บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณตาม ASTM (D-3172-3175) เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน

การวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ เป็นการวิเคราะห์ในขั้นแรกเพื่อหาคุณสมบัติของถ่านหิน ได้แก่การวิเคราะห์หาความชื้น สารระเหยได้ เถ้า และคาร์บอนคงตัว สำหรับการวิเคราะห์ตาม ASTM ได้ทำการวิเคราะห์อย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยโดยมีความแตกต่างอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อนให้ค่าที่แตกต่างกันน้อยจึงทำการวิเคราะห์อย่างน้อย 2 ครั้ง โดยแสดงผลการวิเคราะห์ทั้งสองแบบและผลเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณ ระหว่างวิธี ASTM กับการวิเคราะห์ทางความร้อน

แหล่งถ่านหิน	ตามมาตรฐาน ASTM				เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน				ผลเปรียบเทียบ			
	% M	% A	% VM	% FC	% M	% A	% VM	% FC	% M	% A	% VM	% FC
นาด้วง	2.70	11.86	7.36	78.08	1.83	12.16	4.81	81.21	0.87	-0.30	2.55	-3.13
หนองหญ้าปล้อง	5.52	19.27	28.66	46.55	5.41	19.12	28.78	46.69	0.11	0.15	-0.12	-0.14
บ้านป่าคา	9.90	10.09	39.47	40.54	9.56	10.64	35.69	44.11	0.34	-0.55	3.78	-3.57
บ้านปู	11.83	6.48	44.03	37.66	11.78	6.77	41.10	40.35	0.05	-0.29	2.93	-2.69
บางปูดำ	12.96	18.06	36.30	32.68	13.03	17.67	33.33	35.97	-0.07	0.39	3.00	-3.29
กระบี่	14.22	5.70	35.84	44.24	17.22	5.76	35.94	41.08	3.00	-0.06	-0.10	3.16
แม่เมาะ 1	14.95	11.46	37.15	36.44	15.92	10.57	34.58	38.93	-0.97	0.89	2.57	-2.49
แม่เมาะ 2	13.49	20.04	38.50	27.97	12.55	19.88	33.85	33.72	0.94	0.16	4.65	-5.75
แม่เมาะ 3	6.63	40.83	30.41	22.13	7.58	40.38	27.00	25.04	-0.95	0.45	3.41	-2.91
แม่เมาะ SP	11.76	12.15	42.47	33.82	12.12	11.62	35.45	40.81	-0.36	0.53	7.02	-6.99

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านหิน (ASTM D-2015) และศักดิ์ของถ่านหิน (ASTM D-388)

ค่าความร้อนของถ่านหินมีค่าเท่ากับความร้อนของการเผาไหม้มาตรฐาน แต่มีเครื่องหมายเป็นบวก ได้จากการทดลองในบอมบ์แคลอริมิเตอร์ จากนั้นนำค่าความร้อนที่ได้ไปคำนวนหาศักดิ์ของถ่านหินตามวิธี ASTM D-388 (ตารางที่ 2.1) ดังแสดงผลในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนและศักดิ์ของถ่านหิน

แหล่งถ่านหิน	ค่าความร้อนรวม, แคลอรี่/กรัม (ถ่านหินผึ่งแห้งในอากาศ)	ค่าความร้อน, บีทียู/ปอนด์ (รวมความชื้น ไม่รวมเถ้า)	ศักดิ์ของถ่านหิน
1. นาด้วง	7,018	14,536	เซมิ-แอนทราไซต์
2. หนองหญ้าปล้อง	5,516	12,611	บิทูมินัส ซี สารระเหยได้สูง
3. บ้านป่าคา	5,454	11,054	ซับบิทูมินัส เอ
4. บ้านปู	5,363	10,404	ซับบิทูมินัส บี
5. บางปูดำ	4,641	10,463	ซับบิทูมินัส บี
6. กระบี่	4,944	9,516	ซับบิทูมินัส บี
7. แม่เมาะ 1	4,477	9,247	ซับบิทูมินัส ซี
8. แม่เมาะ 2	3,864	8,941	ซับบิทูมินัส ซี
9. แม่เมาะ 3	2,798	9,172	ซับบิทูมินัส ซี
10. แม่เมาะ SP	4,512	9,395	ซับบิทูมินัส ซี

4.3 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินแบบแยกธาตุ

การวิเคราะห์ถ่านหินแบบแยกธาตุ เป็นการวิเคราะห์อย่างละเอียดโดยวิเคราะห์ธาตุสำคัญที่มีในถ่านหิน คือ คาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจนสุทธิ กำมะถันและออกซิเจน ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.3 อ้างภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านหินต่างๆโดยละเอียด ตัวอย่างแห้ง, ไม่รวมเถ้า

แหล่งถ่านหิน	ปริมาณธาตุต่างๆในตัวอย่างถ่านหิน				
	%C	%H	%N	%S	%O
นาด้วง	94.72	3.03	1.16	0.51	1.08
หนองหญ้าปล้อง	76.05	5.58	2.23	0.93	15.21
บ้านป่าคา	78.10	5.79	1.09	1.01	15.01
บ้านปู	70.43	4.91	1.29	1.05	23.36
บางปูดำ	72.14	5.23	2.02	4.22	20.57
กระบี่	74.61	5.46	1.90	2.72	18.00
แม่เมาะ 1	74.67	5.18	2.91	3.34	17.21
แม่เมาะ 2	70.47	5.27	2.86	2.53	21.38
แม่เมาะ 3	61.17	5.16	1.88	3.46	28.33
แม่เมาะ SP	72.60	5.05	2.67	2.38	19.66

4.4 ผลการวิเคราะห์การแตกร่วนของถ่านหิน (Tumbler Test) ASTM D-411

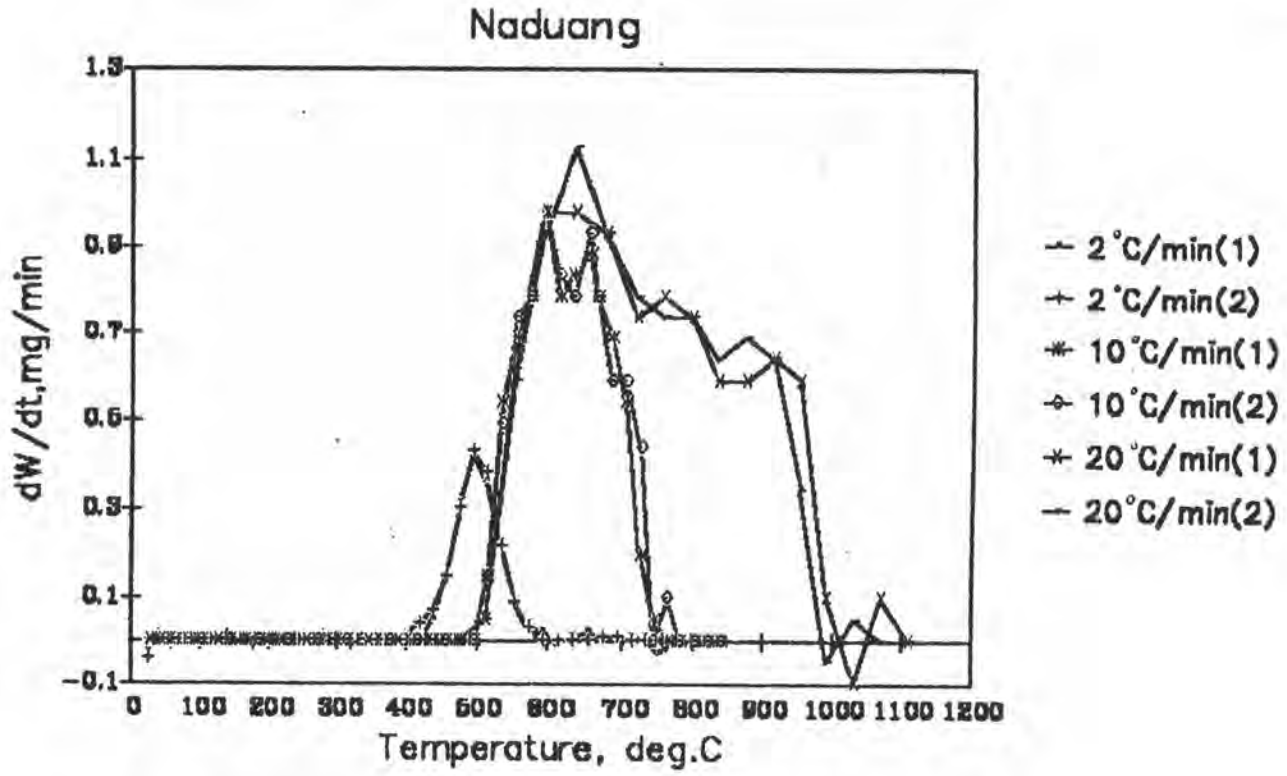
การทดสอบการแตกร่วนของถ่านหิน เป็นการวัดความแข็งของถ่านหินเพื่อดูความสามารถในการทนต่อการลดขนาดในระหว่างการขนส่ง โดยรายงานเป็นร้อยละของการลดขนาดเฉลี่ยของถ่านหิน เนื่องจากในการวิเคราะห์ต้องใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่ (1.05-1.50 นิ้ว) เป็นจำนวนมาก (11 กิโลกรัม) จึงมีตัวอย่างที่เหมาะสมนำมาทดลองเพียง 6 แหล่ง ดังแสดงผลในตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการคำนวณ อ้างภาคผนวก ค.

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซนต์การแตกร่วนของถ่านหิน

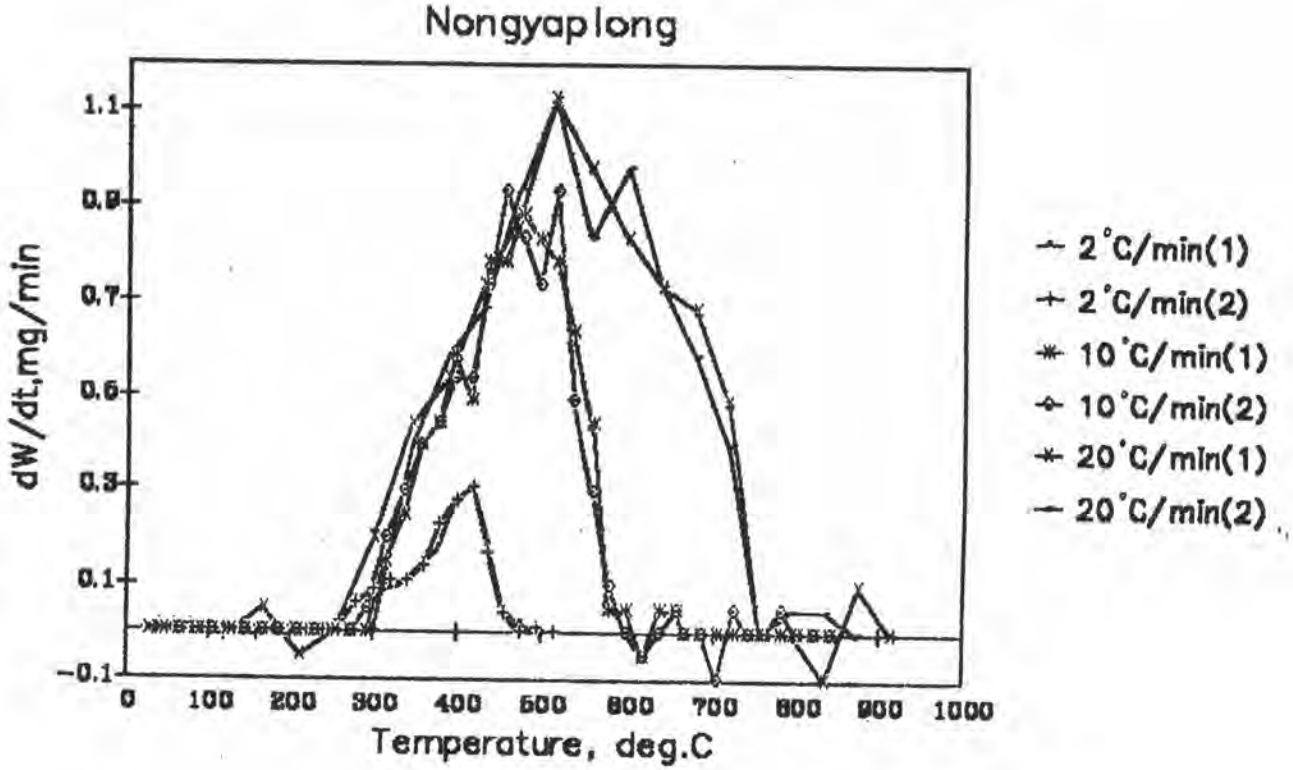
แหล่งถ่านหิน	เปอร์เซนต์การแตกร่วน	ค่าดัชนีฝุ่น (Dust Index)
หนองหญ้าปล้อง	17.0	11.0
บ้านป่าคา	22.0	10.0
บ้านปู	9.5	3.5
บางปูดำ	33.0	10.5
กระบี่	19.0	5.0
แม่เมาะ SP	41.5	9.5

4.5 ผลการวิเคราะห์ Burning Profile ของถ่านหิน

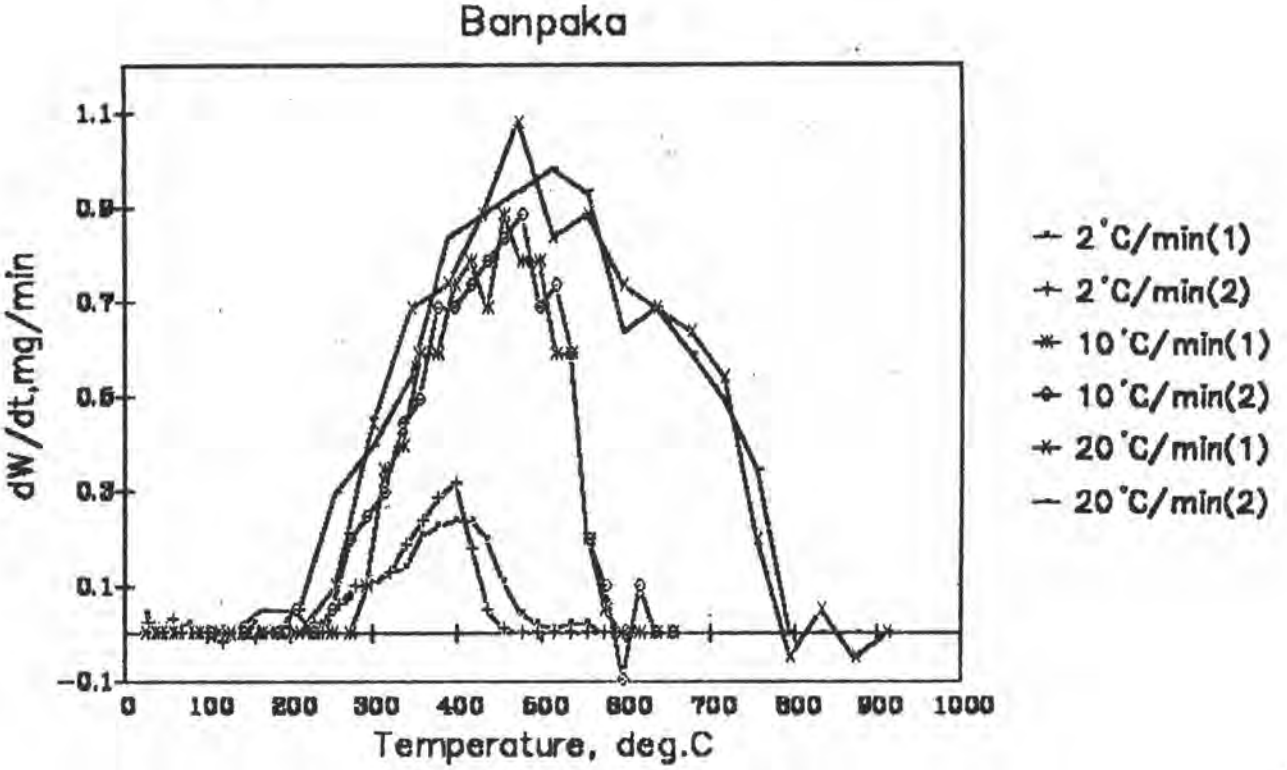
ในการพิจารณา Burning Profile ของถ่านหินในกรณีนี้ จะพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุด (PT) และอุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ (BT) ดังแสดง Burning Profile ของถ่านหินแหล่งต่างๆที่อัตราภาระให้ความร้อนจาก 2 เป็น 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ในรูปที่ 4.1-4.10 เพราะจะเป็นตัวที่บอกถึงความยากง่ายในการเผาไหม้ ถ้าอุณหภูมิที่จุดนี้ต่ำแสดงว่าถ่านหินเผาไหม้ง่าย เป็นการพิจารณาความสามารถในการเผาไหม้แบบเดิมซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบกับการหาค่าพลังงานกระตุ้นต่อไป ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.5



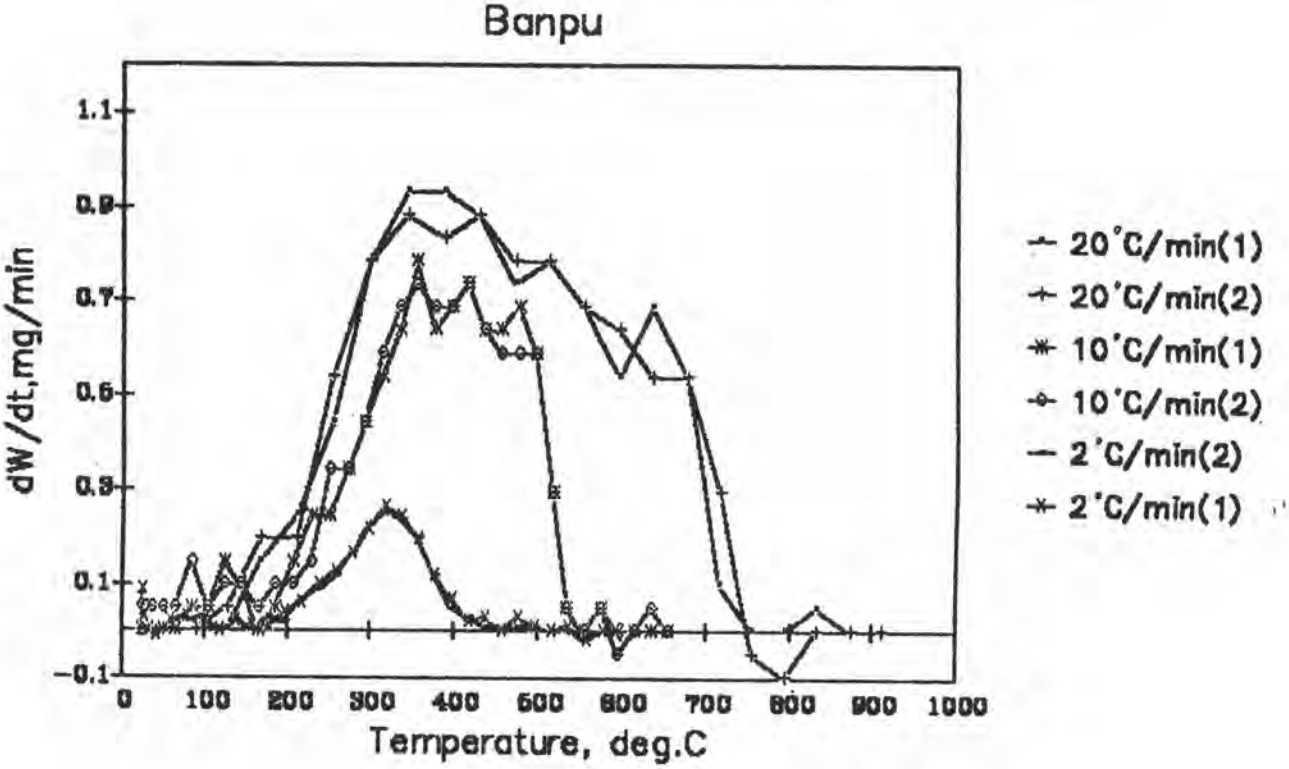
รูปที่ 4.1 Burning Profile ถ่านหินแหล่งนาด้วง ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



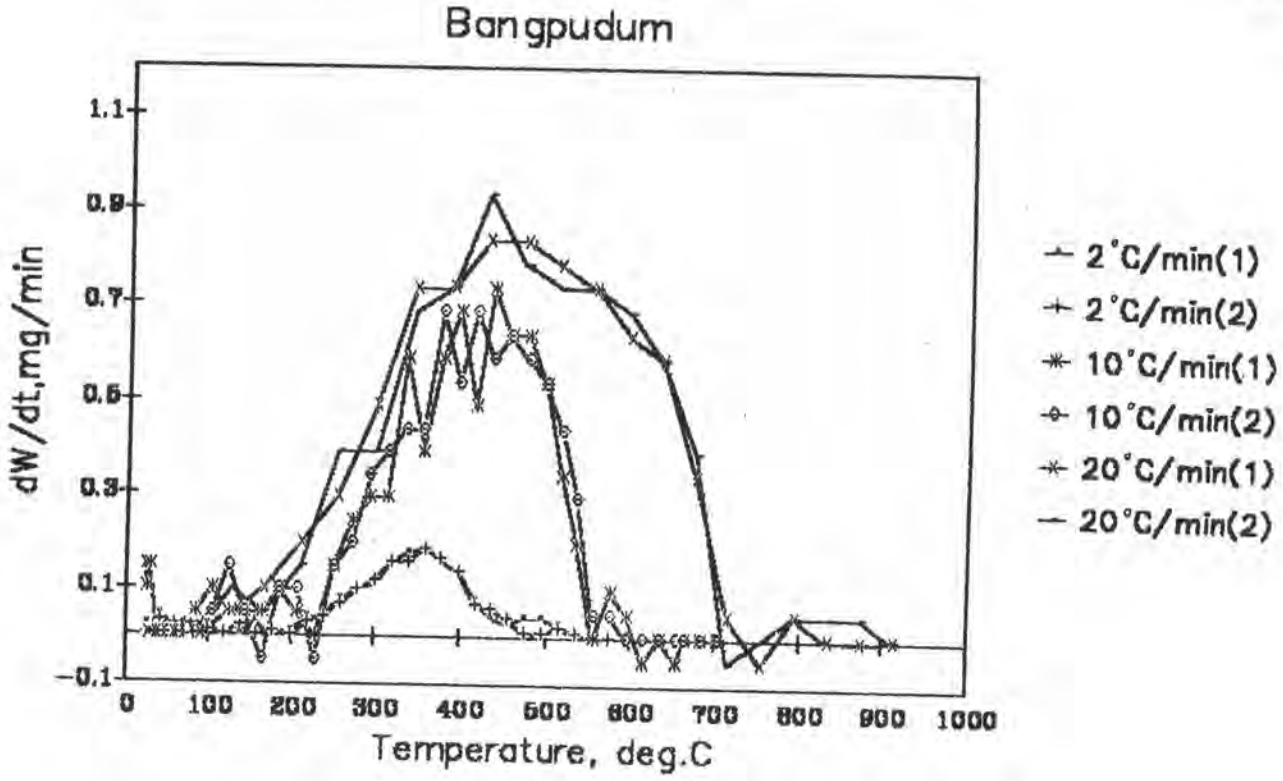
รูปที่ 4.2 Burning Profile ถ่านหินแหล่งหนองหญ้าปล้อง ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



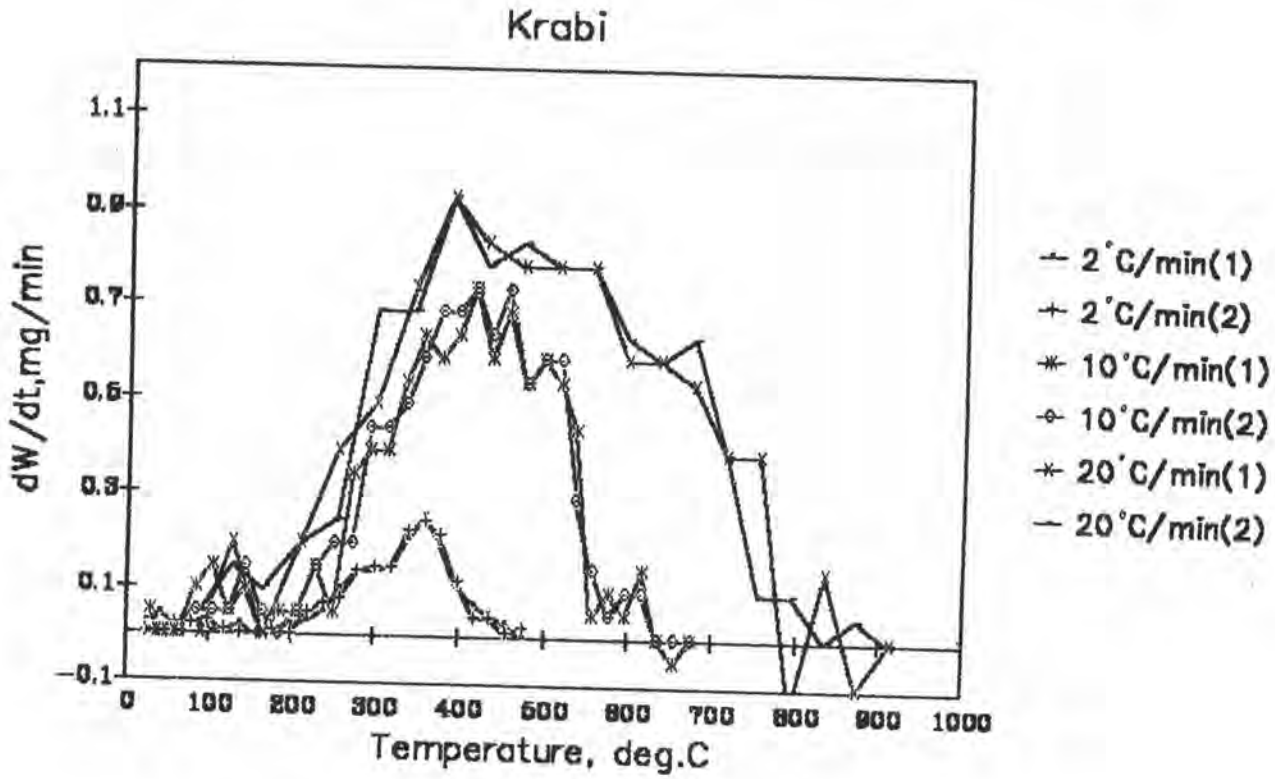
รูปที่ 4.3 Burning Profile ถ่านหินแหล่งบ้านป่าคา ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



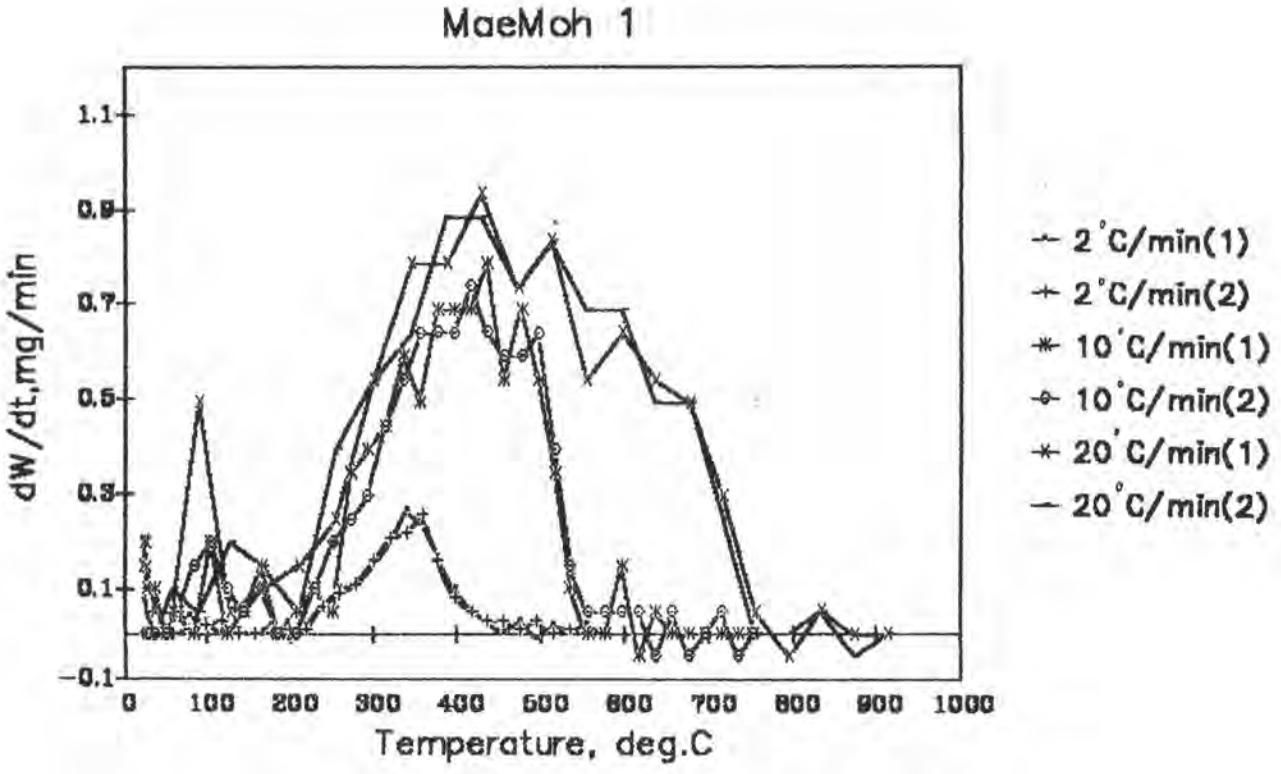
รูปที่ 4.4 Burning Profile ถ่านหินแหล่งบ้านปู ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



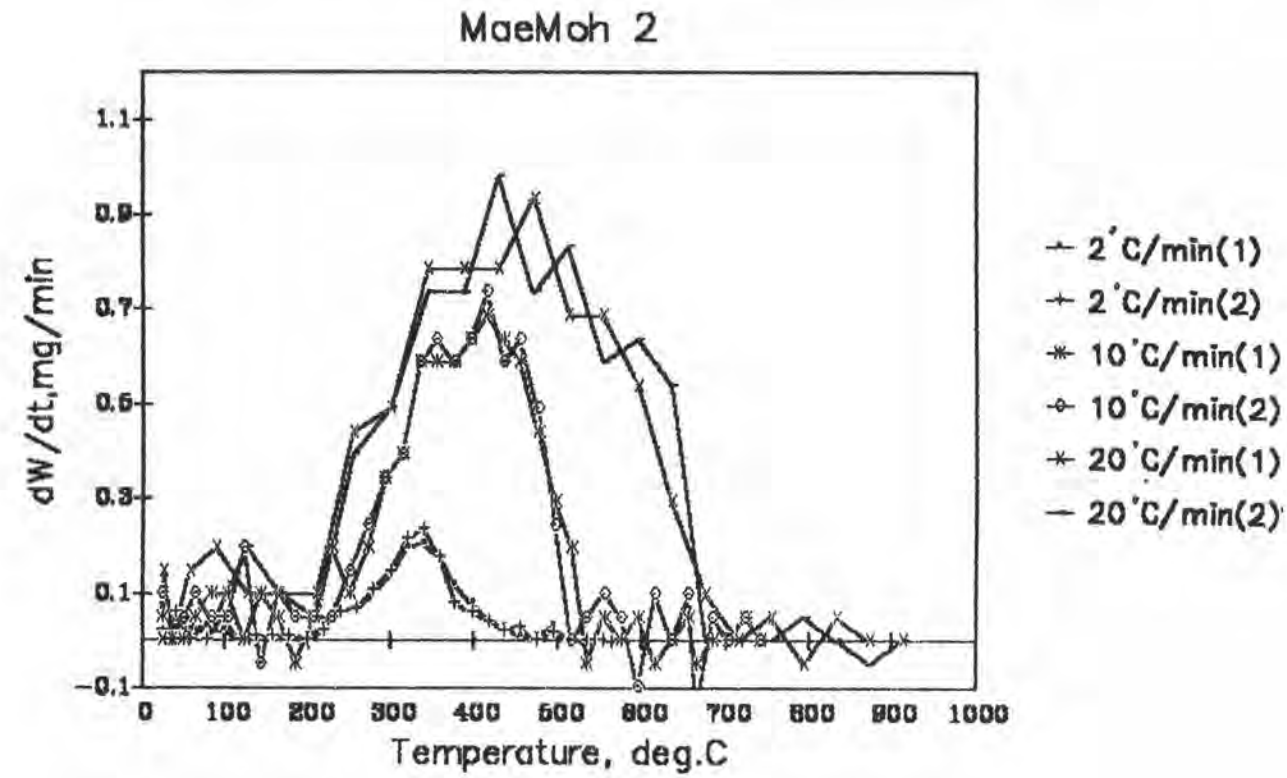
รูปที่ 4.5 Burning Profile ถ่านหินแหล่งบางปูดำ ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



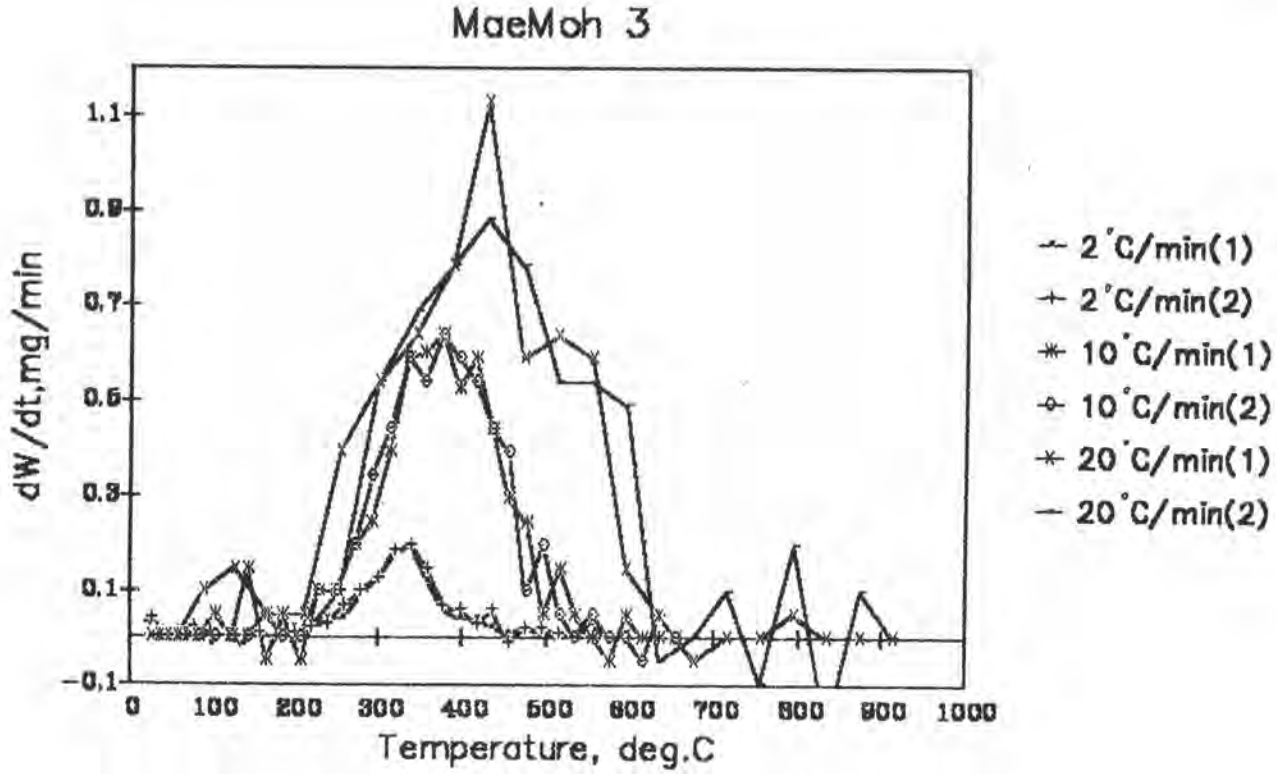
รูปที่ 4.6 Burning Profile ถ่านหินแหล่งกระบี่ ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



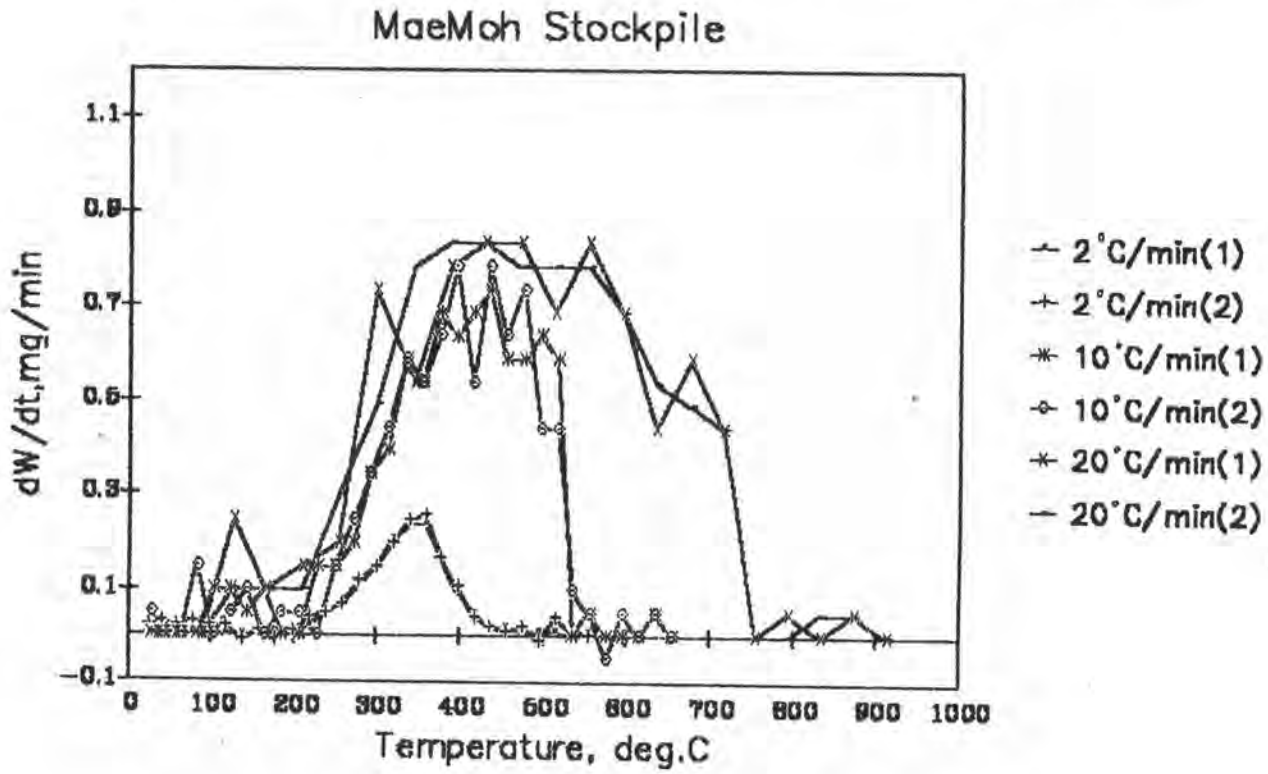
รูปที่ 4.7 Burning Profile ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ1 ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



รูปที่ 4.8 Burning Profile ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ2 ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



รูปที่ 4.9 Burning Profile ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ3 ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน



รูปที่ 4.10 Burning Profile ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ Stockpile
ที่อัตราการให้ความร้อนต่างๆกัน

ตารางที่ 4.5 ผลข้อมูลจาก Burning Profile ของถ่านหิน

ตัวอย่างถ่านหิน	อัตราการให้ความร้อน (°ซ ต่อ นาที)	PT (°ซ)		BT (°ซ)		อัตราการเผาไหม้สูงสุด (มิลลิกรัมต่อนาที)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
นาด้วง	2	494	494	614	594	0.42	0.43
	10	595	595	742	762	0.98	0.98
	20	635	595	992	1031	1.13	0.98
หนองหญ้าปล้อง	2	417	417	494	475	0.30	0.30
	10	476	456	615	615	0.88	0.93
	20	513	513	755	755	1.13	1.13
บ้านป่าคา	2	397	397	574	476	0.24	0.31
	10	456	476	595	595	0.88	0.88
	20	472	513	795	795	1.08	0.98
บ้านปุ	2	317	317	457	457	0.25	0.26
	10	355	355	555	555	0.78	0.74
	20	388	430	755	755	0.93	0.88
บางปูดำ	2	358	358	554	554	0.19	0.19
	10	436	376	555	595	0.73	0.69
	20	472	430	755	716	0.83	0.93

ตารางที่ 4.5 ผลข้อมูลจาก Burning Profile ของถ่านหิน (ต่อ)

ตัวอย่างถ่านหิน	อัตราการให้ความร้อน (°ซ ต่อ นาที)	PT (°ซ)		BT (°ซ)		อัตราการเผาไหม้สูงสุด (มิลลิกรัมต่อนาที)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
กระบี่	2	358	358	475	534	0.25	0.25
	10	416	416	634	634	0.74	0.74
	20	388	388	795	834	0.93	0.93
แม่เมาะ 1	2	338	358	455	514	0.26	0.25
	10	436	416	555	634	0.78	0.74
	20	430	388	795	755	0.93	0.88
แม่เมาะ 2	2	338	338	514	475	0.21	0.24
	10	416	416	535	516	0.69	0.74
	20	472	430	716	676	0.93	0.98
แม่เมาะ 3	2	338	338	514	534	0.20	0.20
	10	376	376	555	575	0.64	0.64
	20	430	430	676	635	1.13	0.88
แม่เมาะ SP	2	338	338	534	494	0.24	0.25
	10	436	396	575	575	0.73	0.78
	20	472	430	755	755	0.83	0.83

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของค่าความร้อนของถ่านหินและอัตราการให้ความร้อนที่มีต่อ Burning Profile ได้ผลดังนี้

ก. **อิทธิพลของค่าความร้อน** เมื่อค่าความร้อนของถ่านหินเพิ่มขึ้นจาก 2,798 จนถึง 7,018 แคลอรี/กรัม จะมีผลต่อ Burning Profile ดังนี้

1. อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุดเพิ่มขึ้น

1.1 ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุดมีค่าอยู่ในช่วง 0.19 - 0.43 มิลลิกรัมต่อนาที ดังรูปที่ 4.11

1.2 ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุดมีค่าอยู่ในช่วง 0.64 - 0.98 มิลลิกรัมต่อนาที ดังรูปที่ 4.12

1.3 ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุดมีค่าอยู่ในช่วง 0.83 - 1.13 มิลลิกรัมต่อนาที ดังรูปที่ 4.13

2. อุณหภูมิที่ถ่านหินมีอัตราการเผาไหม้สูงสุด (PT) จะเพิ่มขึ้น

2.1 ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิที่ถ่านหินมีอัตราการเผาไหม้สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 317 - 494 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.14

2.2 ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิที่ถ่านหินมีอัตราการเผาไหม้สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 355 - 595 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.15

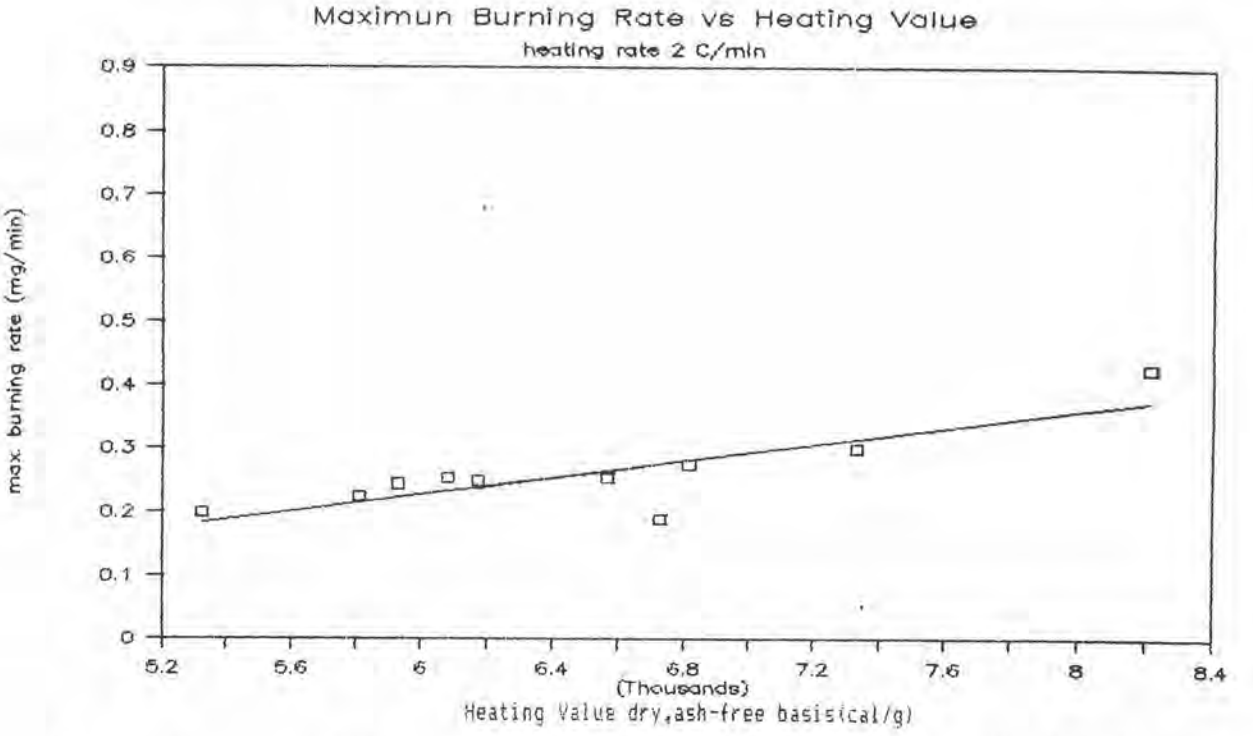
2.3 ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิที่ถ่านหินมีอัตราการเผาไหม้สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 388 - 635 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.16

3. อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ (BT) มีค่าเพิ่มขึ้น

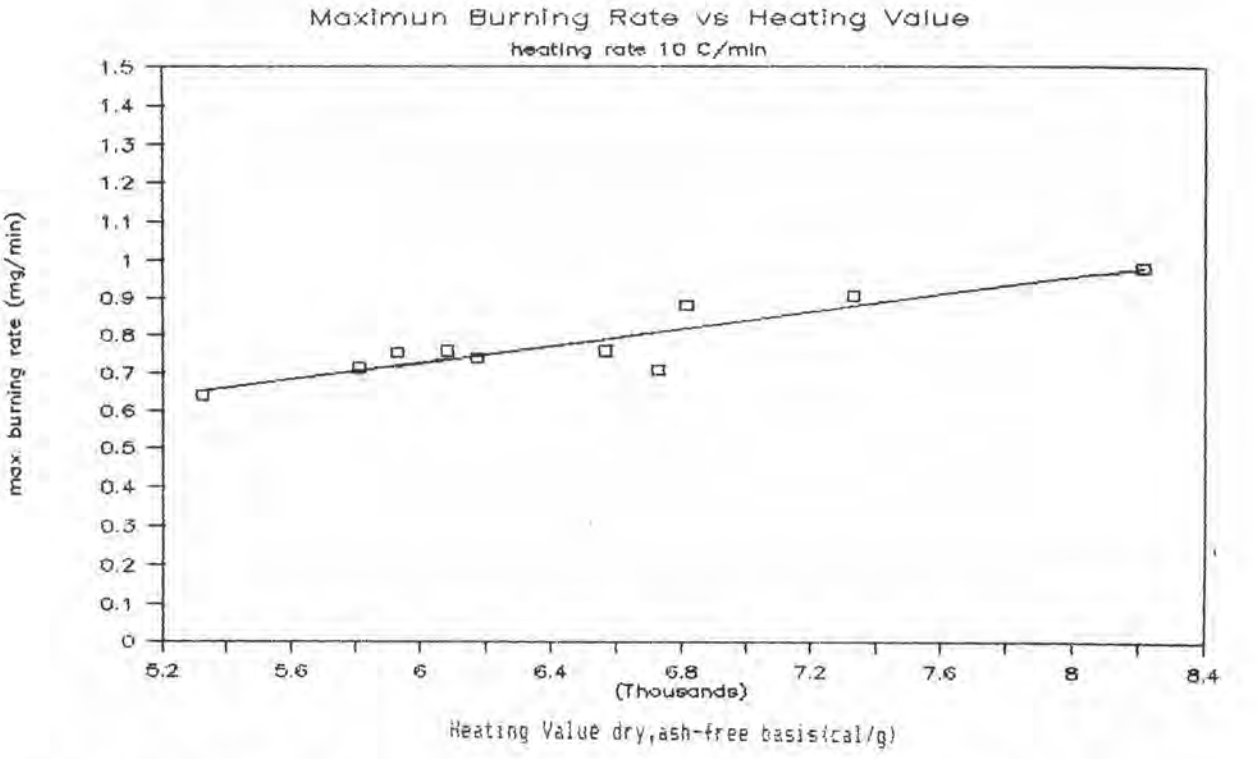
3.1 ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ มีค่าอยู่ในช่วง 455 - 614 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.17

3.2 ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ มีค่าอยู่ในช่วง 516 - 762 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.18

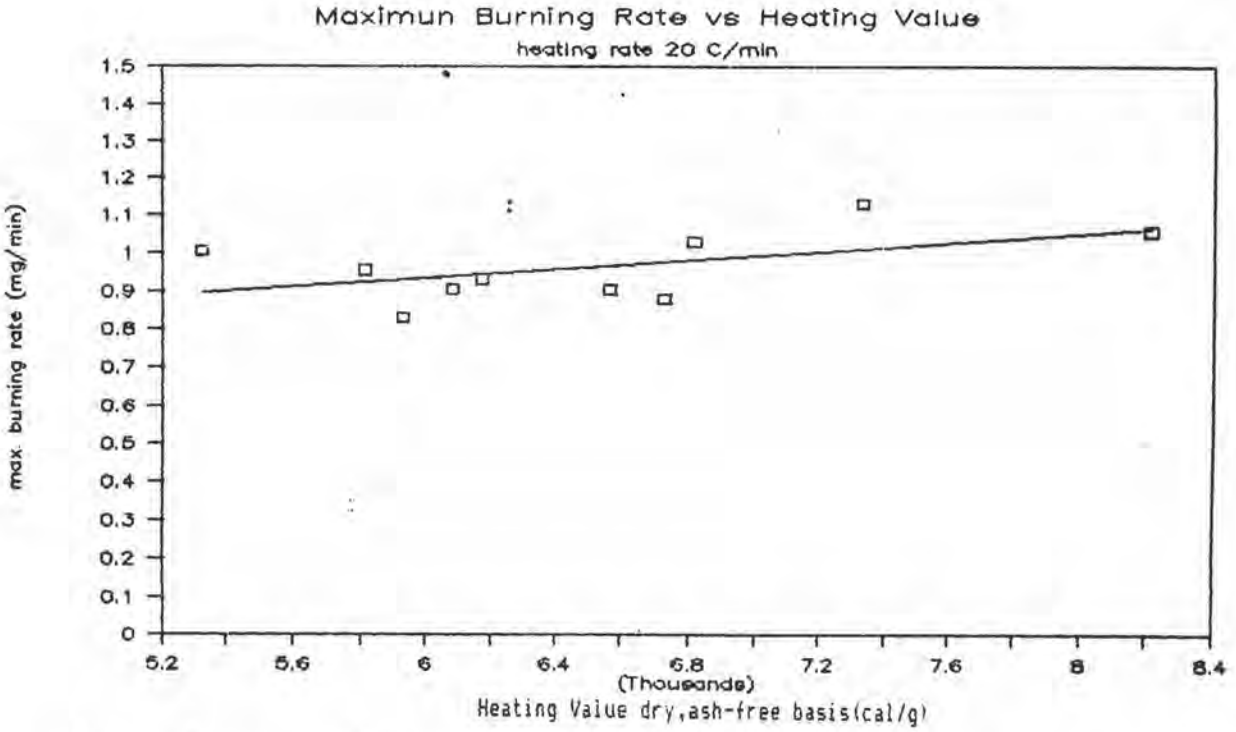
3.3 ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ มีค่าอยู่ในช่วง 635 - 1031 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.19



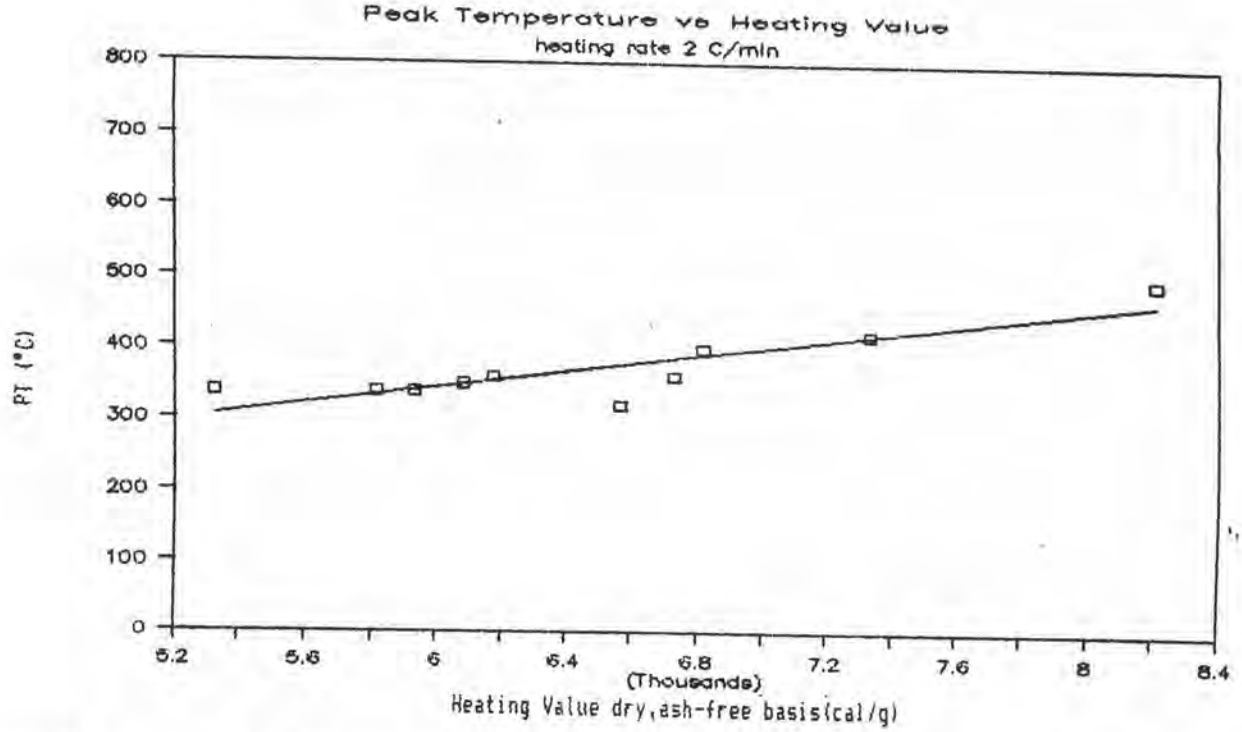
รูปที่ 4.11 อัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน(ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า)ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที



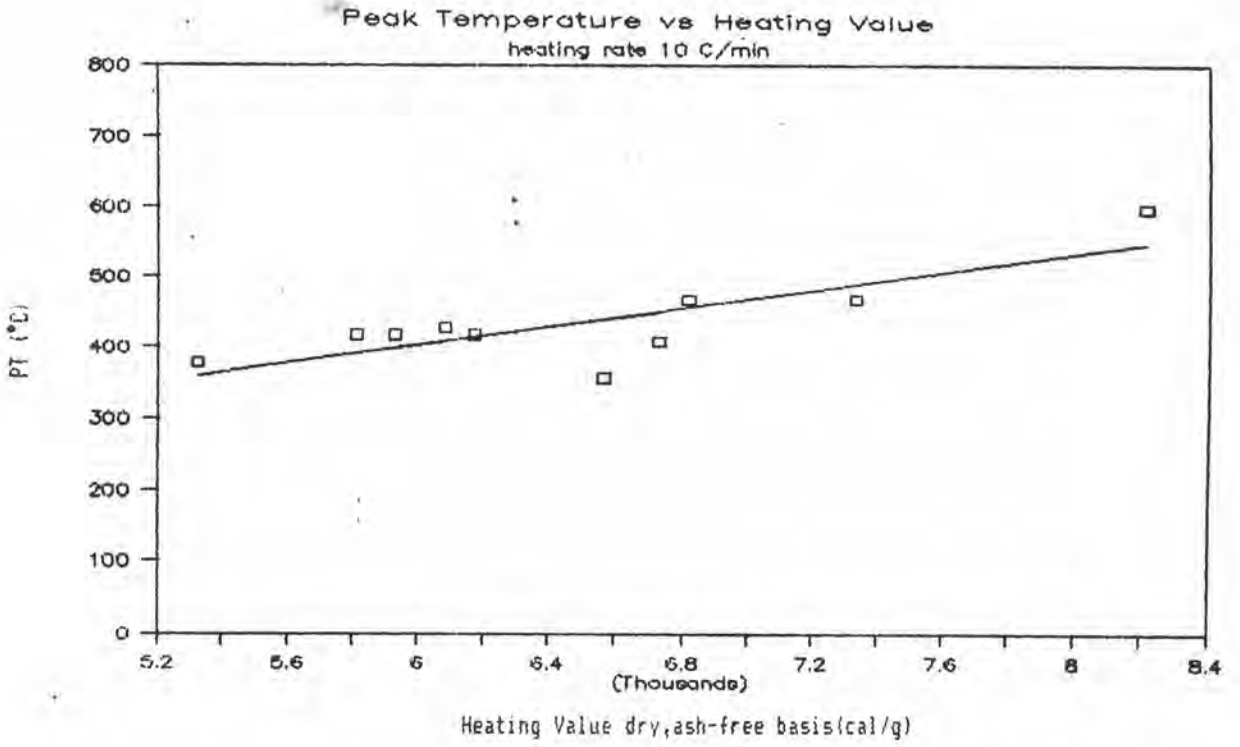
รูปที่ 4.12 อัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน(ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า)ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที



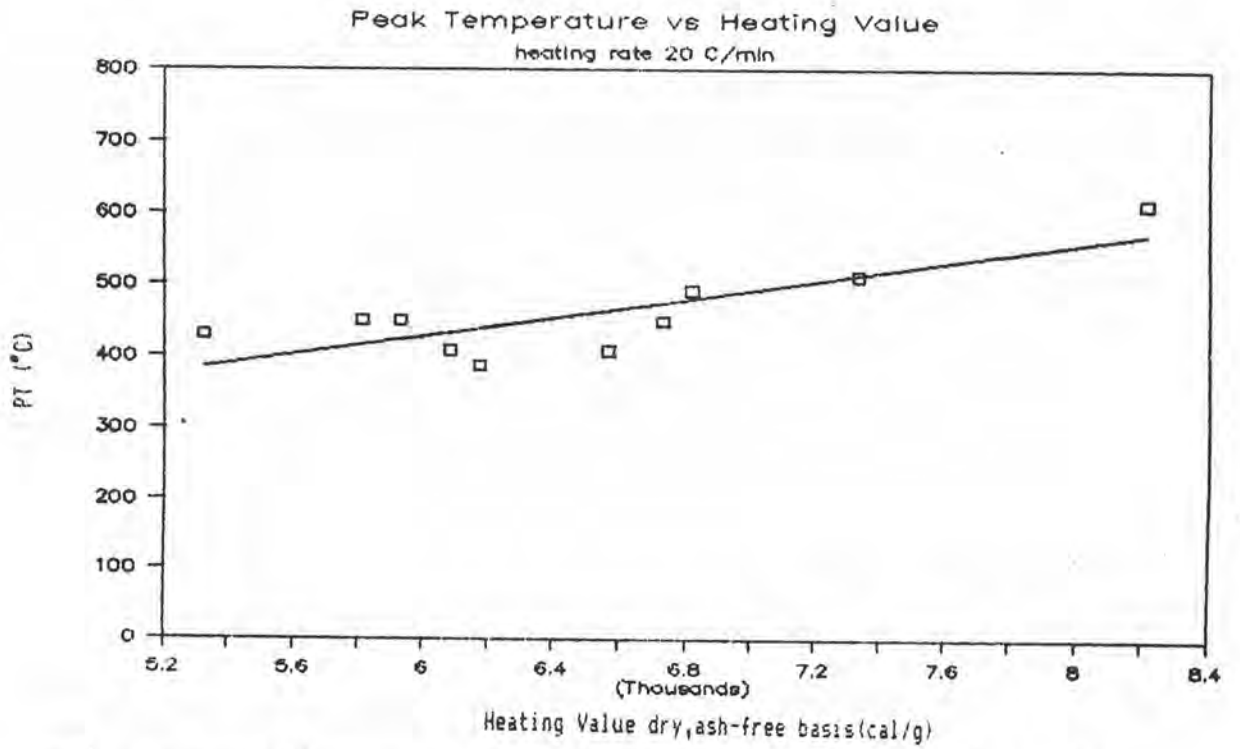
รูปที่ 4.13 อัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน(ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า)ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



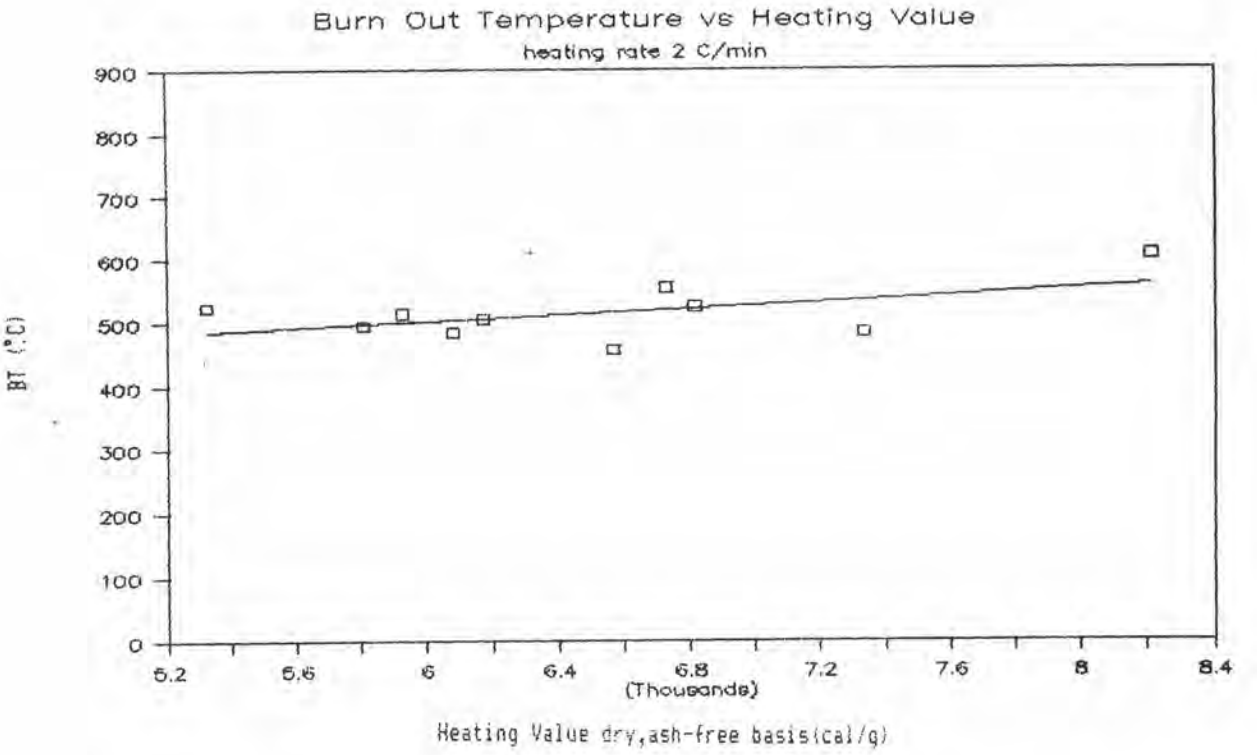
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที



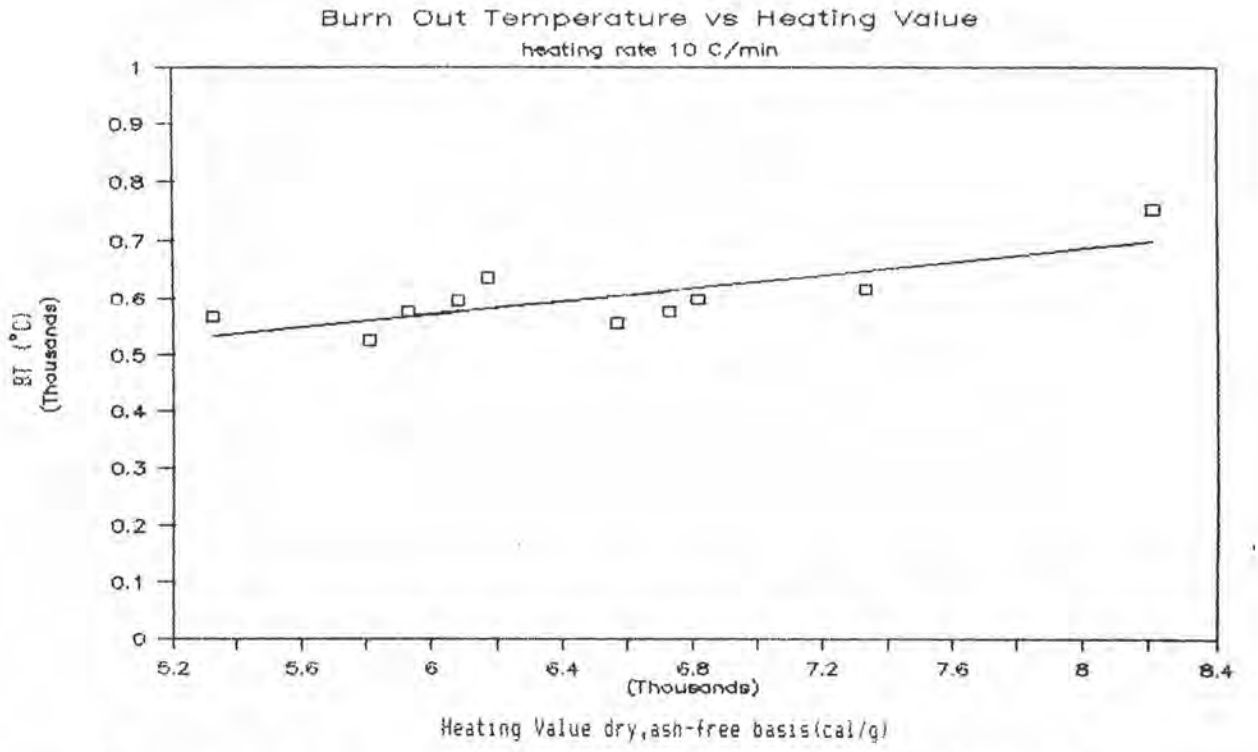
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที



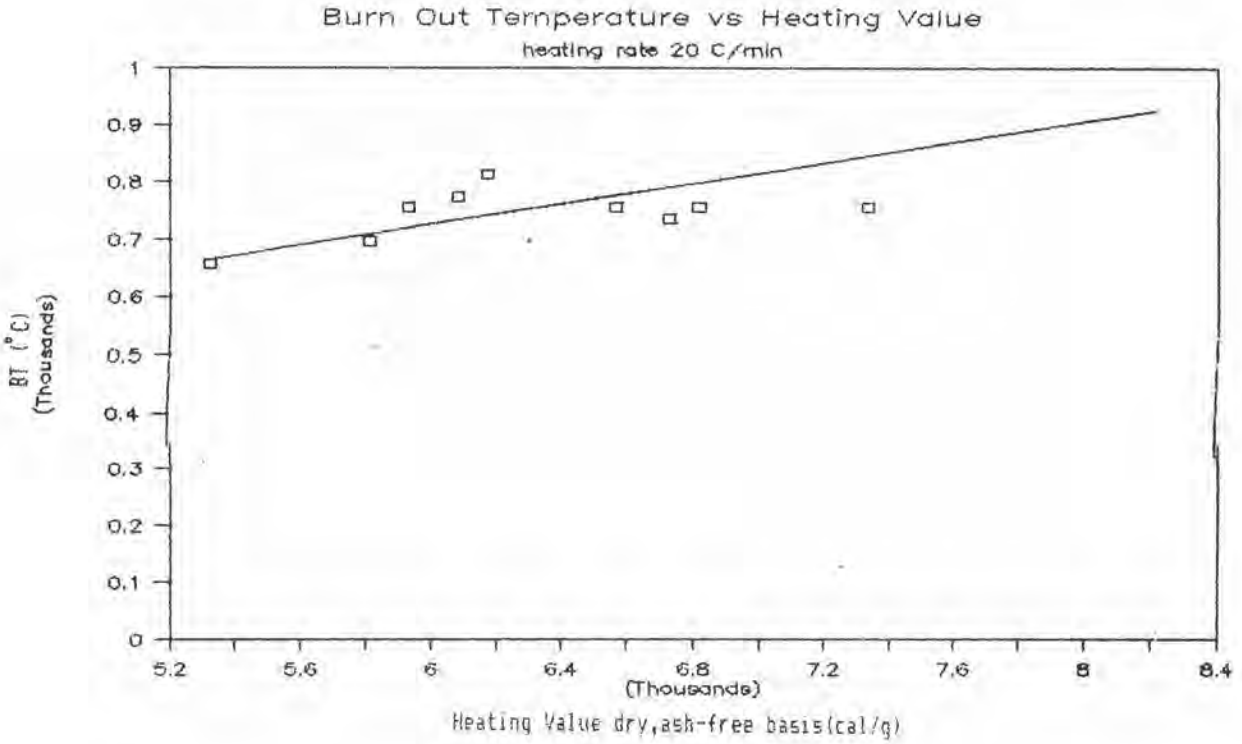
รูปที่ 4.16 อุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุดของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.17 อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.18 อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.19 อุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้งไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. **อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อน** เมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อน จาก 2 เป็น 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า

1. อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะเพิ่มขึ้น โดยที่

1.1 ถ่านหินจากแหล่งนาด้วง อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.42 - 1.13 มิลลิกรัมต่อนาที

1.2 ถ่านหินจากแหล่งหนองหญ้าปล้อง อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.30 - 1.13 มิลลิกรัมต่อนาที

1.3 ถ่านหินจากแหล่งบ้านป่าคา อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.24 - 1.08 มิลลิกรัมต่อนาที

1.4 ถ่านหินจากแหล่งบ้านปู อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.25 - 0.93 มิลลิกรัมต่อนาที

1.5 ถ่านหินจากแหล่งบางปูดำ อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุดจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.19 - 0.93 มิลลิกรัมต่อนาที

1.6 ถ่านหินจากแหล่งกระบี่ อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ใน

ช่วง ๐.25 - ๐.93 มิลลิกรัมต่อนาที

1.7 ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ 1 อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ในช่วง ๐.25 - ๐.93 มิลลิกรัมต่อนาที

1.8 ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ 2 อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ในช่วง ๐.21 - ๐.98 มิลลิกรัมต่อนาที

1.9 ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ 3 อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ในช่วง ๐.20 - 1.13 มิลลิกรัมต่อนาที

1.10 ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ Stock Pile อัตราการเผาไหม้ถ่านหินสูงสุด จะมีค่าอยู่ในช่วง ๐.24 - ๐.83 มิลลิกรัมต่อนาที

2. อุณหภูมิที่ถ่านหินมีอัตราการเผาไหม้สูงสุด (Peak Temperature,PT) และอุณหภูมิสุดท้ายของการเผาไหม้ (Burn Out Temperature,BT) จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหิน

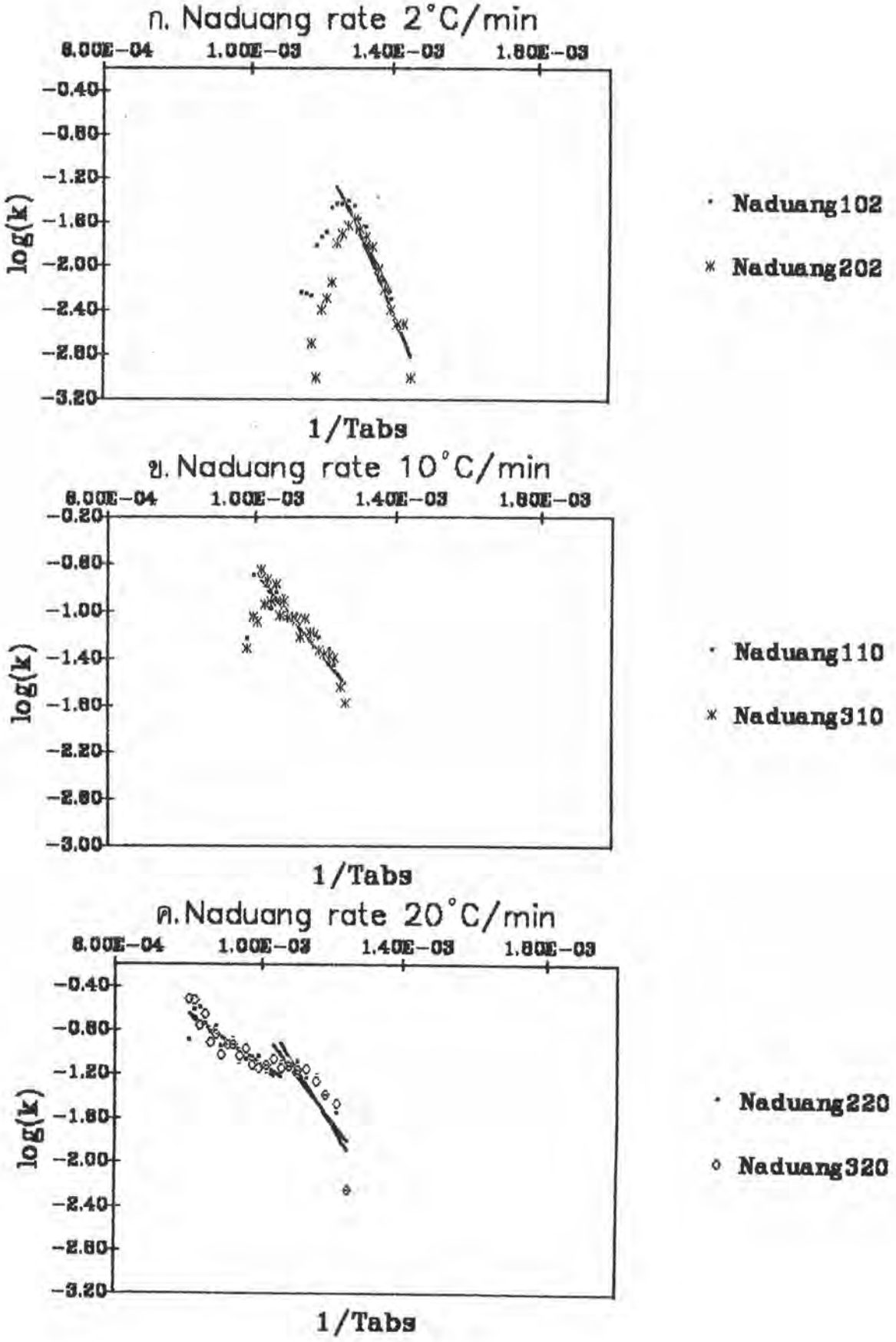
โดยจากการวิเคราะห์จะได้อัตราการสูญเสียน้ำหนักของถ่านหินที่อุณหภูมิต่างๆกัน นำน้ำหนักที่เหลืออยู่ในแต่ละช่วงอุณหภูมิมาทำการคำนวณหาน้ำหนักของส่วนที่เผาไหม้ได้ที่เหลืออยู่โดยหักปริมาณความชื้นและเถ้าซึ่งถือว่าเป็นค่าคงที่ออก ได้เป็นค่าที่จะนำมาคำนวณหาค่า k ต่อไป

จากค่า k และความสัมพันธ์ตามสมการ Arrhenius นำมาคำนวณ log(k) และ $1/T_{abs}$ ดังแสดงการคำนวณในภาคผนวก ค.5 จากนั้นนำค่า log k กับ $1/T_{abs}$ ไปสร้าง Arrhenius plot

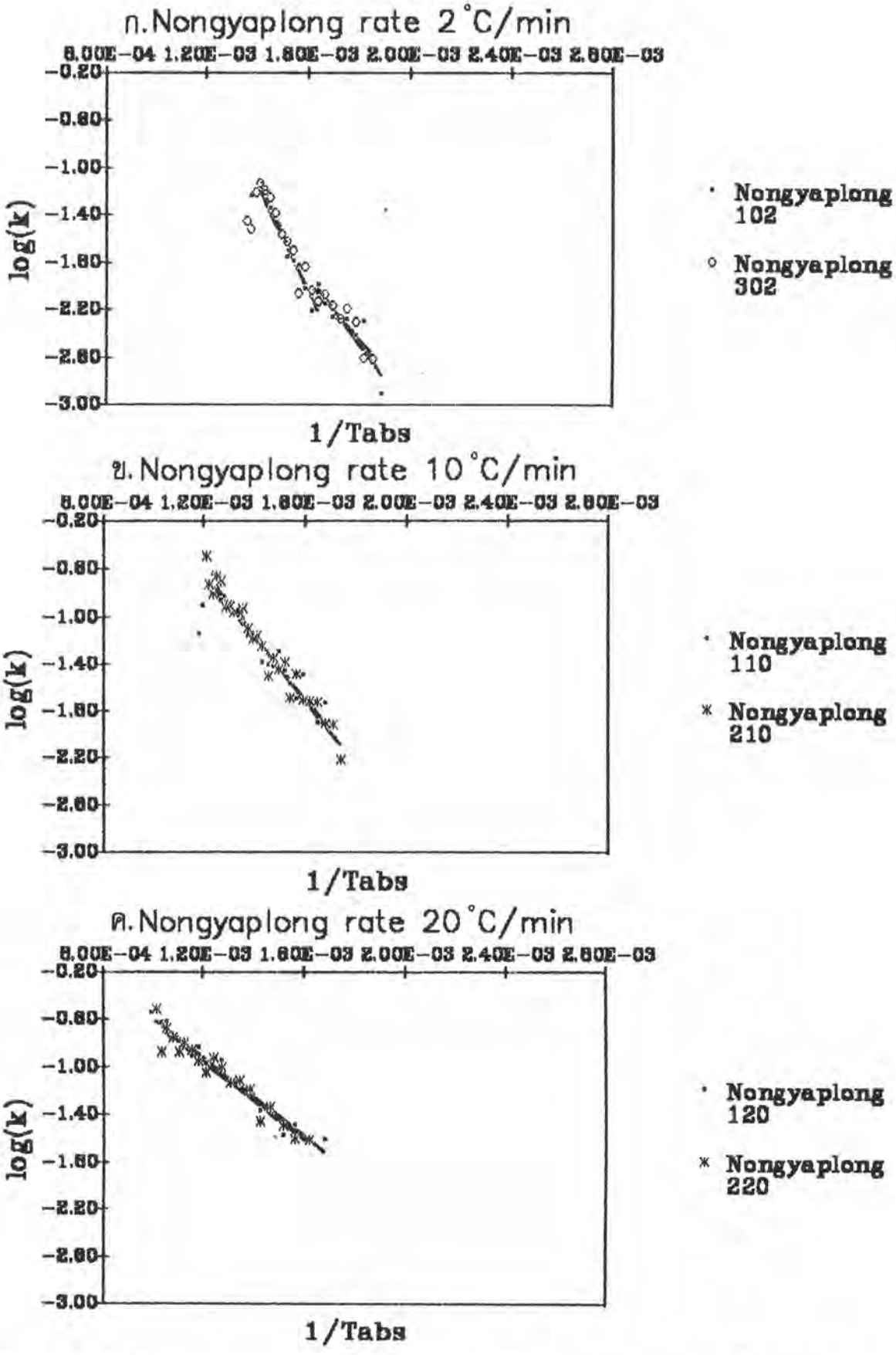
สำหรับ กราฟ Arrhenius plot ของถ่านหินแหล่งต่างๆที่อัตราการให้ความร้อนจาก 2 เป็น 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที แสดงในรูปที่ 4.20 ถึง4.29

จากความชันของเส้นกราฟ Arrhenius plot จะสามารถหาค่าพลังงานกระตุ้นของถ่านหินแต่ละแหล่งได้ และเนื่องจากในการเผาไหม้ของถ่านหินแต่ละแหล่งอาจจะเกิดค่าพลังงานกระตุ้นหลายค่า เนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ในแต่ละช่วงอุณหภูมิแตกต่างกัน จึงต้องนำมาทำการเฉลี่ยทางน้ำหนักให้เป็นค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, E_m ของถ่านหินแหล่งนั้นๆ

ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหินแหล่งต่างๆ, E_m แสดงไว้ในตารางที่ 4.6



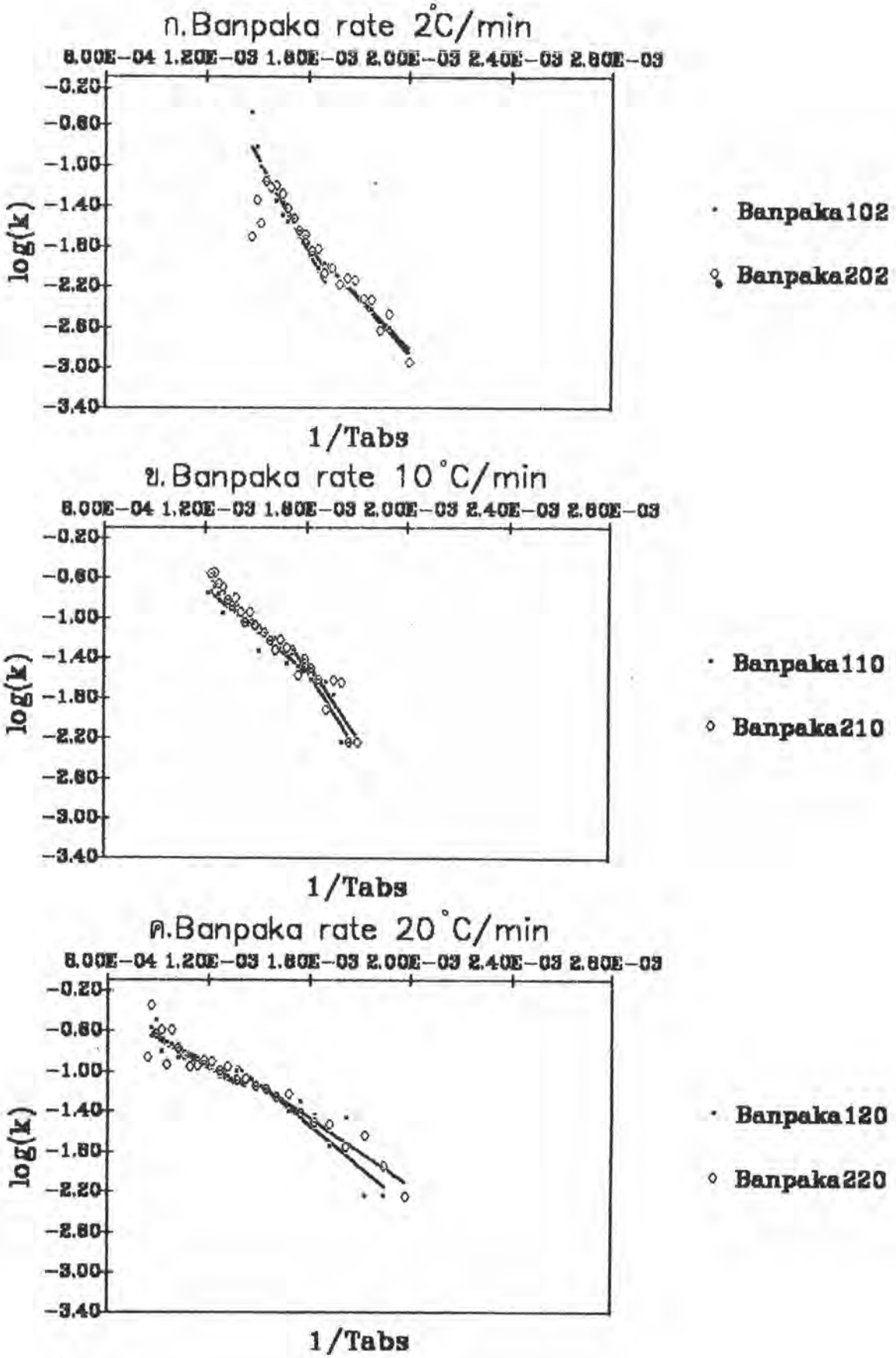
รูปที่ 4.20 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งนาด้วง ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที
ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



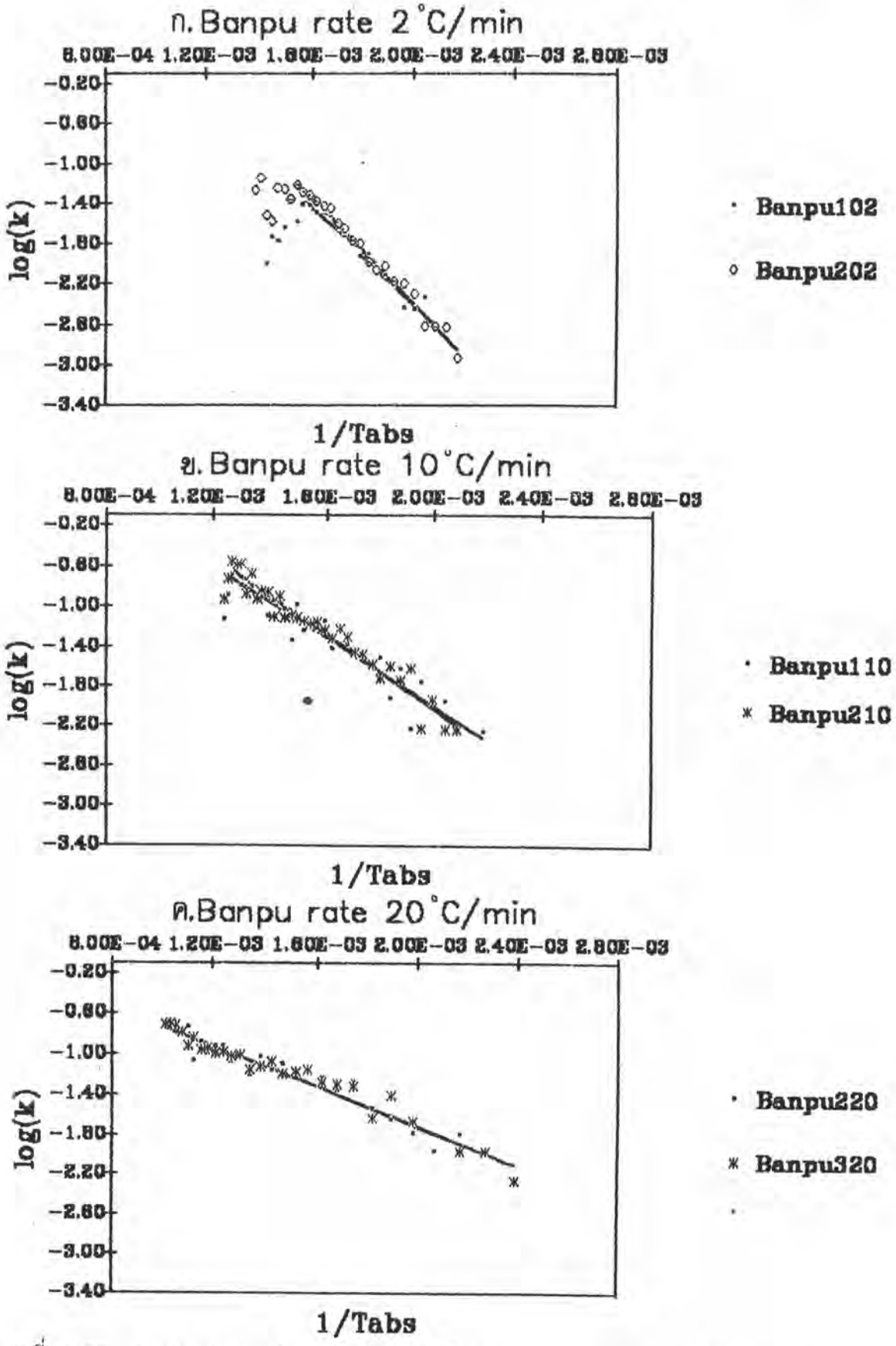
รูปที่ 4.21 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งหนองหญ้าปล้อง ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

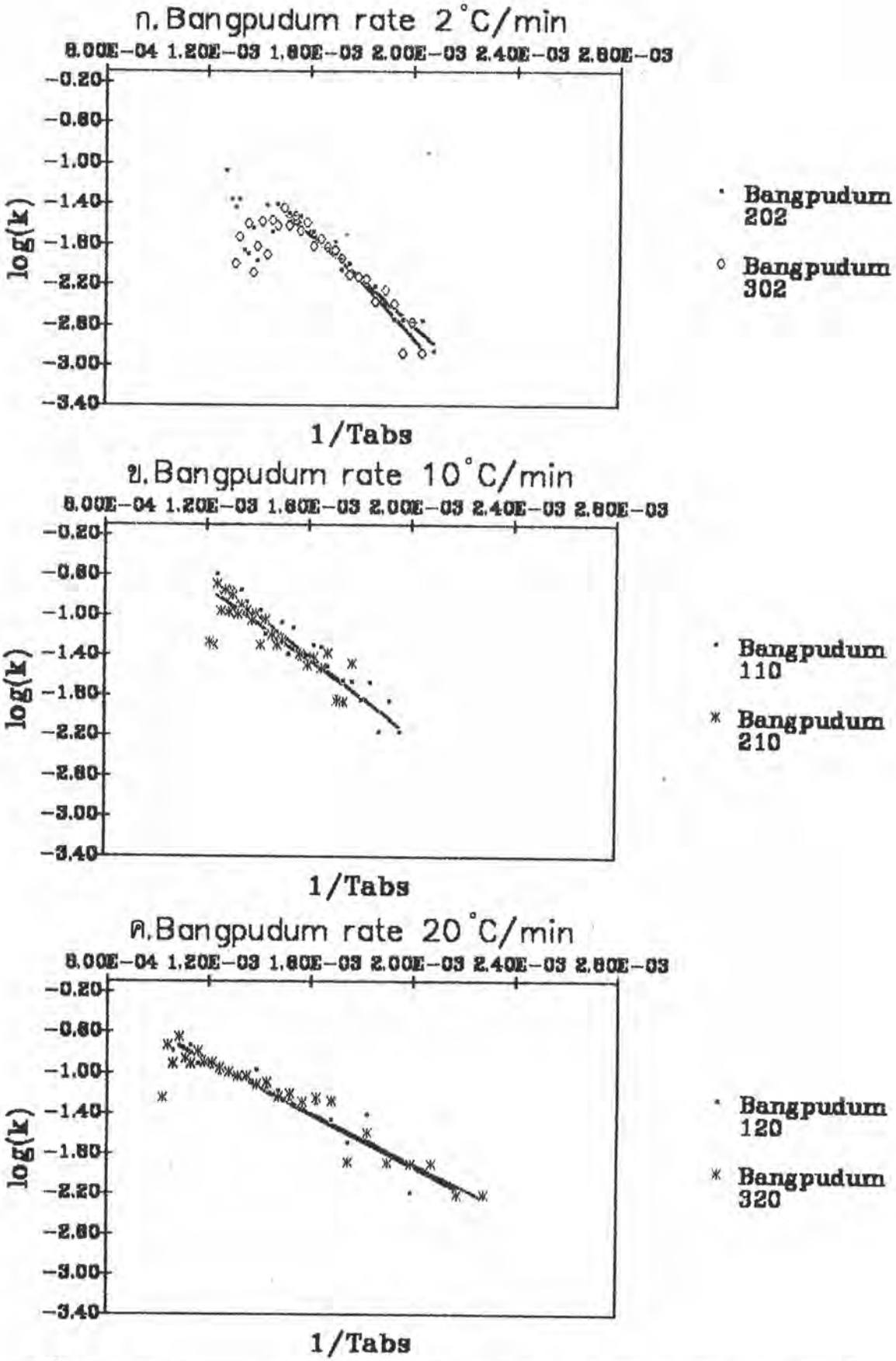
ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.22 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งบ้านป่าคำ ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที
ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



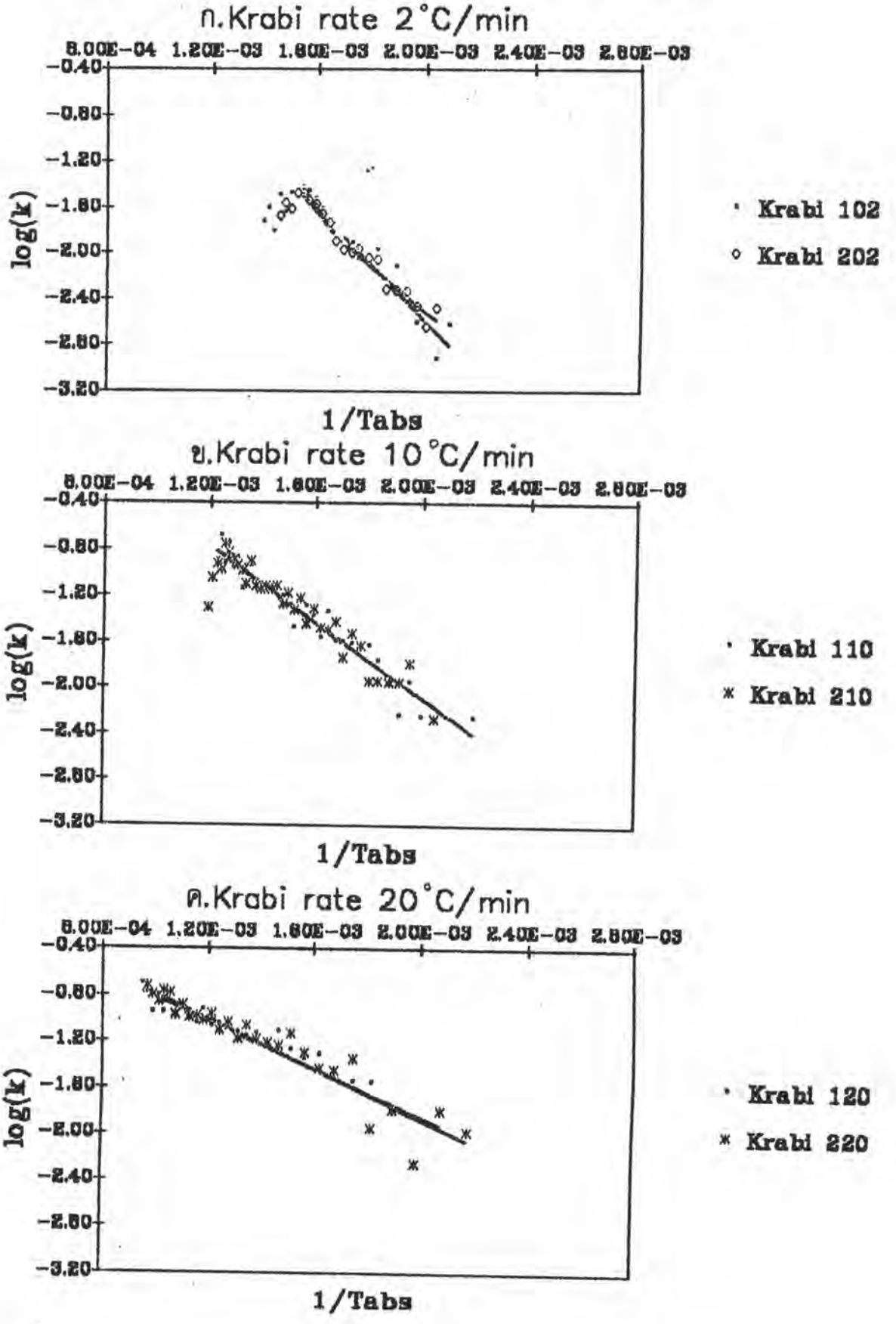
รูปที่ 4.23 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งบ้านปู ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที
ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.24 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งบางปูดำ ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

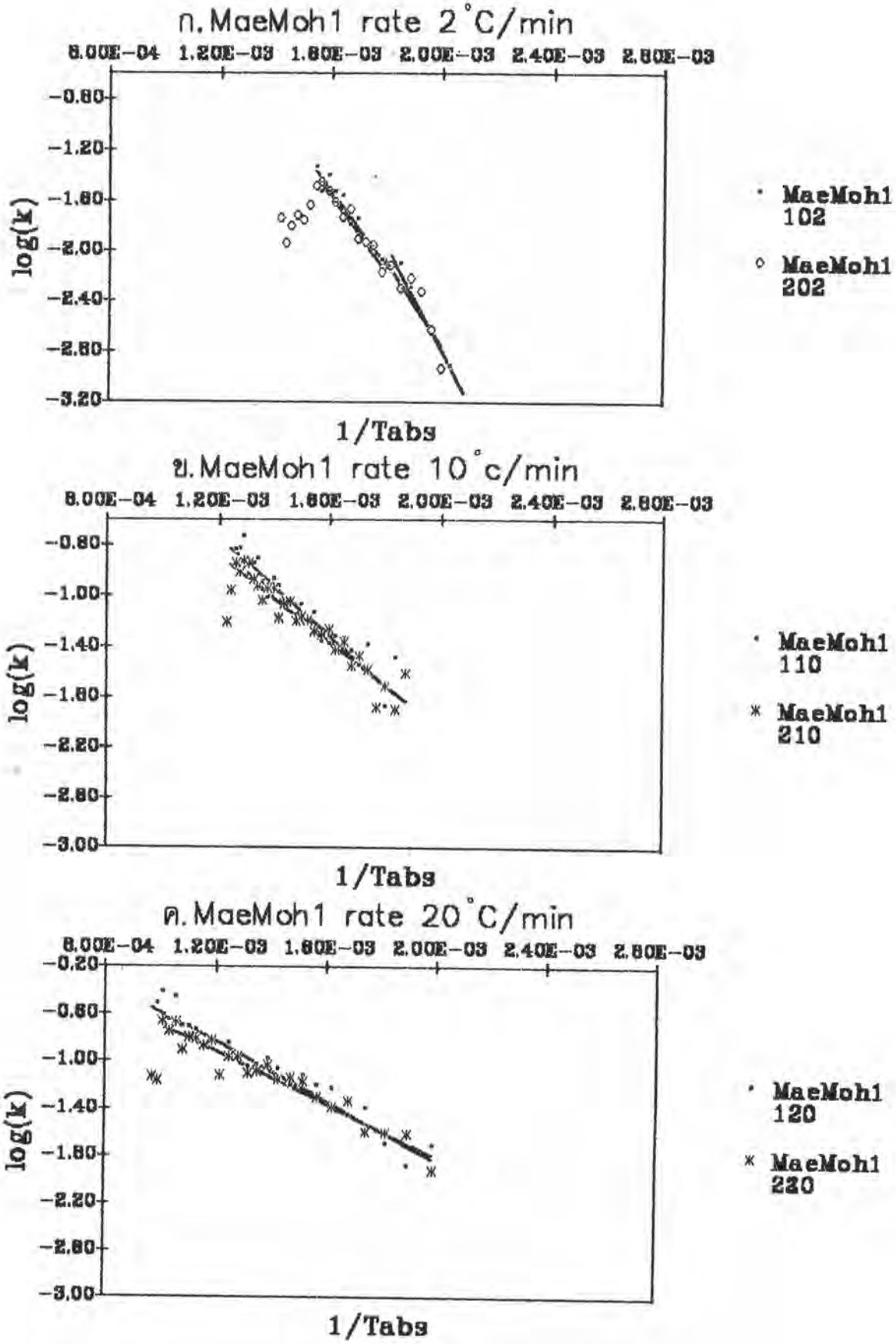
ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.25 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งกระบี่ ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

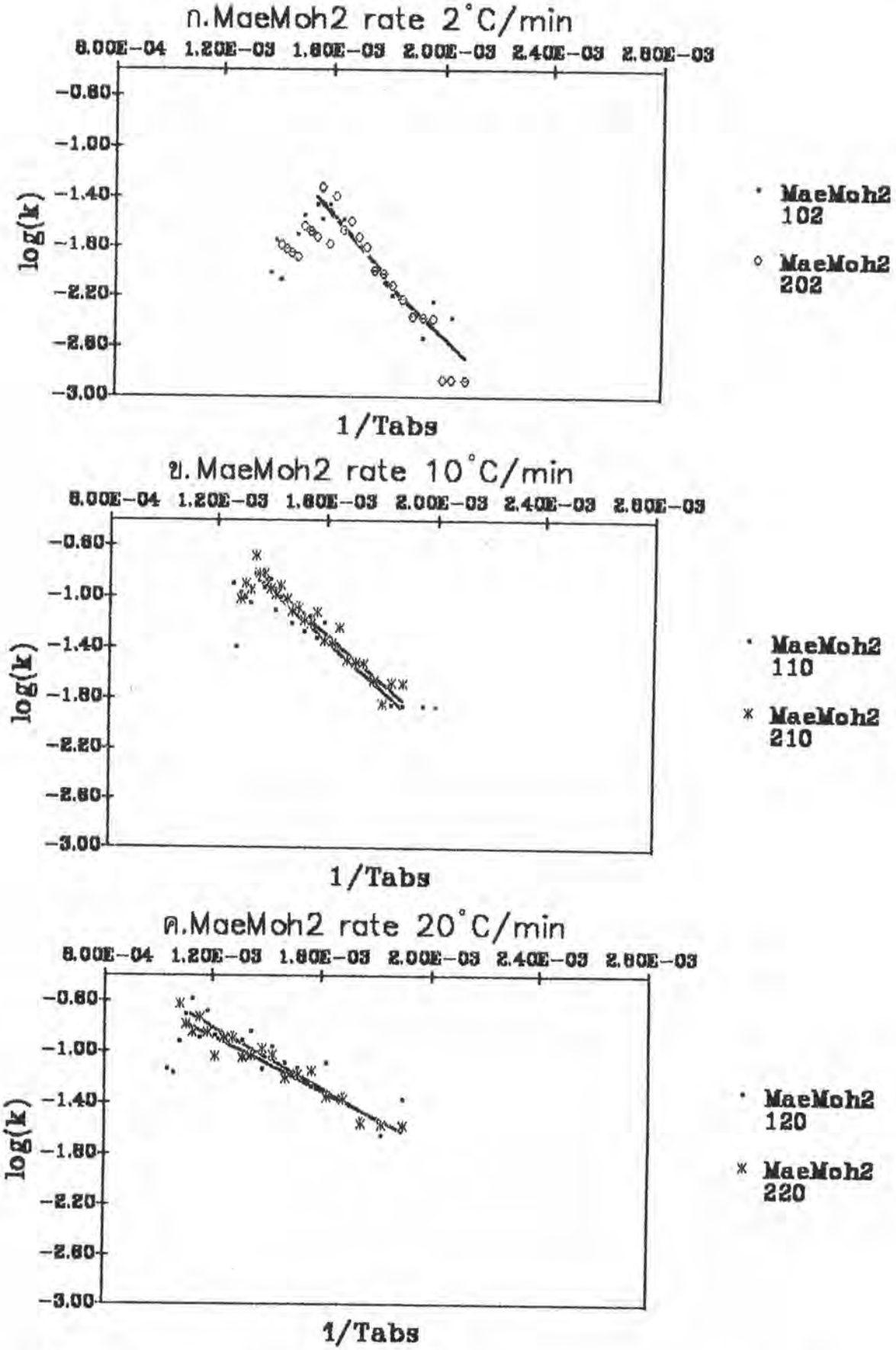
ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.26 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ1 ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

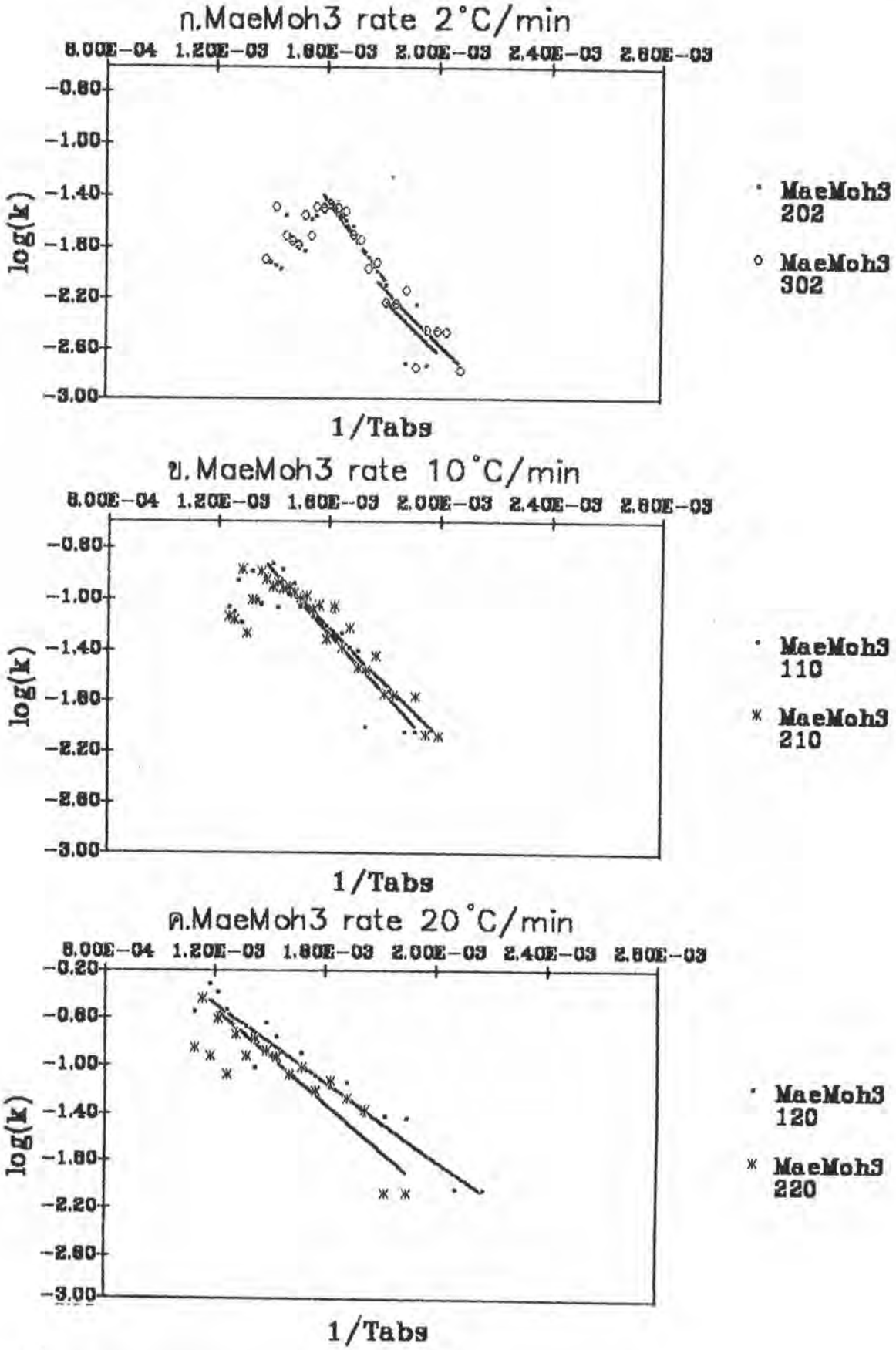
ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.27 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ2 ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

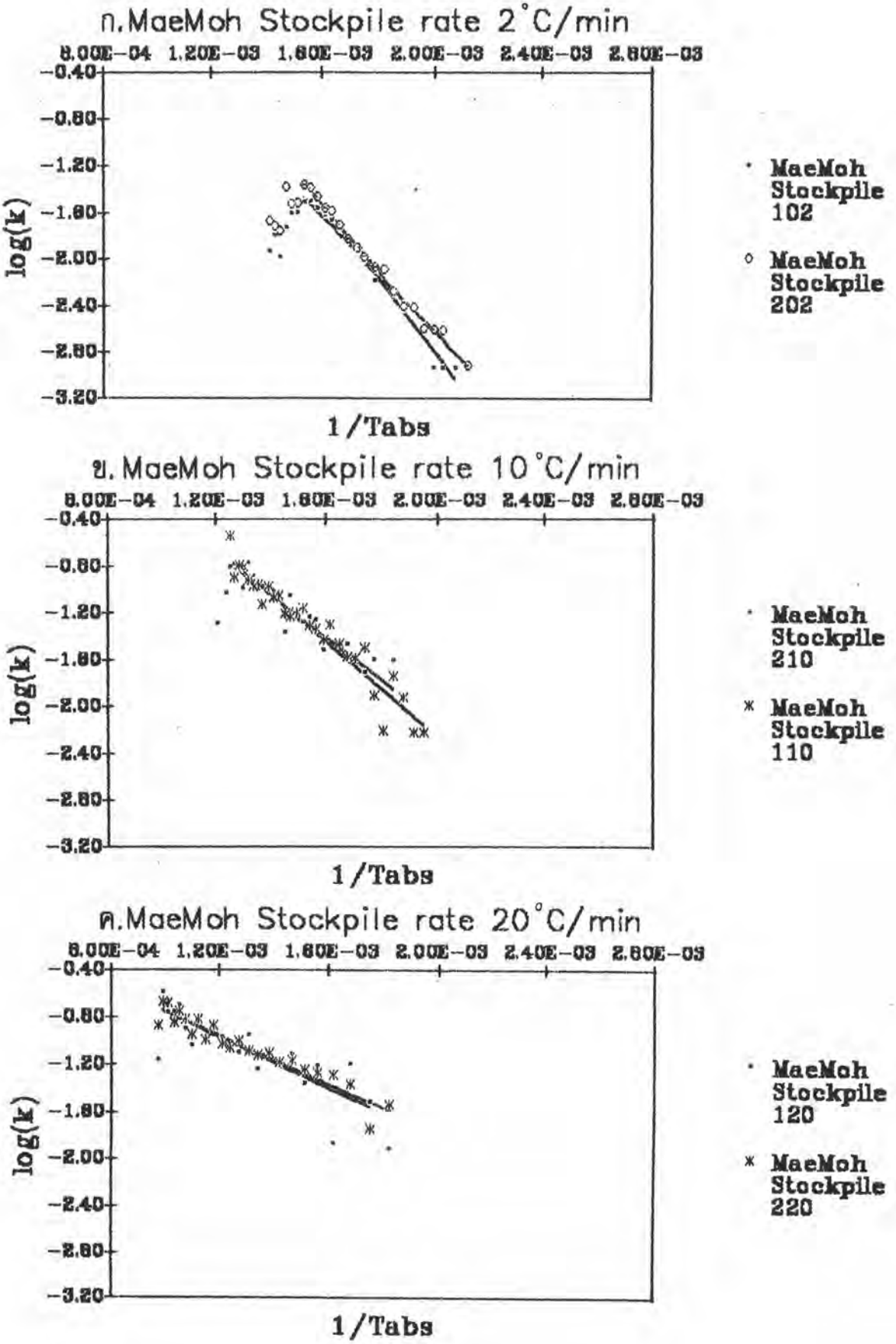
ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.28 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ3 ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที



รูปที่ 4.29 Arrhenius plot ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ stockpile ก. 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

ค. 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, E_m ของถ่านหินจากแหล่งต่างๆ

ตัวอย่างถ่านหิน	อัตราการให้ความร้อน (°ซ ต่อ นาที)	ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m (กิโลจูล/โมล)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
นาด้วง	2	91.44	84.75
	10	60.22	56.39
	20	60.20	53.71
หนองหญ้าปล้อง	2	66.33	73.03
	10	41.89	42.84
	20	29.82	26.20
บ้านป่าคา	2	82.64	65.71
	10	45.80	49.46
	20	32.99	30.53
บ้านปู	2	30.30	43.31
	10	32.82	34.93
	20	18.74	19.40
ทางผู่ดำ	2	32.51	30.49
	10	34.26	29.16
	20	22.08	21.52

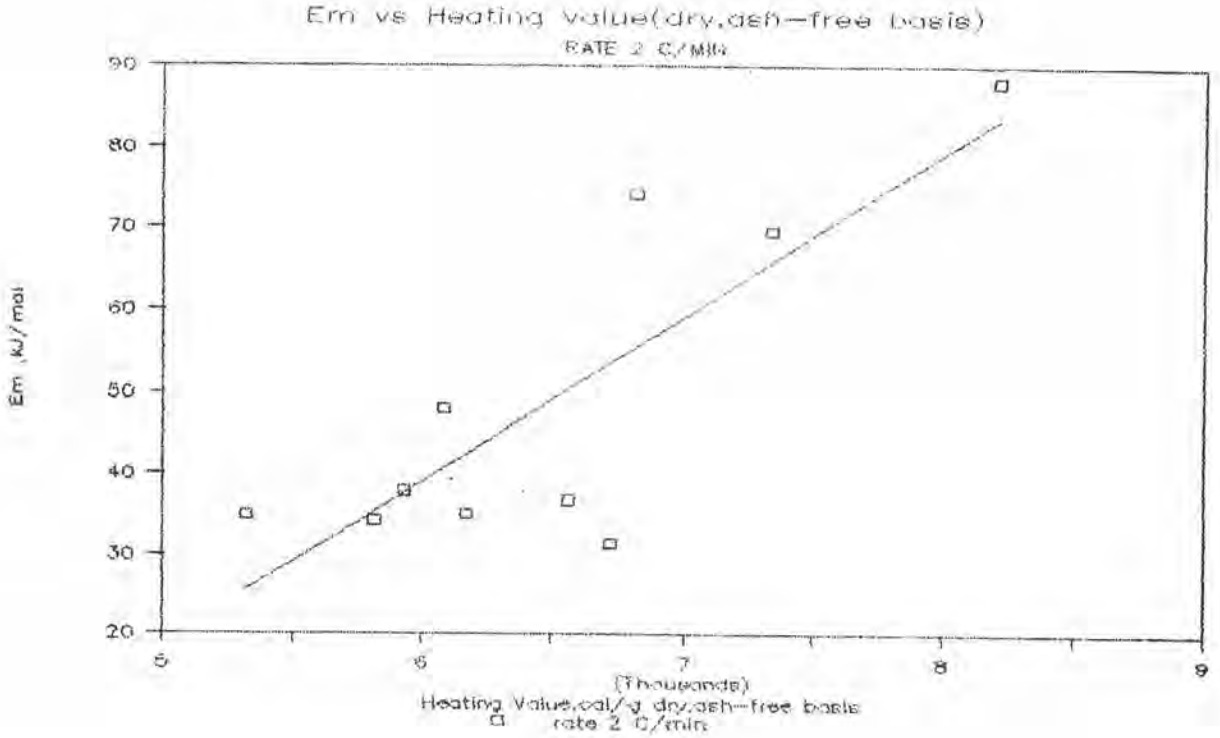
ตารางที่ 4.6 ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, E_m ของถ่านหินจากแหล่งต่างๆ (ต่อ)

ตัวอย่างถ่านหิน	อัตราการให้ความร้อน (°ซ ต่อ นาที)	ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m (กิโลจูล/โมล)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
กระบี่	2	32.46	37.59
	10	30.95	30.84
	20	20.33	21.39
แม่เมาะ 1	2	46.18	49.91
	10	34.83	31.45
	20	24.32	21.17
แม่เมาะ 2	2	34.53	33.91
	10	29.23	30.43
	20	21.31	18.71
แม่เมาะ 3	2	35.81	34.07
	10	36.80	31.23
	20	30.63	30.59
แม่เมาะ SP	2	35.89	39.95
	10	29.87	34.08
	20	19.36	19.32

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของ อัตราการให้ความร้อน และค่าความร้อนของถ่านหินที่มีต่อค่าพลังงานกระตุ้น, E_m ได้ผลดังนี้

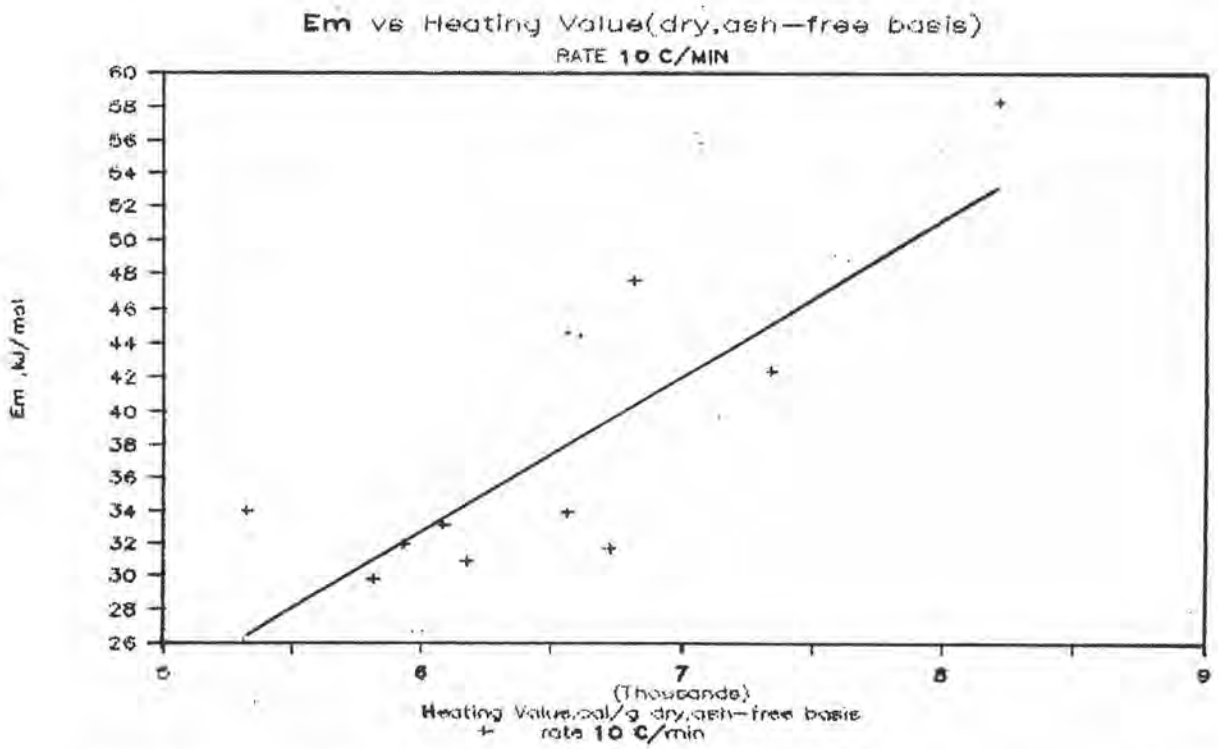
ก. **อิทธิพลของค่าความร้อน** เมื่อค่าความร้อนของถ่านหินเพิ่มขึ้นจาก 2,798 จนถึง 7,018 แคลอรีต่อกรัม จะมีผลต่อค่าพลังงานกระตุ้น, E_m คือ ทำให้ค่า E_m เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยพบว่า

1. ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ค่าพลังงานกระตุ้นมีค่าอยู่ในช่วง 32.46-91.44 กิโลจูลต่อโมล ดังรูปที่ 4.30



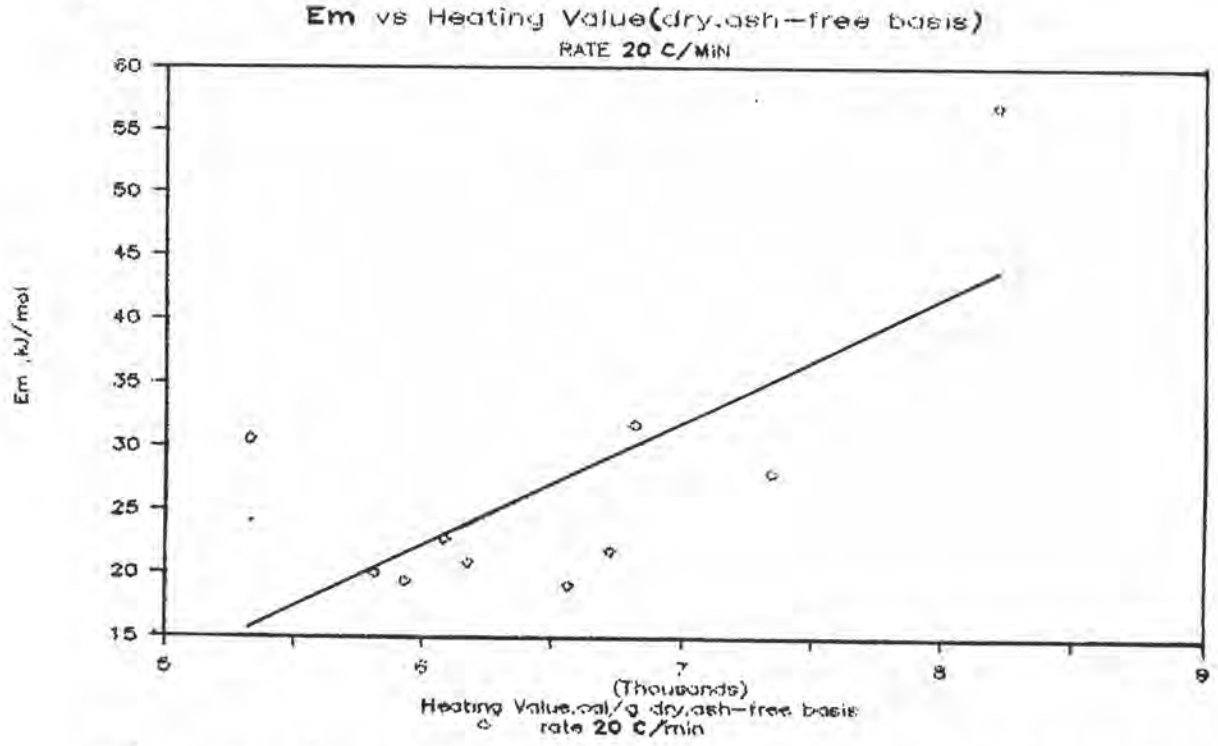
รูปที่ 4.30 ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที

2. ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ค่าพลังงานกระตุ้นมีค่าอยู่ในช่วง 29.16-60.22 กิโลจูลต่อโมล ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

3. ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ค่าพลังงานกระตุ้นมีค่าอยู่ในช่วง 18.74-60.20 กิโลจูลต่อโมล ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนักของถ่านหินแต่ละแหล่ง เทียบกับค่าความร้อน (ตัวอย่างแห้ง ไม่รวมเถ้า) ที่อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

ข. **อิทธิพลของอัตราการให้ความร้อน** เมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อน จาก 2 เป็น 10 และ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อน ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะลดลง

1. ถ่านหินจากแหล่งนาด้วง ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 53.71 -91.44 กิโลจูลต่อโมล

2. ถ่านหินจากแหล่งหนองหญ้าปล้อง ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 26.20-73.03 กิโลจูลต่อโมล

3. ถ่านหินจากแหล่งบ้านป่าคา ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 30.53 - 82.64 กิโลจูลต่อโมล

4. ถ่านหินจากแหล่งบ้านปู ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 18.74-43.31 กิโลจูลต่อโมล

5. ถ่านหินจากแหล่งบางปูดำ ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 21.52 -34.26 กิโลจูลต่อโมล

6. ถ่านหินจากแหล่งกระบี่ ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 20.33 -37.59 กิโลจูลต่อโมล

7. ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ 1 ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 21.17-49.91 กิโลจูลต่อโมล

8. ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ 2 ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 18.71-34.53 กิโลจูลต่อโมล

9. ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ 3 ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 30.59-35.81 กิโลจูลต่อโมล

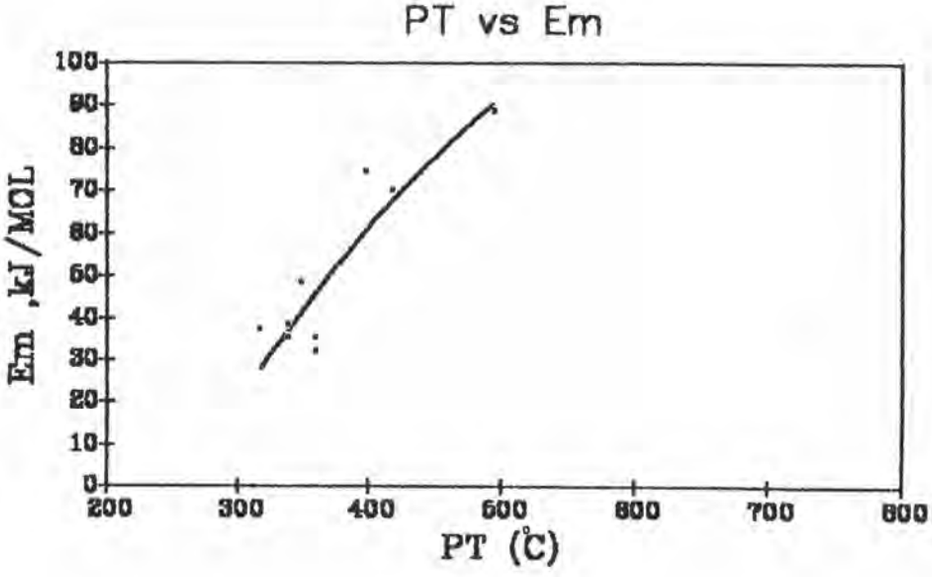
10. ถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ Stock Pile ค่าพลังงานกระตุ้น, E_m จะมีค่าอยู่ในช่วง 19.32-39.95 กิโลจูลต่อโมล

4.7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, E_m กับอุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุด, PT ของถ่านหินทั้ง 10 แหล่ง

สำหรับอัตราการให้ความร้อน 2 องศาเซลเซียสต่อนาที แสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.7 และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.33

ตารางที่ 4.7 ค่า E_m และ PT สำหรับถ่านหิน 10 แหล่ง (อัตราการให้ความร้อน 2 °ซ ต่อนาที)

ตัวอย่างถ่านหิน	ศักดิ์ของถ่านหิน	PT (°ซ)	E_m (กิโลจูล/โมล)
นาด้วง	เซมิ แอนทราไซต์	494	88.10
หนองหญ้าปล้อง	บิทูมินัส ซี สารระเหยได้สูง	417	69.68
บ้านป่าคา	ซับบิทูมินัส เอ	397	74.18
บ้านปู	ซับบิทูมินัส บี	317	36.81
บางปูดำ	ซับบิทูมินัส บี	358	31.50
กระบี่	ซับบิทูมินัส บี	358	35.03
แม่เมาะ 1	ซับบิทูมินัส ซี	348	48.05
แม่เมาะ 2	ซับบิทูมินัส ซี	338	34.22
แม่เมาะ 3	ซับบิทูมินัส ซี	338	34.94
แม่เมาะ SP	ซับบิทูมินัส ซี	338	37.92

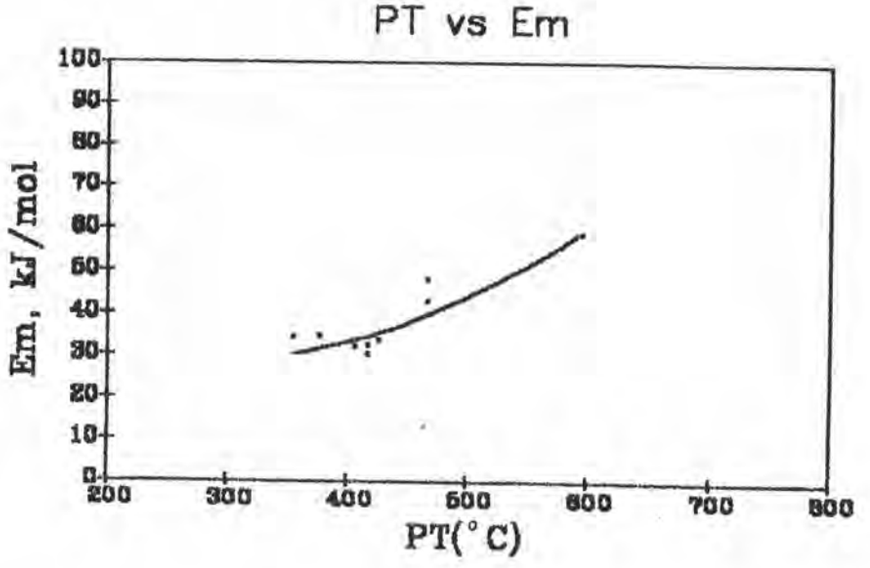


รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, E_m กับอุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุด, PT ของถ่านหิน 10 แหล่ง ที่อัตราการให้ความร้อน 2 °ซ ต่อนาที

สำหรับอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที แสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.8 และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.34

ตารางที่ 4.8 ค่า E_m และ PT สำหรับถ่านหิน 10 แหล่ง (อัตราการให้ความร้อน 10 °ซ ต่อนาที)

ตัวอย่างถ่านหิน	ศักดิ์ของถ่านหิน	PT (°ซ) .	E_m (กิโลจูล/โมล)
นาด้วง	เซมิ แอนทราไซต์	595	58.31
หนองหญ้าปล้อง	บิทูมินัส ซี สารระเหยได้สูง	466	42.37
บ้านป่าคา	ซับบิทูมินัส เอ	466	47.63
บ้านปู	ซับบิทูมินัส บี	355	33.88
บางปูดำ	ซับบิทูมินัส บี	406	31.71
กระบี่	ซับบิทูมินัส บี	416	30.90
แม่เมาะ 1	ซับบิทูมินัส ซี	426	33.14
แม่เมาะ 2	ซับบิทูมินัส ซี	416	29.83
แม่เมาะ 3	ซับบิทูมินัส ซี	376	34.02
แม่เมาะ SP	ซับบิทูมินัส ซี	416	31.98

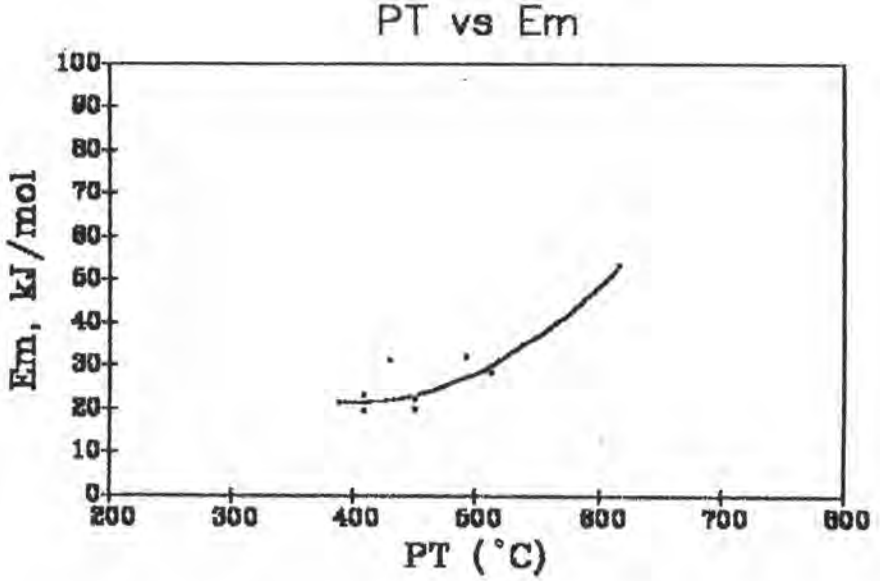


รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, E_m กับอุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุด, PT ของถ่านหิน 10 แหล่ง ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °ซ ต่อนาที

สำหรับอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที แสดงค่าไว้ในตารางที่ 4.9 และสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.35

ตารางที่ 4.9 ค่า E_m และ PT สำหรับถ่านหิน 10 แหล่ง (อัตราการให้ความร้อน 20 °ซ ต่อนาที)

ตัวอย่างถ่านหิน	คักดิ์ของถ่านหิน	PT (°ซ)	E_m (กิโลจูล/โมล)
นาด้วง	เซมิ แอนทราไซต์	615	52.96
หนองหญ้าปล้อง	บิทูมินัส ซี สารระเหยได้สูง	513	28.01
บ้านป่าคา	ซับบิทูมินัส เอ	492.5	31.76
บ้านปู	ซับบิทูมินัส บี	409	19.07
บางปูดำ	ซับบิทูมินัส บี	451	21.80
กระบี่	ซับบิทูมินัส บี	388	20.86
แม่เมาะ 1	ซับบิทูมินัส ซี	409	22.75
แม่เมาะ 2	ซับบิทูมินัส ซี	451	20.01
แม่เมาะ 3	ซับบิทูมินัส ซี	430	30.61
แม่เมาะ SP	ซับบิทูมินัส ซี	451	19.34



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกระตุ้นเฉลี่ยทางน้ำหนัก, E_m กับอุณหภูมิที่มีอัตราการเผาไหม้สูงสุด, PT ของถ่านหิน 10 แหล่ง ที่อัตราการให้ความร้อน 20 °ซ ต่อนาที