

**การประเมินค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของหินฐานราก**  
**เขื่อนคลองท่าด่านฯ โดยการทดสอบ SCHMIDT HAMMER**  
**ELASTIC MODULUS EVALUATION OF KHLONG THA DAN DAM**  
**BY SCHMIDT HAMMER TEST**

**ฐิติพร พันธุ์ท่าช้าง (Thitiporn Phantachang) <sup>1</sup>**

**วรากร ไม้เรียง (Warakron Mairaing) <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, email: P\_Thitiporn@yahoo.com

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, email: Mairaing@yahoo.com

**บทคัดย่อ :** เขื่อนคลองท่าด่านอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งอยู่ที่จังหวัดนครนายก ตัวเขื่อนมีความสูง 92 เมตร ก่อสร้างด้วยเทคโนโลยีคอนกรีตบดอัด โดยการก่อสร้างตัวเขื่อนจะแล้วเสร็จในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2548 การคาดการณ์การเคลื่อนตัวและสภาพหน่วยแรง ที่ฐานรากและตัวเขื่อน รวมถึงการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดภายใต้สภาวะต่างๆ เป็นสิ่งสำคัญ โดยสภาพธรณีวิทยาที่เป็นหินภูเขาไฟประกอบด้วยหิน Rhyolite และ Andesite เป็นหลัก โครงสร้างธรณีวิทยาค่อนข้างซับซ้อน จึงเป็นแนวคิดในการประเมินค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และ Deformation Modulus ของหินฐานราก ในระหว่างขุดเปิดร่องแกนเขื่อนระหว่างก่อสร้าง โดยคำนึงถึงข้อจำกัดของวิธีทดสอบ และระยะเวลาให้สอดคล้องกับการก่อสร้าง

บทความนี้ เสนอวิธีการประเมินค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus) และค่าโมดูลัสการผิดรูป (Deformation Modulus) ด้วยวิธีการทดสอบ Schmidt Hammer จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number ,N กับค่าโมดูลัส โดยการศึกษาของ Kikuchi (1982) และ Dinçer et al. (2004) เพื่อนำผลที่ได้ใช้วิเคราะห์หน่วยแรง และการเคลื่อนตัวของฐานรากและตัวเขื่อน โดยวิธีไฟไนต์อิลเมนต์

ผลการศึกษาพบว่า ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของหิน Rhyolite, Andesite, Agglomerate, Tuff และ Basalt จากวิธี Empirical Relationship โดย Kikuchi (1982) มีค่าเท่ากับ 13.55, 21.65, 9.59, 15.07 และ 17.86 GPa ตามลำดับ และ ผลการเทียบเคียงคุณสมบัติหินภูเขาไฟของ Dinçer et al.(2004) มีค่าเท่ากับ 14.01, 16.87, 11.90, 14.66 และ 15.70 GPa สำหรับค่า Deformation Modulus โดย Kikuchi (1982) มีค่าเท่ากับ 9.32, 17.00, 5.99, 10.68 และ 13.28 GPa ซึ่งค่าที่ได้ให้ผลที่น่าพอใจ สามารถนำไปใช้ได้ทั้งทางปฏิบัติ และเป็นแนวทางให้วิศวกรใช้ประเมินคุณสมบัติของหินประกอบในการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์อิลเมนต์

**ABSTRACT:** Khlong Tha Dan Dam is nearly to finish construction located at Nakhon Nayork province, Thailand. The dam is 92 m high form the foundation level which is built with the roller compacted concrete. There are many kinds of volcanic igneous rock at the dam foundation which can be classified as Rhyolite, Andesite, Agglomerate, Tuff and Basalt. For a large concrete dam, the foundation condition is an important role for the stability of the dam.

This paper presents the method of evaluation for the elastic modulus by using Schmidt hammer test in order to propose the relationship between rebound number and elastic modulus by Kikuchi et al. (1982) and Dinçer et al. (2004). Although, the elastic modulus and Poisson's ratio of intact rock has crucial importance for FEM analysis but the determination of this parameter by in situ test requires considerable costs and involve difficult operational processes.

In this study, the elastic Modulus of Rhyolite, Andesite, Agglomerate, Tuff and Basalt are 13.38, 21.65, 9.59, 15.07 and 17.86 GPa by Kikuchi's Empirical Relationship and 13.93, 16.87, 11.90, 14.66 and 15.70 GPa from equation proposed by Dinçer et al. (2004), and Deformation Modulus of each rock are 9.32, 17.00, 5.99, 10.68 และ 13.28 GPa. This Schmidt hammer's method is proved to be a practical method an obtained the reasonable results. This paper enables the geotechnical engineer to evaluate the rock properties for stress-strain FEM analysis.

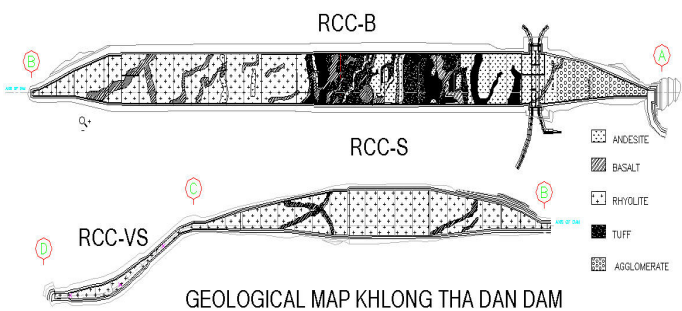
**KEYWORDS :** Deformation Modulus, Elastic Modulus, Rock Foundation, Roller Compacted Concrete Dam, Schmidt Hammer Test

## 1. บทนำ

โครงการเขื่อนคลองท่าด่านอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดนครนายก เป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete Dam) ความสูง 92 เมตรใช้ปริมาตรคอนกรีต 5.4 ล้านลูกบาศก์เมตร ก่อสร้างระหว่างปี 2542 – 2548 รูปที่ 1 แสดงรูปเขื่อนระหว่างการก่อสร้าง สภาพธรณีวิทยาโครงการจัดเป็นหินภูเขาไฟขนาดใหญ่ ยุค Permo-Triassic ประกอบด้วยหิน Rhyolite, Andesite, Agglomerate, Tuff และ Basalt ดังรูปที่ 1 ซึ่งผลทดสอบ Uniaxial Compressive Strength มีค่ากำลังมากกว่า 44.3 GPa การประเมินค่า Elastic Modulus และ Deformation Modulus มีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบในสนาม โดยเป็นผลทดสอบในช่วงการออกแบบรายละเอียด ซึ่งการวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนตัวจำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติจากการทดสอบในสนาม จึงเป็นที่มาของการทดสอบค่าโมดูลัสหินฐานรากด้วยวิธี Schmidt Hammer Test หรือ Rock Test Hammer โดย Kikuchi (1982) [1] เพื่อประเมินสภาพหินฐานรากภายหลังการขุดเปิดร่องแกน ในช่วงการก่อสร้างและนำค่าคุณสมบัติที่ได้วิเคราะห์หน่วยแรงและการเคลื่อนตัวด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 1 สภาพเขื่อนคลองท่าด่านฯ ระหว่างการก่อสร้างบริเวณ เขื่อน RCC B



รูปที่ 2 สภาพธรณีวิทยารากเขื่อนคลองท่าด่านบริเวณเขื่อนหลัก

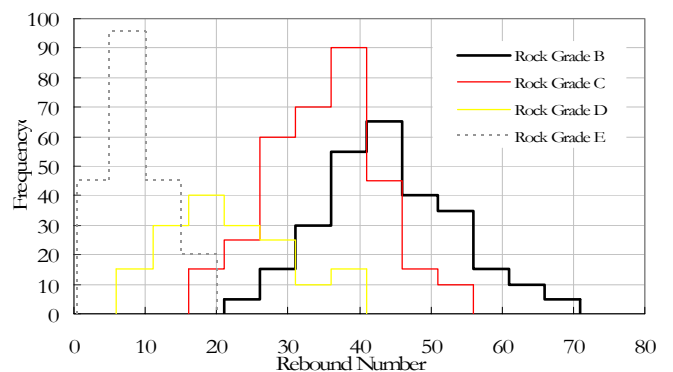
## 2. ตรวจสอบเอกสาร

การทดสอบคุณสมบัติหินฐานเขื่อนคลองท่าด่านได้ดำเนินการในช่วงออกแบบรายละเอียด โดยทดสอบค่ากำลัง Intact Rock ด้วยการทดสอบ Uniaxial Compression Test (UCS) โดย Phuntumat (1997) [2] และการทดสอบ Deformation Modulus ใน Rock Mass ด้วยวิธีการทดสอบ Dilatometer Test จากการทดสอบของเอสดีคอน และคณะ (2541) [3] สรุปผลทดสอบในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่า Elastic Modulus และ Deformation Modulus

Properties	Agglomerate	Andesite	Rhyolite	Tuff
E Static <sup>[2]</sup> , GPa	58.6	44.3	50.2	61.1
Deformation Modulus <sup>[3]</sup> GPa	-	6 to 22	20 to 23	9 to 15

จากการศึกษาเพื่อการประเมินค่า Elastic Modulus เปรียบเทียบกับการทดสอบ Schmidt Hammer Test เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลทดสอบในสนามและห้องปฏิบัติการ จากการรวบรวมผลการศึกษาโดย Dinçer et al.(2004) [1] ดังตาราง ที่ 2 และสำหรับค่า Deformation Modulus Kikuchi (1982)[2] เสนอวิธีการประเมินคุณสมบัติหินโดยการจำแนกกลุ่มหินแสดงในภาพที่ 3 และประเมินค่า Elastic Modulus และ Deformation Modulus จากผลความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number, N จากการทดสอบ Rock Test Hammer และสามารถสรุปความสัมพันธ์ ระหว่างค่า Rebound Number กับค่า Elastic Modulus และ Deformation Modulus ดังสมการที่ (1) และ (2)



รูปที่ 3 ลักษณะการแจกแจงค่า Rebound Number ตามกลุ่มหิน

ที่มา Kikuchi (1982)

**ตารางที่ 2** ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Rebound Number และ Elastic Modulus

Source	Equation	R	Rock Type
Deere and Miller (1966)	$E = (6.95\gamma^2 N) - 1.14 \times 10^6$	0.88	Three bade rock types
Aufmuth (1973)	$E = 6.9 \times 10^{[1.06 \log(\gamma N) + 1.86]}$		25 Lithological unit
Beverly et al. (1979)	$E = 192(N\gamma^2)12710$		20 Lithological unit
Xu et al. (1990)	$E = \exp(cN+d)$ a,b,c ve d coefficient depend on rock type	0.96	Mica-schist, prasinite, serpentinite, gabbro, mudstone
Sachpazis (1990)	$N = 0.2329UCS + 15.7244$ $N = 0.5155E + 17.4880$ $E = 0.3752UCS + 4.479$	0.91 0.77 0.81	33 Lithological unit (marble, limestone, dolomite)
Katz et al. (2000)	$E = -8.967 + 3.091 \ln N$	0.99	7 Different rock types
Yilmaz and Sendir (2002)	$E_i = \exp(1.146 + 0.054N)$	0.91	Gypsum
Dinçer et al.(2004)	$E = 0.17 UCS + 0.28$ $E = 0.47N - 6.25$		Volcanic Rock (Andesites, basalts and Tuffs)

ที่มา : Dinçer et al. (2004)

$$E = 0.49021e^{0.0770N} \quad (1)$$

$$E_m = 0.1912e^{0.0987N} \quad (2)$$

เมื่อ

E = Elastic Modulus, GPa

$E_m$  = Rock mass Deformation Modulus , GPa

N = Rebound Number from Schmidt Hammer Test

**วิธีการ**

การเตรียมการทดสอบ ภายหลังจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลสภาพธรณีวิทยา เพื่อประเมินจำนวน และตำแหน่งที่ทำการทดสอบตามชนิดของกลุ่มหินในเบื้องต้น สามารถแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

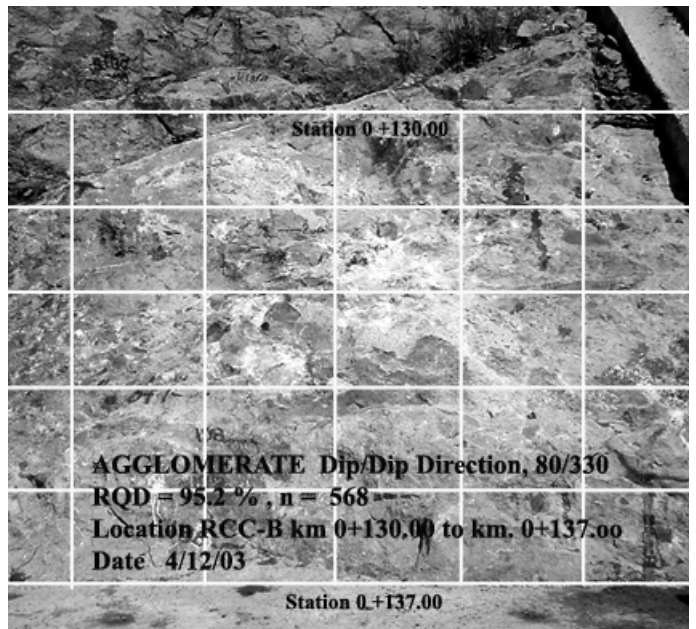
1. ภายหลังจากการระเบิดและปรับระดับฐานรากเบื้องต้นตามระดับก่อสร้าง โดยขุดรอกจนถึงระดับผิวหินสด ตามข้อกำหนดทางเทคนิค แล้วทำการล้างทำความสะอาดพื้นผิวฐานราก ดังรูปที่ 4
2. เก็บข้อมูลสภาพโครงสร้างธรณีวิทยา ลักษณะการวางตัว สภาพรอยแตก รอยเลื่อน และความไม่ต่อเนื่อง
3. กำหนดบริเวณทดสอบ ซึ่งเลือกให้สอดคล้องตามช่วงการก่อสร้าง โดยแยกตามชนิดของหิน การทดสอบได้กำหนดตำแหน่งให้กระจายทั่วบริเวณฐานรากเบื้องต้น ซึ่งจุดทดสอบต้องมีสภาพผิวเรียบ และหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีรอยแตกดังรูปที่ 5

4. ทำการทดสอบ Schmidt Hammer Test บันทึกค่า Rebound Number, N และตำแหน่งที่ทำการทดสอบ รูปที่ 6

5. รวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อประเมินค่าโมดูลัส



รูปที่ 4 การเก็บทำความสะอาดขุดรอก และทำความสะอาดฐานรากบริเวณฐานชั้น



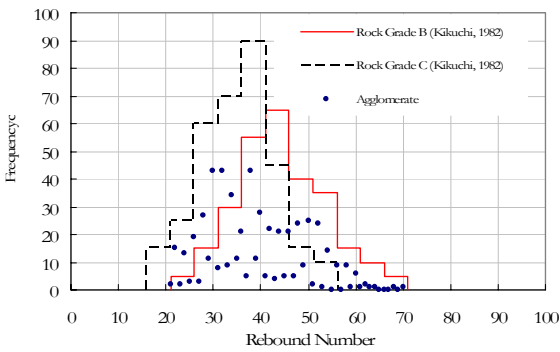
รูปที่ 5 สภาพพื้นที่ทดสอบ ข้อมูลและการแบ่งพื้นที่ในการทดสอบ



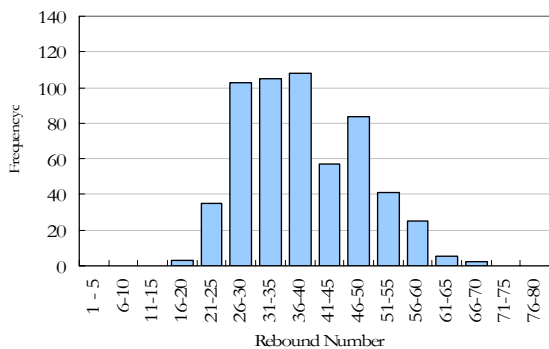
รูปที่ 6 การเตรียมพื้นผิวฐานรากและการทดสอบ Schmidt Hammer Test

**ผลการทดสอบ**

การทดสอบค่าโมดูลัสโดยวิธี Schmidt Hammer Test ซึ่งทดสอบบริเวณฐานราก ตามชนิดหินคือ Agglomerate, Andesite, Basalt, Rhyolite และ Tuff รวมจำนวน 2,215 ข้อมูล การทดสอบได้ดำเนินการในระหว่างการก่อสร้างเขื่อน RCC ซึ่งก่อสร้างตัวเขื่อนแล้วเสร็จกว่า 60% ทำให้พื้นที่การทดสอบมีเฉพาะบริเวณ ฐานยันในการศึกษาได้นำผลการทดสอบหาค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์การแจกแจงทางสถิติของหิน ดังแสดงในรูปที่ 7 – 16 ซึ่งพบว่า ลักษณะสภาพธรณีวิทยาหินฐานรากในโครงการฯ โดยส่วนใหญ่มีการแจกแจงอยู่ในกลุ่มหิน Grade B สอดคล้องกับการศึกษาของ Kikuchi (1982) ตามรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีลักษณะการแจกแจงแบบ Normal Distribution และมีช่วงค่า N ระหว่าง 20 – 70 ที่มีช่วงค่าค่อนข้างกว้าง จำเป็นต้องมีข้อมูลทดสอบที่มากเพียงพอประกอบการตัดสินใจ ผลการทดสอบหินแต่ละชนิด สามารถสรุปได้ดังนี้ หิน Agglomerate มีการแจกแจงความถี่ค่า N เป็น 2 กลุ่มคือ Grade B และ Grade C ดังรูปที่ 7 และ 8 เนื่องจากลักษณะเนื้อหินที่ประกอบด้วย หินก้อน และหินเชื่อมประสาน (Cementation) ซึ่งหินเชื่อมประสานมีระดับการผุพังที่สูงกว่า และมีความแข็งแรงต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหิน ทำให้เมื่อทดสอบในตำแหน่งเนื้อหินจะให้ค่า Rebound Number ที่สูงกว่าที่หินเชื่อมประสาน จึงเป็นเหตุผลทำให้ค่า N มีการแจกแจงเป็นลักษณะดังกล่าว

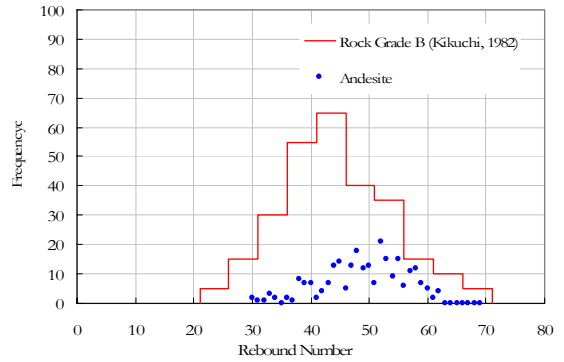


**รูปที่ 7** การแจกแจงค่า N ตามกลุ่มหิน Agglomerate

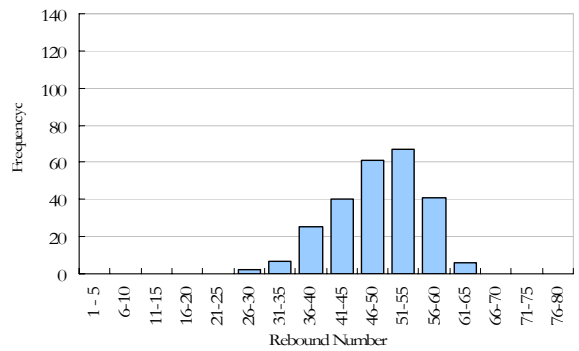


**รูปที่ 8** การแจกแจงความถี่ค่า N หิน Agglomerate

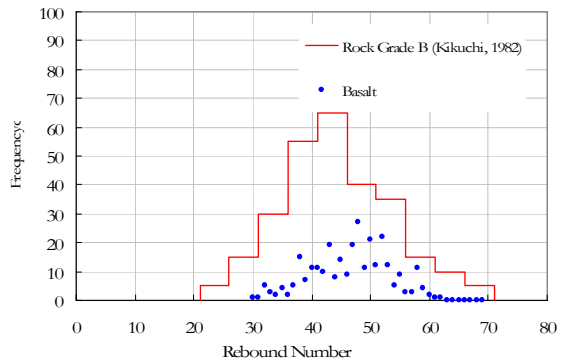
ผลการทดสอบของหิน Andesite, Basalt และ Tuff มีลักษณะการแจกแจงความถี่ของข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 9-14



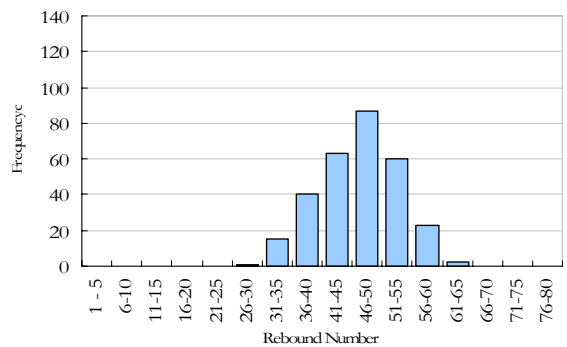
**รูปที่ 9** การแจกแจงค่า N ตามกลุ่มหิน Andesite



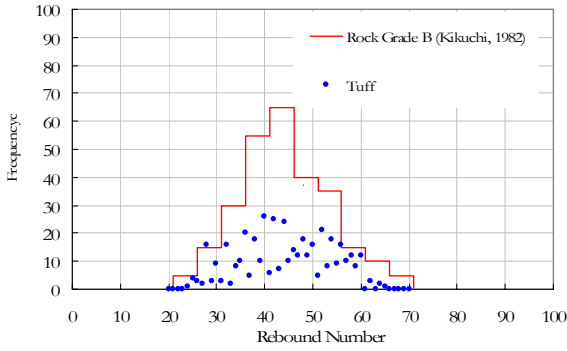
**รูปที่ 10** การแจกแจงความถี่ค่า N หิน Andesite



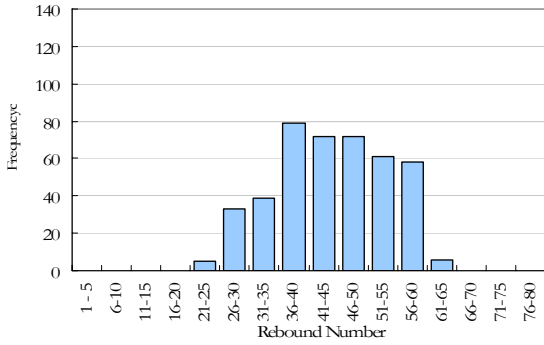
**รูปที่ 11** การแจกแจงค่า N ตามกลุ่มหิน Basalt



**รูปที่ 12** การแจกแจงความถี่ค่า N หิน Basalt

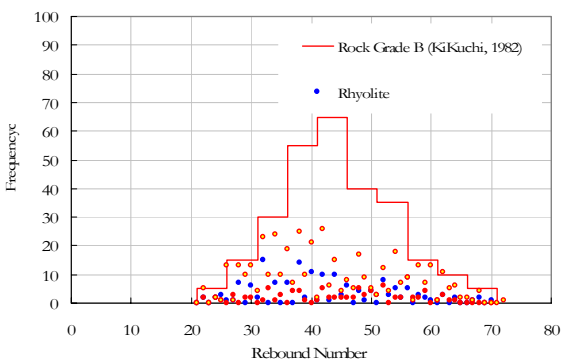


รูปที่ 13 การแจกแจงค่า N ตามกลุ่มหิน Tuff

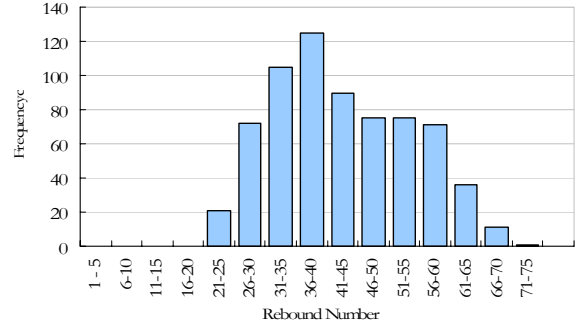


รูปที่ 14 การแจกแจงความถี่ค่า N หิน Tuff

สำหรับหิน Rhyolite ซึ่งโดยสัดส่วนเป็นพื้นที่ฐานมากกว่า 41.29% โดยลักษณะการเกิดเป็น หินภูเขาไฟที่ยืนตัวที่ผิวโลก มีลักษณะโครงสร้างการวางตัวมีทิศทาง Flow Bland เท่ากับ 40/120 และ 80/90 ลักษณะทั่วไปพบรอยแตกในแนวการวางตัวค่อนข้างมาก จากการแจกแจงของข้อมูลดังรูปที่ 15 และ 16 ข้อมูลมีการกระจายในช่วงที่กว้าง จากปัจจัยของสภาพรอยแตก และทิศทางทดสอบที่พบว่า การกดทดสอบในทิศทางที่ตั้งฉากกับ Beading Plane จะให้ค่ากำลังที่สูงกว่าการกดทดสอบในทิศทางขนาน โดยสรุปผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 3



รูปที่ 15 การแจกแจงค่า N ตามกลุ่มหิน Rhyolite



รูปที่ 16 การแจกแจงความถี่ค่า N หิน Rhyolite

ตารางที่ 3 สรุปผลการทดสอบ

Rock Type	Agglomerate	Andesite	Basalt	Rhyolite	Tuff
Area, m <sup>2</sup>	5,393	17,715	11,893	38,987	16,039
Area, %	5.71	18.76	12.60	41.29	16.99
Number of Test	568	249	291	682	425
Rebound Number, $\bar{X}$	39	49	47	43	44
Std. Dev.	9.8569	6.9488	6.6030	11.1816	9.3902
Std. Err.	0.4136	0.4404	0.3871	0.4282	0.4555
95% Conf.	0.8124	0.8673	0.7618	0.8407	0.8953
99% Conf.	1.0690	1.1432	1.0037	1.1061	1.1786
Min	20	30	30	22	24
Max	70	62	62	72	65
Elastic Modulus, GPa (Dinçer, 2004)	11.90	16.87	15.70	14.01	14.66
Elastic Modulus, GPa (Kikuchi, 1982)	9.59	21.65	17.86	13.55	15.07
Deformation Modulus, GPa (Kikuchi, 1982)	5.99	17.00	13.28	9.32	10.68

### การประเมินค่า Elastic Modulus และ Deformation Modulus

จากผลการประเมินค่า Elastic Modulus และ Deformation Modulus โดยวิธีการทดสอบ Schmidt Hammer Test ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ Intact Rock โดย Phuntumat (1997) [2] นั้น การประเมินค่า Elastic Modulus จากค่า N ให้ผลทดสอบที่มีความแตกต่างจากการทดสอบ UCS มากกว่า 62% สำหรับผล

Deformation Modulus จากการประเมินให้ผลที่ใกล้เคียง เมื่อเปรียบเทียบกับ Dilatometer Test ทั้งนี้วิธีการทดสอบ และการหาค่าเฉลี่ย N จะนำไปสู่การประเมินค่า Elastic Modulus และ Deformation Modulus ตามการศึกษาของ Dinçer(2004) และ Kikuchi (1982) ผลที่ได้ใช้ในการประเมินค่า Deformation Modulus ซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติที่สำคัญในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัว และสภาพหน่วยแรงที่ฐานรากด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ เพื่อคาดการณ์ และศึกษาพฤติกรรมในระหว่างการก่อสร้าง และช่วงเก็บกักน้ำช่วงต้น เนื่องด้วยการเคลื่อนตัวของฐานรากสำหรับเขื่อนคอนกรีตบดอัด ซึ่งมีความ Rigid หากเกิดการเคลื่อนตัวที่มากเกินไป หรือการทรุดตัวที่แตกต่างระหว่างรอยต่อของตัวเขื่อน อาจนำไปสู่การแตกร้าวภายในตัวเขื่อน และเมื่อประกอบกับพฤติกรรมการไหลซึมผิปกิจที่ฐานราก อาจนำไปสู่การพิบัติของตัวเขื่อนได้ การศึกษานี้จึงเป็นแนวทาง และวิธีการทดสอบในรูปแบบหนึ่ง เพื่อใช้ในการประเมิน และวิเคราะห์พฤติกรรม

### สรุปผล

1. การประเมินค่า Modulus of Deformation และ Elastic Modulus โดยวิธีการจำแนก Rock Grade Kikuchi (1982) [4] จากการเทียบเคียงผลค่า Rebound Number ให้ผลที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับ In-situ Test วิธี Dilatometer Test ทั้งนี้เป็นเพราะช่วงค่าที่เสนอไว้ เป็นค่าที่มีแนวโน้มค่อนข้างต่ำ ผลทดสอบที่ได้เมื่อประกอบกับการวิเคราะห์เชิงสถิติสามารถนำไปประกอบเป็นค่าคุณสมบัติในการวิเคราะห์หน่วยแรง และการเคลื่อนตัวโดยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

2. การทดสอบวิธี Schmidt Hammer เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำเมื่อเทียบกับการทดสอบในสนามแบบอื่นๆ ทั้งนี้ก็มีความไวของผลทดสอบจากสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่ ตำแหน่งทดสอบ จึงต้องการจำนวนข้อมูลที่มากเพียงพอเพื่อประกอบการประเมินผล

3. วิธีการทดสอบนี้การพิจารณาค่า Elastic Modulus ทดสอบที่ผิวฐานราก เพื่อให้ได้ค่าเทียบเคียงถูกต้องควรมีการเก็บ Intact Rock ในตำแหน่งทดสอบ เพื่อทำการทดสอบ Uniaxial Compression Test เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากทดสอบใน Rock Mass

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มบริษัทที่ปรึกษาโครงการเขื่อนคลองท่าด่าน (ATC), โครงการก่อสร้าง 5 (ท่าด่าน ) สำนักชลประทานแหล่งน้ำที่ 9, บริษัทไฮเทค และกิจการร่วมค้า CCVK อนุเคราะห์พื้นที่ทดสอบ และอุปกรณ์การทดสอบ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Kikuchi, K., K. Saito and K. Kusunoki. 1982. Geotechnically Integrated Evaluation on The Stability of Dam Foundation Rocks, pp.49-74. In Commission International Des Grands Barrages, Rio de Janeiro, Basail
- [2] Phuntumat, P. 1997. Engineering Properties of Volcanic Rocks at Klong Tha Dan Dam Amphoe Muang Nakorn Nayok Province Thailand. M.Sc. Thesis , AIT, Bangkok
- [3] บริษัทแอสดีคอน คอร์ปอเรชั่น, บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียร์ จำกัด และ COYNE ET BELLIER, 2544. รายงานการสำรวจและวิเคราะห์ธรณีวิทยาเขื่อนและอ่างเก็บน้ำฉบับสมบูรณ์ เล่มที่ 1 รายงานการสำรวจธรณีวิทยา และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ. โครงการเขื่อนคลองท่าด่านอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก.
- [4] Dinçer, I., A. Acar, I. Cobanoğlu and Y. Uras. 2004. Correlation between Schmidt hardness, Uniaxial Compressive Strength and Young's Modulus for Andesites, Basalts and Tuffs. Bull Eng Geol Env 63 : 141-148.