บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองศึกษาถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อน โดยใช้ปูนขาว โดยตัวแปรสำคัญที่ทำการศึกษาคือ อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล), ร้อยละของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน และคุณภาพของถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ภายในประเทศ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินเบื้องต้น

เมื่อนำถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ คือ แม่เมาะ (MM), บางปูดำ (PD), คลองหวายเล็ก (KV), บ้านปู (BP) และป่าคา (PK) มาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น คือ วิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis), วิเคราะห์ค่าความร้อน (gross heating value), วิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถันในถ่านหิน ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.1 พบว่าถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ มีคุณสมบัติแตกต่างกัน มีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 14-25 ส่วนใหญ่มีปริมาณสารระเหยได้อยู่ค่อนข้างสูง คือร้อยละ 39-46 ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 4,300-5,400 แคลอรีต่อกรัม และจากค่าความร้อนดังกล่าวเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตาราง 2.1 ซึ่งแสดงการแบ่งถ่านหินตามศักดิ์โดยวิธี ASTM D388 พบว่าถ่านหินแหล่งบางปูดำและบ้านปูเป็นลิกไนท์ ถ่านหินแหล่งแม่เมาะเป็นถ่านหินประเภทซับบิทูมินัส C ส่วนถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็กและป่าคาเป็นถ่านหินประเภทซับบิทูมินัส B สำหรับปริมาณกำมะถันรวมอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ร้อยละ 1.90-5.66 เทียบกับถ่านหินแห้ง ซึ่งนับว่ามีปริมาณมาก กำมะถันรวมนี้แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ กำมะถันซัลเฟต, กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันอินทรีย์ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งของถ่านหิน เมื่อนำถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกำมะถันในถ่านหินจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ได้นำปูนขาวใส่ในถ่านหินอัดก้อน เพื่อให้ปูนขาวทำหน้าที่จับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กลายเป็นแคลเซียมซัลเฟตในเถ้าหลังการเผาไหม้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ

รายการที่วิเคราะห์ \ แหล่งถ่านหิน	แม่เมาะ จ.ลำปาง (MM)	บางปูดำ จ.กระบี่ (PD)	คลองหวายเล็ก จ.กระบี่ (KV)	บ้านปู จ.ลำพูน (BP)	ป่าคา จ.ลำพูน (PK)
1) การวิเคราะห์แบบประมาณ					
ก. air-dried basis					
- ความชื้น	28.74	14.12	16.93	13.02	11.18
- เถ้า	14.73	17.02	11.61	21.87	17.56
- สารระเหยได้	28.33	34.76	38.52	34.22	36.51
- คาร์บอนคงตัว	28.20	34.10	32.94	30.89	34.75
ข. dry basis					
- เถ้า	20.67	19.82	13.98	25.14	19.77
- สารระเหยได้	39.76	40.48	46.37	39.34	41.11
- คาร์บอนคงตัว	39.57	39.70	39.65	35.52	39.12
2) ค่าความร้อนของถ่านหิน (คาลอรีต่อกรัม)	4,716	4,586	5,341	4,363	5,412
3) กำมะถันในถ่านหิน					
ก. ปริมาณกำมะถันรวม, % (โดยวิธี Eschka)	5.66	4.93	4.22	2.50	1.90
ข. รูปแบบของกำมะถัน					
- กำมะถันซัลเฟต, %	0.80 (14.13%)*	1.48 (30.02%)	0.70 (16.59%)	0.77 (30.80%)	0.58 (30.53%)
- กำมะถันไพไรต์, %	2.13 (37.63%)*	1.09 (22.11%)	1.14 (27.01%)	0.42 (16.80%)	0.32 (16.84%)
- กำมะถันอินทรีย์, %	2.73 (48.23%)*	2.36 (47.87%)	2.38 (56.40%)	1.41 (56.40%)	1.00 (52.63%)

หมายเหตุ 1. air-dried basis หมายถึง สภาวะที่ทิ้งตัวอย่างไว้ในบรรยากาศจนมีความชื้นอยู่ในสมดุล

2. dry basis หมายถึง สภาวะที่ไม่รวมความชื้น

* (A%) หมายถึง ร้อยละของกำมะถันรูปแบบต่าง ๆ เทียบกับกำมะถันรวมในถ่านหิน

จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณากำมะถันซัลเฟตในถ่านหิน พบว่าถ่านหินแหล่งแม่เมาะและคลองหวายเล็กมีกำมะถันชนิดนี้อยู่เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าถ่านหินอีก 3 แหล่ง กล่าวคือ มีกำมะถันซัลเฟตประมาณร้อยละ 14-17 ของกำมะถันรวม ในขณะที่ถ่านหินแหล่งบางปูดำ, บ้านปู และป่าคา มีกำมะถันซัลเฟตประมาณร้อยละ 30 กำมะถันรูปแบบนี้จะไม่เกิดการออกซิไดซ์อีกต่อไป ดังนั้นสัดส่วนของกำมะถันซัลเฟตในถ่านหินเริ่มต้นจะมีผลต่อปริมาณกำมะถันซัลเฟตในเถ้าด้วย การที่ถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ที่นำมาศึกษามีปริมาณกำมะถันรวมแตกต่างกันในช่วงกว้าง ตลอดจนมีรูปแบบของกำมะถันแต่ละชนิดในสัดส่วนที่ต่างกันออกไป จึงทำให้เกิดความเหมาะสมต่อการศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อน

4.2 ผลการวิเคราะห์ดินเหนียวและปูนขาว

4.2.1 จากการนำดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน

รายการที่วิเคราะห์	น้ำหนัก, ร้อยละ
Ignition loss	5.26
Fe_2O_3	5.60
Al_2O_3	15.81
SiO_2	67.36
CaO	0.66
MgO	1.02

จากตารางที่ 4.2 พบว่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของดินเหนียวมีส่วนสำคัญต่อปฏิกิริยาการขจัดกำมะถันในถ่านหิน คือ CaO และ MgO แม้จะมีอยู่ในปริมาณน้อย แต่สารทั้ง 2 ตัวนี้ก็เป็นตัวดูดจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ ส่วน Al_2O_3 และ SiO_2 เป็นตัวช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันอินทรีย์เป็นไปได้ดียิ่งขึ้น (35) และจากงานวิจัยของ Nirav J. Desal ร่วมกับ Ralph T. Yang พบว่า Fe_2O_3 ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟชัน ทำให้การขจัด

กำมะถันในถ่านหินโดยใช้ปูนขาวดีขึ้นเช่นกัน (26) กล่าวโดยสรุปดินเหนียวที่เลือกใช้เป็นตัวประสานในถ่านหินอัดก้อน นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานแล้ว ยังมีแนวโน้มที่จะช่วยให้การขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีกด้วย

4.2.2 ปูนขาวที่ใช้ในการอัดก้อนถ่านหินต้องนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ CaO เพื่อจะได้สามารถนำไปคำนวณปริมาณปูนขาวที่ใช้ในการอัดก้อนถ่านหินแต่ละครั้ง

ปูนขาวที่ใช้มี CaO อยู่ร้อยละ 69.39

4.3 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินอัดก้อนและประสิทธิภาพการใช้งาน

เมื่อทำการอัดถ่านหินอัดก้อนเรียบร้อยแล้ว ต้องตากทิ้งไว้ประมาณ 2 สัปดาห์ จนน้ำหนักของถ่านหินอัดก้อนไม่เปลี่ยนแปลง จึงนำถ่านหินอัดก้อนนั้นมาหาความชื้น คำนวณค่าความร้อน และจุดเตาหาประสิทธิภาพการใช้งานต่อไป

4.3.1 ผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ถ่านหินอัดก้อน และประสิทธิภาพการใช้งาน โดยศึกษาผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ที่ร้อยละของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานเท่ากับ 20 พบว่าความชื้นของถ่านหินอัดก้อนทุกแหล่งมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 9-13% และเมื่ออัตราส่วน CaO/S สูงขึ้น หรือปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนจะต่ำลง สำหรับผลของประสิทธิภาพการใช้งานนั้น สามารถแสดงให้เห็นชัดเจนในรูปที่ 4.1 และ 4.2

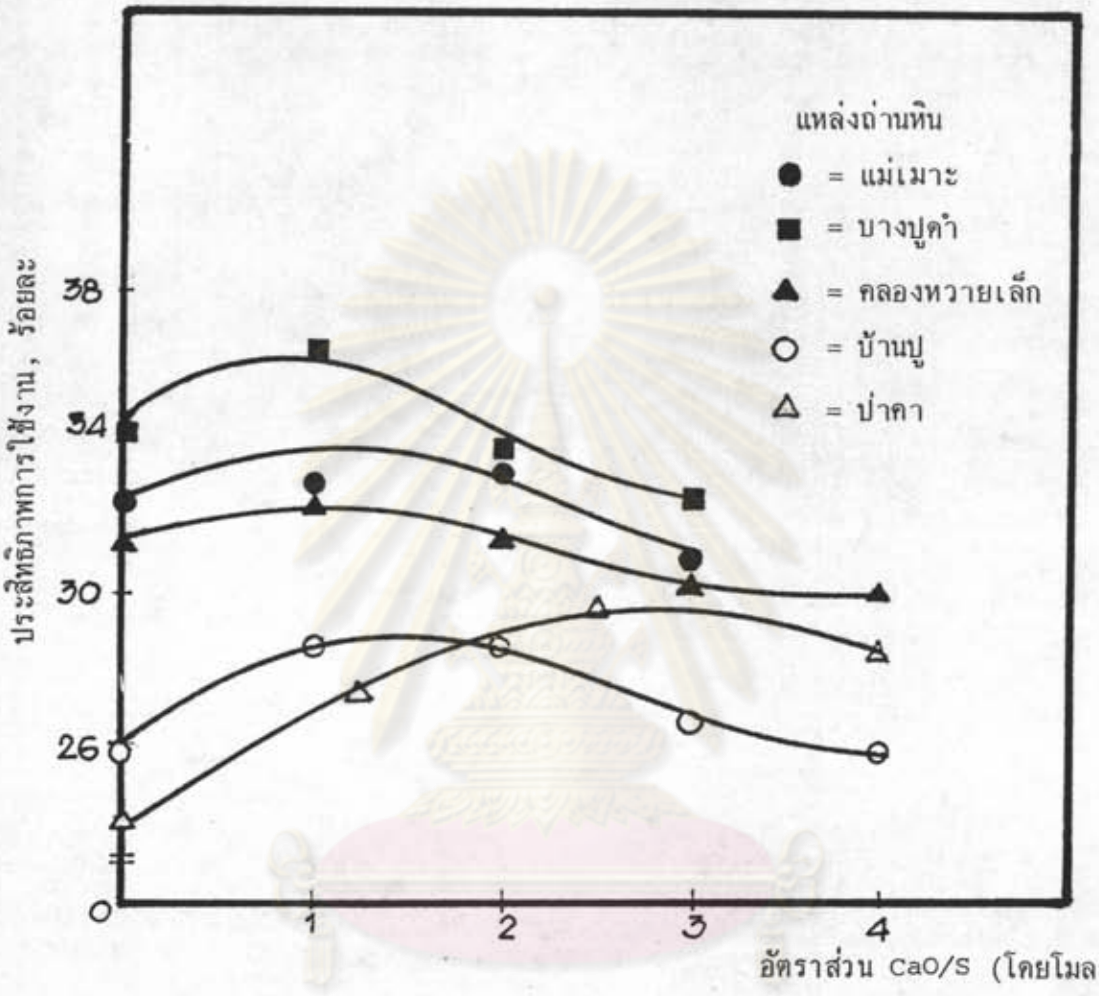
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ถ่านหินอัดก้อนและประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) โดยคงที่ร้อยละของดินเหนียว = 20

รายการที่ทดลอง	ความชื้น (%)	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการใช้งาน (%)
1. ถ่านหินอัดก้อนแหล่งแม่เมาะ			
MM-0 (0%)	9.71	3930	32.6
MM-1 (14.27%)	11.33	3512	33.0
MM-2 (28.55%)	11.50	3175	33.3
MM-3 (42.82%)	12.16	2896	30.5
2. ถ่านหินอัดก้อนแหล่งบางปูดำ			
PD-0 (0%)	12.18	3822	34.4
PD-1 (13.52%)	13.16	3435	36.5
PD-2 (27.05%)	13.25	3119	34.0
PD-3 (40.57%)	13.69	2856	32.7
3. ถ่านหินอัดก้อนแหล่งคลองหวายเล็ก			
KV-0 (0%)	9.80	4451	31.5
KV-1 (11.58%)	11.40	4059	32.5
KV-2 (23.15%)	10.82	3731	31.6
KV-3 (34.73%)	11.57	3452	31.1
KV-4 (42.57%)	9.62	3285	30.4
4. ถ่านหินอัดก้อนแหล่งบ้านปู			
BP-0 (0%)	8.87	3586	25.9
BP-1 (6.86%)	11.15	3439	28.8
BP-2 (13.72%)	11.93	3263	28.8
BP-3 (20.58%)	11.85	3104	26.8
BP-4 (27.43%)	11.06	2959	26.0
5. ถ่านหินอัดก้อนแหล่งป่าคา			
PD-0 (0%)	10.36	4510	24.1
PK-1.25 (5.99%)	9.84	4296	27.5
PK-2.50 (11.98%)	11.07	4101	29.8
PK-4 (19.17%)	11.50	3889	28.6

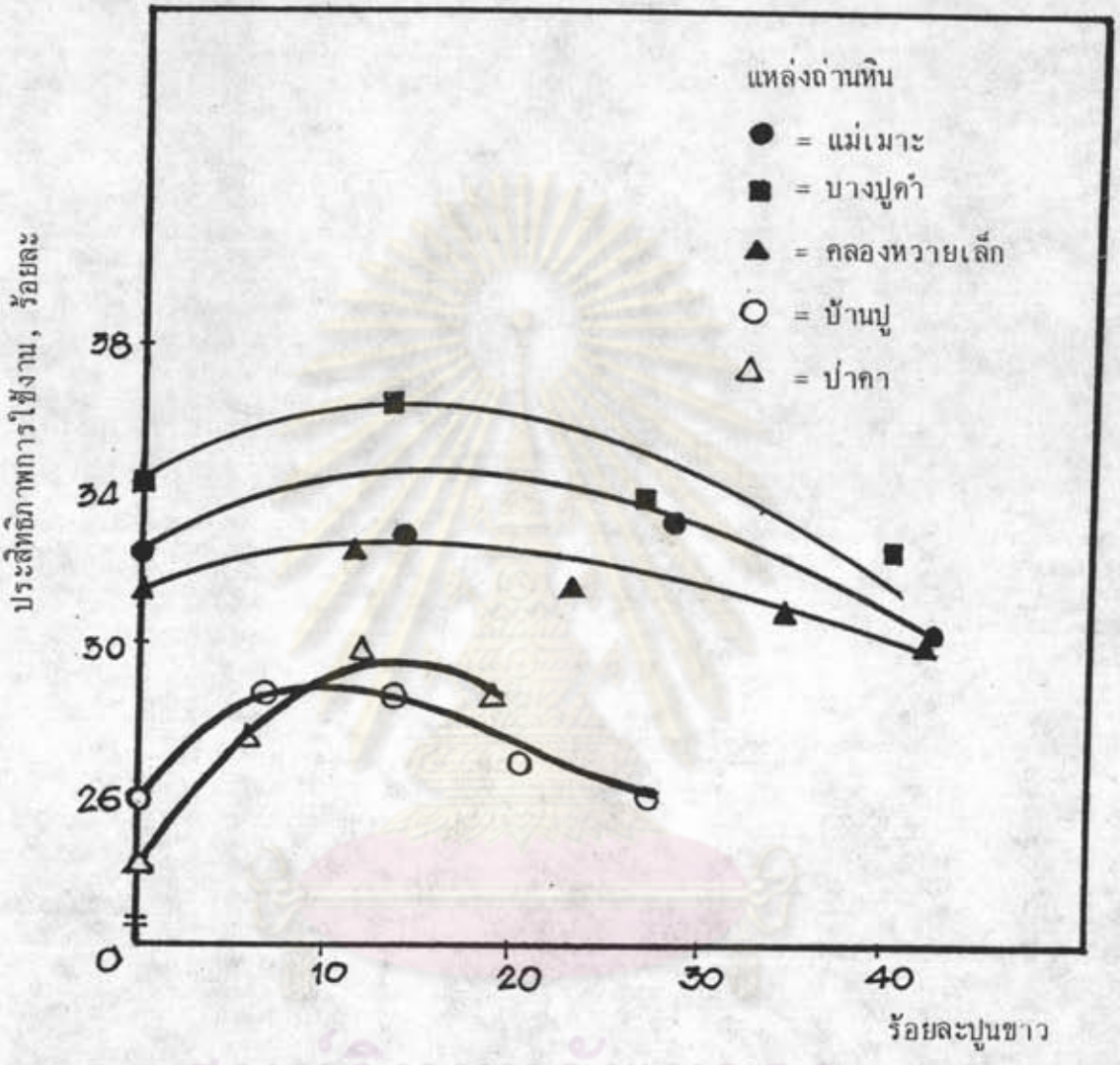
หมายเหตุ MM-A (B%) หมายถึง ถ่านหินอัดก้อนแหล่งแม่เมาะที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = A หรือมีปูนขาว = B% เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง
ถ่านหินชุดอื่น ๆ ใช้สัญญลักษณ์ในทำนองเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละของดินเหนียวคงที่ = 20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงผลของร้อยละปูนขาวในถ่านหินอัดก้อนที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูป 4.1 และ 4.2 พบว่าถ่านหินจากทุกแหล่งเมื่อไม่มีการเติมปูนขาว ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนต่ำ เนื่องมาจากถ่านหินอัดก้อนมีความแข็งแรงสูง เมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทำให้อัตราการเผาไหม้ช้า ช่วงเวลาควันหมดนาน และที่สำคัญคือ การเผาไหม้เกิดไม่สมบูรณ์ เหลือถ่านหินอยู่ตรงแกนกลางในเถ้า แต่เมื่อเติมปูนขาว ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนมีแนวโน้มสูงขึ้น เป็นเพราะถ่านหินอัดก้อนมีความพรุนมากขึ้น อากาศจึงแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่าทำให้อัตราการเผาไหม้ดีขึ้น แต่เมื่อเติมปูนขาวมากเกินไป ประสิทธิภาพการใช้งานกลับต่ำลงอีก ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสาเหตุเดียวกับช่วงแรก คือถ่านหินอัดก้อนมีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยเบื้องต้นของถ่านหินอัดก้อนเกี่ยวกับผลของปูนขาวที่มีต่อความแข็งแรงและประสิทธิภาพการใช้งาน (10) ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันว่าการเติมปูนขาวในถ่านหินอัดก้อนจะช่วยให้ถ่านหินอัดก้อนที่ได้มีคุณภาพดี เหมาะสมกับการใช้งาน แต่ปริมาณปูนขาวที่เติมต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมไม่มากจนเกินไป เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่เหมาะสมซึ่งไม่ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำเกินไป อยู่ในช่วง 1-2.5 (ยกเว้นถ่านหินแหล่งป่าคาที่อยู่ในช่วง 2-3) และจากรูปที่ 4.2 ปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมคือร้อยละ 10-20 ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งของถ่านหิน อย่างไรก็ตามการพิจารณาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมยังต้องคำนึงถึงผลในการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนอีกประการหนึ่งด้วย

ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ถ่านหินอัดก้อนจากแหล่งบางปูดำ, แม่เมาะ และคลองหวายเล็ก เป็นถ่านหินที่ให้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงถึงร้อยละ 30-36 ในขณะที่ถ่านหินจากแหล่งบ้านปูและป่าคาให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำกว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 24-30 ทั้งนี้เป็นเพราะถ่านหินกลุ่มแรกเป็นถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงมาก คือประมาณร้อยละ 4-6 เมื่อเกิดการเผาไหม้กำมะถันในถ่านหินถูกออกซิไดซ์กลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซนี้เป็นตัวช่วยทำให้ค่าสภาพการแผ่รังสีของเชื้อเพลิง (ε) สูงขึ้น หรือกล่าวได้ว่าเปลวไฟที่ได้จากการเผาไหม้มีลักษณะเป็นวัสดุสีดำ (black body) มากขึ้น (42) ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ให้แก่ภาชนะหุงต้มโดยการแผ่รังสีจึงมากขึ้นด้วย ผลคือประสิทธิภาพการใช้งานสูงกว่าถ่านหินแหล่งบ้านปู และป่าคา ซึ่งมีปริมาณกำมะถันต่ำกว่า (ร้อยละ 2-2.5) อย่างเห็นได้ชัดเจน

4.3.2 ผลของร้อยละดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน

การทดลองศึกษาผลของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน ทำการทดลองที่อัตราส่วน CaO/S เท่ากับ 2 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินอัดก้อน และประสิทธิภาพการใช้งานแสดงในตารางที่ 4.4 และเช่นเดียวกับตารางที่ 4.3 ความชื้นของถ่านหินอัดก้อนใกล้เคียงกันในช่วง 9-13%

เมื่อปริมาณดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนมากขึ้น ค่าความร้อนจะต่ำลง สำหรับผลของประสิทธิภาพการใช้งานแสดงให้เห็นชัดเจนในรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินอัดก้อน และประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S = 2

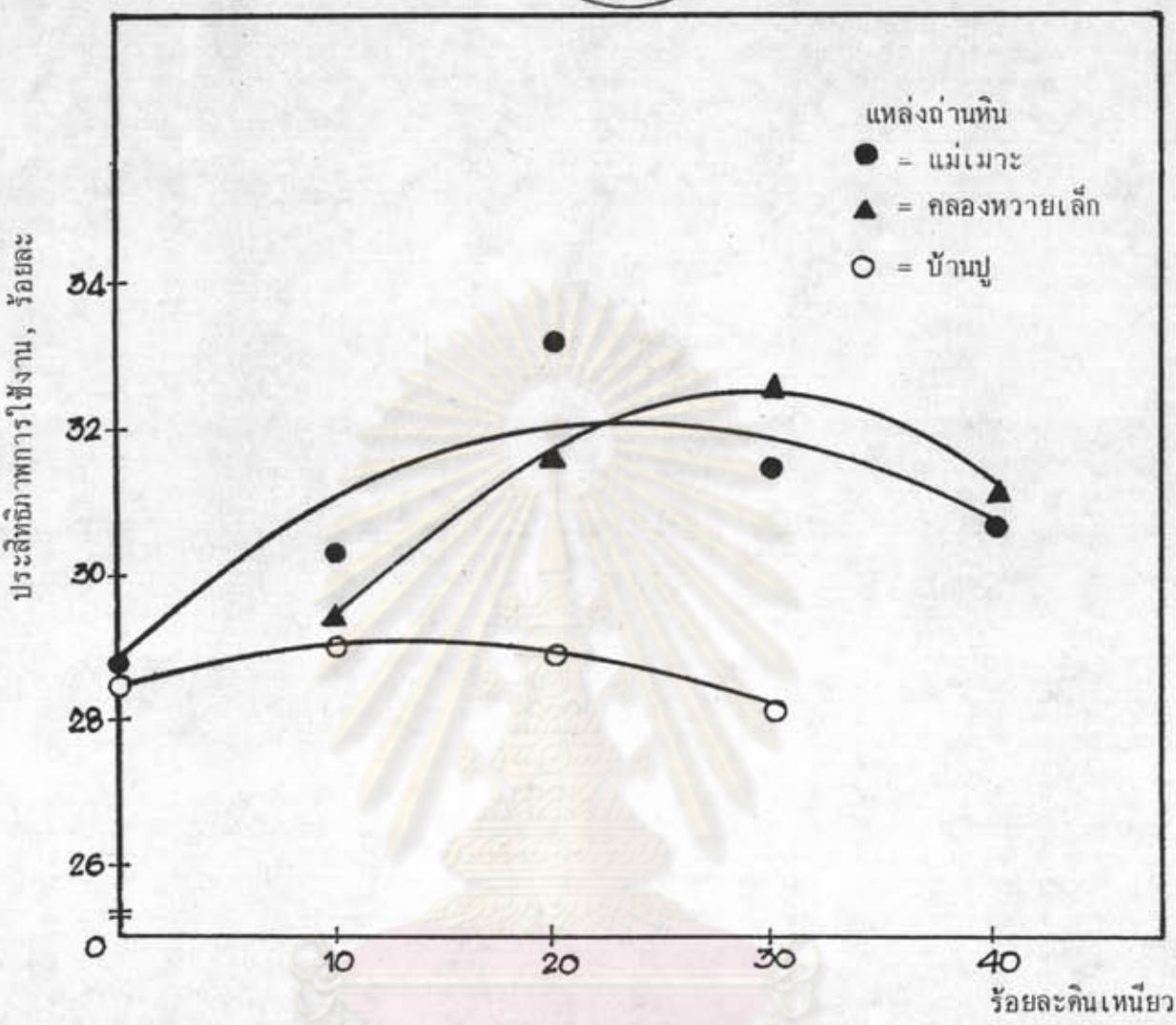
รายการที่ทดลอง	ความชื้น (%)	ค่าความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)	ประสิทธิภาพการใช้งาน (%)
1. ถ่านหินอัดก้อนแหล่งแม่เมาะ			
MM-0%	11.86	3669	28.8
MM-10%	11.19	3404	30.3
MM-20%	11.50	3175	33.3
MM-30%	9.16	2974	31.4
MM-40%	8.61	2798	30.5
2. ถ่านหินอัดก้อนแหล่งคลองหวายเล็ก			
KV-10%	11.96	4068	29.3
KV-20%	10.82	3731	31.6
KV-30%	10.19	3530	32.4
KV-40%	9.73	3311	31.0
3. ถ่านหินอัดก้อนแหล่งบ้านปู			
BP-0%	13.88	3837	28.4
BP-10%	12.81	3527	28.8
BP-20%	11.93	3527	28.8
BP-30%	10.97	3036	28.0

หมายเหตุ 1. MM-C% หมายถึงถ่านหินอัดก้อนแหล่งแม่เมาะที่ร้อยละของดินเหนียว = C

2. ถ่านหินอัดก้อนชุดอื่นใช้สัญญลักษณ์ทำนองเดียวกัน

3. ถ่านหินอัดก้อนคลองหวายเล็กไม่สามารถอัดติดเป็นก้อนโดยไม่มีดินเหนียวเลย เนื่องจากปริมาณเถ้าต่ำ จึงต้องใช้ดินเหนียวต่ำสุดร้อยละ 10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงผลร้อยละดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน (อัตราส่วน CaO/S โดยโมลคงที่ = 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานในถ่านหินอัดก้อนจะทำให้อนุภาคถ่านหินมีการยึดเหนี่ยวกันดีขึ้น เมื่อไม่มีดินเหนียวหรือดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนต่ำเกินไปจะมีผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำ เนื่องจากการเผาไหม้ถ่านหินไม่สมบูรณ์ เหลือเศษถ่านหินสีดำอยู่ตรงแกนกลางของเถ้า ถ้าปริมาณดินเหนียวเพิ่มมากขึ้น การเผาไหม้จะดีขึ้นด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ถ้าเพิ่มดินเหนียวมีปริมาณมากเกินไปถ่านหินอัดก้อนจะแข็ง และมีค่าความร้อนลดลงมาก ปริมาณถ่านหินอัดก้อนที่นำมาใช้จะมากขึ้น จนอาจเต็มห้องเผาไหม้เกินไป ทำให้อากาศเข้าได้น้อยและไม่สะดวก การเผาไหม้จึงเกิดไม่สมบูรณ์เต็มที่ ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำลง ผลดังกล่าวแสดงในรูป 4.3 ซึ่งเห็นได้ว่า ถ่านหินอัดก้อนจากแหล่งแม่เมาะ และคลองหวายเล็ก แสดงอิทธิพลของดินเหนียวที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานชัดเจนกว่าถ่านหินอัดก้อนจากแหล่งบ้านปู การที่ปริมาณดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนแหล่งบ้านปูไม่ค่อยทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานเปลี่ยนแปลงเท่าใดนั้น เนื่องมาจากถ่านหินบ้านปูมีปริมาณเถ้าค่อนข้างสูง คือร้อยละ 25.14 เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินแหล่งแม่เมาะและคลองหวายเล็กที่มีปริมาณเถ้าร้อยละ 20.67 และ 13.98 ตามลำดับ องค์ประกอบในเถ้าของถ่านหินนั้นคล้ายคลึงกับดินเหนียวมาก คือประกอบด้วย SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 CaO และ MgO เป็นต้น สารต่าง ๆ ที่อยู่ในเถ้าของถ่านหินนี้จึงทำหน้าที่เป็นตัวประสานด้วย ดังนั้นในกรณีถ่านหินที่มีปริมาณเถ้ามาก ถึงไม่มีดินเหนียว หรือดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนน้อยก็สามารถอัดติดเป็นก้อนได้ และไม่ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำลงไปเท่าใด จึงสรุปได้ว่าปริมาณดินเหนียวที่เหมาะสมในการเป็นตัวประสานขึ้นอยู่กับคุณภาพของถ่านหินเริ่มต้น โดยเฉพาะปริมาณเถ้าและคุณภาพถ่านหินอัดก้อนที่ต้องการ เช่น ความแข็งแรง, ค่าความร้อน, ความยากง่ายในการจุดติด ตลอดจนประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน เป็นต้น และจากรูปที่ 4.3 ช่วงร้อยละของดินเหนียวที่เหมาะสมประมาณ 10-30 ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการนำไปใช้ไม่ต่ำจนเกินไป

4.4 ผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนโดยใช้ปูนขาว

เมื่อจุดถ่านหินอัดก้อนเป็นเชื้อเพลิงในสภาวะการเผาไหม้จริง เพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานแล้ว เถ้าที่ได้หลังการเผาไหม้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถัน พร้อมทั้งคำนวณผลการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินเริ่มต้น และวิจารณ์ผลการทดลองต่อไป รายละเอียดการคำนวณผลการวิเคราะห์กำมะถันแสดงในภาคผนวก จ

4.4.1 ผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล)

ในการศึกษาผลของอัตราส่วน CaO/S ที่มีต่อการขจัดกำมะถันนั้น ร้อยละของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานคงที่เท่ากับ 20 โดยมีเหตุผลคือ ที่ปริมาณดินเหนียวร้อยละ 20 นี้ ถ่านหินทุกแหล่งที่นำมาศึกษาสามารถอัดติดเป็นก้อน ในขณะเดียวกันประสิทธิภาพการใช้งานเหมาะสมไม่ต่ำเกินไป สำหรับอัตราส่วน CaO/S ที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 4

ก) ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ (จ.ลำปาง)

ผลการวิเคราะห์เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 4.5 และเมื่อเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100 แสดงผลในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินแม่เมาะ (MM) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน MM ก่อนการเผาไหม้	5.66	0.80	2.13	2.73
เถ้า MM-0 (0%)*	0.94	0.76	0.03	0.15
เถ้า MM-1 (14.27%)	3.21	3.00	0.04	0.17
เถ้า MM-2 (28.55%)	4.51	4.48	0.00	0.03
เถ้า MM-3 (42.82%)	5.04	5.01	0.00	0.03

หมายเหตุ *MM-A (B%) หมายถึง ถ่านหินอัดก้อนจากแหล่งแม่เมาะที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = A หรือมีปริมาณปูนขาว = B% เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง ถ่านหินอัดก้อนแหล่งอื่น ๆ ใช้สัญญลักษณ์ในทำนองเดียวกัน

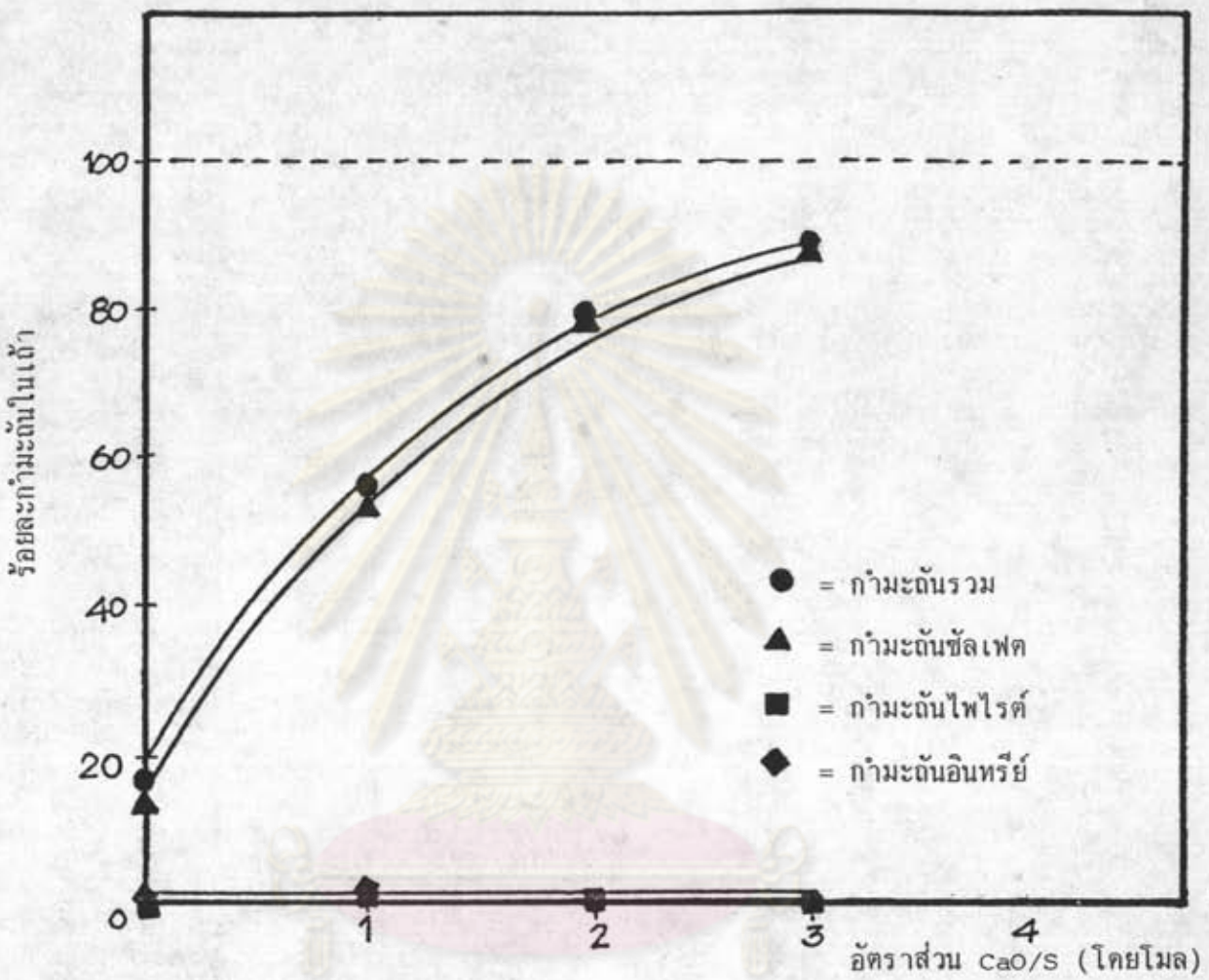
ตารางที่ 4.6 ปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินแม่เมาะ (MM) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน MM ก่อนการเผาไหม้	100.00	14.13	37.63	48.23
เถ้า MM-0 (0%)*	16.61	13.43	0.53	2.65
เถ้า MM-1 (14.27%)	56.71	53.00	0.71	3.00
เถ้า MM-2 (28.55%)	79.68	79.15	0.00	0.53
เถ้า MM-3 (42.82%)	89.05	88.52	0.00	0.53

หมายเหตุ *MM-A (B%) หมายถึง ถ่านหินอัดก้อนจากแหล่งแม่เมาะที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = A หรือมีปริมาณปูนขาว = B% เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง ถ่านหินอัดก้อนแหล่งอื่น ๆ ใช้สัญญลักษณ์ในทำนองเดียวกัน

ข้อมูลจากตารางที่ 4.6 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟเพื่อให้เห็นผลการทดลองชัดเจนได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ เมื่อไม่มีปูนขาวในถ่านหินอัดก้อน คือที่อัตราส่วน CaO/S = 0 กำมะถันรวมเหลือในเถ้าหลังการเผาไหม้เพียงร้อยละ 16.61 เทียบกับกำมะถันรวมในถ่านหินเริ่มต้นก่อนการเผาไหม้ ส่วนกำมะถันที่เหลือร้อยละ 83.39 นั้นสูญหายไปในบรรยากาศกลายเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่วนใหญ่คือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อเติมปูนขาวลงในถ่านหินอัดก้อน กำมะถันรวมที่เหลือในเถ้ามีปริมาณมากขึ้นตามลำดับ ดังนั้นกำมะถันที่สูญหายไปในบรรยากาศจึงมีปริมาณน้อยลงด้วย

จากรูป 4.4 เมื่อเติมปูนขาวในถ่านหินอัดก้อน อัตราการเพิ่มกำมะถันรวมในเถ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอัตราส่วน CaO/S = 0-1.5 หลังจากนั้นการเพิ่มกำมะถันในเถ้าค่อย ๆ น้อยลงและน้อยมากที่อัตราส่วน CaO/S มากกว่า 3 นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วน CaO/S = 2 จะเหลือกำมะถันในเถ้าร้อยละประมาณ 80 และเมื่อเพิ่มอัตราส่วน CaO/S เป็น 3 เหลือกำมะถันในเถ้าถึงร้อยละ 90 กำมะถันที่กลายเป็นมลภาวะในบรรยากาศมีเพียงร้อยละ 10 เทียบกับกำมะถันเริ่มต้น



รูปที่ 4.4 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหิน-อัดก้อนแหล่งแม่เมาะ (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาถึงรูปแบบของกำมะถันในเถ้า พบว่ากำมะถันในเถ้าแทบทั้งหมดเป็นกำมะถันซัลเฟตมีกำมะถันอินทรีย์เพียงเล็กน้อย ส่วนกำมะถันไพไรต์นั้นแทบไม่มีเหลืออยู่เลย (ไม่ถึงร้อยละ 1) การที่เป็นเช่นนี้เพราะกำมะถันซัลเฟตเป็นรูปแบบกำมะถันที่มีความเสถียร จึงไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสารอื่นอีกต่อไป นอกจากซัลเฟตบางรูปอาจเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง ในกรณีที่มีปูนขาวในถ่านหินอัดก้อน ปูนขาวจะทำหน้าที่เป็นตัวจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดจากการออกซิเดชันของกำมะถันไพไรต์ และกำมะถันอินทรีย์ ตามสมการ $CaO + SO_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow CaSO_4$ แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในเถ้าหลังการเผาไหม้จึงทำให้ปริมาณกำมะถันซัลเฟตในเถ้าเพิ่มขึ้น และอัตราการเพิ่มขึ้นของกำมะถันซัลเฟต เมื่อเพิ่มอัตราส่วน CaO/S นี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกำมะถันรวม ส่วนกำมะถันอินทรีย์ที่ยังคงเหลืออยู่ในเถ้าเล็กน้อย (ร้อยละ 2-3) อาจเป็นกำมะถันอินทรีย์บางรูปแบบที่มีความเสถียรสูง เช่น ประเภทที่เป็น heterocyclic ring พันธะระหว่างคาร์บอนกับกำมะถันมีการเรโซแนนซ์ (resonance) ในโมเลกุลวงแหวน ต้องใช้ปฏิกิริยาและสภาวะรุนแรงจึงจะสามารถทำลายหรือขจัดสารประกอบประเภทนี้ได้

ตามทฤษฎีที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 1 ควรขจัดกำมะถันที่อยู่ในรูป SO_2 ได้หมด แต่ในความเป็นจริงแล้ว CaO ไม่สามารถทำหน้าที่จับ SO_2 ได้เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีคือ $CaSO_4$ ไปอุดตันรูพรุนของ CaO ทำให้ CaO บางส่วนไม่ถูกทำปฏิกิริยาจึงต้องใช้ CaO ในการขจัดกำมะถันมากกว่าที่ควรเป็น สำหรับถ่านหินแหล่งแม่เมาะอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่ใช้ในถ่านหินอัดก้อน ควรอยู่ในช่วง 2-2.5 ซึ่งทำให้กำมะถันรวมอยู่ในเถ้าร้อยละ 80-85 เหลือสูญหายไปในบรรยากาศเพียงร้อยละ 15-20 เทียบกับกำมะถันเริ่มต้น

ข) <u>ถ่านหินแหล่งบางปูดำ (จ.กระบี่)</u>

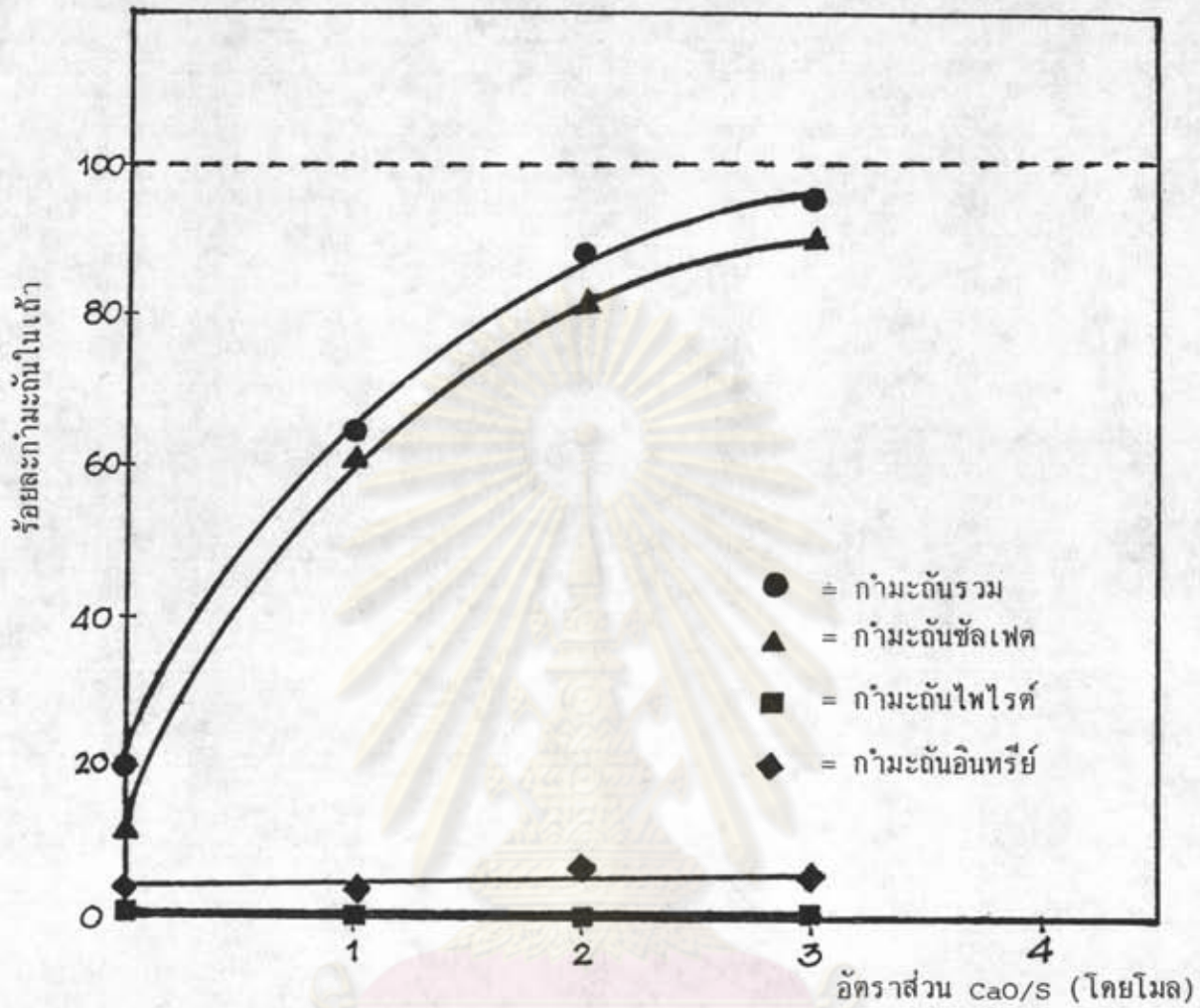
ผลการวิเคราะห์เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 4.7 และเมื่อเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100 แสดงผลในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินบางปูดำ (PD) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน PD ก่อนการเผาไหม้	4.93	1.48	1.09	2.36
เถ้า PD-0 (0%)	0.98	0.78	0.01	0.19
เถ้า PD-1 (13.52%)	3.16	2.98	0.00	0.18
เถ้า PD-2 (27.05%)	4.36	4.03	0.00	0.33
เถ้า PD-3 (40.57%)	4.69	4.44	0.00	0.25

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินบางปูดำ (PD) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน PD ก่อนการเผาไหม้	100.00	30.02	22.11	47.87
เถ้า PD-0 (0%)	19.88	15.82	0.20	3.85
เถ้า PD-1 (13.52%)	64.10	60.45	0.00	3.65
เถ้า PD-2 (27.05%)	88.44	81.74	0.00	6.69
เถ้า PD-3 (40.57%)	95.13	90.06	0.00	5.07



รูปที่ 4.5 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหินอัดก้อนแหล่งบางปูดำ (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากตารางที่ 4.8 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟเพื่อให้เห็นผลการทดลองชัดเจนได้ดังรูปที่ 4.5 จากรูป 4.5 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของกราฟคล้ายคลึงกับกรณีถ่านหินแหล่งแม่เมาะ กล่าวคือเมื่อไม่มีปูนขาวในถ่านหินอัดก้อนหรือที่อัตราส่วน CaO/S = 0 กำมะถันรวมเหลือในเถ้าหลังการเผาไหม้ประมาณร้อยละ 20 เทียบกับกำมะถันเริ่มต้น ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 80 จะกลายเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม การเติมปูนขาวลงในถ่านหินอัดก้อน ทำให้กำมะถันที่จะสูญเสียออกไปในบรรยากาศถูกจับลงมาอยู่ในรูปสารประกอบกำมะถันซัลเฟต คือ $CaSO_4$ สำหรับถ่านหิน PD เมื่อเพิ่มอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) จาก 0 เป็น 3 กำมะถันรวมในเถ้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 75 สังเกตได้ว่า อัตราการเพิ่มกำมะถันในเถ้าจะสูงในช่วงแรก ๆ ของการเติมปูนขาว และจะเพิ่มน้อยมากเมื่ออัตราส่วน CaO/S สูงขึ้น ที่อัตราส่วน CaO/S = 3 กำมะถันในเถ้าสูงถึงร้อยละ 95 เทียบกับกำมะถันเริ่มต้นเหลือกำมะถันสูญหายไปในบรรยากาศเพียงร้อยละ 5 เท่านั้น แสดงว่าการใช้ปูนขาวขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อัตราส่วน CaO/S ที่เหมาะสมสำหรับถ่านหินแหล่งบางปูดำประมาณ 2 ซึ่งทำให้กำมะถันอยู่ในเถ้าถึงร้อยละ 90 จึงไม่มีความจำเป็นที่จะเติมปูนขาวลงไปมากกว่านี้ แม้ว่าอาจทำให้ปริมาณกำมะถันในเถ้าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย เมื่อพิจารณารูปแบบกำมะถันในเถ้าพบว่าเป็นไปในลักษณะเดียวกับถ่านหินแหล่งแม่เมาะ คือกำมะถันแทบทั้งหมดในเถ้าอยู่ในรูปกำมะถันซัลเฟต มีกำมะถันอินทรีย์อยู่ประมาณร้อยละ 3-6 ซึ่งมากกว่าถ่านหินแหล่งแรก อาจเป็นเพราะถ่านหินแหล่งบางปูดำมีกำมะถันอินทรีย์อยู่ในรูปแบบ heterocyclic ring มากจึงมีความเสถียรมากกว่า ส่วนกำมะถันไพไรต์นั้นแทบไม่มีเหลืออยู่เลย จึงไม่มีความสำคัญในการพิจารณา

ค) <u>ถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็ก (จ.กระบี่)</u>

ผลการวิเคราะห์เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 4.9 และเมื่อเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100 แสดงผลในตารางที่ 4.10

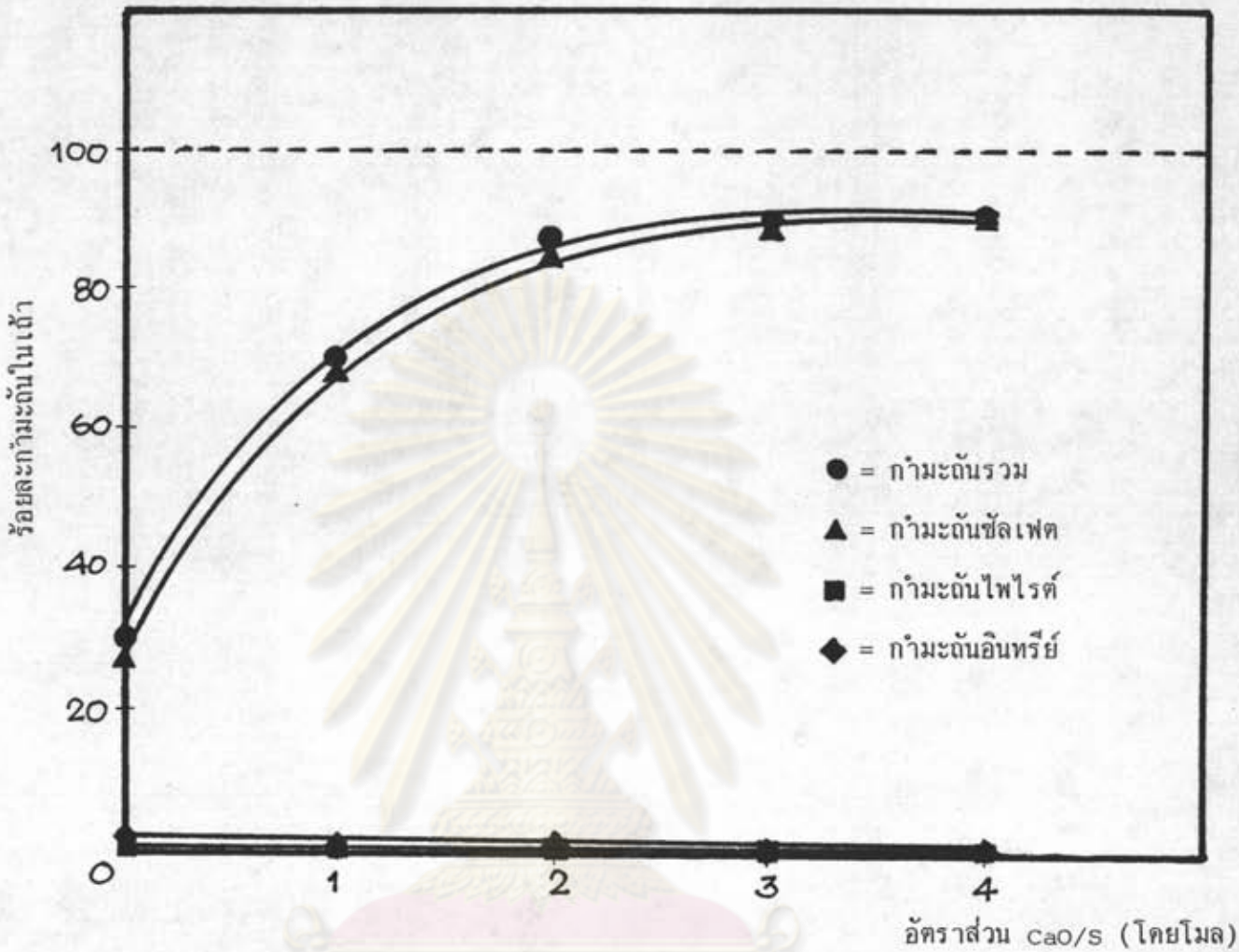
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินคลองหวายเล็ก (KV) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน KV ก่อนการเผาไหม้	4.22	0.70	1.14	2.38
เถ้า KV-0 (0%)	1.28	1.17	0.01	0.10
เถ้า KV-1 (11.58%)	2.97	2.91	0.02	0.04
เถ้า KV-2 (23.15%)	3.68	3.59	0.01	0.08
เถ้า KV-3 (34.73%)	3.77	3.72	0.02	0.03
เถ้า KV-4 (42.57%)	3.78	3.76	0.01	0.01

ตารางที่ 4.10 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบกำมะถันในถ่านหินคลองหวายเล็ก (KV) และเถ้าจากจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน KV ก่อนการเผาไหม้	100.00	16.59	27.01	56.40
เถ้า KV-0 (0%)	30.33	27.73	0.24	2.37
เถ้า KV-1 (11.58%)	70.38	68.96	0.48	0.95
เถ้า KV-2 (23.15%)	87.20	85.07	0.24	1.90
เถ้า KV-3 (34.73%)	89.34	88.15	0.48	0.71
เถ้า KV-4 (42.57%)	89.57	89.10	0.24	0.24



รูปที่ 4.6 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหินอัดก้อนแหล่งคลองหวายเล็ก (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากตาราง 4.10 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟเพื่อให้เห็นผลการทดลองชัดเจนยิ่งขึ้นในรูปที่ 4.6 ลักษณะแนวโน้มของกราฟในรูป 4.6 เป็นไปในทำนองเดียวกับถ่านหินสองแหล่งแรก แต่เมื่อไม่มีการเติมปูนขาวในถ่านหินอัดก้อน กำมะถันรวมที่เหลือในเถ้าประมาณร้อยละ 30 ซึ่งมากกว่าถ่านหิน MM และ PD การที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็ก (KV) จ.กระบี่ เป็นแหล่งถ่านหินที่มีสารประกอบพวก CaO, MgO อยู่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับแหล่งอื่น (43) จึงช่วยในการจับก๊าซ SO_2 ด้วย นอกจากนี้จากรายงานวิจัยถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย (43) ยังพบว่าถ่านหินแหล่งนี้มีปริมาณสารประกอบ Fe_2O_3 อยู่สูงมาก ซึ่ง Fe_2O_3 นี้จะเป็นตัวช่วยทำให้ปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับก๊าซ SO_2 เป็นไปได้ดียิ่งขึ้น (26) ดังนั้นปริมาณกำมะถันรวมในเถ้าของถ่านหินอัดก้อนที่ไม่เติมปูนขาวจึงสูงกว่าถ่านหินแหล่งอื่น สิ่งที่น่าสนใจพิจารณาคือ อิทธิพลของอนินทรีย์สารชนิดต่าง ๆ ในถ่านหินที่มีผลต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนโดยใช้ปูนขาว ซึ่งอาจมีการวิจัยศึกษารายละเอียดในขั้นต่อไป

กำมะถันรวมในเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อน KV ที่มีการเติมปูนขาวจะมีปริมาณมากขึ้นตามอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) เช่น เมื่ออัตราส่วน CaO/S เพิ่มจาก 0 เป็น 1 กำมะถันรวมในเถ้าเพิ่มจากร้อยละ 30 เป็นร้อยละ 70 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มกำมะถันในเถ้าในอัตราส่วนนี้สูงมาก และอัตราการเพิ่มกำมะถันในเถ้าจะค่อย ๆ ต่ำลงที่อัตราส่วน CaO/S = 2 จนกระทั่งแทบไม่มีการเพิ่มที่อัตราส่วน CaO/S = 4 กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอัตราส่วน CaO/S จาก 3 เป็น 4 ปริมาณกำมะถันในเถ้าเพิ่มจากร้อยละ 89.34 เป็น 89.57 ดังนั้นอัตราส่วน CaO/S ที่เหมาะสมสำหรับถ่านหินอัดก้อน KV ควรเป็น 2 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ทำให้กำมะถันอยู่ในเถ้าถึงร้อยละ 87 จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณปูนขาวในถ่านหินอัดก้อนมากกว่านี้ เพราะนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองโดยใช่เหตุแล้วยังทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนต่ำลงอีกด้วย สำหรับรูปแบบของกำมะถันในเถ้าส่วนใหญ่คือกำมะถันซัลเฟต ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วน CaO/S เช่นเดียวกับกำมะถันรวมในเถ้า กำมะถันอินทรีย์เหลืออยู่ในปริมาณน้อยมาก และแทบไม่มีกำมะถันไพไรต์อยู่ในเถ้าเลย

จ) <u>ถ่านหินแหล่งบ้านปู (จ.ลำพูน)</u>

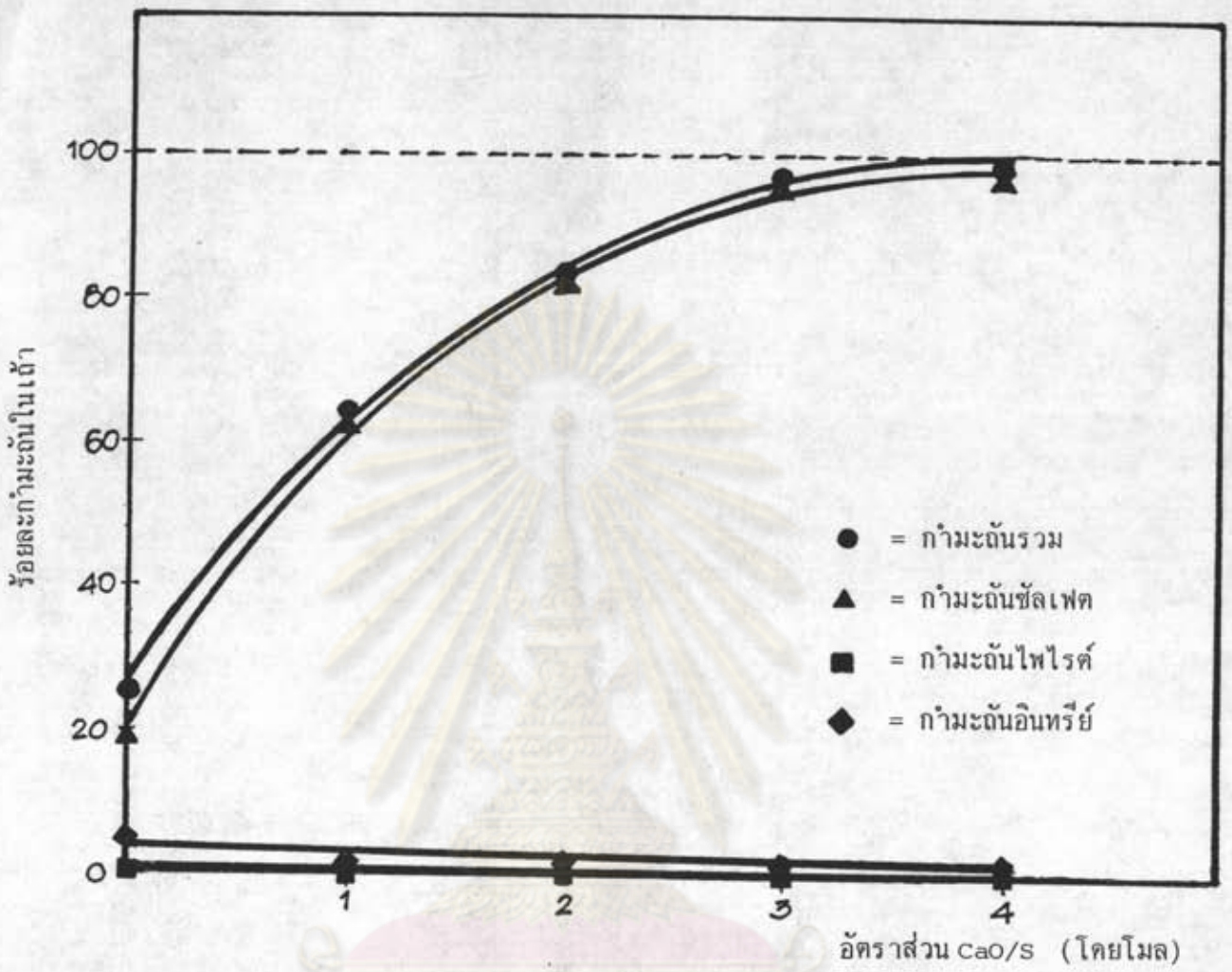
ผลการวิเคราะห์เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 4.11 และเมื่อเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100 แสดงผลในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินบ้านปู (BP) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน BP ก่อนการเผาไหม้	2.5	0.77	0.42	1.41
เถ้า BP-0 (0%)	0.64	0.49	0.02	0.13
เถ้า BP-1 (6.86%)	1.61	1.58	0.01	0.02
เถ้า BP-2 (13.72%)	2.09	2.05	0.01	0.03
เถ้า BP-3 (20.58%)	2.43	2.40	0.01	0.02
เถ้า BP-4 (27.43%)	2.49	2.47	0.01	0.01

ตารางที่ 4.12 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินบ้านปู (BP) และเถ้าจากการการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน BP ก่อนการเผาไหม้	100.00	30.80	16.80	56.40
เถ้า BP-0 (0%)	25.60	19.60	0.80	5.20
เถ้า BP-1 (6.86%)	64.40	63.20	0.40	0.80
เถ้า BP-2 (13.72%)	83.60	82.00	0.40	1.20
เถ้า BP-3 (20.58%)	97.20	96.00	0.40	0.80
เถ้า BP-4 (27.43%)	99.60	98.80	0.40	0.40



รูปที่ 4.7 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหิน-อัดก้อนแหล่งบ้านปู (ร้อยละดินเหนียว คงที่ =20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากตาราง 4.12 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟ เพื่อให้เห็นผลการทดลองชัดเจนยิ่งขึ้นในรูปที่ 4.7 พบว่าแนวโน้มของกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถันในเถ้าเป็นเช่นเดิม คือ เมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวหรือเพิ่มอัตราส่วน CaO/S กำมะถันทั้งหมด และกำมะถันซัลเฟตในเถ้าจะเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการเพิ่มจะสูงในช่วงแรก และลดต่ำลงเมื่ออัตราส่วน CaO/S สูงขึ้น สิ่งที่น่าสนใจคือ ที่อัตราส่วน CaO/S = 4 สามารถขจัดกำมะถันที่จะสูญหายไปในบรรยากาศเป็นมลภาวะเกือบ 100% คือกำมะถันรวมมาอยู่ในเถ้าถึงร้อยละ 99.60 เทียบกับกำมะถันรวมที่มีในถ่านหินเริ่มต้นก่อนการเผาไหม้ ซึ่งปริมาณกำมะถันในเถ้าดังกล่าวนี้สูงกว่าถ่านหิน 3 แหล่งแรก อัตราส่วน CaO/S ที่เหมาะสมสำหรับถ่านหินแหล่งนี้ประมาณ 2-2.5 ทำให้กำมะถันรวมอยู่ในเถ้าประมาณร้อยละ 84-92

จ) ถ่านหินแหล่งป่าคา (จ.ลำพูน)

ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตาราง 4.13 และเมื่อเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100 แสดงผลในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินป่าคา (PK) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละของดินเหนียว = 20

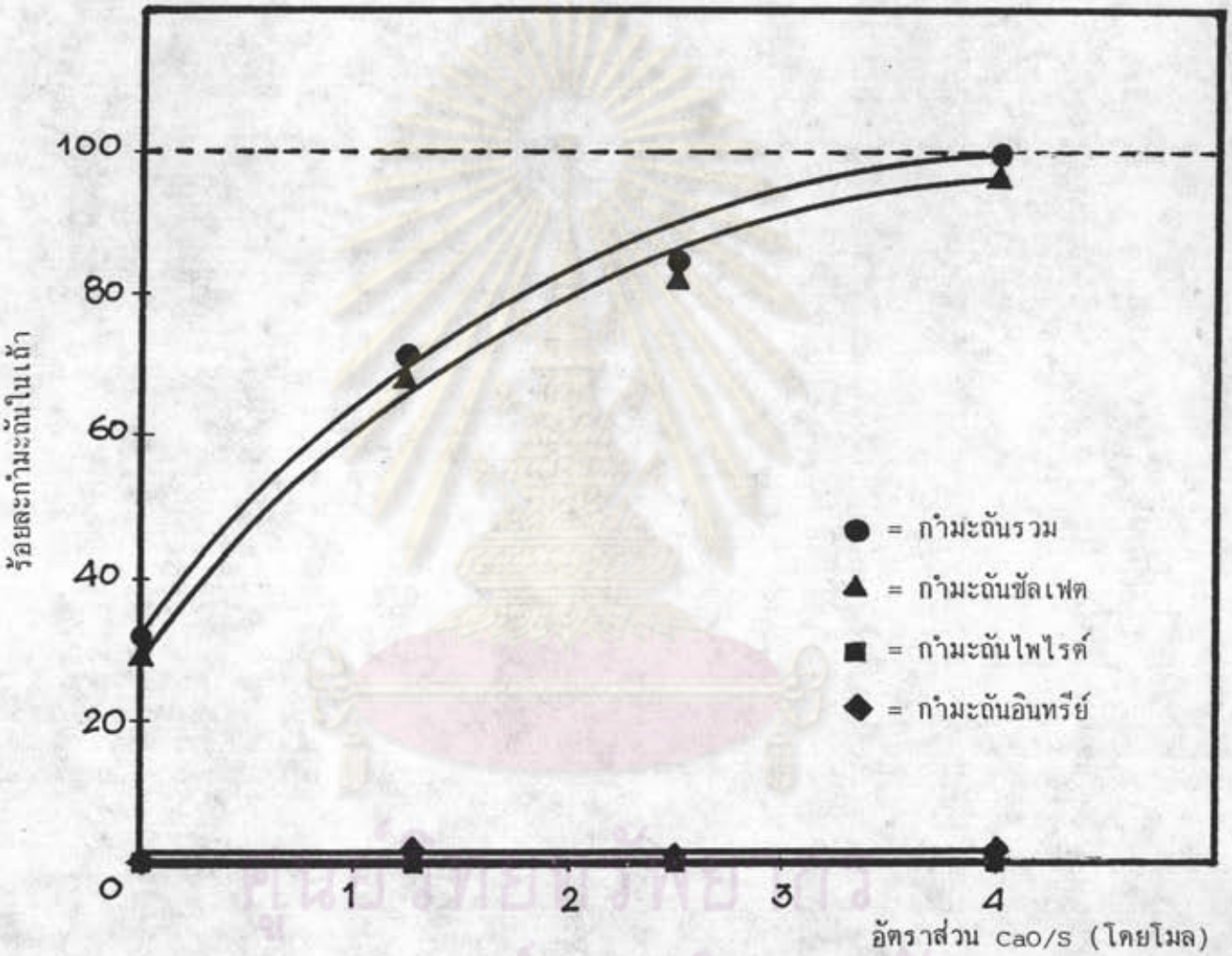
ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน PK ก่อนการเผาไหม้	1.90	0.58	0.32	1.00
เถ้า PK-0 (0%)	0.61	0.57	0.01	0.03
เถ้า PK-1.25 (5.99%)	1.37	1.30	0.01	0.06
เถ้า PK-2.50 (11.98%)	1.63	1.58	0.01	0.04
เถ้า PK-3 (19.17%)	1.90	1.85	0.01	0.04

ตารางที่ 4.14 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินป่าคา (PK) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ โดยคงที่ร้อยละดินเหนียว = 20 และเทียบร้อยละของกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน PK ก่อนการเผาไหม้	100.00	30.53	16.84	52.63
เถ้า PK-0 (0%)	32.11	30.00	0.53	1.58
เถ้า PK-1.25 (5.99%)	72.11	68.42	0.53	3.16
เถ้า PK-2.50 (11.98%)	85.79	83.16	0.53	2.11
เถ้า PK-4 (19.17%)	100.00	97.37	0.53	2.11

ข้อมูลจากตาราง 4.14 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟ เพื่อให้เห็นผลการทดลองชัดเจนยิ่งขึ้นในรูปที่ 4.8 จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อไม่มีปูนขาวในถ่านหินอัดก้อน กำมะถันรวมที่เหลือในเถ้าประมาณร้อยละ 32 ใกล้เคียงกับถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็ก ซึ่งนับว่ามากกว่าถ่านหินแหล่งอื่น ๆ เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของถ่านหินเริ่มต้น คือกำมะถันซัลเฟตในถ่านหินอยู่ในรูปแบบที่เสถียรมาก ไม่มีการสลายตัวไปเป็นก๊าซ SO_2 ที่อุณหภูมิสูง เห็นได้ชัดจากผลการทดลองว่ากำมะถันซัลเฟตในถ่านหินก่อนการเผาไหม้กับในเถ้าจากถ่านหินอัดก้อนที่ไม่มีการเติมปูนขาวใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 30.53 และ 30.00 ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณกำมะถันในเถ้าของถ่านหินอัดก้อนที่ไม่เติมปูนขาวจึงค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับถ่านหินแหล่งอื่น เมื่อเติมปูนขาว กำมะถันในเถ้าจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น สำหรับถ่านหินแหล่งป่าคา เมื่อเติมปูนขาวในอัตราส่วน CaO/S = 4 กำมะถันรวมในถ่านหินเริ่มต้นจะอยู่ในเถ้าหลังการเผาไหม้ทั้งหมด นั่นคือสามารถขจัดกำมะถันในถ่านหินได้ 100% จะเห็นได้ว่าถ่านหินแหล่งป่าคานี้สามารถขจัดกำมะถันได้สูงมากเช่นเดียวกับถ่านหินแหล่งบ้านปู การใช้ปูนขาวถึงอัตราส่วน CaO/S = 4 จึงทำให้กำมะถันทั้งหมดในถ่านหินเริ่มต้นก่อนการเผาไหม้มาอยู่ในเถ้าไม่มีส่วนที่สูญหายไปในบรรยากาศให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับรูปแบบของกำมะถันก็คงเป็นไปในลักษณะเดิม

คือ กำมะถันซัลเฟตเป็นกำมะถันที่มีมากที่สุดในเถ้า กำมะถันอินทรีย์มีเพียงร้อยละ 1-2 ในขณะที่กำมะถันไพไรต์มีปริมาณต่ำมากแทบไม่มีเหลืออยู่เลย แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำมะถันซัลเฟตในเถ้ากับอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) จึงเป็นไปตามแนวโน้มของกำมะถันรวมในเถ้า อัตราส่วน CaO/S ที่เหมาะสมสำหรับถ่านหินแหล่งนี้อยู่ในช่วง 2-2.5 ซึ่งทำให้กำมะถันรวมอยู่ในเถ้าประมาณร้อยละ 82-87



รูปที่ 4.8 แสดงผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหิน-อัคก้อนแหล่งป่าคา (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

4.4.2 ผลของร้อยละดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสาน

จากการศึกษาผลของดินเหนียวที่มีต่อประสิทธิภาพใช้งานในข้อ 4.3 พบว่า ถ้าถ่านหินอัดก้อนไม่มีดินเหนียวเป็นตัวประสาน แม้จะอัดก้อนดีด แต่ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำกว่าเมื่อมีดินเหนียวเป็นตัวประสาน อย่างไรก็ตามไม่ควรให้ปริมาณดินเหนียวมีสูงเกินไป เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานกลับต่ำลงอีก รวมทั้งทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนต่ำเกินไป ดังนั้นในการผลิตถ่านหินอัดก้อนมาใช้งาน จึงควรมีดินเหนียวเป็นตัวประสานอยู่ในปริมาณหนึ่งที่เหมาะสม เพื่อช่วยทำให้ถ่านหินอัดก้อนที่ได้มีคุณภาพดี การศึกษาในขั้นต่อมาคือ ดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานในถ่านหินอัดก้อนนี้จะมีส่วนช่วยในด้านการขจัดกำมะถันด้วยหรือไม่ อย่างไร และในการศึกษาผลของดินเหนียวดังกล่าวได้คงที่อัตราส่วน CaO/S = 2 เนื่องจากถ่านหินทั้ง 5 แหล่ง มีช่วงอัตราส่วน CaO/S ที่เหมาะสม ในการขจัดกำมะถันตามข้อ 4.4.1 ประมาณ 2-2.5 จึงเลือกอัตราส่วน CaO/S = 2 เป็นค่าคงที่สำหรับการศึกษาผลของดินเหนียว และช่วงร้อยละของดินเหนียวที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 ถึง 40 สำหรับถ่านหินแหล่งที่เลือกมาศึกษานั้น พิจารณาจากแหล่งถ่านหินที่มีปริมาณสำรองมากมีโอกาสนำมาพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ตลอดจนมีปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินเริ่มต้นแตกต่างกันพอควร แหล่งถ่านหินที่เลือกศึกษา 3 แหล่ง คือ แหล่งแม่เมาะ, คลองหวายเล็ก และบ้านปู มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ (จ.ลำปาง)

ผลการวิเคราะห์เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 4.15 และเมื่อเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100 แสดงผลในตารางที่ 4.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

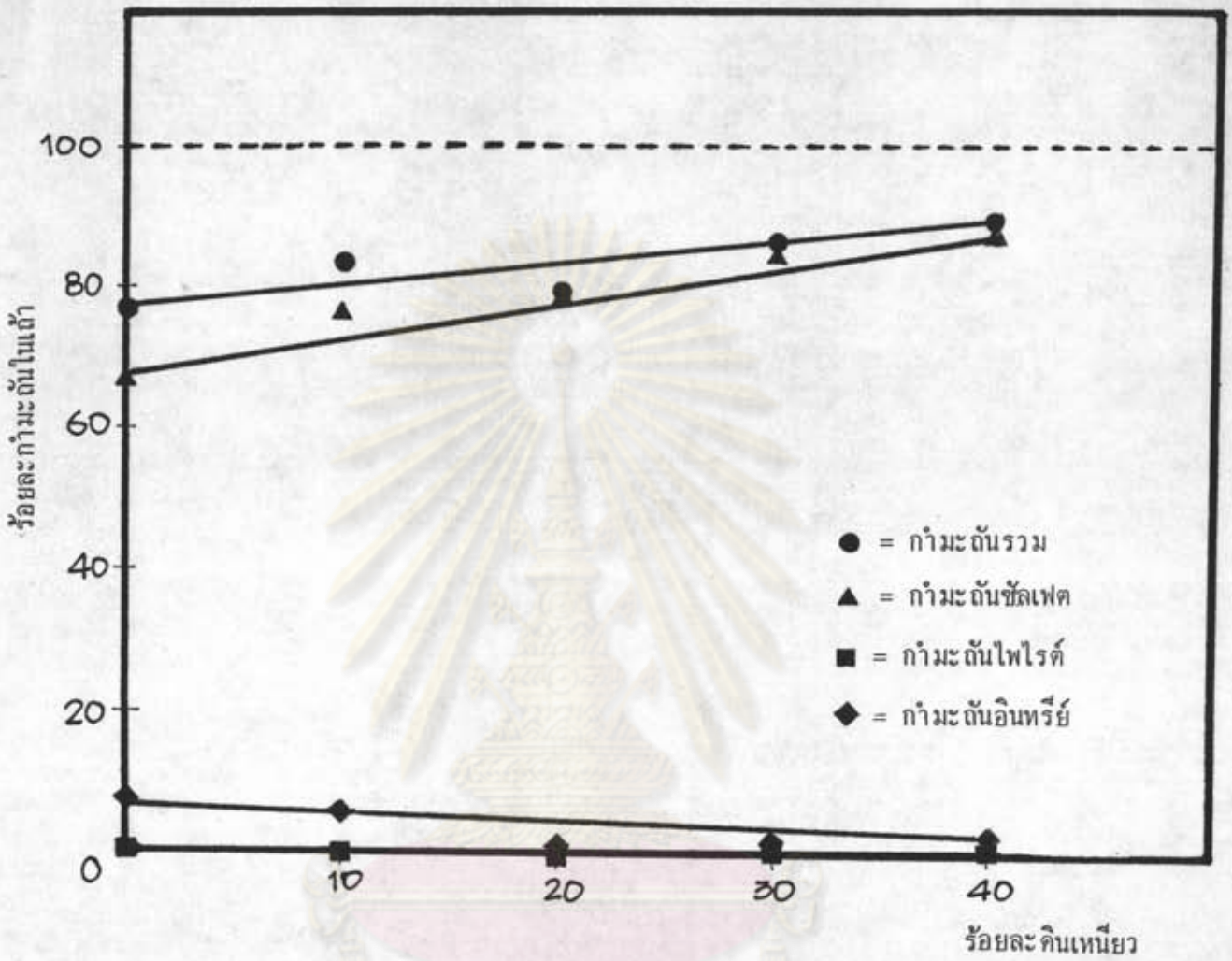
ตารางที่ 4.15 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่เมาะ (MM) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน MM ก่อนการเผาไหม้	5.66	0.80	2.13	2.73
เถ้า MM-0%	4.38	3.87	0.02	0.49
เถ้า MM-10%	4.74	4.36	0.01	0.37
เถ้า MM-20%	4.51	4.48	0.00	0.03
เถ้า MM-30%	4.92	4.81	0.01	0.10
เถ้า MM-40%	5.11	4.98	0.01	0.12

ตารางที่ 4.16 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบกำมะถันในถ่านหินแหล่งแม่เมาะ (MM) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน MM ก่อนการเผาไหม้	100.00	14.13	37.63	48.23
เถ้า MM-0%	77.39	68.37	0.35	8.66
เถ้า MM-10%	83.75	77.03	0.18	6.54
เถ้า MM-20%	79.68	79.15	0.00	0.53
เถ้า MM-30%	86.93	84.98	0.18	1.77
เถ้า MM-40%	90.28	87.99	0.18	2.12

หมายเหตุ : MM-X% หมายถึง ถ่านหินอัดก้อนที่ร้อยละดินเหนียว = X เทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง ถ่านหินชุดอื่น ๆ ใช้สัญญลักษณ์ทำนองเดียวกัน



รูปที่ 4.9 แสดงผลของร้อยละดินเหนียวที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหินแหล่งแม่เมาะ (อัตราส่วน CaO/S คงที่ = 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากตารางที่ 4.16 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟเพื่อให้เห็นผลการทดลองชัดเจนได้ดังรูปที่ 4.9 จากรูป 4.9 พบว่าเมื่อเพิ่มดินเหนียวจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 40 ปริมาณกำมะถันรวมในเถ้าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 77 เป็นร้อยละ 90 หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 13 เทียบกับกำมะถันในถ่านหินเริ่มต้น นั่นคือ ดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานมีส่วนช่วยให้การขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนโดยใช้ปูนขาวมีประสิทธิภาพดีขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะดินเหนียวทำหน้าที่เป็นตัวประสานในถ่านหินอัดก้อน ทำให้ปูนขาวกับถ่านหินยึดเหนี่ยวสัมผัสกันอย่างแนบแน่น (firmly contacting) โอกาสที่ปูนขาวจะจับก๊าซ SO_2 ที่เกิดจากกำมะถันในถ่านหินจึงมีมากขึ้น หรือโอกาสที่ก๊าซ SO_2 จะสูญหายไปในบรรยากาศเป็นมลภาวะเกิดขึ้นน้อยลง เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของดินเหนียวตามข้อ 4.2.1 จะเห็นได้ว่ามี CaO และ MgO รวมกันร้อยละ 1.68 ซึ่ง CaO และ MgO ในดินเหนียวนี้จะช่วยจับก๊าซ SO_2 ที่เกิดขึ้น นั่นคือทำหน้าที่เช่นเดียวกับปูนขาวในการขจัดกำมะถัน นอกจากนี้ในดินเหนียวยังมี Fe_2O_3 ร้อยละ 5.60 ซึ่ง Fe_2O_3 นี้ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซัลเฟชั่นให้เกิดได้ดีขึ้น (26) กล่าวโดยสรุป ดินเหนียวที่เป็นตัวประสานมีอิทธิพลต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อน โดยให้แนวโน้มการขจัดในทางดีขึ้นทั้งสิ้น แม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบผลจากการทดลอง ดินเหนียวจะช่วยเพิ่มความสามารถในการขจัดกำมะถันเพียงเล็กน้อย สำหรับรูปแบบของกำมะถันในเถ้า ส่วนใหญ่ยังคงเป็นกำมะถันซัลเฟต กำมะถันไพไรต์ แทบไม่มีเหลืออยู่ในเถ้าเลย ส่วนกำมะถันอินทรีย์นั้นเป็นที่น่าสนใจว่า เมื่อไม่มีดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนจะทำให้ปริมาณกำมะถันอินทรีย์ในเถ้าเหลืออยู่มากถึงร้อยละ 8.66 แต่เมื่อมีดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนมากขึ้น กำมะถันอินทรีย์ในเถ้าจะลดน้อยลง และถ้ามีดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนร้อยละ 20 ขึ้นไป กำมะถันอินทรีย์ในเถ้าจะเหลืออยู่น้อยมาก การที่ผลการทดลองเป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก SiO_2 และ Al_2O_3 ในดินเหนียวเป็นตัวช่วยทำให้ปฏิกิริยาการสลายกำมะถันอินทรีย์เกิดได้ดีขึ้น โดยเฉพาะกำมะถันอินทรีย์บางรูป เช่น heterocyclic ring ซึ่งมีความเสถียรมาก (35) ถ้าไม่มี SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้เหลือกำมะถันอินทรีย์เหล่านี้อยู่ในเถ้าหลังการเผาไหม้เป็นปริมาณมาก

อย่างไรก็ตาม ปริมาณดินเหนียวที่เหมาะสมในถ่านหินอัดก้อนต้องพิจารณาจากหลายด้าน แม้ว่าการใส่ดินเหนียวมากจะทำให้การขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนดีขึ้น แต่ดินเหนียวที่มากเกินไปจะทำให้ค่าความร้อนและประสิทธิภาพในการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนต่ำลง ดังนั้นจึงต้องเลือกปริมาณดินเหนียวที่พอเหมาะที่จะให้ผลทั้งด้านการขจัดกำมะถัน และประสิทธิภาพการใช้งานสูง เมื่อพิจารณาประกอบกับข้อ 4.3 ร้อยละดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนที่เหมาะสมสำหรับถ่านหินแม่เมาะเท่ากับ 20

ข) ถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็ก (จ.กระบี่)

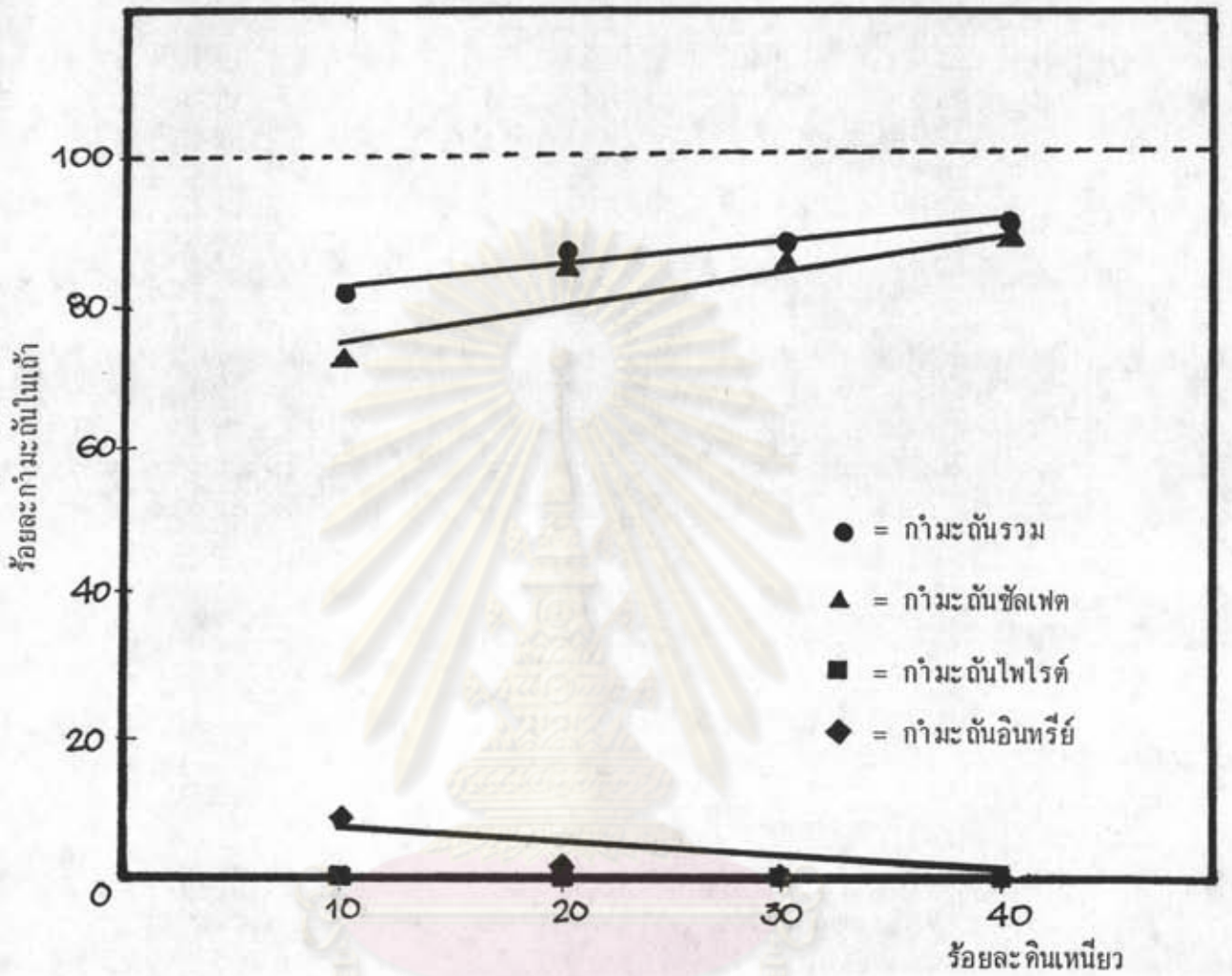
ผลการวิเคราะห์เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 4.17 และเมื่อเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100 แสดงผลในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.17 ปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็ก (KV) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน KV ก่อนการเผาไหม้	4.22	0.70	1.14	2.38
เถ้า KV-10%	3.42	3.04	0.02	0.36
เถ้า KV-20%	3.68	3.59	0.01	0.08
เถ้า KV-30%	3.71	3.66	0.01	0.04
เถ้า KV-40%	3.84	3.82	0.01	0.01

ตารางที่ 4.18 ปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็ก (KV) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน KV ก่อนการเผาไหม้	100.00	16.59	27.01	56.40
เถ้า KV-10%	81.04	72.04	0.47	8.53
เถ้า KV-20%	87.20	85.07	0.24	1.90
เถ้า KV-30%	87.91	86.73	0.24	0.95
เถ้า KV-40%	91.00	90.52	0.24	0.24



รูปที่ 4.10 แสดงผลของร้อยละดินเหนียวที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็ก (อัตราส่วน CaO/S คงที่ = 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากตารางที่ 4.18 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟเพื่อให้เห็นผลการทดลองชัดเจนได้ดังรูปที่ 4.10 ข้อมูลจากตาราง 4.17 และ 4.18 จะเห็นได้ว่าเริ่มจากร้อยละดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อน = 10 ไม่เริ่มจากร้อยละ 0 หรือไม่มีดินเหนียวอยู่ในถ่านหินอัดก้อนเลย เช่นเดียวกับถ่านหินแหล่งแม่เมาะ ทั้งนี้เนื่องจากถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็กนี้มีปริมาณเถ้าในถ่านหินเริ่มต้นต่ำประมาณร้อยละ 13 จึงทำให้เมื่อไม่มีดินเหนียวเป็นตัวประสานจะไม่สามารถอัดติดเป็นก้อนได้ ในการทดลองพบว่าต้องใช้ปริมาณดินเหนียวอย่างต่ำร้อยละ 10 ถ่านหินอัดก้อนที่ได้จึงอัดติดคงรูปอยู่ได้ โดยไม่แตกร่วน การเปลี่ยนแปลงร้อยละของดินเหนียวสำหรับถ่านหินแหล่งนี้จึงเริ่มตั้งแต่ 10 จนถึง 40

จากรูป 4.10 พบว่าลักษณะกราฟเป็นไปเช่นเดียวกับถ่านหินแหล่งแม่เมาะ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มร้อยละดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานปริมาณกำมะถันรวมในเถ้าจะเพิ่มขึ้น โดยที่พิจารณาร้อยละดินเหนียว จาก 10 เป็น 40 กำมะถันรวมในเถ้าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80 เป็น 91 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 เทียบกับกำมะถันในถ่านหินเริ่มต้น ซึ่งใกล้เคียงกับถ่านหินแหล่งแม่เมาะ เหตุผลในการอธิบายอิทธิพลของดินเหนียวที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนเช่นเดียวกับที่กล่าวแล้วในถ่านหินแหล่งแรก เมื่อพิจารณารูปแบบของกำมะถันในเถ้า กำมะถันซัลเฟตยังคงเป็นกำมะถันที่มีปริมาณมากที่สุด กำมะถันไพไรต์ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นก๊าซ SO_2 หมด แทบไม่มีเหลือตกค้างในเถ้าเลย ส่วนกำมะถันอินทรีย์นั้นจะมีปริมาณสูงกว่าร้อยละ 5 เทียบกับกำมะถันในถ่านหินเริ่มต้น ถ้ามีดินเหนียวอยู่ในถ่านหินอัดก้อนน้อยกว่าร้อยละ 20 การที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อไม่มีดินเหนียว หรือปริมาณดินเหนียวน้อยเกินไป จะไม่มี SiO_2 และ Al_2O_3 ไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของกำมะถันอินทรีย์ที่มีความเสถียรมาก ๆ จึงเหลือกำมะถันอินทรีย์ในเถ้าหลังการเผาไหม้ในปริมาณค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับในกรณีมีดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนมาก

ค) ถ่านหินแหล่งบ้านปู (จ.ลำพูน)

ผลการวิเคราะห์เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้แสดงในตารางที่ 4.19 และเมื่อเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100 แสดงผลในตารางที่ 4.20

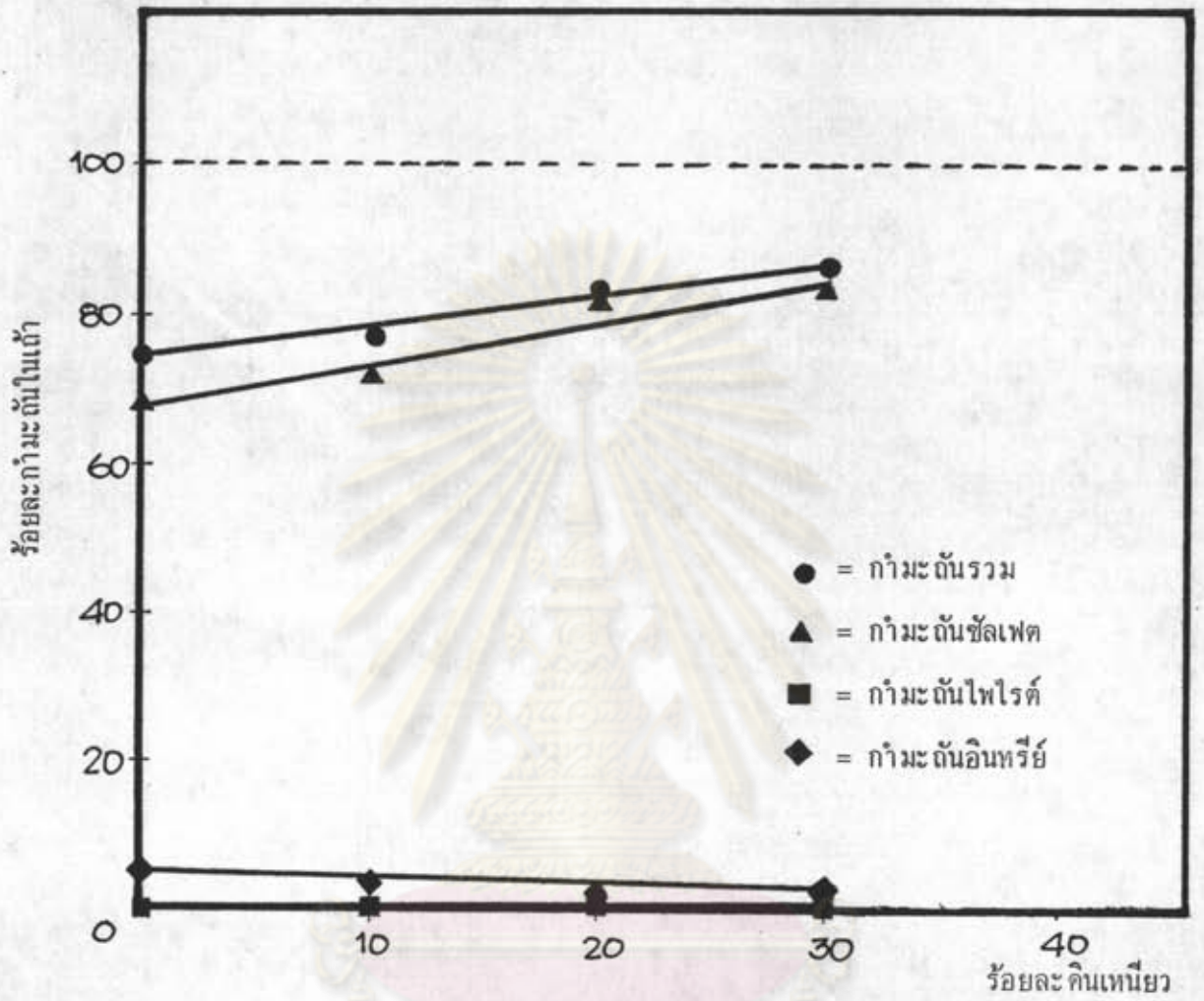
ตารางที่ 4.19 ปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งบ้านปู (BP) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน BP ก่อนการเผาไหม้	2.50	0.77	0.42	1.41
เถ้า BP-0%	1.86	1.72	0.01	0.13
เถ้า BP-10%	1.93	1.81	0.01	0.11
เถ้า BP-20%	2.09	2.05	0.01	0.03
เถ้า BP-30%	2.16	2.08	0.01	0.07

ตารางที่ 4.20 ปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินแหล่งบ้านปู (BP) และเถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ โดยคงที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) = 2 และเทียบให้ร้อยละกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ = 100

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม	ร้อยละกำมะถันซัลเฟต	ร้อยละกำมะถันไพไรต์	ร้อยละกำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน BP ก่อนการเผาไหม้	100.00	30.80	16.80	56.40
เถ้า BP-0%	74.40	68.80	0.40	5.20
เถ้า BP-10%	77.20	72.40	0.40	4.40
เถ้า BP-20%	83.60	82.00	0.40	1.20
เถ้า BP-30%	86.40	83.20	0.40	2.80

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงผลของร้อยละดินเหนียวที่มีต่อร้อยละกำมะถันในเถ้าของถ่านหินแหล่งบ้านปู (อัตราส่วน CaO/S คงที่ = 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลจากตารางที่ 4.20 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟ เพื่อให้เห็นผลการทดลองชัดเจนได้ดังรูปที่ 4.11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของการเพิ่มดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 30 กำมะถันรวมในเถ้าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 74 เป็นร้อยละ 86 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับกำมะถันในถ่านหินเริ่มต้น ส่วนรูปแบบของกำมะถันในเถ้าจะเป็นกำมะถันซัลเฟตส่วนใหญ่ กำมะถันไพไรต์เหลืออยู่ในเถ้าเพียงร้อยละ 0.40 และกำมะถันอินทรีย์เหลือในเถ้าอยู่เป็นปริมาณน้อยโดยเฉพาะเมื่อมีดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนร้อยละ 20 ขึ้นไป คือประมาณร้อยละ 1-2 แต่ถ้าไม่มีดินเหนียวเลยจะเหลือกำมะถันอินทรีย์ประมาณร้อยละ 5 ซึ่งต่ำกว่าถ่านหินแหล่งแม่เมาะและคลองหวายเล็ก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะถ่านหินอัดก้อนแหล่งบ้านปูแม้ไม่มีดินเหนียวเลย แต่ถ่านหินเองมีปริมาณเถ้าสูง และองค์ประกอบส่วนใหญ่ในเถ้าคือ SiO_2 และ Al_2O_3 (7) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการสลายตัวของกำมะถันอินทรีย์เช่นเดียวกับดินเหนียว ดังนั้นจึงพบกำมะถันอินทรีย์เหลืออยู่ในเถ้าน้อยกว่าถ่านหิน 2 แหล่งแรก

4.5 <u>การเปรียบเทียบผลของอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินแหล่งต่าง ๆ</u>

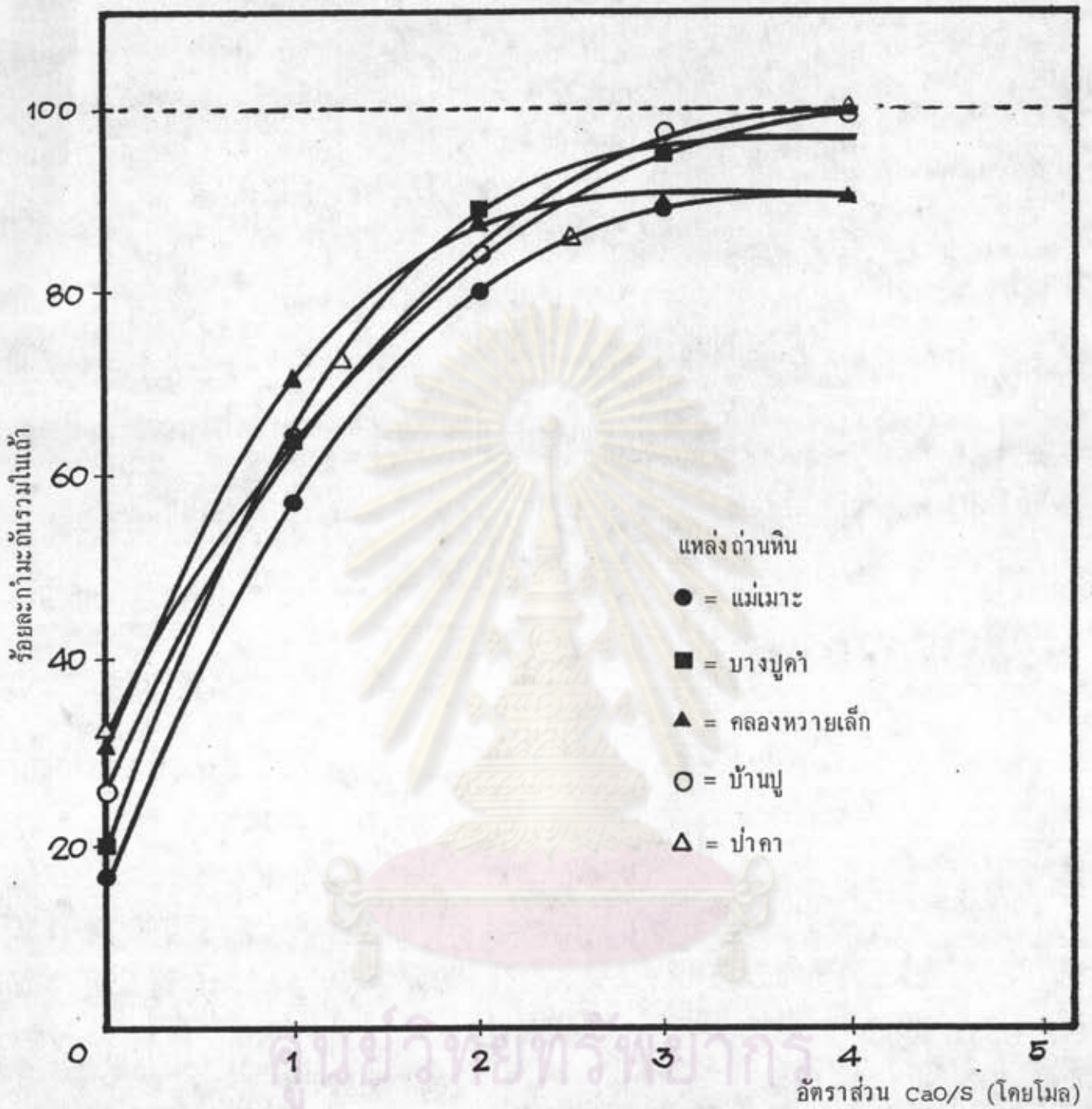
ถ่านหินที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 5 แหล่ง เมื่อนำผลการทดลองแต่ละแหล่งมาเปรียบเทียบที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ กัน แสดงผลการเปรียบเทียบในตารางที่ 4.21

จากตารางที่ 4.21 สามารถแสดงผลเปรียบเทียบกำมะถันรวมในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ได้ชัดเจนเป็นกราฟดังรูป 4.12 จากรูป 4.12 พบว่าที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) เท่า ๆ กัน ร้อยละกำมะถันรวมที่เหลือในเถ้าของถ่านหินแต่ละแหล่งแตกต่างกันไป แต่ลักษณะโดยส่วนรวมแล้วคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ช่วงอัตราส่วน CaO/S ตั้งแต่ 0-2 ร้อยละกำมะถันในเถ้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และการเพิ่มขึ้นนี้จะลดลง เมื่ออัตราส่วน CaO/S มากกว่า 2 ขึ้นไป จนกระทั่งเกือบคงที่ มีการเพิ่มขึ้นของกำมะถันในเถ้าน้อยมากที่อัตราส่วน CaO/S มากกว่า 3 การขจัดกำมะถันสูงสุดทำได้ประมาณร้อยละ 90-100 ซึ่งนับว่าสูงมาก ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องเลือกใช้อัตราส่วน CaO/S ที่ให้ร้อยละกำมะถันในเถ้าสูงสุด แต่ควรเลือกอัตราส่วน CaO/S ที่ต่ำสุดที่ยังให้การขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อน และประสิทธิภาพการใช้งานสูง เพื่อที่จะได้ไม่เป็นการสิ้นเปลืองปูนขาวโดยใช้เหตุ นอกจากนี้ปริมาณปูนขาวที่มากเกินไปทำให้ค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนต่ำลงในการใช้งานจึงต้องใช้ปริมาณถ่านหินอัดก้อนมากเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายอีกเช่นกัน จากการพิจารณาอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ในถ่านหินอัดก้อนที่เหมาะสมทั้งในด้านการขจัดกำมะถัน และประสิทธิภาพการใช้งาน อยู่ในช่วง 2-2.5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเบื้องต้นของถ่านหินอัดก้อนที่มีผู้ศึกษาไว้ (10) กำหนดช่วงอัตราส่วน CaO/S ที่เหมาะสมเท่ากับ 1.5-3

ตารางที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ตั้งแต่ 0 ถึง 4 โดยเทียบให้กำมะถันรวมในถ่านหินเริ่มต้นของแต่ละแหล่ง = 100 (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม					ร้อยละกำมะถันซัลเฟต					ร้อยละกำมะถันไพไรต์					ร้อยละกำมะถันอินทรีย์				
	MM	PD	KV	BP	PK	MM	PD	KV	BP	PK	MM	PD	KV	BP	PK	MM	PD	KV	BP	PK
ถ่านหินเริ่มต้นก่อนการเผาไหม้	←		100		→	14.13	30.02	16.59	30.80	30.53	37.63	22.11	27.01	16.80	16.84	48.23	47.87	56.40	56.40	52.63
เถ้าที่อัตราส่วน CaO/S = 0	16.61	19.88	30.33	25.60	32.11	13.43	15.82	27.73	19.60	30.00	0.53	0.20	0.24	0.80	0.53	2.65	3.85	2.37	5.20	1.58
เถ้าที่อัตราส่วน CaO/S = 1	57.71	64.10	70.38	64.40	–	53.00	60.45	68.96	63.20	–	0.71	0.00	0.48	0.40	–	3.00	3.65	0.95	0.80	–
เถ้าที่อัตราส่วน CaO/S = 1.25	–	–	–	–	72.11	–	–	–	–	68.42	–	–	–	–	0.53	–	–	–	–	3.16
เถ้าที่อัตราส่วน CaO/S = 2	79.68	88.44	87.20	83.60	–	79.15	81.74	85.07	82.00	–	0.00	0.00	0.24	0.40	–	0.53	6.69	1.90	1.20	–
เถ้าที่อัตราส่วน CaO/S = 2.5	–	–	–	–	85.79	–	–	–	–	83.16	–	–	–	–	0.53	–	–	–	–	2.11
เถ้าที่อัตราส่วน CaO/S = 3	89.05	95.13	89.34	97.20	–	88.52	90.06	88.15	96.00	–	0.00	0.00	0.48	0.40	–	0.53	5.07	0.71	0.80	–
เถ้าที่อัตราส่วน CaO/S = 4	–	–	89.57	99.60	100.00	–	–	89.10	98.80	97.37	–	–	0.24	0.40	0.53	–	–	0.24	0.40	2.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



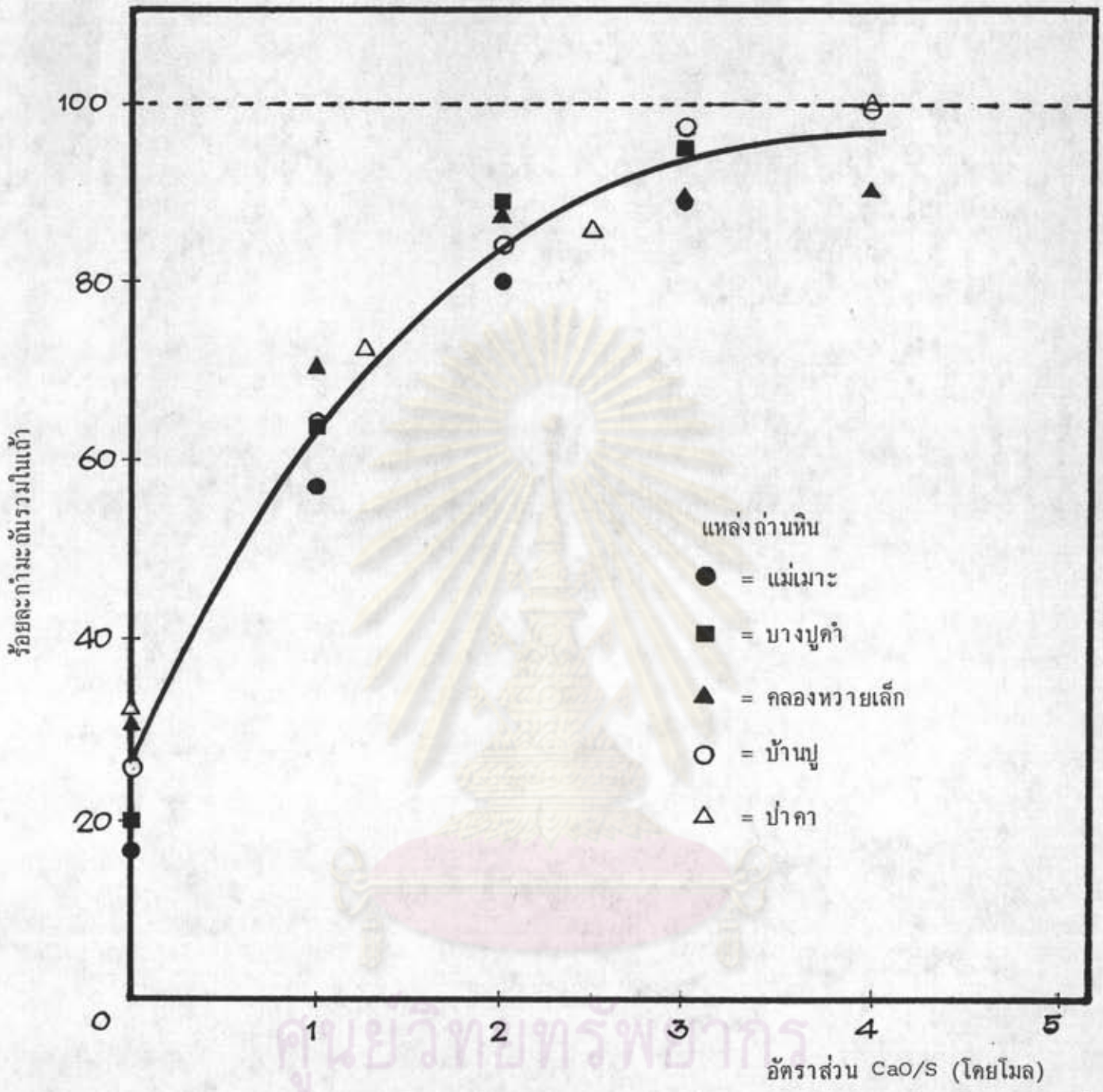
รูปที่ 4.12 แสดงผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) กับร้อยละกำมะถันรวมในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความแตกต่างของความสามารถในการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนระหว่างถ่านหินแต่ละแหล่ง แยกออกเป็น 2 กลุ่ม เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.12 พบว่าถ่านหินแหล่งแม่เมาะและคลองหวายเล็กให้ปริมาณกำมะถันในเถ้าค่อนข้างต่ำกว่าถ่านหินอีก 3 แหล่งคือ แหล่งบางปูดำ บ้านปู และป่าคา เห็นได้ชัดเจนที่อัตราส่วน CaO/S มากกว่า 2 การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากคุณสมบัติของถ่านหินเริ่มต้นแตกต่างกัน จากตารางที่ 4.21 พบว่าถ่านหินแหล่งแม่เมาะและคลองหวายเล็กมีกำมะถันซัลเฟตอยู่ในสัดส่วนที่ต่ำ คือประมาณร้อยละ 14-16 ในขณะที่ถ่านหินอีก 3 แหล่งมีกำมะถันซัลเฟตประมาณร้อยละ 30 เทียบกับกำมะถันรวมในถ่านหินเริ่มต้น โดยปกติกำมะถันซัลเฟต เป็นรูปแบบกำมะถันที่มีความเสถียรเมื่อเผาไหม้แล้วส่วนใหญ่จะยังคงอยู่ในเถ้าหลังการเผาไหม้ ซึ่งเห็นได้ชัดจนจากตารางที่ 4.21 ดังนั้นการที่มีกำมะถันซัลเฟตในถ่านหินเริ่มต้นในสัดส่วนที่สูงย่อมหมายความว่ามีกำมะถันไพไรต์และกำมะถันอินทรีย์ที่จะถูกออกซิไดซ์เป็นก๊าซ SO_2 ในปริมาณต่ำ ในทางตรงข้ามถ้ามีกำมะถันซัลเฟตในถ่านหินเริ่มต้นในสัดส่วนที่ต่ำ กำมะถันส่วนที่จะกลายเป็นก๊าซ SO_2 ออกไปในบรรยากาศเป็นมลภาวะจะมีปริมาณสูง เมื่อใส่ปูนขาวลงไปในถ่านหินอัดก้อนเพื่อเป็นตัวจับก๊าซ SO_2 ที่อัตราส่วน CaO/S เท่า ๆ กัน ถ่านหินที่มีกำมะถันซัลเฟตเริ่มต้นสูงจึงมีแนวโน้มที่กำมะถันซัลเฟตจะเหลืออยู่ในเถ้าในปริมาณมากกว่า

อย่างไรก็ตาม ถ่านหินทุกแหล่งที่นำมาศึกษาก็มีแนวโน้มในการขจัดกำมะถันใกล้เคียงกัน จึงสามารถบอกแนวโน้มเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำมะถันในเถ้ากับอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ที่เติมในถ่านหินอัดก้อนได้ ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นชัดเจนในกราฟรูปที่ 4.13 และความสัมพันธ์ในรูป 4.13 นี้ อาจใช้เป็นตัวแทนสำหรับถ่านหินในประเทศไทยได้ เนื่องจากถ่านหินที่นำมาศึกษาเป็นถ่านหินแหล่งใหญ่ ๆ ที่มีความสำคัญ และมีปริมาณสำรองมากพอที่จะนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง

การพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณกำมะถันรวมในเถ้าหลังการเผาไหม้ กับอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ตามรูปที่ 4.12 อาจไม่แสดงถึงผลการเปรียบเทียบว่าการใส่ปูนขาวที่อัตราส่วน CaO/S ต่าง ๆ ให้ผลการขจัดกำมะถันดีกว่าเมื่อไม่ใส่ปูนขาวอย่างไร เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ถึงผลเปรียบเทียบดังกล่าว จึงกำหนดให้ P = ร้อยละของกำมะถันในเถ้าหลังการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้นจากเถ้าของถ่านหินอัดก้อนที่ไม่มีปูนขาว (แสดงการคำนวณในภาคผนวก จ) ตารางที่ 4.22 แสดงค่า P ที่อัตราส่วน CaO/S ต่าง ๆ ของถ่านหินแต่ละแหล่งที่นำมาศึกษา และจากตารางที่ 4.22 นำข้อมูลมาเสนอในรูปกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 แนวโน้มเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) กับร้อยละกำมะถันรวมในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

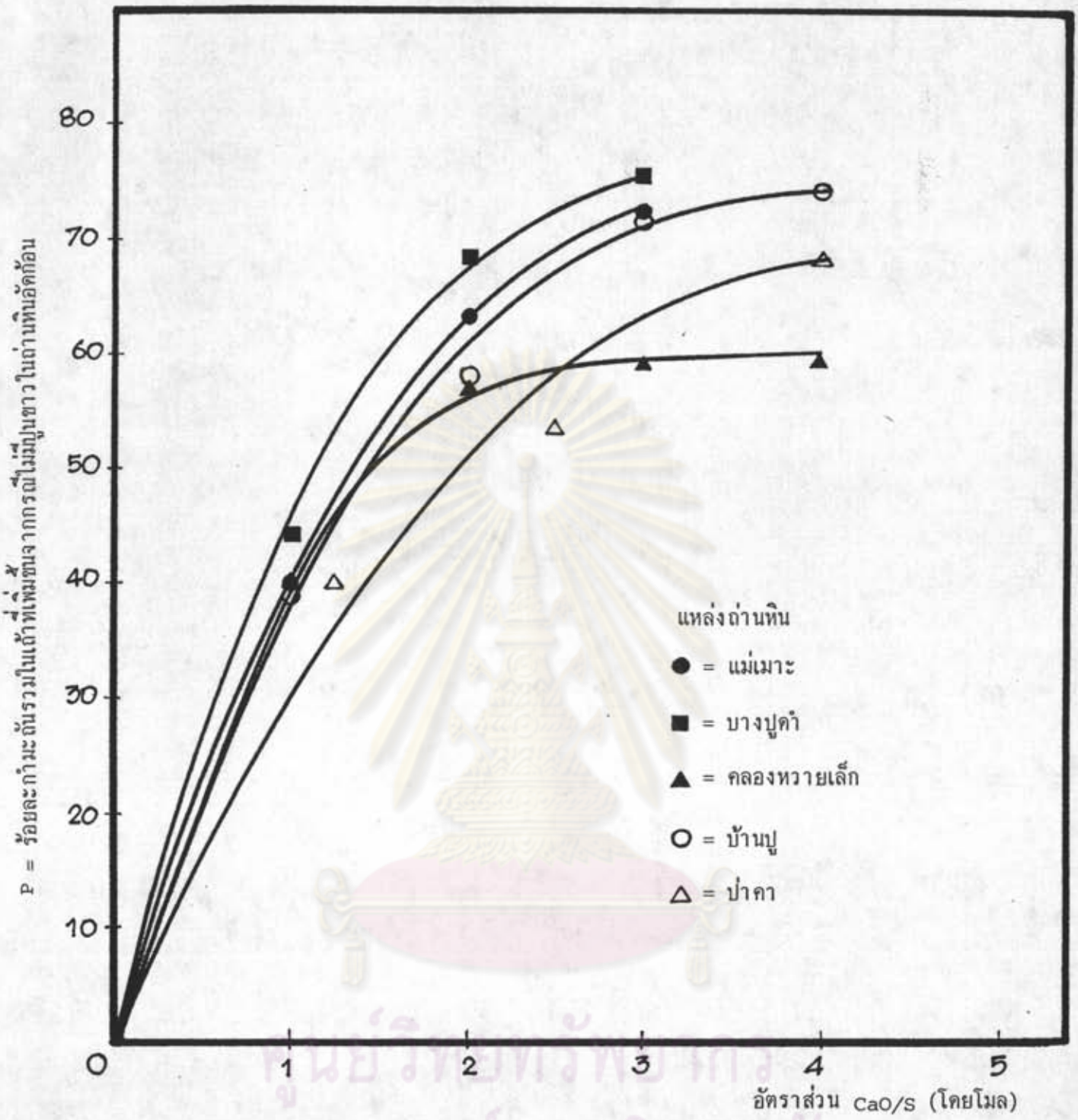
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่า P ที่อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ต่าง ๆ ของถ่านหินที่นำมาศึกษา 5 แหล่ง ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20

อัตราส่วน CaO/S (โดยโมล)	P*				
	ถ่านหิน MM	ถ่านหิน PD	ถ่านหิน KV	ถ่านหิน BP	ถ่านหิน PK
0	0	0	0	0	0
1	40.10	44.22	40.05	38.80	-
1.25	-	-	-	-	40.00
2	63.07	68.56	56.87	58.00	-
2.50	-	-	-	-	53.68
3	72.44	75.25	59.01	71.60	-
4	-	-	59.24	74.00	67.89

หมายเหตุ P^* = ร้อยละกำมะถันรวมในเถ้าที่เพิ่มขึ้นจากเถ้าของถ่านหินอัดก้อนที่ไม่มีปูนขาว

จากรูปที่ 4.14 พบว่า การเพิ่มขึ้นของกำมะถันรวมในเถ้าหรือค่า P จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงอัตราส่วน CaO/S น้อยกว่า 2 และการเพิ่มขึ้นจะลดลงจนเกือบไม่มีการเพิ่มของกำมะถันรวมเลย เมื่ออัตราส่วน CaO/S มากกว่า 3 ลักษณะของกราฟในรูปที่ 4.13 แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ ถ่านหินแหล่งแม่เมาะ, บางปูดำ และบ้านปู มีกำมะถันรวมในเถ้าที่อัตราส่วน CaO/S ต่าง ๆ เพิ่มจากเมื่อไม่มีการเติมปูนขาวมาก หรือกล่าวได้ว่า การเติมปูนขาวลงไปในถ่านหินอัดก้อนช่วยขจัดกำมะถันที่จะสูญหายไปในบรรยากาศเป็นก๊าซ SO_2 ได้ดีกว่าเมื่อไม่มีปูนขาวมาก คือประมาณร้อยละ 60-70 ที่อัตราส่วน CaO/S เท่ากับ 2-2.5 ในขณะที่ถ่านหินอีกกลุ่มหนึ่ง คือ ถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็กและป่าคา มีการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อน (เทียบกับเมื่อไม่มีปูนขาวเลย) ได้ดีน้อยกว่าถ่านหินกลุ่มแรก คือสามารถขจัดกำมะถันได้ดีกว่าเมื่อไม่มีปูนขาวประมาณร้อยละ 50-58 ที่อัตราส่วน CaO/S เท่ากับ 2-2.5 การที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็กมีปริมาณ CaO, MgO หรือออกไซด์ของธาตุหมู่ที่ 2 อยู่ในถ่านหินเริ่มต้นในปริมาณสูง (43) ดังนั้นถึงแม้ไม่มีปูนขาวในถ่านหินอัดก้อนเลยก็ยังสามารถขจัดกำมะถันที่จะกลายเป็นก๊าซ SO_2 ให้กลับมาอยู่ในเถ้าในรูปของกำมะถันซัลเฟตได้



รูปที่ 4.14 แสดงผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่า P กับอัตราส่วน CaO/S (โดยโมล) ของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ (ร้อยละดินเหนียวคงที่ = 20)

ซึ่งเห็นชัดเจนว่ากำมะถันซัลเฟตในถ่านหินคลองหวายเล็กเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 16.56 แต่เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินอัดก้อนเมื่อยังไม่มีการเติมปูนขาวมีกำมะถันซัลเฟตสูงขึ้นเป็นร้อยละ 27.73 (จากตารางที่ 4.21) ซึ่งเป็นผลมาจากถ่านหินแหล่งนี้มีปริมาณ CaO, MgO สูงกว่าแหล่งอื่น (43) CaO และ MgO ในถ่านหินทำหน้าที่จับก๊าซ SO_2 มาอยู่ในรูปกำมะถันซัลเฟตในเถ้า ดังนั้นในเถ้าของถ่านหินอัดก้อนที่ไม่มีปูนขาวจึงมีกำมะถันรวมสูง ส่วนถ่านหินแหล่งป่าคาพบว่ากำมะถันซัลเฟตในถ่านหินเริ่มต้น ซึ่งมีอยู่ในสัดส่วนที่สูงไม่แตกต่างจากกำมะถันซัลเฟตในเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้เท่าใด คือร้อยละ 30.53 และ 30.00 ตามลำดับ (จากตารางที่ 4.21) แสดงว่ากำมะถันซัลเฟตในถ่านหินแหล่งนี้เป็นรูปแบบซัลเฟตที่มีความเสถียรสูง ไม่มีการสลายตัวที่อุณหภูมิการเผาไหม้ จึงมีผลให้กำมะถันรวมในเถ้าจากถ่านหินอัดก้อนที่ไม่มีปูนขาวมีปริมาณสูงไปด้วย

การที่ถ่านหินแหล่งคลองหวายเล็กและป่าคามีกำมะถันรวมในเถ้าที่อัตราส่วน CaO/S = 0 สูงกว่าแหล่งอื่น ๆ ทำให้ค่า P ที่อัตราส่วน CaO/S ต่าง ๆ ต่ำกว่าถ่านหินอีก 3 แหล่ง

4.6 การเปรียบเทียบผลของดินเหนียวที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินแหล่งต่าง ๆ

การศึกษาผลของดินเหนียวที่ใช้เป็นตัวประสานที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อน ได้เลือกแหล่งถ่านหินในการศึกษา 3 แหล่งจากทั้งหมด 5 แหล่ง โดยพิจารณาจากแหล่งที่มีปริมาณสำรองมาก และมีกำมะถันรวมในถ่านหินเริ่มต้นต่างกัน ถ่านหินที่ศึกษาคือ ถานหินแหล่งแม่เมาะ, คลองหวายเล็ก และบ้านปู เมื่อนำผลการทดลองแต่ละแหล่งมาเปรียบเทียบกันที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ แสดงผลดังตารางที่ 4.23

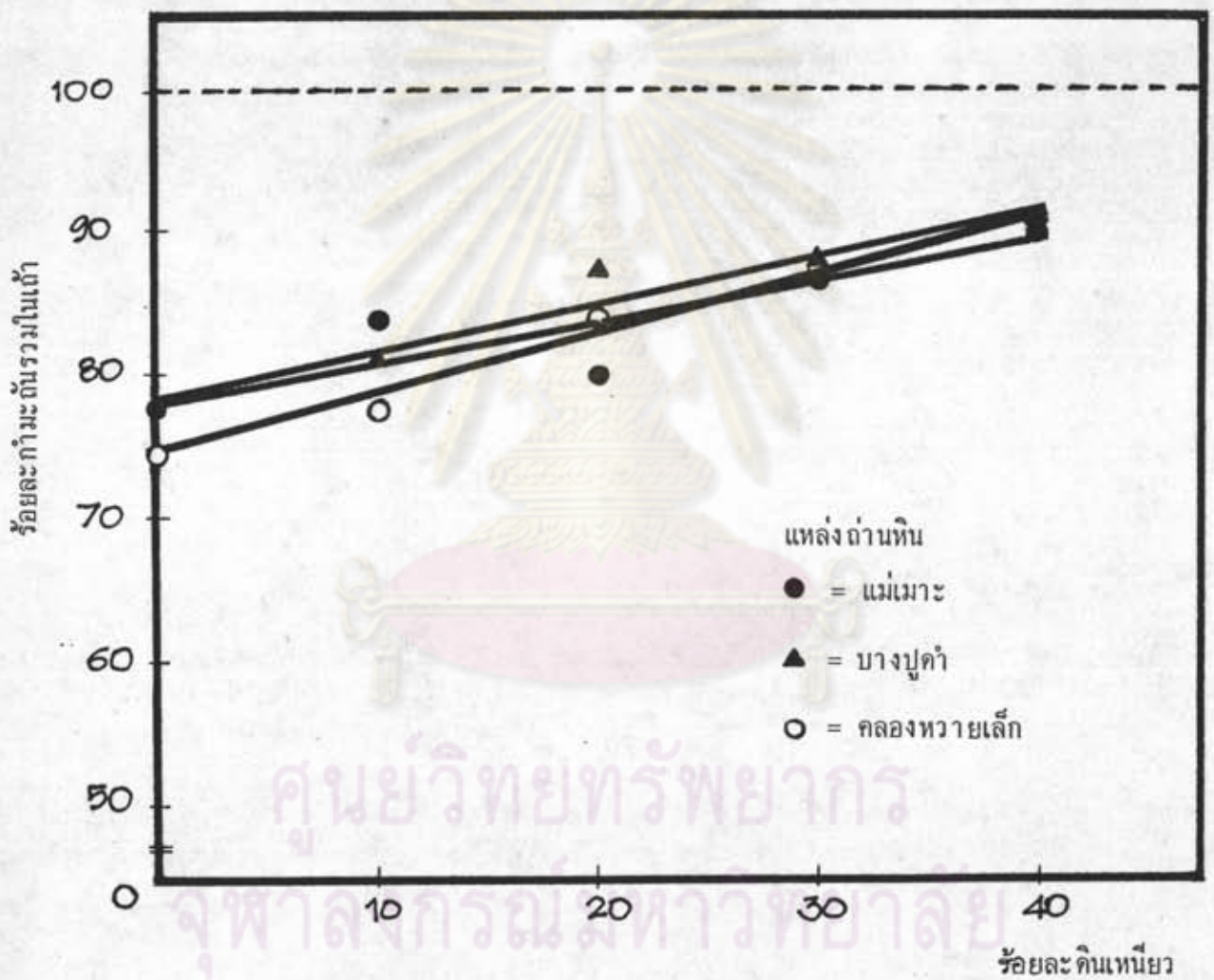
จากตารางที่ 4.23 สามารถแสดงผลการเปรียบเทียบกำมะถันรวมในเถ้าที่ร้อยละดินเหนียวต่าง ๆ ของถ่านหินทั้ง 3 แหล่ง ดังรูปที่ 4.15

จากรูปที่ 4.15 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละดินเหนียวในถ่านหินอัดก้อนกับร้อยละกำมะถันรวมในเถ้าหลังการเผาไหม้ของถ่านหินทั้ง 3 แหล่งใกล้เคียงกันมาก คือเมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียวจะทำให้การขจัดกำมะถันในถ่านหินอัดก้อนดีขึ้นเล็กน้อย โดยที่ปริมาณกำมะถันรวมในเถ้าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10-15 เมื่อเพิ่มร้อยละดินเหนียวจาก 0 เป็น 40 ดังนั้นการเลือกใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสาน นอกจากจะราคาถูก หาได้ง่าย และให้คุณสมบัติในการเป็นถ่านอัดก้อนคุณภาพดีแล้ว ยังมีแนวโน้มในการช่วยขจัดกำมะถันอีกด้วย จึงนับได้ว่าดินเหนียวเป็นตัวประสานที่เหมาะสมในการผลิตถ่านหินอัดก้อน สำหรับปริมาณดินเหนียวที่เหมาะสมนั้น ต้องพิจารณาร่วมกันระหว่างคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน ประสิทธิภาพการนำไปใช้งาน ตลอดจนความสามารถในการ

ตารางที่ 4.23 ผลการเปรียบเทียบปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ที่ร้อยละดินเหนียว ตั้งแต่ 0 ถึง 40 โดยเทียบให้กำมะถันรวมในถ่านหินเริ่มต้นของแต่ละแหล่ง = 100 (อัตราส่วน CaO/S คงที่ = 2)

ชนิดของตัวอย่าง	ร้อยละกำมะถันรวม			ร้อยละกำมะถันซัลเฟต			ร้อยละกำมะถันไพไรต์			ร้อยละกำมะถันอินทรีย์		
	MM	KV	BP	MM	KV	BP	MM	KV	BP	MM	KV	BP
ถ่านหินเริ่มต้นก่อนการเผาไหม้	←	100	→	14.13	16.59	30.80	37.63	27.01	16.80	48.23	56.40	56.40
เถ้าที่ร้อยละดินเหนียว = 0	77.39	-	74.40	68.37	-	68.80	0.35	-	0.40	8.56	-	5.20
เถ้าที่ร้อยละดินเหนียว = 10	83.75	81.04	77.20	77.03	72.04	72.40	0.18	0.47	0.40	6.54	8.53	4.40
เถ้าที่ร้อยละดินเหนียว = 20	79.68	87.20	83.60	79.15	85.07	82.00	0.00	0.24	0.40	0.53	1.90	1.20
เถ้าที่ร้อยละดินเหนียว = 30	86.93	87.91	86.40	84.98	86.73	83.20	0.18	0.24	0.40	1.77	0.95	2.80
เถ้าที่ร้อยละดินเหนียว = 40	90.28	91.00	-	87.99	90.52	-	0.18	0.24	-	2.12	0.24	-

ช่วยเป็นตัวขจัดกำมะถัน จากงานวิจัยเบื้องต้นของถ่านหินอัดก้อนที่มีผู้ศึกษาไว้ (10) ร้อยละดินเหนียวที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 10-30 เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับประสิทธิภาพการนำไปใช้งานในข้อ 4.3 ช่วงร้อยละดินเหนียวที่เหมาะสมอยู่ในช่วงเดียวกัน ส่วนผลของดินเหนียวต่อการขจัดกำมะถันในรูปที่ 4.15 ที่ร้อยละดินเหนียวเท่ากับ 20 ทำให้กำมะถันรวมในเถ้าสูงกว่าร้อยละ 80 เหลือกำมะถันที่สูญหายไปในบรรยากาศเป็นมลภาวะเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าร้อยละดินเหนียวที่เหมาะสมในการเป็นตัวประสานในถ่านหินอัดก้อน คือ 20



รูปที่ 4.15 แสดงผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละดินเหนียวกับร้อยละกำมะถันรวมในเถ้าของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ (อัตราส่วน CaO/S โดยโมลคงที่ =2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย