforeProcess;

  unsigned long int c;

  int t;
  t = 1;

  fd = open("/dev/uart", O_RDWR | O_NONBLOCK | O_NOCTTY);
  fp = fdopen(fd, "rw+");

  fprintf(fp, "Hello from Nios II!\n");
  printf("Hello from Nios II!\n");
    while(1)
    {
        char uart_rxbuffer[255];
        //blink LED
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(LED_PIO_BASE, t);
        t = t*2;
        if (t == 1024) t = 1;

       m_pwm_enabled = 0;
      //generate_odor();

            c = 0x0001;

            IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_3_BASE, c << 1);
```

```
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_4_BASE, c << 1);

        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 1);
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 0);

    uart_rxcount = read(fd, &uart_rxbuffer, sizeof(uart_rxbuffer));

    //uart_rxcount = sizeof(uart_rxbuffer);
    m_pwm_enabled = 1;

    if(uart_rxcount > 0)
    {
      fprintf(fp, "received %s\r\n", uart_rxbuffer);
      printf("received %s\r\n", uart_rxbuffer);

      pch = strtok (uart_rxbuffer, "*");
      while (pch != NULL && n < 10)
      {
        m_concentration[9-n] = atoi(pch);
        // fprintf (fp, "pulse_width[%d] = %d\n", i, pulse_width[i]);
        printf("pulse_width[%d] = %d\n", 9-n, m_concentration[9-n]);
        pch = strtok (NULL, "*");

        n += 1;
      }
      n = 0;
      //generate_odor();
      if(m_pwm_enabled == 1)
      {
        for(i=0; i<10; i++)
        {
          if(m_concentration[i] != 0)
          {

            for(j=0; j<10; j++)
            {
              if(j==i)
              {
                c = 0x0001;

                c = c << i;
                TimeBeforeProcess = alt_nticks();

                IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_3_BASE, c);
                IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_4_BASE, c);

                IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 1);
                IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 0);
              }
            }

            k = 0;
            wait = (2580)*m_concentration[i];
            while (k<wait)
            {
            k++;
            }

                    }
        }

      }
      else
      {
```

```
            c = 0x0001;

            IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_3_BASE, c << 1);
            IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(DIO_PIO_4_BASE, c << 1);
            IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 1);
            IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(CONTROL_PIO_BASE, 0);
        }
      }
    }

  return 0;
}
```

2.ลายวงจรของวงจรควบคุมการปล่อยกลิ่นด้วยโซลินอยวาวล์



3.โค้ดภาษา C# ของโปรแกรม GUI บนระบบปฏิบัติการ Windows สำหรับควบคุมการปล่อยกลิ่น

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.IO.Ports;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace test1
{
    public partial class form1 : Form
    {
        string RxString;
                int cyclevalue;
                public form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
        {
            btnConnect.Enabled = true;
            btndisconnect.Enabled = false;

            cmbBaudRate.Items.Add("9600");
            cmbBaudRate.Items.Add("14400");
            cmbBaudRate.Items.Add("19200");
            cmbBaudRate.Items.Add("28800");
            cmbBaudRate.Items.Add("38400");
            cmbBaudRate.Items.Add("57600");
            cmbBaudRate.Items.Add("76800");
            cmbBaudRate.Items.Add("115200 (default)");
            cmbBaudRate.Items.Add("230400");
            cmbBaudRate.Items.Add("250000");
            cmbBaudRate.SelectedIndex = 7;

        }

        private void form1_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
        {
            //serialPort disconnect
            if (serialPort1.IsOpen)
            {
                serialPort1.Close();
            }
        }

        private void btnConnect_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            //serialPort connect
            try
            {
                serialPort1.PortName = "com3";
                serialPort1.BaudRate = 115200;
                serialPort1.Open();
                if (serialPort1.IsOpen)
                {
                    label1.Text = "connected";
```

```
                btnConnect.Enabled = false;
                btndisconnect.Enabled = true;
                                serialPort1.WriteLine(textBox5.Text + textBox6.Text);
            }
        }
        catch (SystemException ex)
        {
            MessageBox.Show(string.Format("Error Connection: {0}", ex.Message));
        }

    }

    private void btndisconnect_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        //serialPort disconnect
        if (serialPort1.IsOpen)
        {
            serialPort1.Close();
            label1.Text = "disconnect";
            btnConnect.Enabled = true;
            btndisconnect.Enabled = false;
        }
    }

    private void btntxtest_Click(object sender, EventArgs e)
    {
                    //serialPort1.Write(textBox2.Text + "\n\r");
                    timer2.Enabled = true;
                    //serialPort1.Write(textBox5.Text + "*" + textBox6.Text + "*" + "\r");
                    cyclevalue = Convert.ToInt32(cycle.Text);
        gettext();
    }

    private void serialPort1_DataReceived(object sender,
System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
    {
        RxString = serialPort1.ReadExisting();
        this.Invoke(new EventHandler(DisplayText));
    }

    private void DisplayText(object sender, EventArgs e)
    {
        textBox1.Text += "" + RxString;
    }

    private void textBox1_TextChanged(object sender, EventArgs e)
    {

    }

    int intlen;
    private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
    {
        string[] ports = SerialPort.GetPortNames();
        if (intlen != ports.Length)
        {
            //lsbComPort.Items.Clear();
            //intlen = ports.Length;
            //for (int j = 0; j < intlen; j++)
            //{
            //    lsbComPort.Items.Add(ports[j]);
            //    lsbComPort.SelectedIndex = 0;
            //}
        }
```

```
        }
        private void textBox2_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void trackBar1_Scroll(object sender, EventArgs e)
        {
            textBox2.Text = (trackBar1.Value * 10).ToString();
            trackBar2.Value = 10 - trackBar1.Value;
            textBox3.Text = (trackBar2.Value * 10).ToString();

        }

        private void gettext()
        {
            textBox1.Text = "channel: " + comboBox1.Text + System.Environment.NewLine+ "%
concentration : " + textBox2.Text + "*" + textBox3.Text + System.Environment.NewLine +
"initial time : " + textBox4.Text + System.Environment.NewLine + "Ton: " + textBox5.Text +
System.Environment.NewLine + "Toff: " + textBox6.Text + System.Environment.NewLine +
"cycle: " + cycle.Text;
                    }

        private void trackBar2_Scroll(object sender, EventArgs e)
        {
            textBox3.Text = (trackBar2.Value * 10).ToString();
            trackBar1.Value = 10 - trackBar2.Value;
            textBox2.Text = (trackBar1.Value * 10).ToString();

        }

        private void cmbBaudRate_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void textBox3_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void label2_Click(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void lsbComPort_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void label1_Click(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void comboBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
        {

        }

        private void textBox6_TextChanged(object sender, EventArgs e)
        {
```

```
}
private void label4_Click(object sender, EventArgs e)
{

}
private void label5_Click(object sender, EventArgs e)
{

}
private void textBox4_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}
private void label7_Click(object sender, EventArgs e)
{

}
private void label9_Click(object sender, EventArgs e)
{

}
private void groupBox2_Enter(object sender, EventArgs e)
{

}
private void textBox5_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}
private void cycle_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{

}
private void groupBox1_Enter(object sender, EventArgs e)
{

}
private void Stop_Click(object sender, EventArgs e)
{
            timer2.Enabled = false;
}
private void label13_Click(object sender, EventArgs e)
{

}
private void label12_Click(object sender, EventArgs e)
{

}
private void label11_Click(object sender, EventArgs e)
{
```

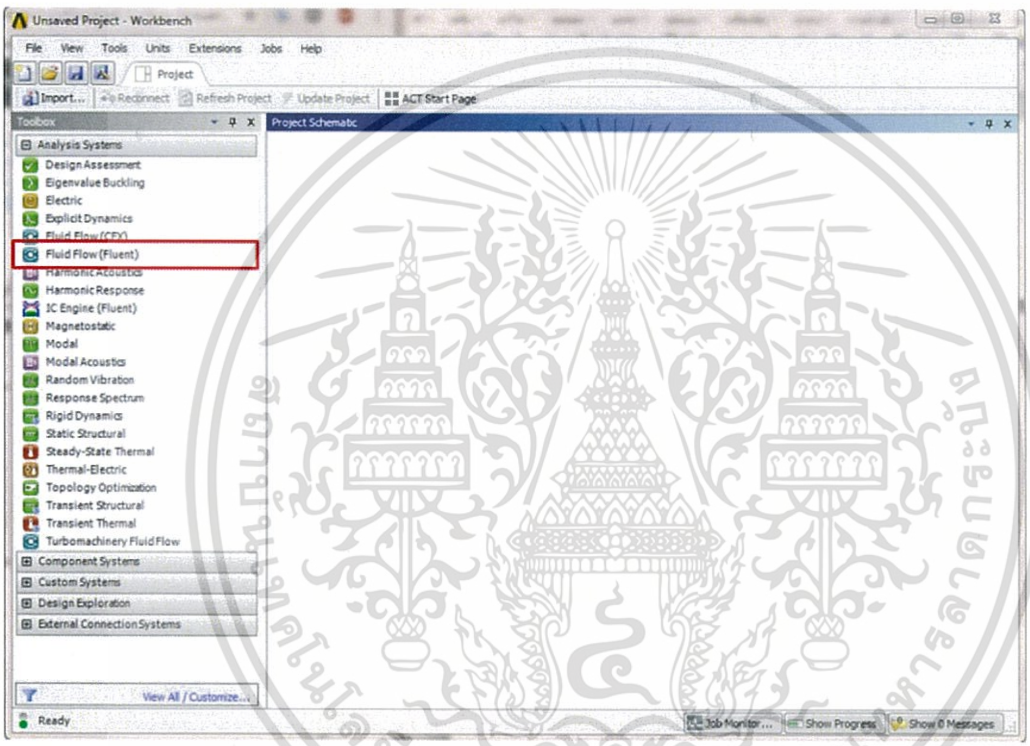
```
        }
        private void label10_Click(object sender, EventArgs e)
        {

        }
        private void label8_Click(object sender, EventArgs e)
        {

        }
        private void label6_Click(object sender, EventArgs e)
        {

        }
        private void label14_Click(object sender, EventArgs e)
        {

        }
                private void timer2_Tick(object sender, EventArgs e)
                {
                        if (cyclevalue > 0)
                        {
                                serialPort1.Write(textBox5.Text + "*" + textBox6.Text + "*" +
"\r");
                                cyclevalue--;
                        }
                }
        }
}
```

4.ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม ANSYS

(ก) เปิดโต๊ะช่างแอนซิสและตั้งค่าเบื้องต้น

1. เปิด ANSYS Workbench แล้วเลือกเมนู Units ที่แถบแถวบนเป็น Metric (kg, m, s, ^{o}C, A, N, V)

2. ในหน้าต่าง ANSYS System คลิกสองครั้งที่ปุ่ม Fluid Flow (Fluent) กล่องเล็กๆจะปรากฏขึ้นในหน้าต่าง Project Schematic

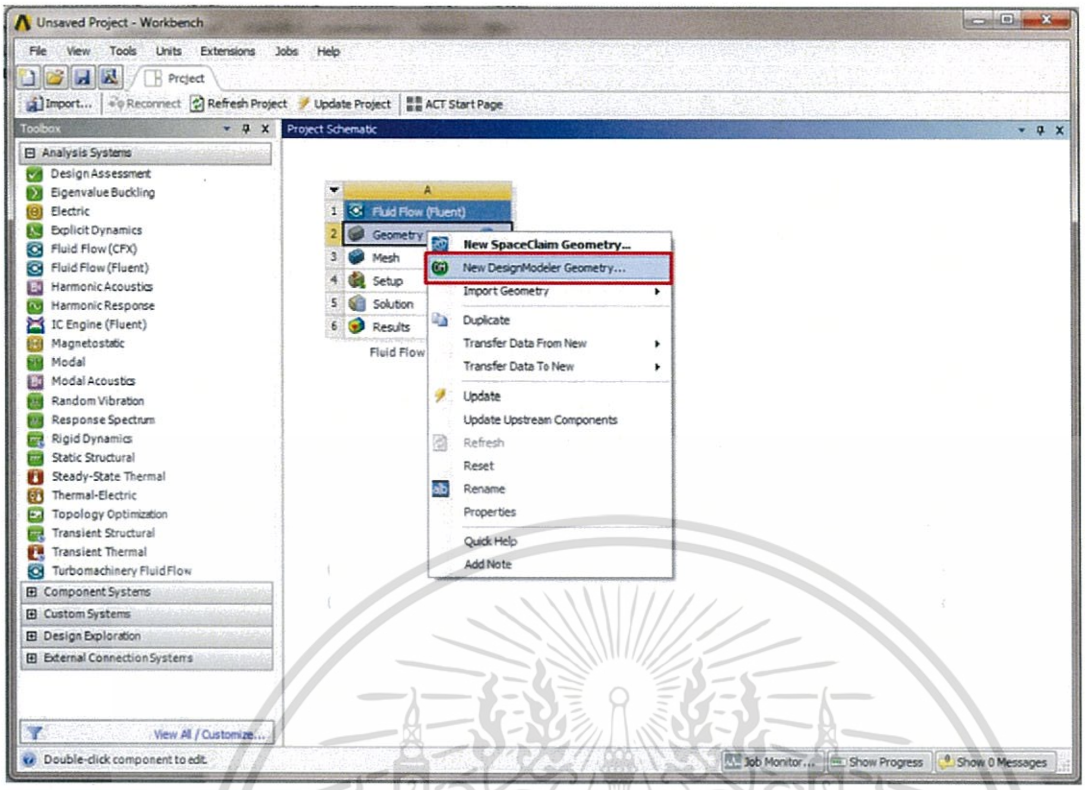


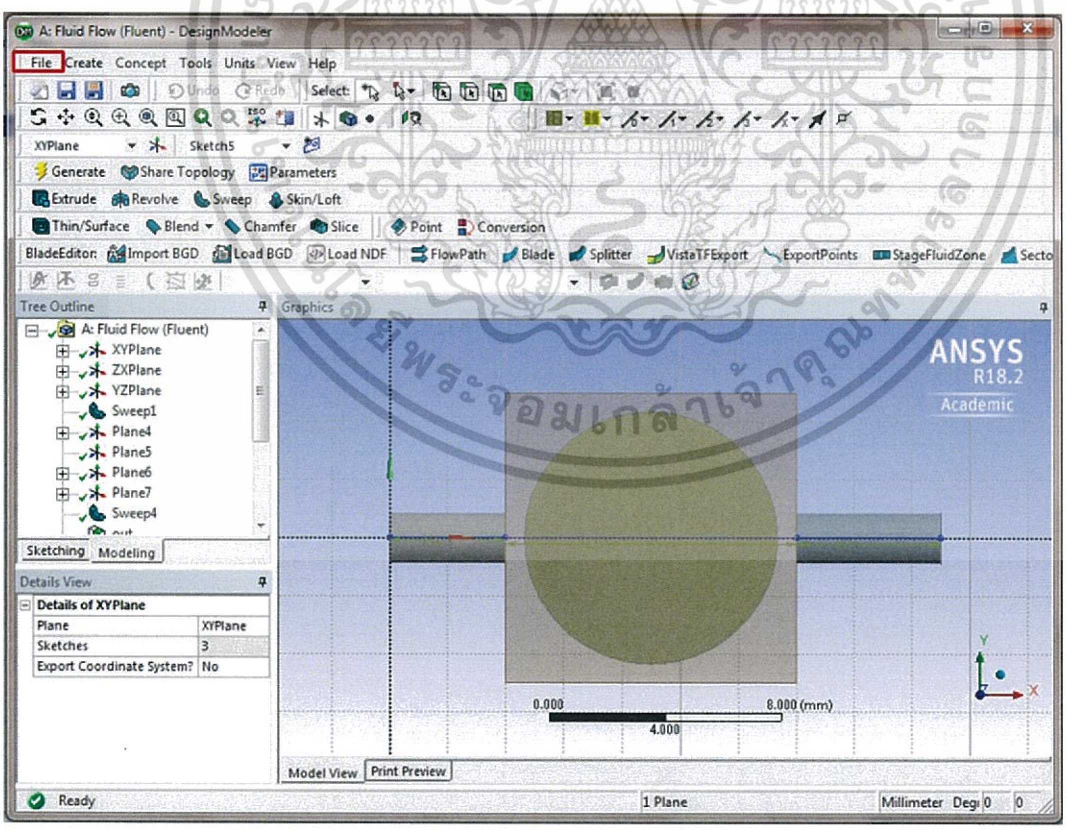
(ข) การสร้างรูปร่างของปัญหา

1. คลิกขวาที่แถบ Geometry แล้วเลือก New DesignModeler Geometry... ซึ่งจะนำไปสู่หน้าต่าง Design Modeler

2. เลือกแถบ Settings แล้วเลือก Grid จากนั้นคลิกที่ช่องว่างของ Show in 2D และ Snap ตาข่ายจะปรากฏขึ้นบนหน้าต่างหลัก ตาข่ายเหล่านี้จะช่วยทำให้โมเดลสามารถสร้างขึ้นได้โดยสะดวก

3. เมื่อวาดรูปร่างเสร็จสิ้นแล้ว บันทึกโพรเจกต์โดยเลือก Save Project ภายใต้ File ในแถบคำสั่งบนสุดของหน้าจอกำหนดชื่อไฟล์แล้วปิดหน้าต่าง DesignModeler นี้


Unsaved Project - Workbench
File View Tools Units Extensions Jobs Help
Project
Import... Reconnect Refresh Project Update Project ACT Start Page
Toolbox
Project Schematic
Analysis Systems
Design Assessment
Eigenvalue Buckling
Electric
Explicit Dynamics
Fluid Flow (CFX)
Fluid Flow (Fluent)
Harmonic Acoustics
Harmonic Response
IC Engine (Fluent)
Magnetostatic
Modal
Modal Acoustics
Random Vibration
Response Spectrum
Rigid Dynamics
Static Structural
Steady-State Thermal
Thermal-Electric
Topology Optimization
Transient Structural
Transient Thermal
Turbomachinery Fluid Flow
Component Systems
Custom Systems
Design Exploration
External Connection Systems
View All / Customize...
Double-click component to edit.
Fluid Flow (Fluent)
Geometry
Mesh
Setup
Solution
Results
Fluid Flow
New SpaceClaim Geometry...
New DesignModeler Geometry...
Import Geometry
Duplicate
Transfer Data From New
Transfer Data To New
Update
Update Upstream Components
Refresh
Reset
Rename
Properties
Quick Help
Add Note
Job Monitor... Show Progress Show 0 Messages


A: Fluid Flow (Fluent) - DesignModeler
File Create Concept Tools Units View Help
Undo Redo Select:
XYPlane Sketch5
Generate Share Topology Parameters
Extrude Revolve Sweep Skin/Loft
Thin/Surface Blend Chamfer Slice Point Conversion
BladeEditor: Import BGD Load BGD Load NDF FlowPath Blade Splitter VistaTFExport ExportPoints StageFluidZone
Tree Outline
Graphics
A: Fluid Flow (Fluent)
XYPlane
ZXPlane
YZPlane
Sweep1
Plane4
Plane5
Plane6
Plane7
Sweep4
Sketching Modeling
Details View
Details of XYPlane
Plane XYPlane
Sketches 3
Export Coordinate System? No
ANSYS
R18.2
Academic
0.000
8.000 (mm)
4.000
Model View Print Preview
Ready
1 Plane
Millimeter

(ค) การสร้างเมช

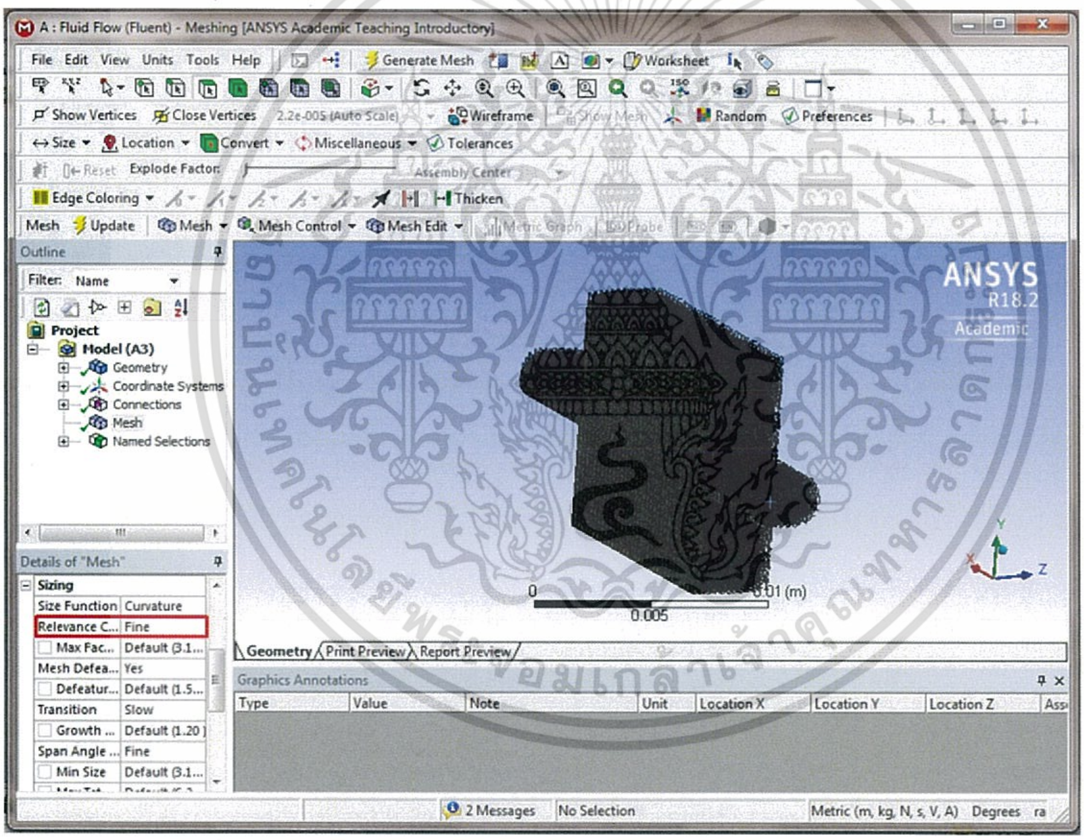
1. ในหน้าต่าง Project Workbench ใต้ Project Schematic คลิกสองครั้งที่ Mesh

2. หน้าต่าง Outline จะปรากฏขึ้นทางด้านซ้าย แล้วคลิกที่ Mesh ใต้หัวข้อ Model

3. ในหน้าต่าง Details of “Mesh” คลิกเครื่องหมายบวก (+) หน้า Sizing เพื่อแสดงรายละเอียด แล้วเปลี่ยน Relevance Center จาก Coarse เป็น Fine

4. จากนั้นคลิก Update ในแถบที่อยู่เหนือหน้าต่าง Outline รูปแบบเมชจะปรากฏขึ้น

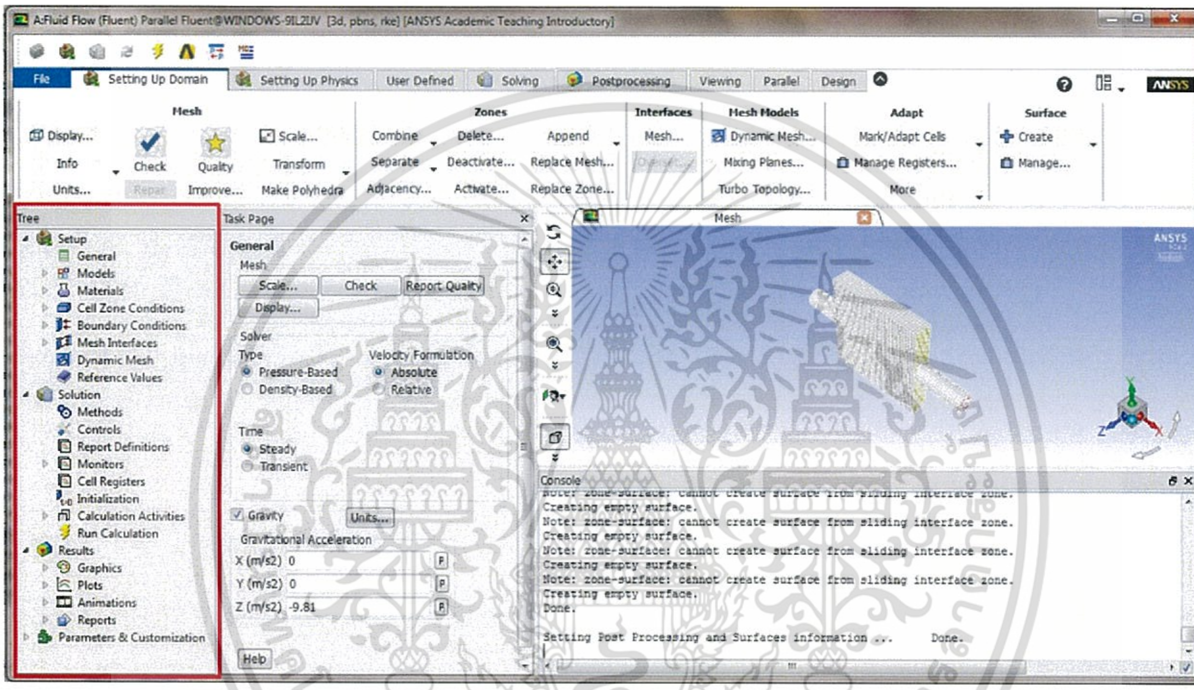
5. บันทึกไฟล์แล้วปิดหน้าต่างนี้ เพื่อกลับไปหน้าต่าง Project Schematic



(ง) การตั้งค่าคุณสมบัติของของไหลและค่าที่เงื่อนไขขอบเขต

1. บนหน้าต่าง Project Schematic คลิกสองครั้งที่ Setup แล้วคลิก OK ในหน้าต่าง Fluent Launcher จะพบว่าเมชที่ได้สร้างไว้จะปรากฏบนหน้าจอขึ้นอีกครั้ง

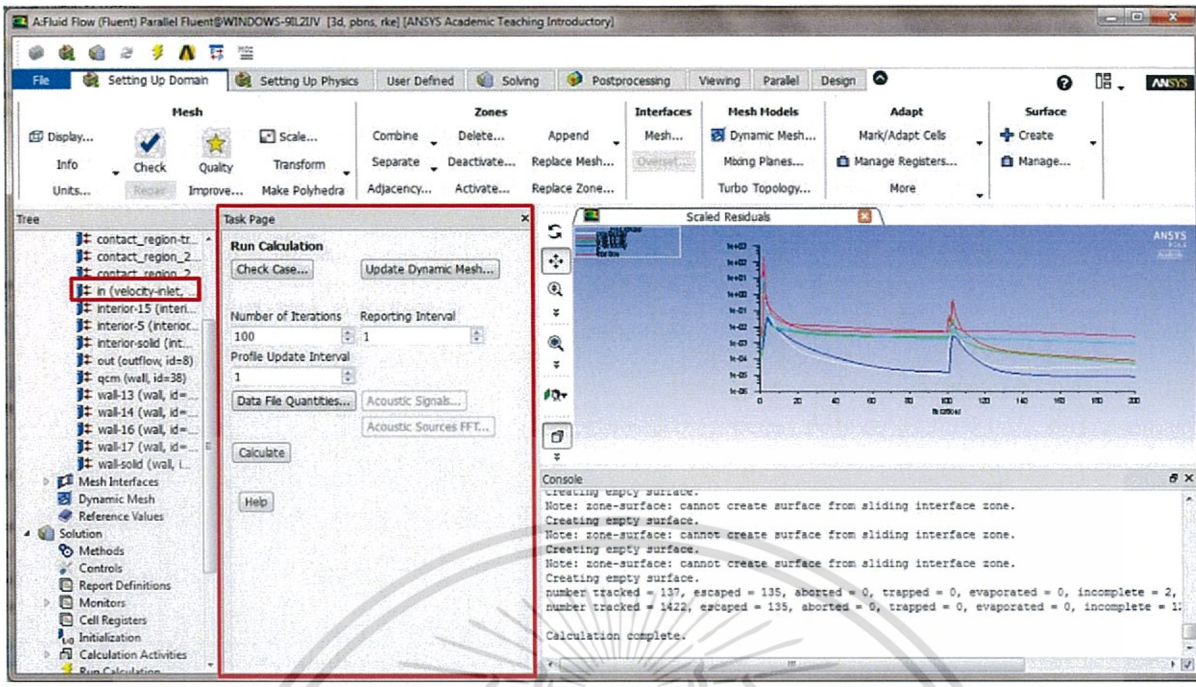
2. หน้าต่าง Tree อยู่ด้านบนสุดประกอบไปด้วยหัวข้อใหญ่คือ Setup, Solution และ Results จากนั้นเลือกหัวข้อย่อยต่างๆ แล้วตั้งค่าตามความต้องการ



(จ) การแก้เพื่อหาผลลัพธ์

1. ใต้หัวข้อ Boundary Conditions คลิกสองครั้งที่ in (velocity-inlet, id=7) เปลี่ยนค่า velocity Magnitude(cm/s) เป็น 25 คลิก OK

2. ใต้หัวข้อ Solution ในหน้าต่าง Tree นี้ เลือก Run Conditions โดยเปลี่ยนค่า Number of Iterations เป็น 100, ค่า Reporting Interval ไปเป็น 10, แล้วคลิกปุ่ม Calculate



(ฉ) การแสดงผลลัพธ์

1. บนหน้าต่าง Project Schematic คลิกสองครั้งที่ Results หน้าต่างแสดงผลลัพธ์จะปรากฏขึ้น