

การออกแบบโครงสร้างกระจายความเค้นโดยการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ Design of Stress Distribution Structure using Finite Element Analysis

นพนิธิ ผกามาศ, ลักษณะวรรณ เอื้อจิตถาวร, รัชชา เสี่ยงสนั่น และอรรถพร วิเศษสินธุ์*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
ติดต่อ: fengapw@ku.ac.th, 02-942-8555 ต่อ 1861

บทคัดย่อ

ในโครงสร้างอาคารโดยทั่วไปส่วนที่ทำให้อาคารสามารถตั้งอยู่ได้และรับแรงกระทำต่ออาคารนั้นก็คือเสาและคานของอาคาร ดังนั้นเมื่อเกิดแรงกระทำที่มากเกินไปจนเกินขีดจำกัดเช่นแผ่นดินไหว ส่วนที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดก็คือเสา ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายและไม่สามารถทำให้อาคารตั้งอยู่ต่อไปได้ ดังนั้นการกระจายแรงจากเสาไปสู่โครงสร้างส่วนอื่นๆ หรือออกแบบโครงสร้างให้มีการกระจายแรงมากขึ้นนั้น จะช่วยป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอาคารได้มากยิ่งขึ้น การกระจายความเค้นสู่ผนังตึกโดยนำโครงสร้างกระจายความเค้นมาประยุกต์ใช้ เป็นวิธีหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการทดสอบหารูปแบบของผนังที่ดีที่สุดในการกระจายความเค้นเพื่อให้ผนังรับแรงได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์การกระจายความเค้นในผนังรับแรงโดยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้ คือ คอนกรีตเป็นวัสดุแบบไอโซทรอปิก และการเสียรูปในผนังจำเป็นต้องเสริมโครงสร้างเหล็กเพื่อรับแรงบิด ดังนั้นในเบื้องต้นของการวิเคราะห์ผนังรับแรงจำเป็นต้องวิเคราะห์ในรูปแบบอย่างง่าย จึงต้องจำกัดขอบเขตการวิเคราะห์คือศึกษาเฉพาะลักษณะการกระจายความเค้นในรูปแบบต่างๆกัน เท่านั้น โดยวัสดุที่ใช้จะกำหนดค่าวัสดุให้มีลักษณะคล้ายคอนกรีตแต่เป็นวัสดุแบบไอโซทรอปิกและไม่มีการเสริมโครงสร้างเหล็กภายใน

คำหลัก: การกระจายความเค้น, ความเข้มของความเค้น, วิถีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

In general, the main structures of the building are pillars and beams which support building weight. When the force is excessive, such as earthquakes, the greatest impact will occur at the pole. This may causes damage and the building cannot be located so the building collapses. We observed that the distribution of the pole to the other parts could decrease damage to the building. Stress distribution in the walls of buildings by stress distribution structures are used as one way to solve such problems by testing for patterns of stress distribution in the wall to increase wall strength so that the building is stronger and safer from destruction when the earthquake struck. However, in analyzing the stress distribution in the wall by FEM is going to be difficult. This is because the concrete is anisotropic material and deformation in the wall needs to be added the steel for supporting torsion force. In a preliminary analysis of the wall need to analyze in a simple form by assumption material is isotropic and does not have any steels in the structure.

Keywords: Stress Distribution, Stress Concentration, Finite Element Method

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีภัยธรรมชาติเกิดขึ้นมากมาย เช่น แผ่นดินไหว แผ่นดินถล่ม ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหาย

มากมายต่อมนุษย์และทรัพย์สิน เมื่อเกิดแผ่นดินไหว มักทำให้อาคาร บ้านเรือนพังทลายลงมาซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างหลักของอาคาร

บ้านเรือน คือ เสาและคาน โครงสร้างหลักนี้จะใช้ในการรับความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักของอาคารบ้านเรือน เมื่อเกิดแผ่นดินไหวจะทำให้โครงสร้างหลักของอาคารบ้านเรือน รับความเค้นที่มากกว่าปกติ ทำให้โครงสร้างไม่สามารถทนต่อความเค้นที่เกิดขึ้นมากเกินไปได้ โครงสร้างจึงเกิดความเสียหายและพังทลายลงมา จึงสังเกตได้ว่าการกระจายแรงจากเสาไปสู่โครงสร้างส่วนอื่นๆ หรือออกแบบโครงสร้างให้มีการกระจายแรงมากขึ้นนั้นจะช่วยป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอาคารได้มากยิ่งขึ้น โดยนำโครงสร้างไปอินทิเกรตมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการทดสอบหารูปแบบของแบบจำลองที่ดีที่สุดในการกระจายความเค้นเพื่อไม่ให้เกิดความเค้นสะสมบริเวณใดบริเวณหนึ่งในโครงสร้างที่มากเกินไป อันเป็นสาเหตุให้เกิดการพังของโครงสร้าง อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์การกระจายความเค้นในโครงสร้างโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้ คือ คอนกรีตเป็นวัสดุแบบแอนไอโซทรอปิก (Anisotropic) และการเสียรูปในผนังจำเป็นต้องเสริมโครงสร้างเหล็กเพื่อรับแรงบิด ดังนั้นในเบื้องต้นของการวิเคราะห์ผนังรับแรงจำเป็นต้องวิเคราะห์ในรูปแบบอย่างง่าย จึงต้องจำกัดขอบเขตการวิเคราะห์คือ ศึกษาเฉพาะลักษณะการกระจายความเค้นในรูปแบบต่างๆ กัน เท่านั้น โดยวัสดุที่ใช้จะกำหนดค่าวัสดุให้มีลักษณะคล้ายคอนกรีตแต่เป็นวัสดุแบบไอโซทรอปิกและไม่มีการเสริมโครงสร้างเหล็กภายใน

2. วัตถุประสงค์และขอบเขต

ศึกษาการกระจายความเค้นในแบบจำลองโครงสร้างรูปแบบต่างๆ เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างทางวิศวกรรมต่างๆ ให้มีความแข็งแรงและปลอดภัยมากขึ้น โดยสามารถนำผลงานวิจัยครั้งนี้ไปออกแบบและพัฒนาโครงสร้างให้มีการกระจายความเค้นภายในโครงสร้างที่เหมาะสมดังแสดงได้ตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) [2] และออกแบบไม่ให้เกิดบริเวณความเค้นสะสมสูงสุด (Stress Concentration) ได้ พร้อมทั้งสามารถลดปริมาณวัสดุลงได้อีกด้วย

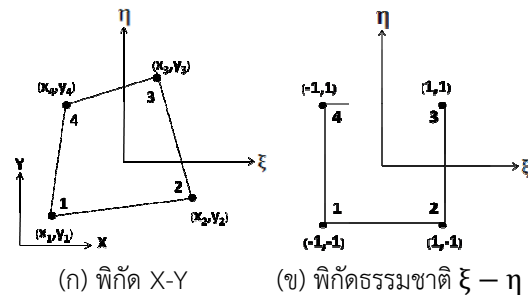
งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสองมิติมาวิเคราะห์การกระจายความเค้นในโครงสร้างที่ไม่มีโครงสร้างเหล็กเสริมภายใน โดยสมมติวัสดุให้มีคุณสมบัติคล้ายคอนกรีตและมีคุณสมบัติเป็นวัสดุแบบไอโซทรอปิก ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้คือ Marc/Mentat 2005

ตารางที่ 1 คุณสมบัติวัสดุ

Young's Modulus (E, GPa)	Poisson's Ratio (ν)	Density (kg/m ³)
30	0.2	2,400

3. วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

กำหนดการวิเคราะห์โครงสร้างที่มีส่วนเว้าส่วนโค้งด้วยเอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าขนาดต่างๆ เพื่อให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำและเที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งการคำนวณหาเอลิเมนต์เมตริกซ์ซึ่งต้องอินทิเกรตบนพื้นที่เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าเหล่านั้นหาได้ค่อนข้างยาก จึงต้องแปลงรูปเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าซึ่งอยู่ในพิกัด X-Y ให้อยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสในพิกัดธรรมชาติ $\xi - \eta$ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การแปลงเอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า (ก) เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ข)

ค่าการเคลื่อนตัวหรือการกระจัด (Displacement) ในทิศทาง X-Y สำหรับเอลิเมนต์ที่มีจุดต่อ 4 จุดเป็นไปตามสมการดังนี้ [1,3]

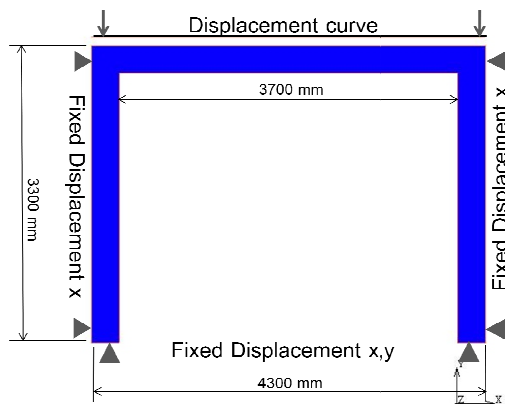
$$u_i = \sum_{n=1}^4 N_n \bar{u}_{in} \quad (1)$$

โดยที่ u_i คือการกระจัดในทิศทาง i $\bar{u}_{in}$ เป็นการกระจัดที่จุดต่อ n ซึ่งมีทิศทางเดียวกับ i และ N_n คือฟังก์ชันการประมาณภายใน (Interpolation Function) ที่จุดต่อ n จากนั้นเมื่อทราบค่าการกระจัดแล้วก็จะนำปหาค่าความเครียดและความเค้นในทิศทางต่างๆ ต่อไป

3.1 การกระจายความเค้นในแบบจำลองโครงสร้างทั่วไป

สร้างแบบจำลองโครงสร้างคล้ายเสา - คาน ซึ่งมีความหนา 300 มิลลิเมตร และแบบจำลองโครงสร้างผนัง

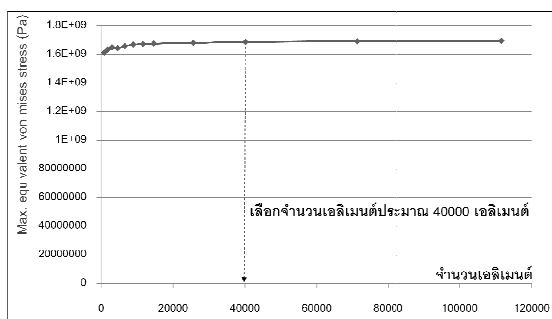
ทึบซึ่งมีความหนา 100 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการกระจายความเค้น (Equivalent Von Mises Stress, σ_{von}) ในแบบจำลองโครงสร้าง โดยกำหนดการวิเคราะห์เป็นสองมิติแบบระนาบความเค้น (Plain Stress) โดยกำหนดให้มี Displacement curve กดทับแบบจำลองโครงสร้างให้มีการยุบตัวเป็นระยะ 10 เซนติเมตร แบบจำลองโครงสร้างทางไฟไนต์เอลิเมนต์ และเงื่อนไขขอบเขตแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขนาดและเงื่อนไขที่กำหนดในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2 จำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

โดยสร้างแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีการเจาะรูรูวงกลมดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 3 จำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมคือ 40,000 เอลิเมนต์



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นสูงสุดและจำนวนเอลิเมนต์

3.3 ออกแบบแบบจำลองโครงสร้างกระจายความเค้นแบบต่างๆ

ออกแบบแบบจำลองโครงสร้างซึ่งกำหนดการวิเคราะห์เช่นเดียวกับแบบจำลองโครงสร้างคล้ายเสา-คาน โดยแบ่งเป็นกรณีดังนี้

- 1) การเจาะรูบนแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบในรูปร่างที่ต่างกัน
- 2) การเจาะรูบนแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีการเรียงตัวที่ต่างกัน
- 3) การเจาะรูบนแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีขนาดที่ต่างกัน
- 4) การเจาะรูบนแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีระยะห่างที่ต่างกัน

4. ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

4.1 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลองโครงสร้างทั่วไป

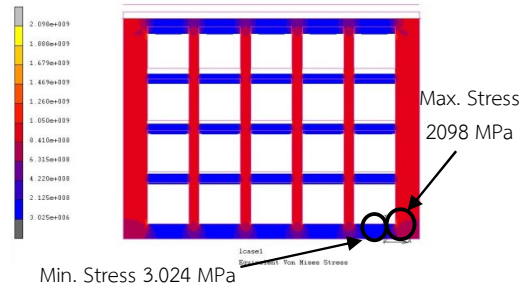
จากรูปที่ 4 - 5 และตารางที่ 2 พบว่าในแบบจำลองโครงสร้างคล้ายเสา-คาน การเคลื่อนที่ของความเค้นจะเคลื่อนที่จากเสาสูงสู่คาน ทำให้บริเวณเสาเป็นส่วนที่รับความเค้นจึงมีค่าความเค้นมากและสะสมอยู่บริเวณนี้ ส่วนบริเวณที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดคือ มุมของแบบจำลองโครงสร้างคล้ายเสา-คาน นอกจากนี้การกระจายความเค้นในแบบจำลองวัตถุทึบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ และมีค่าของความเค้นใกล้เคียงกันทั้งแบบจำลอง อย่างไรก็ตามเนื่องจากโครงสร้างแบบเสา-คานนั้นเป็นโครงสร้างที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีการใช้วัสดุที่น้อยกว่า และมีพื้นที่ว่างด้านล่างจึงเป็นที่นิยมนำไปใช้งาน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการกระจายความเค้นและปริมาตรระหว่างโครงสร้างเสา-คานและโครงสร้างวัตถุทึบ

แบบจำลองโครงสร้าง	$\sigma_{von,max}$ (MPa)	$\sigma_{von,min}$ (MPa)	ปริมาตร (V,m ³)	SD (x10 ⁶)
เสา-คาน	2,312	1,334	0.927	400
วัตถุทึบ	868	868	1.419	0



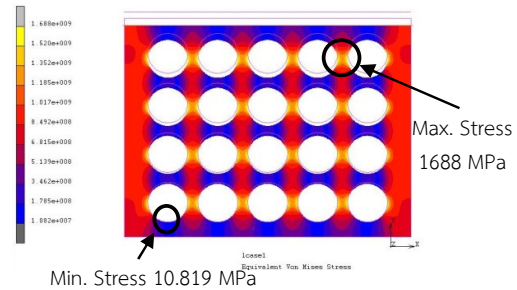
รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
แบบจำลองโครงสร้างค้ำเสา-คาน



(ก) รูเจาะรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
โครงสร้างวัตถุทึบ



(ข) รูเจาะรูปวงกลม

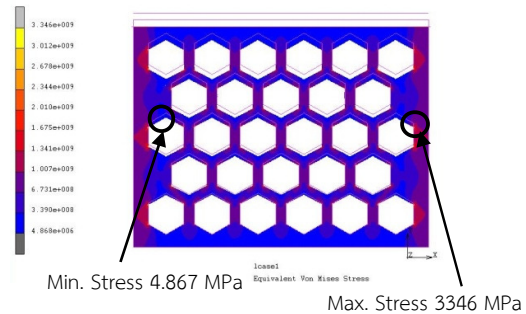
4.2 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบ ที่มีการเจาะรู

- 1) การเจาะรูบนแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบในรูปร่าง
ที่ต่างกัน

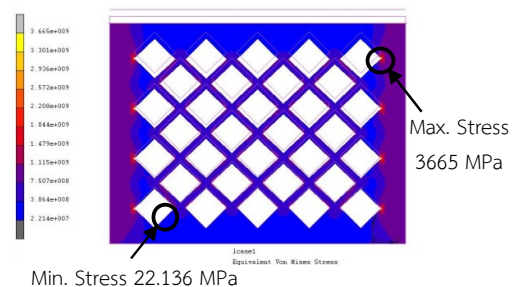
ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีการ
เจาะรูในรูปร่างต่างๆกันเป็นไปตามรูปที่ 6 และแสดงค่า
ความเค้นได้ดังตารางที่ 3 พบว่ารูปทรงที่มีเหลี่ยมและมุม
จะทำให้เกิดค่าความเค้นสูงสุดที่ค่อนข้างสูง ซึ่งจะอยู่
บริเวณที่เป็นเหลี่ยมและมุมของรูปทรง

ตารางที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นใน
โครงสร้างวัตถุทึบที่มีการเจาะรูแบบต่างๆ

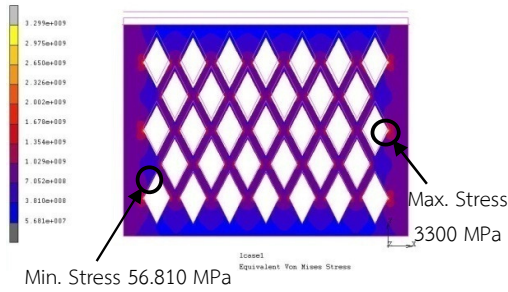
แบบจำลองโครงสร้าง	$\sigma_{\text{von,max}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{von,min}}$ (MPa)	ปริมาตร (V, m^3)	SD ($\times 10^6$)
สี่เหลี่ยม	2,098	3.024	0.699	403.67
วงกลม	<u>1,688</u>	10.819	0.8535	365.56
หกเหลี่ยม	3,346	4.868	<u>0.7643</u>	308.27
สี่เหลี่ยมด้านขนาน	3,665	22.136	0.834	302.67
สี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด	3,300	56.810	0.891	<u>259.41</u>



(ค) รูเจาะรูปหกเหลี่ยม



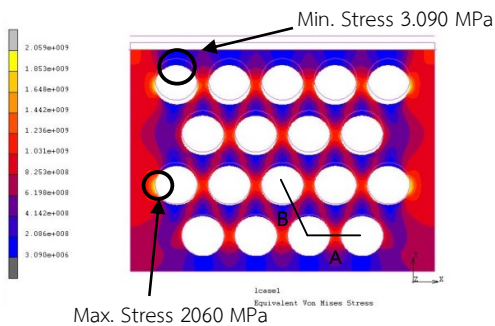
(ง) รูเจาะรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน



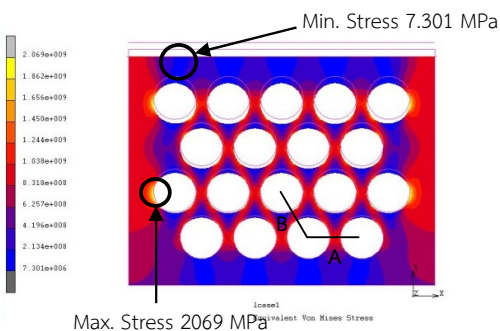
(จ) รูเจาะรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด

รูปที่ 6 (ก-จ) ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองโครงสร้างวัสดุที่ที่มีการเจาะรูในรูปร่างที่ต่างกัน

- 2) การเจาะรูแบบจำลองโครงสร้างวัสดุที่ที่มีการเรียงตัวที่ต่างกัน

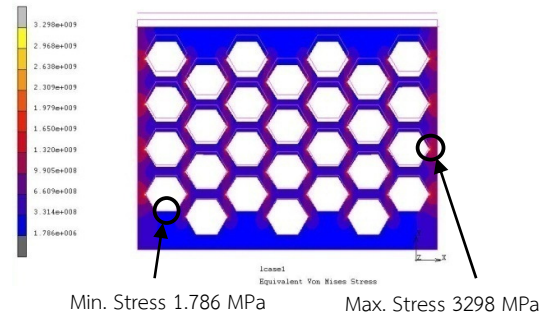


(ก) ระยะ B>A



(ข) ระยะ B=A

รูปที่ 7 (ก-ข) ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองโครงสร้างวัสดุที่ที่มีการเจาะรูวงกลมเรียงตัวสลับกัน (B=A)



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองโครงสร้างวัสดุที่ที่มีการเจาะรูรูปหกเหลี่ยมเรียงตัวแนวนอน

ตารางที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นในโครงสร้างวัสดุที่ที่มีการเรียงตัวของรูเจาะแบบต่างๆ

การเรียงตัวของรูเจาะ	$\sigma_{\text{von,max}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{von,min}}$ (MPa)	ปริมาตร (V,m ³)	SD (x10 ⁶)
วงกลมแนวเดียวกัน	1,688	10.819	0.8535	365.56
วงกลมสลับกัน (B>A)	2,060	3.090	0.9101	312.93
วงกลมสลับกัน (B=A)	2,069	7.091	0.9101	333.23
หกเหลี่ยมแนวตั้ง	3,346	4.868	0.7643	308.27
หกเหลี่ยมแนวนอน	3,298	1.786	0.7643	326.84

การวิเคราะห์สำหรับแบบจำลองที่มีการเจาะรูเรียงตัวต่างกันหรืออยู่ในแนวสลับกันนั้นควรพิจารณาถึงระยะห่างใน 2 ระยะคือ ระยะ A เป็นระยะห่างระหว่างวงกลมในแต่ละชั้นตามแนวนอน และ B เป็นระยะห่างระหว่างชั้นของวงกลมตามแนวตั้ง ผลของการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างวัสดุที่ที่มีการเจาะรูวงกลมเรียงตัวสลับกันในกรณีของ B มากกว่า A และ B เท่ากับ A แสดงได้ดังรูปที่ 7 (ก) และ (ข)

จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบผลการกระจายความเค้นจากรูปที่ 7 และ 8 รวมถึงผลการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างวัสดุที่ที่มีการเจาะรูวงกลมเรียงตัวในแนวเดียวกันและหกเหลี่ยมเรียงตัวในแนวตั้งเป็นไปดังรูปที่ 6 (ข และ ค) ดังแสดงได้ตามตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าการเรียงตัวแบบสลับกันของวงกลม จะเกิดค่าความเค้นสูงสุดที่ขอบของวงกลมที่อยู่นอกสุด แต่การกระจายความเค้นมีการกระจายได้ดีกว่าการเรียงตัวในแนวเดียวกัน สำหรับรูปหกเหลี่ยมตามการวางตัวในแนวตั้งมีการกระจายความเค้นที่ดีกว่าการ

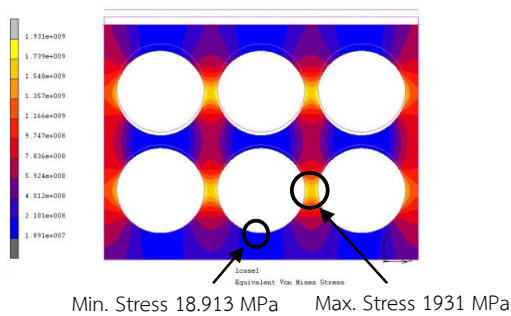
วางตัวในอน แต่ค่าความเค้นสูงสุดก็มีความมากกว่า ซึ่งอยู่บริเวณมุมของรูปหกเหลี่ยม

3) การเจาะรูบนแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีขนาดที่ต่างกัน

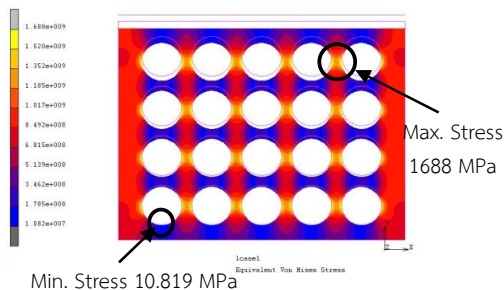
ต่อมาได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของการกระจายความเค้นของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะโดยได้ผลดังรูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีการเจาะรูปร่างที่มีขนาดต่างกันของรูวงกลม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1200 มิลลิเมตร, 600 มิลลิเมตร และ 300 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 5 พบว่าแบบจำลองที่มีรูเจาะขนาดเล็ก จะมีเนื้อของวัสดุในปริมาณมาก ทำให้เกิดการกระจายความเค้นที่ดี เช่นเดียวกับในแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบ และทำให้เกิดค่าความเค้นสูงสุดที่มีค่าน้อยด้วย

ตารางที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นในโครงสร้างวัตถุทึบที่มีการเจาะรูวงกลมขนาดต่างๆ

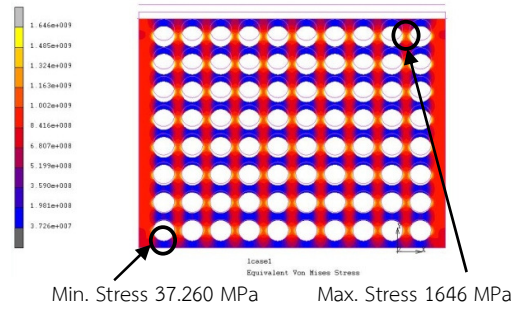
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	$\sigma_{von,max}$ (MPa)	$\sigma_{von,min}$ (MPa)	ปริมาตร (V,m ³)	SD (x10 ⁶)
1200 มิลลิเมตร	1,931	18.913	0.7404	430.31
600 มิลลิเมตร	1,688	10.819	0.8535	365.56
300 มิลลิเมตร	1,646	37.260	0.8535	355.45



(ก) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1200 มิลลิเมตร



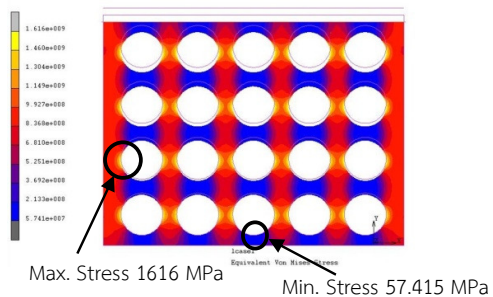
(ข) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600 มิลลิเมตร



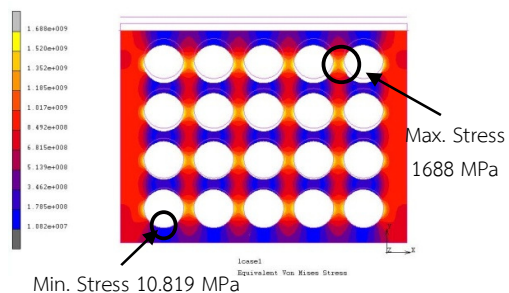
(ค) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร
รูปที่ 9 (ก-ค) ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีการเจาะรูวงกลมในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

4) การเจาะรูบนแบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีระยะห่างที่ต่างกัน

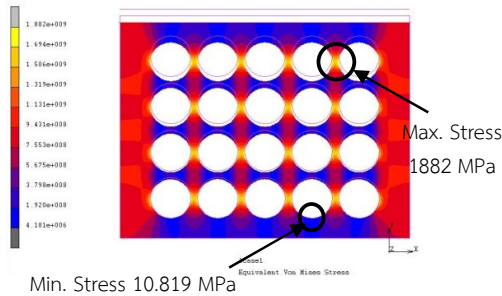
การวิเคราะห์จะใช้แบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีการเจาะรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์แบบจำลองโครงสร้างวัตถุทึบที่มีการเจาะรูปร่างที่มีระยะห่างของขอบรูวงกลมที่เรียงตัวในแนวเดียวกัน โดยมีระยะห่าง 200 มิลลิเมตร, 150 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 10 และตารางที่ 6 พบว่าระยะห่างของรูเจาะที่มีระยะห่างมาก จะมีพื้นที่ในการกระจายของความเค้นระหว่างรูเจาะมาก ทำให้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย และมีการกระจายความเค้นที่ดี



(ก) ระยะห่าง 200 มิลลิเมตร



(ข) ระยะห่าง 150 มิลลิเมตร

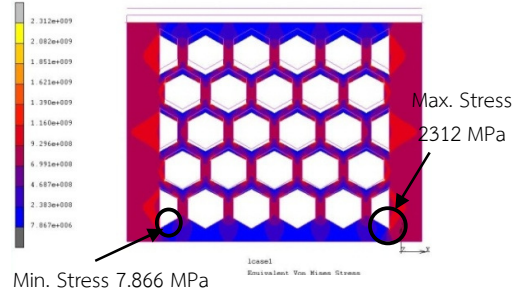


(ค) ระยะห่าง 100 มิลลิเมตร
รูปที่ 10 (ก-ค) ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
แบบจำลองโครงสร้างวัตถุที่มีการเจาะรูวงกลมให้มี
ระยะห่างต่างๆ กัน

ตารางที่ 6 สรุปผลการวิเคราะห์ระยะห่างของขอบรูป
วงกลมที่ต่างกันที่เจาะบนแบบจำลองโครงสร้างวัตถุ

ระยะห่าง ระหว่างขอบ	$\sigma_{\text{von,max}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{von,min}}$ (MPa)	ปริมาตร (V,m ³)	SD (x10 ⁶)
200 มิลลิเมตร	1,616	57.415	0.8535	354.61
150 มิลลิเมตร	1,688	10.819	0.8535	365.56
100 มิลลิเมตร	1,882	4.181	0.8535	384.81

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดพบว่าโครงสร้างที่
สามารถรับสภาพการยุบตัวจากด้านบนมากที่สุดคือ
โครงสร้างที่มีการเจาะรูเป็นรูปหกเหลี่ยมแนวตั้งดังแสดง
ได้ดังรูปที่ 6 (ค) และตารางที่ 3 เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่
มีค่าความเค้นต่ำสุดน้อยที่สุดในบรรดาโครงสร้างทั้งหมด
และมีการกระจายความเค้นที่มีค่าใกล้เคียงกับโครงสร้าง
อื่นๆ อย่างไรก็ตามความเค้นสูงสุดยังเกิดขึ้นมากบริเวณ
ขอบมุมของรูปหกเหลี่ยมโดยเฉพาะบริเวณรูเจาะที่อยู่ใกล้
ขอบโครงสร้าง แต่กรณีนี้สามารถลดปริมาณความเค้น
สูงสุดได้ง่ายด้วยการเพิ่มระยะของรูเจาะกับขอบของ
โครงสร้างให้มีพื้นที่รับความเค้นมากขึ้นพร้อมทั้งปรับ
ช่องว่างรูปหกเหลี่ยมบริเวณขอบให้มีการกระจายความ
เค้นได้ดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 11 จึงทำให้โครงสร้างชนิดนี้
มีการกระจายความเค้นที่ดีและไม่เกิดความเค้นสะสมสูงสุด
ณ จุดใดๆ นอกจากนี้ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นยังมีค่า
ใกล้เคียงกับโครงสร้างรูปร่างเสาแกนแต่ใช้ปริมาณวัสดุที่
น้อยกว่าอีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 7 ส่วนเหตุผลที่รูป
หกเหลี่ยมสามารถกระจายความเค้นได้ดีและไม่เกิดความ
เค้นสะสมที่มีค่าสูงเพราะมุมของรูปหกเหลี่ยมแต่ละมุม
เป็นมุมป้านที่วางในทิศทางที่ไม่ต้านการกระจายตัวของ
ความเค้น



รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
แบบจำลองโครงสร้างวัตถุที่มีการเจาะรูรูปหกเหลี่ยม
แนวตั้งที่เพิ่มระยะของรูเจาะกับขอบของโครงสร้าง

ตารางที่ 7 สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการกระจาย
ความเค้นในโครงสร้าง

รูปแบบ โครงสร้าง	$\sigma_{\text{von,max}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{von,min}}$ (MPa)	ปริมาตร (V,m ³)	SD (x10 ⁶)
เสา-แกน	2,312	1.333	0.927	400
รูเจาะรูป หกเหลี่ยม	3,346	4.868	0.7643	308.27
รูเจาะรูปหก เหลี่ยมเพิ่ม ระยะห่างจาก ขอบโครงสร้าง	2,312	7.866	0.8344	290.90

5. สรุป

การวิเคราะห์โครงสร้างการกระจายความเค้นใน
งานวิจัยครั้งนี้ค้นพบรูปทรงของรูเจาะที่สามารถกระจาย
ความเค้นที่มาจากกรยุบตัวจากขอบด้านบนโครงสร้างได้
ดีและสามารถนำไปพัฒนาได้ตามการรับแรงหรือการใช้
งานในรูปแบบต่างๆ เชิงวิศวกรรม อย่างไรก็ตามการ
ทดลองนี้เป็นการทดลองโดยให้แบบจำลองโครงสร้าง
ต่างๆ ถูกกดทับโดย Displacement Control เพียงอย่าง
เดียว ซึ่งสามารถศึกษาการกระจายความเค้นและค่าความ
เค้นสูงสุดได้เพียงเบื้องต้นเท่านั้น ค่าความเค้นและการ
กระจายตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละแบบจำลองโครงสร้างนั้น มี
ข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ผู้ใช้งานควรพิจารณาปัจจัย
ต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความเค้นและการกระจายตัวที่เกิดขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Attaporn Wisessint (2009). *3D-Enriched FEM Analysis for Intensity of Singular Stress Field in Dissimilar Material Joints. Doctoral Dissertation*, Materials Science, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Niigata, Japan
- [2] ชัชวาลย์ เรืองประพันธ์ (2537). ครั้งที่1. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,ขอนแก่น: สถิติพื้นฐาน.
- [3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2547). ครั้งที่3. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ: ไฟน์ไต์เอลิเมนต์งานวิศวกรรม.