การปรับปรุงเงื่อนไขการเผาไหม้ของโรตารีคิล์นในโรงงานปูนซีเมนต์

นายสมโภชน์ ยธิกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-904-3

ลิขสิทธิของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19232446

IMPROVEMENT OF ROTARY KILN FIRING CONDITIONS IN CEMENT PLANT

Mr. SOMPOCH YATHIKUL

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 1999

ISBN 974-333-904-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงเงื่อนไขในการเผาไหม้ของโรตารีคิล์นในโรงงานปูนซีเมนต์
โดย	นายสมโภชน์ ยธิกุล
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา (ร่วม)
(นายสมพล ชาญไวยวิทย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

สมโภช ยธิกุล : การปรับปรุงเงื่อนไขการเผาไหม้ของโรตารีคิล์น (IMPROVEMENT OF ROTARY KILN FIRING CONDITIONS IN CEMENT PLANT) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นายสมพล ชาญไวยวิทย์, 97 หน้า ISBN 974-333-904-3

กระบวนการผลิตปูนเม็ดในอุตสาหกรรมซีเมนต์ใช้พลังงานความร้อนจำนวนมาก อีกทั้งปัจจุบันมีข้อจำกัดเชิงเศรษฐศาสตร์มากขึ้นจึงจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการผลิตให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด วิธีที่สำคัญสำหรับการปรับปรุงเงื่อนไขการเผาไหม้อย่างเหมาะสมในเตาโรตารีคิล์นคือ การปรับลักษณะเปลวให้มีลักษณะสั้นและแคบ โดยจะช่วยให้ฟลักซ์ของความร้อนสูง และมีการถ่ายเทความร้อนจากเปลวไปยังเบดวัสดุได้สูงขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยโมเมนตัมของเปลว

การศึกษาเงื่อนไขการเผาไหม้ของโรตารีคิล์นเพื่อให้ได้ลักษณะเปลวที่เหมาะสม ได้กระทำโดยการปรับเปอร์เซ็นต์แคมเปอร์ของลมนอก (Axial Air) และลมใน (Radial Air) ในช่วง 50-90 % ตามลำดับ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ ได้แก่ คุณภาพปูนเม็ด อุณหภูมิทางเข้าเตา ธาตุระเหยที่หมุนเวียนในระบบ องค์ประกอบก๊าซทิ้ง พลังงานต่อตันปูนเม็ด ขนาดปูนเม็ด ตรวจเช็คการเกิดโค๊ต และตรวจวัดโมเมนตัมของเปลวเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลพบว่า โมเมนตัมของเปลวที่เหมาะสมสำหรับหัวเผาที่ใช้ทำการทดลองอยู่ในช่วง 1500-1950 %*m/s ซึ่งจะได้ความยาวเปลวที่สั้นที่เหมาะสมคือยาวถึงประมาณเมตรที่ 33 และได้อุณหภูมิอากาศทางเข้าเตา 1150 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การปรับเปอร์เซ็นต์แคมเปอร์ลมนอกจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวของเปลวมากกว่าการปรับเปอร์เซ็นต์แคมเปอร์ลมใน จากเงื่อนไขการเผาปูนดังกล่าวมีผลทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในกระบวนการผลิตดีขึ้น ได้ปูนเม็ดที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ปริมาณปูนเม็ดที่มีขนาดโตกว่า 6 มิลลิเมตรมีปริมาณสูงกว่า 50 % โดยพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลงหรือสูงกว่าตัวเลขรับประกัน (Guarantee Figure) 720 * 10^3 กิโลแคลอรีต่อตันปูนเม็ด นอกจากนี้พบว่าปริมาณการใช้ไพรมารีแอร์ประมาณ 12-14 % มีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีหัวเผาให้มีปริมาณไพรมารีแอร์ลดลงต่ำกว่า 10 % เพื่อให้อุณหภูมิของเปลวสูงขึ้น และช่วยประหยัดการใช้พลังงานความร้อน

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2542 ลายชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

3971981021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: FLAME MOMENTUM/ BURNING PROCESS/ AXIAL AIR/ RADIAL AIR/ FLAME LENGTH

SOMPOCH YATHIKUL : IMPROVEMENT OF ROTARY KILN FIRING CONDITIONS IN CEMENT PLANT THESIS ADVISOR : PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D., THESIS COADVISOR : MR. SOMPON CHANVIVIT, DEVISION HEAD OF CLINKER PRODUCTION, 97 pp. ISBN 974-333-904-3

In general, Clinker Production in cement manufacturing process utilizes a large of heat consumption. Currently, the limitation of Economic factor plays a major role in cement industry. As a result of that, it is an essential to improve a production process which takes less heat consumption at the same time. The critical concept to deal with the improvement of rotary kiln firing condition by means of flame adjustment. Ideally, short and narrow flame will entrance to get high heat flux as well as will make an appropriate condition in heat transfer occurring directly into material bed in the kiln. This phenomena can describe by theory of flame momentum.

The practical method in burning process improvement can be done by adjust the percentage of damper both in Axial and Radial air in the range of 50-90 % , respectively. From related data collection such as clinker quality and size , kiln inlet temperature , volatilization of circulating element , heat consumption , coating occurring add also flame momentum measurement after Steady State. It can be pointed out that proper flame momentum matching with burner type is 1500-1950 %*m/s. This condition will deliver a proper flame length approximate 33 meters and have Kiln inlet temperature 1150 °C. Axial air adjustment will directly effect to flame momentum more than Radial air adjustment. As a result of above burning condition , heat exchanger in the kiln will be better than others condition including an acceptable clinker quality and heat consumption in the same time. Furthermore, the use of primary air as a combustion air about 12-14 % which is more over. Nowadays, burner technology in cement industry still under the process improvement by using low primary air less than 10 % in order to increase flame temperature and less heat consumption.

ภาควิชา Chemical Engineering ..... ลายชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา Chemical Engineering ..... ลายชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 1999 ..... ลายชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคุณสมพล ชาญไวยวิทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษาแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับงานวิจัยด้วยดีตลอดมา อีกทั้งตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จ นอกจากนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. อุรา ปานเจริญ , อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล ที่ได้เสียสละเวลามาร่วมเป็นประธานกรรมการและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์นั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกาย และกำลังใจจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลง

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ ที่ได้ส่งเสริมให้การศึกษา และสนับสนุนผู้วิจัยตลอดมา รวมทั้งสนับสนุนช่วยเหลือด้านต่างๆ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความเรียบร้อย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ .....ฉ
สารบัญตาราง .....ฌ
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่

1. บทนำ 1
    1.1 มูลเหตุจูงใจ 1
    1.2 วัตถุประสงค์หลัก 1
    1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
    2.1 การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3
    2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ 4
    2.3 กระบวนการผลิตปูนเม็ด 11
    2.4 เชื้อเพลิงที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ 15
    2.5 กระบวนการปั้นเม็ด 37
3. วิธีดำเนินการวิจัย 54
    3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูง 54
    3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 55
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 54
    4.1 ผลวิเคราะห์ทางเคมีของสารป้อน และปูนเม็ด 54
    4.2 ผลจากการปรับเปลี่ยนเปอร์เซนต์แดมเปอร์ 54
    4.3 ผลของความเร็วเฉลี่ยที่ปลายหัวเผา 57
    4.4 ผลของโมเมนตัมของเปลว 58
5. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 82
    5.1 สรุปผลการวิจัยทดลอง 82
    5.2 ข้อเสนอแนะ 83

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 84

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การระเหยของธาตุหมุนเวียน 87

ภาคผนวก ข. อากาศในการสันดาป 91

ภาคผนวก ค. คุณสมบัติปูนซีเมนต์ 92

ประวัติผู้วิจัย 97

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีสำหรับวัตถุดิบกลุ่มแคลคาเรียส	5
2.2	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของวัตถุดิบกลุ่มอาร์จิลลาเซียส	6
2.3	อิทธิพลของสารประกอบหลักแต่ละชนิด	8
2.4	ปริมาณสารประกอบซีเมนต์	8
2.5	อิทธิพลของส่วนประกอบทางเคมีต่อกระบวนการผลิต	13
2.6	ลำดับการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการเผาปูน	14
2.7	ปริมาณความร้อนทางทฤษฎีในกระบวนการผลิตปูนเม็ด	15
2.8	Ultimate Analysis of Fuel	15
2.9	Net Calorific Value of Various Fuels	17
4.1	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของสารป้อนและปูนเม็ด	60
4.2	ข้อมูลโมเมนตัมของเปลวตามเปอร์เซ็นต์แดมเปอร์	61
4.3	ข้อมูลแสดงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเฉลี่ยที่ปลายหัวเผา	61
4.4	ข้อมูลของโมเมนตัมของเปลวและความเร็วที่ปลายหัวเผา	62
4.5	ข้อมูลแสดงผลของโมเมนตัมของเปลว	63
4.6	แสดงปริมาณการระเหยของธาตุหมุนเวียนสัมพันธ์กับโมเมนตัมของเปลว	64
4.7	แสดงพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเผาปูน OPC และ 630A	65
ค.1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาประเภทหนึ่ง	92
ค.2	ปูนปอร์ตแลนด์ให้แรงสูงเร็วประเภทสาม	94
ค.3	ปูนซีเมนต์ผสม	96

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	Quasi - Quantitative of Minerals With Temperature	12
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของถ่านหิน	18
2.3	ข้อกำหนดในการเลือกระบบคิล์นเผาไหม้	19
2.4	ชนิดของระบบการเผาไหม้	20
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของถ่านหินกับการใช้พลังงานความร้อน	25
2.6	อิทธิพลของเชื้อเพลิงที่มีต่อการเกิดโค๊ตในเตา	26
2.7	ลักษณะการเกิดโค๊ตในเตาเผา	27
2.8	ลักษณะของหัวเผาที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์	28
2.9	ลักษณะปลายหัวเผา	29
2.10	รูปแบบหัวฉีดน้ำมัน และ ทิศทางการไหล	30
2.11	แสดง Length of Pulverized Coal Flame in Rotary Kiln	31
2.12	Kinematic Viscosity of Fuel Oil as a Function of Temperature	35
2.13	การเกิดปูนเม็ดหลอมเหลวในรูปฟังค์ชันของอุณหภูมิจากสมการของ LEA and PARKER	39
2.14	รูปแบบอธิบายกลไกการปั้นเม็ด	39
2.15	ตัวอย่าง Size Distribution of Clinker Production in Usual Diagram According to Model Describes	45
2.16	Porosities Shortly After Melt Formation in Laboratory Sintering Experiments	47
2.17	ขนาดของปูนเม็ด และปริมาณไตรแคลเซียมซิลิเกตที่อุณหภูมิต่างๆ ต่อเวลา	48
2.18	แสดงลักษณะผลึกของปูนเม็ดที่เป็นฝุ่น โดยที่ผลึกของไตรแคลเซียมซิลิเกต จะมีขนาดใหญ่	49
2.19	การแบ่งช่วงอุณหภูมิในเตาเผา	53
4.1	การเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมของเปลวเมื่อปรับเปลี่ยน % Raxial Damper	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	การเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมของเปลวเมื่อปรับเปลี่ยน % Axial Damper	67
4.3	การเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่ปลายหัวเผาเมื่อปรับเปลี่ยน % Raxial Damper	68
4.4	การเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่ปลายหัวเผาเมื่อปรับเปลี่ยน % Axial Damper	69
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมของเปลวกับความเร็วเฉลี่ยปลายหัวเผา	70
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเปลวกับความเร็วที่ปลายหัวเผา	71
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมของเปลวกับอุณหภูมิทางเข้าเตา	72
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมของเปลวกับขนาดของปูนเม็ด	73
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมของเปลวกับความสามารถในการระเหยของซับเฟอร์	74
4.10	ปริมาณฟรีไลม์ในปูนเม็ด OPC (Axial Damper 50 ; Radial Damper 90)	75
4.11	ปริมาณฟรีไลม์ในปูนเม็ด OPC (Axial Damper 60 ; Radial Damper 90)	76
4.12	ปริมาณฟรีไลม์ในปูนเม็ด 630A (Axial Damper 70 ; Radial Damper 90)	77
4.13	ปริมาณฟรีไลม์ในปูนเม็ด 630A (Axial Damper 80 ; Radial Damper 90)	78
4.14	ปริมาณฟรีไลม์ในปูนเม็ด 630A (Axial Damper 90 ; Radial Damper 90)	79
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมของเปลวกับการใช้พลังงานความร้อน (OPC)	80
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมของเปลวกับการใช้พลังงานความร้อน (630A)	81
ข.1	แสดงทิศทางการไหลของอากาศในการสันดาป	91