



บทที่ 4

ผลการทดลอง การวิเคราะห์และวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถของสารดูดซับที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ในการกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สที่จำลองขึ้น งานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ ส่วนแรกศึกษาถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คือ เวลา อุณหภูมิ และความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สสำหรับสารดูดซับแต่ละชนิด ส่วนที่สองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สต่างกัน โดยหาภาวะที่เหมาะสมของสารดูดซับแต่ละชนิด ส่วนที่สามศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับ ส่วนที่สี่ศึกษาทางด้านจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ผลการวิเคราะห์สมบัติของสารดูดซับ

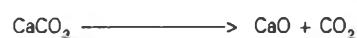
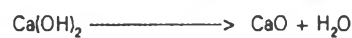
การวิเคราะห์สมบัติของสารดูดซับในที่นี้ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในแก้วสารดูดซับ ที่วิเคราะห์โดยเทคนิค X - ray fluorescence spectrometry แสดงในภาคผนวก ก ธาตุที่พบในแก้วสารดูดซับคือ Ca, Mg, Fe, Si, Al, Mn และ Cu เนื่องจากองค์ประกอบธาตุจากการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงเป็นร้อยละของธาตุในแก้วของสารดูดซับ 100 กรัม แต่ในสารดูดซับธาตุต่างๆดังกล่าวอยู่ในรูปของออกไซด์ คาร์บอนหรืออื่นๆซึ่งเมื่อเผาเป็นแก้วจะสลายตัวกลายเป็นออกไซด์ จึงได้ทำการหาสมมูลมวลสารดังแสดงในภาคผนวก ข.1 เพื่อคำนวณเป็นร้อยละโลหะออกไซด์ในสารดูดซับ 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

การวิเคราะห์รูปแบบของแคลเซียมในสารดูดซับด้วยเทคนิคทาง X - ray diffraction analysis ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ X - ray Diffraction Model JDX - 8030 และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับตัวอย่างโดยวิธี BET Surface Area Analysis ผลแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ (รูปออกไซด์) เป็นร้อยละโดยน้ำหนักในสารดูดซับ
ด้วยเทคนิค X - ray fluorescence spectrometry

สารประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก			
	Lime (lab.grade)	Lime (comm.grade)	Limestone	Dolomite
CaO	74.11	73.65	57.81	40.35
MgO	0.28	0.69	<0.5	14.85
Fe ₂ O ₃	0.03	0.04	0.24	0.11
SiO ₂	-	0.51	0.44	<0.5
Al ₂ O ₃	0.10	0.11	0.05	<0.5
MnO ₂	-	-	0.01	<0.5
CuO	-	-	-	0.02
ร้อยละการสูญเสีย	25.34	24.63	41.52	44.66

หมายเหตุ ร้อยละการสูญเสียเป็นน้ำหนักที่หายไปเนื่องจากสารดูดซับถูกออกซิไดซ์กลายเป็นออกไซด์หรือในความหมายอีกอย่างหนึ่งคือการเผาได้น้ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปโดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



จากผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1 พบว่าสารดูดซับ Lime(lab.grade) มีสารประกอบที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาก็คือ CaO ร้อยละ 74.11 MgO ร้อยละ 0.28 และสารประกอบที่สามารถช่วยเร่งปฏิกิริยา Fe₂O₃ ร้อยละ 0.03 สารดูดซับ Lime(lab.grade) มี CaO ร้อยละ 73.65 MgO ร้อยละ 0.69 และ Fe₂O₃ ร้อยละ 0.04 สารดูดซับ Limestone มี CaO ร้อยละ 57.81 MgO น้อยกว่าร้อยละ 0.5 และ Fe₂O₃ ร้อยละ 0.24 ส่วนสารดูดซับ Dolomite มี CaO ร้อยละ 40.35 MgO ร้อยละ 14.85 และ Fe₂O₃ ร้อยละ 0.11

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของสารดูดซับ

สารดูดซับ	รูปแบบทางเคมี	พื้นที่ผิวสัมผัส (m^2/g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (A)
Lime(lab.grade)	$Ca(OH)_2$; Portlandite	154.89	36.58
Lime(comm.grade)	$Ca(OH)_2$; Portlandite	4.74	104.57
Limestone	$CaCO_3$; Calcite	6.79	100.76
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$; Dolomite	16.80	214.80

โดยผลการวิเคราะห์ Lime(lab.grade) และ Lime(comm.grade) นั้นรูปแบบทางเคมีของ Ca คือ $Ca(OH)_2$ ส่วน Limestone และ Dolomite รูปแบบทางเคมีของ Ca จะเป็น $CaCO_3$ และ $Ca.Mg(CO_3)_2$ ตามลำดับ โดยค่าพื้นที่ผิวสัมผัสของสารดูดซับเรียงจากมากไปน้อยคือ Lime(lab.grade) 154.89, Dolomite 16.26, Limestone 6.79 และ Lime(comm.grade) 4.74 ตารางเมตรต่อกรัมตามลำดับ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยของสารดูดซับเรียงจากมากไปน้อยคือ Dolomite 214.80, Lime(comm grade) 104.57, Limestone 6.79 และ Lime(lab.grade) 36.58 อังสตรอมตามลำดับ

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อสารดูดซับแต่ละชนิดในการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ในการทดลองใช้สารดูดซับ 4 ชนิดทดลองในหลอดแก้วควอร์ตซ์ที่ เวลา อุณหภูมิและความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สต่างๆกัน

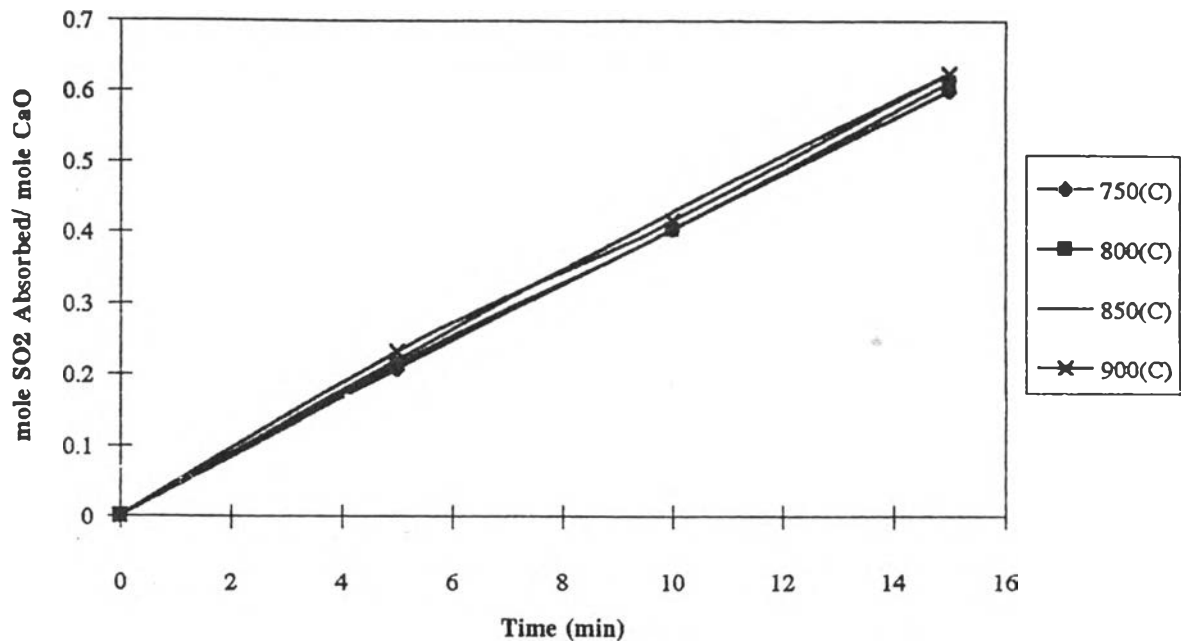
1. ปูนขาวความบริสุทธิ์สูง (lime: lab.grade)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สต่างๆ ที่เวลา 5 10 และ 15 นาที เป็นโมลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลของแคลเซียมออกไซด์ในสารดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

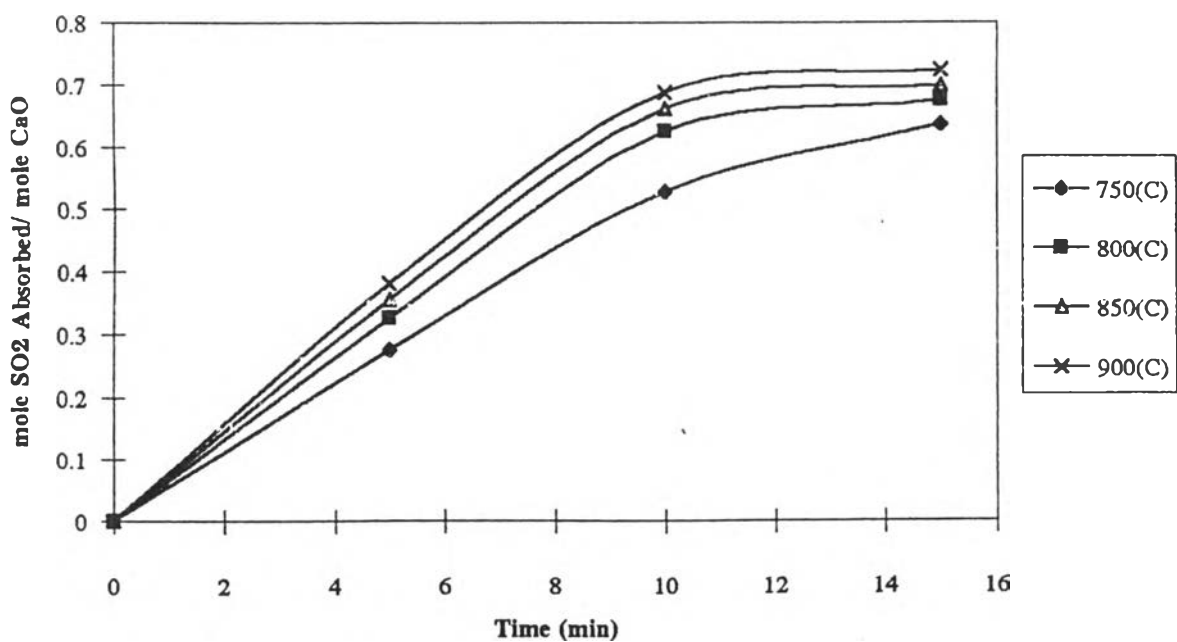
ตารางที่ 4.3 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับ Lime(lab.grade) ขจัดได้

เวลา (นาที)	ปริมาณโมล SO ₂ ต่อ โมล CaO											
	SO ₂ 1000 ppm				SO ₂ 2000 ppm				SO ₂ 3000 ppm			
	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ
5	0.2085	0.2146	0.2208	0.2330	0.2760	0.3250	0.3560	0.3802	0.3066	0.3557	0.3925	0.4293
10	0.4048	0.4048	0.4293	0.4170	0.5274	0.6255	0.6623	0.6869	0.5397	0.6132	0.6501	0.6991
15	0.6010	0.6133	0.6255	0.6255	0.6378	0.6746	0.6991	0.7237	0.6378	0.6868	0.7359	0.7359

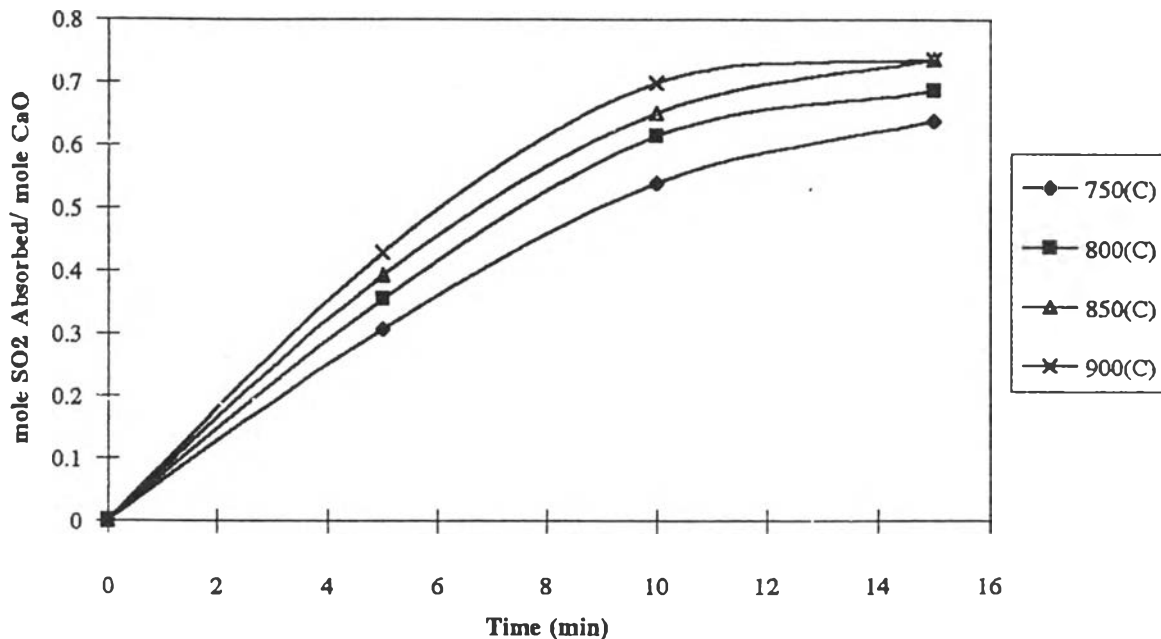
ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.3 อธิบายถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกแสดงอิทธิพลของเวลาที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่ความเข้มข้นหนึ่งๆ และที่อุณหภูมิต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.3 ส่วนที่สอง แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่เวลา 15 นาที และที่ความเข้มข้นต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และส่วนที่สาม แสดงอิทธิพลของความเข้มข้นที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่เวลา 15 นาทีและที่อุณหภูมิต่างกัันดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.1 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm สารดูดซับ Lime(lab.grade)



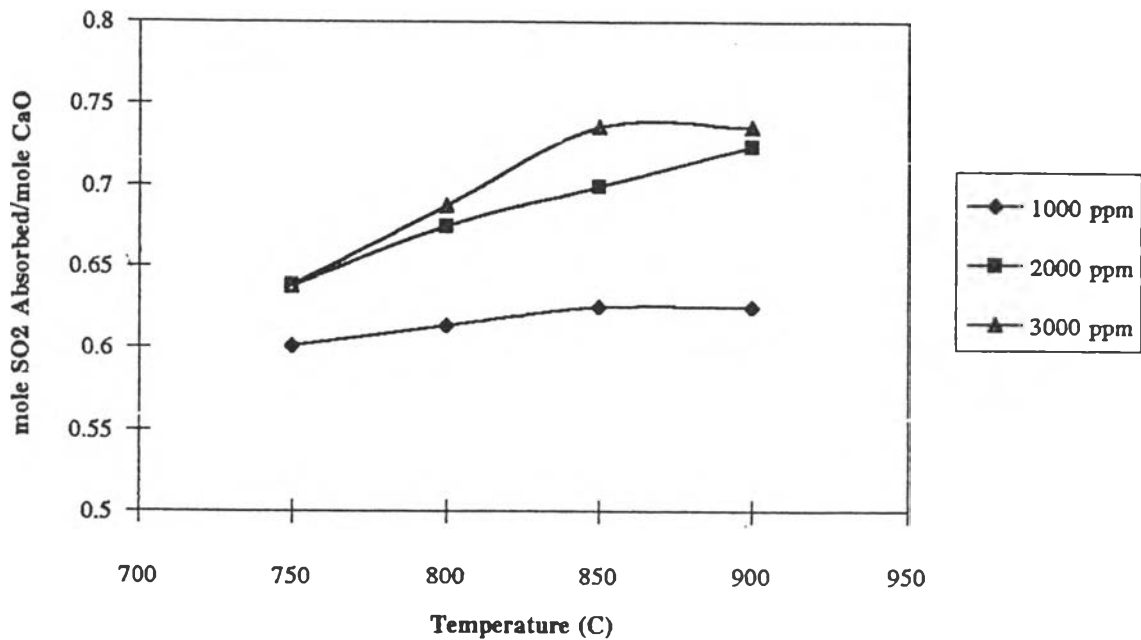
รูปที่ 4.2 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm สารดูดซับ Lime(lab.grade)



รูปที่ 4.3 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm สารดูดซับ Lime(lab.grade)

จากผลการทดลองส่วนแรกพบว่าการขจัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สที่มีความเข้มข้น 1000-3000 ppm ที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นกับเวลา และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสามารถขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.3 โดยในรูปที่ 4.1 ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 1000 ppm นั้นมีความสัมพันธ์กับเวลาเป็นเชิงเส้นภายในช่วงเวลาทดลอง 15 นาที เมื่อความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ การขจัดจะค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจะลดลงหรือคงที่ที่เวลา 15 นาที

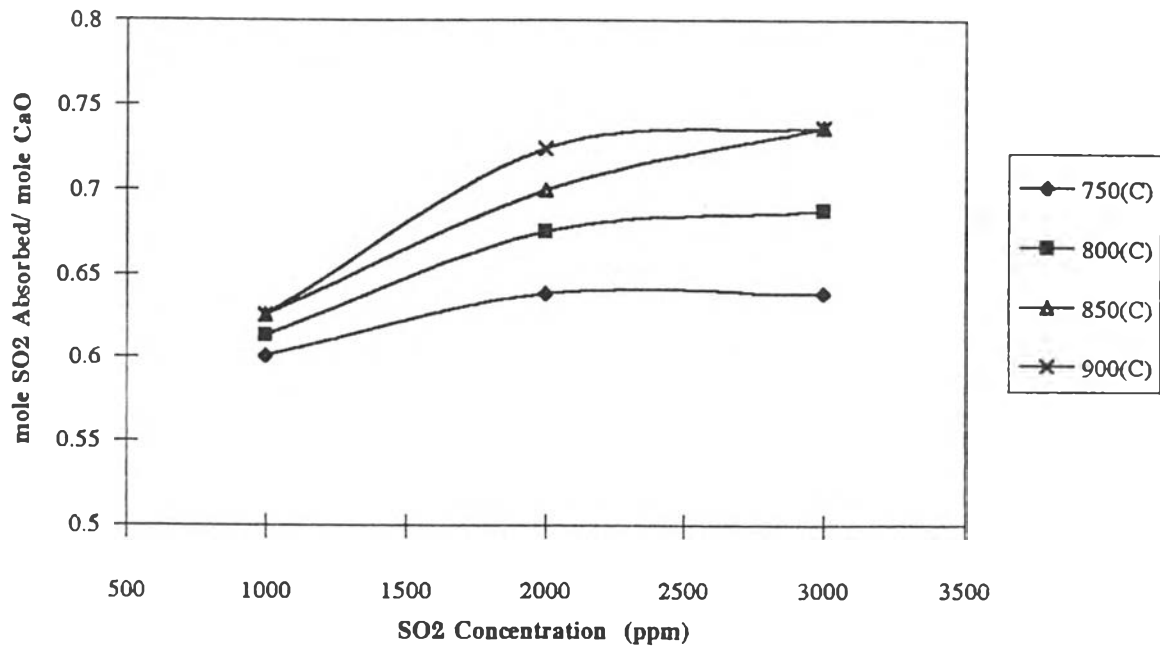
ตามทฤษฎีในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้น ตัวที่จะทำหน้าที่ขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งในที่นี้สารดูดซับคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) เมื่อสารดูดซับได้รับความร้อนจะเปลี่ยนรูปเป็น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แล้วจึงทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์คือ CaSO₄ ซึ่งไปอุดตันรูพรุนของ CaO ทำให้ความพรุน (porosity) และพื้นที่สัมผัส (surface area) ของ CaO ลดลงอย่างมาก CaO ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยามีโอกาสทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยลง เป็นผลให้อัตราการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเวลาต่อมาลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000-3000 ppm ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Lime(lab.grade)

ผลการทดลองสองที่แสดงในรูปที่ 4.4 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.6010 เป็น 0.6255 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียสปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.6378 เป็น 0.7237 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์และที่ความเข้มข้น 3000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียสปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.6378 เป็น 0.7359 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปริมาณการขจัดจะมากขึ้น เพราะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาซัลเฟชันเกิดเร็วขึ้น คือทำให้แก๊สที่เข้าทำปฏิกิริยามีพลังงานเพิ่มขึ้น มีโอกาสที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารดูดซับเพิ่มมากขึ้นด้วย



รูปที่ 4.5 อิทธิพลของความเข้มข้นซิลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียสที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Lime (lab. grade)

ผลการทดลองส่วนที่สามที่แสดงในรูปที่ 4.5 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นซิลเฟอร์ไดออกไซด์จาก 1000 เป็น 3000 ppm ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มเร็วขึ้นแต่ที่ความเข้มข้น 2000 และ 3000 ppm ปริมาณที่ขจัดได้นั้นไม่แตกต่างกันมากนัก

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่า ความเข้มข้นมีผลต่อการขจัดซิลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นปริมาณการขจัดจะมากขึ้นและเร็วขึ้น เพราะเมื่อเพิ่มความเข้มข้นจะทำให้ปฏิกิริยาซัลเฟชันเกิดเร็วขึ้น คือทำให้จำนวนโมเลกุลของแก๊สที่เข้าทำปฏิกิริยามากขึ้นจึงมีโอกาสที่โมเลกุลเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับสารดูดซับเพิ่มมากขึ้นด้วย

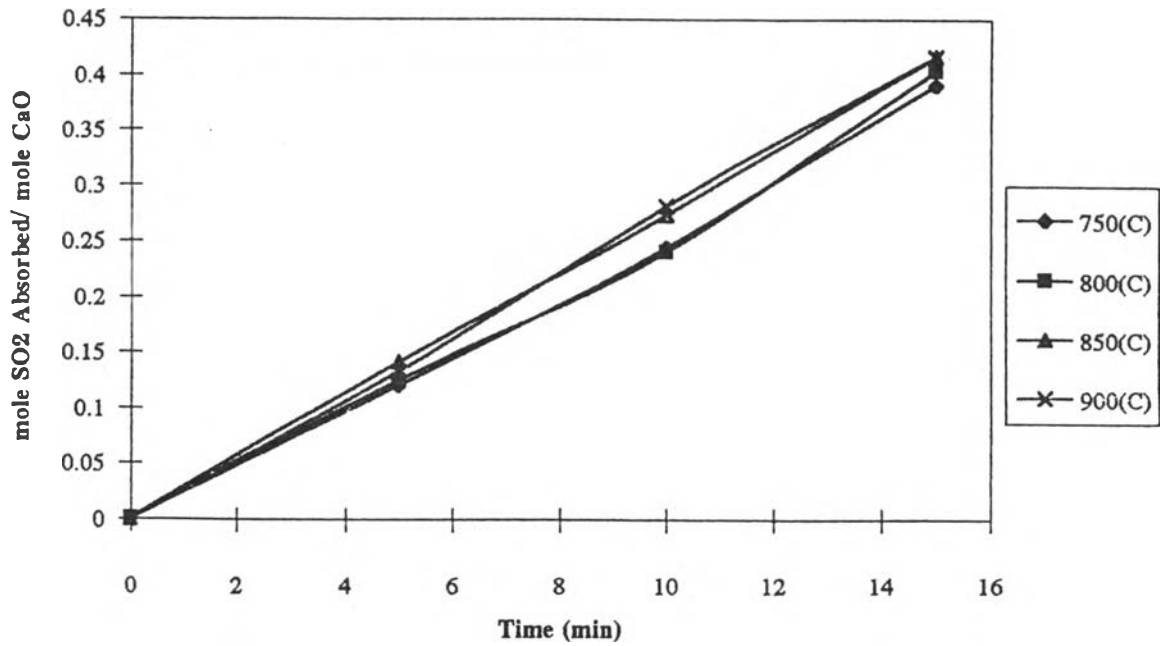
2. ปูนขาวเชิงการค้า (lime: comm.grade)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัด ที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของซิลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สต่างๆ ที่เวลา 5 10 และ 15 นาที เป็นโมลของซิลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลของแคลเซียมในสารดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

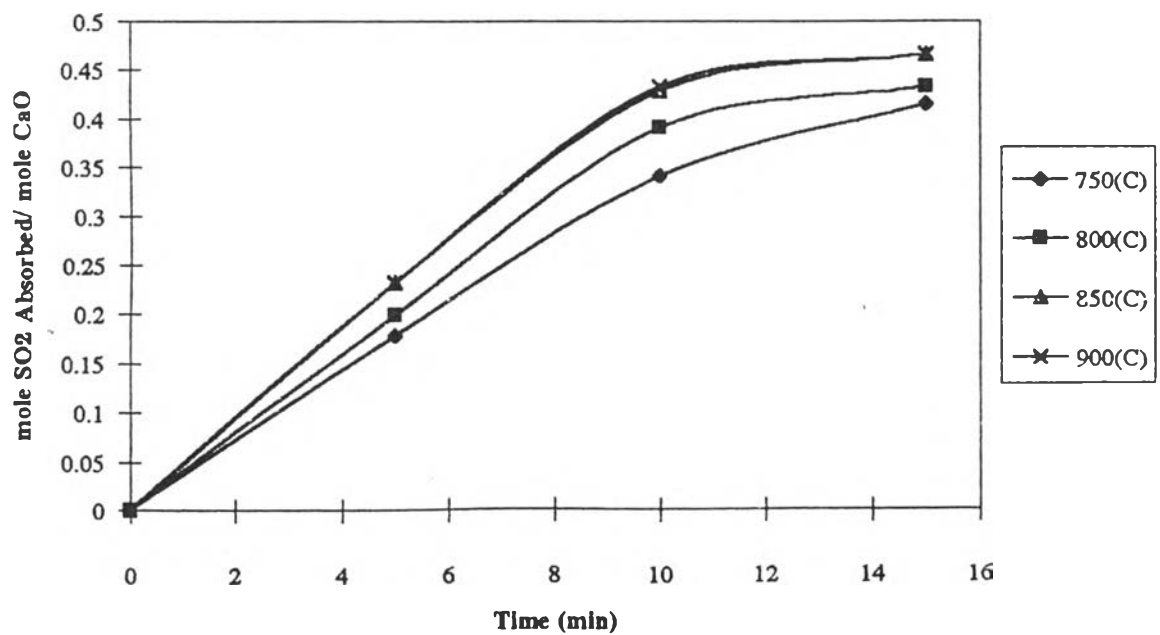
ตารางที่ 4.4 ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับ Lime(comm.grade) ขจัดได้

เวลา (นาที)	ปริมาณโมล SO ₂ ต่อ โมล CaO											
	SO ₂ 1000 ppm				SO ₂ 2000 ppm				SO ₂ 3000 ppm			
	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ
5	0.1206	0.1247	0.1413	0.1330	0.1788	0.1995	0.2328	0.2328	0.1829	0.2079	0.2494	0.2494
10	0.2453	0.2411	0.2744	0.2827	0.3409	0.3908	0.4282	0.4323	0.3492	0.3825	0.4240	0.4157
15	0.3908	0.4032	0.4157	0.4157	0.4157	0.4323	0.4656	0.4656	0.4157	0.4406	0.4656	0.4822

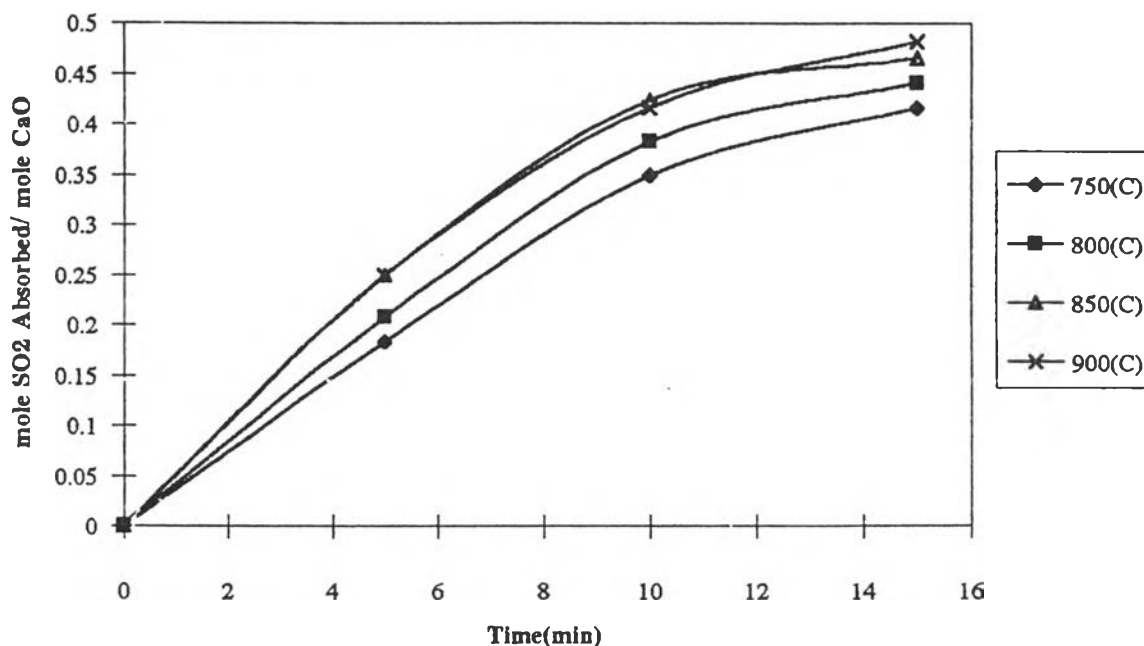
ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.4 อธิบายถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการขจัดซิลเฟอร์ไดออกไซด์โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกแสดงอิทธิพลของเวลาที่มีต่อปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่ความเข้มข้นหนึ่งๆ และที่อุณหภูมิต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6-4.8 ส่วนที่สองแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่เวลา 15 นาที และที่ความเข้มข้นต่างกัันดังแสดงในรูปที่ 4.9 และส่วนที่สามแสดงอิทธิพลของความเข้มข้นที่มีต่อปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่เวลา 15 นาที และที่อุณหภูมิต่างกัันดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.6 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm สารดูดซับ Lime(comm.grade)

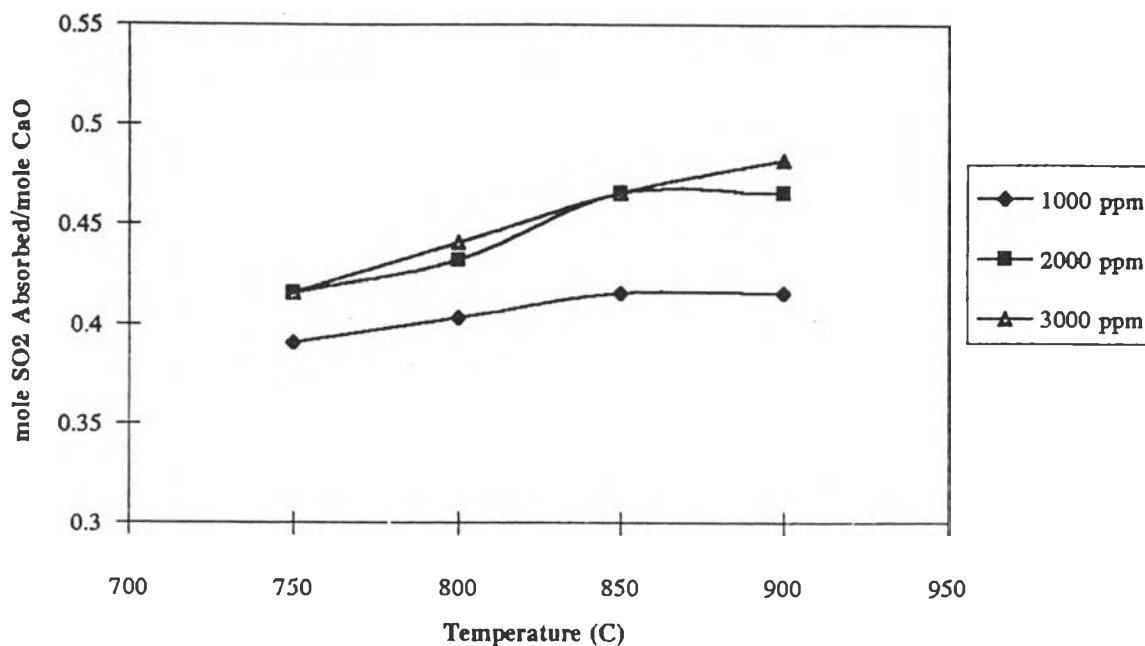


รูปที่ 4.7 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm สารดูดซับ Lime(comm.grade)



รูปที่ 4.8 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm สารดูดซับ Lime(comm.grade)

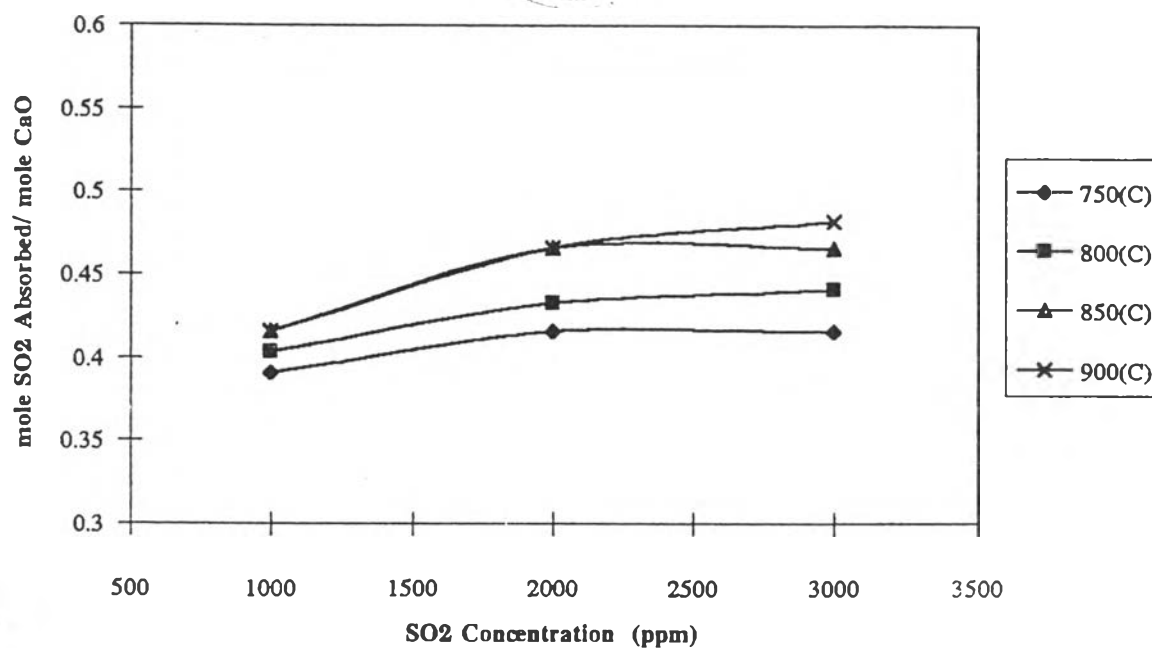
จากผลการทดลองส่วนแรกพบว่าการขจัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สที่มีความเข้มข้น 1000-3000 ppm ที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นกับเวลา และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสามารถขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 - 4.8 โดยในรูปที่ 4.6 ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 1000 ppm นั้นมีความสัมพันธ์กับเวลาเป็นเชิงเส้นภายในช่วงเวลาทดลอง 15 นาที เมื่อความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ การขจัดจะค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจะลดลงหรือคงที่ที่เวลา 15 นาที โดยผลการทดลองและเหตุผลในการอธิบายคล้ายกันกับสารดูดซับ lime (lab.grade) ที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.9 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000-3000 ppm ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Lime(comm.grade)

ผลการทดลองส่วนที่สองที่แสดงในรูปที่ 4.9 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.3908 เป็น 0.4157 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียสปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.4157 เป็น 0.4656 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์และ ที่ความเข้มข้น 3000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียสปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.4157 เป็น 0.4822 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปริมาณการขจัดจะมากขึ้น โดยเหตุผลคล้ายกันกับสารดูดซับ lime (lab.grade) ที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.10 อิทธิพลของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียสที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Lime(comm.grade)

ผลการทดลองส่วนที่สามที่แสดงในรูปที่ 4.10 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก 1000 เป็น 3000 ppm ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มเร็วขึ้นแต่ที่ความเข้มข้น 2000 และ 3000 ppm ปริมาณที่ขจัดได้นั้นไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเหตุผลคล้ายกันกับสารดูดซับ lime (lab.grade) ที่ได้กล่าวมาแล้ว

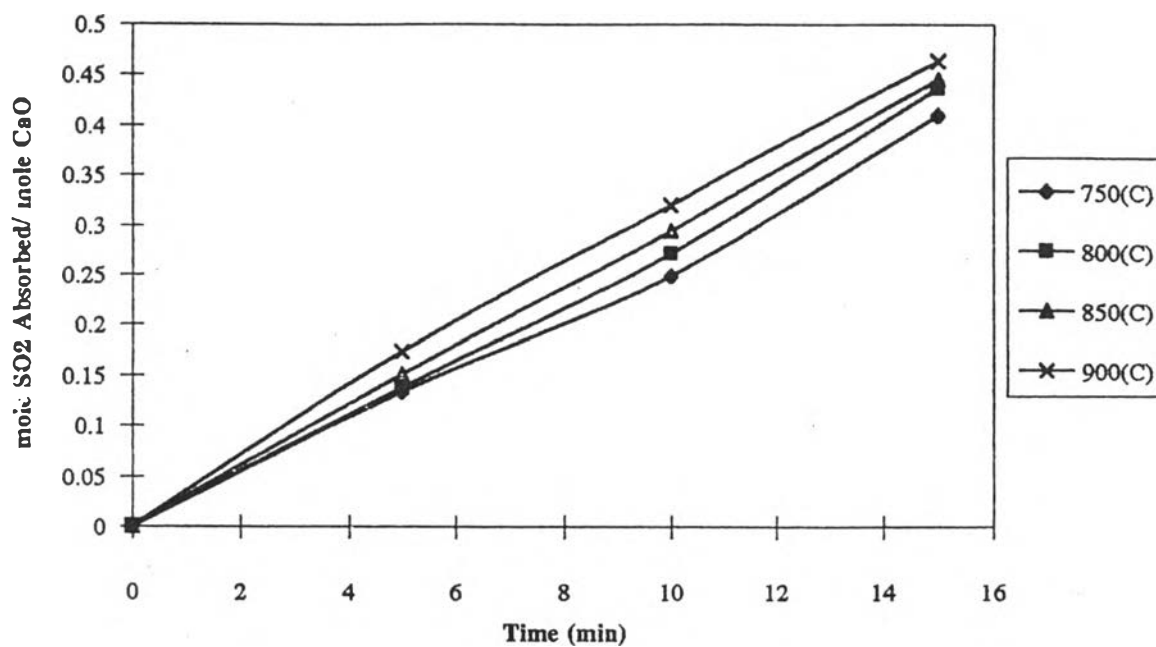
3. หินปูน (limestone)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัด ที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สต่างๆ ที่เวลา 5 10 และ 15 นาที เป็นโมลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลของแคลเซียมในสารดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

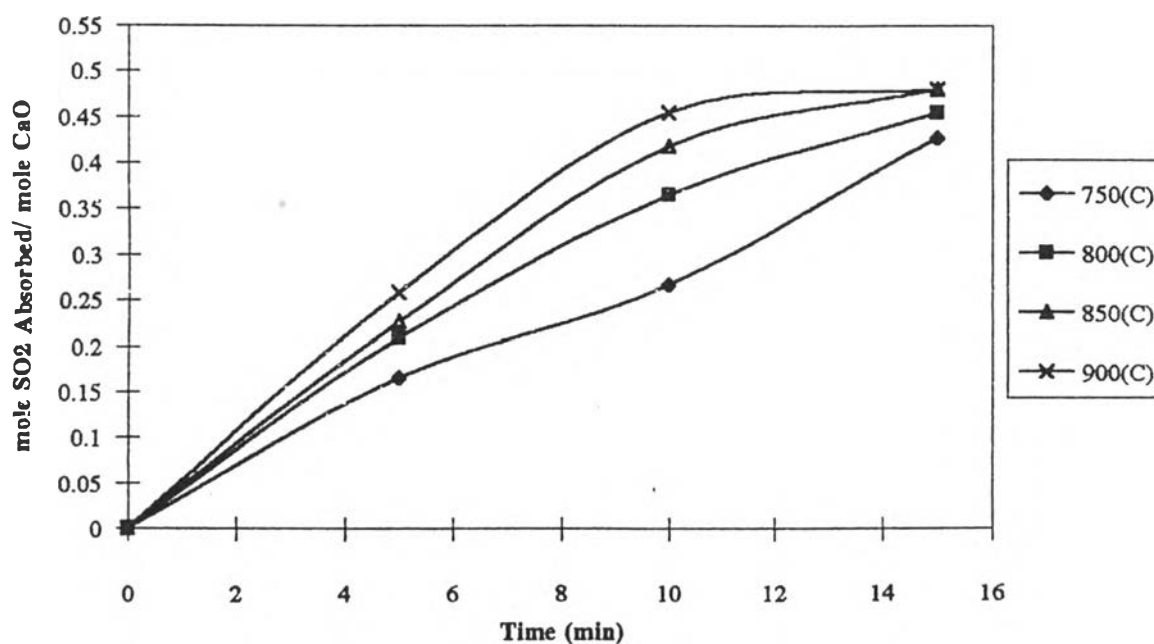
ตารางที่ 4.5 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับ Limestone ขจัดได้

เวลา (นาที)	ปริมาณโมล SO ₂ ต่อ โมล CaO											
	SO ₂ 1000 ppm				SO ₂ 2000 ppm				SO ₂ 3000 ppm			
	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ
5	0.1335	0.1380	0.1513	0.1736	0.1647	0.2092	0.2270	0.2582	0.1870	0.2181	0.2493	0.2938
10	0.2493	0.2715	0.2938	0.3205	0.2671	0.3650	0.4184	0.4540	0.3650	0.3828	0.4184	0.4540
15	0.4095	0.4362	0.4451	0.4629	0.4273	0.4540	0.4896	0.4807	0.4362	0.4718	0.4718	0.4985

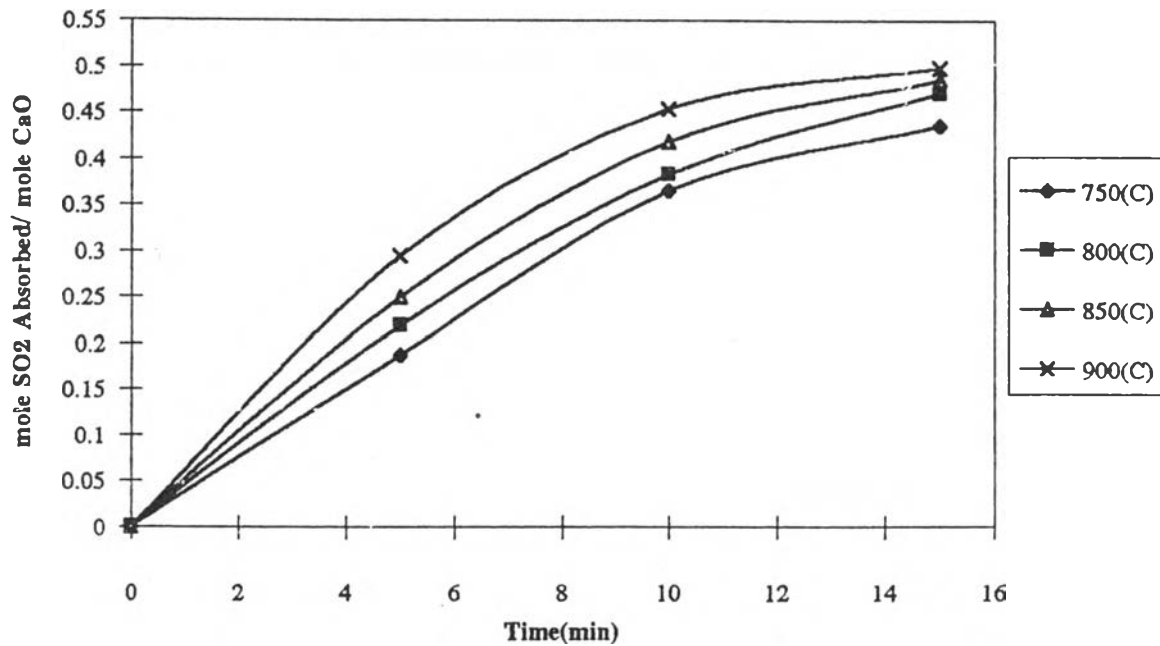
ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.5 อธิบายถึงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกแสดงอิทธิพลของเวลาที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่ความเข้มข้นหนึ่งๆ และที่อุณหภูมิต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.13 ส่วนที่สองแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่เวลา 15 นาที และที่ความเข้มข้นต่างกั้กันดังแสดงในรูปที่ 4.14 และส่วนที่สามแสดงอิทธิพลของความเข้มข้นที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่เวลา 15 นาที และที่อุณหภูมิต่างกั้กันดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.11 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm สารดูดซับ Limestone



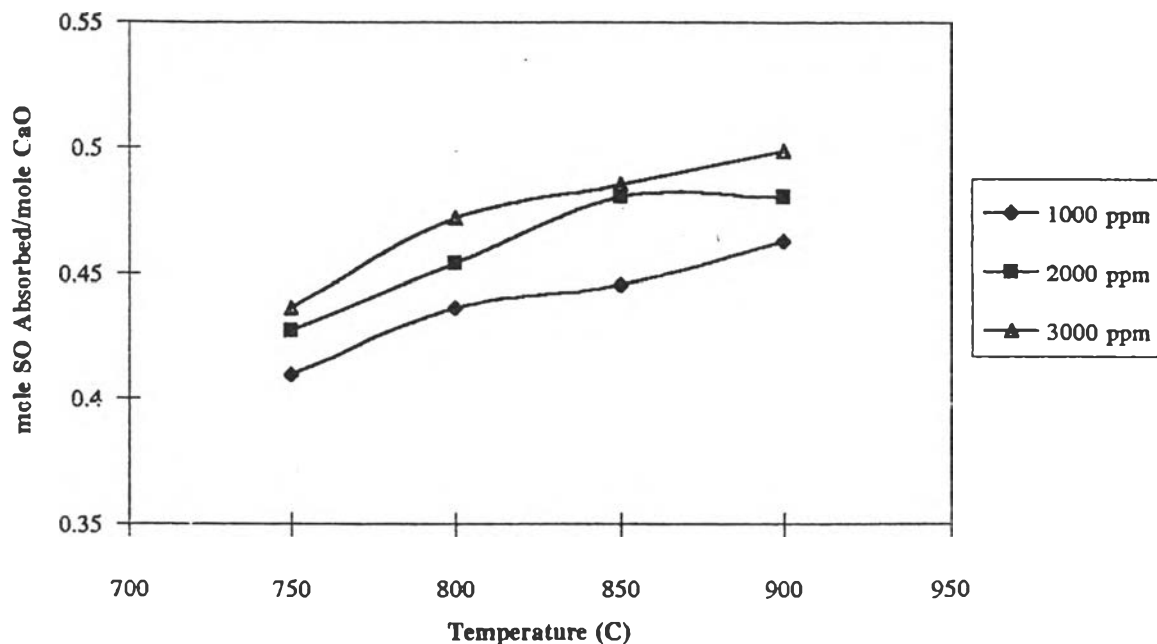
รูปที่ 4.12 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm สารดูดซับ Limestone



รูปที่ 4.13 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm สารดูดซับ Limestone

จากผลการทดลองส่วนแรกพบว่าการขจัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สที่มีความเข้มข้น 1000-3000 ppm ที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นกับเวลา และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสามารถขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.13 โดยในรูปที่ 4.11 ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 1000 ppm นั้นมีความสัมพันธ์กับเวลาเป็นเชิงเส้นภายในช่วงเวลาที่ทดลอง 15 นาที เมื่อความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ การขจัดจะค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจะลดลงหรือคงที่ที่เวลา 15 นาที

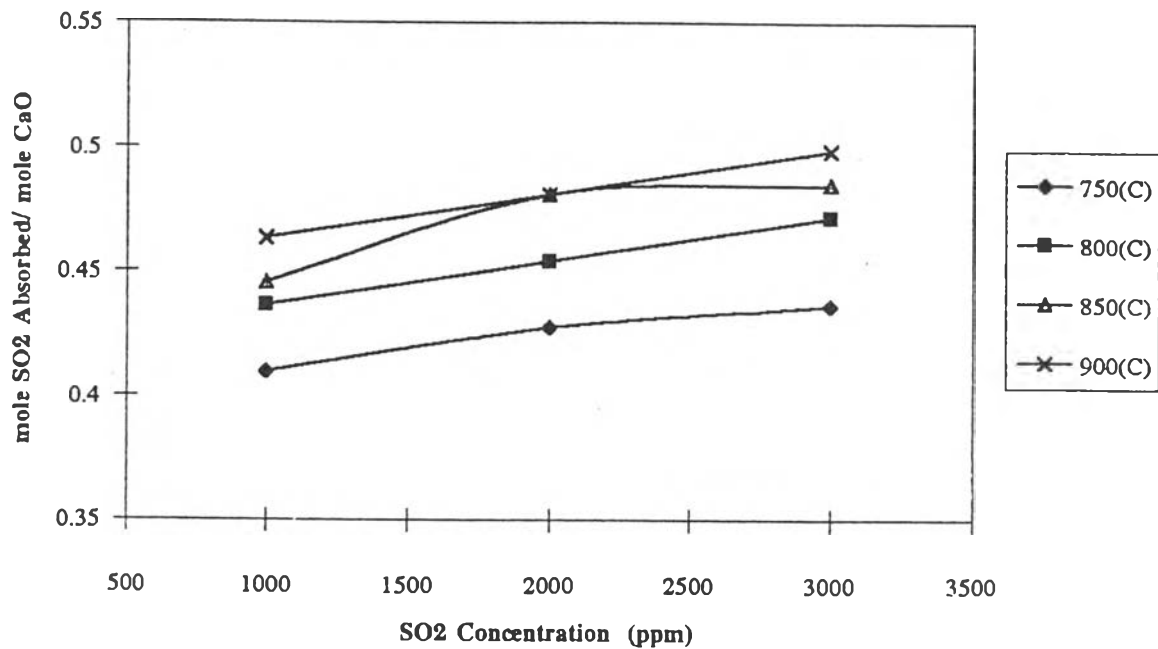
ผลการทดลองข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตัวที่จะทำหน้าที่ขจัด SO_2 ก็คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งในที่นี้สารดูดซับคือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เมื่อสารดูดซับได้รับความร้อนจะเปลี่ยนรูปเป็น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แล้วจึงทำปฏิกิริยากับ SO_2 ได้ผลิตภัณฑ์คือ CaSO_4 โดยเหตุผลในการอธิบายคล้ายกันกับสารดูดซับ lime ทั้งสองชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.14 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000-3000 ppm ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Limestone

ผลการทดลองส่วนที่สองที่แสดงในรูปที่ 4.14 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.4095 เป็น 0.4629 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.4273 เป็น 0.4807 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์และที่ความเข้มข้น 3000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียสให้ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มจาก 0.4362 เป็น 0.4981 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปริมาณการขจัดจะมากขึ้น โดยเหตุผลคล้ายกันกับสารดูดซับ lime ทั้งสองชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.15 อิทธิพลของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียสที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Limestone

ผลการทดลองส่วนที่สามที่แสดงในรูปที่ 4.15 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่อุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก 1000 ppm เป็น 3000 ppm

ผลการทดลองส่วนที่สามที่แสดงในรูปที่ 4.15 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก 1000 เป็น 3000 ppm ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มเร็วขึ้นแต่ที่ความเข้มข้น 2000 และ 3000 ppm ปริมาณที่ขจัดได้นั้นไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเหตุผลในการอธิบายคล้ายกันกับของสารดูดซับ lime ทั้งสองชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว

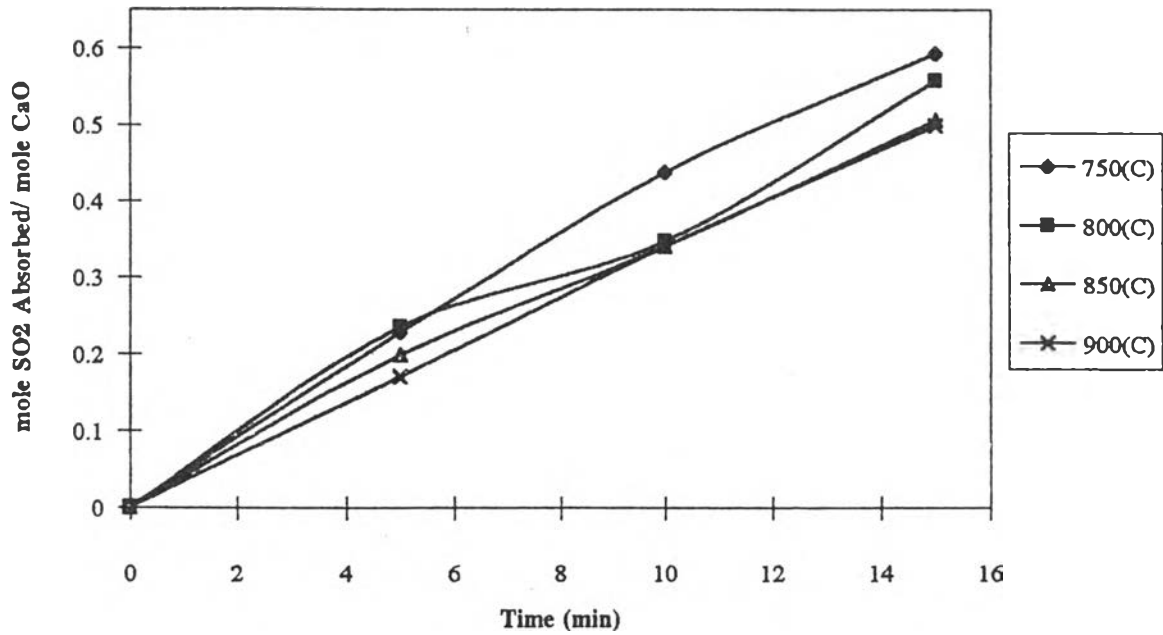
4. หินปูนโดโลไมต์ (dolomite)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัด ที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สต่างๆ ที่เวลา 5 10 และ 15 นาที เป็นโมลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลของแคลเซียมในสารดูดซับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

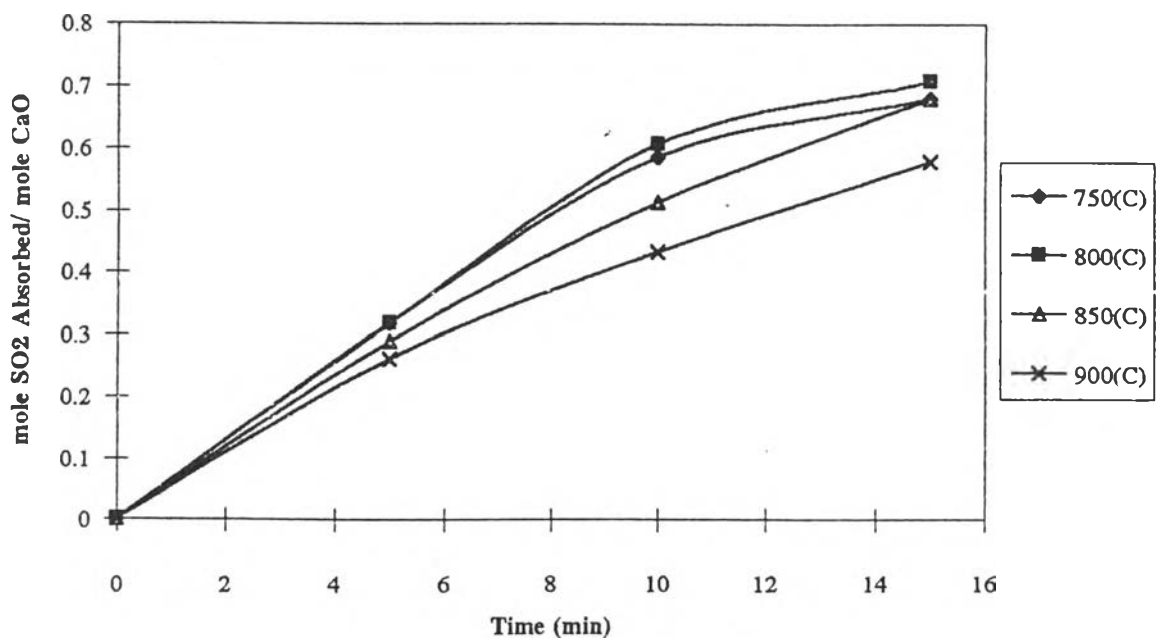
ตารางที่ 4.6 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับ Dolomite ขจัดได้

เวลา (นาที)	ปริมาณโมล SO ₂ ต่อ โมล CaO											
	SO ₂ 1000 ppm				SO ₂ 2000 ppm				SO ₂ 3000 ppm			
	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ	750°ซ	800°ซ	850°ซ	900°ซ
5	0.2277	0.2350	0.1988	0.1699	0.3181	0.3181	0.2892	0.2603	0.3434	0.3542	0.3253	0.2892
10	0.4374	0.3470	0.3398	0.3398	0.5856	0.6073	0.5133	0.4338	0.6290	0.6434	0.5964	0.5024
15	0.5928	0.5567	0.5061	0.4988	0.6796	0.7085	0.6796	0.5783	0.7808	0.8025	0.6940	0.6253

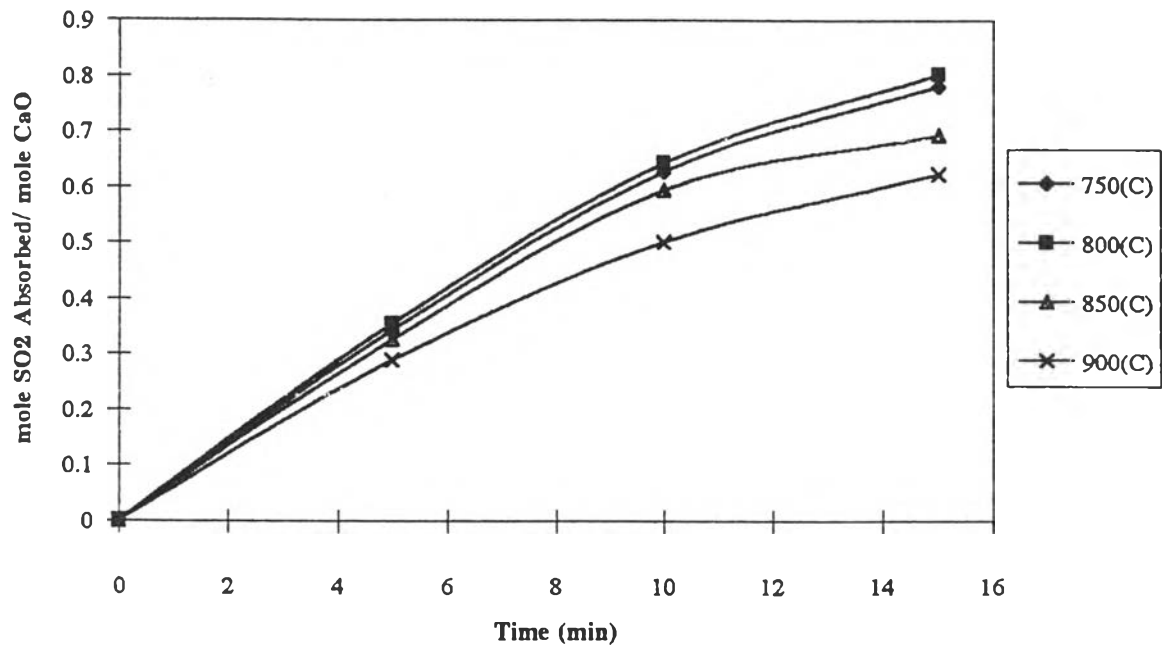
ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.5 อธิบายถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกแสดงอิทธิพลของเวลาที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่ความเข้มข้นหนึ่งๆ และที่อุณหภูมิต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.16-4.18 ส่วนที่สองแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่เวลา 15 นาที และที่ความเข้มข้นต่างกัันดังแสดงในรูปที่ 4.19 และส่วนที่สามแสดงอิทธิพลของความเข้มข้นที่มีต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดได้ที่เวลา 15 นาที และที่อุณหภูมิต่างกัันดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.16 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm สารดูดซับ Dolomite



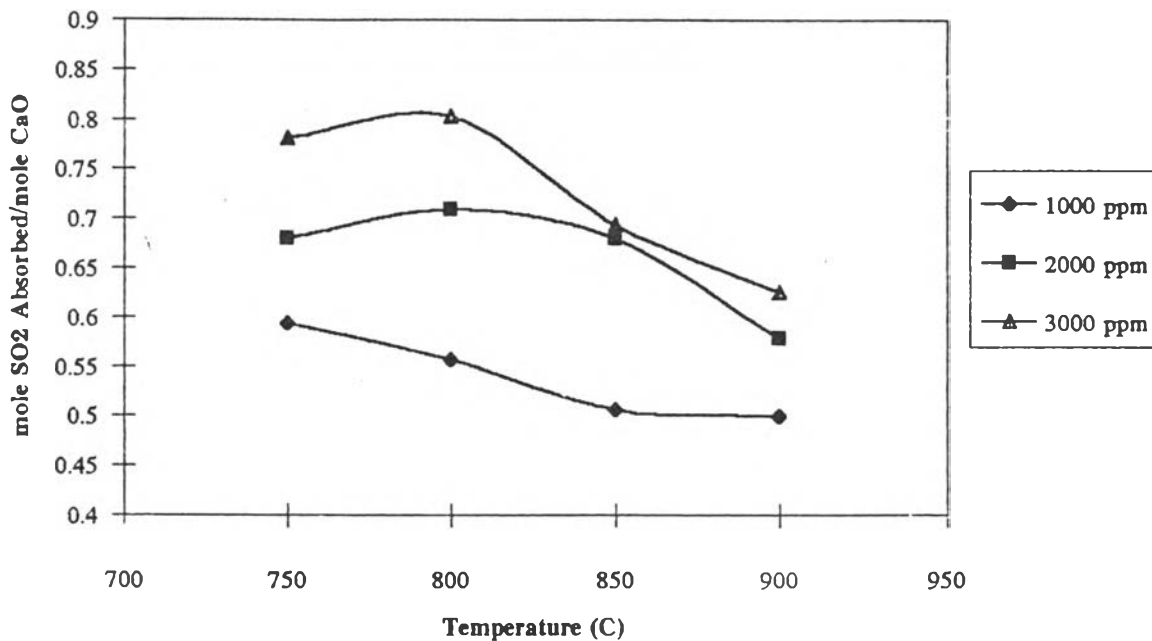
รูปที่ 4.17 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm สารดูดซับ Dolomite



รูปที่ 4.18 อิทธิพลของเวลาต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm สารดูดซับ Dolomite

ผลการทดลองส่วนแรกพบว่าการขจัดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สที่มีความเข้มข้น 1000-3000 ppm ที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นกับเวลา และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสามารถขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11-4.13 โดยในรูปที่ 4.11 ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 1000 ppm นั้นมีความสัมพันธ์กับเวลาเป็นเชิงเส้นภายในช่วงเวลาที่ทดลอง 15 นาที เมื่อความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สเพิ่มขึ้นเป็น 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ การขจัดจะค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจะลดลงหรือคงที่ที่เวลา 15 นาที

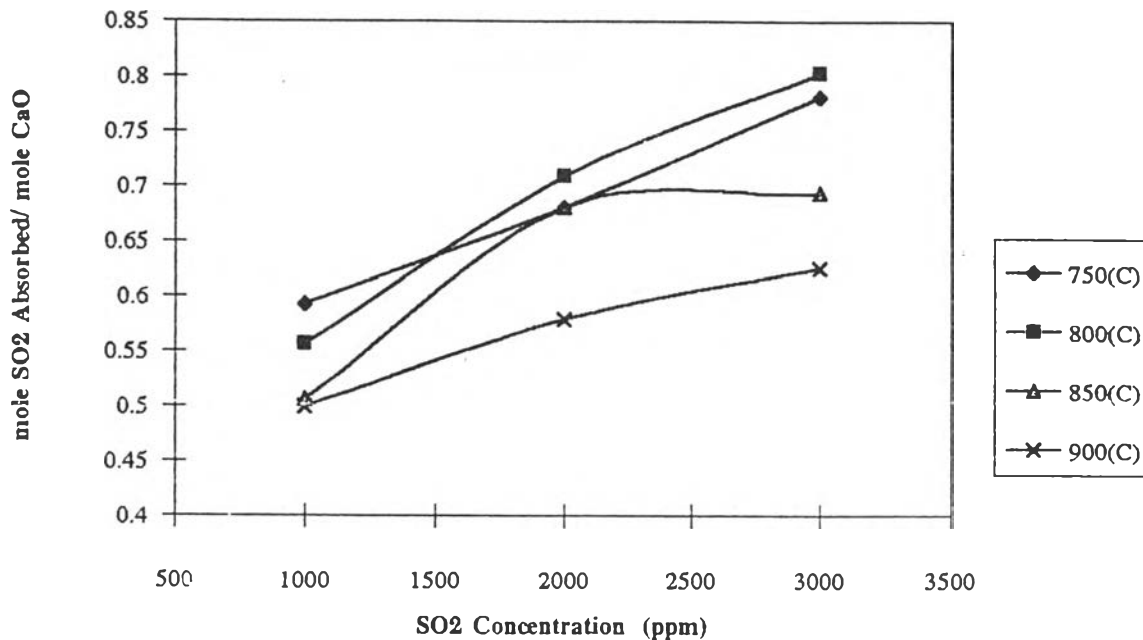
จากผลการทดลองข้างต้นกล่าวได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารดูดซับกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตัวที่จะทำหน้าที่ขจัด SO_2 ก็คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซึ่งในที่นี้สารดูดซับจะเป็นแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$) เมื่อสารดูดซับได้รับความร้อนจะเปลี่ยนรูปเป็นเป็นแคลเซียมแมกนีเซียมออกไซด์ (CaO, MgO) ที่มีความไวสูงมาก แล้วจึงทำปฏิกิริยากับ SO_2 ได้ผลิตภัณฑ์คือ แคลเซียมแมกนีเซียมซัลเฟต ($\text{CaSO}_4, \text{MgSO}_4$) โดยเหตุผลในการอธิบายคล้ายกันกับสารดูดซับทั้งสามชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.19 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000-3000 ppm ที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Dolomite

ผลการทดลองส่วนที่สองที่แสดงในรูปที่ 4.19 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ลดลงจาก 0.5928 เป็น 0.4988 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ลดลงจาก 0.6796 เป็น 0.5783 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์ และที่ความเข้มข้น 3000 ppm เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 750 องศาเซลเซียสเป็น 900 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ลดลงจาก 0.7808 เป็น 0.6253 โมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิปริมาณการขจัดจะลดลง อาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้นอกจาก CaSO_4 แล้ว ยังมี MgSO_4 ด้วยซึ่งจะไม่เสถียรเมื่ออุณหภูมิสูงมากกว่า 750-800 องศาเซลเซียส โดยจะทำให้ MgSO_4 สลายตัวและให้ SO_2 กลับไปเหมือนเดิม



รูปที่ 4.20 อิทธิพลของความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้ในช่วงอุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียสที่เวลา 15 นาที สารดูดซับ Dolomite

ผลการทดลองส่วนที่สามที่แสดงในรูปที่ 4.20 ปริมาณที่ขจัดได้ที่เวลา 15 นาที พบว่าที่อุณหภูมิจาก 750-900 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์จาก 1000 เป็น 3000 ppm ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 750-800 องศาเซลเซียส ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ขจัดได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับช่วงอุณหภูมิ 850-900 องศาเซลเซียส ผลการทดลองและเหตุผลในการอธิบายคล้ายกันกับของสารดูดซับทั้งสามชนิดที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊สของสารดูดซับแต่ละชนิดให้ผลสอดคล้องกับผลที่วิเคราะห์ได้จากสถิติดังแสดงในภาคผนวก ข.2

การเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับ

เนื่องจากองค์ประกอบของสารที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ในหัวข้อนี้จึงจะแสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการขจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับแต่ละชนิดโดยพิจารณาค่าการขจัดเป็นโมลซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อโมลแคลเซียมออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์ โดยเปรียบ

เทียบในสภาวะการทดลอง อุณหภูมิ 750 - 900 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 1000, 2000 และ 3000 ppm ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 - 4.9 และรูปที่ 4.21 - 4.23

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดโดยสารดูดซับต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 1000 ppm อุณหภูมิ 750 - 900 องศาเซลเซียสเวลา 15 นาที

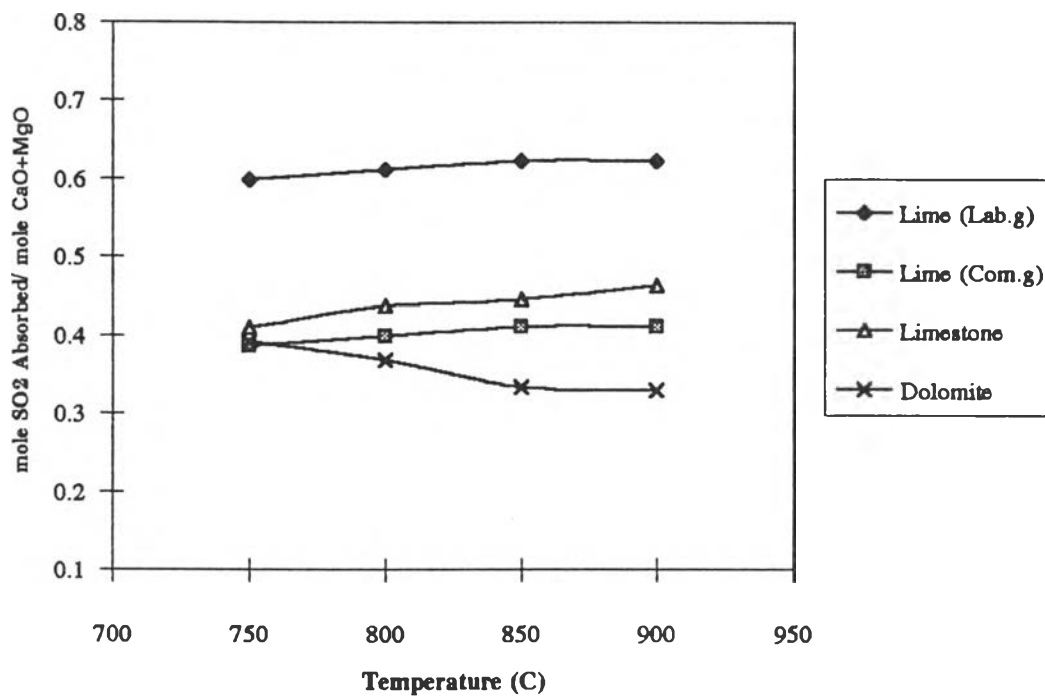
อุณหภูมิ (°C)	โมล SO ₂ ต่อโมล CaO+MgO			
	Lime (Lab grade)	Lime (Comm. grade)	Limestone	Dolomite
750	0.5987	0.3857	0.4095	0.3912
800	0.6110	0.3980	0.4362	0.3674
850	0.6232	0.4103	0.4451	0.3340
900	0.6232	0.4103	0.4629	0.3292

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดโดยสารดูดซับต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 2000 ppm อุณหภูมิ 750 - 900 องศาเซลเซียสเวลา 15 นาที

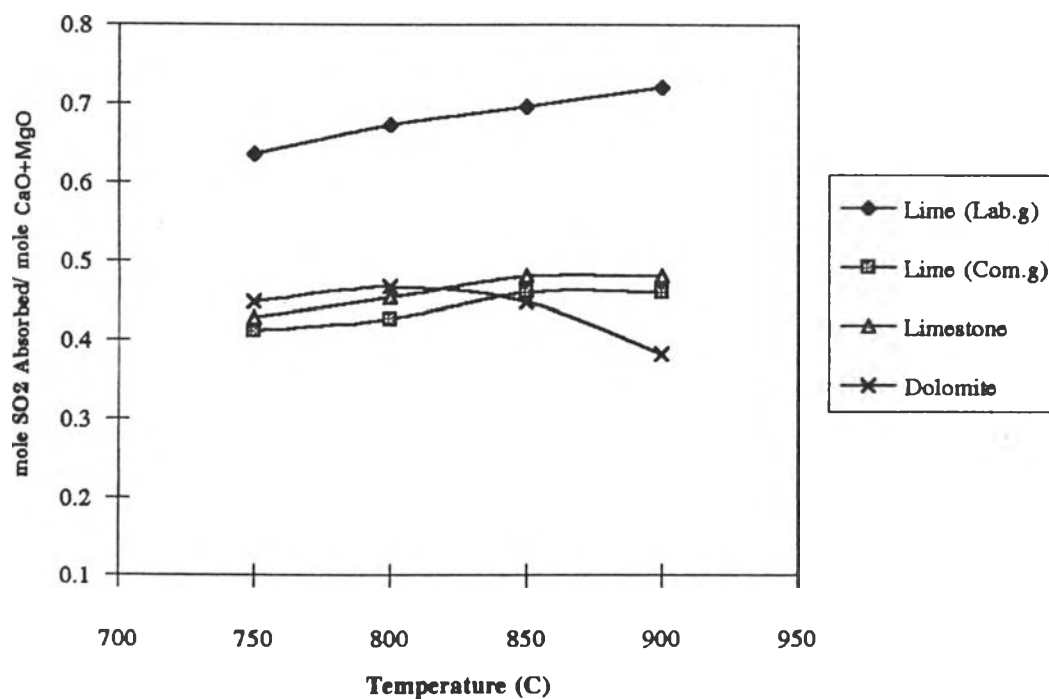
อุณหภูมิ (°C)	โมล SO ₂ ต่อโมล CaO+MgO			
	Lime (Lab grade)	Lime (Comm. grade)	Limestone	Dolomite
750	0.6354	0.4103	0.4095	0.4485
800	0.6721	0.4267	0.4362	0.4676
850	0.6965	0.4596	0.4451	0.4485
900	0.7209	0.4596	0.4629	0.3817

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกขจัดโดยสารดูดซับต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 3000 ppm อุณหภูมิ 750 - 900 องศาเซลเซียสเวลา 15 นาที

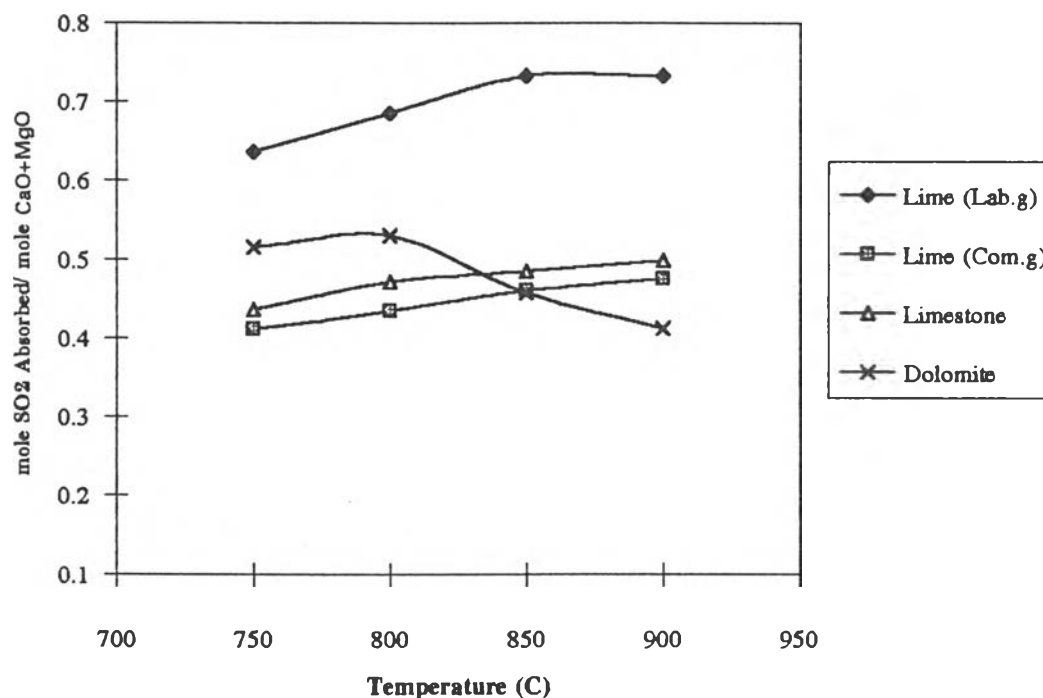
อุณหภูมิ (°C)	โมล SO ₂ ต่อโมล CaO+MgO			
	Lime (Lab grade)	Lime (Comm. grade)	Limestone	Dolomite
750	0.6354	0.4103	0.4095	0.5153
800	0.6721	0.4267	0.4362	0.5296
850	0.6965	0.4596	0.4451	0.4580
900	0.7209	0.4596	0.4629	0.4127



รูปที่ 4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับต่างๆที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 1000 ppm



รูปที่ 4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับต่างๆที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 2000 ppm



รูปที่ 4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารดูดซับต่างๆที่อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 3000 ppm

จากผลการทดลองพบว่าที่ภาวะการทดลองความเข้มข้น SO_2 ในฟลูแก๊ส 1000-3000 ppm อุณหภูมิ 750-900 องศาเซลเซียส การเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสามารถแบ่งได้เป็นสองช่วงอุณหภูมิคือที่อุณหภูมิ 750-800 องศาเซลเซียส ความสามารถในการกำจัดของสารดูดซับเรียงจากมากไปน้อยได้เป็น Lime(Lab.grade), Dolomite, Limestone และ Lime(comm.grade) ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์สมบัติของสารดูดซับดังตารางที่ 4.2 สามารถเรียงค่าพื้นที่ผิวสัมผัสได้เป็น 154.89, 16.26, 6.79 และ 4.74 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองและผลวิเคราะห์ข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าความสามารถในการกำจัดจะมากกว่า ส่วนที่อุณหภูมิ 850-900 องศาเซลเซียส ความสามารถในการกำจัดของสารดูดซับเรียงจากมากไปน้อยได้เป็น Lime(Lab.grade), Limestone, Lime(comm.grade) และ Dolomite ตามลำดับ แสดงว่าความสามารถในการกำจัดของสารดูดซับส่วนใหญ่จะคล้ายคลึงกันที่อุณหภูมิ 750-800 องศาเซลเซียส ยกเว้น Dolomite ซึ่งเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียสความสามารถในการกำจัดจะลดลงจนมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับสารอื่นๆซึ่งอาจเป็นเพราะที่อุณหภูมิสูงๆ ความเสถียรของ MgSO_4 ที่เกิดจากปฏิกิริยาน้อยกว่า CaSO_4 มากจึงอาจมีการสลายตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์กลับคืนมาทำให้ความสามารถในการกำจัดนั้นต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนที่สารดูดซับ

Limestone สามารถขจัดได้ดีกว่า Lime(comm.grade) นอกจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นแล้วอาจเป็นเพราะ Limestone มีปริมาณองค์ประกอบของ Fe_2O_3 มากกว่า Lime(comm.grade) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่ง Fe_2O_3 ที่มีในองค์ประกอบสารดูดซับอาจมีส่วนสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาทำให้ความสามารถในการขจัดเพิ่มขึ้นได้ (Slack,A.V.,1971)

การศึกษาทางด้านจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารดูดซับ

ในการศึกษาทางด้านจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารดูดซับซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างของแข็งกับแก๊สโดยระหว่างการเกิดปฏิกิริยาที่ดำเนินอยู่จะเกิดขึ้นผลิตภัณฑ์ของ $CaSO_4$ ซึ่งทำให้แก๊ส SO_2 ต้องแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์เข้าไปทำปฏิกิริยากับ CaO ที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาซึ่งเป็นเหตุให้ในการศึกษาทางด้านจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาจะต้องนำส่วนของ การแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์เข้ามาพิจารณาด้วยซึ่งจะทำให้เกิดความยุ่งยากมากอีกทั้งข้อมูลที่ทำการทดลองไม่เพียงพอที่จะสามารถอธิบายในสวนนี้ได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาทางด้านจลนพลศาสตร์เบื้องต้นของปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารดูดซับโดยจะหลีกเลี่ยงอิทธิพลของการแพร่ผ่านชั้นผลิตภัณฑ์ซึ่งทำได้โดยใช้วิธีอัตราเร็วเริ่มต้น (initial rate method) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาช่วงต้นๆ ในการคำนวณหาอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยา (Initial reaction rate) จากผลการทดลองที่ภาวะการทดลองต่างๆ จะใช้ข้อมูลที่เวลาทดลอง 5 นาที เนื่องจากเป็นข้อมูลที่อัตราเร็วของปฏิกิริยายังเร็วอยู่ อิทธิพลของการแพร่ยังไม่มึบทบาทในการเกิดปฏิกิริยา (Borwardt and Harvey, 1972) โดยจะหาค่าคงที่ของปฏิกิริยา (Rate constant) อันดับของปฏิกิริยา (Order of reaction) และพลังงานกระตุ้น (Activated Energy) ซึ่งในการหาค่าต่าง ๆ ข้างต้นโดยใช้วิธีอัตราเร็วเริ่มต้น (initial rate method) เพื่อที่จะได้อัตราเร็วเริ่มต้นนั้นสามารถหาได้ 2 วิธีคือ

1. วิธีมาตรฐาน (Standard method)

จาก $A_{\text{gas}} + B_{\text{solid}} \longrightarrow C_{\text{product}}$
 สมการอัตราเร็วเขียนได้เป็น $-R_{A_0} = k(C_{A_0})^n(C_{B_0})^m$ (อนุมาณ C_{B_0} ไม่เปลี่ยนแปลง)
 ดังนั้นจึงได้ว่า $-R_{A_0} = k(C_{A_0})^n$ 1

$$\ln(-R_{A_0}) = \ln k + n \ln(C_{A_0}) \quad 2$$

ทำการ plot กราฟระหว่าง $\ln(-R_{A_0})$ กับ $\ln(C_{A_0})$ ซึ่งจะได้เส้นตรงที่มีความชันคือ n และจุดตัดแกน y คือ $\ln k$ ของข้อมูลที่อุณหภูมิค่าหนึ่งเมื่อหาค่าครบทั้ง 4 อุณหภูมิ 750, 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียสก็สามารถหาค่า n ต่าง ๆ ได้นำมาเฉลี่ยให้เป็นค่า n ค่าเดียวแล้วย้อนกลับไปแทนค่าในสมการ 1 ใหม่อีกครั้งก็จะได้ค่า k ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

$$\text{จากสมการของอาร์เรเนียส} \quad k = k_0 e^{-E_a/RT} \quad 3$$

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/RT \quad 4$$

ทำการ Plot กราฟระหว่าง $\ln k$ กับ $1/T$ ซึ่งจะได้เส้นตรงที่มีความชันคือ $-E_a/R$ และจุดตัดแกน y คือ $\ln k_0$ ดังนั้นก็จะสามารถหาสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารดูดซับแต่ละตัวได้

2. วิธีหาพารามิเตอร์ของสมการ (fit Equation method)

จากสมการ (1) $-R_{A_0} = k(C_{A_0})^n$

และสมการ (3) $k = k_0 e^{-E_a/RT}$

จัดสมการใหม่จะได้ $-R_{A_0} = k_0 e^{-E_a/RT} (C_{A_0})^n \quad 5$

$$\ln(-R_{A_0}) = \ln k_0 - E_a/RT + n \ln(C_{A_0}) \quad 6$$

เทียบกับสมการ $y = a + bX_1 + cX_2$

ทำการ fit equation หาค่า a, b และ c ออกมาก็สามารถหาสมการอัตราเร็วเริ่มต้นได้

จากวิธีที่ได้กล่าวมาทั้ง 2 นั้นวิธีแรกเป็นวิธีดั้งเดิมที่ได้ใช้กันมาซึ่งจะต้องผ่านขั้นตอนหลายขั้นเมื่อเทียบกับวิธีที่ 2 จะช้ากว่ามากดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีที่ 2 หาสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

จากการทดลองวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารดูดซับแต่ละตัวโดยใช้โปรแกรม MINITAB บน MICROSOFT WINDOWS ผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆและสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาแสดงดังตารางที่ 4.10 และผลการทดลองหาค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาของสารดูดซับแต่ละตัวแสดงดังตารางที่ 4.11 รายละเอียดในการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข.3 และผลที่ได้แสดงใน ภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.1-ค.8

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และสมการอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยา

สารดูดซับ	ค่าคงที่ของปฏิกิริยา, k ((โมล/ลิตร) ^{0.5} /วินาที)	สมการอัตราเร็วเริ่มต้น, - R _{A0} (โมล/ลิตร.วินาที)	R ²
Lime(Lab.grade)	$5.714 \times 10^{-5} e^{-2024/T}$	$5.714 \times 10^{-5} e^{-2024/T} C_{A_0}^{0.5}$	0.916
Lime(Comm.grade)	$5.829 \times 10^{-5} e^{-2005/T}$	$5.829 \times 10^{-5} e^{-2005/T} C_{A_0}^{0.5}$	0.856
Limestone	$7.192 \times 10^{-5} e^{-3038/T}$	$7.192 \times 10^{-5} e^{-3038/T} C_{A_0}^{0.5}$	0.934
Dolomite	$1.515 \times 10^{-5} e^{-1841/T}$	$1.515 \times 10^{-5} e^{-1841/T} C_{A_0}^{0.5}$	0.905

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานกระตุ้นของสารดูดซับตัวอย่าง

สารดูดซับ	ค่าพลังงานกระตุ้น, E_a (กิโลจูล/โมล)
Lime(Lab.grade)	16.83 ± 4.58
Lime(Comm.grade)	16.67 ± 5.89
Limestone	25.24 ± 3.75
Dolomite	-15.31 ± 4.06

จากผลการทดลองที่แสดงดังตารางที่ ค.5-ค.8 พบว่าในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลเฟอร์ไดออกไซด์กับสารดูดซับตัวอย่าง อันดับของปฏิกิริยาเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 ± 0.05

จากค่าพลังงานกระตุ้นที่แสดงดังตารางที่ 4.11 พบว่าค่าพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาของสารดูดซับตัวอย่างนั้นอยู่ในช่วง $16.67 - 25.24$ กิโลจูลต่อโมล โดยค่าพลังงานกระตุ้นของสารดูดซับพวกคาร์บอเนตคือ limestone จะมากกว่าสารดูดซับพวกไฮดรอกไซด์คือ lime(lab.grade) และ lime(comm.grade) ซึ่งอาจเป็นเพราะสารดูดซับจำพวกคาร์บอเนตจำเป็นต้องใช้พลังงานมากกว่าสารดูดซับพวกไฮดรอกไซด์ในการสลายตัวให้อยู่ในรูปของออกไซด์ที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา แต่สำหรับสารดูดซับ Dolomite นั้นค่าพลังงานกระตุ้นที่ได้มีค่าเป็น -15.31 กิโลจูลต่อโมล ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะการเกิดปฏิกิริยาผันกลับหรือมีปฏิกิริยาย่อยเกิดขึ้นนอกจากปฏิกิริยาหลักแล้ว (Steinfeld et al.,1989) โดยอาจเกิดได้จากการสลายตัวของ $MgSO_4$ กลายเป็น MgO และให้ซิลเฟอร์ไดออกไซด์กลับคืนมา