บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 คำนำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยจากการศึกษาเราสามารถจำแนกชนิดของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 3 ชนิด คือจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบเซ็นเซอร์อาร์เรย์ระบบเปิด จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบเซ็นเซอร์อาร์เรย์ระบบปิด และจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟฟี่ จากนั้นได้ทำการพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบเซ็นเซอร์อาร์เรย์ระบบเปิดโดยได้นำมาประยุกต์ใช้งานกับการแยะแยกชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง และได้พัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบปิดสำหรับงานด้านการตรวจสอบน้ำมันเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกัน ซึ่งผลจากการทดลองพบว่าระบบปิดให้ผลการตรวจสอบที่ดีกว่าระบบเปิด จากนั้นได้พัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟฟี่ขึ้นมา ซึ่งจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟี่มีข้อดีที่สามารถแยกชนิดของกลิ่นที่มีการผสมกันจากสารเคมีหลายตัวได้

งานวิจัยทั้งหมดประกอบด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบเปิดสำหรับตรวจสอบชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง และได้ปรับปรุงเป็นจมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบปิดที่ใช้สำหรับตรวจสอบชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งทั้งสองแบบนี้เป็นจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์ ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ 8 ตัวทำงานร่วมกัน และทางผู้วิจัยได้พัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี ซึ่งเมื่อนำเทคนิคแก๊สโครมาโต กราฟี่มาใช้งานร่วมก็จะสามารถลดจำนวนเซ็นเซอร์ลงเหลือเพียงหนึ่งตัว และมีข้อดีที่สามารถวัดสารที่มีการผสมกันมาได้ และจากคุณสมบัติของเซ็นเซอร์แบบดีบุกอ๊อกไซด์ ที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอสารเคมีก็จะสามารถวัดปริมาณของไอสารเคมีเหล่านั้นได้ โดยได้พัฒนาระบบที่ใช้คอลัมน์ของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี่ที่ยาวขึ้นและมีระบบควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์เพื่อควบคุมอุณหภูมิซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเพื่อการจำแนกชนิดของสารเคมีที่มีหลายๆชนิดผสมกันให้มีประสิทธิภาพขึ้นซึ่งผลการทดลองได้สรุปแยกไว้

5.2 จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบเซ็นเซอร์อาร์เรย์ระบบเปิด

ผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งได้ทำการทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ทั้งหมด 15 ชนิด พบว่าผลที่ได้จากการฉายภาพ PCA แสดงให้เห็นถึงการแยกแยะชนิดของน้ำมันได้ชัดเจนสามารถสกัดค่าความสัมพันธ์ของ PCA1ได้ 77.4749%, PCA2ได้ 11.9366%, PCA3ได้ 7.6453% และ PCA4ได้ 2.1988% เมื่อฉายภาพ2มิติระหว่าง PCA1และPCA2ได้ความสัมพันธ์ 89.4115%,เมื่อฉายภาพ2มิติระหว่าง PCA1และPCA3ได้ความสัมพันธ์ 85.1202% และเมื่อฉายภาพ PCA 3มิติจาก PCA1, PCA2

และ PCA3ได้ความสัมพันธ์ถึง 97.0568% ซึ่งทั้งหมดมีค่าสูงกว่า 80% จึงสามารถนำไปใช้ในการแยกชนิดน้ำมันได้เป็นอย่างดี และสามารถประยุกต์ใช้กับงานควบคุมคุณภาพน้ำมันได้

5.3 จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบเซ็นเซอร์อาร์เรย์ระบบปิด

ผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งได้ทำการทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ทั้งหมด 15 ชนิด พบว่าผลที่ได้จากการฉายภาพ PCA แสดงให้เห็นถึงการแยกแยะชนิดของน้ำมันได้ชัดเจนสามารถสกัดค่าความสัมพันธ์ของ PCA1ได้ 80.3628%, PCA2ได้ 11.5285%, PCA3ได้ 5.6044% และ PCA4ได้ 1.6266% เมื่อฉายภาพ2มิติระหว่าง PCA1 และ PCA2 ได้ความสัมพันธ์ 91.8913%,เมื่อฉายภาพ2มิติระหว่าง PCA1 และ PCA3 ได้ความสัมพันธ์ 85.9672% และเมื่อฉายภาพ PCA 3มิติจาก PCA1, PCA2 และ PCA3 ได้ความสัมพันธ์ถึง 97.4957% ซึ่งทั้งหมดมีค่าสูงกว่า 80% จึงสามารถนำไปใช้ในการแยกชนิดน้ำมันได้เป็นอย่างดี และสามารถประยุกต์ใช้กับงานควบคุมคุณภาพน้ำมันได้ ซึ่งในระบบปิดสามารถดึงเอาความสัมพันธ์มาได้สูงกว่าระบบเปิดคือที่ PCA1 สูงกว่า 2.8879% จึงทำให้การแยกกลุ่มของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ระบบปิดแยกกลุ่มได้ดีกว่า

5.4 จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟี่

ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ที่ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี่มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบกลิ่นของสารระเหย 4 ชนิดคือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ เอ็มไอบีเค เมื่อทำการวัดสารเดี่ยวและผสมซึ่งประกอบด้วย เมทานอล, เอทานอล, โพรพานอล, เอ็มไอบีเค, เมทานอล+เอทานอล, เมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล และเมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล+เอ็มไอบีเค พบว่าการนำเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี่มาประยุกต์ใช้งานเป็นระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าผลที่ได้จากการฉายภาพ PCA แสดงให้เห็นถึงการแยกแยะชนิดของน้ำมันได้ชัดเจนสามารถสกัดค่าความสัมพันธ์ของ PCA1 ได้ 37.5191%, PCA2 ได้ 27.3465%, PCA3 ได้ 20.8195% และ PCA4 ได้ 14.3149% และระบบสามารถแยกชนิดของไอสารเคมีที่มีการผสมกันมาได้ อย่างชัดเจนเนื่องจากเวลาที่เกิดพีคจะเกิดที่เวลาต่างกัน จากการทดสอบด้วยโปรแกรมพบว่าระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาบนพื้นฐานของระบบแก๊สโครมาโตกราฟี่ สามารถแยกชนิดของกลิ่นสารเคมีที่มีตัวเดียวและที่มีการผสมกันได้เป็นอย่างดีมีความถูกต้อง 100% เมื่อตรวจวัดสารดังกล่าว

5.5 จมูกอิเล็กทรอนิกส์เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี่ร่วมกับเซ็นเซอร์แบบดีบุกกอ๊อกไซด์

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี่ที่ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์แก๊สแบบดีบุกอ๊อกไซด์ ในการวัดค่าความเข้มข้นของสารเคมีช่วง 0.10%Vol-0.2%Vol มีผลตอบสนองของเซ็นเซอร์ไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อใช้กราฟมาตรฐานทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบการถดถอยเชิงเส้นพบว่าค่าความผิดพลาดอันเกิดมาจากกราฟมาตรฐานมีค่าสูง การวิเคราะห์ข้อมูลเหมาะสมที่จะใช้การถดถอยพหุนามเป็นกราฟมาตรฐานมากกว่า ซึ่งกราฟมาตรฐานที่ได้อยู่ในช่วง 0.004%Vol-0.5%Vol มีสมการกราฟมาตรฐานเป็น

กราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสองของเมทานอล สมการ $y = 242588.91x^2 + 36396413.42x - 38860253.25$

กราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสองของเอทานอล สมการ $y = 304217.45x^2 + 40131380.13x - 38127927.36$

กราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสองของโพรพานอล สมการ $y = 624947.42x^2 + 57245499.77x - 62121382.89$

และกราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสองของเอ็มไอบีเค สมการ $y = 275858.34x^2 + 25303643.76 -25724392.45$

เมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยพิจารณาจากตำแหน่งเวลาที่เกิดพีคขึ้นพบว่าบางครั้งจะเกิดพื้นที่ผิดพลาดขึ้นมาเช่นทดสอบเอ็มไอบีเคที่ความเข้มข้น 0.04% ซึ่งจะเกิดพื้นที่ที่เวลา 15.176 นาที พบว่ามีพื้นที่ที่เวลา 2.283 นาทีขึ้นมาด้วยดังนั้นถ้าพิจารณาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นลักษณะนี้ทั้งหมดมี 23 ครั้ง จำนวนครั้งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจพบพีคถูกต้องคิดเป็น 90.42%

เมื่อทำการทดสอบด้วยโปรแกรมได้กำหนดค่าต่ำสุดที่จะไม่พิจารณาค่าที่ต่ำเกินไปและกำหนดช่วงเวลาของสารแต่ละตัวแล้วทำการวิเคราะห์พบว่ามีความถูกต้องในการทำการวิเคราะห์ชนิดเป็น 100%

เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดในช่วงความเข้มข้น 0.01%Vol-0.2%Vol ค่าความถูกต้องในการวิเคราะห์ปริมาณแบ่งเป็นความถูกต้องในการวัดปริมาณเมทานอล ต่ำสุดเท่ากับ 67.66% สูงสุดเท่ากับ 99.90% ความถูกต้องในการวัดปริมาณเอทานอล ต่ำสุดเท่ากับ 64.67% สูงสุดเท่ากับ 99.88% ความถูกต้องในการวัดปริมาณโพรพานอล ต่ำสุดเท่ากับ 59.12% สูงสุดเท่ากับ 99.42% ความถูกต้องในการวัดปริมาณเอ็มไอบีเค ต่ำสุดเท่ากับ 62.38% สูงสุดเท่ากับ 99.88%

สัญญาณรบกวนของระบบมี Short term noise เท่ากับ 0.09 มิลิโวลต์ มี Long term noise เท่ากับ 0.47 มิลิโวลต์ และมี Drift เท่ากับ 0.0059 มิลิโวลต์ต่อนาที

5.6 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาปรับปรุงในอนาคต

จากผลการทดลองพบว่าการใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี่เป็นระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีข้อดีกว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถลดจำนวนเซ็นเซอร์ให้เหลือพียงตัวเดียวได้และความถูกต้องในการวิเคราะห์ชนิดของตัวอย่างมีความถูกต้องสูงกว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบเซ็นเซอร์อาร์เรย์ เนื่องจากจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟี่พิจารณาเวลาที่เกิดพีคขึ้นมา ซึ่งสารเคมีแต่ละตัวจะเกิดพีคในเวลาที่แตกต่างกันจึงอาศัยคุณสมบัตินี้เป็นตัวแยกว่าคือสารเคมีชนิดใด ข้อด้อยของงานวิจัยนี้ที่ยังต้องปรับปรุงคือยังใช้เวลาในการทดสอบตัวอย่างค่อนข้างยาวนานกล่าวคือใช้เวลาถึง 20 นาทีต่อตัวอย่าง และค่าที่วัดได้มีค่าความผิดพลาดสูงดังนั้นการพัฒนาวิจัยต่อในอนาคตสามารถแบ่งออกเป็นสามหัวข้อใหญ่ๆคือ

5.6.1 การพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์ เช่นศึกษาคอลัมน์ที่สามารถลดเวลาในการวิเคราะห์สารเคมีลงอีก เพิ่มการแยกชัด (Resolution) ของพีค ลดเวลาคืนค่า (Recovery time) ของเซ็นเซอร์ หรือศึกษาการทำงานร่วมเซ็นเซอร์ชนิดอื่น เช่น แบบแสง,แบบ TCD, แบบ SAW เป็นต้น และการลดขนาดของอุปกรณ์ลง เช่นลดขนาดอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิลง พัฒนาระบบบันทึกข้อมูล ลดขนาดระบบประมวลผลจากคอมพิวเตอร์เป็นระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กหรือพัฒนาเทคโนโลยีฝังตัวมาควบคุมการทำงานและแสดงผลเป็นต้น

5.6.2 พัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล นำเทคนิคอื่นๆเข้ามาใช้ร่วมในการวิเคราะห์ หรือพัฒนาเทคนิคใหม่ๆในการวิเคราะห์ ให้การอ่านค่าถูกต้องมากขึ้น ลดความผิดพลาดลง และพัฒนาโปรแกรมเก็บข้อมูลและประมวลผลให้สะดวกและเหมาะสมกับการใช้งานเป็นต้น

5.6.3 พัฒนาด้านการประยุกต์ใช้งาน นำเทคนิคนี้ไปใช้งานจริง เช่นการวัดปริมาณสารพิษในอากาศ ในเขตนิคมอุตสาหกรรม เพื่อควบคุมปริมาณมลพิษหรือแจ้งเตือนเมื่อเกิดการรั่วไหลของสารพิษเพื่อป้องกันชีวิตและทรัพย์สินของผู้ปฏิบัติงานและผู้อยู่อาศัยใกล้เคียง การประยุกต์ใช้ในงานตรวจวัดปริมาณสารระเหยที่สะสมในร่างกายผู้ปฏิบัติงาน ประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์เพื่อตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในร่างกายผู้ต้องหา หรืองานทางด้านอาหารเพื่อตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มเป็นต้น