



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากวิธีการทดลองที่ได้กล่าวมา ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหิน

จากตัวอย่างถ่านหินทั้ง 10 แหล่ง จำนวน 91 ตัวอย่าง คือ แหล่งบ้านไธสง จ.ลำพูน (BH) 31 ตัวอย่าง, แหล่งบ้านปู้ จ.ลำพูน (BP) 29 ตัวอย่าง, แหล่งแม่ลอง จ.ลำพูน (ML) 8 ตัวอย่าง, แหล่งแม่ตื่น จ.ตาก (MTN) 4 ตัวอย่าง, แหล่งแม่ตึบ จ.ลำปาง (MTP) 6 ตัวอย่าง, แหล่งแม่เมาะ จ.ลำปาง (MM) 4 ตัวอย่าง, แหล่งป่าคา จ.ลำพูน (PK) 1 ตัวอย่าง, แหล่งหนองหญ้าปล้อง จ.เพชรบุรี (NYP) 6 ตัวอย่าง, แหล่งคลองห้วยเล็ก จ.กระบี่ (KVL) 1 ตัวอย่าง และแหล่งกระบี่ จ.กระบี่ (KB) 1 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่า มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 7.92 - 25.46, เถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.43 - 37.00, สารระเหยได้อยู่ในช่วงร้อยละ 28.97 - 42.98, คาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 18.87 - 48.17, ปริมาณกำมะถันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.17 - 4.09 และค่าความร้อน (สภาวะที่กึ่งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลาจนความชื้นสมดุล) อยู่ในช่วง 2,466 - 5,550 แคลอรี/กรัม นอกจากนี้เมื่อทำการแบ่งคัดตัวอย่างดังกล่าวตามมาตรฐาน ASTM D 388 ซึ่งวิธีการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข พบว่า เป็นถ่านหินคัดที่ซับบิทูมินัส เอ จำนวน 11 ตัวอย่าง, ซับบิทูมินัส บี จำนวน 52 ตัวอย่าง, ซับบิทูมินัส ซี จำนวน 26 ตัวอย่าง และลิกไนต์ เอ จำนวน 2 ตัวอย่าง จากผลการวิเคราะห์เห็นได้ว่า ถ่านหินส่วนใหญ่มีคัดที่ซับบิทูมินัส

4.2 ผลการจัดการข้อมูลผลวิเคราะห์จากการทดลอง

จากข้อมูลผลวิเคราะห์จากการทดลองพบว่า ส่วนใหญ่มีปริมาณเถ้าต่ำกว่าร้อยละ 33 ยกเว้นตัวอย่างหมายเลข 72 ซึ่งมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 37.00 จึงทำการตัดออก และเมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์พบว่าส่วนใหญ่มีคัดที่ซับบิทูมินัส จึงทำการตัดตัวอย่างหมายเลข 71 ซึ่งมีคัดที่ลิกไนต์ เอ ออกด้วย ดังนั้นข้อมูลผลวิเคราะห์จึงมีเฉพาะคัดที่ซับบิทูมินัสจำนวน 89 ข้อมูล ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลวิเคราะห์แบบประมาณที่ได้จากข้อมูลเหล่านี้ก็จะ เป็นความสัมพันธ์ของถ่านหินคัดที่ซับบิทูมินัสโดยตรง

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างถ่านหิน

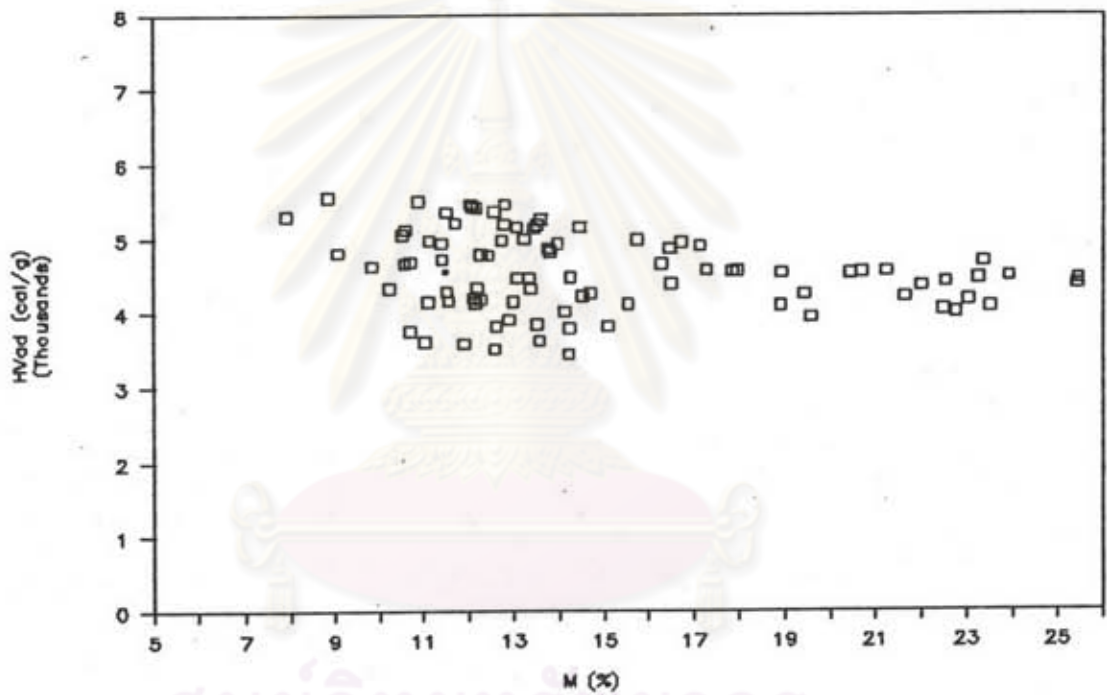
Sample No.	M (%)	A (%)	VM (%)	FC (%)	S (%)	HVad (cal/g)	Rank	Source
1	12.80	3.43	42.98	40.79	0.40	5,452	subB	BH
2	12.18	3.82	41.78	42.22	0.54	5,412	subB	BH
3	12.55	4.92	41.95	40.58	0.40	5,358	subB	BH
4	13.58	5.45	41.76	39.21	1.08	5,246	subB	BH
5	16.73	5.46	40.19	37.62	1.00	4,939	subC	BH
6	14.46	6.51	40.18	38.85	1.16	5,148	subB	BH
7	13.43	6.70	41.23	38.64	1.20	5,130	subB	BH
8	15.76	6.75	40.24	37.25	1.78	4,974	subB	BH
9	13.05	6.96	41.09	38.90	1.16	5,150	subB	BH
10	20.72	8.29	37.08	33.91	0.97	4,550	subC	BH
11	10.54	10.53	40.95	37.98	1.36	5,049	subB	BH
12	13.76	11.07	39.66	35.51	1.29	4,863	subB	BH
13	13.79	11.26	39.23	35.72	0.75	4,818	subB	BH
14	23.04	11.30	34.56	31.10	1.39	4,171	subC	BH
15	17.87	11.43	36.58	34.12	0.56	4,558	subC	BH
16	11.13	12.12	39.94	36.81	1.03	4,973	subB	BH
17	10.60	12.58	39.45	37.37	1.68	5,112	subA	BH
18	12.43	12.59	40.73	34.25	1.14	4,769	subB	BH
19	13.80	12.96	33.19	40.05	0.48	4,820	subB	BH
20	19.44	13.45	35.11	32.00	0.72	4,251	subC	BH
21	16.51	15.04	35.83	32.62	1.32	4,384	subC	BH
22	11.41	15.81	38.28	34.50	1.07	4,713	subB	BH
23	10.71	16.78	38.05	34.46	1.58	4,679	subB	BH
24	14.69	18.28	36.62	30.41	1.57	4,257	subB	BH
25	12.20	20.95	36.55	30.30	0.75	4,340	subB	BH
26	11.53	21.18	36.67	30.62	1.20	4,285	subB	BH
27	12.27	22.19	34.78	30.76	0.90	4,179	subB	BH
28	12.16	23.16	35.32	29.36	0.76	4,129	subB	BH
29	12.13	23.26	33.99	30.62	1.14	4,193	subB	BH
30	11.12	23.77	34.41	30.70	0.98	4,151	subB	BH
31	11.91	31.83	29.41	26.85	1.38	3,583	subB	BH
32	23.36	4.89	35.12	36.63	1.63	4,681	subC	BP
33	25.46	5.60	35.52	33.33	1.59	4,443	subC	BP
34	13.50	5.67	41.27	39.56	1.14	5,174	subB	BP
35	11.52	5.95	42.71	39.82	2.96	5,345	subB	BP
36	17.15	6.03	39.37	37.45	1.80	4,898	subC	BP
37	25.43	6.74	34.50	33.33	1.60	4,376	subC	BP
38	23.93	6.75	34.40	34.92	1.64	4,481	subC	BP
39	23.27	7.09	36.19	33.45	1.37	4,453	subC	BP
40	12.77	7.65	40.01	39.57	1.43	5,184	subB	BP
41	21.26	8.72	34.66	35.36	1.34	4,555	subC	BP
42	13.22	9.11	39.67	38.00	1.73	4,991	subB	BP
43	22.55	9.38	34.15	33.92	1.26	4,410	subC	BP
44	13.96	9.43	37.27	39.33	3.22	4,923	subB	BP
45	12.73	9.74	39.52	38.01	1.67	4,973	subB	BP
46	20.47	9.98	34.42	35.10	2.29	4,528	subC	BP

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างถ่านหิน (ต่อ)

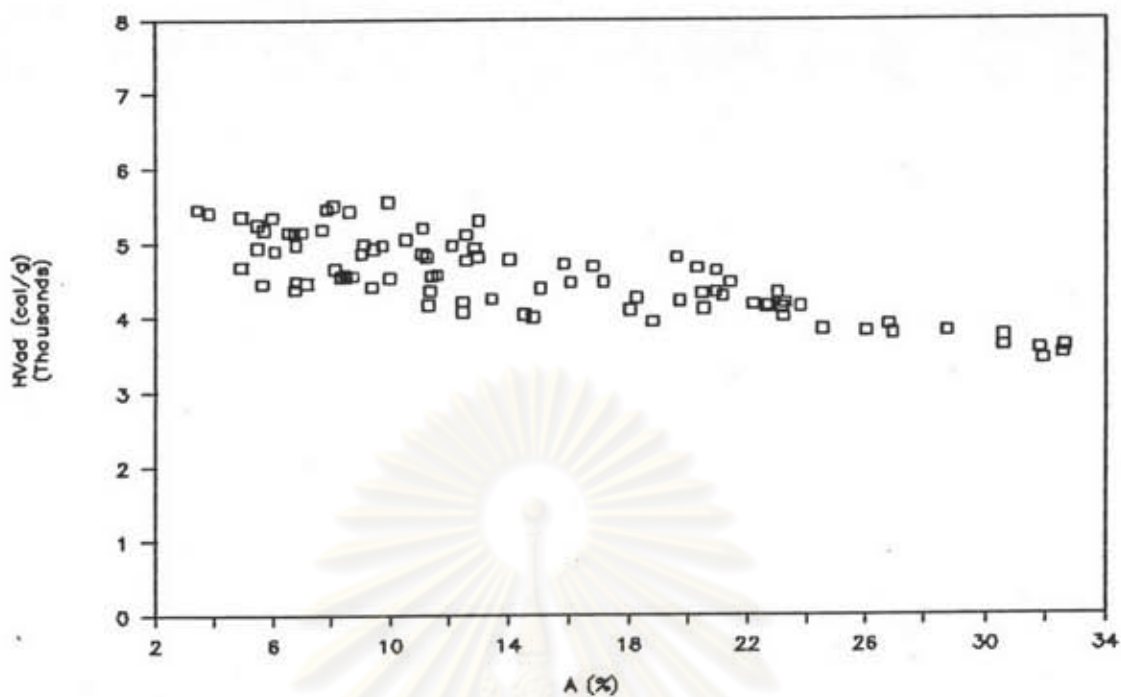
Sample No.	M (%)	A (%)	VM (%)	FC (%)	S (%)	HVad (cal/g)	Rank	Source
47	22.03	11.35	35.52	33.10	1.58	4,355	subC	BP
48	23.53	12.47	33.53	30.47	2.05	4,080	subC	BP
49	21.67	12.49	33.10	32.74	2.04	4,213	subC	BP
50	22.50	14.53	31.14	31.83	1.54	4,039	subC	BP
51	22.78	14.80	32.18	30.24	1.51	4,004	subC	BP
52	18.93	18.04	32.15	30.88	1.82	4,093	subC	BP
53	19.60	18.83	30.68	30.89	1.65	3,947	subC	BP
54	15.55	20.55	33.39	30.51	1.80	4,119	subB	BP
55	13.33	21.42	35.10	30.15	1.17	4,467	subA	BP
56	13.51	24.54	42.44	19.51	1.99	3,843	subB	BP
57	15.11	26.00	32.28	26.61	1.01	3,818	subB	BP
58	14.22	26.92	30.55	28.31	1.34	3,793	subB	BP
59	14.21	31.94	30.61	23.25	2.63	3,443	subB	BP
60	11.05	32.64	30.82	25.49	0.87	3,608	subB	BP
61	16.30	8.12	39.91	35.67	2.40	4,653	subC	KB
62	13.06	16.04	37.13	33.77	4.09	4,461	subB	KVL
63	12.06	7.84	42.47	37.63	0.27	5,458	subA	ML
64	10.90	8.04	42.02	39.03	0.27	5,500	subA	ML
65	12.08	8.61	42.17	37.14	0.26	5,426	subA	ML
66	16.47	9.01	37.11	37.41	1.88	4,857	subB	ML
67	11.71	11.12	40.66	36.51	0.21	5,200	subA	ML
68	17.29	11.61	35.41	35.69	1.39	4,572	subC	ML
69	11.40	12.85	35.24	40.51	1.13	4,929	subB	ML
70	12.27	14.04	34.78	38.91	1.15	4,781	subB	ML
71	14.50	20.77	36.38	28.35	1.38	3,480	ligA	MM
72	15.16	37.00	28.97	18.87	1.01	2,466	ligA	MM
73	18.94	8.52	36.53	36.01	1.04	4,537	subC	MM
74	17.96	8.46	35.82	37.76	1.06	4,563	subC	MM
75	7.92	12.99	30.92	48.17	0.17	5,300	subA	MTN
76	9.09	19.64	31.06	40.21	0.96	4,804	subA	MTN
77	10.58	20.33	35.24	33.85	0.82	4,661	subA	MTN
78	11.56	22.69	40.76	24.99	1.85	4,160	subB	MTN
79	14.53	19.73	33.69	32.05	0.57	4,226	subB	MTP
80	13.36	20.47	33.31	32.86	0.56	4,323	subB	MTP
81	12.98	22.64	32.82	31.56	0.61	4,153	subB	MTP
82	12.89	26.78	33.47	26.86	0.88	3,904	subB	MTP
83	13.55	30.59	31.48	24.38	0.89	3,621	subB	MTP
84	12.58	32.60	30.47	24.35	0.78	3,508	subB	MTP
85	14.25	17.14	34.18	34.43	2.24	4,476	subB	NYP
86	9.83	20.95	35.13	34.09	1.60	4,631	subA	NYP
87	10.24	23.00	33.93	32.83	2.76	4,326	subB	NYP
88	14.11	23.20	31.15	31.54	1.70	4,018	subB	NYP
89	12.62	28.74	29.03	29.61	1.20	3,817	subB	NYP
90	10.70	30.59	36.52	22.19	1.32	3,759	subB	NYP
91	8.85	9.91	39.83	41.41	0.93	5,550	subA	PK

4.3 ผลการหารูปแบบความสัมพันธ์และการทดสอบความสัมพันธ์

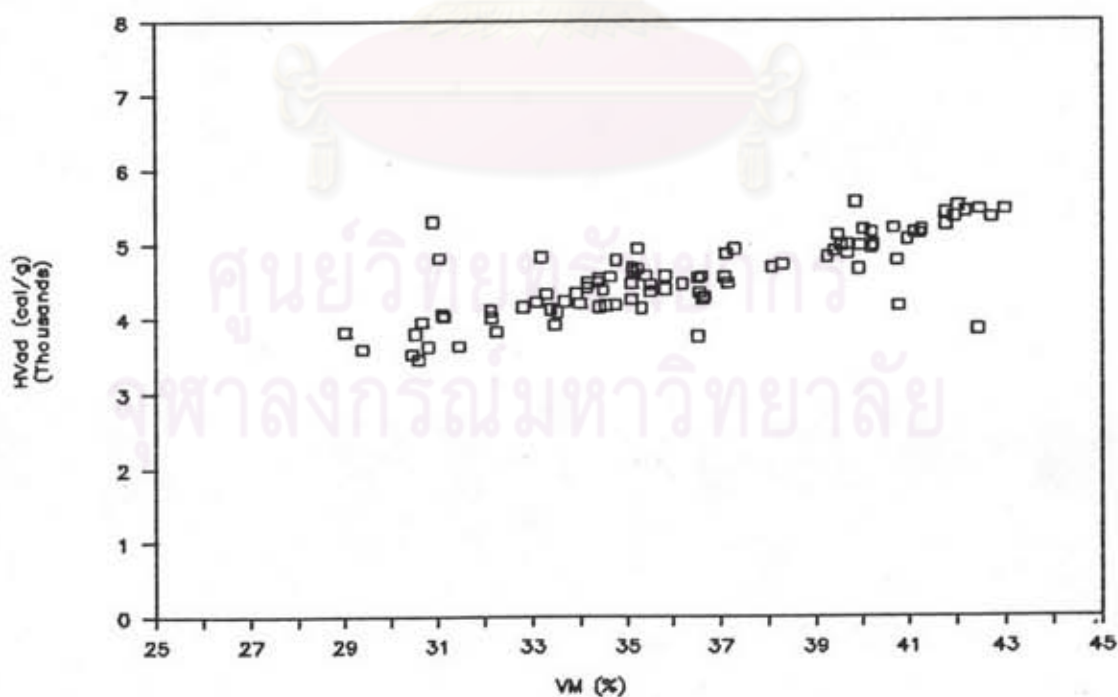
เมื่อนำข้อมูลผลวิเคราะห์จากการทดลองมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลวิเคราะห์แบบประมาณแต่ละตัว กล่าวคือ นำค่าความร้อนมาสร้างสัมพันธ์กับร้อยละความชื้น, ร้อยละเถ้า, ร้อยละสารระเหยได้ และร้อยละคาร์บอนคงตัว ดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ



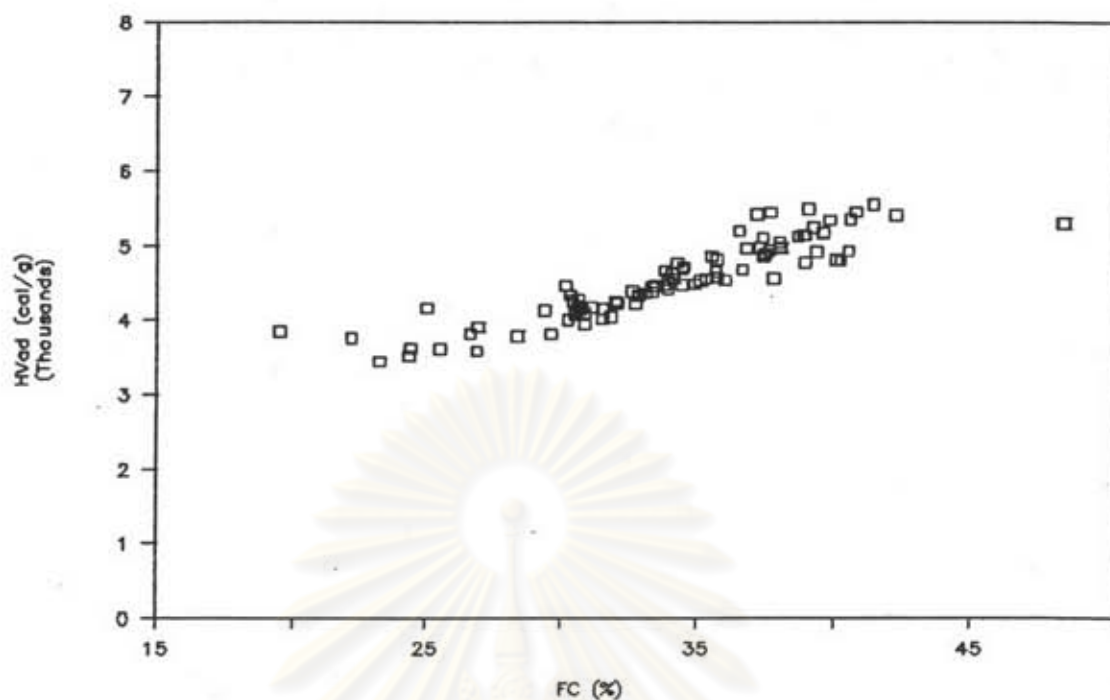
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละความชื้น (สภาวะที่ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละไฉ่ (สภาวะที่ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละสารระเหยได้ (สภาวะที่ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละคาร์บอนคงตัว (สภาวะที่ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)

จากรูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละความชื้นมีลักษณะดังกล่าว อาจเนื่องมาจากในการผึ่งตัวอย่างไว้เพื่อให้ความชื้นสมดุล สภาวะอากาศจะมีผลต่อปริมาณความชื้น ในช่วงที่ทำการทดลองได้ผึ่งตัวอย่างไว้ตามสภาวะอากาศที่แตกต่างกัน ตามวันเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวควรมีแนวโน้มเป็นส่วนผกผันกัน กล่าวคือ ความร้อนจะลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากความชื้นจัดเป็นส่วนที่ไม่มีคุณค่าแต่อย่างใด หากปริมาณความชื้นมากก็จะทำให้ส่วนที่เผาไหม้ได้มีปริมาณลดลง ซึ่งจะทำให้ค่าความร้อนลดลงด้วย

จากรูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละเถ้ามีแนวโน้มเป็นส่วนผกผันกัน กล่าวคือ ค่าความร้อนจะลดลงเมื่อปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้น และความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าก็จัดเป็นส่วนที่ไม่มีคุณค่าแต่อย่างใด เช่นเดียวกับความชื้น ยิ่งปริมาณเถ้ามากก็จะทำให้ส่วนที่เผาไหม้ได้หรือส่วนที่เป็นถ่านหินบริสุทธิ์ลดลง ซึ่งส่วนที่เผาไหม้ได้นี้เป็นส่วนที่ให้ความร้อน

จากรูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละสารระเหยได้ มีแนวโน้มเป็นปฏิภาคโดยตรง กล่าวคือ ค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารระเหยได้เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นเช่นกัน เนื่องจากสารระเหยได้เป็นส่วนที่เผาไหม้ได้ ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ความร้อน จึงทำให้ได้ความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าว

จากรูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละคาร์บอนคงตัวมีลักษณะเช่นเดียวกับสารระเหยได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามเหตุผลเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาความชื้นจะเห็นได้ว่า ความชื้นของความสัมพันธ์รูปที่ 4.4 จะมากกว่าของรูปที่ 4.3 ดังนั้นปริมาณคาร์บอนคงตัวจะมีผลต่อค่าความร้อนมากกว่าปริมาณสารระเหยได้เมื่อปริมาณทั้งสองมีค่าเท่ากัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ที่ได้กล่าวมา พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลวิเคราะห์แบบปริมาณแต่ละตัว มีลักษณะเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ดังนั้นรูปแบบความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวจึงเขียนได้เป็น

$$HV_{nd} = a_1M + a_2A + a_3VM + a_4FC \quad (4.1)$$

- เมื่อ HV_{nd} คือ ค่าความร้อน มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม (สภาวะที่กึ่งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)
- M คือ ร้อยละความชื้น (สภาวะที่กึ่งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)
- A คือ ร้อยละเถ้า (สภาวะที่กึ่งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)
- VM คือ ร้อยละสารระเหยได้ (สภาวะที่กึ่งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)
- FC คือ ร้อยละคาร์บอนคงตัว (สภาวะที่กึ่งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)
- a_1, a_2, a_3 และ a_4 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมความชื้น, เถ้า, สารระเหยได้ และคาร์บอนคงตัวตามลำดับ มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม/เปอร์เซ็นต์

ใช้หลักการของ Multiple Linear Regression กับข้อมูลผลวิเคราะห์จากการทดลองทั้ง 89 ข้อมูล ได้ความสัมพันธ์เป็น

$$HV_{nd} = -7.65M + 0.50A + 59.96VM + 72.91FC \quad (4.2)$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.9724$ เมื่อนำสมการ (4.2) ไปหาค่าความคลาดเคลื่อน (% err) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ค ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 1.27 %

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์
จากการทดลอง โดยสมการ (4.2)

Sample No.	Rank	Source	HVexp (cal/g)	HVcal (cal/g)	Z err (%)	HVexp-HVcal (cal/g)
1	subB	BH	5,452	5,455	-0.06	-3
2	subB	BH	5,412	5,492	-1.48	-80
3	subB	BH	5,358	5,380	-0.41	-22
4	subB	BH	5,246	5,262	-0.30	-16
5	subC	BH	4,939	5,027	-1.78	-88
6	subB	BH	5,148	5,134	0.27	14
7	subB	BH	5,130	5,190	-1.17	-60
8	subB	BH	4,974	5,011	-0.74	-37
9	subB	BH	5,150	5,204	-1.05	-54
10	subC	BH	4,550	4,541	0.20	9
11	subB	BH	5,049	5,149	-1.98	-100
12	subB	BH	4,863	4,867	-0.08	-4
13	subB	BH	4,818	4,857	-0.81	-39
14	subC	BH	4,171	4,169	0.05	2
15	subC	BH	4,558	4,550	0.18	8
16	subB	BH	4,973	5,000	-0.54	-27
17	subA	BH	5,112	5,015	1.90	97
18	subB	BH	4,769	4,851	-1.72	-82
19	subB	BH	4,820	4,811	0.19	9
20	subC	BH	4,251	4,296	-1.06	-45
21	subC	BH	4,384	4,408	-0.55	-24
22	subB	BH	4,713	4,731	-0.38	-18
23	subB	BH	4,679	4,720	-0.88	-41
24	subB	BH	4,257	4,310	-1.25	-53
25	subB	BH	4,340	4,318	0.51	22
26	subB	BH	4,285	4,354	-1.61	-69
27	subB	BH	4,179	4,245	-1.58	-66
28	subB	BH	4,129	4,177	-1.16	-48
29	subB	BH	4,193	4,189	0.10	4
30	subB	BH	4,151	4,228	-1.85	-77
31	subB	BH	3,583	3,646	-1.76	-63
32	subC	BP	4,681	4,600	1.73	81
33	subC	BP	4,443	4,368	1.69	75
34	subB	BP	5,174	5,258	-1.62	-84
35	subB	BP	5,345	5,379	-0.64	-34
36	subC	BP	4,898	4,963	-1.33	-65
37	subC	BP	4,376	4,308	1.55	68
38	subC	BP	4,481	4,429	1.16	52
39	subC	BP	4,453	4,434	0.43	19
40	subB	BP	5,184	5,190	-0.12	-6
41	subC	BP	4,555	4,498	1.25	57
42	subB	BP	4,991	5,053	-1.24	-62
43	subC	BP	4,410	4,353	1.29	57
44	subB	BP	4,923	5,000	-1.56	-77
45	subB	BP	4,973	5,048	-1.51	-75
46	subC	BP	4,528	4,471	1.26	57

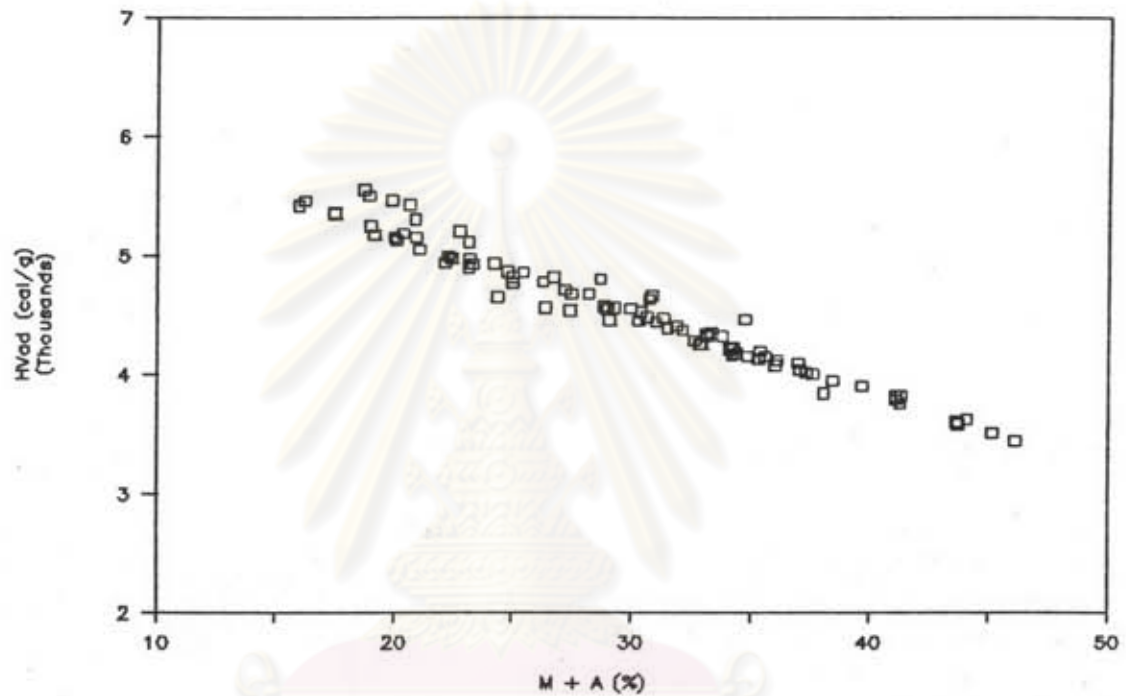
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์
จากการทดลอง โดยสมการ (4.2) (ต่อ)

Sample No.	Rank	Source	HVexp (cal/g)	HVcal (cal/g)	% err (%)	HVexp-HVcal (cal/g)
47	subC	BP	4,355	4,380	-0.57	-25
48	subC	BP	4,080	4,058	0.54	22
49	subC	BP	4,213	4,212	0.02	1
50	subC	BP	4,039	4,023	0.40	16
51	subC	BP	4,004	3,967	0.92	37
52	subC	BP	4,093	4,043	1.22	50
53	subC	BP	3,947	3,951	-0.10	-4
54	subB	BP	4,119	4,118	0.02	1
55	subA	BP	4,467	4,212	5.71	255
56	subB	BP	3,843	3,876	-0.86	-33
57	subB	BP	3,818	3,773	1.18	45
58	subB	BP	3,793	3,801	-0.21	-8
59	subB	BP	3,443	3,438	0.15	5
60	subB	BP	3,608	3,638	-0.83	-30
61	subC	KB	4,653	4,873	-4.73	-220
62	subB	KVL	4,461	4,597	-3.05	-136
63	subA	ML	5,458	5,202	4.69	256
64	subA	ML	5,500	5,286	3.89	214
65	subA	ML	5,426	5,148	5.12	278
66	subB	ML	4,857	4,831	0.54	26
67	subA	ML	5,200	5,016	3.54	184
68	subC	ML	4,572	4,599	-0.59	-27
69	subB	ML	4,929	4,986	-1.16	-57
70	subB	ML	4,781	4,835	-1.13	-54
73	subC	MM	4,537	4,675	-3.04	-138
74	subC	MM	4,563	4,768	-4.49	-205
75	subA	MTN	5,300	5,312	-0.23	-12
76	subA	MTN	4,804	4,734	1.46	70
77	subA	MTN	4,661	4,510	3.24	151
78	subB	MTN	4,160	4,189	-0.70	-29
79	subB	MTP	4,226	4,256	-0.71	-30
80	subB	MTP	4,323	4,301	0.51	22
81	subB	MTP	4,153	4,181	-0.67	-28
82	subB	MTP	3,904	3,880	0.61	24
83	subB	MTP	3,621	3,577	1.22	44
84	subB	MTP	3,508	3,522	-0.40	-14
85	subB	NYP	4,476	4,459	0.38	17
86	subA	NYP	4,631	4,527	2.25	104
87	subB	NYP	4,326	4,361	-0.81	-35
88	subB	NYP	4,018	4,071	-1.32	-53
89	subB	NYP	3,817	3,817	0.00	0
90	subB	NYP	3,759	3,741	0.48	18
91	subA	PK	5,550	5,345	3.69	205

avg. 1.27

=====

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละความชื้น และร้อยละเถ้า ตามลำดับ มีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ มีแนวโน้มเป็นส่วนผกผันกันและเป็นแบบเชิงเส้น เมื่อนำผลรวมของร้อยละความชื้นกับร้อยละเถ้าสร้าง ความสัมพันธ์กับค่าความร้อน ได้ผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลรวมของร้อยละความชื้นและเถ้า

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนกับผลรวมของร้อยละความชื้นและร้อยละเถ้า มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ในรูป

$$HV_{ed} = b_1(M+A) + b_2 \quad (4.3)$$

เมื่อ HV_{ed} คือ ค่าความร้อน มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม (สถานะที่ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)

$M+A$ คือ ผลรวมของร้อยละความชื้นและร้อยละเถ้า (สถานะที่ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลานานจนความชื้นสมดุล)

b_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของผลรวมของร้อยละความชื้นและร้อยละเถ้า

มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม/ร้อยละ
และ b_2 คือ ค่าคงที่ มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม

ใช้หลักการ Linear Regression กับข้อมูลผลวิเคราะห์ทั้ง 89 ข้อมูล ได้ความ
สัมพันธ์เป็น

$$HV_{\text{std}} = -68.08(M+A) + 6572 \quad (4.4)$$

ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.9663$ เมื่อนำสมการ (4.4) ไปหาค่าความคลาดเคลื่อน และ
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ได้ผลดังตารางที่ 4.3 โดยได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 1.40 x

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์
จากการทดลอง โดยสมการ (4.4)

Sample No.	Rank	Source	M+A (%)	HVexp (cal/g)	HVcal (cal/g)	% err (%)	HVexp-HVcal (cal/g)
1	subB	BH	16.23	5,452	5,467	-0.28	-15
2	subB	BH	16.00	5,412	5,483	-1.31	-71
3	subB	BH	17.47	5,358	5,383	-0.47	-25
4	subB	BH	19.03	5,246	5,276	-0.57	-30
5	subC	BH	22.19	4,939	5,061	-2.47	-122
6	subB	BH	20.97	5,148	5,144	0.08	4
7	subB	BH	20.13	5,130	5,202	-1.40	-72
8	subB	BH	22.51	4,974	5,040	-1.33	-66
9	subB	BH	20.01	5,150	5,210	-1.17	-60
10	subC	BH	29.01	4,550	4,597	-1.03	-47
11	subB	BH	21.07	5,049	5,138	-1.76	-89
12	subB	BH	24.83	4,863	4,882	-0.39	-19
13	subB	BH	25.05	4,818	4,867	-1.02	-49
14	subC	BH	34.34	4,171	4,234	-1.51	-63
15	subC	BH	29.30	4,558	4,577	-0.42	-19
16	subB	BH	23.25	4,973	4,989	-0.32	-16
17	subA	BH	23.18	5,112	4,994	2.31	118
18	subB	BH	25.02	4,769	4,869	-2.10	-100
19	subB	BH	26.76	4,820	4,750	1.45	70
20	subC	BH	32.89	4,251	4,333	-1.93	-82
21	subC	BH	31.55	4,384	4,424	-0.91	-40
22	subB	BH	27.22	4,713	4,719	-0.13	-6
23	subB	BH	27.49	4,679	4,700	-0.45	-21
24	subB	BH	32.97	4,257	4,327	-1.64	-70
25	subB	BH	33.15	4,340	4,315	0.58	25
26	subB	BH	32.71	4,285	4,345	-1.40	-60
27	subB	BH	34.46	4,179	4,226	-1.12	-47
28	subB	BH	35.32	4,129	4,167	-0.92	-38
29	subB	BH	35.39	4,193	4,163	0.72	30

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์
จากการทดลอง โดยสมการ (4.4) (ต่อ)

Sample No.	Rank	Source	M+A (%)	HVexp (cal/g)	HVcal (cal/g)	% err (%)	HVexp-HVcal (cal/g)
30	subB	BH	34.89	4,151	4,197	-1.11	-46
31	subB	BH	43.74	3,583	3,594	-0.31	-11
32	subC	BP	28.25	4,681	4,649	0.68	32
33	subC	BP	31.06	4,443	4,457	-0.32	-14
34	subB	BP	19.17	5,174	5,267	-1.80	-93
35	subB	BP	17.47	5,345	5,383	-0.71	-38
36	subC	BP	23.18	4,898	4,994	-1.96	-96
37	subC	BP	32.17	4,376	4,382	-0.14	-6
38	subC	BP	30.68	4,481	4,483	-0.04	-2
39	subC	BP	30.36	4,453	4,505	-1.17	-52
40	subB	BP	20.42	5,184	5,182	0.04	2
41	subC	BP	29.98	4,555	4,531	0.53	24
42	subB	BP	22.33	4,991	5,052	-1.22	-61
43	subC	BP	31.93	4,410	4,398	0.27	12
44	subB	BP	23.39	4,923	4,980	-1.16	-57
45	subB	BP	22.47	4,973	5,042	-1.39	-69
46	subC	BP	30.45	4,528	4,499	0.64	29
47	subC	BP	33.38	4,355	4,299	1.29	56
48	subC	BP	36.00	4,080	4,121	-1.00	-41
49	subC	BP	34.16	4,213	4,246	-0.78	-33
50	subC	BP	37.03	4,039	4,051	-0.30	-12
51	subC	BP	37.58	4,004	4,014	-0.25	-10
52	subC	BP	36.97	4,093	4,055	0.93	38
53	subC	BP	38.43	3,947	3,956	-0.23	-9
54	subB	BP	36.10	4,119	4,114	0.12	5
55	subA	BP	34.75	4,467	4,206	5.84	261
56	subB	BP	38.05	3,843	3,982	-3.62	-139
57	subB	BP	41.11	3,818	3,773	1.18	45
58	subB	BP	41.14	3,793	3,771	0.58	22
59	subB	BP	46.15	3,443	3,430	0.38	13
60	subB	BP	43.69	3,608	3,598	0.28	10
61	subC	KB	24.42	4,653	4,909	-5.50	-256
62	subB	KVL	29.10	4,461	4,591	-2.91	-130
63	subA	ML	19.90	5,458	5,217	4.42	241
64	subA	ML	18.94	5,500	5,283	3.95	217
65	subA	ML	20.69	5,426	5,163	4.85	263
66	subB	ML	25.48	4,857	4,837	0.41	20
67	subA	ML	22.83	5,200	5,018	3.50	182
68	subC	ML	28.90	4,572	4,604	-0.70	-32
69	subB	ML	24.25	4,929	4,921	0.16	8
70	subB	ML	26.31	4,781	4,781	0.00	0
73	subC	MM	27.46	4,537	4,703	-3.66	-166
74	subC	MM	26.42	4,563	4,773	-4.60	-210
75	subA	MTN	20.91	5,300	5,148	2.87	152
76	subA	MTN	28.73	4,804	4,616	3.91	188
77	subA	MTN	30.91	4,661	4,468	4.14	193
78	subB	MTN	34.25	4,160	4,240	-1.92	-80
79	subB	MTP	34.26	4,226	4,240	-0.33	-14

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์จากการทดลอง โดยสมการ (4.4) (ต่อ)

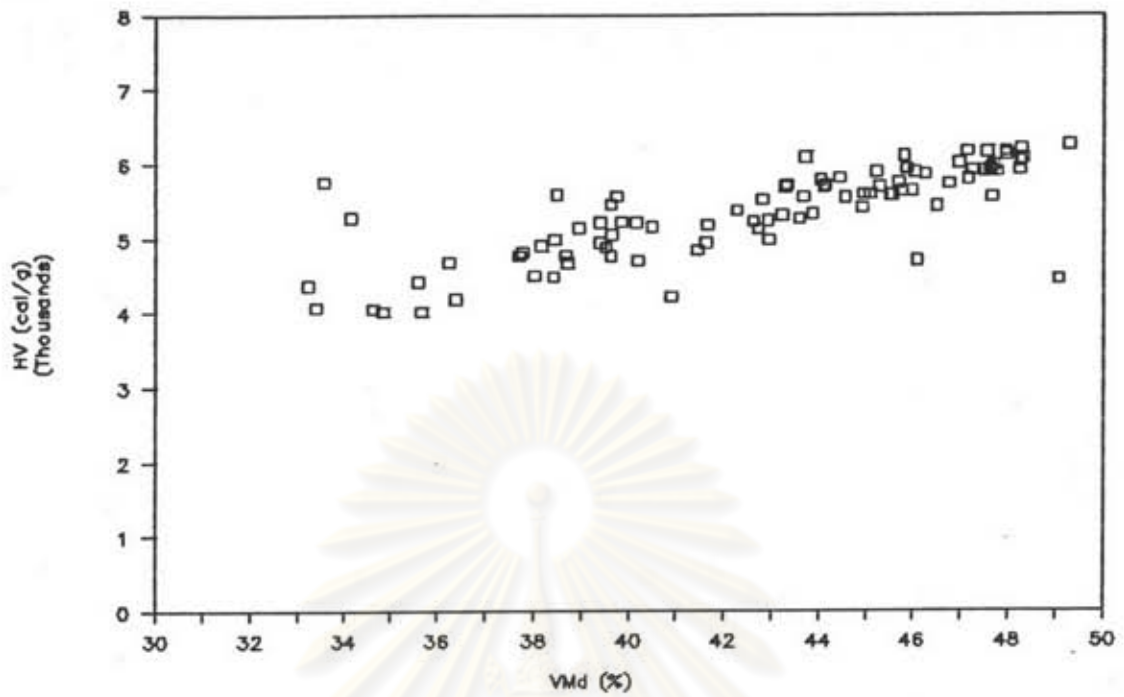
Sample No.	Rank	Source	M+A (%)	HVexp (cal/g)	HVcal (cal/g)	% err (%)	HVexp-HVcal (cal/g)
80	subB	MTP	33.83	4,323	4,269	1.25	54
81	subB	MTP	35.62	4,153	4,147	0.14	6
82	subB	MTP	39.67	3,904	3,871	0.85	33
83	subB	MTP	44.14	3,621	3,567	1.49	54
84	subB	MTP	45.18	3,508	3,496	0.34	12
85	subB	NYP	31.39	4,476	4,435	0.92	41
86	subA	NYP	30.78	4,631	4,476	3.35	155
87	subB	NYP	33.24	4,326	4,309	0.39	17
88	subB	NYP	37.31	4,018	4,032	-0.35	-14
89	subB	NYP	41.36	3,817	3,756	1.60	61
90	subB	NYP	41.29	3,759	3,761	-0.05	-2
91	subA	PK	18.76	5,550	5,295	4.59	255
avg.						1.40	=====

จะเห็นได้ว่าสมการ (4.4) มีค่า R^2 ต่ำกว่า และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงกว่าสมการ (4.2) กล่าวคือ สมการ (4.4) มีค่า R^2 ต่ำกว่าสมการ (4.2) เท่ากับ 0.0061 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงกว่า 0.13 %

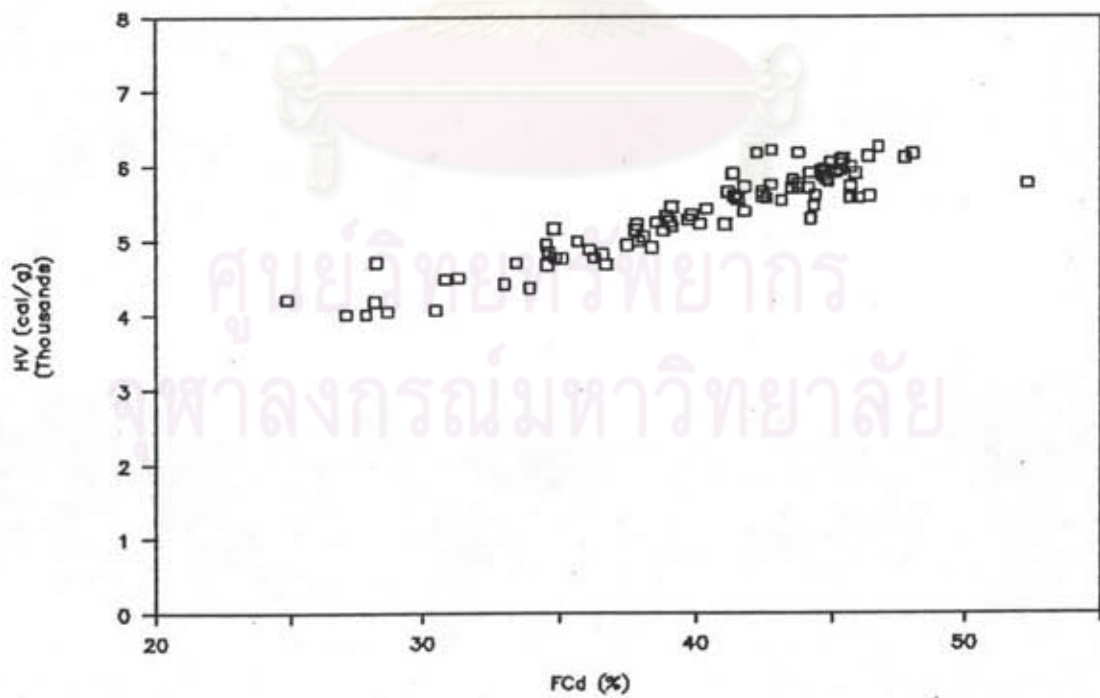
เมื่อพิจารณาสมการ (4.2) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมเก่า (A) ซึ่งมีค่า 0.50 เมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมสารระเหยได้ (VM) และของคาร์บอนคงตัว (FC) ซึ่งมีค่า 59.96 และ 72.91 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมเก่ามีค่าไม่ถึงร้อยละ 1 ของค่าสัมประสิทธิ์ของทั้งสองเทอม ดังนั้นจึงอาจตัดเทอมเก่าออกจากความสัมพันธ์ และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ใหม่ในสภาวะไม่รวมความชื้น ซึ่งเป็นการตัดเทอมความชื้นออกจากความสัมพันธ์ จึงสร้างความสัมพันธ์ใหม่ขึ้นระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละสารระเหยได้ และร้อยละคาร์บอนคงตัวสภาวะไม่รวมความชื้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละสารระเหยได้ และร้อยละคาร์บอนคงตัว ยังคงมีแนวโน้มเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเช่นเดิม ดังนั้นสามารถเขียนรูปแบบความสัมพันธ์ได้เป็น

$$HV_d = c_1 FC_d + c_2 VM_d \quad (4.5)$$



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละสารระเหยได้ (สภาวะไม่รวมความชื้น)



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละคาร์บอนคงตัว (สภาวะไม่รวมความชื้น)

- เมื่อ HV_d คือ ค่าความร้อน มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม (สภาวะไม่รวมความชื้น)
 FC_d คือ ร้อยละคาร์บอนคงตัว (สภาวะไม่รวมความชื้น)
 VM_d คือ ร้อยละสารระเหยได้ (สภาวะไม่รวมความชื้น)
 c_1 และ c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมคาร์บอนคงตัว และของสารระเหยได้
 ตามลำดับ มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม/ร้อยละ

เมื่อใช้หลักการ Multiple Linear Regression กับข้อมูลผลวิเคราะห์ทั้ง 89 ข้อมูล ได้ความสัมพันธ์เป็น

$$HV_d = 71.38FC_d + 58.40VM_d \quad (4.6)$$

ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.9664$ เมื่อนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ได้ผลดังตารางที่ 4.4 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็น 1.28 %

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์จากการทดลอง โดยสมการ (4.6)

Sample No.	Rank	Source	FCd (%)	VMd (%)	HVexp (cal/g)	HVcal (cal/g)	% err (%)	HVexp-HVcal (cal/g)
1	subB	BH	46.78	49.29	6,252	6,218	0.54	34
2	subB	BH	48.08	47.57	6,163	6,210	-0.76	-47
3	subB	BH	46.40	47.97	6,127	6,113	0.23	14
4	subB	BH	45.37	48.32	6,070	6,060	0.16	10
5	subC	BH	45.18	48.26	5,931	6,043	-1.89	-112
6	subB	BH	45.42	46.97	6,018	5,985	0.55	33
7	subB	BH	44.63	47.63	5,926	5,967	-0.69	-41
8	subB	BH	44.22	47.77	5,905	5,946	-0.69	-41
9	subB	BH	44.74	47.26	5,923	5,954	-0.52	-31
10	subC	BH	42.77	46.77	5,739	5,784	-0.78	-45
11	subB	BH	42.45	45.77	5,644	5,703	-1.05	-59
12	subB	BH	41.18	45.99	5,639	5,625	0.25	14
13	subB	BH	41.43	45.51	5,589	5,615	-0.47	-26
14	subC	BH	40.41	44.91	5,420	5,507	-1.61	-87
15	subC	BH	41.54	44.54	5,550	5,566	-0.29	-16
16	subB	BH	41.42	44.94	5,596	5,581	0.27	15
17	subA	BH	41.80	44.13	5,718	5,561	2.75	157
18	subB	BH	39.11	46.51	5,446	5,508	-1.14	-62
19	subB	BH	46.46	38.50	5,592	5,565	0.48	27
20	subC	BH	39.72	43.58	5,277	5,380	-1.95	-103
21	subC	BH	39.07	42.92	5,251	5,295	-0.84	-44
22	subB	BH	38.94	43.21	5,320	5,303	0.32	17
23	subB	BH	38.59	42.61	5,240	5,243	-0.06	-3
24	subB	BH	35.65	42.93	4,990	5,052	-1.24	-62

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์
จากการทดลอง โดยสมการ (4.6) (ต่อ)

Sample No.	Rank	Source	FCd (%)	VMd (%)	HVexp (cal/g)	HVcal (cal/g)	% err (%)	HVexp-HVcal (cal/g)
25	subB	BH	34.51	41.63	4,943	4,895	0.97	48
26	subB	BH	34.61	41.45	4,843	4,891	-0.99	-48
27	subB	BH	35.06	39.64	4,763	4,818	-1.15	-55
28	subB	BH	33.42	40.21	4,701	4,734	-0.70	-33
29	subB	BH	34.85	38.68	4,772	4,747	0.52	25
30	subB	BH	34.54	38.72	4,670	4,727	-1.22	-57
31	subB	BH	30.48	33.39	4,067	4,126	-1.45	-59
32	subC	BP	47.79	45.82	6,108	6,087	0.34	21
33	subC	BP	44.71	47.65	5,961	5,974	-0.22	-13
34	subB	BP	45.73	47.71	5,982	6,050	-1.14	-68
35	subB	BP	45.00	48.27	6,041	6,031	0.17	10
36	subC	BP	45.20	47.52	5,912	6,002	-1.52	-90
37	subC	BP	44.70	46.27	5,868	5,893	-0.43	-25
38	subC	BP	45.91	45.22	5,891	5,918	-0.46	-27
39	subC	BP	43.59	47.17	5,803	5,866	-1.09	-63
40	subB	BP	45.36	45.87	5,943	5,917	0.44	26
41	subC	BP	44.91	44.02	5,785	5,776	0.16	9
42	subB	BP	43.79	45.71	5,751	5,795	-0.77	-44
43	subC	BP	43.80	44.09	5,694	5,701	-0.12	-7
44	subB	BP	45.71	43.32	5,722	5,793	-1.24	-71
45	subB	BP	43.55	45.28	5,698	5,753	-0.97	-55
46	subC	BP	44.13	43.28	5,693	5,678	0.26	15
47	subC	BP	42.45	45.56	5,585	5,691	-1.90	-106
48	subC	BP	39.85	43.85	5,335	5,405	-1.31	-70
49	subC	BP	41.80	42.26	5,379	5,452	-1.36	-73
50	subC	BP	41.07	40.18	5,212	5,278	-1.27	-66
51	subC	BP	39.16	41.67	5,185	5,229	-0.85	-44
52	subC	BP	38.09	39.66	5,049	5,035	0.28	14
53	subC	BP	38.42	38.16	4,909	4,971	-1.26	-62
54	subB	BP	36.13	39.54	4,877	4,888	-0.23	-11
55	subA	BP	34.79	40.50	5,154	4,849	5.92	305
56	subB	BP	22.56	49.07	4,443	4,476	-0.74	-33
57	subB	BP	31.35	38.03	4,498	4,459	0.87	39
58	subB	BP	33.00	35.61	4,422	4,435	-0.29	-13
59	subB	BP	27.10	35.68	4,013	4,018	-0.12	-5
60	subB	BP	28.66	34.65	4,056	4,069	-0.32	-13
61	subC	KB	42.62	47.68	5,559	5,827	-4.82	-268
62	subB	KVL	38.84	42.71	5,131	5,267	-2.65	-136
63	subA	ML	42.79	48.29	6,207	5,874	5.36	333
64	subA	ML	43.80	47.16	6,173	5,881	4.73	292
65	subA	ML	42.24	47.96	6,172	5,816	5.77	356
66	subB	ML	44.79	44.43	5,815	5,792	0.40	23
67	subA	ML	41.35	46.05	5,890	5,641	4.23	249
68	subC	ML	43.15	42.81	5,528	5,580	-0.94	-52
69	subB	ML	45.72	39.77	5,563	5,586	-0.41	-23
70	subB	ML	44.35	39.64	5,450	5,481	-0.57	-31
73	subC	MM	44.42	45.07	5,597	5,803	-3.68	-206
74	subC	MM	46.03	43.66	5,562	5,835	-4.91	-273

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์จากการทดลอง โดยสมการ (4.6) (ต่อ)

Sample No.	Rank	Source	FCd (%)	VMd (%)	HVexp (cal/g)	HVcal (cal/g)	% err (%)	HVexp-HVcal (cal/g)
75	subA	MTN	52.31	33.58	5,756	5,695	1.06	61
76	subA	MTN	44.23	34.17	5,284	5,153	2.48	131
77	subA	MTN	37.86	39.41	5,212	5,004	3.99	208
78	subB	MTN	28.26	46.09	4,704	4,709	-0.11	-5
79	subB	MTP	37.50	39.42	4,944	4,979	-0.71	-35
80	subB	MTP	37.93	38.45	4,990	4,953	0.74	37
81	subB	MTP	36.27	37.72	4,772	4,792	-0.42	-20
82	subB	MTP	30.83	38.42	4,482	4,444	0.85	38
83	subB	MTP	28.20	36.41	4,189	4,139	1.19	50
84	subB	MTP	27.85	34.85	4,013	4,023	-0.25	-10
85	subB	NYP	40.15	39.86	5,220	5,194	0.50	26
86	subA	NYP	37.81	38.96	5,136	4,974	3.15	162
87	subB	NYP	36.58	37.80	4,820	4,819	0.02	1
88	subB	NYP	36.72	36.27	4,678	4,739	-1.30	-61
89	subB	NYP	33.89	33.22	4,368	4,359	0.21	9
90	subB	NYP	24.85	40.90	4,209	4,162	1.12	47
91	subA	PK	45.43	43.70	6,089	5,795	4.83	294
							avg.	1.28
								=====

จากความสัมพันธ์ที่ได้ทั้ง 3 รูปแบบคือ สมการ (4.2), (4.4) และ (4.6) ได้เปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ไว้ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบ, ค่า R^2 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของสมการ (4.2), (4.4) และ (4.6)

สมการ	R^2	avg.% err (%)
$HV_{nd} = -7.65M + 0.50A + 59.96VM + 72.91FC$ (4.2)	0.9724	1.27
$HV_{nd} = -68.08(M+A) + 6572$ (4.4)	0.9663	1.40
$HV_{nd} = 71.38FC_{nd} + 58.40VM_{nd}$ (4.6)	0.9664	1.28

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า สมการที่มีค่า R^2 มากไปน้อยคือ สมการ (4.2), (4.6) และ (4.4) ตามลำดับ และสมการที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยไปมากคือ สมการ (4.2), (4.6) และ (4.4) ตามลำดับเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากสมการ (4.2) มีจำนวนตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องมากกว่าสมการอื่น กล่าวคือ มีถึง 4 ตัวแปร จึงทำให้มีค่า R^2 มากกว่า และมีผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่าด้วย เมื่อพิจารณาค่า R^2 และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย พบว่า รูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมก็คือ สมการ (4.2) และ (4.6) กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสมการ (4.2) กับ (4.6) จะเห็นได้ว่าสมการ (4.2) มีค่า R^2 มากกว่าเพียง 0.0060 หรือ 0.60% ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่าเพียง 0.01 % เท่านั้น ดังนั้นจึงนำทั้งสมการ (4.2) และ (4.6) ไปทดสอบกับข้อมูลผลวิเคราะห์ที่ได้จากหน่วยงานภายนอก จำนวนทั้งสิ้น 384 ข้อมูล ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ง

สำหรับสมการ (4.4) ซึ่งมีค่า R^2 ต่ำ และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อเทียบกับความสัมพันธ์อื่น น่าที่จะมีเหตุผลมาจากจำนวนตัวแปรเช่นกัน อีกทั้งมีค่าคงที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยค่าคงที่ดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากค่าเฉลี่ยของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ซึ่งมีนิสัยของค่าความร้อนในช่วงที่กว้าง จึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้มากกว่าความสัมพันธ์อื่น หากนำรูปแบบสมการ (4.4) ไปสร้างความสัมพันธ์ให้กับถ่านหินแต่ละแหล่งโดยเฉพาะ ซึ่งมีนิสัยของค่าความร้อนที่แคบ คาดว่าคงจะให้ผลที่ดีคือ ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้การวิเคราะห์ความชื้นและเถ้าเท่านั้น

4.4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ที่ได้กับข้อมูลผลวิเคราะห์จากหน่วยงานภายนอก

เมื่อได้รับข้อมูลผลวิเคราะห์จากหน่วยงานภายนอก ได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี และบริษัท วิศวกรรมเคมี จำกัด และข้อมูลผลวิเคราะห์ที่ได้จากรายงานผลการวิจัยโครงการวิจัยแบบผสมผสานเพื่อพัฒนาถ่านหินในประเทศไทย นำมาทำการแบ่งคัดและจัดการข้อมูลตามวิธีที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนการทดลอง ได้ผลดังนี้

4.4.1 ข้อมูลผลวิเคราะห์จากกรมทรัพยากรธรณี (DMR) ที่มีศักดิ์ชัยบิฑูมินัส และ ร้อยละเถ้าต่ำกว่า 33 จำนวน 244 ข้อมูล โดยมีศักดิ์ชัยบิฑูมินัส เอ 21 ข้อมูล, ชัยบิฑูมินัส บี 111 ข้อมูล และชัยบิฑูมินัส ซี 112 ข้อมูล ซึ่งแสดงในตารางที่ ง.1 ภาคผนวก ง

4.4.2 ข้อมูลผลวิเคราะห์จากบริษัท วิศวกรรมเคมี จำกัด (TCE) ที่มีศักดิ์ชัยบิฑูมินัส และ ร้อยละเถ้าต่ำกว่า 33 จำนวน 135 ข้อมูล โดยมีศักดิ์ชัยบิฑูมินัส เอ 10 ข้อมูล ชัยบิฑูมินัส บี 94 ข้อมูล และชัยบิฑูมินัส ซี 31 ข้อมูล ซึ่งแสดงในตารางที่ ง.2 ภาคผนวก ง

4.4.3 ข้อมูลผลวิเคราะห์จากรายงานการวิจัยฯ (RCT) ที่มีศักดิ์ชัยบิฑูมินัส และ ร้อยละเถ้าต่ำกว่า 33 จำนวน 5 ข้อมูล โดยมีศักดิ์ชัยบิฑูมินัส บี 2 ข้อมูล และชัยบิฑูมินัส ซี 3 ข้อมูล ซึ่งแสดงในตารางที่ ง.3 ภาคผนวก ง

นำสมการ (4.2) คือ $HV_{\text{net}} = -7.65M + 0.50A + 59.96VM + 72.91FC$,

ทดสอบกับข้อมูลผลวิเคราะห์จาก DMR, TCE และ RCT ได้ผลดังแสดงในตารางที่ จ.1, จ.2 และ จ.3 ภาคผนวก จ ตามลำดับ และนำสมการ (4.6) คือ $HV_{\mu} = 71.38FC_{\mu} + 58.40VM_{\mu}$ ทดสอบกับข้อมูลผลวิเคราะห์ดังกล่าวเช่นเดียวกัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ฉ.1, ฉ.2 และ ฉ.3 ภาคผนวก ฉ ตามลำดับ

จากตารางที่ จ.1 และ จ.2 ซึ่งเป็นข้อมูลผลวิเคราะห์จาก DMR และ TCE ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.85 % และ 3.50 % ตามลำดับ ส่วนตารางที่ จ.3 ซึ่งเป็นข้อมูลผลวิเคราะห์จาก RCT ไม่ได้หาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลตัวหนึ่งมีค่าสูงมาก และข้อมูลทั้งหมดมีจำนวนน้อย

จากตารางที่ ฉ.1 และ ฉ.2 ซึ่งเป็นข้อมูลผลวิเคราะห์จาก DMR และ TCE ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.06 % เท่ากัน ส่วนตารางที่ ฉ.3 ไม่ได้หาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เนื่องจากเหตุผลเช่นเดียวกันกับตารางที่ จ.3

เมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของข้อมูลผลวิเคราะห์ดังกล่าวโดยใช้สมการ (4.2) และ (4.6) พบว่า สมการ (4.6) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า กล่าวคือ สมการ (4.2) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมากกว่า 3.50 % โดยที่สมการ (4.6) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.06 % ซึ่งแสดงว่าสมการ (4.6) เป็นความสัมพัทธ์ที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้งาน

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของต่างประเทศ (14, 15, 16, 17) แสดงได้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของสมการ (4.6) กับงานวิจัยของต่างประเทศ

ผู้เสนอ	สมการ	คักดี	avg.% err
Goutal (14)	$P = 82C + aV$	บิฑูมินัส	2
Earnest และ Fyans (15)	$P = 82C + 82V$ $P = 82C$	แอนทราไซท์ ถ่านโค้ก	1 < 4.5
Ferguson และ Rowe (16)	$Q = -2.26 \times 10^5 M^{-1} + 108A$ $+ 297VM + 281FC$	ลิกไนท์ เอ	1.2
Urkan และ Arikol (17)	$HHV = (39821X^2 - 80861X + 58378)[1 - 0.01(A+M)]$	ลิกไนท์ - บิฑูมินัส	4.1
งานวิจัยนี้	$HV_{\mu} = 71.38FC_{\mu} + 58.40VM_{\mu}$	ซิปบิฑูมินัส	1.28

จะเห็นได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของสมการ (4.6) ซึ่งมีค่า 1.28% เป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ และค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวยังอยู่ในช่วงของค่า reproducibility ของมาตรฐาน JIS M 8814 (26) ซึ่งกำหนดไว้คือ 80 แคลอรี/กรัม เมื่อคิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของถ่านหินคักต์ซิปบิทูมินัส (ค่าความร้อนเฉลี่ย 4,550 แคลอรี/กรัม) มีค่า 1.76% นอกจากนี้สมการดังกล่าวยังเหมาะที่จะนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์อีกด้วย ซึ่งในเชิงพาณิชย์โดยทั่วไปใช้การนิยามค่าความร้อนสภาวะไม่รวมความชื้น

เมื่อพิจารณาข้อมูลผลวิเคราะห์จาก RCT ดังแสดงในตารางที่ จ.3 และ ฉ.3 จะเห็นว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล MM3 มีค่าสูงมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากข้อมูลอาจมีค่าผิดพลาด กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูล MM2 กับ MM3 ระหว่างผลวิเคราะห์แบบประมาณแต่ละตัว ดังแสดงในตารางที่ ง.3 มีค่าไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนพบว่ามีความต่างกันมาก ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ที่ได้ทำนายไปใช้ทดสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์จากการทดลองได้ด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย