

## การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปหินพรุน

### Design and Construction of a Porous Stone Molding Machine

ชาญวิทย์ ชัยอมฤต\* วัชระ ประดับวัน และอภิชัย บุญรักษา

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40000

โทร 0-4333-6371 ต่อ 2601 โทรสาร 0-4323-7483 \*อีเมล Gearkku@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปหินพรุนเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ เครื่องขึ้นรูปหินพรุนนี้จะสามารถรับแรงอัดได้ถึง 10 ตัน และสามารถปรับตำแหน่งแผ่นเลื่อนได้ หินพรุนประกอบด้วยทรายและกาวอารัลดีท ด้วยอัตราส่วน 9 : 1 การทดสอบเครื่องขึ้นรูปหินพรุนนี้มี 2 ขั้นตอนคือ การทดสอบแรงอัดด้วยการเปลี่ยนแรงอัด 3 5 และ 7 ตัน ตามลำดับ และการทดสอบการเคลื่อนที่ของโครงสร้างโดยการเพิ่มแรงอัดทีละ 0.5 ตัน จาก 1.0 ถึง 10 ตัน จากการทดสอบแรงอัดที่ 3 5 และ 7 ตัน ตามลำดับพบว่าค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของหินพรุนคือ 1,570 1,640 และ 1,760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และสามารถรับแรงอัดได้สูงสุดเฉลี่ย 143.09 231.43 และ 338.82 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ จากผลการทดสอบโดยรวมของระยะการเคลื่อนที่ของโครงสร้างเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นและมีระยะการยืดตัวสูงสุดคือ 0.28 มิลลิเมตร

#### Abstract

This paper presents a design and construction of a porous stone molding machine to use in laboratory. This machine must be able to endure at 10 tons of pressure and a moving plate of the machine able to be adjusted. The porous stone was composed of sand and Araldite(epoxy resin) with 9:1 ratio. There were 2 testes of the porous stone molding machine which were a pressure test by changing of 3 , 5 and 7 tons respectively and a structure displacement test by increasing the pressure of 0.5 ton at a time, starting from 1.0 to 10 tons. From the pressure test, at the pressure of 3 , 5 and 7 tons respectively, the average densities of porous stone were 1,570 , 1,640 and 1,760 kg/m<sup>3</sup> respectively and the maximum average pressures were 143.09, 231.43 and 338.82 kg/cm<sup>2</sup> respectively. The overall test result of structure displacement ranges was changed in accordance with the increased pressure and the overall highest elongated range was 0.28 mm.

#### 1. บทนำ

เครื่องขึ้นรูปหินพรุนเป็นเครื่องมือสำหรับขึ้นรูปของส่วนผสมระหว่างกาวและทราย เพื่อให้ได้หินพรุนออกมา ซึ่ง "หินพรุน" เป็นวัสดุสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา ซึ่งเครื่องขึ้นรูปหินพรุนนี้จะสามารถช่วยให้สามารถนำวัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศ มาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อหินพรุนจากต่างประเทศ ซึ่งทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายที่มาก อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางวิศวกรรมโยธาต่อไปในภายหน้า

#### 2. ทฤษฎี

##### 2.1 การทดสอบแรงดึง

คุณสมบัติทางกลของวัสดุนั้นจะทราบได้จากการทดสอบ โดยอาจแบ่งการทดสอบออกได้เป็น 3 รูปแบบดังนี้

1) การทดสอบด้วยภาวะสถิต เป็นการทดสอบหาสมบัติทางกลชนิดหนึ่ง โดยนำชิ้นทดสอบมาจับยึดให้ตรึงอยู่กับที่หลังจากนั้นจึงให้แรงกระทำกับชิ้นทดสอบ โดยให้แรงกระทำเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งชิ้นงานขาด หัก พังเสียหาย

2) การทดสอบด้วยภาวะเคลื่อนที่ เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุ โดยนำชิ้นทดสอบมาจับยึดให้ตรึงอยู่กับที่หลังจากนั้นจึงให้แรงกระทำลงบนชิ้นทดสอบเพียงครั้งเดียว ชิ้นงานจะแตกหักหลังจากนั้น จึงนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกลต่อไป

3) การทดสอบด้วยภาวะต่อเนื่อง เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุโดยให้แรงกระทำกับวัสดุกลับไปกลับมา หรือให้แรงกระทำเป็นรอบการทำงาน หรือให้แรงกระทำซ้ำๆ กระทำกับวัสดุไปเรื่อยๆ โดยให้แรงกระทำนั้นคงที่ตลอดเวลา

##### 2.2 การออกแบบ

###### 2.2.1 คานบนและฐานล่าง

เครื่องขึ้นรูปหินพรุนจะรับแรงที่เกิดขึ้นจากการอัดของแม่แรงในแนวดิ่ง ลักษณะเช่นเดียวกับคานทั่วไป ฉะนั้นจึงใช้ความเค้นดัดและการยุบตัว เป็นข้อจำกัดการออกแบบ ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นคำนวณได้จากสมการ (2.1)

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2.1)$$

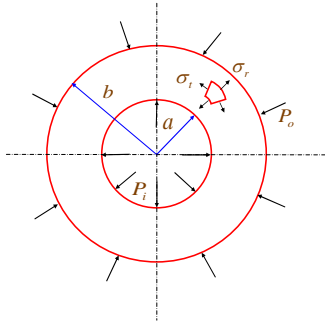
โดยที่  $M$  คือโมเมนต์ดัด

$c$  คือระยะจากแกนสะเทินไปยังผิวนอกสุด

$I$  คือโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่

### 2.2.2 การออกแบบแม่พิมพ์

แม่พิมพ์เป็นลักษณะทรงกระบอกตั้งนั้นจึงสามารถคำนวณความเค้นได้จากสมการ (2.2) และ (2.3)



รูปที่ 2.1 ความเค้นในทรงกระบอก

ความเค้นในแนวเส้นรอบวง คือ

$$\sigma_t = \frac{1}{(b^2 - a^2)} \left[ a^2 P_i - b^2 P_o - \left( \frac{a^2 b^2}{r^2} \right) (P_o - P_i) \right] \quad (2.2)$$

ความเค้นในแนวรัศมี คือ

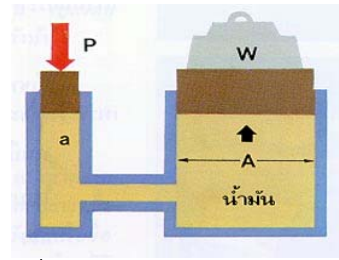
$$\sigma_r = \frac{1}{(b^2 - a^2)} \left[ a^2 P_i - b^2 P_o + \left( \frac{a^2 b^2}{r^2} \right) (P_o - P_i) \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ  $P_i$  คือความดันภายใน,  $P_o$  คือความดันภายนอก

$a$  คือรัศมีภายใน,  $b$  คือรัศมีภายนอก

### 2.2.3 แรงไฮดรอลิก

ไฮดรอลิกเป็นเครื่องผ่อนแรงที่ใช้ของเหลวเป็นสื่อส่งแรง จากพฤติกรรมของเหลวภายในภาชนะซึ่งมีช่องทะลุถึงกันได้ ความดันในของเหลวที่ระดับเดียวกันจะต้องมีค่าเท่ากัน ดังนั้นถ้ามีกระบอกสูบสองกระบอก มีขนาดใหญ่อันหนึ่งและเล็กอันหนึ่ง ดังรูปที่ 2.2 มีท่อต่อให้น้ำมันภายในกระบอกทั้งสองไหลถึงกันได้ เมื่อกดลูกสูบเล็กลง น้ำมันจะถูกอัดไปดันให้ลูกสูบใหญ่ลอยขึ้น ถ้าออกแรงกด  $P$  บนลูกสูบเล็กซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด  $a$  จะเกิดแรงยก  $W$  ใต้ลูกสูบใหญ่ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด  $A$  ตามกฎของปาสกาล ความดันของน้ำมันที่ระดับเดียวกันในกระบอกทั้งสองต้องเท่ากัน นั่นคือ  $P/a = W/A$  ดังนั้น ถ้าลูกสูบใหญ่มีพื้นที่หน้าตัดเป็น 10 เท่าของอันเล็ก แรงที่ใช้กดบนลูกสูบเล็กจะเป็นเพียงหนึ่งในสิบของน้ำหนักที่ต้องการยกทางลูกสูบใหญ่เท่านั้น จึงใช้ทำแม่แรงไฮดรอลิกทั้งหลายได้



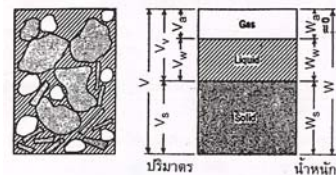
รูปที่ 2.2 การทำงานของระบบไฮดรอลิก

### 2.3 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

คุณสมบัติพื้นฐานของมวลดินที่ต้องการทราบ ได้แก่ อัตราส่วนช่องว่าง ความพรุน ความชื้น ดักรีหรือระดับความอิ่มตัว หน่วยน้ำหนักตลอดจนความถ่วงจำเพาะ สำหรับนำไปประยุกต์ไปถึงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของมวลดิน เช่น การไหลซึมของน้ำ กำลังต้านแรงเฉือนและการทรุดตัว เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติพื้นฐานอื่นที่ต้องการทราบ คือ การกระจายขนาดของเม็ดดิน และสถานภาพความชื้นเหลวหรือพลาสติกซิตีของมวลดินเม็ดละเอียด เพื่อนำไปจำแนกประเภท และใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้านต่างๆ

#### 2.3.1 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของดิน

ในงานวิศวกรรมปฐพี ถือว่ามวลดินธรรมชาติประกอบด้วยเม็ดดิน น้ำและอากาศ ผสมคลุกเคล้าอยู่ด้วยกัน โดยที่น้ำและอากาศจะแทรกตัวอยู่ในโพรงหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน แต่เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณคุณสมบัติพื้นฐานของมวลดิน จึงแยกเขียนส่วนประกอบของมวลดินธรรมชาติ ออกเป็นสามส่วนเรียกว่า three phase system ซึ่งได้แก่ ก) ส่วนที่เป็นของแข็ง หมายถึงเนื้อดินที่ประกอบจากเม็ดดินขนาดต่างๆ ข) ส่วนที่เป็นของเหลว หมายถึงน้ำในมวลดินที่อยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดดิน และ ค) ส่วนที่เป็นก๊าซ ที่อยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดดิน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยเรียกรูปนี้ว่า phase diagram ซึ่งจะให้ส่วนของเนื้อดินหรือเม็ดดินอยู่ด้านล่างสุด และในส่วนของน้ำและอากาศที่มีในช่องว่างระหว่างเม็ดดินอยู่เหนือขึ้นมาตามลำดับ สังเกตว่าปริมาตรและน้ำหนักของส่วนประกอบต่างๆ ที่มีในมวลดิน จะแสดงไว้ทางด้านซ้ายมือและทางด้านขวามือของรูป phase diagram ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 Phase Diagram (วินิต,2547:29)

มวลดินในสภาพธรรมชาติจะมีความชื้นอยู่บ้าง ซึ่งเรียกมวลดินนี้ว่ามวลดินชื้น ในการพิจารณาคูสมบัติพื้นฐานของมวลดินชื้น จะได้จากการสมมุติว่ามวลดินชื้นก่อนนี้มีเนื้อที่ภาคตัดขวางเท่ากับหนึ่งหน่วย และสมมุติให้

$V$  คือปริมาตรทั้งหมดของมวลดิน

$V_a$  คือปริมาตรของอากาศในโพรงหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

$V_w$  คือปริมาตรของน้ำในโพรงหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน  
 $V_s$  คือปริมาตรของเนื้อดินหรือเม็ดดินในมวลดิน  
 $V_v$  คือปริมาตรทั้งหมดของโพรงหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน  
 $W$  คือน้ำหนักทั้งหมดของมวลดิน  
 $W_s$  คือน้ำหนักของเนื้อดินหรือเม็ดดินในมวลดิน  
 $W_w$  คือน้ำหนักของน้ำในโพรงหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน  
 $W_a$  คือน้ำหนักของอากาศในโพรงหรือช่องว่างซึ่งถือว่ามีค่าเท่ากับศูนย์

ปริมาตรทั้งหมดของมวลดิน :  $V = V_a + V_w + V_s$

น้ำหนักทั้งหมดของมวลดิน :  $W = W_w + W_s$

และ ปริมาตรทั้งหมดในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน :  $V = V_a + V_w$

เมื่อนำมวลดินชิ้นก้อนนี้ไปอบในเตาอบจนแห้งสนิท จะได้น้ำหนักของเม็ดดินหรือเนื้อดิน ( $W_s$ ) โดยที่ภายในโพรงหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะมีแต่อากาศเพียงอย่างเดียว นั่นคือ ปริมาตรทั้งหมดของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน :  $V_v = V_a$  ส่วนกรณีที่มีมวลดินอึดตัวเติมไปด้วยน้ำ ซึ่งภายในโพรงหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะมีแต่น้ำอย่างเดียว ดังนั้น ปริมาตรทั้งหมดของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน :  $V_v = V_w$

### 2.3.2 อัตราส่วนช่องว่าง ความพรุน และตึกรีของควมอึดตัว

การหาอัตราส่วนช่องว่าง ( $e$ ) ความพรุน ( $n$ ) ตึกรีของความอึดตัว ( $S$ ) ของมวลดินชั้นตลอดจนปริมาณอากาศ ( $a_c$ ) พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ทางด้านปริมาตรที่แสดงในรูป phase diagram ตามคำจำกัดความต่อไปนี้

2.3.3 อัตราส่วนช่องว่างของมวลดิน (void ratio :  $e$ ) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ต่อปริมาตรของเม็ดดิน นั่นคือ

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_a + V_w}{V_s} \quad (2.4)$$

2.3.4 ความพรุนของมวลดิน (Porosity :  $n$ ) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ต่อปริมาตรทั้งหมดของมวลดิน นั่นคือ

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_a + V_w}{V_s + V_w + V_a} \quad (2.5)$$

2.3.5 หน่วยน้ำหนักทั้งหมดของมวลดิน (total unit weight :  $\gamma$ ) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักทั้งหมดของมวลดินต่อปริมาตรทั้งหมดของมวลดิน นั่นคือ

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a} \quad (2.6)$$

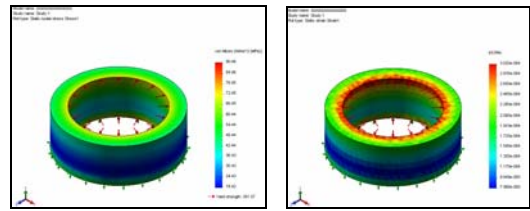
## 3. การดำเนินโครงการ

### 3.1 การออกแบบ

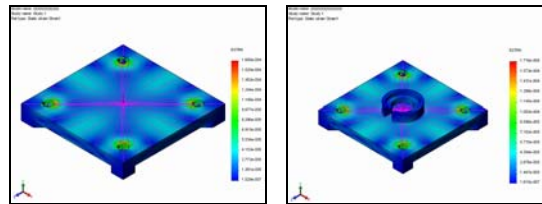
การออกแบบเครื่องขึ้นรูปดินพูนนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การออกแบบคาน การออกแบบเสา และการออกแบบแม่พิมพ์

### 3.2 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

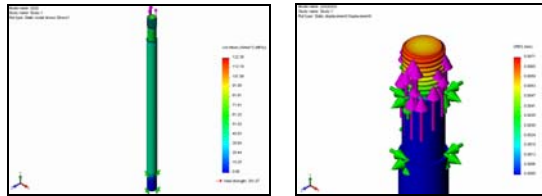
ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์การเกิดความเค้นและความเครียดของชิ้นส่วนต่างๆในโครงสร้าง



ความเค้นและความเครียดของปลอกแม่พิมพ์



ความเครียดของคานบนและฐาน



ความเครียดของเสาและเกลียว

รูปที่ 3.1 ชิ้นส่วนที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

### 3.3 การสร้างเครื่องขึ้นรูปดินพูน

ดำเนินการสร้างในแต่ละส่วนต่างๆก่อนได้แก่ คาน ฐาน เสาและแม่พิมพ์ เสร็จแล้วนำมาประกอบเป็นเครื่องที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.2



คานและฐานล่าง



เสาและแม่พิมพ์



รูปที่ 3.2 เครื่องขึ้นรูปดินพูน

### 3.4 การทดสอบ

การทดสอบนี้จะแบ่งแรงที่ใช้อัดขึ้นรูปออกเป็น 3 ค่า ได้แก่ แรงอัดขนาด 3 5 และ 7 ตัน ซึ่งมีขั้นตอนในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ติดตั้งแม่แรงพร้อมทั้งไดอัลเกจเข้ากับเครื่องขึ้นรูปหินปูน ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การติดตั้งแม่แรงและชุดไดอัลเกจ

2. นำส่วนของของทรายและกาวอาร์ลไดท์ ใส่เข้าไปในแม่พิมพ์ พร้อมทั้งซึ่งน้ำหนักของส่วนผสม

3. เริ่มให้แรงอัด ขนาด 3 ตัน พร้อมกับบันทึกค่าระยะการเคลื่อนตัวของโครงสร้างจากไดอัลเกจ

4. ปลดแม่พิมพ์ไว้ประมาณ 4 นาที เพื่อรอให้ส่วนผสมของหินปูนนั้นแข็งตัว แล้วจึงเอาหินปูนออกจากแม่พิมพ์เพื่อวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำหินปูนเข้าเตาอบ โดยใช้อุณหภูมิในการอบประมาณ 80 - 100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการอบ 18 - 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างหินปูนที่ขึ้นรูปแล้ว

5. นำหินปูนมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และนำไปทดสอบความแข็ง

6. ทำการทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนแรงอัดเป็น 5 และ 7 ตัน ตามลำดับ ซึ่งใช้ตัวอย่าง 6 ชิ้นต่อแรงอัด

### 4. ผลการทดสอบ

จากการทดสอบหินปูนที่ได้จะพบว่า ความหนาแน่นก่อนอบและหลังอบแห้งแล้วนั้นจะไม่แตกต่างกันเลยส่วนแรงกดที่หินปูนรับได้จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงอัดขึ้นรูป ดังข้อมูลในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลหินปูนก่อนและหลังอบ

แรงอัด (ตัน)	ชั้นทดสอบ	มวล (g)	$\rho_{wet}$ ( $g/cm^3$ )	$\rho_{dry}$ ( $g/cm^3$ )	แรงกดที่รับได้ ( $kg/cm^2$ )
3	1	65	1.58	1.58	165.74
	2	65	1.59	1.59	154.96
	3	65	1.60	1.60	201.14
	4	65	1.54	1.53	115.76
	5	65	1.56	1.56	99.28
	6	65	1.57	1.56	121.65

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลหินปูนก่อนและหลังอบ (ต่อ)

แรงอัด (ตัน)	ชั้นทดสอบ	มวล (g)	$\rho_{wet}$ ( $g/cm^3$ )	$\rho_{dry}$ ( $g/cm^3$ )	แรงกดที่รับได้ ( $kg/cm^2$ )
5	1	65	1.63	1.62	213.35
	2	65	1.66	1.65	233.64
	3	60	1.64	1.62	205.93
	4	65	1.64	1.64	222.63
	5	65	1.65	1.64	213.72
	6	65	1.67	1.65	299.29
7	1	65	1.80	1.79	361.47
	2	65	1.76	1.74	312.39
	3	65	1.78	1.76	333.61
	4	65	1.77	1.77	485.17
	5	65	1.73	1.72	392.62
	6	65	1.76	1.75	447.69

ตารางที่ 4.2 เป็นตารางข้อมูลการทดสอบการเคลื่อนตัวของเสาโครงสร้างที่ได้จากโปรแกรมและที่ได้จากการทดสอบจริง ซึ่งพบว่า การเพิ่มแรงอัดจะทำให้ระยะเคลื่อนตัวของเสามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 การเคลื่อนตัวของเสาจากโปรแกรมและจากการทดสอบ

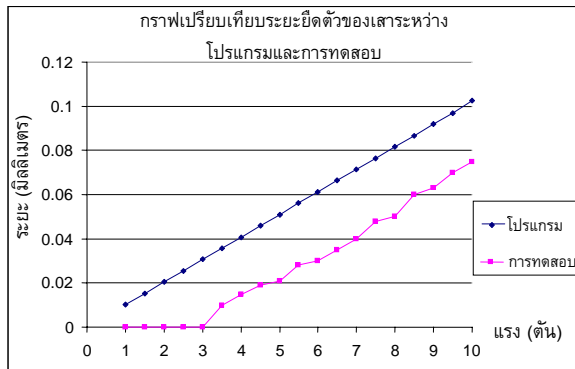
แรงอัด (ตัน)	แรงอัดต่อเสา (นิวตัน)	จากโปรแกรม (mm)	จากการทดสอบ (mm)
1.0	2452.50	0.0102	0.0000
1.5	3678.75	0.0153	0.0000
2.0	4905.00	0.0204	0.0000
2.5	6131.25	0.0255	0.0000
3.0	7357.50	0.0306	0.0000
3.5	8583.75	0.0357	0.0100
4.0	9810.00	0.0408	0.0150
4.5	11036.00	0.0459	0.0190
5.0	12262.50	0.0510	0.0210
5.5	13488.75	0.0561	0.0280
6.0	14715.00	0.0612	0.0300
6.5	15941.25	0.0663	0.0350
7.0	17167.50	0.0714	0.0400
7.5	18393.75	0.0765	0.0480
8.0	19620.00	0.0816	0.0500
8.5	20846.25	0.0867	0.0600
9.0	22072.50	0.0918	0.0630
9.5	23298.75	0.0969	0.0700
10.0	24525.00	0.1025	0.0750

เมื่อพิจารณาถึงผลของแรงอัดที่ทำให้โครงสร้างเกิดการเคลื่อนตัวรวมทั้งหมดพบว่า ที่แรงอัดขนาด 10 ตัน จะมีระยะยึดตัวของเสา 0.08 มิลลิเมตร และระยะของโครงสร้างอื่นๆอีก 0.2 มิลลิเมตร ทำให้ระยะยึดตัวรวมสูงสุดอยู่ที่ 0.28 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเคลื่อนตัวของโครงสร้าง

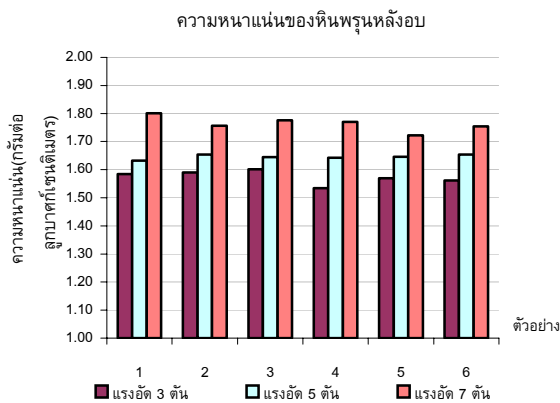
แรงอัด (ตัน)	การเคลื่อนตัวของโครงสร้างรวม (mm)	การเคลื่อนตัวของเสา (mm)
2.5	0.01	0.00
3.0	0.03	0.00
3.5	0.04	0.01
4.0	0.06	0.02
4.5	0.08	0.02
5.0	0.10	0.01
5.5	0.12	0.03
6.0	0.13	0.03
6.5	0.15	0.04
7.0	0.16	0.04
7.5	0.17	0.05
8.0	0.20	0.05
8.5	0.22	0.06
9.0	0.23	0.06
9.5	0.25	0.07
10.0	0.28	0.08

ผลการทดสอบโครงสร้างเครื่องขึ้นรูปหินปูน แสดงให้เห็นว่าเมื่อแรงอัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะยึดตัวของโครงสร้างเสาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบระยะการเคลื่อนตัวของเสา

และจากการขึ้นรูปหินปูนที่แรงอัดขนาด 3 5 และ 7 ตัน จะสามารถเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นได้ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่น

## 5. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบหินปูนซึ่งมีส่วนผสมของทรายและกาวยารัลไดท์ ในอัตราส่วน 9:1 ที่แรงอัด 3 5 และ 7 ตัน พบว่าค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของหินปูนคือ 1,570 1,640 และ 1,760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และหินปูนสามารถรับแรงอัดได้สูงสุดเฉลี่ย 143.09 231.43 และ 338.82 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามภาระแรงอัด และจากการทดสอบโดยรวมของระยะการเคลื่อนตัวของโครงสร้างพบว่าการเปลี่ยนแปลงระยะการเคลื่อนตัวสอดคล้องกับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีระยะการยึดตัวสูงสุดอยู่ที่ 0.28 มิลลิเมตร ที่แรงอัดขนาด 10 ตัน

### 5.1 ปัญหาและอุปสรรค

5.1.1 เครื่องชั่งดิจิทัลที่นำมาชั่งน้ำหนักส่วนผสม ระหว่างทรายและกาวยารัลไดท์ที่สตีล จะมีค่าความละเอียดที่ 5 กรัม ซึ่งเป็นค่าที่ยังละเอียดไม่เพียงพอ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนกับอัตราส่วนผสม ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของหินปูนไม่คงที่

5.1.2 เกฉวัดแรงดันของแม่แรงเป็นแบบอนาล็อก (แบบเข็ม) ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนแรงอัดแต่ละครั้งจะทำให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้

5.1.3 ส่วนผสมของหินปูนที่จะนำไปขึ้นรูปมีอยู่ 2 ส่วนคือ ทรายและกาวยารัลไดท์ ซึ่งการทดสอบนั้น จะผสมทรายกับกาวยารัลไดท์กันโดยตรงเลยไม่ได้ผสมส่วนของ HARDENER และ RESIN ในอัตราส่วน 1:1 ให้เข้ากันก่อนแล้วจึงนำไปใช้งาน แต่เนื่องจากเรื่องเวลาจึงไม่สามารถทำเช่นนั้นได้ เพราะกาวยารัลไดท์จะแห้งภายใน 4 นาที มีผลทำให้ความหนาแน่นไม่เท่ากันได้

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ถ้าต้องการความสะดวกในการทดสอบ ควรจะมีสเกลติดอยู่ที่แผ่นเลื่อนเพื่อให้สามารถวางแม่พิมพ์ลงตรงกลางของแผ่นเลื่อนได้พอดี

5.2.2 เครื่องขึ้นรูปหินปูนนอกจากจะนำมาขึ้นรูปหินปูนได้แล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ที่มีลักษณะการทำงานที่คล้ายกันต่อไปได้อีก

### เอกสารอ้างอิง

- เกียรติศักดิ์ จันทร์แดง, 2549, SolidWorks การออกแบบและเขียนแบบทางวิศวกรรม, กรุงเทพฯ : วิตดี กรุ๊ป.
- ซิลเลย์, โจเซฟ เอดวาร์ด, 2547, การออกแบบเครื่องจักรกล-Mechanical Engineering Design, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ที่อป.
- บรรเลง ศรีนิล, กิตติ นิงสานนท์. การคำนวณและออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.
- มานพ ตันตระกูล, 2545, การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- วนิต ช่อวิเชียร, 2547, ปรุพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics), พิมพ์ครั้งที่ 7, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี, 2549, SolidWorks/COSMOSWorks ขึ้นพื้นฐาน, กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- สิริศักดิ์ ปโยธรสิริ, 2544, กลศาสตร์วัสดุ, กรุงเทพฯ : ว.เพ็ชรสกุล.