

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีการออกซิเดชัน ตามวิธีการทดลองในบทที่ 3 ได้นำสารซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทะลุผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) และศึกษาสมบัติในการตรวจจับไอเอทานอล ซึ่งผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

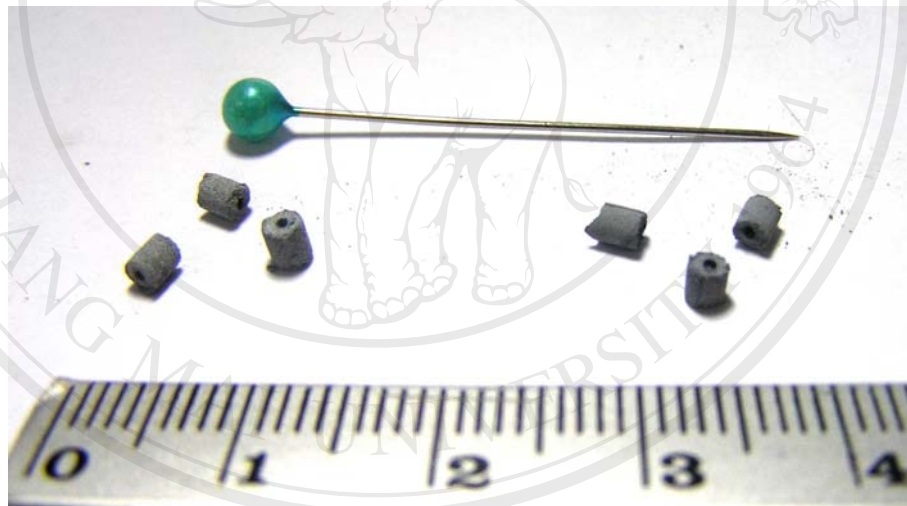
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

หลังจากได้ท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยเงื่อนไขต่างๆดังตารางที่ 4.1 แล้ว พบว่ามีลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำบางอย่างที่เปลี่ยนแปลงไป และสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน คือสีของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำเปลี่ยนไปจากเดิม (ก่อนผ่านกระบวนการเผา) ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

เงื่อนไขต่างๆที่ใช้สำหรับสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์โดยการเผาท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเงื่อนไขการเผาท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำ

สารตั้งต้น	อุณหภูมิที่ใช้เผา (°C)	ระยะเวลาที่ใช้เผา (ชั่วโมง)
ผงสังกะสี	600	6, 12, 24
	700	6, 12, 24
	800	6, 12, 24
ผงสังกะสี เจือทองคำ 1% wt	600	6, 12, 24
	700	6, 12, 24
	800	6, 12, 24



รูปที่ 4.1 แสดงท่อสังกะสี (รูปซ้ายมือ) และท่อสังกะสีเจือทองคำ (รูปขวามือ) ที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้วแต่ยังไม่ผ่านกระบวนการเผา



รูปที่ 4.2 แสดงท่อสังกะสีที่เจือทองคำ (รูปซ้ายมือ) และท่อสังกะสี (รูปขวามือ) ที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยเงื่อนไขต่างๆแล้ว

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่า ในกรณีของท่อสังกะสี จะมีความเปลี่ยนแปลงของสีของท่ออย่างเห็นได้ชัด คือก่อนผ่านกระบวนการเผา ดังรูปที่ 4.1 ซ้ายมือ สีของท่อสังกะสีจะเป็นสีเทา-ดำเข้ม แต่หลังจากผ่านกระบวนการเผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ คือ ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 6°C ต่อ นาที โดยเริ่มจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ คือ $600, 700,$ และ 800°C และรักษาอุณหภูมินั้นไว้ให้คงที่นาน 6, 12, และ 24 ชั่วโมง โดยปราศจากการผ่านก๊าซใดๆ พบว่าสีของท่อสังกะสีจะเป็นสี ขาว-เหลือง ซึ่งคล้ายกับสีของสารซิงค์ออกไซด์ ดังรูปที่ 4.3 ส่วนในกรณีของท่อสังกะสีที่เจือทองคำ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสีที่สังเกตได้ค่อนข้างน้อย คือจากสีเทา-ดำเข้ม ของท่อสังกะสีที่เจือทองคำ หลังจากผ่านกระบวนการเผา สีของท่อสังกะสีที่เจือทองคำจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ไปเป็นสีเทา-ดำ แต่อ่อนกว่าสีของท่อก่อนเผา ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคาดว่าจะเป็นผลจากการที่สารซิงค์ หรือสารสังกะสี ที่ท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเปลี่ยนไปเป็นสารซิงค์ออกไซด์ซึ่งมีสี ขาว จึงส่งผลให้สีของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปสู่สีอ่อนที่ค่อนข้างขาวมากขึ้น

ลักษณะทางกายภาพอีกอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำ หลังผ่านกระบวนการเผาด้วยเงื่อนไขต่างๆแล้ว ที่พอสังเกตได้ คือ ขนาดของทั้งท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย โดยทั้งท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับขนาดของท่อก่อนผ่านกระบวนการเผา ซึ่งสาเหตุที่

ทำให้ขนาดของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำ หลังผ่านกระบวนการเผาแล้วเปลี่ยนแปลงไป คาดว่าสาเหตุเป็นเพราะ ความชื้นภายในโครงสร้างของทั้งท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำ ก่อนผ่านกระบวนการเผา และเมื่อท่อทั้งสองผ่านกระบวนการเผาจึงทำให้น้ำที่อยู่ภายในกลายเป็นไอน้ำและทำให้เกิดการขยายตัวของโครงสร้างท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำ รวมทั้งผลของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารซิงค์ กลายเป็นสารซิงค์ออกไซด์ทำให้โครงสร้างของท่อเกิดการขยายตัว จึงส่งผลทำให้ทั้งท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำ หลังผ่านกระบวนการเผาแล้ว มีขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อย

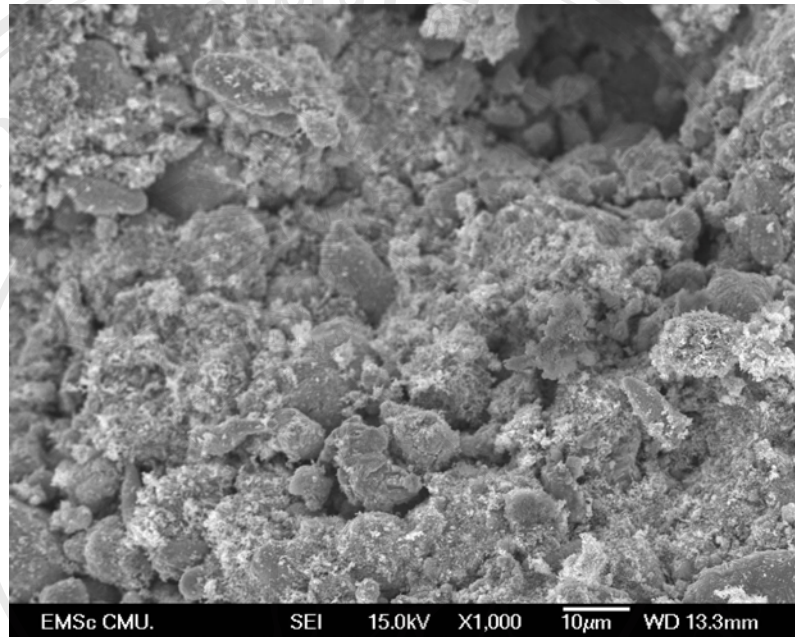


รูปที่ 4.3 แสดงสารซิงค์ออกไซด์

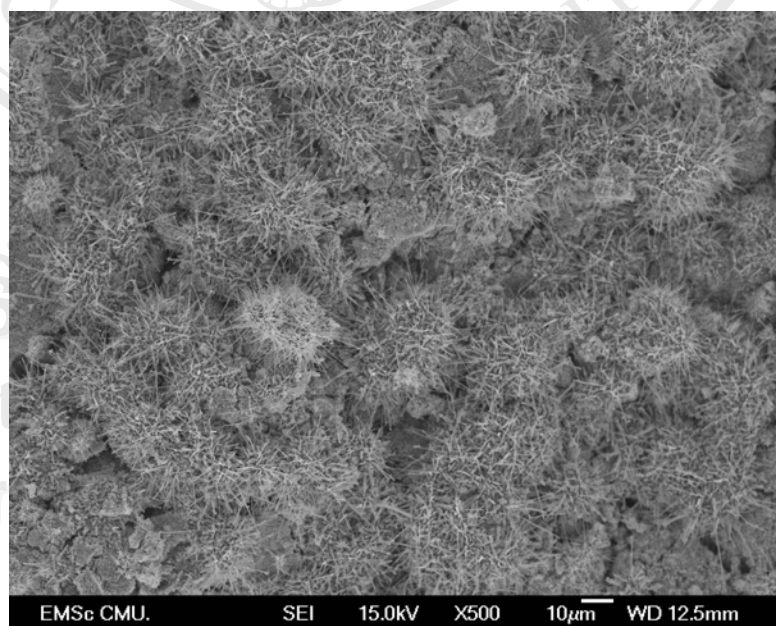
จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพด้วยตาเปล่าของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น แต่การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพระดับจุลภาคของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาแล้วจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือเข้าช่วย ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงอาศัย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เข้าช่วยในการศึกษา โดยที่ผลของการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีที่เจือทองคำเป็นดังนี้

จากการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำเทียบกับท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาแล้ว ด้วย SEM ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาแล้ว พบโครงสร้างนาโนของสารซิงค์ออกไซด์เกิดขึ้นโดยทั่วไปบนผิวของท่อทั้งสอง และโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบนั้นมีลักษณะคล้ายเส้นลวดนาโน (จะทำการศึกษาต่อไป) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ

เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับนาโนเมตร จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ไม่สามารถศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของสารซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาแล้ว ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงทั่วไปได้



รูปที่ 4.4 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของท่อสังกะสีก่อนผ่านกระบวนการเผา



รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของท่อสังกะสีหลังผ่านกระบวนการเผา

หลังจากพบว่ามีโครงสร้างนาโนของสารซิงค์ออกไซด์เกิดขึ้นบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาแล้ว จึงทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเผากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยเงื่อนไขอื่นๆในกระบวนการเผาคือเป็นตัวแปรควบคุม คือ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ คือ 6°C ต่อ นาที โดยเริ่มจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ คือ $600, 700$, และ 800°C และรักษาอุณหภูมิ นั้นไว้ให้คงที่นาน 6, 12, และ 24 ชั่วโมง โดยปราศจากการผ่านก๊าซใดๆ เข้าช่วยทำปฏิกิริยา แต่มี ช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรที่ด้านหนึ่งของเตาเผาแบบท่อแนวนอนที่ใช้ทำการ ทดลอง เพื่อเปิดช่องให้ออกซิเจนในอากาศสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้

บริเวณที่วิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วย SEM



รูปที่ 4.6 แสดงแผนผังบริเวณที่ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำด้วย SEM

สำหรับการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยเงื่อนไขต่างๆแล้ว โดย SEM จะทำการศึกษาพื้นผิวในบริเวณ ดังรูปที่ 4.6 แล้วจึงนำผลที่ได้ (รูป SEM) ไปคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น เพื่อหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเผากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุที่เลือกศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยเงื่อนไขต่างๆแล้วในบริเวณดังกล่าว เพราะขณะเผาในเตาเผาแบบท่อแนวนอน ท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำจะถูกวางนอนลงใน Alumina boat ก่อนนำเข้าเตาเผา จึงทำให้บริเวณด้านข้างของท่อที่สัมผัสกับ Alumina boat ถูกทับอยู่ ซึ่งอาจส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในบริเวณดังกล่าวไม่สมบูรณ์ หรือแตกต่างจากบริเวณอื่น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อขนาดของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้น จึงทำให้ในการทดลองนี้เลือกศึกษา

โครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยเงื่อนไขต่างๆแล้วในบริเวณดังกล่าว ที่คาดว่าเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในบริเวณที่ทำการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพ จะเป็นเสมือนตัวแทนของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในบริเวณด้านข้างของผิวท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำ ซึ่งจะถูกนำไปศึกษาสมบัติการตรวจจับไอเอทานอล ต่อไป

จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ โดย SEM (แสดงในภาคผนวก ค) เมื่อวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจอทองคำ ที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ พบว่าสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

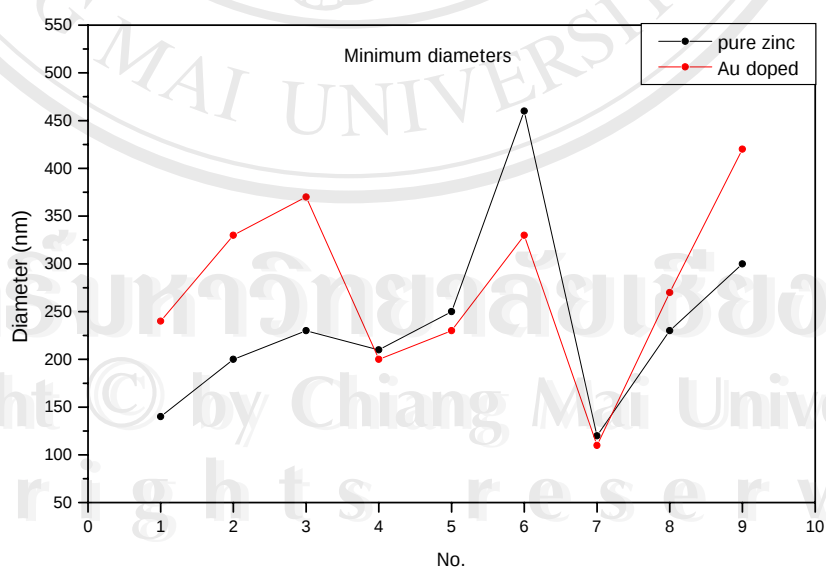
ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวของท่อสังกะสีที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ

No.	Sample No.	Temp (°C)	Times (hr)	Diameter (nm)
1	95	600	6	140-270
2	97	700	6	200-360
3	98	800	6	230-700
4	99	600	12	210-470
5	101	700	12	250-500
6	100	800	12	460-630
7	82	600	24	120-250
8	80	700	24	230-400
9	84	800	24	300-570

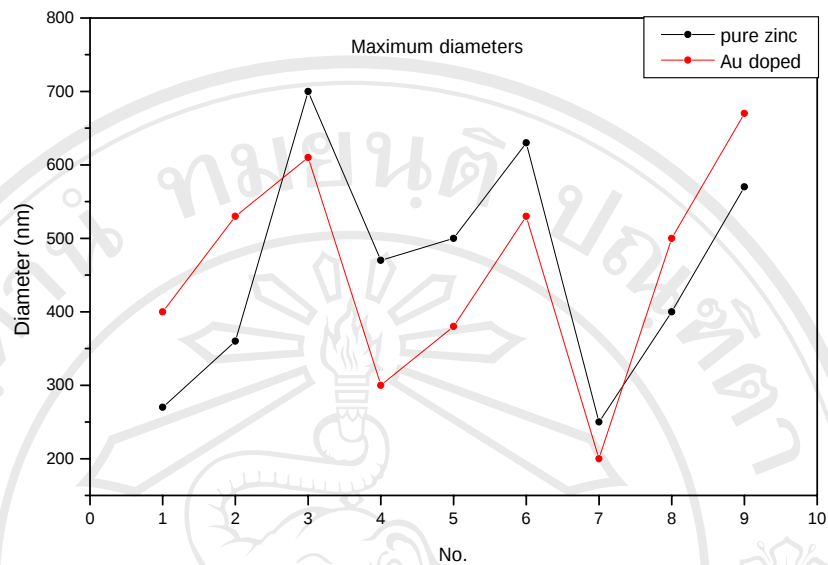
ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวของ
ท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ

No.	Sample No.	Temp (C)	Times (hr)	Diameter (nm)
1	92	600	6	240-400
2	93	700	6	330-530
3	94	800	6	370-610
4	103	600	12	200-300
5	102	700	12	230-380
6	96	800	12	330-530
7	89	600	24	110-200
8	91	700	24	270-500
9	90	800	24	420-670

จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 เมื่อนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยต่ำสุด และสูงสุดมาเขียน
กราฟ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยต่ำสุดของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบน
ผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ

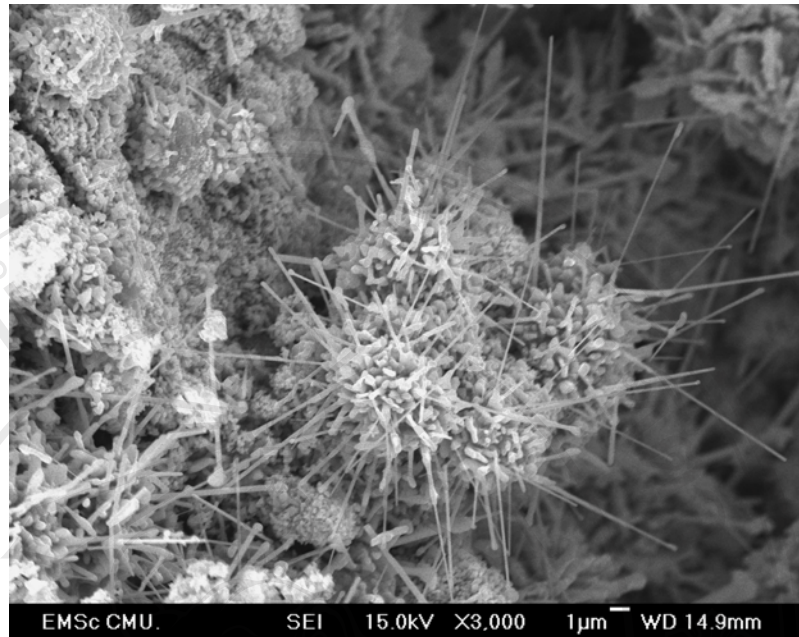


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยสูงสุดของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ

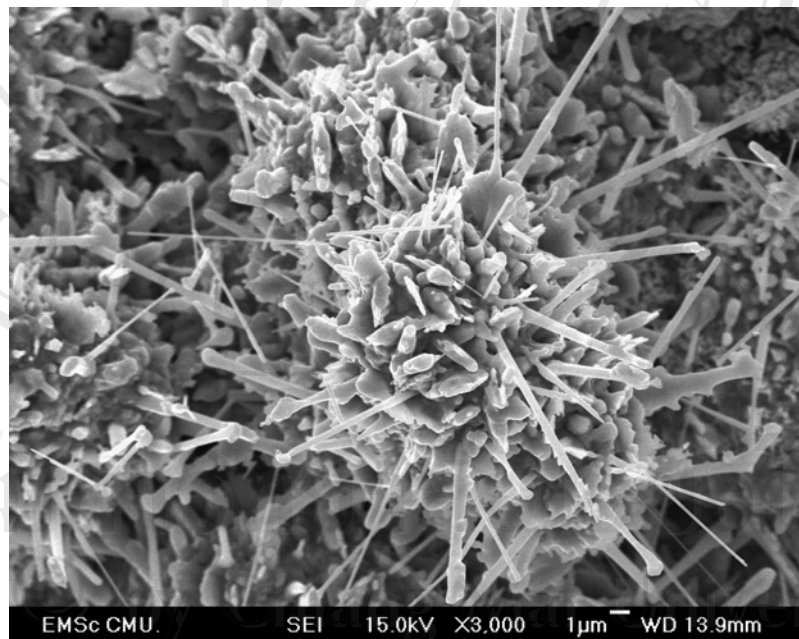
จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ โดย SEM (แสดงในภาคผนวก ค) พบว่าสามารถแยกวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

4.1.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาสู่ขนาดของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

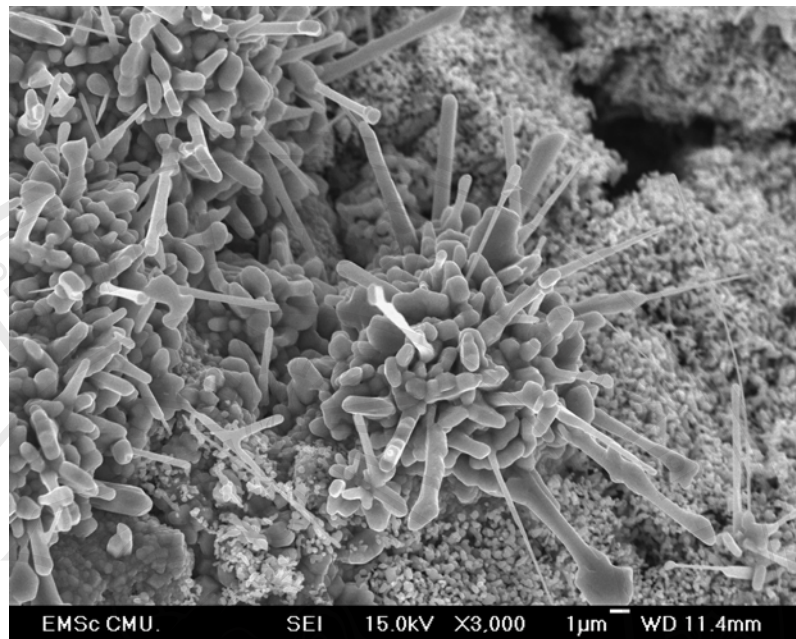
จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิต่างๆ คือ 600, 700 และ 800°C โดย SEM พบว่า อุณหภูมิที่ใช้เผา มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้อย่างชัดเจน คือ บนผิวท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาที่อุณหภูมิสูงกว่า จะพบเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังรูป



รูปที่ 4.9 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีที่เผาที่ 600°C
นาน 6 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.10 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีที่เผาที่ 700°C
นาน 6 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 3,000 เท่า

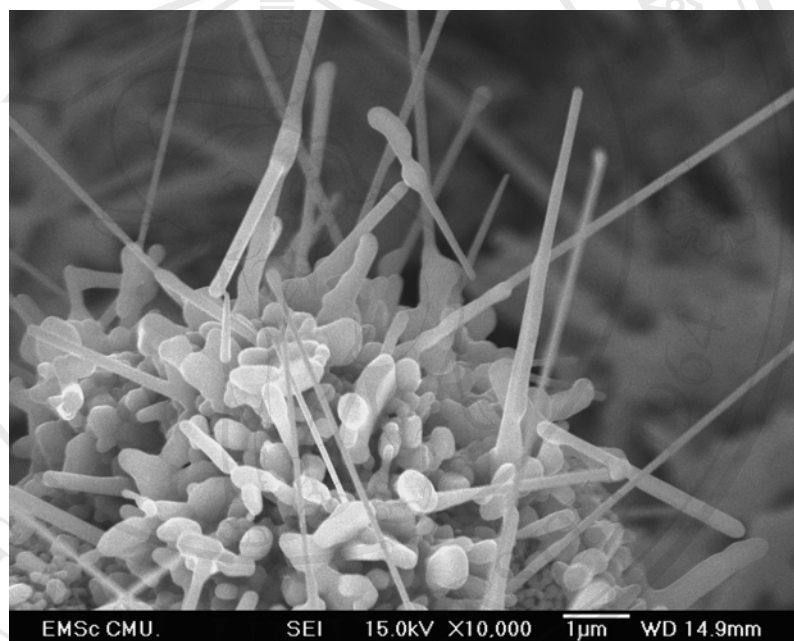


รูปที่ 4.11 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีที่เผาที่ 800°C นาน 6 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 3,000 เท่า

จากผล SEM ในรูปที่ 4.9-4.11 ซึ่งแสดงตัวอย่างเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวของท่อสังกะสีที่เผาที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800°C นาน 6 ชั่วโมงตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ผลพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวท่อสังกะสีที่เผาด้วยเงื่อนไขดังกล่าวมีขนาด 140-270 nm (กรณี 600°C), 200-360 nm (กรณี 700°C) และ 230-700 nm (กรณี 800°C) ซึ่งจะพบว่าที่เงื่อนไขอุณหภูมิที่ใช้เผาสูงขึ้น จะได้เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ส่วนกรณีเงื่อนไขการเผาอื่นๆ และกรณีของท่อสังกะสีเจือทองคำ (แสดงในภาคผนวก ก) มีแนวโน้มที่เหมือนกัน คือ เมื่อใช้อุณหภูมิเผาสูงขึ้น จะได้เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ขนาดใหญ่ขึ้น

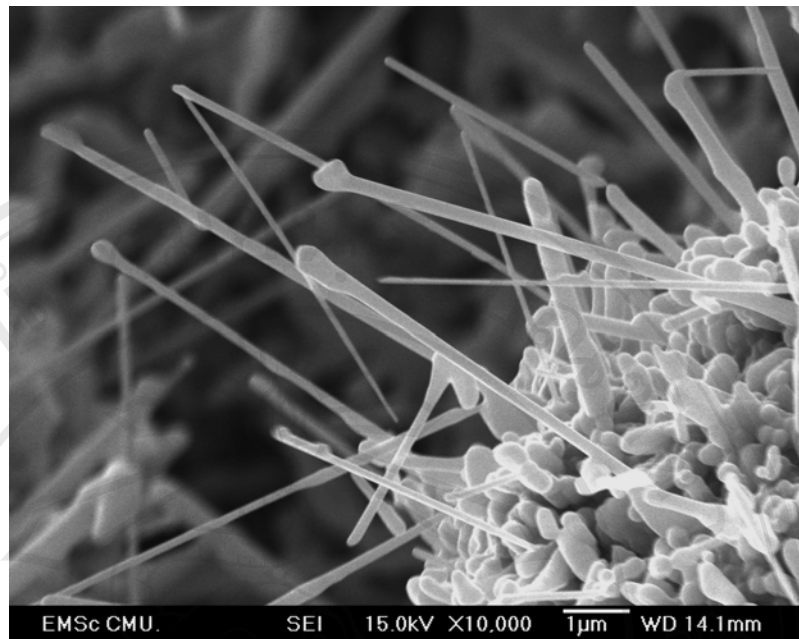
4.1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้เผาต่อขนาดของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขระยะเวลาเผานาน 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่า เงื่อนไขระยะเวลาที่ใช้เผาดังกล่าวไม่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้อย่างชัดเจน แต่มีแนวโน้มว่าที่เงื่อนไขระยะเวลาเผานานกว่า จะพบเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์มากกว่าเล็กน้อย ดังรูป

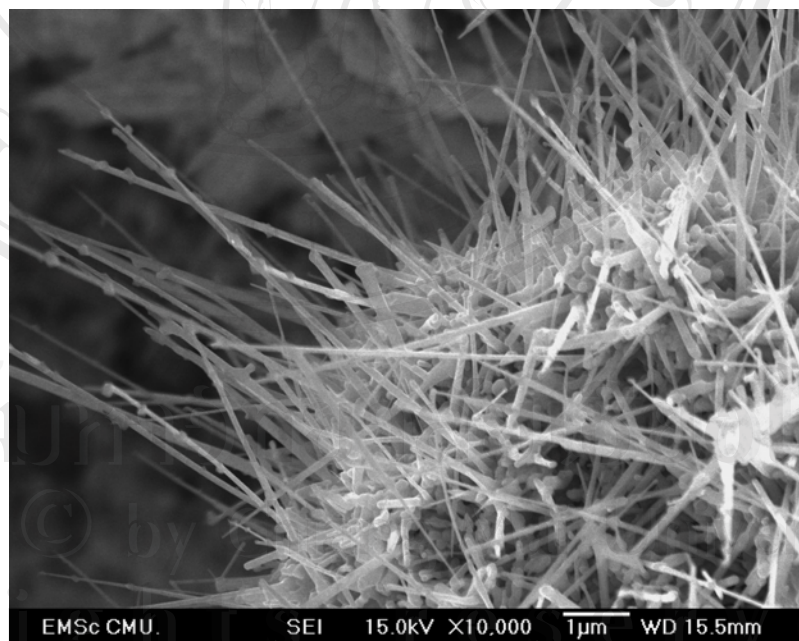


รูปที่ 4.12 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีที่เผาที่ 600°C

นาน 6 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 4.13 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีที่เผาที่ 600°C นาน 12 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า

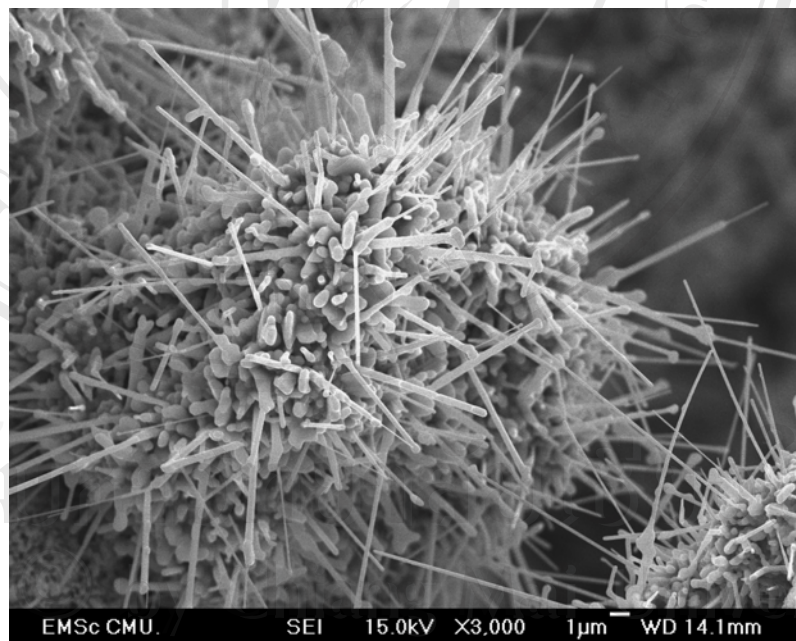


รูปที่ 4.14 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีที่เผาที่ 600°C นาน 24 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า

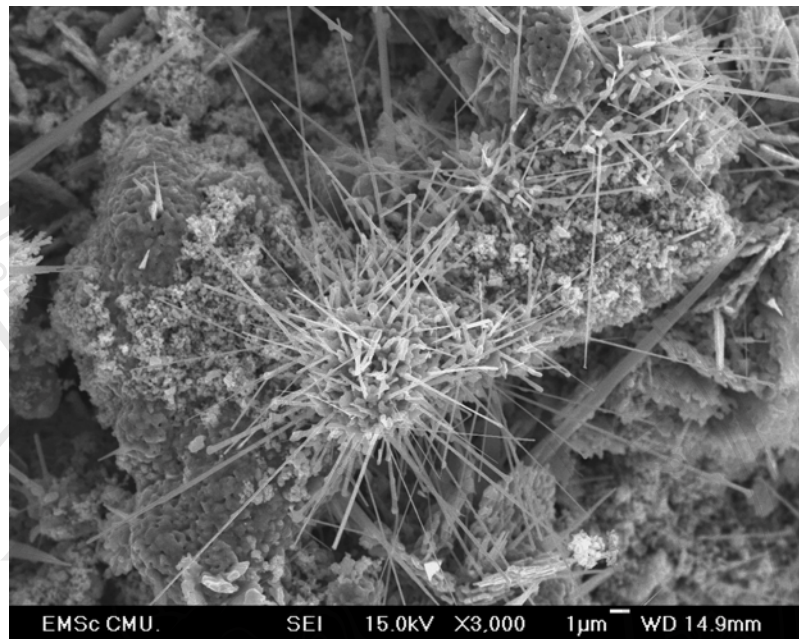
จากผล SEM ในรูปที่ 4.12-4.14 ซึ่งแสดงตัวอย่างเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวของท่อสังกะสีที่เผาที่อุณหภูมิ 600°C นาน 6, 12 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ผลพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวท่อสังกะสีที่เผาด้วยเงื่อนไขดังกล่าวมีขนาด 140-270 nm (กรณี 6 ชั่วโมง), 210-470 nm (กรณี 12 ชั่วโมง) และ 120-250 nm (กรณี 24 ชั่วโมง) ซึ่งจะพบว่าขนาดของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไม่ขึ้นกับระยะเวลาที่ใช้เผาอย่างชัดเจน

4.1.3 การศึกษาผลของการเจือทองคำต่อขนาดของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

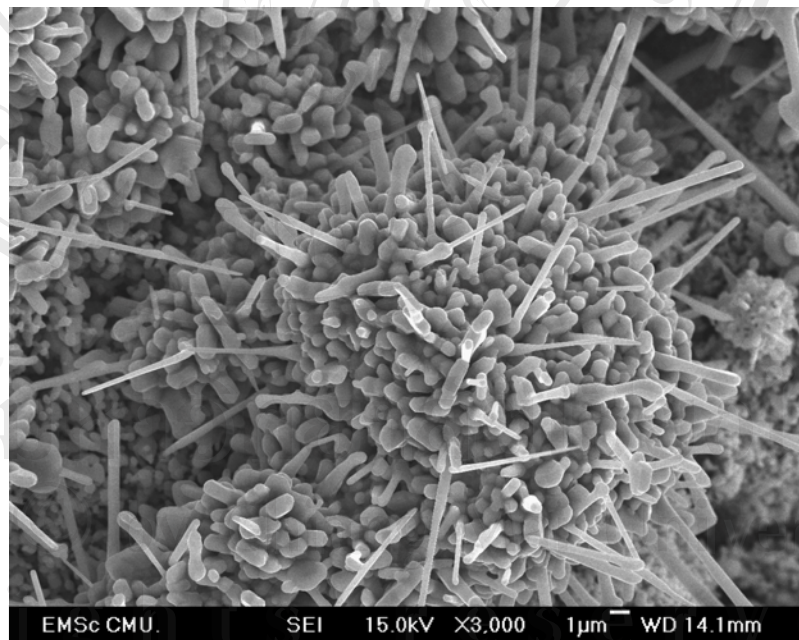
จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ พบว่าการเจือทองคำ 1% โดยมวลไม่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้อย่างชัดเจน ดังรูป



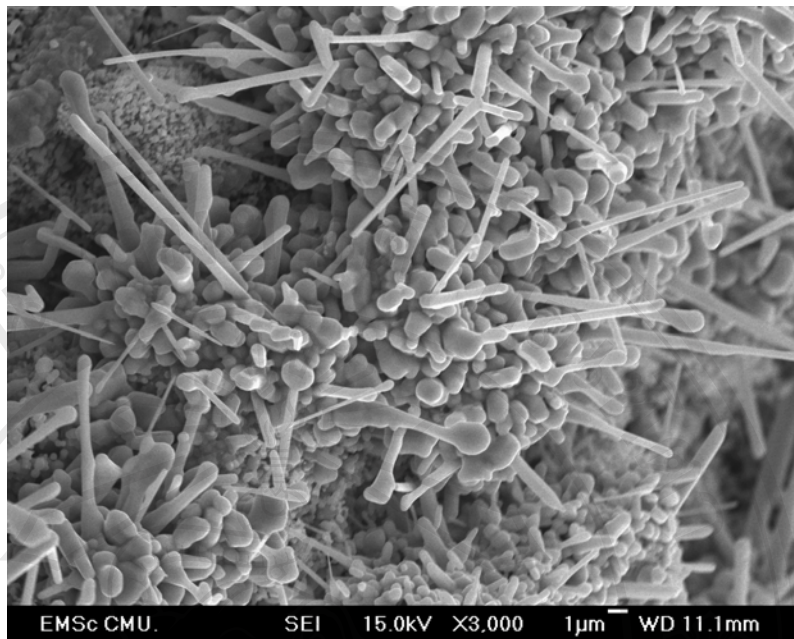
รูปที่ 4.15 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีที่เผาที่ 600°C นาน 12 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.16 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีเจือทองคำ
เผาที่ 600°C นาน 12 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.17 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีที่เผาที่ 800°C
นาน 12 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 3,000 เท่า

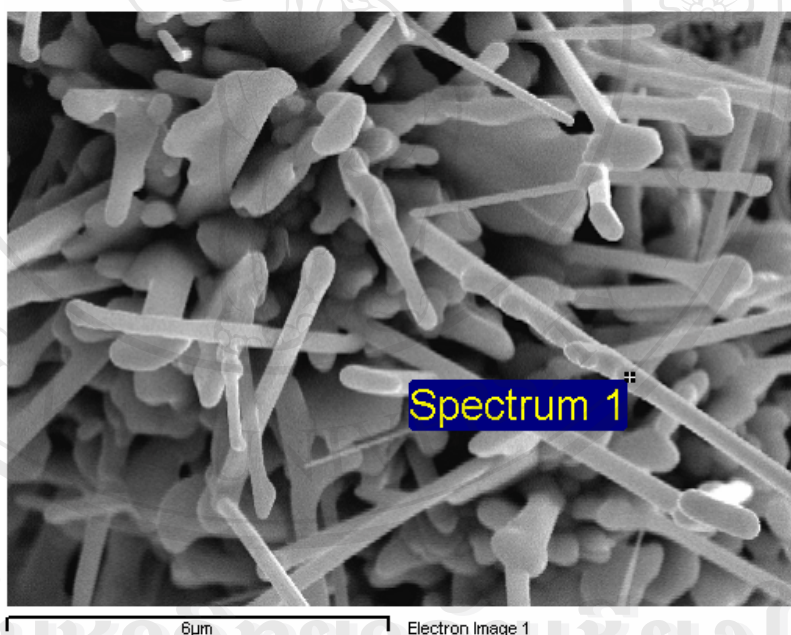


รูปที่ 4.18 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของท่อสังกะสีเจือทองคำ
เผาที่ 800°C นาน 12 ชั่วโมง ด้วยกำลังขยาย 3,000 เท่า

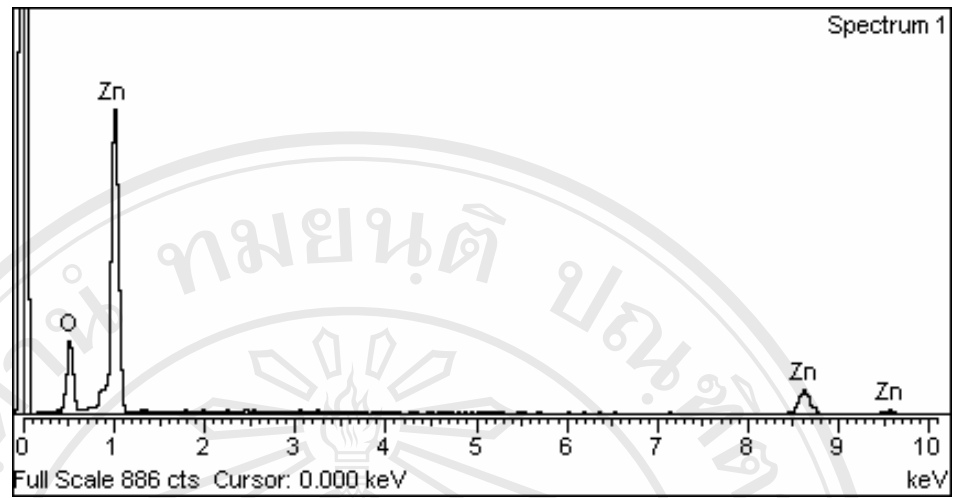
จากผล SEM ในรูปที่ 4.15-4.18 ซึ่งแสดงตัวอย่างเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาที่อุณหภูมิ 600 และ 800°C นาน 12 ชั่วโมง และจากการวิเคราะห์ผลพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขดังกล่าวมีขนาด 210-470 nm (กรณีท่อสังกะสี, 600°C), 200-300 nm (กรณีท่อสังกะสีเจือทองคำ, 600°C), 460-630 nm (กรณีท่อสังกะสี, 800°C) และ 330-530 nm (กรณีท่อสังกะสีเจือทองคำ, 800°C) ซึ่งจะพบว่าผลของการเจือทองคำ 1% โดยมวล ไม่มีผลต่อขนาดของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้อย่างชัดเจน

4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS)

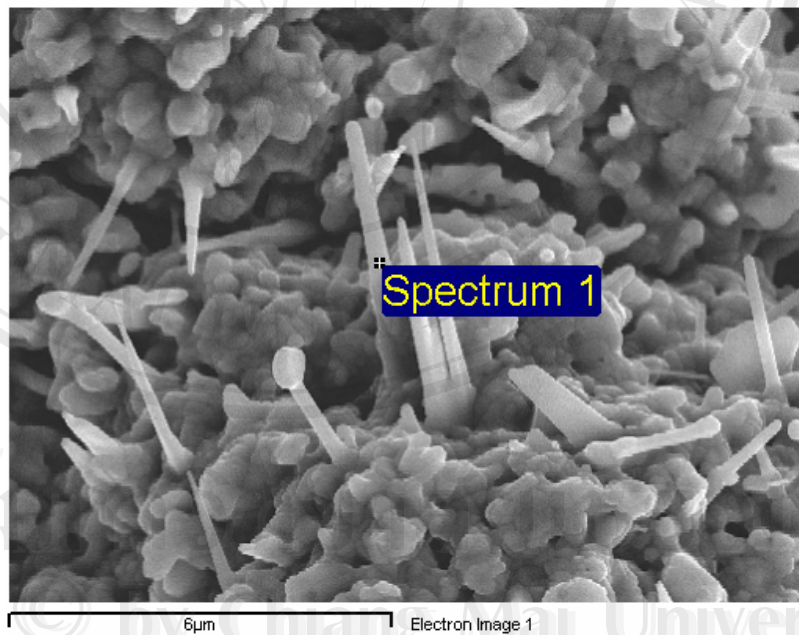
หลังจากทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่พบบนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แล้ว จึงวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) เพื่อยืนยันว่า เส้นลวดนาโนที่สังเคราะห์ได้ คือเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์จริงหรือไม่ ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังนี้



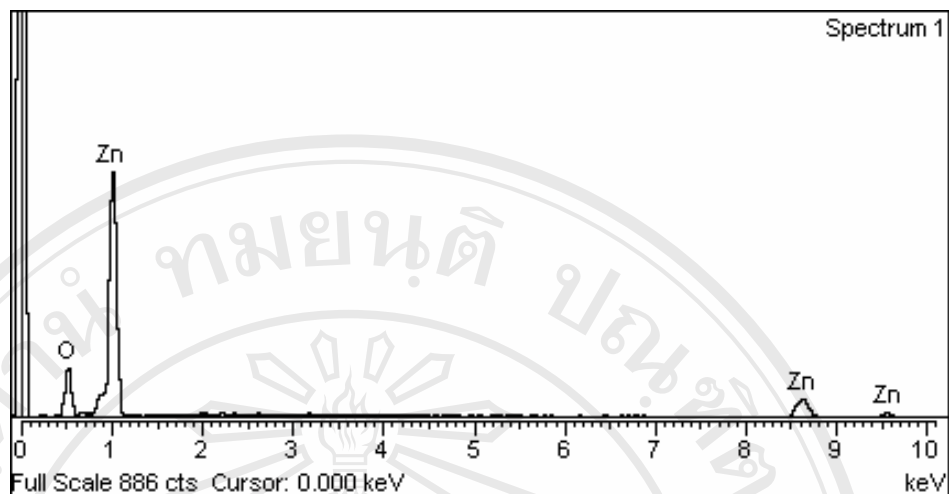
รูปที่ 4.19 แสดงตำแหน่งของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย EDS



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟสเปกตรัมการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ
เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ โดย EDS



รูปที่ 4.21 แสดงตำแหน่งของการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย EDS



รูปที่ 4.22 แสดงกราฟสเปกตรัมการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ
เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ โดย EDS

ตารางที่ 4.4 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

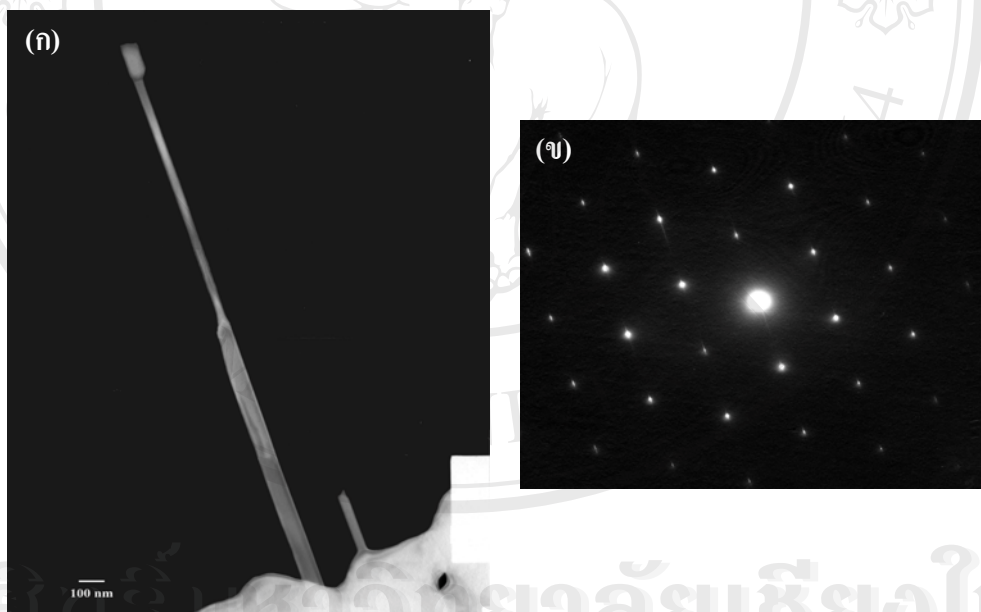
Element	Atomic (%)		Average (%)
	Sample 1	Sample 2	
Zn	46.97	50.21	48.59
O	53.03	49.79	51.41

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ โดย EDS พบว่าเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ประกอบด้วย ธาตุซิงค์ (Zinc, Zn) และออกซิเจน (Oxygen, O) เท่านั้น โดยมีอัตราส่วนของซิงค์ (Zinc, Zn) ต่อออกซิเจน (Oxygen, O) เป็น 1:1 ซึ่งทำให้สรุปได้ว่า เส้นลวดนาโนที่สังเคราะห์ได้บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ เป็นเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์จริงๆ แต่เพื่อความมั่นใจจึงทำการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) เพื่อยืนยันผลการทดลอง และเพื่อหา Growth direction ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

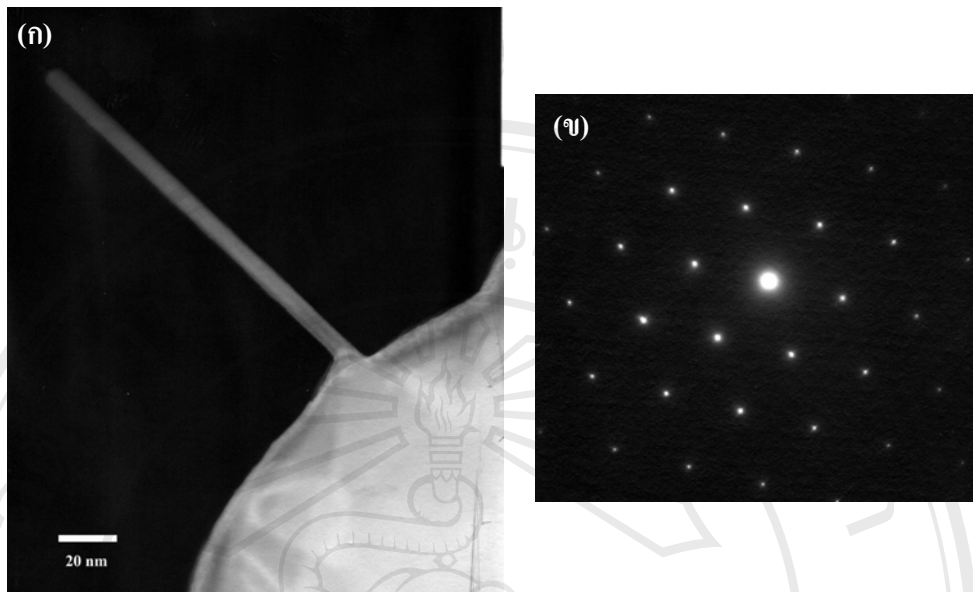
4.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM)

เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้บนผิวของท่อสังกะสีที่เผาด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง ได้ถูกแยกออกมาเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ซึ่งผลการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

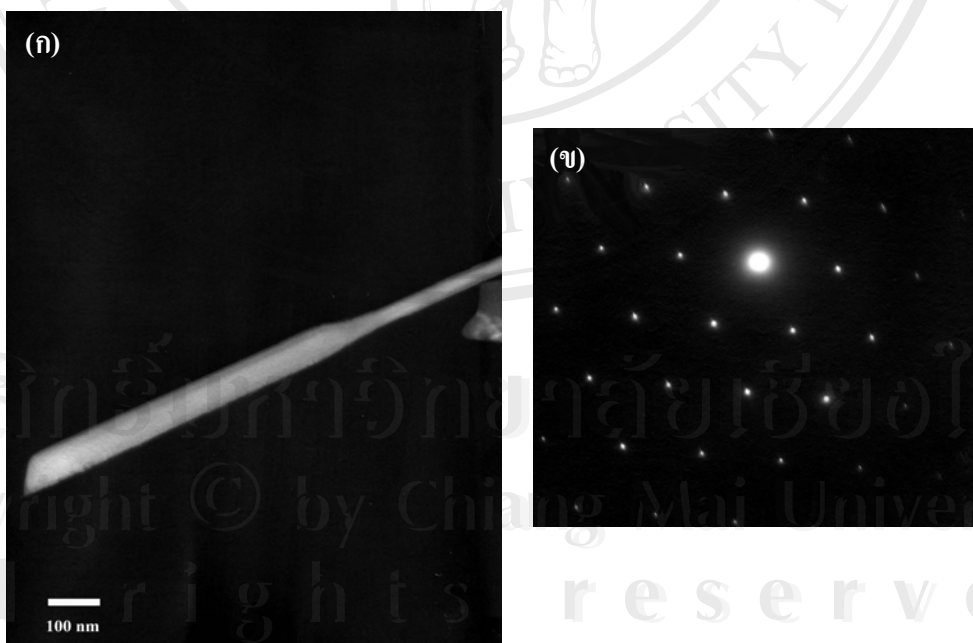
การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วย TEM ภาพที่ได้จะมี 2 ลักษณะคือ ภาพถ่ายของสารตัวอย่าง (Bright field image) และ ภาพอิเล็กตรอนดิฟแฟรกชัน (Selected Area electron Diffraction Pattern, SADP) ดังแสดงในรูปที่ 4.23-4.25 โดยเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ทำการวิเคราะห์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน



รูปที่ 4.23 ภาพ TEM แสดง Bright field image (ก) และ Selected Area electron Diffraction Pattern (SADP) (ข) ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.24 ภาพ TEM แสดง Bright field image (ก) และ Selected Area electron Diffraction Pattern (SADP) (ข) ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ตัวอย่างที่ 2



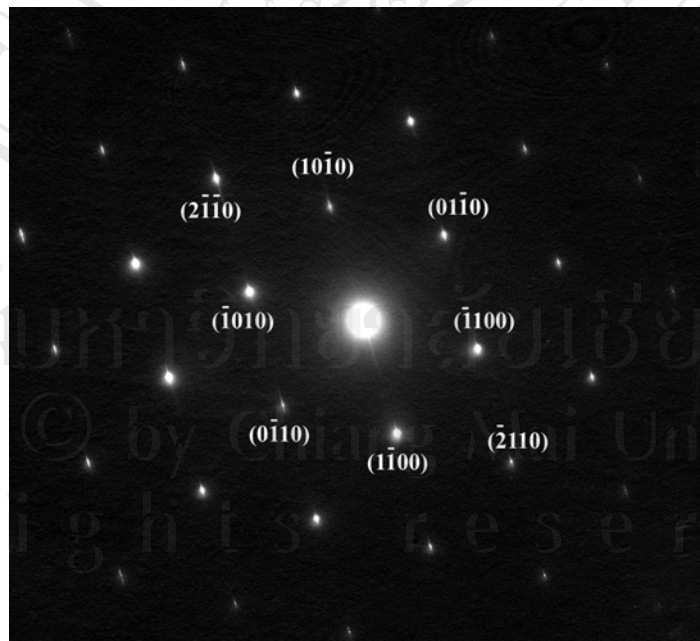
รูปที่ 4.25 ภาพ TEM แสดง Bright field image (ก) และ Selected Area electron Diffraction Pattern (SADP) (ข) ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ตัวอย่างที่ 3

สำหรับรูปที่ 4.23 (ก) แสดง Bright field image ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ ตัวอย่างที่ 1 และ รูปที่ 4.23 (ข) แสดง SADP โดยถ่ายที่เงื่อนไข $L=100$ cm Aperture No.3 200 kV และเปิดกล้อง 32 วินาที

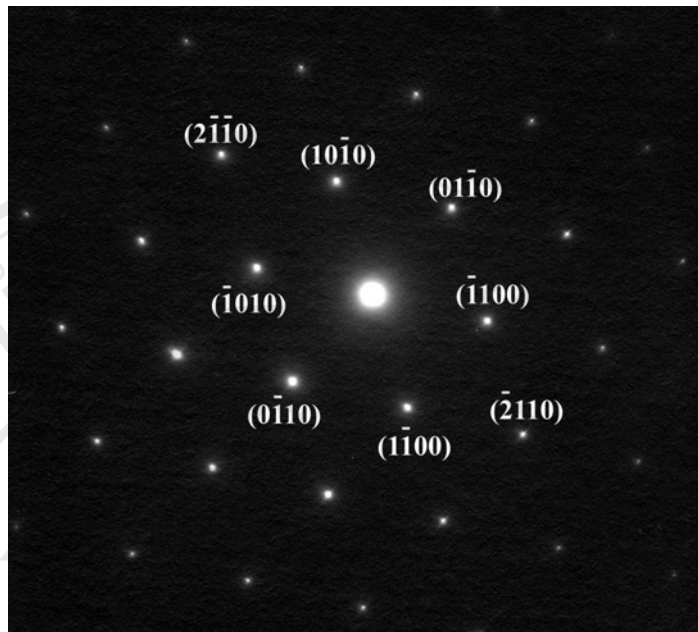
สำหรับรูปที่ 4.24 (ก) แสดง Bright field image ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ ตัวอย่างที่ 1 และ รูปที่ 4.24 (ข) แสดง SADP โดยถ่ายที่เงื่อนไข $L=100$ cm Aperture No.3 200 kV และเปิดกล้อง 22 วินาที

สำหรับรูปที่ 4.25 (ก) แสดง Bright field image ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ ตัวอย่างที่ 1 และ รูปที่ 4.25 (ข) แสดง SADP โดยถ่ายที่เงื่อนไข $L=100$ cm Aperture No.3 200 kV และเปิดกล้อง 32 วินาที

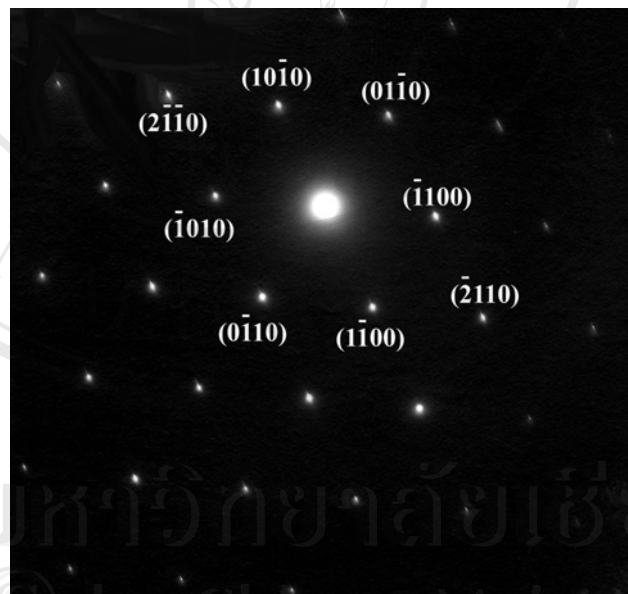
จาก SADP ของสารตัวอย่างในรูปที่ 4.23-4.25 เมื่อนำมาวิเคราะห์หาทิศทางการโตของผลึก (รายละเอียดการวิเคราะห์ผล TEM แสดงอยู่ในภาคผนวก ข) สามารถระบุระนาบต่างๆ บน SADP ของทั้ง 3 ผลึก ได้ดังรูปที่ 4.26-4.28 และสามารถสรุปได้ว่า ผลึกที่ได้มีโครงสร้างเป็นแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal structure) ซึ่งทิศทางการโต (Growth direction) ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์หาได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ โดยใช้แบบจำลองทิศทางการโตของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ซึ่งเรียกว่า Stereo Graphic Projection แสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.26 ภาพ TEM แสดงระนาบต่างๆบน SADP ของผลึกตัวอย่างที่ 1

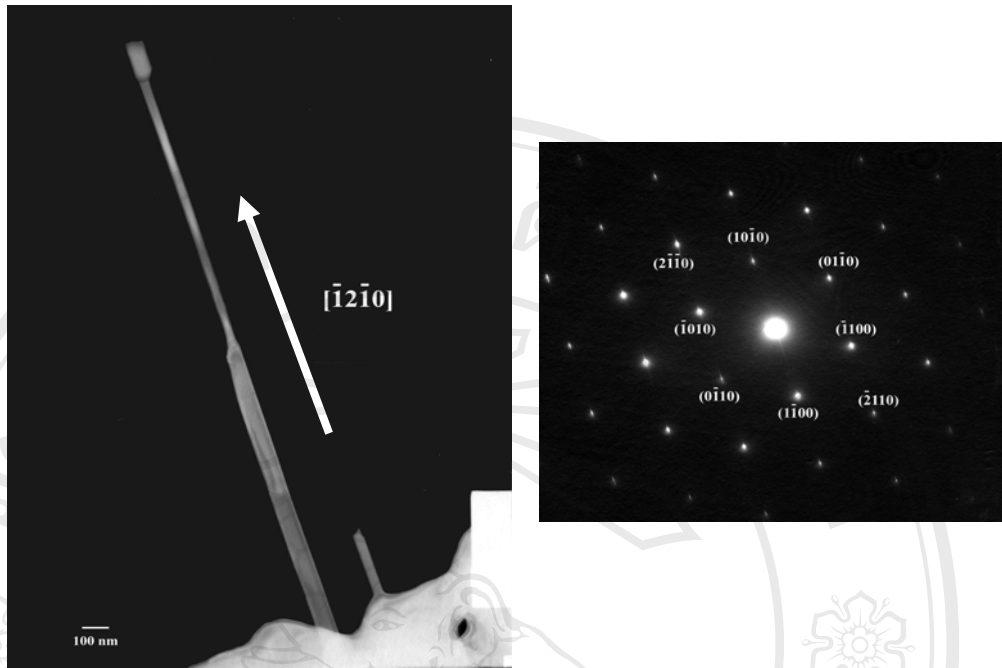


รูปที่ 4.27 ภาพ TEM แสดงระนาบต่างๆบน SADP ของผลึกตัวอย่างที่ 2

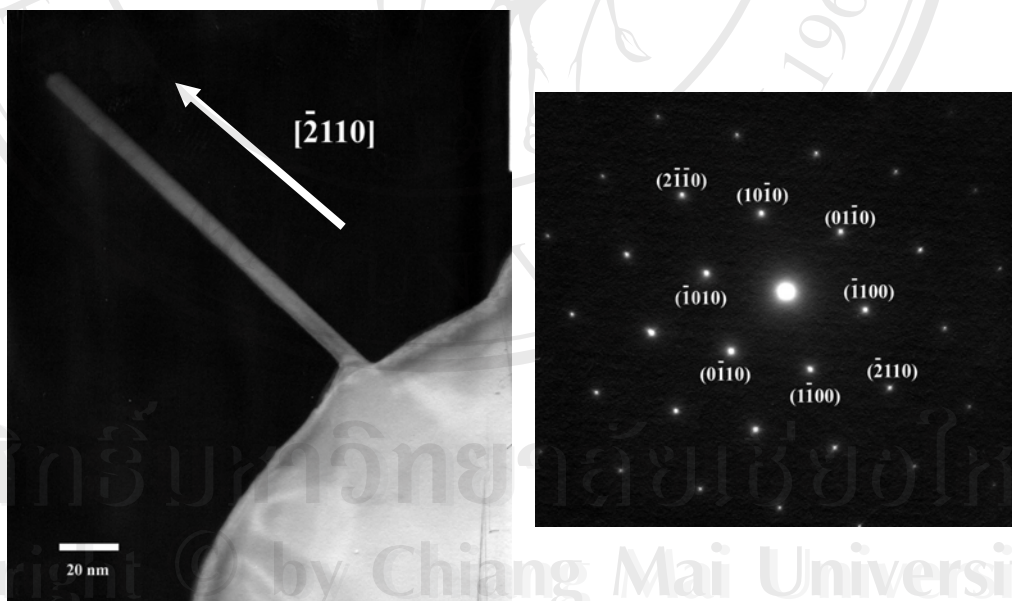


รูปที่ 4.28 ภาพ TEM แสดงระนาบต่างๆบน SADP ของผลึกตัวอย่างที่ 3

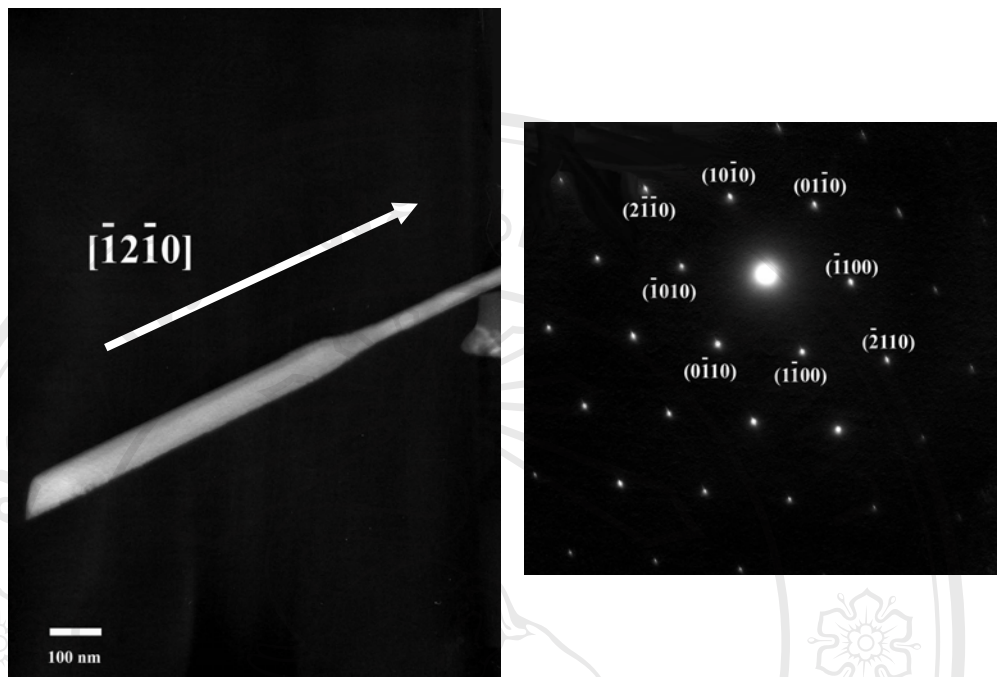
เมื่อนำผลจาก Stereo Graphic Projection มาเทียบกับ Bright field image ก็จะได้ทิศการโตของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ คือ $[12\bar{1}0]$ สำหรับผลึกตัวอย่างที่ 1 และ 3 $[\bar{2}110]$ สำหรับผลึกตัวอย่างที่ 2 แสดงในรูปที่ 4.30-4.32 ซึ่งถือว่าเป็นทิศเดียวกัน โดยอาจเขียนเป็นทิศ $[11\bar{2}0]$ แทนได้



รูปที่ 4.30 แสดงทิศทางการโตของผลึกตัวอย่างที่ 1

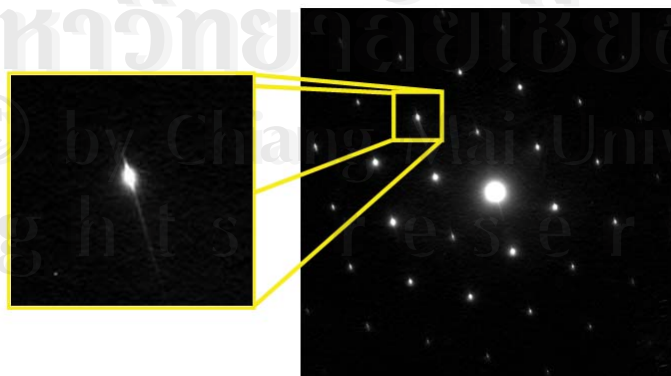


รูปที่ 4.31 แสดงทิศทางการโตของผลึกตัวอย่างที่ 2

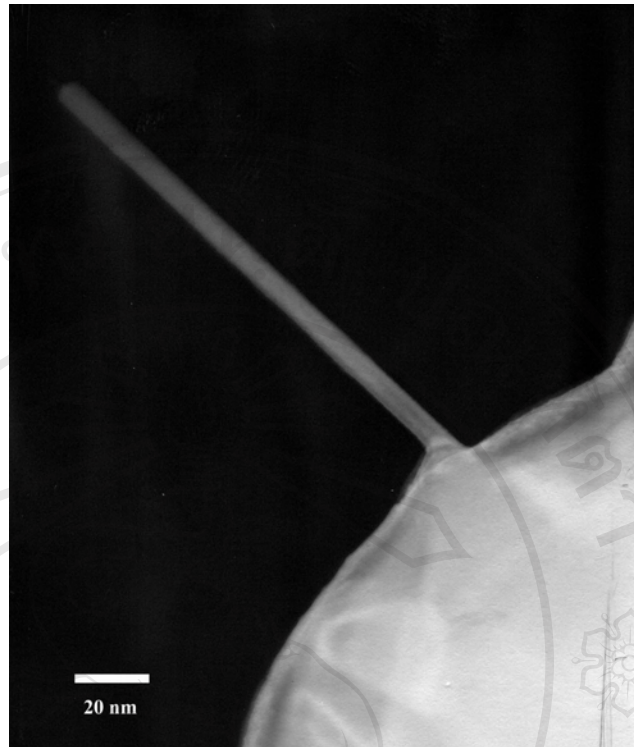


รูปที่ 4.32 แสดงทิศทางการโตของผลึกตัวอย่างที่ 3

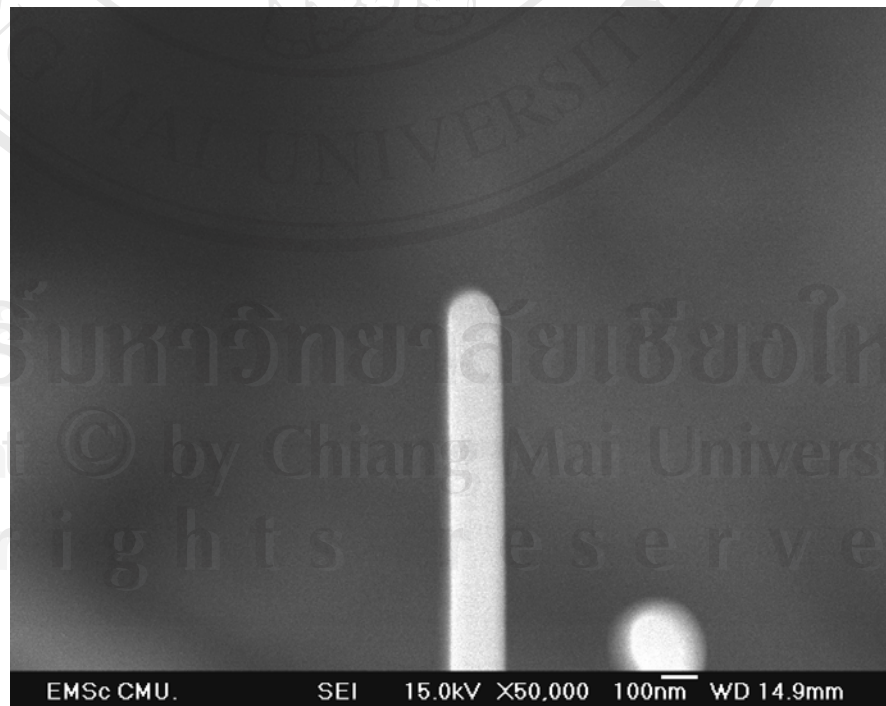
จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ ด้วย TEM พบว่าเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Hexagonal structure และมีทิศทางการโตในทิศ $[11\bar{2}0]$ แต่จากการทดลองยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะทางกายภาพเป็นเส้นลวดนาโน (Nanowires) จึงทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยอาศัยผลจาก TEM ที่เป็น Bright field image และลักษณะของจุดที่เกิดจากอิเล็กตรอนดิฟแฟรกชันบน SADP และ ภาพ SEM กำลังขยายสูง ดังรูปที่ 4.33-4.35



รูปที่ 4.33 แสดงลักษณะ Streak ที่เกิดบน SADP ของผลึกตัวอย่างที่ 1

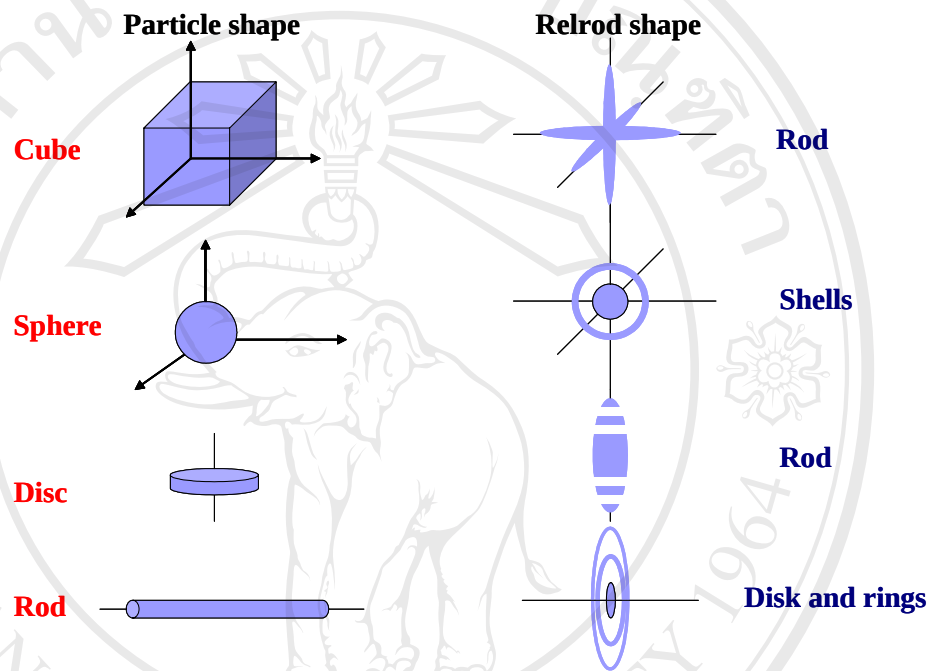


รูปที่ 4.34 ภาพ TEM แสดง Bright field image ของโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้



รูปที่ 4.35 ภาพ SEM กำลังขยายสูงแสดงลักษณะของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

จากรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นลักษณะของจุดที่เกิดการอิเล็กตรอนดิฟแฟรกชันผ่าน โครงสร้างนาโนบน SADP และการที่จุดมีลักษณะของ Streak เกิดขึ้นแนวเดียว แสดงถึงโครงสร้าง นั้นเป็นแบบ 1 มิติ ซึ่งลักษณะของ Streak ที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนดิฟแฟรกชันผ่านโครงสร้างนาโน รูปแบบต่างๆเป็นดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 แสดงลักษณะของ Streak ที่เกิดขึ้น เมื่ออิเล็กตรอนดิฟแฟรกชันผ่าน โครงสร้างนาโนรูปแบบต่างๆ⁽²⁾

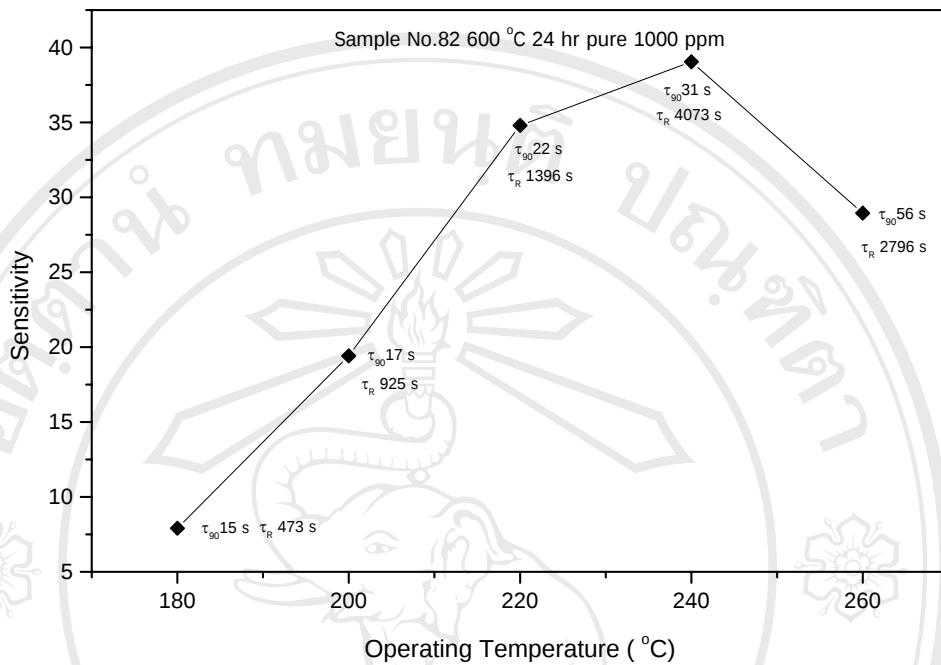
จาก Bright field image ในรูปที่ 4.48 และภาพ SEM กำลังขยายสูงในรูปที่ 4.49 แสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปร่างของโครงสร้างนาโนที่สังเคราะห์ได้ว่ามีรูปร่างลักษณะ เป็นเส้นตรง และมีรูปร่างกลมคล้ายเส้นลวด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะของ Streak ที่เกิดขึ้นที่บ่งบอกว่า โครงสร้างนาโนนั้นเป็นลักษณะโครงสร้างแบบ 1 มิติ เพราะฉะนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้นั้นเป็น ZnO nanowires หรือ เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

4.4 ผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้

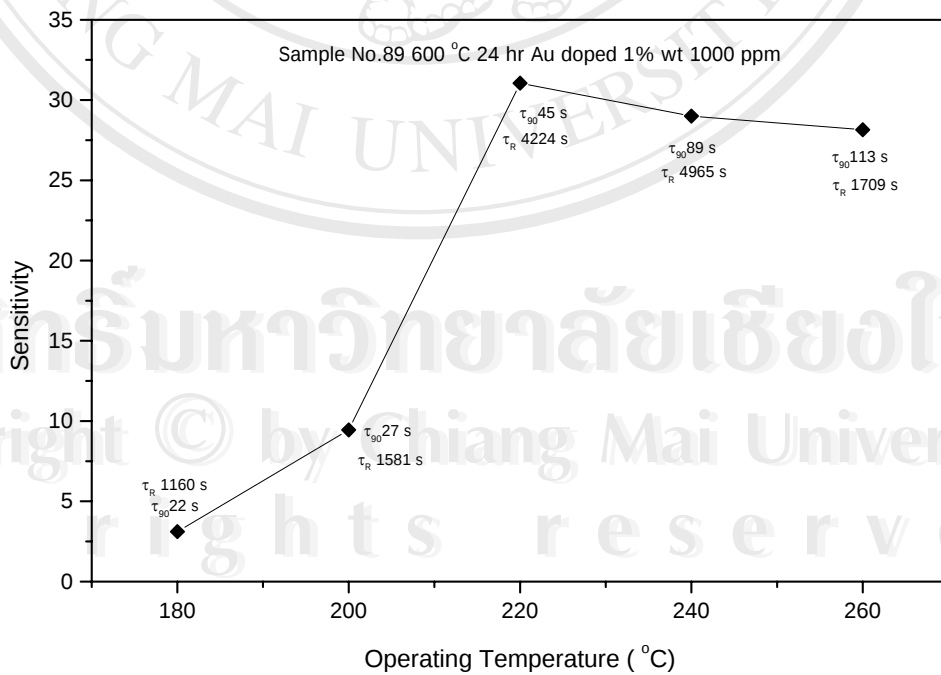
สำหรับกราฟแสดงผลการทดลองทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาต่อสังกะสี และต่อสังกะสีเจือทองคำด้วยเงื่อนไขต่างๆ ได้แสดงในภาคผนวก ง

4.4.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิทดสอบต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล

สำหรับการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้ จากการเผาต่อสังกะสี และต่อสังกะสีเจือทองคำ ที่เงื่อนไขการเผาต่างๆ นั้น ได้ทำการเลือกเซนเซอร์ก๊าซมาเพื่อทดสอบหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับไอเอทานอล โดยมีสมมุติฐานว่าเซนเซอร์ก๊าซที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงที่สุด น่าจะมีประสิทธิภาพในการเป็นเซนเซอร์ก๊าซได้ดีที่สุด ดังนั้นจากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพด้วย SEM สามารถสรุปได้ว่า เซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากต่อสังกะสี และต่อสังกะสี ที่เผาด้วยเงื่อนไข อุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง น่าจะเป็นเซนเซอร์ก๊าซที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมด้วยเงื่อนไขทั้งสองมาทดสอบการตรวจจับไอเอทานอล โดยใช้เงื่อนไขการทดสอบคือ ทดสอบกับสารละลายเอทานอลเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิ 180, 200, 220, 240, 260 และ 280 หรือ 300°C ถ้าเป็นไปได้ ซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.37 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.38 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซที่อุณหภูมิต่างๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ ง1 และ ง2 ในภาคผนวก ง แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาที่สังกะสี และที่สังกะสีเจือทองคำ ที่อุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง ตามลำดับ และจากผลการทดลองสามารถคำนวณหาค่า สภาพไว (Sensitivity, S) เวลาตอบสนอง (Response time, τ_{90}) และเวลาการคืนตัว (Recovery time, τ_R) ได้ ดังกราฟในรูปที่ 4.37 และ 4.38

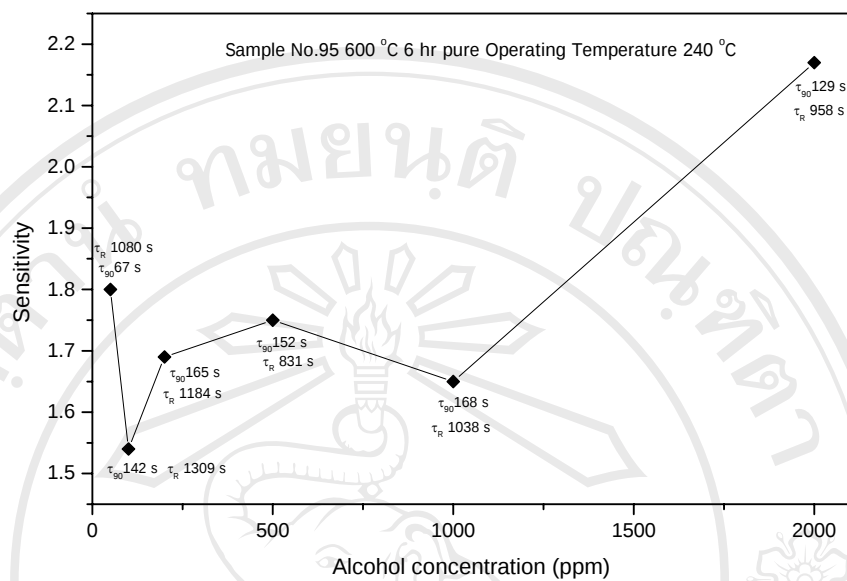
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.37 ซึ่งเป็นผลการทดสอบของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากที่สังกะสี ที่เผาที่ 600°C นาน 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 240°C เซนเซอร์ก๊าซมีการตอบสนองต่อไอเอทานอลดีที่สุด คือ มีค่า Sensitivity สูงที่สุด และมีการคืนตัวที่เร็วที่สุด (Recovery time ต่ำสุด) ถึงแม้ว่าจะมี Response time ที่ค่อนข้างสูง แต่พอจะสามารถสรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 240°C เซนเซอร์ก๊าซนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับไอเอทานอลสูงที่สุด

ในทำนองเดียวกันจากผลการทดลองในรูปที่ 4.38 ซึ่งเป็นผลการทดสอบของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากที่สังกะสีเจือทองคำ ที่เผาที่ 600°C นาน 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 240°C เซนเซอร์ก๊าซมีการตอบสนองต่อไอเอทานอลดีที่สุด แต่ใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 220 และ 260°C คือ มีค่า Sensitivity ใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 240 และ 260°C มีการคืนตัวที่ดีกว่า (Recovery time ต่ำกว่า) ส่วนค่า Response time พบว่าที่อุณหภูมิ 220°C มีค่า Response time ต่ำสุด เพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากที่สังกะสี ที่เผาด้วยเงื่อนไขเดียวกัน เพราะฉะนั้นการทดลองนี้จึงเลือกอุณหภูมิ 240°C เป็นอุณหภูมิเหมาะสมที่จะใช้ทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาที่สังกะสี และที่สังกะสีเจือทองคำ ที่เผาด้วยเงื่อนไขการเผาต่างๆ

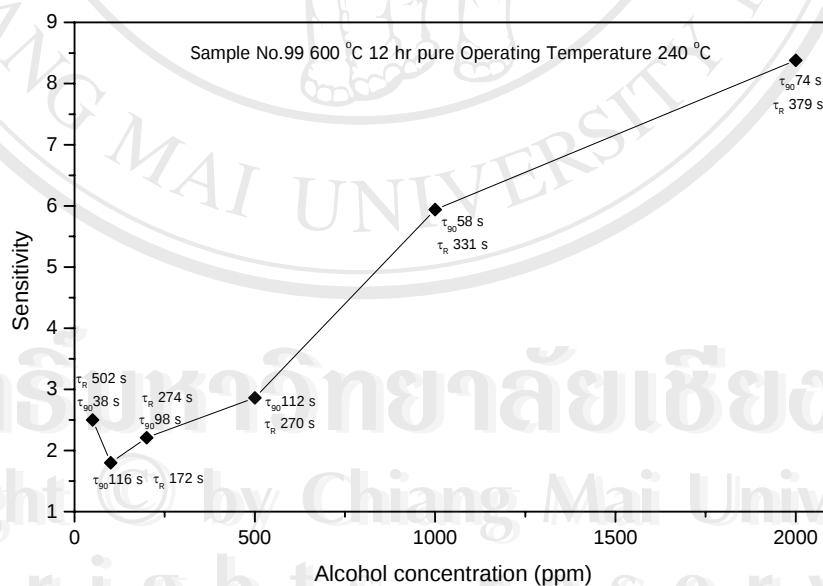
4.4.2 การศึกษาผลของเงื่อนไขการเผาที่ใช้เตรียมเซนเซอร์ก๊าซและผลของความเข้มข้นไอเอทานอลที่มีต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์ก๊าซ

ผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลที่เตรียมจากสารละลายเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาที่สังกะสี และที่สังกะสีเจือทองคำ ที่เผาด้วยเงื่อนไขการเผาต่างๆ ที่อุณหภูมิการทดสอบเซนเซอร์ก๊าซ 240°C ได้ผลการทดลองดังนี้

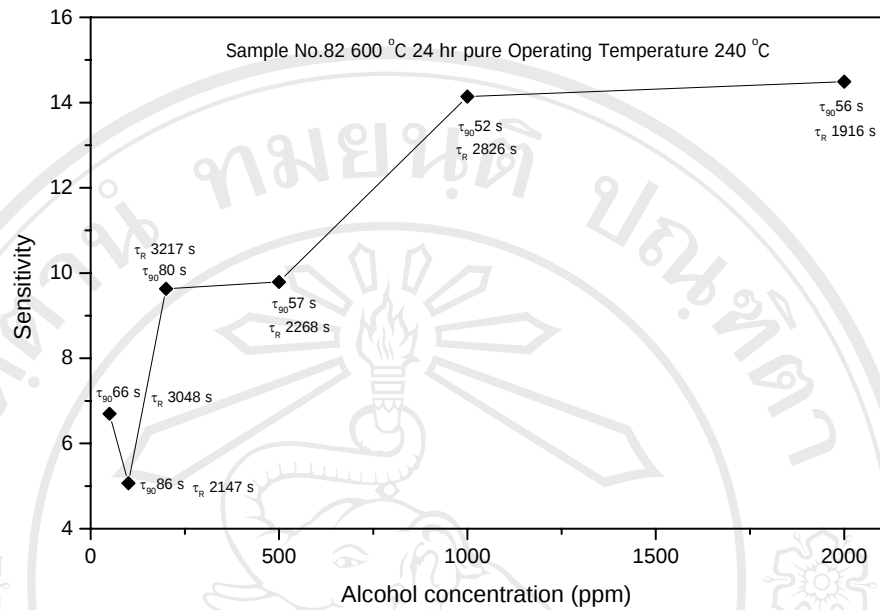
จากผลการทดลองที่ได้ในรูปที่ ง3-ง8 ในภาคผนวก ง สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่า Sensitivity และ Response time (τ_{90}) และ Recovery time (τ_R) ได้ดังนี้



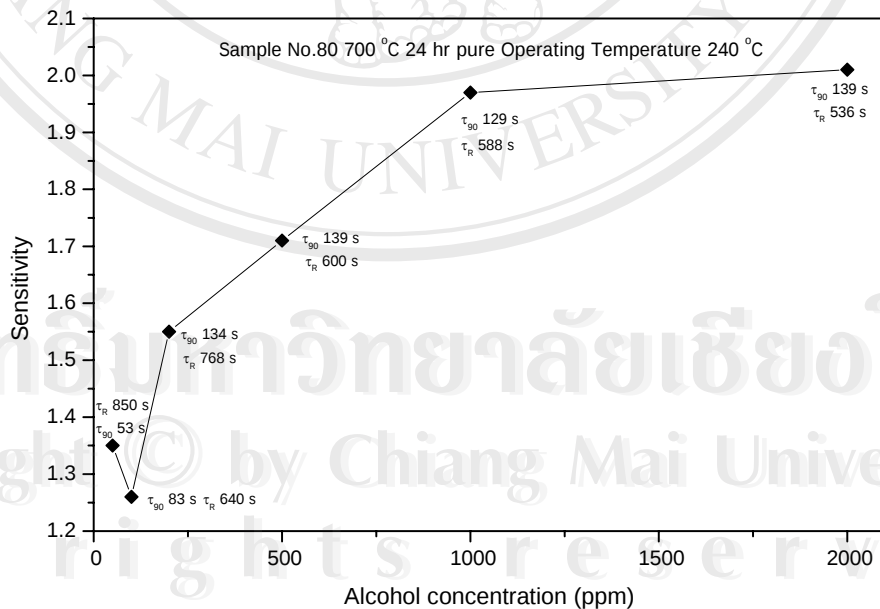
รูปที่ 4.39 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซ
เมื่อทำปฏิกิริยากับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ



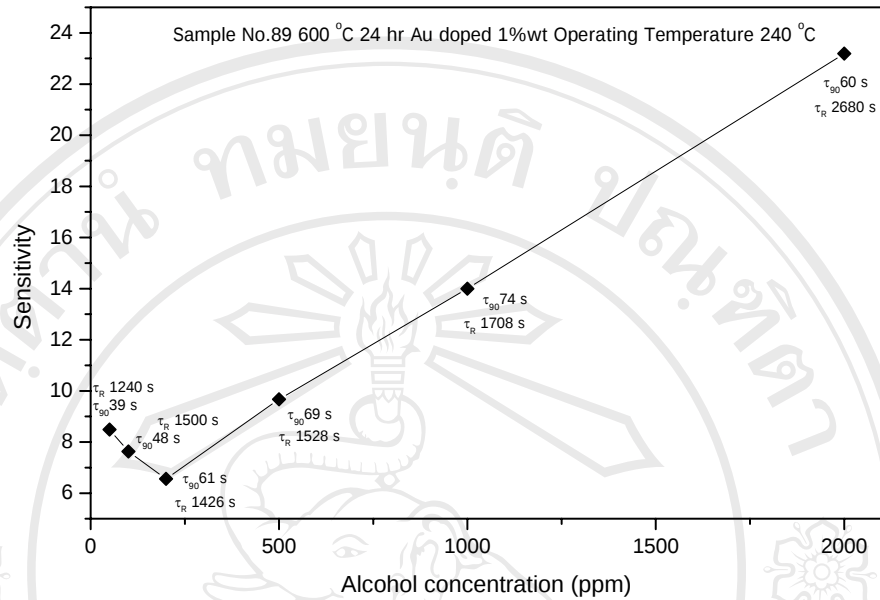
รูปที่ 4.40 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซ
เมื่อทำปฏิกิริยากับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ



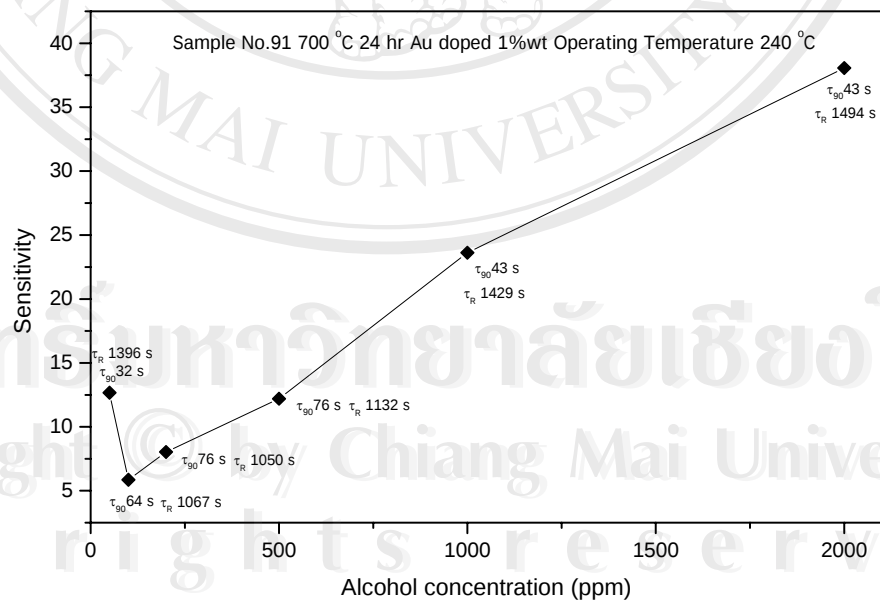
รูปที่ 4.41 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซ
เมื่อทำปฏิกิริยากับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.42 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซ
เมื่อทำปฏิกิริยากับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.43 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซ
เมื่อทำปฏิกิริยากับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.44 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซ
เมื่อทำปฏิกิริยากับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ

จากผลการทดลองสามารถแยกวิเคราะห์เป็นหัวข้อได้ดังนี้

4.4.2.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใส่เผื่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.5-4.8 ในภาคผนวก ง และการวิเคราะห์ผลการทดลองหาค่า Sensitivity Response time (τ_{90}) และ Recovery time (τ_R) ในกราฟรูปที่ 4.41-4.44 พบว่า

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Sensitivity ในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสี พบว่าค่า Sensitivity โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C จะสูงกว่า Sensitivity ของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C ส่วนในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำ พบว่าค่า Sensitivity โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 และ 700°C มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลสูงๆ จะพบว่า Sensitivity ของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C มีแนวโน้มสูงกว่า และ Sensitivity ของเซนเซอร์ก๊าซทั้งสองเมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้นมากกว่า 200 ppm พบว่า มีแนวโน้มแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ใช้ทดสอบ ซึ่งถือได้ว่ามีแนวโน้มที่จะสามารถนำไปใช้เป็นเซนเซอร์เอทานอลได้จริง

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Response time และ Recovery time ในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสี พบว่าค่า Response time โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C จะต่ำกว่า Response time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C แต่เมื่อพิจารณา Recovery time พบว่า Recovery time โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C จะต่ำกว่า Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C ส่วนในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำ พบว่าค่า Response time โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C จะต่ำกว่า Response time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C และเมื่อพิจารณา Recovery time พบว่า Recovery time โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C จะต่ำกว่า Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C

4.4.2.2 การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้เผาต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล

จากผลการทดลองในรูปที่ 3-5 ในภาคผนวก ง และการวิเคราะห์ผลการทดลองหาค่า Sensitivity Response time (τ_{90}) และ Recovery time (τ_R) ในกราฟรูปที่ 4.39-4.41 พบว่า

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Sensitivity โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีที่เผาด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิ 600°C ระยะเวลาเผา 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าค่า Sensitivity โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เผานาน 24 ชั่วโมง จะสูงกว่า Sensitivity โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เผานาน 12 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Response time และ Recovery time พบว่าเซนเซอร์ก๊าซที่เผานาน 24 ชั่วโมง จะมี Response time โดยรวมต่ำกว่าเซนเซอร์ก๊าซที่เผานาน 12 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ ส่วนเมื่อพิจารณาค่า Recovery time พบว่าเซนเซอร์ก๊าซที่เผานาน 12 ชั่วโมง จะมี Recovery time โดยรวมต่ำกว่าเซนเซอร์ก๊าซที่เผานาน 6 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ

4.4.2.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ใช้ทดสอบต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล

จากผลการทดลองในรูปที่ 3-8 และการวิเคราะห์ผลการทดลองหาค่า Sensitivity Response time (τ_{90}) และ Recovery time (τ_R) ในกราฟรูปที่ 4.39-4.44 พบว่า

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Sensitivity ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมด้วยเงื่อนไขต่างๆที่นำมาทดสอบนี้พบว่า ค่า Sensitivity ของเซนเซอร์ก๊าซจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทดสอบกับไอเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ยกเว้นที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 50 ppm พบว่าแนวโน้มของ Sensitivity จะแตกต่างออกไป แต่โดยรวมแล้วพบว่า เซนเซอร์ก๊าซมีแนวโน้มจะมีค่า Sensitivity ที่แปรผันตรงกับกับความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ใช้ทดสอบ ซึ่งถือว่ามีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาไปเป็นเซนเซอร์เอทานอลสำหรับการใช้งานจริง

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Response time พบว่า ในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจอทองคำมีค่า Response time ใกล้เคียงกันมากกว่ากรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมการจากท่อสังกะสีที่เผาด้วยเงื่อนไขการเผาต่างๆในทุกๆความเข้มข้นของไอเอทานอล และมีแนวโน้มว่า Response time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจอทองคำ จะต่ำกว่า Response time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสี

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Recovery time หรือการคืนตัวของความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซ พบว่าเมื่อทดสอบกับไอเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูง เซนเซอร์ก๊าซจะมีการคืนตัวของความต้านทานต่ำลง คือ จะมีการคืนตัวกลับสู่ความต้านทานเริ่มต้นน้อยลง และมีค่า Recovery time มากขึ้น ทั้งในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีและท่อสังกะสีเจือทองคำที่มีแนวโน้มการคืนตัวของความต้านทานในลักษณะที่คล้ายกัน

4.4.2.4 การศึกษาผลของการเจือทองคำ 1% โดยน้ำหนักต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.5-4.8 ในภาคผนวก ง และการวิเคราะห์ผลการทดลองหาค่า Sensitivity Response time (τ_{90}) และ Recovery time (τ_R) ในกราฟรูปที่ 4.41-4.44 พบว่า

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Sensitivity ในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่าค่า Sensitivity โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำจะสูงกว่า Sensitivity ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสี และการเปลี่ยนแปลง Sensitivity เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ พบว่ากรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำจะมีการเปลี่ยนแปลงของ Sensitivity แบบแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไอเอทานอลมากกว่า ส่วนในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่าผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มคล้ายกับกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง คือ Sensitivity โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำจะสูงกว่า Sensitivity ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสี และการเปลี่ยนแปลง Sensitivity เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆ พบว่ากรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำจะมีการเปลี่ยนแปลงของ Sensitivity แบบแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไอเอทานอลมากกว่า

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Response time ในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่าค่า Response time โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำจะต่ำกว่า Response time โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีอยู่เล็กน้อย ส่วนในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่าค่า Response time โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำจะต่ำกว่า Response time โดยรวมของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเช่นเดียวกัน

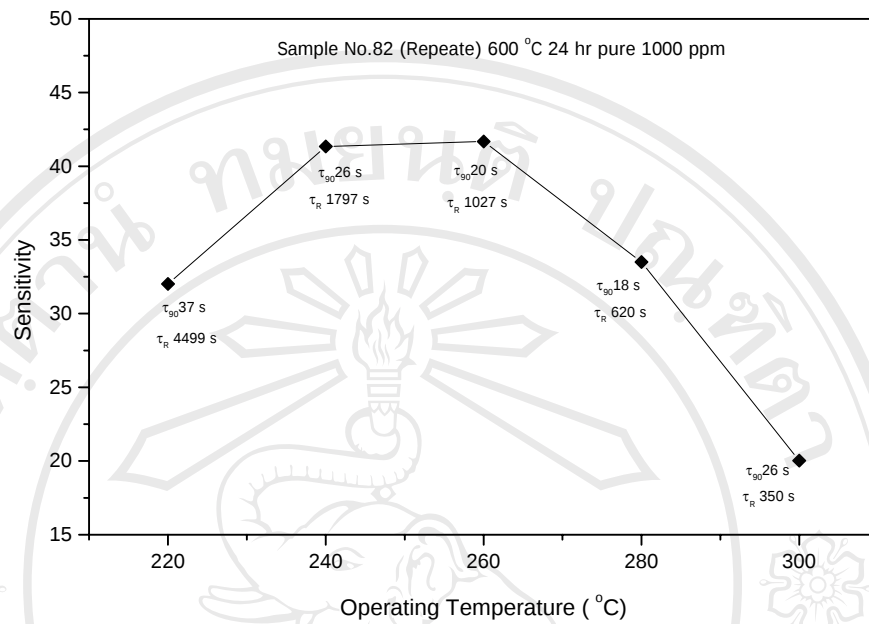
เมื่อพิจารณาในแง่ของ Recovery time ในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่าค่า Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำ

จะต่ำกว่า Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสี และในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C นาน 24 ชั่วโมง พบว่าค่า Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเจือทองคำจะต่ำกว่า Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากท่อสังกะสีเช่นเดียวกัน

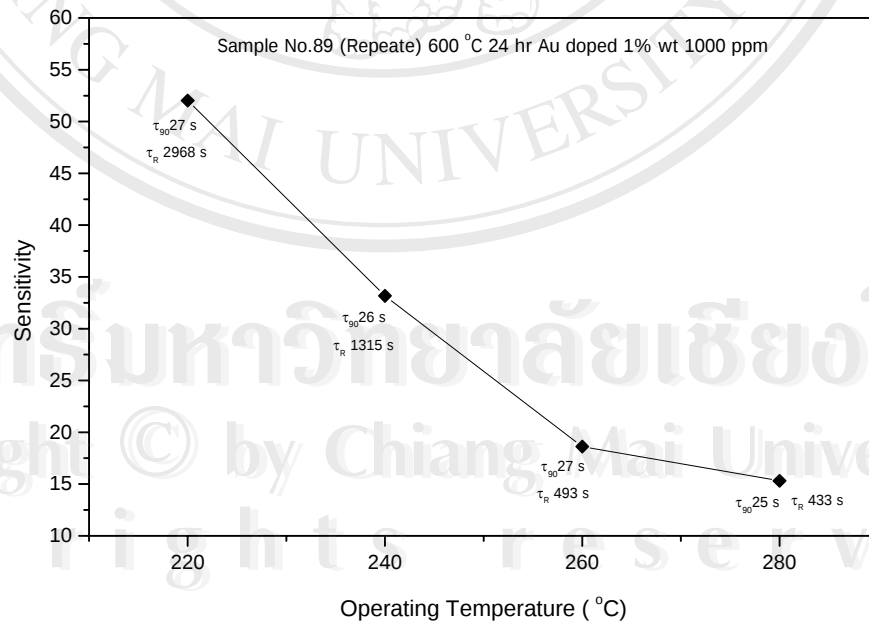
4.4.3 ตัวอย่างการทดลองกรณีอบเซนเซอร์ก๊าซนานๆก่อนการทดสอบ

จากผลการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานและอุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซขณะทำการทดสอบ เมื่อดูจากกราฟยังมีค่าไม่คงที่เท่าที่ควร ซึ่งคาดว่ามาจากหลายสาเหตุ เช่น มาจากการที่อุปกรณ์ที่ใช้ให้ไฟเลี้ยงแก่ Heater เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซ จ่ายกระแสไฟฟ้าที่ไม่คงที่พอจึงส่งผลให้อุณหภูมิของ Heater ไม่คงที่ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซด้วย สาเหตุอีกประการน่าจะมาจากความไม่เสถียรของตัวเซนเซอร์ก๊าซรวมทั้ง Contact ต่างๆ เพราะฉะนั้นจึงทำการแก้ไขและทำการทดลองซ้ำสำหรับเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากเงื่อนไขการเผาท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่อุณหภูมิ 600°C เวลานาน 24 ชั่วโมง โดยได้ทำการเปลี่ยน Power supply สำหรับ Heater ให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ได้คงที่มากขึ้น โดย Power supply ใหม่ที่ใช้นี้สามารถปรับค่าความต่างศักย์ได้ละเอียดถึงระดับ 1 mV และสามารถปรับค่ากระแสได้ละเอียดถึง 1 mA และก่อนเริ่มการทดสอบเซนเซอร์ก๊าซ ได้ทำการอบเซนเซอร์ก๊าซที่อุณหภูมิประมาณ 260°C ค้างไว้นานขึ้น และเซนเซอร์ก๊าซที่จะนำมาทดสอบใหม่นี้ เป็นเซนเซอร์ก๊าซที่ผ่านการทดสอบหลายครั้งแล้ว ซึ่งอาจจะพอกล่าวได้ว่า เป็นเซนเซอร์ก๊าซที่ผ่านการอบจนเริ่มเสถียรแล้ว ซึ่งผลการทดลองแสดงดังนี้

จากผลการทดลองที่ได้ในรูปที่ 9-ง10 สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่า Sensitivity Response time และ Recovery time ได้ดังนี้



รูปที่ 4.45 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซ
เมื่อทำปฏิกิริยากับไอเอทานอลที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.46 แสดง Sensitivity, Response time และ Recovery time ของเซนเซอร์ก๊าซ
เมื่อทำปฏิกิริยากับไอเอทานอลที่อุณหภูมิต่างๆ

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.45-4.46 พบว่ากราฟความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซที่เลือกมาทดสอบทั้งสองครั้งที่มากขึ้น และเมื่อพิจารณาในแง่ของ Sensitivity พบว่าเซนเซอร์ก๊าซทั้งสองมีค่า Sensitivity สูงกว่าเดิม โดยเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาต่อสังกะสีมีแนวโน้มของ Sensitivity ที่สูงกว่าเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาต่อสังกะสีเจือทองคำที่เงื่อนไขการเผาเดียวกัน

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Response time พบว่า เซนเซอร์ก๊าซทั้งสองมีค่า Response time ที่ต่ำกว่าเดิม และใกล้เคียงกันในแต่ละอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาในแง่ของ Recovery time พบว่า เซนเซอร์ก๊าซทั้งสองมีแนวโน้มการคืนตัวที่ดีกว่าเดิม คือค่า Recovery time มีแนวโน้มต่ำลงแต่ Recovery time ยังคงมีแนวโน้มมากขึ้นที่อุณหภูมิทดสอบที่ต่ำลง ซึ่งคล้ายกับผลการทดลองเดิม