

ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนของโรงบดหินปูนในโรงไฟฟ้าโกลว์  
เอสพีพี 2 และ 3

IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIMESTONE MILLING MACHINE  
LIMESTONE PLANT GLOW POWER PLANT SPP 2 & 3



รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษา  
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ  
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVE THE EFFICIENCY OF LIMESTONE MILLING MACHINE  
LIMESTONE PLANT GLOW POWER PLANT SPP 2 & 3



THE REPORT IS A PART OF THE CO-OPERATIVE SUBJECT  
NANOMATERIAL ENGINEERING  
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





หัวข้อรายงาน	ปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนของโรงบดหินปูนในโรงไฟฟ้า โกลด์เอสพีที 2 และ 3
นักศึกษา	นายอนันต์ไชย มาฉิม
รหัสประจำตัว	55110054
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมวัสดุนาโน
ปีการศึกษา	2558

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรสำหรับบดหินปูนซึ่งต้องการเพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องจักรสำหรับบดหินปูนการคำนวณและวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อหาสาเหตุการลดลงของประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรเริ่มต้นโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยการคำนวณทางวิศวกรรมโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการคำนวณที่ซับซ้อนสำหรับเหตุผลที่นำไปสู่การแก้ปัญหาผลการศึกษาพบว่าเราไม่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะมีตัวแปรที่ไม่รู้จักเพราะการศึกษาและระยะเวลาการทดสอบที่ถูกจำกัดรวมกับตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้แต่มีการอธิบายปัญหาเพื่อหาบทสรุปย่อสำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาลำดับต้นผลการศึกษาที่ได้รับนั้นคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับเรื่องสลักและการศึกษาวิจัยต่อไป

คำสำคัญ: เครื่องจักรบดหินปูน หินปูน สลัก ค้อนบดหินปูน

**Report Title** Improve the efficiency of limestone milling machine Limestone Plant Glow Power Plant SPP 2 & 3

**Student** MR. ANUNTACHAI MACHIM

**Student ID** 55110054

**Degree** Bachelor of Engineering

**Program** Nanomaterial Engineering

**Year** 2015

## ABSTRACT

This research project aimed to improve the efficiency of limestone milling machine, which needed to be done to extend the lifetime of limestone milling machine. Engineering analysis and calculations were needed to find out why the machine's performance decreased. Start by collecting relevant data and analyzing test result by engineering calculation using computer to calculate complex for a reason for leading to the solution. The results showed that we cannot solve the problem efficiently because there are unknown variables because the study and the test period were limited, combining with the variable that cannot be controlled. But one can explain the problem to find out a brief conclusion for initial troubleshooting guidelines. The results of the study are expected to be useful for further studies for those the benefits would be for bolt education and research.

Keyword: Limestone Milling Machine, Limestone, Bolt, Hammer

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องจักรสำหรับบดหินปูนและวัสดุที่เกี่ยวข้องสำหรับการบดหินปูนโดยได้รับการอนุเคราะห์ให้ทำการศึกษา ณ บริษัท โกลว์เอสพีที 2 และ 3 และให้ความสนับสนุนทุนสำหรับการศึกษาวิจัยและพัฒนาโครงการตลอดจนคณาจารย์ที่ปรึกษาและนักวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะช่วยสำหรับการศึกษาวิจัยโครงการนี้ให้ประสบผลและสามารถนำผลที่ได้จากการทำโครงการนี้ก่อนให้เกิดประโยชน์ต่อทางบริษัทและการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

อนันตไชย มาฉิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา .....	1
1.2 สถานที่ตั้ง .....	1
1.3 รูปแบบการจัดการ .....	1
1.4 ตำแหน่งที่ได้รับ .....	1
1.5 งานที่ได้รับมอบหมาย .....	1
1.6 พนักงานที่ปรึกษา .....	1
1.7 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน.....	1
1.8 วัตถุประสงค์ .....	1
1.9 ผลที่คาดว่าจะได้รับ .....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์.....	2
2.2 ความเร็วเชิงมุม .....	2
2.3 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง .....	3
2.4 การเชื่อมไฟฟ้า.....	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
2.5 ความเร็วขอบ .....	4
2.6 โมเมนตัม .....	4
2.7 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ .....	4
2.8 การเคลื่อนที่แบบหมุน .....	5
2.9 โมเมนตัมเชิงมุม .....	5
2.10 การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน .....	5
2.11 ความเค้นเฉือน .....	6
2.12 การทดสอบการขัดสีของมวลรวม โดยเครื่องทดสอบลอสแอนเจลิส .....	6
2.13 ความพอดีและพิกัดความเผื่อ .....	7
บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน .....	8
3.1 งานที่ได้รับมอบหมาย .....	8
3.2 ตารางเวลาการทำงานขั้นต้นและแผนการที่กำหนด .....	9
3.3 แบบจำลองที่นำมาวิเคราะห์โครงสร้าง .....	11
3.4 ลักษณะปัญหา .....	13
3.5 ลักษณะจากการสแกนสามมิติ .....	15
3.6 การวิเคราะห์เชิงคอมพิวเตอร์ .....	16
3.6.1 แบบจำลองของค้อนบดหินปูนเชิงคอมพิวเตอร์ .....	16
3.6.2 การคำนวณแบบจำลองเชิงคอมพิวเตอร์ .....	17
3.7 การศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบของค้อนบดหินปูนและวัสดุที่เกี่ยวข้อง .....	26
3.8 การตรวจสอบและวิเคราะห์สลักที่ใช้งาน .....	27
3.9 การวิเคราะห์และหาหลักการไหลของอากาศ .....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
3.10 การวิเคราะห์สลักที่เกี่ยวข้อง .....	30
3.11 การทดสอบหาค่าความแข็งแบบวิกเกอร์.....	31
3.12 การเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อช่วยสำหรับการคำนวณและวิเคราะห์ปัญหา.....	34
3.13 การวิเคราะห์การออกแบบสลัก.....	37
3.14 ส่วนประกอบของเครื่องจักรบดหินปูนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผล .....	38
3.15 ลักษณะของค้อนบดหินปูนที่ทำการสร้างขึ้น.....	40
3.16 ส่วนที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ผล .....	42
บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงาน.....	44
4.1 ข้อเสนอสำหรับการทดสอบระบบ .....	44
4.2 การวิเคราะห์ผลของระบบหลังประกอบงาน .....	46
4.2.1 ผลหลังจากใช้งานประมาณ 6 วัน.....	46
4.2.1.1 ผลของจากการตรวจสอบครั้งที่ 1.....	46
4.2.1.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจสอบครั้งที่ 1 .....	48
4.2.2 ผลหลังจากใช้งานประมาณ 13 วัน.....	49
4.2.2.1 ผลที่ได้จากการตรวจสอบครั้งที่ 2.....	49
4.2.2.2 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจสอบครั้งที่ 2.....	50
4.2.3 ผลหลังจากใช้งานประมาณ 16 วัน.....	55
4.2.3.1 ผลที่ได้จากการตรวจสอบครั้งที่ 3.....	55
4.2.3.2 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจสอบครั้งที่ 3.....	57
บทที่ 5 สรุปผลการปฏิบัติงาน.....	61
5.1 ผลที่เกิดขึ้น.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะที่ 1 .....	61
5.2.1 สรุปข้อเสนอแนะที่ 1 .....	61
5.2.2 เหตุผลของข้อเสนอแนะที่ 1 .....	62
5.3 ข้อเสนอแนะที่ 2 .....	63
5.3.1 สรุปข้อเสนอแนะที่ 2 .....	63
5.3.2 เหตุผลของข้อเสนอแนะที่ 2 .....	63
5.4 ข้อเสนอแนะที่ 3 .....	64
5.4.1 สรุปข้อเสนอแนะที่ 3 .....	64
5.4.2 เหตุผลของข้อเสนอแนะที่ 3 .....	64
5.5 ข้อเสนอแนะที่ 4 .....	65
5.5.1 สรุปข้อเสนอแนะที่ 4 .....	65
5.5.2 เหตุผลของข้อเสนอแนะที่ 4 .....	65
5.6 ข้อเสนอแนะที่ 5 .....	65
5.6.1 สรุปข้อเสนอแนะที่ 5 .....	65
5.6.2 เหตุผลของข้อเสนอแนะที่ 5 .....	66
5.7 ข้อเสนอแนะที่ 6 .....	66
5.7.1 สรุปข้อเสนอแนะที่ 6 .....	66
5.7.2 เหตุผลของข้อเสนอแนะที่ 6 .....	66
5.8 ข้อเสนอแนะที่ 7 .....	67
5.8.1 สรุปข้อเสนอแนะที่ 7 .....	67
5.8.2 เหตุผลของข้อเสนอแนะที่ 7 .....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
5.9 ข้อเสนอแนะที่ 8 .....	69
5.9.1 สรุปข้อเสนอแนะที่ 8.....	69
เอกสารอ้างอิง .....	70
ภาคผนวก ก. แบบจำลอง .....	73
ภาคผนวก ข. วัสดุ และ ธาตุ .....	100
ภาคผนวก ค. อุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้อง .....	109
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการคำนวณ.....	112
ภาคผนวก จ. โปรแกรมที่เขียนขึ้นสำหรับใช้งาน.....	118
ภาคผนวก ฉ. กราฟแสดงข้อมูลประสิทธิภาพการบดหินปูน.....	122
ภาคผนวก ช. ข้อมูลที่ทางบริษัทที่ได้ทำการทดสอบ Los Angeles Abrasion .....	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

ตารางที่ 3.1 แผนเวลาสำหรับปฏิบัติงาน .....9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงแบบวิกเกอร์.....	2
รูปที่ 2.2 ลักษณะการเชื่อมไฟฟ้า .....	3
รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบลอสเองเจลิส.....	6
รูปที่ 3.1 โรงเครื่องบดหินปูน .....	8
รูปที่ 3.2 แผนการทำงาน .....	10
รูปที่ 3.3 แบบโรงเครื่องบดหินปูน .....	11
รูปที่ 3.4 แบบเครื่องจักรที่รับผิดชอบ .....	12
รูปที่ 3.5 แบบเครื่องบดหินปูน .....	12
รูปที่ 3.6 ลักษณะของค้อนบดหินปูนและงานสำหรับประกอบค้อนบดหินปูน .....	13
รูปที่ 3.7 ลักษณะการสึกกร่อนของค้อนบดหินปูนตามแนวเชื่อม .....	13
รูปที่ 3.8 ลักษณะการสึกกร่อนของค้อนบดหินปูน .....	14
รูปที่ 3.9 ลักษณะค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่ก่อนนำไปใช้งานจริง (มุมมองด้านหน้า) .....	14
รูปที่ 3.10 ลักษณะค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่ก่อนนำไปใช้งานจริง (มุมมองด้านข้าง).....	15
รูปที่ 3.11 การสึกกร่อนของวัสดุที่มีลักษณะรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (มุมมองด้านหน้า)..	15
รูปที่ 3.12 การสึกกร่อนของวัสดุที่มีลักษณะรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (มุมมองด้านหลัง)..	16
รูปที่ 3.13 ลักษณะค้อนบดหินปูนที่เขียนแบบขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	16
รูปที่ 3.14 ลักษณะค้อนที่ใช้งานที่ลักษณะผิวหน้าเรียบ.....	17
รูปที่ 3.15 ลักษณะของค้อนบดตามต้นแบบของเครื่องบดหินปูน .....	17
รูปที่ 3.16 การคำนวณเพื่อหาสาเหตุการสึกกร่อนจากความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์... 18	
รูปที่ 3.17 การคำนวณเพื่อหาลักษณะการสึกกร่อนของวัสดุขั้นต้น .....	18
รูปที่ 3.18 ลักษณะความเร็วลมที่ไหลผ่านจากด้านหน้าของค้อนบดหินปูน .....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.19 ลักษณะของอากาศที่ไหลเป็นเส้นตรงเข้าหาค้อนบดหินปูน.....	19
รูปที่ 3.20 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนต้นแบบ (มุมมองด้านบน) .....	20
รูปที่ 3.21 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 1 (มุมมองด้านบน).....	20
รูปที่ 3.22 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 2 (มุมมองด้านบน).....	21
รูปที่ 3.23 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนต้นแบบ (มุมมองด้านข้าง).....	21
รูปที่ 3.24 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 1 (มุมมองด้านข้าง) .....	22
รูปที่ 3.25 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 2 (มุมมองด้านข้าง) .....	22
รูปที่ 3.26 จำลองการไหลของอากาศในการใช้งานจริง.....	23
รูปที่ 3.27 จุดที่สลักจะรับแรงเฉือนทางกลมากที่สุดของบดหินปูนที่ใช้งานอยู่ .....	24
รูปที่ 3.28 จุดที่สลักเกลียวและสลักโตเวลจะรับแรงเฉือนทางกลของค้อนต้นแบบ .....	24
รูปที่ 3.29 การกระจายแรงที่ทำด้านหน้าของค้อนต้นแบบ.....	25
รูปที่ 3.30 การกระจายแรงที่ทำด้านหน้าของค้อนต้นที่ใช้งาน.....	25
รูปที่ 3.31 ระยะของรัศมีและระยะห่าง หน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	28
รูปที่ 3.32 สมการการคำนวณความเร็วเชิงมุม .....	29
รูปที่ 3.33 สลักเกลียวหัวฝั่งเตเปอร์ .....	30
รูปที่ 3.34 สลักเกลียวหัวฝั่ง .....	31
รูปที่ 3.35 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์บนวัสดุค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่.....	32
รูปที่ 3.36 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์บนวัสดุหินปูนที่ใช้.....	32
รูปที่ 3.37 ค่าความแข็งของวัสดุที่ทำการทดสอบ.....	33
รูปที่ 3.38 หน้าต่างโปรแกรมภาษาซีที่เขียนขึ้น .....	34
รูปที่ 3.39 หน้าต่างผลลัพธ์ของโปรแกรมภาษาซีที่เขียนขึ้น.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.40 ลักษณะการแตกแรงโดยใช้มุมที่เกิดขึ้นระหว่างค้อนบดหินปูนทั้ง 8 ก้อน .....	36
รูปที่ 3.41 ภาพแสดงลักษณะของแรงเฉือน .....	37
รูปที่ 3.42 สลักเกลียวหัวฝังเตเปอร์เกลียวไม่ตลอด คลาซ 12.9.....	38
รูปที่ 3.43 ส่วนประกอบของเครื่องบดหินปูนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์.....	39
รูปที่ 3.44 ภายในของส่วนประกอบของเครื่องบดหินปูนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์.....	39
รูปที่ 3.45 ลักษณะวัสดุค้อนบดหินปูนที่ทำการเคลือบที่ผิวหน้าด้วย ทังสเทนคาร์ไบด์.....	40
รูปที่ 3.46 ลักษณะการประกอบค้อนบดหินปูน.....	40
รูปที่ 3.47 ลักษณะการทดลองและทำสมดุลงก่อนใช้งานจริง .....	41
รูปที่ 3.48 ลักษณะการประกอบของค้อนบดหินปูนกับตัวขับเคลื่อน .....	41
รูปที่ 3.49 ลักษณะการประกอบเครื่องบดหินปูน.....	42
รูปที่ 3.50 หน้าต่างควบคุมและแสดงผลของเครื่องบดหินปูน.....	42
รูปที่ 3.51 ส่วนที่วัดเพื่อนำผลมาทำการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม .....	43
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบที่ได้ทำการออกแบบ .....	44
รูปที่ 4.2 มุมมองด้านข้างของลักษณะของค้อนบดหินปูนที่ทำการออกแบบ.....	45
รูปที่ 4.3 ลักษณะของค้อนบดหินปูนที่ทำการออกแบบและแก้ไขตามเงื่อนไข .....	45
รูปที่ 4.4 ลักษณะของค้อนบดหินปูนที่ทำการประกอบเสร็จสมบูรณ์ .....	46
รูปที่ 4.5 ลักษณะค้อนบดหินปูน ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2558 .....	47
รูปที่ 4.6 ลักษณะจุดที่เกิดการสึกกร่อนค้อนบดหินปูน ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2558 .....	47
รูปที่ 4.7 ลักษณะการไหลของอากาศที่กระทำกับค้อนบดหินปูน .....	48
รูปที่ 4.8 จุดที่หินปูนจะกระทำกับค้อนบดหินปูนขณะที่เข้าสู่ระบบการบดหินปูน.....	49
รูปที่ 4.9 สภาพค้อนบดหินปูน ณ วันที่ 22 ตุลาคม 2558.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.10 ขนาดของค้อนบดหินปูนที่ใช้งาน.....	51
รูปที่ 4.11 ความเสียหายของกรอบ หรือ Casing ของค้อนบดหินปูน.....	51
รูปที่ 4.12 หินปูนที่ได้ทะลุออกจากเครื่องบดหินปูน .....	52
รูปที่ 4.13 หินปูนที่อุดตันในระบบ .....	52
รูปที่ 4.14 หินปูนที่นำออกมาจากการอุดตันในระบบ .....	53
รูปที่ 4.15 หินปูนที่ได้นำออกมาจากระบบ .....	53
รูปที่ 4.16 หินปูนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	54
รูปที่ 4.17 ไลเนอร์ที่เกิดความรู้สึกร่อน.....	55
รูปที่ 4.18 สภาพค้อนบดหินปูน ณ วันที่ 26 ตุลาคม 2558.....	55
รูปที่ 4.19 ส่วนคัดแยกขนาดของหินปูน ณ วันที่ 26 ตุลาคม 2558.....	56
รูปที่ 4.20 จานวางค้อนบดหินปูน ณ วันที่ 26 ตุลาคม 2558.....	56
รูปที่ 4.21 ส่วนของเขาด์ ณ วันที่ 26 ตุลาคม 2558.....	57
รูปที่ 4.22 ลักษณะรูปทรงของค้อนบดหินปูนหลังทำการทดสอบ.....	58
รูปที่ 4.23 ลักษณะรูปทรงของค้อนบดหินปูนก่อนทำการทดสอบ (Train-B) .....	58
รูปที่ 4.24 ผลการสแกนสามมิติจากสภาพค้อนบดหินปูนหลังการทดสอบ .....	59
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบลักษณะของค้อนบดหินปูนก่อนและหลังใช้งาน (มุมมองด้านหน้า)..	59
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบลักษณะของค้อนบดหินปูนก่อนและหลังใช้งาน (มุมมองด้านข้าง)...	60
รูปที่ 5.1 จุดที่เสนอให้ทำตัวกรอง .....	62
รูปที่ 5.2 วัสดุอื่นที่เข้าสู่ระบบ .....	62
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างค้อนบดหินปูนแบบบดหยาบจากแบบจำลอง.....	63
รูปที่ 5.4 แบบจำลองค้อนบดหินปูนแบบบดหยาบ .....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.5 เสนอให้เปลี่ยนจากค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่ไปเป็นค้อนบดหินปูนต้นแบบ .....	65
รูปที่ 5.6 การเสียรูปทรงหลังเกิดการสึกกร่อนของค้อนบดหินปูนทั้งสองแบบ .....	66
รูปที่ 5.7 จุดที่เกิดความเสียหายของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่.....	67
รูปที่ 5.8 แบบจำลองของสายพานลำเลียงหินปูน .....	67
รูปที่ 5.9 จุดที่สายพานลำเลียงหินปูนไม่มีหลังคากันฝน .....	68
รูปที่ 5.10 ลักษณะหินปูนที่อุดตันอยู่ในระบบ .....	69
รูปที่ ก1 แบบจำลองเครื่องจักรบดหินปูนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ .....	74
รูปที่ ก2 แบบจำลองการประกอบค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่ .....	75
รูปที่ ก3 แบบจำลองการประกอบค้อนบดหินปูนต้นแบบ .....	76
รูปที่ ก4 แบบจำลองงานสำหรับประกอบค้อนบดหินปูน.....	77
รูปที่ ก5 แบบจำลองสำหรับประกอบค้อนบดหินปูนต้นแบบ.....	78
รูปที่ ก6 แบบจำลองค้อนบดหินปูนต้นแบบ Train-A.....	79
รูปที่ ก7 แบบจำลองค้อนบดหินปูนต้นแบบ Train-B.....	80
รูปที่ ก8 แบบจำลองค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 2 .....	81
รูปที่ ก9 แบบจำลองค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 1 .....	82
รูปที่ ก10 แบบจำลองงานรองสำหรับประกอบค้อนบดหินปูน .....	83
รูปที่ ก11 แบบจำลองสลักโถเวล .....	84
รูปที่ ก12 แบบจำลอง Separator .....	85
รูปที่ ก13 แบบจำลอง Shroud .....	86
รูปที่ ก14 แบบจำลอง Milling Casing.....	87
รูปที่ ก15 แบบจำลอง liner .....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ก16 แบบจำลอง Casing Train-A.....	89
รูปที่ ก17 แบบจำลอง Casing Train-B.....	90
รูปที่ ก18 แบบจำลอง Shaft Milling.....	91
รูปที่ ก19 แบบจำลอง Axle Shaft Milling.....	92
รูปที่ ก20 แบบจำลอง Head Shaft Milling.....	93
รูปที่ ก21 แบบจำลอง Chute.....	94
รูปที่ ก22 แบบจำลองประกอบค้อนบดหินปูนแบบหยาบ.....	95
รูปที่ ก23 แบบจำลองค้อนบดหินปูนแบบหยาบ.....	96
รูปที่ ก24 แบบจำลอง Rotor.....	97
รูปที่ ก25 แบบจำลอง Frame Filter.....	98
รูปที่ ก26 แบบจำลองสลักเกลียวไม่ตลอดที่ทำการออกแบบ.....	99
รูป ข1 ปริมาณสารประกอบในวัสดุแต่ละชนิด.....	101
รูป ข2 คุณสมบัติสารประกอบที่ผสมในเหล็ก.....	102
รูป ข3 สารประกอบในหินปูน เกรด 50 ถึง 100.....	103
รูป ข4 สารประกอบในหินปูน เกรด 0 ถึง 50.....	104
รูป ข5 คุณสมบัติของหินปูนแต่ละเกรด.....	105
รูป ข6 คุณสมบัติของหินปูนเกรด Calcite.....	106
รูป ข7 คุณสมบัติของหินปูนเกรด dolomite.....	107
รูป ข8 ค่าความแข็งของวัสดุในสเกลของโมส์.....	108
รูป ค1 คุณสมบัติของสลัก เกรด 8.8, 10.9, 12.9 และ A-2.....	110
รูป ค2 ลักษณะสลักโดเวล.....	110
รูป ค3 สลักเกลียวที่เกี่ยวข้อง.....	111
รูป ง1 ข้อมูลการคำนวณ 1.....	113
รูป ง2 ข้อมูลการคำนวณ 2.....	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูป ง3 ข้อมูลการคำนวณ 3.....	115
รูป ง4 ข้อมูลการคำนวณ 4.....	116
รูป ง5 ข้อมูลการคำนวณ 5.....	117
รูป จ1 โปรแกรมบรรทัดที่ 1 ถึง 73.....	119
รูป จ2 โปรแกรมบรรทัดที่ 74 ถึง 145 .....	120
รูป จ3 โปรแกรมบรรทัดที่ 146 ถึง 208.....	121
รูป ฉ1 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน มกราคม 2558.....	123
รูป ฉ2 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน กุมภาพันธ์ 2558.....	124
รูป ฉ3 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน มีนาคม 2558 .....	125
รูป ฉ4 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน เมษายน 2558.....	126
รูป ฉ5 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน พฤษภาคม 2558 .....	127
รูป ฉ6 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน มิถุนายน 2558 .....	128
รูป ฉ7 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน กรกฎาคม 2558 .....	129
รูป ฉ8 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน สิงหาคม 2558.....	130
รูป ฉ9 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน กันยายน 2558 .....	131
รูป ฉ10 ประสิทธิภาพของเครื่องบดหินปูนช่วงเดือน ตุลาคม 2558.....	132
รูปที่ ซ1 ทดสอบ Los Angeles Abrasion Testing ของหินปูนที่มาจากแหล่งที่ 1.....	134
รูปที่ ซ2 ทดสอบ Los Angeles Abrasion Testing ของหินปูนที่มาจากแหล่งที่ 2.....	135
รูปที่ ซ3 ทดสอบ Los Angeles Abrasion Testing ของหินปูนที่มาจากแหล่งที่ 3.....	136
รูปที่ ซ4 ทดสอบ Los Angeles Abrasion Testing ของหินปูนที่มาจากแหล่งที่ 4.....	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

ณ โรงไฟฟ้า โกลว์ เอสพีพี 2 และ โกลว์เอสพีพี 3 ในกลุ่มบริษัทโกลว์ จีดีเอฟเอสเอช (ระยอง)

#### 1.2 สถานที่ตั้ง

เลขที่ 11 ถนน ไอ 5 นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ต.มาบตาพุด อ.เมือง จ.ระยอง 21150

#### 1.3 รูปแบบการจัดการ

บริษัทเอกชน

#### 1.4 ตำแหน่งที่ได้รับ

ฝ่ายซ่อมบำรุงด้านเครื่องกล

#### 1.5 งานที่ได้รับมอบหมาย

การบำรุงรักษาและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับบดหินปูนเพื่อใช้งานสำหรับการลดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยถ่านหิน

#### 1.6 พนักงานที่ปรึกษา

นายจักรพงษ์ มีหลวงศ์

#### 1.7 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

ตั้งแต่วันที่ 3 กรกฎาคม 2558 ถึง 20 พฤศจิกายน 2558 (140 วัน หรือ 20 สัปดาห์)

#### 1.8 วัตถุประสงค์

เพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรสำหรับบดหินปูนที่ใช้งานในโรงไฟฟ้า โกลว์ เอสพีพี 2 และ โกลว์เอสพีพี 3 โดยเน้นแก้ไขและปรับปรุงในส่วนของคุณสมบัติหินปูนแบบบดละเอียดให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและสามารถแก้ไขหรือซ่อมบำรุงได้โดยง่าย

#### 1.9 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของเครื่องจักรสำหรับบดหินปูนได้โดยสามารถแก้ไขหรือซ่อมบำรุงได้โดยง่าย  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

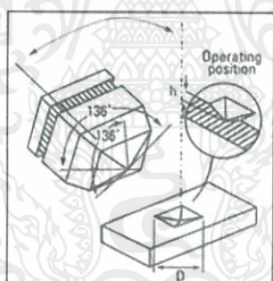
การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์นั้นจะเป็นการใช้เข็มเพชรรูปพีระมิด มุม  $136^\circ$  กดลงบนพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 2.1 จากพื้นที่ที่ถูกกดเป็นรอยและแรงที่ใช้กดมาคำนวณหาค่าความแข็ง [3]

$$HV = 0.189 \cdot (F / d^2) \quad (2.1)$$

โดย HV คือ ความแข็งแบบวิกเกอร์

F คือ แรงที่ใช้ในการกด หน่วยเป็น นิวตัน

d คือ เส้นทแยงมุมเฉลี่ยของรอยกด หน่วยเป็น มิลลิเมตร



รูปที่ 2.1 ลักษณะการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์

ที่มา: <http://www.instron.com/th-th/our-company/library/test-types/hardness-test/vickers-test?region=Thailand>

#### 2.2 ความเร็วเชิงมุม

ความเร็วเชิงมุม ( $\omega$ ) หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที วัดเป็นเรเดียนเมื่อจุดบนเส้นรอบวงเคลื่อนที่ไปตามเส้นรอบวง 1 วินาที ความเร็วเชิงมุมของทุกๆจุดของวัตถุหมุนจะมีค่าเท่ากัน [3]

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็น เรเดียน ต่อ วินาที

$n$  คือ จำนวนความถี่รอบ หน่วยเป็น รอบ ต่อ วินาที

### 2.3 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

แรงที่มีทิศทางเข้าหาศูนย์กลางและเหวี่ยงมวลให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม [3]

$$F_z = F_z', F_z = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (2.3)$$

โดย  $F_z$  คือ แรงตามแนวรัศมี หน่วยเป็น นิวตัน

$F_z'$  คือ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หน่วยเป็น นิวตัน

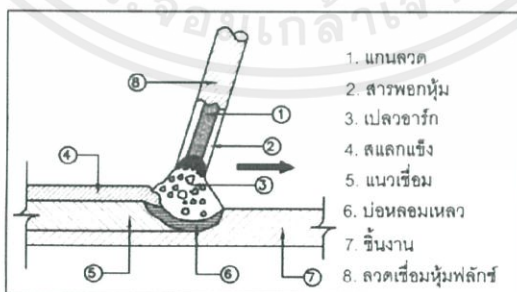
$m$  คือ มวลของวัตถุ หน่วยเป็น กิโลกรัม

$r$  คือ รัศมีของวงกลมในการเคลื่อนที่ หน่วยเป็น เมตร

$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็น เรเดียน ต่อ วินาที

### 2.4 การเชื่อมไฟฟ้า

การเชื่อมด้วยไฟฟ้าเป็นตัวประกอบในการทำงานโดยการใช้ลวดเชื่อมซึ่งเป็นขั้วบวกมาสัมผัสกับงานเชื่อมซึ่งขั้วลบการเอาประจุไฟฟ้าลบบังไปประทะกับประจุไฟฟ้าบวกจะเกิดการสปาร์คขึ้นซึ่งเรียกว่าอาร์คในขณะเดียวกันลวดเชื่อมซึ่งห่อหุ้มด้วยสารเคมีหลอมละลายลงไปในงานเชื่อมด้วยทำให้โลหะหรือชิ้นงานเชื่อมติดเป็นเนื้อเดียวกันได้ตามต้องการเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับต่อวัสดุตั้งรูปที่ 2.2 [22]



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเชื่อมไฟฟ้า

ที่มา: <http://www.supradit.com/contents/metal/Data/5/1.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ความเร็วขอบ

ความเร็วขอบ คือระยะทางที่จุดอิงอ้างอิงเคลื่อนที่ไปบนแนวเส้นรอบวงในหนึ่งหน่วยเวลา [3]

$$v = r \cdot \omega \quad (2.4)$$

โดย  $v$  คือ ความเร็วขอบ หน่วยเป็น เมตร ต่อ วินาที

$r$  คือ รัศมี หน่วยเป็น เมตร

$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็น เรเดียน ต่อ วินาที

## 2.6 โมเมนตัม

โมเมนตัม หมายถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างมวลและความเร็วของวัตถุมวลเป็นปริมาณสเกลาร์แต่ความเร็วเป็นปริมาณเวกเตอร์เมื่อนำปริมาณทั้งสองเข้าคูณด้วยกันถือว่าปริมาณใหม่เป็นปริมาณเวกเตอร์เสมอฉะนั้นโมเมนตัมจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์คือมีทั้งขนาดและทิศทาง [23]

$$P = m \times v \quad (2.5)$$

โดย  $P$  คือ โมเมนตัม หน่วยเป็น กิโลกรัม x เมตร ต่อ วินาที

$m$  คือ มวล หน่วยเป็น กิโลกรัม

$v$  คือ ความเร็ว หน่วยเป็น เมตร ต่อ วินาที

## 2.7 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) คือเทคนิควิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อมกับสมการปริพันธ์ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากการกำจัดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์ (สำหรับปัญหาที่อยู่ในสถานะคงที่) หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 การเคลื่อนที่แบบหมุน

การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotational Motion) นั้นในธรรมชาติเกิดขึ้นได้กับอนุภาคหรือวัตถุที่มีขนาดเล็กไปจนถึงวัตถุที่มีขนาดใหญ่มาก ตั้งแต่การหมุนในระดับอะตอมไปจนถึงการหมุนของกาแล็กซีในเอกภพ ในกรณีการหมุนของวัตถุที่มีขนาดใหญ่ เช่น การหมุนของล้อรถ การหมุนของดาวเคราะห์ที่เราไม่สามารถที่จะมองการหมุนแบบนั้นเหมือนการหมุนของอนุภาคเดี่ยว ๆ ได้เพราะอนุภาคเหล่านั้นอยู่คนละตำแหน่งมีระยะห่างจากแกนหมุนไม่เท่ากัน จึงมีความเร็วเชิงเส้นและความเร่งเชิงเส้นที่ไม่เท่ากันด้วย ดังนั้น ในการศึกษาการหมุนของวัตถุที่ประกอบไปด้วยอนุภาคที่เรียงตัวกันอย่างต่อเนื่องจะสมมติเป็นวัตถุแข็งเกร็ง คือ วัตถุในอุดมคติที่ประกอบไปด้วยอนุภาคมามากมายเรียงรายต่อเนื่องกันและมีระยะระหว่างอนุภาคคงที่เสมอ ดังนั้น วัตถุแข็งเกร็งจึงไม่มีการเปลี่ยนรูปร่างในขณะเคลื่อนที่ไม่ว่าจะมีแรงภายนอกมากระทำมายมายเพียงใดก็ตามในอุดมคติ [25]

## 2.9 โมเมนตัมเชิงมุม

โมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum) คือปริมาณทางฟิสิกส์ซึ่งเกิดขึ้นในวัตถุที่เคลื่อนที่ในลักษณะหมุน โมเมนตัมเชิงมุมเป็นปริมาณเวกเตอร์หาค่าได้จากผลคูณของโมเมนต์ความเฉื่อยและความเร็วเชิงมุม [26]

$$\mathbf{L} = I \cdot \boldsymbol{\omega} \quad (2.6)$$

โดย  $\mathbf{L}$  คือ โมเมนตัมเชิงมุม หน่วยเป็น กิโลกรัม × ตารางเมตร ต่อ วินาที

$I$  คือ โมเมนต์ความเฉื่อย หน่วยเป็น กิโลกรัม × ตารางเมตร

$\boldsymbol{\omega}$  คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็น เรเดียน ต่อ วินาที

## 2.10 การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) คือการไหลแบบราบเรียบนั้นลักษณะของการไหลมีรูปร่างเป็นชั้นซึ่งมีความเร็วต่างๆ กันเรียงซ้อนกันเป็นชั้นเป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกันไปคล้ายๆ กับการไหลเป็นชั้นๆ ความเร็วของของไหลในชั้นที่อยู่ใกล้ๆ กันมีค่าเท่ากัน หรือ แตกต่างกันอย่างเล็กน้อย การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) มีลักษณะโครงสร้างของการไหลไม่แน่นอนกล่าว คือความเร็วที่จุดใดจุดหนึ่งจะไม่คงที่เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปอย่างไม่เป็นระเบียบความเร็วของอนุภาคของของไหลแตกต่างกันทั้งขนาดและทิศทาง [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 ความเค้นเฉือน

ความเค้นเฉือน (Shear stress) อัตราส่วนของแรงเฉือนต่อพื้นที่ในแนวขนานกับแรงเฉือน

$$\tau = F / A \quad (2.7)$$

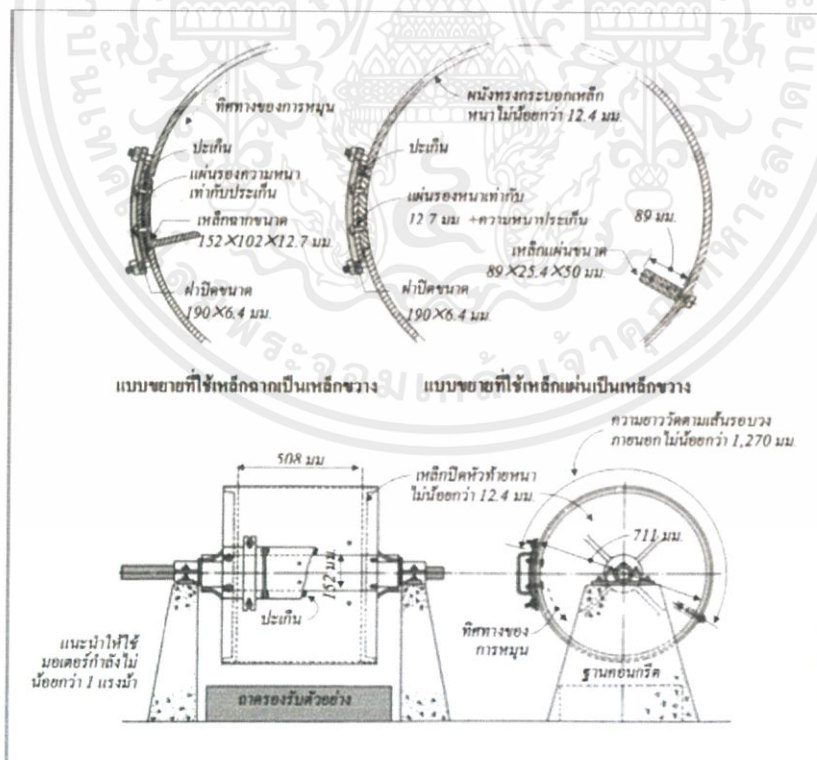
โดย  $\tau$  คือ ความเค้นเฉือน หน่วยเป็น นิวตัน ต่อ ตารางเมตร

F คือ แรงเฉือน หน่วยเป็น นิวตัน

A คือ พื้นที่ในแนวขนานกับแรงเฉือนนั้น หน่วยเป็น ตารางเมตร

## 2.12 การทดสอบการขัดสีของมวลรวม โดยเครื่องทดสอบลอสเองเจลิส

การทดสอบการขัดสีของมวลรวมโดยใช้เครื่องทดสอบลอสเองเจลิสเป็นการทดสอบการสึกกร่อนของวัสดุโดยใช้เครื่องทดสอบหาความสึกกร่อนลอสเองเจลิสมีลักษณะและขนาดดังรูปที่ 2.3 [28]



รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบลอสเองเจลิส

ที่มา: [http://services.dpt.go.th/dpt\\_rsblgd/modules/standard/data\\_standard/](http://services.dpt.go.th/dpt_rsblgd/modules/standard/data_standard/)

Std\_ts\_method/1202.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความสึกกร่อนโดยเครื่องลอสเองเจลิส เป็นร้อยละ} = ((W_1 - W_2) / W_1) \cdot 100 \quad (2.8)$$

โดย  $W_1$  คือมวลของตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ หน่วยเป็น กรัม

$W_2$  คือ มวลที่ค้างบนตะแกรงขนาด 1.70 มิลลิเมตร หลังการทดสอบ หน่วยเป็น กรัม

### 2.13 ความพอดีและพิกัดความเผื่อ

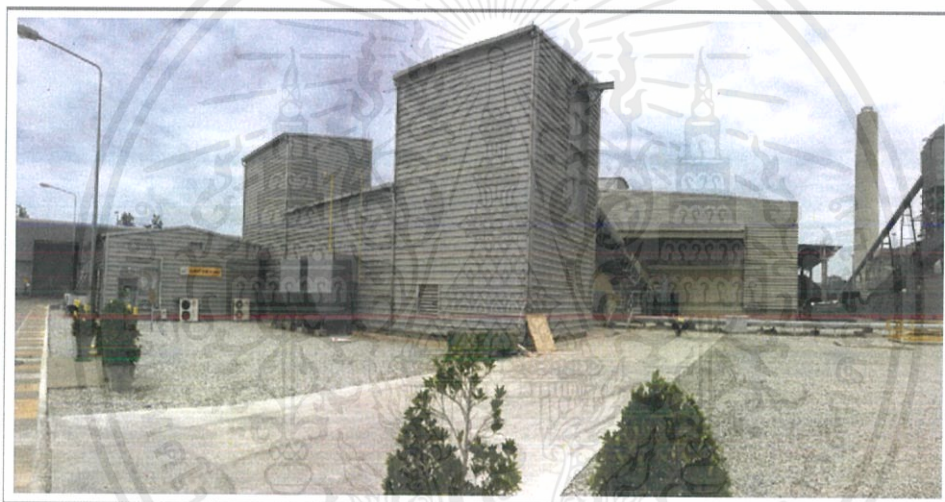
สำหรับชิ้นงานที่ต้องมีการประกอบเข้าด้วยกันนั้นขนาดและรูปร่างของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีความสำคัญต่อการใช้งานร่วมกันของชิ้นงานแต่เนื่องจากการผลิตชิ้นงานจำนวนมากๆนั้นเราไม่สามารถผลิตชิ้นงานให้ได้ตรงพอดี กันค่าที่ต้องการได้ ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดความพิกัดความเผื่อของขนาดและรูปร่างที่ยอมรับได้จากการผลิต เช่นขนาดไม่ต่ำกว่าเท่าใดและไม่มากกว่าเท่าใดความแตกต่างระหว่างขนาดสูงสุดและต่ำสุดนี้เราเรียกว่า ค่าพิกัดความเผื่อ การให้ขนาดความเผื่อนี้เมื่อใช้ถูกต้องจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้ดีและสามารถเลือกใช้การผลิตมีราคาต่ำที่สามารถผลิตได้ตามขนาดที่ต้องการได้ในทางปฏิบัติเราจะให้ค่าพิกัดความเผื่อเท่าที่จำเป็นเท่านั้นและให้ค่าความเผื่อให้มากที่สุดเท่าที่จะไม่รบกวนการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้การผลิตมีต้นทุนต่ำที่สุด การกำหนดพิกัดความเผื่อนี้มีสองประเภท คือพิกัดของขนาดและพิกัดของรูปร่าง [29]

## บทที่ 3

### รายละเอียดการปฏิบัติงาน

#### 3.1 งานที่ได้รับมอบหมาย

การบำรุงรักษาและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับบดหินปูนในโรงเครื่องบดหินปูนดังรูปที่ 3.1 โดยจากการศึกษาข้อมูลขั้นต้นจากภาพถ่ายและข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานได้ข้อมูลว่าการทำงานของเครื่องจักรนั้นเกิดการพังและสึกกร่อนของวัสดุเป็นอย่างมากส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องจักรสั้นลงเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรลดลงและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงมากขึ้น



รูปที่ 3.1 โรงเครื่องบดหินปูน

ซึ่งหินปูนนั้นมีความสำคัญมากสำหรับโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินซึ่งในถ่านหินนั้นจากมีธาตุกำมะถัน หรือ ซัลเฟอร์ (S) ซึ่งในกระบวนการเผาถ่านหินนั้นจะทำให้ ซัลเฟอร์ เกิดปฏิกิริยาภายในกระบวนการเผาเชื้อเพลิงถ่านหินเกิดเป็น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide : SO<sub>2</sub>)



ซึ่งเป็นก๊าซที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมดังนั้นจึงนำหินปูนนั้นมาช่วยสำหรับการลดการเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในกระบวนการเผาเชื้อเพลิงถ่านหินซึ่งจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมที่อยู่โดยรอบในการลดปัญหาการเกิดฝนกรดและผลกระทบอื่นๆที่สามารถเกิดจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ตารางเวลาการทำงานขั้นต้นและแผนการที่กำหนด

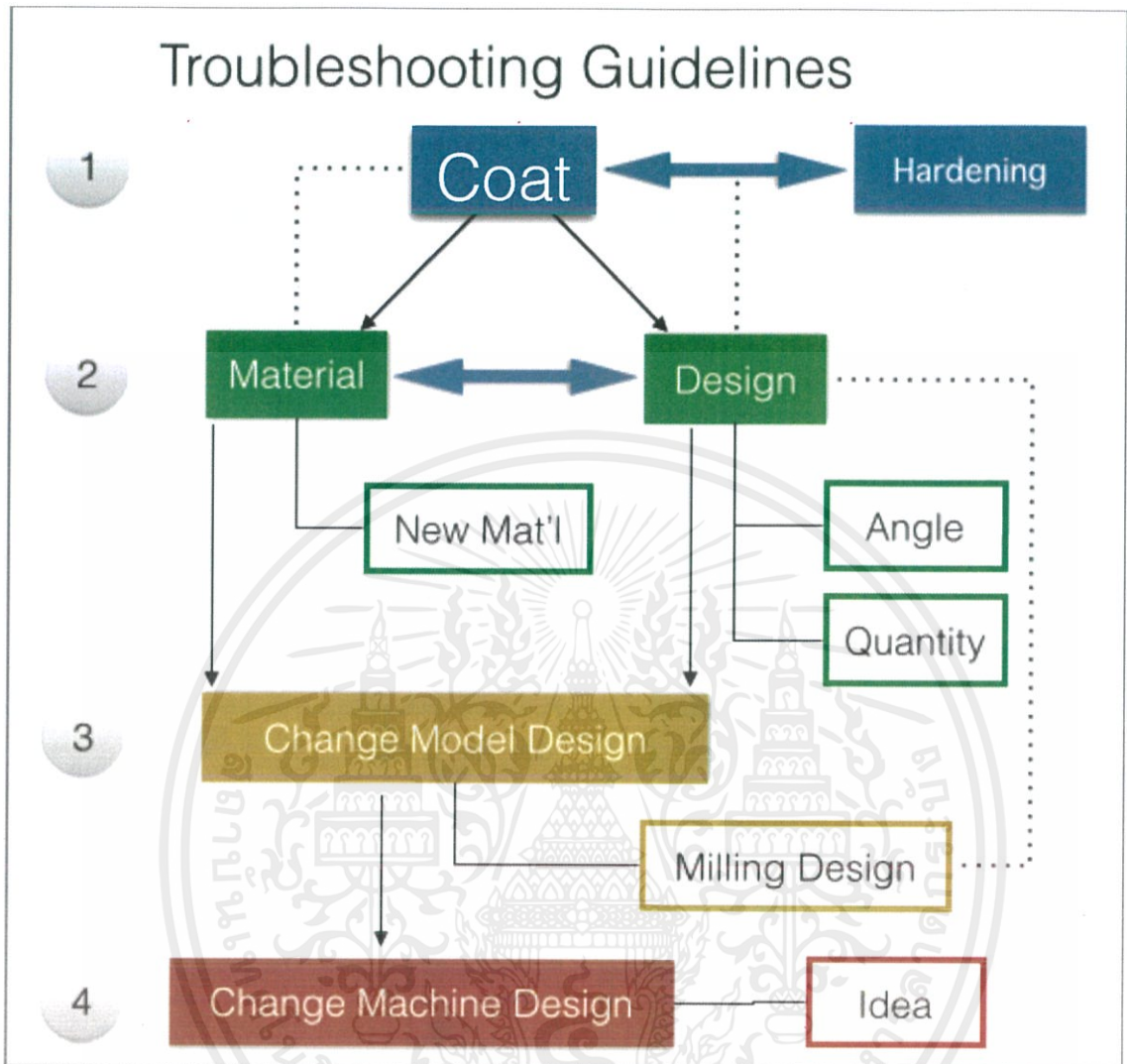
ตารางเวลาสำหรับการปฏิบัติโครงการนี้จะออกแบบให้สามารถปฏิบัติงานได้โดยสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงในกรณีเกิดสถานการณ์ที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ได้ดังตารางที่ 3.1 ส่วนของแผนการที่กำหนดนั้นจะมีลำดับขั้นตอนดังรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แผนเวลาสำหรับปฏิบัติงาน

	July				August				September				October				November				
	w1	w2	w3	w4	w1	w2	w3	w4	w1	w2	w3	w4	w1	w2	w3	w4	w1	w2	w3	w4	
A																					
B																					
C																					
D																					
E																					
F																					
G																					
H																					

- โดย
- A : เรียนรู้และวิเคราะห์ปัญหา
  - B : ตรวจสอบและหาทางแก้ไข
  - C : ทดสอบวิธีการแก้ไขปัญหา
  - D : วิเคราะห์และสรุปวิธีการแก้ไขปัญหา
  - E : สรุปปัญหาและผลที่ได้หลังแก้ไข
  - F : วิเคราะห์ปัญหาหาแนวทางใหม่ในการแก้ไข
  - G : ทดสอบแนวทางใหม่
  - H : หาแนวทางเพิ่มเติมและสรุปผลที่ได้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

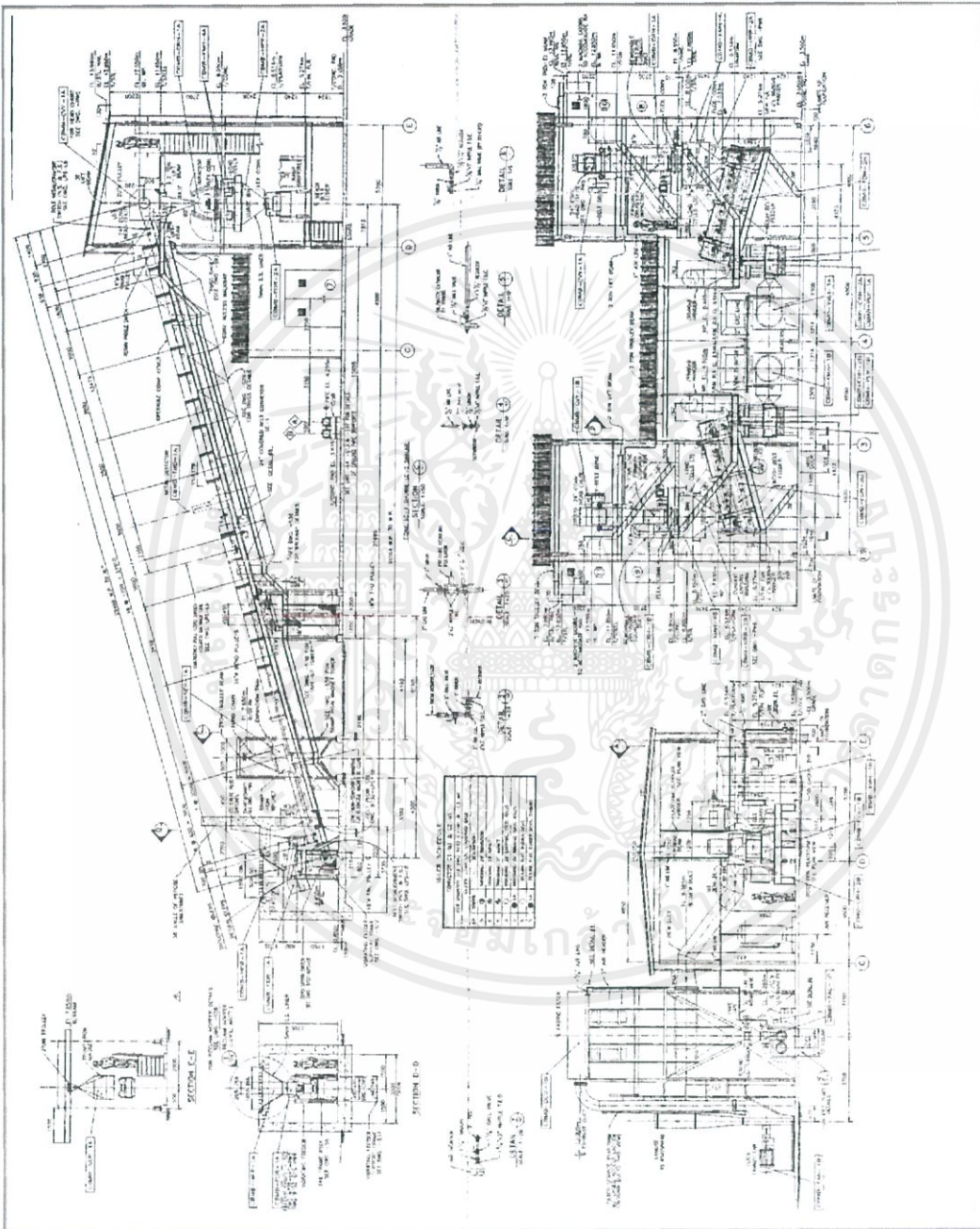


รูปที่ 3.2 แผนการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

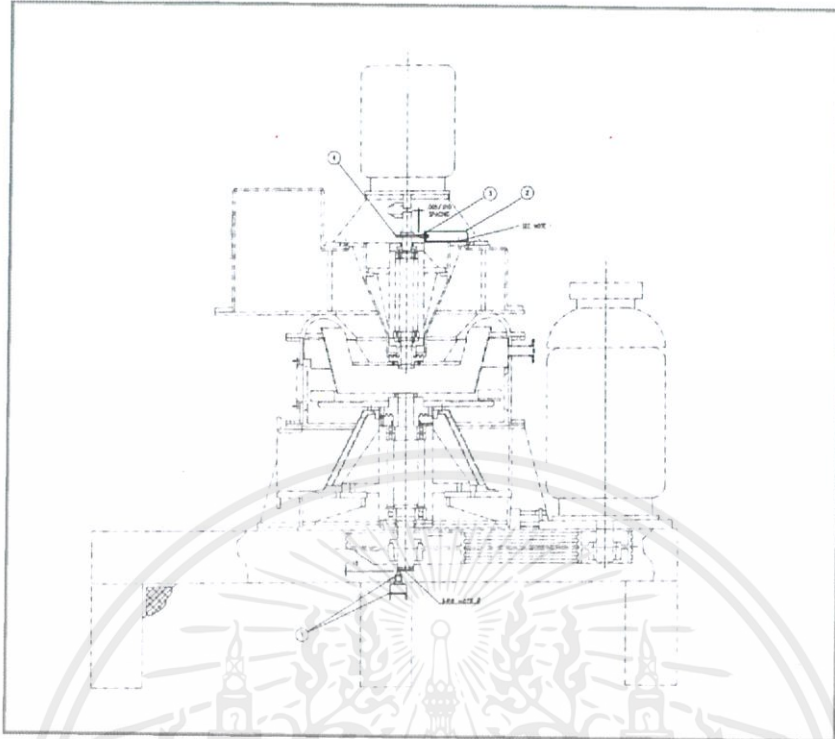
### 3.3 แบบจำลองที่นำมาวิเคราะห์โครงสร้าง

เริ่มต้นจากการศึกษาโครงสร้างโดยรวมของโรงเครื่องบดหินปูนดังรูปที่ 3.3 จากนั้นทำการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างภายในของเครื่องบดหินปูนดังรูปที่ 3.4 และทำการศึกษาโครงสร้างหลังการบดจากรูปที่ 3.5

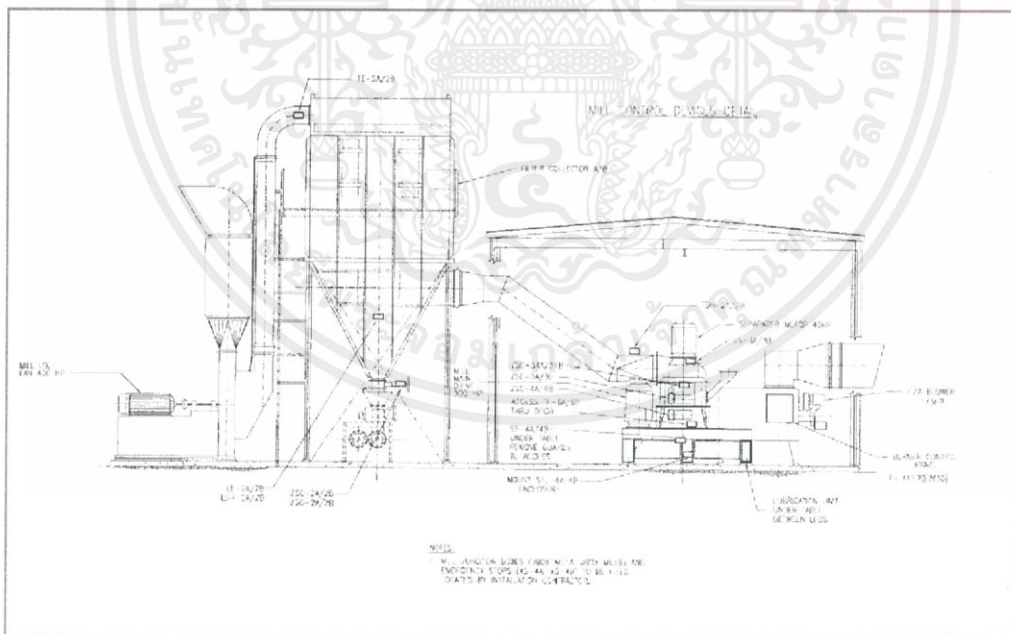


รูปที่ 3.3 แบบโรงเครื่องบดหินปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แบบเครื่องจักรที่รับผัดชอบ

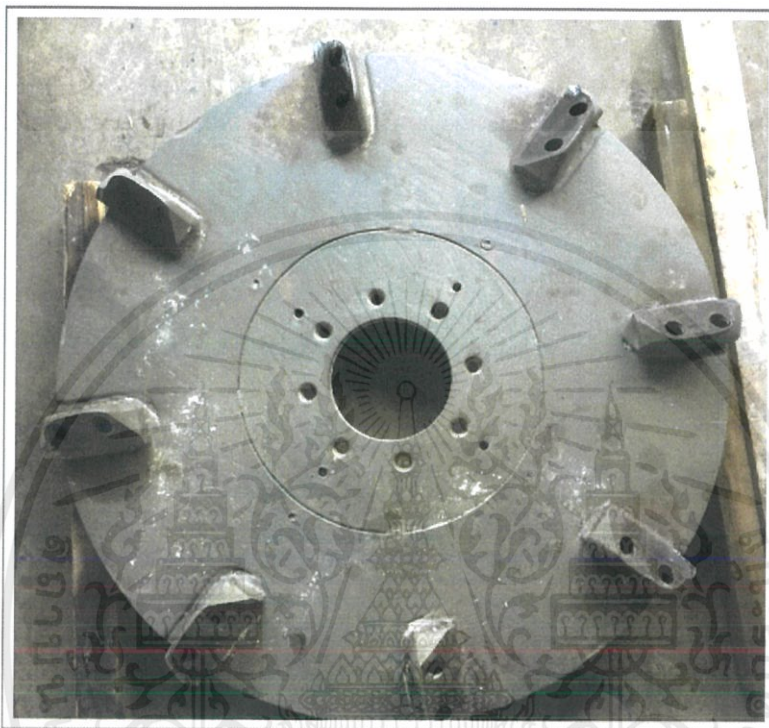


รูปที่ 3.5 แบบเครื่องบดหินปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ลักษณะปัญหา

ลักษณะปัญหาที่พบบนนั้นเป็นปัญหาที่เกิดจากการสึกกร่อนเสียหายของค้อนบดหินปูนหลังจากการใช้งานดังรูปที่ 3.6 ถึง 3.8 ซึ่งลักษณะของค้อนบดหินปูนก่อนใช้งานนั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.6 ลักษณะของค้อนบดหินปูนและงานสำหรับประกอบค้อนบดหินปูน



รูปที่ 3.7 ลักษณะการสึกกร่อนของค้อนบดหินปูนตามแนวเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

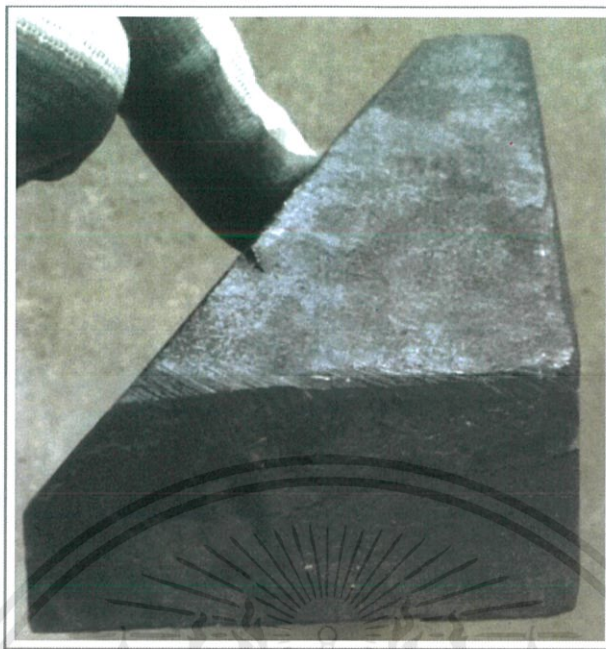


รูปที่ 3.8 ลักษณะการสึกกร่อนของค้อนบดหินปูน



รูปที่ 3.9 ลักษณะค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่ก่อนนำไปใช้งานจริง (มุมมองด้านหน้า)

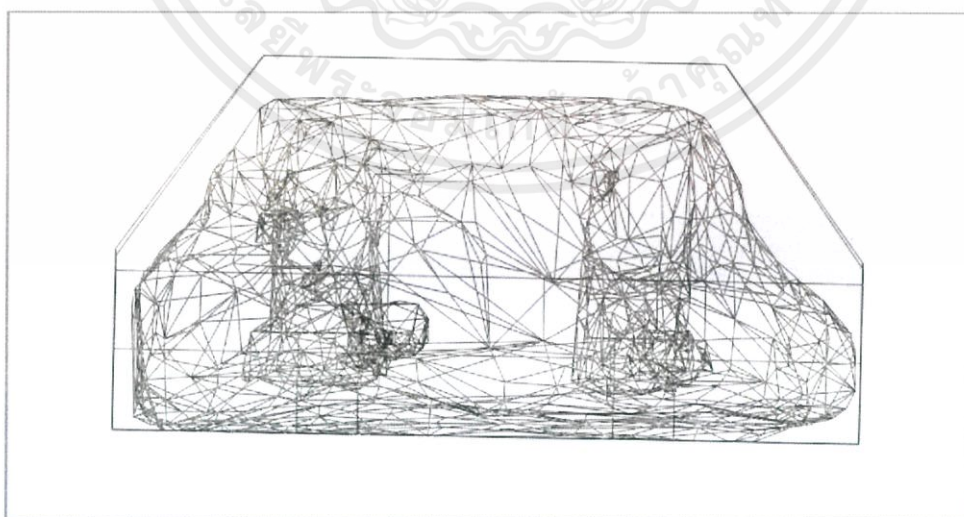
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ลักษณะค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่ก่อนนำไปใช้งานจริง (มุมมองด้านข้าง)

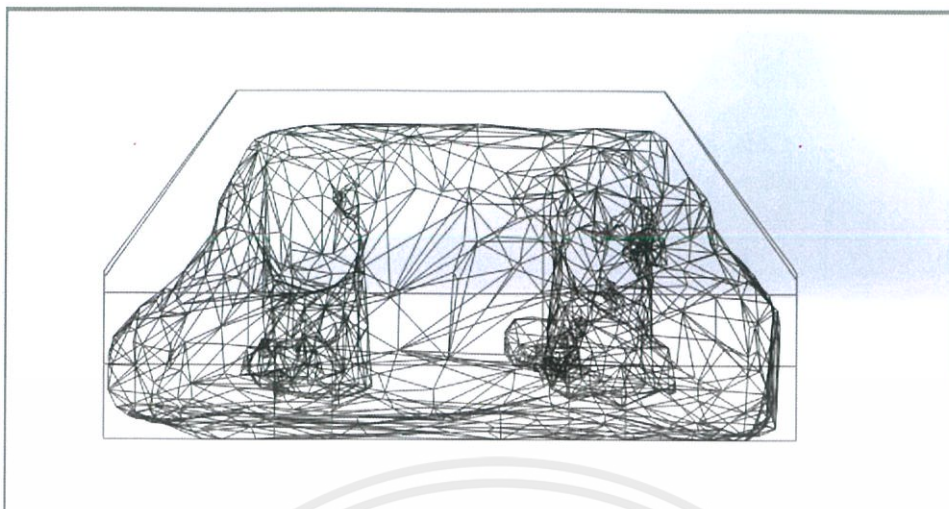
### 3.5 ลักษณะจากการสแกนสามมิติ

การสแกนโครงสร้างเชิงสามมิตินั้นจะสามารถช่วยสำหรับการวิเคราะห์รูปร่างของค้อนบดหินปูนหลังการใช้งานได้และสามารถทราบถึงลักษณะการสึกกร่อนของค้อนบดหินปูนได้ดียิ่งขึ้นดังรูปที่ 3.11 และ 3.12



รูปที่ 3.11 การสึกกร่อนของวัสดุที่มีลักษณะรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (มุมมองด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การสีกร่อนของวัสดุที่มีลักษณะรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (มุมมองด้านหลัง)

### 3.6 การวิเคราะห์เชิงคอมพิวเตอร์

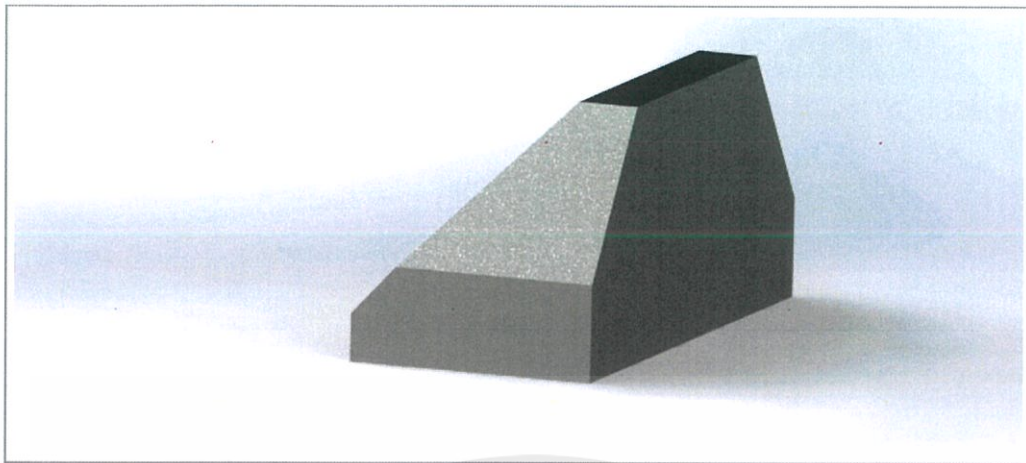
#### 3.6.1 แบบจำลองของค้อนบดหินปูนเชิงคอมพิวเตอร์

ขั้นแรกได้ทำการเขียนแบบจำลองค้อนบดหินปูนที่ใช้อยู่ขณะนี้ โดยทำการลอกแบบจากค้อนบดหินปูนตามแบบ GLS01-01-02 และ GLS01-01-02\_Gen2 (ภาคผนวก ก.) ดังรูป 3.13 สำหรับการคิดวิเคราะห์สาเหตุการสึกกร่อนและทำการสร้างแบบจำลองค้อนบดหินปูนต้นแบบดังรูป 3.16

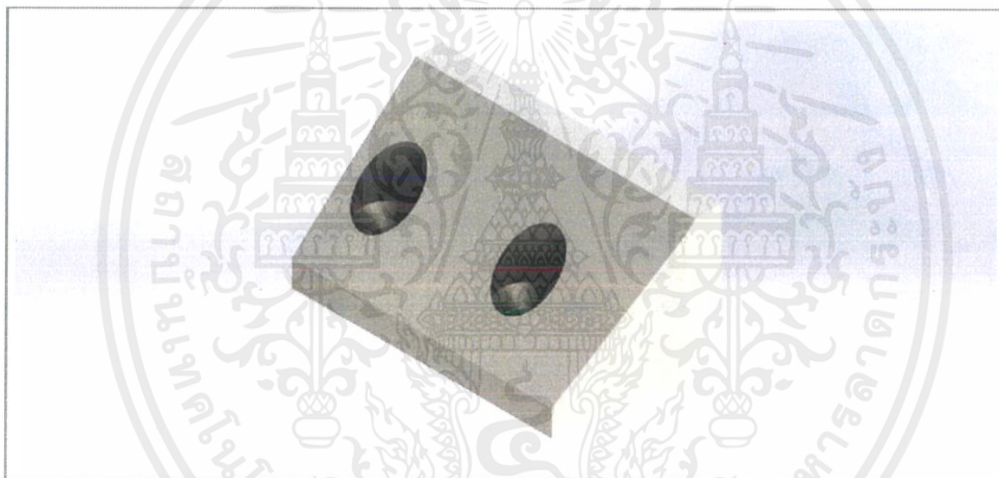


รูปที่ 3.13 ลักษณะค้อนบดหินปูนที่เขียนแบบขึ้นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ลักษณะค้อนที่ใช้งานที่ลักษณะผิวหน้าเรียบ



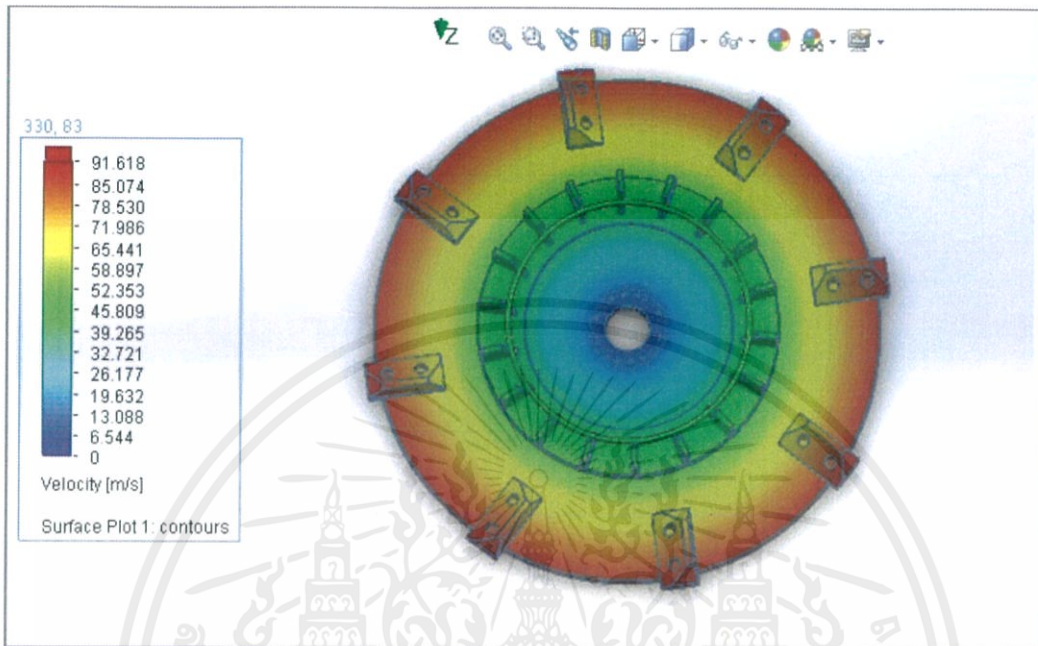
รูปที่ 3.15 ลักษณะของค้อนบดตามต้นแบบของเครื่องบดหินปูน

### 3.6.2 การคำนวณแบบจำลองเชิงคอมพิวเตอร์

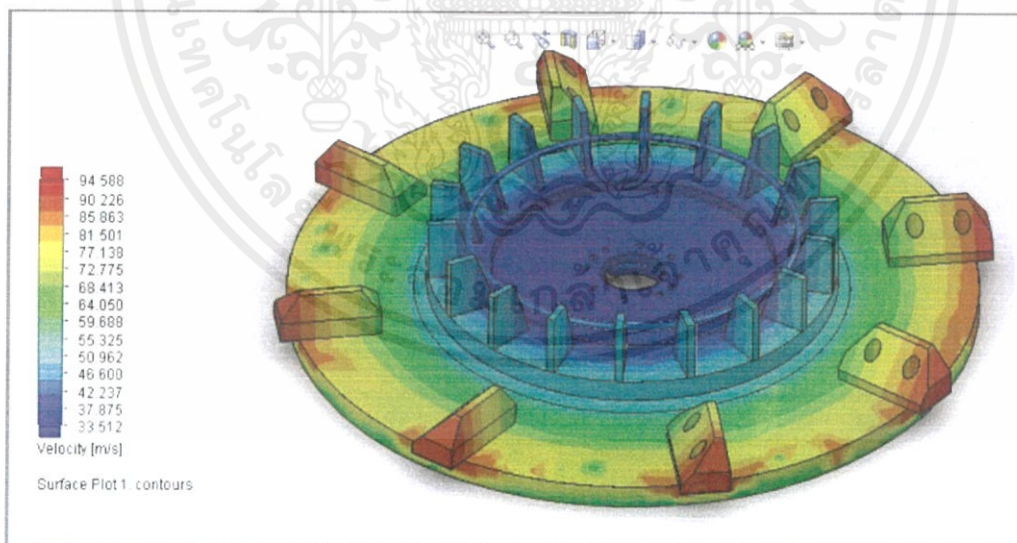
จากนั้นได้นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ช่วยสำหรับการวิเคราะห์ซึ่งการคำนวณอาจจะไม่สามารถบอกสาเหตุได้ทั้งหมดเนื่องจากรูปแบบจำลองนั้นไม่สามารถสมบูรณ์ได้ทั้งระบบและไม่สามารถทราบข้อมูลทั้งหมดได้รวมไปถึงความสามารถในการใช้งาน โปรแกรมในการช่วยคำนวณของผู้ใช้งานยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ แต่วิธีนี้สามารถอธิบายงานได้เป็นส่วนๆของปัญหาทำให้ต้องทำการแยกการคำนวณเป็นหลายรูปแบบซึ่งแต่ละรูปแบบสามารถอธิบายได้บางส่วนของการงานเท่านั้น ทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมและผลที่ได้จากการคำนวณมาทำการสนับสนุนซึ่งกันและกันเพื่อให้การคำนวณโปรแกรมได้ผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำการคำนวณเพื่อตรวจสอบและสังเกตลักษณะการไหลของอากาศดัง รูปที่ 3.16 และ 3.17 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความเร็วของอากาศที่ไหลและคาดการณ์ขั้นต้นได้ว่าส่วนขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอุปกรณ์นี้จะมีค่าการสีกกร่อนมากกว่าส่วนอื่นๆจากนั้นตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะของอากาศที่ไหลเข้าสู่ด้านหน้าของค้อนบดหินปูนทั้งสามแบบดังรูปที่ 3.18 ถึง 3.26

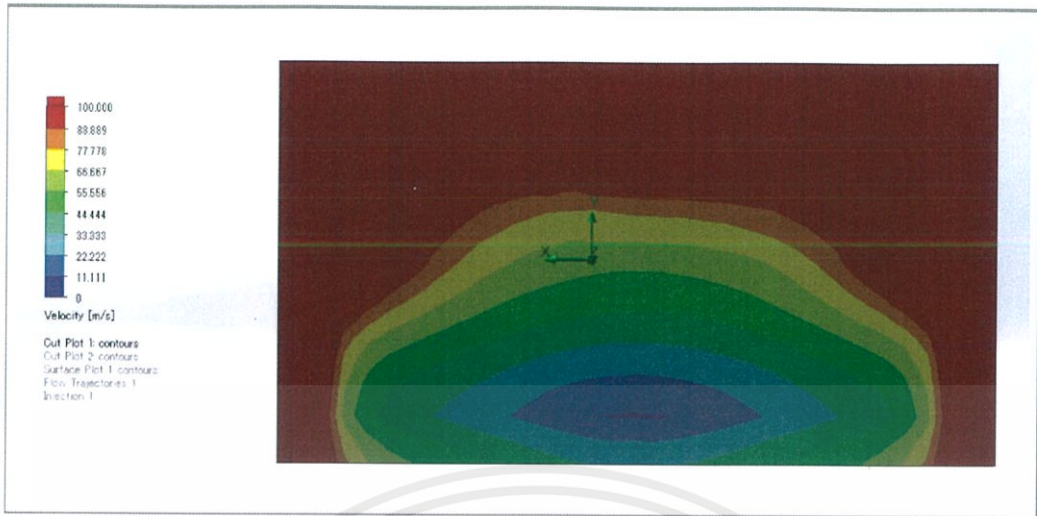


รูปที่ 3.16 การคำนวณเพื่อหาสาเหตุการสีกกร่อนจากความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์

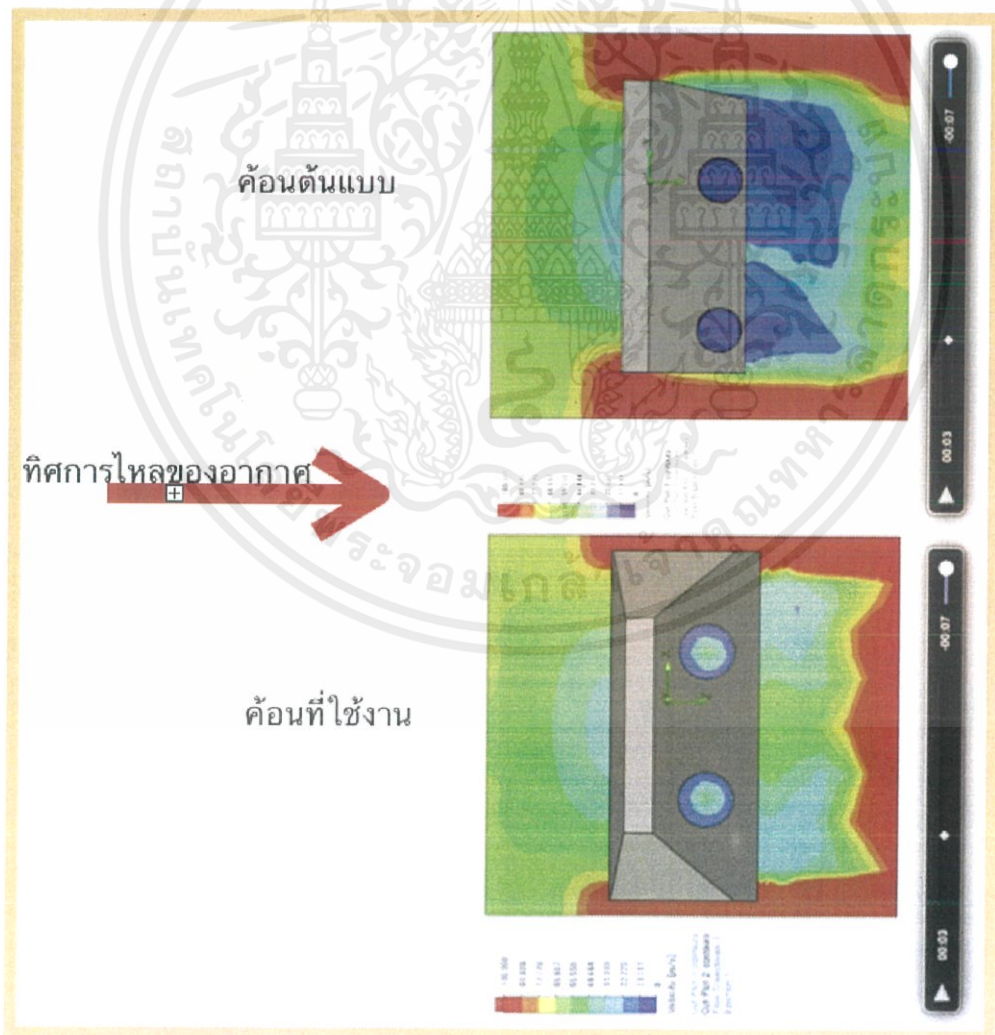


รูปที่ 3.17 การคำนวณเพื่อหาลักษณะการสีกกร่อนของวัสดุชิ้นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

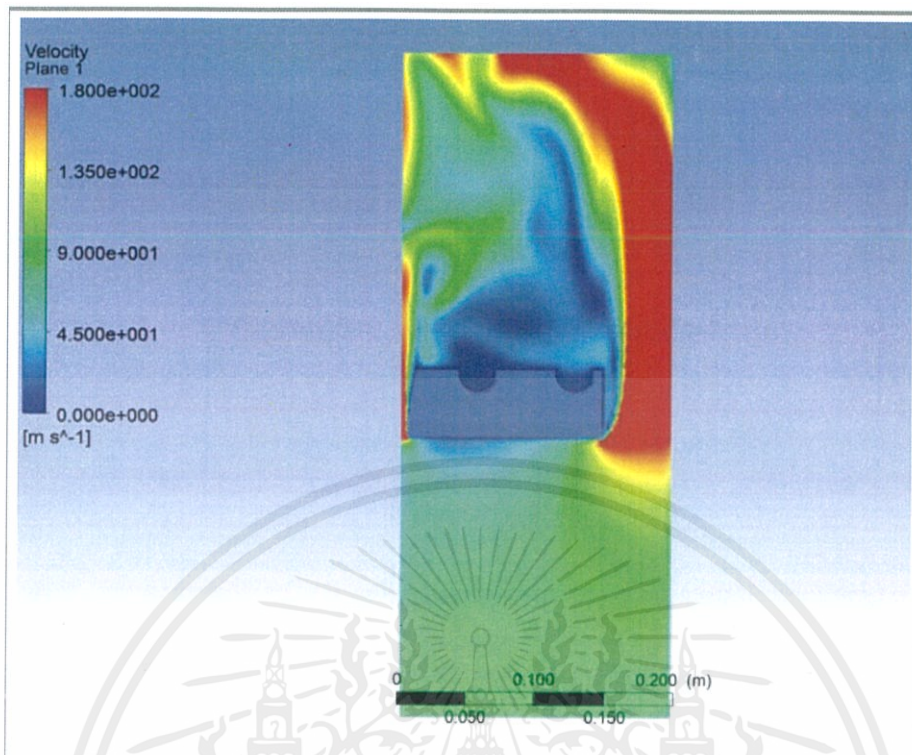


รูปที่ 3.18 ลักษณะความเร็วลมที่ไหลผ่านจากด้านหน้าของค้อนบดหินปูน

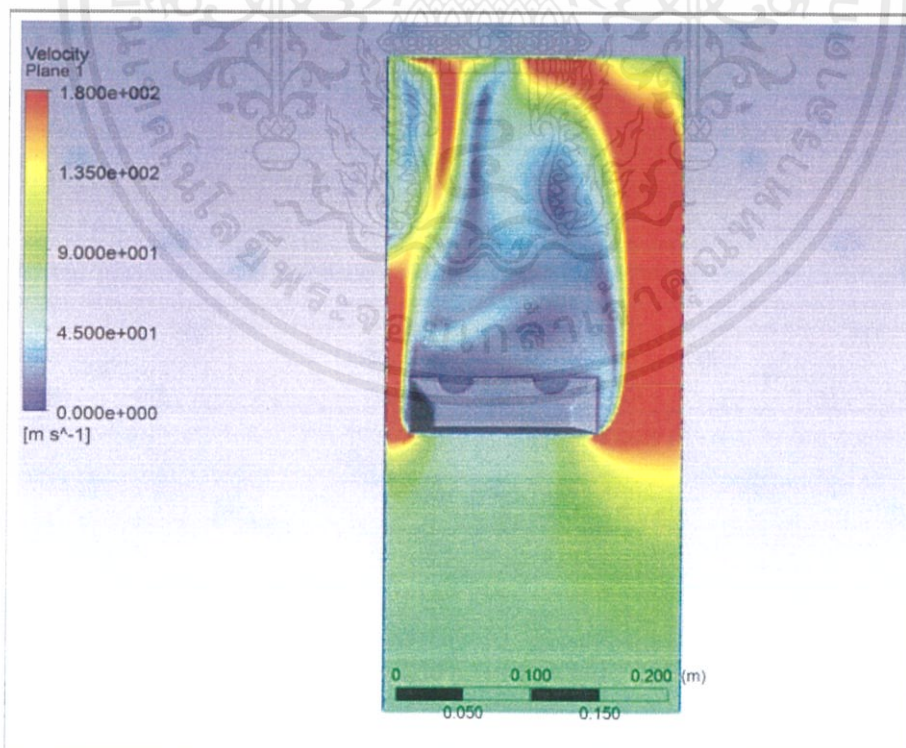


รูปที่ 3.19 ลักษณะของอากาศที่ไหลเป็นเส้นตรงเข้าหาค้อนบดหินปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

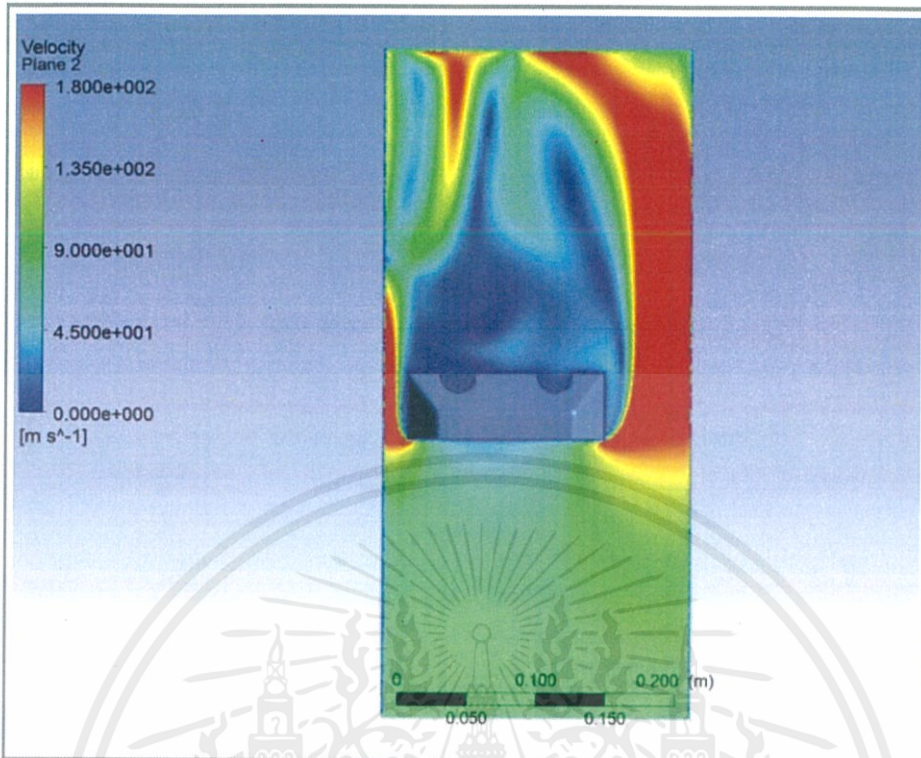


รูปที่ 3.20 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนต้นแบบ (มุมมองด้านบน)

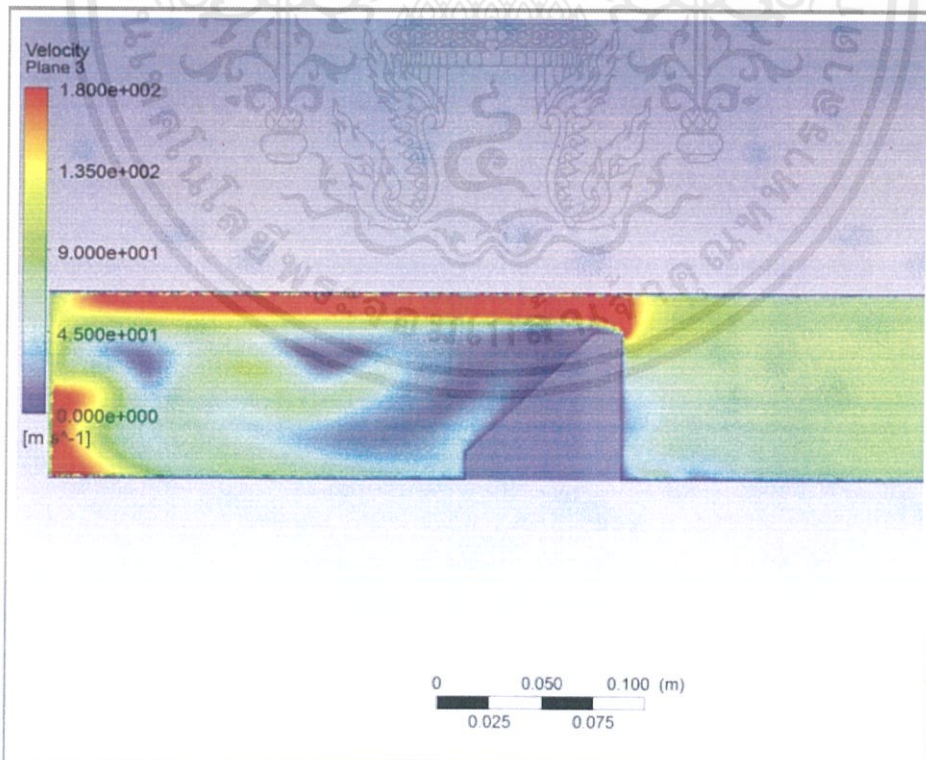


รูปที่ 3.21 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 1 (มุมมองด้านบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

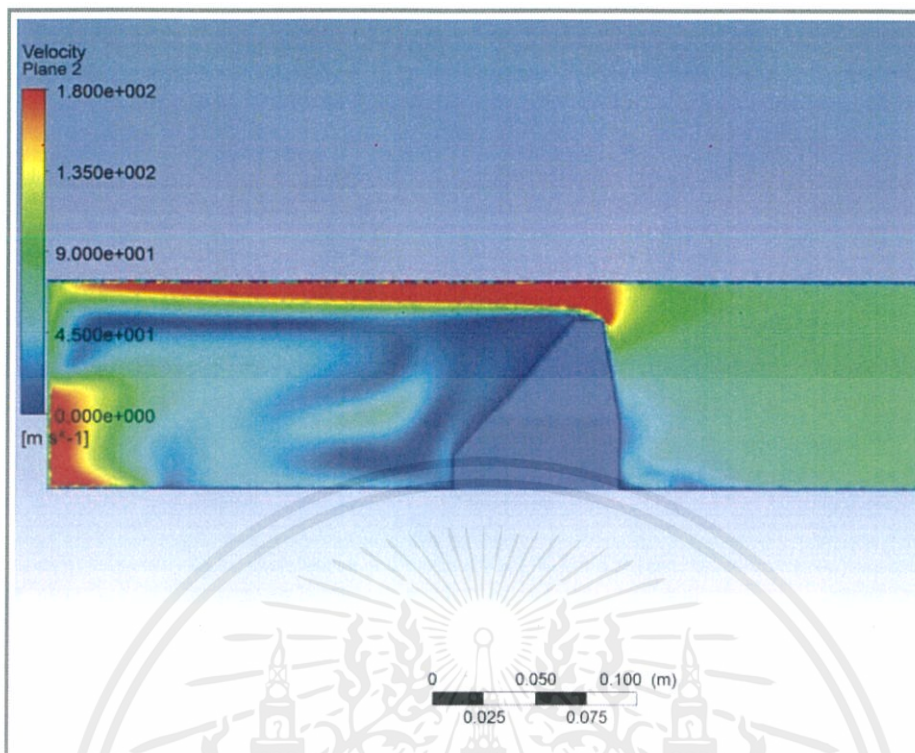


รูปที่ 3.22 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 2 (มุมมองด้านบน)

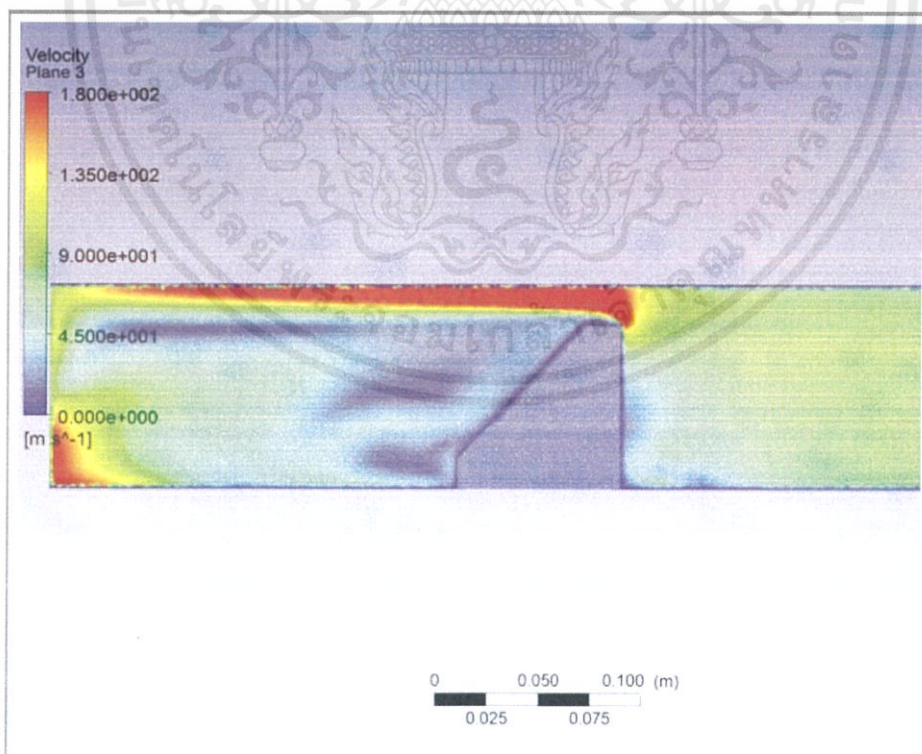


รูปที่ 3.23 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนต้นแบบ (มุมมองด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

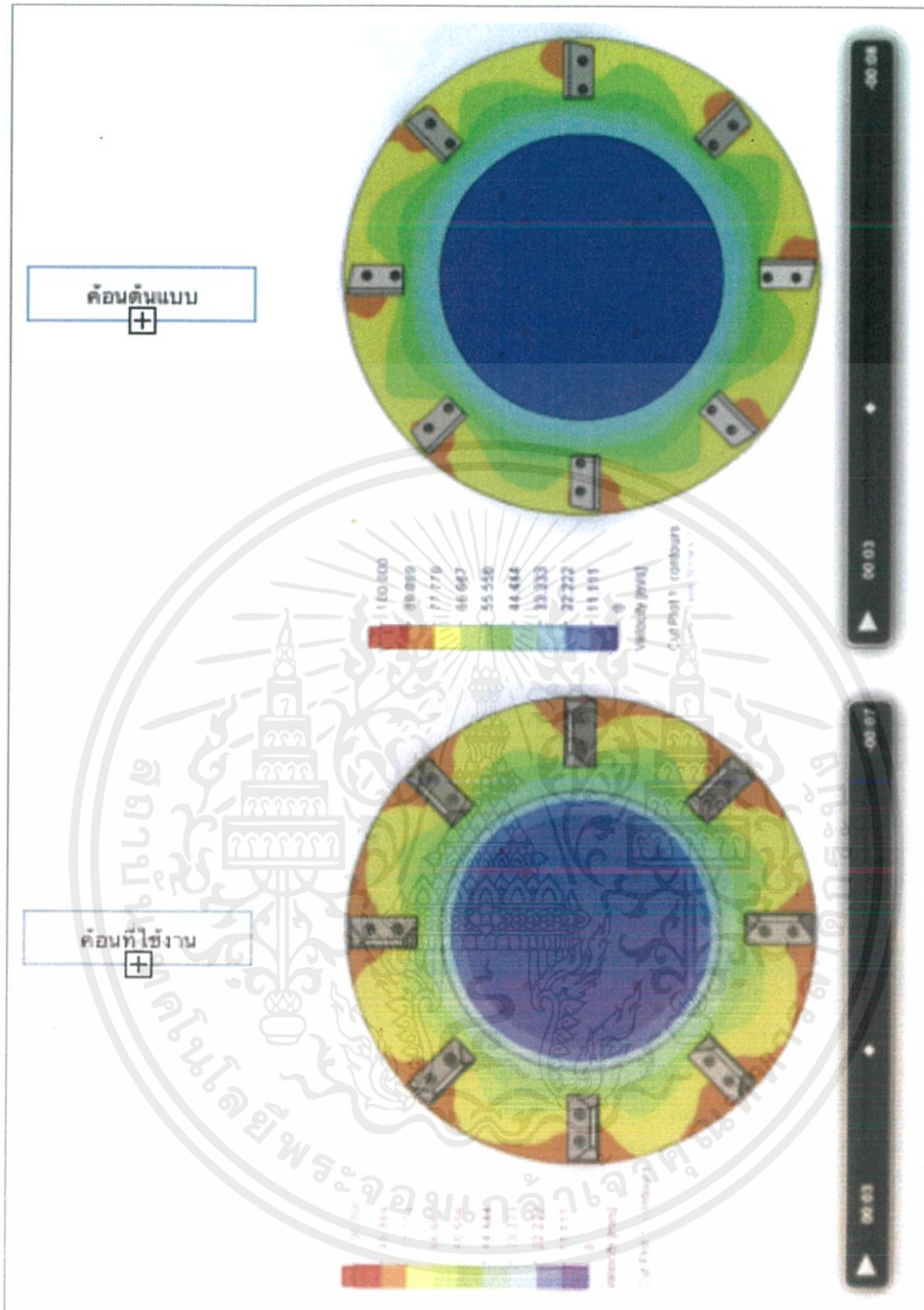


รูปที่ 3.24 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 1 (มุมมองด้านข้าง)



รูปที่ 3.25 การไหลของอากาศของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่แบบที่ 2 (มุมมองด้านข้าง)

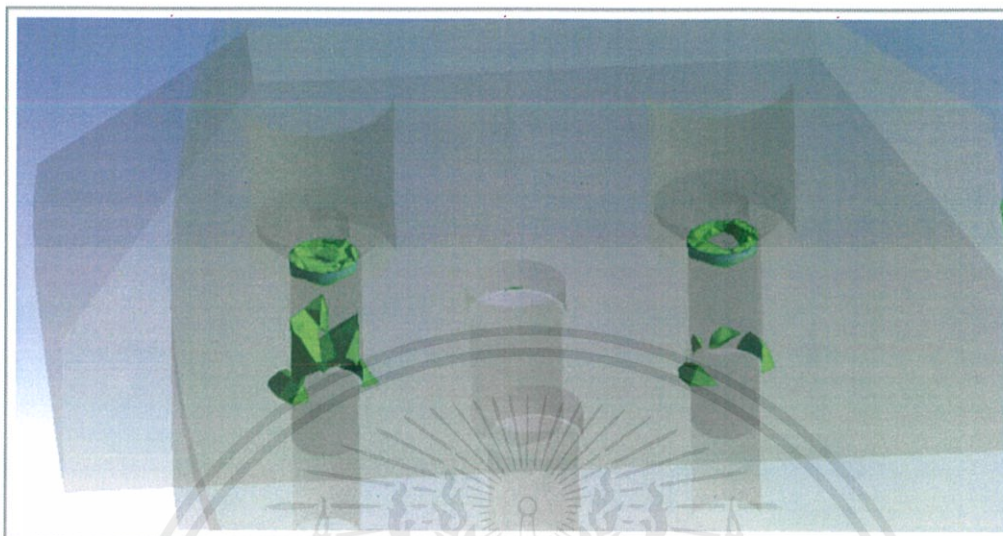
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



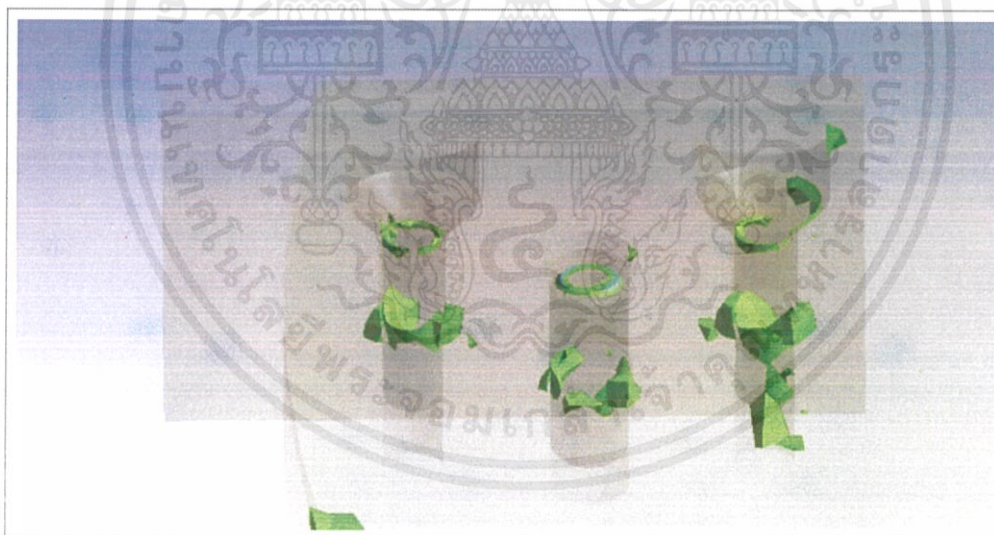
รูปที่ 3.26 จำลองการไหลของอากาศในการใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการคำนวณหาจุดการรับแรงของสลักของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่และค้อนบดหินปูนต้นแบบ ดังรูปที่ 3.27 และ 3.28 และการรับแรงของสลักโดเวล 3.29 และ 3.30

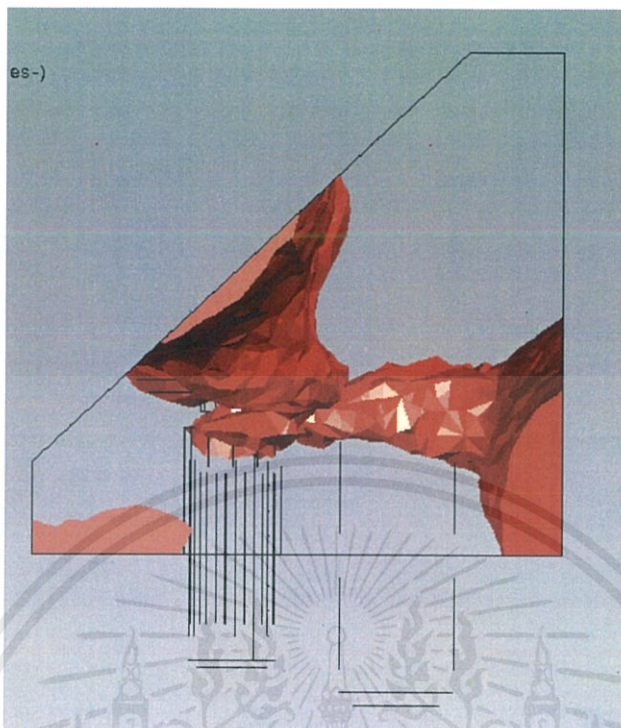


รูปที่ 3.27 จุดที่สลักจะรับแรงเฉือนทางกลมากที่สุดของบดหินปูนที่ใช้งานอยู่

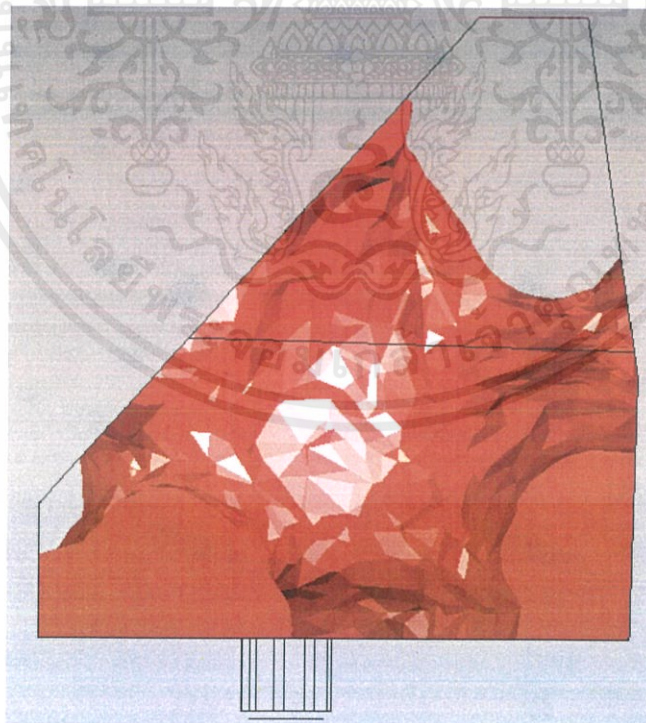


รูปที่ 3.28 จุดที่สลักเกลียวและสลักโดเวลจะรับแรงเฉือนทางกลของค้อนต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 การกระจายแรงที่ทำด้านหน้าของค้อนต้นแบบ



รูปที่ 3.30 การกระจายแรงที่ทำด้านหน้าของค้อนต้นที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบของค้อนบดหินปูนและวัสดุที่เกี่ยวข้อง

จากนั้นได้ทำการศึกษาวัสดุที่ใช้ทำการบดหินปูนโดยวัสดุที่ใช้งานอยู่คือ SAE-AISI 1045 (S45C, C45, 1.0503, G10450) Carbon Steel (ภาคผนวก ข.) และ SAE-AISI 1010 (S10C, C10E, 1.1121, G10100) Carbon Steel (ภาคผนวก ข.) แต่ไม่สามารถทนต่อการสึกกร่อนได้จากการศึกษาข้อมูลที่ผ่านมาอายุการใช้งานอยู่ประมาณ 1 เดือน หรือน้อยกว่า และส่งผลให้ประสิทธิภาพการบดหินปูนของเครื่องต่ำลง จึงได้ทำการศึกษาวิธีแก้ไขโดยการเคลือบวัสดุที่สามารถทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดีโดยจากผลการศึกษา นั้น จึงได้เสนอการเคลือบวัสดุด้วยทังสเทนคาร์ไบด์ Tungsten carbide (WC) (ภาคผนวก ข.) ซึ่งคาดการณ์ว่าจะสามารถทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดีกว่าวัสดุที่ไม่ได้ทำการเคลือบ เนื่องจากค่าความแข็งและค่าความหนาแน่นของทังสเทนคาร์ไบด์มีค่าสูงและสามารถทำได้ในประเทศ ส่วนของวัสดุที่นำมาเป็นวัสดุสำหรับทำการเคลือบคือ AISI 1045 หรือ JIS S45C เหตุผลที่เลือกคือ วัสดุชนิดนี้สามารถหาได้ง่าย ราคาไม่สูงสามารถผลิตหรือหล่อขึ้นรูปได้ดีและมีปริมาณของคาร์บอนมากพอที่จะทำการเคลือบ ทังสเทนคาร์ไบด์ได้ หลังจากทำการวิเคราะห์ทางด้านวัสดุได้ทำการวิเคราะห์รูปร่างของค้อนบดหินปูนที่ได้ทราบว่ารูปร่างของค้อนที่ใช้อยู่นั้นไม่ได้เป็นไปตามแบบที่ผู้ผลิตเครื่องได้มีการออกแบบไว้จึงได้ทำการศึกษาว่าสาเหตุใดจึงต้องเปลี่ยนแปลงรูปแบบและแต่ละรูปแบบมีลักษณะดีหรือลักษณะด้อยอย่างไร ลักษณะตามแบบ GLS01-01-02\_A1 และ GLS01-01-02\_B1 (ภาคผนวก ก.) โดยที่ A1 และ B1 จะเป็นตัวบ่งบอกลักษณะการทำงานของเครื่อง โดย A1 และ B1 จะทำการหมุนบดหินปูนลักษณะตรงกันข้าม (A1 หมุนทวนเข็มนาฬิกา B1 หมุนตามเข็มนาฬิกา โดยมองจากด้านบนของตัวเครื่อง) จึงได้ทำการปรึกษาผู้รู้และผู้ปฏิบัติงานจากนั้นนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และแยกแยะหาข้อเท็จจริงจากความบอกเล่าและการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงการคำนวณโดยผู้ปฏิบัติเพื่อหาลักษณะเหตุผลของการออกแบบรูปร่างลักษณะของค้อนบดหินปูนต้นแบบ โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์สาเหตุการสึกกร่อนของค้อนที่ใช้งานอยู่จะเห็นการสึกกร่อนของวัสดุที่ทำให้รูปทรงเปลี่ยนรูปไปอย่างเห็นได้ชัดจาก รูปที่ 3.7 จะเห็นลักษณะการสึกกร่อนด้านร่างตามแถบแนวเชื่อมและรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าที่ตรงกลางส่วนด้านหน้าของค้อนจะเสมอกันและเป็นรูเข้าไปในเนื้อของค้อน ส่วนด้านข้างทั้งซ้ายและขวาจะมีลักษณะการสึกกร่อนที่แตกต่างกันซึ่งจากสามสาเหตุนี้ได้ทำการวิเคราะห์ที่ระสาเหตุโดย

1. สาเหตุที่ตามแนวเชื่อมนั้นเกิดการสึกกร่อนมากกว่าปกติคาดการณ์ว่าเกิดจากการเชื่อมวัสดุที่แตกต่างกันเข้าด้วยกันและในการเชื่อมโลหะจะทำให้เกิดความร้อนสูงเฉพาะจุดเท่านั้นไม่ได้เกินทั้งวัสดุอาจทำให้เกิดความแตกต่างของเนื้อวัสดุได้และส่งผลให้วัสดุในส่วนที่เป็นลวดเชื่อมที่เติมเข้าไปกับส่วนที่เป็นเนื้อของวัสดุที่ถูกความร้อนจะมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปจากเดิมเสมือนว่าวัสดุจะเปราะกว่าเนื้อเดิมของวัสดุ

2. ตรงกลางส่วนหน้าของค้อนบดหินปูนนั้นได้เริ่มจากการตรวจสอบค้อนบดหินปูนที่ได้มีการหล่อขึ้นรูปมา ผลปรากฏว่าส่วนด้านหน้าของค้อนมีลักษณะไม่แน่นอนเหมือนกับส่วนอื่นๆและอาจจะมีลักษณะเป็นโพรงภายในและผลจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมได้ทำการทดสอบวัสดุโดยให้อากาศไหลจากด้านหน้าของวัสดุเป็นเส้นตรง (ซึ่งการใช้งานจริงนั้นค้อนบดหินปูนจะทำการบดเป็นวงกลม) ซึ่งต้องการที่ได้หาสาเหตุอย่างง่ายเท่านั้นซึ่งผลที่ได้ได้ทำการตรวจสอบเพื่อที่จะสามารถนำมาสนับสนุนได้บางส่วนจากรูปที่ 3.18 จะเห็นว่าตรงกลางส่วนด้านหน้าของค้อนบดหินปูนนั้นจะมีลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของอากาศที่ต่ำกว่าส่วนอื่นซึ่งหมายความว่าความความตรงส่วนหน้าของค้อนบดหินปูนนั้นจะต้องรับแรงดันสูงและจากที่ตรวจสอบพบว่าค้อนบดหินปูนที่ทำงานจริงที่มีลักษณะด้านหน้าไม่มีความทอทานนั้นก็ยิ่งส่งผลให้เกิดการสึกกร่อน ณ ส่วนนี้ได้มากขึ้น

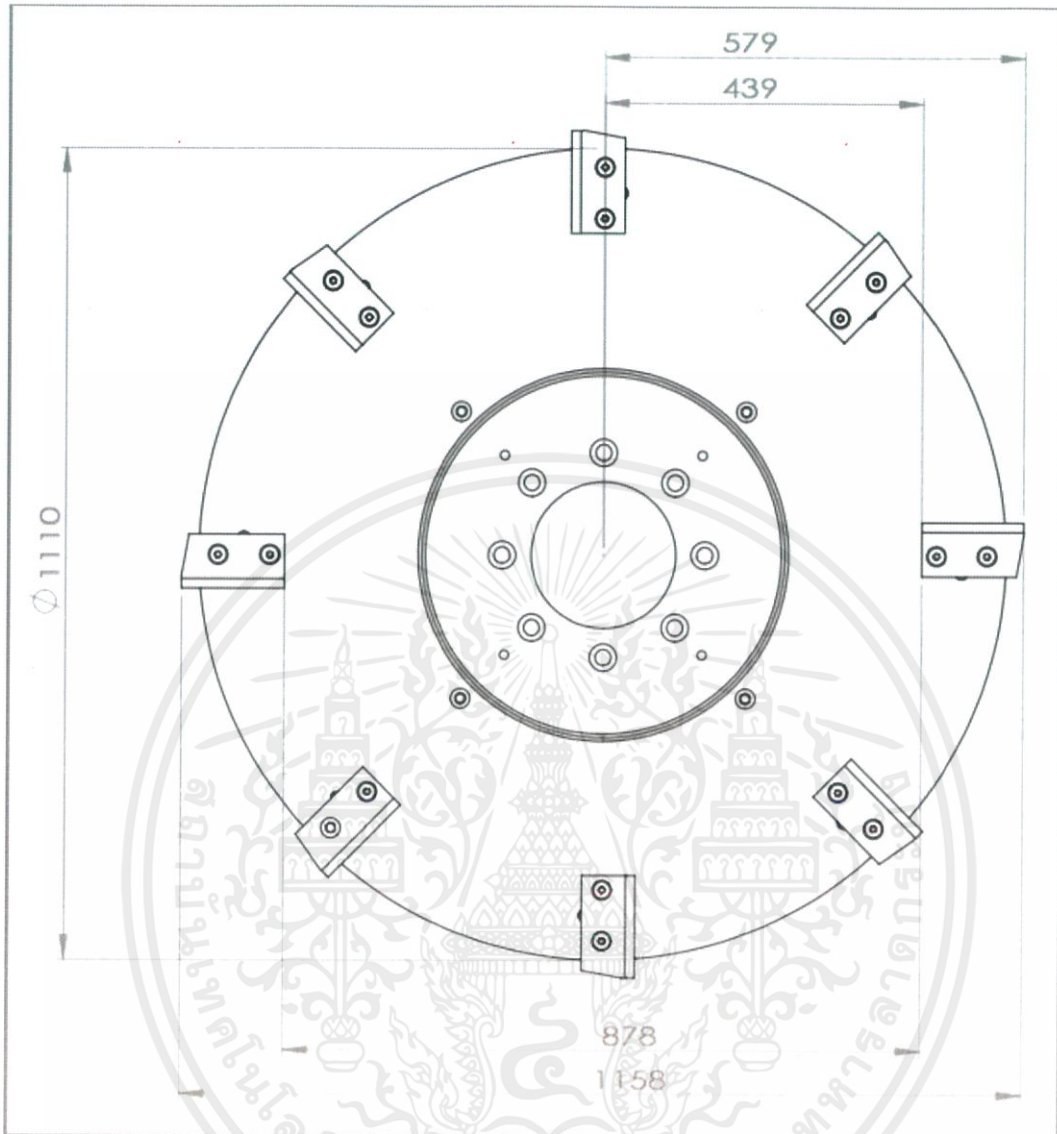
3. ส่วนด้านข้างซ้ายและขวาของค้อนบดหินปูนนั้นได้ทำการวิเคราะห์จากลักษณะของค้อนบดหินปูน จากที่ตรวจสอบพบว่าค้อนบดหินปูนนี้ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อการใช้งานแนวการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งจากรูปทรงที่สมมาตรกันทั้งสองข้างของค้อนบดหินปูนซึ่งบ่งบอกว่าไม่ได้ถูกสร้างมาเพื่อทำการควบคุมอากาศที่ไหลโดยที่ความเร็วของอากาศทั้งสองข้างไม่ได้เท่ากันส่วนของรูปทรงหลังการใช้งานก็สามารถสนับสนุนเหตุผลนี้ได้ดียิ่งขึ้น

### 3.8 การตรวจสอบและวิเคราะห์สลักที่ใช้งาน

จากสามสาเหตุหลักที่ได้กล่าวไปข้างต้นได้ตรวจสอบลักษณะการยึดของสลัก (ภาคผนวก ค.) ซึ่งข้อมูลที่ได้เพิ่มขึ้นมาจากการสอบถามผู้ปฏิบัติงานอ้างว่า “เคยมีเหตุการณ์ค้อนบดหินปูนหลุดจากการที่สลักขาดหรือคายและก่อให้เกิดความเสียหายและอาจส่งผลเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน” ได้ทำการตรวจสอบน้ำหนักของค้อนที่ใช้งานอยู่ ซึ่งน้ำหนัก เฉลี่ย คือ 5 กิโลกรัม จากนั้นคำนวณหาแรงหนีศูนย์กลางร่วมกับแรงดันจากอากาศที่กระทำกับด้านหน้าของค้อนบดหินปูน โดยคำนวณจากความเร็วเชิงมุม (ภาคผนวก ง.) และหาแรงหนีศูนย์กลางเพื่อใช้สำหรับการหาลักษณะการรับแรงของสลัก และกำหนดลงในโปรแกรมการคำนวณดังรูปที่ 3.27 จากการคำนวณโดยโปรแกรมจะให้เห็นจุดที่รับแรงกระทำได้อย่างชัดเจน จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์สลักที่ใช้งานซึ่งสลักที่ใช้งานไม่ได้มีการคิดค่าความเผื่อสำหรับความปลอดภัย (Safety factor) ของการใช้งานของสลักทำให้ในบางกรณีที่มีวัสดุอื่นหลุดเข้าไปในกระบวนการบดไปกระทบกับค้อนบดหินปูนจึงทำให้สลักที่ใช้งานเกิดความเสียหายหรือขาดได้โดยง่าย

### 3.9 การวิเคราะห์และหาหลักการไหลของอากาศ

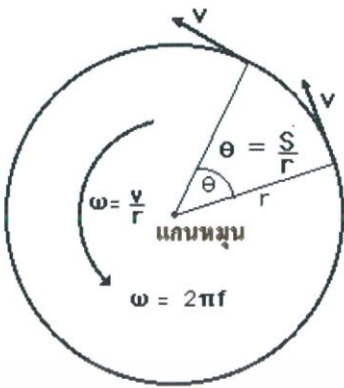
ได้ทำการวิเคราะห์ค้อนต้นแบบโดยเริ่มต้นจากการคัดลอกแบบจากนั้นวิเคราะห์หาสาเหตุการออกแบบว่าเหตุใดค้อนต้นแบบจึงมีลักษณะที่ไม่สมมาตรกันลักษณะตามแบบ GLS01-01-02\_A1 และ GLS01-01-02\_B1 (ภาคผนวก ก.) ทำการคำนวณความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านหน้าค้อนบดหินปูนต้นแบบโดยคำนวณจากความเร็วเชิงมุมให้ระยะจากจุดศูนย์กลางของจานที่วางค้อนบดหินปูนไปจนถึงระยะไกลสุดที่ปลายของค้อนบดหินปูนจะสามารถไปถึงดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ระยะของรัศมีและระยะห่าง หน่วยเป็นมิลลิเมตร

จากรูปที่ 3.31 นั้นวิเคราะห์ความเร็วของอากาศที่ด้านหน้าของค้อนต้นแบบจากด้านในไปด้านนอก โดยระยะทางจากจุดศูนย์กลางถึงปลายด้านที่อยู่ด้านในประมาณ 439 มิลลิเมตร (0.439 เมตร) และจากจุดศูนย์กลางถึงปลายด้านที่อยู่ด้านนอกประมาณ 579 มิลลิเมตร (0.579 เมตร) กำหนดให้ 0.439 เมตร เป็นรัศมีวงใน และ 0.579 เมตร เป็นรัศมีวงนอกจากนั้นจึงหาค่าความเร็วเชิงมุมจากความเร็วยกกำลังสองที่ได้สอบถามทางฝ่ายควบคุม คือ 1500 รอบต่อวินาที หรือ 25 รอบต่อวินาทีเพื่อให้นำไปใช้สำหรับการคำนวณหาค่าความเร็วเชิงมุม (ภาคผนวก ง.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สำหรับวัตถุที่หมุนรอบแกนหมุน ทุก ๆ จุดบนวัตถุจะมีความเร็วเชิงมุมเท่ากัน ความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของทุก ๆ จุดบนวัตถุจะแปรผันตามความเร็วเชิงมุมและระยะทางจากจุดหมุนมายังตำแหน่งนั้น ๆ

ความเร็วเชิงมุมเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทิศเดียวกับแกนหมุนหาทิศได้จากกฎมือขวา

$$v = \omega r \quad \text{หรือ} \quad \omega = \frac{v}{r}$$

ความเร็วเชิงมุม หมายถึง การกระจัดเชิงมุมที่เปลี่ยนแปลงไปในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\omega_{\text{average}} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{\theta - \theta_0}{t}$$

ถ้า  $v$  คงที่ การกระจัดเชิงมุมจะคำนวณได้จาก

$$\theta = \theta_0 + \omega t$$

### รูปที่ 3.32 สมการการคำนวณความเร็วเชิงมุม

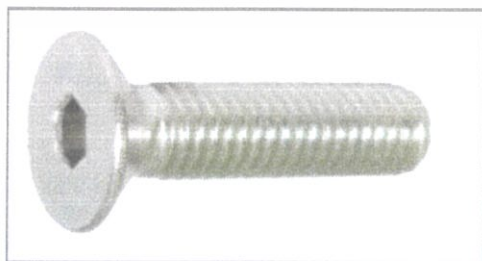
ที่มา: <http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics1/stick/sombutruk/rot3.htm>

โดยความเร็วเชิงมุมที่คำนวณได้ คือ 157.079 เรเดียนต่อวินาที จากรูปที่ 3.32 ระบุว่า ความเร็วเชิงเส้น เท่ากับ ความเร็วเชิงมุมคูณกับรัศมี ได้นำรัศมีวงในและวงนอกของค้อนต้นแบบมาทำการคำนวณหาค่าความเร็วโดยอนุมานว่าอากาศไม่มีการเคลื่อนที่มีแต่ค้อนบดหินปูนเท่านั้นที่จะมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศหากมองกลับกันคือค้อนบดหินปูนไม่มีการเคลื่อนที่และอากาศเครื่องที่ผ่านด้วยความเร็วที่ค้อนบดหินปูนจะทำการเคลื่อนที่เมื่อนำรัศมีวงในได้ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านคือ 68.957 เมตรต่อวินาทีและเมื่อนำรัศมีวงนอกได้ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านคือ 90.949 เมตรต่อวินาที (ภาคผนวก ง.) จากผลที่ได้ก็สามารถคาดการณ์ได้ว่าการออกแบบค้อนต้นแบบนั้นให้ความสำคัญสำหรับการไหลของอากาศที่มีความแตกต่างกันจากนั้นได้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อใช้สำหรับโปรแกรมช่วยสำหรับการคำนวณโดยค่าเฉลี่ยที่ได้คือ 79.953 เมตรต่อวินาที หรือประมาณ 80 เมตรต่อวินาที จากรูปที่ 3.19 จะทำให้ทราบถึงลักษณะการไหลของอากาศโดยที่ความเร็วของอากาศที่ไหลด้านหลังของค้อนบดหินปูนต้นแบบช้ากว่าความเร็วของที่ไหลด้านหลังของค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่และจากด้านข้างที่อยู่ด้านรัศมีวงนอกจะเห็นว่าการไหลของอากาศเข้าหารัศมีวงในของค้อนบดหินปูนต้นแบบซึ่งค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่นั้นไม่มีพฤติกรรมดังกล่าวจึงสรุปขั้นต้นได้ว่าค้อนบดหินปูนต้นแบบนั้นออกแบบให้ใช้งานสำหรับงานที่เป็นการไหลของอากาศที่เป็นแนวเส้นโค้งซึ่งต่างกับค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่นั้นออกแบบให้ใช้สำหรับงานที่เป็นการไหลของอากาศที่เป็นเส้นตรงและทำให้ทราบสาเหตุชั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นที่ค้อนบดหินปูนต้นแบบนั้นไม่สมมาตร แต่ผลการคำนวณนั้นก็ไม่สามารถอธิบายได้ทั้งหมดเหตุ เพราะขนาดของค้อนบดหินปูนทั้งสองแบบนี้มีขนาดที่ไม่เท่ากัน ทำให้ระยะที่ห่างจากกำแพงของ การคำนวณนั้นไม่เท่ากันไปด้วยทำให้การคำนวณจาก รูปที่ 3.19 นั้นยังไม่สมบูรณ์สามารถอธิบาย ความเหมาะสมว่าเป็นรูปร่างแบบใดเหมาะสมและรูปร่างแบบใดไม่เหมาะสมสำหรับการไหลเชิงตรงของ อากาศเท่านั้นด้วยเหตุผลนี้ได้ใช้โปรแกรมอื่นร่วมช่วยสำหรับการคำนวณและกำหนดค่าความเร็วของ อากาศที่ให้ออกโดยใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณหาความเร็วลมที่ไหลผ่านค้อนบดหินปูนสำหรับการ คำนวณด้วยโปรแกรมนี้และออกแบบให้มีลักษณะขอบด้านข้างซ้ายขวาไม่เท่ากันเพื่อให้ใกล้เคียงกับ ของจริงมากที่สุดซึ่งในขณะที่ได้ทำการวิเคราะห์นั้นได้พบเห็นค้อนบดหินปูนอีกรูปแบบหนึ่งที่มีการ แกะไขส่วนของผิวหน้าให้มีลักษณะเรียบซึ่งส่วนอื่นยังคงลักษณะที่แตกต่างจากค้อนบดหินปูนต้นแบบ จากนั้นได้ทำการคำนวณลักษณะการไหลของอากาศของค้อนทั้งสามรูปแบบโดยจะให้ขอบของรัศมี วงนอกนั้นมีระยะห่างอยู่ที่ 5 มิลลิเมตร เพื่อให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงยิ่งขึ้น เนื่องจากการ ใช้งานจริงนั้นจะมีระยะห่างระหว่างขอบกับค้อนบดหินปูน ซึ่งการคำนวณลักษณะการไหลของอากาศ นี้จะใช้การคำนวณที่มีความละเอียดสูง หมายความว่า ในการคำนวณนี้จะสามารถให้ผลที่แม่นยำได้ มากขึ้นจากรูปที่ 3.26 แสดงการใช้งานของค้อนบดหินปูนต้นแบบและค้อนบดหินปูนที่ใช้งานโดยให้ อากาศไหลวนเสมือนค้อนบดหินปูนเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง และ จากภาพ รูปที่ 3.20 ถึง รูปที่ 3.25 จะ แสดงให้เห็นถึงลักษณะการไหลของอากาศที่แตกต่างกันของค้อนบดหินปูนทั้งสามแบบอย่างชัดเจน

### 3.10 การวิเคราะห์สลักที่เกี่ยวข้อง

ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดอีกข้อหนึ่ง คือสลักที่ใช้สำหรับการยึดค้อนบดหินปูนซึ่งค้อนบดหินปูน ที่ใช้งานอยู่นั้น มีสลักเกลียวหัวฝังเตเปอร์หัวหกเหลี่ยมในเกลียวตลอด เอ็ม12 x 1.75 ความยาว เกลียว 45 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน ในบางกรณี ใช้ สลักเกลียวหัวฝังหัวหกเหลี่ยมในสลักที่ใช้สำหรับ การยึดค้อนบดหินปูนซึ่งค้อนบดหินปูนที่ต้นแบบนั้น มีสลักเกลียวหัวฝังเตเปอร์หัวหกเหลี่ยมใน เกลียวตลอด เอ็ม12 x 1.75 ความยาวเกลียว 45 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน และ สลักโดเวล เส้นผ่าน ศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร จำนวน 1 อัน ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของค้อนบดหินปูนต้นแบบจาก แบบ GLS01-01-02\_A1 และ GLS01-01-02\_B1 (ภาคผนวก ก.) ทำให้ทราบว่ารูปร่างสลักถูก ออกแบบมาให้ใช้งานกับสลักเกลียวหัวฝังเตเปอร์

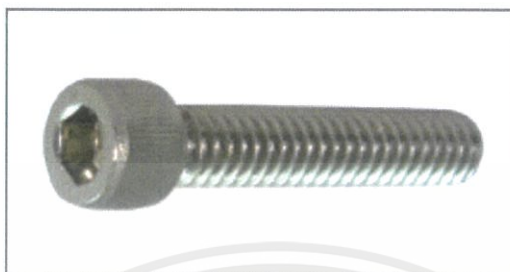


รูปที่ 3.33 สลักเกลียวหัวฝังเตเปอร์

ที่มา: [http://www.abpon.com/1/สกรูน็อตสแตนเลส/สกรูหัวกลมแฉก-ฝา-คอเหลี่ยม/สกรูมิลสแตนเลส-JF+-JP+-เกรด-316-\(สั่งทำได้\)/4/401/proderailpage/](http://www.abpon.com/1/สกรูน็อตสแตนเลส/สกรูหัวกลมแฉก-ฝา-คอเหลี่ยม/สกรูมิลสแตนเลส-JF+-JP+-เกรด-316-(สั่งทำได้)/4/401/proderailpage/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของค้อนที่ใช้งานขณะนี้จากแบบ GLS01-01-02 และ GLS01-01-02\_Gen2 (ภาคผนวก ก.) ซึ่งลักษณะของรูไม่ได้ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับสลักเกลียวหัวฝั งเตเปอร์ แต่ เหมาะกับ สลักเกลียวหัวฝั ง



รูปที่ 3.34 สลักเกลียวหัวฝั ง

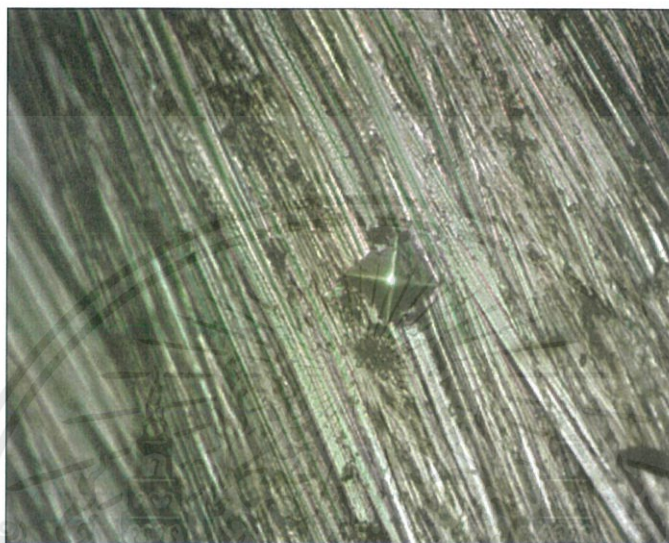
ที่มา: <http://www.abpon.com/1/สกรูน็อตสแตนเลส/สกรูหัวจม-ตัวหนอน/สกรูหัวจมสแตนเลส-เกลียวมิล-304/2/7/proderailpage/>

ซึ่งหากใช้งานสลักเกลียวหัวฝั งเตเปอร์กับค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่นั้นจะส่งผลให้จุดรับแรงของสลัก จะไปอยู่ที่ข้อต่อมากที่สุดทำให้สลักอาจขาดได้หากมีวัตถุอื่นเข้าไปในระบบและกระทบกับค้อนหรือ ในกรณีที่ค้อนมีการสึกกร่อนจนถึงสลักก็จะขาดได้ ได้ทำการคำนวณการกระจายแรงอย่างง่ายเพื่อหา ว่าการถ่ายเทแรงเป็นไปในทิศทางใดของค้อนต้นแบบและค้อนที่ใช้งาน จากรูปที่ 3.29 และ 3.30 จะ ทำให้สามารถทราบการกระจายของแรงภายในของค้อนทั้งสองแบบ ซึ่งค้อนต้นแบบนั้นจะมีการกระจายแรงที่ดีกว่าโดยแรงที่กระทำทางด้านหน้าค้อนส่วนใหญ่จะถูกส่งไปยังสลักโดเวลเป็นตัวรับแรงส่วน มากไปซึ่งต่างกับค้อนที่ใช้งานอยู่จะไม่มีจุดรับแรงด้านหน้าส่งผลให้ สลักเกลียวหัวฝั งเตเปอร์เป็นส่วน ที่ทำการรับแรงทั้งหมดและจากการวิเคราะห์แรงหนีศูนย์กลางจากรูปที่ 3.27 และ 3.28 สนับสนุนกัน และกันกับรูปที่ 3.29 และ 3.30 ให้การรับแรงของการมีสลักโดเวล สลักโดเวลไม่ได้ช่วยเฉพาะการรับ แรง สลักโดเวลสามารถช่วยทางด้านารลดสิ้นที่แตกต่างกันของสองวัสดุที่เชื่อมต่อกันระหว่างสลักโด เวล โดยทั่วไปพิภักัดความเผื่อของสลักโดเวล จะอยู่ที่ H6 หรือ H7 และรูคว้านสำหรับสลักโดเวล จะอยู่ ที่ h6 หรือ h7 ในมาตรฐานงานสวมตามระบบ ISO (DIN 7154) ซึ่งจะส่งผลให้งานสวมสลักโดเวลมี ความแน่น ได้ทำการวิเคราะห์การใช้งานของสลักเกลียวหัวฝั งเตเปอร์จาก สลักเกลียวหัวฝั งเตเปอร์ที่มี ลักษณะเป็นเกลียวตลอดนั้นอาจไม่สามารถทดแรงกระทำที่จุดด้านบนได้ดีจึงได้เสนอให้ใช้งาน สลักเกลียวหัวฝั งเตเปอร์ที่มีลักษณะเป็นเกลียวไม่ตลอด ตามแบบ GLS99-01-01 (ภาคผนวก ก. และ ภาคผนวก ค.)

### 3.11 การทดสอบหาค่าความแข็งแบบวิกเกอร์

ได้ทำการนำวัสดุที่เกี่ยวข้องไปทำการทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ โดยได้ใช้เครื่องทดสอบ ความแข็งแบบวิกเกอร์ของวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าลาดกระบังสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเพื่อทำการทดสอบหาค่าความแข็งของวัสดุซึ่งสิ่งที่ต้องการหาไม่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ค่าความแข็งตามมาตรฐานของวัสดุแต่ต้องการทราบค่าความแตกต่างกันของความแข็งของวัสดุที่ใช้ในงานอยู่จริงและได้ทำการทดสอบวัสดุอื่นๆที่เกี่ยวข้องบางส่วน โดยลักษณะของรอยกดที่เกิดจากการทดสอบหาค่าความแข็งแบบวิกเกอร์มีลักษณะดังรูปที่ 3.35 และ 3.36 จากนั้นจะแสดงค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ที่วัดได้ดังรูปที่ 3.37



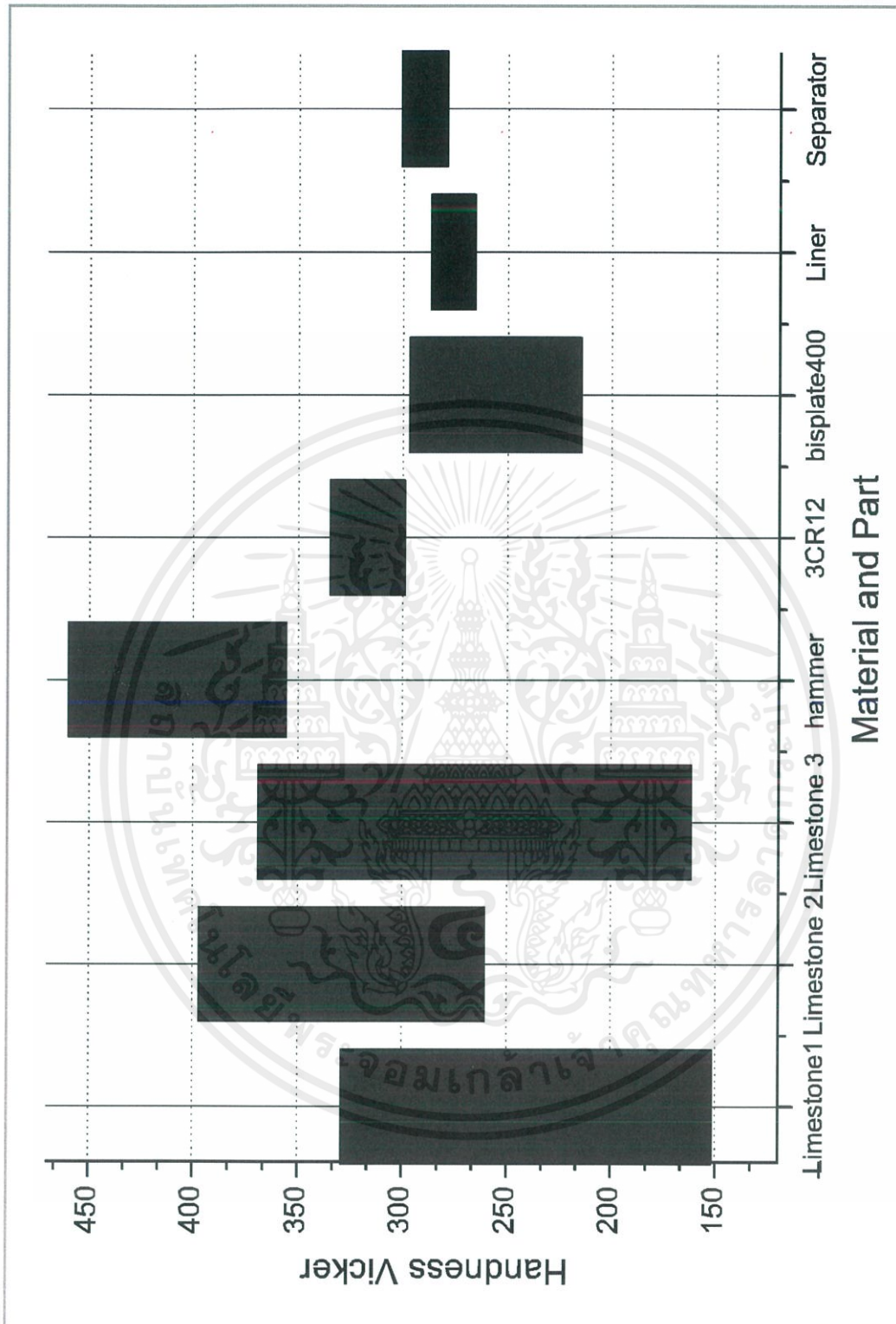
รูปที่ 3.35 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์บนวัสดุค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่



รูปที่ 3.36 การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์บนวัสดุหินปูนที่ใช้

จากภาพ รูปที่ 3.35 และ 3.36 ได้ใช้การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์โดยใช้แรงกดที่ 0.5 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



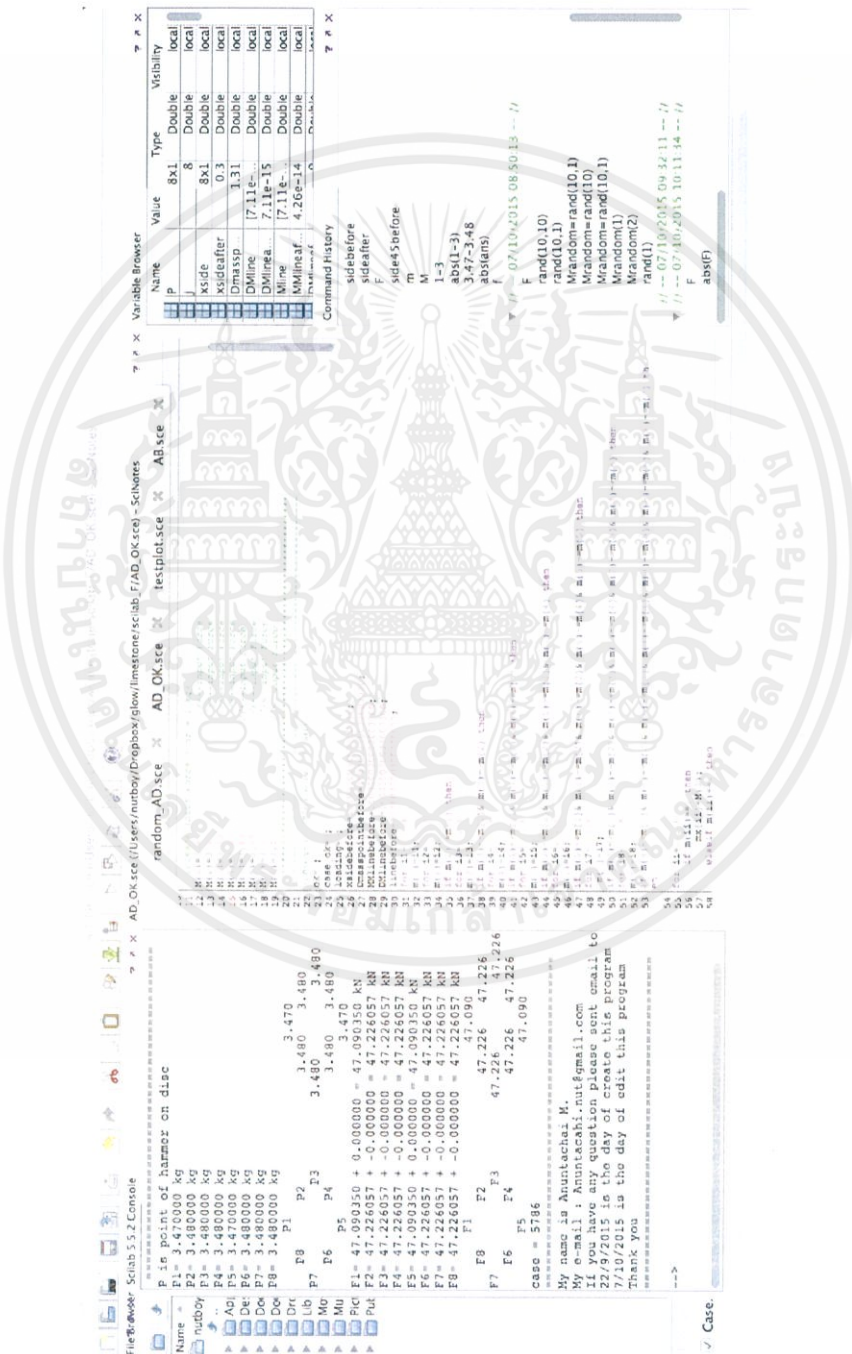
รูปที่ 3.37 ค่าความแข็งของวัสดุที่ทำการทดสอบ

จากรูปที่ 3.37 การทดสอบค่าความแข็งของหินปูนมีค่าเกือบเทียบเท่ากับวัสดุคอนกรีตที่ใช้งานอยู่ซึ่งมีโอกาสเป็นไปได้ที่คอนกรีตหินปูนจะเกิดการสึกกร่อนได้ง่ายยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.12 การเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อช่วยสำหรับการคำนวณและวิเคราะห์ปัญหา

จากนั้นได้ทำการเขียนโปรแกรมภาษาซีที่ใช้คำนวณแรงที่ค้อนกดหินปูนจะกระทำกับสลักเพื่อหาสลักที่ทนแรงได้ดีที่สุดและการทำให้การวางค้อนกดหินปูนนั้นเกิดการสั่นน้อยที่สุดในกรณีที่เกิดขึ้นที่สั่งทำมาขึ้นมีที่น้ำหนักแตกต่างกันซึ่งมีลักษณะของหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 3.38 และหน้าต่างแสดงผลการคำนวณดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.38 หน้าต่างโปรแกรมภาษาซีที่เขียนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโปรแกรมที่ใช้สำหรับการเขียนวิธีการคำนวณคือโปรแกรม Scilab-5.5.2 สำหรับ Mac OS และ window 7 โดยการคำนวณนั้นได้ทำการคิดสมการการแตกแรงของค้อนบดหินปูนที่มีจำนวน 8 ก้อน และแต่ละก้อนสามารถแตกแรงไปหาก้อนอื่นๆได้ นั้นหมายถึงจะมีความเป็นไปได้ ทั้งหมด 40,320 กรณีที่ไม่ซ้ำกันจากค้อนบดหินปูน 8 ก้อนและหากรณีที่แรงกระทำน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ (ภาคผนวก จ.)

```

=====
P is point of hammer on disc
P1= 3.470000 kg
P2= 3.480000 kg
P3= 3.480000 kg
P4= 3.480000 kg
P5= 3.470000 kg
P6= 3.480000 kg
P7= 3.480000 kg
P8= 3.480000 kg

      P1          3.470
P8      P2          3.480  3.480
P7      P3          3.480  3.480
      P6      P4          3.480  3.480
      P5          3.470
F1= 47.090350 + 0.000000 = 47.090350 kN
F2= 47.226057 + -0.000000 = 47.226057 kN
F3= 47.226057 + -0.000000 = 47.226057 kN
F4= 47.226057 + -0.000000 = 47.226057 kN
F5= 47.090350 + 0.000000 = 47.090350 kN
F6= 47.226057 + -0.000000 = 47.226057 kN
F7= 47.226057 + -0.000000 = 47.226057 kN
F8= 47.226057 + -0.000000 = 47.226057 kN

      F1          47.090
      F8      F2          47.226  47.226
F7      F3          47.226  47.226
      F6      F4          47.226  47.226
      F5          47.090
case = 5786
=====
My name is Anuntachai M.
My e-mail : Anuntacahi.nut@gmail.com
If you have any question please sent email to
22/9/2015 is the day of create this program
7/10/2015 is the day of edit this program
Thank you
=====
-->

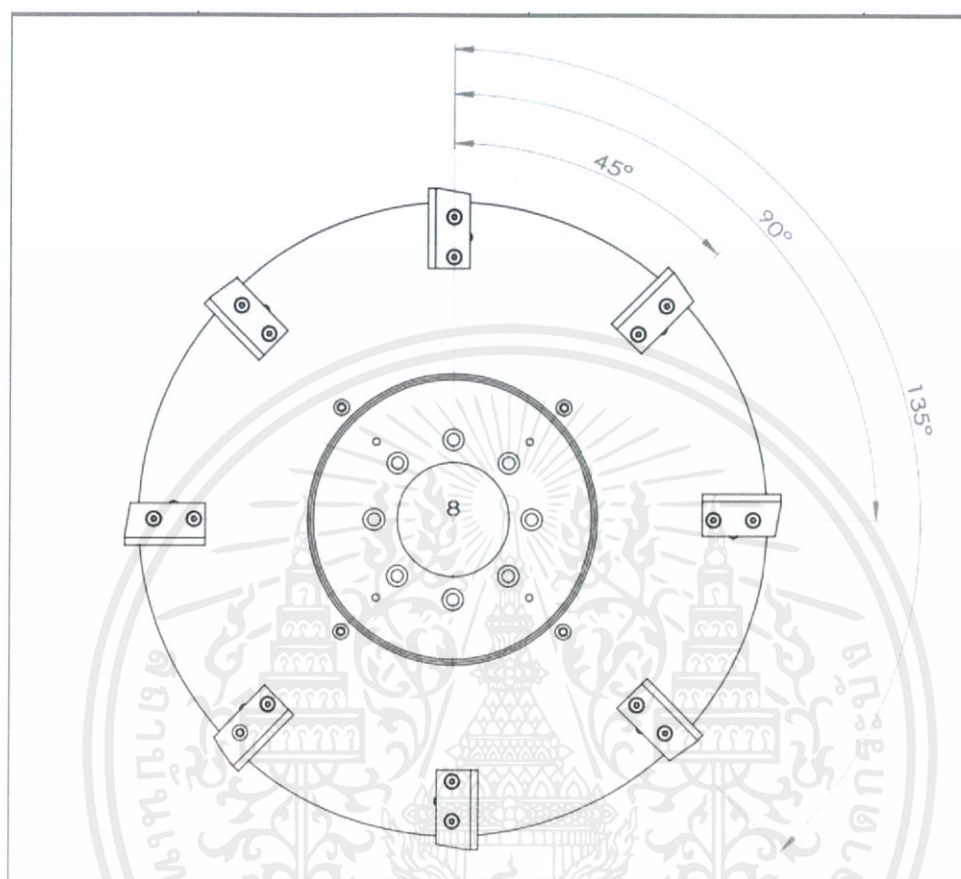
```

รูปที่ 3.39 หน้าต่างผลลัพธ์ของโปรแกรมภาษาซีที่เขียนขึ้น

จากรูปที่ 3.39 จะแสดงให้เห็นการจัดวางน้ำหนักของค้อนอย่างไรให้ได้แรงตั้งแต่แต่ละด้านใกล้เคียงกันที่สุดและแรงที่กระจายออกของแต่ละจุดที่สลักจะต้องทำการรับแรงโดยสมมุติว่างานที่วางค้อนบดหินปูนนั้นน้ำหนักเท่ากันทุกจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาษาซีที่เขียนขึ้นจากการคำนวณการกระจายแรงตามองศา ดังรูปที่ 3.40



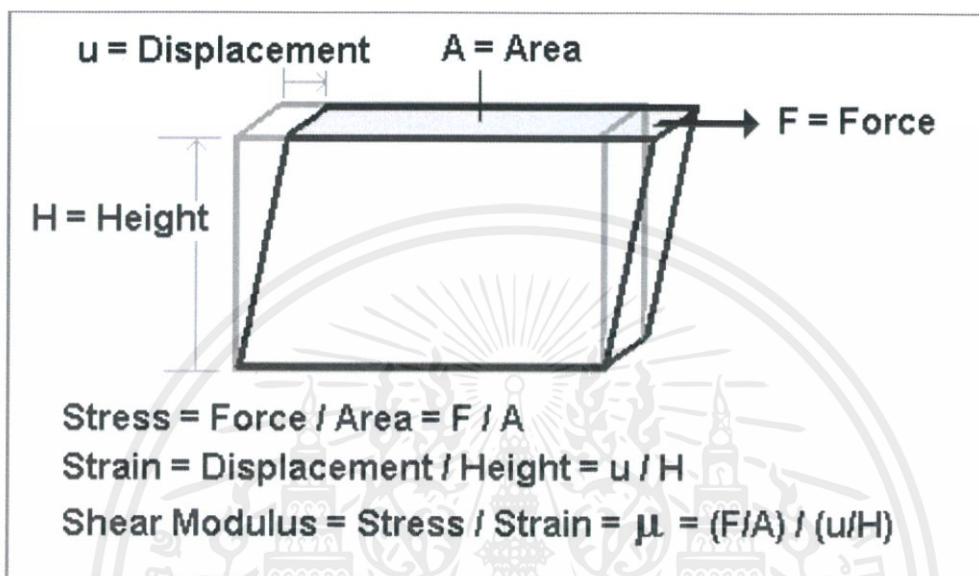
รูปที่ 3.40 ลักษณะการแตกแรงโดยใช้มุมที่เกิดขึ้นระหว่างค้อนบดหินปูนทั้ง 8 ก้อน

โดยจะทำการคำนวณแรงที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของแรงของค้อนบดหินปูนทั้ง 8 ก้อน โดยใช้ทฤษฎีการแตกแรงและแรงลัพธ์ในแนวแกนแรง และได้ทำการเขียนโปรแกรมทำการสูมน้ำหนักโดยจะมีความความแตกต่างกันอยู่ในช่วง บวก และ ลบ 0.2 กิโลกรัม (หากเกินกว่านี้ก็จะถึงว่าค้อนบดหินปูนที่ทำการสร้างมานั้นไม่ได้มาตรฐานและไม่แนะนำให้ใช้งานจริง) โดยทำการเขียนโปรแกรมสูมทั้งหมด 500 รูปแบบ หมายความว่า จะต้องมั่วทั้งหมด 20,160,000 กรณีในการคำนวณ ใช้สำหรับการหาค่าแรงกระทำสูงสุดที่เป็นไปได้ไว้ใช้สำหรับการออกแบบและเลือกสลักสำหรับการใช้งานจริง โดยที่น้ำหนักที่ตั้งไว้เป็นมาตรฐานคือ 3.48 กิโลกรัม และได้แรงสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 60 กิโลนิวตัน โดยค้อนบดหินปูนต้นแบบนั้นมีสลักอยู่ 3 ชั้นซึ่งคิดโดยสมมุติว่าแต่ละอันรับแรงเท่าๆกันจะได้ 60 ทาร 3 หรือแต่ละอันจะรับแรง 20 กิโลนิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.13 การวิเคราะห์การออกแบบสลัก

การคำนวณการออกแบบของสลักนั้นจะคำนวณค่าความเค้นเฉือนเป็นหลักซึ่งเป็นแรงที่สลักจำเป็นต้องรับมากที่สุด ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 ภาพแสดงลักษณะของแรงเฉือน

ที่มา: [www.gummy-stuff.org](http://www.gummy-stuff.org)

จากสลักเกลียวหัวฝั่งเตเปอร์ เอ็ม 12 x 1.75 มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุดอยู่ที่ 12 มิลลิเมตร (ค่ารัศมีเป็น 6 มิลลิเมตร) ส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนอยู่ที่ 176.838 เมกะปาสกาล หรือ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร แต่เนื่องจากทำการคาดการณ์ว่าหากสลักเกิดความเสียหายและ/หรือเหลือสลักแค่เพียงตัวเดียวจะต้องรับแรงไว้ให้ได้ดีที่สุดนั้นหมายความว่า จะทำการคาดการณ์แรงรับโดยให้สลัก 1 อันรับแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมด คือ สลักจะต้องรับแรง 60 กิโลนิวตัน ต่อ สลัก 1 อัน ส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนอยู่ที่ 530.516 เมกะปาสกาล หรือ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จากนั้นได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของสลัก 3 ชนิด คือ คลาส 8.8, 10.9 และ 12.9 (class 8.8, class 10.9 and class 12.9) โดย คลาส 8.8, คลาส 10.9 และ คลาส 12.9 รับค่าความเค้นแนวเฉือนได้ ประมาณ 400, 510 และ 700 เมกะปาสกาล ตามลำดับ นั้นหมายความว่า มีสลักที่ใช้งานได้คือ 12.9 เท่านั้น โดยกรณีนี้จะเป็น สลักเกลียวหัวฝั่งเตเปอร์เกลียวตลอด เนื่องจาก การคำนวณของได้ทำการคิดค่าความเผื่อลงไปด้วย ในความจริงแล้วสามารถใช้ สลักเกลียวหัวฝั่งเตเปอร์เกลียวตลอด ได้ทั้ง 3 คลาส แต่แนะนำให้ใช้ คลาส 10.9 และ คลาส 12.9 จะเพิ่มความปลอดภัยขึ้นและเนื่องจากเหตุผลนี้เองได้ทำการออกแบบลักษณะของสลักเกลียวหัวฝั่งเตเปอร์เกลียวไม่ตลอดตามแบบ GLS99-01-01 เพื่อเป็นการช่วยรับแรงของสลักเกลียวหัวฝั่งเตเปอร์ให้ดียิ่งขึ้นดังนั้นจึงได้ออกแบบสลักลักษณะดังรูปที่ 3.42 เป็นสลักที่จะใช้สำหรับการประกอบค้อนบดหินปูนและใกล้เคียงตามแบบ GLS99-01-01 โดยเป็นขนาดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาได้โดยทั่วไปและอีกส่วนหนึ่งคือส่วนของสลักโดเวลเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร โดยแรงที่กระทำกับสลักโดเวลจากการคาดการณ์ค่าความเค้นนั้น คือ 60 กิโลนิวตัน เช่นกันทำให้ค่าความเค้นเฉือนที่สลักโดเวลจะต้องรับอยู่ที่ 298.415 เมกะปาสกาล โดยได้ทำการเขียนแบบการสร้างสลักโดเวลตามแบบ GLS01-01-04 โดยได้เสนอให้ใช้วัสดุที่แข็งและรับแรงได้มากกว่า 500 เมกะปาสกาลให้ทางผู้ผลิตทำการผลิตสลักโดเวลนี้ขึ้นมากเพื่อให้มีคุณสมบัติรับแรงมากกว่าการคำนวณมากกว่าที่คำนวณเนื่องจากได้คาดการณ์ว่าหากมีวัสดุอื่นๆกระทำกับตัวของค้อนบดหินปูนนั้นตัวสลักโดเวลจะต้องรับได้ความเสียหายน้อยที่สุดเพื่อเป็นกับป้องกันการแตกหักของสลักโดเวลซึ่งโดยทั่วไปแล้วสลักโดเวลจะมีค่าความแข็งแรงสูงมาก

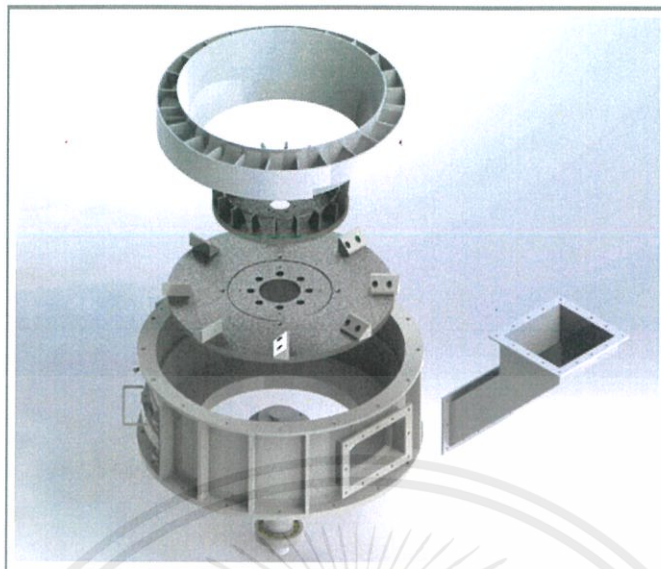


รูปที่ 3.42 สลักเกลียวหัวฝั่งเตเปอร์เกลียวไม่ตลอด คลาส 12.9

### 3.14 ส่วนประกอบของเครื่องจักรบดหินปูนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผล

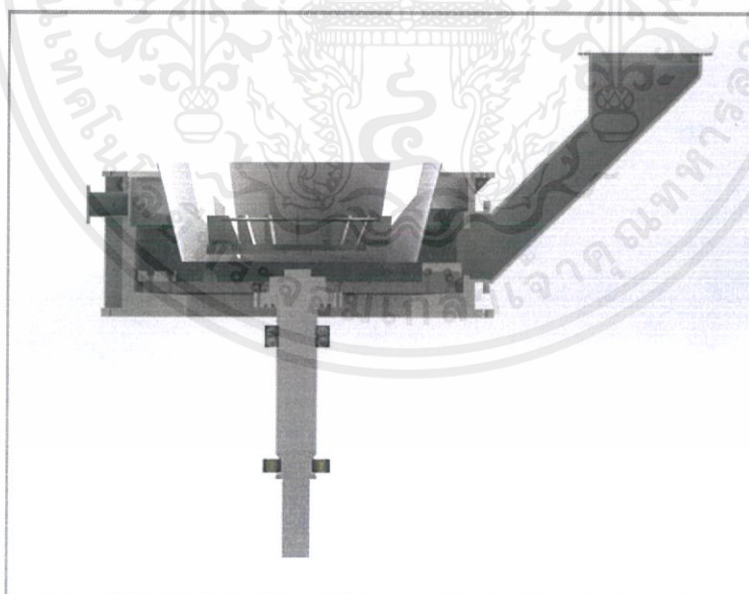
ส่วนประกอบของเครื่องจักรบดหินปูนนี้ใช้สำหรับการออกแบบการประกอบงานจริงและวิเคราะห์งานจริงซึ่งจะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานนั้นสามารถเข้าใจได้โดยง่ายและส่งผลให้สามารถตรวจสอบขั้นตอนและวิธีการได้โดยง่ายซึ่งสามารถทราบส่วนประกอบต่างๆได้จากรูปที่ 3.43 และสามารถทราบโครงสร้างภาพในเครื่องบดหินปูนหลังการประกอบได้จากรูปที่ 3.44 ซึ่งรูปที่ 3.43 และ 3.44 เป็นรูปที่สร้างขึ้นจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ซึ่งสร้างจากการวัดส่วนประกอบต่างๆจากวัตถุจริงทำให้รูปที่ 3.43 และ 3.44 นั้นใกล้เคียงกับเครื่องจักรจริงเป็นอย่างมากด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดโดยไม่จำเป็นต้องเปิดเครื่องจักรจริงสำหรับการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.43 ส่วนประกอบของเครื่องบดหินปูนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

จากรูปที่ 3.43 ได้ทำการลอกแบบเครื่องบดหินปูนในส่วนที่คาดการณ์ว่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการบดของค้อนบดหินปูนเพื่อใช้ช่วยสำหรับวิเคราะห์ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นและช่วยในการคาดการณ์ลักษณะปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น



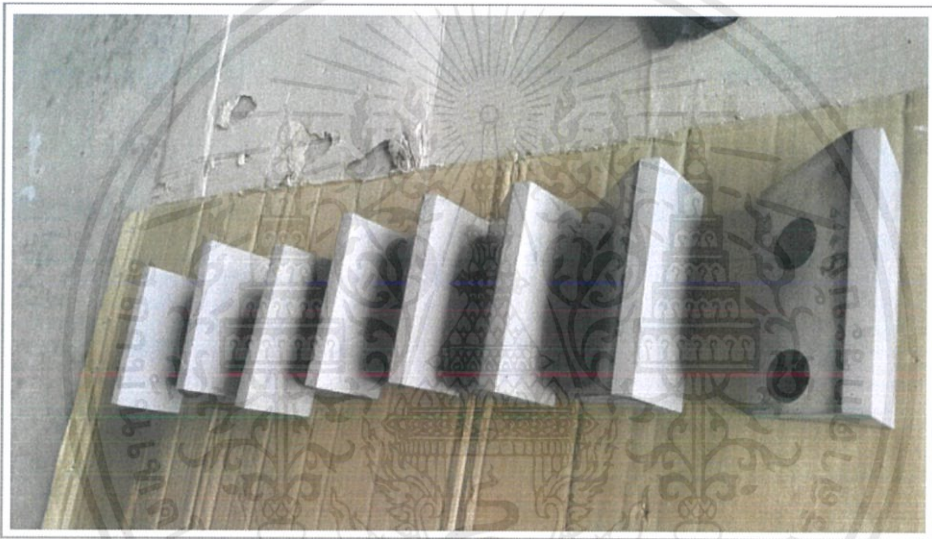
รูปที่ 3.44 ภายในของส่วนประกอบของเครื่องบดหินปูนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

จากรูปที่ 3.44 จะทำให้สามารถเข้าใจการทำงานของเครื่องและลักษณะการบดหินปูนได้ดียิ่งขึ้น โดยจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบภายในของเครื่องบดหินปูนโดยแสดงให้เห็นได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชี้ว่า ค้อนบดหินปูนนั้นจากอยู่ส่วนใดของระบบและแสดงระยะหรือลักษณะของส่วนประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้องภายในหลังทำการประกอบ

### 3.15 ลักษณะของค้อนบดหินปูนที่ทำการสร้างขึ้น

หลังจากทำการออกแบบและทำการผลิตค้อนบดหินปูนโดยการเคลือบวัสดุ ทั้งสแตนคาร์ไบด์ ด้วยวิธี HVOF หรือ High Velocity Oxygen Fuel ดังรูปที่ 3.45 และแสดงลักษณะการประกอบค้อนบดหินปูนโดยมีสลักโดเวลดังรูปที่ 3.46 จากนั้นทำการทดสอบสมดุลงรูปที่ 3.47 และ ประกอบเครื่องจริงดังรูปที่ 3.48 และ 3.49

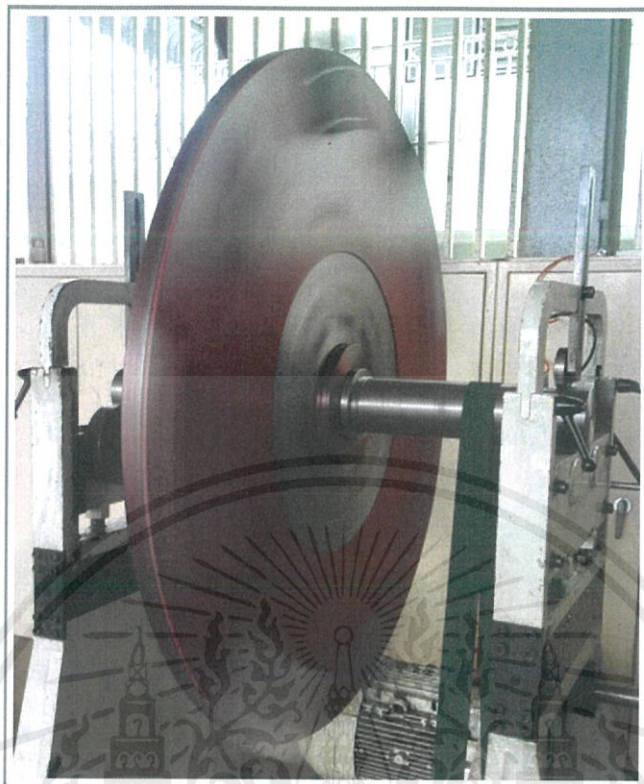


รูปที่ 3.45 ลักษณะวัสดุค้อนบดหินปูนที่ทำการเคลือบที่ผิวหน้าด้วย ทั้งสแตนคาร์ไบด์



รูปที่ 3.46 ลักษณะการประกอบค้อนบดหินปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.47 ลักษณะการทดลองและทำสมดุลก่อนใช้งานจริง



รูปที่ 3.48 ลักษณะการประกอบของค้อนบดหินปูนกับตัวขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.49 ลักษณะการประกอบเครื่องบดหินปูน

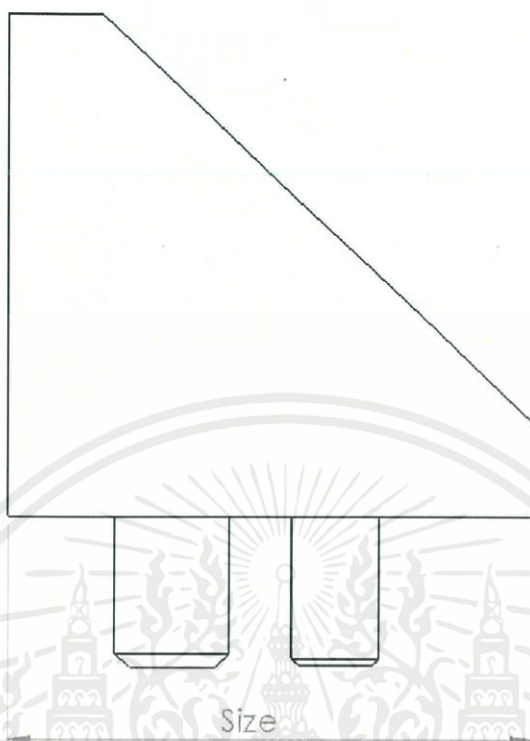
### 3.16 ส่วนที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ผล

ส่วนที่จะนำมาสำหรับวิเคราะห์จะเป็นส่วนของข้อมูลที่ได้จากหน้าต่างควบคุมและแสดงผลของเครื่องจักรดังรูปที่ 3.50 และ ส่วนขนาดของค้อนบดหินปูนที่สามารถวัดได้ดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.50 หน้าต่างควบคุมและแสดงผลของเครื่องบดหินปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.51 ส่วนที่วัดเพื่อนำผลมาทำการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรม

จากรูปที่ 3.50 จากแสดงให้ทราบถึงข้อมูลหรือลักษณะการทำงานของเครื่องบดหินปูนและจากรูปที่ 3.51 จะเป็นขนาดของค้อนบดหินปูนที่จะทำการวัดและนำผลนั้นมาวิเคราะห์โดยจะวิเคราะห์สองเหตุผลหลัก คือ

1) รูปทรงที่เปลี่ยนแปลงไปต่อจำนวนการบด หรือ จำนวนวันที่ใช้งาน เพื่อทำการคาดการณ์อายุการใช้งานและนำผลมาช่วยสำหรับการอ้างอิงหรือเปรียบเทียบกับผลที่ทำการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ หากใกล้เคียงกันก็สามารถอธิบายสิ่งที่อาจจะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคตได้

2) เพื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของวัสดุทั้งวัสดุที่ทำการเคลือบและวัสดุที่ถูกเคลือบเพื่อหาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของวัสดุนั้นได้

นอกจากสองเหตุผลขั้นต้นจะทำการวิเคราะห์หาประโยชน์ของสลักโดเวลและสลักเกลียวหัวฝั่งเตเปอร์เกลียวไม่ตลอด คลาส 12.9 ซึ่งใช้ภาพถ่ายสำหรับการวิเคราะห์เนื่องจากไม่สามารถนำเครื่องมือวัดเข้าไปวัดโดยละเอียดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการปฏิบัติงาน

#### 4.1 ข้อเสนอสำหรับการทดสอบระบบ

จากการคำนวณและวิเคราะห์ขั้นต้นก่อนทำการสร้างชิ้นงานจริงจากข้อที่ 3.6 นั้นทำให้ได้ทำการเสนอให้กับทางผู้ประกอบการทำการทดสอบตามข้อเสนอแนะนี้

คือ

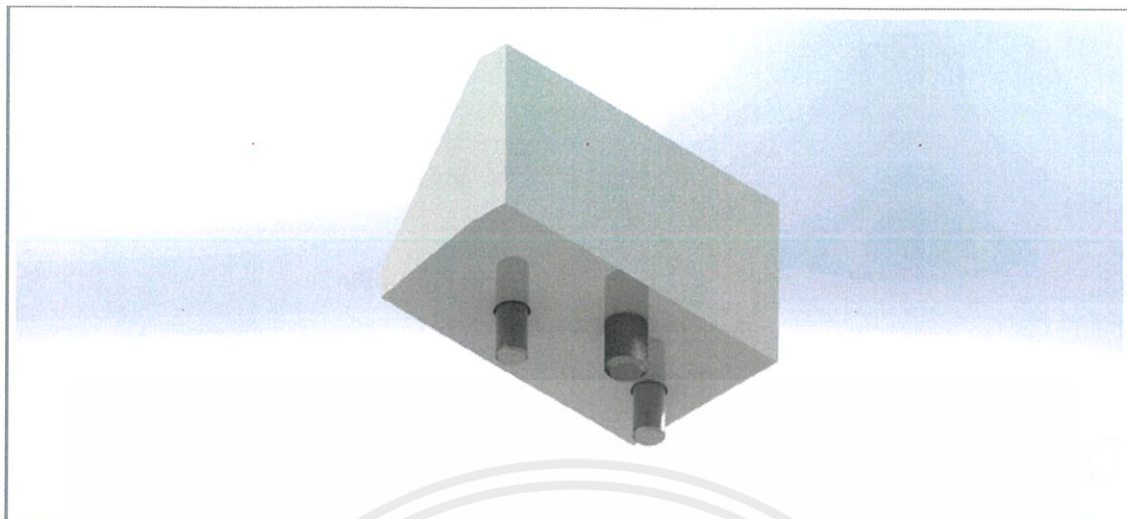
- 1) ให้ใช้ค้อนต้นแบบตามแบบ GLS01-01-02\_A1 และ GLS01-01-02\_B1 (ภาคผนวก ก.) โดยใช้วัสดุฐานเป็น S45C และทำการเคลือบค้อนบดหินปูนต้นแบบด้วย ทังสเทนคาร์ไบด์ (Tungsten carbide) โดยมีความหนาน้อย 1 มิลลิเมตร
- 2) ห้ามไม่ให้ทำการเชื่อมไฟฟ้าใดๆ
- 3) ให้ใช้สลักโดเวลในการประกอบค้อนบดหินปูน
- 4) ให้ใช้สลักเกลียวหัวฝิ่งเตเปอร์เกลียวไม่ตลอด

ซึ่งจากข้อเสนอแนะขั้นต้นจะเป็นไปดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

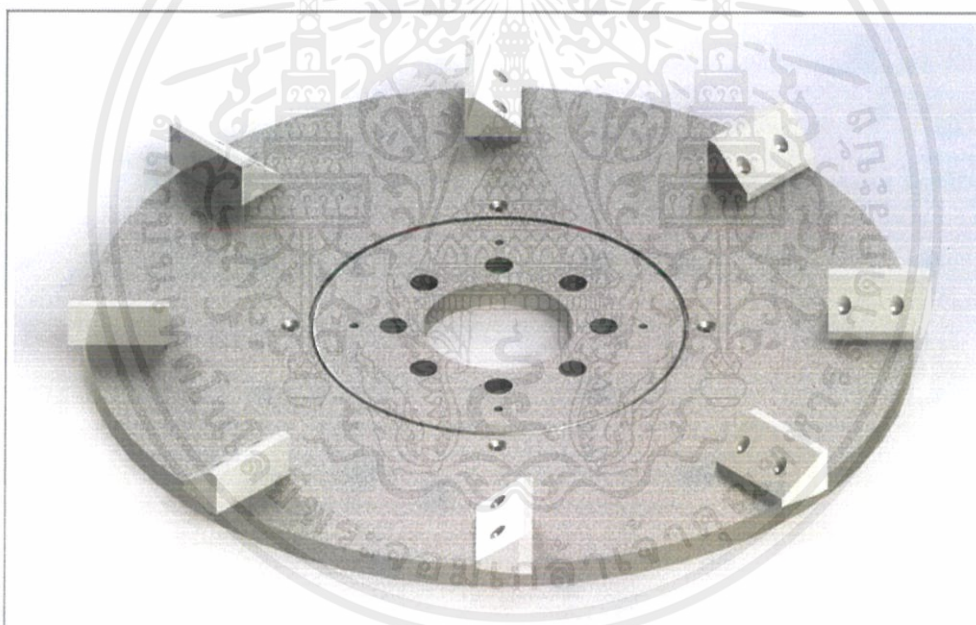


รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบที่ได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 มุมมองด้านล่างของลักษณะของค้อนบดหินปูนที่ทำการออกแบบ

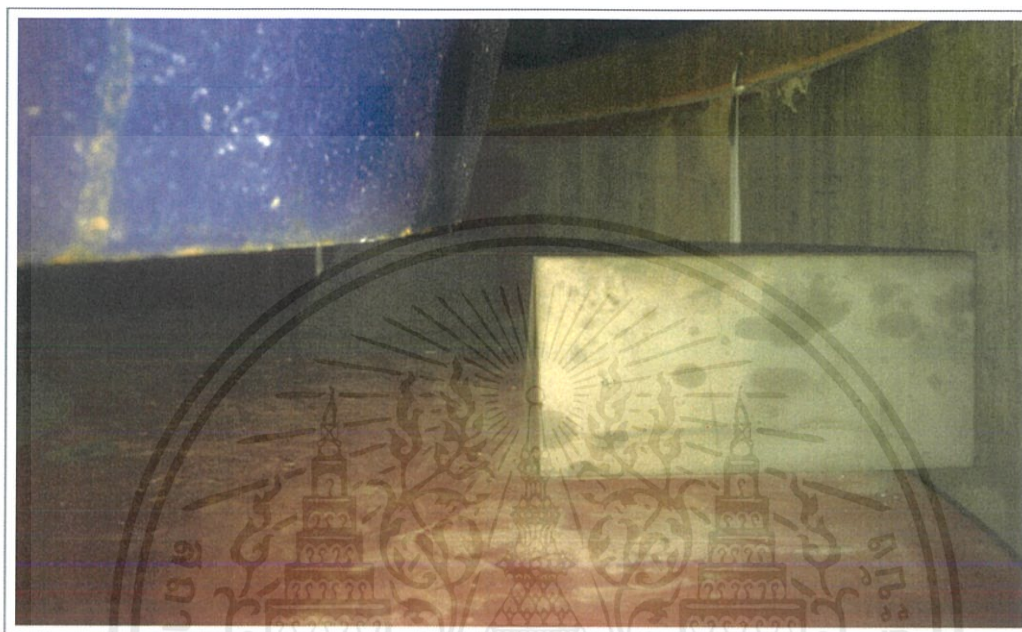


รูปที่ 4.3 ลักษณะของค้อนบดหินปูนที่ทำการออกแบบและแก้ไขตามเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การวิเคราะห์ผลของระบบหลังประกอบงาน

โดยนับวันเวลาจากการเริ่มทำการบดครั้งแรก ณ วันที่ 10 ตุลาคม 2558 เวลาประมาณ 19.40 น. และ เรืองนับจำนวนตันที่ทำการบด เริ่มต้นที่ 852 ตัน ซึ่งลักษณะเป็นดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลักษณะของค้อนบดหินปูนที่ทำการประกอบเสร็จสมบูรณ์

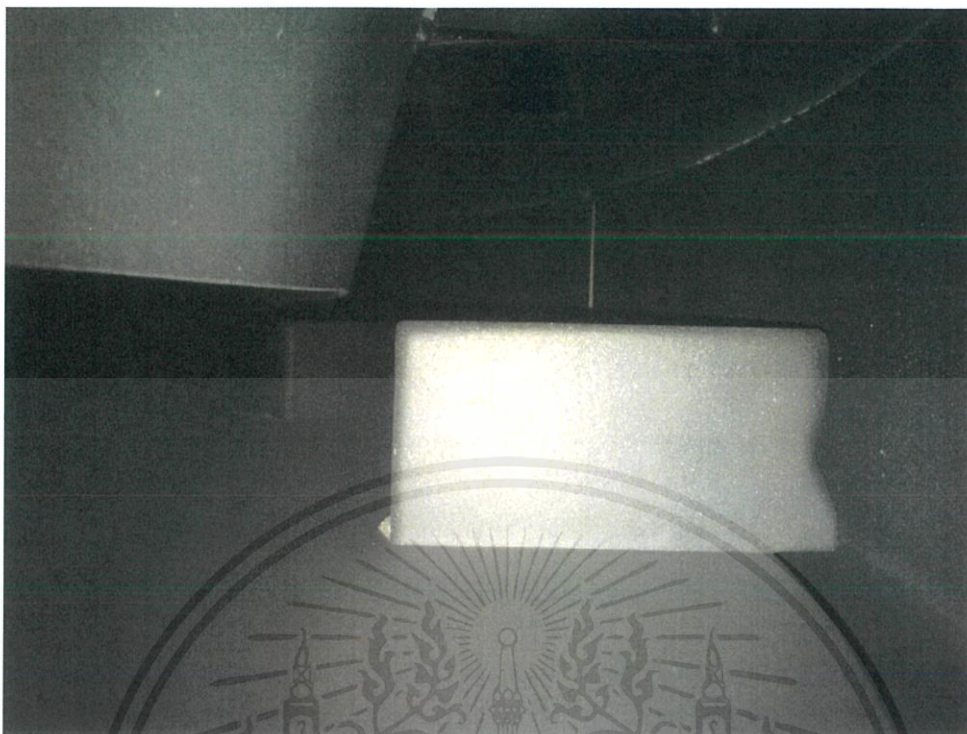
ขนาดที่วัดจากด้านข้าง ได้ค่าประมาณ 75 มิลลิเมตร โดยเฉลี่ยจากค้อนบดหินปูนทั้ง 8 ก้อน การตรวจสอบผลของการทำงานของค้อนบดหินปูนโดยให้ความสำคัญการสองสิ่งคือ ขนาดหรือลักษณะของหินปูนที่ผ่านการบดและสภาพของค้อนบดหินปูน

### 4.2.1 ผลหลังจากใช้งานประมาณ 6 วัน

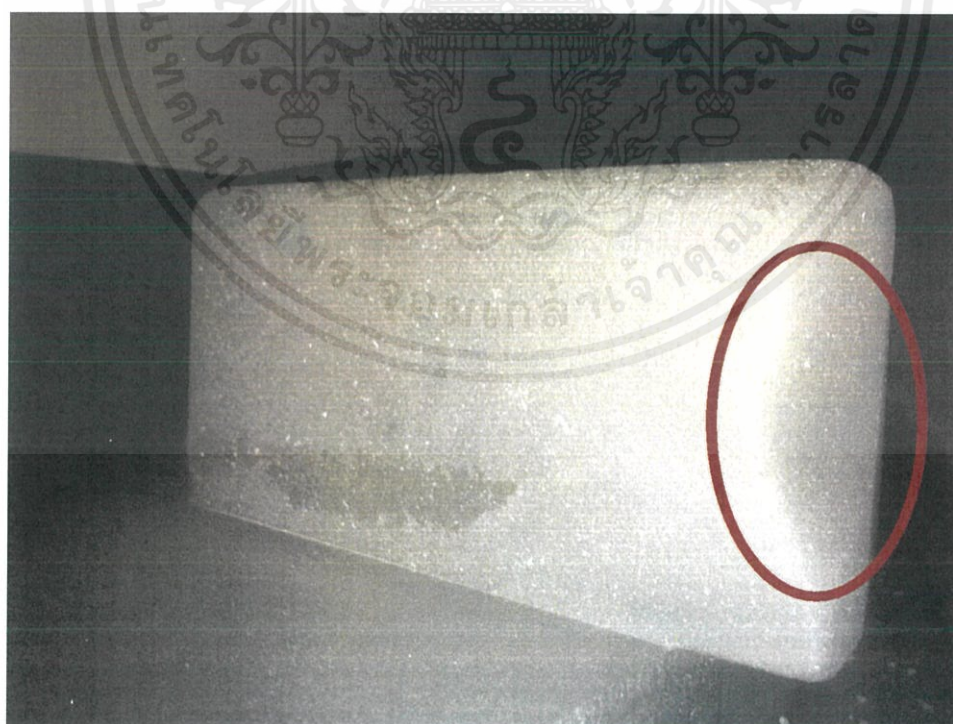
#### 4.2.1.1 ผลของจากทำการตรวจสอบครั้งที่ 1

ผลจากการตรวจสอบครั้งแรกวันที่ 15 ตุลาคม 2558 เวลาประมาณ 10.00 น. จำนวนตันอยู่ที่ 1316 ตัน (บดไป 464 ตัน) ซึ่งลักษณะเป็นดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 โดยขนาดที่วัดจากด้านข้าง ได้ค่าประมาณ 69 มิลลิเมตร โดยเฉลี่ยจากค้อนบดหินปูนทั้ง 8 ก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ลักษณะก้อนบดหินปูน ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2558

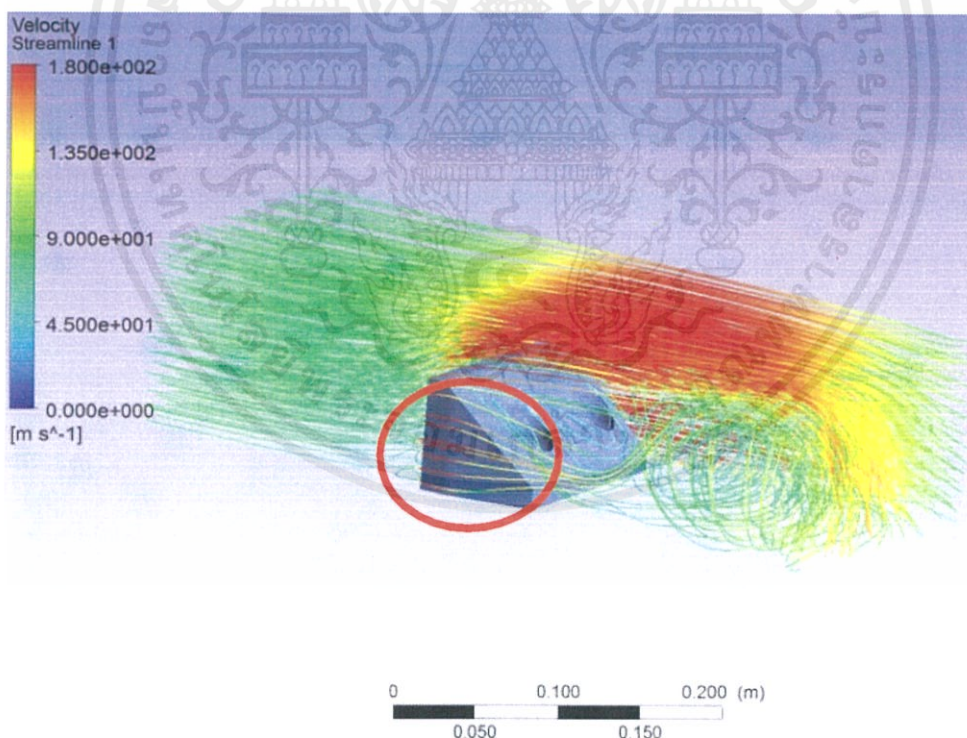


รูปที่ 4.6 ลักษณะจุดที่เกิดการสีกกร่อนก้อนบดหินปูน ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

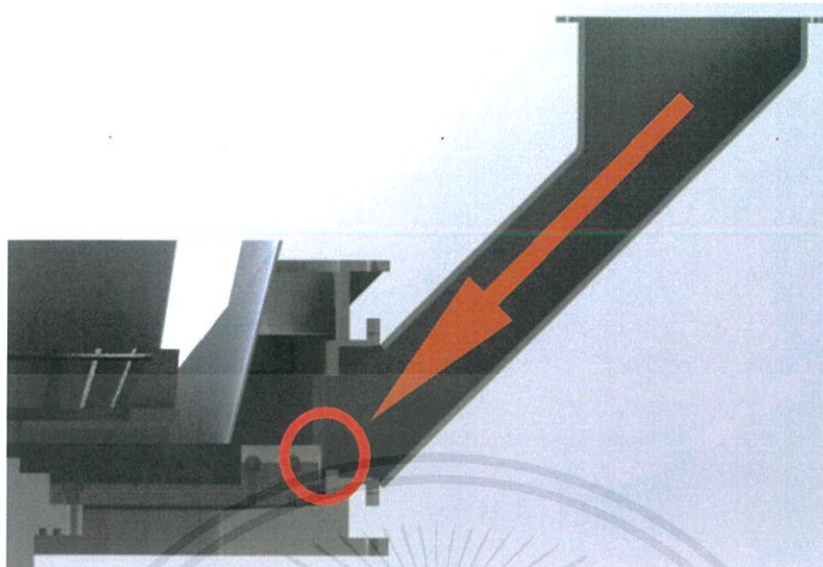
#### 4.2.1.2 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจสอบครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.6 ในส่วนของวงกลมสีแดงเกิดการสีกกร่อนขึ้นอย่างมาก แต่ในส่วนอื่นยังคงสภาพอยู่โดยส่วนที่เกิดการสีกกร่อนเป็นไปตามลักษณะตามภาพ รูปที่ 3.20 และ 3.23 ที่ได้ทำการคำนวณไว้ก่อนหน้านี้ได้ทำการหาสาเหตุถึงการเกิดการสีกกร่อนในส่วนของวงกลมสีแดงโดยได้คาดการณ์สองเหตุผลหลัก คือเป็นลักษณะจากรูปแบบการไหลของอากาศดังรูปที่ 4.7 และสองเกิดจากการส่งวัสดุเข้าสู่กระบวนการบัดหีนปูนที่อยู่นอกเหนือการคำนวณดังรูปที่ 4.8 โดยเริ่มต้นจากสาเหตุแรกคือการไหลของอากาศโดยทำการวิเคราะห์โดยละเอียดอีกครั้งได้ว่าเป็นรูปแบบการไหลของอากาศทำให้เกิดลักษณะการสีกกร่อนเช่นในวงกลมสีแดง แต่ยังคงทำการวิเคราะห์วัสดุอื่นนอกเหนือการคำนวณเพิ่มเข้ามา โดยทำการตรวจสอบจากตัวอย่างที่ทำการเก็บก่อนหน้านี้ที่จะใส่ค้อนบัดหีนปูนที่ได้ทำการออกแบบนี้โดยที่วันที่ทำการเก็บตัวอย่างมา คือวันที่ทำการยกเปลี่ยนค้อนบัดหีนปูนที่ใช้งานก่อนหน้านี้ค้อนที่ได้ทำการออกแบบลอกแบบมาจากค้อนต้นแบบจากรูปที่ 4.7 การไหลของอากาศจะเป็นการไหลเป็นเส้นตรงจึงยังไม่สามารถอธิบายได้ในทุกสาเหตุแต่เนื่องจากในวงกลมสีแดงจะสามารถบอกได้ว่าจะเกิดการสีกกร่อนบริเวณด้านข้างของค้อนบัดหีนปูนได้โดยเป็นความสูงเดียวกันกับการสีกกร่อนที่เกิดขึ้นกับรูปที่ 4.8 ทำให้เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดการสีกด้านข้างของค้อนบัดหีนปูน



รูปที่ 4.7 ลักษณะการไหลของอากาศที่กระทำกับค้อนบัดหีนปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

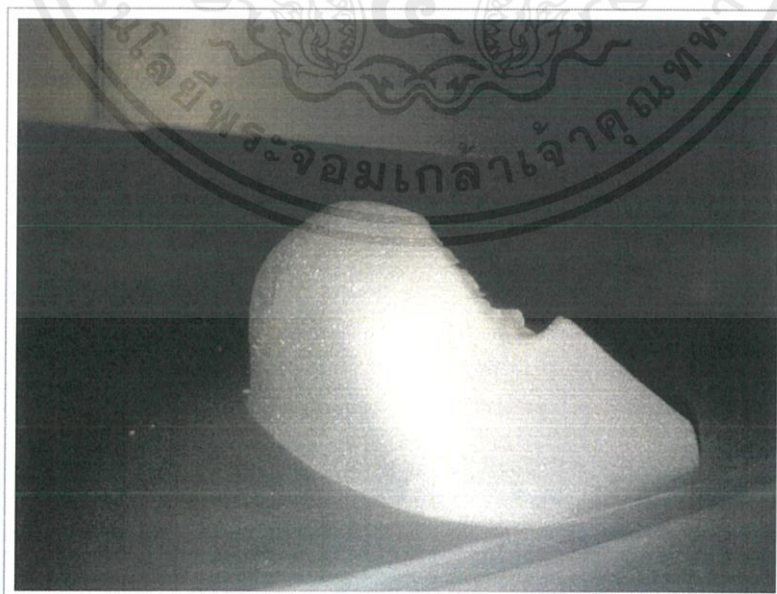


รูปที่ 4.8 จุดที่หินปูนจะกระทำกับค้อนบดหินปูนขณะที่เข้าสู่ระบบการบดหินปูน

#### 4.2.2 ผลหลังจากใช้งานประมาณ 13 วัน

##### 4.2.2.1 ผลที่ได้จากการตรวจสอบครั้งที่ 2

ทำการตรวจสอบครั้งที่ 2 ณ วันที่ 22 ตุลาคม 2558 เวลาประมาณ 10.00น. ซึ่งลักษณะเป็นดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 สภาพค้อนบดหินปูน ณ วันที่ 22 ตุลาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2.2 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจสอบครั้งที่ 2

ขนาดที่วัดจากด้านข้าง ได้ค่าประมาณ 60 มิลลิเมตร โดยเฉลี่ยจากค้อนบดหินปูน ทั้ง 8 ก้อน จากรูปที่ 4.9 จะเห็นสภาพของค้อนบดหินปูนที่เกิดความรู้สึกร่อนเป็นอย่างมากแต่จะเห็นได้ชัดว่าจะไม่เกิดการสึกกร่อนจากจุดกลางของค้อนบดหินปูนซึ่งด้วยเหตุผลนี้ทำให้สามารถยืนยันความสามารถของการใช้สลักโดเวลขึ้นต้นได้และสามารถที่จะบอกถึงการออกแบบว่าลักษณะรูปทรงนี้สามารถใช้งานได้ดีกว่าซึ่งดูจากสภาพการสึกกร่อนที่ดีกว่าค้อนบดหินปูนที่ใช้งานก่อนหน้านี้แต่ยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าค้อนบดหินปูนที่ทำการทดสอบนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าหรือแย่กว่าค้อนบดหินปูนที่ใช้งานก่อนหน้านี้เนื่องจากขณะที่ทำการทดสอบนั้นได้ มีเงื่อนไขที่แตกต่างกันอยู่ 3 ส่วนหลัก คือ

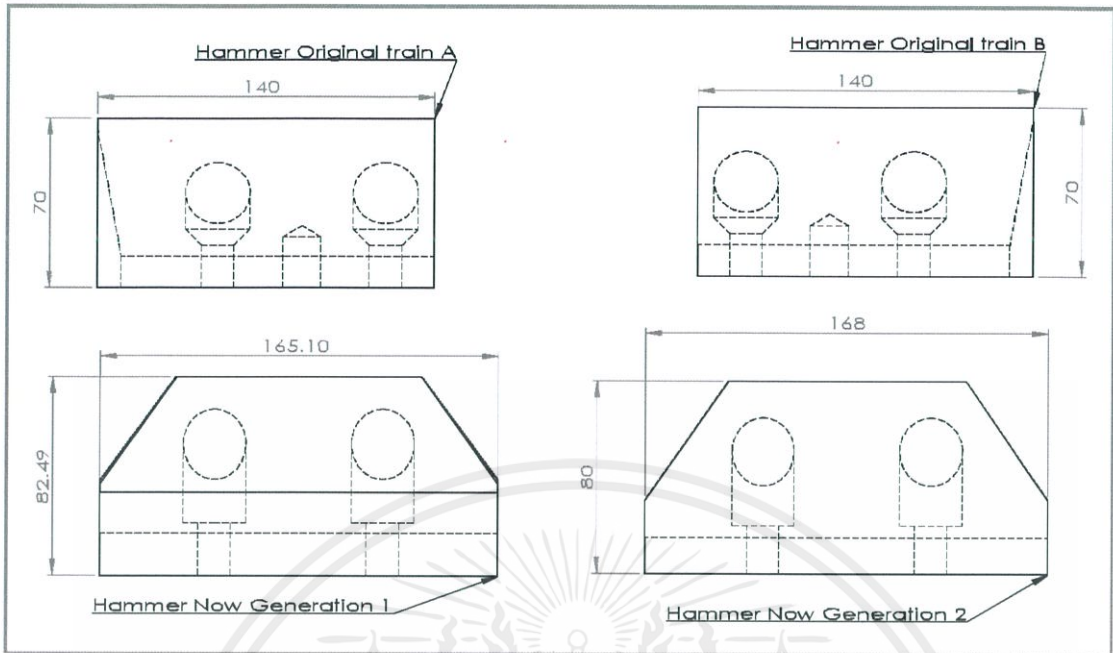
1) ขนาดของค้อนบดหินปูนที่มีขนาดและน้ำหนักที่ไม่เท่ากันแต่สามารถทราบได้เพียงลักษณะของการสึกกร่อนว่าค้อนบดหินปูนที่ได้ทำการแก้ไขนั้นมีลักษณะการใช้งานที่ดีกว่า แต่เนื่องจากค้อนบดหินปูนที่ใช้งานก่อนหน้านี้มีลักษณะที่ใหญ่กว่าซึ่งน้ำหนักประมาณ 5 กิโลกรัม แต่ค้อนบดหินปูนที่ใช้สำหรับการทดสอบนั้นมีน้ำหนักเพียง 3.4 กิโลกรัมซึ่งหมายความว่าค้อนบดหินปูนประมาณ 7 ใน 10 ของค้อนที่ใช้งานก่อนหน้านี้ ดังรูปที่ 4.10 ค้อนบดหินปูนที่ได้ใช้สำหรับการทดสอบนั้น คือ “Hammer Original train A” และ “Hammer Original train B” ซึ่งค้อนบดหินปูนที่ใช้งานอยู่ก่อนหน้านี้ที่ได้ทำการทดสอบนั้นคือ “Hammer Now Generation 1” และ “Hammer Now Generation 2” จะเห็นได้ว่าขนาดของค้อนนั้นจะมีขนาดที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดโดยขนาดที่ระบุในรูปที่ 4.10 อยู่ในหน่วย มิลลิเมตร

2) ชนิดของหินปูนที่ใช้สำหรับการบดมีความแตกต่างกัน ซึ่งจากเดิมวัสดุที่ใช้ในการบดคือ หินปูน(Limestone) แร่แคลไซต์ (Calcite) แต่ขณะที่ได้ทำการทดสอบค้อนบดหินปูนนั้นได้มีการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการบดเป็น แร่โดโลไมต์ (Dolomite) สามารถดูค่าความแข็งได้จากรูปที่ 3.37 โดย แร่แคลไซต์ คือ limestone1 ส่วนแร่โดโลไมต์ คือ limestone2 และ limestone3 ซึ่งจะมีค่าความแข็งที่สูงกว่ามาก และหินที่ใช้สำหรับการทดสอบนั้นมีลักษณะแหลมคมซึ่งส่งผลสึกกร่อนเป็นอย่างมาก

3) สภาพอากาศในขณะทำการทดสอบ เนื่องจาก เป็นช่วงฤดูฝน ทำให้หินปูนที่จะทำการบดนั้นจะมีความชื้นสูงมากยิ่งขึ้นส่งผลให้เกิดการสึกกร่อนได้มากยิ่งขึ้น และจากการคาดการณ์อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายกับส่วนอื่นๆของเครื่องจักรมากขึ้นกว่าปกติ (ภาคผนวก ข.) โดยหินปูนนั้นจะมีลักษณะที่เปียกหรือมีความชื้นมากส่งผลให้หินปูนเกิดการอุดตันภายในระบบทำให้หินปูนที่ทำการบดแล้วนั้นไม่สามารถออกจากเครื่องบดหินปูนได้ส่งผลให้เกิดความเสียหายมากขึ้นกับเครื่องบดหินปูนและค้อนบดหินปูน ดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.17

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่ากรอบของเครื่องบดหินปูนแบบบดละเอียดนั้นเกิดการทะลุทำให้หินปูนที่ทำการบดนั้นหลุดออกจากตัวเครื่องตามภาพ รูปที่ 4.12 ทำให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมากต่อการบดและยังส่งผลให้ไม่สามารถนำปริมาณที่ทำการบดมาทำการคำนวณต่อได้เนื่องจากไม่สามารถทราบได้ว่าปริมาณของหินปูนที่ออกมาจากระบบมีปริมาณมากน้อยเพียงใดและที่ค้างอยู่ในระบบไม่สามารถออกไปจากระบบได้มีมากน้อยเพียงใดทำให้สามารถวัดได้เพียงขนาดของค้อนบดหินปูนและคุณภาพของหินปูนที่ได้ออกมาเทียบกับจำนวนวันที่ใช้งานเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

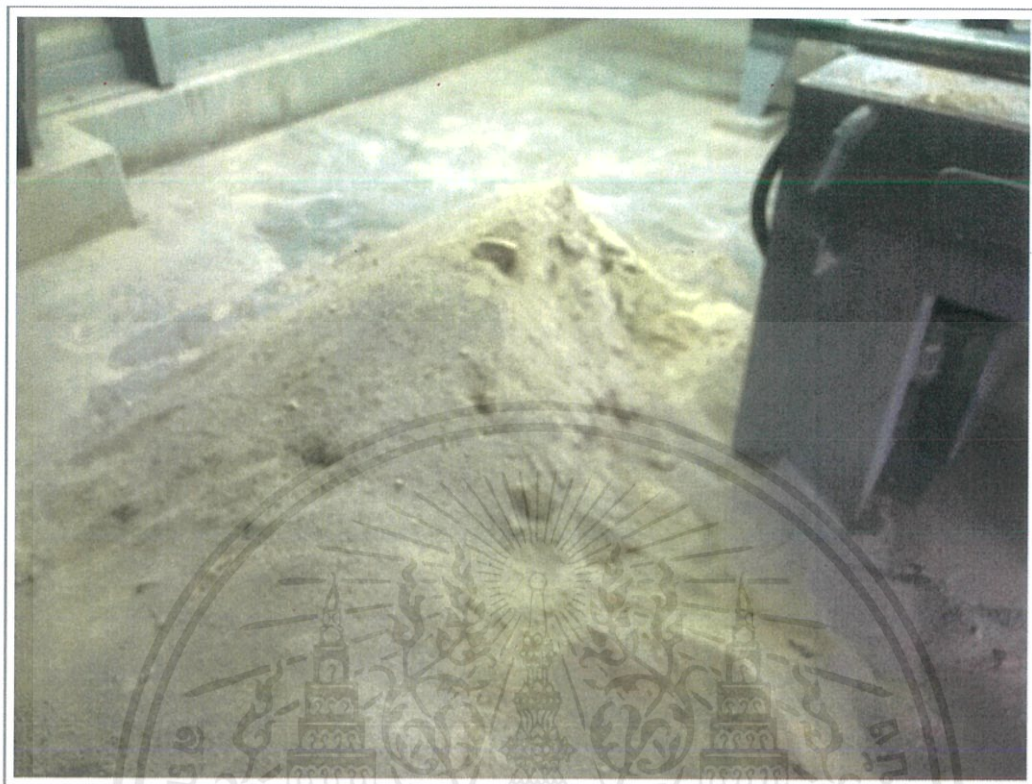


รูปที่ 4.10 ขนาดของค้อนบดหินปูนที่ใช้งาน



รูปที่ 4.11 ความเสียหายของกรอบ หรือ Casing ของค้อนบดหินปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 หินปูนที่ได้ทะลุออกจากเครื่องบดหินปูน



รูปที่ 4.13 หินปูนที่อุดตันในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้