การวิเคราะห์การใช้พลังงานของการตัดแผ่นหินอ่อนและหินแกรนิต : กรณีศึกษา

น.ส.ทิชากร โพธิ์นรินทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Energy Consumption Analysis Of Marble And Granite Slabs Cutting: A Case Study

Miss Thichakorn Phonarin

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
Inter-Department of Energy Technology and Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	การวิเคราะห์การใช้พลังงานของการตัดแผ่นหินอ่อนและหินแกรนิต : กรณีศึกษา
โดย	น.ส.ทิชากร โพธิ์นรินทร์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทิชากร โพธิ์นรินทร์ : การวิเคราะห์การใช้พลังงานของการตัดแผ่นหินอ่อนและหินแกรนิต : กรณีศึกษา. (Energy Consumption Analysis Of Marble And Granite Slabs Cutting: A Case Study) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

หินอ่อนและหินแกรนิต เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มวัสดุก่อสร้าง เพราะมีความสวยงาม คงทนและสะดวกต่อการดูแลรักษา ซึ่งการจะได้มาซึ่งแผ่นหินที่ใช้ตกแต่งได้นั้น จะต้องนำแผ่นหินขนาดใหญ่ (Slabs) มาตัดตามขนาดที่ต้องการเสียก่อน เนื่องจากหินทั้งสองชนิดมีความแข็งที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องใช้ความเร็วในการตัด ความเร็วรอบของใบเลื่อย รวมทั้งขนาดของใบเลื่อยที่ต่างกัน สำหรับโรงงานที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ การตัดหินแต่ละชนิดจะใช้พารามิเตอร์ต่างกัน สำหรับหินอ่อน จะใช้ความเร็วรอบของใบเลื่อยอยู่ที่ 2,700 rpm ความเร็วในการตัดอยู่ที่ 1, 2 และ 3 เมตรต่อนาที ใบเลื่อยที่ใช้ตัดจะอยู่ที่ 12 นิ้ว และใช้หินอ่อน Rosso Levanto ในการทดสอบ สำหรับหินแกรนิต ใช้รอบการหมุนของใบเลื่อยอยู่ที่ 1,700 rpm ความเร็วในการตัดอยู่ที่ 1, 2 และ 2.5 เมตรต่อนาที และใช้หินแกรนิตดำอินเดียในการทดสอบ จากการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าขณะตัดแผ่นหินเพื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า พบว่าใช้กำลังไฟฟ้าขณะที่ตัดอยู่ที่ 21.13, 21.34 และ 24.36 กิโลวัตต์ (kW) ตามลำดับความเร็วที่ใช้ตัด และสามารถคำนวณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อการตัดแผ่นหินอ่อน 1 สแลบ อยู่ที่ 8.25, 4.19 และ 3.30 หน่วย ตามลำดับ และเมื่อทดสอบกับหินแกรนิตดำอินเดีย พบว่าใช้กำลังไฟฟ้าขณะที่ตัด อยู่ที่ 19.48, 20.29 และ 20.95 กิโลวัตต์ (kW) และหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อการตัดแผ่นหินแกรนิต 1 สแลบ อยู่ที่ 7.50, 3.95 และ 3.32 ตามลำดับ เมื่อนำค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงงานมาคำนวณคาดการณ์ในการตัดแผ่นหินใน 1 ปี พบว่า หากตัดแผ่นหินอ่อนด้วยความเร็ว 3 เมตรต่อนาที จะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการตัดด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที ถึง 65,488.74 บาท หรือประมาณ 60.01% และหากตัดแผ่นหินแกรนิตด้วยความเร็ว 2.5 เมตรต่อนาที สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าการตัดด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที ถึง 51,487.06 บาท หรือประมาณ 55.75%

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6382014520 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORD: Marble, Granite, Bridge Cutter Machine

Thichakorn Phonarin : Energy Consumption Analysis Of Marble And Granite Slabs Cutting: A Case Study. Advisor: Asst. Prof. THITISAK BOONPRAMOTE, Ph.D.

Marble and granite are popular materials among construction industry, because it is beautiful, durable and easy to maintain. To prepare stone slabs that can be used, first, bring a large stone slab to cut to the smaller size. Since the two types of stone have different hardness, the parameter of the cutting speed, the speed of motor including the saw blade sizes would be different. In this case, the two type of natural stones are using different parameters. For marble, the motor is 2,700 rpm and the cutting speeds are 1, 2 and 3 meters per minute. The saw blade size of marbles is 12 inches and the marble for using in this case is Rosso Levanto marble. For granite, the motor is 1,700 rpm and the cutting speeds are 1, 2 and 2.5 meters per minute. The saw blade size of marbles is 14 inches and the marble for using in this case is India Black granite. From the experiment of measuring while cutting the marble slab to calculate the power factor it was found that the power consumption while cutting the marble slab are 21.13, 21.34 and 24.36 kilowatt (kW) respectively. The calculation for unit of electricity used per marble slab cutting is 8.25, 4.19 and 3.30 unites respectively. For the granite slab cutting process, the experimental method is the same as experimenting with the marble, and it was found that the power consumption while cutting the granite slab are 19.48, 20.29 and 20.95 kilowatt respectively. The calculation for unit of electricity used per marble slab cutting is 7.50, 3.95 and 3.32 unites respectively. And then taking the

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Energy Technology and Management Student's Signature .....

Academic Year: 2022 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางในการจัดทำสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอบขอบพระคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด มาเบิ้ลฮาร์ดแวร์ และบริษัท ธัญญลักษณ์ มาเบิ้ล อินเตอร์เทรด ที่ให้การอนุเคราะห์พื้นที่ อุปกรณ์ และให้คำปรึกษาในการวิจัยชิ้นนี้เป็นอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้องค์ความรู้ ทฤษฎี แนวคิด และให้คำปรึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่เกี่ยวข้อง ครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจและการสนับสนุนมาโดยตลอด

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สารนิพนธ์ชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้า หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ทิชากร โพธิ์นรินทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 3

บทที่ 2 4

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 หินอ่อนและหินแกรนิต 4

2.1.2 หินแกรนิต 5

2.2 กระบวนการผลิตหินอ่อนในโรงงาน 7

2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นหินอ่อนเพื่อนำไปใช้งาน 7

2.2.2 เครื่องตัดแผ่นหิน 9

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการตัดหิน 10

2.3.1 ชนิดของหิน 10

2.3.2 ความเร็วในการตัด 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.3 ความเร็วรอบของใบเลื่อย 11
2.3.4 ขนาดของใบเลื่อย 12
2.4 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 12
2.4.1 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอัตราปกติ 13
2.4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff) 13
2.3 มอเตอร์ (Motor) 14
2.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) 15
2.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) 18
2.4 ระบบไฟฟ้า 19
2.4.2 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 19
2.4.3 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 20
2.5 ค่ากลางข้อมูลและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล 22
2.5.1 ค่าเฉลี่ย (Mean: $\bar{X}$) 22
2.5.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) 22
2.6 เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) 23
2,7 โหลด R, L และ C ต่อค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) 25
2.7.1 โหลดความต้านทาน (Resistive: R) 25
2.7.2 โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductive Load, L) 26
2.7.3 โหลดตัวเก็บประจุ (Capacitive Load, C) 26
2.8 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (Motor Efficiency, eff) 27
2.9 เวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินต่อ 1 สแลบ 28
2.10 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 28
บทที่ 3 30
ระเบียบวิธีวิจัย 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 30
3.1.1 หินที่ใช้ในการทดลอง 30
3.1.2 ความเร็วที่ใช้ในการตัด 30
3.1.3 ความเร็วรอบของใบเลื่อย 30
3.1.3 ขนาดของใบเลื่อยที่ใช้ 31
3.1.4 แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 31
3.1.5 ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ 31
3.1.6 ขนาดที่ตัด 31
3.1.7 จำนวนแผ่นที่ตัด ต่อ 1 ปี 32
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 32
3.3 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตัดแผ่นหิน 33
3.4 ค่าไฟ 34
3.5 คำนวณหาค่า Power Factor 36
3.5 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า 37
3.5 คำนวณหาหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดแผ่นหิน 1 สแลบ 37
บทที่ 4 38
ผลการวิจัย 38
4.1 หินอ่อน 38
4.1.1 วัดกระแสไฟฟ้าจาก Bridge Cutter Machine ขณะตัดแผ่นหินอ่อน 38
4.1.2 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าขณะตัดแผ่นหินอ่อน 39
4.1.3 คำนวณเวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อน 1 แผ่น 39
4.1.3 คำนวณหน่วยการใช้ไฟฟ้า ต่อการตัดหินอ่อน 1 แผ่น 43
4.2 หินแกรนิต 43
4.2.1 วัดกระแสไฟฟ้าจาก Bridge Cutter Machine ขณะตัดแผ่นหินแกรนิต 43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.3 คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะตัดแผ่นหินแกรนิต 44
4.2.4 คำนวณเวลาที่ใช้ในการตัดหินแกรนิตดำอินเดีย จำนวน 1 สแลบ 45
4.2.5 คำนวณหน่วยการใช้ไฟฟ้า ต่อการตัดหินแกรนิต 1 แผ่น 48
4.3 ความแตกต่างของค่าไฟที่ใช้ในการตัดแผ่นหินตามระดับความเร็วที่ใช้ตัด 48
4.3.1 คำนวณค่าไฟในการตัดแผ่นหินหินอ่อน 48
4.3.2 คำนวณค่าไฟในการตัดแผ่นหินแกรนิต 49
บทที่ 5 51
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 51
5.1 สรุปผลการวิจัย 51
5.2 ข้อเสนอแนะ 52
บรรณานุกรม 2
ประวัติผู้เขียน 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับหินอ่อนและหินแกรนิต 12

ตารางที่ 2 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอัตราปกติแบบรายเดือน..... 13

ตารางที่ 3 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้แบบรายเดือน 14

ตารางที่ 4 ผลการวัดกระแสไฟฟ้า จาก Bridge Cutter Machine ที่ตัดแผ่นหินอ่อน..... 38

ตารางที่ 5 ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการตัดแผ่นหินอ่อน 39

ตารางที่ 6 เวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อนขนาด 0.3 เมตร ตามความเร็วทั้งสามระดับ..... 40

ตารางที่ 7 ความเร็วที่แท้จริงที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อนขนาด 0.3 เมตร ตามความเร็วทั้งสามระดับ40

ตารางที่ 8 จำนวนครั้งการเลื่อนผ่านของใบเหลื่อย ในการตัดหินอ่อน Rosso Levanto ตามรูปที่ 22 จำนวน 1 สแลบ 41

ตารางที่ 9 เวลาที่ใช้ตัดหินอ่อน Rosso Levanto จำนวน 1 สแลบ 42

ตารางที่ 10 หน่วยการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการตัดแผ่นหินอ่อน 1 แสลบ 43

ตารางที่ 11 ผลการวัดกระแสไฟฟ้า จาก Bridge Cutter Machine ที่ตัดแผ่นหินแกรนิต 44

ตารางที่ 12 ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย..... 45

ตารางที่ 13 เวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อนขนาด 0.3 เมตร ตามความเร็วทั้งสามระดับ..... 45

ตารางที่ 14 ความเร็วที่แท้จริงที่ใช้ในการตัดแผ่นหินแกรนิตขนาด 0.3 เมตร ตามความเร็วทั้งสามระดับ..... 46

ตารางที่ 15 จำนวนครั้งการเลื่อนผ่านของใบมีด ในการตัดหินแกรนิตดำอินเดีย ตามรูปที่ 23 จำนวน 1 สแลบ..... 46

ตารางที่ 16 เวลาที่ใช้ตัดหินแกรนิตดำอินเดีย จำนวน 1 สแลบ 47

ตารางที่ 17 หน่วยการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย 1 แสลบ..... 48

ตารางที่ 18 ผลค่าไฟฟ้าสำหรับจำนวนการตัดแผ่นหินอ่อนใน 1 ปี..... 49

ตารางที่ 19 ผลค่าไฟฟ้าสำหรับจำนวนการตัดแผ่นหินแกรนิตใน 1 ปี..... 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้งานแผ่นหินอ่อนในการตกแต่ง 1

รูปที่ 2 หินอ่อน Rosso Levanto 5

รูปที่ 3 หินแกรนิตดำอินเดีย 6

รูปที่ 4 บล็อคหินอ่อน (Marble Block) 7

รูปที่ 5 Gangsaw Machine 8

รูปที่ 6 แผ่นหินขนาดใหญ่ (Slabs) 8

รูปที่ 7 Block Cutter Machine 9

รูปที่ 8 Bridge Cutter Machine 10

รูปที่ 9 จำลองการตัดแผ่นหิน 11

รูปที่ 10 โครงสร้างภายในของมอเตอร์ 15

รูปที่ 11 การต่อมอเตอร์แบบอนุกรม 16

รูปที่ 12 การต่อมอเตอร์แบบขนาน 16

รูปที่ 13 การต่อขดลวดแบบขนานกับอาร์เมเจอร์ 17

รูปที่ 14 การต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาร์เมเจอร์ 17

รูปที่ 15 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส 20

รูปที่ 16 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 21

รูปที่ 17 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า 24

รูปที่ 18 วงจรของโหลดความต้านทานต่ำที่กระแสและแรงดันมีมุมเฟสเดียวกัน 25

รูปที่ 19 วงจรของโหลดตัวเหนี่ยวนำที่มุมเฟสของกระแสตามหลังแรงดันอยู่ 90° 26

รูปที่ 20 วงจรของโหลดตัวเก็บประจุที่มุมเฟสของกระแสนำหน้าแรงดันอยู่ 90° 27

รูปที่ 21 หน้าจอการควบคุมความเร็วในการตัดของเครื่องตัดแผ่นหิน 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 22 การตัดหินอ่อน 1 แสลบ ขนาด 0.30 × 0.60 ตารางเมตร จำนวน 20 แผ่น 31
รูปที่ 23 การตัดหินแกรนิต 1 แสลบ ขนาด 0.30 × 0.60 ตารางเมตร จำนวน 20 แผ่น..... 32
รูปที่ 24 ตัวอย่างของเครื่อง Digital Clamp Meter 33
รูปที่ 25 การตัดแผ่นหิน 33
รูปที่ 26 การวัดกระแสไฟฟ้าขณะที่กำลังตัด..... 34
รูปที่ 27 ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ แสดงผลออกมาทางหน้าจอของ Digital Clamp Meter..... 34
รูปที่ 28 บิลค่าไฟที่เรียกเก็บจากโรงงานที่ใช้ศึกษา 35
รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีในการตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ตามระดับความเร็ว
..... 49
รูปที่ 30 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีในการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย ตามระดับความเร็ว 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันหินธรรมชาติได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มวัสดุก่อสร้าง ทั้งงานปูพื้น ผนัง และเครื่องเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีสีสันสวยงาม แข็งแรงทนทานและสะดวกต่อการดูแลรักษา ทำให้ความต้องการใช้หินธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี (1) การจะได้มาซึ่งแผ่นหินธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างได้นั้น จะต้องผ่านกระบวนการตัดและขัดเรียบเสียก่อน โดยทางโรงงานจะได้บล็อคหินขนาดใหญ่ที่ถูกส่งมาจากเหมืองหินทั้งในและต่างประเทศมาตัดเป็นแผ่นหินขนาดใหญ่ (Slabs) หลายแผ่น จากนั้นแผ่นหินขนาดใหญ่จะถูกนำมาตัดแบ่งอีกครั้งตามขนาดที่ลูกค้าต้องการ จึงเข้าสู่กระบวนการขัดเรียบและจัดส่งต่อไป

รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้งานแผ่นหินอ่อนในการตกแต่ง

การตัดหินนั้นเป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมหินอ่อนและหินแกรนิต อีกทั้งยังเป็นกิจกรรมที่มีค่าใช้จ่ายสูงทั้งค่าคนงาน ค่าเครื่องจักร รวมทั้งค่าพลังงานที่ใช้ในการตัด ค่าเครื่องจักรและค่าคนงาน ถือเป็นการลงทุนที่ลดได้ยากเพราะเป็นค่าใช้จ่ายที่มีข้อกำหนดของเงินเดือนขั้นต่ำและ

ราคาเครื่องจักรที่ชัดเจน แต่สำหรับค่าพลังงานที่ใช้ตัดหินนั้น เครื่องตัดหินหนึ่งเครื่องสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ในการตัดได้หลากหลาย ขึ้นอยู่กับขนาดของใบเลื่อยและหินที่ใช้ตัด ซึ่งการตัดหินที่ไม่มีประสิทธิภาพจะทำให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียงและมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้น (2) เนื่องจากหินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันทำให้พลังงานที่ใช้ในการตัดหินนั้นมีความแตกต่างกันไปด้วย ยิ่งหินที่มีความแข็งมากเท่าไร พลังงานที่ใช้ในการตัดก็มีมากขึ้นเท่านั้น (3) ความแตกต่างทางด้านกายภาพของหินแต่ละประเภทนี้ทำให้การใช้พารามิเตอร์เดียวกันในการตัดหินที่ต่างชนิดกันจะเกิดการสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ (4) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีความพยายามในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดหินแต่ละประเภทเพื่อควบคุมการใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าที่สุด (5) จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการตัดหินธรรมชาติพบว่า หากสามารถควบคุมการตัดหินได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีค่าพารามิเตอร์การตัดที่เหมาะสมสำหรับหินแต่ละประเภท จะสามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ในการตัดหินได้มากถึง 10% จากพลังงานที่ใช้อยู่โดยปกติ (6)

แต่การผู้ประกอบการโรงงานหินอ่อนหินแกรนิตในประเทศไทยหลายท่านยังไม่เห็นถึงประโยชน์ของการควบคุมการตัดหินให้มีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่ได้เป็นผู้เกี่ยวข้องโดยตรงในการตัดแผ่นหิน จึงมักจะปล่อยผู้คุมเครื่องจักรทำงานโดยที่ผู้ประกอบการเองคำนึงเพียงแค่ผลลัพธ์หรือก็คือแผ่นหินที่ถูกตัดออกมาแล้วเท่านั้น ดังนั้นผู้คุมเครื่องตัดแผ่นหินจึงตัดตามการคาดเดาของตนซึ่งอาจจะทำให้การตัดแผ่นหินนั้นไม่ได้ประสิทธิภาพและเกิดการสูญเสียพลังงานไปอย่างน่าเสียดาย

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยชิ้นนี้ที่ต้องการนำเสนอถึงความสำคัญของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตัดแผ่นหิน โดยการศึกษาว่าพารามิเตอร์แต่ละแบบที่คนคุมเครื่องจักรใช้ในการตัดแผ่นหินนั้น แบบไหนที่ประหยัดพลังงานในการตัดมากที่สุด และแบบไหนที่เปลืองพลังงานในการตัดมากที่สุด โดยทางผู้วิจัยจะศึกษาออกมาทั้งค่าตัวเลขของพลังงานที่ใช้ตัดและแปลงออกมาเป็นค่าเงินที่ใช้ในการตัดต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการตัดหินที่ใช้ทดสอบ

1.2.2 คำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการตัดให้ออกมาในรูปแบบของมูลค่าทางการเงิน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทดสอบเครื่องตัดแผ่นหิน จำนวน 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องตัดสายพาน (Bridge Cutter Machine) สำหรับตัดแผ่นหินอ่อน จำนวน 1 เครื่อง และ เครื่องตัดสายพาน (Bridge Cutter Machine) สำหรับตัดแผ่นหินแกรนิต จำนวน 1 เครื่อง

1.3.2 ใช้หิน 2 ชนิดในการทดลอง ได้แก่ หินอ่อน Rosso Levanto และ หินแกรนิตดำอินเดีย

1.3.3 ความเร็วที่ใช้ในการทดลอง 1.00, 2.00 และ 3.00 m/min ตามลำดับ ตามการตั้งค่าพื้นฐานของโรงงานที่ใช้ศึกษา

1.3.4 ความเร็วรอบของมอเตอร์ใบเลื่อย 1,700 rpm สำหรับหินแกรนิต และ 2,700 rpm สำหรับหินอ่อน ตามการตั้งค่าพื้นฐานของโรงงานที่ใช้ศึกษา (7)

1.3.5 ขนาดของใบเลื่อยที่ใช้จะอยู่ที่ 12 นิ้ว สำหรับหินอ่อน และ 14 นิ้ว สำหรับหินแกรนิต ตามการตั้งค่าพื้นฐานของโรงงานที่ใช้ศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หินอ่อนและหินแกรนิต

หินอ่อนและหินแกรนิตถือเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างด้วยกันทั้งคู่ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความหรูหรา สวยงาม คงทน และดูแลรักษาง่าย ซึ่งหินทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามแต่แหล่งกำเนิดและคุณสมบัติต่าง ๆ ของหิน

2.1.1 หินอ่อน

หินอ่อน คือหินแปรชนิดหนึ่งที่เกิดจากการตกผลึกตามธรรมชาติซึ่งเกิดจากการทับถมของชั้นแคลเซียมคาร์บอเนตหรือหินปูนที่ตกตะกอนสะสมในท้องทะเล (8) มีความระดับความแข็งแร่ของโมส (Mohs scale of mineral hardness) อยู่ที่ 2.5-5 (9) ลักษณะเนื้อหินจะมีความละเอียดซึ่งให้ความรู้สึกหรูหราอ่อนโยน นิยมนำมาทำเป็นงานศิลปะ ของตกแต่งหรือปูผนัง แต่ไม่นิยมนำมาปูพื้นเนื่องจากมีความคงทนต่อรอยขีดข่วนได้น้อยกว่าหินแกรนิต (10) มีตั้งแต่สีอ่อนจนถึงสีเข้มให้เลือกใช้ตามต้องการ โดยปกติแล้วหินอ่อนจะถูกเคลือบหน้าหินก่อนนำไปใช้งานเพื่อเพิ่มความเงางามให้กับหิน แต่เนื่องจากหินอ่อนเป็นหินเนื้อละเอียดจึงทำให้สารเคลือบแทรกตัวลงไปได้ยาก (10) จึงทำให้สารเคลือบหลุดลอกง่ายและจำเป็นต้องเคลือบหน้าหินเป็นระยะเพื่อความคงทนต่อการใช้งาน

คุณสมบัติเด่นของหินอ่อน คือ เป็นวัสดุที่มีความเงางาม ให้ความรู้สึกหรูหรา และมีลวดลายที่ดูเป็นธรรมชาติ มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวของหินอ่อนแต่ละชนิด อีกทั้งยังทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน การใช้วัสดุอื่น เช่น ไม้ หรือเหล็ อาจมีผุหรือบวมของไม้ หรือการขึ้นสนิมของเหล็กได้ แต่สำหรับหินอ่อนแล้วกลับไม่มีปัญหาเหล่านั้น ด้วยความโดดเด่นด้านความทนทาน เราจึงมักจะเห็นการนำหินอ่อนไปตกแต่งปราสาท หรือพระราชวัง ถึงแม้ตัวอาคารจะผ่านเวลามาเนิ่นนานนับร้อยปี แต่วัสดุที่ใช้ตกแต่งอย่างหินอ่อนกลับยังคงทนทาน ไม่บุบสลายไปตามกาลเวลาแต่อย่างใด

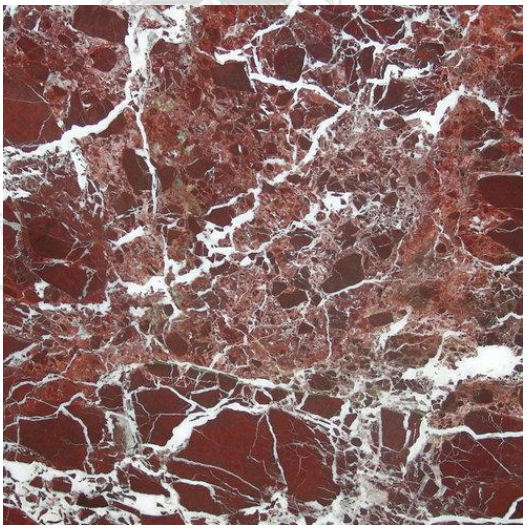
นอกจากคุณสมบัติเด่นของหินอ่อนแล้ว คุณสมบัติด้อยเองก็มีเช่นกัน ได้แก่ หินอ่อนนั้นไม่ทนต่อกรด หากหินอ่อนถูกน้ำสมสายชูก็จะทำให้เกิดรอยด่างได้ ยิ่งถ้าหินอ่อนนั้นเป็นหินอ่อนสีขาวด้วยแล้ว ก็จะเกิดเป็นรอยด่างสีเหลืองที่ทำให้ความสวยงามถูกตัดทอนลงไป และหินอ่อนบางชนิดนั้นไม่เหมาะกับการนำไปใช้ตกแต่งอาคารที่อยู่ชายทะเล เพราะเกลือจากน้ำทะเลจะกัดกร่อนผิวหน้าของหินอ่อน ซึ่งหากใช้วัสดุหินอ่อนที่มีราคาถูก ก็จะยิ่งเกิดปัญหาได้มาก คุณภาพของหินอ่อนมักขึ้นอยู่กับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ราคา หากใช้หินอ่อนที่มีราคาถูกมาก ก็อาจเกิดการสึกหรอได้ง่ายขึ้น อีกทั้งความร้อนและแสงแดดยังสามารถทำให้สีของหินอ่อนมีสีที่ซีดจางลงได้ ดังนั้นจึงไม่ควรนำไปตกแต่งในพื้นที่ที่มีแสงแดดจัด ซึ่งหากต้องการนำไปตกแต่งนอกอาคารที่มีแสงแดดส่องถึง หากใช้หินอ่อนสีขาวก็จะลดปัญหาตรงนี้ลงไปได้บ้าง

เนื่องจากหินอ่อนนั้นไม่มีความคงทนเท่ากับหินแกรนิต จึงมีวิธีการในการดูแลรักษาที่มากกว่า ซึ่งสามารถทำได้อย่างง่าย ๆ โดยการ ใช้ผ้าชุบน้ำเช็ดแล้วตามด้วยผ้าแห้ง เพราะผิวหน้าของหินอ่อนไม่ดูดซับน้ำและความสกปรกมากนักเนื่องจากผิวหน้าหินมีความมัน จึงสามารถทำความสะอาดโดยใช้ผ้าชุดน้ำได้เลย แต่หากอยากยืดอายุการใช้งาน สามารถใช้น้ำมันก๊าด (Kerosene) ผสมกับขี้ผึ้ง ใส่น้ำเล็กน้อยแล้วอุ่นละลายให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำมาเช็ดผิวหินอ่อนแล้วตามด้วยผ้าแห้งเช็ดอีกที ซึ่งวิธีนี้มีความอันตรายอยู่บ้างเพราะต้องอุ่นน้ำมันก๊าดบนเตานั่นเอง แต่เพื่อลดความยุ่งยาก ก็สามารถซื้อน้ำยาขัดพื้นหินอ่อนมาใช้ได้เช่นเดียวกัน การใช้น้ำยาจะทำให้มีความปลอดภัยมากกว่าใช้น้ำมันก๊าดแต่ราคาก็จะแพงขึ้นมากเช่นเดียวกัน (11)

หินอ่อนในธรรมชาติมีอยู่หลายชนิด ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้หินอ่อน Rosso Levanto มาทดลองในครั้งนี้



รูปที่ 2 หินอ่อน Rosso Levanto

2.1.2 หินแกรนิต

หินแกรนิต คือหินที่เกิดจากลาวาที่เย็นตัวลงและเกิดการตกผลึกภายใต้แรงดันมหาศาลใต้เปลือกโลก จนเกิดหินที่ประกอบด้วยผลึกแร่ขนาดใหญ่อย่างหินแกรนิตขึ้น (12) หินชนิดนี้จะมีความหยาบของเนื้อหินมากกว่าหินอ่อน และมีความแข็งแร่ของโมส (Mohs scale of mineral hardness)

อยู่ที่ 6-7 (13) ตัวหินให้ความรู้สึกที่หนักแน่นมั่นคง มีลวดลายให้เลือกหลากหลาย หินแกรนิตมีความคงทนต่อการขีดข่วนได้ดีกว่าหินอ่อน ก่อนนำไปใช้งานจะมีการเคลือบสารเพื่อเพิ่มความเงางามเช่นเดียวกับหินอ่อน แต่เนื่องด้วยหินแกรนิตมีช่องว่างระหว่างเม็ดหินค่อนข้างมาก (10) ส่วนใหญ่จึงเคลือบเพียงครั้งเดียวก็สามารถใช้งานได้ยาวนาน ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงทำให้นิยมนำหินแกรนิตมาเป็นวัสดุใช้งานที่หลากหลาย ทั้งงานปูพื้น เคานท์เตอร์ อีกทั้งยังคงทนต่อกรดหรือด่างมากกว่าหินอ่อน

คุณลักษณะเด่นของหินแกรนิต คือ หินแกรนิตสามารถเก็บความเย็นได้ดีเหมือนหินอ่อน และสามารถทนต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงบ่อย ๆ ได้ มีความแข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานอยู่ที่ 8-10 ปี (13)

คุณลักษณะด้อยหรือข้อควรระวังสำหรับการใช้หินแกรนิต คือ เองจากหินแกรนิตมีช่องว่างระหว่างเม็ดหินค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงต้องระวังในเรื่องความชื้น เนื่องจากหินแกรนิตบางชนิดมีความหนาแน่นของเนื้อหินยังไม่หนาแน่นพอ จึงทำให้ละอองน้ำใต้ดินสามารถไหลผ่านบนเนื้อหินได้ ส่งผลให้เมื่อติดตั้งไปแล้วเกิดรอยชื้นของน้ำค้างอยู่บนหน้าหิน ดังนั้นจึงควรศึกษาคุณภาพของหินแกรนิตแต่ละชนิดให้ดีก่อนจะตัดสินใจเลือกใช้ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว หินแกรนิตจึงไม่เหมาะที่จะพูดบนพื้นบริเวณที่เปียกน้ำหรือมีโอกาสถูกน้ำได้ง่าย เช่น พื้นห้องน้ำ ระเบียง หรือหน้าบ้านที่ถูกฝน เพราะลักษณะพื้นหินที่เงาและมัน เมื่อถูกน้ำจึงทำให้ลื่นได้ง่าย (14)

หินแกรนิตในธรรมชาติมีอยู่หลายชนิดและหลายลายให้เลือกใช้งาน โดยผู้วิจัยเลือกใช้หินแกรนิตดำอินเดีย ซึ่งเป็นหินแกรนิตอีกหนึ่งลายที่ได้รับความนิยมสูงและใช้งานอย่างกว้างขวาง มาเป็นตัวแปรของการทดลองในครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3 หินแกรนิตดำอินเดีย

2.2 กระบวนการผลิตหินอ่อนในโรงงาน

2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นหินอ่อนเพื่อนำไปใช้งาน

กว่าที่จะมาเป็นสินค้าสำเร็จรูปที่นำไปใช้ในการก่อสร้าง หินอ่อนและหินแกรนิตต้องผ่านกระบวนการแปรรูปหลายขั้นตอน ตั้งแต่กระบวนการขุดเจาะจากเหมืองหิน ขนส่งมาถึงโรงงานเพื่อตัดและขัดเรียบต่อไป โดยหินที่ถูกส่งมาจากเหมืองหินจะถูกส่งมาในรูปแบบบล็อคหิน จากนั้นทางโรงงานจะนำบล็อคหินที่ได้เข้าสู่กระบวนการตัดโดยใช้เครื่องตัดแบบแก็งซอว์ (Gangsaw Machine) ซึ่งเป็นเครื่องตัดที่ใช้ใบเลื่อยลักษณะเป็นแถบ (Strips) หลายแผ่น เป็นการตัดเพื่อให้ได้หินออกมาในรูปแบบแผ่นหินขนาดใหญ่ (Slabs) จากนั้นทางโรงงานจะนำแผ่นหินขนาดไปเข้าสู่กระบวนการเสริมแกร่งโดยใช้ตาข่ายเคลือบด้วยอีพ็อกซี (Epoxy) แล้วจึงนำไปขัดเรียบเพื่อให้ลวดลายของหินปรากฏขึ้นอย่างชัดเจนและสวยงาม หลังผ่านกระบวนการเสริมแกร่งและขัดเรียบ แผ่นหินขนาดใหญ่จะถูกนำไปตัดอีกครั้ง โดยใช้เครื่องตัดแบบสายพาน (Bridge cutting) ซึ่งเป็นการตัดหินโดยใช้ใบเลื่อย (Saw Blade) เพื่อให้ได้แผ่นหินตามขนาดมาตรฐานหรือตามความต้องการของลูกค้าต่อไป

รูปที่ 4 บล็อคหินอ่อน (Marble Block)

ที่มา: https://www.stoneadd.com/Mugla-White-Block-White-Marble-Stone-Blocks-P38530

รูปที่ 5 Gangsaw Machine

ที่มา: http://en.cnfgl.com/pro_info3.html

รูปที่ 6 แผ่นหินขนาดใหญ่ (Slabs)

ที่มา: https://www.shutterstock.com/search/marble+slab

นอกจากเครื่องตัดบล็อกหินแบบแก็งซอว์ (Gangsaw Machine) ที่ใช้ตัดบล็อกหินขนาดใหญ่ให้กลายเป็นแผ่นสแลบแล้ว ยังมีเครื่องตัดหินอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เครื่องตัดบล็อกหิน (Block Cutter Machine) ซึ่งเป็นเครื่องตัดบล็อกหินอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจากเครื่องตัดบล็อกหินแบบแก็งซอว์ ตรงที่ สามารถตัดแผ่นหินได้ทีละแผ่น และตัดได้ขนาดที่เล็กกว่า และสามารถตัดบล็อกหินขนาดเล็กได้

รูปที่ 7 Block Cutter Machine

ที่มา: https://www.indiamart.com/proddetail/block-cutting-machine-2774801948.html

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 เครื่องตัดแผ่นหิน

เครื่องตัดหินแบบสายพาน (Bridge Cutting) เป็นเครื่องตัดหินที่ใช้ในการตัดแผ่นหินขนาดใหญ่ (Slabs) ให้กลายเป็นแผ่นหินขนาดมาตรฐานหรือขนาดตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งใบเลื่อยที่ใช้จะมีขนาดตั้งแต่ 300 มิลลิเมตร จนถึง 600 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักร เครื่องตัดหินแบบนี้ถือเป็นหนึ่งในเครื่องจักรที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมหินอ่อนและหินแกรนิต

รูปที่ 8 Bridge Cutter Machine

ที่มา: http://www.stoneplus.cn/product/bridge-cutting-machine-p31/

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการตัดหิน

ได้มีการศึกษาค้นคว้ามากมายเพื่อเป็นเอกสารอ้างอิงสำหรับการสร้างเครื่องตัดหินที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งระหว่างการตัดหินจะมีเงื่อนไขหลายประการที่มีผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องตัดหิน ดังนี้

2.3.1 ชนิดของหิน

ได้มีการทดลองนำหินที่มีความแข็งต่างกันมาทดสอบตัดด้วยพารามิเตอร์เดียวกัน พบว่าหินที่มีความแข็งมากกว่าจะใช้พลังงานในการตัดมากกว่า (3, 4)

2.3.2 ความเร็วในการตัด

การใช้ความเร็วในการตัดมากขึ้น จะทำให้พลังงานที่ใช้ในการตัดหินนั้นมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย (3, 15) แต่ความเร็วในการตัดย่อมมีผลต่อเวลาที่ใช้โดยรวม การตัดที่เร็วขึ้นจะทำให้ค่าพลังงานของเครื่องตัดหินเพิ่มขึ้นก็จริง ขณะเดียวก็ใช้เวลาตัดน้อยลงด้วยเช่นกัน ดังนั้น การใช้ความเร็วที่เพิ่มขึ้นไม่ได้หมายความว่าจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานแต่อย่างใด (15)

จำเป็นอย่างยิ่งที่จะเข้าใจกระบวนการของการตัดที่เกิดขึ้นจากการตัดแผ่นหิน เพื่อให้สามารถประเมินและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างแม่นยำ ขั้นตอนการตัดและการกลับใบเลื่อยไปยังตำแหน่งเดิมนั้น เป็นดังนี้ เริ่มที่การวางตำแหน่งของใบเลื่อยเริ่มต้นที่เส้นตัด จากนั้นเลื่อนใบเลื่อยจากจุดเริ่มต้นจนกระทั่งใบเลื่อยสัมผัสกับแผ่นหิน (ซึ่งระหว่างนี้จะเป็นการเคลื่อนที่อย่างอิสระโดยที่ยังไม่เกิดการตัดขึ้น) เมื่อใบเลื่อยเลื่อนไปจนสัมผัสกับแผ่นหินก็จะเคลื่อนผ่านแผ่นหินไป และเลื่อนผ่านไปตลอดความยาวของแผ่นหิน (แผ่นหินเคลื่อนผ่านแรงกดของใบเลื่อย) จนกระทั่งใบเลื่อยเคลื่อนออก

จากแผ่นหินและออกจากรัศมีของใบเลื่อย ก็จะกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นคือการเคลื่อนที่อย่างอิสระโดยไม่มีการตัด จากนั้นสลับไปยังแนวตัดถัดไป เพื่อเริ่มต้นการตัดอีกครั้ง (4) ดังแสดงในรูปที่ 9

ซึ่งการวัดความเร็วในการตัดนั้น จะวัดด้วยเวลาที่ใช้ในการตัดต่อระยะที่ใช้ตัด โดยเริ่มต้นตั้งแต่ที่ใบเลื่อยสัมผัสกับแผ่นหิน จนกระทั่งแผ่นหินเคลื่อนผ่านรัศมีของใบเลื่อยไป จากนั้นนำเวลาที่ได้มาคำนวณความเร็วในการตัด

รูปที่ 9 จำลองการตัดแผ่นหิน

2.3.3 ความเร็วรอบของใบเลื่อย

จากการศึกษาวิจัยพบว่า การใช้รอบความเร็วของใบเลื่อยที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นด้วย (3, 6, 15) แต่กระนั้นก็ใช่ว่าการตัดหินด้วยความเร็วรอบน้อย ๆ เพื่อประหยัดพลังงานนั้นจะเป็นค่าที่เหมาะสมเสมอไป Marco Divita ผู้ประกอบการ ผู้จัดการฝ่ายส่งออกและวิศวกรไอทีของ amastone ตัวแทนจัดจำหน่ายเครื่องจักรมือสองสำหรับงานหิน ได้ให้ความคิดเห็นข้อมูลไว้ว่า ใบเลื่อยแต่ละขนาดและหินแต่ละประเภทจะมีความเร็วรอบสำหรับใช้ในการตัดแตกต่างกันเพื่อลดการสึกหรอของเครื่องมือที่ใช้ สามารถคำนวณตามสมการที่ (1)

$$n = \left(\frac{Vp}{2\times\pi\times R}\right) \times 60{,}000 \qquad (1)$$

โดย n คือ ค่าความเร็วรอบสำหรับใบเลื่อย (Rpm)

Vp คือ ความเร็วขอบ (เมตร/วินาที)

π คือ ค่า Pi = 3.14

R คือ รัศมีของใบเลื่อย

จากผลการศึกษาของ Divita สามารถแสดงออกมาเป็นตารางค่าความเหมาะสมของความเร็วรอบของใบเลื่อยได้ ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับหินอ่อนและหินแกรนิต

Blade Diameter	Marble [40-50 m/s]	Hard Granite [25-30 m/s]	Soft Granite [32-40 m/s]
300 mm	2600 – 3200 Rpm	1600 – 1900 Rpm	2000 – 2600 Rpm
350 mm	2200 – 2700 Rpm	1300 – 1700 Rpm	1750 – 2000 Rpm
400 mm	1900 – 2400 Rpm	1200 – 1500 Rpm	1550 – 1900 Rpm
450 mm	1700 – 2100 Rpm	1100 – 1300 Rpm	1400 – 1700 Rpm
500 mm	1500 – 1900 Rpm	1000 – 1200 Rpm	1250 – 1500 Rpm
550 mm	1300 – 1600 Rpm	800 – 1000 Rpm	1050 – 1300 Rpm
600 mm	1200 – 1500 Rpm	750 – 950 Rpm	1000 – 1250 Rpm

ที่มา: Marco Divita, Parameters for cutting marble, sandstone, and granite. (7)

จากการศึกษาของ Divita พบว่า ยิ่งใบเลื่อยที่มีขนาดเล็กมากเท่าไร ความเร็วรอบของใบเลื่อยที่ใช้ควรมีค่ามากขึ้น และยิ่งหินที่มีความแข็งมาก ความเร็วรอบของใบเลื่อยที่ใช้ในการตัดหินควรจะมีค่าน้อยลงเพื่อเป็นการถนอมเครื่องจักร (7)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.4 ขนาดของใบเลื่อย

จากการศึกษาของ Askeri Karakuş จาก Dicle University ประเทศตุรกี ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคาดคะเนอัตราการตัดที่เหมาะสมของการตัดหิน พบว่าขนาดของใบเลื่อยที่ใช้ในการตัดมีผลต่อพลังงานจำเพาะของการตัดหิน ยิ่งใบเลื่อยที่มีขนาดเพิ่มขึ้นจะยิ่งใช้พลังงานมากขึ้น แต่พลังงานจำเพาะของการตัดหินและอัตราการสึกหรอของเครื่องจักรมีค่าลดลง (16)

2.4 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้า

โรงงานอุตสาหกรรมหินอ่อนและหินแกรนิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเพียงเครื่องเดียว ซึ่ง

การคิดอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าจะใช้จะคิดเป็น 2 อัตรา คือ อัตราปกติและอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff) ดังนี้

2.4.1 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอัตราปกติ

ตารางที่ 2 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอัตราปกติแบบรายเดือน

แรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	175,70	3.1097	312.24
12-24 กิโลโวลต์	196.26	3.1471	312.24
ต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	221.50	3.1751	312.24

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง, 2021 (17)

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงที่สุดในรอบเดือน ถ้าเศษของกิโลวัตต์ไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ จะถูกตัดทิ้ง แต่ถ้าเศษของกิโลวัตต์มากกว่า 0.5 กิโลวัตต์ ขึ้นไป จะคิดเปน 1 กิโลวัตต์ โดยค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนนั้นจะต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงที่สุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาซึ่งนับจนถึงเดือนปัจจุบัน

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้ามีรอบเดือนใดที่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยในน 15 นาทีที่สูงที่สุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์เกินกว่า 61.97% ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงที่สุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว ส่วนที่เกิดจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตตากิโลวาร์ละ 56.07 บาท ในการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น ถ้าเศษของกิโลวาร์ไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ จะถูกตัดทิ้ง แต่ถ้าเกิด 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไป จะคิดเป็น 1 กิโลวาร์

2.4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้แบบรายเดือน

แรงดัน	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	4.1025	2.5849	312.24
12-24 กิโลโวลต์	132.93	0	4.1839	2.6037	312.24
ต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	4.3297	2.6369	312.24

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง, 2021 (17)

On Peak คือช่วงเวลา 09.00 น. – 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

Off Peak คือช่วงเวลา 22.00 น. – 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ และช่วงเวลา 00.00 น. – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

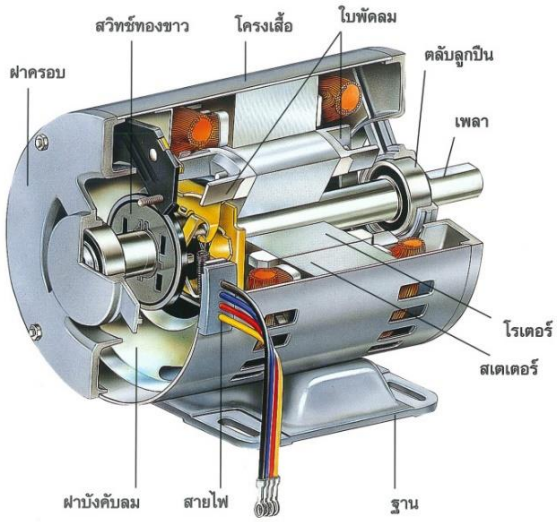
สำหรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์โดยเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงที่สุดในช่วงเวลา On Peak ในรอบเดือน ถ้าเศษของกิโลวัตต์ไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์จะถูกตัดทิ้ง แต่ถ้าเศษของกิโลวัตต์มีค่า 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป จะคิดเป็น 1 กิโลวัตต์ โดยค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนจะต้องไม่ต่ำกว่า 70% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงที่สุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา ซึ่งนับจนถึงเดือนปัจจุบัน

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดที่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงที่สุดเมื่อเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินขึ้นมาจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตตรากิโลวาร์ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินในรอบเดือนนั้น ถ้าเศษของกิโลวาร์นั้นไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ จะถูกตัดทิ้ง แต่ถ้าเศษของกิโลวาร์มีค่าตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไป จะถูกคิดเป็น 1 กิโลวาร์

2.3 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric motor) คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปแบบของกำลังที่เพลา ในชีวิตประจำวันของมนุษย์นั้น มีอุปกรณ์ที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นพัดลม (Fan) ทำความเย็น (Air Conditioner) ตู้เย็น (Refrigerator) หรือแม้แต่คอมพิวเตอร์ (Computer) ก็มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้การ

ทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในชีวิตประจำวันเหล่านี้แล้ว ในโรงงานอุตสาหกรรมเองก็มีเครื่องจักรทั้งขนาดใหญ่และเล็กที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบด้วยเช่นกัน เรียกได้ว่า มอเตอร์ (Motor) คืออุปกรณ์ที่สำคัญอย่างยิ่ง ที่ไม่ว่าจะอุตสาหกรรมระดับใดก็ต้องมีใช้ (18, 19)



รูปที่ 10 โครงสร้างภายในของมอเตอร์

ที่มา: https://elixirpetroleum.com/รู้จักกับมอเตอร์ไฟฟ้า/ (18)

มอเตอร์ไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)

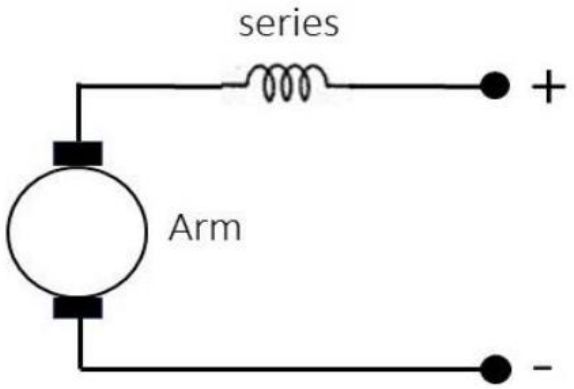
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

หลักการทำงานพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่อยู่กับสเตเตอร์ (Stator) เรียกว่า ขดลวดสนาม (Field winding) และอีกขดลวดอีกชุดอยู่ในส่วนของโรเตอร์ (Rotor) เรียกว่า ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) โดยที่ขดลวดสนามจะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กถาวร ส่วนขดลวดอาร์เมเจอร์นั้น จะได้รับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านแปรงถ่าน (Brush) และชุดคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งขดลวดนั้นทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กขั้วโลกเหนือและใต้ ทำให้เกิดการหมุนขึ้นในที่สุด (20)

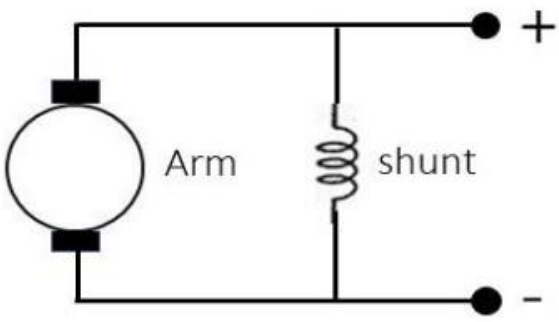
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะแบ่งประเภทตามการต่อระหว่างขดลวดสนาม (Field Coil) และขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Coil) ซึ่งมีวิธีการต่อ ดังนี้

2.3.1.1 มอเตอร์แบบอนุกรม (Series Motor) คือ มอเตอร์ที่ขดลวดสนามต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ คุณสมบัติที่โดดเด่นคือ มีแรงบิดสูง แต่ความเร็วจะลดลงถ้าหากมีภาระโหลดที่สูงขึ้น ซึ่งมอเตอร์ประเภทนี้นิยมใช้กับงานหนัก เช่น มอเตอร์ขับเคลื่อนรถไฟฟ้า มอเตอร์ยกของ มอเตอร์สตาร์ตรถยนต์ เป็นต้น (20)



รูปที่ 11 การต่อมอเตอร์แบบอนุกรม
ที่มา: สัญญา ลักษณะ, กรมประชาสัมพันธ์ (20)

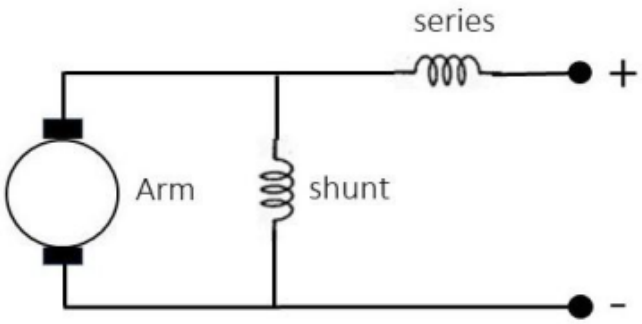
2.3.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt Motor) คือ มอเตอร์ที่ต่อขดลวดสนามและขดลวดอาร์เมเจอร์แบบขนานกัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดสนามและขดลวดอาร์เมเจอร์จะไม่เท่ากัน คุณลักษณะเด่นของมอเตอร์ชนิดนี้ คือ มีแรงบิดปานกลางและความเร็วรอบคงที่ นิยมนำไปใช้งานกับมอเตอร์เครื่องเจาะ มอเตอร์เครื่องกลึง หรือพัดลม เป็นต้น



รูปที่ 12 การต่อมอเตอร์แบบขนาน
ที่มา: สัญญา ลักษณะ, กรมประชาสัมพันธ์ (20)

2.3.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound Motor) คือ มอเตอร์ที่ประกอบด้วยขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุด คือ ขดลวดแบบขนานและแบบอนุกรม ซึ่งขดลวดทั้งสองจะส่งเสริมจุดอ่อนของกัน เช่น เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดขนานก็จะลดลง แต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดแบบอนุกรมจะเพิ่มขึ้น ทำให้สนามแม่เหล็กมีความเข้มมากขึ้นนั่นเอง ซึ่งการนำขดลวดทั้งสองแบบมาต่อแบบผสมกันนั้น ทำให้มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีแรงบิดสูง (High staring torque) และให้ความเร็วรอบคงที่ จะนิยมใช้กับมอเตอร์ตัดโลหะ มอเตอร์เครื่องกดอัด มอเตอร์เครื่องรีดโลหะ หรือลิฟต์ เป็นต้น ซึ่งการต่อแบบขนานนี้ สามารถต่อได้ 2 แบบ ได้แก่

ก) การต่อขดลวดแบบขนานกับอาร์เมเจอร์ เรียกว่า Short Shunt Compound Motor

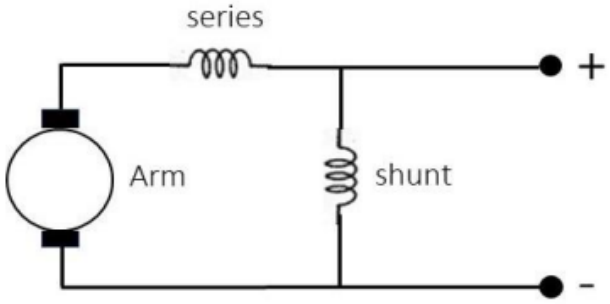


รูปที่ 13 การต่อขดลวดแบบขนานกับอาร์เมเจอร์

ที่มา: สัญญา ลักษณะ, กรมประชาสัมพันธ์ (20)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข) การต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาร์เมเจอร์ เรียกว่า Long Shunt Compound Motor



รูปที่ 14 การต่อขดลวดขนานกับขดลวดอนุกรมและขดลวดอาร์เมเจอร์

ที่มา: สัญญา ลักษณะ, กรมประชาสัมพันธ์ (20)

2.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)

หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนั้น จะแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า คือ ขดลวดในสเตเตอร์ (Stator) เมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า ก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และจะไปทำให้เกิดการเหนี่ยนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร (Rotor) หรือเรียกว่าตัวหมุน ซึ่งคือส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกล จึงทำให้มีการเรียกมอเตอร์กระแสสลับว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส ถือว่าเป็นมอเตอร์ที่ได้รับความนิยมมากในอุตสาหกรรม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส (Synchronous motor) และ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous motor) หรือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (Induction motor) (21)

2.3.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส (Synchronous Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส เป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ ขนาดกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 150 kW ไปจนถึง 15 MW ระดับความเร็วตั้งแต่ 150 – 1,800 rpm เป็นมอเตอร์ที่ความเร็วรอบเท่ากับสนามแม่เหล็กหมุน ที่ถูกสร้างจากการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปในส่วนของโรเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ สเตเตอร์ (Stator) และ โรเตอร์ (Rotor) โดยจะเริ่มจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปที่โรเตอร์และสเตเตอร์ ซึ่งสเตเตอร์จะสร้างสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating magnetic field) ขึ้นมา ในช่วงเวลาที่เริ่มหมุน จะมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่ขดลวดที่อยู่โรเตอร์ แล้วจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นมาด้วยเช่นกัน เพื่อเกาะไปกับสนามแม่เหล็กหมุนของสเตเตอร์ นั่นเอง ความพิเศษของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าแบบซิงโครนัสนั้น คือจะมีความเร็วรอบเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน ซึ่งถูกเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous motor) หรือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ หรือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบอะซิงโครนัส เป็นมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบคงที่ เนื่องจากขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โครงสร้างไม่ค่อยซับซ้อน ราคาไม่แพง บำรุงรักษาง่ายเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) กับแปรงถ่าน เหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุม ความเร็วอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ 0 จนถึงความเร็วสูงสุดของมอเตอร์

ความแตกต่างระหว่างมอเตอร์แบบอะซิงโครนัสกับมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ คือ มอเตอร์ซิงโครนัส จะหมุนในแบบซิงโครนัสกับความถี่ของสายแบบแน่นอน อีกทั้งยังไม่พึ่งพาการ

เหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กโรเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำกลับต้องการ สลิป (Slip) เพื่อเหนี่ยวนำกระแสในขดลวดของโรเตอร์ ซึ่งหมายความว่าโรเตอร์ จะต้องหมุนช้ากว่าการสลับกระแสของ AC อยู่บ้างเล็กน้อย

2.4 ระบบไฟฟ้า

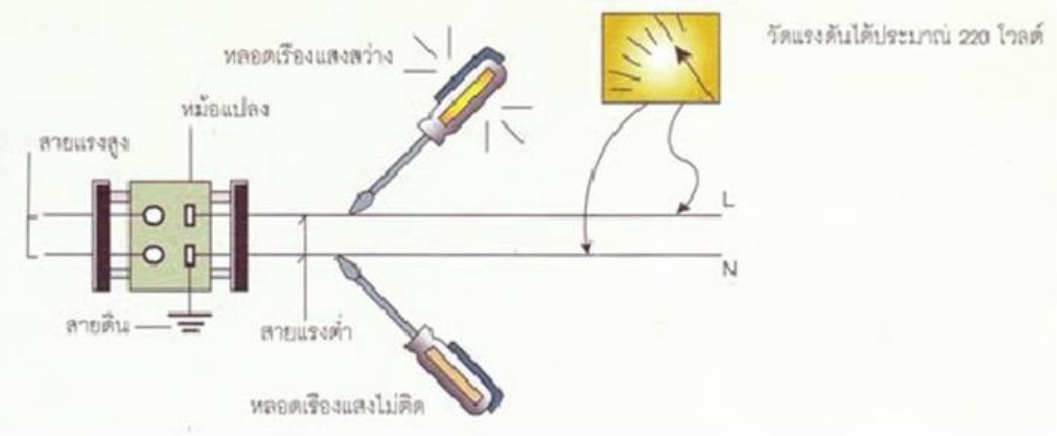
ไฟฟ้า ถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของผู้คนในปัจจุบัน อุปกรณ์หลายชิ้นในบ้านจำเป็นต้องมีไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ส่วนตัว เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ ไปจนถึงของใช้ที่ใช้ร่วมกันในบ้าน ทั้งเตาไมโครเวฟ ตู้เย็น พัดลม เครื่องทำความเย็น หรือแม้แต่เครื่องดูดฝุ่น เหล่านี้ล้วนใช้ไฟฟ้าเป็นพื้นฐาน ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าไฟฟ้านั้นมีความสำคัญเพียงไร นอกจากไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านแล้ว ในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ รวมทั้งพื้นที่สาธารณะเอง ก็มีการใช้ไฟฟ้าเช่นกัน ในโรงงานนั้น นอกจากจะมีออฟฟิศสำหรับการทำงานเอกสารแล้ว บางที่ยังมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่สำหรับการผลิตอีกด้วย เนื่องจากบ้านและโรงงานอุตสาหกรรมนั้นใช้ปริมาณไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทยจึงแบ่งออกเป็น 2 แบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ได้แก่ ระบบไฟฟ้า 1 เฟส สำหรับใช้ในครัวเรือน และระบบไฟฟ้า 3 เฟส สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเป็นหลัก (22)

ดังที่กล่าวไฟข้างต้นว่า ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันนี้ แบ่งออกเป็น 2 ระบบด้วยกัน คือ ระบบ 1 เฟส และระบบ 3 เฟส ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.4.2 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส

เป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้ในครัวเรือนเป็นหลัก โดยจะให้แรงดันที่ 220 – 230 volt และมีความถี่ 50 Hz (22) โดยระบบ 1 เฟส จะมีสายไฟ 2 เส้น ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบประกอบด้วย สาย 1 เส้น ที่เป็นสายไฟที่มีกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่าน และสายนิวตรอน (Neutron) 1 เส้น ซึ่งเป็นสายไฟที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าวิ่งผ่าน ซึ่งระบบไฟฟ้า 1 เฟส นี้ เหมาะสำหรับการใช้งานในบ้านเรือนหรือสำนักงานที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้ไฟฟ้ามาก (23)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



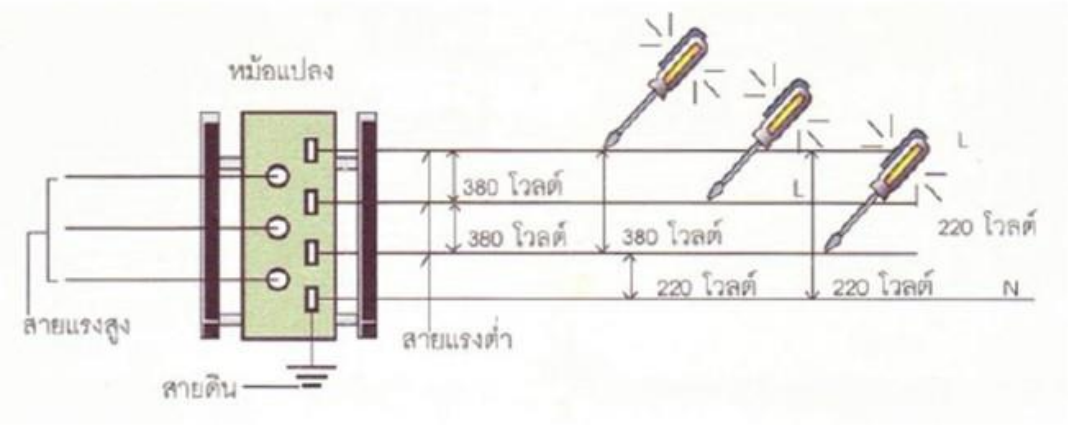
รูปที่ 15 ระบบไฟฟ้า 1 เฟส

ที่มา: https://dsignsomething.com/2021/08/25/electricity-phase/

2.4.3 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส

เป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นหลัก โดยจะให้แรงดันที่ 380 – 400 volt และแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 220 – 230 volt และมีความถี่ 50 Hz โดยระบบ 3 เฟสนี้ จะมีสายไฟ 3 เส้น ที่ทำหน้าที่ส่งกระแสไฟฟ้าเข้าไปในระบบ โดยระบบนี้เป็ฯการใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมหลัก รวมทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่กินไฟสูง เช่น แท่นพิมพ์ เครื่องสีขาว เครื่องจักรขนาดใหญ่ รวมทั้งเครื่องตัดแผ่นหิน ที่เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ โดยสายดิน จะสามารถติดตั้งได้ทั้ง 2 ระบบ ไม่ว่าจะระบบ 1 เฟส หรือ 3 เฟส โดยการติดตั้งสายดินนี้ จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้า หรือลดอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้สัมผัสเครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ สายดินยังช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องมือช่าง รวมทั้งระบบไฟฟ้าโดยรวมอีกด้วย หากเกิดกรณีที่เกิดไฟฟ้าผิดปกติจากระบบ เพื่อให้ไฟฟ้าที่รั่วออกมานั้นสามารถไหลลงสู่พื้นดินได้ การติดตั้งสายดิน จึงสามารถต่อได้ 3 แบบ ได้แก่ การต่อพวงลงดินจากระบบไฟฟ้าโดยตรง การต่อพ่วงลงดินจากเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรง และการต่อพ่วงลงดินจากระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยตรง ซึ่งการต่อสายดินทั้ง 3 แบบนี้ เป็นระบบที่ต้องมีในระบบไฟฟ้า ตามมาตรฐานการติดตั้งไฟฟ้าในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 16 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ที่มา: https://dsignsomething.com/2021/08/25/electricity-phase/ (24)

หน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการผลิตและส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อีกทั้งยังมีองค์กรเอกชนที่ได้รับสัมปทานในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อให้สามารถผลิตไฟฟ้าที่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมหลายแห่ง (23) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ แม้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จะรับหน้าที่เกี่ยวกับการผลิตและส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าก็ตาม แต่ผู้ที่ทำหน้าที่กระจายกระแสไฟฟ้าให้ประชาชาชนใช้งานคือ การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กล่าวคือ องค์กรดังกล่าจะรับกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย รวมทั้งของเอกชนผู้ได้รับสัมปทานจากนั้นจึงส่งจ่ายให้กับบ้านเรือนในเขตอีกต่อหนึ่ง นอกจากนี้แล้วองค์กรดังกล่าวยังมีหน้าที่ในการทำให้ระบบไฟฟ้าเข้าถึงทุกจุดทั่วประเทศ รวมทั้งการจัดเก็บค่าไฟฟ้าและอุปกรณ์เกี่ยวข้องอื่น ๆ

โดยกระแสไฟฟ้าที่ถูกส่งผ่านมายังการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนั้น จะถูกแปลงให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามบ้านเรือน โดยจะแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงให้เหลือเพียง 220 – 230 volt ซึ่งเป็นมาตรฐานในการใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือน รวมทั้งยังเป็นมาตรฐานของการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าและเครื่องมือทุกชนิดในประเทศไทยอีกด้วย เมื่อแรงดันกระแสไฟฟ้าถูกแปลงให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว กระแสไฟฟ้านั้นจะถูกส่งผ่านจากหม้อแปลงที่ได้รับการติดตั้งอยู่ตามจุดต่าง ๆ แล้วส่งตรงไฟยังมิเตอร์ไฟฟ้าของบ้านเรือนประชาชน เนื่องจากระบบแรงดันไฟฟ้าที่การไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาครับมาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยนั้น จะมีแรงดันไฟฟ้าสูงเกินกว่า 1,000 volt (22, 24) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูงเกินก่าจะใช้งานตาม

บ้านเรือนได้ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้หม้อแปลง เพื่อให้สามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งนได้ และมิเตอร์ไฟฟ้า ก็คือเครื่องมือในการวัดหน่วยกำลังไฟฟ้าที่มีการใช้งาน โดยจะแสดงเป็นตัวเลขที่หมุนตามการใช้งานจริงต่อชั่วโมง กระแสไฟฟ้าส่งผ่านมาจากมิเตอร์ไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งเข้าสู่ตัวบ้านและแจกจ่ายไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด มิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานของแต่ละบ้านนั้นแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้งาน

2.5 ค่ากลางข้อมูลและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

2.5.1 ค่าเฉลี่ย (Mean: $\overline{X}$) คือ ค่าที่ใช้สำหรับหาค่ากึ่งกลางข้อมูลแบบต่อเนื่อง หรือข้อมูลที่มีค่าเป็นเลขทศนิยมได้ เช่น คะแนนสอบ ส่วนสูง น้ำหนัก เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้มีการทดลองวัดกระแสไฟฟ้าหลายครั้ง และใช้ค่าเฉลี่ยนี้เป็นตัวแทนของข้อมูลในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\overline{X} = \frac{\Sigma X}{N} \qquad (2)$$

โดยที่ $\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

ΣX คือ ผลรวมของชุดข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) คือ ค่าที่ต่อเนื่องมาจากการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งการจะหาได้จำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยก่อน ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นการแสดงถึงความแปรปรวนและการกระจายตัวของข้อมูล ยิ่งข้อมูลใดที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก แสดงว่าข้อมูลนั้นมีความแปรปรวนและมีการกระจายตัวสูง และหากข้อมูลใดมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยก็จะแสดงว่าข้อมูลนั้นมีความแปรปรวนและมีการกระจายตัวน้อยนั่นเอง ซึ่งถือเป็นค่าหนึ่งที่ใช้วัดความน่าเชื่อถือของข้อมูลได้

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) สามารถหาได้ตามสมการ

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(X-\bar{X})^2}{N-1}} \qquad (3)$$

โดยที่ SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

X คือ ค่าของข้อมูล

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.6 เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor)

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) มีค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานได้จริง (Active Power) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดแล้วได้พลังงานรูปแบบอื่น เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือพลังงานกล โดยใช้สัญลักษณ์เป็น P มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt: W) ส่วนที่สองคือ กำลังรีแอคทีฟ (Reactive Power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ หรือ หม้อแปลงไฟฟ้าและรีเลย์ (Relays) โดยใช้สัญลักษณ์ Q มีหน่วยเป็น วาร์ (VAR) และอย่างสุดท้าย คือ กำลังงานปรากฏ (Apparent Power) เป็นผลรวมทางเวกเตอร์ของ VAR และ W ดังที่แสดงในสมการ (5) เป็นกำลังไฟฟ้าโดยรวมทั้งหมดที่ต้องจ่าย โดยใช้สัญญลักษณ์ S มีหน่วยเป็น วีเอ หรือ โวลท์-แอมแปร์ (VA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\text{Power Factor (PF.)} = \frac{P}{S} = \frac{\text{Watt}}{\text{VA}} \qquad (4)$$

$$\text{Apparent Power (S)} = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad (5)$$

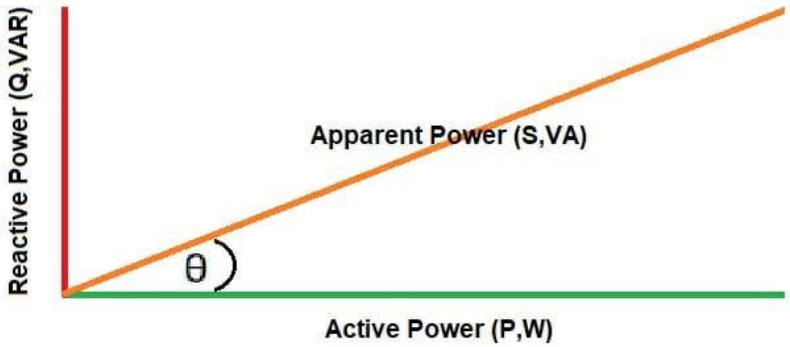
โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (Active Power)

S คือ กำลังงานปรากฏ (Apparent Power)

Q คือ กำลังรีแอคทีฟ (Reactive Power)

ซึ่งค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor: PF.) หรือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า คือ อัตตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (P) หารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ (S) ดังที่แสดงในสมการที่ (1) หรือ Cos(θ) มีค่าไม่เกิน 1 โดยที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) นั้น ถือเป็นอีกค่าหนึ่งที่สำคัญในระบบไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ถ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ กระแสในระบบมาก แต่ใช้ทำงานได้น้อย หม้อแปลงตัวใหญ่จ่ายโหลดได้น้อย แรงดันตกในสายมาก จะทำให้การสูญเสียในสายไฟฟ้าและหม้อแปลงจะมีค่ามากตาม

ดังที่กล่าวว่าค่ากำลังไฟฟ้ามีอยู่ 3 ส่วน โดยปกติจะคำนวณเฉพาะขนาด หากเอามาเขียนให้อยู่ในรูปของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า จะแสดงได้ดังรูปที่ 16



รูปที่ 17 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

ที่มา: https://mall.factomart.com/guide-to-power-factor-correction/what-is-power-factor/

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 16 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ส่วน ได้ดังนี้

$$P = V \times I \times \cos\theta \qquad (6)$$

$$Q = V \times I \times \sin\theta \qquad (7)$$

$$S = V \times I = \sqrt{P^2 \times Q^2} \qquad (7)$$

$$\cos\theta = \frac{P}{V \times I} = \frac{P}{S} \qquad (8)$$

โดยที่ θ คือ มุมระหว่าง V กับ I โดยไม่เจาะจงว่าจะเป็น Lead หรือ Lag เป็นมุมเดียวกับ θ ในสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า และ Cosθ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากในระบบไฟฟ้ามีตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF.) ต่ำ จะทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียในอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลง ส่งผลให้คุณภาพไฟฟ้าในระบบไม่ดี เกิดการสูญเสียและสิ้นเปลืองพลังงาน

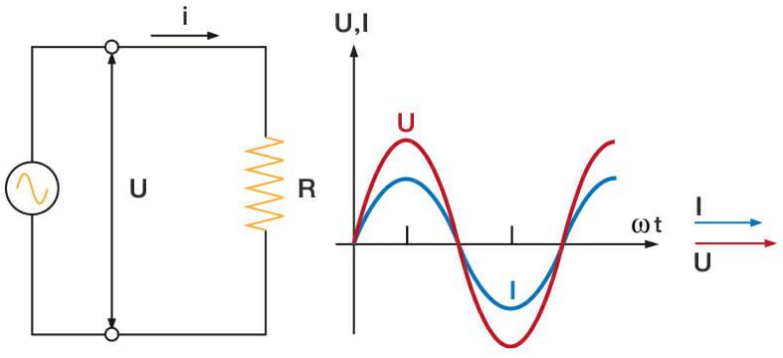
การไฟฟ้านครหลวง ได้มีมาตรฐานให้ผู้ใช้ไฟฟ้า ต้องปรับปรุงระบบให้มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) สูงกว่า 0.85 ขึ้นไป เพื่อให้ปริทธิภาพของระบบไฟฟ้าของประเทศดีขึ้น รวมทั้งลดการสูญเสียพลังงานโดยรวม ซึ่งทางการไฟฟ้านครหลวง จะมีค่าปรับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ปฏิบัติตาม

2,7 โหลด R, L และ C ต่อค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor)

โหลด (Load) คือ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของกระแสไฟฟ้า และแปลงเป็นพลังงานรูปแบบอื่น ๆ เช่น ความร้อน แสง เป็นต้น โหลดที่ใช้ในระบบไฟฟ้ามีด้วยกันหลายประเภท ซึ่งโหลดแต่ละประเภทก็จะส่งผลต่อระบบไฟฟ้าแตกต่างกัน สามารถจำแนกโหลดพื้นฐานเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ โหลดความต้านทาน (Resistive: R), โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductive: L) และ โหลดตัวเก็บประจุ (Capacitive: C)

2.7.1 โหลดความต้านทาน (Resistive: R) เป็นโหลดที่ทำให้ค่า Power Factor เท่ากับ 1 เช่น หลอดไฟฟ้าแบบไส้ เตารีดไฟฟ้า หม้อหุงข้าว เครื่องทำน้ำอุ่น เป็นต้น หากพิจารณาจากกราความสำพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันของโหลดประเภทนี้ กระแสและแรงดันจะมีมุมเฟสทางไฟฟ้าเดียวกัน ทำให้ไม่มีการใช้พลังงานรีแอคทีฟ (Reactive Power) และไม่เกิดการสูญเสียพลังงาน (Losses) ในระบบ

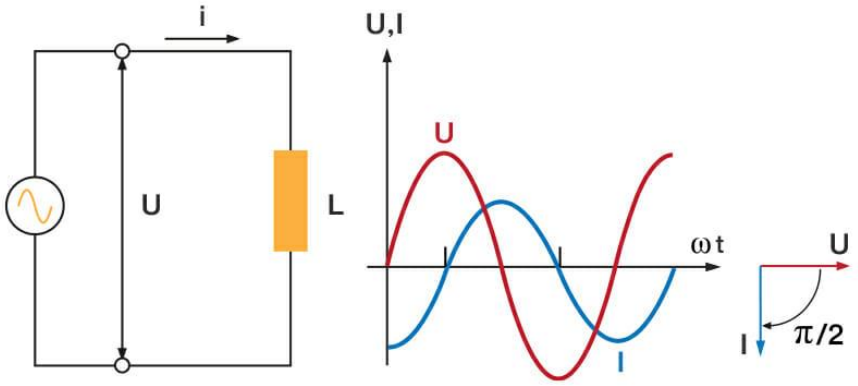
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 18 วงจรของโหลดความต้านทานต่ำที่กระแสและแรงดันมีมุมเฟสเดียวกัน

ที่มา: https://mall.factomart.com/guide-to-power-factor-correction/what-is-power-factor/

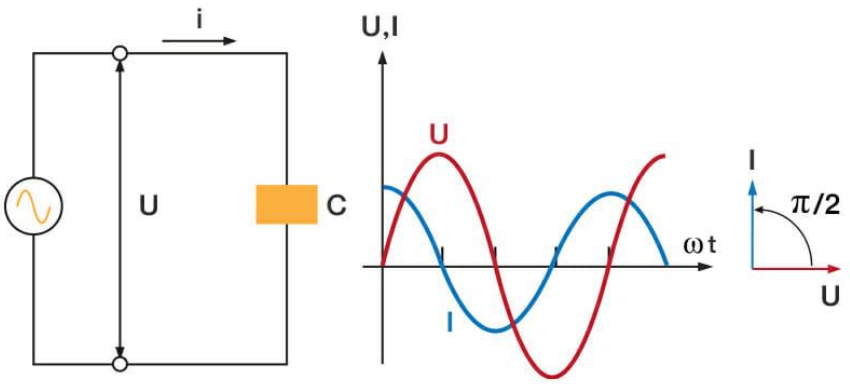
2.7.2 โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductive Load, L) เป็นโหลดที่ทำให้ค่า Power Factor ไม่เท่ากับ 1 เช่น มอเตอร์ บัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น หากพิจารณาเฉพาะโหลดตัวเหนี่ยวนำ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน พบว่า กระแสที่สร้างขึ้นจะล้าหลังกว่าแรงดันอยู่ 90° เสมอ หรือเกิดมุมทางไฟฟ้าต่างกัน (Phase-Shifted) กระแสตามหลังแรงดันอยู่ 90° ซึ่งอาจรู้จักโหลดประเภทนี้เป็นแบบล้าหลัง (Power Factor Lagging) นั่นเอง



รูปที่ 19 วงจรของโหลดตัวเหนี่ยวนำที่มุมเฟสของกระแสตามหลังแรงดันอยู่ 90°
ที่มา: https://mall.factomart.com/guide-to-power-factor-correction/what-is-power-factor/

2.7.3 โหลดตัวเก็บประจุ (Capacitive Load, C) เป็นโหลดที่ทำให้ค่า Power Factor ไม่เท่ากับ 1 เช่นเดียวกับโหลดตัวเหนี่ยวนำ ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรม จะใช้เป็นตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ (Capacitor Bank) ซึ่งหากพิจารณาเฉพาะโหลด C จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดัน พบว่ากระแสที่สร้างขึ้นจะนำหน้าแรงดันอยู่ 90° เสมอ หรือเกิดมุมทางไฟฟ้าต่างกัน (Phase-Shifted) กระแสนำหน้าแรงดันอยู่ 90° ซึ่งโหลดประเภทนี้ รู้จักกันอีกแบบคือ เพาเวอร์แฟคเตอร์แบบนำหน้า (Power Factor Leading)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 20 วงจรของโหลดตัวเก็บประจุที่มุมเฟสของกระแสนำหน้าแรงดันอยู่ 90°
ที่มา: https://mall.factomart.com/guide-to-power-factor-correction/what-is-power-factor/

กล่าวโดยสรุป คือ การที่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ที่ต่ำ จะทำให้ระบบการจ่ายไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำไปด้วย เนื่องจากประโยชน์ที่ได้รับจากกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) ในระบบไฟฟ้าจะต่ำกว่า ทำให้การไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์จำหน่ายและส่งอุปกรณ์ไฟฟ้าให้สูงขึ้น เพื่อรองรอบปริมาณพลังงานไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็น (Reactive Power) ที่เกิดขึ้น ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อภาพรวม ดังนั้นผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับปรุงค่าประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นอีก ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 ก็ยิ่งเกิดประโยชน์มากขึ้นตามไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (Motor Efficiency, eff)

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังขาออก (Output Power) และกำลังไฟฟ้าขาเข้า (Input Power) โดยที่ กำลังขาออก (Output Power) คือ กำลังงานที่มอเตอร์สามารถทำได้ และกำลังไฟฟ้าขาเข้า (Input Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์จะต้องใช้ เพื่อทำให้เกิดกำลังงานนั้น ๆ โดยที่ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ จะขึ้นอยู่กับค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวมอเตอร์นั้น ๆ ดังนั้นผู้ผลิตจึงออกแบบและเลือกใช้วัสดุในการผลิตที่มีความสูญเสียน้อย เช่น ขวดลวด แกนเหล็ก รวมถึงพัดลมระบายความร้อน เพื่อให้มอเตอร์นั้นมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

ปัจจุบัน มาตรฐานประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยทั่วไป จะถูกกำหนดโดยมตรฐาน IEC (International Electro technical Commission) ซึ่งเป็นหน่วยงานคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอเทคนิกส์ โดยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีระดับประสิทธิภาพ

ที่ระดับ IE2, IE3 และ IE4 และมเตอร์มาตรฐานจะมีระดับประสิทธิภาพอยู่ที่ IE1 เพื่อให้มอเตอร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ควรจัดการให้มอเตอร์ขับภาระโหลดประมาณ 80 – 100% โดยมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะใช้กำลังขาเข้าน้อย ทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า ทั้งนี้ ไม่ควรให้มอเตอร์รับภาระเกินกำลัง (Over load) เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง เกิดความร้อนสูงและอาจทำให้มอเตอร์ไหม้ได้

2.9 เวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินต่อ 1 สแลบ

ใช้เวลาที่ได้จากการคำนวณ โดยอ้างอิงจากการวัดเวลาที่ได้จากการตัดแผ่นหินตัวอย่างขนาดความยาว 0.3 เมตร เพื่อให้ได้ความเร็วในการตัดที่แท้จริงในการตัดแผ่นหินตามความเร็วแต่ละระดับที่ควบคุมไว้

2.10 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ได้มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานของเครื่องตัดหิน ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

2.10.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องตัดหิน

งานวิจัยหลายชิ้นชี้ว่า ความเร็วที่ใช้ตัดหิน การหมุนรอบของใบเลื่อย และขนาดของใบเลื่อย ล้วนมีผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องตัดหินทั้งสิ้น หากเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขณะตัดหิน (Power Consumption) พบว่า ในรอบการหมุนของใบเลื่อยที่เท่ากัน ความเร็วที่ใช้ที่มากกว่า จะใช้พลังงานไฟฟ้าขณะที่ตัดมากกว่า ([1-3]) แต่เมื่อพิจารณาดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC) จะพบว่า การตัดที่ความเร็วที่มาก จะมีค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานที่น้อยกว่า ([1-3]) และหากมีการตัดด้วยความเร็วที่เท่ากัน รอบการหมุนของใบเลื่อยที่มากกว่า จะทำให้การใช้พลังงานขณะที่ตัดมากกว่า ([1-3]) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่วิเคราะห์การใช้พลังงานโดยดูจากปัจจัยของขนาดของใบเลื่อย ซึ่งทำให้พบว่า ในความเร็วที่เท่ากัน ใบเลื่อยที่มีขนาดใหญ่กว่า จะสึกหรอได้ช้ากว่า ([3-4]) หากตัดด้วยความเร็วรอบที่ไม่สมดุลกับขนาดของใบเลื่อย จะทำให้ใบเลื่อยสึกหรอได้ง่าย ([3-4])

2.10.2 ความเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับขนาดของใบเลื่อยที่ใช้ตัดหินแต่ละชนิด

ได้มีการคำนวณเกี่ยวกับความเร็วรอบของใบเลื่อย และขนาดของใบเลื่อยที่เหมาะสมสำหรับหินแต่ละประเภท ตามการอ้างอิงที่ [6] ซึ่งการจะใช้ใบเลื่อยขนาดเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักรเป็นหลัก หากเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่ จะสามารถใช้ใบเลื่อยที่มีขนาดใหญ่ได้

2.10.3 เครื่องตัดหินที่ถูกใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

ในงานทดลองหลายชิ้นก่อนหน้านี้ เป็นการทดลองเกี่ยวกับเครื่องตัดบล็อกหิน (Block cutter machine) ซึ่งเป็นเครื่องตัดหินที่ตัดแผ่นหินขนาดต่าง ๆ จากบล็อกหินโดยตรง แต่กลับยังไม่มีงานวิจัยที่ทดลองกับเครื่องตัดแผ่นหินแบบสายพาน (Bride cutter machine) เลย ซึ่งในประเทศไทยนั้น เครื่องตัดบล็อกหินยังคงมีการใช้อยู่ ร่วมไปกับการใช้เครื่องตัดหินแบบสายพาน ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่า ผลวิจัยที่ได้ทดลองมาก่อนหน้านี้ หากนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องตัดแบบสายพาน จะให้ผลไปในทิศทางใด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 หินที่ใช้ในการทดลอง ใช้หิน 2 ชนิด ได้แก่

ก) หินอ่อน Rosso Levanto ขนาด 1.26 m × 3.04 ตารางเมตร จำนวน 1 สแลบ

ข) หินแกรนิตดำอินเดีย ขนาด 1.24 × 3.04 ตารางเมตร จำนวน 1 สแลบ

3.1.2 ความเร็วที่ใช้ในการตัด

ก) ความเร็วที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อน จะใช้ความเร็วที่ 1, 2 และ 3 เมตรต่อนาที ตามลำดับ ตามการตั้งค่าพื้นฐานของโรงงานที่ใช้ศึกษา

ข) ความเร็วที่ใช้ในการตัดแผ่นหินแกรนิต จะใช้ความเร็วที่ 1, 2 และ 2.5 เมตรต่อนาที ตามลำดับ ตามการตั้งค่าพื้นฐานของโรงงานที่ใช้ศึกษา

รูปที่ 21 หน้าจอการควบคุมความเร็วในการตัดของเครื่องตัดแผ่นหิน

3.1.3 ความเร็วรอบของใบเลื่อย

ก) ความเร็วรอบของใบเลื่อยที่ใช้ในการตัดหินอ่อน จะอยู่ที่ 2,700 rpm ตามการตั้งค่าพื้นฐานของโรงงานที่ใช้ศึกษา (7)

ข) ความเร็วรอบของใบเลื่อยที่ใช้ในการตัดหินแกรนิต จะอยู่ที่ 1,700 rpm ตามการตั้งค่าพื้นฐานของโรงงานที่ใช้ศึกษา (7)

3.1.3 ขนาดของใบเลื่อยที่ใช้

ขนาดของใบเลื่อยที่ใช้จะอยู่ที่ 12 นิ้ว สำหรับหินอ่อน และ 14 นิ้ว สำหรับหินแกรนิต ตามการตั้งค่าพื้นฐานของโรงงานที่ใช้ศึกษา เนื่องจากหินแกรนิตมีขนาดที่แข็งกว่าหินอ่อน ดังนั้น ทางโรงงานจึงใช้ใบเลื่อยที่มีขนาดที่ใหญ่กว่าสำหรับการตัดแผ่นหินแกรนิต

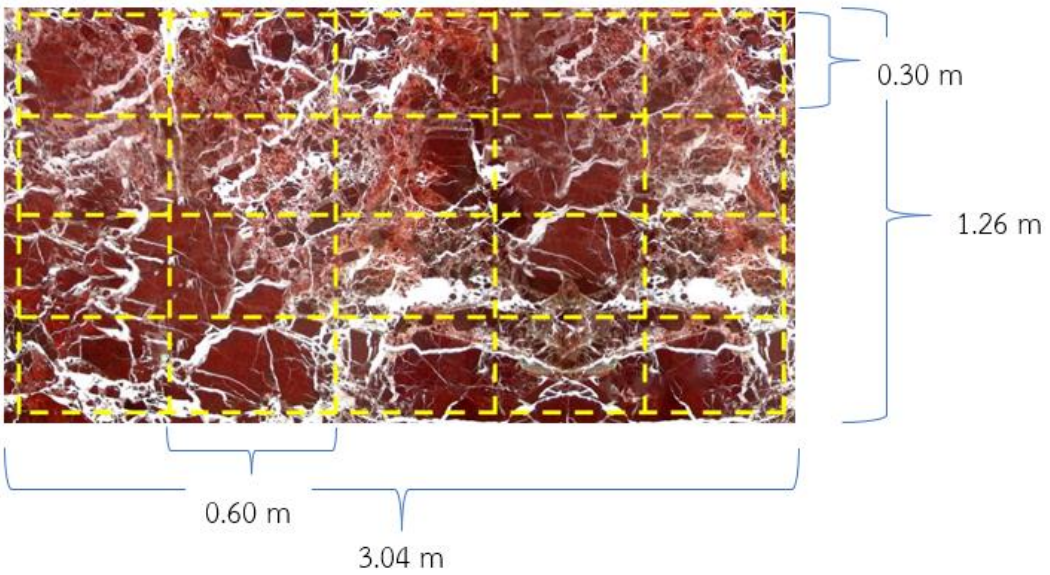
3.1.4 แรงดันไฟฟ้าที่ใช้

เป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟส แรงดันไฟฟ้าคือ 380 Volt

3.1.5 ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ คือ 0.84

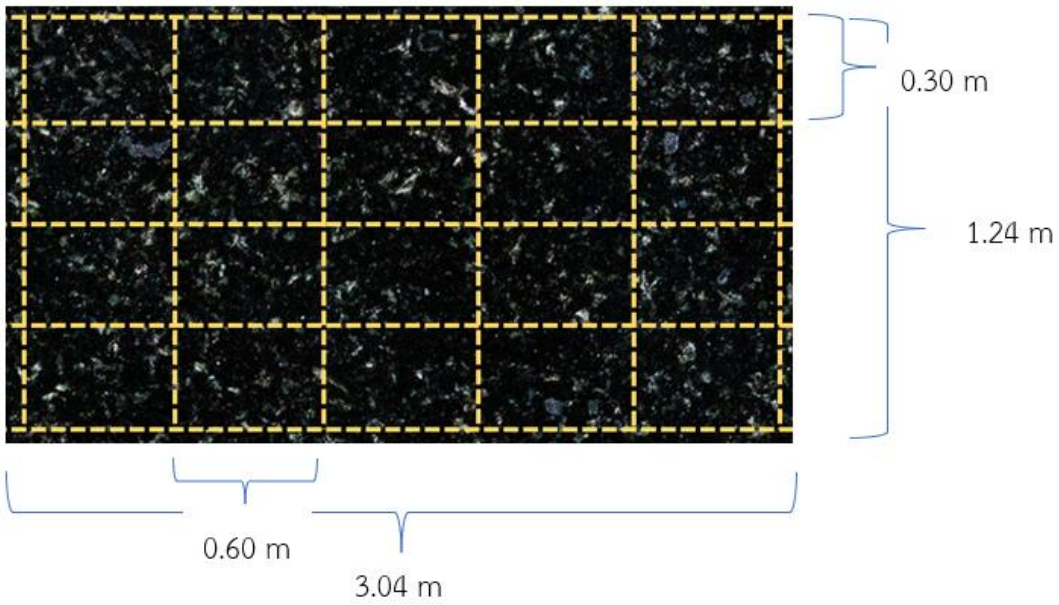
3.1.6 ขนาดที่ตัด

ก) ตัดหินอ่อน Rosso Levanto ขนาด 0.30 m × 0.60 ตารางเมตร จำนวน 20 แผ่น ต่อแผ่นหิน 1 สแลบ ดังแสดงในรูปที่ 22



รูปที่ 22 การตัดหินอ่อน 1 แสลบ ขนาด 0.30 × 0.60 ตารางเมตร จำนวน 20 แผ่น

ข) ตัดหินแกรนิตดำอินเดีย ขนาด 0.30 m × 0.60 ตารางเมตร จำนวน 20 แผ่น ต่อแผ่นหิน 1 สแลบ ดังแสดงในรูปที่ 23



รูปที่ 23 การตัดหินแกรนิต 1 แสลบ ขนาด 0.30 × 0.60 ตารางเมตร จำนวน 20 แผ่น

3.1.7 จำนวนแผ่นที่ตัด ต่อ 1 ปี

โรงงานที่ใช้ศึกษา จะทำงานทุกวัน ยกเว้นวันอาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์ และในปี พ.ศ. 2565 มีจำนวนวันทั้งสิ้น 365 วัน มีวันหยุดวันอาทิตย์ 52 วัน วันหยุดนักขัตฤกษ์ที่ไม่ใช่วันอาทิตย์ 19 วัน รวมเหลือวันทำงานทั้งสิ้น 294 วัน

ก) หินอ่อน เครื่องตัดแผ่นหิน 1 เครื่อง จะสามารถตัดหินอ่อนได้ 8 ถึง 10 สแลบต่อวัน ได้ว่า ใน 1 ปี สามารถตัดแผ่นหินอ่อนได้ 2,352 – 2,940 สแลบ ต่อเครื่องตัดแผ่นหิน 1 เครื่อง

ข) หินแกรนิต เครื่องตัดแผ่นหิน 1 เครื่อง จะสามมารถตัดหินแกรนิตได้ 6 ถึง 8 สแลบต่อวัน จะได้ว่า ใน 1 ปี สามารถตัดแผ่นหินแกรนิตได้ 1,764 – 2,352 สแลบ ต่อเครื่องตัดแผ่นหิน 1 เครื่อง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

Digital Clamp Meter ใช้วัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการตัดหิน โดยวัดทั้งสิ้น 4 ครั้ง ต่อความเร็ว 1 ระดับ แล้วนำค่าที่วัดได้ ไปคำนวณหากำลังไฟฟ้าต่อไป

รูปที่ 24 ตัวอย่างของเครื่อง Digital Clamp Meter

3.3 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตัดแผ่นหิน

การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากการตัดแผ่นหินนั้น จะวัดในขณะที่กำลังตัดอยู่ โดยระบบไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานเป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟส ทำให้ต้องวัดกระแสไฟฟ้าขณะตัดของเส้นไลน์ทั้ง 3 เส้น จากนั้นจึงนำค่ากระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เส้นที่ได้มารวมกัน ซึ่งการวัดนั้น จะวัดทั้งสิ้น 4 ครั้ง ต่อ 1 ความเร็ว จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลในการคำนวณต่อไป

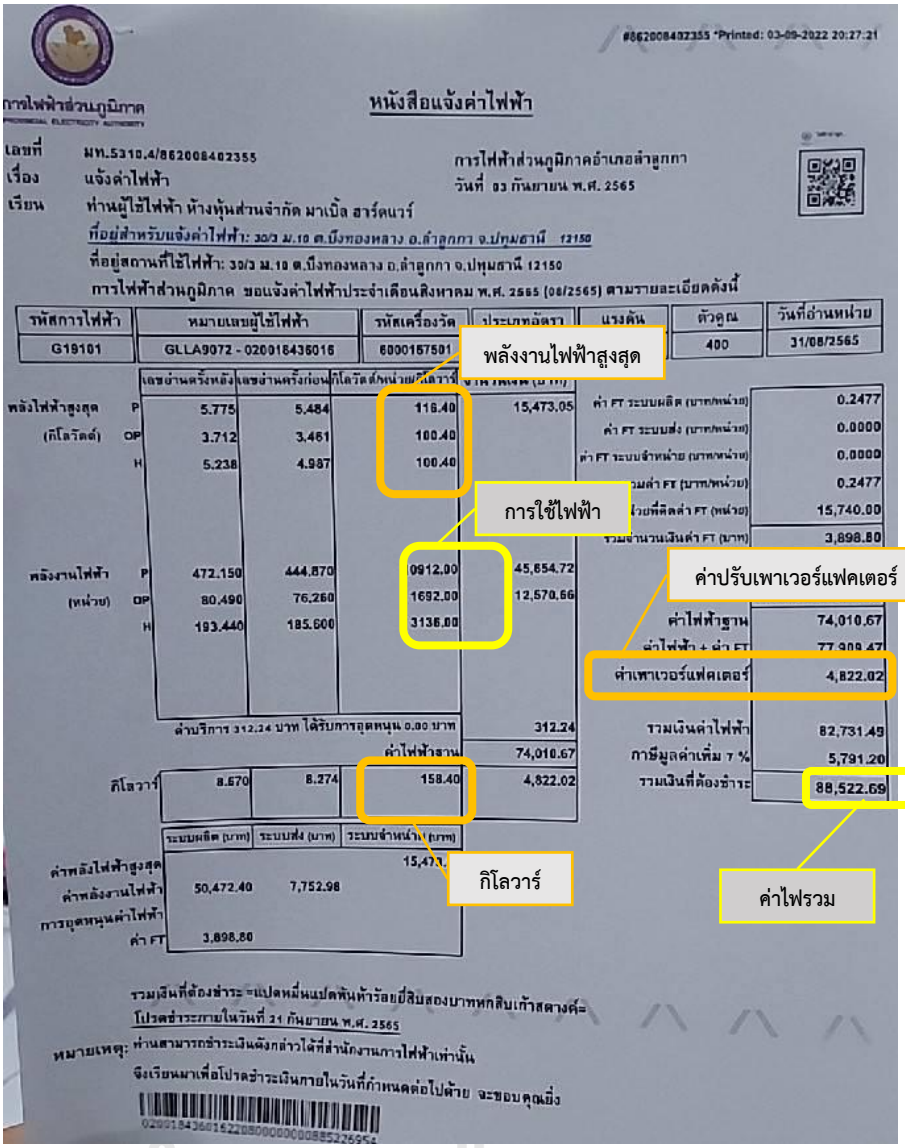
รูปที่ 25 การตัดแผ่นหิน

รูปที่ 26 การวัดกระแสไฟฟ้าขณะที่กำลังตัด

รูปที่ 27 ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ แสดงผลออกมาทางหน้าจอของ Digital Clamp Meter

3.4 ค่าไฟ

สำหรับบิลค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา เป็นบิลค่าไฟของเดือนกันยายน พ.ศ. 2565 โดยจะคำนวณจากค่าไฟตลอดทั้งเดือน หารด้วยจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในเดือนนั้น ซึ่งบิลค่าไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานที่ศึกษา เพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าไฟต่อหน่วย จะแสดงดังรูปที่ 28



รูปที่ 28 บิลค่าไฟที่เรียกเก็บจากโรงงานที่ใช้ศึกษา

จากรูปที่ 13 สามารถคำนวณค่าไฟต่อหน่วยได้ ดังนี้

การใช้ไฟฟ้าโดยรวม = 10,912.00 + 1,692.00 + 3,136.00

= 15,740.00 หน่วย

ค่าไฟ = 88,522.69 บาท

จะได้ ค่าไฟต่อหน่วย = $\frac{\text{ค่าไฟ}}{\text{การใช้ไฟฟ้าโดยรวม}}$

= $\frac{\mathbf{88,522.60}}{\mathbf{15,740.00}}$

= 5.62 บาท ต่อ 1 หน่วยการใช้ไฟฟ้า

นำราคาต่อหน่วยที่ได้ มาคำนวณเพื่อหาว่า การตัดแผ่นหินด้วยความเร็วระดับใดจึงจะมีค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานน้อยที่สุด

3.5 คำนวณหาค่า Power Factor

3.5.1 หา Apparent Power โดยการนำค่ากิโล-วาร์ ลบด้วยผลคูณของค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดกับค่า 0.6197 จะได้

$$\text{Reactive Power (Q)} = 158.40 - (116.40 \times 0.6197)$$
$$= 86.266 \text{ kVAR}$$

เนื่องจากค่า Apparent Power มีค่าเป็นบวก ดังนั้นจึงทำให้เสียค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ซึ่งมีราคาหน่วยละ 56.07 บาท (การไฟฟ้านครหลวง) ซึ่งเศษของค่า Reactive Power ถ้าต่ำกว่า 0.5 ให้ปัดขึ้นเป็น 1 กิโล-วาร์ แต่ถ้าต่ำกว่า 0.5 ให้ตัดออก ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ได้ ดังนี้

$$\text{ค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์} = 86 \times 56.07 \text{ บาท}$$
$$= 4,822.02 \text{ บาท}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่คำนวณได้ คือ 4,822.02 บาท ซึ่งตรงกับที่แสดงในบิลค่าในตามรูปที่ 27 และคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารวมได้ ดังนี้

P_{total} = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด
= 116.4 + 100.4 + 100.4
= 317.2 kW

เมื่อได้ค่ากิโล-วาร์ และค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดแล้ว สามารถคำนวณหาค่า Power Factor ได้ ตามสมการที่ (4) จะได้

$$\text{Power Factor (PF.)} = \frac{1}{\sqrt{(\frac{86.266}{317.2})^2 + 1}}$$

$$= \frac{1}{1.271}$$

$$= 0.78$$

ดังนั้น ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) คือ 0.78

3.5 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า

เนื่องจากเป็นกระแสไฟฟ้า 3 เฟส การจะคำนวณหากำลังไฟฟ้านั้น สามารถนำค่ากระแสไฟฟ้าขณะที่ตัดแผ่นหินอ่อนและหินแกรนิตที่ได้จากข้อ 3.3 มาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า ตามสมการที่ (9)

$$P = \frac{1.732 \times E \times I \times PF \times eff.}{1{,}000} \quad (9)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า (kW)

E คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) มีค่า 380 volt

I คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ (แอมแปร์)

PF คือ ค่า Power Factor ในที่นี้มีค่า 0.78

eff. คือ ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ ในที่นี้มีค่า 0.84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5 คำนวณหาหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดแผ่นหิน 1 สแลบ

นำเวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) และค่ากำลังไฟฟ้า ที่คำนวณได้จากสมการที่ (9) มาคำนวณหาหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการตัดแผ่นหิน 1 สแลบ โดยใช้สมการที่ (10) ดังต่อไปนี้

$$\text{การใช้ไฟฟ้า (หน่วย)} = P \times N \times h \quad (10)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า (watt)

N คือ จำนวนเครื่องจักร

h คือ เวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหิน 1 สแลบ (hour)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 หินอ่อน

4.1.1 วัดกระแสไฟฟ้าจาก Bridge Cutter Machine ขณะตัดแผ่นหินอ่อน โดยใช้เครื่อง Digital Clamp Meter โดยวัดทั้งหมด 4 ครั้ง ต่อความเร็ว เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งใช้เป็นตัวแทนค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวัดกระแสไฟฟ้า จาก Bridge Cutter Machine ที่ตัดแผ่นหินอ่อน

ความเร็ว (m/min)	**สายไฟ**	**วัดครั้งที่ 1 (A)**	**วัดครั้งที่ 2 (A)**	**วัดครั้งที่ 3 (A)**	**วัดครั้งที่ 4 (A)**	**เฉลี่ย (A)**
1	เส้นที่ 1	16.40	16.08	16.17	16.83	
	เส้นที่ 2	16.00	16.43	17.01	16.27	
	เส้นที่ 3	15.98	16.02	16.55	16.24	
	รวม	48.38	48.53	49.73	49.34	**49.00±0.65**
2	เส้นที่ 1	16.14	16.56	17.00	16.67	
	เส้นที่ 2	16.39	16.41	16.37	15.99	
	เส้นที่ 3	16.77	16.49	16.38	16.22	
	รวม	49.30	49.46	50.35	48.88	**49.50±0.62**
3	เส้นที่ 1	18.56	18.67	19.41	18.64	
	เส้นที่ 2	18.31	19.10	18.97	18.75	
	เส้นที่ 3	19.60	18.77	18.34	18.86	
	รวม	56.47	56.54	56.72	56.25	**56.50±0.19**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่า ที่ความเร็ว 3.00 เมตรต่อนาที ใช้กระแสไฟฟ้าขณะที่ตัดมากที่สุด ที่ 56.50 แอมแปร์ (A) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) อยู่ที่ 0.65 ในขณะที่ ที่ความเร็ว 2.00 เมตรต่อนาที และความเร็ว 1.00 เมตรต่อนาที ใช้กระแสไฟฟ้าขณะที่ตัดในค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

คือ 49.50 แอมแปร์ (A) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) อยู่ที่ 0.62 และ 49.00 แอมแปร์ (A) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ (SD) 0.19 ตามลำดับ

4.1.2 คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าขณะตัดแผ่นหินอ่อน

คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า จากกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากตารางที่ 4 ตามสมการ (9) ดังที่แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการตัดแผ่นหินอ่อน

ความเร็ว (m/min)	**วัดครั้งที่ 1 (kW)**	**วัดครั้งที่ 2 (kW)**	**วัดครั้งที่ 3 (kW)**	**วัดครั้งที่ 4 (kW)**	**เฉลี่ย (kW)**
1	20.86	20.93	21.44	21.28	**21.13±0.28**
2	21.26	21.33	21.71	21.08	**21.43±0.27**
3	24.35	24.38	24.46	24.26	**24.36±0.08**

จากตารางที่ 5 เมื่อตัดแผ่นหินอ่อนด้วยความเร็ว 1.00 เมตรต่อนาที จะใช้กำลังไฟฟ้าขณะตัดแผ่นหินอยู่ที่ 21.13 กิโลวัตต์ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.28 เมื่อตัดแผ่นหินอ่อนด้วยความเร็ว 2.00 เมตรต่อนาที จะใช้กำลังไฟฟ้าขณะตัดแผ่นหินอยู่ที่ 21.43 กิโลวัตต์ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.27 และเมื่อตัดแผ่นหินด้วยความเร็ว 3.00 เมตรต่อนาที จะใช้กำลังไฟฟ้าขณะตัดแผ่นหินอยู่ที่ 24.36 กิโลวัตต์ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.08 จะเห็นว่า เมื่อตัดแผ่นหินอ่อนด้วยความเร็ว 1.00 และ 2.00 เมตรต่อนาที การใช้กำลังไฟฟ้าขณะตัดแผ่นหินไม่ได้มีค่าที่ห่างกันมากนัก แต่เมื่อเพิ่มความเร็วที่ใช้ตัดขึ้นเป็น 3.00 เมตรต่อนาที กำลังไฟฟ้าขณะท่ใช้ตัดกับพุ่งสูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 คำนวณเวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อน 1 แผ่น

ความเร็วจริงในการตัด วัดได้โดยการจับเวลาโดยการตัดแผ่นหินอ่อนขนาด 0.3 เมตร จำนวน 4 ครั้ง ต่อความเร็วหนึ่งระดับ สามารถแสดงเวลาได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อนขนาด 0.3 เมตร ตามความเร็วทั้งสามระดับ

ความเร็วที่ใช้ในการตัด	จับเวลาครั้งที่ 1 (วินาที)	จับเวลาครั้งที่ 2 (วินาที)	จับเวลาครั้งที่ 3 (วินาที)	จับเวลาครั้งที่ 4 (วินาที)	**เฉลี่ย (วินาที)**
1 m/min	18.76	18.97	18.56	19.02	**18.83±0.21**
2 m/min	9.5	9.35	9.66	9.34	**9.46±0.15**
3 m/min	6.44	6.39	6.52	6.77	**6.53±0.17**

จากตารางที่ 6 แสดงเวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อนขนาด 0.3 เมตร ซึ่งสามารถคำนวณความเร็วที่แท้จริงที่ใช้ในการตัดได้ ดังสมการ

$$\mathbf{V = \frac{0.3 \times 60}{t}} \qquad (11)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วที่แท้จริงในการตัด

t คือ เวลาที่วัดได้ จากการตัดแผ่นหินขนาด 0.3 เมตร

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 6 มาคำนวณตามสมการที่ 11 สามารถทราบค่าความเร็วที่แท้จริงในการตัดได้ โดยแสดงในตารางที่ 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 ความเร็วที่แท้จริงที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อนขนาด 0.3 เมตร ตามความเร็วทั้งสามระดับ

	ความเร็วในการตัดที่แท้จริง ที่คำนวณจากการจับเวลา				
ความเร็วที่ใช้ในการตัด	ครั้งที่ 1 (m/min)	ครั้งที่ 2 (m/min)	ครั้งที่ 3 (m/min)	ครั้งที่ 4 (m/min)	**เฉลี่ย (m/min)**
1 m/min	0.96	0.95	0.97	0.95	**0.96±0.01**
2 m/min	1.89	1.93	1.86	1.93	**1.9±0.03**
3 m/min	2.80	2.82	2.76	2.66	**2.76±0.07**

จากตารางที่ 7 แสดงความเร็วที่แท้จริงในการตัดแผ่นหินอ่อนตามความเร็วทั้ง 3 ระดับ เมื่อควบคุมความเร็วไว้ที่ 1 เมตรต่อนาที ผลการวัดทำให้ทราบว่า ความเร็วที่แท้จริงในการตัดจะอยู่ที่ 0.96 เมตรต่อนาที โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.01 และเมื่อควบคุมความเร็วไว้ท 2 เมตร

ต่อนาที มีความเร็วที่แท้จริงอยู่ที่ 1.9 เมตรต่อนาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 0.03 และเมื่อควบคุมความเร็วไว้ที่ 3 เมตรต่อนาที จะมีความเร็วในการตัดที่แท้จริงอยู่ที่ 2.76 เมตรต่อนาที มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.07

จากรูปที่ 22 สามารถแสดงจำนวนครั้งที่ใบเลื่อยเลื่อนผ่านหินอ่อน ในการตัดหินอ่อน Rosso Levanto ตามที่แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 จำนวนครั้งการเลื่อนผ่านของใบเหลื่อย ในการตัดหินอ่อน Rosso Levanto ตามรูปที่ 22 จำนวน 1 สแลบ

การตัด	**กว้าง (m)**	**ยาว (m)**	**จำนวน (ครั้ง)**
ตัดขอบ	1.26	-	2
	-	3.04	2
ตัดตามด้านกว้าง	1.20	-	4
ตัดตามด้านยาว	-	3.00	3

จากตารางที่ 8 จะเห็นว่า มีการตัดขอบด้านละครั้ง โดยตัดด้านกว้าง 2 ครั้ง และด้านยาว 2 ครั้ง จากนั้นนำแผ่นสแลบที่ตัดขอบเรียบร้อยแล้ว มาตัดให้มีขนาดเล็กลง โดยตัดตามด้านกว้างทั้งหมด 4 ครั้ง ให้เป็นแผ่นหินขนาดยาว 5 แผ่น จากนั้นนำแผ่นหินขนาดยาวมาตัดอีกแผ่นละ 3 ครั้ง ดังที่แสดงให้เห็นตามรูปที่ 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อทราบค่าจำนวนการการเลื่อนผ่านของใบมีดต่อการตัดแผ่นหินอ่อน 1 สแลบ จะสามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการตัดในการตัดแผ่นหินอ่อน 1 สแลบ ตามสมการที่ (12)

$$t = m \times v \times n \qquad (12)$$

โดยที่ t คือ เวลาที่ใช้ในการตัด

m คือ ความยาวของหินที่ตัด

v คือ ความเร็วที่ใช้ตัด

n คือ จำนวนครั้งที่ใช้ตัดตามแนวนั้น ๆ

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 8 มาคำนวณตามสมการที่ (12) โดยจะใช้ความเร็วในการตัดที่แท้จริงโดยเฉลี่ยจากตารางที่ 7 มาคำนวณ ซึ่งสามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto จำนวน 1 สแลบ ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เวลาที่ใช้ตัดหินอ่อน Rosso Levanto จำนวน 1 สแลบ

ความเร็ว (m/min)		**เวลาที่ใช้ตัดตามด้านกว้าง (min)**	**เวลาที่ใช้ตัดตามด้านยาว (min)**	**รวม (min)**
1 (ความเร็วที่แท้จริงคือ 0.96)	ตัดขอบ	2.64	-	2.64
		-	6.36	6.36
	ตัดตามด้านกว้าง	5.02	-	5.02
	ตัดตามด้านยาว	-	9.41	9.41
รวม				**23.43**
2 (ความเร็วที่แท้จริงคือ 1.90)	ตัดขอบ	1.32	-	1.32
		-	3.20	3.20
	ตัดตามด้านกว้าง	2.52	-	2.52
	ตัดตามด้านยาว	-	4.73	4.73
รวม				**11.78**
3 (ความเร็วที่แท้จริงคือ 2.76)	ตัดขอบ	0.91	-	0.91
		-	2.21	2.21
	ตัดตามด้านกว้าง	1.74	-	1.74
	ตัดตามด้านยาว	-	3.27	3.27
รวม				**8.13**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่า เมื่อตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ขนาด 1.26 x 3.04 ตารางเมตร ด้วยความเร็ว 1.00 เมตรต่อนาที จะใช้เวลาในการตัด อยู่ที่ 23.43 นาที เมื่อตัดด้วยความเร็ว 2.00 เมตรต่อนาที จะใช้เวลาในการตัด อยู่ที่ 11.78 นาที และเมื่อตัดด้วยความเร็ว 3.00 เมตรต่อนาที จะใช้เวลาในการตัด อยู่ที่ 8.13 นาที

4.1.3 คำนวณหน่วยการใช้ไฟฟ้า ต่อการตัดหินอ่อน 1 แผ่น

นำค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ที่ได้จากตารางที่ 5 และค่าเวลาที่ได้จากตารางที่ 9 มาคำนวณโดยใช้สมการ (10) จะสามารถหาค่าหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการตัดแผ่นหินอ่อน ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 หน่วยการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการตัดแผ่นหินอ่อน 1 แสลบ

ความเร็ว (m/min)	**วัดครั้งที่ 1 (หน่วย)**	**วัดครั้งที่ 2 (หน่วย)**	**วัดครั้งที่ 3 (หน่วย)**	**วัดครั้งที่ 4 (หน่วย)**	**เฉลี่ย (หน่วย)**
1	8.15	8.17	8.37	8.31	**8.25±0.11**
2	4.17	4.19	4.26	4.14	**4.19±0.05**
3	3.30	3.30	3.31	3.29	**3.30±0.01**

จากตารางที่ 10 สามารถแสดงหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อการตัดแผ่นหิน 1 แสลบ ดังนั้น เมื่อตัดด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที จะใช้ไฟฟ้าในการตัดอยู่ที่ 8.25 หน่วยต่อสแลบ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.11 เมื่อตัดด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที จะใช้ไฟฟ้าในการตัดอยู่ที่ 4.19 หน่วยต่อแสลบ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.05 และเมื่อตัดด้วยความเร็ว 3 เมตรต่อนาที จะใช้ไฟฟ้าในการตัดอยู่ที่ 3.30 หน่วยต่อแสลบ มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.01

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นว่า หากตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ด้วยความเร็ว 3 เมตรต่อนาที จะใช้หน่วยไฟฟ้าในตัดน้อยอยู่ที่ แล้วจึงเป็นการตัดด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที และความเร็ว 1 เมตรต่อนาที ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 หินแกรนิต

4.2.1 วัดกระแสไฟฟ้าจาก Bridge Cutter Machine ขณะตัดแผ่นหินแกรนิต โดยใช้เครื่อง Digital Clamp Meter ซึ่งจะวัดทั้งหมด 4 ครั้ง ในแต่ละความเร็ว เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่จะนำมาเป็นข้อมูลในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าต่อไป จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ทั้ง 4 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 11 ผลการวัดกระแสไฟฟ้า จาก Bridge Cutter Machine ที่ตัดแผ่นหินแกรนิต

ความเร็ว (m/min)	**สายไฟ**	**วัดครั้งที่ 1 (A)**	**วัดครั้งที่ 2 (A)**	**วัดครั้งที่ 3 (A)**	**วัดครั้งที่ 4 (A)**	**เฉลี่ย (A)**
1	เส้นที่ 1	15.10	14.97	15.40	14.80	
	เส้นที่ 2	15.40	15.00	14.74	15.09	
	เส้นที่ 3	14.80	15.09	14.90	14.90	
	รวม	45.30	45.06	45.04	15.20	**45.01±0.14**
2	เส้นที่ 1	15.00	15.90	15.42	14.90	
	เส้นที่ 2	16.20	15.63	16.19	15.67	
	เส้นที่ 3	14.60	16.38	15.98	16.30	
	รวม	45.80	47.91	47.59	46.87	**47.04±0.94**
2.5	เส้นที่ 1	16.30	16.47	15.73	16.45	
	เส้นที่ 2	15.80	16.23	16.90	15.90	
	เส้นที่ 3	16.10	15.90	16.20	16.38	
		48.20	48.60	48.83	48.73	**48.59±0.28**

จากตารางที่ 11 จะเห็นว่า ที่ความเร็ว 2.50 เมตรต่อนาที ใช้กระแสไฟฟ้าขณะที่ตัดมากที่สุด ที่ 45.01 แอมแปร์ (A) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) อยู่ที่ 0.14 ในขณะที่ ที่ความเร็ว 2.00 เมตรต่อนาที .ใช้กระแสไฟฟ้าขณะตัดรองลงมา คือ 47.04 แอมแปร์ (A) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.94 และตัดด้วยความเร็ว 1.00 เมตรต่อนาที ใช้กระแสไฟฟ้าขณะที่ตัดอยู่ที่ 48.59 แอมแปร์ (A) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ (SD) 0.28 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.3 คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะตัดแผ่นหินแกรนิต

นำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากตารางที่ 9 มาคำนวณตามสมการที่ (9) เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะที่ตัดแผ่นหินแกรนิต ซึ่งสามารถแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 12 ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย

ความเร็ว (m/min)	**วัดครั้งที่ 1 (kW)**	**วัดครั้งที่ 2 (kW)**	**วัดครั้งที่ 3 (kW)**	**วัดครั้งที่ 4 (kW)**	**เฉลี่ย (kW)**
1	19.53	19.43	19.42	19.52	**19.48±0.06**
2	19.75	20.66	20.52	20.21	**20.29±0.4**
2	20.79	20.96	21.06	21.01	**20.95±0.12**

จากตารางที่ 12 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะตัดแผ่นหิน จะเห็นว่า หากตัดด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที จะใช้กำลังไฟฟ้าขณะที่ตัดอยู่ที่ 19.48 เมตรต่อนาที มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.06 เมื่อตัดด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที จะใช้กำลังไฟฟ้าขณะที่ตัดอยู่ที่ 20.29 เมตรต่อนาที และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.4 และเมื่อตัดด้วยความเร็ว 2.5 เมตรต่อนาที จะใช้กำลังไฟฟ้าขณะที่ตัดอยู่ที่ 20.95 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.12

4.2.4 คำนวณเวลาที่ใช้ในการตัดหินแกรนิตดำอินเดีย จำนวน 1 สแลบ

ความเร็วจริงในการตัด วัดได้โดยการจับเวลาโดยการตัดแผ่นหินแกรนิตขนาด 0.3 เมตร จำนวน 4 ครั้ง ต่อความเร็วหนึ่งระดับ สามารถแสดงเวลาได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 เวลาที่ใช้ในการตัดแผ่นหินอ่อนขนาด 0.3 เมตร ตามความเร็วทั้งสามระดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็วที่ใช้ในการตัด	จับเวลาครั้งที่ 1 (วินาที)	จับเวลาครั้งที่ 2 (วินาที)	จับเวลาครั้งที่ 3 (วินาที)	จับเวลาครั้งที่ 4 (วินาที)	**เฉลี่ย (วินาที)**
1 m/min	18.35	18.73	18.56	18.77	**18.60±0.19**
2 m/min	9.32	9.54	9.24	9.55	**9.41±0.16**
2.5 m/min	7.56	8.01	7.72	7.32	**7.65±0.29**

เมื่อนำค่าที่ได้จากตารางที่ 13 มาคำนวณตามสมการที่ 11 สามารถทราบค่าความเร็วที่แท้จริงในการตัดได้ โดยแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ความเร็วที่แท้จริงที่ใช้ในการตัดแผ่นหินแกรนิตขนาด 0.3 เมตร ตามความเร็วทั้งสามระดับ

	ความเร็วในการตัดที่แท้จริง ที่คำนวณจากการจับเวลา				
ความเร็วที่ใช้ในการตัด	ครั้งที่ 1 (m/min)	ครั้งที่ 2 (m/min)	ครั้งที่ 3 (m/min)	ครั้งที่ 4 (m/min)	**เฉลี่ย (m/min)**
1 m/min	0.98	0.96	0.97	0.95	**0.97±0.01**
2 m/min	1.93	1.89	1.95	1.88	**1.91±0.03**
2.5 m/min	2.38	2.25	2.33	2.46	**2.35±0.09**

จากตารางที่ 14 แสดงความเร็วที่แท้จริงในการตัดแผ่นหินอ่อนตามความเร็วทั้ง 3 ระดับ เมื่อควบคุมความเร็วไว้ที่ 1 เมตรต่อนาที ผลการวัดทำให้ทราบว่า ความเร็วที่แท้จริงในการตัดจะอยู่ที 0.96 เมตรต่อนาที โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.01 และเมื่อควบคุมความเร็วไว้ท 2 เมตรต่อนาที มีความเร็วที่แท้จริงอยู่ที่ 1.9 เมตรต่อนาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 0.03 และเมื่อควบคุมความเร็วไว้ที่ 3 เมตรต่อนาที จะมีความเร็วในการตัดที่แท้จริงอยู่ที่ 2.76 เมตรต่อนาที มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.07

จากรูปที่ 23 สามารถแสดงจำนวนครั้งที่ใบเลื่อยเลื่อนผ่านหินอ่อน ในการตัดหินแกรนิตดำอินเดีย ตามที่แสดงในตารางที่ 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 15 จำนวนครั้งการเลื่อนผ่านของใบมีด ในการตัดหินแกรนิตดำอินเดีย ตามรูปที่ 23 จำนวน 1 สแลบ

การตัด	**กว้าง (m)**	**ยาว (m)**	**จำนวน (ครั้ง)**
ตัดขอบ	1.24	-	2
	-	3.04	2
ตัดตามด้านกว้าง	1.20	-	4
ตัดตามด้านยาว	-	3.00	3

จากตารางที่ 15 จะเห็นว่า มีการตัดขอบด้านละครั้ง โดยตัดด้านกว้าง 2 ครั้ง และด้านยาว 2 ครั้ง จากนั้นนำแผ่นสแลบที่ตัดขอบเรียบร้อยแล้ว มาตัดให้มีขนาดเล็กลง โดยตัดตามด้านกว้าง

ทั้งหมด 4 ครั้ง ให้เป็นแผ่นหินขนาดยาว 5 แผ่น จากนั้นนำแผ่นหินขนาดยาวมาตัดอีกแผ่นละ 3 ครั้ง ดังที่แสดงให้เห็นตามรูปที่ 21

เมื่อทราบค่าจำนวนการการเลื่อนผ่านของใบมีดต่อการตัดแผ่นหินแกรนิต 1 สแลบ จะสามารถนำค่าจากตารางที่ 13 มาคำนวณเวลาที่ใช้ในการตัดในการตัดแผ่นหินแกรนิต 1 สแลบ ได้จากสมการที่ (12) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 เวลาที่ใช้ตัดหินแกรนิตดำอินเดีย จำนวน 1 สแลบ

ความเร็ว (m/min)		**เวลาที่ใช้ตัดตามด้านกว้าง (min)**	**เวลาที่ใช้ตัดตามด้านยาว (min)**	**รวม (min)**
1.00	ตัดขอบ	2.56	-	2.56
		-	6.28	6.28
	ตัดตามด้านกว้าง	4.96	-	4.96
	ตัดตามด้านยาว	-	9.30	9.30
รวม				**23.11**
2.00	ตัดขอบ	1.30	-	1.30
		-	3.18	3.18
	ตัดตามด้านกว้าง	2.51	-	2.51
	ตัดตามด้านยาว	-	4.71	4.71
รวม				**11.69**
2.50	ตัดขอบ	1.05	-	1.05
		-	2.58	2.58
	ตัดตามด้านกว้าง	2.04	-	2.04
	ตัดตามด้านยาว	-	3.83	3.83
รวม				**9.51**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 16 จะเห็นว่า เมื่อแผ่นหินแกรนิตดำอินเดียขนาด 1.24 x 3.04 ตารางเมตร ด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที จะใช้เวลาในการตัดต่อแผ่นอยู่ที่ 23.11 นาที เมื่อตัดแผ่นหินแกรนิต

ด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที จะใช้เวลาในการตัดแผ่นหินแกรนิตต่อแผ่นอยู่ที่ 11.69 นาที และเมื่อตัดด้วยความเร็ว 2.5 เมตรต่อนาที จะใช้เวลาในการตัดแผ่นหินแกรนิตต่อแผ่นอยู่ที่ 9.51 นาที

4.2.5 คำนวณหน่วยการใช้ไฟฟ้า ต่อการตัดหินแกรนิต 1 แผ่น

นำค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย ที่ได้จากตารางที่ 10 และค่าเวลาที่ได้จากตารางที่ 14 มาคำนวณโดยใช้สมการ (10) จะสามารถหาค่าหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการตัดแผ่นหินอ่อน ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 หน่วยการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย 1 แสลบ

ความเร็ว (m/min)	**วัดครั้งที่ 1 (หน่วย)**	**วัดครั้งที่ 2 (หน่วย)**	**วัดครั้งที่ 3 (หน่วย)**	**วัดครั้งที่ 4 (หน่วย)**	**เฉลี่ย (หน่วย)**
1	7.52	7.48	7.48	7.52	**7.50±0.02**
2	3.85	4.03	4.00	3.94	**3.95±0.08**
2.5	3.29	3.32	3.34	3.33	**3.32±0.02**

จากตารางที่ 17 จะเห็นว่า เมื่อตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดียด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที จะใช้หน่วยไฟฟ้าขณะตัดอยู่ที่ 7.50 หน่วย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.02 เมื่อตัดด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที จะใช้หน่วยไฟฟ้าขณะตัดอยู่ที่ 3.95 หน่วย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.08 และเมื่อตัดด้วยความเร็ว 2.5 เมตรต่อนาที จะใช้หน่วยไฟฟ้าขณะที่ตัดอยู่ที่ 3.32 หน่วย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

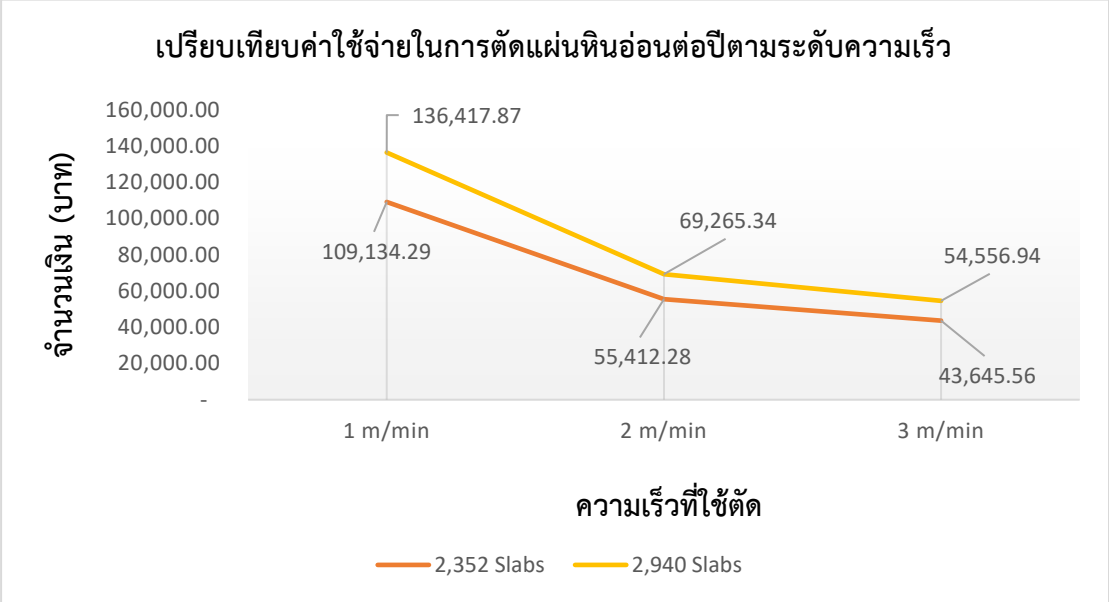
4.3 ความแตกต่างของค่าไฟที่ใช้ในการตัดแผ่นหินตามระดับความเร็วที่ใช้ตัด

4.3.1 คำนวณค่าไฟในการตัดแผ่นหินหินอ่อน

เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ตามความเร็วทั้ง 3 ระดับ ใน 1 ปี แสดงดังตารางที่ 18 และแสดงกราฟค่าไฟสำหรับการตัดด้วยความเร็วแต่ละระดับ ดังแสดงในรูปที่ 29

ตารางที่ 18 ผลค่าไฟฟ้าสำหรับจำนวนการตัดแผ่นหินอ่อนใน 1 ปี

ความเร็ว m/min	ค่าไฟต่อจำนวนแผ่นหินอ่อนที่ตัดใน 1 ปี (บาท)	
	2,352 สแลบ / ปี	2,940 สแลบ / ปี
1	109,134.29	136,417.87
2	55,412.28	69,265.34
3	43,645.56	54,556.94



รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีในการตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ตามระดับความเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

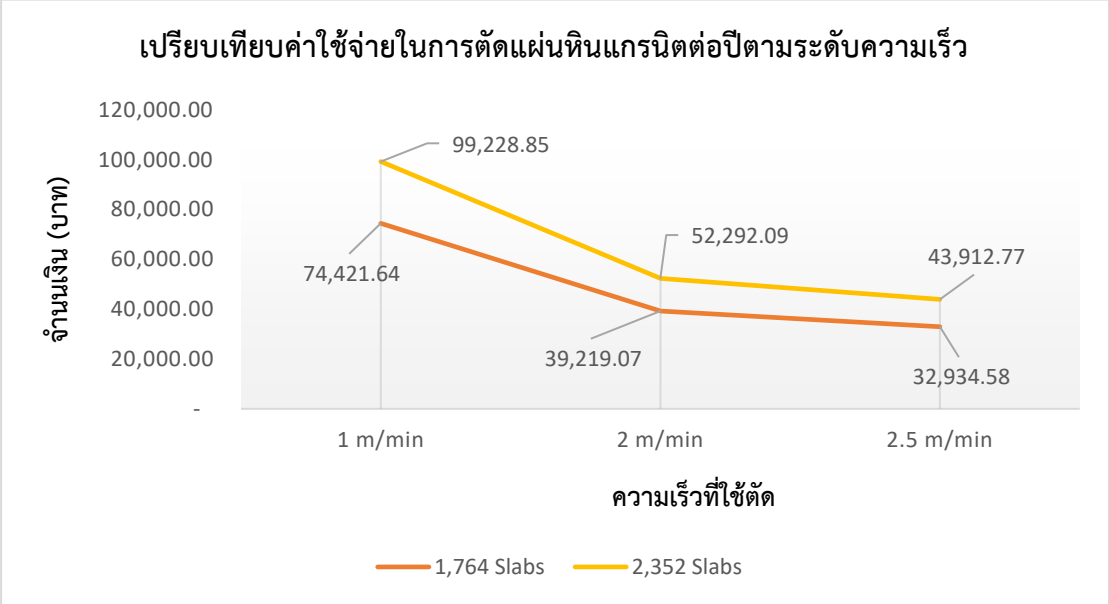
จากตารางที่ 18 และรูปที่ 29 จะเห็นว่า ในตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ใน 1 ปี อย่างน้อย 2,352 สแลบ หากตัดด้วยความเร็ว 1 m/min จะมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 109,134.29 บาท แต่หากตัดด้วยความเร็ว 3 m/min จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด อยู่ที่ 43,645.56 บาท ซึ่งน้อยกว่าการตัดด้วยความเร็ว 1 m/min ถึง 65,488.74 บาท หรือประมาณ 60.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการตัดแผ่นหินอ่อนด้วยความเร็ว 3 เมตรต่อนาที ที่การหมุนของใบเลื่อย 2,700 rpm เป็นการตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ที่ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายมากที่สุด

4.3.2 คำนวณค่าไฟในการตัดแผ่นหินแกรนิต

เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย ตามความเร็วทั้ง 3 ระดับ ใน 1 ปี แสดงดังตารางที่ 19 และกราฟค่าไฟสำหรับการตัดด้วยความเร็วแต่ละระดับ ดังแสดงในรูปที่ 30

ตารางที่ 19 ผลค่าไฟฟ้าสำหรับจำนวนการตัดแผ่นหินแกรนิตใน 1 ปี

ความเร็ว m/min	ค่าไฟต่อจำนวนแผ่นหินแกรนิตที่ตัดใน 1 ปี (บาท)	
	1,764 สแลบ / ปี	2,352 สแลบ / ปี
1	74,412.64	99,228.85
2	39,219.07	52,292.09
2.5	32,934.58	43,912.77



รูปที่ 30 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีในการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย ตามระดับความเร็ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 19 และรูปที่ 30 จะเห็นว่า ในตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย ใน 1 ปี อย่างน้อย 1,764 สแลบ หากตัดด้วยความเร็ว 1 m/min จะมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 74,421.64 บาท แต่หากตัดด้วยความเร็ว 2.5 m/min จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด อยู่ที่ 32,934.58 บาท ซึ่งน้อยกว่าการตัดด้วยความเร็ว 1 m/min ถึง 41,487.06 บาท หรือประมาณ 55.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การตัดแผ่นหินแกรนิตด้วยความเร็ว 2.50 เมตรต่อนาที ที่การหมุนของใบเลื่อย 1,700 rpm เป็นการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดียที่ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

หินอ่อนและหินแกรนิตที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ หินอ่อน Rosso Levanto และหินแกรนิตดำอินเดีย ซึ่งเป็นหินที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย โดยหินอ่อน Rosso Levanto มีขนาดต่อ 1 สแลบ อยู่ที่ 1.26 × 3.04 ตารางเมตร และหินแกรนิตดำอินเดีย มีขนาดต่อ 1 สแลบ อยู่ที่ 1.24 × 3.04 ตารางเมตร โดยแผ่นหินทั้ง 2 ชนิด จะถูกตัดให้ออกมามีขนาด 0.3 × 0.6 ตารางเมตร ซึ่งจะได้ออกมาสแลบละ 20 แผ่น

การตัดแผ่นหินอ่อน ทางโรงงานจะมีการตั้งค่าความเร็วรอบของใบเลื่อย อยู่ที่ 2,700 rpm ขนาดใบเลื่อย 12 นิ้ว สามารถตัดหินอ่อนด้วยความเร็ว 3 ระดับ โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่แผ่นหิน ได้แก่ 1 เมตรต่อนาที 2 เมตรต่อนาที และ 3 เมตรต่อนาที จากการใช้ความเร็วในการตัดแผ่นหินดังกล่าว พบว่า กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะตัด มีค่า 21.13 , 21.34 และ 24.36 กิโลวัตต์ (kW) ตามลำดับ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อการตัดแผ่นหิน 1 สแลบ คือ 8.25, 4.19 และ 3.30 หน่วย คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อปี อยู่ที่ 109,134.29, 55,412.28 และ 43,645.56 ตามลำดับ

สำหรับการตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย ทางโรงงานจะตั้งค่าความเร็วรอบของใบเลื่อย อยู่ที่ 1,700 rpm ขนาดใบเลื่อย 14 นิ้ว สามารถตัดแผ่นหินได้ด้วยความเร็ว 3 ระดับ โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่แผ่นหินแกรนิต ได้แก่ 1 เมตรต่อนาที 2 เมตรต่อนาที และ 2.5 เมตรต่อนาที จากการใช้ความเร็วในการตัดแผ่นหินดังกล่าว พบว่า กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะตัด มีค่า 19.48, 20.28 และ 20.95 กิโลวัตต์ (kW) ตามลำดับ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อการตัดแผ่นหิน 1 สแลบ คือ 7.50, 3.95, 3.32 หน่วย คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อปี อยู่ที่ 74,421.64, 39,219.07 และ 32,934.58 บาท ตามลำดับ

จากข้อมูลข้างต้น หากตัดแผ่นหินอ่อน Rosso Levanto ด้วยความเร็ว 3 เมตรต่อนาที ใช้กำลังไฟฟ้าขณะที่ตัดมากที่สุด แต่เมื่อคำนวณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อการตัดแผ่นหิน จะประหยัดค่าไฟฟ้ามากที่สุด โดยประหยัดกว่าการตัดด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที 65,488.74 บาท หรือคิดเป็น 60.01% และประหยัดกว่าการตัดด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที 11,766.72 หรือคิดเป็น 21.23% สำหรับการตัดตัดแผ่นหินแกรนิตดำอินเดีย ถ้าตัดด้วยความเร็ว 2.5 เมตรต่อนาที จะใช้กำลังไฟฟ้าขณะที่ตัดมากที่สุด แต่เมื่อคำนวณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ต่อการตัดแผ่นหิน พบว่า การตัดด้วยความเร็วค่านี้จะประหยัดค่าไฟฟ้ามากที่สุด โดยประหยัดกว่าการตัดด้วยความเร็ว 1 เมตรต่อนาที 41,4487.06

บาท หรือคิดเป็น 55.75% และประหยัดกว่าการตัดด้วยความเร็ว 2 เมตรต่อนาที 6,284.49 บาท หรือคิดเป็น 16.02%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากผลการวิจัยของ Askeri Karakus ในปี 2012 พบว่า การตัดด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ใบเลื่อยเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น ดังนั้น หากตัดแผ่นหินด้วยความเร็ว 3 เมตรต่อนาที สำหรับหินอ่อน และ 2.5 เมตรต่อนาที สำหรับหินแกรนิต แม้จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้จริง แต่ก็อาจทำให้อายุการใช้งานของใบเลื่อยลดลงได้ ดังนั้นอาจจะต้องมีการศึกษาเรื่องของความคุ้มค่าระหว่างการตัดด้วยความเร็วที่ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและค่าบำรุงรักษาใบเลื่อย ว่าแบบไหนที่ให้ประสิทธิภาพในการประหยัดมากกว่ากัน

5.2.2 ถ้าตัดด้วยความเร็วที่มากกว่าความเร็วที่กำหนดไว้ อาจทำให้แผ่นหินแตกหักเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการใช้ความเร็วที่มากเกินไประหว่างที่ตัด เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นหิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. กลุ่มอุตสาหกรรมแกรนิตและหินอ่อน. สถานการณ์อุตสาหกรรมเหมืองแร่ของไทยปี 2560 และแนวโน้มปี 2561. 2020. p. https://www.fti.or.th/สถานการณ์อุตสาหกรรมเหม/.

2. Mikaeil R, Sohrabian B, Ataei. M. The study of energy consumption in the dimension stone cutting process. The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin and the authors ©,. 2018:65-71.

3. Çimen H, Çinar SM. Energy Consumption Analysis in Marble Cutting Processing 2009 [Available from: https://www.semanticscholar.org/paper/Energy-Consumption-Analysis-in-Marble-Cutting-%C3%87imen-.

4. Yurdakul M, Akdas H. Analysis of the Industrial Cutting Process of Natural Building Stones: Evaluation of Electric Power Consumption. Journal of Testing and Evaluation. 2014;42 No. 4:1-11.

5. Cinar SM, Çimen H, Zengin A. Control Applications for Energy Saving in Marble Machining Process. International Journal of Machine Learning and Computing. 2012;2 No.5.

6. Cimen H, Cinar SM, Nartkaya M, Yabanova I. Energy Efficiency in Natural Stone Cutting Process. IEEE Energy2030 Atlanta, GA USA 17-18 November, 2008. 2008.

7. Divita M. Bridge Saw Blade Cutting Parameters for marble, granite, and ceramic [Available from: https://amastone.com/guide/bridge-saw-blades-parameters-when-cutting-marble-granite-and-ceramic/.

8. Encyclopedia. หินอ่อน (Marble) กับคุณสมบัติที่ควรรู้ และการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ก่อนนำไปใช้ในการตกแต่ง 2018 [Available from: https://www.wazzadu.com/article/2371.

9. Service AC. Marble TH [Available from: http://www.abacco.co.th/index.php/th/products-3/2014-12-03-02-15-44/marble-th#:~:text=Marble%20TH,การป้องกัน.

10. ธวัชชัยหินอ่อน. ต่างกันยังไงนะ หินอ่อน vs หินแกรนิต. [Available from: https://www.mea.or.th/profile/109/113.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

11. Ammk. หินอ่อน (Marble) กับคุณสมบัติที่ควรรู้ ก่อนใช้ในการตกแต่ง 2021 [updated 5 พฤษภาคม 2021. Available from: https://www.kachathailand.com/articles/หินอ่อน-marble-กับคุณสมบัติที/#:~:text=หินอ่อนเป็ฯหินธรรมชาติ%20จึง,ได้%20การแต่งขอบ%20เป็นต้น.

12. ไมย์ แค. หินแกรนิต คืออะไร? 2020 [Available from: https://www.siamtak.com/webs/news-detail/49.

13. Granite RM. Granite Mohs Scale [Understanding The Hardness Of Granite] 2021 [Available from: https://rskmarbleandgranite.com/granite-mohs-scale/.

14. marble r. หินแกรนิต 2021 [updated 19 มิถุนายน 2021. Available from: https://www.ratchadamarbleth.com/post/ห-นแกรน-ต.

15. Ucun I, Aslantas K, Buyuksagis IS, Tasgetiren. S. *Determination of specific energy in cutting process using diamond saw blade of natural stone*. Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research 2012 2011;28(2):641-8.

16. Karakuş A, Ceylanoğlu A, Gül Y. Energy saving by prediction of the optimum cutting rate in stone cutting process: An industrial scale study. Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research 2012. 2012;Special Issue:475-84.

17. การไฟฟ้านครหลวง. ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง 2018 [Available from: https://www.mea.or.th/profile/109/113.

18. Butler W. รู้จักกับมอเตอร์ไฟฟ้า 2020 [updated 29 ตุลาคม 2020. Available from: https://elixirpetroleum.com/รู้จักกับมอเตอร์ไฟฟ้า/.

19. นายช่างมาแชร์. Electric Motor [EP: 1] – มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) 2021 [updated 28 พฤษภาคม 2021. Available from: https://naichangmashare.com/2021/05/28/electric-motor-ep-1/.

20. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง [Internet]. 2021. Available from: https://www.prd.go.th/th/file/get/file/20210729d41d8cd98f00b204e9800998ecf8427e140258.pdf.

21. นายช่างมาแชร์. Electric Motor [EP: 2] – มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบซิงโครนัส (AC Motor ,Synchronous Motor) 2021 [updated 19 มิถุนายน 2021. Available from: https://naichangmashare.com/2021/06/19/electric-motor-ep-2/

22. Group V. ระบบไฟฟ้า 1 เฟส กับ 3 เฟส คืออะไร? มีความสำคัญแค่ไหน? [Available from: https://vanichgroup.com/ระบบไฟฟ้า-1-เฟส-กับ-3-เฟส-คือ/.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

23. iToolmart. ระบบไฟฟ้าพื้นฐาน สำหรับช่าง [Available from: https://itoolmart.com/blog/content/7cte9.

24. Laksanasamrith E. รู้จัก ระบบไฟฟ้ากับการก่อสร้าง 1 เฟส และ 3 เฟส ต่างกันอย่างไร? 2021 [updated 25 สิงหาคมม 2021. Available from: https://dsignsomething.com/2021/08/25/electricity-phase/.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Thichakorn Phonarin
วัน เดือน ปี เกิด	12 June 1994
สถานที่เกิด	Khon kaen, Thailand
ที่อยู่ปัจจุบัน	339/3 Soi Ladprao23 Ladprao Rd., Chankasen, Bangkok 10900

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University