

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจัย

4.1 คำนำ

ในการวิจัยเรื่องจุมูกอเล็กทรอนิกส์มีหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันทั้งลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติ และการประยุกต์ใช้งาน ทางผู้วิจัยได้ทำการวิจัยพัฒนาระบบจุมูกอเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ หลายลักษณะทางผู้วิจัยจึงได้แบ่งลักษณะของจุมูกอเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ จุมูกอเล็กทรอนิกส์ระบบเปิด จุมูกอเล็กทรอนิกส์ระบบปิด และจุมูกอเล็กทรอนิกส์แบบแก๊สโครมาโตกราฟี ทางผู้วิจัยได้พัฒนาระบบจุมูกอเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยจุมูกอเล็กทรอนิกส์ระบบเปิด สำหรับตรวจสอบชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง และได้ปรับปรุงเป็นจุมูกอเล็กทรอนิกส์ระบบปิดที่ใช้สำหรับตรวจสอบชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งทั้งสองแบบนี้เป็นจุมูกอเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์คือ ประกอบด้วยเซ็นเซอร์หลายๆตัว และทางผู้วิจัยได้พัฒนาระบบจุมูกอเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี ซึ่งเมื่อนำเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีมาใช้งานร่วมมีข้อดีที่สามารถวัดสารที่มีการผสมกันมาได้ จำนวนข้อมูลที่นำมาทำการวิเคราะห์ก็ลดน้อยลงเนื่องจากระบบสามารถลดจำนวนเซ็นเซอร์ลงเหลือเพียงตัวเดียว และจากคุณสมบัติของเซ็นเซอร์แบบดีบุกออกไซด์ที่ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความเข้มข้นของไอสารเคมีก็จะสามารถวัดปริมาณของไอสารเคมีเหล่านั้นได้ โดยได้พัฒนาระบบที่ใช้คอลัมน์ของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีที่ยาวขึ้นและมีระบบควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์เพื่อการจำแนกชนิดของสารเคมีที่มีหลายๆชนิดผสมกันให้มีประสิทธิภาพขึ้น

4.2 ผลการทดลองจุมูกอเล็กทรอนิกส์ระบบเปิดที่ประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ชนิดของ

น้ำมันเชื้อเพลิง

เมื่อทำการวัดค่าน้ำมันทุกชนิดจนเสร็จแล้วจากนั้นนำข้อมูลเฉพาะค่าที่อ่านได้สูงสุดจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวจากการทดลองทั้งหมดมาจัดเรียงค่าแรงดันสูงสุดหาได้จาก

$$x_{(\max)} = \text{Max}(x(n)) \quad (4.1)$$

ผลจากการทดลองจะได้ค่าแรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิดในการวัดชนิดละ 5 ครั้งแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิด

| ครั้งที่ | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 2 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 3 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 4 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 5 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 6 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 7 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 8 (V) |
|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Gasoline 91 | | | | | | | | |
| 1 | 3.306 | 2.912 | 2.138 | 4.214 | 2.179 | 3.983 | 0.421 | 0.732 |
| 2 | 3.285 | 3.106 | 2.159 | 4.224 | 2.311 | 3.993 | 0.462 | 0.793 |
| 3 | 3.163 | 2.228 | 2.077 | 4.163 | 1.812 | 3.932 | 0.36 | 0.814 |
| 4 | 3.285 | 2.688 | 2.108 | 4.193 | 2.117 | 4.014 | 0.441 | 0.814 |
| 5 | 3.193 | 2.779 | 2.067 | 4.183 | 2.087 | 3.973 | 0.431 | 0.814 |
| Gasoline 95 | | | | | | | | |
| 1 | 3.244 | 2.871 | 2.036 | 4.183 | 2.097 | 3.789 | 0.431 | 0.783 |
| 2 | 3.255 | 2.861 | 2.046 | 4.183 | 2.087 | 3.789 | 0.401 | 0.783 |
| 3 | 3.234 | 2.83 | 2.026 | 4.173 | 2.066 | 3.789 | 0.39 | 0.783 |
| 4 | 3.265 | 2.943 | 2.046 | 4.183 | 2.107 | 3.819 | 0.421 | 0.793 |
| 5 | 3.346 | 3.035 | 2.108 | 4.214 | 2.179 | 3.86 | 0.38 | 0.773 |
| Gasohol 91 | | | | | | | | |
| 1 | 4.143 | 3.545 | 2.526 | 4.336 | 2.372 | 4.085 | 0.38 | 0.763 |
| 2 | 4.143 | 3.433 | 2.465 | 4.316 | 2.24 | 4.075 | 0.38 | 0.793 |
| 3 | 4.102 | 3.382 | 2.424 | 4.296 | 2.199 | 4.044 | 0.431 | 0.865 |
| 4 | 4.173 | 3.453 | 2.496 | 4.367 | 2.382 | 4.106 | 0.492 | 0.824 |
| 5 | 4.02 | 3.086 | 2.414 | 4.275 | 2.107 | 4.034 | 0.39 | 0.855 |
| Gasohol 95 | | | | | | | | |
| 1 | 3.724 | 3.545 | 2.302 | 4.265 | 2.423 | 3.778 | 0.431 | 0.651 |
| 2 | 3.694 | 3.453 | 2.271 | 4.245 | 2.321 | 3.748 | 0.441 | 0.661 |
| 3 | 3.694 | 3.402 | 2.271 | 4.245 | 2.321 | 3.789 | 0.462 | 0.661 |
| 4 | 3.673 | 3.29 | 2.24 | 4.234 | 2.26 | 3.727 | 0.421 | 0.671 |
| 5 | 3.704 | 3.3 | 2.261 | 4.245 | 2.291 | 3.758 | 0.431 | 0.671 |

ตารางที่ 4.1 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิด (ต่อ)

| ครั้งที่ | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 2 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 3 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 4 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 5 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 6 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 7 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 8 (V) |
|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| E20 | | | | | | | | |
| 1 | 3.867 | 2.779 | 2.394 | 4.265 | 2.168 | 3.86 | 0.37 | 0.814 |
| 2 | 3.898 | 3.249 | 2.445 | 4.275 | 2.331 | 3.87 | 0.39 | 0.783 |
| 3 | 3.959 | 3.137 | 2.731 | 4.306 | 2.495 | 3.922 | 0.401 | 0.783 |
| 4 | 3.939 | 3.127 | 2.404 | 4.296 | 2.27 | 3.911 | 0.39 | 0.763 |
| 5 | 3.959 | 3.116 | 2.506 | 4.306 | 2.291 | 3.922 | 0.411 | 0.793 |
| Ethanol | | | | | | | | |
| 1 | 4.326 | 2.82 | 2.772 | 4.418 | 2.352 | 3.605 | 0.268 | 0.599 |
| 2 | 4.326 | 2.759 | 2.741 | 4.408 | 2.26 | 3.594 | 0.299 | 0.599 |
| 3 | 4.275 | 2.514 | 2.649 | 4.357 | 2.148 | 3.502 | 0.278 | 0.599 |
| 4 | 4.367 | 2.83 | 2.792 | 4.418 | 2.342 | 3.635 | 0.339 | 0.61 |
| 5 | 4.398 | 2.871 | 2.823 | 4.428 | 2.372 | 3.656 | 0.339 | 0.63 |
| Methanol | | | | | | | | |
| 1 | 4.367 | 2.8 | 2.322 | 4.214 | 1.771 | 3.564 | 0.309 | 0.651 |
| 2 | 4.378 | 2.902 | 2.322 | 4.224 | 1.852 | 3.574 | 0.309 | 0.732 |
| 3 | 4.408 | 3.29 | 2.322 | 4.214 | 1.832 | 3.707 | 0.309 | 0.651 |
| 4 | 4.347 | 2.994 | 2.251 | 4.173 | 1.802 | 3.584 | 0.288 | 0.702 |
| 5 | 4.326 | 2.943 | 2.22 | 4.163 | 1.761 | 3.584 | 0.288 | 0.753 |
| Kerosene | | | | | | | | |
| 1 | 2.417 | 0.186 | 1.208 | 3.458 | 0.731 | 3.124 | 0.237 | 0.599 |
| 2 | 2.591 | 0.207 | 1.351 | 3.601 | 0.782 | 3.298 | 0.237 | 0.61 |
| 3 | 2.468 | 0.176 | 1.239 | 3.53 | 0.742 | 3.134 | 0.248 | 0.61 |
| 4 | 2.366 | 0.156 | 1.086 | 3.377 | 0.691 | 3.001 | 0.248 | 0.61 |
| 5 | 2.622 | 0.176 | 1.259 | 3.581 | 0.752 | 3.196 | 0.248 | 0.63 |

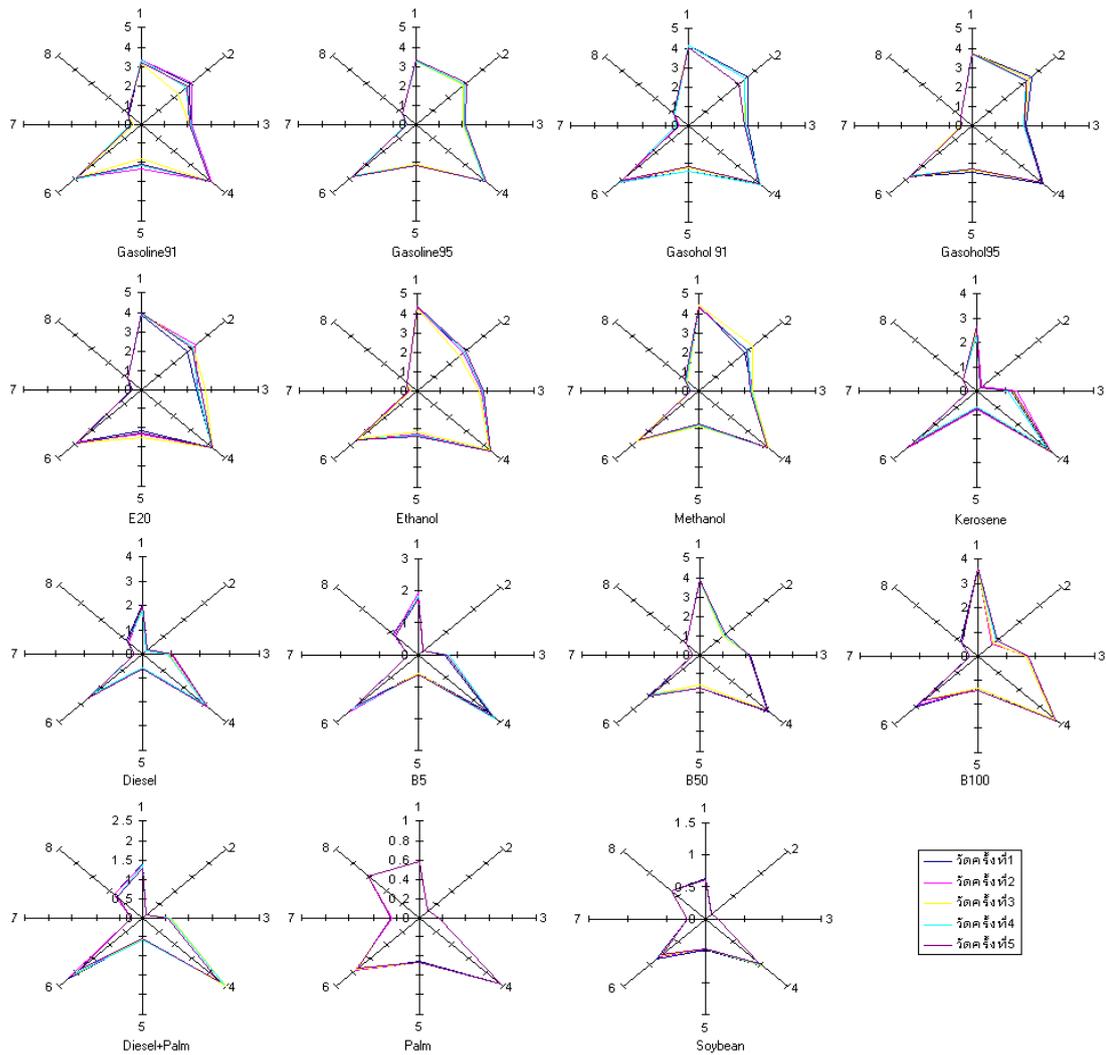
ตารางที่ 4.1 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิด (ต่อ)

| ครั้งที่ | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 2 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 3 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 4 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 5 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 6 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 7 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 8 (V) |
|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Diesel | | | | | | | | |
| 1 | 2.05 | 0.186 | 1.045 | 3.193 | 0.609 | 2.623 | 0.227 | 0.722 |
| 2 | 1.948 | 0.176 | 0.984 | 3.101 | 0.609 | 2.357 | 0.237 | 0.661 |
| 3 | 1.846 | 0.166 | 0.892 | 2.978 | 0.589 | 2.316 | 0.227 | 0.681 |
| 4 | 1.835 | 0.166 | 0.881 | 2.978 | 0.579 | 2.357 | 0.248 | 0.702 |
| 5 | 2.029 | 0.186 | 1.024 | 3.183 | 0.609 | 2.582 | 0.237 | 0.712 |
| B5 | | | | | | | | |
| 1 | 1.733 | 0.146 | 0.667 | 2.601 | 0.589 | 2.255 | 0.248 | 0.885 |
| 2 | 1.917 | 0.146 | 0.789 | 2.825 | 0.599 | 2.459 | 0.237 | 0.855 |
| 3 | 1.784 | 0.146 | 0.749 | 2.744 | 0.599 | 2.337 | 0.237 | 0.845 |
| 4 | 1.815 | 0.166 | 0.789 | 2.825 | 0.63 | 2.367 | 0.248 | 0.834 |
| 5 | 1.744 | 0.156 | 0.728 | 2.713 | 0.619 | 2.245 | 0.248 | 0.824 |
| B50 | | | | | | | | |
| 1 | 3.898 | 1.411 | 2.159 | 4.102 | 1.761 | 3.022 | 0.248 | 0.814 |
| 2 | 3.857 | 1.411 | 2.097 | 4.061 | 1.679 | 2.95 | 0.248 | 0.814 |
| 3 | 3.867 | 1.391 | 2.097 | 4.061 | 1.567 | 2.94 | 0.248 | 0.804 |
| 4 | 3.857 | 1.432 | 2.108 | 4.061 | 1.73 | 2.94 | 0.248 | 0.814 |
| 5 | 3.867 | 1.493 | 2.108 | 4.061 | 1.71 | 2.971 | 0.237 | 0.814 |
| B100 | | | | | | | | |
| 1 | 3.642 | 0.697 | 1.75 | 3.795 | 1.323 | 3.001 | 0.237 | 0.824 |
| 2 | 3.622 | 0.707 | 1.719 | 3.765 | 1.312 | 2.838 | 0.227 | 0.793 |
| 3 | 3.591 | 0.758 | 1.658 | 3.714 | 1.323 | 2.592 | 0.237 | 0.742 |
| 4 | 3.642 | 0.86 | 1.729 | 3.775 | 1.424 | 2.623 | 0.237 | 0.753 |
| 5 | 3.653 | 0.901 | 1.75 | 3.795 | 1.455 | 2.623 | 0.237 | 0.763 |

ตารางที่ 4.1 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิด (ต่อ)

| ครั้งที่ | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 2 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 3 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 4 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 5 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 6 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 7 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 8 (V) |
|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Diesel + Palm | | | | | | | |
| 1 | 1.396 | 0.105 | 0.595 | 2.468 | 0.538 | 2.265 | 0.227 | 0.824 |
| 2 | 1.366 | 0.105 | 0.616 | 2.499 | 0.548 | 2.143 | 0.237 | 0.814 |
| 3 | 1.366 | 0.115 | 0.606 | 2.499 | 0.548 | 2.061 | 0.237 | 0.783 |
| 4 | 1.376 | 0.115 | 0.595 | 2.448 | 0.558 | 2.04 | 0.227 | 0.783 |
| 5 | 1.284 | 0.105 | 0.554 | 2.335 | 0.548 | 1.938 | 0.227 | 0.783 |
| | Palm | | | | | | | |
| 1 | 0.59 | 0.105 | 0.166 | 0.977 | 0.456 | 0.773 | 0.227 | 0.61 |
| 2 | 0.59 | 0.105 | 0.166 | 0.977 | 0.467 | 0.773 | 0.227 | 0.61 |
| 3 | 0.59 | 0.105 | 0.166 | 0.977 | 0.467 | 0.752 | 0.237 | 0.61 |
| 4 | 0.58 | 0.105 | 0.166 | 0.977 | 0.467 | 0.742 | 0.237 | 0.61 |
| 5 | 0.58 | 0.105 | 0.166 | 0.977 | 0.467 | 0.742 | 0.237 | 0.61 |
| | Soybean | | | | | | | |
| 1 | 0.62 | 0.105 | 0.176 | 1.039 | 0.477 | 0.875 | 0.237 | 0.62 |
| 2 | 0.61 | 0.105 | 0.166 | 1.028 | 0.467 | 0.834 | 0.237 | 0.62 |
| 3 | 0.61 | 0.105 | 0.166 | 1.018 | 0.467 | 0.824 | 0.227 | 0.62 |
| 4 | 0.6 | 0.105 | 0.166 | 0.998 | 0.467 | 0.793 | 0.237 | 0.62 |
| 5 | 0.6 | 0.105 | 0.166 | 0.987 | 0.467 | 0.793 | 0.237 | 0.62 |

เมื่อนำผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวกับน้ำมันแต่ละชนิดที่นำมาแสดงแบบโพล่า พล็อตตามแกนเซ็นเซอร์ทั้ง 8 แกนแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวกับน้ำมันแต่ละชนิดที่นำมาแสดงแบบโพล่าพล็อต

การแสดงผลแบบโพล่าพล็อตจะนำค่าในการวัดแต่ละครั้งมาพล็อตที่แกนของเซ็นเซอร์แต่ละแกน จากการทดลองใช้จำนวนเซ็นเซอร์ทั้งหมด 8 ตัวจึงปรากฏเป็นแกน 8 แกน จากคุณสมบัติที่เซ็นเซอร์แต่ละตัวจะตอบสนองต่อกลิ้นสารเคมีแต่ละชนิดไม่เท่ากันจึงทำให้ค่าในแกนต่างๆของการวัดสารเคมีต่างชนิดกันแตกต่างกันซึ่งเราจะสามารถแยกแยะชนิดได้ว่าเป็นกลิ้นสารตัวใดจากลักษณะรูปภาพที่เกิดขึ้น เช่นกราฟของดีเซล จะแตกต่างจากกราฟของไบโอดีเซล 100 เป็นต้น แต่การวิเคราะห์วิธีนี้ไม่สะดวกต่อการวิเคราะห์ผลเนื่องจากหากข้อมูลใกล้เคียงกันจะไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นตัวอย่างใดได้เช่นลักษณะกราฟของ แก๊สโซฮอล์ 91 จะเหมือนกับโซฮอล์ 95 จนแยกความแตกต่างไม่ได้

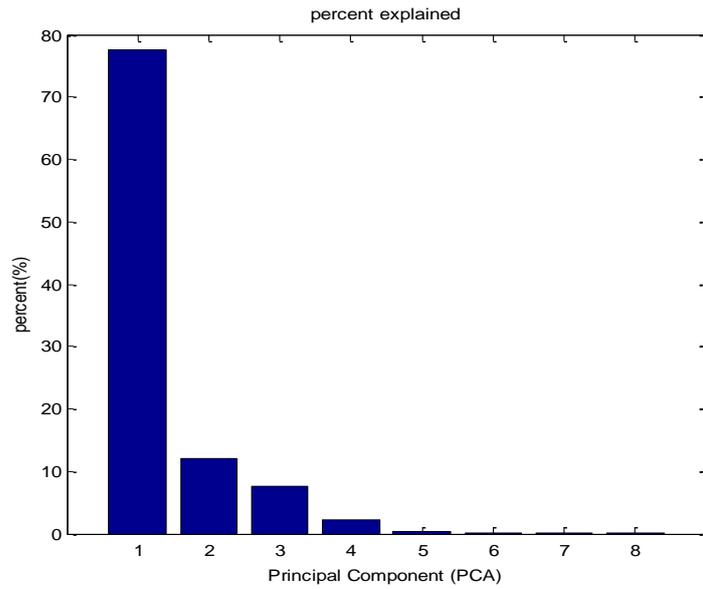
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่นิยมใช้สำหรับจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ คือวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis , PCA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดมิติของเวกเตอร์ลักษณะ โดยการฉาย (Project) เวกเตอร์ไปบนแกนใหม่ที่เรียกว่าแกนองค์ประกอบหลัก (Principle Component) ซึ่งแกนเหล่านี้มีความสำคัญแตกต่างกันลงไปตามความแปรปรวน (Variance) บนแต่ละแกนผลที่ได้จะ

เป็นการจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะข้อมูลเหมือนกันไว้ในตำแหน่ง เวกเตอร์เดียวกัน ทำให้สามารถแยกแยะชนิดของข้อมูลได้ว่าเป็นข้อมูลชนิดใด ผลการแยกกลุ่มของข้อมูลที่ได้จากความสูงของการตรวจวัดตัวอย่าง โดยนำผลที่ได้ทั้งหมดมาจัดเรียงให้อยู่ในรูปการวิเคราะห์แบบ PCA ใช้โปรแกรม MATLAB สกัดดึงเอาความสัมพันธ์ของเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัวมาเป็นค่าแปรใหม่หรือ PCA ได้เปอร์เซ็นต์ตัวแปรใหม่ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ภาพฉาย PCA 2 มิติ และ 3 มิติแสดงในรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 ตามลำดับ ผลที่ได้จากการทดลองในรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นการจัดกลุ่มของน้ำมันแต่ละชนิดอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถแยกชนิดของน้ำมัน เบนซิน95, แก๊สโซฮอล์95, เอทานอล20, เอทานอล, เมทานอล, น้ำมันก๊าด, ดีเซล, ไบโอดีเซล5, ไบโอดีเซล50, ไบโอดีเซล100, น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์ม 50% กับน้ำมันดีเซล 50%, น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลืองได้ แต่ข้อมูลของน้ำมันเบนซิน 91 กับ แก๊สโซฮอล์ 91 ค่อนข้างกระจุกกระจาย แต่สามารถแยกชนิดของน้ำมันเบนซิน 91 กับ แก๊สโซฮอล์ 91 ได้โดย PCA1 และ PCA4 ในรูปที่ 4.5 และในรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็น PCA 3 มิติจากข้อมูล PCA1, PCA2 และ PCA3 ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างก็จะสามารถพิสูจน์ได้ว่าเป็นน้ำมันชนิดใด

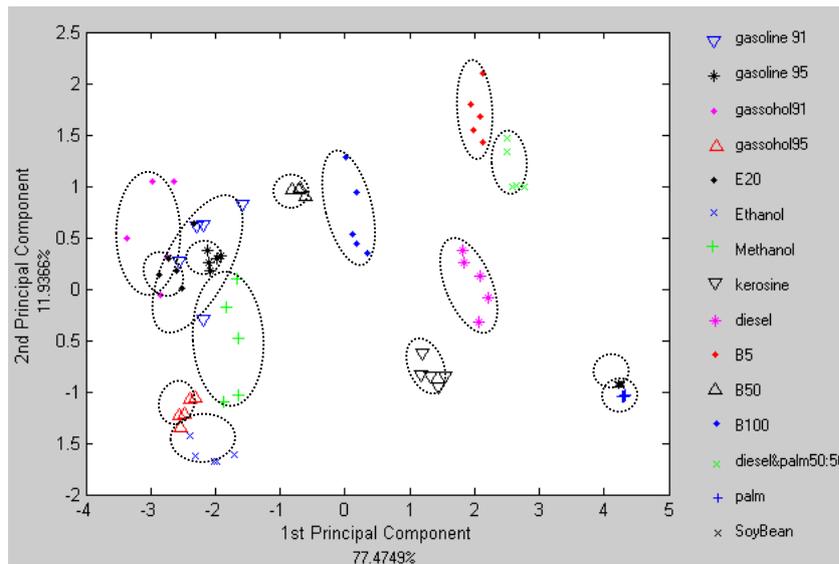
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้

| ตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ | เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ (%) |
|----------------------|-----------------------------|
| PCA1 | 77.4749 |
| PCA2 | 11.9366 |
| PCA3 | 7.6453 |
| PCA4 | 2.1988 |
| PCA5 | 0.3993 |
| PCA6 | 0.2235 |
| PCA7 | 0.0861 |
| PCA8 | 0.0355 |

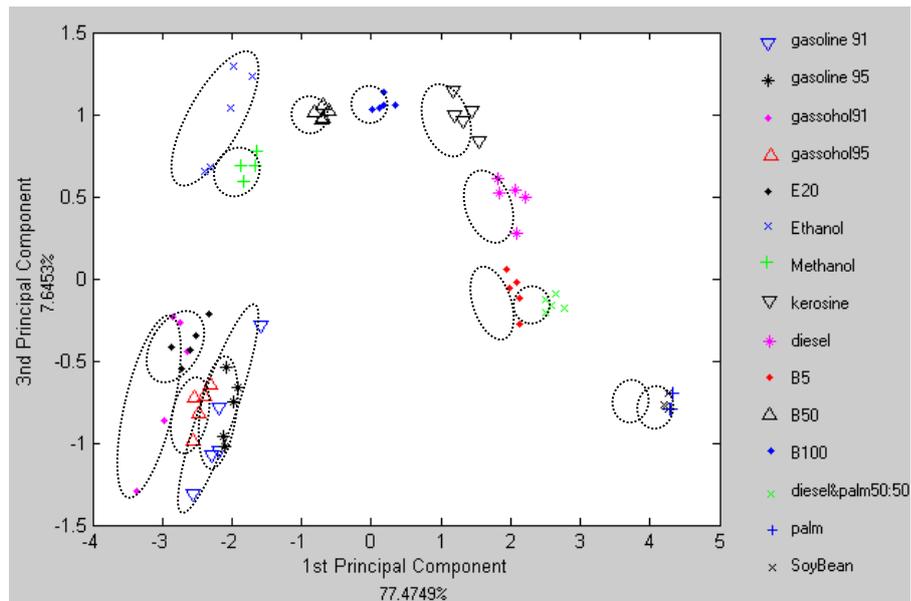
ตารางที่ 4.2 เป็นค่าของเปอร์เซนต์ใหม่ที่สกัดได้จากผลการทดลอง ซึ่งได้ทำการทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ทั้งหมด 15 ชนิด พบว่าผลที่ได้จากการฉายภาพ PCA แสดงให้เห็นถึงการแยกแยะชนิดของน้ำมันได้ชัดเจนสามารถสกัดค่าความสัมพันธ์ของได้ PCA1 = 77.4749%, PCA2 = 11.9366%, PCA3 = 7.6453% และ PCA4 = 2.1988% ตามลำดับ โดยเปอร์เซนต์ของ PCA ที่สกัดมาได้แสดงดังรูปที่ 4.2 ส่วนค่าของ PCA5 ถึง PCA8 มีค่าน้อยมากจนไม่ต้องนำมาพิจารณา



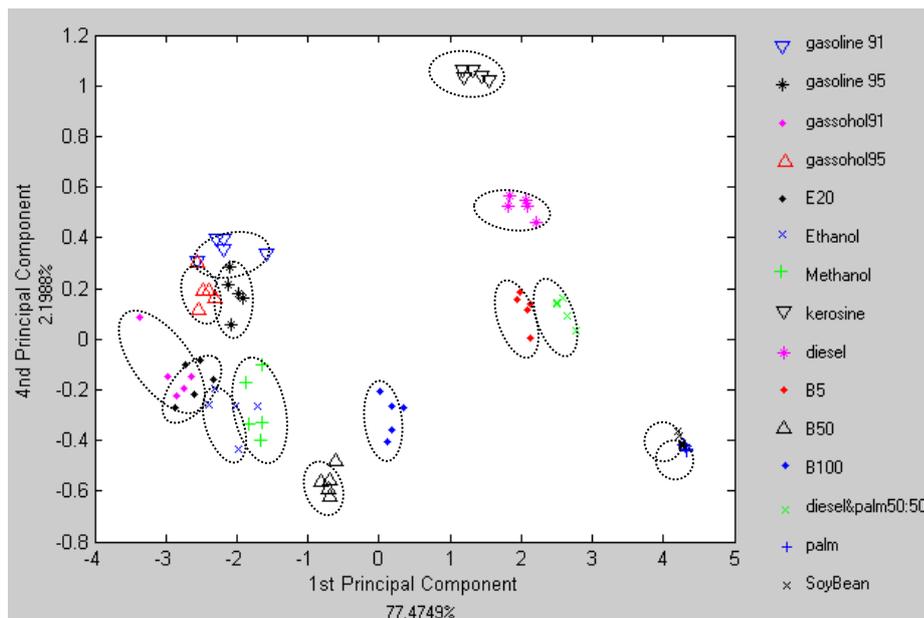
รูปที่ 4.2 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้



รูปที่ 4.3 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1 (77.4749%) และ PCA2 (11.9366%)



รูปที่ 4.4 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1 (77.4749%) และ PCA3 (7.6453%)

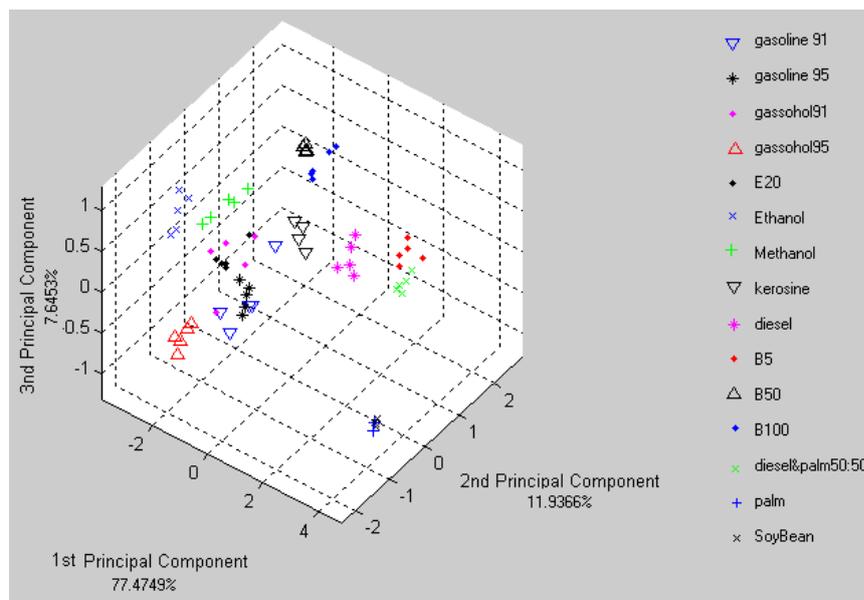


รูปที่ 4.5 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1 (77.4749%) และ PCA4 (2.1988%)

เมื่อฉายภาพ 2 มิติระหว่าง PCA1 และ PCA2 ได้ความสัมพันธ์ 89.4115%, เมื่อฉายภาพ 2 มิติระหว่าง PCA1 และ PCA3 ได้ความสัมพันธ์ 85.1202%, เมื่อฉายภาพ PCA 2 มิติระหว่าง PCA1 และ PCA4 ได้ความสัมพันธ์ 79.6737% และเมื่อฉายภาพ PCA 3 มิติจาก PCA1, PCA2 และ PCA3 ได้ความสัมพันธ์ถึง 97.0568% ซึ่งเกือบทั้งหมดมีค่าสูงกว่า 80% เมื่อผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA สามารถถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลจากทั้ง 8 เช่นเซอร์ได้สูงกว่า 80% จึงสามารถนำเสนอแทนข้อมูลทั้งหมดโดยลดตัวแปรลงเหลือเพียง 2 และ 3 ตัวแปรจากการฉายภาพ PCA 2 มิติ และ PCA 3

มิติตามลำดับ ผลที่ได้จากการฉายภาพ PCA จึงสามารถนำไปใช้ในการแยกชนิดน้ำมันได้เป็นอย่างดี โดยจากการทดลองสามารถแยกชนิดของน้ำมัน เบนซิน95 (แก๊สโซลีน95), แก๊สโซฮอลล์95, เอทานอล20, เอทานอล, เมทานอล, น้ำมันก๊าด (Kerosene), ดีเซล, ไบโอดีเซล5, ไบโอดีเซล50, ไบโอดีเซล100, น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์ม 50% กับน้ำมันดีเซล 50% , น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลืองได้โดยการฉายภาพ PCA1 กับ PCA2 และสามารถแยกชนิดของน้ำมันเบนซิน91 กับ แก๊สโซฮอลล์91 ได้โดย PCA1 และ PCA4

ผลที่ได้จากการทดสอบเกิดเป็นกลุ่มข้อมูลของน้ำมันแต่ละชนิดขึ้นมาเช่น ดีเซล กับ ไบโอดีเซล5 จะเป็นข้อมูลแยกกลุ่มกันจึงทำให้เกิดการแยกชนิดของน้ำมันแต่ละชนิดได้ เพราะเมื่อทำการทดสอบกับน้ำมันชนิดใดข้อมูลก็จะไปอยู่ในกลุ่มน้ำมันชนิดนั้นแต่ผลจากการทดสอบในรูปแบบที่ 4.3 รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 พบว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 แก๊สโซลีน 95 แก๊สโซฮอลล์ 91 แก๊สโซฮอลล์ 95 และ เอทานอล20 มีการจัดกลุ่มใกล้เคียงกันมากยากต่อการวิเคราะห์แยกกลุ่ม แต่สามารถวิเคราะห์โดยวิธีการฉายภาพ PCA 3 มิติซึ่งแสดงในรูปที่ 4.6 ได้



รูปที่ 4.6 ภาพฉาย PCA 3 มิติจากข้อมูล PCA1 (77.4749%), PCA2 (11.9366%) และ PCA3 (7.6453%)

การแสดงผลโดยการฉายภาพ PCA 3 มิติ คือการพล็อตข้อมูลจากแกนองค์ประกอบหลัก 3 แกน โดยทำการพล็อตข้อมูลจากแกน PCA1, PCA2 และ PCA3 การแสดงผลโดยการฉายภาพ PCA แสดงให้เห็นถึงการจัดกลุ่มข้อมูลจากน้ำมันชนิดต่างๆ จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการแยกชนิดน้ำมันชนิดต่างๆ ดังนั้นจึงสามารถนำมาตรวจสอบน้ำมันปลอมและการควบคุมคุณภาพน้ำมันได้จากการอ่านผลตำแหน่งของน้ำมันตัวอย่างที่ทดสอบว่าปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งน้ำมันชนิดใด

4.3 ผลการทดลองจุ่มกิโลอิเล็กทริกส์ระบบปิดที่ประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลจากการทดลองจะได้ค่าแรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิดในการวัดชนิดละ 5 ครั้งแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิด

| ครั้งที่ | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 2 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 3 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 4 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 5 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 6 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 7 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 8 (V) |
|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Gasoline 91 | | | | | | | | |
| 1 | 3.183 | 2.126 | 2.271 | 4.163 | 1.975 | 4.003 | 0.421 | 0.875 |
| 2 | 3.265 | 2.106 | 2.465 | 4.214 | 2.077 | 4.044 | 0.523 | 0.885 |
| 3 | 3.203 | 1.738 | 2.455 | 4.193 | 1.934 | 4.024 | 0.523 | 0.875 |
| 4 | 3.122 | 1.442 | 2.404 | 4.163 | 1.781 | 4.003 | 0.502 | 0.875 |
| 5 | 3.04 | 1.228 | 2.343 | 4.132 | 1.638 | 3.983 | 0.472 | 0.875 |
| Gasoline 95 | | | | | | | | |
| 1 | 2.366 | 0.513 | 1.443 | 3.56 | 0.711 | 3.645 | 0.258 | 0.702 |
| 2 | 2.448 | 0.564 | 1.627 | 3.673 | 0.691 | 3.697 | 0.309 | 0.732 |
| 3 | 2.428 | 0.544 | 1.648 | 3.673 | 0.66 | 3.686 | 0.319 | 0.732 |
| 4 | 2.397 | 0.513 | 1.638 | 3.652 | 0.63 | 3.686 | 0.319 | 0.732 |
| 5 | 2.366 | 0.493 | 1.607 | 3.612 | 0.609 | 3.676 | 0.329 | 0.732 |
| Gasohol 91 | | | | | | | | |
| 1 | 4.061 | 2.83 | 2.843 | 4.408 | 2.311 | 4.136 | 0.472 | 0.732 |
| 2 | 4.153 | 2.677 | 3.048 | 4.459 | 2.423 | 4.167 | 0.635 | 0.783 |
| 3 | 4.143 | 2.422 | 3.088 | 4.469 | 2.403 | 4.157 | 0.666 | 0.793 |
| 4 | 4.133 | 2.289 | 3.099 | 4.469 | 2.393 | 4.146 | 0.666 | 0.793 |
| 5 | 4.122 | 2.228 | 3.099 | 4.469 | 2.382 | 4.146 | 0.645 | 0.793 |

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิด (ต่อ)

| ครั้งที่ | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 2 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 3 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 4 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 5 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 6 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 7 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 8 (V) |
|------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Gasohol 95 | | | | | | | | |
| 1 | 3.54 | 1.789 | 2.496 | 4.296 | 2.005 | 3.922 | 0.492 | 0.845 |
| 2 | 3.52 | 1.605 | 2.414 | 4.183 | 1.975 | 3.829 | 0.533 | 0.834 |
| 3 | 3.346 | 1.452 | 2.322 | 4.142 | 1.812 | 3.799 | 0.533 | 0.834 |
| 4 | 3.203 | 1.269 | 2.24 | 4.102 | 1.659 | 3.778 | 0.513 | 0.845 |
| 5 | 3.081 | 1.126 | 2.179 | 4.071 | 1.537 | 3.758 | 0.492 | 0.845 |
| E20 | | | | | | | | |
| 1 | 2.131 | 0.462 | 1.525 | 3.642 | 0.63 | 3.564 | 0.268 | 0.64 |
| 2 | 2.734 | 0.952 | 2.138 | 4.051 | 0.874 | 3.737 | 0.39 | 0.773 |
| 3 | 2.479 | 0.544 | 1.862 | 3.867 | 0.701 | 3.676 | 0.35 | 0.753 |
| 4 | 2.346 | 0.452 | 1.719 | 3.744 | 0.619 | 3.635 | 0.339 | 0.742 |
| 5 | 2.274 | 0.411 | 1.627 | 3.663 | 0.568 | 3.615 | 0.319 | 0.732 |
| Ethanol | | | | | | | | |
| 1 | 4.184 | 2.545 | 2.966 | 4.449 | 2.454 | 3.768 | 0.411 | 0.702 |
| 2 | 4.184 | 2.422 | 3.017 | 4.459 | 2.566 | 3.758 | 0.513 | 0.712 |
| 3 | 4.153 | 2.279 | 2.996 | 4.449 | 2.566 | 3.727 | 0.543 | 0.722 |
| 4 | 4.122 | 2.208 | 2.966 | 4.439 | 2.535 | 3.686 | 0.553 | 0.722 |
| 5 | 4.112 | 2.167 | 2.945 | 4.428 | 2.525 | 3.656 | 0.553 | 0.732 |
| Methanol | | | | | | | | |
| 1 | 4.429 | 3.055 | 2.772 | 4.316 | 2.525 | 3.748 | 0.502 | 0.763 |
| 2 | 4.439 | 2.953 | 2.772 | 4.326 | 2.586 | 3.697 | 0.594 | 0.773 |
| 3 | 4.429 | 2.841 | 2.751 | 4.306 | 2.607 | 3.666 | 0.635 | 0.783 |
| 4 | 4.408 | 2.759 | 2.721 | 4.285 | 2.607 | 3.645 | 0.655 | 0.783 |
| 5 | 4.408 | 2.739 | 2.71 | 4.275 | 2.617 | 3.645 | 0.655 | 0.793 |

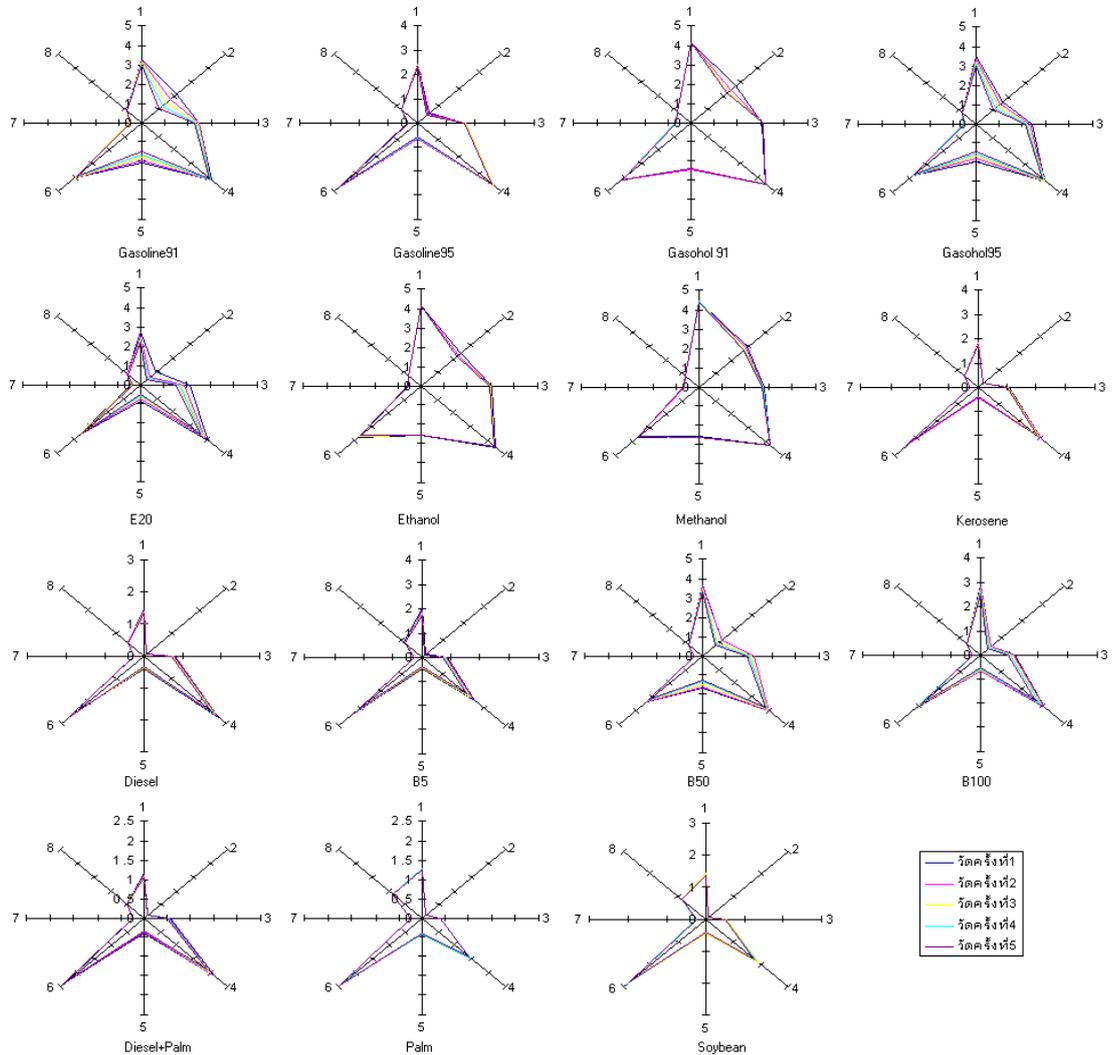
ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิด (ต่อ)

| ครั้งที่ | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 2 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 3 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 4 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 5 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 6 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 7 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 8 (V) |
|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Kerosene | | | | | | | | |
| 1 | 1.866 | 0.176 | 0.963 | 2.938 | 0.507 | 3.369 | 0.237 | 0.651 |
| 2 | 1.876 | 0.197 | 1.055 | 3.03 | 0.467 | 3.41 | 0.248 | 0.64 |
| 3 | 1.846 | 0.207 | 1.045 | 2.999 | 0.436 | 3.41 | 0.248 | 0.63 |
| 4 | 1.805 | 0.207 | 1.024 | 2.948 | 0.416 | 3.4 | 0.248 | 0.63 |
| 5 | 1.774 | 0.217 | 0.994 | 2.897 | 0.405 | 3.39 | 0.248 | 0.63 |
| Diesel | | | | | | | | |
| 1 | 1.488 | 0.115 | 0.769 | 2.733 | 0.467 | 2.48 | 0.248 | 0.559 |
| 2 | 1.468 | 0.105 | 0.789 | 2.713 | 0.416 | 2.613 | 0.248 | 0.559 |
| 3 | 1.407 | 0.105 | 0.759 | 2.631 | 0.385 | 2.654 | 0.258 | 0.548 |
| 4 | 1.366 | 0.095 | 0.728 | 2.56 | 0.365 | 2.674 | 0.258 | 0.559 |
| 5 | 1.335 | 0.095 | 0.708 | 2.509 | 0.354 | 2.705 | 0.258 | 0.559 |
| B5 | | | | | | | | |
| 1 | 2.172 | 0.156 | 0.892 | 2.642 | 0.579 | 3.349 | 0.237 | 0.865 |
| 2 | 2.009 | 0.146 | 0.861 | 2.539 | 0.507 | 3.277 | 0.237 | 0.855 |
| 3 | 1.907 | 0.135 | 0.83 | 2.437 | 0.467 | 3.216 | 0.248 | 0.845 |
| 4 | 1.815 | 0.135 | 0.769 | 2.305 | 0.436 | 3.165 | 0.237 | 0.845 |
| 5 | 1.764 | 0.135 | 0.749 | 2.223 | 0.426 | 3.134 | 0.248 | 0.845 |
| B50 | | | | | | | | |
| 1 | 3.745 | 0.983 | 2.097 | 3.969 | 1.537 | 3.277 | 0.278 | 0.793 |
| 2 | 3.683 | 1.156 | 2.23 | 4.04 | 1.649 | 3.349 | 0.309 | 0.783 |
| 3 | 3.602 | 1.126 | 2.199 | 4.02 | 1.608 | 3.329 | 0.319 | 0.783 |
| 4 | 3.5 | 1.003 | 2.108 | 3.959 | 1.486 | 3.298 | 0.309 | 0.783 |
| 5 | 3.408 | 0.881 | 2.005 | 3.877 | 1.363 | 3.257 | 0.309 | 0.783 |

ตารางที่ 4.3 แรงดันตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวต่อน้ำมันแต่ละชนิด (ต่อ)

| ครั้งที่ | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 1 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 2 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 3 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 4 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 5 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 6 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 7 (V) | เซ็นเซอร์ ตัวที่ 8 (V) |
|---------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| B100 | | | | | | | | |
| 1 | 2.846 | 0.431 | 1.076 | 2.968 | 0.67 | 3.073 | 0.237 | 0.651 |
| 2 | 2.877 | 0.544 | 1.198 | 3.111 | 0.681 | 3.114 | 0.248 | 0.63 |
| 3 | 2.805 | 0.523 | 1.167 | 3.07 | 0.65 | 3.063 | 0.248 | 0.62 |
| 4 | 2.703 | 0.472 | 1.096 | 2.948 | 0.609 | 3.001 | 0.248 | 0.61 |
| 5 | 2.611 | 0.421 | 1.024 | 2.825 | 0.568 | 2.94 | 0.248 | 0.599 |
| Diesel + Palm | | | | | | | | |
| 1 | 1.172 | 0.115 | 0.544 | 2.151 | 0.436 | 2.224 | 0.237 | 0.508 |
| 2 | 1.151 | 0.105 | 0.565 | 2.151 | 0.385 | 2.347 | 0.237 | 0.508 |
| 3 | 1.111 | 0.105 | 0.544 | 2.09 | 0.365 | 2.388 | 0.237 | 0.508 |
| 4 | 1.07 | 0.095 | 0.514 | 2.009 | 0.344 | 2.398 | 0.237 | 0.518 |
| 5 | 1.039 | 0.095 | 0.503 | 1.937 | 0.334 | 2.398 | 0.237 | 0.518 |
| Palm | | | | | | | | |
| 1 | 1.243 | 0.105 | 0.381 | 1.406 | 0.385 | 2.47 | 0.227 | 0.865 |
| 2 | 1.284 | 0.105 | 0.391 | 1.488 | 0.416 | 2.398 | 0.227 | 0.875 |
| 3 | 1.264 | 0.105 | 0.391 | 1.447 | 0.395 | 2.459 | 0.227 | 0.875 |
| 4 | 1.243 | 0.105 | 0.381 | 1.406 | 0.385 | 2.47 | 0.227 | 0.865 |
| 5 | 1.284 | 0.105 | 0.391 | 1.488 | 0.416 | 2.398 | 0.227 | 0.875 |
| Soybean | | | | | | | | |
| 1 | 1.417 | 0.105 | 0.534 | 1.927 | 0.426 | 2.817 | 0.237 | 0.875 |
| 2 | 1.376 | 0.105 | 0.503 | 1.835 | 0.416 | 2.787 | 0.237 | 0.865 |
| 3 | 1.356 | 0.105 | 0.483 | 1.753 | 0.405 | 2.746 | 0.227 | 0.865 |
| 4 | 1.417 | 0.105 | 0.534 | 1.927 | 0.426 | 2.817 | 0.237 | 0.865 |
| 5 | 1.376 | 0.105 | 0.503 | 1.835 | 0.416 | 2.787 | 0.237 | 0.865 |

ผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวกับน้ำมันแต่ละชนิดที่นำมาแสดงแบบโพล่าพล็อตตามแกน เซ็นเซอร์ทั้ง 8 แกนแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การตอบสนองของเซ็นเซอร์แต่ละตัวกับน้ำมันแต่ละชนิดที่นำมาแสดงแบบโพล่าพล็อต

ผลจากการพล็อตแบบโพล่าพล็อตตามจำนวนแกนทั้ง 8 แกนพบว่าจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ระบบปิดมีความแตกต่างกันของรูปภาพของตัวอย่างแต่ละชนิดคิดว่าจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ระบบเปิด เช่นความแตกต่างของแก๊สโซฮอลล์91 กับแก๊สโซฮอลล์95 ชัดเจนกว่าระบบเปิด ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี PCA ก็จะสามารถเห็นการแยกกลุ่มที่ชัดเจนขึ้น

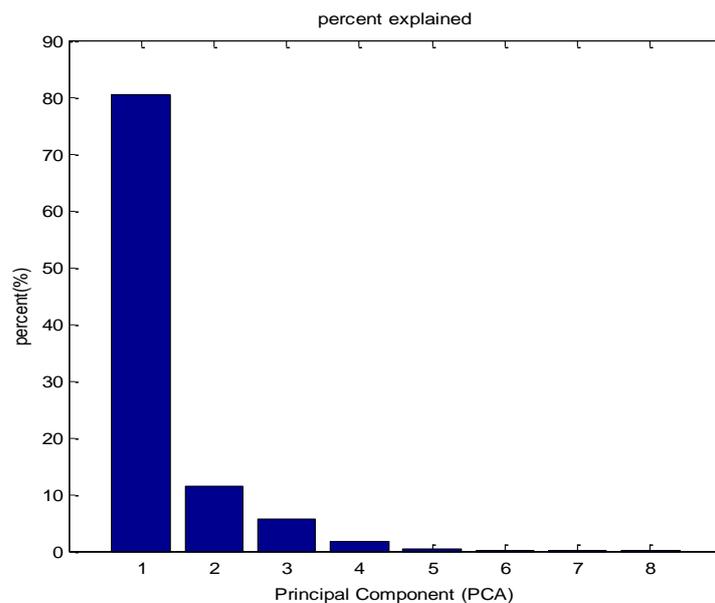
นำผลที่ได้ทั้งหมดมาจัดเรียงให้อยู่ในรูปการวิเคราะห์แบบ PCA ทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MATLAB จะสามารถสกัดดึงเอาความสัมพันธ์ของเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ตัวมาเป็นตัวแปรใหม่หรือ PCA ได้เปอร์เซ็นต์ตัวแปรใหม่ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.8 ผลของการวิเคราะห์แบบ PCA โดยโปรแกรม

ภาพฉาย PCA 2 มิติ และ 3 มิติแสดงในรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ ซึ่งแสดงการแยกกลุ่มข้อมูลขื่อน้ำมันชนิดต่างๆอย่างชัดเจน

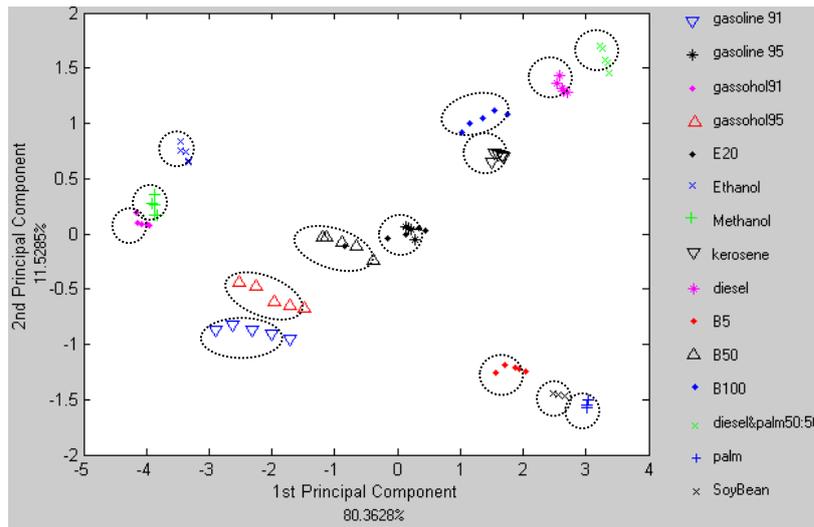
ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้

| ตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ | เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ (%) |
|----------------------|------------------------------|
| PCA1 | 80.3628 |
| PCA2 | 11.5285 |
| PCA3 | 5.6044 |
| PCA4 | 1.6266 |
| PCA5 | 0.4569 |
| PCA6 | 0.2210 |
| PCA7 | 0.1246 |
| PCA8 | 0.0753 |

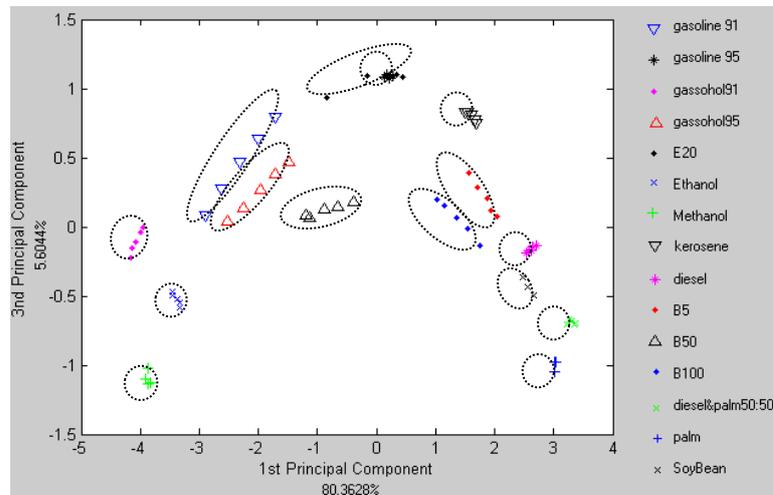
ตารางที่ 4.4 เป็นค่าของเปอร์เซ็นต์ใหม่ที่สกัดได้จากผลการทดลอง ซึ่งได้ทำการทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ทั้งหมด 15 ชนิด จากการใช้เซ็นเซอร์ 8 ตัวซึ่งเมื่อใช้เทคนิค PCA ลดตัวแปรสามารถสกัดค่าความสัมพันธ์สร้างตัวแปรใหม่ได้ PCA1 = 80.3628%, PCA2 = 11.5285%, PCA3 = 5.6044% และ PCA4 = 1.6266% ตามลำดับ ในรูปที่ 4.8 เป็นผลเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่แต่ละตัวที่สกัดได้ตามลำดับ PCA แต่ละตัวโดยพบว่าตั้งแต่ PCA5 ถึง PCA8 มีค่าน้อยมากจนไม่ต้องนำมาพิจารณา



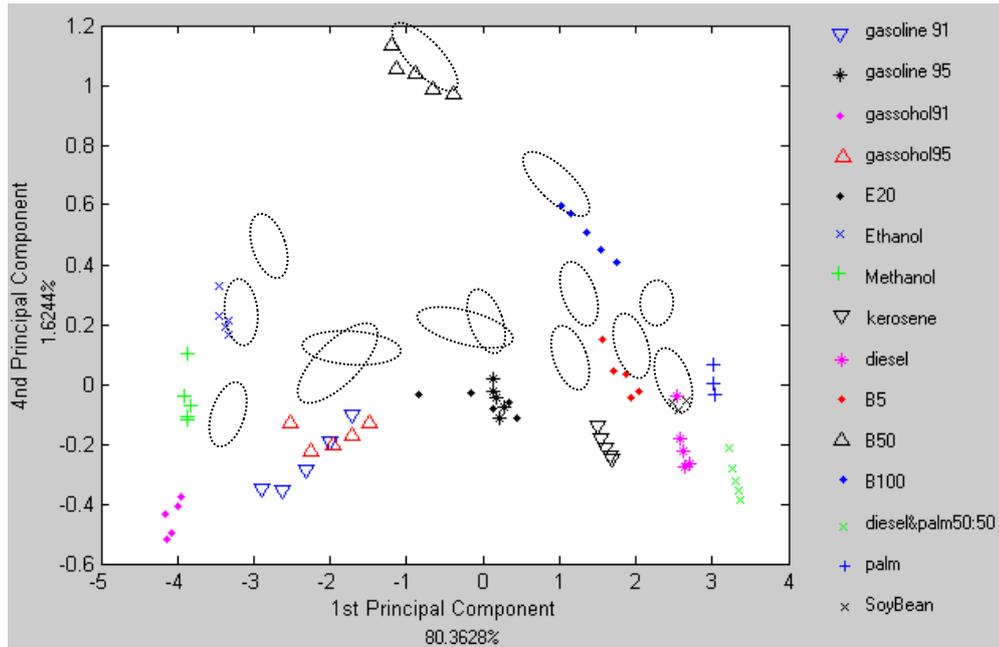
รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้



รูปที่ 4.9 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1(80.3628%) และ PCA2(11.5285%)



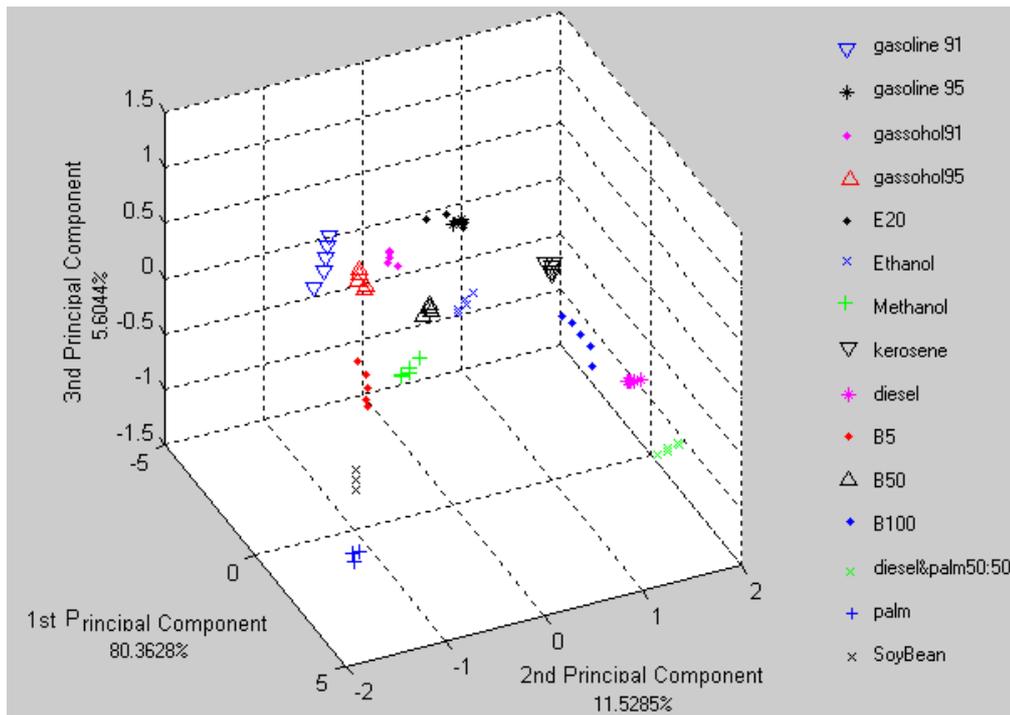
รูปที่ 4.10 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1(80.3628%) และ PCA3(5.6044%)



รูปที่ 4.11 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1(80.3628%)และ PCA4(1.6266%)

ผลที่ได้จากการทดลองได้ทำการทดสอบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ทั้งหมด 15 ชนิด พบว่าผลที่ได้จากการฉายภาพ PCA แสดงให้เห็นถึงการแยกแยะชนิดของน้ำมันได้ชัดเจนสามารถสกัดค่าความสัมพันธ์ของ PCA1 ได้ 80.3628%, PCA2 ได้ 11.5285%, PCA3 ได้ 5.6044% และ PCA4 ได้ 1.6266% เมื่อฉายภาพ 2 มิติระหว่าง PCA1 และ PCA2 ได้ความสัมพันธ์ 91.8913% เมื่อฉายภาพ 2 มิติระหว่าง PCA1 และ PCA3 ได้ความสัมพันธ์ 85.9672% และเมื่อฉายภาพ 2 มิติระหว่าง PCA1 และ PCA4 ได้ความสัมพันธ์ 81.9894%

ผลที่ได้จากการทดสอบเกิดเป็นกลุ่มข้อมูลของน้ำมันแต่ละชนิดขึ้นมาเช่น ดีเซล กับ ไบโอดีเซล 5 จะเป็นข้อมูลแยกกลุ่มกันจึงทำให้เกิดการแยกชนิดของน้ำมันแต่ละชนิดได้ เพราะเมื่อทำการทดสอบกับน้ำมันชนิดใดข้อมูลก็จะไปอยู่ในกลุ่มน้ำมันชนิดนั้น เมื่อนำผลที่ได้มาทำการฉายภาพ PCA 3 มิติก็จะสามารถจัดกลุ่มข้อมูลได้ชัดเจนขึ้นเนื่องจากสามารถเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ขึ้นแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ภาพฉาย PCA 3 มิติจากข้อ PCA1(80.3628%), PCA2(11.5285%) และ PCA3(5.6044%)

และเมื่อฉายภาพ PCA 3 มิติจาก PCA1, PCA2 และ PCA3 ได้ความสัมพันธ์ถึง 97.4957% ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ทั้งหมดถึงความสัมพันธ์ได้สูง 80% จึงสามารถนำไปใช้ในการแยกชนิดน้ำมันได้เป็นอย่างดี และสามารถประยุกต์ใช้กับงานควบคุมคุณภาพน้ำมันได้

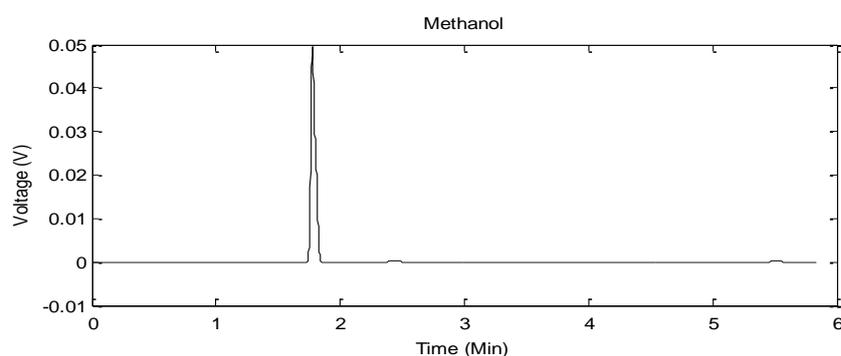
4.4 ผลการทดลองจุ่มอิเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ที่ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี

การพัฒนาจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนี้ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีทำงานร่วมกับการวิเคราะห์แบบ PCA เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ เนื่องจากจุ่มอิเล็กทรอนิกส์แบบที่ใช้เซ็นเซอร์อาร์เรย์อาศัยความไวที่แตกต่างกันของเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ กับสารเคมีชนิดต่างๆ เป็นผลให้เกิดข้อมูลที่มีลักษณะมีรูปแบบ (Pattern) งานวิจัยชิ้นนี้มีแนวความคิดว่าเมื่อเราใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีซึ่งสารเคมีแต่ละตัวจะให้สัญญาณพีคที่เวลาต่างๆกันไปแต่สารเคมีแต่ละชนิดก็จะให้รูปแบบของพีคที่เหมือนกันเมื่อสารเคมีมีการผสมกันมากก็จะให้รูปแบบของลักษณะพีคที่มีหลายๆพีคจากหลายชนิดสารเคมี ดังนั้นเราสามารถวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิค PCA ได้โดยให้ข้อมูลในช่วงพีคแต่ช่วงเป็นข้อมูลแทนเซ็นเซอร์แต่ละตัวหากแบ่งโครมาโตแกรมเป็น 4 ช่วงเวลาก็เสมือนกับมีเซ็นเซอร์ 4 ตัว กล่าวคือนำรูปแบบของแกน x ของโครมาโตแกรมที่ได้มาเป็นข้อมูลที่จะทำการวิเคราะห์โดย PCA นั้นเอง และผลการวิเคราะห์สามารถวิเคราะห์โดยการพัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบว่าในช่วงเวลานั้นมีพีคเกิดขึ้น

หรือไม่ถ้ามีพีคเกิดขึ้นก็แสดงว่ามีสารเคมีนั้นนั่นเอง ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์ 2 วิธีคือ

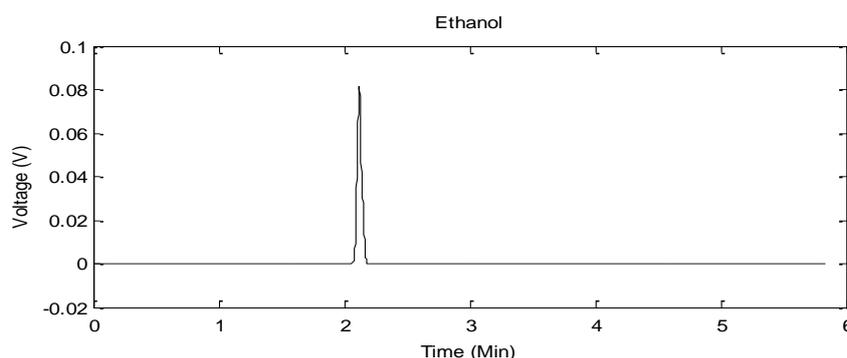
- วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการ PCA
- วิเคราะห์ข้อมูลโดยพัฒนาโปรแกรม

ผลที่ได้จากการทดสอบในรูปที่ 4.13 เป็นผลการวัดเมทานอล, รูปที่ 4.14 ผลการวัดเอทานอล, รูปที่ 4.15 ผลการวัด โพรพานอล, รูปที่ 4.16 ผลการวัด เอ็มไอบีเค(เอ็กเซน), รูปที่ 4.17 ผลการวัดเมทานอล+เอทานอล, รูปที่ 4.18 ผลการวัดเมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล และรูปที่ 4.19 ผลการวัดเมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล+เอ็มไอบีเค



รูปที่ 4.13 ผลการวัดเมทานอล

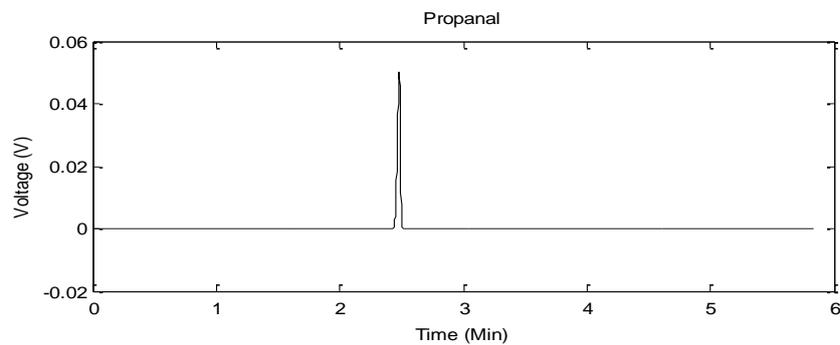
ผลจากการทดสอบในรูปที่ 4.13 เป็นผลของการทดสอบเมทานอลตัวเดียวจะเกิดพีคของสารเมทานอลขึ้นมาเพียงพีคเดียวที่เวลา 1.80 นาที มีระดับความสูงของสัญญาณที่ 0.05 โวลต์



รูปที่ 4.14 ผลการวัดเอทานอล

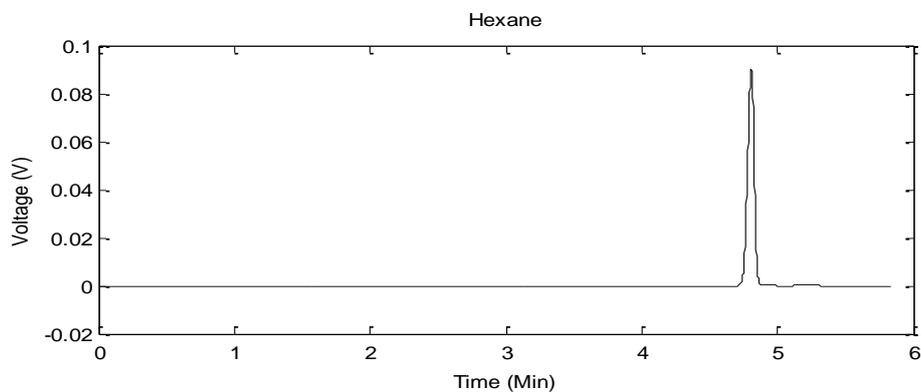
ผลจากการทดสอบในรูปที่ 4.14 เป็นผลของการทดสอบเอทานอลตัวเดียวจะเกิดพีคของสารเอทานอลขึ้นมาเพียงพีคเดียวที่เวลา 2.10 นาที มีระดับความสูงของสัญญาณที่ 0.08 โวลต์ ซึ่งจะพบว่าเวลา

ที่เกิดพีคขึ้นมาจะอยู่ในตำแหน่งเวลาที่แตกต่างจากพีคเมทานอลเนื่องจากพีคเมทานอลเกิดที่เวลา 1.80 นาที



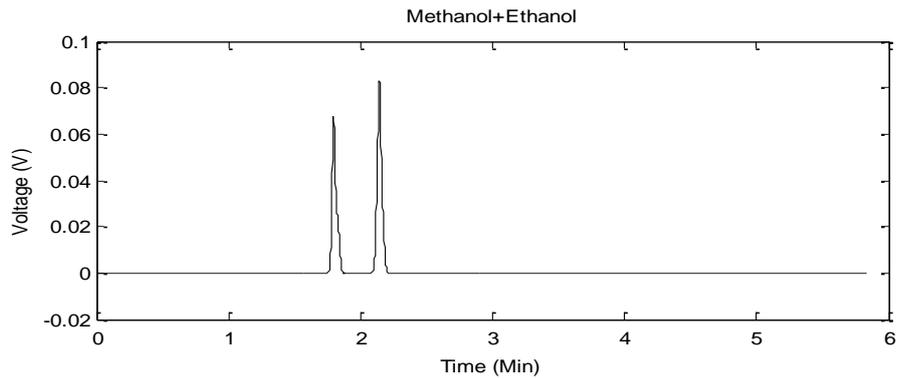
รูปที่ 4.15 ผลการวัด โพรพานอล

ผลจากการทดสอบในรูปที่ 4.15 เป็นผลของการทดสอบโพรพานอลตัวเดียวจะเกิดพีคของสารโพรพานอลขึ้นมาเพียงพีคเดียวที่เวลา 2.50 นาที มีระดับความสูงของสัญญาณที่ 0.055 โวลต์ ซึ่งจะพบว่าเวลาที่เกิดพีคขึ้นมาจะอยู่ในตำแหน่งเวลาที่แตกต่างจากพีคเมทานอลและเอทานอล



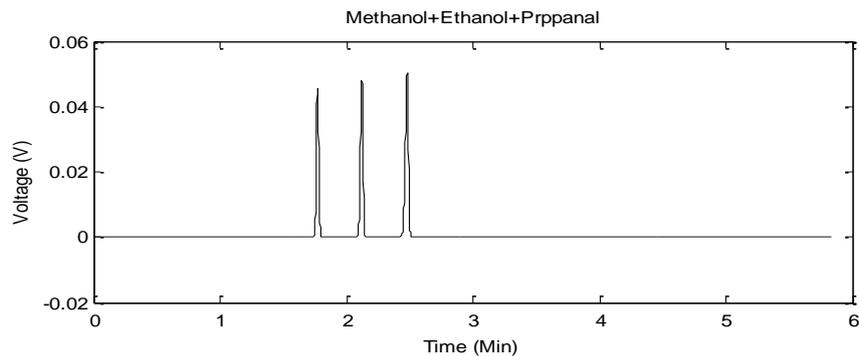
รูปที่ 4.16 ผลการวัด เอ็มไอบีเค

ผลจากการทดสอบในรูปที่ 4.16 ซึ่งเป็นผลของการทดสอบเอ็มไอบีเคตัวเดียวจะเกิดพีคของสารเอ็มไอบีเคขึ้นมาเพียงพีคเดียวที่เวลา 4.80 นาที มีระดับความสูงของสัญญาณที่ 0.09 โวลต์ ซึ่งจะพบว่าเวลาที่เกิดพีคขึ้นมาจะอยู่ในตำแหน่งเวลาที่แตกต่างจากพีคเมทานอล เอทานอลและโพรพานอล



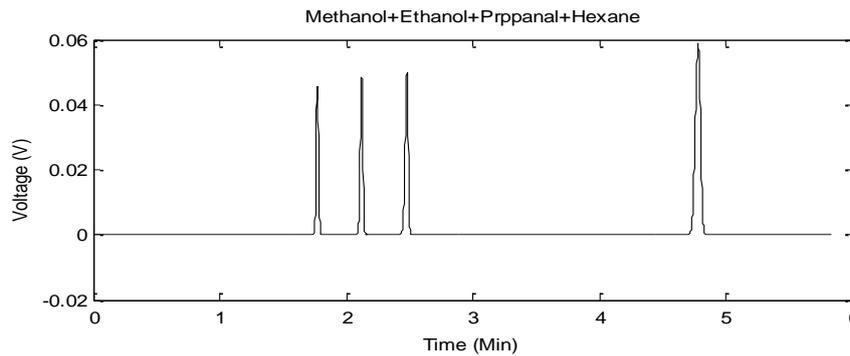
รูปที่ 4.17 ผลการวัดเมทานอล+เอทานอล

ผลจากการทดสอบในรูปที่ 4.17 เป็นผลของการทดสอบเมทานอลและเอทานอลที่ผสมกันพบว่าจะเกิดพีคขึ้นมาสองพีคคือพีคที่เวลา 1.80 นาทีซึ่งเป็นพีคของเมทานอล และพีคที่เวลา 2.10 นาทีซึ่งเป็นพีคเอทานอลโดยความสูงของพีคที่ได้เป็น 0.07 โวลต์ และ 0.08 ตามลำดับซึ่งผลที่ได้พบว่าหากมีการผสมกันมาของสารเคมีสองตัวก็จะเกิดพีคขึ้นสองพีคตามชนิดของสารเคมี



รูปที่ 4.18 ผลการวัดเมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล

ผลจากการทดสอบในรูปที่ 4.18 เป็นผลของการทดสอบสารที่ผสมกันระหว่างเมทานอล เอทานอล และโพรพานอล ผลที่ได้จะเกิดพีคขึ้นมาสามพีคคือพีคที่เวลา 1.80 นาทีซึ่งเป็นพีคของเมทานอล พีคที่เวลา 2.10 นาทีซึ่งเป็นพีคเอทานอลและพีคที่เวลา 2.50 นาทีโดยอ่านความสูงของพีคเมทานอลได้ 0.05 โวลต์ เอทานอลได้ 0.05 และโพรพานอลได้ 0.05 โวลต์ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 ผลการวัดเมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล+เอเอ็มไอบีเค

และผลจากการทดสอบในรูปที่ 4.19 เป็นผลของการทดสอบสารที่ผสมกันระหว่างเมทานอล เอทานอล โพรพานอลและเอเอ็มไอบีเค ซึ่งผลที่ได้ก็จะเกิดพีคขึ้นมาสี่พีคคือพีคเมทานอลที่เวลา 1.80 นาที พีคโพรพานอลที่เวลา 2.10 นาที พีคโพรพานอลที่เวลา 2.50 นาทีและพีคเอเอ็มไอบีเคที่เวลา 4.90 นาที โดยอ่านความสูงของพีคเมทานอลได้ 0.05 โวลต์ เอทานอลได้ 0.05 โพรพานอลได้ 0.05 โวลต์และเอเอ็มไอบีเคได้ 0.06 โวลต์ตามลำดับ

เมื่อได้ผลจากการวัดแล้วก็กำหนด Windows ตำแหน่งที่สนใจหรือ ROI (Region Of Interested) ของตำแหน่งสารแต่ละตัวเพื่อรวมผลของความสูงที่ได้โดยได้ทำการรวมข้อมูลออกเป็นช่วงทั้งหมด 4 ช่วงในรูปที่ 4.20 เป็นผลรวมของความสูงของพีคที่กำหนด Windows

$$\text{ผลรวมความสูงของพีค} = \sum_a^b f(x(n)) \quad (4.2)$$

เมื่อ a คือจุดเริ่มต้นของพีคที่กำหนด และ b คือจุดสิ้นสุดของพีคที่กำหนด

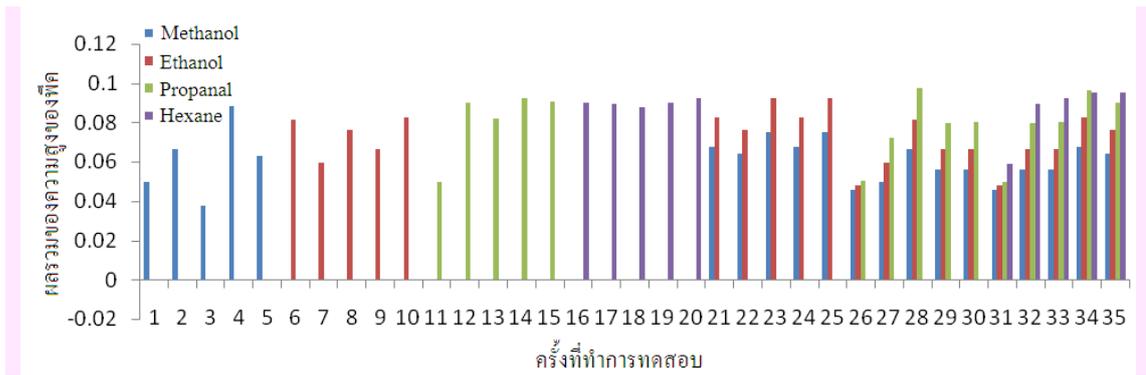
ในรูปที่ 4.20 แสดงให้เราเห็นว่า ระบบจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่นำเสนอ สามารถแยกชนิดของคลื่นไอสารเคมีแต่ละชนิดและแบบที่มีการผสมกันมาอยู่ได้อย่างชัดเจน ดังนั้นเราทำการโปรแกรมโดยอ่านค่าผลรวมของความสูงของสัญญาณในตำแหน่งที่กำหนด Windows ให้อ่านค่าผลรวมที่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ไม่มีสารเคมีตัวนั้นอยู่ ดังนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม โดยการตั้งค่า Windows ของสารเคมีแต่ละตัวแล้วก็จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเป็นคลื่นของสารเคมีชนิดใดผสมอยู่ ซึ่งผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลรวมของความสูงของพีค

| ครั้งที่ | ผลรวมของความสูงช่วง Windows ที่1 | ผลรวมของความสูงช่วง Windows ที่2 | ผลรวมของความสูงช่วง Windows ที่3 | ผลรวมของความสูงช่วง Windows ที่4 |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| เมทานอล | | | | |
| 1 | 0.0494 | -4.40E-05 | 1.00E-04 | -4.40E-05 |
| 2 | 0.0665 | -4.40E-05 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| 3 | 0.0379 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| 4 | 0.0883 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| 5 | 0.0630 | -4.40E-05 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| เอทานอล | | | | |
| 1 | -4.40E-05 | 0.0815 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| 2 | -4.50E-05 | 0.0593 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| 3 | -4.40E-05 | 0.0760 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| 4 | -4.40E-05 | 0.0665 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| 5 | -4.40E-05 | 0.0827 | -4.50E-05 | -4.40E-05 |
| โพรพานอล | | | | |
| 1 | -4.40E-05 | -4.40E-05 | 0.0500 | -4.40E-05 |
| 2 | -4.50E-05 | -4.40E-05 | 0.0899 | -4.40E-05 |
| 3 | -4.50E-05 | -3.30E-05 | 0.0820 | -3.30E-05 |
| 4 | -3.80E-05 | -3.90E-05 | 0.0921 | -3.40E-05 |
| 5 | -4.40E-05 | -4.40E-05 | 0.0903 | -4.40E-05 |
| เอ็มไอพีเค | | | | |
| 1 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | 0.0901 |
| 2 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | 0.0896 |
| 3 | -4.50E-05 | -4.40E-05 | -4.50E-05 | 0.0878 |
| 4 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | 0.0899 |
| 5 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | -4.50E-05 | 0.0924 |

ตารางที่ 4.5 ผลรวมของความสูงของพีก (ต่อ)

| ครั้งที่ | ผลรวมของความสูงช่วง Windows ที่1 | ผลรวมของความสูงช่วง Windows ที่2 | ผลรวมของความสูงช่วง Windows ที่3 | ผลรวมของความสูงช่วง Windows ที่4 |
|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| เมทานอล + เอทานอล | | | | |
| 1 | 0.0678 | 0.0827 | 8.80E-05 | -4.40E-05 |
| 2 | 0.0639 | 0.0763 | 4.00E-05 | -4.40E-05 |
| 3 | 0.0753 | 0.0922 | 9.70E-05 | -4.40E-05 |
| 4 | 0.0678 | 0.0827 | 7.90E-05 | -4.40E-05 |
| 5 | 0.0753 | 0.0921 | 9.90E-05 | -4.40E-05 |
| เมทานอล + เอทานอล + โพรพานอล | | | | |
| 1 | 0.0454 | 0.0481 | 0.0501 | -4.40E-05 |
| 2 | 0.0494 | 0.0592 | 0.0724 | -1.20E-05 |
| 3 | 0.0666 | 0.0815 | 0.0975 | -8.00E-06 |
| 4 | 0.0559 | 0.0664 | 0.0797 | 0 |
| 5 | 0.0560 | 0.0666 | 0.0801 | 3.70E-05 |
| เมทานอล + เอทานอล + โพรพานอล + เอ็มไอบีเค | | | | |
| 1 | 0.0455 | 0.0482 | 0.0500 | 0.0589 |
| 2 | 0.0560 | 0.0664 | 0.0797 | 0.0896 |
| 3 | 0.0560 | 0.0666 | 0.0801 | 0.0924 |
| 4 | 0.0676 | 0.0825 | 0.0962 | 0.0951 |
| 5 | 0.0640 | 0.0762 | 0.0899 | 0.0953 |



รูปที่ 4.20 ผลรวมของความสูงของพีคที่กำหนด Windows

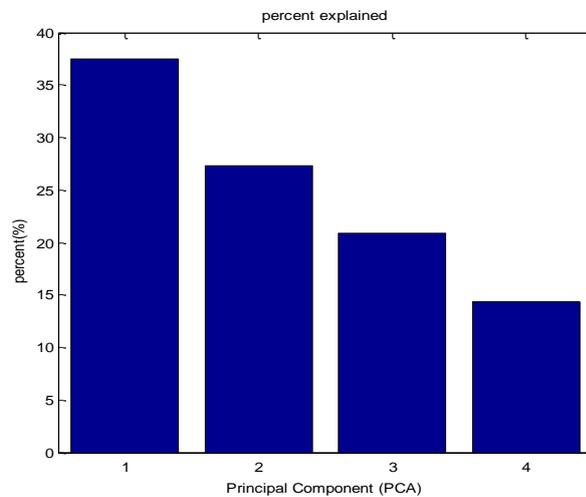
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่นิยมใช้สำหรับจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ คือวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis , PCA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการลดมิติของเวกเตอร์ลักษณะ โดยการฉาย (Project) เวกเตอร์ไปบนแกนใหม่ที่เรียกว่าแกนองค์ประกอบหลัก (Principle Component) ซึ่งแกนเหล่านี้มีความสำคัญแตกต่างกันลงไปตามความแปรปรวน (Variance) บนแต่ละแกนผลที่ได้จะเป็นการจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะข้อมูลเหมือนกันไว้ในตำแหน่ง เวกเตอร์เดียวกัน ทำให้สามารถแยกแยะชนิดของข้อมูลได้ว่าเป็นข้อมูลชนิดใด ผลการแยกกลุ่มของข้อมูลที่ได้จากผลรวมของความสูงของการตรวจวัดตัวอย่าง 7 กลุ่มกลุ่มละ 5 ครั้ง ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ PCA แสดงดังตารางที่ 4.6 และในรูปที่ 4.21 ผลของการวิเคราะห์แบบ PCA โดยโปรแกรมสามารถแสดงโดยการฉายภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 แสดงภาพฉาย PCA 2 มิติระหว่างแกน PCA1 และ PCA2 ในรูปที่ 4.23 แสดงภาพฉาย PCA 2 มิติระหว่างแกน PCA1 และ PCA3 ในรูปที่ 4.24 แสดงภาพฉาย PCA 2 มิติระหว่างแกน PCA1 และ PCA4 และในรูปที่ 4.25 แสดงภาพฉาย PCA 3 มิติระหว่างแกน PCA1, PCA2 และ PCA3 ตามลำดับ ซึ่งแสดงการแยกกลุ่มข้อมูลของกลิ่นสารเคมีชนิดต่างๆอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้

| ตัวแปรใหม่ที่สกัดได้ | เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ (%) |
|----------------------|-----------------------------|
| PCA1 | 37.5191 |
| PCA2 | 27.3465 |
| PCA3 | 20.8195 |
| PCA4 | 14.3149 |

ตารางที่ 4.6 เป็นค่าของเปอร์เซนต์ใหม่ที่สกัดได้จากผลการทดลอง ซึ่งได้จากการกำหนด Windows สี่ช่วงซึ่งเมื่อใช้เทคนิค PCA ลดตัวแปรสามารถสกัดค่าความสัมพันธ์สร้างตัวแปรใหม่ได้

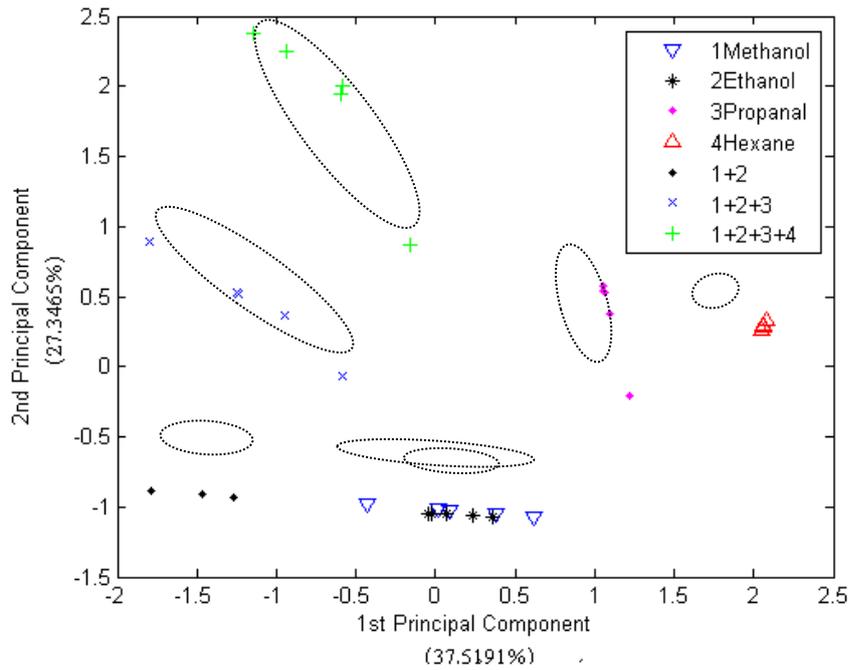
PCA1 = 37.5191%, PCA2 = 27.3465%, PCA3 = 20.8195% และ PCA4 = 14.3149%
ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 เปอร์เซนต์ของตัวแปรใหม่ที่สกัดได้

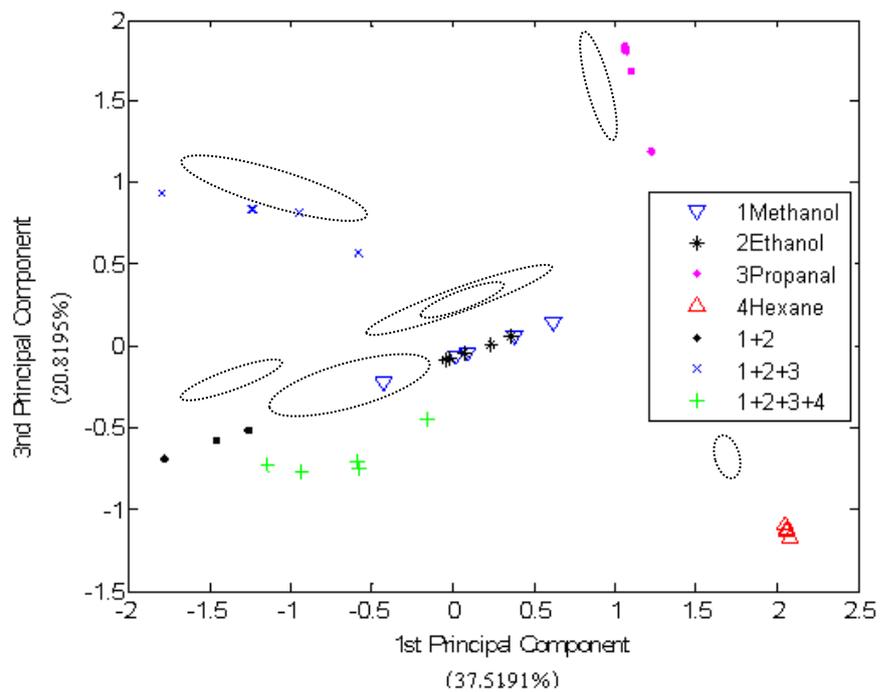
ในรูปที่ 4.21 เป็นผลเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรใหม่แต่ละตัวที่สกัดได้ตามลำดับ PCA แต่ละตัวโดยพบว่าค่าที่สกัดได้เป็น PCA1 มีค่าสูงที่สุด ค่า PCA2 PCA3 และ PCA4 จะมีค่าลดลงตามลำดับแต่ค่าที่จะสามารถเป็นตัวแทนข้อมูลได้ทั้งหมดต้องประกอบจากค่า PCA1 PCA2 และ PCA3 เนื่องจากสามารถดึงความสัมพันธ์ได้ 85.6859% ซึ่งสูงกว่า 80%

ผลที่ได้จากการทดลองในรูปที่ 4.22 เมื่อนำผลมาแสดงเป็นภาพฉาย PCA 2 มิติ ระหว่าง PCA1 และ PCA2 ได้ความสัมพันธ์ 64.8656% ผลที่ได้จะเห็นการจัดกลุ่มตัวอย่างชนิดต่างๆเมื่อตัวอย่างเป็นสารชนิดเดียวเช่นโพรพานอลก็จะเกิดข้อมูลปรากฏในกลุ่มของโพรพานอล และในกรณีที่ตัวอย่างผสมกันเช่นเมทานอลผสมกับเอทานอลก็จะเกิดข้อมูลปรากฏในกลุ่มเมทานอลผสมกับเอทานอลจึงทำให้เราสามารถแยกชนิดของกินที่เกิดขึ้นมาได้จากสารเคมีเดี่ยวและจากสารเคมีหลายชนิดผสมกัน



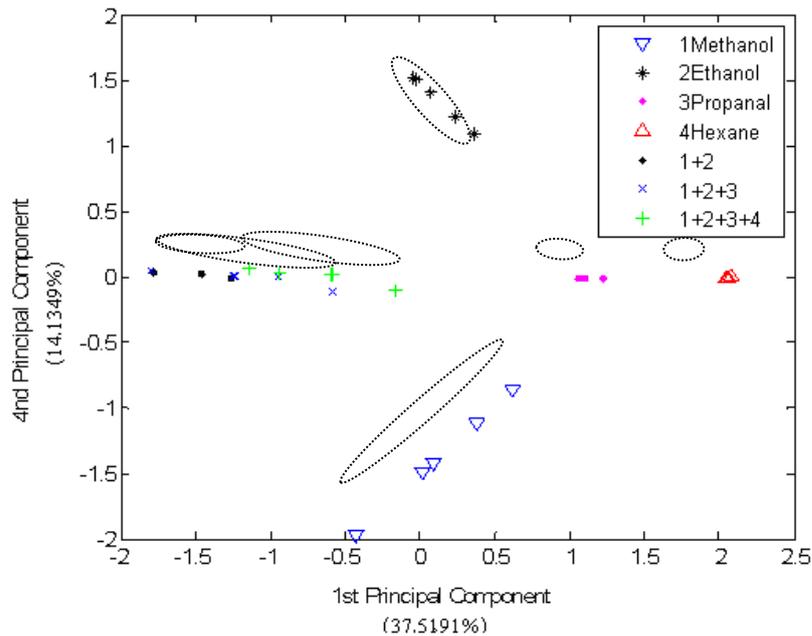
รูปที่ 4.22 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1 และ PCA2

ผลที่ได้จากการทดลองในรูปที่ 4.23 เมื่อนำผลมาแสดงเป็นภาพฉาย PCA 2 มิติ ระหว่าง PCA1 และ PCA3 ได้ความสัมพันธ์ 58.3366% ผลที่ได้จะเห็นการจัดกลุ่มตัวอย่างชนิดต่างๆเมื่อตัวอย่างเป็น สารชนิดเดียวและสารเคมีหลายชนิดผสมกัน

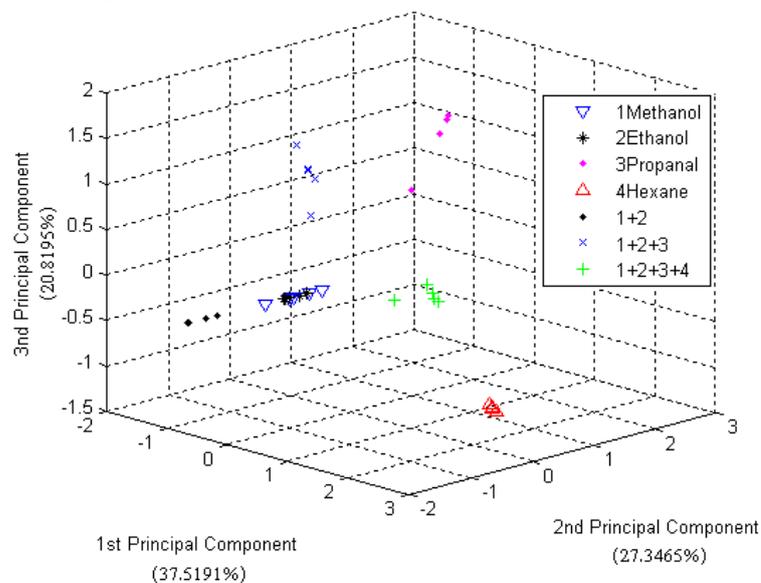


รูปที่ 4.23 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1 และ PCA3

ผลที่ได้จากการทดลองในรูปที่ 4.24 เมื่อนำผลมาแสดงเป็นภาพฉาย PCA 2 มิติ ระหว่าง PCA1 และ PCA4 ได้ความสัมพันธ์ 51.654% ผลที่ได้จะเห็นการจัดกลุ่มตัวอย่างชนิดต่างๆเมื่อตัวอย่างเป็น สารชนิดเดียวจะสามารถแยกกลุ่มข้อมูลได้อย่างชัดเจน แต่ผลที่ได้การแยกชนิดระหว่างสารเคมีที่มี หลายชนิดผสมกันจัดกลุ่มอยู่ใกล้เคียงกันจึงทำให้การแยกกลุ่มไม่ชัดเจน จึงเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ ชนิดของสารชนิดเดียว



รูปที่ 4.24 ภาพฉาย PCA 2 มิติจากข้อมูล PCA1 และ PCA4



รูปที่ 4.25 ภาพฉาย PCA 3 มิติจากข้อมูล PCA1, PCA2 และ PCA3

ในรูปที่ 4.25 เป็นผลการฉายภาพ PCA 3 มิติ ระหว่าง PCA1 PCA2 และ PCA4 ได้ความสัมพันธ์ 85.6859% ผลที่ได้จะเห็นการจัดกลุ่มตัวอย่างชนิดต่างๆทั้งที่เป็นสารเคมีเดี่ยวและที่ผสมกันมาหลายชนิดอย่างชัดเจนจึงสามารถนำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้กับจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีได้

ระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ที่ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบกลิ่นของสารระเหย 4 ชนิดคือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และ เอ็มไอบีเค เมื่อทำการวัดสารเดี่ยวและผสมซึ่งประกอบด้วย เมทานอล, เอทานอล, โพรพานอล, เอ็มไอบีเค, เมทานอล+เอทานอล, เมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล และเมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล+เอ็มไอบีเค พบว่าการนำเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีมาประยุกต์ใช้งานเป็นระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถแยกชนิดของไอสารเคมีที่มีการผสมกันมาได้อย่างชัดเจนเนื่องจากเวลาที่เกิดพีคจะเกิดที่เวลาต่างกัน วิธีการวิเคราะห์เริ่มจากกำหนดช่วง Windows ในการรวมค่าความสูงของพีคให้กับสารแต่ละตัว จากนั้นกำหนดระดับ Threshold เพื่อวิเคราะห์ว่ามีสารตัวนั้นอยู่หรือไม่ ถ้าผลรวมของความสูงเกินกว่าระดับ Threshold ก็แสดงว่ามีสารเคมีนั้นอยู่ อธิบายได้ดังสมการที่ 4.3

$$\left. \begin{aligned}
 & \text{meth} \left\{ \begin{aligned} & \text{if } \sum_{a_1}^{b_1} f(x(n)) > 0.01, \text{meth} = \text{True} \\ & \text{else, meth} = \text{False} \end{aligned} \right\} \\
 & \text{eth} \left\{ \begin{aligned} & \text{if } \sum_{a_2}^{b_2} f(x(n)) > 0.01, \text{eth} = \text{True} \\ & \text{else, eth} = \text{False} \end{aligned} \right\} \\
 & \text{pro} \left\{ \begin{aligned} & \text{if } \sum_{a_3}^{b_3} f(x(n)) > 0.01, \text{pro} = \text{True} \\ & \text{else, pro} = \text{False} \end{aligned} \right\} \\
 & \text{mibk} \left\{ \begin{aligned} & \text{if } \sum_{a_4}^{b_4} f(x(n)) > 0.01, \text{mibk} = \text{True} \\ & \text{else, mibk} = \text{False} \end{aligned} \right\}
 \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

โดยที่ a_1 เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของพีคเมทานอล อยู่ที่ตำแหน่งข้อมูลแซมปลิ่งที่ 1040
 b_1 เป็นตำแหน่งสุดท้ายของพีคเมทานอล อยู่ที่ตำแหน่งข้อมูลแซมปลิ่งที่ 1150
 a_2 เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของพีคเอทานอล อยู่ที่ตำแหน่งข้อมูลแซมปลิ่งที่ 1240
 b_2 เป็นตำแหน่งสุดท้ายของพีคเอทานอล อยู่ที่ตำแหน่งข้อมูลแซมปลิ่งที่ 1340
 a_3 เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของพีคโพรพานอล อยู่ที่ตำแหน่งข้อมูลแซมปลิ่งที่ 1450
 b_3 เป็นตำแหน่งสุดท้ายของพีคโพรพานอล อยู่ที่ตำแหน่งข้อมูลแซมปลิ่งที่ 1560
 a_4 เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของพีคเอ็มไอบีเค อยู่ที่ตำแหน่งข้อมูลแซมปลิ่งที่ 2840
 b_4 เป็นตำแหน่งสุดท้ายของพีคเอ็มไอบีเค อยู่ที่ตำแหน่งข้อมูลแซมปลิ่งที่ 2980

ดังนั้นผลการทดสอบด้วยสมการที่ 4.3 เพื่อตรวจสอบว่าสารเคมีใดอยู่หรือไม่นั้น ทำได้โดยการตรวจสอบผลรวมของความสูงของกราฟในตำแหน่งพีคที่กำหนด หากผลรวมของพีคในตำแหน่งใดมีค่าสูงกว่า 0.01 แสดงว่ามีสารเคมีตัวนั้นอยู่ เมื่อนำมาทดสอบกับผลการทดลองทั้งหมดพบว่าสามารถตรวจสอบชนิดของสารเคมีทั้งชนิดเดียวและที่ผสมอยู่ว่ามีสารเคมีใดผสมกันอยู่บ้างผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งพบว่าสามารถบ่งบอกชนิดสารเคมีได้ถูกต้องทั้งหมด

ตารางที่ 4.7 ผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมตามสมการที่ 4.3

| ชนิดของสารที่วัด | จำนวนครั้งที่ทำการวัด | จำนวนครั้งที่โปรแกรมวิเคราะห์ถูกต้อง | เปอร์เซ็นต์ของความถูกต้อง (%) |
|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 1.เมทานอล | 5 | 5 | 100 |
| 2.เอทานอล | 5 | 5 | 100 |
| 3.โพรพานอล | 5 | 5 | 100 |
| 4.เอ็มไอพีเค | 5 | 5 | 100 |
| 5.เมทานอล+เอทานอล | 5 | 5 | 100 |
| 6.เมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล | 5 | 5 | 100 |
| 7.เมทานอล+เอทานอล+โพรพานอล+เอ็มไอพีเค | 5 | 5 | 100 |

จากการทดสอบพบว่าระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาบนพื้นฐานของระบบแก๊สโครมาโต กราฟที่สามารถแยกชนิดของกลิ่นสารเคมีที่มีตัวเดียวและที่มีการผสมกันได้เป็นอย่างดีมีความถูกต้อง 100 % เมื่อตรวจวัดสารดังกล่าวแต่สารที่ทำการตรวจวัดเป็นสารที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งไอของสารระเหยที่ได้มีความเข้มข้นสูงด้วยการตรวจวัดจึงสามารถแยกแยะได้ชัดเจนว่ามีหรือไม่มีสารตัวนั้นๆ ดังนั้นจึงได้พัฒนาระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่สามารถวัดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นไม่สูงมากนักได้โดยประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดแก๊สแบบดีบุกออกไซด์เป็นตัวตรวจวัดความเข้มข้นและใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีนี้เป็นตัวแยกสารที่ผสมกันมาเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ชนิด

4.5 ผลการทดลองจุ่มกิโลกรัมแบบใหม่ที่ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีร่วมกับ เซ็นเซอร์แบบติบูกอ็อกไซด์

การพัฒนาาระบบจุ่มกิโลกรัมที่สามารถวัดปริมาณสารตัวอย่างที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกันได้ โดยประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดแก๊สแบบติบูกอ็อกไซด์เป็นตัวตรวจวัดความเข้มข้นและใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีนี้เป็นตัวแยกสารที่ผสมกันมาเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ชนิดมีลำดับขั้นตอนคือ เริ่มจากการฉีดสารมาตรฐานในระดับความเข้มข้นละ 1 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของพีคแต่ละตัวในแต่ละระดับความเข้มข้นซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$I = h \left(\frac{f(x_a) + f(x_b)}{2} + \sum_{i=a+1}^{b-1} f(x_i) \right) \quad (4.4)$$

เมื่อ I คือพื้นที่ใต้กราฟ

h ช่วงเวลาใน 1 คาบ

$f(x_i)$ คือความสูงของพีค

a คือตำแหน่งเริ่มต้นของพีค

และ b คือตำแหน่งสุดท้ายของพีค

พื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นจะทำการลบออกด้วยพื้นที่ในตำแหน่งฐาน (Baseline) ของพีคซึ่งระดับสัญญาณ Baseline จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ฐานของพีคดังนั้นความสูงจริงของสัญญาณจะได้จากความสูงของสัญญาณในตำแหน่งที่วัดลบด้วยความสูงของระดับ Baseline ที่ตำแหน่งฐานของพีค จะได้ความสูงจริงของสัญญาณดังสมการที่ 4.5

$$f(x_a) = f(x_i) - \text{Baseline} = \quad \text{และ} \quad f(x_b) = f(x_i) - \text{Baseline} \quad (4.5)$$

เมื่อ $f(x_i)$ คือความสูงของสัญญาณตำแหน่งพีค

Baseline คือความสูงของสัญญาณตำแหน่งฐานพีค

จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นซึ่งจะได้รูปสมการดังสมการที่ 4.6

$$y = a_0 + a_1 x \quad (4.6)$$

โดย y คือพื้นที่ใต้กราฟ

และ x คือค่าความเข้มข้นของสารเคมี

และหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) หรือค่า R^2 จากสมการที่ 4.7 และสมการที่ 4.8 ตามลำดับ

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right) \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)}} \quad (4.7)$$

$$R^2 = r^2 \quad (4.8)$$

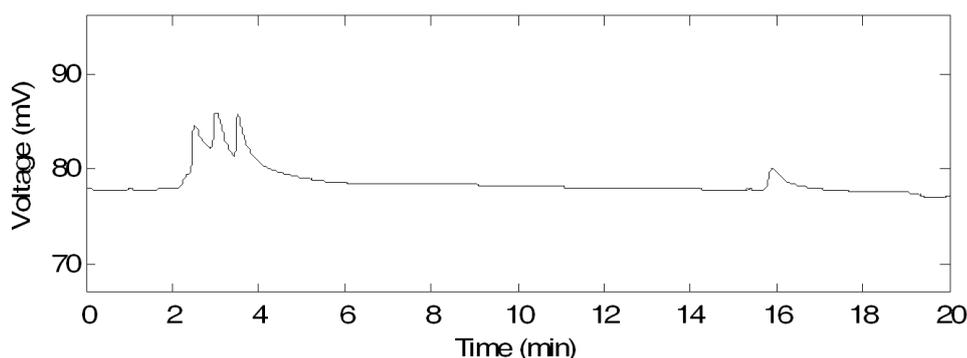
4.5.1 ผลการฉีดสารมาตรฐาน

ก.ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิด

จากการทดลองที่ได้ทำการฉีดสารมาตรฐานที่มีระดับค่าความเข้มข้นทั้งหมด 10 ระดับ ความเข้มข้นประกอบด้วยระดับความเข้มข้นตัวอย่างที่ 0.002%Vol, 0.004%Vol, 0.008%Vol, 0.01%Vol, 0.02%Vol, 0.04%Vol, 0.08%Vol, 0.1%Vol, 0.02%Vol และ 0.5%Vol ที่ระดับความเข้มข้นละ 1 ครั้ง ส่วนผสมของตัวอย่างประกอบด้วยเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเค ในน้ำดังนั้นผลที่ได้จากการทดสอบจะมีพีคของตัวอย่าง 4 พีค โดยจากการศึกษาคอลัมน์ในหัวข้อที่ 4.4 เรื่องผลการทดลองจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบใหม่ที่ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี เราพบว่าลำดับพีคที่ปรากฏขึ้นพีคแรกสุดเป็นเมทานอล ลำดับต่อมาเป็นเอทานอล โพรพานอล และเอเอ็มไอบีเคเป็นลำดับสุดท้าย ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างที่ประกอบไปด้วยสารเคมีนี้ไปทำการทดสอบกับระบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์แบบดีบุกออกไซด์ก็จะได้ลำดับพีคที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกันเนื่องจากสารเคมีและคอลัมน์ที่ใช้เป็นชุดเดียวกัน

1. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.002%

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.002% แสดงดังรูปที่ 4.26 พบว่าเกิดพีคขึ้นมาทั้งหมด 4 พีค เวลาที่เกิดพีคความสูงของพีคและพื้นที่ใต้กราฟของพีคแสดงดังตารางที่ 4.8 พีคแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.416 นาทีที่มีความสูง 7460 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 156699.25 ไมโครโวลต์*วินาที พีคที่สองเป็นพีคของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.900 นาที มีความสูง 8870 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 163878.20 ไมโครโวลต์*วินาที พีคที่สามเป็นพีคโพรพานอล เกิดที่เวลา 3.416 นาที มีความสูง 8491 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 255687.30 ไมโครโวลต์*วินาที และพีคสุดท้ายซึ่งเป็นพีคเอเอ็มไอบีเคเกิดที่เวลา 15.833 นาที มีความสูง 3100 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 49956.00 ไมโครโวลต์*วินาที

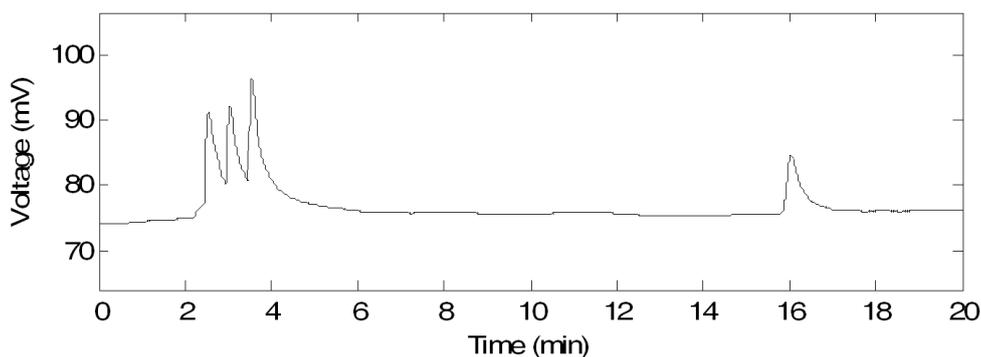


รูปที่ 4.26 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.002 %
 ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.002 %

| พีคลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ($\mu V \cdot S$) |
|-------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2.416 | 7460 | 156699.25 |
| 2 | 2.900 | 8870 | 163878.20 |
| 3 | 3.416 | 8491 | 255687.30 |
| 4 | 15.833 | 3100 | 49956.00 |

2. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.004 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.004% แสดงดังรูปที่ 4.27 พีคที่เกิดขึ้นมี 4 พีค เวลาที่เกิดพีคความสูงของพีคและพื้นที่ใต้กราฟของพีคแสดงดังตารางที่ 4.9 พีคแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.433 นาทีที่มีความสูง 16530 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 311256.95 ไมโครโวลต์*วินาที พีคที่สองเป็นพีคของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.933 นาที มีความสูง 17291 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 3878.20 ไมโครโวลต์*วินาที พีคที่สามเป็นพีคโพรพานอล เกิดที่เวลา 3.433 นาที มีความสูง 21601 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 560920.55 ไมโครโวลต์*วินาที และพีคสุดท้ายซึ่งเป็นพีคเอ็มไอบีเคเกิดที่เวลา 15.933 นาที มีความสูง 10510 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 269257.60 ไมโครโวลต์*วินาที



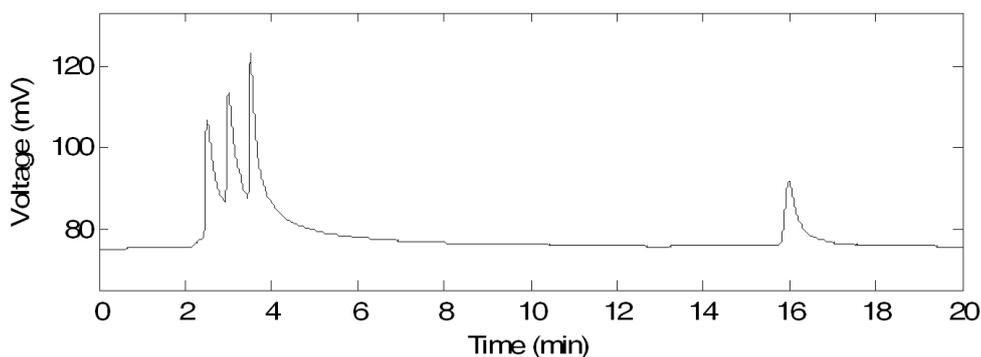
รูปที่ 4.27 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.004 %

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.004 %

| พีกลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ($\mu V \cdot S$) |
|-------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2.433 | 16530 | 311256.95 |
| 2 | 2.933 | 17291 | 307870.30 |
| 3 | 3.433 | 21601 | 560920.55 |
| 4 | 15.933 | 10510 | 269257.60 |

3. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.008 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.008% แสดงดังรูปที่ 4.28 พีกที่เกิดขึ้นมี 4 พีก เวลาที่เกิดพีกความสูงของพีกและพื้นที่ใต้กราฟของพีกแสดงดังตารางที่ 4.10 พีกแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.400 นาทีที่มีความสูง 30700 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 543763.70 ไมโครโวลต์*วินาที พีกที่สองเป็นพีกของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.900 นาที มีความสูง 36120 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 658865.00 ไมโครโวลต์*วินาที พีกที่สามเป็นพีกโพรพานอลเกิดที่เวลา 3.400 นาที มีความสูง 45620 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 1113413.00 ไมโครโวลต์*วินาที และพีกสุดท้ายซึ่งเป็นพีกเอ็มไอพีเคเกิดที่เวลา 15.883 นาที มีความสูง 16021 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 387632.40 ไมโครโวลต์*วินาที



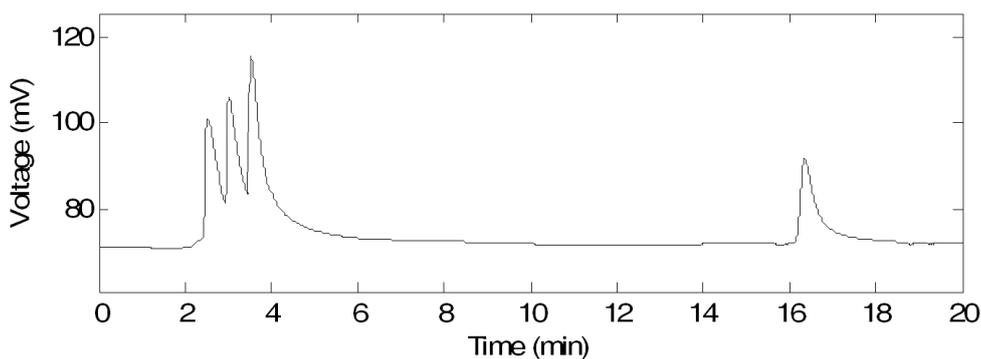
รูปที่ 4.28 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.008 %

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.008 %

| พิกัดลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ($\mu V \cdot S$) |
|---------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2.400 | 30700 | 543763.70 |
| 2 | 2.900 | 36120 | 658865.00 |
| 3 | 3.400 | 45620 | 1113413.00 |
| 4 | 15.883 | 16021 | 387632.40 |

4. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.01 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.01% แสดงดังรูปที่ 4.29 พิกัดที่เกิดขึ้นมี 4 พิกัด เวลาที่เกิดพิกัดความสูงของพิกัดและพื้นที่ใต้กราฟของพิกัดแสดงดังตารางที่ 4.11 พิกัดแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.400 นาทีที่มีความสูง 38279 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 631369.30 ไมโครโวลต์*วินาที พิกัดที่สองเป็นพิกัดของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.900 นาที มีความสูง 43520 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 702537.70 ไมโครโวลต์*วินาที พิกัดที่สามเป็นพิกัดโพรพานอล เกิดที่เวลา 3.416 นาที มีความสูง 54150 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 1140317.00 ไมโครโวลต์*วินาที และพิกัดสุดท้ายซึ่งเป็นพิกัดเอ็มไอบีเคเกิดที่เวลา 15.950 นาที มีความสูง 22750 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 556545.10 ไมโครโวลต์*วินาที



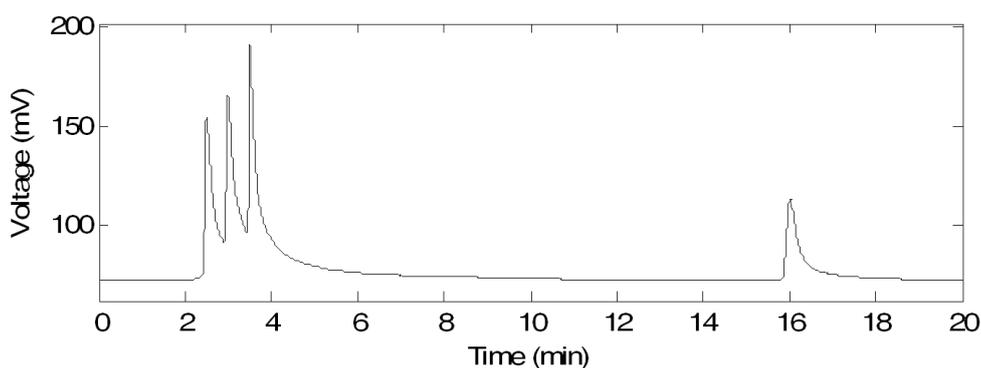
รูปที่ 4.29 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.01 %

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.01 %

| พีคลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ($\mu\text{V}\cdot\text{S}$) |
|-------------|------------|---------------------------|--|
| 1 | 2.400 | 38290 | 631369.30 |
| 2 | 2.900 | 43520 | 702537.70 |
| 3 | 3.416 | 54150 | 1140317.00 |
| 4 | 15.950 | 22750 | 556545.10 |

5. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.02 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.02% แสดงดังรูปที่ 4.30 พีคที่เกิดขึ้นมี 4 พีค เวลาที่เกิดพีคความสูงของพีคและพื้นที่ใต้กราฟของพีคแสดงดังตารางที่ 4.12 พีคแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.383 นาทีที่มีความสูง 79441 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 1187545.00 ไมโครโวลต์*วินาที พีคที่สองเป็นพีคของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.883 นาที มีความสูง 88500 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 1427018.00 ไมโครโวลต์*วินาที พีคที่สามเป็นพีคโพรพานอลเกิดที่เวลา 3.400 นาที มีความสูง 105940 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 2080071.00 ไมโครโวลต์*วินาที และพีคสุดท้ายซึ่งเป็นพีคเอ็มไอบีเคเกิดที่เวลา 15.916 นาที มีความสูง 39680 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 880499.70 ไมโครโวลต์*วินาที



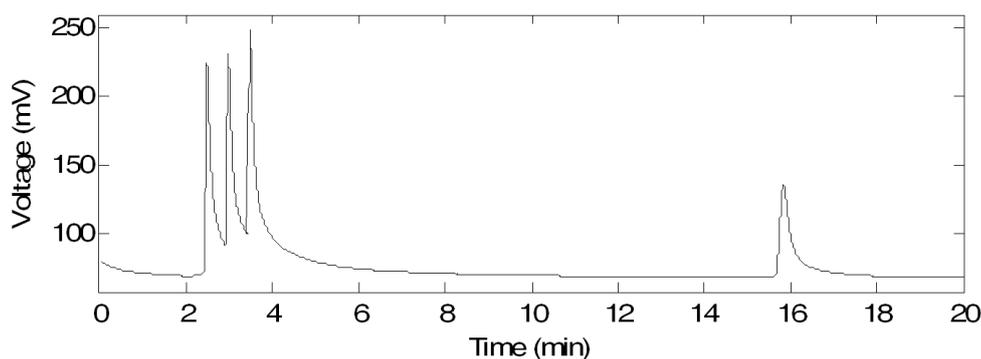
รูปที่ 4.30 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.02 %

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.02 %

| พิกัดลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ($\mu V \cdot S$) |
|---------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2.383 | 79441 | 1187545.00 |
| 2 | 2.883 | 88500 | 1427018.00 |
| 3 | 3.400 | 105940 | 2080071.00 |
| 4 | 15.916 | 39680 | 880499.70 |

6. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.04 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.04% แสดงดังรูปที่ 4.31 พิกัดที่เกิดขึ้นมี 4 พิกัด เวลาที่เกิดพิกัดความสูงของพิกัดและพื้นที่ใต้กราฟของพิกัดแสดงดังตารางที่ 4.13 พิกัดแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.383 นาทีที่มีความสูง 128300 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 1768021.10 ไมโครโวลต์*วินาที พิกัดที่สองเป็นพิกัดของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.866 นาที มีความสูง 146700 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 1984404.50 ไมโครโวลต์*วินาที พิกัดที่สามเป็นพิกัดโพรพานอล เกิดที่เวลา 3.366 นาที มีความสูง 166560 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 2892902.40 ไมโครโวลต์*วินาที และพิกัดสุดท้ายซึ่งเป็นพิกัดเอเอ็มไอบีเคเกิดที่เวลา 15.733 นาที มีความสูง 64961 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 1341498.00 ไมโครโวลต์*วินาที



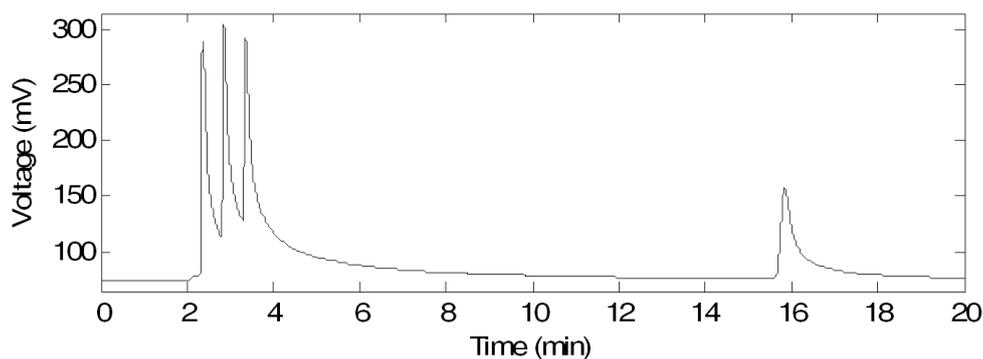
รูปที่ 4.31 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.04 %

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.04 %

| พิกลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ($\mu V \cdot S$) |
|-------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2.383 | 128300 | 1768021.10 |
| 2 | 2.866 | 146700 | 1984404.50 |
| 3 | 3.366 | 166560 | 2892902.40 |
| 4 | 15.733 | 64961 | 1341498.00 |

7. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.08 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.08% แสดงดังรูปที่ 4.32 พิกที่เกิดขึ้นมี 4 พิก เวลาที่เกิดพิกความสูงของพิกและพื้นที่ใต้กราฟของพิกแสดงดังตารางที่ 4.14 พิกแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.250 นาทีที่มีความสูง 201961 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 2580953.10 ไมโครโวลต์*วินาที พิกที่สองเป็นพิกของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.733 นาที มีความสูง 218800 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 3076288.85 ไมโครโวลต์*วินาที พิกที่สามเป็นพิกโพรพานอล เกิดที่เวลา 3.250 นาที มีความสูง 196040 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 5380720.40 ไมโครโวลต์*วินาที และพิกสุดท้ายซึ่งเป็นพิกเอ็มไอพีเคเกิดที่เวลา 15.733 นาที มีความสูง 81140 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 2346144.50 ไมโครโวลต์*วินาที



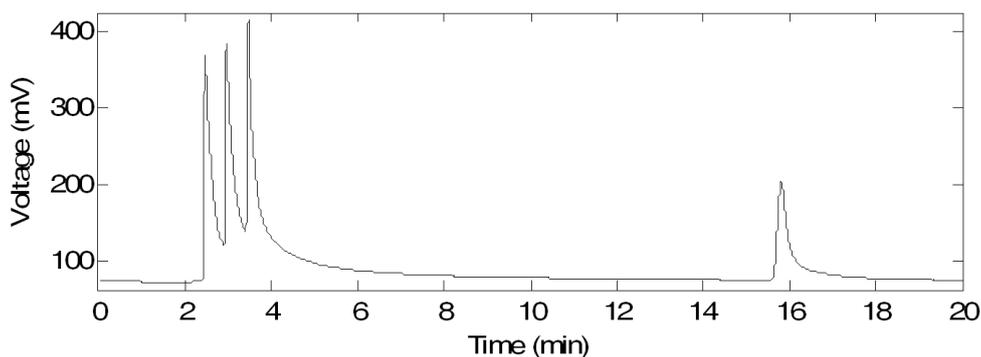
รูปที่ 4.32 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.08 %

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.08 %

| พีกลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ(μV*S) |
|-------------|------------|--------------|----------------------|
| 1 | 2.250 | 201961 | 2580953.10 |
| 2 | 2.733 | 218800 | 3076288.85 |
| 3 | 3.250 | 196040 | 5380720.40 |
| 4 | 15.733 | 81140 | 2346144.50 |

8. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.1 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.1% แสดงดังรูปที่ 4.33 พีกที่เกิดขึ้นมี 4 พีก เวลาที่เกิดพีกความสูงของพีกและพื้นที่ใต้กราฟของพีกแสดงดังตารางที่ 4.15 พีกแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.366 นาทีที่มีความสูง 308820 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 3693652.05 ไมโครโวลต์*วินาที พีกที่สองเป็นพีกของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.850 นาที มีความสูง 322501 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 4076939.50 ไมโครโวลต์*วินาที พีกที่สามเป็นพีกโพรพานอลเกิดที่เวลา 3.250 นาที มีความสูง 331781 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 5900666.40 ไมโครโวลต์*วินาที และพีกสุดท้ายซึ่งเป็นพีกเอ็มไอบีเคเกิดที่เวลา 15.616 นาที มีความสูง 140741 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 2818668.70 ไมโครโวลต์*วินาที



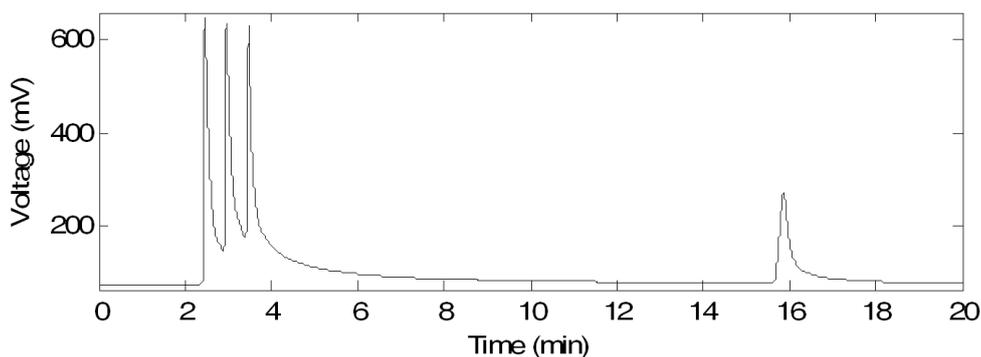
รูปที่ 4.33 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.1 %

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.1 %

| พีกลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ(μV*S) |
|-------------|------------|--------------|----------------------|
| 1 | 2.366 | 308820 | 3693652.05 |
| 2 | 2.850 | 322501 | 4076939.50 |
| 3 | 3.350 | 331781 | 5900666.40 |
| 4 | 15.616 | 140741 | 2818668.70 |

9. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.2 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.2% แสดงดังรูปที่ 4.34 พีกที่เกิดขึ้นมี 4 พีก เวลาที่เกิดพีกความสูงของพีกและพื้นที่ใต้กราฟของพีกแสดงดังตารางที่ 4.16 พีกแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.350 นาทีที่มีความสูง 484461 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 5941838.80 ไมโครโวลต์*วินาที พีกที่สองเป็นพีกของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.850 นาที มีความสูง 475461 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 4076939.50 ไมโครโวลต์*วินาที พีกที่สามเป็นพีกโพรพานอลเกิดที่เวลา 3.250 นาที มีความสูง 470180 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 9090267.30 ไมโครโวลต์*วินาที และพีกสุดท้ายซึ่งเป็นพีกเอ็มไอพีเคเกิดที่เวลา 15.683 นาที มีความสูง 184441 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 3971101.20 ไมโครโวลต์*วินาที



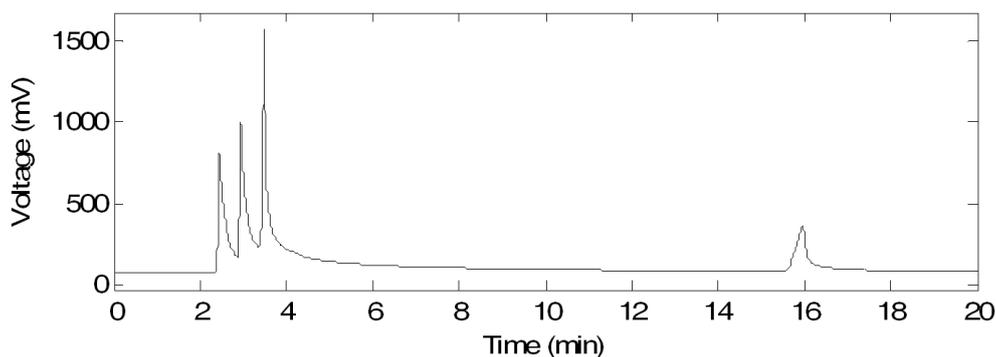
รูปที่ 4.34 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.2%

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.2 %

| พีกลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ($\mu V \cdot S$) |
|-------------|------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 2.350 | 484461 | 5941838.80 |
| 2 | 2.850 | 475461 | 6732337.20 |
| 3 | 3.350 | 470180 | 9090267.30 |
| 4 | 15.683 | 184441 | 3971101.20 |

10. ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.5 %

ผลโครมาโตแกรมที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.5% แสดงดังรูปที่ 4.35 พีกที่เกิดขึ้นมี 4 พีก เวลาที่เกิดพีกความสูงของพีกและพื้นที่ใต้กราฟของพีกแสดงดังตารางที่ 4.17 พีกแรกสุดซึ่งเป็นของเมทานอลเกิดที่เวลา 2.333 นาทีที่มีความสูง 650600 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 8728925.30 ไมโครโวลต์*วินาที พีกที่สองเป็นพีกของเอทานอล เกิดที่เวลา 2.833 นาที มีความสูง 801481 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 10847555.60 ไมโครโวลต์*วินาที พีกที่สามเป็นพีกโพรพานอล เกิดที่เวลา 3.366 นาที มีความสูง 1054441 ไมโครโวลต์ มีพื้นที่ใต้กราฟ 13774583.75 ไมโครโวลต์*วินาที และพีกสุดท้ายซึ่งเป็นพีกเอ็มไอบีเคเกิดที่เวลา 15.850 นาที มีความสูง 276520 ไมโครโวลต์ และมีพื้นที่ใต้กราฟ 6533471.10 ไมโครโวลต์*วินาที



รูปที่ 4.35 โครมาโตแกรมสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.5%

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบสารมาตรฐาน 4 ชนิดความเข้มข้นที่ 0.5 %

| พิกัดลำดับที่ | เวลา (min) | ความสูง (μV) | พื้นที่ใต้กราฟ(μV*S) |
|---------------|------------|--------------|----------------------|
| 1 | 2.333 | 650600 | 8728925.30 |
| 2 | 2.833 | 801481 | 10847555.60 |
| 3 | 3.366 | 1054441 | 13774583.75 |
| 4 | 15.850 | 276520 | 6533471.10 |

ข.จากนั้นได้ทำการทดสอบสารตัวอย่างที่มีระดับค่าความเข้มข้นทั้งหมด 6 ระดับความเข้มข้นประกอบด้วยระดับความเข้มข้นตัวอย่างที่ 0.01%Vol, 0.02%Vol, 0.04%Vol, 0.08%Vol, 0.1%Vol และ 0.02%Vol ส่วนผสมของตัวอย่างประกอบด้วยเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอมีไอบีเค ในน้ำที่ระดับความเข้มข้นละ 10 ครั้ง ดังนั้นผลที่ได้จากการทดสอบจะมีพีคของตัวอย่าง 4 พีค ในทุกโครมาโตแกรมที่ได้ทำการทดสอบผลของการทดสอบในแต่ละระดับความเข้มข้นเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 4.18 ผลที่ได้นี้จะนำไปวิเคราะห์จากกราฟมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบสารมาตรฐานก่อนหน้าเพื่อทดสอบการอ่านค่าที่ได้จากจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนา

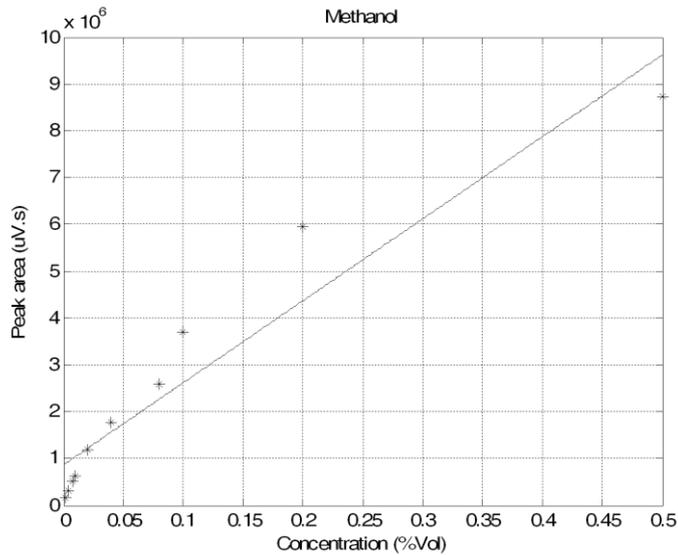
ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยของผลการฉีดสารตัวอย่าง 10 ครั้งของตัวอย่าง 6 ความเข้มข้น

| ค่าความเข้มข้น (%) | เวลาที่เกิดพีค (min) | พื้นที่ใต้กราฟ ($\mu\text{V}\cdot\text{S}$) |
|--------------------|----------------------|---|
| เมทานอล | | |
| 0.01 | 2.400 | 617187.69 |
| 0.02 | 2.390 | 1008109.10 |
| 0.04 | 2.370 | 1824488.00 |
| 0.08 | 2.260 | 3033795.90 |
| 0.1 | 2.359 | 3680919.30 |
| 0.2 | 2.353 | 5948123.70 |
| เอทานอล | | |
| 0.01 | 2.8983 | 687276.03 |
| 0.02 | 2.88 | 1181191.80 |
| 0.04 | 2.8619 | 2091264.40 |
| 0.08 | 2.7398 | 3431396.90 |
| 0.1 | 2.8517 | 4133006.40 |
| 0.2 | 2.8517 | 6793247.40 |
| โพรพานอล | | |
| 0.01 | 3.4084 | 1147752.80 |
| 0.02 | 3.3864 | 1800477.40 |
| 0.04 | 3.3619 | 3261777.50 |
| 0.08 | 3.2466 | 4816864.60 |
| 0.1 | 3.3534 | 6255990.90 |
| 0.2 | 3.3636 | 9011977.10 |
| 0.01 | 15.9016 | 550153.99 |
| 0.02 | 15.8183 | 674134.25 |
| 0.04 | 15.6916 | 1398680.50 |
| 0.08 | 15.7084 | 2581104.90 |
| 0.1 | 15.665 | 2633697.90 |
| 0.2 | 15.7501 | 3868959.30 |

4.5.2 วิธีการถดถอยเชิงเส้น

ในลำดับขั้นตอนนี้ต่อไปจากโครมาโตแกรมที่ได้จากการฉีดสารมาตรฐานนำมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐาน ซึ่งกราฟมาตรฐานแบบแรกที่จะทำการสร้างคือกราฟมาตรฐานแบบการถดถอยเชิงเส้นซึ่งมีรูปสมการดังสมการที่ 4.6 สมการกราฟมาตรฐานจะมี 4 กราฟตามชนิดของสารเคมีที่ทำการทดสอบดังนี้

ก.กราฟมาตรฐาน ของ เมทานอล



รูปที่ 4.36 กราฟมาตรฐานเชิงเส้นของเมทานอล

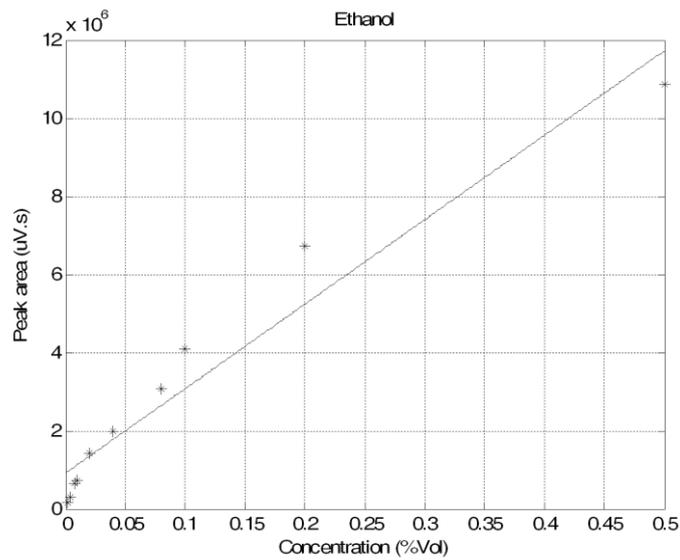
สมการของกราฟมาตรฐานของเมทานอลในรูปที่ 4.36 มีสมการดังสมการที่ 4.9

$$\text{สมการ } y = 864564.04 x + 17504915.78$$

(4.9)

$$R^2 = 0.9178 \quad (4.10)$$

ข.กราฟมาตรฐาน ของ เอทานอล



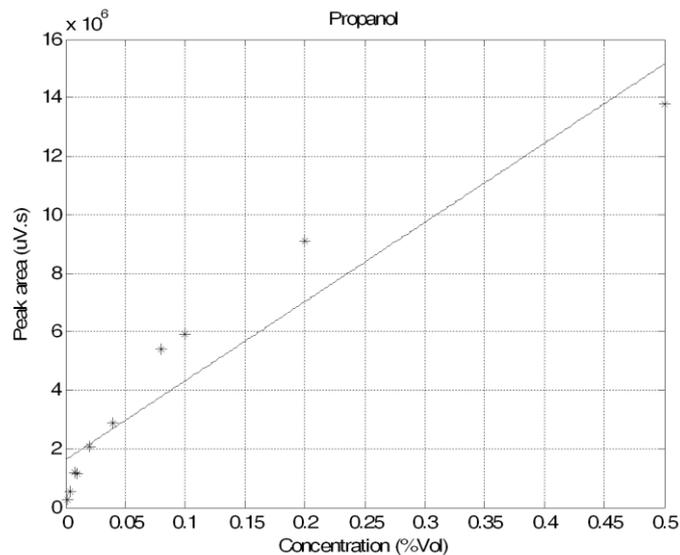
รูปที่ 4.37 กราฟมาตรฐานเชิงเส้นของเอทานอล

สมการของกราฟมาตรฐานของเอทานอลในรูปที่ 4.47 มีสมการดังสมการที่ 4.11

$$\text{สมการ } y = 914471.39x + 21595894.91 \quad (4.11)$$

$$R^2 = 0.9461 \quad (4.12)$$

ค.กราฟมาตรฐาน ของ โพรพานอล



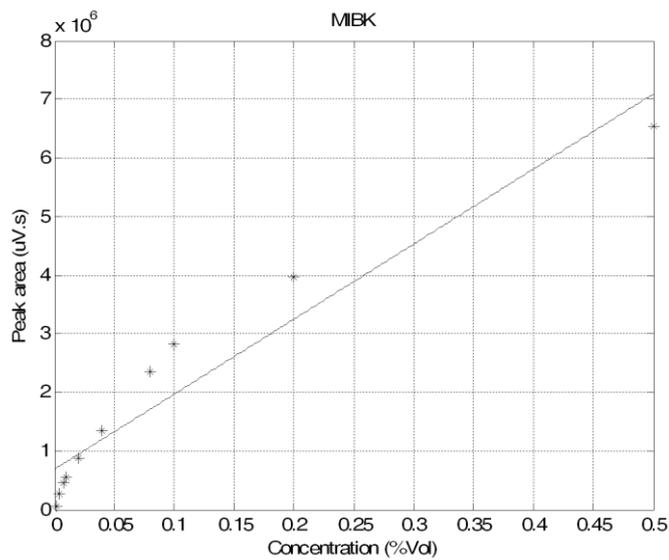
รูปที่ 4.38 กราฟมาตรฐานเชิงเส้นของ โพรพานอล

สมการของกราฟมาตรฐานของโพรพานอลในรูปที่ 4.38 มีสมการดังสมการที่ 4.13

$$\text{สมการ } y = 1619226.98x + 27045852.05 \quad (4.13)$$

$$R^2 = 0.9102 \quad (4.14)$$

ง.กราฟมาตรฐาน ของ เอ็มไอบีเค



รูปที่ 4.39 กราฟมาตรฐานเชิงเส้นของเอ็มไอบีเค

สมการของกราฟมาตรฐานของเอ็มไอบีเคในรูปที่ 4.39 มีสมการดังสมการที่ 4.15

$$\text{สมการ } y = 687588.35x + 12798004.74 \quad (4.15)$$

$$R^2 = 0.9259 \quad (4.16)$$

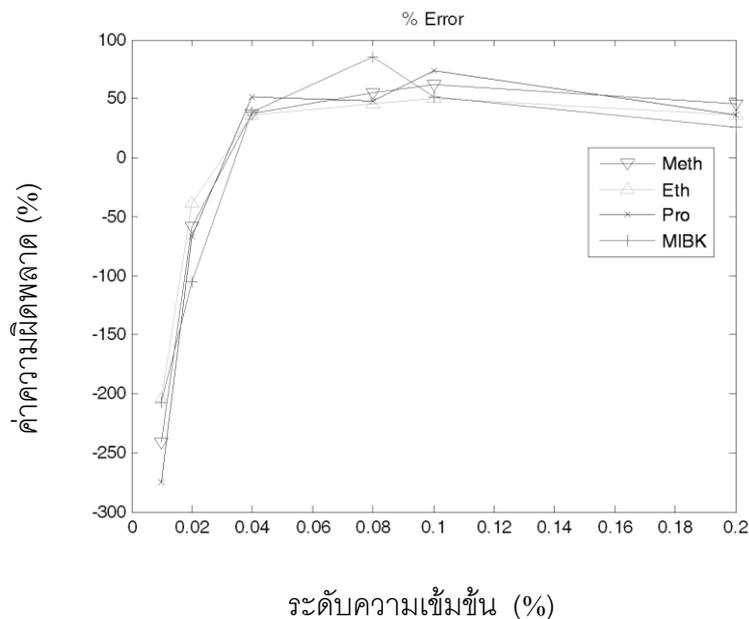
เมื่อได้สมการกราฟมาตรฐานแล้วก็นำมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบทั้งหมดเพื่ออ่านค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

$$x = \frac{y - a_0}{a_1} \quad (4.17)$$

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบตัวอย่างเฉลี่ยจากตัวอย่าง 10 ครั้ง ของตัวอย่าง 6 ความเข้มข้น

| สาร | Methanol | | Ethanol | | Propanol | | MiBK | |
|------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| | ค่าความเข้มข้น (%Vol) | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%) | ค่าความเข้มข้น (%Vol) | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%) | เวลาที่คที่ (min) | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%) | เวลาที่คที่ (min) | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%) |
| 0.01 | -0.0141 | -241.31 | -0.0105 | -205.20 | -0.0174 | -274.32 | -0.0107 | -207.38 |
| 0.02 | 0.0082 | -58.99 | 0.0124 | -38.24 | 0.0067 | -66.49 | -0.0011 | -105.25 |
| 0.04 | 0.0548 | 37.09 | 0.0545 | 36.22 | 0.0607 | 51.83 | 0.0556 | 38.90 |
| 0.08 | 0.1239 | 54.90 | 0.1165 | 45.68 | 0.1182 | 47.78 | 0.1480 | 84.94 |
| 0.1 | 0.1616 | 61.55 | 0.1499 | 49.91 | 0.1737 | 73.70 | 0.1519 | 51.90 |
| 0.2 | 0.290 | 45.204 | 0.272 | 36.109 | 0.273 | 36.671 | 0.249 | 24.292 |

พบว่าผลจากความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวอย่างที่ฉีดทำให้ค่าของสารตัวอย่างที่อ่านได้มีค่าความผิดพลาดสูงโดยที่ค่าความเข้มข้นต่ำๆจะมีความผิดพลาดสูงกว่าระดับความเข้มข้นสูงดังแสดงในรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 แสดงค่าความผิดพลาดจากการวัดสารตัวอย่างด้วยกราฟมาตรฐานเชิงเส้น

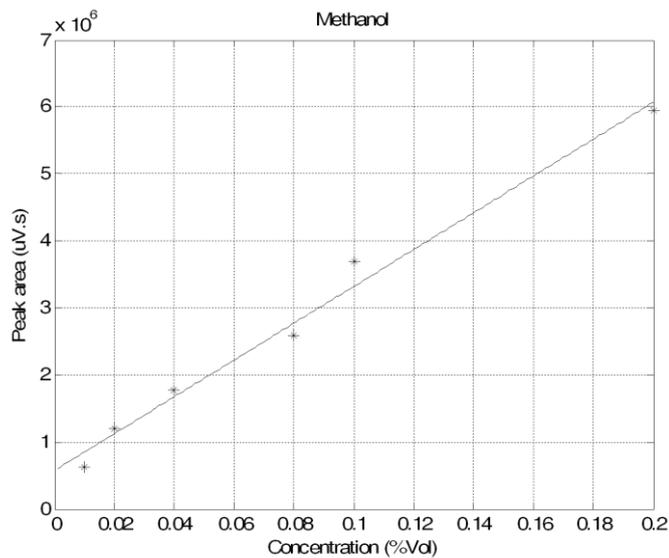
พบว่า การตอบสนองของเซ็นเซอร์ไม่เป็นเชิงเส้นวิธีแก้ปัญหามี

1. ลดช่วงกราฟมาตรฐานลงให้เหลือเฉพาะช่วงที่เป็นเชิงเส้น
2. ใช้วิธีการถดถอยพหุนาม
3. ลดช่วงกราฟมาตรฐานลงและใช้วิธีการถดถอยพหุนาม

4.5.3 ลดช่วงกราฟมาตรฐานลงให้เหลือเฉพาะช่วงที่เป็นเชิงเส้น

วิธีการนี้เป็นการสร้างกราฟมาตรฐานเป็นช่วงๆ กล่าวคือ ในกราฟมาตรฐานที่วัดความเข้มข้นน้อยสุดไปยังความเข้มข้นสูงสุดมีการแบ่งช่วงของกราฟมาตรฐานออกเป็นช่วงๆ ในการวัดสารเคมี 1 ตัวจะมีกราฟมาตรฐานหลายกราฟ เช่น ช่วง 0.0001%-0.001% , ช่วง 0.001%-0.01%, ช่วง 0.01%-0.1% โดยพิจารณาจากค่า R^2 ในกรณีนี้แบ่งช่วงที่เหมาะสมในการวัดอยู่ในช่วง 0.01%-0.2% โดยมีค่า R^2 มากกว่า 0.95 ได้กราฟมาตรฐานดังนี้

ก. กราฟมาตรฐาน ของ เมทานอล



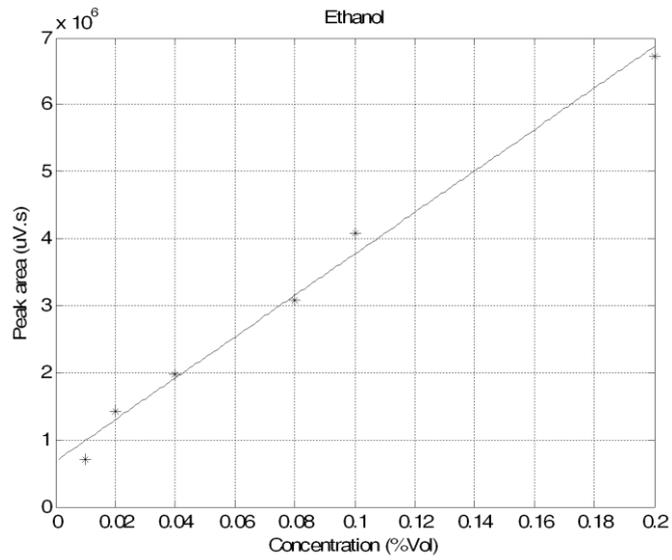
รูปที่ 4.41 กราฟมาตรฐานเชิงเส้นปรับปรุงของเมทานอล

สมการของกราฟมาตรฐานของเมทานอลในรูปที่ 4.41 มีสมการดังสมการที่ 4.18

$$\text{สมการ } y = 574074.75x + 27464290.76 \quad (4.18)$$

$$R^2 = 0.9867 \quad (4.19)$$

ข.กราฟมาตรฐาน ของ เอทานอล



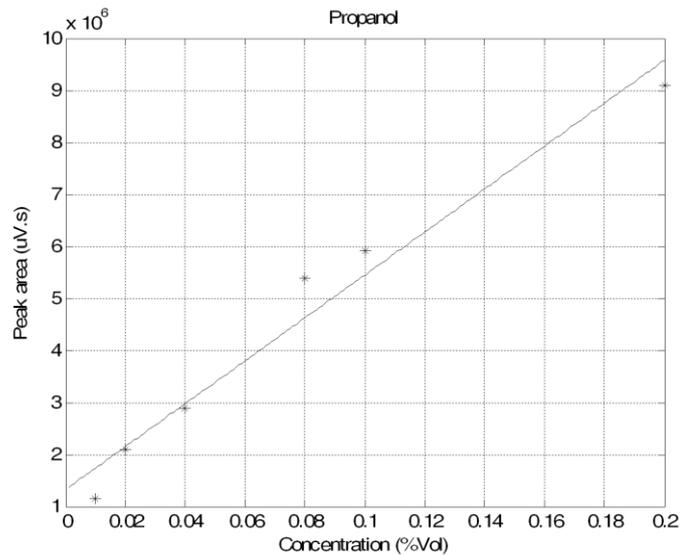
รูปที่ 4.42 กราฟมาตรฐานเชิงเส้นปรับปรุงของเอทานอล

สมการของกราฟมาตรฐานของเอทานอลในรูปที่ 4.42 มีสมการดังสมการที่ 4.21

$$\text{สมการ } y = 681005.68x + 30918869.14 \quad (4.21)$$

$$R^2 = 0.9908 \quad (4.22)$$

ค.กราฟมาตรฐาน ของ โพรพานอล



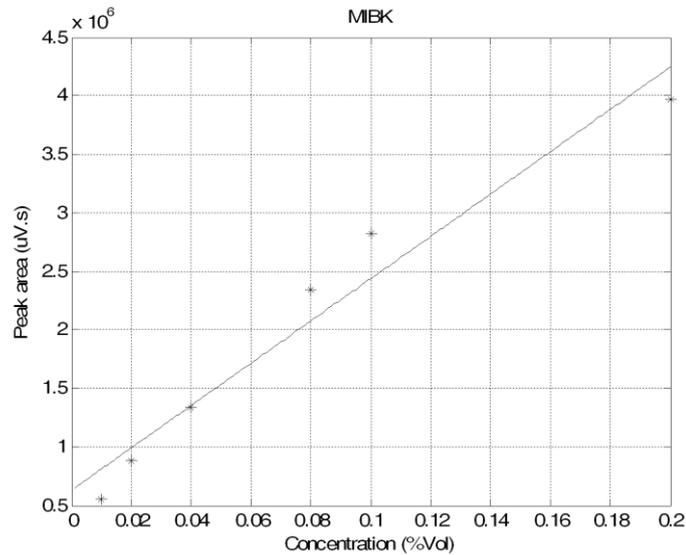
รูปที่ 4.43 กราฟมาตรฐานเชิงเส้นปรับปรุงของโพรพานอล

สมการของกราฟมาตรฐานของโพรพานอลในรูปที่ 4.43 มีสมการดังสมการที่ 4.23

$$\text{สมการ } y = 1320437.23x + 41249600.92 \quad (4.23)$$

$$R^2 = 0.9683 \quad (4.24)$$

ง.กราฟมาตรฐาน ของ เอ็มไอบีเค



รูปที่ 4.44 กราฟมาตรฐานเชิงเส้นปรับปรุงของเอ็มไอบีเค

สมการของกราฟมาตรฐานของเอ็มไอบีเคในรูปที่ 4.44 มีสมการดังสมการที่ 4.25

$$\text{สมการ } y = 631107.25x + 18061808.01 \quad (4.25)$$

$$R^2 = 0.9561 \quad (4.26)$$

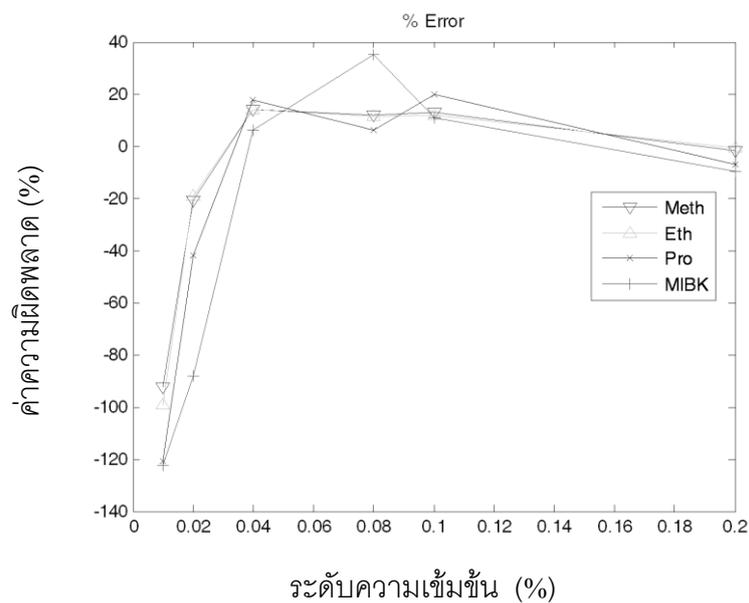
ผลการทดสอบตัวอย่าง

เมื่อได้กราฟมาตรฐานมาแล้วนำมาอ่านค่าตัวอย่างตามสมการที่ 4.17 ค่าที่อ่านได้แสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบตัวอย่างเฉลี่ยจากตัวอย่าง 10 ครั้ง ของตัวอย่างทั้ง 6 ความเข้มข้นด้วย
กราฟมาตรฐานเชิงเส้นแบบลดช่วง

| สาร | Methanol | | Ethanol | | Propanol | | MiBK | |
|------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| | ค่าความ เข้มข้น (%Vol) | เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%) | ค่าความ เข้มข้น (%Vol) | เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%) | เวลาที่ 3 (min) | เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%) | เวลาที่ 4 (min) | เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%) |
| 0.01 | 0.0016 | -92.15 | 0.0002 | -98.98 | -0.0042 | -120.93 | -0.0045 | -122.41 |
| 0.02 | 0.0158 | -20.98 | 0.0162 | -19.11 | 0.0116 | -41.81 | 0.0024 | -88.08 |
| 0.04 | 0.0455 | 13.82 | 0.0456 | 14.02 | 0.0471 | 17.65 | 0.0425 | 6.24 |
| 0.08 | 0.0896 | 11.95 | 0.0890 | 11.19 | 0.0848 | 5.95 | 0.1080 | 34.95 |
| 0.1 | 0.1131 | 13.12 | 0.1116 | 11.64 | 0.1197 | 19.65 | 0.1109 | 10.87 |
| 0.2 | 0.1957 | -2.16 | 0.1977 | -1.16 | 0.1865 | -6.77 | 0.1793 | -10.37 |

พบว่าผลจากความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวอย่างที่ฉีดทำให้ค่าของสารตัวอย่างที่อ่านได้มีค่าความผิดพลาด
สูง ดังแสดงในรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 แสดงค่าความผิดพลาดจากการวัดสารตัวอย่างด้วยกราฟมาตรฐานเชิงเส้นที่ปรับปรุง

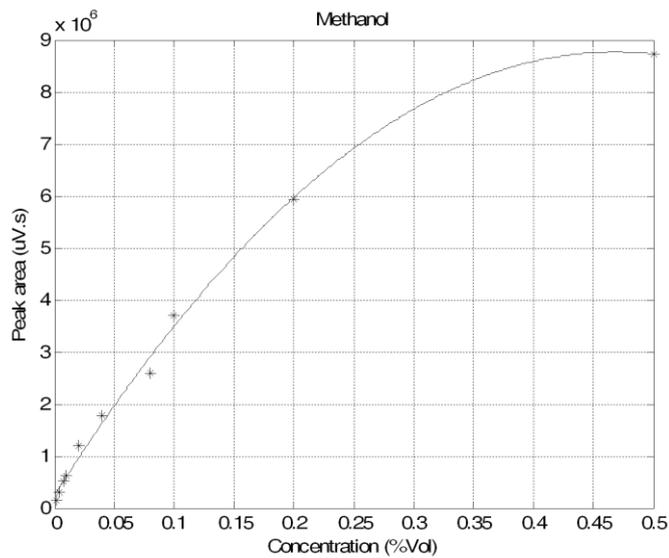
4.5.4 วิธีการถดถอยพหุนาม

วิธีการนี้เป็นการสร้างกราฟมาตรฐานเป็นสมการกำลังสูงสุดเป็นสอง หรือ Quadratic ซึ่งจะ
มีรูปสมการเป็น

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (4.31)$$

ได้กราฟมาตรฐานแบบนี้เหมาะสมกับกราฟมาตรฐานที่ไม่เป็นเชิงเส้นและสมการกราฟ
มาตรฐานที่ได้จะเท่ากับชนิดสารเคมีที่ทำการวัดดังนี้

ก.กราฟมาตรฐาน ของ เมทานอล

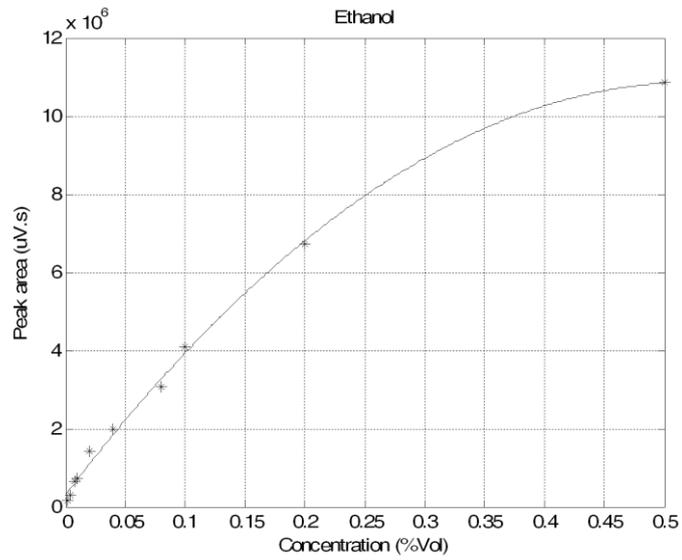


รูปที่ 4.46 กราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสองของเมทานอล

สมการของกราฟมาตรฐานของเมทานอลในรูปที่ 4.46 มีสมการดังสมการที่ 4.27

$$\text{สมการ } y = 242588.91x^2 + 36396413.42x - 38860253.25 \quad (4.27)$$

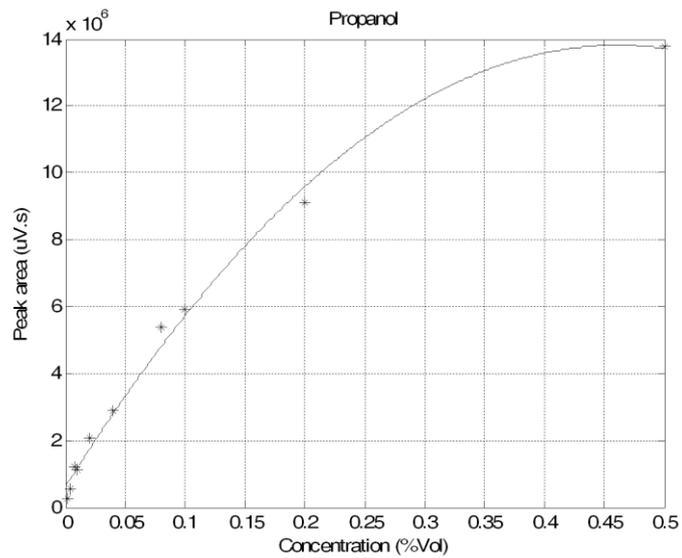
ข.กราฟมาตรฐาน ของ เอทานอล



รูปที่ 4.47 กราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสองของเอทานอล

สมการของกราฟมาตรฐานของเอทานอลในรูปที่ 4.47 มีสมการดังสมการที่ 4.28
สมการ $y = 304217.45x^2 + 40131380.13x - 38127927.36$ (4.28)

ค.กราฟมาตรฐาน ของ โพรพานอล

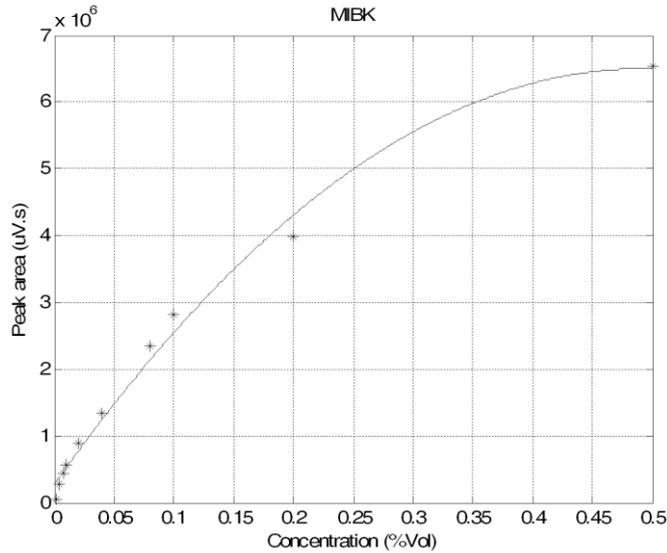


รูปที่ 4.48 กราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสองของโพรพานอล

สมการของกราฟมาตรฐานของโพรพานอลในรูปที่ 4.48 มีสมการดังสมการที่ 4.29

$$y = 624947.42x^2 + 57245499.77x - 62121382.89 \quad (4.29)$$

ง.กราฟมาตรฐาน ของ เอ็มไอบีเค



รูปที่ 4.49 กราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสองของเอ็มไอบีเค

สมการของกราฟมาตรฐานของเอ็มไอบีเคในรูปที่ 4.49 มีสมการดังสมการที่ 4.30

$$y = 275858.34x^2 + 25303643.76x - 25724392.45 \quad (4.30)$$

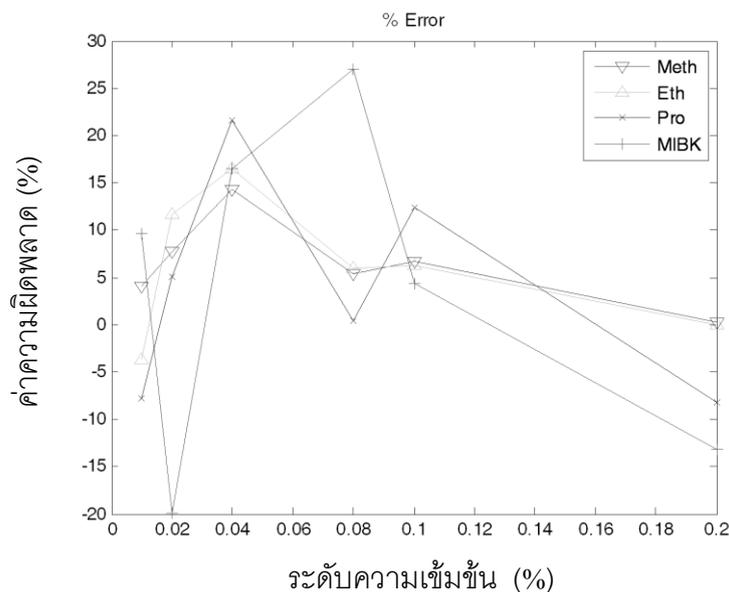
เมื่อได้สมการกราฟมาตรฐานแล้วก็นำมาวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของตัวอย่างโดยสามารถหาค่าความเข้มข้น (x) ได้จากสมการ

$$x = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2(a_0 - y)}}{2a_2} \quad (4.31)$$

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบตัวอย่างเฉลี่ยจากตัวอย่าง 10 ครั้ง ของตัวอย่างทั้ง 6 ความเข้มข้นด้วย
กราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสอง

| สาร | Methanol | | Ethanol | | Propanol | | MiBK | |
|------|------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | ค่าความ เข้มข้น (%Vol) | เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%) | ค่าความ เข้มข้น (%Vol) | เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%) | เวลาที่คที่ 3 (min) | เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%) | เวลาที่คที่ 4 (min) | เปอร์เซ็นต์ ความ ผิดพลาด (%) |
| 0.01 | 0.01041 | 4.07 | 0.00963 | -3.66 | 0.00923 | -7.74 | 0.01096 | 9.64 |
| 0.02 | 0.0215 | 7.64 | 0.0223 | 11.63 | 0.0210 | 5.09 | 0.0160 | -19.97 |
| 0.04 | 0.0457 | 14.24 | 0.0466 | 16.48 | 0.0486 | 21.58 | 0.0466 | 16.46 |
| 0.08 | 0.0843 | 5.40 | 0.0848 | 6.00 | 0.0803 | 0.37 | 0.1016 | 27.03 |
| 0.1 | 0.1067 | 6.66 | 0.1062 | 6.17 | 0.1124 | 12.38 | 0.1043 | 4.28 |
| 0.2 | 0.1992 | -0.42 | 0.1996 | -0.18 | 0.1843 | -7.83 | 0.1722 | -13.91 |

พบว่าผลจากความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวอย่างที่ฉีดเมื่อใช้วิธีการถดถอยพหุนามแบบ
Quadratic หรือกำลังสองพบว่าค่าความผิดพลาดลดลงจากวิธีการถดถอยเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 4.50
มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 28%



รูปที่ 4.50 แสดงค่าความผิดพลาดจากการวัดสารตัวอย่างด้วยกราฟมาตรฐานพหุนามกำลังสอง

ดังนั้นวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับการใช้วิเคราะห์ค่าที่ได้จากการสร้างกราฟมาตรฐาน โดยวิธีการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟคือวิธีการถดถอยแบบพหุนามที่มีกำลังสูงสุดเป็นสองหรือ Quadratic เนื่องจากให้ค่าความผิดพลาดต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการถดถอยเชิงเส้น

4.5.5 ผลการทดสอบตัวอย่างชนิดเดียวและแบบหลายชนิดผสมกัน

จากการทดสอบการฉีดตัวอย่างที่มีการผสมกันมาของตัวอย่างทั้ง 4 ชนิดแล้วพบว่าเมื่อใช้การวิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธีการถดถอยพหุนามแบบกำลังสองให้ผลการอ่านค่าที่มีความผิดพลาดต่ำสุด จึงได้นำมาใช้กับการทดสอบในกรณีที่ตัวอย่างเป็นสารเคมีเดี่ยวๆ ตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบประกอบไปตัวอย่างชนิดเดียวแยกกันทั้ง 4 ชนิด คือเมทานอล เอทานอล โพรพานอล และเอ็มไอพีเค โดยสารตัวอย่างทั้งหมดทดสอบที่ 6 ระดับความเข้มข้น ประกอบด้วยความเข้มข้น 0.01%Vol, 0.02%Vol, 0.04%Vol, 0.08%V, 0.1%Vol และ 0.2%Vol ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบตัวอย่างจากการฉีดตัวอย่างชนิดเดียว

| ความเข้มข้น (%) | Methanol (%) | Methanol Error (%) | Ethanol (%) | Ethanol Error (%) | Propanol (%) | Propanol Error (%) | MiBK (%) | MiBK Error (%) |
|-----------------------------|--------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------|--------------------|----------|----------------|
| ผลการทดสอบตัวอย่าง Methanol | | | | | | | | |
| 0.01 | 0.0106 | 6.27 | - | - | - | - | - | - |
| 0.02 | 0.0244 | 16.69 | - | - | - | - | - | - |
| 0.04 | 0.0426 | 6.70 | - | - | - | - | - | - |
| 0.08 | 0.0735 | -8.10 | - | - | - | - | - | - |
| 0.1 | 0.0913 | -8.70 | - | - | - | - | - | - |
| 0.2 | 0.1876 | -6.16 | - | - | - | - | - | - |
| ผลการทดสอบตัวอย่าง Ethanol | | | | | | | | |
| 0.01 | - | - | 0.0105 | 5.87 | - | - | - | - |
| 0.02 | - | - | 0.0265 | 32.54 | - | - | - | - |
| 0.04 | - | - | 0.0498 | 24.52 | - | - | - | - |
| 0.08 | - | - | 0.1013 | 26.68 | - | - | - | - |
| 0.1 | - | - | 0.1146 | 14.66 | - | - | - | - |
| 0.2 | - | - | 0.2340 | 17.04 | - | - | - | - |
| ผลการทดสอบตัวอย่าง Propanal | | | | | | | | |
| 0.01 | - | - | - | - | 0.0079 | -20.91 | - | - |
| 0.02 | - | - | - | - | 0.0204 | 2.35 | - | - |
| 0.04 | - | - | - | - | 0.0367 | -8.04 | - | - |
| 0.08 | - | - | - | - | 0.0783 | -2.04 | - | - |
| 0.1 | - | - | - | - | 0.1064 | 6.39 | - | - |
| 0.2 | - | - | - | - | 0.1817 | -9.15 | - | - |
| ผลการทดสอบตัวอย่าง MiBK | | | | | | | | |
| 0.01 | | | - | - | - | - | 0.0103 | 2.97 |
| 0.02 | | | - | - | - | - | 0.0183 | 8.29 |
| 0.04 | | | - | - | - | - | 0.0454 | 13.57 |
| 0.08 | | | - | - | - | - | 0.0762 | -4.72 |
| 0.1 | | | - | - | - | - | 0.1272 | 27.23 |
| 0.2 | | | - | - | - | - | 0.1923 | -3.81 |

จากการทดลองพบว่าการตรวจสอบชนิดของสารตัวอย่างกรณีที่เป็นทั้ง 4 ชนิดผสมกันสามารถตรวจสอบชนิดได้ถูกต้องทั้งหมด แต่ในกรณีที่เป็นสารเดี่ยวพบว่าในบางครั้งมีการตรวจสอบแล้วอ่านผลที่ได้มาผิดพลาด เช่น ตรวจสอบเอทานอลที่ 0.02% พบว่ามีค่าพื้นที่ใต้กราฟของเมทานอลด้วย ซึ่งสาเหตุเกิดจากตำแหน่งของพีคเมทานอลมีความขึ้นมารบกวน ดังนั้นในการทดสอบทั้งหมดพบว่าการทดสอบชนิดของสารระเหยมีความถูกต้องเป็น 88.75 %

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบตัวอย่างที่เกิดจากการเมทาโทลผสมกับเอทานอล

| ความเข้มข้น (%) | Methanol (%) | Methanol Error (%) | Ethanol (%) | Ethanol Error (%) | Propanol (%) | Propanol Error (%) | MiBK (%) | MiBK Error (%) |
|-----------------------------|--------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------|--------------------|----------|----------------|
| ผลการทดสอบตัวอย่าง Methanol | | | | | | | | |
| 0.01 | 0.0092 | -7.34 | 0.0103 | 3.64 | - | - | - | - |
| 0.02 | 0.0234 | 17.35 | 0.0238 | 19.10 | - | - | - | - |
| 0.04 | 0.0442 | 10.61 | 0.0470 | 17.70 | - | - | - | - |
| 0.08 | 0.0713 | -10.82 | 0.0912 | 14.04 | - | - | - | - |
| 0.1 | 0.0946 | -5.37 | 0.1179 | 17.90 | - | - | - | - |
| 0.2 | 0.1933 | -3.30 | 0.2042 | 2.10 | - | - | - | - |

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบการฉีดตัวอย่างที่เกิดจากการผสมเมทานอล เอทานอลและโพรพานอล

| ความเข้มข้น (%) | Methanol (%) | Methanol Error (%) | Ethanol (%) | Ethanol Error (%) | Propanol (%) | Propanol Error (%) | MiBK (%) | MiBK Error (%) |
|-----------------------------|--------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------|--------------------|----------|----------------|
| ผลการทดสอบตัวอย่าง Methanol | | | | | | | | |
| 0.01 | 0.0113 | 13.17 | 0.0082 | -17.56 | 0.0116 | 16.02 | - | - |
| 0.02 | 0.0201 | 0.51 | 0.0180 | -9.54 | 0.0256 | 28.40 | - | - |
| 0.04 | 0.0384 | -3.91 | 0.0384 | -3.97 | 0.0294 | -26.48 | - | - |
| 0.08 | 0.0674 | -15.66 | 0.0680 | -14.97 | 0.0993 | 24.21 | - | - |
| 0.1 | 0.1053 | 5.34 | 0.0930 | -6.91 | 0.1132 | 13.26 | - | - |
| 0.2 | 0.1929 | -3.51 | 0.1765 | -11.73 | 0.2317 | 15.89 | - | - |

เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดในช่วงความเข้มข้น 0.01-0.2% 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%

วิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมด 240 ครั้งเมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยพิจารณาจากตำแหน่งเวลาที่เกิดพีคขึ้นพบว่าบางครั้งจะเกิดพื้นที่ผิดพลาดขึ้นมาเช่นทดสอบ MiBK ที่ความเข้มข้น 0.04% ซึ่งจะเกิดพื้นที่ที่เวลา 15.176 พบว่ามีพื้นที่ที่เวลา 2.283 นาที ขึ้นมาด้วยดังนั้นถ้าพิจารณาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นลักษณะนี้ทั้งหมดมี 24 ครั้ง จำนวนครั้งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตรวจพบพีคถูกต้องคิดเป็น 90.00%

จากนั้นใช้โปรแกรมอ่านค่าโดยกำหนดค่า threshold ที่ $34000\mu\text{V}\cdot\text{S}$ และค่าเวลาของเมทานอล a_1-b_1 เป็นช่วงเวลาที่ $t > 2.000$ นาที ถึง $t < 2.466$ นาที ค่าเวลาของเอทานอล a_2-b_2 เป็นช่วงเวลาที่ $t > 2.724$ นาที ถึง $t < 3.100$ นาที ค่าเวลาของโพรพานอล a_3-b_3 เป็นช่วงเวลาที่ $t > 3.190$ นาที ถึง $t < 3.6$ นาที และค่าเวลาของเมทานอล a_4-b_4 เป็นช่วงเวลาที่ $t > 14.000$ นาที ถึง $t < 17.000$ นาที ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการที่ 4.32 จะได้พื้นที่ใต้กราฟของสารเคมีนั้นๆ มา จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณตามสมการของสารเคมีแต่ละตัวต่อไปซึ่งจะได้ค่าปริมาณของสาร

$$\left. \begin{aligned}
 area_{meth} &= \begin{cases} \text{if } h \left(\frac{f(x_{a_1}) + f(x_{b_1})}{2} + \sum_{i=a_1+1}^{b_1-1} f(x_i) \right) > 34000 \\ \text{else, } area_{meth} = 0 \end{cases} \\
 area_{eth} &= \begin{cases} \text{if } h \left(\frac{f(x_{a_2}) + f(x_{b_2})}{2} + \sum_{i=a_2+1}^{b_2-1} f(x_i) \right) > 34000 \\ \text{else, } area_{eth} = 0 \end{cases} \\
 area_{pro} &= \begin{cases} \text{if } h \left(\frac{f(x_{a_3}) + f(x_{b_3})}{2} + \sum_{i=a_3+1}^{b_3-1} f(x_i) \right) > 34000 \\ \text{else, } area_{pro} = 0 \end{cases} \\
 area_{mibk} &= \begin{cases} \text{if } h \left(\frac{f(x_{a_4}) + f(x_{b_4})}{2} + \sum_{i=a_4+1}^{b_4-1} f(x_i) \right) > 34000 \\ \text{else, } area_{mibk} = 0 \end{cases}
 \end{aligned} \right\} (4.32)$$

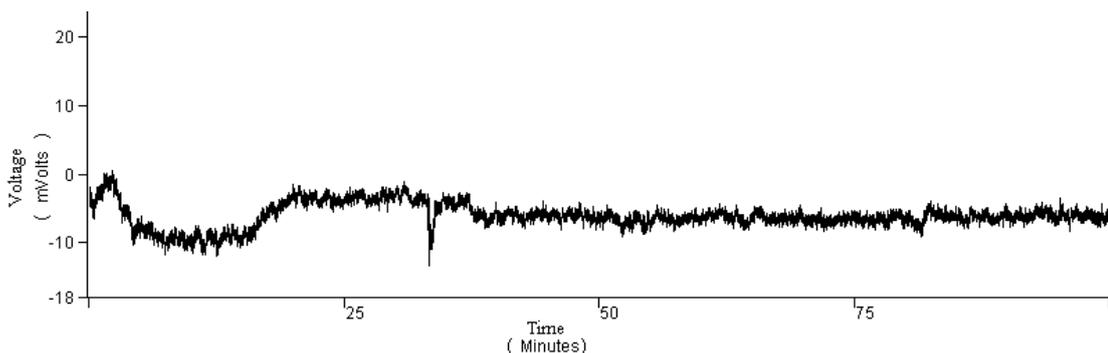
เมื่อทำการคำนวณหาค่าปริมาณแล้วในกรณีที่ค่าที่อ่านได้มีค่าต่ำมาก ๆ ซึ่งจากการวิเคราะห์ อาจเป็นสัญญาณรบกวนก็จะทำการก็ทำการตั้ง threshold ไว้ที่ 0.002% ของค่าที่อ่านได้ดังแสดงใน สมการที่ 4.33 หากค่าที่อ่านได้น้อยกว่า 0.002% ให้ผลของการวิเคราะห์เป็น 0

$$\begin{aligned}
 meth &= \begin{cases} meth & \text{if } meth \geq 0.002\% \\ 0 & \text{else} \end{cases} \\
 eth &= \begin{cases} eth & \text{if } eth \geq 0.002\% \\ 0 & \text{else} \end{cases} \\
 pro &= \begin{cases} pro & \text{if } pro \geq 0.002\% \\ 0 & \text{else} \end{cases} \\
 mibk &= \begin{cases} mibk & \text{if } mibk \geq 0.002\% \\ 0 & \text{else} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{4.33}$$

เมื่อทำการทดสอบด้วยโปรแกรมได้กำหนดค่าต่ำสุดที่จะไม่พิจารณาค่าที่ต่ำเกินไปและกำหนด ช่วงเวลาของสารแต่ละตัวแล้วทำการวิเคราะห์พบว่ามีความถูกต้องในการทำการวิเคราะห์ชนิดเป็น 100%

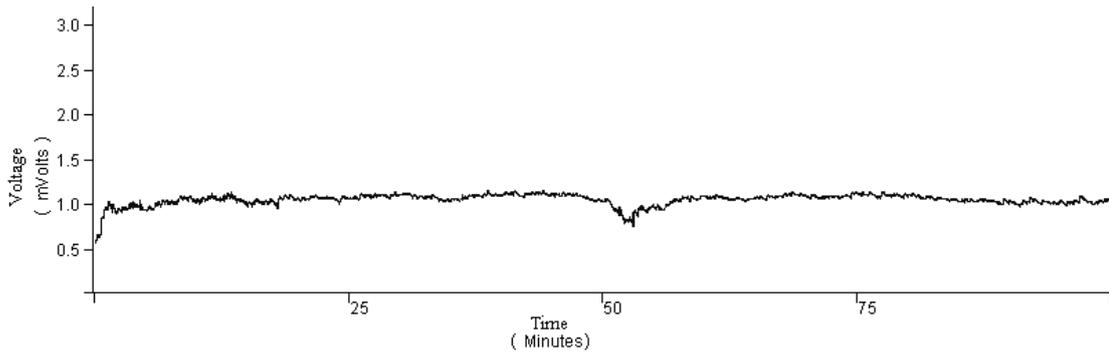
4.5.6 การวิเคราะห์สัญญาณรบกวน

การวิเคราะห์สัญญาณรบกวนจากการทดลองในครั้งนี้เริ่มแรกผู้ทดลองได้ทำการประยุกต์ใช้ เซ็นเซอร์เบอร์ TGS 822 ซึ่งเมื่อทำการทดสอบทิ้งไว้เป็นเวลา 100 นาทีจะได้สัญญาณรบกวนดังรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 สัญญาณรบกวนของเซ็นเซอร์เบอร์ TGS 822

และในการปรับปรุงระบบได้ทำการเปลี่ยนเซ็นเซอร์เป็นเบอร์ TGS 2620 ซึ่งเมื่อทำการ ทดสอบทิ้งไว้เป็นเวลา 100 นาทีจะได้สัญญาณรบกวนดังรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 สัญญาณรบกวนของเซ็นเซอร์เบอร์ TGS 2620

ดังนั้นมาทำการทดสอบวิเคราะห์สัญญาณรบกวนโดยลักษณะสัญญาณรบกวนมี 2 ลักษณะ คือสัญญาณรบกวนระยะสั้นหรือ Short term noise คือความแปรปรวนแบบสุ่มในสัญญาณที่ออกมาจากเซ็นเซอร์ในที่นี้หาค่าโดยกำหนดระยะเวลาในการตรวจวัดให้ได้ค่าการสุ่มมาจำนวน 100 ครั้งจากนั้นคำนวณโดย

$$Noise = X_i(\max) - X_i(\min) \quad (4.34)$$

และได้ทำการทดสอบสัญญาณรบกวนระยะยาวหรือ Long term noise ซึ่งจะมีลักษณะเป็นแอ่งหรือพีคซึ่งจะเป็นการยากที่จะแยกจากพีคจริงๆที่ความเข้มข้นต่ำๆสามารถหาได้จากสมการที่ 4.34 แต่กำหนดให้เพิ่มระยะเวลาเป็น 10 เท่าของ Short term noise

ความเลื่อนลอยหรือ Drift เป็นการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงอย่างสม่ำเสมอของเส้นฐานซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขของโครมาโตกราฟี เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลของตัวพาที่ความไม่เสถียรของเครื่องมือเนื่องจากอุณหภูมิ ค่า Drift หาได้จากสมการที่ 4.35

$$Drift = \frac{Baseline_{(\max)} - Baseline_{\min}}{time} \quad (4.35)$$

ผลจากการทดสอบเซ็นเซอร์ทั้งสองตัวในด้านสัญญาณรบกวนทั้งแบบ Short term noise, Long term noise และ Drift แสดงดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบสัญญาณรบกวนแบบ Short term noise, Long term noise และ Drift ของเซ็นเซอร์เบอร์ TGS 822 และ TGS 2620

| เซ็นเซอร์เบอร์ | Short term noise (mV) | Long term noise (mV) | Drift (mV/min) |
|----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| TGS 822 | 3.03 | 7.70 | 0.1398 |
| TGS 2620 | 0.09 | 0.47 | 0.0059 |

ซึ่งจากตารางที่ 4.25 จะพบว่าค่าสัญญาณรบกวนและ Drift ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เซ็นเซอร์เบอร์ TGS 2620 มีค่าน้อยกว่า เซ็นเซอร์เบอร์ TGS 822 ดังนั้นเซ็นเซอร์เบอร์ TGS 2620 จึงมีคุณสมบัติดีกว่าด้านสัญญาณรบกวนในการประยุกต์ใช้เป็นจมูกอิเล็กทรอนิกส์