

บทที่ 5  
ผลของการวิจัย

5.1 ผลการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเทคนิคการ  
เรืองรังสีเอกซ์ แบบระบบ EDX

5.1.1 การหาระยะระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับตัวอย่าง

- ใช้กระดาดากรองชนิดเมมเบรนและเซลล์ลูโลสที่มีปริมาณแมงกานีส  
บนกระดาดากรอง 1,000 ไมโครกรัม
- แหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ได้แก่ Pu-238 30 mCi, Am-241 30 mCi  
และ Cd-109 20 mCi
- เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง MCA CANBERRA SERIES 40  
พร้อมกับหัววัด HPGe
- เวลาที่ใช้วิเคราะห์ 600 วินาที

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการหาระยะระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับตัวอย่าง

ระยะระหว่าง แหล่งกำเนิดรังสี กับตัวอย่าง ( มม. )	ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง (counts/600 วินาที)					
	กระดาดากรองชนิดเมมเบรน			กระดาดากรองชนิดเซลล์ลูโลส		
	Pu-238	Am-241	Cd-109	Pu-238	Am-241	Cd-109
1	396	119	485	1854	1185	1317
2	2185	262	1912	2378	1930	2022
3	3867	791	2490	4739	3094	2756
4	4209	2517	3645	5609	4426	3270
5	4258	3292	4511	6243	4720	3430
6	4354	3948	3924	7224	5096	3023
7	4572	4086	3887	7336	5153	3029
8	4223	3855	3497	6996	5040	2989
9	4400	3782	2953	6956	4957	-
10	4084	3702	2963	-	-	-
11	3547	3362	2842	-	-	-

### 5.1.2 การหาเวลาที่จะใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ใช้กระดาศกรองชนิดเมมเบรน และชนิดเซลลูโลสที่มีปริมาณแมงกานีสบนกระดาศกรอง 1.000 ไมโครกรัม

- ใช้ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับตัวอย่างดังนี้คือ

- สำหรับ Pu-238 30 mCi จะใช้ระยะ 7 มม.

- สำหรับ Am-241 30 mCi จะใช้ระยะ 7 มม.

- สำหรับ Cd-109 20 mCi จะใช้ระยะ 5 มม.

- ใช้เครื่องวิเคราะห์ แบบหลายช่อง MCA SERIES 40 พร้อมกับใช้หัววัด HPGe

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเมื่อใช้เวลาวิเคราะห์ต่าง ๆ กันกับเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนสำหรับกระดาศกรองชนิด เมมเบรน

เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์(วินาที)	Pu-238		Am-241		Cd-109	
	counts	% ความเบี่ยงเบน	counts	% ความเบี่ยงเบน	counts	% ความเบี่ยงเบน
200	1742	2.395	1588	2.509	1025	3.123
400	3363	1.724	3036	1.814	2713	1.919
600	4445	1.499	4363	1.513	4542	1.483
800	6191	1.270	6041	1.286	6091	1.281
1000	8067	1.113	7629	1.144	6915	1.202
1200	8932	1.058	8967	1.056	7343	1.166
1400	10782	0.963	9048	1.051	9041	1.051
1600	11975	0.913	11074	0.950	9566	1.022
1800	13362	0.865	12245	0.903	11955	0.914
2000	15097	0.813	13537	0.859	12340	0.900
2500	18225	0.740	17088	0.764	15841	0.794

หมายเหตุ ปริมาณแมงกานีสบนกระดาศกรองที่ทดลองเท่ากับ 1000 ไมโครกรัม

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าเมื่อใช้เวลาวิเคราะห์ต่าง ๆ กันกับเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบน สำหรับกระดากกรองชนิด เซลลูโลส

เวลาที่ใช้ในการ วิเคราะห์(วินาที)	Pu-238		Am-241		Cd-109	
	counts	% ความ เบี่ยงเบน	counts	% ความ เบี่ยงเบน	counts	% ความ เบี่ยงเบน
200	2277	2.095	2405	2.039	2160	2.151
400	5049	1.407	3029	1.816	2883	1.862
600	6561	1.234	4910	1.427	3167	1.776
800	10872	0.959	8785	1.066	3332	1.732
1000	13007	0.876	11277	1.941	3585	1.670
1200	13527	0.859	13485	1.861	5183	1.389
1400	16937	0.768	15000	1.816	6881	1.205
1600	19279	0.720	15133	0.812	7051	1.190
1800	23357	0.654	17787	0.749	8673	1.073
2000	24025	0.645	38620	0.508	10505	0.975

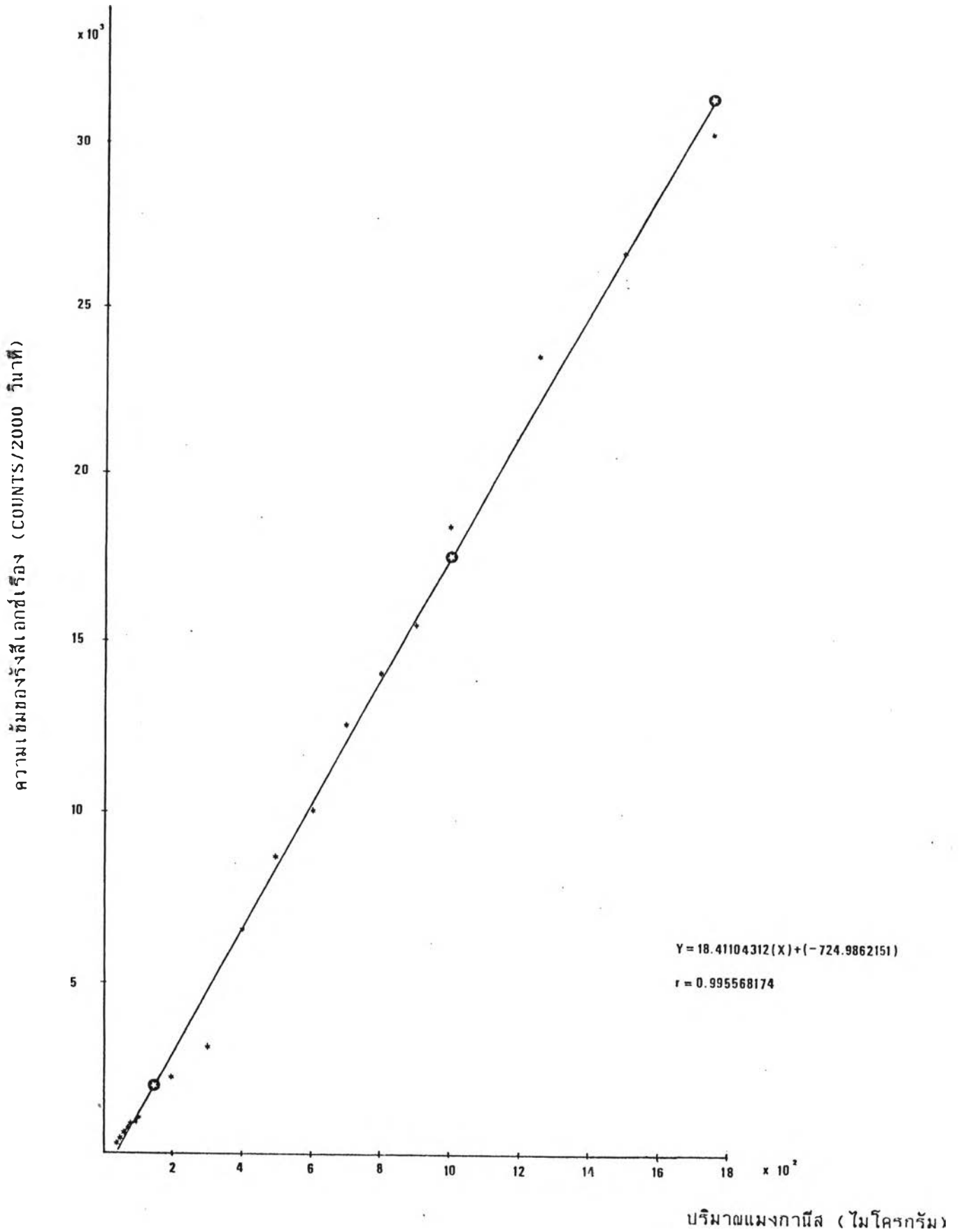
## 5.2 ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานเพื่อสร้างเป็นกราฟเปรียบเทียบโดยเทคนิคการ เรืองรังสีเอกซ์ แบบระบบ EDX

5.2.1 กราฟเปรียบเทียบสำหรับกระดากกรองชนิด เมมเบรน โดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสม ดังนี้

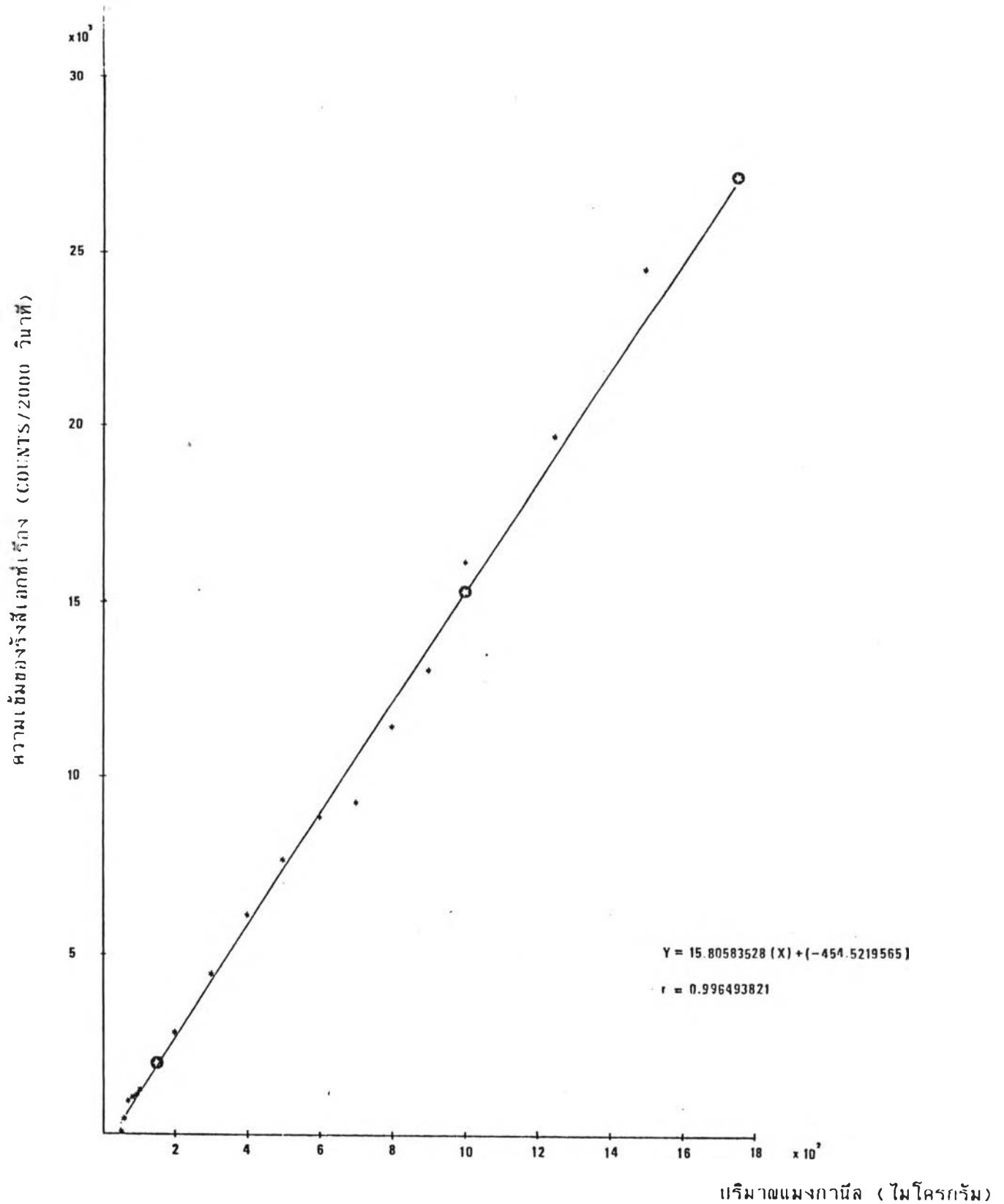
- เลือกระยะระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีกับตัวอย่างดังนี้ คือ
  - สำหรับ Pu-238 30 mCi จะใช้ระยะ 7 มม.
  - สำหรับ Am-241 30 mCi จะใช้ระยะ 7 มม.
  - สำหรับ Cd-109 20 mCi จะใช้ระยะ 5 มม.
- เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง MCA CANBERRA SERIES 40  
พร้อมกันใช้หัววัด HPGe
  - เวลาในการวิเคราะห์ 2000 วินาที

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบน กระจกกรองกับ ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง วิเคราะห์โดยระบบ EDX

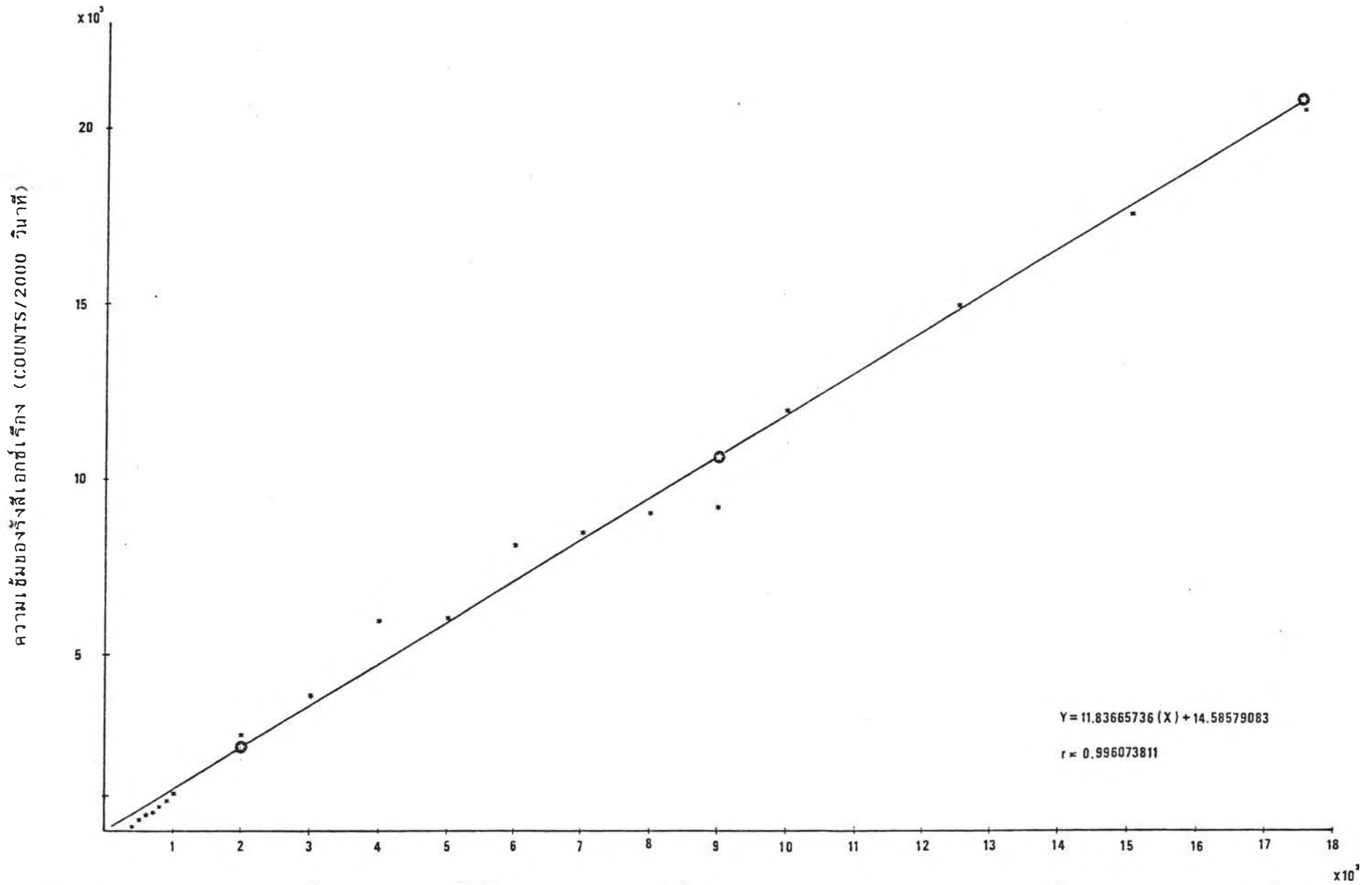
ปริมาณแมงกานีสบนกระจกกรอง (ไมโครกรัม)	ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง (counts/2000 วินาที)		
	Pu-238	Am-241	Cd-109
10	-	-	-
20	-	-	-
30	-	-	-
40	370	-	100
50	450	58	356
60	661	415	412
70	751	940	502
80	888	1019	657
90	920	1124	845
100	1001	1298	1093
200	2254	2864	2766
300	3155	4447	3813
400	6570	6111	5938
500	8787	7643	6066
600	10118	8894	8107
700	12575	9308	8479
800	14110	11401	9017
900	15523	13161	10185
1000	18542	16219	11941
1250	23666	19770	14913
1500	26761	23606	17555
1750	30414	27131	20515



รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมกานีสบนกระดาษกรองชนิดเมมเบรนกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เครื่องซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ Eux ใช้ Pu-238 30mCi และหัววัด HPGe



รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองชนิดเมมเบรนกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เครื่องซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX ใช้ Am-241 30mCi และหัววัด HPGe



รูปที่ 5.3 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองชนิดเมมเบรนกับความเข้มของรังสีเอกซ์เร็กซ์ ซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ

ปริมาณแมงกานีส (ไมโครกรัม)

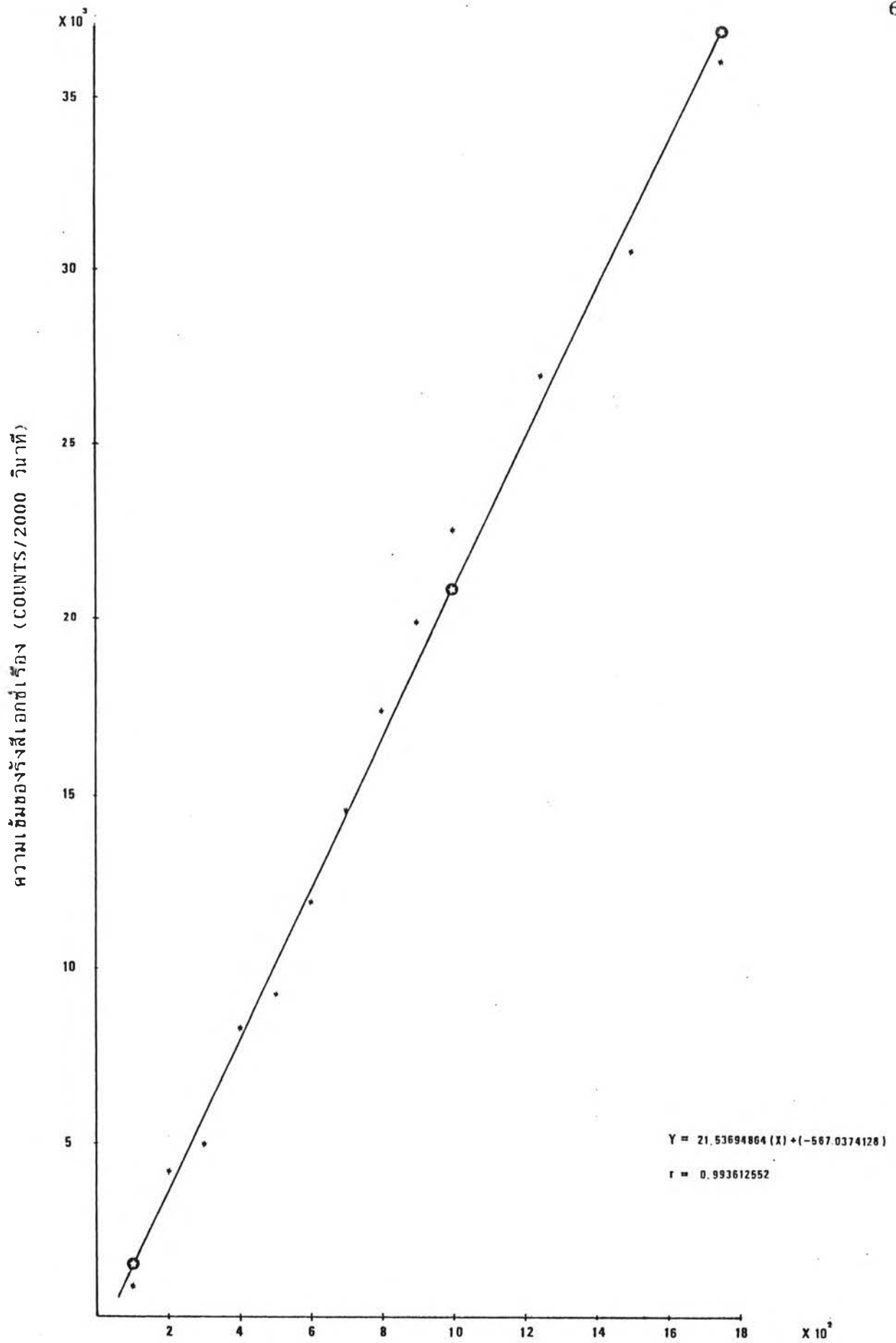
$\times 10^1$

5.2.2 กราฟเปรียบเทียบสำหรับกระดาชกรองชนิดเซลลูโลส โดยมีเงื่อนไขตามหัวข้อ 5.2.1

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาชกรองกับปริมาณความเข้มข้นของรังสีเอกซ์เรือง วิเคราะห์โดยระบบ EDX

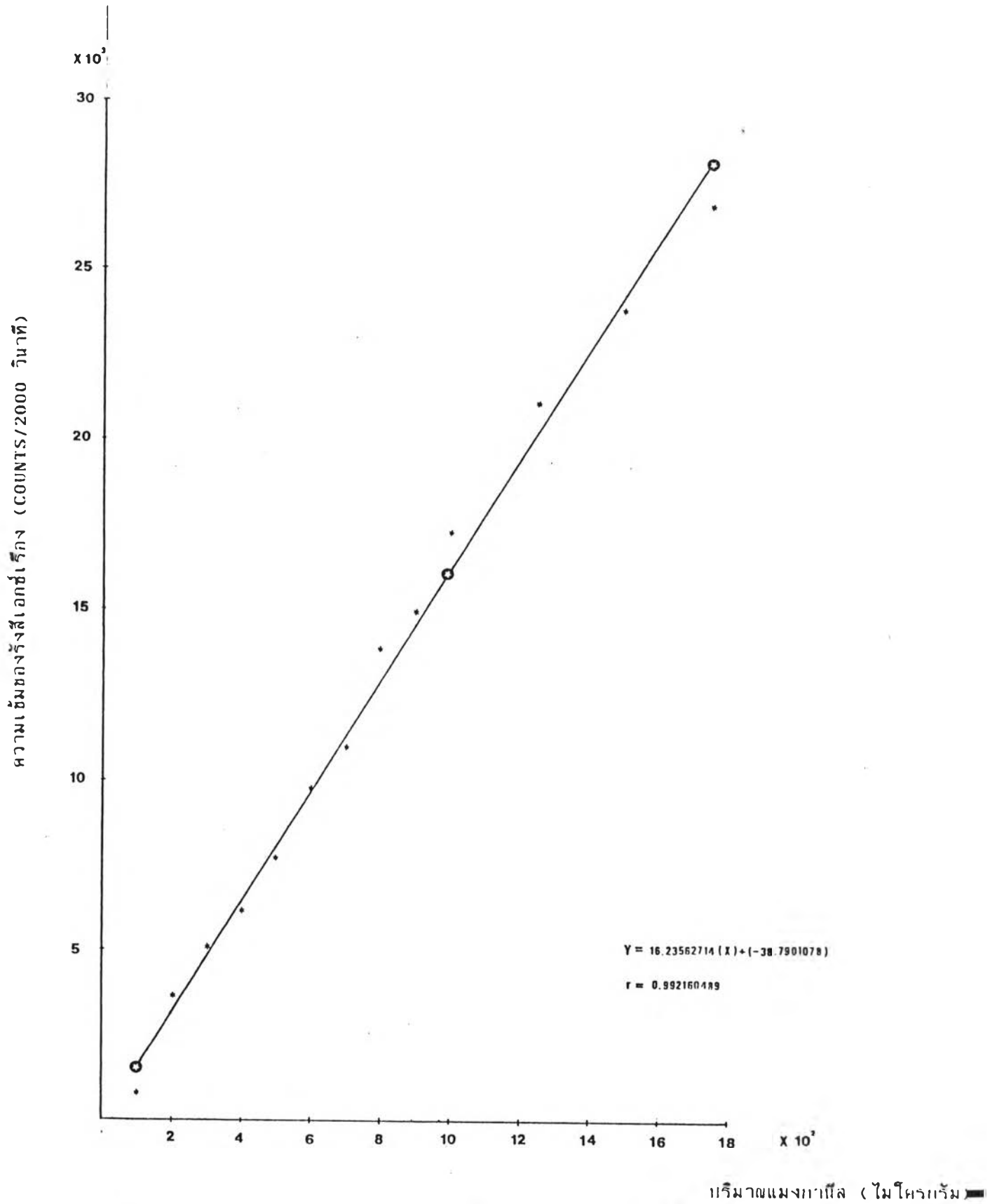
ปริมาณแมงกานีสบนกระดาชกรอง (ไมโครกรัม)	ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง (counts/2000 วินาที)		
	Pu-238	Am-241	Cd-109
100	887	846	972
200	4226	2666	2210
300	5079	5151	2853
400	8254	6248	4179
500	9267	7758	4731
600	11988	9823	5515
700	14577	11010	6617
800	17351	13891	9373
900	19903	15007	9666
1000	22568	17345	11587
1250	27004	21124	13123
1500	30628	23969	15318
1750	36266	27014	17388



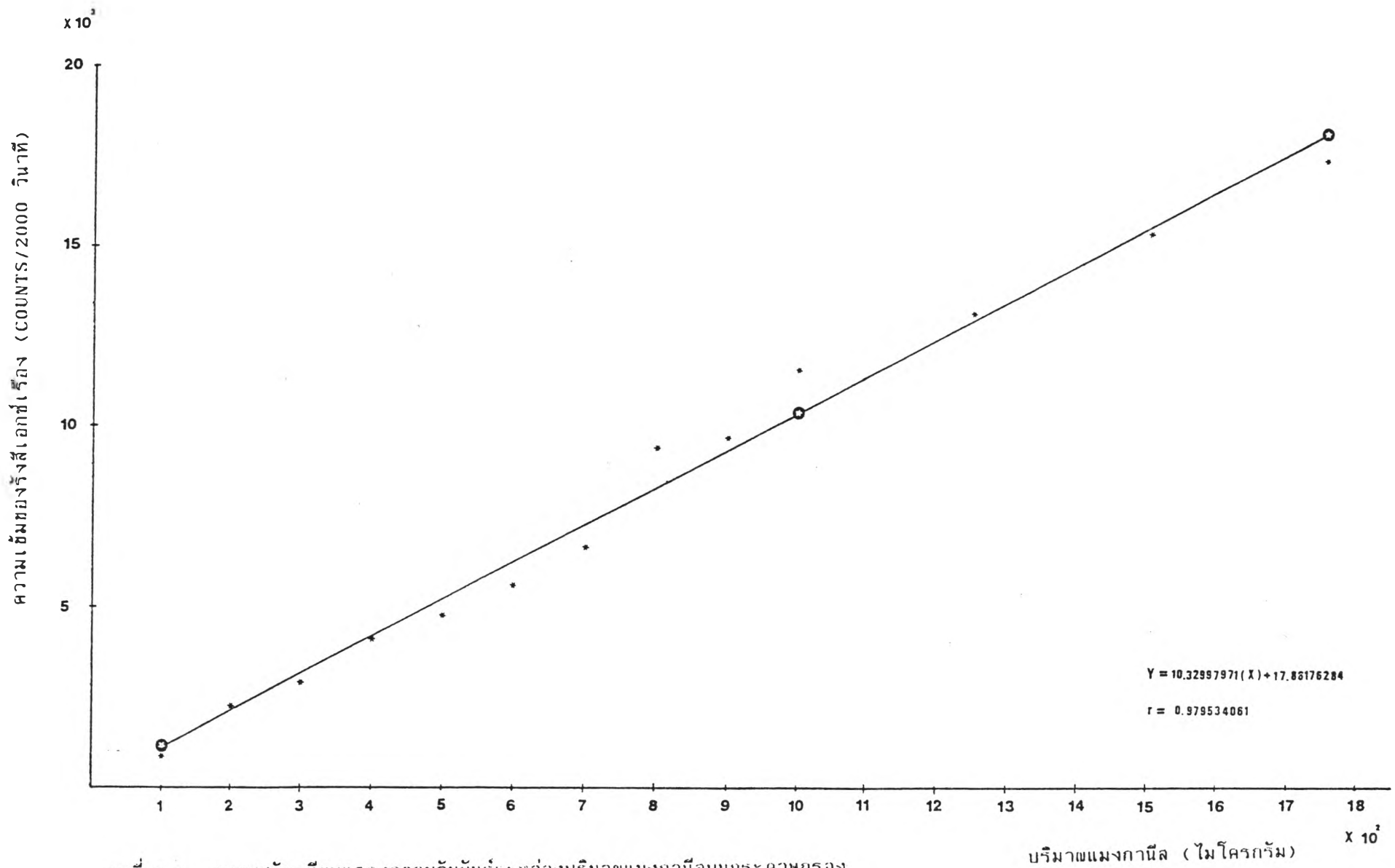


ปริมาณแมงกานีส (ไมโครกรัม)

รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองชนิดเซลลูโลสกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรย์ซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX ใช้ Pu-238 30mCi และหัววัด HPGe



รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองชนิดเซลลูโลสกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เร็กซ์ซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ EDX ใช้ Am-241 30mCi และหัววัด HPGe



รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองชนิดเซลลูโลสกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เครื่องที่วิเคราะห์โดยระบบ EDX ใช้  $Cd-109$  20mCi และหัววัด HPGe

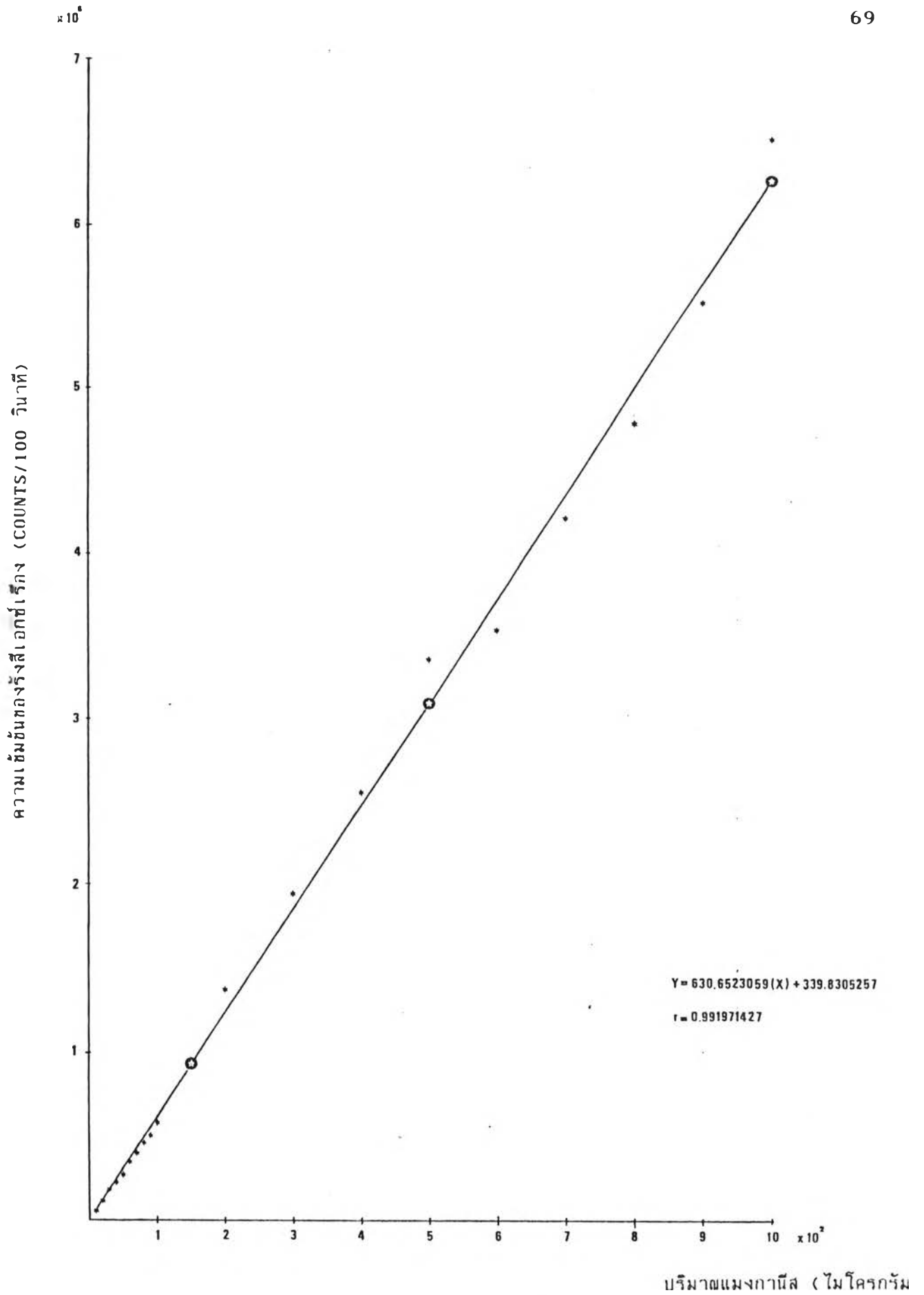
5.3 ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานเพื่อสร้างเป็นกราฟเปรียบเทียบ แบบระบบ WDX

5.3.1 กราฟเปรียบเทียบสำหรับตัวอย่างที่ใช้กระดาษกรองเมมเบรน ซึ่งค่าแสดงรายละเอียดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรียงอยู่ในตารางที่ 5.6 และ รูปที่ 5.7

5.3.2 กราฟเปรียบเทียบสำหรับตัวอย่างที่ใช้กระดาษเซลลูโลส ซึ่งค่าแสดงรายละเอียดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรียงอยู่ในตารางที่ 5.7 และ รูปที่ 5.8

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองชนิดเมมเบรนกับปริมาณความเข้มรังสีเอกซ์เรียง วิเคราะห์โดยระบบ WDX

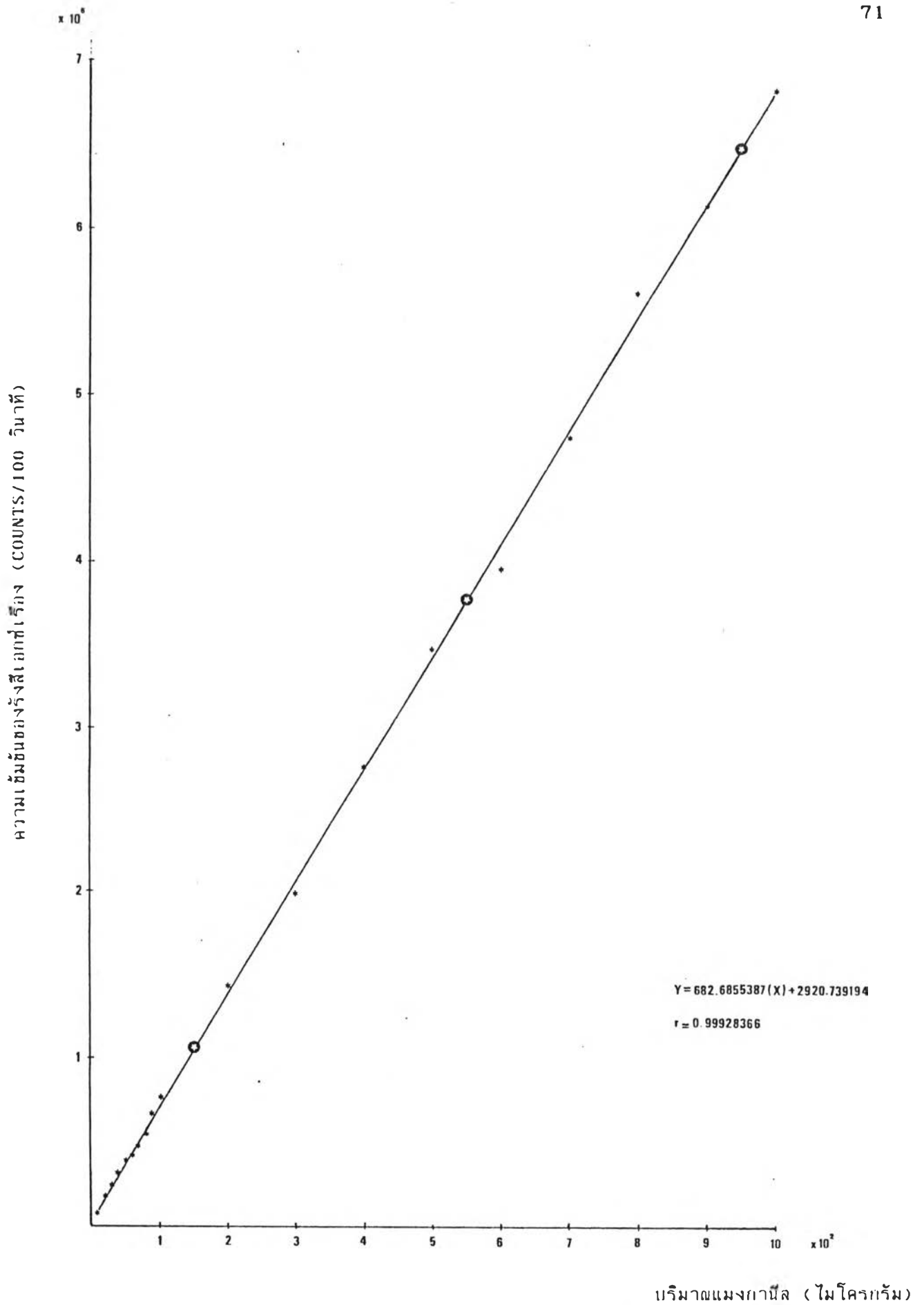
ปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรอง (ไมโครกรัม)	ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรียง (counts/100 วินาที)
10	6,301
20	11,794
30	18,558
40	23,874
50	27,756
60	35,981
70	40,468
80	46,916
90	51,863
100	59,883
200	137,707
300	195,713
400	256,820
500	377,868
600	352,060
700	424,295
800	481,609
900	554,113
1000	655,259



รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาษกรองชนิดเมมเบรน กับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง ซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ WDX

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาชกรอง  
ชนิดเซลลูโลสกับปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง วิเคราะห์  
โดยระบบ WDX

ปริมาณแมงกานีสบนกระดาชกรอง (ไมโครกรัม)	ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง (counts/100 วินาที)
10	7,978
20	18,811
30	24,710
40	31,051
50	39,549
60	42,013
70	48,951
80	55,092
90	66,814
100	76,605
200	142,251
300	199,704
400	276,515
500	348,135
600	396,202
700	475,123
800	563,960
900	617,902
1000	686,107



รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมงกานีสบนกระดาชกรองชนิดเซลลูโลส กับปริมาณความเข้มข้นของรังสีเอกซ์เรือง ซึ่งวิเคราะห์โดยระบบ WDX

#### 5.4 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานถ่านไฟฉายโดยเทคนิคการ เรจิสตรี้เอกซ์ แบบ EDX

การเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีส  
ในโรงงานถ่านไฟฉายนี้ได้ออกทำการเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 3 ครั้งด้วยกัน  
จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 83 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น แผนกบดแร่ 17 ตัวอย่าง  
แผนกผสมสารประกอบ 50 ตัวอย่าง และ แผนกอัดเป็นสารประกอบข้าวบวก 16  
ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างอากาศเหล่านี้ได้วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการเรจิสตรี้เอกซ์ แบบ  
EDX ดังแสดงผลในตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.10

ตารางที่ 5.8 แสดงผลของการหาปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสโดยใช้ Pu-238  
30 mCi

แผนก	จำนวน ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศ (มก./ลบ.ม.)				% ของจำนวน ตัวอย่างที่เกิน ค่ามาตรฐาน
		ค่าเฉลี่ย เลขคณิต	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	
บด	17	11.360	9.867	41.13	น	70.588(12)*
ผสม	50	6.772	4.977	20.29	น	32.000(16)*
อัด	16	ม	ม	น	น	ไม่พบ

น หมายถึง ค่าความเข้มข้นน้อยกว่าขีดความสามารถของการวิเคราะห์

ม หมายถึง ข้อมูลไม่สามารถคำนวณทางสถิติได้

( )\* หมายถึง จำนวนตัวอย่างอากาศของแมงกานีสที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน



ตารางที่ 5.9 แสดงผลของการหาปริมาณความเข้มข้นของแอมกานีสโดยใช้ Am-241  
30 mCi

แผนก	จำนวน ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแอมกานีสในอากาศ (มก./ลบ.ม.)				% ของจำนวน ตัวอย่างที่เกิน ค่ามาตรฐาน
		ค่าเฉลี่ย เลขคณิต	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	
บด	17	10.943	8.208	38.00	น	88.235(15)*
ผสม	50	6.353	5.091	22.30	น	34.000(17)*
อัด	16	ม	ม	0.62	น	ไม่พบ

น หมายถึง ค่าความเข้มข้นน้อยกว่าขีดความสามารถของการวิเคราะห์

ม หมายถึง ข้อมูลไม่สามารถคำนวณทางสถิติได้

( )\* หมายถึง จำนวนตัวอย่างอากาศของแอมกานีสที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5.10 แสดงผลของการหาปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสโดยใช้ Cd-109  
20 mCi

แผนก	จำนวน ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศ (มก./ลบ.ม.)				% ของจำนวน ตัวอย่างที่เกิน ค่ามาตรฐาน
		ค่าเฉลี่ย เลขคณิต	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	
บด	17	10.256	10.775	47.50	น	70.588(12)*
ผสม	50	5.451	3.576	13.06	น	22.000(11)*
อัด	16	ม	ม	น	น	ไม่พบ

- น หมายถึง ค่าความเข้มข้นน้อยกว่าขีดความสามารถของการวิเคราะห์
- ม หมายถึง ข้อมูลไม่สามารถคำนวณทางสถิติได้
- ( )\* หมายถึง จำนวนตัวอย่างอากาศของแมงกานีสที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน

5.4.1 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างแมงกานีสแบบ EDX โดยใช้ Pu-238 มีความแรงรังสี 30 mCi พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่คนงานมีโอกาสได้รับได้แก่บริเวณแผนกบดซึ่งมีค่า 11.360 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พบในแผนกผสมมีค่า 6.772 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความเข้มข้นของแมงกานีสในแผนกอัดนั้นอยู่ในระดับต่ำ และจากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในแผนกบดและแผนกผสม ซึ่งมีค่า 11.360 และ 6.772 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นั้น เป็นค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กรมแรงงานกำหนดไว้คือ ไม่ให้เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่แผนกบดมีจำนวนตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน 70.588 เปอร์เซ็นต์ แผนกผสมมีจำนวนตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน 32.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแผนกอัดไม่พบว่ามีตัวอย่างใดที่เกินค่ามาตรฐาน

5.4.2 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างแมงกานีส แบบ EDX โดยใช้ Am-

241 มีความแรงรังสี 30 mCi พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่คนงานมีโอกาสได้รับ ได้แก่บริเวณแผนกบัดซึ่งมีค่า 10.943 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พบในแผนกผสมมีค่า 6.353 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความเข้มข้นของแมงกานีสในแผนกถัดนั้นอยู่ในระดับต่ำ และจากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในแผนกบัดและแผนกผสม ซึ่งมีค่า 10.943 และ 6.353 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นั้นเป็นค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กรมแรงงานกำหนดไว้ โดยที่ แผนกบัดมีจำนวนตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน 88.235 เปอร์เซ็นต์ แผนกผสมมีจำนวนตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน 34.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแผนกถัดไม่พบว่ามีตัวอย่างใดที่เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งมีค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พบในแผนกนี้คือ 0.62 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

5.4.3 ผลของการวิเคราะห์ตัวอย่างแมงกานีสแบบ EDX โดยใช้ Cd-109 มีความแรงรังสี 20 mCi พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่คนงานมีโอกาสได้รับ ได้แก่บริเวณแผนกบัด ซึ่งมีค่า 10.256 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พบในแผนกผสมมีค่า 5.451 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความเข้มข้นของแมงกานีสในแผนกถัดนั้นอยู่ในระดับต่ำ และจากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในแผนกบัดและแผนกผสมซึ่งมีค่า 10.256 และ 5.451 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์นั้นเป็นค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยที่แผนกบัดมีจำนวนตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน 70.588 เปอร์เซ็นต์ แผนกผสมมีจำนวนตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน 22.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแผนกถัดไม่พบว่ามีตัวอย่างใดที่เกินค่ามาตรฐาน

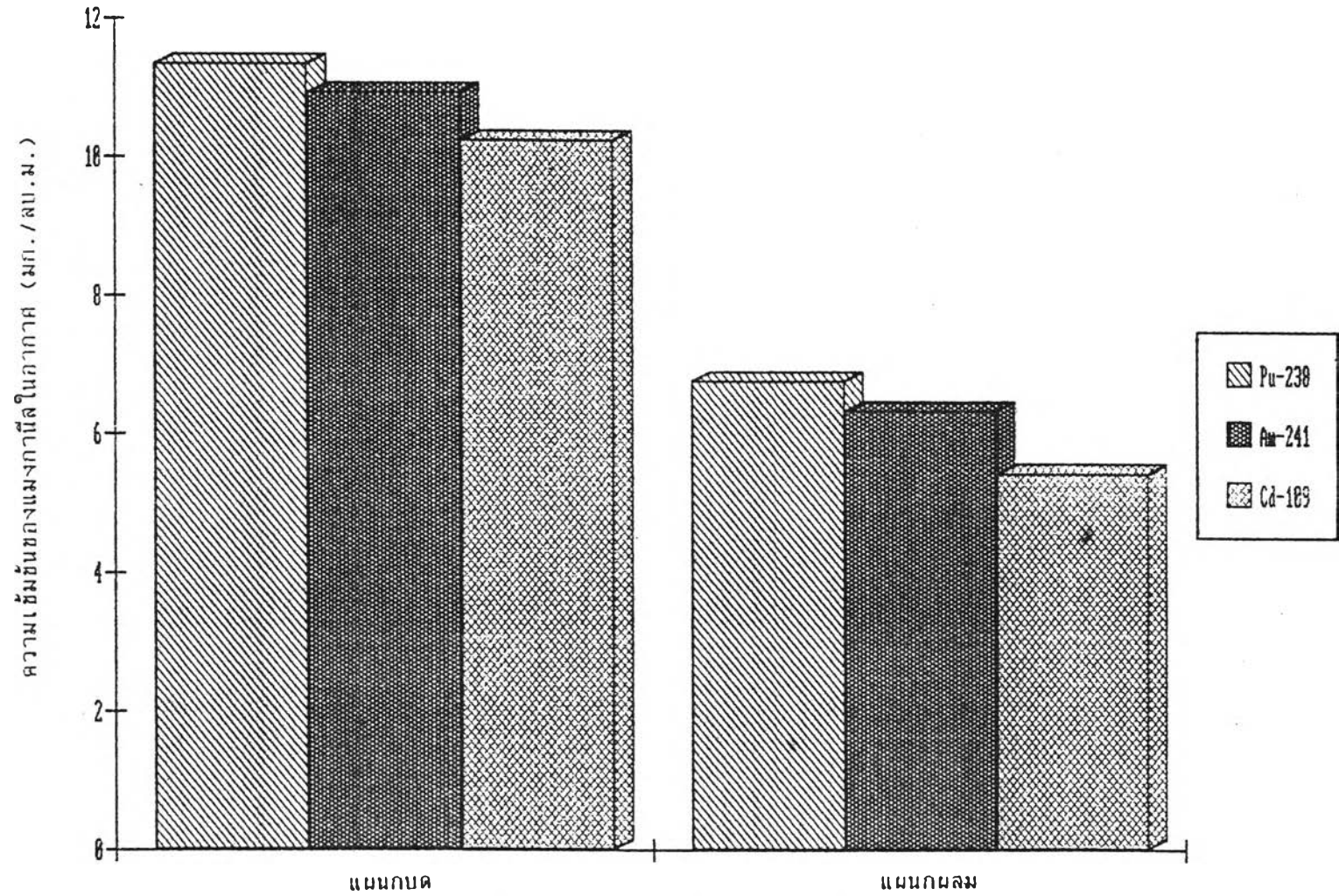
5.4.4 การเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ความเข้มข้นแมงกานีสโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบบ EDX ได้นำเอาผลจากตารางที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 มาเขียนสรุปใหม่อีกใน ตารางที่ 5.11 เพื่อความสะดวกในการพิจารณาพร้อมด้วยใช้สถิติทดสอบคือ t-test เพื่อเปรียบเทียบถึงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสจากการวิเคราะห์โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี 3 ชนิด ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 กล่าวคือ แนวโน้มความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสที่วิเคราะห์โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีทั้ง 3 ชนิด จะอยู่ในระดับเดียวกันนั่นเอง นอกจากนี้ ยังได้นำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสมาเขียนเป็นแผนภูมิรูปแท่งดังรูปที่ 5.9

ตารางที่ 5.11 เปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสในอากาศจากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบบระบบ EDX แยกตามกระบวนการผลิต

แผนก	แหล่งกำเนิดรังสี	จำนวนตัวอย่าง	ความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศ (มก./ลบ.ม.)				% ของจำนวนตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน	สถิติที่ใช้ทดสอบ t-test
			ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด		
บด	Pu-238	17	11.360	9.867	41.13	น	70.588(12)*	0.133
	Am-241	17	10.943	8.208	38.00	น	88.235(15)*	
	Pu-238	17	11.360	9.867	41.13	น	70.588(12)*	0.311
	Cd-109	17	10.256	10.775	47.50	น	70.588(12)*	
ผสม	Am-241	17	10.943	8.208	38.00	น	88.235(15)*	0.209
	Cd-109	17	10.256	10.775	47.50	น	70.588(12)*	
	Pu-238	50	6.772	4.977	20.29	น	32.000(16)*	0.416
	Am-241	50	6.353	5.091	22.03	น	34.000(17)*	
	Pu-238	50	6.772	4.977	20.29	น	32.000(16)*	1.524
	Cd-109	50	5.451	3.576	13.06	น	22.000(11)*	
Am-241	50	6.353	5.091	22.03	น	34.000(17)*	1.174	
Cd-109	50	5.451	3.576	13.06	น	22.000(11)*		

สถิติทดสอบ t-test มีระดับนัยสำคัญ 0.01

ค่าวิกฤตของการแจกแจงค่า t คูณในภาคผนวก ข.



รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มรังสีแกมมาในอากาศจากการวิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แบบระบบ EDX โดยใช้ Pu-238, Am-241 และ Cd-109 หัววัด HPGe

5.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแอมกานีสในอากาศจากตัวอย่างที่เก็บจากโรงงาน  
ถ่านไฟฉายโดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบต่างๆ

การวิจัยนี้ได้จัดทำการศึกษาเก็บตัวอย่างอากาศทั้งสิ้น 83 ตัวอย่าง และได้สุ่มตัวอย่างมา  
เพียง 32 ตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาปริมาณความเข้มข้นของแอมกานีสโดยใช้  
เทคนิคการวิเคราะห์แบบต่าง ๆ ซึ่งตัวอย่างตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึง 23 เป็นกระดาดกรองชนิด  
เมมเบรน ส่วนตัวอย่างตั้งแต่ลำดับที่ 24 ถึง 32 เป็นกระดาดกรองชนิดเซลลูโลส และในที่นี้ได้  
เก็บตัวอย่างอากาศแบบเป็นคู่เก็บตัวอย่างพร้อมกัน แต่กระดาดกรองคนละชนิดกันดังนี้ ตัวอย่างที่  
(15,24), (16,25), (17,26), (18,27), (19,28), (20,29), (21,30), (22,31)  
และ (23,32)

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของแอมกานีส  
ในอากาศจากตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานถ่านไฟฉาย

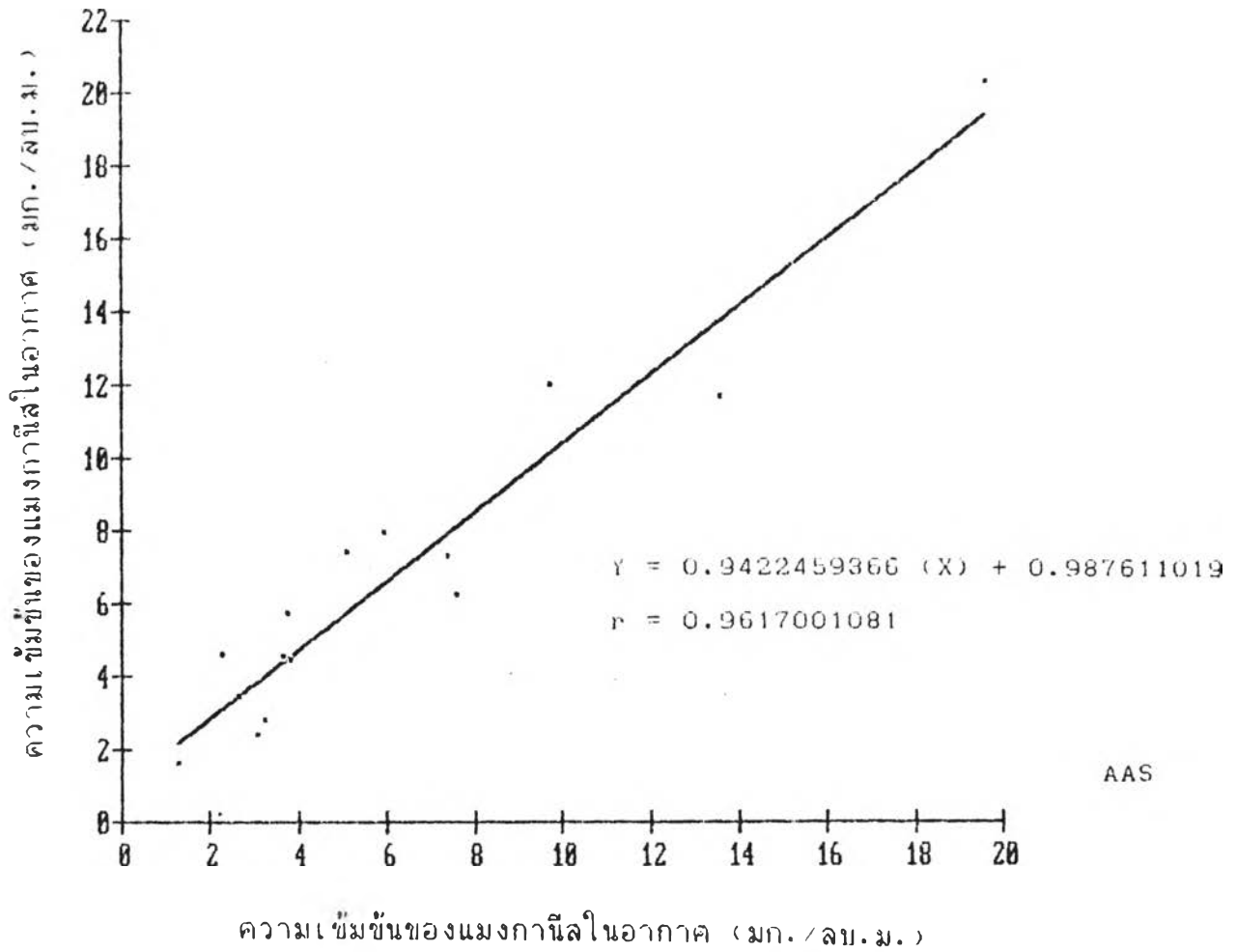
ลำดับ ที่ตัวอย่าง	การเรืองรังสีเอกซ์			วิธี AAS (mg/m <sup>3</sup> )	หมายเหตุ	
	แบบ EDX (mg/m <sup>3</sup> )		แบบ WDX (mg/m <sup>3</sup> )			
	Pu-238	Am-241		Cd-109		
1	5.69	6.11	4.96	4.11	3.74	1.อักษร"น"
2	น	น	น	0.27	0.26	หมายถึงค่า
3	4.39	4.51	3.58	4.57	3.78	ความเข้มข้น
4	น	น	น	0.30	0.46	น้อยกว่าขีด
5	น	น	น	0.27	0.40	ของการ
6	3.40	3.29	2.92	3.14	2.64	วิเคราะห์
7	7.91	8.05	7.38	6.91	5.91	
8	น	น	น	0.20	0.33	2.เครื่องหมาย
9	น	2.33	น	1.42	1.47	"-"หมายถึง
10	น	น	น	1.96	3.00	ว่าไม่ได้ทำ
11	7.37	7.57	4.72	7.40	5.06	การวิเคราะห์
12	4.53	5.76	2.28	2.46	2.26	
13	น	น	น	0.91	1.04	3.ตั้งแต่ลำดับที่
14	16.51	17.90	13.06	17.40	-	ตัวอย่าง1 ถึง

ตารางที่ 5.12 (ต่อ)

เทคนิคการวิเคราะห์	การเรืองรังสีเอกซ์				วิธี AAS (mg/m <sup>3</sup> )	หมายเหตุ
	แบบ EDX (mg/m <sup>3</sup> )			แบบ WDX (mg/m <sup>3</sup> )		
	ลำดับที่ตัวอย่าง	Pu-238	Am-241	Cd-109		
15	น	น	น	1.22	1.47	23 เป็นกระดาชกรองชนิดเมมเบรน ส่วนลำดับที่ตัวอย่าง 24 ถึง 32 เป็นกระดาชกรองชนิดเซลล์โลส
16	1.57	2.49	น	1.08	1.26	
17	4.51	4.52	2.30	3.42	3.63	
18	11.96	10.54	7.60	11.84	9.73	
19	น	น	น	1.16	1.21	
20	20.29	22.30	11.82	19.66	19.60	
21	น	น	น	1.50	1.65	
22	น	น	น	0.02	0.51	
23	2.75	4.11	1.70	2.44	3.21	
24	น	น	น	0.42	1.41	
25	2.36	2.05	2.16	3.01	3.06	
26	น	2.51	2.03	2.91	3.51	
27	7.24	6.40	7.17	6.40	7.36	
28	น	น	น	0.91	1.04	
29	11.67	15.79	11.50	15.94	13.55	
30	น	น	น	2.71	2.49	
31	น	น	น	0.57	0.50	
32	6.20	8.81	น	8.56	7.57	

หมายเหตุ เนื่องจากการวิเคราะห์โดยวิธี AAS นั้นได้ทำหลังจากการวิเคราะห์โดยระบบ WDX ซึ่งต้องห่อตัวอย่างด้วยพลาสติก ทำให้แมงกานีสบางส่วนติดบนพลาสติก ดังนั้นค่าที่วิเคราะห์โดยวิธี AAS จึงได้ทำการปรับค่าโดยใช้ correction factor = 1.54 ซึ่งได้จากการเทียบระหว่างระบบ EDX กับ AAS สำหรับกระดาชที่ไม่ผ่านการห่อด้วยพลาสติก

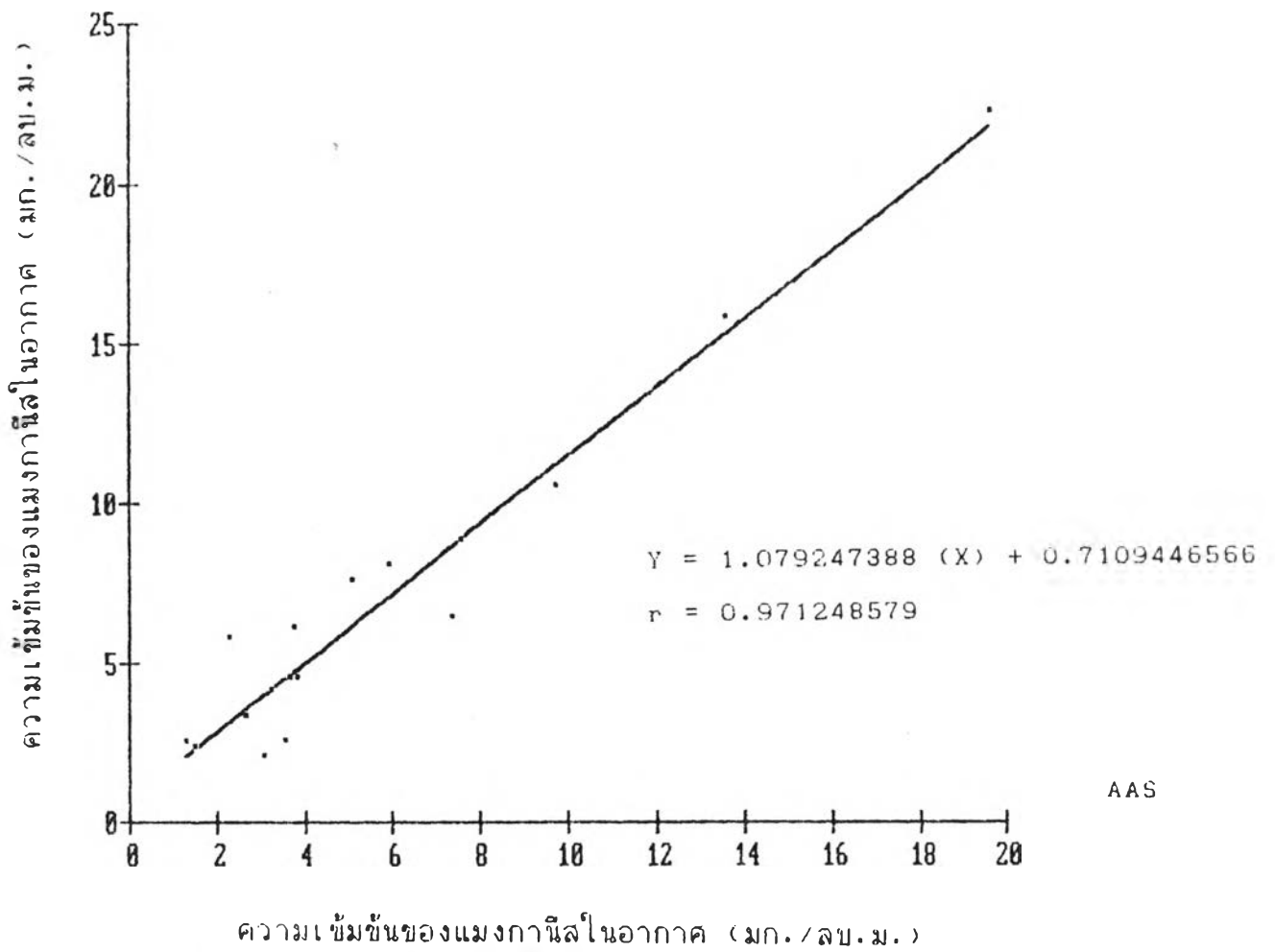
Pu-238



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศ จากตัวอย่างซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Pu-238 กับ AAS

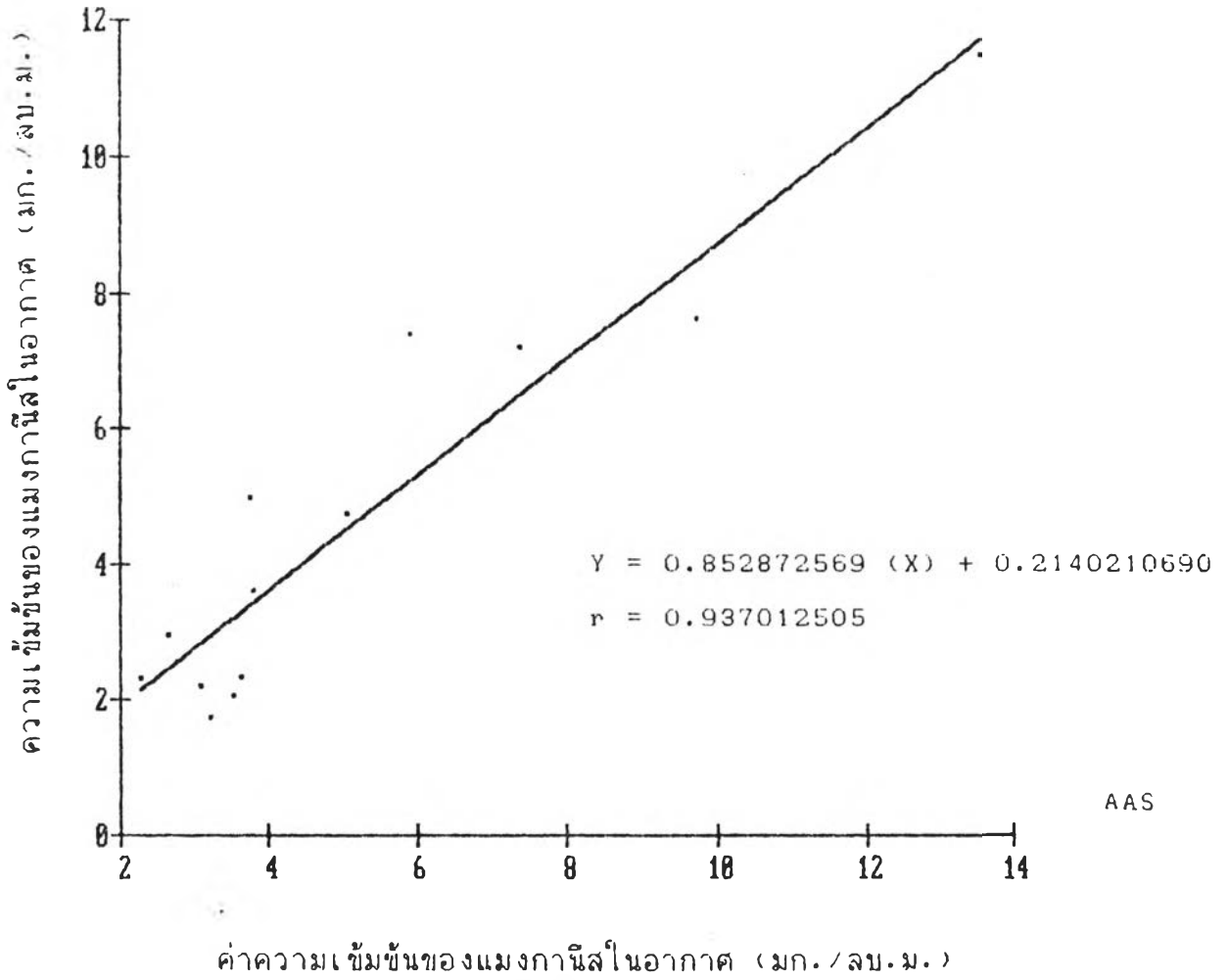


Am-241

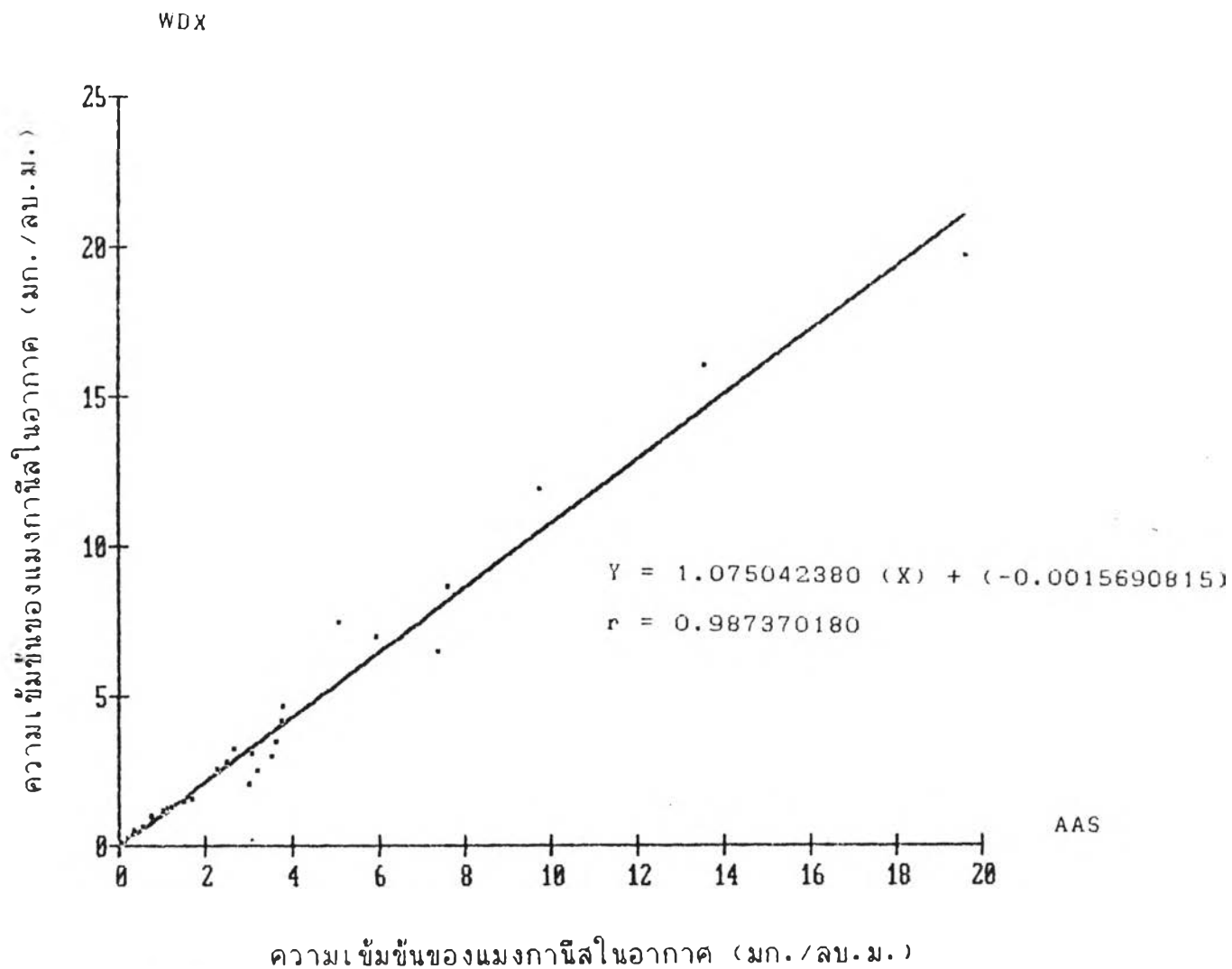


รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแอมกานีสในอากาศ จากตัวอย่างซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Am-241 กับ AAS

Cd-109



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศ จากตัวอย่างซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Cd-109 กับ AAS



รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในอากาศ จากตัวอย่างซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ WDX กับ AAS

5.5.1 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานถ่านไฟฉายในตารางที่ 5.12 ได้นำไปตรวจสอบกับสถิติทดสอบโดย t-test ได้ค่าแสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 แสดงค่าการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศโดยใช้สถิติทดสอบ t-test

เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่างที่วิเคราะห์เปรียบเทียบได้	ค่าสถิติทดสอบ (t-test)	ผลการทดสอบ
Pu-238 AAS	15	2.014	ทัดเทียมกัน
Am-241 AAS	14	2.640	ทัดเทียมกัน
Cd-109 AAS	13	-1.726	ทัดเทียมกัน
WDX AAS	28	0.694	ทัดเทียมกัน
Pu-238 WDX	15	1.624	ทัดเทียมกัน
Pu-238 Am-241	15	-1.861	ทัดเทียมกัน

ตารางที่ 5.13 (ต่อ)

เทคนิคการวิเคราะห์ ตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่างที่ วิเคราะห์เปรียบเทียบได้	ค่าสถิติทดสอบ (t-test)	ผลการทดสอบ
Cd-109 WDX	15	-2.776	หัดเทียบกัน

สถิติทดสอบ t-test มีระดับนัยสำคัญ 0.01

5.5.2 ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบบ EDX โดย Pu-238 กับวิธี AAS ได้ค่าสถิติทดสอบ t-test เท่ากับ 2.014 ค่าแสดงในตารางที่ 5.13 ซึ่งเมื่อนำไปตรวจสอบกับค่า t จากตารางการแจกแจง t แล้วพบว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศทั้ง 2 วิธีนี้ ให้ผลหัดเทียบกัน ดังในรูปที่ 5.10

5.5.3 ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบบ EDX โดย Am-241 กับวิธี AAS ได้ค่าสถิติทดสอบ t-test เท่ากับ 2.640 ค่าแสดงในตารางที่ 5.13 ซึ่งเมื่อนำไปตรวจสอบกับค่า t จากตารางการแจกแจง t แล้วพบว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศทั้ง 2 วิธีนี้ ให้ผลหัดเทียบกัน ดังในรูปที่ 5.11

5.5.4 ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบบ EDX โดย Cd-109 กับวิธี AAS ได้ค่าสถิติทดสอบ t-test เท่ากับ -1.726 ค่าแสดงในตารางที่ 5.13 ซึ่งเมื่อนำไปตรวจสอบกับค่า t จากตารางการแจกแจง t แล้วพบว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศทั้ง 2 วิธีนี้ ให้ผลหัดเทียบกัน ดังในรูปที่ 5.12

5.5.5 ผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเปรียบเทียบระหว่างการใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบบ WDX กับใช้ AAS ได้ค่าสถิติทดสอบ  $t$ -test เท่ากับ 0.694 ค่าแสดงในตารางที่ 5.13 ซึ่งเมื่อนำไปตรวจสอบกับค่า  $t$  จากตารางการแจกแจง  $t$  แล้วพบว่าผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศทั้ง 2 วิธีนี้ ให้ผลทัดเทียมกันดังในรูปที่ 5.13

5.5.6 จากตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบค่า  $t$  แล้วพบว่าผลการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ทั้งแบบระบบ EDX โดยใช้ Pu-238, Am-241 และ Cd-109 รวมทั้งแบบระบบ WDX ให้ผลการวิเคราะห์ทัดเทียมกัน

5.6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศจากตัวอย่างที่เก็บโดยใช้กระดาศกรองต่างชนิดกันเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดกับตัวบุคคลในบริเวณเดียวกัน และเวลาเดียวกัน

5.6.1 จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบทางสถิติโดยใช้  $t$ -test แล้วพบว่าเมื่อเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้กระดาศกรองต่างชนิดกัน เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณเดียวกัน และเวลาเดียวกันโดยเก็บตัวอย่างแบบติดกับตัวบุคคลในแผนกผสม เมื่อนำตัวอย่างที่เก็บมาวิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ แบบระบบ WDX และวิธี AAS ได้ค่า  $t$  เท่ากับ 0.091 และ 0.034 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 5.14 นั้น ผลการวิเคราะห์จะได้ว่าเมื่อเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้กระดาศกรองต่างชนิดกัน จะให้ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของแมงกานีสทัดเทียมกัน

ตารางที่ 5.14 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศจากตัวอย่างที่เก็บโดยใช้กระดาดทรงต่างชนิดกันเก็บตัวอย่างแบบติดกับตัวบุคคลในบริเวณเดียวกัน และเวลาเดียวกัน

เทคนิคการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่เก็บคู่กัน	ความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศ (มก./ลบ.ม.)				
	Pu-238	Am-241	Cd-109	WDX	AAS
15	น	น	น	1.22	0.96
24	น	น	น	0.42	0.92
16	1.57	2.49	น	1.08	0.82
25	2.36	2.05	2.16	3.01	1.99
17	4.51	4.52	2.30	3.42	2.36
26	น	2.51	2.03	2.91	2.28
18	11.96	10.54	7.60	11.84	6.32
27	7.24	6.40	7.17	6.40	4.78
19	น	น	น	1.16	0.79
28	น	น	น	0.91	1.04
20	20.29	22.30	11.82	19.66	16.34
29	11.67	15.79	11.50	15.94	8.80

ตารางที่ 5.14 (ต่อ)

เทคนิคการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่เก็บคู่กัน	ความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศ (มก./ลบ.ม.)				
	Pu-238	Am-241	Cd-109	WDX	AAS
21	น	น	น	1.50	1.10
30	น	น	น	2.71	2.49
22	น	น	น	0.02	0.34
31	น	น	น	0.57	0.90
23	2.75	4.11	1.70	2.44	2.09
32	6.20	8.81	น	8.56	7.57
สถิติทดสอบ t-test	-	-	-	0.091	0.034

น. หมายถึง ค่าความเข้มข้นน้อยกว่าขีดความสามารถของการวิเคราะห์

เครื่องหมาย "-" หมายถึง ไม่ได้ทำการทดสอบทางสถิติ

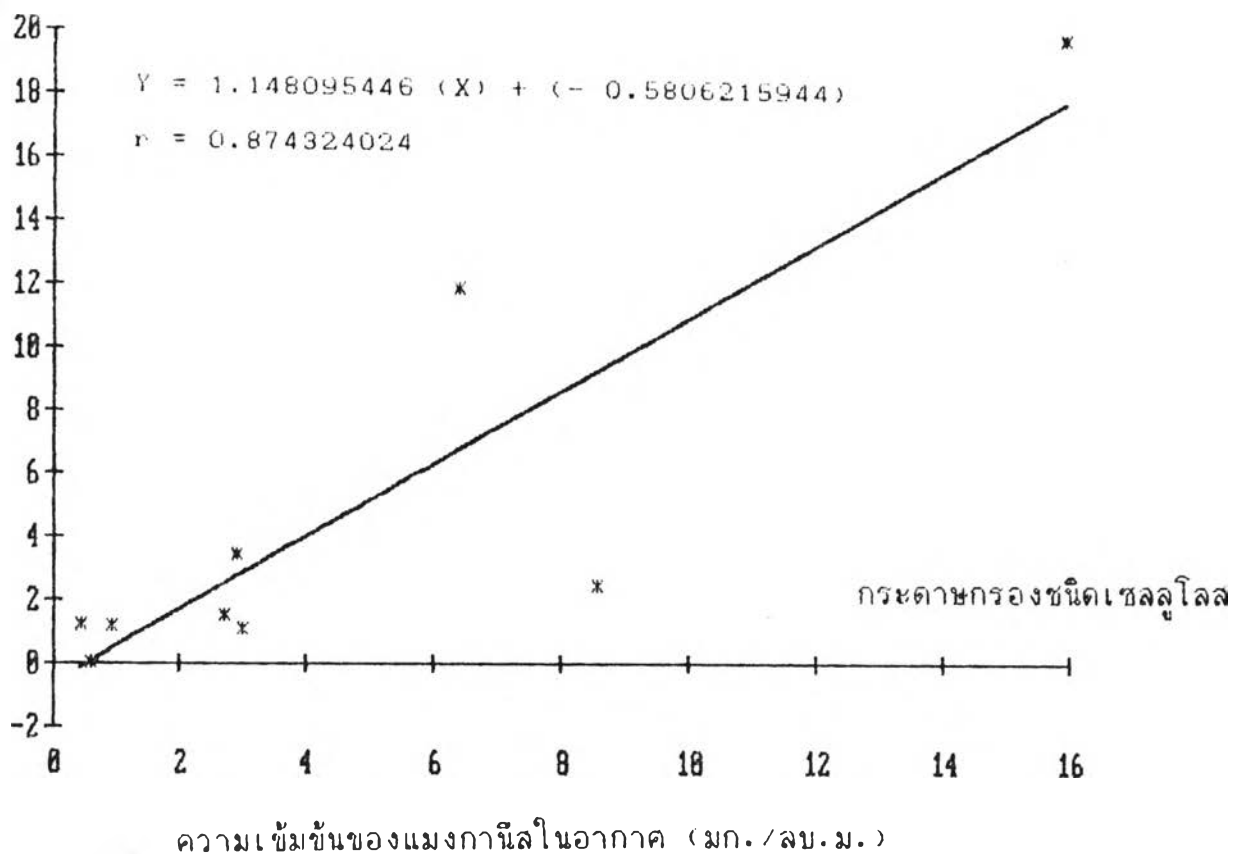
ตั้งแต่ตัวอย่างที่ 15 ถึง 23 เป็นกระดาศกรองชนิดเมมเบรน

ตั้งแต่ตัวอย่างที่ 24 ถึง 32 เป็นกระดาศกรองชนิดเซลลูโลส



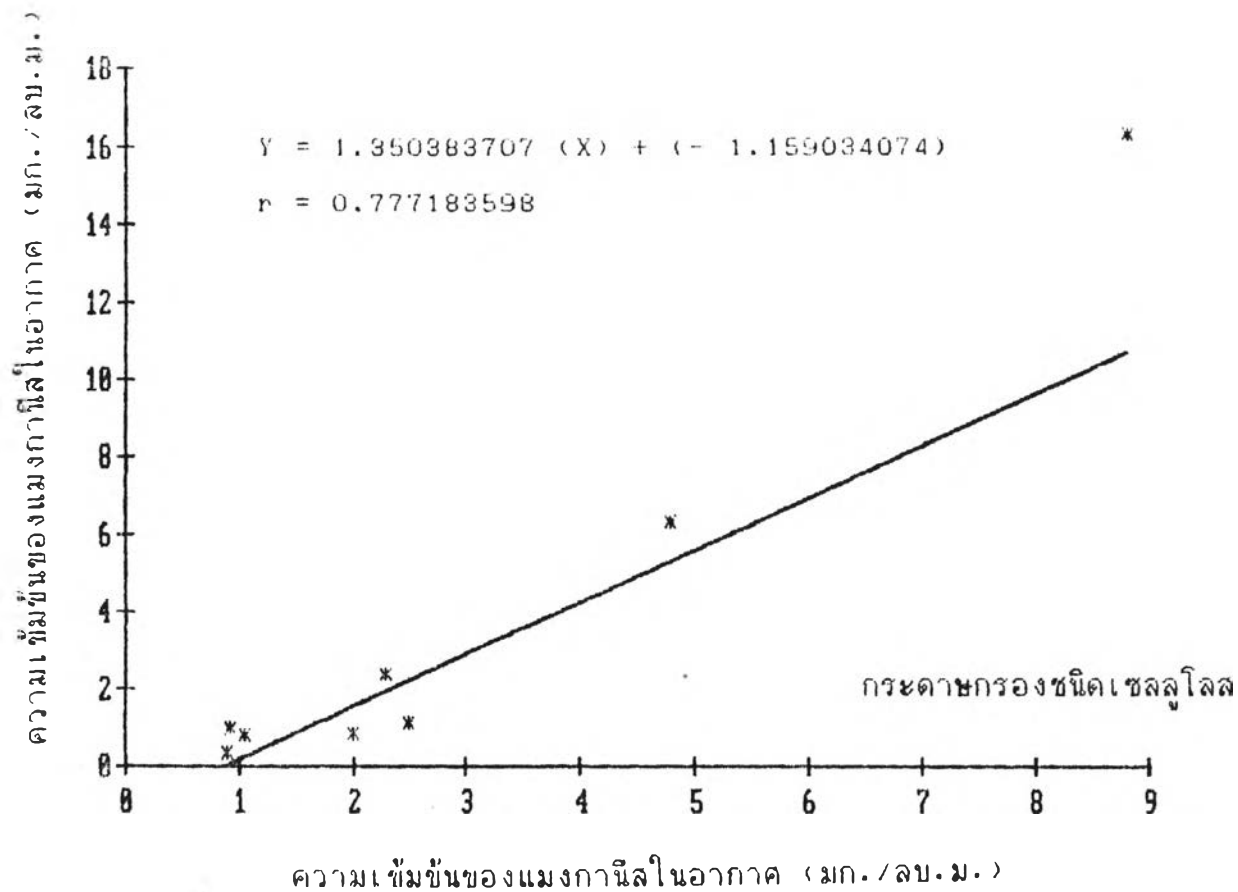
กระดาษกรองชนิดเมมเบรน

ความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศ (มก./ลบ.ม.)



รูปที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศจากตัวอย่างที่เก็บโดยใช้กระดาษกรองต่างชนิดกัน เก็บตัวอย่างอากาศแบบติดกับบุคคลในบริเวณเดียวกันและเวลาเดียวกันวิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ระบบ WDX

กระดาษกรองชนิดเมมเบรน



รูปที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของแมงกานีสในอากาศจากตัวอย่างที่เก็บโดยใช้กระดาษกรองต่างชนิดกัน เก็บตัวอย่างอากาศแบบติดกับบุคคลในบริเวณเดียวกันและเวลาเดียวกันวิเคราะห์โดย AAS

### 5.7 ผลการเปรียบเทียบค่าสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ

การวิจัยนี้ได้เตรียมสารมาตรฐานขึ้นในห้องปฏิบัติการที่ ภาควิชาชีวเคมี เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้เตรียมความเข้มข้นของแมงกานีส ตั้งแต่ 10 ถึง 1000 ไมโครกรัม เบนเคธาทรอง ทั้งแบบชนิด เมมเบรน และแบบชนิด ซิลลูโลส (whatman no.42) ส่งไปทำการวิเคราะห์ โดยวิธีอะตอมมิคแอบсорบ์ชันสเปคโตรโฟโตเมตรี (AAS) พร้อมกับตัวอย่างอากาศที่เก็บจากโรงงานถ่านไฟฉาย โดยการย่อยกระดาษทรองให้อยู่ในรูปของสารละลาย มีปริมาตร 25 มิลลิลิตรโดยปรับเทียบกับค่าสารมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจากห้องปฏิบัติการวิจัยสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 แสดงผลของการเปรียบเทียบค่าสารมาตรฐานที่วัดได้

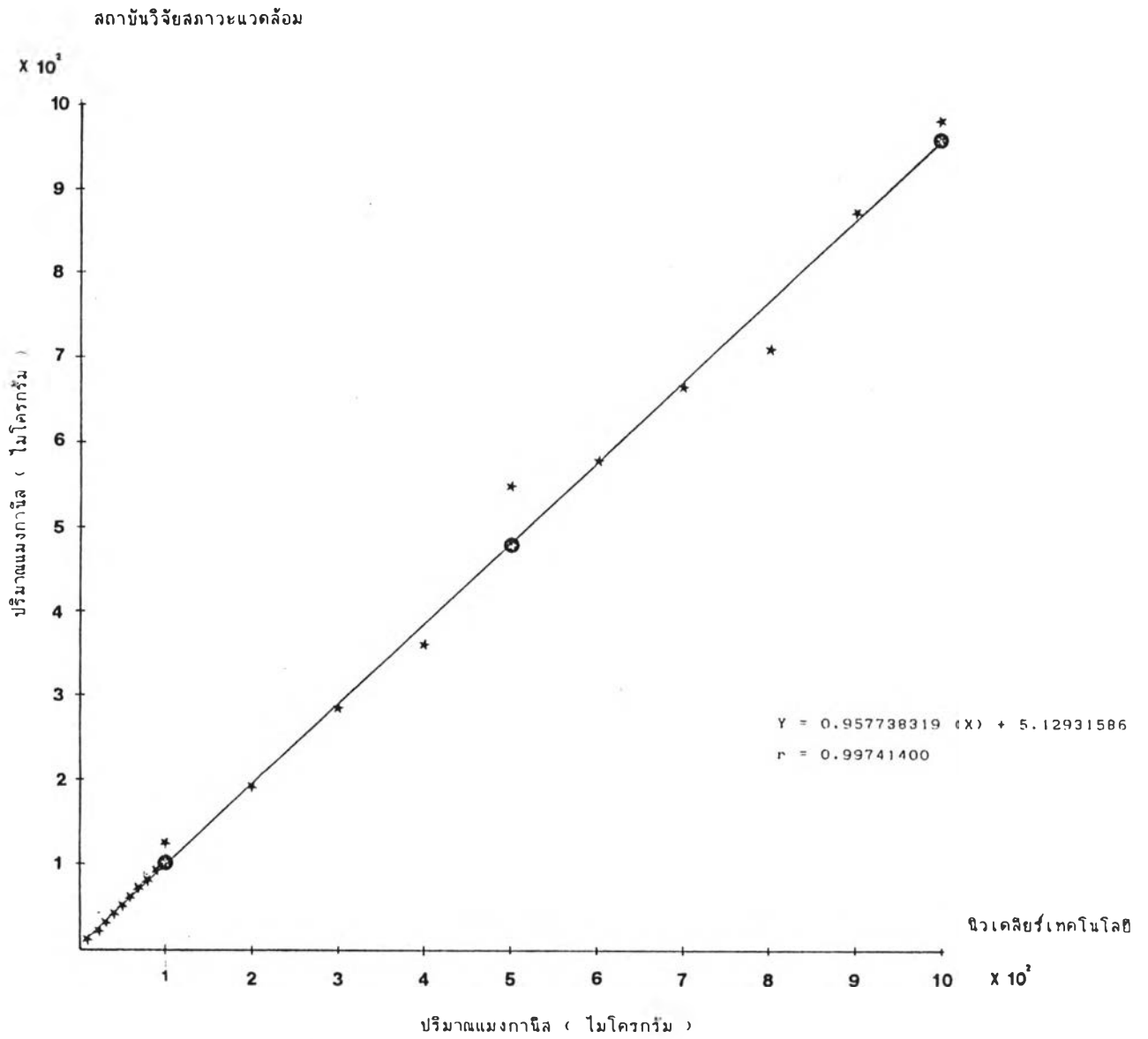
ค่าสารมาตรฐานที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาชีวเคมี เทคโนโลยี (ไมโครกรัม)	ค่าสารมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี AAS (ไมโครกรัม/มล.)	ปรับค่าโดยคิดจากปริมาตรของสารละลาย 25 ml (ไมโครกรัม)	ค่าสารมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี AAS (ไมโครกรัม/มล.)	ปรับค่าโดยคิดจากปริมาตรของสารละลาย 25 ml (ไมโครกรัม)
	(1)*	(1)*	(2)*	(2)*
10	0.50	12.50	0.49	12.25
20	0.86	21.50	0.84	21.00
30	1.28	32.00	1.27	31.75
40	1.66	41.50	1.65	41.25
50	2.08	52.00	2.06	51.50
60	2.40	60.00	2.39	59.75
70	2.81	70.25	2.80	70.00

ตารางที่ 5.15 (ต่อ)

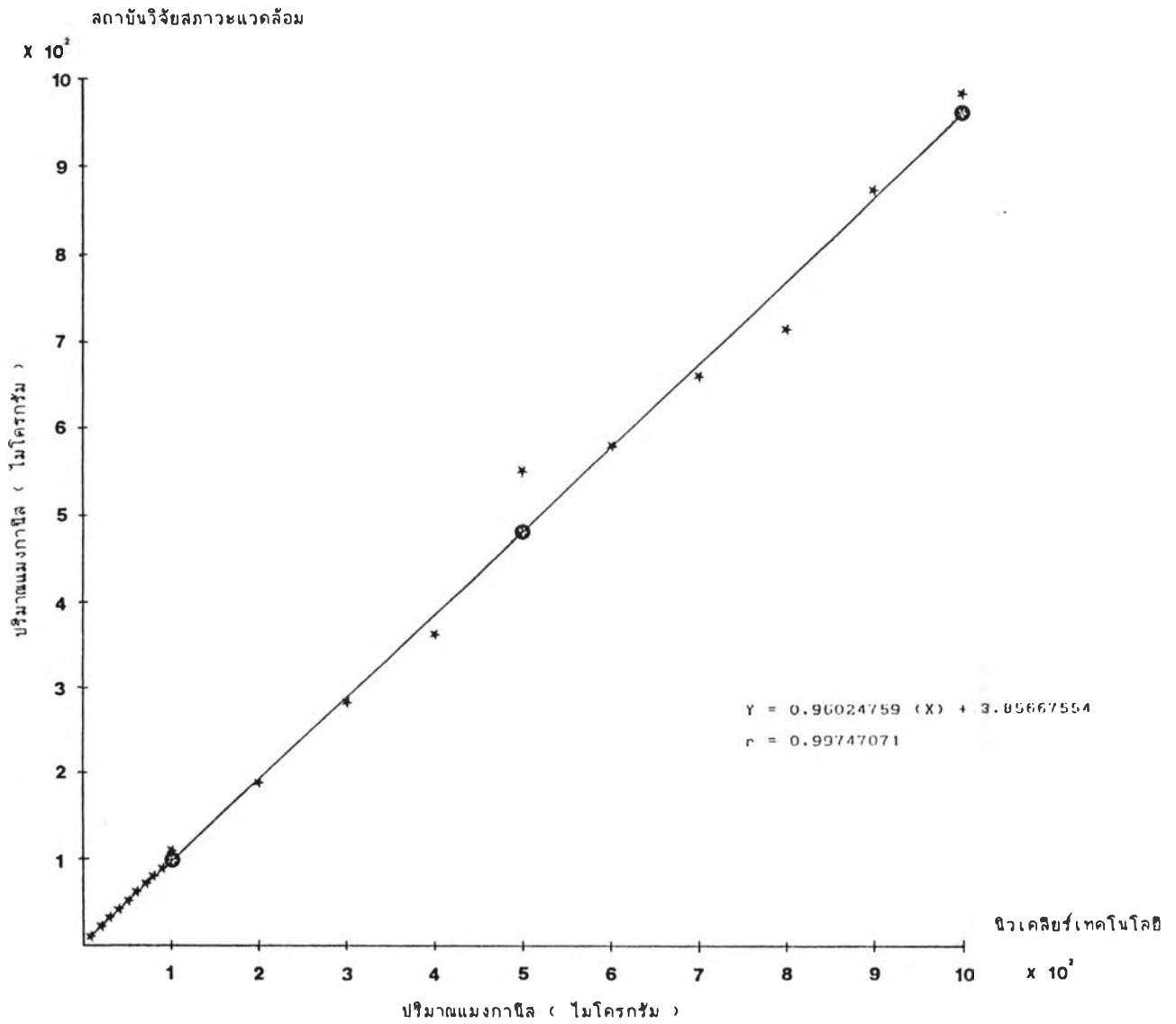
ค่าสารมาตรฐานที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี (ไมโครกรัม)	ค่าสารมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี AAS (ไมโครกรัม/มล.)	ปรับค่าโดยคิดจากปริมาตรของสารละลาย 25 ml (ไมโครกรัม)	ค่าสารมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี AAS (ไมโครกรัม/มล.)	ปรับค่าโดยคิดจากปริมาตรของสารละลาย 25 ml (ไมโครกรัม)
80	3.17	79.25	3.18	79.50
90	3.60	90.00	3.59	89.75
100	5.00	125.00	4.47	111.75
200	7.60	190.00	7.61	190.25
300	11.41	285.25	11.42	285.50
400	14.53	363.25	14.55	363.75
500	22.03	550.75	22.13	553.25
600	23.25	581.25	23.31	582.75
700	26.69	667.25	26.70	667.50
800	28.59	714.75	28.60	715.00
900	35.00	875.00	35.01	875.25
1000	39.38	984.50	39.40	985.00

(1)\* หมายถึง กระดาษกรองชนิด เมมเบรน

(2)\* หมายถึง กระดาษกรองชนิด เซลลูโลส (whatman no.42)



รูปที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าสารมาตรฐานของแอมแกนิลบนกระดาษกรองชนิดเมมเบรนจากการเตรียมในห้องปฏิบัติการภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี กับห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าสารมาตรฐานของแมงกานีสบนกระดาษกรองชนิดเซลลูโลสจากการเตรียมในห้องปฏิบัติการภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี กับห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย