

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการสังเคราะห์ซิงก์ไทเทเนตเฟส $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ โดยเทคนิคออกซิเดชันเชิงความร้อนเพื่อประยุกต์เป็นตัวตรวจจับก๊าซ ตามวิธีการทดลองในบทที่ 3 ได้ถูกนำมาศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) ศึกษาเฟสและองค์ประกอบด้วยเครื่อง X-ray ดิฟแฟร็กโทรมิเตอร์และศึกษาสมบัติในการตรวจจับไอเอทานอล ซึ่งผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนของสารประกอบซิงก์ไทเทเนต ด้วยเทคนิคปฏิกิริยาออกซิเดชัน แสดงในตาราง 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงเงื่อนไขต่าง ๆ ในการสังเคราะห์สารประกอบซิงก์ไทเทเนต $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$

สารตั้งต้น		อุณหภูมิ(°C)					
ZnO (mol%)	TiO ₂ (mol%)	600°C	650°C	700°C	750°C	800°C	850°C
40	60	Sample No.1	Sample No.2	Sample No.3	Sample No.4	Sample No.5	Sample No.6
30	70	Sample No.7	Sample No.8	Sample No.9	Sample No.10	Sample No.11	Sample No.12
20	80	Sample No.13	Sample No.14	Sample No.15	Sample No.16	Sample No.17	Sample No.18
10	90	Sample No.19	Sample No.20	Sample No.21	Sample No.22	Sample No.23	Sample No.24

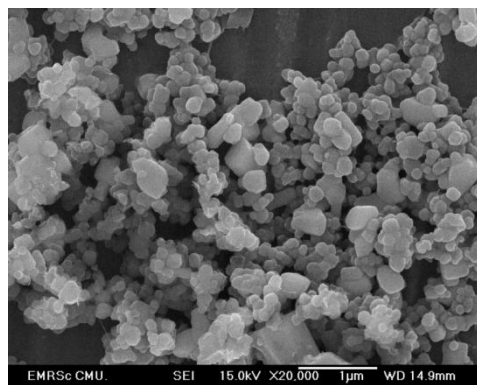
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วย SEM

4.1.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อขนาดผลึก

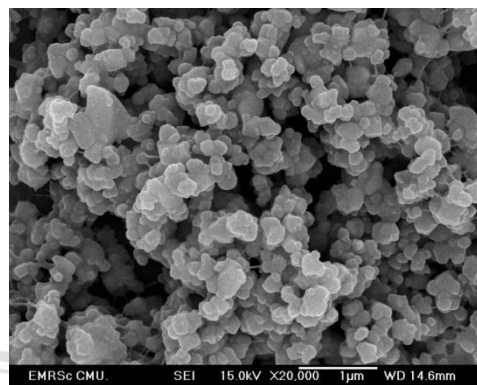
การวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วย SEM ของซิงก์ไททาเนต 60% โดยโมลไททาเนียม ไดออกไซด์ เผาที่ 600°C - 850°C พบว่ามีลักษณะเกาะกันเป็นก้อน มีรูปร่างไม่แน่นอนมีทั้งแบบกลมและแบบแท่ง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ที่ประมาณ 150 – 320 nm พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอนุภาคมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.12 – 4.15 เมื่อทำการวัดด้วยโปรแกรม Image J สรุปความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางได้ดังตารางที่ 4.2



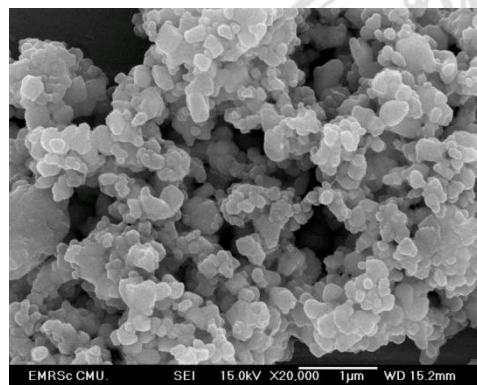
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



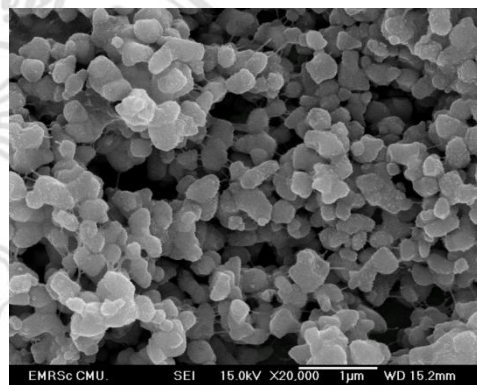
600°C



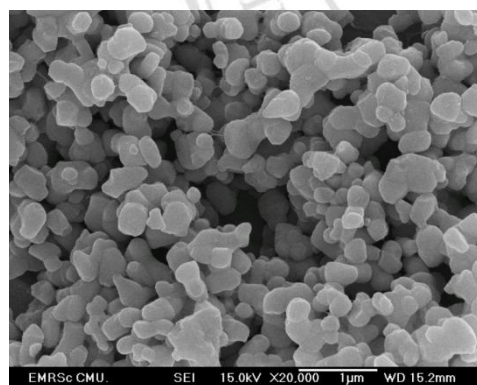
650°C



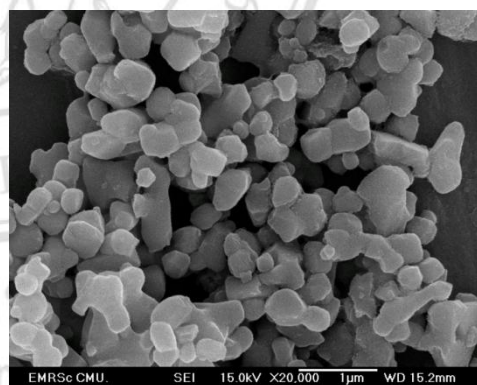
700°C



750°C

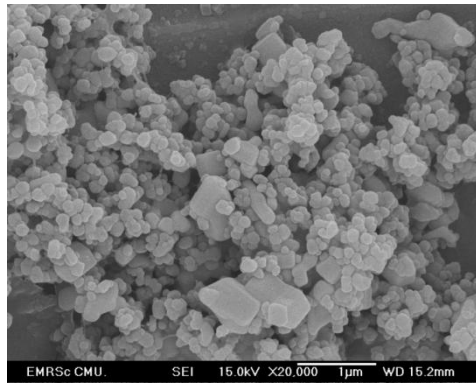


800°C

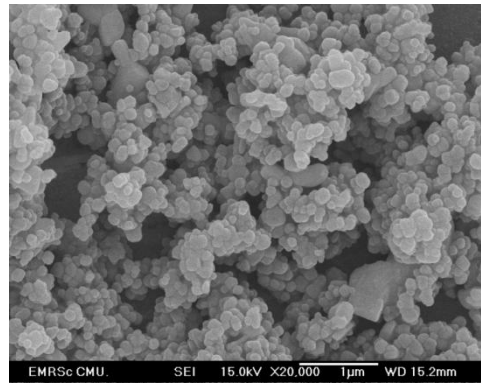


850°C

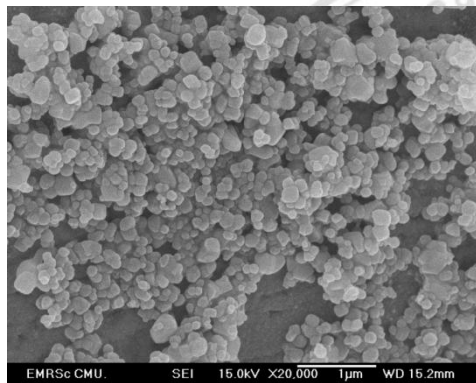
รูปที่ 4.1 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เดิมไททานเนียมไดออกไซด์ 60% โดยโมล
เผาที่อุณหภูมิ 600°C – 850°C



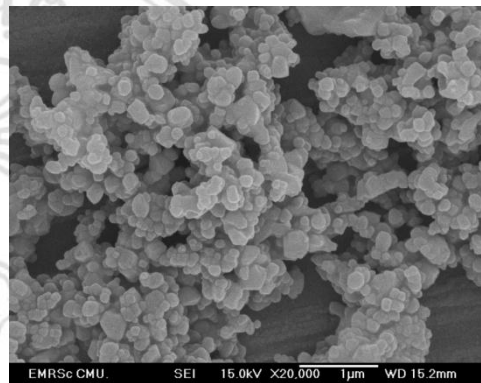
600°C



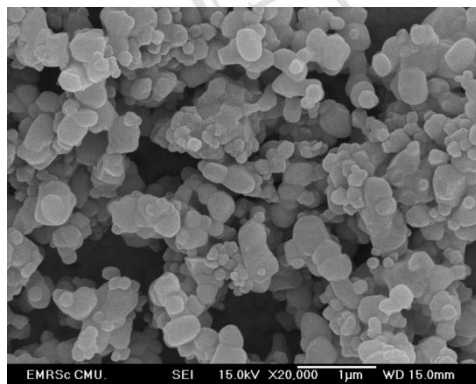
650°C



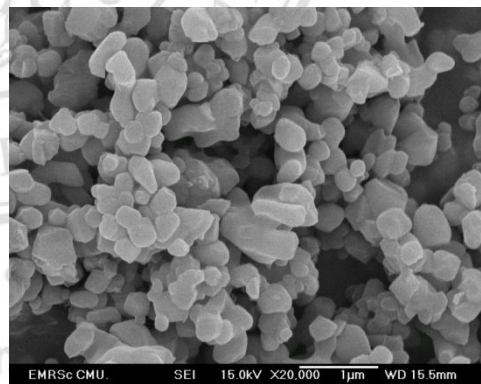
700°C



750°C

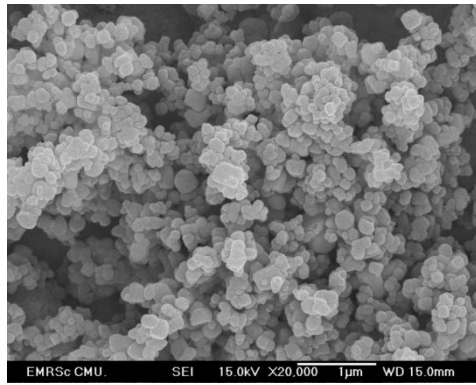


800°C

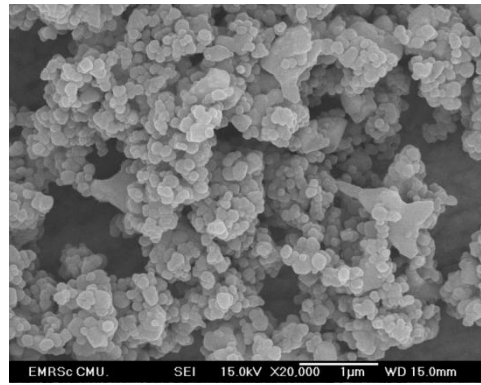


850°C

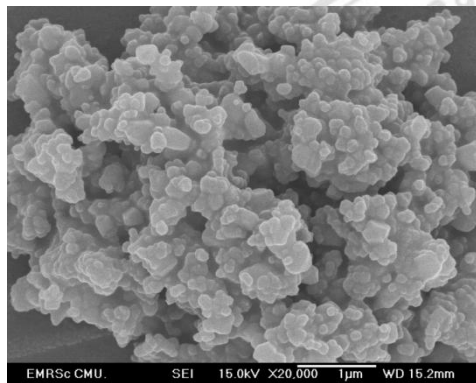
รูปที่ 4.2 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ 70% โดยโมล
เผาที่อุณหภูมิ 600°C – 850°C



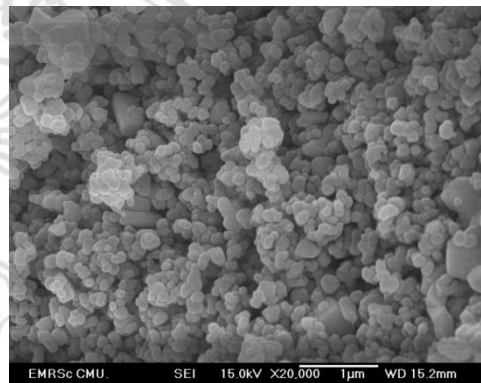
600°C



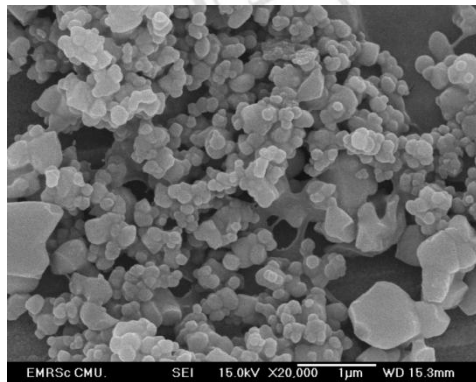
650°C



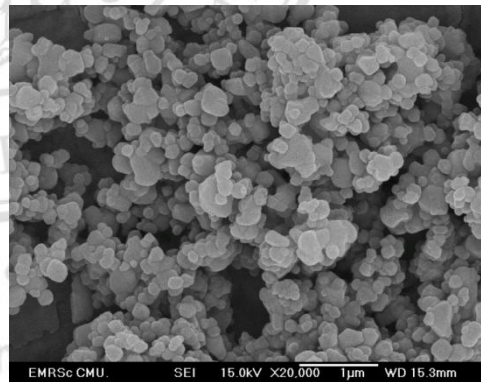
700°C



750°C

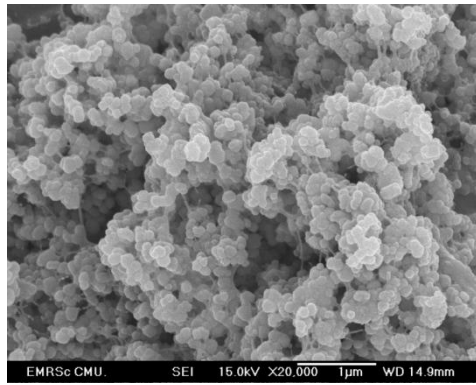


800°C

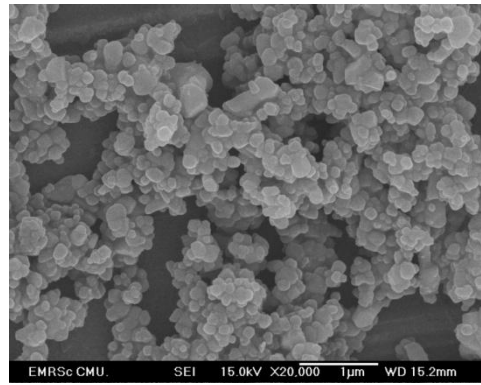


850°C

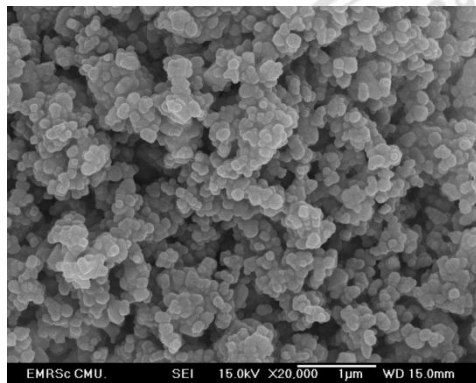
รูปที่ 4.3 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ 80% โดยโมลเผา
ที่อุณหภูมิ 600°C – 850°C



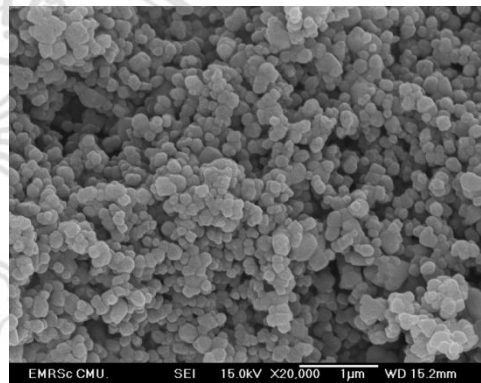
600°C



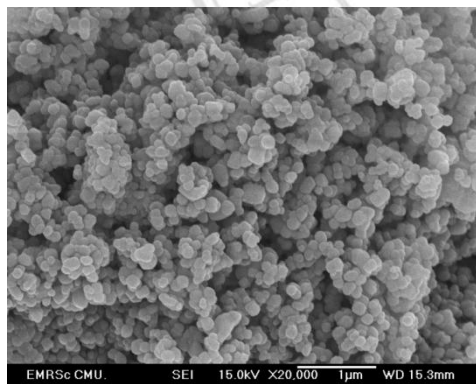
650°C



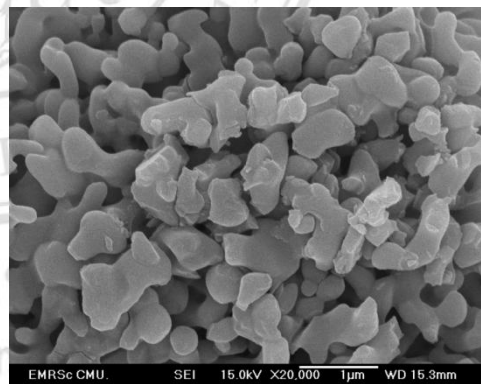
700°C



750°C



800°C



850°C

รูปที่ 4.4 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ 90% โดยโมลเผา ที่อุณหภูมิ 600°C – 850°C

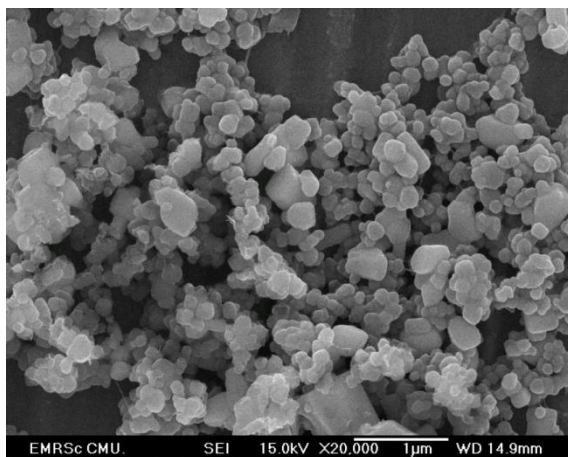
ตารางที่ 4.2 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดของ $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ ที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 60,70,80 และ 90% โดยโมล ที่อุณหภูมิ $600^\circ\text{C} - 850^\circ\text{C}$

เงื่อนไข	เส้นผ่านศูนย์กลาง (nm)			
	60% โดยโมล	70% โดยโมล	80% โดยโมล	90% โดยโมล
600°C	189 ± 0.062	165 ± 0.047	157 ± 0.022	151 ± 0.039
650°C	193 ± 0.047	172 ± 0.039	162 ± 0.033	158 ± 0.083
700°C	223 ± 0.06	186 ± 0.052	182 ± 0.054	178 ± 0.054
750°C	306 ± 0.079	251 ± 0.061	219 ± 0.066	183 ± 0.046
800°C	331 ± 0.092	284 ± 0.091	235 ± 0.075	227 ± 0.063
850°C	366 ± 0.104	321 ± 0.089	317 ± 0.036	257 ± 0.083

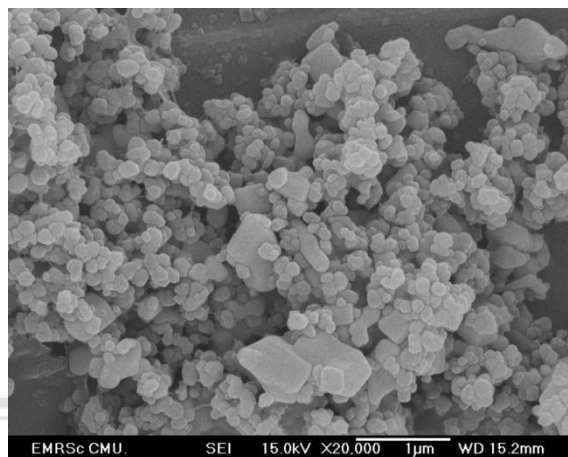
4.1.2 ผลของปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีต่อขนาดผลึก

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อขนาดและรูปร่างของซิงก์ไทเทเนต พบว่าสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อนมีรูปร่างไม่แน่นอน และพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อสังเกตรด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าขนาดของซิงก์ไทเทเนตมีขนาดเล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อทำการวัดด้วยโปรแกรม Image J สรุปความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางได้ดังตารางที่ 4.3

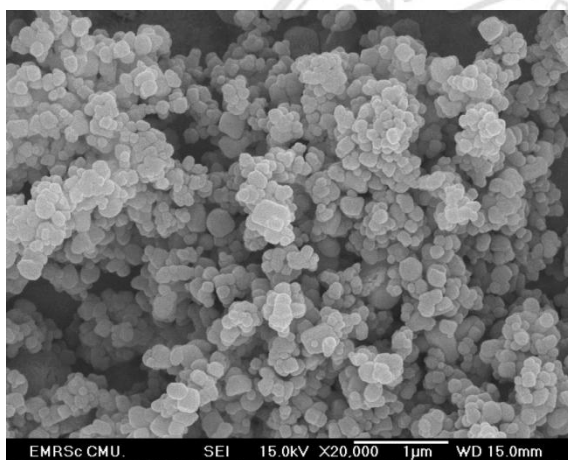
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



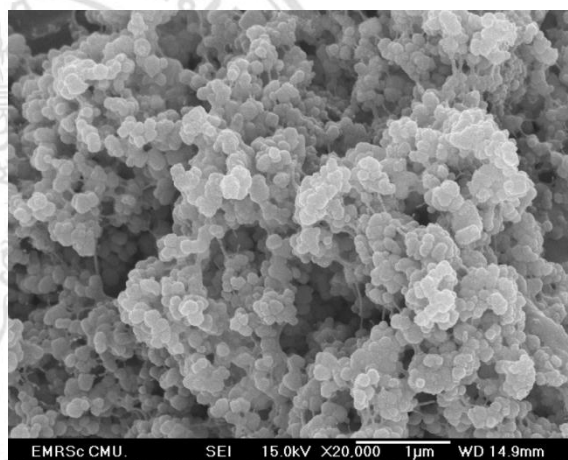
60 โมล%



70 โมล%



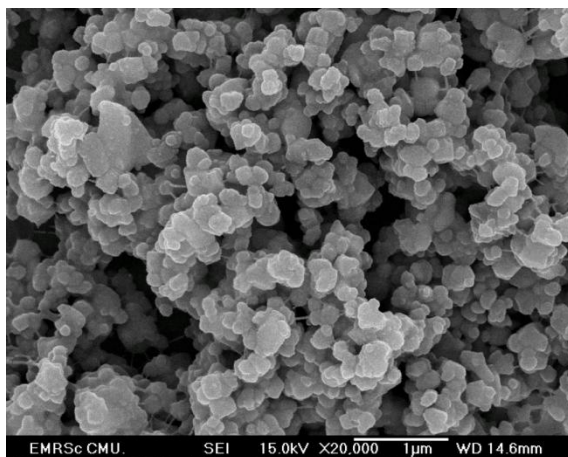
80 โมล%



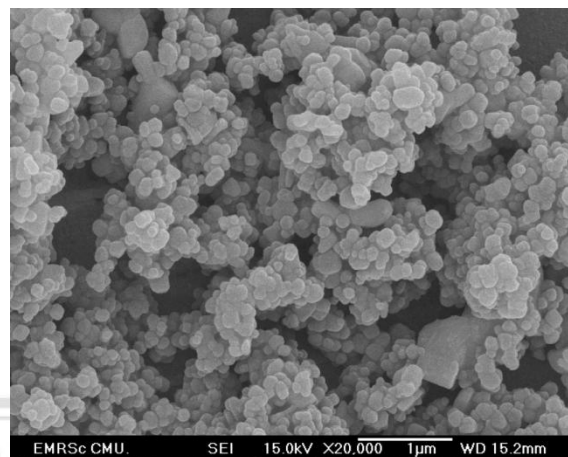
90 โมล%

รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 60% - 90% โดยโมล เผาที่อุณหภูมิ 600°C

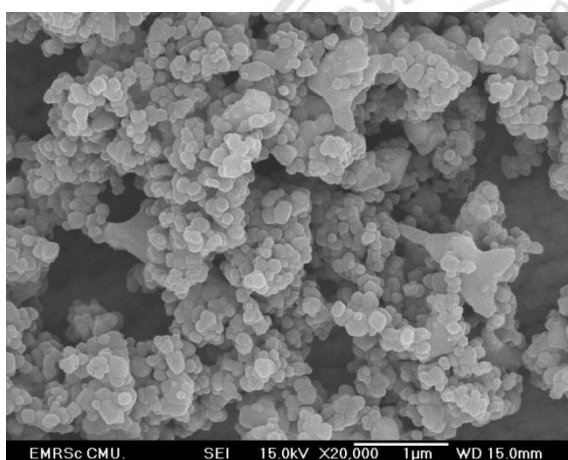
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



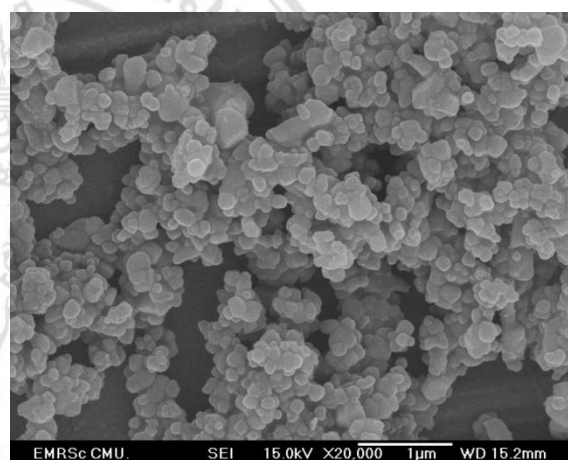
60 โมล%



70 โมล%



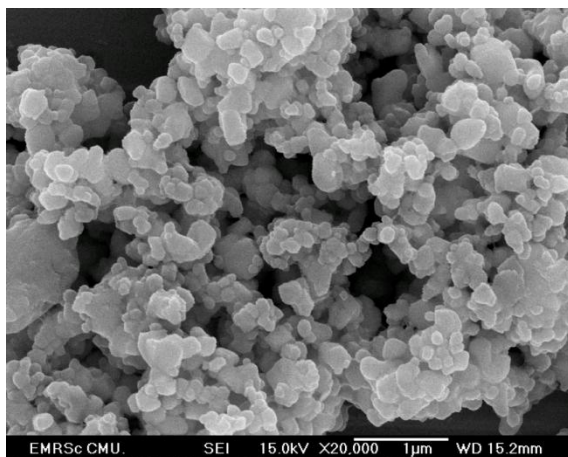
80 โมล%



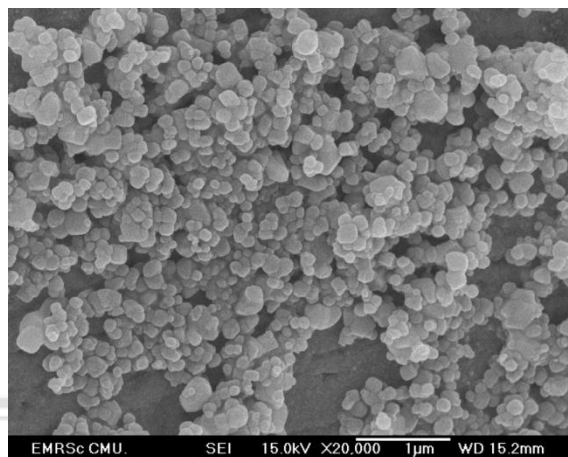
90 โมล%

รูปที่ 4.6 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 60% - 90% โดยโมล เผาที่อุณหภูมิ 650°C

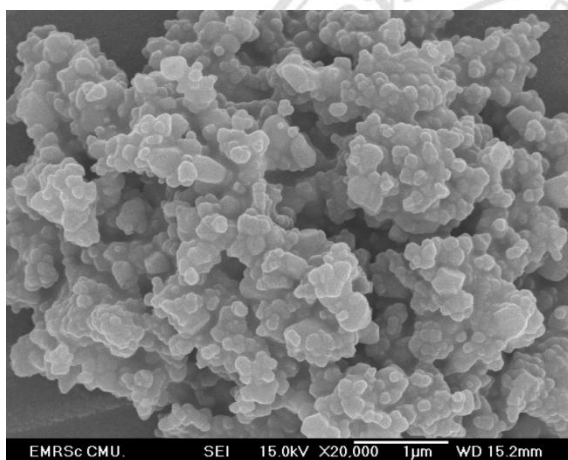
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



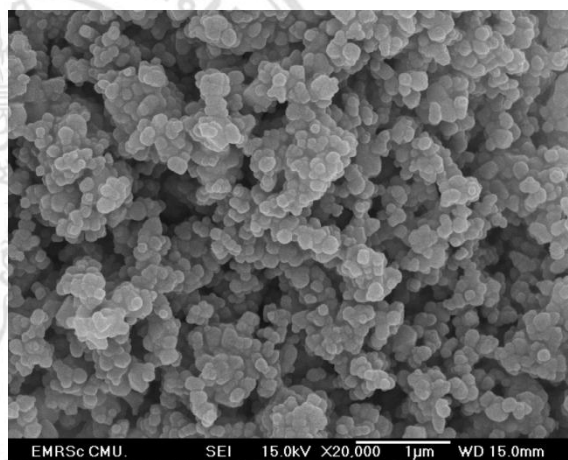
60 โมล%



70 โมล%



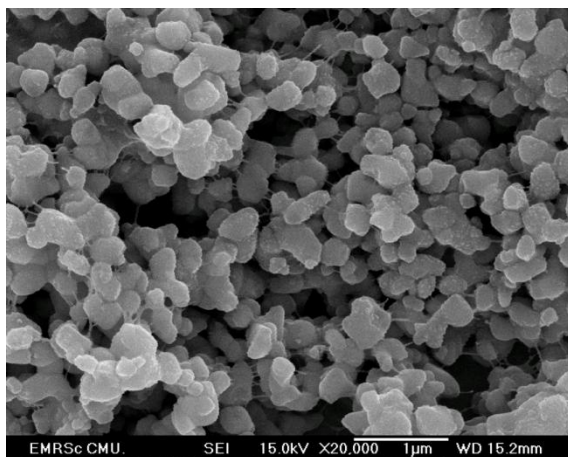
80 โมล%



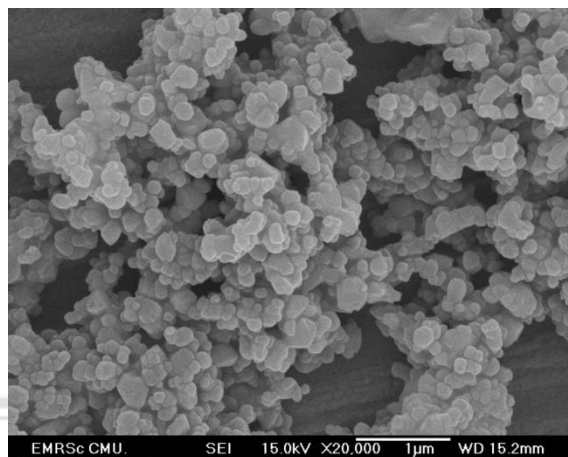
90 โมล%

รูปที่ 4.7 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 60% - 90% โดยโมล เผาที่อุณหภูมิ 700°C

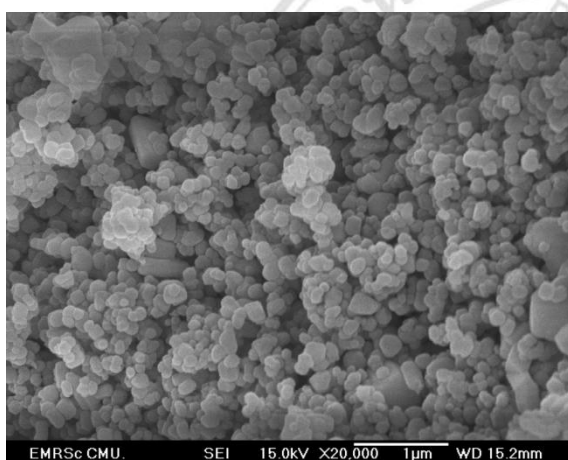
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



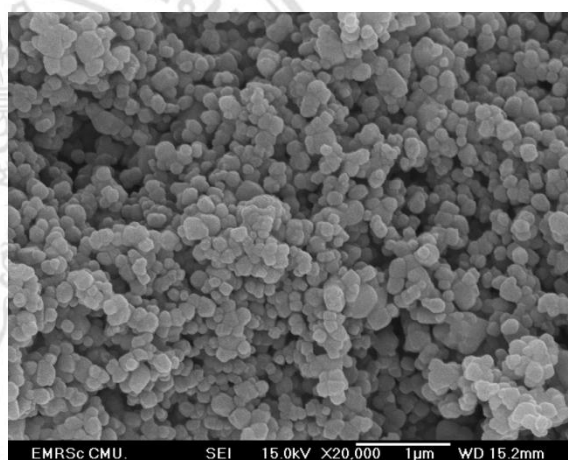
60 โมล%



70 โมล%



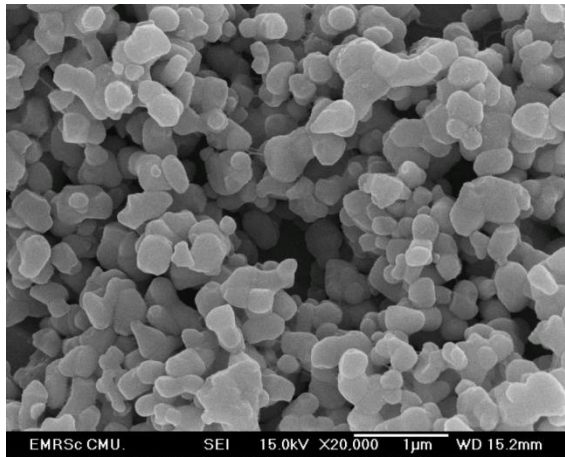
80 โมล%



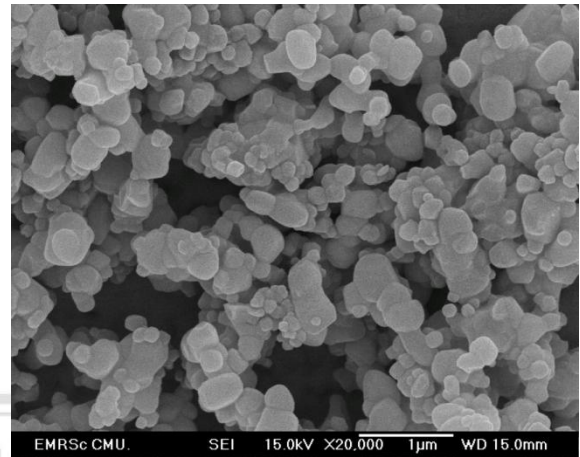
90 โมล%

รูปที่ 4.8 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 60% - 90% โดยโมล เผาที่อุณหภูมิ 750°C

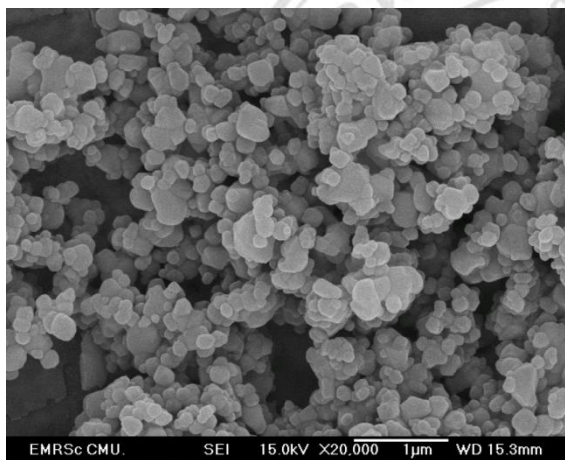
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



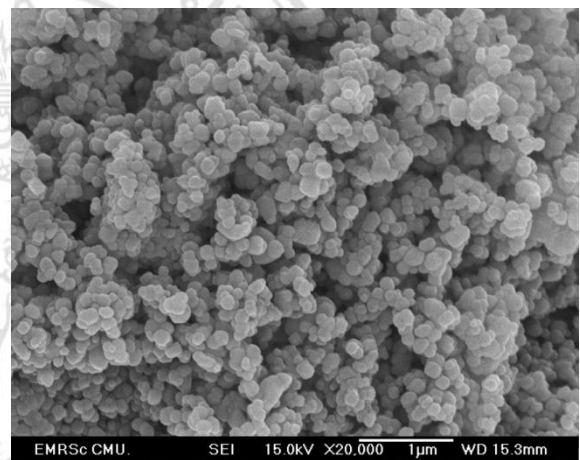
60 โมล%



70 โมล%



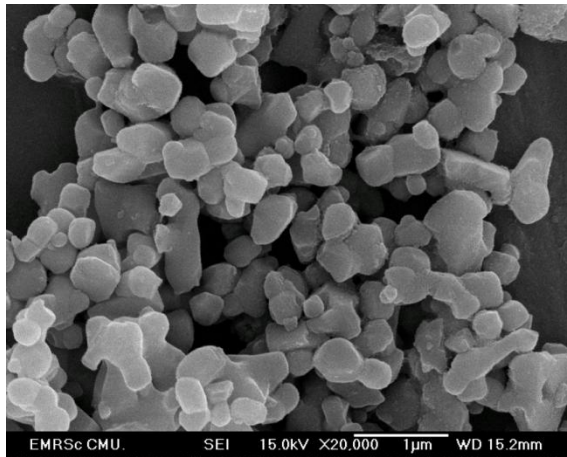
80 โมล%



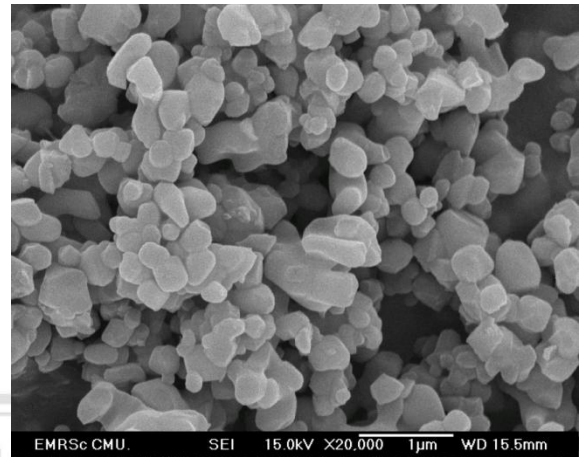
90 โมล%

รูปที่ 4.9 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 60% - 90% โดยโมล เผา โดยโมล เผาที่อุณหภูมิ 800°C

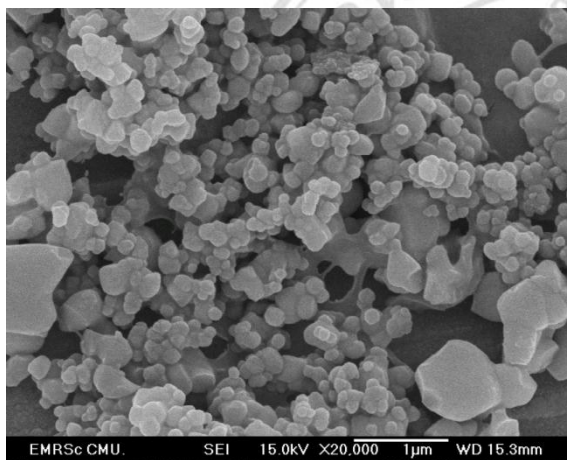
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



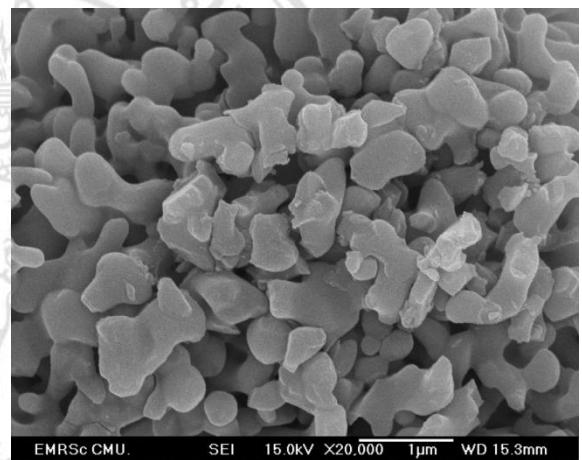
60 โมล%



70 โมล%



80 โมล%



90 โมล%

รูปที่ 4.10 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 60% - 90% โดยโมล เผาที่อุณหภูมิ 850°C

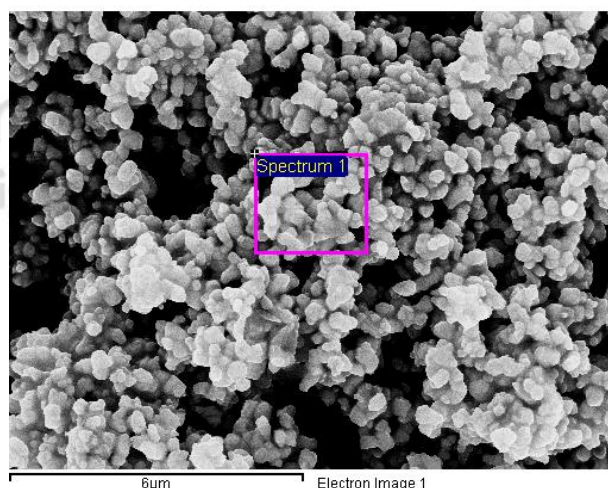
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดของซิงก์ไทเทเนต $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ ที่เผาที่ อุณหภูมิ 750°C

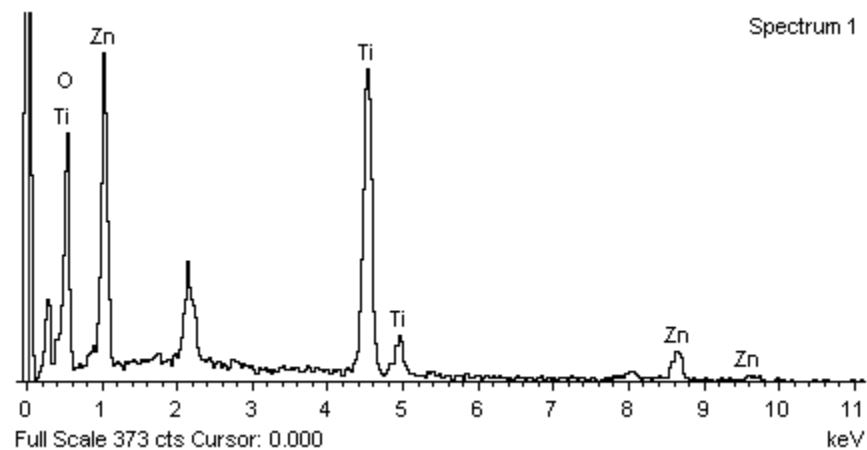
เงื่อนไข% โดยโมล TiO_2	เส้นผ่านศูนย์กลาง (nm)
60 %	306 ± 0.079
70 %	251 ± 0.061
80 %	219 ± 0.066
90 %	183 ± 0.046

4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง EDS

หลังจากทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของซิงก์ไทเทเนต ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) แล้ว จึงวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซิงก์ไทเทเนตที่สังเคราะห์ได้ว่ามีองค์ประกอบทางเคมีอะไรบ้าง ด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) เพื่อยืนยันว่า ตัวอย่างสารที่สังเคราะห์ได้คือซิงก์ไทเทเนตจริงหรือไม่ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะแสดงตัวอย่างของสารที่สังเคราะห์บางตัวอย่าง ดังนี้



รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย EDS ของซิงก์ไทเทเนตที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ 60% โดยโมล เผาที่อุณหภูมิ 750°C



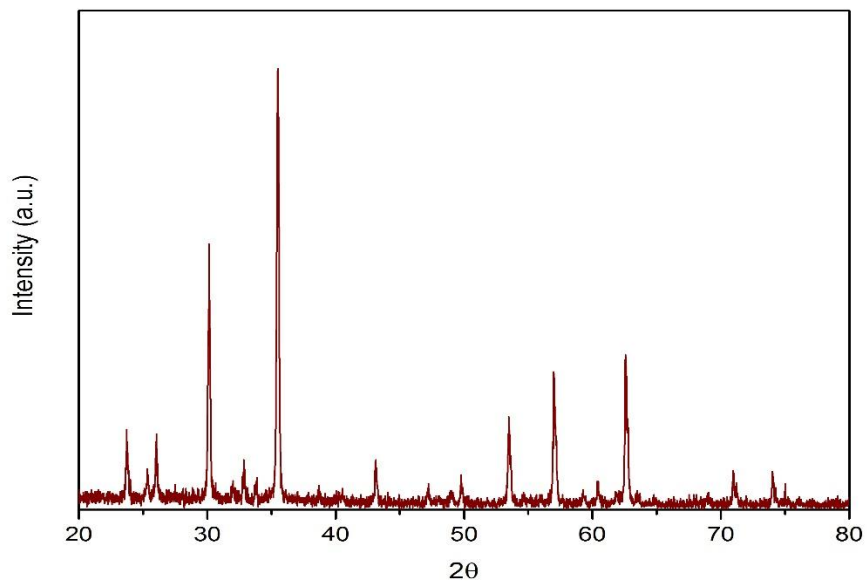
รูปที่ 4.12 แสดงสเปกตรัมการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นนาโนซิงก์ไทเทเนตด้วย EDS ของซิงก์ไทเทเนตที่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ 60 %โดยโมล ที่อุณหภูมิ 750°C

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของเส้นนาโนซิงก์ไทเทเนต

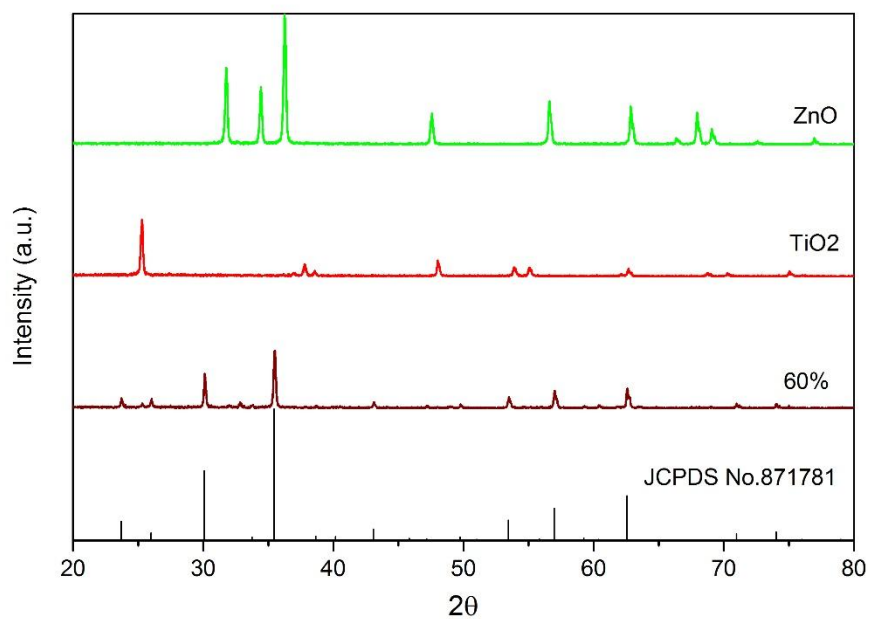
Element	Weight	Atomic %
O K	38.56	67.97
Ti K	35.16	20.70
Zn K	26.28	11.34
total	100	

ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ในการวิเคราะห์ด้วย EDS ถ้าอิเล็กตรอนถูกยิงไปตรงส่วนของซิงก์ไทเทเนตที่สังเคราะห์ รูปที่ 4.23 แสดงสเปกตรัมขององค์ประกอบทางเคมี 3 ธาตุ คือ ซิงก์ (Zn), ไททาเนียม (Ti) และ ออกซิเจน (O) ซึ่งแสดงว่าไทเทเนียมไดออกไซด์และซิงก์ไดออกไซด์ได้ฟอร์มตัวขึ้นเป็นสารประกอบซิงก์ไทเทเนต ซึ่งเมื่อดูตามเฟสไดอะแกรมในบทที่ 2 จะมีอยู่ด้วยกัน 3 เฟส คือ Zn_2TiO_4 , ZnTiO_3 และ $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ จากผลของ EDS ถึงแม้จะบอกได้ว่าสารซิงก์ไทเทเนตที่สังเคราะห์ได้มีองค์ประกอบของธาตุทั้ง 3 และเมื่อทำการวิเคราะห์เฟสของสารที่สังเคราะห์ได้โดยอาศัยเครื่อง XRD ดิฟแฟร็กโทรมิเตอร์ ตามข้อ 4.1 สามารถยืนยันว่าสารที่ได้เป็นสารประกอบซิงก์ไทเทเนตเฟส $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ จริง

4.3 ผลการศึกษสมบัติผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วย XRD



รูปที่ 4.13 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่าง 60% โดยโมลของ TiO_2 เผาที่อุณหภูมิ 750°C



รูปที่ 4.14 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่าง 60% โดยโมลของ TiO_2 เผาที่อุณหภูมิ 750°C เทียบกับ ZnO , TiO_2 และ ค่ามาตรฐาน JCPDF Files ของ $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ XRD สเปกตรัมของสารตัวอย่าง 60% โดยโมลของ TiO_2 เหนืออุณหภูมิ 750°C พบว่าสารที่สังเคราะห์ได้จะเป็นสารที่มีหลายเฟสรวมกันอยู่ มีทั้งเฟสของสารที่เป็นสารตั้งต้นคือ ซิงก์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นอนาเทส (anatase) และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน JCPDF files no.87178 พบว่าเฟสของสารที่เป็นสารใหม่ คือซิงก์ไทเทเนตเฟส $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ ที่มีโครงสร้างแบบ Cubic โดยมุมสอดคล้องคือที่มุม 2θ เท่ากับ 23.688 , 30.095 , 35.448 , 53.446 , 56.973 และ 62.563 ซึ่งมีระนาบคือ ระนาบ (2 1 0), (2 2 0), (3 1 1), (4 2 2), (5 1 1) และ (4 4 0) ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 4.2 และเฟสทั้งหมดที่เกิดขึ้นสรุปไว้ดังตารางที่ 4.5

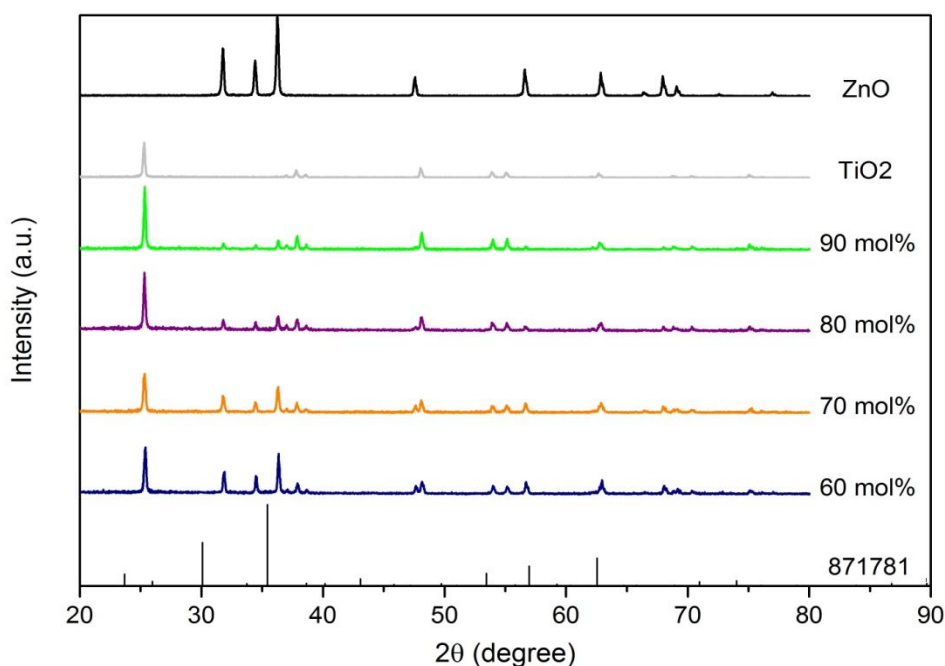
ตารางที่ 4.5 แสดงเฟสและค่าต่างๆของสารที่สังเคราะห์ได้

Peak No.	Experiment		Phases	h k l	Standard		% error of d
	2θ	d			2θ	d	
1	23.71	3.75	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	210	23.69	3.75	0.0831
2	26.04	3.42	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	211	25.99	3.42	0.1887
3	30.12	2.96	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	220	30.10	2.97	0.0649
4	32.01	2.79	ZnO - Hexagonal	100	32.00	2.79	0.0304
5	32.83	2.72	ZnTiO_3 - Rhombohedral	104	32.80	2.73	0.0889
6	35.50	2.53	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	311	35.45	2.53	0.1363
7	43.10	2.10	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	400	43.08	2.10	0.0442
8	49.77	1.83	ZnTiO_3 - Rhombohedral	024	49.01	1.86	1.4320
9	53.51	1.71	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	422	53.45	1.71	0.1039
10	56.98	1.61	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	511	56.97	1.61	0.0161
11	62.58	1.48	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	440	62.56	1.48	0.0287
12	70.97	1.33	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	620	70.98	1.33	0.0122
13	74.01	1.28	$\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ - Cubic	533	74.01	1.28	0.0000

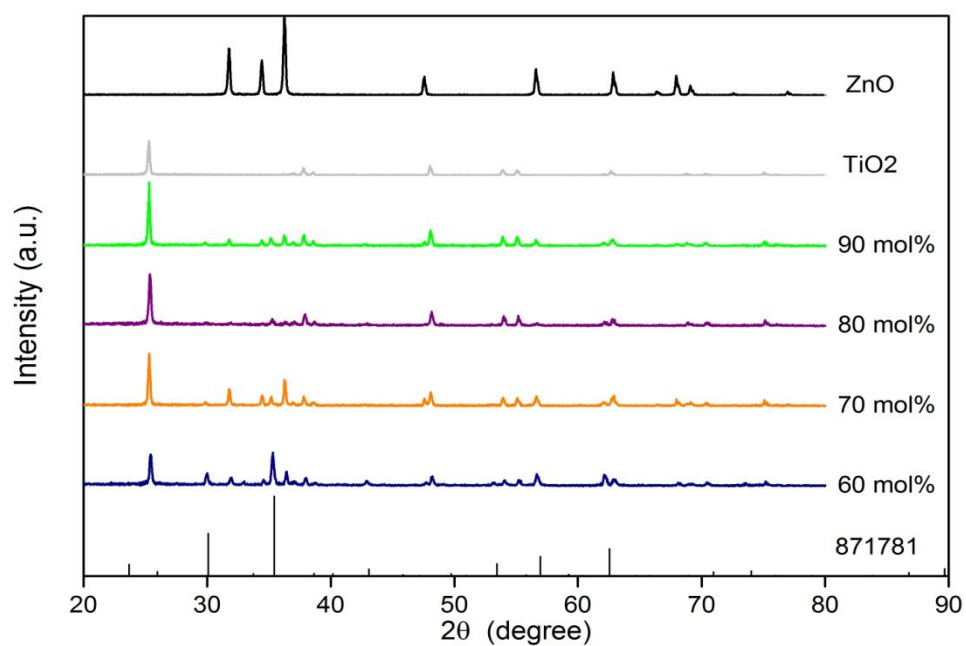
โดยพบปริมาณของซิงก์ไทเทเนตที่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของไทเทเนียมไดออกไซด์ดังนี้

4.3.1 ผลของปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการฟอร์มตัวของสารประกอบซิงก์ไทเทเนตเฟส $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$

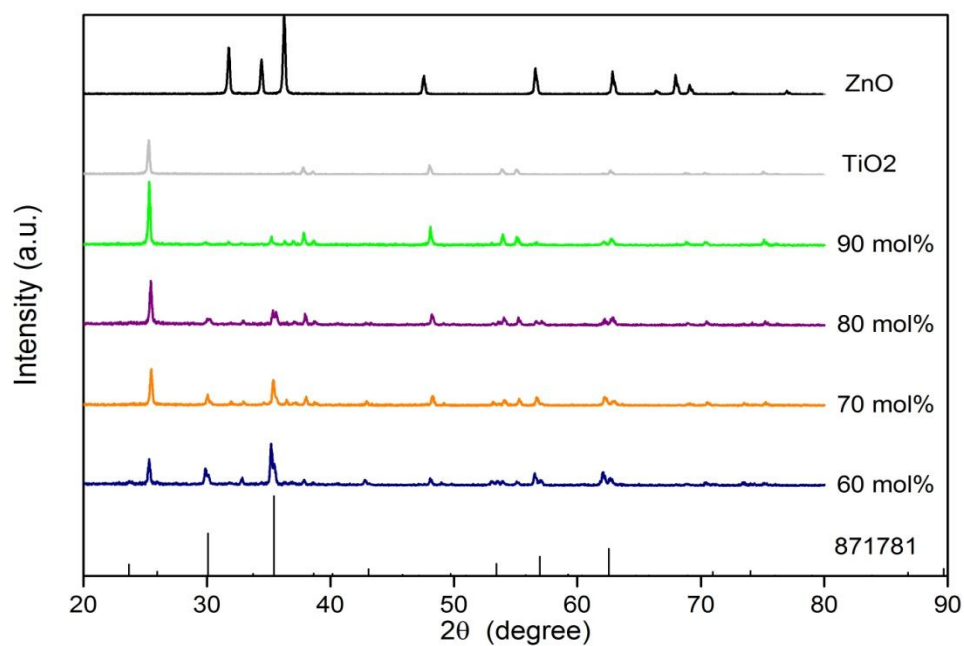
ผลการวิเคราะห์ XRD ของซิงก์ไทเทเนตที่มีปริมาณโมล % ของไทเทเนียมไดออกไซด์เป็น 60 70 80 และ 90 % โดยโมล เมื่อเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกันในช่วง $600 - 850^\circ\text{C}$ แสดงดังรูปที่ 4.3 – 4.8 เมื่อพิจารณาความเข้มของแต่ละพีค พบว่าเมื่อเติมปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ความเข้มพีคของไทเทเนียมไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตาม ส่วนความเข้มพีคของซิงก์ออกไซด์จะลดลงตามปริมาณการเติมแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นกับสารตั้งต้น นอกจากนี้พบว่าความเข้มพีคของซิงก์ไทเทเนตมีความชัดเจนที่สุดที่ปริมาณการเติม 60 % โดยโมลไทเทเนียมไดออกไซด์



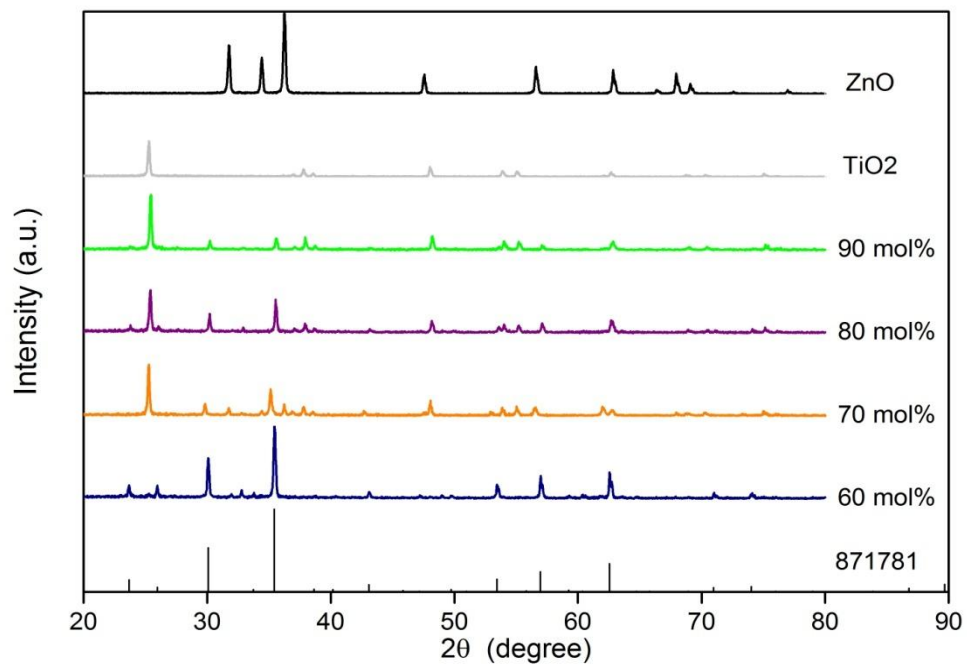
รูปที่ 4.15 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างที่เติมไทเทเนียมไดออกไซด์ 60% - 90% โดยโมลเผาที่อุณหภูมิ 600°C



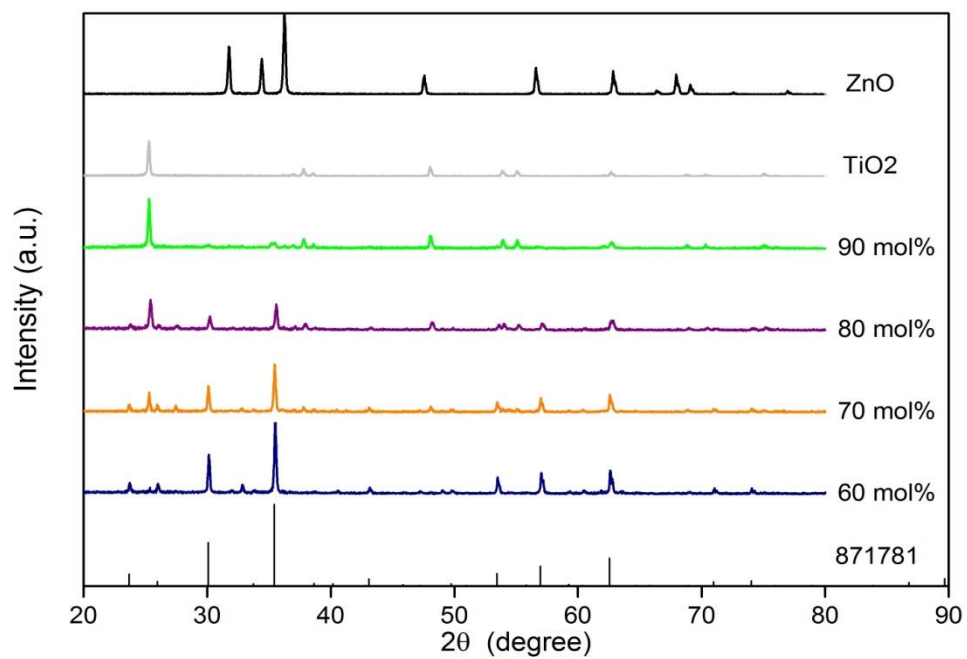
รูปที่ 4.16 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างที่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ 60% - 90%
โดยโมลเผาที่อุณหภูมิ 650°C



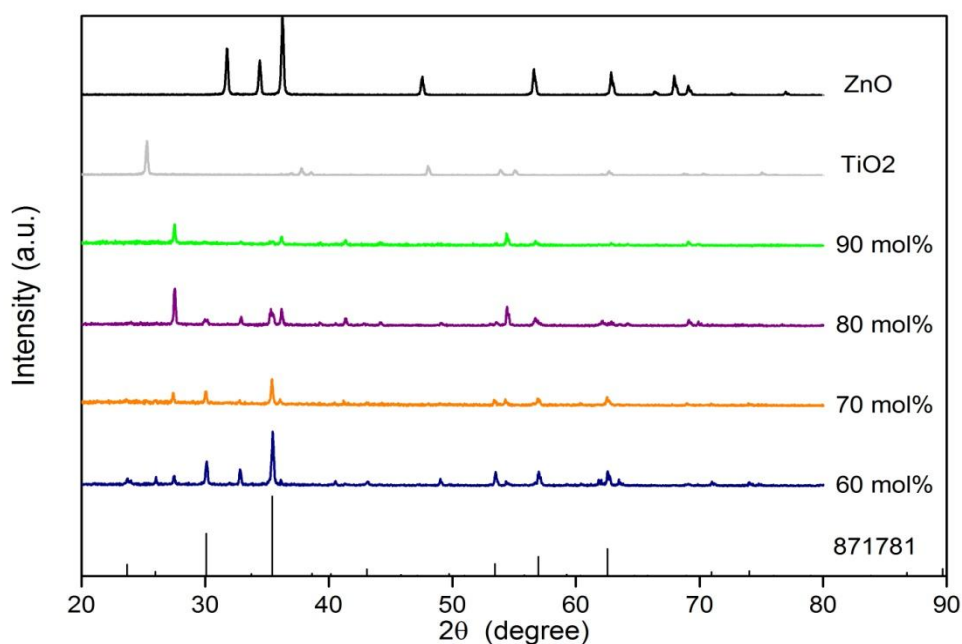
รูปที่ 4.17 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างที่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ 60% - 90%
โดยโมลเผาที่อุณหภูมิ 700°C



รูปที่ 4.18 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างที่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ 60% - 90%
โดยโมลเผาที่อุณหภูมิ 750°C



รูปที่ 4.19 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างที่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ 60% - 90%
โมลเผาที่อุณหภูมิ 800°C

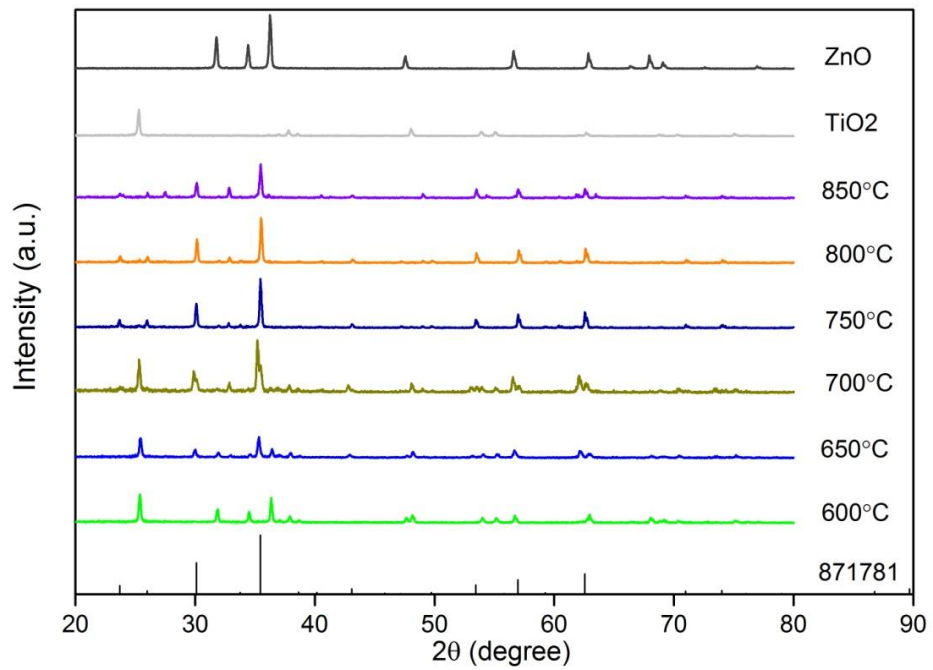


รูปที่ 4.20 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างที่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ 60% - 90% โดยโมลเผาที่อุณหภูมิ 850°C

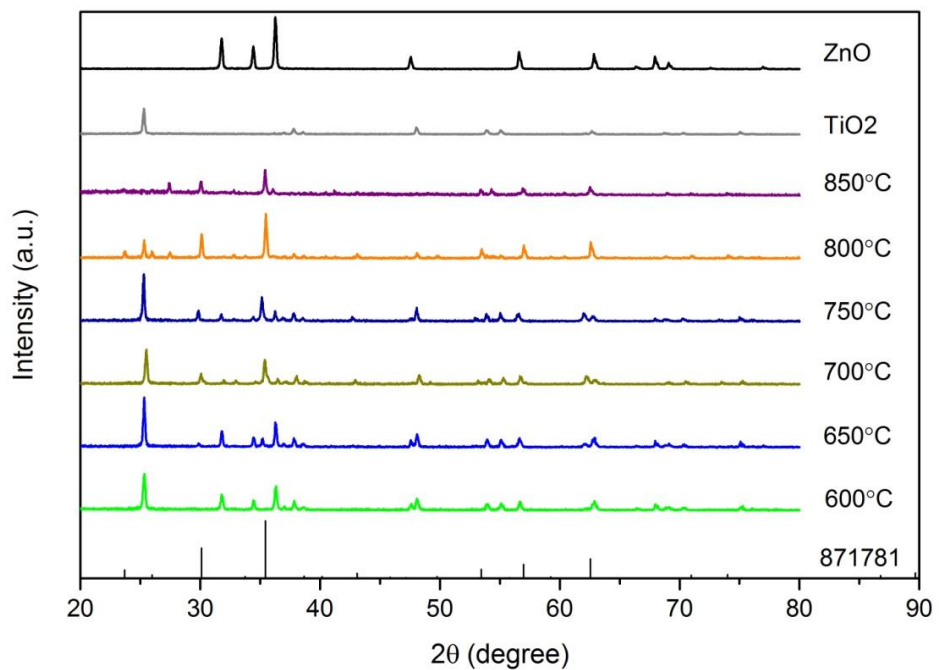
4.3.2 ผลของอุณหภูมิต่อการฟอร์มตัวของสารประกอบซิงก์ไทเทเนตเฟส $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$

จากข้อ 4.1.1 พบว่าเมื่อซิงก์ไทเทเนตที่มีปริมาณความเข้มข้น 60 % โดยโมลไทเทเนียมไดออกไซด์ มีความเข้มฟลักของ $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ ชัดเจนที่สุด จึงนำ ZnO ผสม TiO_2 ที่ 60 mol% ความเข้มข้นนี้มาเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่ 600 – 850 °C แล้วนำไปวิเคราะห์ XRD ได้ผลของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.9 - 4.12 พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นความเข้มของฟลักไทเทเนียมไดออกไซด์และฟลักซิงก์ออกไซด์ลดลง ส่วนความเข้มของฟลัก $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ ความเข้มของฟลักชัดเจนขึ้น และสังเกตได้ว่ามีความเข้มของฟลักชัดเจนที่สุดที่อุณหภูมิการเผา 750°C

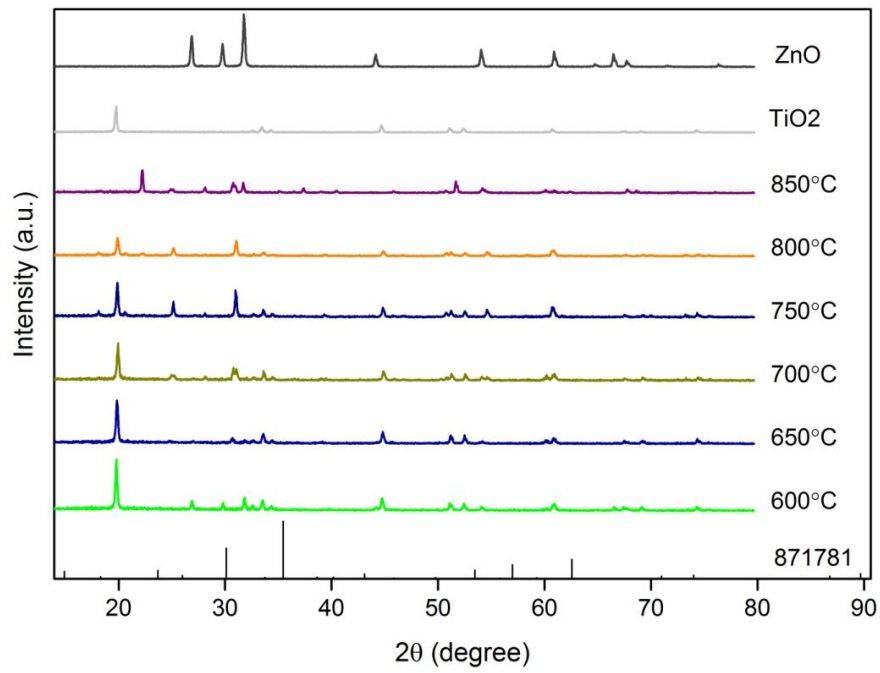
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



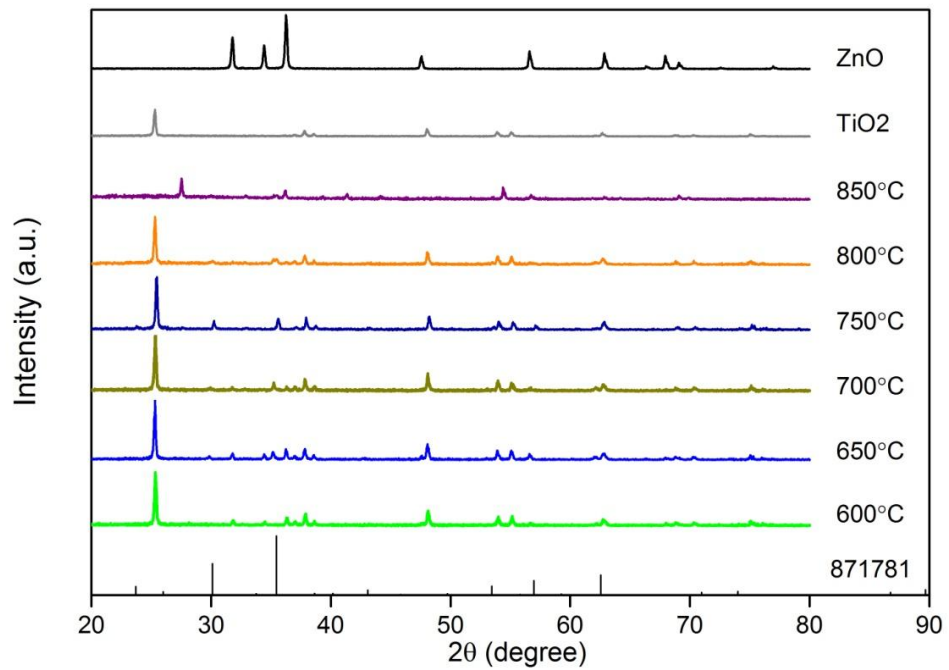
รูปที่ 4.21 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ 60% โดยโมล
เผาที่อุณหภูมิ 600°C - 850°C



รูปที่ 4.22 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารที่เติมไททานเนียมไดออกไซด์ 70% โดยโมล
เผาที่อุณหภูมิ 600°C - 850°C



รูปที่ 4.23 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารที่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ 80% โดยโมล
เผาที่อุณหภูมิ 600°C - 850°C

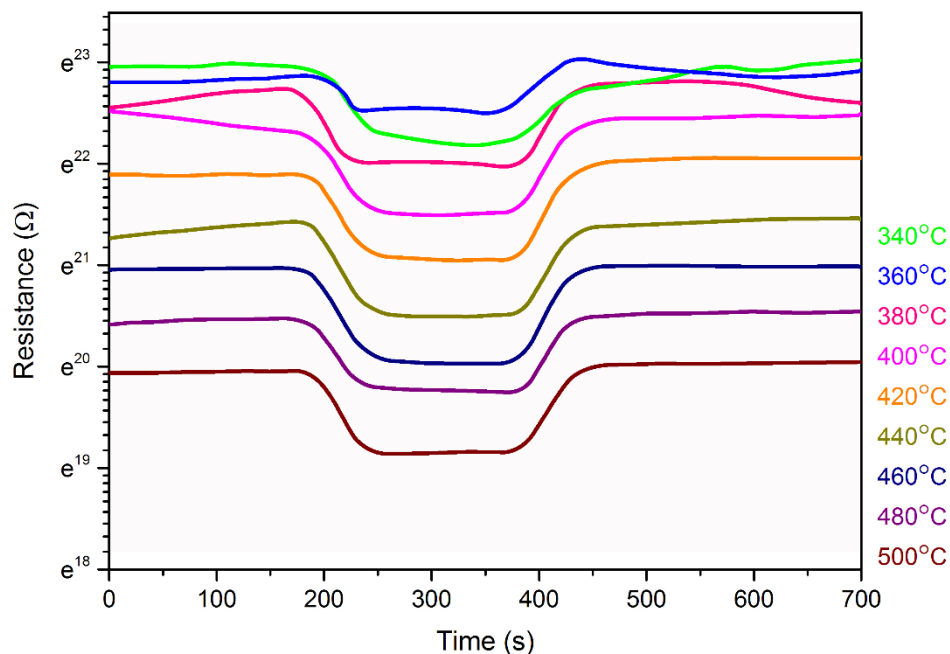


รูปที่ 4.24 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารที่เติมไททาเนียมไดออกไซด์ 90% โดยโมล
เผาที่อุณหภูมิ 600°C - 850°C

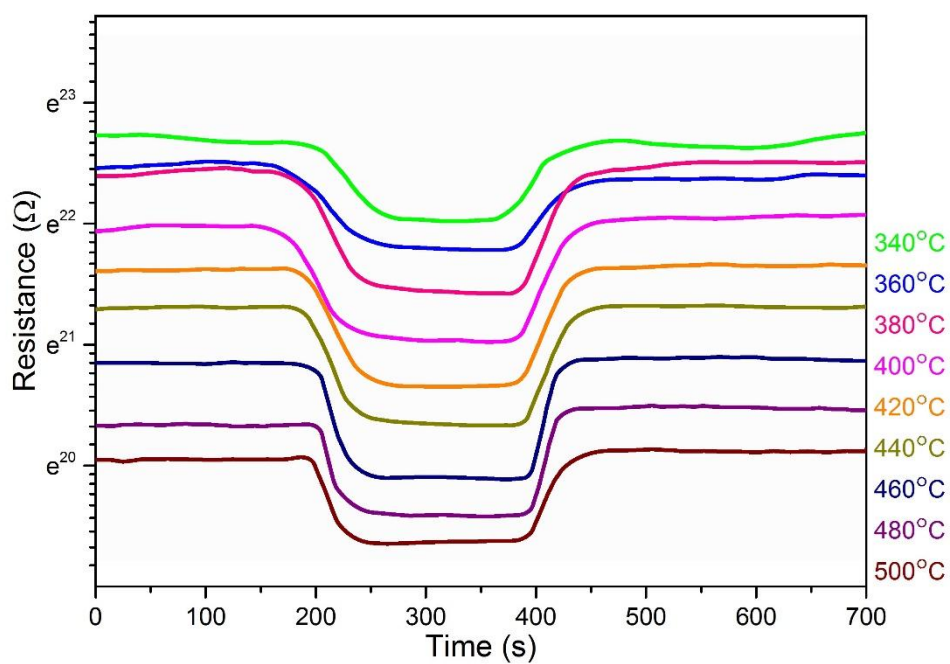
4.4 การตรวจจับก๊าซต่อไอเอทานอล

จากการสังเคราะห์ซึ่งก็ไทเทเนตตามวิธีการบทที่ 3 ทำให้ได้ซึ่งก็ไทเทเนตเฟส $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ ตามผลการทดลองข้อ 4.1 ซึ่งพบว่าเกิด $\text{Zn}_2\text{Ti}_3\text{O}_8$ ชัดเจนที่สุดในเงื่อนไขเดิม 60% โดยโมลไททาเนียมไดออกไซด์ เสาที่อุณหภูมิ 750°C ดังนั้นจึงได้นำมาทดสอบการตรวจจับไอเอทานอลที่ความเข้มข้น 50 , 100 , 500 และ 1000 ppm ที่อุณหภูมิทดสอบตั้งแต่ $340^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}$ โดยใช้เวลาในการปล่อยไอเอทานอล 200 วินาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.24 – 4.27 พบว่าที่อุณหภูมิทดสอบสูงขึ้นจะได้ค่าความต้านทานลดลง และสามารถคำนวณค่าสภาพไวได้ตามตาราง 4.6

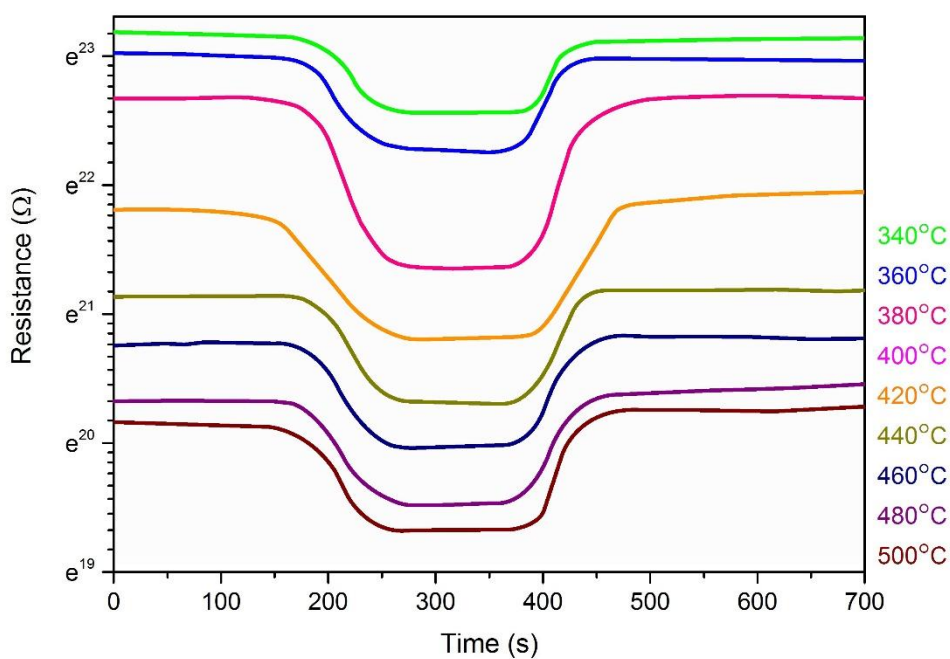
4.4.1 ผลการทดสอบไอเอทานอลของเซนเซอร์เอทานอล



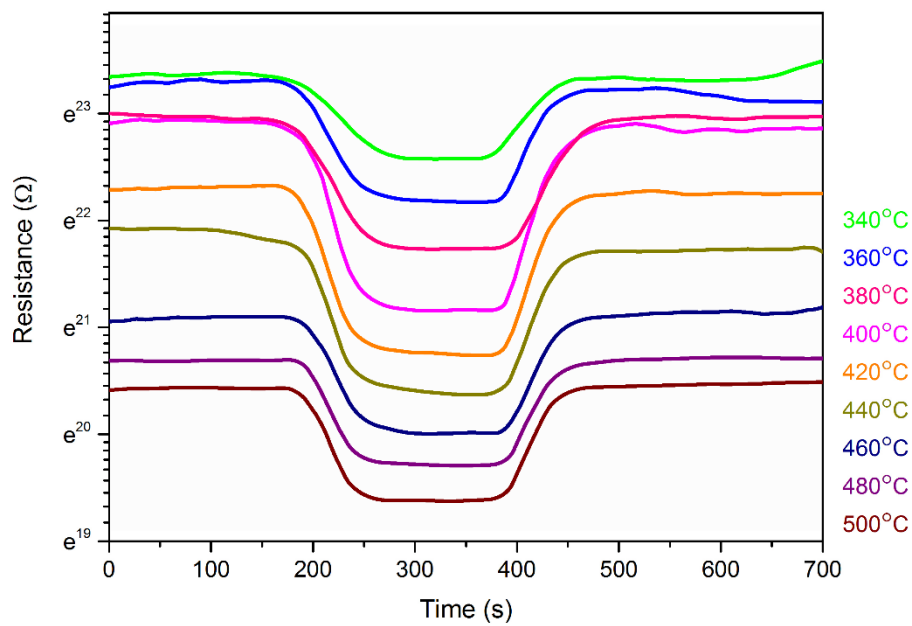
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่อุณหภูมิทดสอบต่าง ๆ เมื่อนำไปทดสอบกับไอของเอทานอลที่ความเข้มข้น 50 ppm



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่อุณหภูมิทดสอบต่าง ๆ เมื่อนำไปทดสอบกับไอของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 100 ppm



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่อุณหภูมิทดสอบต่าง ๆ เมื่อนำไปทดสอบกับไอของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 500 ppm



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่อุณหภูมิทดสอบต่าง ๆ เมื่อนำไปทดสอบกับไอของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 1000 ppm

จากกราฟดังรูปที่ 4.25-4.28 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของการตรวจวัดไอเอทานอลมากขึ้น ความต้านทานของเซนเซอร์จะมีค่าลดลงและเมื่อความเข้มข้นของไอเอทานอลมีค่ามากขึ้นทำให้ความต้านทานของเซนเซอร์มีค่ามากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานเซนเซอร์ที่ใช้สารที่สังเคราะห์ได้กับซิงก์ออกไซด์พบว่าค่าความต้านทานของเซนเซอร์ที่ใช้สารที่สังเคราะห์นี้มีค่าสูงถึงระดับจิกะโอห์มเมื่อเทียบกับเซนเซอร์ที่ใช้ Zn

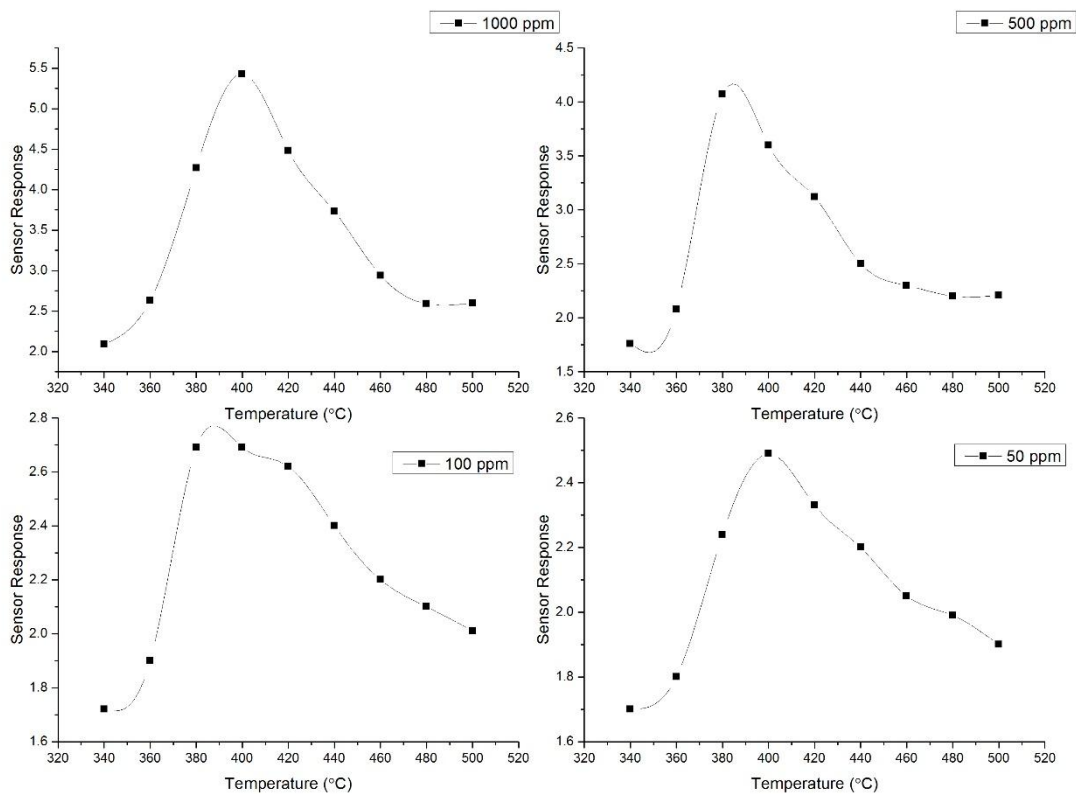
ค่าความไว (sensor response) เวลาการตอบสนอง ($\tau_{0.9}^-$) และเวลาการคืนตัว ($\tau_{0.9}^+$) แสดงไว้ตามตาราง 4.6 – 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า ความไว (sensor response) ซิงก์ไทเทเนต เมื่อนำไปทดสอบกับไอของเอทานอล ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ อุณหภูมิทดสอบในช่วง 340 °C – 500 °C

อุณหภูมิทดสอบ (°C)	ค่าความไวที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ			
	50(ppm)	100(ppm)	500(ppm)	1000(ppm)
340	1.70	1.72	1.76	2.09
360	1.80	1.90	2.08	2.63
380	2.24	2.69	4.07	4.27
400	2.49	2.69	3.60	5.43
420	2.33	2.62	3.12	4.48
440	2.20	2.40	2.50	3.73
460	2.05	2.20	2.30	2.94
480	1.99	2.10	2.20	2.59
500	1.90	2.01	2.21	2.60

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความไวจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจนถึงระดับหนึ่งค่าความไวจะเริ่มลดลง ซึ่งค่าความไวที่ได้อาจจะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ก็แสดงให้เห็นว่ามีอุณหภูมิที่เหมาะสมค่าหนึ่งที่ทำให้เอทานอลเซนเซอร์มีการตอบสนองได้ดีที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองค่าความไวต่อการตอบสนองสูงสุดของแต่ละความเข้มข้นมีค่าอยู่ที่ 380 °C และ 400 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.29

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไวของซิงก์ไทเทเนตกับค่าอุณหภูมิทดสอบที่ความเข้มข้นของไอทานอลต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า เวลาการตอบสนอง ($\tau_{0.9}^-$) ของซิงก์ไทเทเนต เมื่อนำไปทดสอบกับไอของเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิทดสอบต่าง ๆ

อุณหภูมิทดสอบ (°C)	เวลาในการตอบสนองที่ความเข้มข้นของไอของเอทานอลต่างๆ(s)			
	50(ppm)	100(ppm)	500(ppm)	1000(ppm)
340	52.93	50.83	34.95	58.5
360	20.3	47.67	49.35	43.46
380	28.72	34.89	40.08	44.51
400	37.14	26.32	40.08	34.14
420	38.35	36.99	34.95	32.78
440	38.35	33.83	50.35	33.98
460	38.35	28.57	30.81	44.36
480	35.94	23.16	26.68	38.65
500	32.33	26.32	34.95	33.98

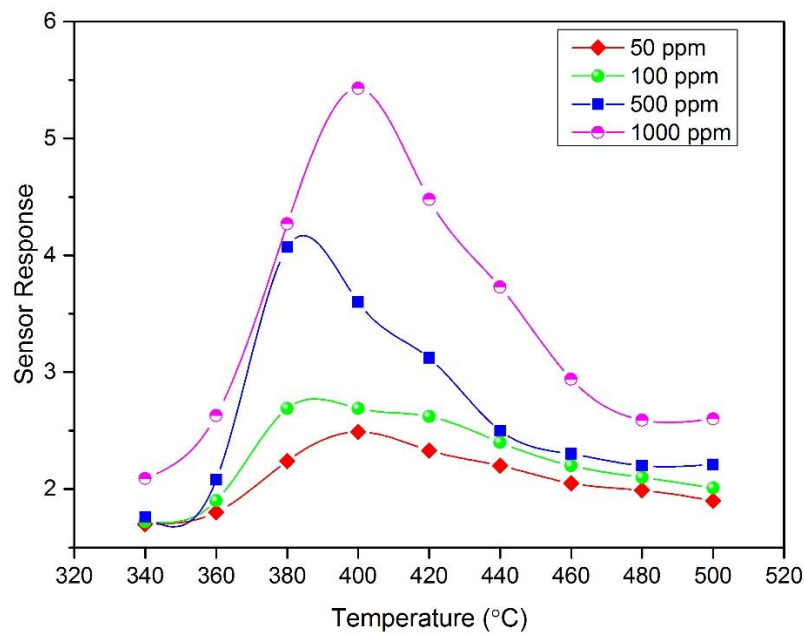
ตารางที่ 4.8 แสดงค่า เวลาการคืนตัว ($\tau_{0.9}^+$) ของซิงก์ไทเทเนต เมื่อนำไปทดสอบกับไอของเอทานอล ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิทดสอบต่าง ๆ

อุณหภูมิทดสอบ (°C)	เวลาในการคืนตัวที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ (s)			
	50(ppm)	100(ppm)	500(ppm)	1000(ppm)
340	47.07	36.54	32.97	47.37
360	33.68	40.9	40.24	47.22
380	24.06	44.06	54.64	80.75
400	44.51	46.17	54.64	64.51
420	44.51	40.9	47.07	60.9
440	46.92	39.85	61.91	51.73
460	36.09	39.85	41.24	62.1
480	40.9	39.85	45.38	51.72
500	40.9	40.9	46.52	49.47

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 ผลการทดสอบไอเอทานอลที่อุณหภูมิและความเข้มข้นต่างๆกัน

เมื่อนำค่า ความไว (sensor response) กับค่าอุณหภูมิทดสอบ ณ ความเข้มข้นต่าง ๆ มาแสดงเป็นกราฟ เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละค่าความเข้มข้นของไอเอทานอล จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไวของซิงก์ไทเทเนตกับค่าอุณหภูมิทดสอบที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ

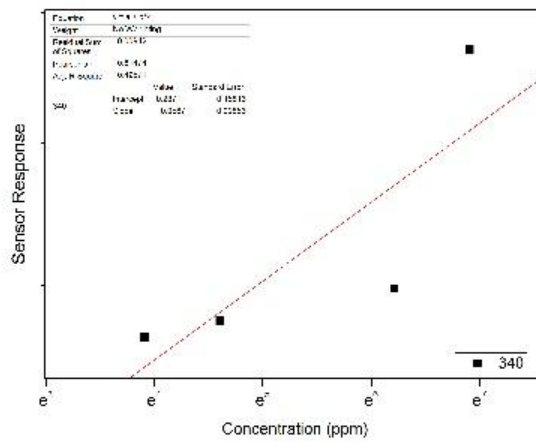
จากผลการทดลองค่าความไวต่อการตอบสนองสูงสุดของแต่ละความเข้มข้น ได้ค่าอุณหภูมิที่ให้ค่าความไวต่อการตอบสนองสูงที่สุด , เวลาการตอบสนอง และเวลาคืนตัว ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 50 , 100 , 500 และ 1000 ppm ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงอุณหภูมิที่ให้ค่าความไวต่อการตอบสนองสูงที่สุด , เวลาการตอบสนอง และเวลาคืนตัว ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 50 , 100 , 500 และ 1000 ppm ตามลำดับ

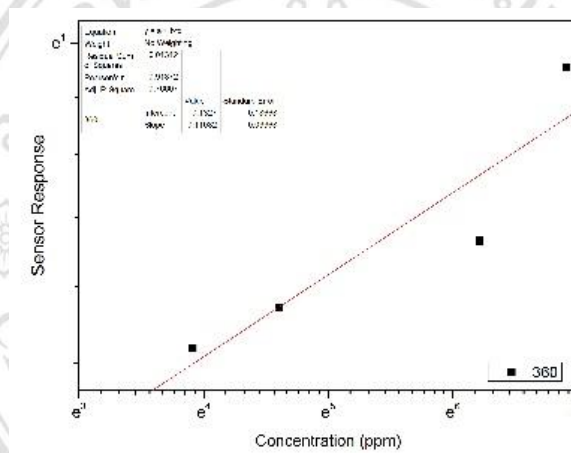
ความเข้มข้นของ ไอเอทานอล (ppm)	อุณหภูมิที่ให้ค่า ความไวต่อการ ตอบสนองสูง ที่สุด (°C)	ความไว (sensor response)	เวลาการ ตอบสนอง ($\tau_{0.9}^-$)	เวลาการคืนตัว ($\tau_{0.9}^+$)
50	400	2.49	37.14	44.51
100	400	2.69	26.32	46.17
500	380	4.07	40.08	54.64
1000	400	5.48	34.14	64.51

จากตารางที่ 4.9 และนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไว (sensor response) กับค่าความเข้มข้นของไอเอทานอล มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 4.29 พบว่า อุณหภูมิที่ให้ค่าความไวต่อการตอบสนองสูงที่สุดคือ 380 °C และ 400 °C โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไอเอทานอลสูงขึ้นค่าความไวมีค่าสูงขึ้น ส่วนเวลาการตอบสนองและเวลาการคืนตัวมีค่าค่อนข้างสูง เวลาการตอบสนองไม่แตกต่างกันมาก และเวลาการคืนตัวมีค่ามากขึ้นตามความเข้มข้นของไอเอทานอลมีค่ามากขึ้น

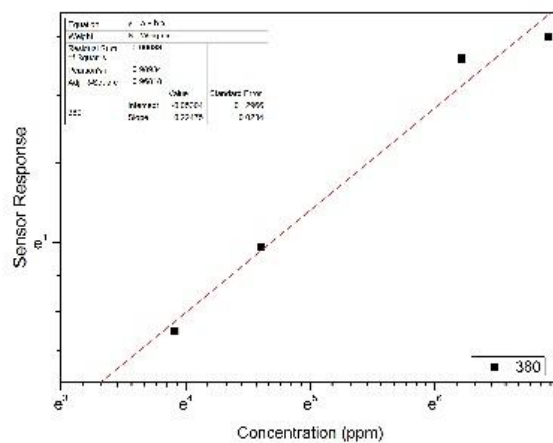
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



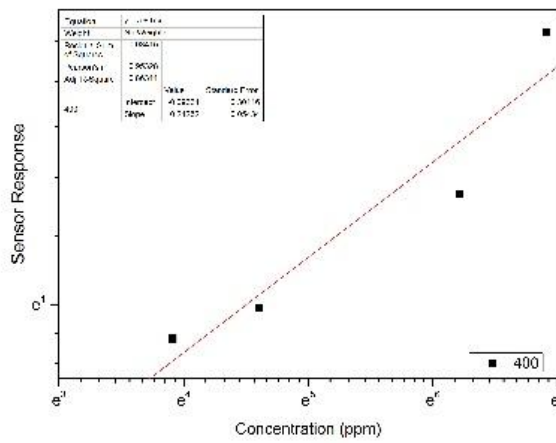
(ก)



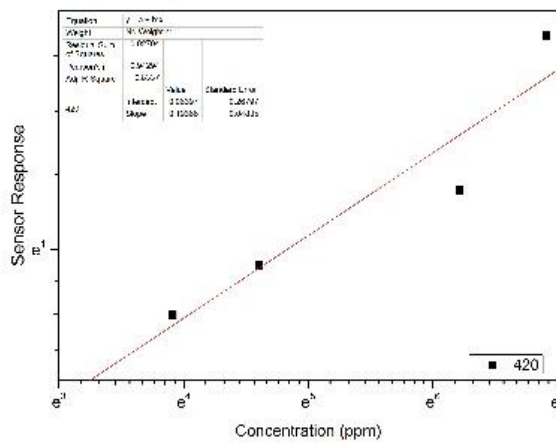
(ข)



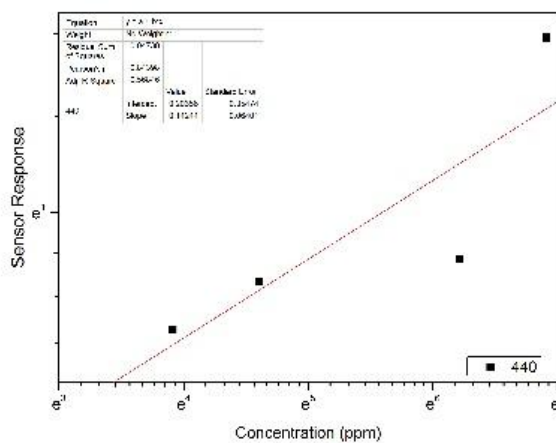
(ค)



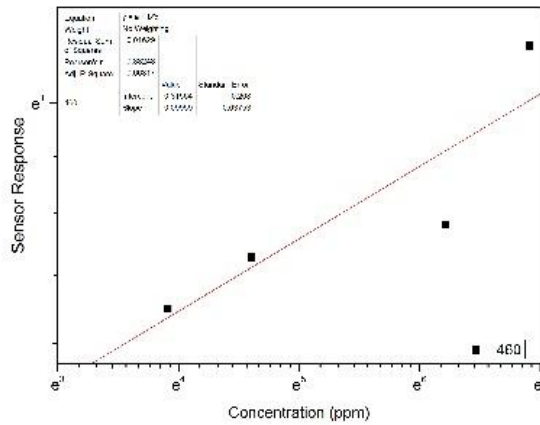
(ง)



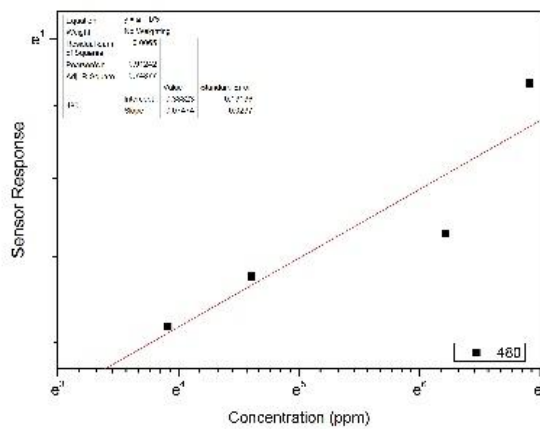
(จ)



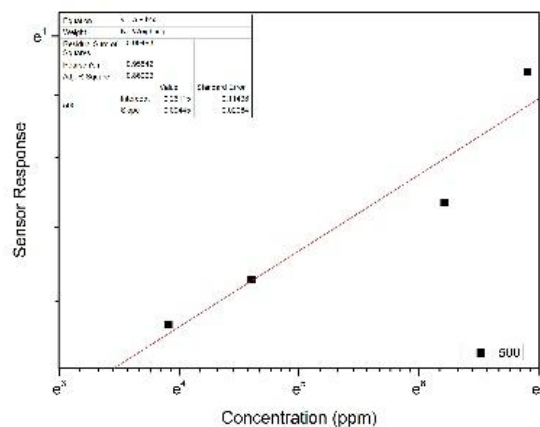
(ข)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไว (sensor response) กับค่าความเข้มข้นของไอของเอทานอล ที่อุณหภูมิทดสอบต่าง ๆ (ก) 340 °C (ข) 360 °C (ค) 380 °C (ง) 400 °C (จ) 420 °C (ฉ) 440 °C (ช) 460 °C (ฌ) 480 °C (ณ) 500 °C

จากการศึกษาผลการตรวจจับไอเอทานอลของเอทานอลเซนเซอร์ที่อุณหภูมิและความเข้มข้นไอเอทานอลต่างๆ เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างค่าสภาพโวลบหนึ่ง และความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆกัน เพื่อคำนวณหาค่า b ตามสมการ 2.15 ถ้า b มีค่าเท่ากับ 0.5 แสดงว่าออกซิเจนที่เกาะบนพื้นผิวของโครงสร้างซิงก์ไทเทเนตมีประจุเป็น O^{2-} และถ้า b มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าออกซิเจนที่เกาะบนพื้นผิวของโครงสร้างซิงก์ไทเทเนตมีประจุเป็น O^- จากการทดลองหาค่า b ที่อุณหภูมิทดสอบต่างๆกัน ของเอทานอลเซนเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.29 พบว่าออกซิเจนที่เกาะบนพื้นผิวของโครงสร้างซิงก์ไทเทเนตมีประจุเป็น O^{2-} ดังแสดงค่า b ตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.10 ค่า b ของเอทานอลเซนเซอร์เมื่อนำสารตัวอย่างมาทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Operating temperature ($^{\circ}C$)	b	Oxygen species
340	0.057	O^{2-}
360	0.111	
380	0.225	
400	0.243	
420	0.194	
440	0.142	
460	0.100	
480	0.075	
500	0.094	