

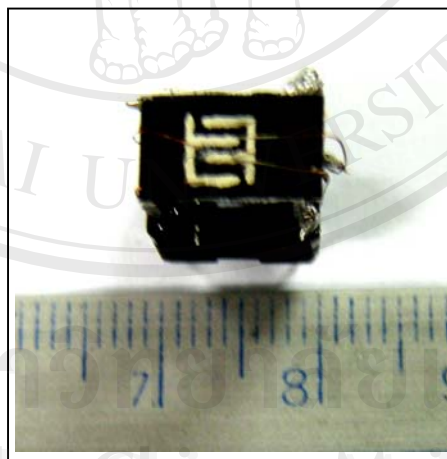
บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

หัวตรวจวัดไอเอทานอลที่ประดิษฐ์จากท่อนาโนคาร์บอนที่ยังไม่ได้รับไอเอทานอล ค่าความต้านทานไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อได้รับไอเอทานอลความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดจะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นกล่าวคือค่าความต้านทานไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเข้าสู่สภาวะคงที่

4.1 ขนาดของหัวตรวจวัดไอเอทานอล

ในการทดลองครั้งนี้ได้ประดิษฐ์หัวตรวจวัดไอเอทานอลจากท่อนาโนคาร์บอนผสมกับ พิวเอรีออล 0, 1.2, 2, 4 และ 8 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยใช้เทคนิคซิลสกรีน(Silk Screen) จะได้หัวตรวจวัดไอเอทานอลมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มหนานบนแผ่นอลูมินา ความหนาของแผ่นฟิล์มเฉลี่ย ของหัวตรวจวัดแต่ละตัวแสดงดังตารางที่ 4.1 มีขนาด 0.6×1 ตารางเซนติเมตรดังรูปที่ 4.1



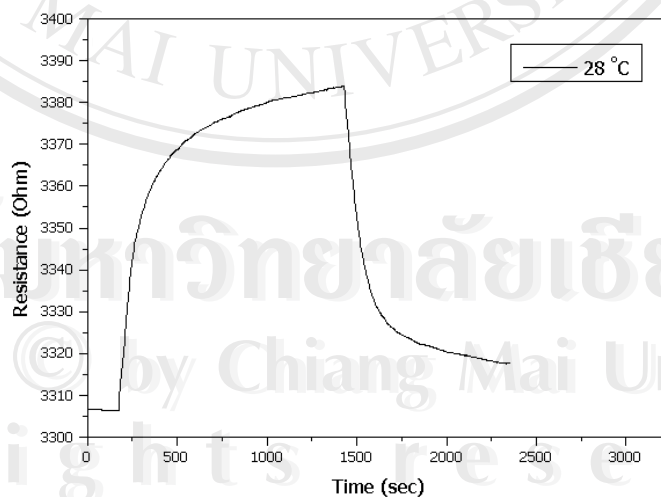
รูปที่ 4.1 แสดงภาพหัวตรวจวัดไอเอทานอลท่อนาโนคาร์บอน

ตารางที่ 4.1 แสดงความหนาเฉลี่ยของแผ่นฟิล์มบนแผ่นอลูมินาของหัวตรวจวัดไอเอทานอล

ชนิดของหัวตรวจวัด	ความหนาของแผ่นฟิล์มเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
CNTs+0%PVA	0.02 ± 0.01
CNTs+1.2%PVA	0.02 ± 0.01
CNTs+2%PVA	0.03 ± 0.01
CNTs+4%PVA	0.03 ± 0.01
CNTs+8%PVA	0.04 ± 0.01

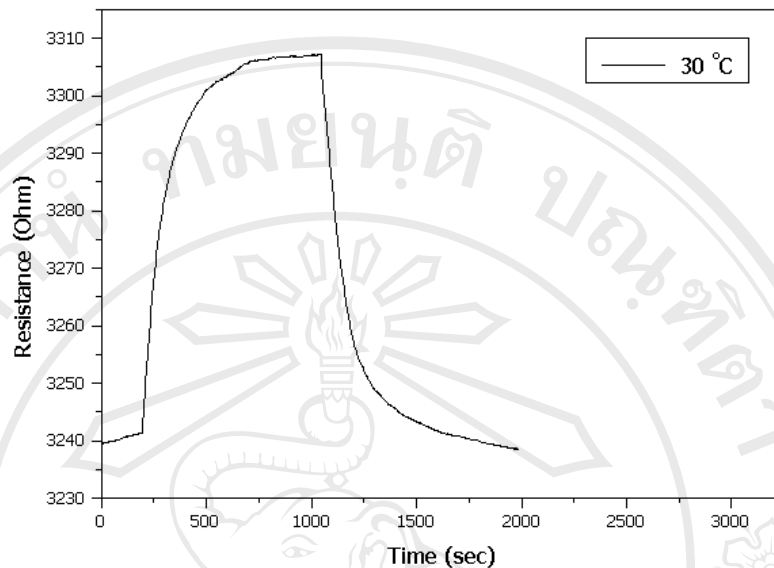
4.2 ผลการทดสอบหัวตรวจวัดไอเอทานอลที่อุณหภูมิ 28, 30, 35, 40 และ 50 องศาเซลเซียส

เมื่อนำหัวตรวจวัดไอเอทานอลมาทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 28, 30, 35, 40 และ 50 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดไอเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดไอเอทานอลที่ได้จากการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2-4.6 เราสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าสภาพไวการตอบสนอง เวลาการตอบสนอง เวลาในการคืนตัว ดังแสดงในตารางที่ 4.2

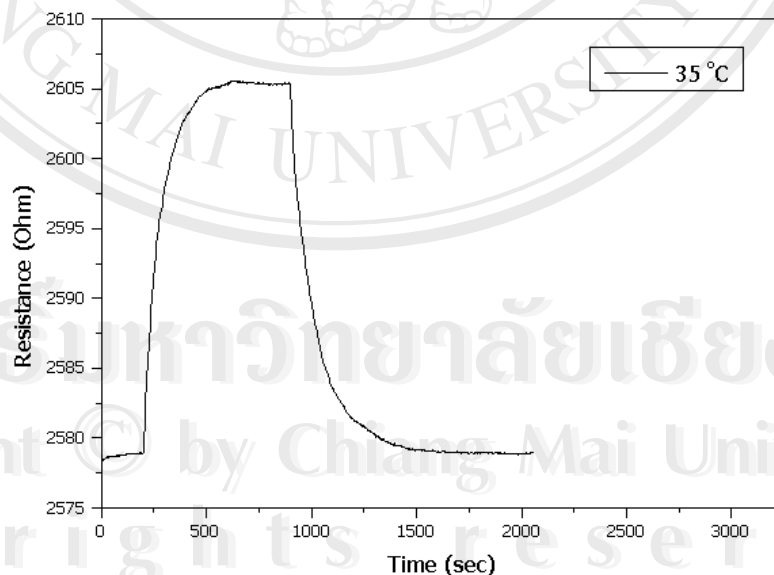


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัด

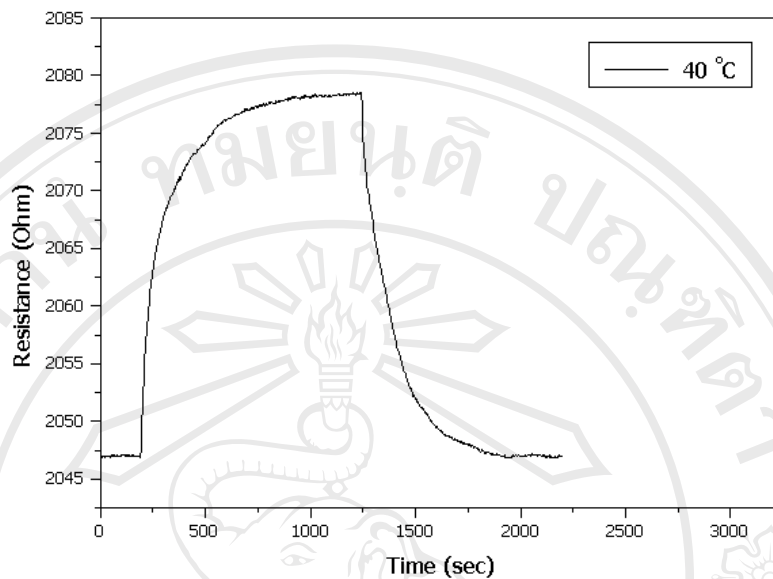
ไอเอทานอล CNTs+0%PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 28 °C



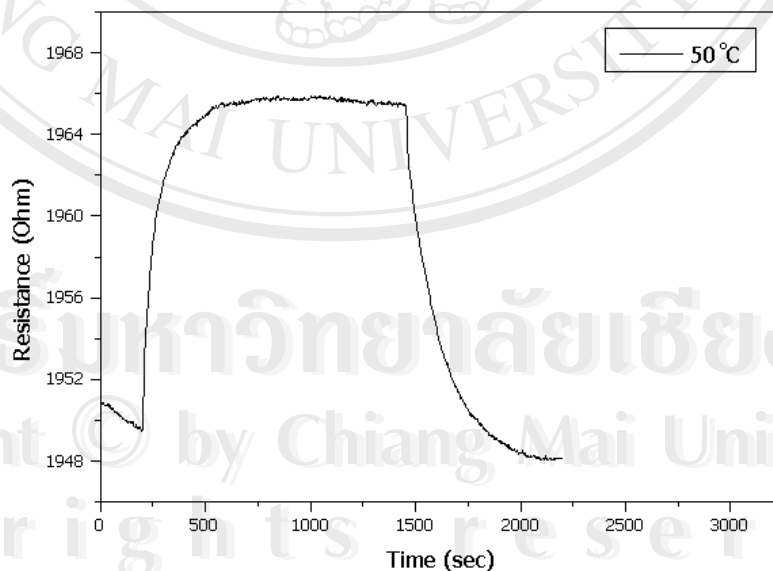
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+0% PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 30 °C



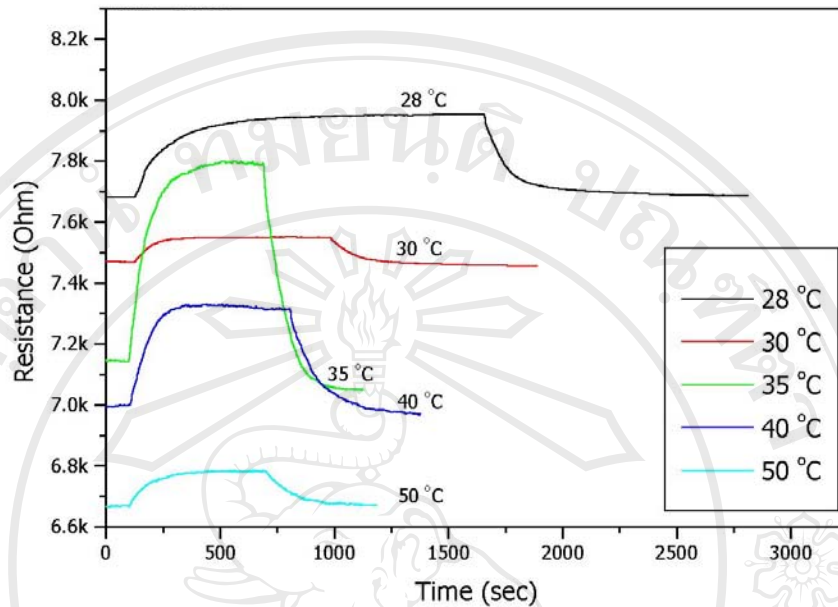
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+0% PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 35 °C



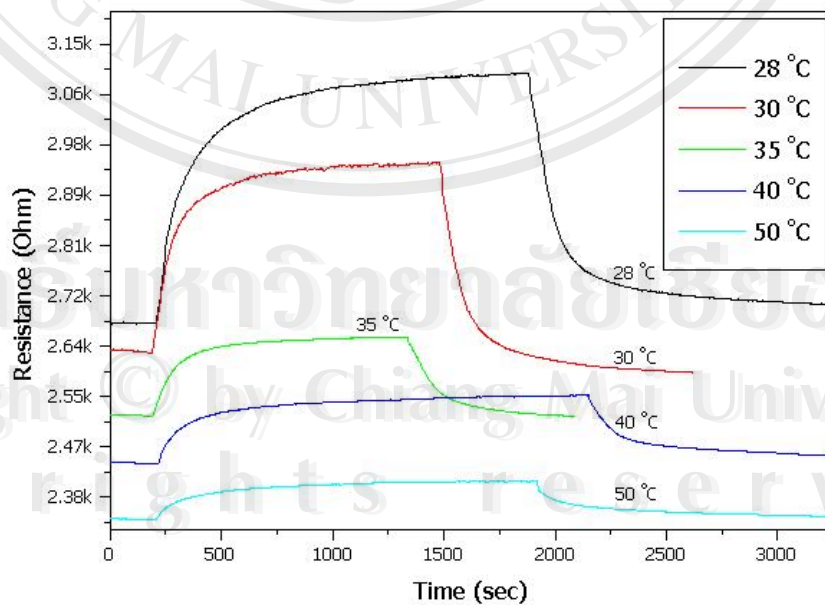
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัด
ไอเอทานอล CNTs+ 0% PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm
ที่อุณหภูมิ 40 °C



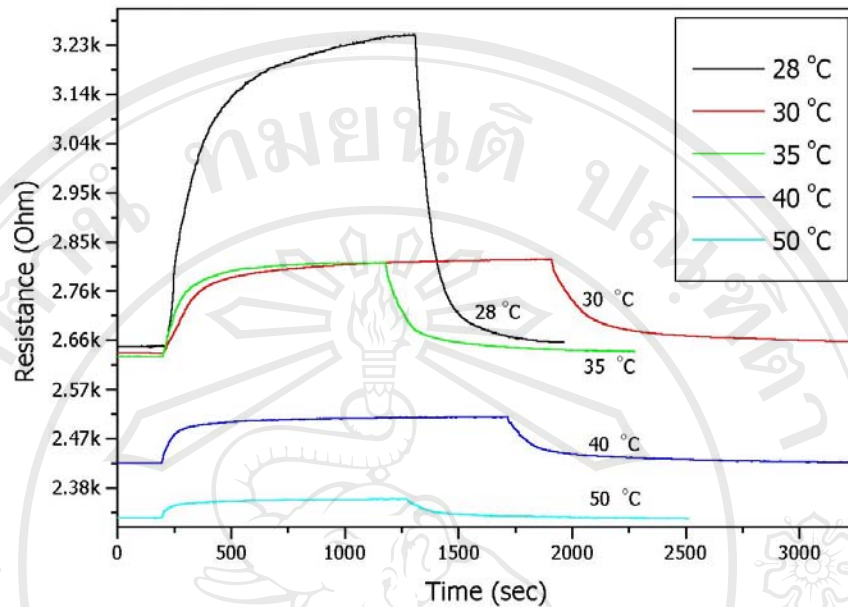
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัด
ไอเอทานอล CNTs+0% PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm
ที่อุณหภูมิ 50 °C



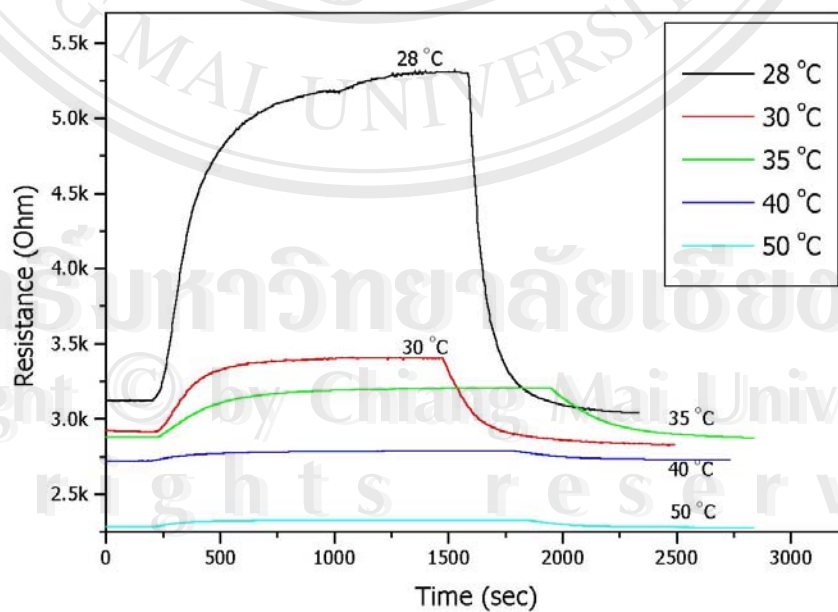
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัด
ไอเอทานอล CNTs+1.2% PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิ
ต่างๆ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัด
ไอเอทานอล CNTs+2% PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัด
ไอเอทานอล CNTs+ 4% PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm
ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัด
ไอเอทานอล CNTs+ 8% PVA เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติของหัวตรวจวัดไอเอทานอล ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 28, 30, 35, 40 และ 50 °C

ชนิดของ หัวตรวจวัด ไอเอทานอล	อุณหภูมิ (°C)	R _a (kΩ)	R _g (kΩ)	Sensitivity	Response time (sec)	Recovery time (sec)
CNTs+ 0%PVA	28	3.31	3.38	1.02	593	328
	30	3.24	3.31	1.02	295	359
	35	2.58	2.61	1.01	197	282
	40	2.05	2.08	1.02	352	305
	50	1.95	1.97	1.01	188	248
CNTs+1.2%PVA	28	7.67	7.95	1.04	439	287
	30	7.47	7.55	1.01	177	319
	35	7.14	7.80	1.09	184	175
	40	7.00	7.33	1.05	161	295
	50	6.67	6.78	1.02	228	229
CNTs+2%PVA	28	2.67	3.10	1.16	554	383
	30	2.62	2.94	1.12	394	345
	35	2.44	2.65	1.09	249	340
	40	2.44	2.55	1.05	780	714
	50	2.34	2.41	1.03	704	518
CNTs+4%PVA	28	2.65	3.25	1.23	502	182
	30	2.64	2.82	1.07	567	487
	35	2.63	2.81	1.07	280	334
	40	2.42	2.51	1.04	348	511
	50	2.32	2.35	1.02	337	565

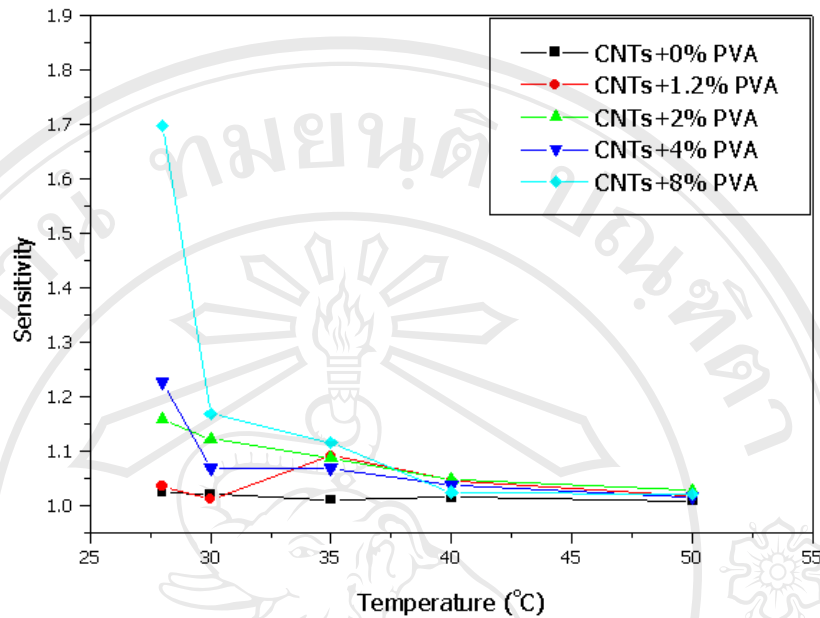
ตารางที่ 4.2(ต่อ)

ชนิดของ หัวตรวจวัด ไอเอทานอล	อุณหภูมิ (°C)	R_a (Ω)	R_g (Ω)	Sensitivity	Response time (sec)	Recovery time (sec)
CNTs+8%PVA	28	3.12	5.30	1.70	534	205
	30	2.91	3.40	1.17	373	375
	35	2.88	3.21	1.12	586	469
	40	2.72	2.79	1.03	624	434
	50	2.28	2.33	1.02	390	440

จากรูปที่ 4.2– 4.10 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดไอเอทานอลมีค่าลดลง เนื่องจากอิเล็กตรอนที่อยู่ในแฉววาเลนซ์ (valance band) ถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปยังแฉวนำ (conduction band) ทำให้เกิดมีการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าท่อนาโนคาร์บอนเป็นสารกึ่งตัวนำ

ที่อุณหภูมิห้องท่อนาโนคาร์บอนจะมีค่าความต้านทานไฟฟ้าค่าหนึ่ง เมื่อให้ความร้อนแก่ท่อนาโนคาร์บอนทำให้มีความต้านทานลดลงตามคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ บริเวณผิวของท่อนาโนคาร์บอนที่ได้รับความร้อนนั้น โมเลกุลของออกซิเจนในอากาศจะเกาะติดบริเวณผิวของท่อนาโนคาร์บอนและดึงอิเล็กตรอนจากท่อนาโนคาร์บอนทำให้มีจำนวนโฮลเพิ่มขึ้น⁽³⁾ เมื่อให้ไอเอทานอลเข้ามาภายในไอเอทานอลเริ่มทำปฏิกิริยากับไอออนลบที่บริเวณผิวของท่อนาโนคาร์บอน จึงส่งผลให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระตามสมการที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 จับคู่กับโฮล ทำให้จำนวนโฮลที่อยู่ภายในท่อนาโนคาร์บอนลดลงส่งผลให้ความต้านทานไฟฟ้าของท่อนาโนคาร์บอนโดยรวมมีความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ในการทดสอบหัวตรวจวัดไอเอทานอลที่อุณหภูมิ 28, 30, 35, 40 และ 50 องศาเซลเซียส จะพบว่าสภาพไวการตอบสนอง ณ อุณหภูมิต่างๆ จะมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวการตอบสนองกับอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวการตอบสนองกับอุณหภูมิต่างๆ ของหัวตรวจวัดที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 1000 ppm

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.11 สภาพไวการตอบสนองของหัวตรวจวัดแต่ละตัว ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+0%PVA, CNTs+1.2% PVA, CNTs+2%PVA, CNTs+4%PVA และ CNTs+8%PVA มีสภาพไวการตอบสนองเท่ากับ 1.01, 1.02, 1.03, 1.02 และ 1.02 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสภาพไวการตอบสนองอยู่ในช่วง 1.01 – 1.03 เท่า

สภาพไวการตอบสนองของหัวตรวจวัด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+0%PVA, CNTs+1.2%PVA, CNTs+2%PVA, CNTs+4%PVA และ CNTs+8%PVA มีสภาพไวการตอบสนองเท่ากับ 1.02, 1.05, 1.05, 1.04 และ 1.03 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสภาพไวการตอบสนองอยู่ในช่วง 1.02 – 1.05 เท่า

สภาพไวการตอบสนองของหัวตรวจวัด ณ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+0%PVA, CNTs+1.2%PVA, CNTs+2%PVA, CNTs+4%PVA และ CNTs+8%PVA มีสภาพไวการตอบสนองเท่ากับ 1.01, 1.10, 1.09, 1.07 และ 1.12 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสภาพไวการตอบสนองอยู่ในช่วง 1.01 – 1.12 เท่า

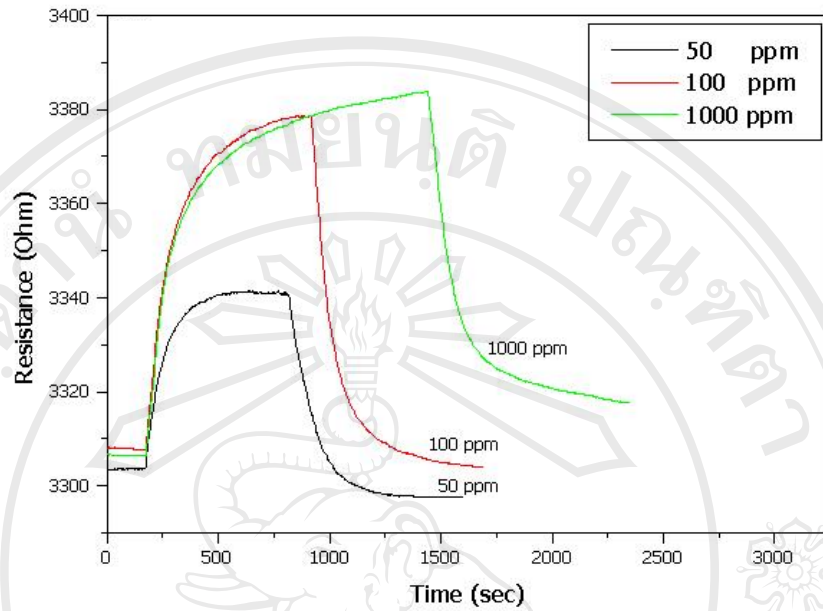
สภาพไวการตอบสนองของหัวตรวจวัด ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ของหัวตรวจวัด ไอเอทานอล CNTs+0%PVA, CNTs+1.2%PVA, CNTs+2%PVA, CNTs+4%PVA และ CNTs+8%PVA มีสภาพไวการตอบสนอง เท่ากับ 1.02, 1.01, 1.12, 1.07 และ 1.17 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสภาพไวการตอบสนองอยู่ในช่วง 1.01 – 1.17 เท่า

สภาพไวการตอบสนองของหัวตรวจวัด ณ อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ของหัวตรวจวัด ไอเอทานอล CNTs+0%PVA, CNTs+1.2%PVA, CNTs+2%PVA, CNTs+4%PVA และ CNTs+8% PVA มีสภาพไวการตอบสนอง เท่ากับ 1.02, 1.04, 1.16, 1.22 และ 1.70 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสภาพไวการตอบสนองอยู่ในช่วง 1.02 – 1.70 เท่า

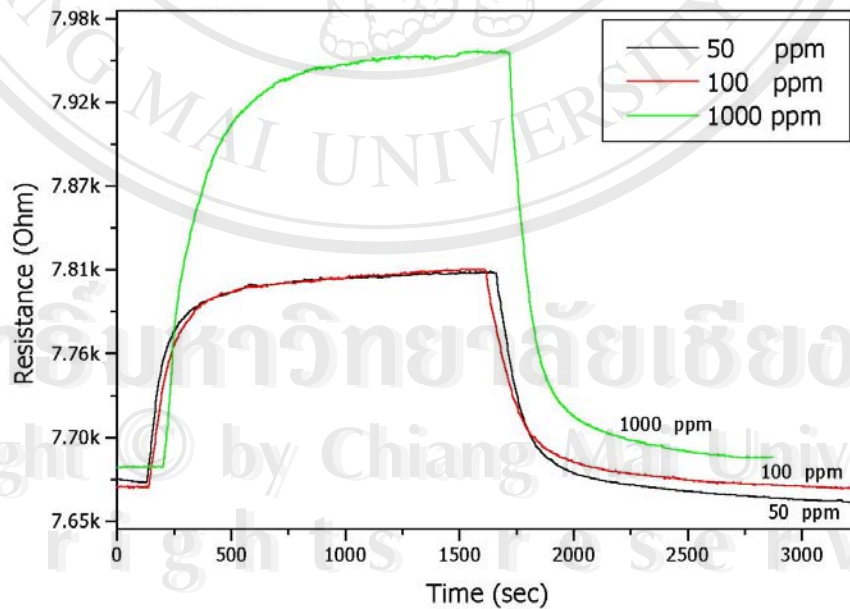
ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไปปริมาณของพีวีเอที่ผสมกับ ท่อนาโนคาร์บอนไม่ค่อยมีผลต่อสภาพไวการตอบสนอง โดยสภาพไวการตอบสนองของหัวตรวจวัดแต่ละตัวมีค่าไม่ต่างกันมากนัก แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียสปริมาณพีวีเอจะมีผลต่อ สภาพไวการตอบสนอง ในการทดลองครั้งนี้ทดสอบหัวตรวจวัดที่อุณหภูมิ 28 – 50 องศาเซลเซียส พบว่าสภาพไวการตอบสนองที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสมีสภาพไวการตอบสนองมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่นๆ

4.3 ผลการตอบสนองของหัวตรวจวัดไอเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

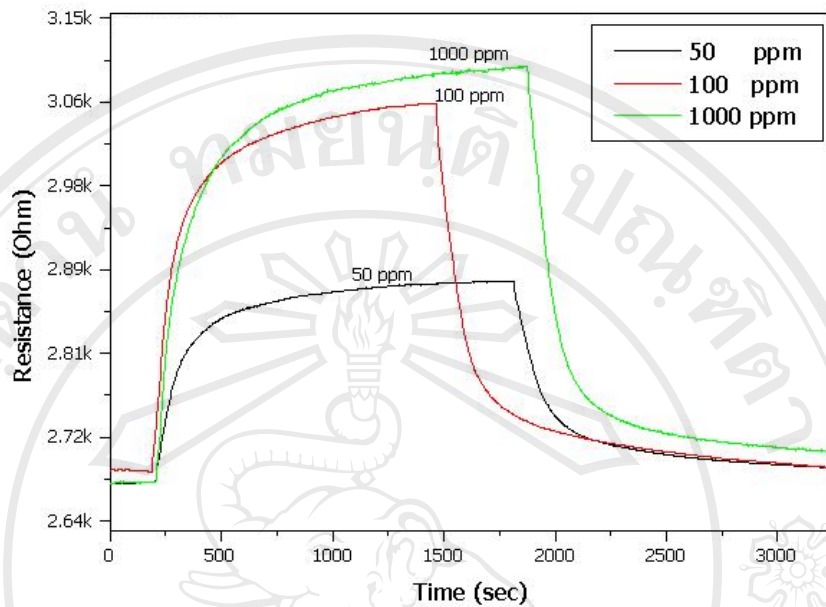
การทดสอบหัวตรวจวัดไอเอทานอลได้ทดสอบที่อุณหภูมิของหัวตรวจวัด 28, 30, 35, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสมีสภาพไวการตอบสนองมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส สำหรับการทดสอบ หัวตรวจวัดที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 50, 100 และ 1000 ppm ผลการตอบสนองของ หัวตรวจวัดจะได้รับความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.12 – 4.16 สามารถวิเคราะห์ค่าสภาพไวการตอบสนอง เวลาในการตอบสนอง และเวลาในการคืนตัวได้ดังตารางที่ 4.3



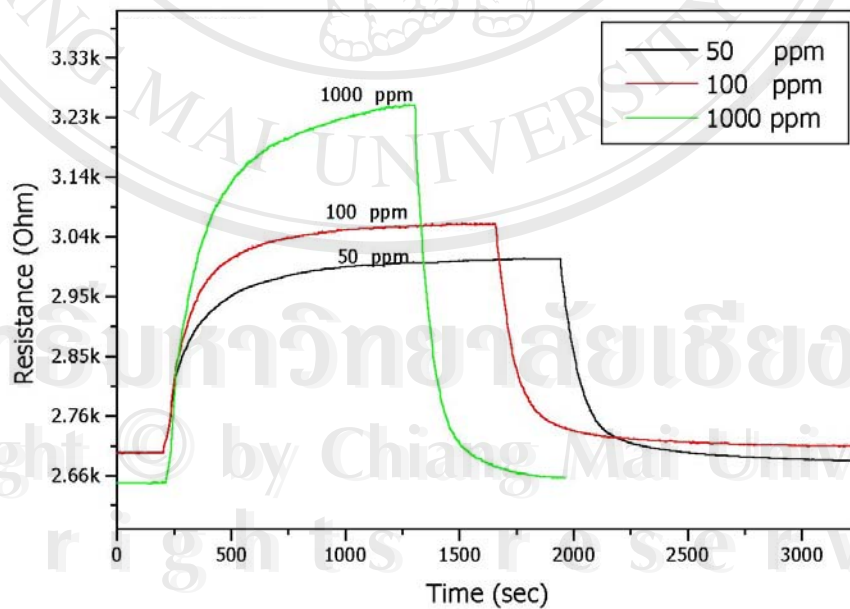
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+0% PVA ที่อุณหภูมิ 28 °C ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ



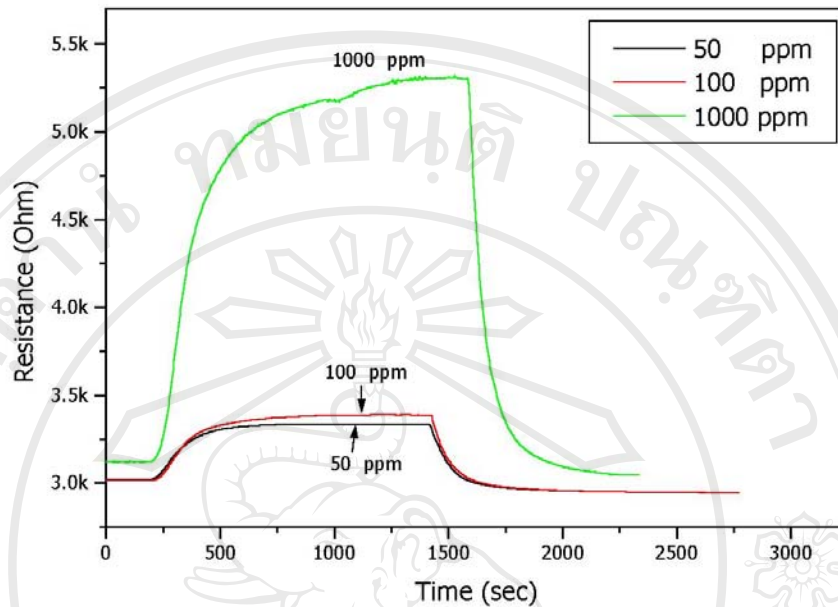
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+1.2%PVA ที่อุณหภูมิ 28 °C ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+2%PVA ที่อุณหภูมิ 28 °C ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNTs+4%PVA ที่อุณหภูมิ 28 °C ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับเวลาของหัวตรวจวัดไอเอทานอล CNT+8%PVA เมื่อทดสอบไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 28 °C

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของหัวตรวจวัดไอเอทานอล เมื่อทดสอบไอเอทานอลที่ความเข้มข้น 50, 100 และ 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 28 °C

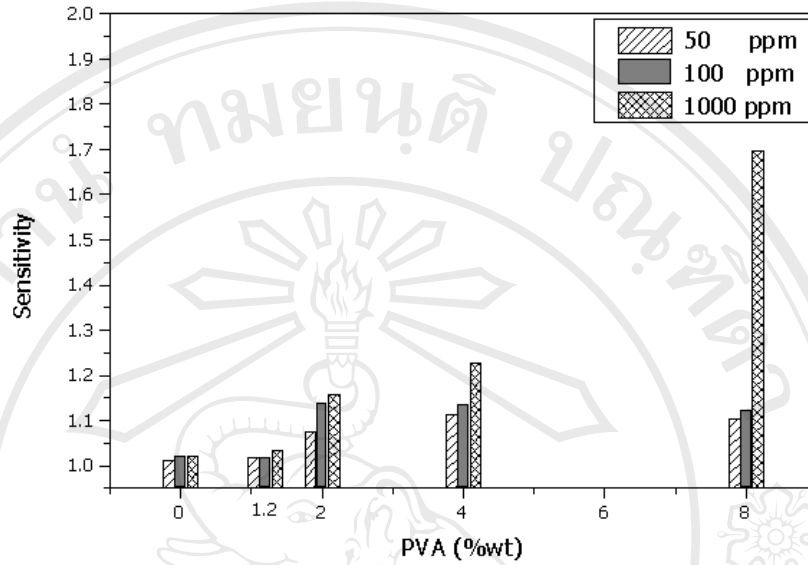
ชนิดของ หัวตรวจวัด ไอเอทานอล	ความเข้มข้นของ ไอเอทานอล (ppm)	R_a (Ω)	R_g (Ω)	Sensitivity	Response time (sec)	Recovery time (sec)
CNTs+0%PVA	50	3.30	3.34	1.01	204	248
	100	3.31	3.38	1.02	336	264
	1000	3.31	3.38	1.02	593	328
CNTs+1.2%PVA	50	7.67	7.81	1.02	355	477
	100	7.67	7.81	1.02	370	485
	1000	7.68	7.95	1.04	439	287

ตารางที่ 4.3(ต่อ)

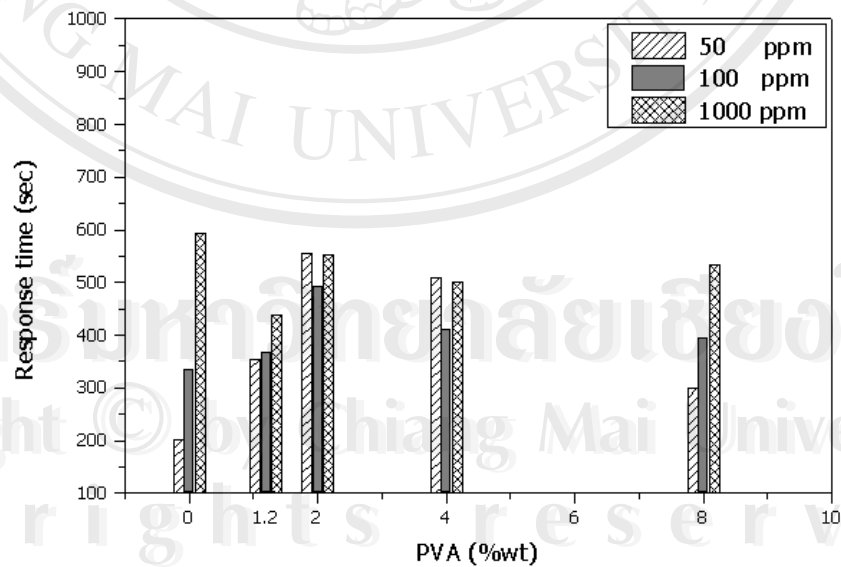
ชนิดของ หัวตรวจวัด ไอเอทานอล	ความเข้มข้นของ ไอเอทานอล (ppm)	R_a (Ω)	R_g (Ω)	Sensitivity	Response time (sec)	Recovery time (sec)
CNTs+2%PVA	50	2.67	2.88	1.08	557	556
	100	2.69	3.06	1.14	493	562
	1000	2.67	3.10	1.16	554	383
CNTs+4%PVA	50	2.70	3.00	1.11	510	285
	100	2.70	3.06	1.14	413	266
	1000	2.65	3.25	1.23	502	182
CNTs+8%PVA	50	3.02	3.34	1.11	300	244
	100	3.01	3.39	1.12	395	275
	1000	3.12	5.30	1.70	534	205

จากรูปที่ 4.12 - 4.16 เมื่อทดสอบหัวตรวจวัดไอเอทานอลที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 50, 100 และ 1000 ppm ที่อุณหภูมิของหัวตรวจวัด 28 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแต่ละตัวมีค่าแตกต่างกัน

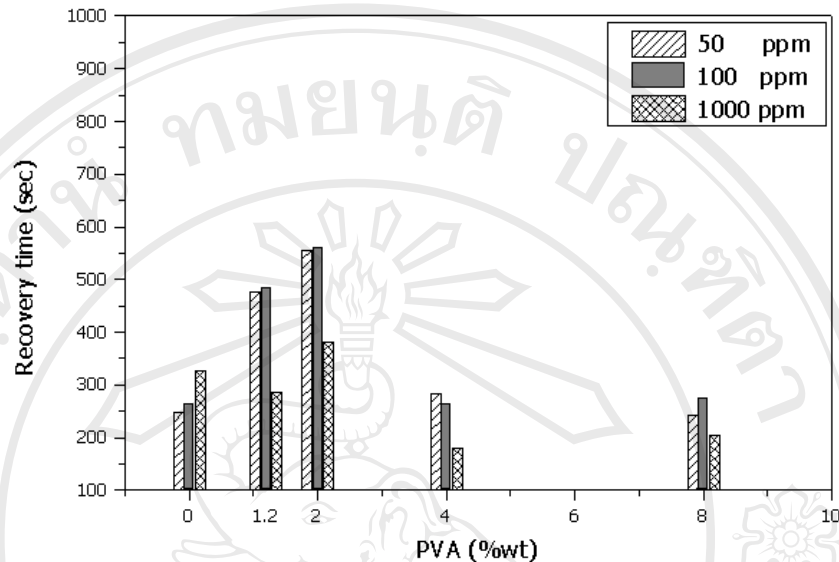
จากตารางที่ 4.3 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวการตอบสนอง เวลาการตอบสนอง เวลาในการคืนตัวของหัวตรวจวัดไอเอทานอลที่ประดิษฐ์จากท่อนาโนคาร์บอนผสมกับพีวีเอร้อยละ 0, 1.2, 2, 4 และ 8 โดยน้ำหนักตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 50, 100 และ 1000 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4.17 – 4.19



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวการตอบสนองของหัวตรวจวัดกับปริมาณฟิวเอในวัสดุคอมโพสิต ที่อุณหภูมิ 28 °C ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตอบสนองของหัวตรวจวัดกับปริมาณฟิวเอในวัสดุคอมโพสิต ที่อุณหภูมิ 28 °C ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการคืนตัวของหัวตรวจวัดกับปริมาณพีวีเอในวัสดุคอมโพสิต ที่อุณหภูมิ 28 °C ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.17 พิจารณาสภาพไวกการตอบสนองของหัวตรวจวัดพบว่า สภาพไวกการตอบสนองของหัวตรวจวัดแต่ละตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไอเอทานอลเพิ่มขึ้นและหัวตรวจวัดไอเอทานอลจากท่อนาโนคาร์บอนผสมพีวีเอ 8 %wt(CNTs+8%PVA)มีสภาพไวกการตอบสนองต่อความเข้มข้นของไอเอทานอล 1000 ppm ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพไวกการตอบสนองต่อความเข้มข้นของไอเอทานอล 50 และ 100

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์สภาพไวกการตอบสนองของหัวตรวจวัดกับปริมาณพีวีเอที่ผสมกับท่อนาโนคาร์บอนที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 1000 ppm พบว่า สภาพไวกการตอบสนองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพีวีเอเพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 50 และ 100 ppm มีค่าไม่แน่นอน เนื่องจากหัวตรวจวัดมีความเสถียรภาพ(Stability) ต่ำ และการทดสอบสภาพไวกการตอบสนองต่อความเข้มข้นของไอเอทานอล 50, 100 และ 1000 ppm ครั้งนี้ได้ใช้หัวตรวจวัดตัวเดียวกันตลอด

จากรูปที่ 4.18-4.19 พิจารณาเวลาการตอบสนอง เวลาในการคืนตัวของหัวตรวจวัดแต่ละความเข้มข้นของไอเอทานอลจะมีค่าไม่แน่นอน เนื่องจากความหนาของแผ่นฟิล์มที่อยู่บนแผ่นอลูมินาไม่เท่ากัน