เอกสารอ้างอิง

1 กิตติ จันทร์ตรี "การหาปริมาณเถ้าในลิกไนต์โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

2 ประเสริฐ ชุมรุม "ถ่านลิกไนต์ฝายเหมืองลิกไนต์ การไฟฟ้าฝายผลิตแห่งประเทศไทย" พิมพ์ที่แผนกภาพและการพิมพ์การไฟฟ้าฝายผลิตแห่งประเทศไทย (2518) : 67-68.

3 ประสพ ธงธวัช "การพัฒนาระบบวัดน้ำในถังเก็บโดยใช้รังสีแกมมา" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

4 BOYE, I.S., CLAYTON, C.G., PAGE, D., " Some Considerations Relating to the Accuracy of Measuring the Ash Content of Coal by Backscattering "Nuclear Techniques and Mineral Resources (Proc. Symp. Nienna, 1977), IAEA, Vienna (1977) : 135-165.

5 FOOKES, R.A., GRAVITIS, V.L., WATT, J.S., "Determination of Ash content of Coal by Mass Absorption Coefficient Measurement at Two X-ray Energies" IAEA-SM-216/5, 1977.

6 GLENN F. KNOLL Radiation Detection and Measurement John Wiley and Sons, New York, 1979.

7 JOHN R. LAMARSH Introduction to Nuclear Engineering Massachusetts, addition-Wesley Publishing Co., 1975.

8 MORSTON, K., WOZNIAK, J., "Hydrogen in Coal : the Feasibility of Determination by Neutron Methods" IAEA-SM-216/33, 1977.

9 ROBIN P. GARDNER and RALPH L. ELY, Jr "Radioisotope Measurment Applications in Engineering" Reinhold Publishing Corporation, New York, 1967 : P29, 318, 343-345.

10 WATT, J.S. "Determination of Ash Content of Coal On-Line on Conveyors and In-Steam in Coal Slurries" Gamma, X-Ray and Neutron Technique in the Coal Industry, 1984.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วิธีคำนวณค่า Z effective และ A effective

$$Z\ effective = \frac{\sum_{i=1}^{m} WiZi^2 / Ai}{\sum_{i=1}^{m} WiZi / Ai} \qquad \text{..... (ก.1)}$$

โดยที่ Z effective คือ เลขอะตอมยังผล

Wi คือ สัดส่วนมวล (weight fraction)

Ai คือ เลขมวลของแต่ละธาตุ

การผสมสารเคมี เพื่อให้ได้ความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับเท่ากับปริมาณเถ้าในลิกไนต์ 14 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้บอแรกซ์($Na_2B_4O_7$) 65 เปอร์เซ็นต์ผสมกับอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 35% โดยน้ำหนัก

จำนวนอะตอมของธาตุต่าง ๆ

0.65x2Na	0.65x4B	(0.65x7+0.35x3) O	0.35x2Al
1.3Na	2.6B	5.60	0.7Al

จากสมการ (ก.1) $Z(effective) = \frac{1.3x11^2+2.6x5^2+5.6x8^2+0.7x13^2}{1.3x11+2.6x5+5.6x8+0.7x13}$

$$= \frac{699}{81.2}$$

$$= 8.61$$

การคำนวณค่าเลขมวลยังผล (A effective)

$$\sqrt{A\ effective} = \frac{n1A1+n2A2+n3A3}{n1\sqrt{A1}+n2\sqrt{A2}+n3\sqrt{A3}} \qquad \text{..... (ก.2)}$$

โดยที่ n คือ จำนวนอะตอมธาตุในโมเลกุลผสม

A คือ เลขมวลของธาตุต่าง ๆ ในสารผสม

แทนค่าสมการ (ก.2) โดยที่ n กับ W มีค่าเท่ากัน

$$\sqrt{A\ effective} = \frac{1.3x22.99+2.6x10.811+5.6x15.999+0.7x26.982}{1.3x\sqrt{22.9}+2.6x\sqrt{10.811}+5.6x\sqrt{15.999}+0.7x\sqrt{26.982}}$$

$$= \frac{166.48}{40.82}$$

$$= 4.08$$

$$A\ effective = 16.63$$

หมายเหตุ เลขมวลเลขอะตอมธาตุต่าง ๆ ดูในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ค่าเลขมวลและเลขอะตอมของธาตุที่ใช้ผสม

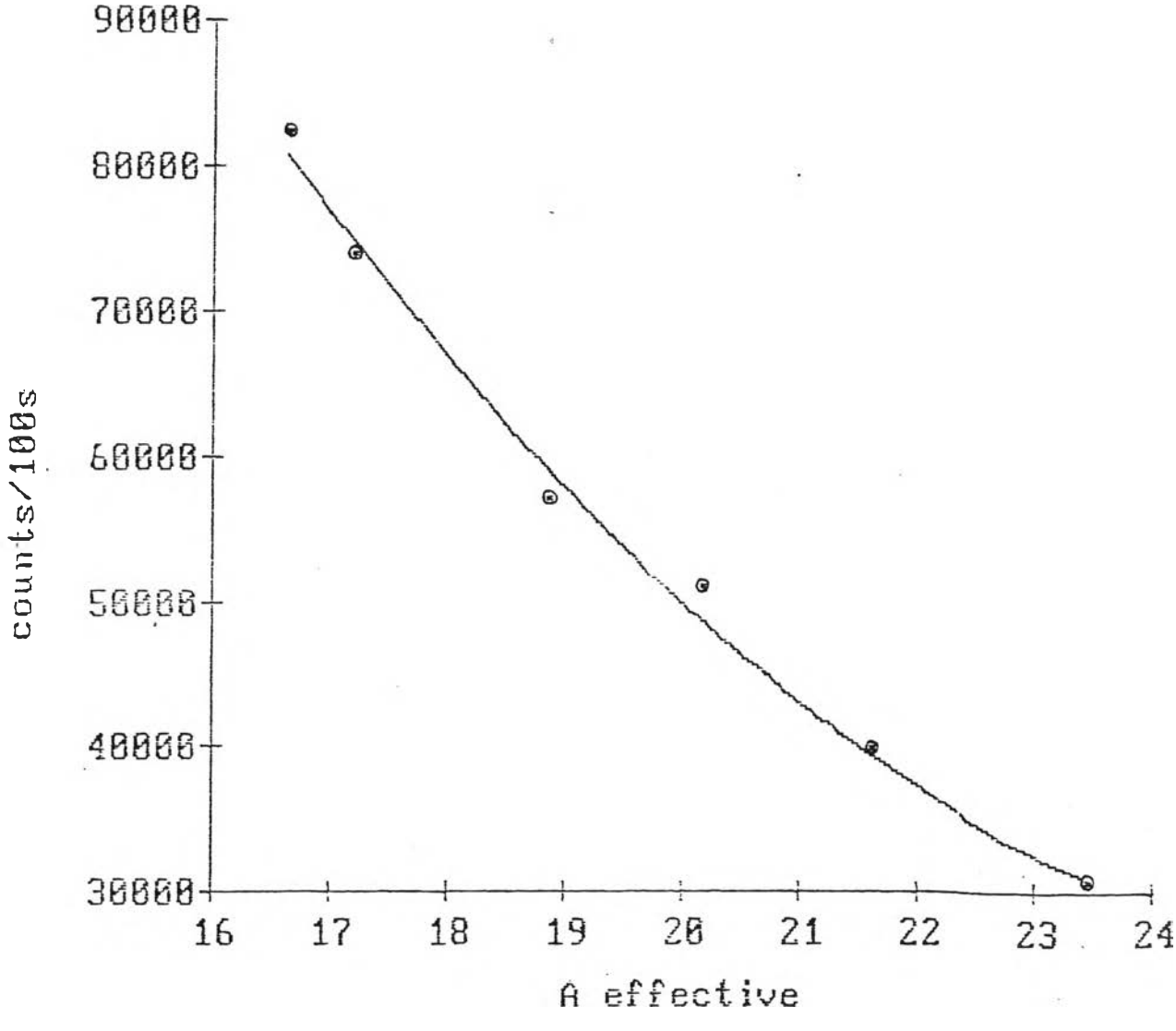
ธาตุ	เลขมวล	เลขอะตอม
H	1.008	1
B	10.811	5
O	15.999	8
Na	22.99	11
Al	26.982	13
Cl	35.453	17

ตารางที่ ก.2 การผสมสารเคมีเพื่อให้ได้ความเข้มรังสีเท่ากับปริมาณเถ้าต่าง ๆ

ปริมาณเถ้าในลิกไนต์ (เปอร์เซ็นต์)	สารประกอบที่ผสม	ปริมาณสารประกอบที่ผสม (เปอร์เซ็นต์)	สารประกอบที่ผสม	ปริมาณสารประกอบที่ผสม (เปอร์เซ็นต์
16	$Na_2B_4O_7$	50	Al_2O_3	50
23	$Na_2B_4O_7$	20	Al_2O_3	80
25	$Na_2B_4O_7$	5	Al_2O_3	95
37	NaCl	20	Al_2O_3	80
68	NaCl	50	Al_2O_3	50

ตารางที่ ก.3 ค่าเลขอะตอมยังผลและค่าเลขมวลยังผล

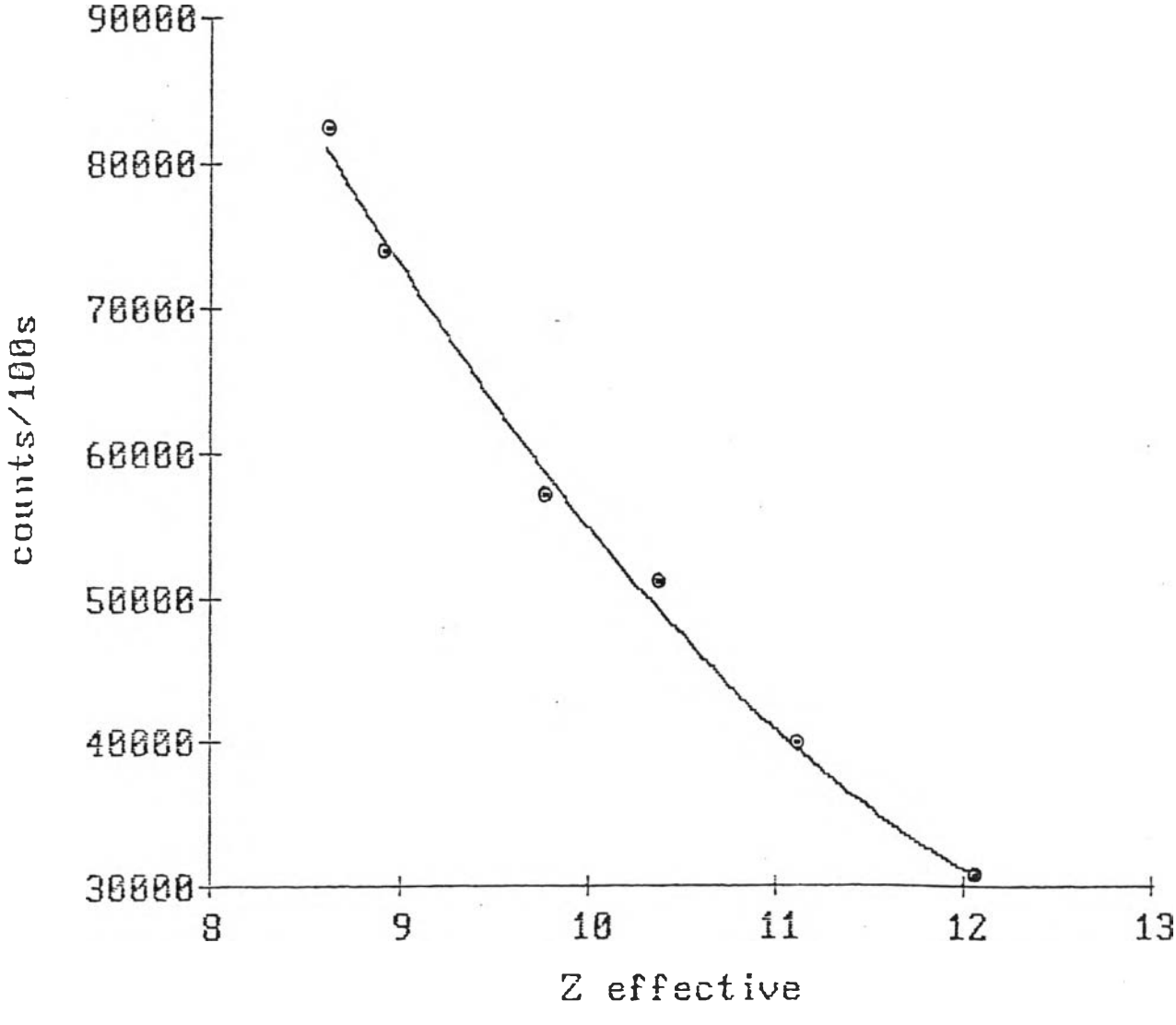
ปริมาณเถ้าในลิกไนต์ (เปอร์เซ็นต์)	เลขอะตอมยังผล (Z effective)	เลขมวลยังผล (A effective)	จำนวนนับต่อเวลา 100 วินาที
14	8.61	16.63	82130
16	8.92	17.19	73496
23	9.77	18.85	56657
25	10.36	20.17	50651
37	11.10	21.16	39732
68	12.05	23.43	30413



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขมวลยังผล (A effective) กับความเข้มรังสีเอกซ์-กระเจิงกลับ

$$y = 535.56X^2 - 28763.25X + 410838.71$$

$$r = 0.9930$$



รูปที่ ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขอะตอมยังผล (Z effective) กับความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ

$$y = 2181.06X^2 - 59675.82X + 433161.43$$

$$r = 0.9959$$

ตารางที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์หาธาตุแคลเซียมและเหล็กโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

ตัวอย่างลิกไนต์ (ลำดับที่)	ปริมาณแคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)		ปริมาณเหล็ก (เปอร์เซ็นต์)		
	วิธี EDX	วิธี WDX	วิธี EDX 1	วิธี WDX	EDX 2
1	9.02	8.08	3.43	3.87	2.25
2	5.29	6.43	3.71	3.60	2.12
3	6.47	7.28	3.20	2.91	1.63
4	5.71	7.27	3.65	4.54	2.87
5	9.45	8.39	3.99	4.09	2.94
6	9.86	10.97	3.82	3.61	2.79
7	11.25	11.69	4.90	4.46	3.69
8	8.60	8.87	4.14	4.23	3.04
9	1.67	1.52	6.97	6.65	6.04
10	9.28	9.33	5.12	4.70	3.38
11	1.70	1.69	6.24	6.57	4.71
12	4.10	4.50	4.08	4.86	4.57
13	15.22	14.72	2.79	3.40	3.46
14	14.96	14.79	3.36	3.44	2.30
15	16.12	15.24	3.20	3.19	5.64
16	14.88	14.84	3.47	3.58	3.41
17	12.89	12.61	5.55	4.40	4.65
18	12.71	13.02	5.12	4.30	4.40
19	15.67	15.48	4.34	3.21	3.49
20	-	-	-	-	3.41

ตารางที่ ก.4 (ต่อ)

ตัวอย่างลิกไนต์ (ลำดับที่)	ปริมาณแคลเซียม (เปอร์เซ็นต์)		ปริมาณเหล็ก (เปอร์เซ็นต์)		
	วิธี EDX	วิธี WDX	วิธี EDX 1	วิธี WDX	วิธี EDX 2
21	14.64	15.56	4.84	3.72	3.91
22	9.82	10.19	5.40	5.35	5.22
23	9.52	9.69	6.95	3.67	4.82
34	10.90	10.90	4.30	4.93	7.04
25	6.96	6.98	8.95	8.79	7.63
26	6.11	6.21	7.82	9.01	8.83
27	7.10	6.98	8.27	8.09	7.44
28	6.36	6.29	6.58	6.65	6.34
29	11.28	11.69	7.46	6.34	6.11
30	7.55	7.82	7.56	6.65	6.89
31	5.43	5.86	6.44	6.86	7.26
32	2.00	1.85	6.47	6.56	7.95
33	1.64	1.28	7.24	7.57	7.82
34	1.31	0.81	4.52	5.37	7.43

ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุอะลูมิเนียม สตรอนเตียม เซอร์โคเนียม และไทเทเนียม โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

ตัวอย่างลิกไนต์ (ลำดับที่)	ปริมาณธาตุ			
	Alวิธี WDX(%)	Srวิธี EDX(μg/g)	Zrวิธี EDX(μg/g)	Tiวิธี EDX(%)
1	0.90	16	37	-
2	0.87	-	-	-
3	0.95	-	-	-
4	1.12	-	-	-
5	0.67	49	-	-
6	1.12	-	-	-
7	1.45	168	14	-
8	1.97	-	-	-
9	4.13	64	-	0.12
10	1.88	82	-	-
11	3.56	59	29	0.09
12	2.80	-	-	-
13	0.86	403	46	-
14	0.89	472	91	-
15	0.43	454	-	-
16	0.80	494	48	-
17	1.08	484	-	-
18	1.02	401	27	-

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

ตัวอย่างลิกไนต์ (ลำดับที่)	ปริมาณธาตุ			
	Alวิธี WDX(%)	Srวิธี EDX(μg/g)	Zrวิธี EDX(μg/g)	Tiวิธี EDX(%)
19	0.64	497	15	-
20	-	-	-	-
21	1.04	424	-	-
22	1.96	355	-	-
23	7.16	273	8	-
24	7.33	291	-	-
25	7.30	181	-	-
26	1.21	123	-	-
27	1.44	206	59	-
28	2.17	251	49	-
29	1.57	324	84	-
30	2.81	243	97	0.05
31	3.36	102	136	0.17
32	5.61	185	77	0.14
33	6.01	117	116	0.19
34	8.09	67	129	0.24

ประวัติผู้เขียน

นายสมเกียรติ อุ่นวงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 13 เมษายน 2505 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2527