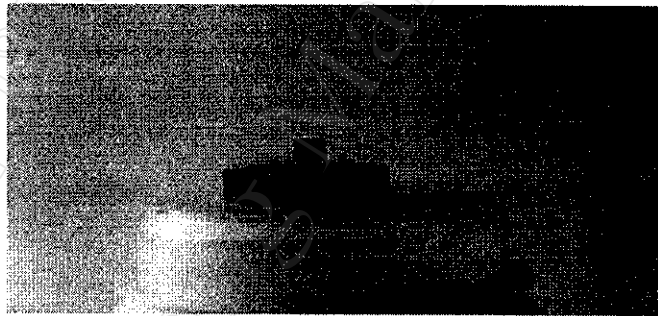


บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 ผลการเตรียมและผลการวัดคุณสมบัติของสารตัวนำยิ่งยวดที่ได้

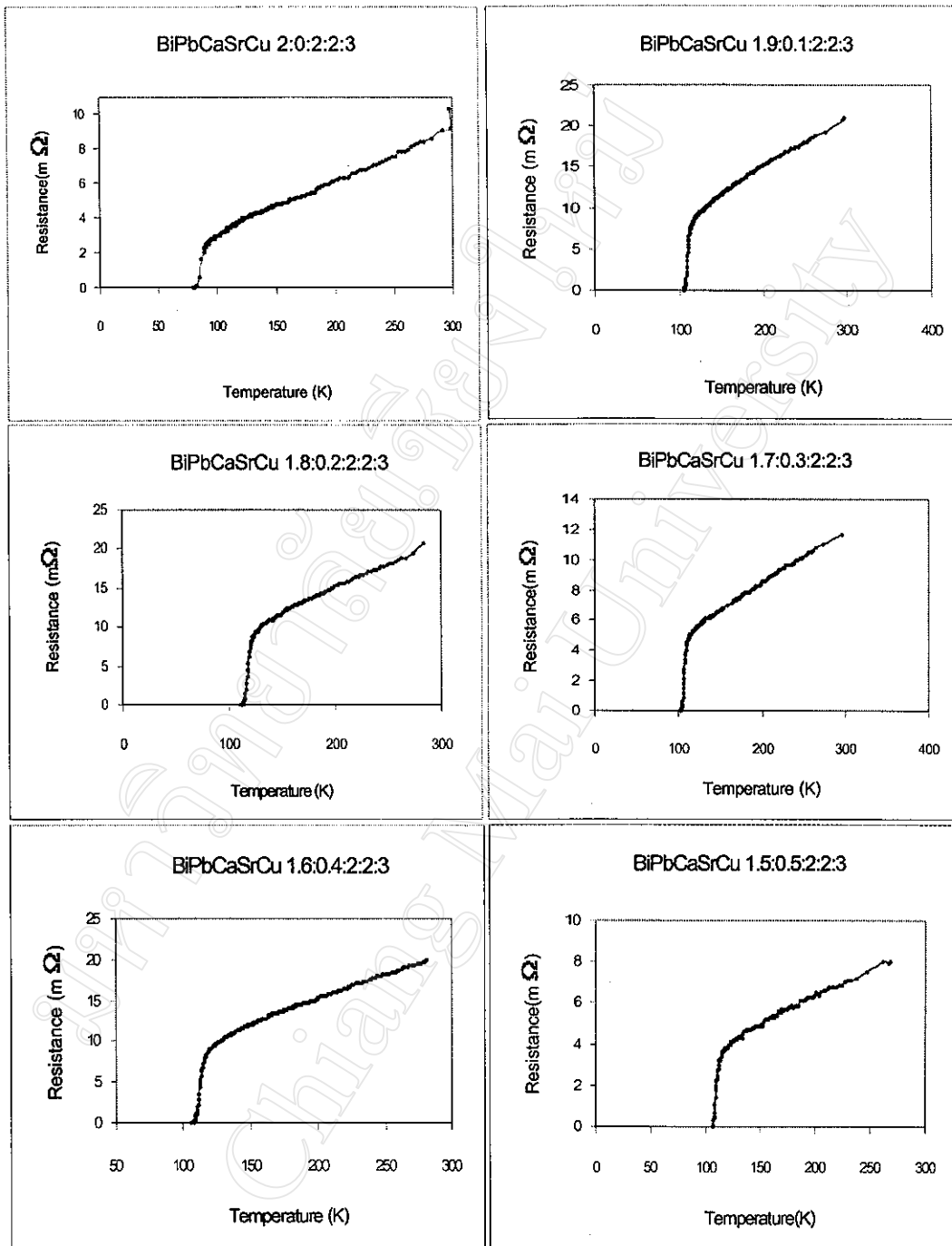
การเตรียมสารตัวนำยิ่งยวดระบบ Bi-Ca-Sr-Cu อัตราส่วน 2:2:2:3 โดยวิธีการเตรียมเป็นสารละลายแล้วระเหยแห้ง และได้เตรียมสารตัวนำยิ่งยวดในระบบดังกล่าว โดยแทนที่ บิสมาทด้วย ตะกั่ว จำนวนโมลต่างๆกัน ซึ่งได้ใช้ผงของสารตัวนำยิ่งยวดที่เตรียมเป็นแล้วจำนวนเล็กน้อยเติมลงในสารที่เตรียมทุกอัตราส่วนเพื่อล่อผลึกขณะเผาเม็ดสาร ที่สภาวะอุณหภูมิและเวลาในการเผาต่างๆ โดยทำการทดลองตามหัวข้อ 2.3 ได้ผลการทดสอบปรากฏการณ์ไมสเนอร์และผลการวัดอุณหภูมิวิกฤต ดังแสดงในตาราง 3.1 และรูป 3.1-3.4



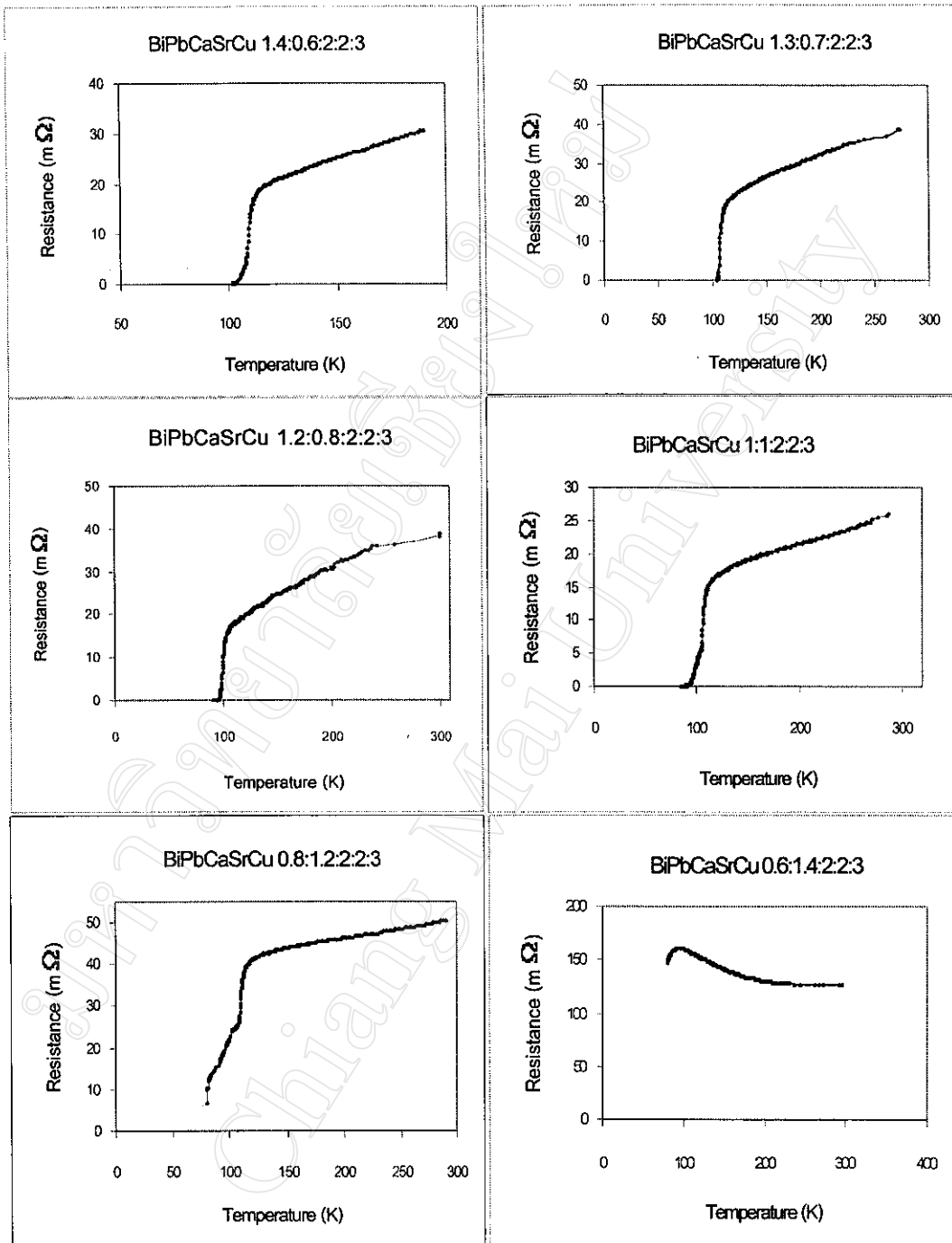
รูป 3.1 ปรากฏการณ์ไมสเนอร์

ตาราง 3.1 ปฏิกิริยาการเกิดไมสเนอร์และผลการวัดความต้านทานหาอุณหภูมิวิกฤตโดยวิธี Four-point probe (วิธีการทดลองดังข้อ 2.4.1 และข้อ 2.4.2)

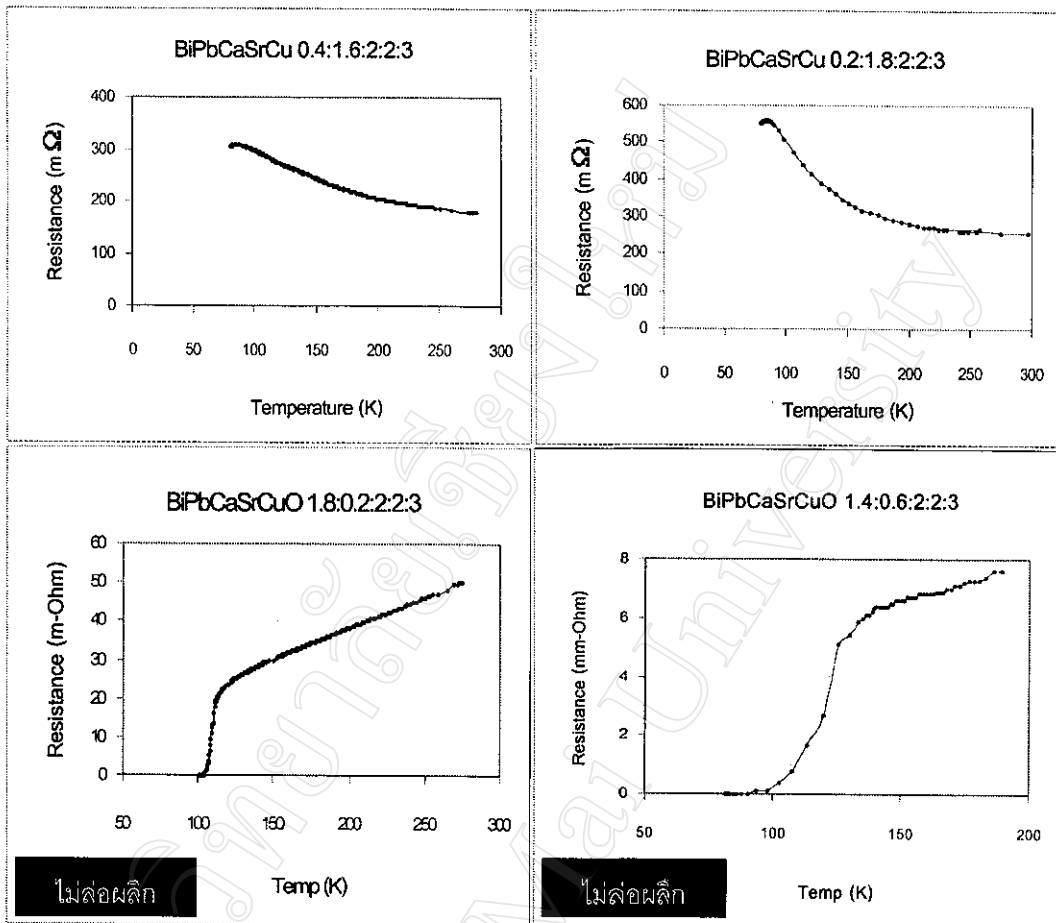
สารตัวอย่าง ที่	อัตราส่วนโดย จำนวนโมล Bi:Pb:Ca:Sr:Cu	อุณหภูมิ และเวลาการ Calcine	อุณหภูมิ และเวลาการ Sinter	Meissner Effect	$T_{c\text{ onset}}$ (K)	T_c (K)
1	2:0:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดเล็กน้อย	88.6	81.3
2	1.9:0.1:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	110	105.5
3	1.8:0.2:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	118.8	112.9
4	1.7:0.3:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	109.2	103.3
5	1.6:0.4:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	114.0	107.2
6	1.5:0.5:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	109.2	106.4
7	1.4:0.6:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	111.0	102
8	1.3:0.7:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	111.9	104.3
9	1.2:0.8:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	102.6	96.8
10	1.0:1.0:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	108.9	88.5
11	0.8:1.2:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดเล็กน้อย	110.3	-
12	0.6:1.4:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดเล็กน้อย	-	-
13	0.4:1.6:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดเล็กน้อย	-	-
14	0.2:1.8:2:2:3	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดเล็กน้อย	-	-
15	1.8:0.2:2:2:3 (ไม่ล่อผลึก)	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	109.1	102.8
16	1.4:0.6:2:2:3 (ไม่ล่อผลึก)	800 C 12 Hrs	855 C 3 hrs 850 °C 30 hrs	เกิดมาก	120	90.9



รูป 3.2 กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิวิกฤตของสารตัวอย่างอัตราส่วนที่ 1-6



รูป 3.3 กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิวิกฤตของสารตัวอย่างอัตราส่วนที่ 7-12



รูป 3.4 กราฟแสดงผลการวัดอุณหภูมิวิกฤตของสารตัวอย่างอัตราส่วนที่ 13-16

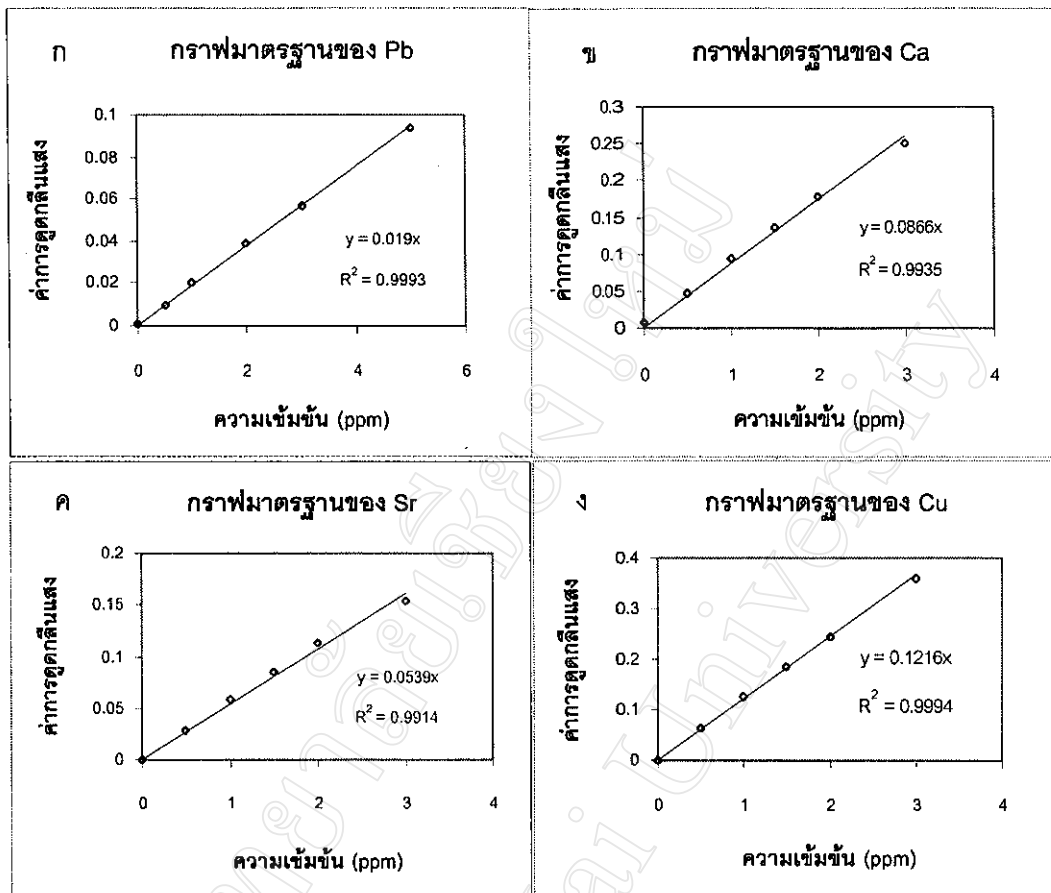
3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว แคลเซียม สทรอนเซียม และ ทองแดง ด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี

การวิเคราะห์หาปริมาณของ ตะกั่ว แคลเซียม สทรอนเซียม และ ทองแดง ในตัวอย่าง สารตัวนำยวดยิ่งจำนวน 14 ตัวอย่าง โดยวิธี อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี โดยทำการทดลองตามหัวข้อ 2.5.2 ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงของ ตะกั่ว แคลเซียม สทรอนเซียม และ ทองแดง ในสารมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆได้ผลดังตาราง 3.2 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) กับความเข้มข้นต่างๆในแต่ละธาตุดังกล่าว (แกน X) ดังรูป 3.5 แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงของ ตะกั่ว แคลเซียม สทรอนเซียม และ ทองแดง ในสารตัวอย่างสารละลายมาตรฐาน 5 ตัวอย่าง นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน ก็จะทราบความเข้มข้นของธาตุแต่ละตัวในสารตัวอย่าง สารละลายมาตรฐานทั้ง 5 ตัวอย่าง แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (Percentage recovery) ความแม่นยำของเครื่องมือ ได้ผลดังตาราง 3.3 จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของ สารละลายตัวอย่างสารตัวนำยวดยิ่งทั้ง 14 ตัวอย่าง เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้กับกราฟมาตรฐาน ได้ความเข้มข้นดังตาราง 3.4 แล้วคำนวณหาจำนวนโมลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารตัวนำยวดยิ่งน้ำหนัก 0.1000 กรัม ดังตาราง 3.5

ตาราง 3.2 ค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ตะกั่ว แคลเซียม สทรอนเซียม และ ทองแดง ซึ่งวัดโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี วิธีการวิเคราะห์ดังข้อ 2.5.2

สารละลาย มาตรฐาน ชนิดที่	Pb		Ca		Sr		Cu	
	Conc. (ppm)	Abs.	Conc. (ppm)	Abs.	Conc. (ppm)	Abs.	Conc. (ppm)	Abs.
Blank	0.0	0.001	0.0	0.007	0.0	0.000	0.0	0.000
1	0.5	0.010	0.5	0.046	0.5	0.029	0.5	0.062
2	1.0	0.020	0.1	0.095	1.0	0.058	1.0	0.126
3	2.0	0.039	1.5	0.136	1.5	0.085	1.5	0.186
4	3.0	0.057	2.0	0.177	2.0	0.114	2.0	0.244
5	5.0	0.094	3.0	0.251	3.0	0.154	3.0	0.361



รูป 3.5 Standard calibration curve ของ Pb (ก), Ca (ข), Sr (ค) และ Cu (ง)

ตาราง 3.3 เปอร์เซ็นต์การกลับคืนของ ตะกั่ว แคลเซียม สตรอนเซียม และ ทองแดงในสารตัวอย่างมาตรฐาน และความแม่นยำของเครื่องมือ ซึ่งวัดโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรโฟโตเมทรี วิธีการวิเคราะห์ดังกล่าว 2.5.2

สารตัวอย่างมาตรฐานที่	เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (Percentage recoveries)			
	Pb	Ca	Sr	Cu
1	98.6	97.8	98.6	98.8
2	99.7	98.4	99.3	98.4
3	98.6	97.9	98.9	98.2
4	98.5	97.9	97.8	97.4
5	99.0	98.7	98.0	98.3
\bar{X}	98.8	98.1	98.5	98.2
S.D	0.497	0.391	0.622	0.512
% RSD	0.503	0.399	0.631	0.521

ตาราง 3.4 ค่าการดูดกลืนแสง และปริมาณเป็นกรัมของ ตะกั่ว แคลเซียม สทรอนเซียม และ ทองแดง ใน 0.1000 กรัม สารละลายสารตัวนำยิ่งยวด 14 ตัวอย่าง ซึ่งวัดโดยวิธีอะตอมมิก แอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมตรี วิธีการวิเคราะห์ดังข้อ 2.5.2

สารตัวอย่างที่	Pb		Ca		Sr		Cu	
	Abs.	Conc. (g)	Abs.	Conc. (g)	Abs.	Conc. (g)	Abs.	Conc. (g)
1	-	-	0.119	0.00859	0.101	0.01171	0.348	0.01789
2	0.011	0.00362	0.109	0.00787	0.107	0.01241	0.315	0.01619
3	0.011	0.00362	0.109	0.00787	0.119	0.01380	0.326	0.01676
4	0.017	0.00559	0.120	0.00866	0.125	0.01449	0.318	0.01634
5	0.018	0.00592	0.116	0.00837	0.134	0.01554	0.339	0.01742
6	0.025	0.00822	0.115	0.00830	0.139	0.01612	0.325	0.01670
7	0.018	0.00592	0.117	0.00844	0.148	0.01716	0.357	0.01835
8	0.038	0.01250	0.118	0.00852	0.148	0.01716	0.340	0.01748
9	0.050	0.01645	0.113	0.00816	0.142	0.01647	0.336	0.01727
10	0.052	0.01711	0.112	0.00808	0.139	0.01612	0.345	0.01773
11	0.055	0.01809	0.110	0.00794	0.145	0.01681	0.333	0.01712
12	0.075	0.02467	0.110	0.00794	0.140	0.01623	0.333	0.01712
13	0.048	0.01579	0.115	0.00830	0.146	0.01693	0.343	0.01763
14	0.091	0.02993	0.098	0.00707	0.150	0.01739	0.281	0.01444

หมายเหตุ :

" - " คืออัตราส่วนที่ไม่ได้เติมตะกั่ว

" * " วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกซ์สแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่น 680

ของบริษัท Shimadzu

ตาราง 3.5 ผลการวิเคราะห์หาจำนวนโมลของ ตะกั่ว แคลเซียม สทรอนเซียม และ ทองแดงที่เป็นองค์ประกอบหลักใน 0.1000 กรัม ของตัวอย่างสารตัวนำยวดยิ่ง 14 ตัวอย่าง ซึ่งวัดโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี วิธีการวิเคราะห์ดังข้อ 2.5.2

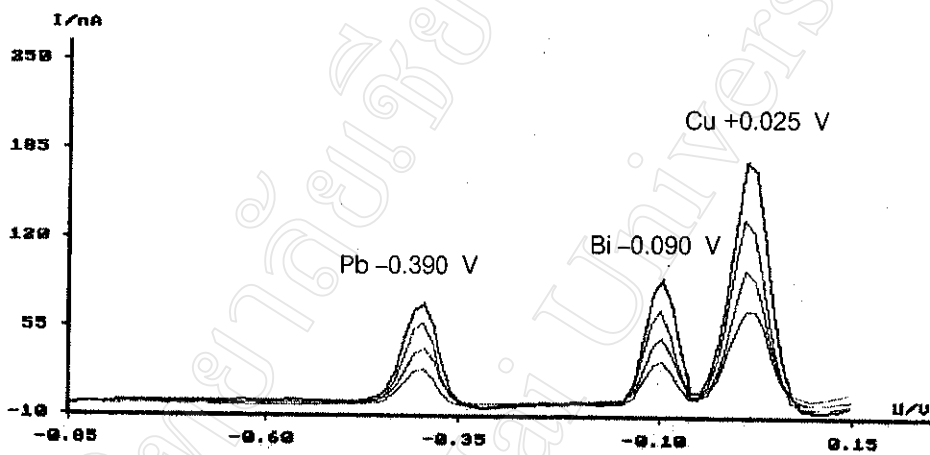
สารตัวอย่างที่	จำนวนโมลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก (มิลลิโมล)			
	Pb	Ca	Sr	Cu
1	0.000	0.214	0.134	0.281
2	0.017	0.196	0.142	0.255
3	0.017	0.196	0.157	0.264
4	0.027	0.216	0.165	0.257
5	0.029	0.209	0.177	0.274
6	0.040	0.207	0.184	0.263
7	0.029	0.211	0.196	0.289
8	0.060	0.212	0.196	0.275
9	0.079	0.203	0.188	0.272
10	0.083	0.202	0.184	0.279
11	0.087	0.198	0.192	0.269
12	0.119	0.198	0.185	0.269
13	0.076	0.207	0.193	0.277
14	0.144	0.176	0.199	0.227

3.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดงโดยเทคนิคโวลแทมเมทรี ด้วยโหมดดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโนดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี

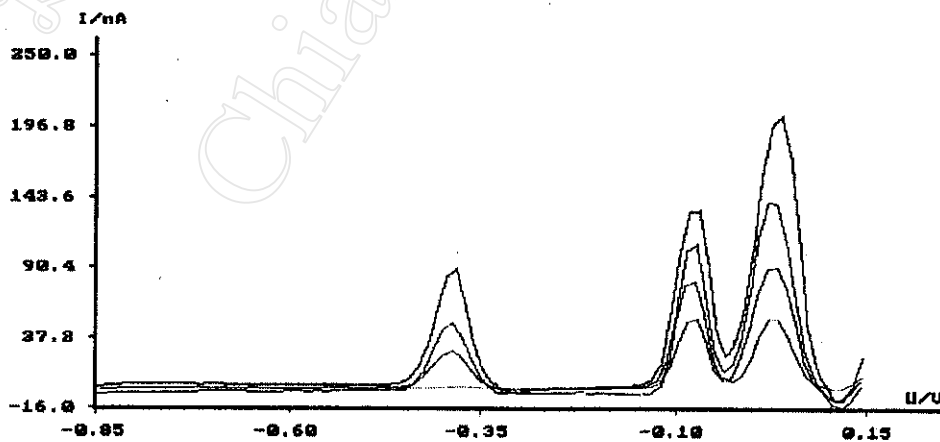
การวิเคราะห์หาปริมาณของ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดงในตัวอย่างสารตัวนำยวดยิ่งจำนวน 14 ตัวอย่าง โดยวิธีโวลแทมเมทรี ด้วยโหมดดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์แอนโนดิกสทริปปิงโวลแทมเมทรี ซึ่งทำการทดลองตามหัวข้อ 2.5.3 โดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการแพร่ของไอออนของ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง ที่ศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ -850 mV ถึง 150 mV ได้โวลแทมโมแกรม (Voltammogram) ของสารตัวอย่างมาตรฐานของ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง 1 ppm ดังรูป 3.6 และผลการวัดกระแสไฟฟ้าของสารตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้ 14 ตัวอย่าง ดังตาราง 3.7 และ รูป 3.7 ถึงรูป 3.20 ตามลำดับ จากนั้นนำ

ข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟระหว่างค่าการกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากการแพร่ของไอออนของ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง (แกน Y) กับความเข้มข้นของแต่ละธาตุที่เติมลงไป (แกน X) ดังรูป 3.21-3.26

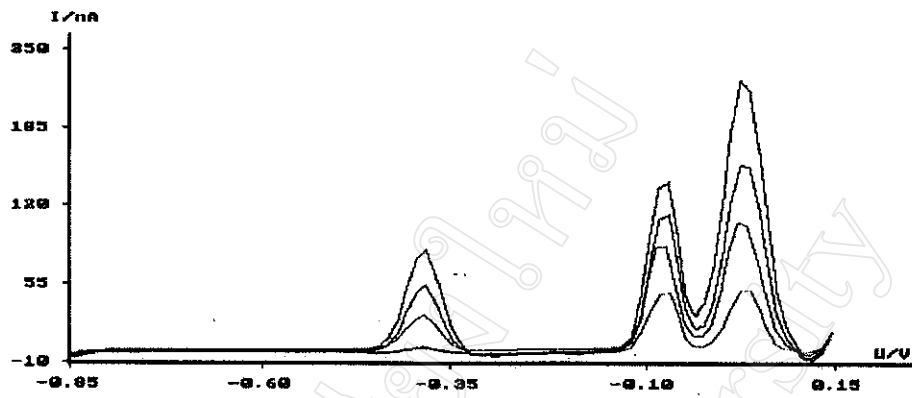
ได้หาเปอร์เซ็นต์การกลับคืนของสารตัวอย่างมาตรฐาน 1 ppm 5 ตัวอย่าง ได้ผลดัง ตาราง 3.6 คำนวณหาความเข้มข้นและจำนวนโมลของ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง ในสารละลายตัวอย่างสารตัวนำยวดยิ่งทั้ง 14 ตัวอย่างได้ผลดังตาราง 3.8



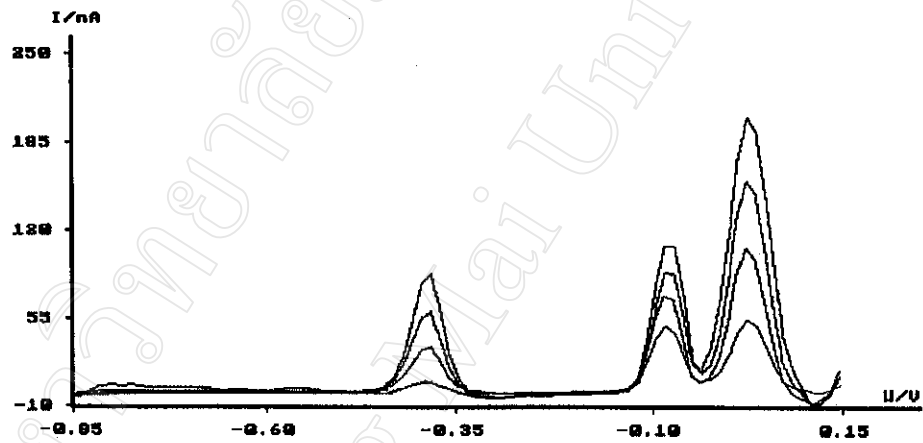
รูป 3.6 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างมาตรฐานของ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง



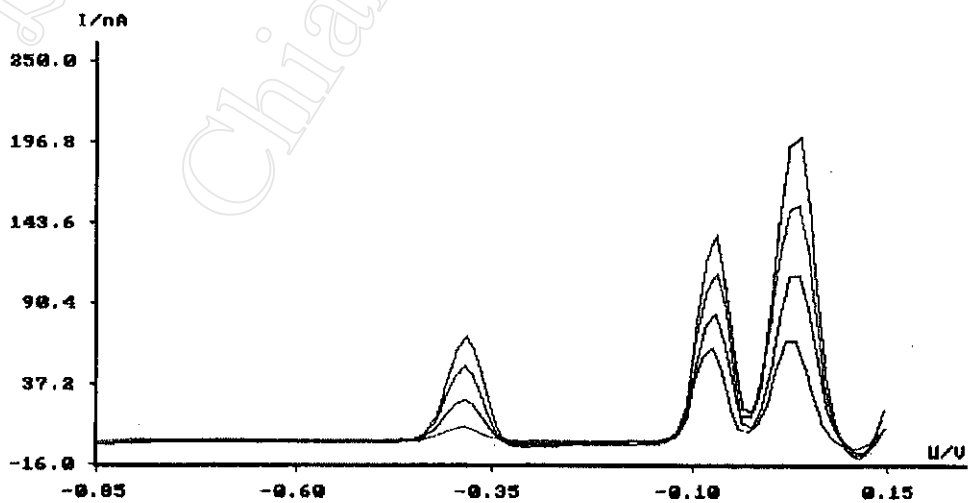
รูป 3.7 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 1



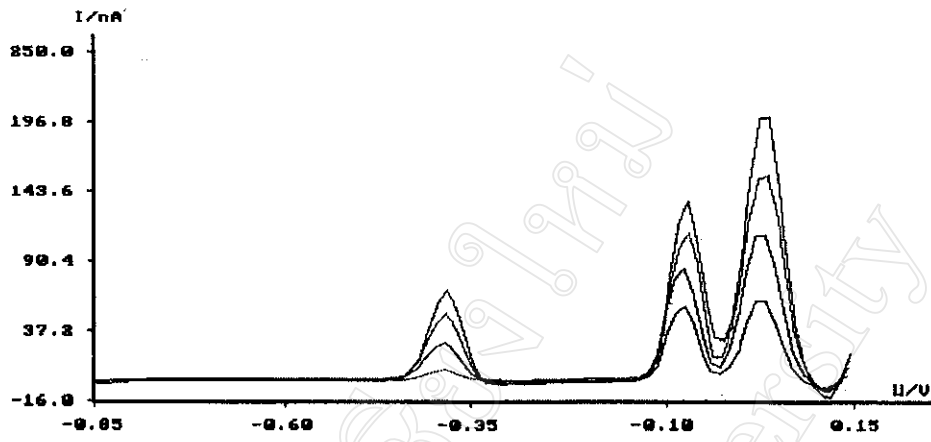
รูป 3.8 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 2



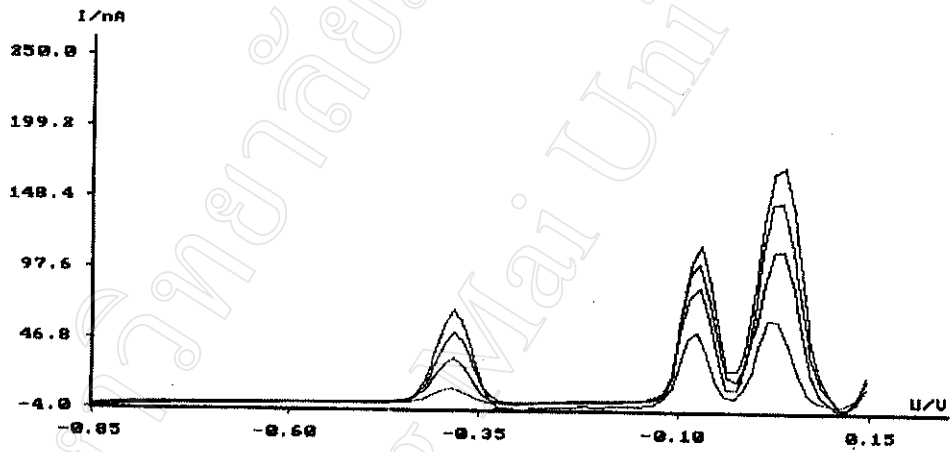
รูป 3.9 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 3



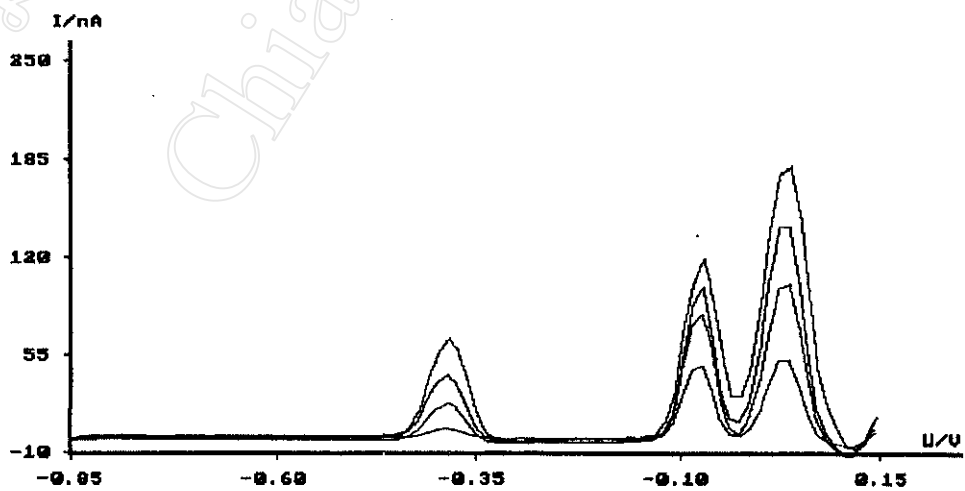
รูป 3.10 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 4



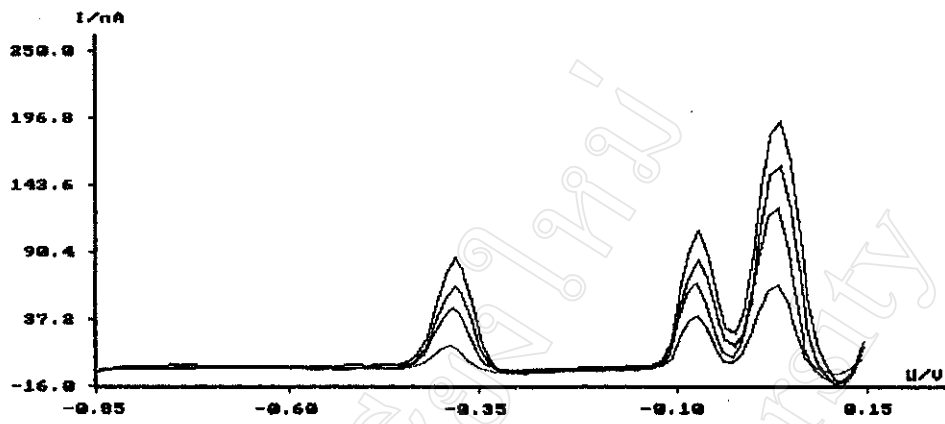
รูป 3.11 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 5



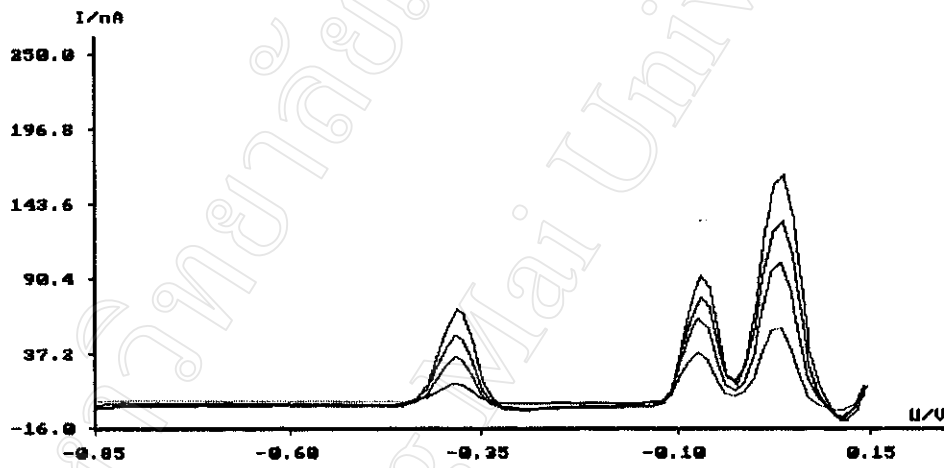
รูป 3.12 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 6



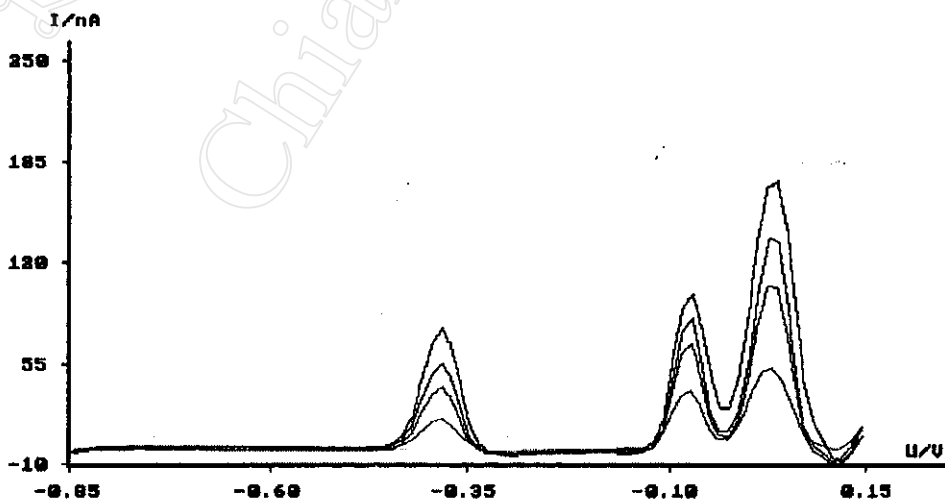
รูป 3.13 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 7



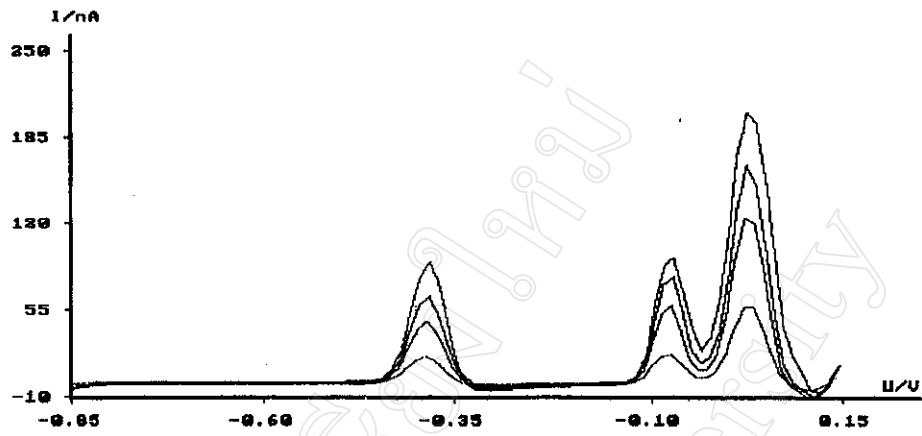
รูป 3.14 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 8



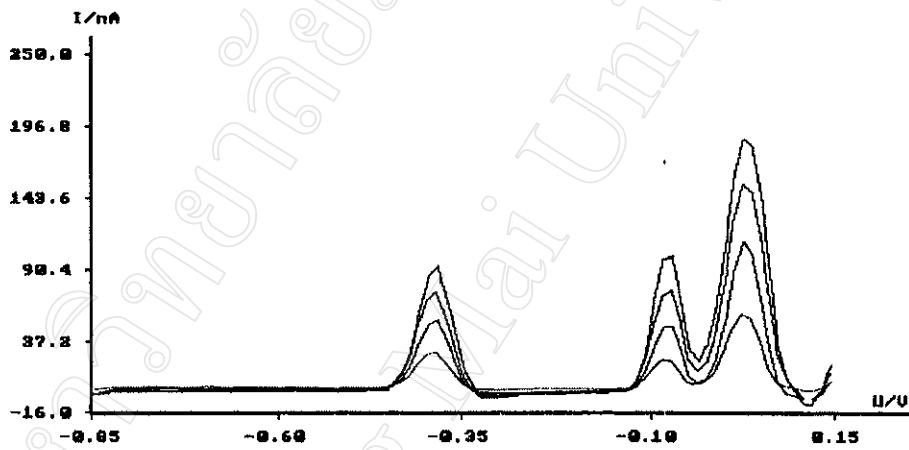
รูป 3.15 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 9



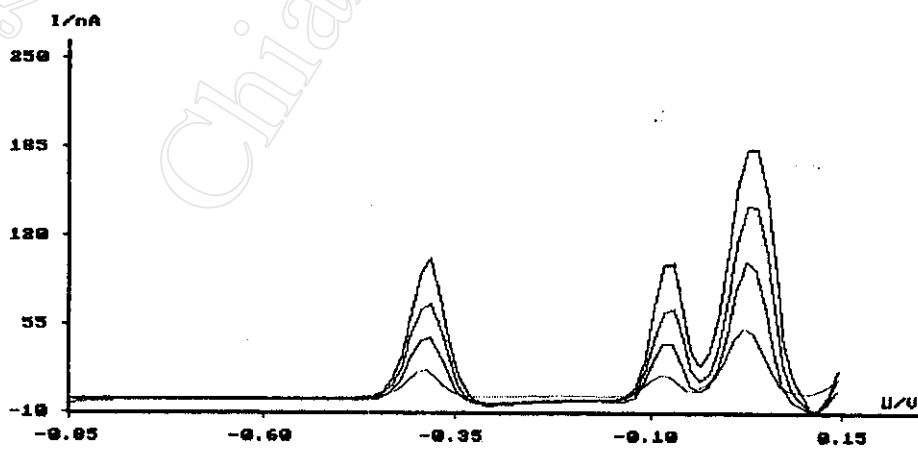
รูป 3.16 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 10



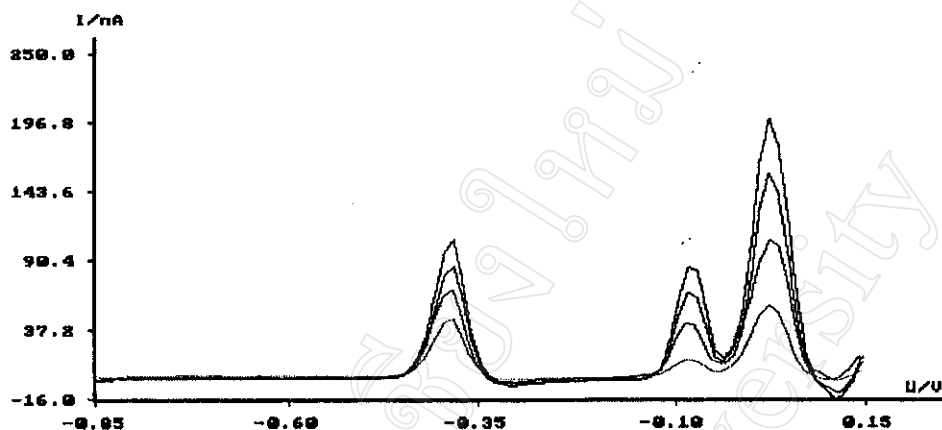
รูป 3.17 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 11



รูป 3.18 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 12



รูป 3.19 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 13



รูป 3.20 โวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่างที่ 14

ตาราง 3.6 เปอร์เซ็นต์การกลับคืนและความแม่นยำของเครื่องมือในการวิเคราะห์ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง ในสารตัวอย่างมาตรฐาน โดยวิธีสทริปปิงโวลแทมเมตรี ซึ่งทำการ ทดลองตามข้อ 2.5.3

สารตัวอย่าง มาตรฐานที่	เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (Percentage recoveries)		
	Pb	Bi	Cu
1	100.68	98.07	98.02
2	99.46	98.69	98.15
3	102.04	98.73	99.18
4	98.97	97.85	97.99
5	99.02	98.84	98.19
\bar{X}	100.03	98.44	98.31
S.D	1.32	0.445	0.496
% RSD	1.32	0.452	0.504

ตาราง 3.7 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าของตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง ในสารละลายสายสวนตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้ 14 ตัวอย่าง โดยวิธีสหวิทยาการปริงโวลแทมเมทรี ซึ่งทำการทดลองตามข้อ 2.5.3

สารตัวอย่างที่	กระแสที่วัดได้จาก Pb (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Bi (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Cu (nA)						
	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.
1															
Smpl.	-	-	-	-	-	67.44	53.84	55.08	54.20	57.64	48.69	55.88	54.64	65.30	56.13
Add 1	-	-	-	-	-	85.86	81.76	83.18	93.75	86.14	102.59	98.42	101.46	116.74	104.80
Add 2	-	-	-	-	-	111.50	96.59	97.06	119.64	106.20	150.68	166.01	147.88	122.80	146.84
Add 3	-	-	-	-	-	127.49	130.46	131.41	127.30	129.17	190.85	205.53	201.48	198.41	199.07
2															
Smpl.	4.98	4.98	4.14	4.84	4.74	50.91	55.08	51.35	54.02	52.84	53.94	54.30	48.22	50.59	51.76
Add 1	31.01	31.01	31.30	28.50	30.46	85.09	78.56	78.89	73.81	79.09	109.57	106.59	106.21	98.96	105.33
Add 2	60.08	54.84	56.35	62.50	58.44	109.87	102.91	106.14	96.42	103.84	161.04	146.73	150.33	157.18	153.82
Add 3	87.04	78.32	82.86	83.24	82.87	133.77	117.08	118.95	123.11	123.23	208.63	203.18	209.53	209.23	207.64
3															
Smpl.	4.12	4.33	4.50	4.02	4.24	46.88	47.08	46.02	45.67	46.41	53.55	52.95	48.48	55.40	52.60
Add 1	33.66	35.32	34.05	32.59	33.91	72.11	69.53	74.53	63.81	70.00	92.04	119.82	116.70	103.29	107.96
Add 2	55.09	61.55	62.10	59.47	59.55	87.18	88.74	87.21	90.90	88.51	156.50	163.22	157.27	155.27	158.07
Add 3	88.49	90.94	81.85	87.78	87.27	103.12	108.65	106.97	105.64	106.10	201.40	184.47	203.66	191.29	195.21

หมายเหตุ

Smpl. แทน สารตัวอย่าง; Add 1, Add 2, Add 3, แทน เพิ่มสารมาตรฐานครั้งที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ; และ Avg. แทน ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

ตาราง 3.7 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าของตะกั่ว บิสมีท และ ทองแดง ในสารละลายสารตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้ 14 ตัวอย่าง โดยวิธีสทริปปิงโวลแทมเมตรี ซึ่งทำการทดลองตามข้อ 2.5.3 (ต่อ)

สารตัวอย่างที่	กระแสที่วัดได้จาก Pb (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Bi (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Cu (nA)							
	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	
4	Smpl.	5.88	6.35	4.97	5.13	5.58	46.80	47.09	45.55	45.70	46.29	49.67	52.95	48.09	51.87	50.65
	Add 1	34.84	36.54	34.05	31.80	34.31	70.90	69.71	71.52	63.50	68.91	106.88	104.61	110.66	103.29	106.36
	Add 2	59.78	60.66	62.00	58.25	60.17	87.20	88.44	89.21	89.50	88.59	154.03	159.42	159.46	150.77	155.92
	Add 3	90.10	89.70	83.85	90.78	88.61	113.79	108.65	115.70	111.99	112.53	201.40	205.73	199.49	203.66	202.57
5	Smpl.	5.94	5.99	5.85	5.82	5.90	40.55	42.56	41.83	38.24	40.80	43.90	43.11	43.82	42.93	43.44
	Add 1	28.42	30.22	29.64	26.71	28.75	70.89	65.79	71.52	68.99	69.30	100.60	104.33	102.87	101.01	102.20
	Add 2	55.40	55.20	53.33	52.67	54.15	95.09	98.70	96.54	100.17	97.63	160.83	156.56	159.47	157.47	158.58
	Add 3	79.98	76.40	80.55	77.99	78.73	118.64	119.67	120.47	118.55	119.33	199.44	206.86	208.40	203.04	204.44
6	Smpl.	5.56	5.99	6.33	6.49	6.09	44.50	42.60	45.57	40.24	43.23	49.67	52.95	53.35	51.87	51.96
	Add 1	27.45	29.67	31.11	32.24	30.12	71.00	68.97	70.77	71.42	70.54	99.80	97.79	101.17	96.13	98.72
	Add 2	51.64	53.67	53.90	52.40	52.90	97.14	99.90	97.20	100.40	98.66	150.05	148.87	152.25	150.57	150.44
	Add 3	68.04	68.72	67.76	68.69	68.30	119.33	117.64	121.21	117.00	118.80	192.45	189.99	190.10	193.34	191.47

หมายเหตุ

Smpl. แทน สารตัวอย่าง; Add 1, Add 2, Add 3, แทน เติมสารมาตรฐานครั้งที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ; และ Avg. แทน ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

ตาราง 3.7 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าของตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง ในสารละลายสารตัวนำชนิดที่เตรียมได้ 14 ตัวอย่าง โดยวิธีสทริปปิงโวลแทมเมทรี ซึ่งทำการทดลองตามข้อ 2.5.3 (ต่อ)

สารตัวอย่างที่	กระแสที่วัดได้จาก Pb (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Bi (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Cu (nA)							
	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	
7	Smpl.	6.66	6.21	6.43	6.39	6.42	44.5	42.60	45.57	40.24	43.23	53.44	52.13	55.55	54.69	53.95
	Add 1	30.7	31.49	32.79	29.40	31.10	70.11	69.79	70.10	68.47	69.62	100.87	106.76	104.16	108.61	105.10
	Add 2	55.55	50.51	54.62	52.22	53.23	96.99	94.44	92.77	91.92	94.03	157.28	154.11	156.49	152.15	155.01
	Add 3	79.92	81.90	77.49	80.09	79.85	120.02	117.20	113.11	115.50	116.46	195.68	188.88	203.66	191.30	194.88
8	Smpl.	6.26	6.59	6.81	6.47	6.53	42.16	42.07	43.17	40.24	41.91	53.12	52.77	51.76	53.28	52.73
	Add 1	31.77	30.46	29.63	30.44	30.58	70.25	69.69	71.47	68.51	69.98	100.67	103.23	101.11	104.84	102.46
	Add 2	53.97	52.29	54.08	52.76	53.28	93.17	95.63	91.57	90.04	92.60	155.80	157.11	156.69	153.44	155.76
	Add 3	77.49	80.40	77.49	79.11	78.62	118.55	119.68	116.74	115.55	117.63	194.74	189.42	192.98	193.37	192.63
9	Smpl.	6.00	6.30	6.42	6.10	6.21	40.02	41.70	41.10	39.62	40.61	50.75	49.06	48.61	51.78	50.05
	Add 1	32.31	30.22	30.80	28.73	30.52	69.34	67.71	70.18	70.88	69.53	100.60	105.19	99.08	101.30	101.54
	Add 2	54.99	51.07	55.14	56.96	54.54	98.14	97.99	96.47	99.99	98.15	145.55	143.87	148.40	147.90	146.43
	Add 3	78.51	80.00	77.77	80.10	79.10	120.60	118.99	121.32	119.27	120.05	200.00	193.67	194.94	195.81	196.11

หมายเหตุ

Smpl. แทน สารตัวอย่าง; Add 1, Add 2, Add 3, แทน เติมสารมาตรฐานครั้งที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ; และ Avg. แทน ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

ตาราง 3.7 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าของตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง ในสารละลายสารตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้ 14 ตัวอย่าง โดยวิธีสทริปปิงโวลแทมเมทรี ซึ่งทำการทดลองตามข้อ 2.5.3 (ต่อ)

สารตัวอย่างที่	กระแสที่วัดได้จาก Pb (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Bi (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Cu (nA)							
	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	
10	Smpl.	19.80	18.30	19.90	21.60	19.90	27.51	26.60	30.08	29.45	28.41	51.88	50.90	52.40	49.22	51.10
	Add 1	42.30	45.87	41.70	43.10	43.24	47.67	51.52	48.35	50.29	49.46	102.52	101.50	103.70	97.66	101.35
	Add 2	67.15	63.80	65.87	68.90	66.43	70.21	69.44	68.82	65.05	68.38	143.29	140.70	145.11	142.20	142.83
	Add 3	90.91	87.34	86.55	91.87	89.17	90.77	89.11	86.37	88.46	88.68	198.72	194.50	192.40	193.70	194.83
11	Smpl.	20.86	18.60	18.99	20.11	19.64	23.38	22.10	21.04	23.11	22.41	50.49	48.44	45.02	46.85	47.70
	Add 1	43.32	46.12	40.87	44.21	43.63	45.38	46.62	41.05	44.23	44.32	102.51	108.22	98.07	101.46	102.57
	Add 2	66.81	64.47	61.87	63.97	64.28	68.84	68.34	67.34	65.88	67.60	144.76	147.23	144.24	147.88	146.03
	Add 3	88.19	89.83	88.46	88.55	88.76	93.44	91.98	92.75	93.66	92.96	198.56	191.59	193.62	198.41	195.55
12	Smpl.	22.12	20.11	23.23	25.37	22.71	17.88	17.18	17.81	17.85	17.68	39.40	39.10	41.49	40.36	40.09
	Add 1	51.70	42.55	47.24	45.28	46.69	35.97	37.20	39.90	38.38	37.86	92.14	92.35	98.76	94.84	94.52
	Add 2	70.75	68.81	70.10	73.18	70.71	59.76	57.54	59.47	61.17	59.49	136.02	135.86	142.89	148.42	140.80
	Add 3	97.15	92.23	91.25	91.11	92.94	85.45	82.83	80.20	84.84	83.33	179.20	182.98	193.51	185.47	185.29

หมายเหตุ

Smpl. แทน สารตัวอย่าง; Add 1, Add 2, Add 3, แทน เติมนสารมาตรฐานครั้งที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ; และ Avg. แทน ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

ตาราง 3.7 ผลการวัดกระแสไฟฟ้าของตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง ในสารละลายสารตัวนำยวดยิ่งที่เตรียมได้ 14 ตัวอย่าง โดยวิธีสทริปปิงโวลแทมเมตรี ซึ่งทำการทดลองตามข้อ 2.5.3 (ต่อ)

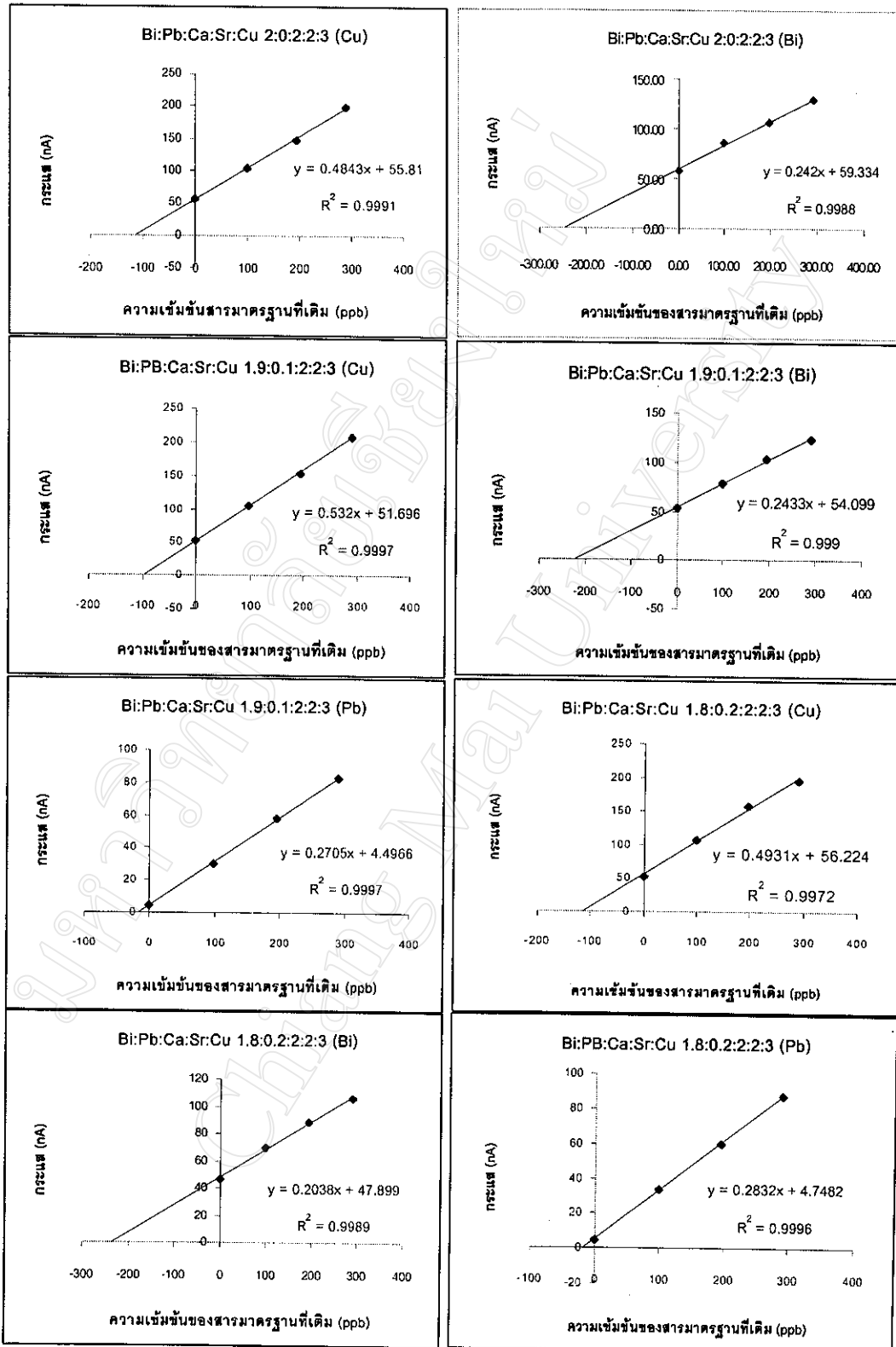
สารตัวอย่างที่	กระแสที่วัดได้จาก Pb (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Bi (nA)				กระแสที่วัดได้จาก Cu (nA)							
	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	1	2	3	4	Avg.	
13	Smpl.	21.91	19.85	19.55	20.25	20.39	14.10	15.75	15.50	16.22	15.39	46.93	46.85	48.60	46.81	47.30
	Add 1	48.65	47.29	46.22	48.32	47.62	38.44	41.61	35.99	40.59	39.16	94.48	92.04	93.92	92.35	93.20
	Add 2	70.80	70.85	69.64	76.49	71.95	59.35	59.15	58.60	58.39	58.87	144.56	143.54	140.61	139.15	141.97
	Add 3	94.64	95.75	102.19	102.66	98.81	79.11	79.00	78.90	79.85	79.22	187.29	200.05	185.24	176.71	187.32
14	Smpl.	25.13	27.25	24.32	28.21	26.23	8.42	8.49	9.46	9.15	8.88	44.11	42.55	48.65	42.91	44.56
	Add 1	57.99	56.08	54.12	55.77	55.99	28.05	29.65	28.10	29.62	28.86	86.74	87.13	83.79	85.41	85.77
	Add 2	80.36	81.59	80.23	80.57	80.69	46.78	53.25	47.66	54.02	50.43	144.49	142.11	143.51	141.69	142.95
	Add 3	105.70	104.63	106.87	103.99	105.30	74.91	71.17	85.96	73.12	76.29	193.62	179.36	185.84	187.44	186.57

หมายเหตุ

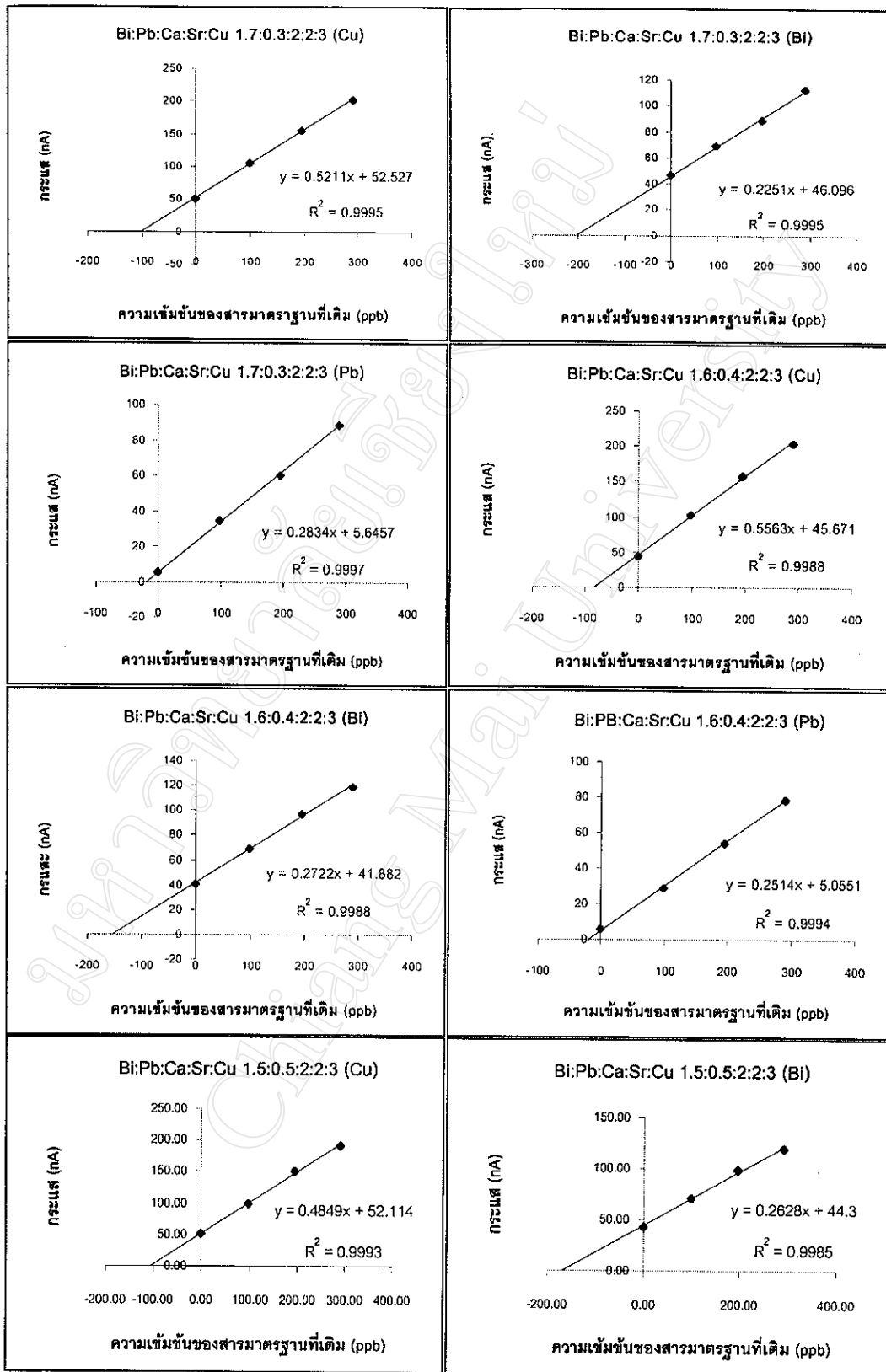
Smpl. แทน สารตัวอย่าง; Add 1, Add 2, Add 3, แทน เดิมสารมาตรฐานครั้งที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ; และ Avg. แทน ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

ตาราง 3.8 ความเข้มข้นและจำนวนโมลของ ตะกั่ว บิสมัท และ ทองแดง ในสารละลายตัวนำวอดยี่งที่เตรียมได้ 14 ตัวอย่าง โดยวิธีสทริปปิงโวลแทมเมตรี ซึ่งทำการทดลองตามข้อ 2.5.3

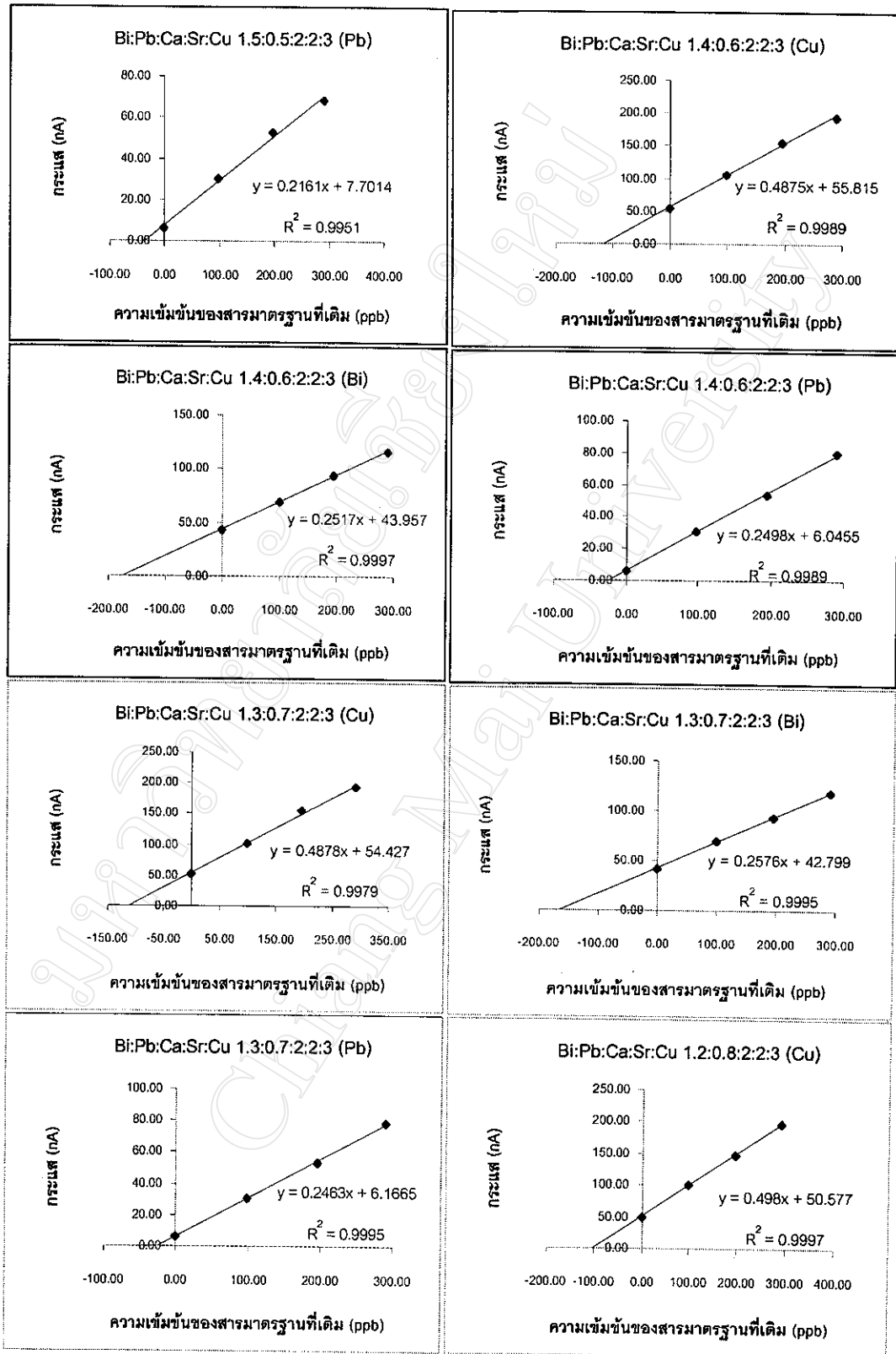
ตัวอย่าง ที่	ความเข้มข้น (mg)			จำนวนโมล (mmole)		
	Bi	Pb	Cu	Bi	Pb	Cu
1	61.296	-	28.907	0.293	-	0.455
2	55.589	4.156	24.293	0.266	0.039	0.382
3	58.757	4.192	28.505	0.281	0.039	0.449
4	51.195	4.980	25.200	0.245	0.046	0.397
5	38.466	5.027	20.524	0.184	0.047	0.323
6	42.142	8.910	26.868	0.202	0.083	0.423
7	43.660	6.050	28.623	0.209	0.056	0.450
8	41.536	6.259	27.894	0.199	0.058	0.439
9	37.913	5.933	25.390	0.181	0.055	0.400
10	34.686	20.789	26.246	0.166	0.194	0.413
11	22.050	20.900	24.595	0.106	0.195	0.387
12	18.419	23.566	21.313	0.088	0.220	0.335
13	18.659	19.141	24.126	0.089	0.179	0.380
14	7.950	25.437	21.077	0.038	0.237	0.332



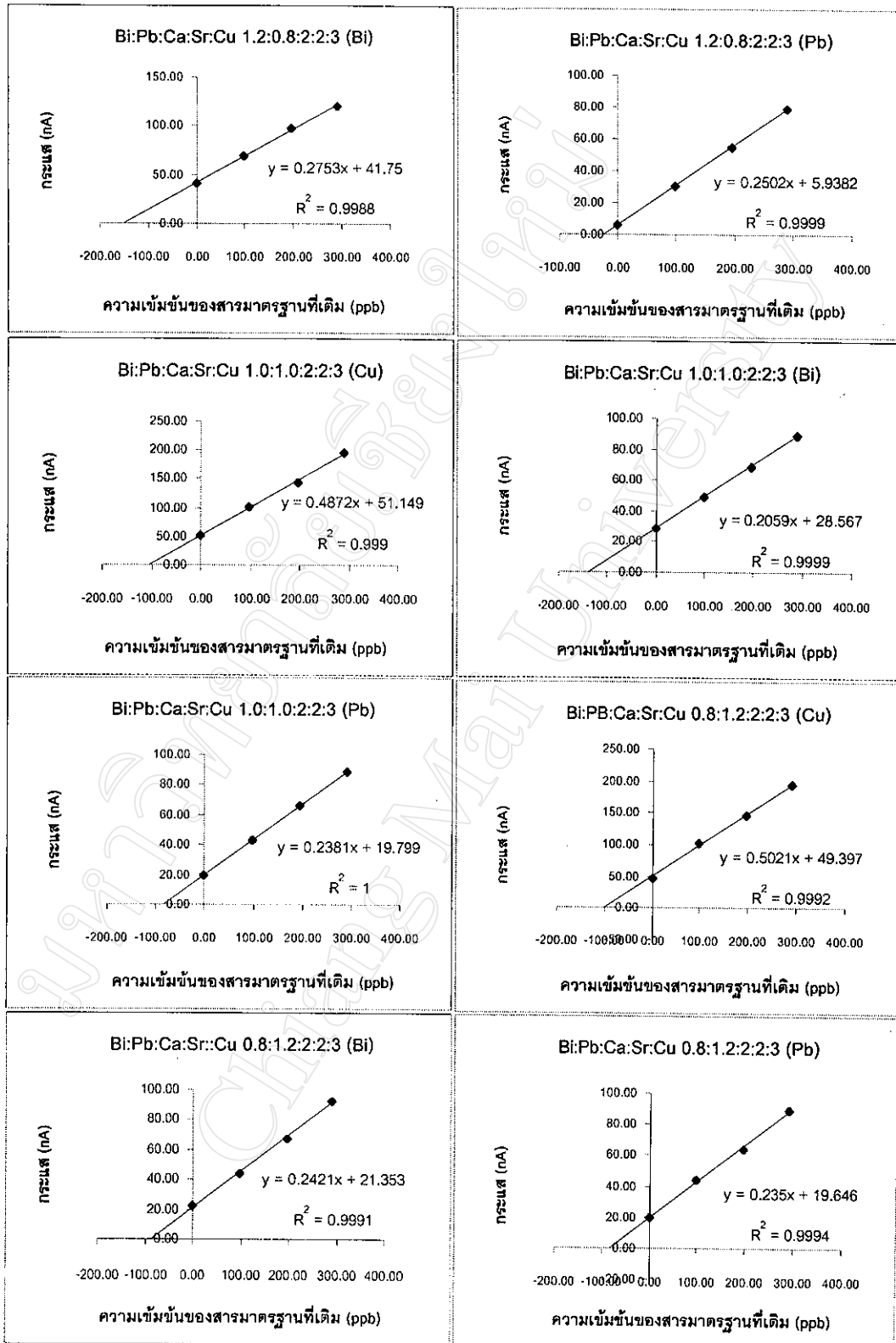
รูป 3.21 กราฟมาตรฐานของ ทองแดง บิสมัท และ ตะกั่ว ของสารตัวอย่างที่ 1-3



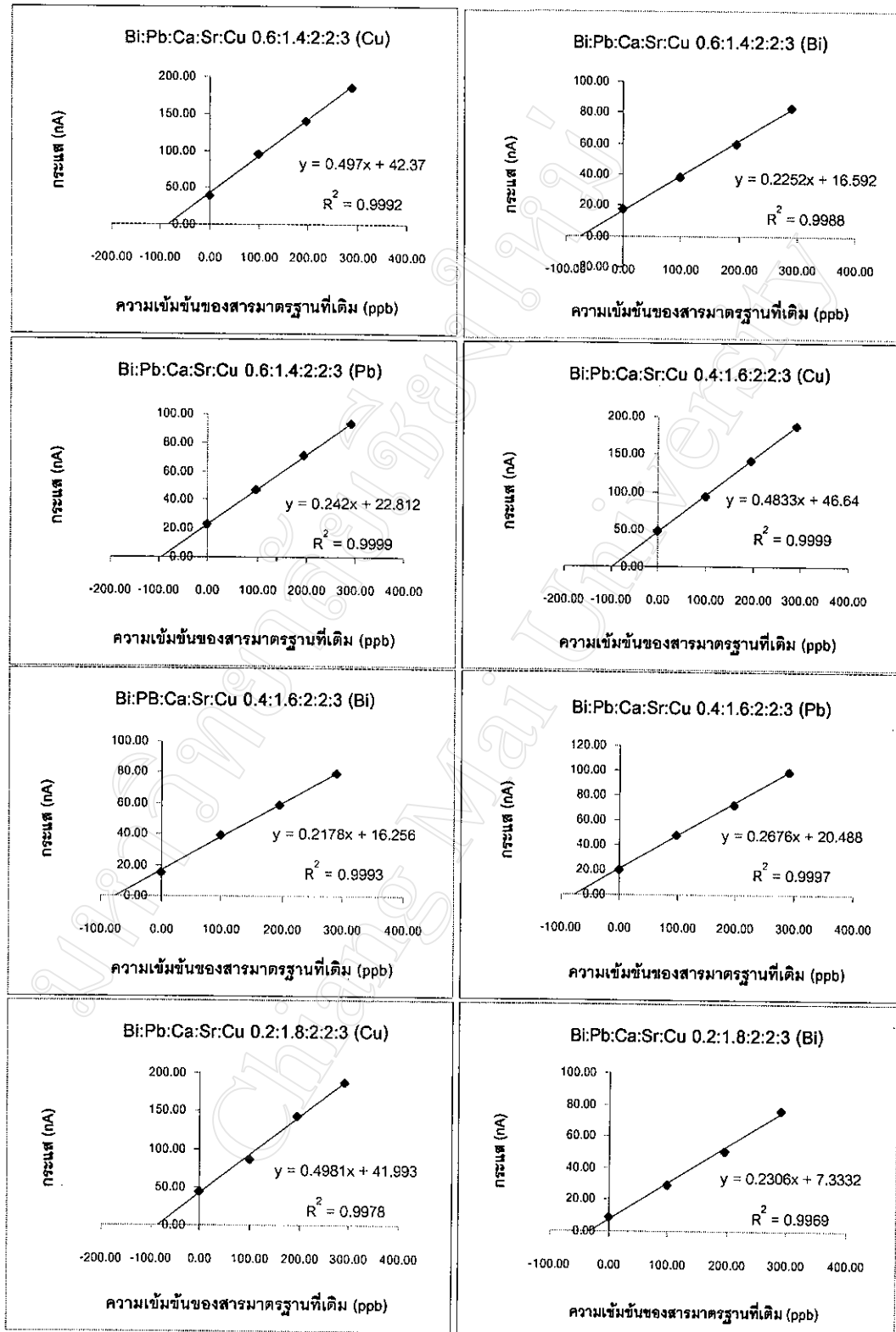
รูป 3.22 กราฟมาตรฐานของ ทองแดง บิสมัท และ ตะกั่ว ของสารตัวอย่างที่ 4-6



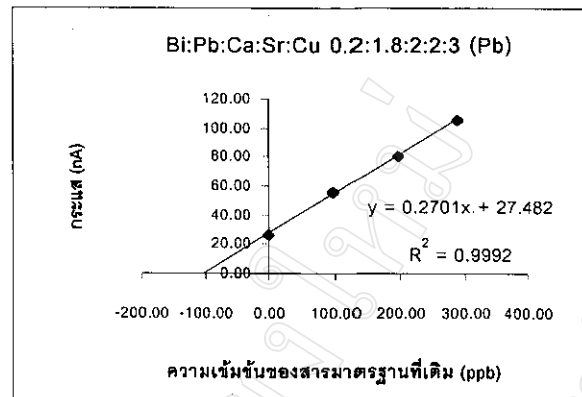
รูป 3.23 กราฟมาตรฐานของ ทองแดง บิสมัท และ ตะกั่ว ของสารตัวอย่างที่ 7-9



รูป 3.24 กราฟมาตรฐานของ ทองแดง บิสมัท และ ตะกั่ว ของสารตัวอย่างที่ 10-11



รูป 3.25 กราฟมาตรฐานของ ทองแดง บิสมัท และ ตะกั่ว ของสารตัวอย่างที่ 12-14



รูป 3.26 กราฟมาตรฐานของ ทองแดง บิสมัท และ ตะกั่ว ของสารตัวอย่างที่ 14

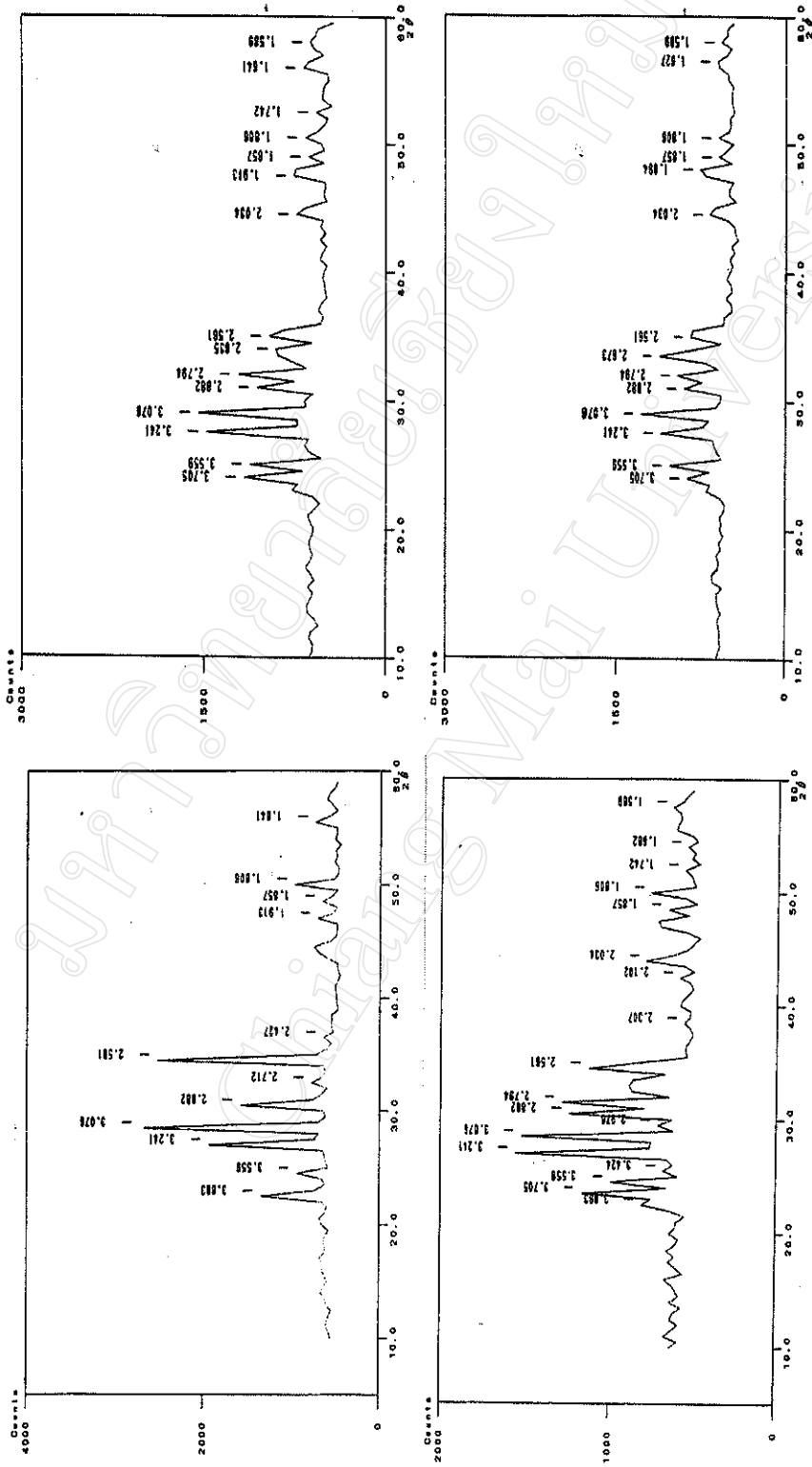
3.2.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของสารตัวนำยวดยิ่งด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

การวิเคราะห์โครงสร้างของสารตัวนำยวดยิ่ง Bi-Pb-Ca-Sr-Cu อัตราส่วนต่างๆ โดยนำสารที่อบจนแห้งและบดละเอียดแล้ว ไปศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ตามหัวข้อ 2.5.5 รูปแบบการเลี้ยวเบน ดังแสดงในรูป 3.27-3.30 และข้อมูล 2θ และระยะห่างระหว่างระนาบของตัวอย่างที่ 3 (Bi-Pb:Ca:Sr:Cu 1.8:0.2:2:2:3) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าอุณหภูมิวิกฤตสูงที่สุด ดังตาราง 3.9 จากนั้นทำการคำนวณหาค่าแลตทิซพารามิเตอร์ โดยใช้ X-ray Powder Program กับ IBM Compattible PC ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

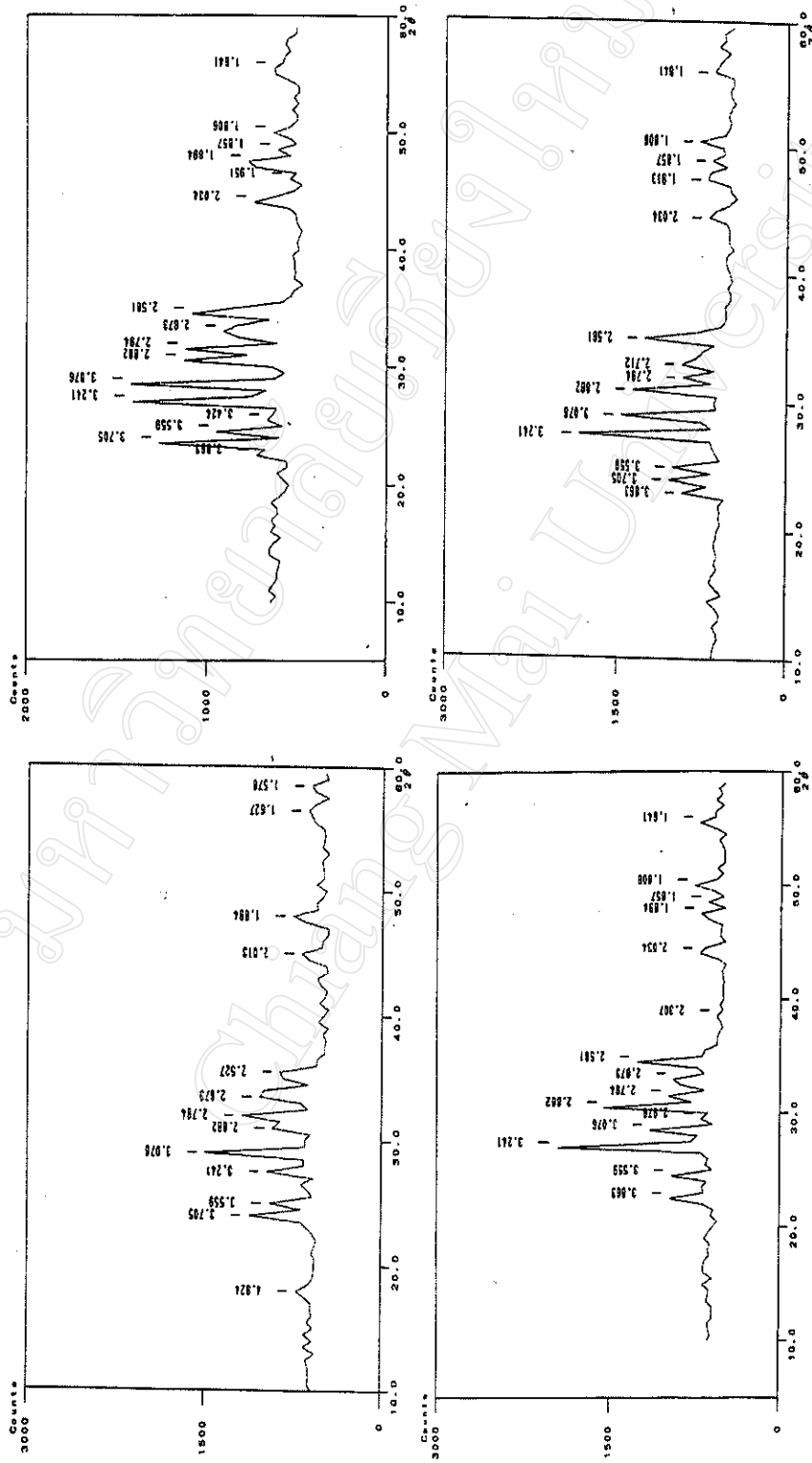
ตาราง 3.9 ข้อมูล Bragg's angle (2θ), ระยะห่างระหว่างระนาบและดัชนีมิลเลอร์ (hkl) ของสารตัวนำยวดยิ่ง Bi-Pb-Ca-Sr-Cu-O อัตราส่วน 1.8:0.2:2:2:3 โดยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ วิธีการทดลองตามหัวข้อ 2.5.5

Bragg's angle (2θ)	d-spacing (\AA)	Miller indices (hkl)	วัฏภาคที่คาดว่าจะมี ^{10,23,17,46,47}
23.0	3.863	0, 7, 0	(BiPb) ₂ Sr ₂ CaCu ₃ O _x , Bi ₂ Sr ₂ CuO _x
24.0	3.705	1, 5, 2	(BiPb) ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x
25.0	3.559	1, 5, 3	(BiPb) ₂ Sr ₂ CaCu ₃ O _x
27.4	3.424	1, 5, 5	UK
27.5	3.241	1, 5, 5	(BiPb) ₂ Sr ₂ CaCu ₃ O _x
29.0	3.076	1, 7, 2	(BiPb) ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x
30.0	2.976	0, 9, 1	Ca ₂ PbO ₄ , (SrCa) ₃ Cu ₅ O _x
31.0	2.882	1, 5, 7	(BiPb) ₂ Sr ₂ CaCu ₃ O _x
32.0	2.794	0, 9, 4	(BiPb) ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x
35.0	2.561	2, 2, 3	(BiPb) ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x , (BiPb) ₂ Sr ₂ CaCu ₃ O _x
39.0	2.307	2, 6, 1	CuO, Ca ₂ CuO ₃
43.0	2.102	2, 8, 1	UK
44.5	2.034	1, 12, 3	(BiPb) ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O _x , (BiPb) ₂ Sr ₂ CaCu ₃ O _x
49.0	1.857	2, 7, 9	UK
50.5	1.806	0, 14, 6	UK
52.5	1.742	2, 11, 5	UK
54.5	1.682	1, 6, 16	UK
58.0	1.589	3, 6, 6	UK

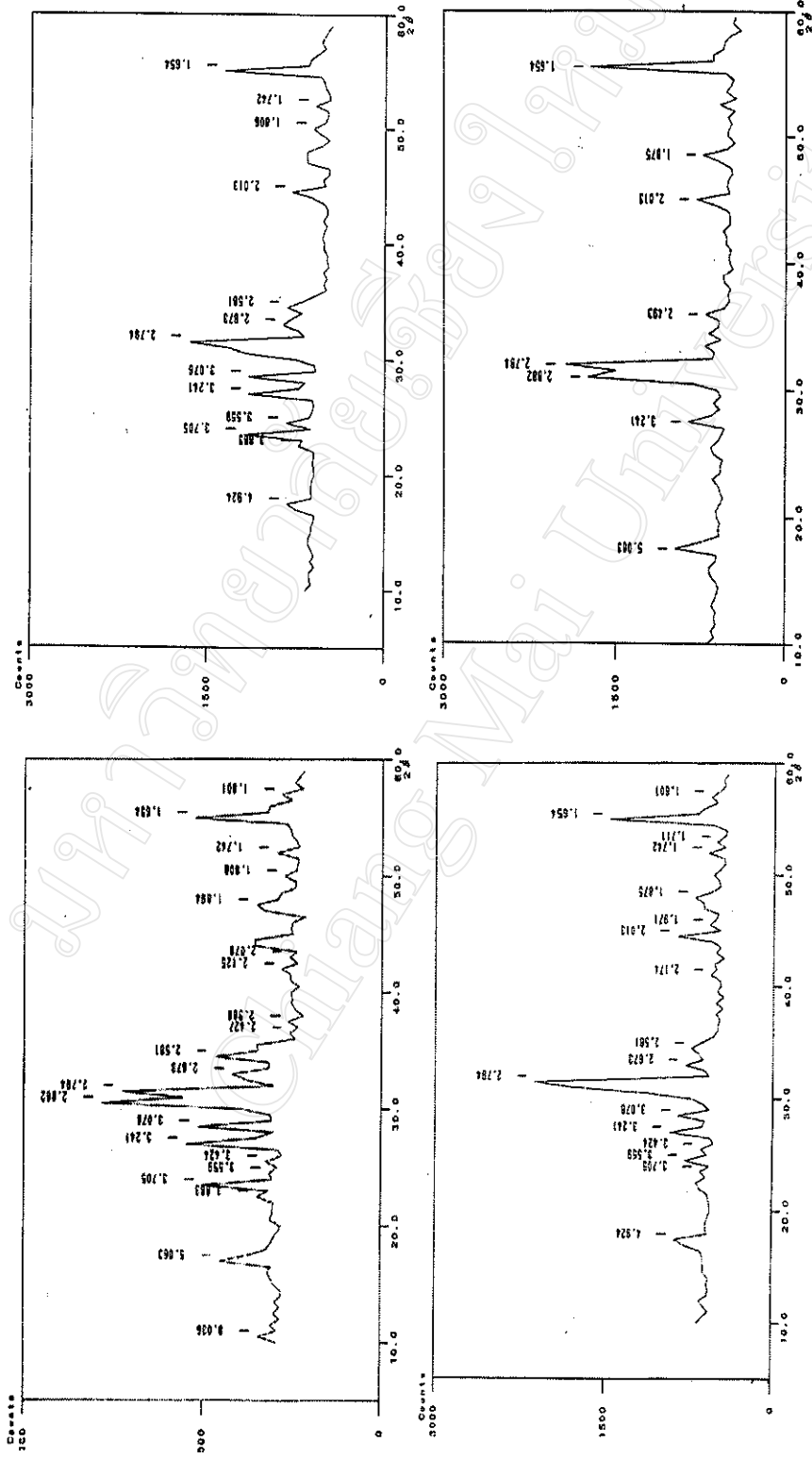
หมายเหตุ UK คือ ไม่ทราบชนิดของวัฏภาค



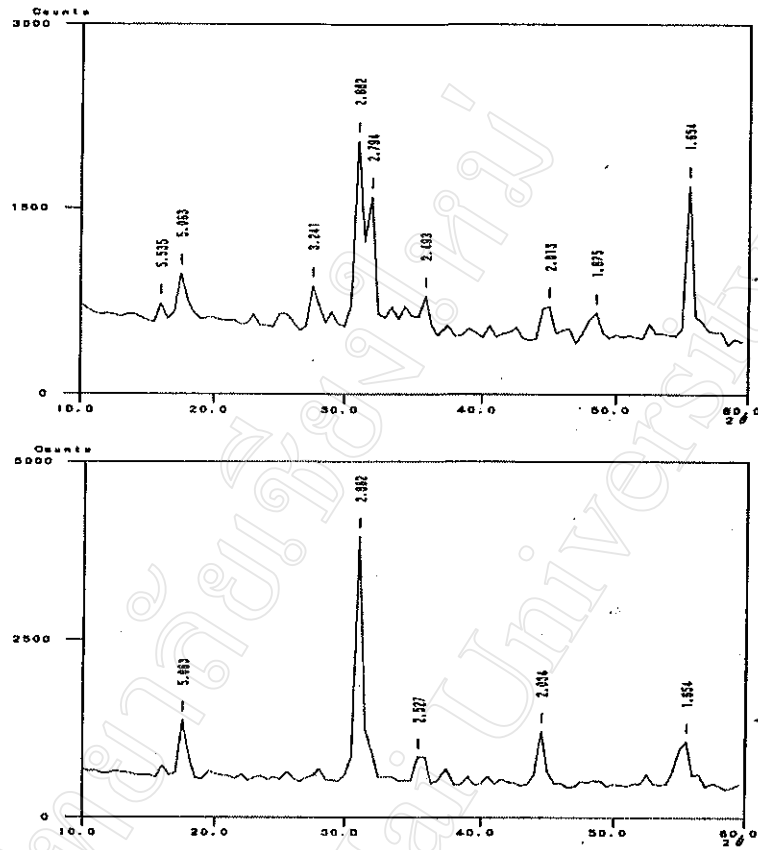
รูป 3.27 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างที่ 1-4



รูป 3.28 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างที่ 5-8



รูป 3.29 รูปแบบการเรียงเบสของสารตัวอย่างที่ 9-12



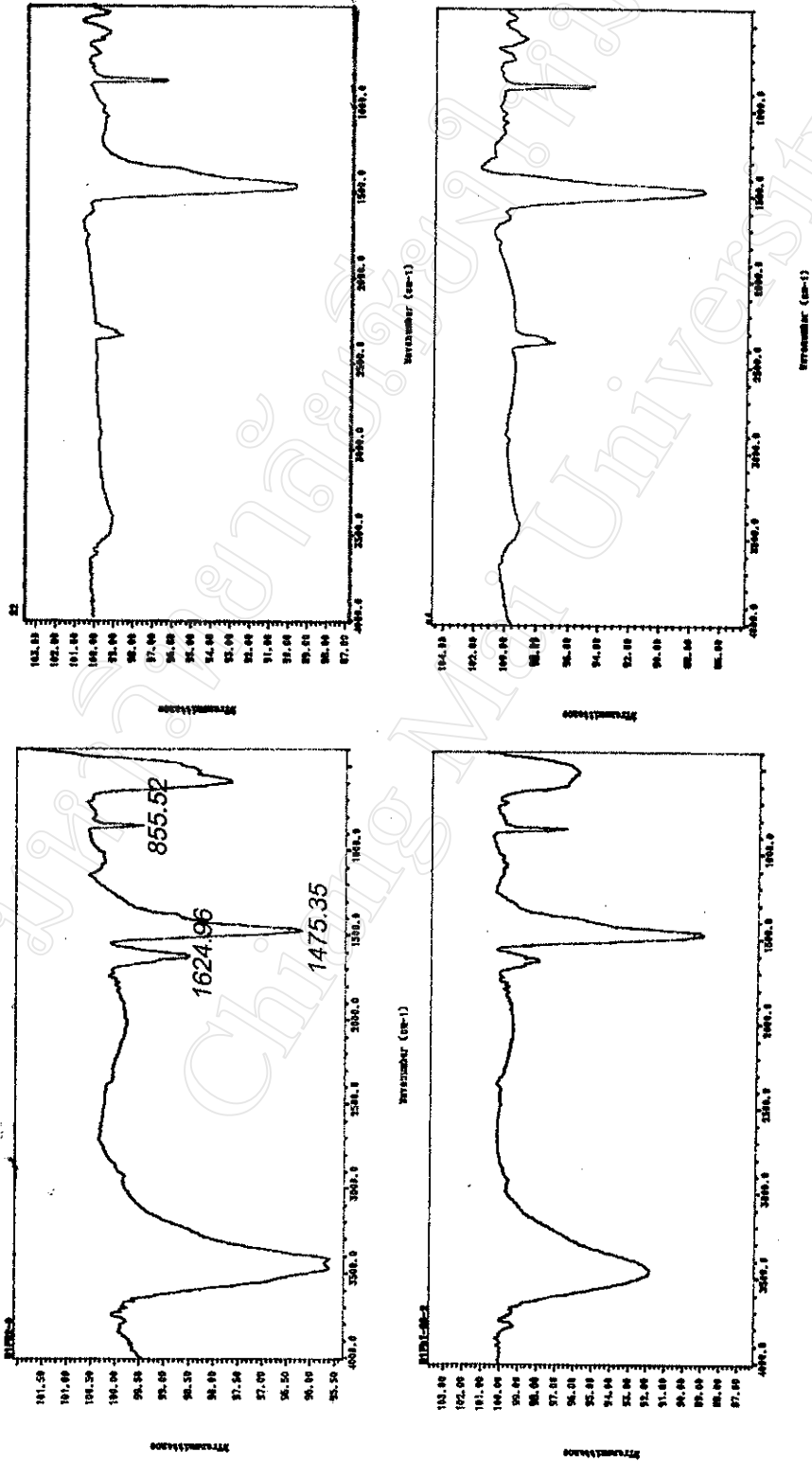
รูป 3.30 รูปแบบการเลี้ยวเบนของสารตัวอย่างที่ 13-14

3.2.4 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพของสารตัวอย่างโดยเทคนิค ฟิวรีเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

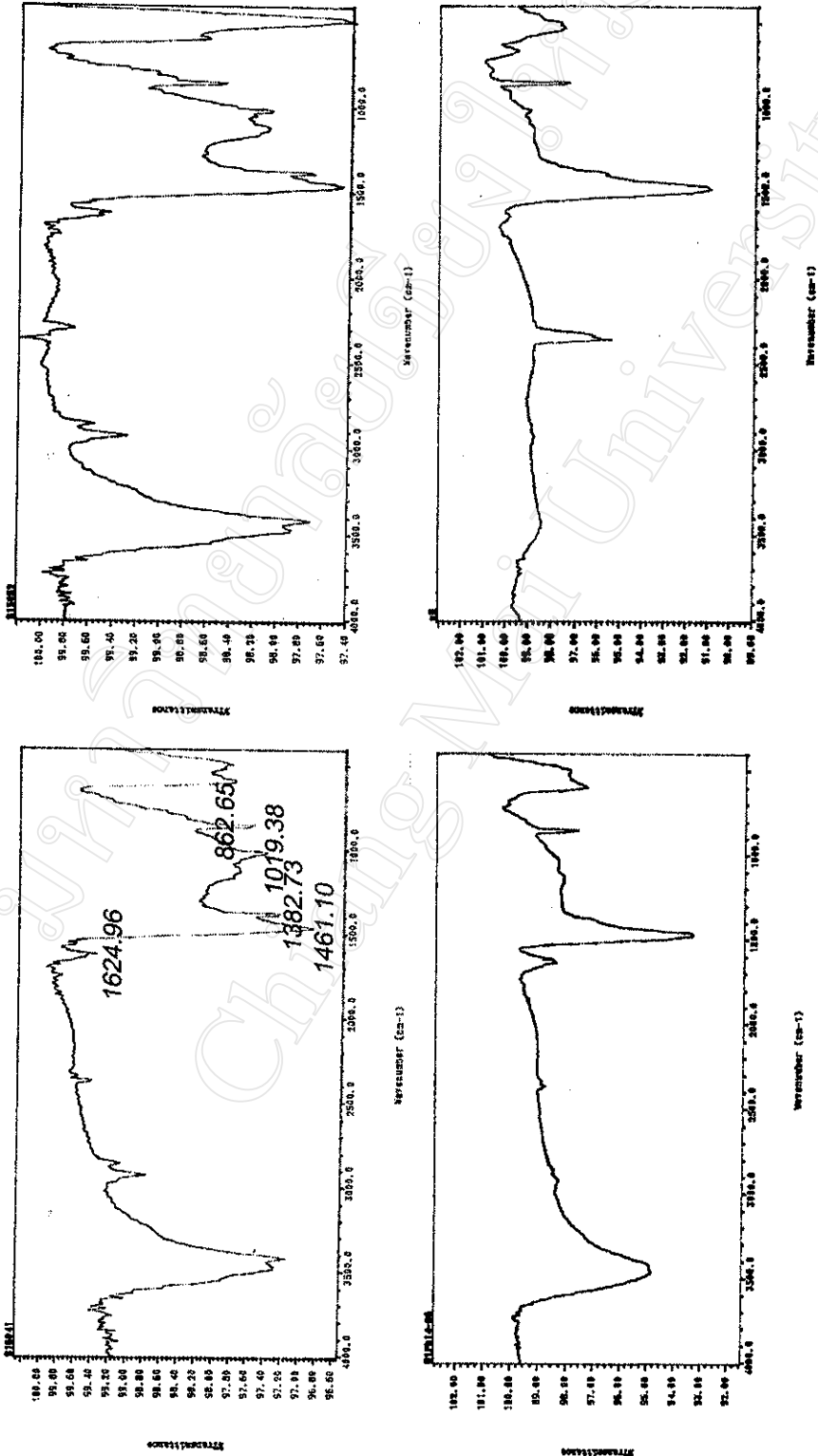
ผลการวิเคราะห์ทางคุณภาพของสารตัวอย่างวัดได้ที่เตรียมได้ทุกอัตราส่วน โดยฟิวรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์รุ่น 510 ของบริษัทนิกโคเลท ซึ่งทำการทดลองตามหัวข้อ 2.5.4 IR พีค, wave number ; ν และ Peak identify ที่ได้เป็นดังตาราง 3.10 และรูป 3.31 – 3.34 ตามลำดับ

ตาราง 3.10 Wave number ; ν และ Peak identify ของสารตัวอย่าง ซึ่งวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยเทคนิคฟิวรีเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี ทำการทดลองตามหัวข้อ 2.5.4

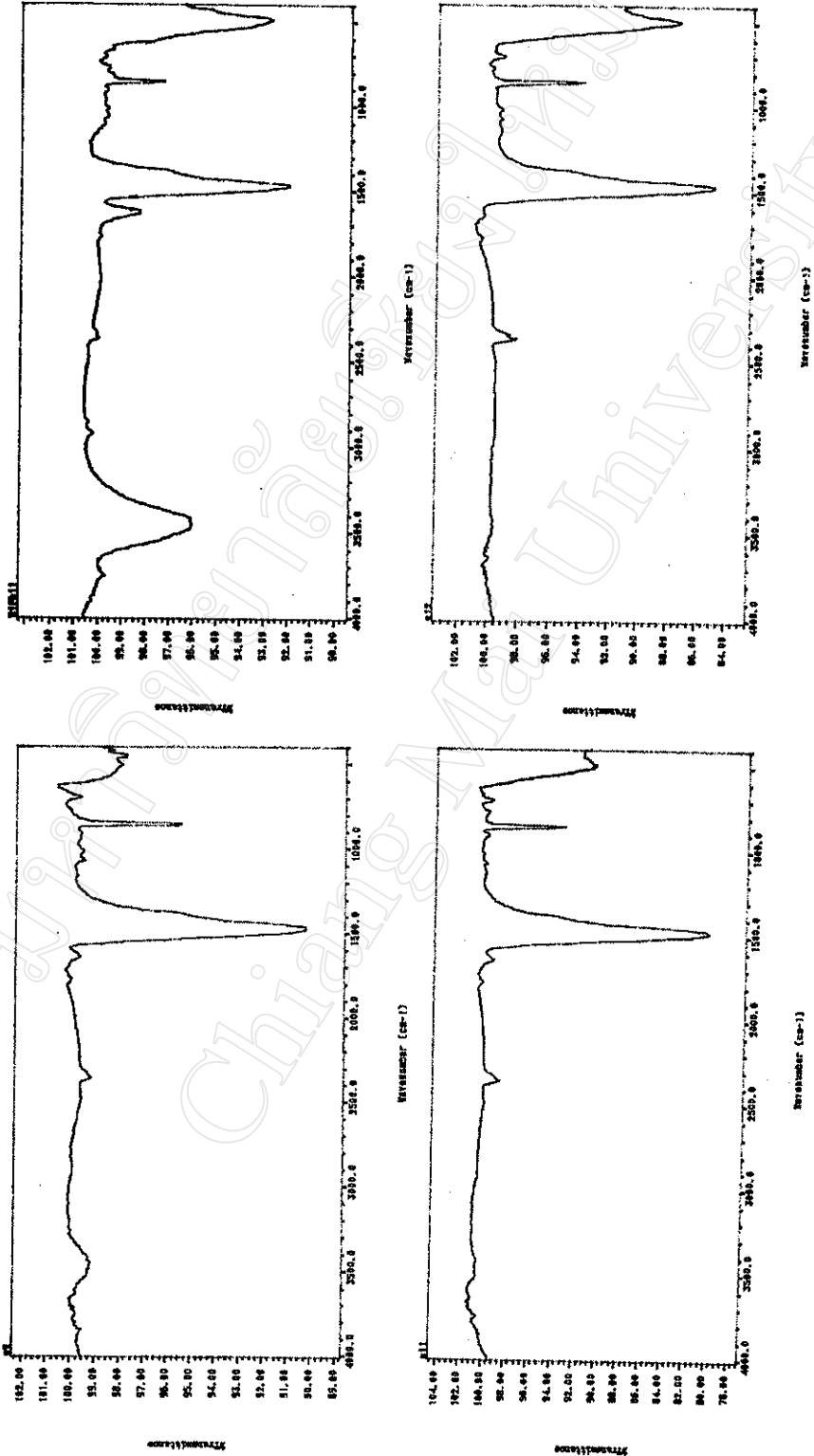
Wave number ; ν (cm^{-1})	Peak identify ^{10,23,17,46,47}
470	การสั่นของออกซิเจนในทิศ c-direction
500 – 600	การสั่นเนื่องจากพันธะ โลหะ-ออกซิเจน-โลหะ เช่น Bi-O, Cu-O และ Pb-O
850 – 860, 1460 -1500	การสั่นเนื่องจากพันธะของ Pb-O, Ca-O และ Sr-O
1375	การสั่นเนื่องจาก NO_3^-
1600 – 1620, 3300 – 3600	H_2O และ การสั่นของพันธะ O-H เนื่องจากความชื้นในสารตัวอย่าง
2200 – 2400, 2800 – 3000	การสั่นของสิ่งปลอมปนในบรรยากาศ เช่นการสั่นของพันธะ C-H



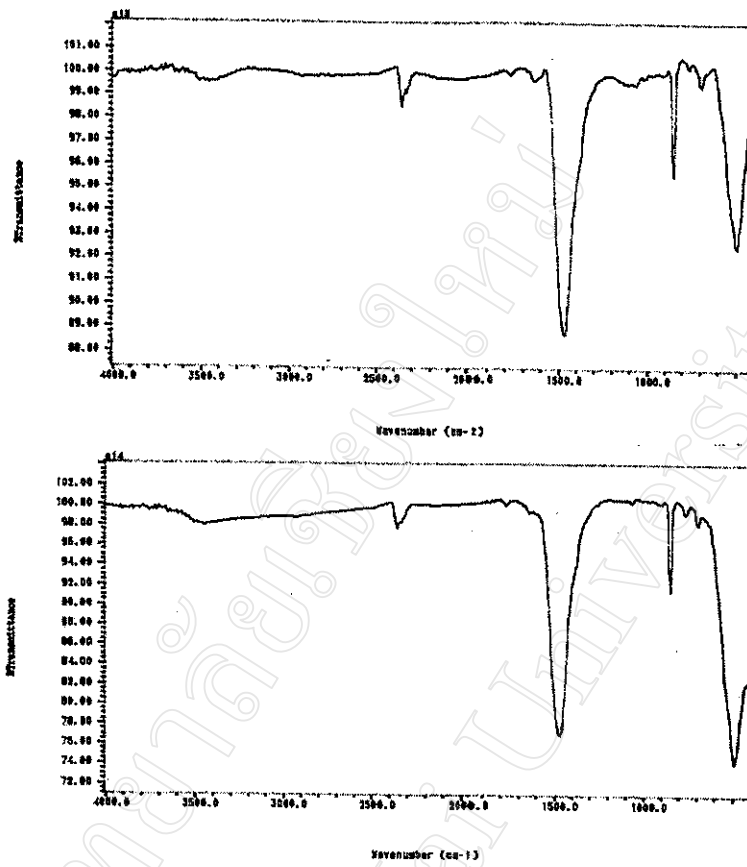
รูป 3.31 IR peak ของสารตัวอย่างที่ 1-4



รูป 3.32 IR peak ของสารตัวอย่างที่ 5-8



รูป 3.33 IR peak ของสารตัวอย่างที่ 9-12



รูป 3.34 IR peak ของสารตัวอย่างที่ 13-14